

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

МОСІЄНКО ГАННА МИКОЛАЇВНА

УДК 378.016:621.3(043.5)

ДИСЕРТАЦІЯ
ПРОЄКТУВАННЯ ПРОФЕСІЙНО ОРІЄНТОВАНОГО ЗМІСТУ
НАВЧАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ
МАШИНОБУДІВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВІ
КОМПЛЕКСНИХ МОДЕЛЕЙ

13.00.02 – теорія та методика навчання (технічні дисципліни)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата педагогічних наук.
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.



Г. М. Мосієнко

Науковий керівник:

Лазарєв Микола Іванович
доктор педагогічних наук, професор

Харків – 2021

АНОТАЦІЯ

Мосієнко Г.М. Проектування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей на основі комплексних моделей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата педагогічних наук зі спеціальності 13.00.02 – теорія та методика навчання (технічні дисципліни). – Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, 2021.

У дисертації досліджено проблему підвищення якості навчання електротехніки здобувачів машинобудівних спеціальностей закладів вищої освіти. Вирішення цієї проблеми здійснено на основі теоретичного обґрунтування, розроблення, експериментальної перевірки та практичного впровадження в процес їхньої професійної підготовки професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних моделей навчальних елементів.

Визначено, що в сучасних умовах промислового виробництва експлуатація машинобудівного устаткування потребує глибоких та різносторонніх знань, які необхідні також для вирішення задач обслуговування та модернізації існуючих в його складі електротехнічних пристроїв, приладів та механізмів. Тому інженери-механіки повинні мати глибокі знання в галузі електротехніки і чіткі уявлення про конструкцію, принцип дії, технічні та експлуатаційні характеристики основних електротехнічних пристроїв, машин, апаратів, приладів, та інших складових, які узагальнені під терміном – електротехнічне обладнання промислового виробництва.

Проаналізовано види професійної діяльності інженера машинобудівного галузі, вимоги, які до нього висуваються і визначена система знань та умінь з електротехніки, яка забезпечує відповідність сформованих професійних якостей посадовим обов'язкам інженера-механіка.

Аналіз професійної діяльності інженера-механіка і його посадових обов'язків дозволив сформулювати вимоги до професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки інженерів машинобудівного напрямку. Першою вимогою є те, що професійно орієнтований зміст повинен враховувати ті види електротехнічних пристроїв, які входять до складу різних груп промислового обладнання, тобто тих пристроїв, з якими інженер-механік буде мати справу в процесі своєї професійної діяльності. Друга вимога полягає в тому, що при формуванні змісту дисципліни необхідно враховувати особливості професійної діяльності інженера-механіка, які обумовлені його посадовими обов'язками. Він повинен виконувати певні функції, серед яких важливе місце займає робота з електрообладнанням механізмів та машин промислового призначення. Третя вимога визначає, що професійно орієнтований зміст дисципліни повинен сприяти формуванню відповідної системи вмінь майбутнього інженера машинобудівної спеціальності, серед яких необхідно відмітити вміння працювати з електричними приладами та електротехнічними пристроями, виконувати розрахунки параметрів та режимів роботи електротехнічного обладнання. Таким чином, визначено, які фактори предметної галузі є основними і відіграють головну роль у формуванні професійно орієнтованого змісту електротехніки.

На підставі аналізу і систематизації електротехнічних складових промислового обладнання предметної галузі встановлено їх значимість і важливість в сфері професійної діяльності інженера-механіка. На основі аналізу сучасних вимог до рівня кваліфікації інженерів-механіків машинобудівної галузі, згідно з посадовими обов'язками, доведено необхідність формування електротехнічної компетентності фахівців вказаного профілю. Аналіз існуючих методик формування змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівної галузі виявив, що незважаючи на представлення науково обґрунтованих фактів, понять та ідей в змісті навчання, їх наочність та актуальність, ці методики

характеризуються: відсутністю системного підходу до формування професійно орієнтованого змісту на конкретну галузь промисловості, відсутністю етапів створення моделей електротехнічних пристроїв за їх функціональним призначенням у складі промислового обладнання машинобудівної галузі, фрагментарністю та епізодичністю деяких професійно орієнтованих елементів змісту.

Теоретично обґрунтовано та розроблено професійно орієнтований зміст навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей на основі трискладової комплексної моделі навчальних елементів дисципліни, що забезпечує досягнення мети навчання, яка полягає в підвищенні якості навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей і сприяє формуванню електротехнічної компетентності, як складової професійної компетентності з експлуатації, обслуговування та модернізації промислового обладнання машинобудівного виробництва, яке містить електротехнічні пристрої, прилади та інше електротехнічне устаткування.

Комплексна модель представлена як сукупність системно-інформаційної, топологічної та розрахункової складових. Всі її складові містять інформаційні ознаки опису, схеми та математичні вирази, які характеризують об'єкт чи процес, як загального, так і галузевого призначення.

Проведено поєднання відомих класичних методик формування змісту навчання електротехніки, узгоджених із цілями і професійно орієнтованим проєктуванням змісту навчання дисципліни. Розроблено комплексні моделі з навчальних елементів: основні закони електротехніки, еквівалентні перетворення, методи аналізу електричних кіл, моделі реальних фізичних об'єктів електротехнічних складових промислового обладнання машинобудівної галузі.

Експериментально перевірено теоретично обґрунтований та розроблений професійно орієнтований зміст навчання електротехніки

майбутніх інженерів-механіків машинобудівної галузі та доведено його дієвість. Достовірність результатів експериментального дослідження підтверджена методами математичної статистики.

Наукова новизна результатів дослідження полягає в тому, що:

вперше теоретично обґрунтовано, розроблено й експериментально перевірено:

- новий клас моделей елементів змісту навчання електротехніки – комплексні трискладові моделі, які містять системно-інформаційну, топологічну та розрахункову складові, що дозволяє здійснювати повний опис електротехнічних об'єктів;

- узагальнену комплексну трискладову модель елементів професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей, складові якої містять як загальнотехнічну компоненту, так і галузеву, що підвищує якість професійного навчання;

- професійно орієнтований зміст навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей, який представлено у вигляді системи комплексних трискладових моделей елементів змісту навчання, що підвищує рівень сформованості електротехнічної компетентності майбутніх фахівців;

уточнено:

- класифікацію електротехнічного обладнання виробничих механізмів і технологічних пристроїв машинобудівної галузі, уточнення полягає у використанні розширеної класифікації за групами промислового обладнання, яке застосовується в машинобудуванні;

- зміст електротехнічної компетентності інженерів машинобудівних спеціальностей, який обумовлено їхніми посадовими обов'язками й нормативними документами з експлуатації промислового обладнання.

Практичне значення одержаних результатів дослідження полягає в розробленні та впровадженні теоретично обґрунтованого та експериментально перевіреного професійно орієнтованого змісту навчання

електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей; системи професійно орієнтованих задач; навчально-методичного посібника «Електротехніка. Комплексні моделі змісту навчання».

Теоретичні положення та практичні результати дослідження можуть бути використані у процесі професійної підготовки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей.

Ключові слова: проектування, професійно орієнтований зміст навчання електротехніки, електротехнічна компетентність, інженери машинобудівних спеціальностей, комплексні моделі змісту навчання електротехніки, електрообладнання машинобудівної галузі, професійні обов'язки інженера-механіка.

ABSTRSCT

Mosiienko H.N. Professionally oriented content design of electrical engineering training for future engineers of machine-building specialties on the base of complex models. – Manuscript copyright.

Thesis for the degree of Candidate of pedagogical sciences in specialty 13.00.02 – Theory and Methods of Teaching (Technical Disciplines). – Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, 2021.

The dissertation investigates the problem of improving the quality of electrical engineering education for external doctorate students of machine-building specialties in higher education institutions. The solution of this problem is carried out on the basis of theoretical substantiation, development, experimental verification and practical implementation in the process of their professional training of professionally oriented content in electrical engineering studying on the basis of complex models with educational elements.

It is determined that in modern conditions of industrial production the operation of machine-building equipment requires deep and versatile knowledge, which is also necessary to solve the problems of maintenance and modernization of existing electrical devices, devices and mechanisms. Therefore, mechanical

engineers must have in-depth knowledge in the field of electrical engineering and a clear understanding of the design, operating principle, technical and operational characteristics of basic electrical devices, machines, devices, appliances, and other components, which are generalized under the term – electrical equipment for industrial production.

The types of professional activity for a mechanical engineer, the requirements for it are analyzed and the system of knowledge and skills in electrical engineering is determined, which ensures the compliance of the formed professional qualities with the mechanical engineer's job responsibilities.

The analysis of the professional activity of a mechanical engineer and his job responsibilities allowed to formulate the requirements for the professionally oriented content of electrical engineering training for mechanical engineers. The first requirement is that the professionally oriented content should take into account those types of electrical devices that are part in different groups of industrial equipment, i.e. that the mechanical engineer will deal with those devices in the course of his professional activity. The second requirement is that when forming the content of the discipline it is necessary to take into account the peculiarities of the professional activity of a mechanical engineer, which are determined by his job responsibilities. He must do certain functions, where the work with electrical equipment of mechanisms and machines for industrial use is very important. The third requirement stipulates that the professionally oriented content of the discipline should contribute to the formation of an appropriate system of skills for the future mechanical engineer, including the ability to work with electrical appliances and electrical devices, and do calculations of parameters and modes for electrical equipment. Thus, it is determined which factors of the subject area are the main and play a major role in the formation of professionally oriented content for electrical engineering.

Based on the analysis and systematization of electrical components for industrial equipment in the subject industry, their significance and importance in the field of professional activity for a mechanical engineer is established. Based on

the analysis of modern requirements to the level of qualification of mechanical engineers in the machine-building industry, in accordance with their job responsibilities, the need for the formation of professionally oriented electrical competence of specialists in this field has been proved. Analysis of existing methods of forming the content of electrical engineering training for future engineers in the engineering industry revealed that despite the presentation of scientifically discussed facts, concepts and ideas in the content of training, their clarity and relevance, these methods are characterized by: lack of systematic approach to professionally oriented content; absence of creating stages of electrotechnical devices models by their functional purpose as a part of the industrial equipment of machine-building branch, fragmentation and episodicity of some professionally oriented elements in the maintenance.

Theoretically substantiated and developed professionally oriented content of electrical engineering training future engineers of machine-building specialties on the basis of three-component complex model with educational elements of the discipline, which achieves the goal of training, which is to improve the quality of electrical engineering competence in operation, maintenance and modernization of industrial equipment in the machine-building production, which contains electrical devices, appliances and other electrical equipment.

The complex model is presented as a set of system-information, topological and computational components. All components of the complex model contain informational features of the description, schemes and mathematical expressions that characterize the object or process of both general and industry purposes.

A combination of well-known classical methods of forming the content of electrical engineering teaching to be an agreement with the objectives and professionally oriented content design of teaching the discipline is presented. Complex models of educational elements have been developed: basic laws of electrical engineering, equivalent transformations, methods of analysis of electric circuits, models of real physical objects of electrical components for industrial equipment in the machine-building industry.

The theoretically substantiated and professionally oriented content of electrical engineering training for future mechanical engineers in machine-building field is experimentally checked and its efficiency is proved. The reliability of the results of the experimental study was confirmed by the methods of mathematical statistics.

The scientific novelty of the research results is that:

for the first time theoretically substantiated, developed and experimentally tested:

- a new class of models with the content elements of electrical engineering training – complex three-component models that contain system-information, topological and computational components, that allows to make a complete description of electrical objects;

- generalized complex three-component model with elements of professionally oriented content of electrical engineering training for future engineers of machine-building specialties, the components of which contain both general technical component and branch, which improves the quality of professional training;

- professionally oriented content of electrical engineering training for future engineers of machine-building specialties, which is presented in the form of a system of complex three-component models with elements of educational content, which increases motivation and levels of knowledge, skills and professionally important qualities of future specialists;

specified:

- classification of electrical equipment of production mechanisms and technological devices in the machine-building industry; clarification is to use an extended classification by groups of industrial equipment applied in mechanical engineering;

- the content of electrical competence for mechanical engineers, which is due to their job responsibilities and regulations on the operation of industrial equipment.

The practical significance of the obtained research results lies in the development and implementation of theoretically substantiated and experimentally tested professional oriented content of electrical engineering training for future engineers of mechanical engineering specialties; systems of professionally oriented tasks; training manual "Electrical Engineering. Comprehensive models of learning content.

Theoretical and practical results of the study can be used in the training of future engineers in machine-building mechanical specialties.

Key words: design, professionally oriented content of electrical engineering training, electrical competence, engineers of machine-building specialties, complex content models of the electrical engineering training, electrical equipment in the mechanical engineering industry, professional duties for a mechanical engineer.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Мосієнко Г. М. Електротехніка. Комплексні моделі змісту навчання : навч.-метод. посіб. для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» денної та заоч. форм здобуття освіти машинобудівних спеціальностей. Харків : Друкарня Мадрид, 2020. 96 с.
2. Мосієнко Г. М. Роль і місце електротехнічних знань в системі політехнічної підготовки інженерів-педагогів. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2004. Вип. 6. С. 134-142.
3. Мосиенко А. Н., Тарасенко А. И. Структурно-функциональный анализ системы профессиональных умений студентов в курсе электрических методов и средств измерений. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2008. Вип. 20. С. 62-68.
4. Мосієнко Г. М. Професійна орієнтація курсу «Електротехніка» для майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2009. Вип. 24-25. С. 166-176.

5. Мосієнко Г. М. Предметно-орієнтоване формування змісту дисципліни «Електротехніка» для майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2010. Вип. 28-29. С. 67-75.
6. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Аналіз електротехнічної складової професійної діяльності інженерів машинобудівного профілю. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2015. Вип. 48-49. С. 91-102.
7. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Структура професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2016. Вип. 52-53. С. 118-127.
8. Лазарєв Н. И., Мосиенко А. Н., Тарасенко А. И. Профессионально ориентированный подход к формированию содержания курса электротехники для подготовки инженеров-механиков. *Science and education a new dimension. Pedagogy and Psychology*. 2017. V(59). Issue: 134. P. 30-33.
9. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Професійно-орієнтоване формування моделей електротехнічних пристроїв промислового обладнання. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2018. Вип. 58. С. 27-35.
10. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Узагальнена трискладова гібридна модель змісту навчання елементів електротехнічного обладнання. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2019. Вип. 64. С. 81-91.

Опубліковані праці апробаційного характеру

11. Мосиенко А. Н., Тарасенко А. И. Роль и место электротехнических знаний в системе подготовки инженеров-педагогов. *СО-MAT-TECH 2006 : Proceedings of the Abstracts and Contributions of 14th*

International Scientific Conference (Trnava, Slovak Republic, 19-20 October 2006). Trnava, 2006. P. 1313-1319.

12. Тарасенко А. И., Мосиенко А. Н. Структурный анализ системы профессиональных умений студентов в курсе электрических методов и средств измерений. *Научный прогресс на рубеже тысячелений – 2007* : матер. II междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 1-15 июня 2007 г.). Днепропетровск : Наука и образование, 2007. Т. 6 : Педагогические науки. С. 88-90.

13. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Професійна направленність електротехнічної підготовки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. *Настоящи постижения на европейската наука - 2009* : матер. за V междунар. науч. практ. конф. (София, 17-25 юни 2009). София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2009. Т. 5 : Педагогически науки. С. 9-11.

14. Тарасенко А. И., Мосиенко А. Н. Формирование профессиональных умений при изучении электротехнических дисциплин. *Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2010* : materialy VI Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji (Przemysl, 07-15 czerwca 2010 roku). Przemysl : Nauka i studia, 2010. Vol. 21 : Pedagogiczne nauki. S. 36-38.

15. Тарасенко А. И., Мосиенко А. Н. К вопросу о содержании курса «Основы метрологии и электрические измерения». *Качество технологий - качество жизни* : матер. III междунар. науч.-практ. конф. (Харьков, 14-16 апреля 2011 г.). Харьков : УИПА, 2011. С. 66-67.

16. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Удосконалення професійної електротехнічної підготовки сучасного інженера. *Динамиката на съвременната наука – 2011* : матер. за VII междунар. науч. практ. конф. (София, 17-25 юли 2011). София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2011. Том 5 : Педагогически науки. С. 5-7.

17. Лазарєв М. І., Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Формування професійних умінь майбутніх інженерів при вивченні курсу «Електротехніка». *Naukowa przestrzen Europy – 2012* : materialy VIII

Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji (Przemysl, 07-15 kwietnia 2012). *Przemysl : Nauka i studia*, 2012. Vol.14 : Pedagogiczne nauki. S. 94-96.

18. Мосієнко Г. М. Розвиток професійної компетентності майбутніх інженерів на практичних заняттях з електротехніки. *Качество технологий – качество жизни* : матер. V междунар. науч.-практ. конф. (Солнечный берег, Болгария, 8-12 сентября 2012 г.). Харьков : УИПА, 2012. С. 135-136.

19. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Аналіз електротехнічної складової професійної діяльності майбутніх інженерів-механіків. *Найновите постижения на европейската наука – 2015* : матер. за XI междунар. науч. практ. конф. (София, 17-25 юни 2015). София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2015. Т. 7 : Педагогически науки. С. 13-16.

20. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Роль і місце електротехнічної складової в професійній діяльності інженера-механіка. *Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2016* : materialy XII miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji (Przemysl, 07-15 czerwca 2016 roku). *Przemysl : Nauka i studia*, 2016. Vol. 5 : Pedagogiczne nauki. S. 26-28.

21. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Абстракція в електротехніці і формування моделей електротехнічних пристроїв промислового обладнання. *Modern european science – 2018* : materials of the XIV International scientific and practical conference (Sheffield, June 30–July 7 2018). Sheffield : Science and education LTD, 2018. Vol. 7 : Pedagogical science. Philological science. Psychology and sociology. P. 87-89.

22. Tarasenko A., Mosiienko H. General models formation of electrical devices. *Strategiczne pytania swiatowej nauki – 2019* : materialy XV miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji (Przemysl, 07-15 lutego 2019). *Przemysl : Nauka i studia*, 2019. Vol. 6 : Pedagogiczne nauki. S. 47-49.

***Опубліковані праці, які додатково відображають результати
дослідження***

23. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М., Петров С. В. Електротехніка, електроніка і мікропроцесорна техніка : навч. посіб. для студентів денної та заоч. форм навч. неелектротехн. спец. Харків : УІПА, 2014. Ч. 2 : Електроніка і мікропроцесорна техніка. 79 с.

24. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М., Петров С. В. Електротехніка : навч.-метод. посіб. для студентів денної та заоч. форм навч. інж. та інж.-пед. спец. Харків : УІПА, 2015. Ч. 1 : Електричні кола. 136 с.

ЗМІСТ

ВСТУП	17
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПРОЄКТУВАННЯ ЗМІСТУ НАВЧАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ МАШИНОБУДІВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНИХ МОДЕЛЕЙ	26
1.1. Концептуальні педагогічні, загальнонаукові і галузеві засади проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей	26
1.2. Аналіз професійної діяльності інженерів машинобудівного профілю	32
1.3. Аналіз існуючого змісту навчання електротехніки та визначення проблеми дослідження	55
1.4. Комплексні моделі елементів професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей	75
Висновки до розділу 1	110
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ ПРОФЕСІЙНО ОРІЄНТОВАНОГО ЗМІСТУ НАВЧАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ МАШИНОБУДІВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСНИХ МОДЕЛЕЙ	112
2.1. Професійно орієнтований зміст навчання електротехнічних елементів і пристроїв предметної галузі машинобудування на основі комплексних моделей	112
2.2. Професійно орієнтований зміст навчання основ теорії електричних кіл з використанням комплексних моделей	130
2.3. Професійно орієнтований зміст навчання з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудівної галузі на основі комплексних моделей	147

Висновки до розділу 2	161
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОФЕСІЙНО ОРІЄНТОВАНОГО ЗМІСТУ НАВЧАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ МАШИНОБУДІВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ	163
3.1. Організація експериментальної перевірки.....	163
3.2. Аналіз результатів констатувального етапу експерименту...	168
3.3. Аналіз результатів формувального етапу експерименту.....	180
Висновки до розділу 3.....	197
ВИСНОВКИ.....	200
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	204
ДОДАТКИ.....	225

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Соціально-економічні перетворення української держави, реформування економіки, модернізація машинобудівної галузі зумовлюють необхідність підготовки в сучасних закладах вищої освіти (ЗВО) інженерів, здатних адаптуватися до безперервних технологічних інновацій у професійній сфері та до освіти протягом життя. Це означає, що ЗВО повинен сьогодні гарантувати такий рівень професійної підготовки, який відповідає європейським вимогам, інтересам розвитку України й регіональним потребам. Водночас значно урізноманітнилися вимоги роботодавців до рівня кваліфікації та професійної компетентності інженерів машинобудівних спеціальностей.

На сьогодні професіоналізм фахівця машинобудівного профілю визначається передусім за його здатністю професійно розв'язувати виробничі завдання згідно з посадовими обов'язками, шукати нові рішення, творчо діяти на підставі аналізу технологічних процесів і явищ, що відбуваються в умовах перетворення машинобудівної галузі.

На необхідності підвищення професійного та загальнокультурного рівня випускників ЗВО наголошується в Законах України «Про освіту», «Про вищу освіту», «Про професійну (професійно-технічну) освіту».

Формування змісту навчання електротехніки здобувачів ЗВО неелектротехнічних спеціальностей, у якому будуть враховані особливості функціонування електротехнічних пристроїв у конкретній виробничій галузі, буде сприяти професійній спрямованості майбутніх фахівців, їхньому позитивному ставленню до професії, розвитку професійно важливих якостей. У зв'язку з процесами адаптації майбутніх інженерів в сучасному автоматизованому виробництві, постає необхідність формування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки, який стає обов'язковим складником їхньої професійної підготовки у будь-якій галузі, зокрема машинобудівній.

Проблема професійно орієнтованої електротехнічної підготовки інженерів у різних галузях народного господарства висвітлена в роботах В. Кононенка (зміст професійно орієнтованої підготовки інженерів будівельної галузі), А. Воробйова (електротехніка та електрообладнання будівельних процесів), Д. Богданова (зміст навчання електротехніки та електроніки з питань електрообладнання та електротехнологій хімічних виробництв), В. Казакова (професійно орієнтована підготовка інженерів-конструкторів), Л. Зайнутдинові (формування професійно орієнтованих знань з електротехніки інженерів неелектротехнічних спеціальностей), Е. Зеєра (формування професійно орієнтованих знань інженерів-педагогів згідно з їхнім профілем).

Зміст та умови професійної орієнтації освітнього процесу, формування у здобувачів навичок самостійної навчальної роботи досліджено в працях Н. Булгакової, Н. Дятленко, В. Казакова. Також питання професійного спрямування дисциплін та професійного становлення майбутніх фахівців вивчають С. Батишев, І. Богданов, О. Врублевська, О. Гулай, Е. Зеєр, Г. Кашканова, І. Козловська, Н. Кузьміна, Ю. Кустов, Н. Ничкало, Н. Рудевіч, Л. Сергієнко, Л. Шевченко, Д. Щербакова.

Однак у наукових працях зазначених авторів фрагментарно розглядається побудова професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів відповідної галузі: будівельної (А. Воробйов, В. Казаков, В. Кононенко), суднобудівельної (І. Костилюк, С. Чижиумов), галузі хімічних технологій (Д. Богданов). Водночас і професійну орієнтацію змісту навчання електротехніки досліджено недостатньо, не в повній мірі враховано вимоги професіограми інженера машинобудівної галузі у формуванні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки.

Аналіз теоретичних і практичних питань проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей дозволив виявити низку *суперечностей* між:

– необхідністю формування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей і недостатнім рівнем його професійної орієнтації;

– потребою в теоретичних та методичних засадах проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей і недостатнім рівнем їхнього розроблення;

– необхідністю використання моделей професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей і фрагментарністю й несистемністю їхнього розроблення.

Отже, виникає необхідність у розробленні концепції системного проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки у вигляді моделей, які були б спрямовані на врахування особливостей діяльності інженерів у відповідних галузях й сприяли реалізації їхніх професійних завдань у конкретних виробничих ситуаціях.

У зв'язку з цим актуалізується проблема підвищення якості навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей шляхом проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки, адаптації його до нових технологічних й економічних умов розвитку промислового виробництва країни. Досконале знання особливостей предметної галузі, різноманіття електротехнічного обладнання цієї сфери промисловості дозволить підвищити якість професійної підготовки фахівців та успішно реалізувати майбутню професійну діяльність.

Актуальність визначеної проблеми, необхідність усунення виявлених суперечностей, недостатність наукового та практичного дослідження цієї проблеми зумовили вибір теми дисертаційної роботи: **«Проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей на основі комплексних моделей»**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Наукове дослідження виконано в межах науково-дослідної роботи Української інженерно-педагогічної академії «Створення теоретичних і методичних основ професійної підготовки майбутніх інженерів на засадах каузального навчання» (РК № 0117U001240), що фінансувалась за рахунок державного бюджету України. Тему дисертації затверджено Вченою радою Української інженерно-педагогічної академії (протокол № 6 від 26 грудня 2014) та узгоджено в Міжвідомчій раді з координації досліджень у галузі освіти, педагогіки і психології (протокол № 1 від 28 січня 2020).

Мета дослідження полягає в підвищенні якості навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей шляхом теоретичного обґрунтування, розроблення та апробації професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки в закладах вищої освіти з використанням комплексних моделей його представлення.

Для досягнення мети в дисертаційній роботі визначено такі **завдання**:

1. Визначити і обґрунтувати концептуальні педагогічні, загальнонаукові і галузеві засади проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей.

2. Провести аналіз професійної діяльності інженерів машинобудівних спеціальностей.

3. Здійснити аналіз існуючого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей і визначити проблему дослідження.

4. Теоретично обґрунтувати й розробити узагальнену комплексну модель елементів професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей.

5. Здійснити проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей на основі комплексних моделей.

6. Експериментально перевірити ефективність розробленого професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей.

Об'єкт дослідження – зміст навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей у закладах вищої освіти.

Предмет дослідження – професійно орієнтований зміст навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей на основі комплексних моделей.

Гіпотеза дослідження полягає в тому, що якість навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей підвищиться за умови впровадження професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі застосування комплексної трискладової (системно-інформаційна, топологічна, розрахункова складові) моделі навчальних елементів змісту навчання.

Методологічну та теоретичну основу дослідження становлять: основи теорії наукового пізнання та положення щодо професійної діяльності фахівців взагалі та інженерів зокрема (Л. Виготський, П. Гальперін, Р. Гуревич, В. Загвязінський, Е. Зеєр, М. Зіновкіна, Є. Клімов, О. Коваленко, Т. Лазарєва, О. Леонтьєв, Б. Ломов, А. Маркова, М. Нечаєв, Н. Тализіна, В. Хоменко, В. Шадріков); основні положення педагогіки вищої школи щодо підготовки інженерних кадрів (С. Архангельський, А. Ашерів, В. Безрукова, В. Беспалько, І. Гавриш, Л. Гризун, Н. Ерганова, Г. Єльнікова, Д. Коваленко, П. Лузан, Е. Лузік, В. Лунячек, І. Підласий, Д. Чернілевський, Л. Штефан, В. Ягупов); положення системного підходу (Ю. Бабанський, В. Беспалько, Н. Кузьміна); дослідження теорії змісту навчання (Б. Блум, Н. Брюханова, О. Коваленко, М. Лазарєв); наукові засади навчання електротехніки та формування основ проєктування та моделювання електротехнічних пристроїв (М. Анвельт, С. Беневоленський, І. Богданов, Ю. Борисов, А. Блажкін, М. Будіщев, В. Вартабедян, Б. Волинський, А. Воробйов, В. Герасимов, Г. Канюк, В. Мілих, В. Пантюшин, Н. Рудевіч, Ю. Татур).

Для розв'язання поставлених завдань були застосовані такі **методи дослідження**:

- *теоретичні*: аналіз психолого-педагогічної, електротехнічної та науково-методичної літератури з проблеми дослідження для встановлення стану її наукової розробленості; проектування та моделювання елементів змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей для розроблення комплексних моделей; узагальнення, порівняння, класифікація та систематизація теоретичних та практичних положень для формулювання результатів дослідження;

- *емпіричні*: аналіз та узагальнення педагогічного досвіду, анкетування, тестування, педагогічний експеримент (констатувальний, формувальний та порівняльний етапи) для визначення ефективності професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей;

- *статистичні*: методи математичної статистики для кількісного та якісного аналізу емпіричних даних (критерії Ст'юдента, Фішера).

Наукова новизна результатів дослідження полягає в тому, що:

вперше теоретично обґрунтовано, розроблено й експериментально перевірено:

- новий клас моделей елементів змісту навчання електротехніки – комплексні трискладові моделі, які містять системно-інформаційну, топологічну та розрахункову складові, що дозволяє здійснювати повний опис електротехнічних об'єктів;

- узагальнену комплексну трискладову модель елементів професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей, складові якої містять як загальнотехнічну компоненту, так і галузеву, що підвищує якість професійного навчання;

- професійно орієнтований зміст навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей, який представлено у вигляді системи комплексних трискладових моделей елементів змісту навчання, що

підвищує рівень сформованості електротехнічної компетентності майбутніх фахівців;

уточнено:

- класифікацію електротехнічного обладнання виробничих механізмів і технологічних пристроїв машинобудівної галузі, уточнення полягає у використанні розширеної класифікації за групами промислового обладнання, яке застосовується в машинобудуванні;

- зміст електротехнічної компетентності інженерів машинобудівних спеціальностей, який обумовлено їхніми посадовими обов’язками й нормативними документами з експлуатації промислового обладнання.

Практичне значення одержаних результатів дослідження полягає в розробленні та впровадженні теоретично обґрунтованого та експериментально перевіреного професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей; системи професійно орієнтованих задач; навчально-методичного посібника «Електротехніка. Комплексні моделі змісту навчання».

Упровадження результатів дослідження. Результати дослідження впроваджено в освітній процес Української інженерно-педагогічної академії (довідка № 105-46-12 від 12.02.2020), Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (довідка № 02-66-132 від 18.06.2020), Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (довідка № 01-650 від 18.06.2020).

Результати дисертаційної роботи можуть бути використані в процесі професійної підготовки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей, у системі підвищення кваліфікації науково-педагогічних працівників та в закладах післядипломної освіти з метою підвищення ефективності професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі.

Особистий внесок здобувача в працях, написаних у співавторстві (відповідно до списку наукових праць): [87, 88, 111, 112, 156, 159, 160, 165] – теоретичне обґрунтування та практичне розроблення за розділами

електротехніки цілей та змісту формування електротехнічної компетентності майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей; [89, 157, 158] – розроблення структури професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки, визначення чинників, які є провідними у формуванні змісту навчання електротехніки; [90, 166] – реалізація системного підходу до проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки при підготовці інженерів машинобудівних спеціальностей; [92] – розроблення узагальненої комплексної трискладової моделі елементів змісту навчання електротехніки для інженерів неелектротехнічних спеціальностей; [91, 167] – розроблення комплексних моделей основних електротехнічних елементів промислового обладнання машинобудівної галузі; [209] – визначення алгоритму побудови комплексних моделей електротехнічних елементів промислового обладнання; [163, 164] – визначення особливостей групової роботи із засвоєння моделей змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей.

Апробація результатів дослідження. Основні положення та результати дослідження доповідались на науково-практичних конференціях різного рівня:

– *міжнародних*: «СО-MAT-TECH 2006» (Trnava, 2006); «Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2007» (Днепропетровск, 2007); «Настоящи постижения на европейската наука – 2009» (София, 2009); «Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2010» (Przemysl, 2010); «Качество технологий – качество жизни» (Харьков, 2011); «Динамикатана съвременната наука – 2011» (София, 2011); «Naukowa przestrzen Europy – 2012» (Przemysl, 2012); «Качество технологий – качество жизни (Солнечный берег, 2012); «Найновите постижения на европейската наука – 2015» (София, 2015); «Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2016» (Przemysl, 2016); «Modern european science – 2018» (Sheffield, 2018); «Strategiczne pytania swiatowej nauki – 2019» (Przemysl, 2019);

– *академічних*: XXXIX, XLIV, XLV, XLX науково-практичні конференції науково-педагогічних працівників, науковців, аспірантів та співробітників Української інженерно-педагогічної академії (Харків, 2006, 2011, 2012, 2016).

Публікації. Основні теоретичні положення та результати дисертаційної роботи опубліковано у 24 наукових та науково-методичних працях (з них 5 одноосібно), у тому числі 1 навчальний посібник; 2 навчально-методичних посібника; 8 статей – у провідних наукових фахових виданнях України; 1 стаття – у зарубіжному періодичному виданні; 12 публікацій – у матеріалах наукових конференцій.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПРОЄКТУВАННЯ ЗМІСТУ НАВЧАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ МАШИНОБУДІВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНИХ МОДЕЛЕЙ

1.1. Концептуальні педагогічні, загальнонаукові і галузеві засади проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей

На початку проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей визначимо базис педагогічних законів та принципів.

Аналіз джерел [125, 196] дозволив визначити, в якості підґрунтя проєктування професійно орієнтованого змісту навчання, наступні основні педагогічні закони: закон соціальної зумовленості цілей, змісту і методів навчання; закон виховного і розвивального навчання; закон зумовленості навчання характером діяльності тих, хто навчається; закон цілісності та єдності дидактичного процесу; закон єдності та взаємозв'язку теорії та практики навчання.

Визначимо концептуальну спрямованість зазначених педагогічних законів у процесі проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей.

Реалізація цих законів, при проєктуванні змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей, вимагає проведення аналізу професійної діяльності інженера машинобудівної галузі. Цей аналіз повинен містити також аналіз технологічного обладнання машинобудівної галузі та їх складових елементів. Крім цього необхідно проаналізувати також посадові обов'язки інженера-механіка машинобудівної галузі, визначити систему його професійних знань, умінь та професійно важливих якостей, які і визначають електротехнічну компетентність фахівця.

Результати цього аналізу мають складати основу розроблення професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівної галузі.

Проведений аналіз джерел [125, 196] дозволив визначити систему сучасних дидактичних принципів, на яких має ґрунтуватися професійно орієнтований зміст навчання електротехніки. До цих принципів належать: принцип розвивального і виховного характеру навчання; принцип науковості змісту навчання; принцип практичної спрямованості навчання; принцип системності і послідовності навчання; принцип гуманізації та гуманітаризації навчання; принцип оптимізації навчання; принцип доступності і дохідливості навчання; принцип наочності навчання; принцип мотивації навчання; принцип активності та свідомості навчання; принцип міцності засвоювання знань, формування навичок та вмінь.

Визначимо концептуальні засади реалізації цих дидактичних принципів при розробленні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівної галузі.

Принцип розвивального і виховального характеру навчання спрямований на вирішення триєдиної задачі педагогіки – навчання, розвиток і виховання. Актуальність цього дидактичного принципу підвищується в умовах реалізації компетентнісного підходу у навчанні, який передбачає формування не тільки знань, умінь та навичок, а й розвиток і виховання професійно важливих якостей майбутнього фахівця. Цю можливість має забезпечувати і професійно орієнтований зміст навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей.

Принцип науковості змісту навчання передбачає відповідності його сучасному рівню розвитку науки і техніки.

У нашому випадку реалізація цього дидактичного принципу вимагає:

- формування змісту навчання електротехніки з урахуванням останніх досягнень електротехнічної науки і техніки;
- тісного зв'язку з сучасним рівнем розвитку машинобудівної галузі;

- відображення у змісті навчання електротехніки досягнень, як вітчизняної, так і світової науки і техніки.

Реалізація принципу практичної спрямованості навчання полягає у врахуванні у професійно орієнтованому змісті навчання електротехніки реального електротехнічного обладнання машинобудівної галузі та видів професійних робіт з ним.

Принцип системності і послідовності навчання визначає, у нашому випадку, необхідність системної організації професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки у вигляді ієрархічних структур навчальних елементів. Реалізація послідовності навчання, згідно з цим принципом, передбачає використання послідовних причинно-наслідкових інформаційних ланцюгів. Реалізація принципу гуманізації та гуманітаризації навчання, при розробленні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки, полягає у відображенні у змісті навчання електротехніки такі електротехнічні пристрої машинобудівної галузі, які автоматизують та механізують тяжку людську працю, що реалізує принцип гуманізму (людяності).

Що стосується здійснення гуманітаризації навчання, то при розробленні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки, необхідно більш широко і системно використовувати закони і категорії філософії – спільної основи гуманітарного і технічного знання.

Принцип оптимізації навчання полягає у мінімізації зусиль і часу на досягнення якісних результатів навчання. При розробленні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки реалізація цього дидактичного принципу пов'язана, перш за все, з використанням дидактичних моделей представлення змісту навчання, які дозволяють мінімізувати когнітивні зусилля здобувачів [86].

Реалізація принципу доступності і дохідливості навчання також, як і при реалізації принципу оптимізації навчання, тісно пов'язана зі зменшенням когнітивних зусиль здобувачів. Одним з основних шляхів забезпечення доступності і дохідливості навчання, при використанні

дидактичних моделей представлення змісту навчання, є використання єдиної основи структурування навчального матеріалу [86].

Дотримання принципу наочності в навчанні також є одним зі шляхів зменшення когнітивних зусиль при засвоєнні змісту навчання. Виділяють наочність навчального матеріалу на фізичному та на логічному рівні [86]. Для такої складної навчальної дисципліни як електротехніка, найбільш важливим є забезпечення наочності на логічному рівні. Це у значній мірі дозволяють дидактичні моделі: інформаційні, графічні (у випадку електротехніки – топологічні), математичні [86].

Реалізація принципів мотивації, активності та свідомості навчання є потужним інструментом підвищення активізації і, як наслідок, підвищення ефективності й якості навчання [196]. Цьому в значній мірі сприятиме забезпечення професійної спрямованості змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей, як основного професійного фактора мотивації, активності та свідомості навчально-пізнавальної діяльності здобувачів цього напрямку.

Принцип міцності засвоєння знань, формування навичок та вмінь є завершальним у системі дидактичних принципів. Основними правилами цього принципу є [196]:

- засвоєння нового навчального матеріалу у поєднанні з уже засвоєним;
- використання при засвоєнні змісту навчання активізації навчально-пізнавальної діяльності здобувачів;
- неперервна систематизація змісту навчання, виокремлення його основних смислових логічних структур;
- врахування професійного спрямування галузі підготовки у змісті навчання.

Ефективній реалізації принципу міцності засвоєння знань, формування навичок та вмінь у проектуванні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних

спеціальностей, сприятиме використання дидактичних моделей, які у повній мірі відповідають основним правилам цього дидактичного принципу.

При проєктуванні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки необхідно орієнтуватися не на окремі принципи навчання, а на їх систему. Такий системний підхід при проєктуванні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки забезпечить ефективність всього дидактичного процесу.

Проведений аналіз дидактичних законів та принципів дозволяє зробити висновок про те, що одним з основних напрямів системної реалізації дидактичних законів та принципів при проєктуванні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки є розроблення методу моделювання професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних дидактичних моделей представлення змісту навчання, які мають містити інформаційну, топологічну та математичну складові.

Визначимо загальнонаукові і галузеві підходи і методи, на яких має ґрунтуватися проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівної галузі.

Проєктування, згідно [169], є процес створення прообразу бажаного об'єкту або процесу.

Одним з основних підходів до проєктування є системний підхід [169].

До концептуальних основ системного проєктування у сфері вищої освіти належать [169]:

- визначення загальнонаукових категорій проєктування (мета, етапи, структура об'єкта проєктування);
- визначення стратегій системного проєктування, які враховують складність і специфічні особливості освітніх систем.

Педагогічні проєкти, як правило, представляють собою моделі, які фахівці в галузі моделювання відносять до концептуальних основних моделей структурно-функціонального типу [169].

Визначимо стратегії реалізації системного підходу у процесі проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівної галузі у вигляді системи моделей.

Реалізація системного підходу при проєктуванні змісту навчання має дві стратегії – змістову і процедурну [86].

Реалізація змістової стратегії обумовлює необхідність розроблення змісту навчання у вигляді макромоделей ієрархічної структури елементів змісту навчання [86].

При цьому кожний елемент змісту навчання для неперервної реалізації методу моделювання слід також представляти у вигляді моделі. Ці моделі повинні містити як інваріантну (загальну), так і професійно орієнтовану складові змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівної галузі.

Процедурна стратегія реалізація системного підходу при проєктуванні змісту навчання має два варіанти – індуктивна (знизу вгору) та дедуктивна (зверху вниз) [86]. Ці обидва варіанти повинні діалектично поєднуватись у процесі проєктування змісту навчання електротехніки.

До галузевого наукового підґрунтя проєктування на основі моделювання професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки слід віднести рівняння Максвелла [67, 133].

Ці рівняння є основою адекватного моделювання елементів електричних кіл та електротехнічних пристроїв промислового обладнання машинобудівної галузі.

Для повної характеристики електромагнітних явищ, в будь-якому пристрої, необхідно знати просторовий розподіл величин, які їх визначають – густина струму, напруженість електричного поля, магнітна індукція та ін., а також їх змінення в часі. Тому, для повноти розуміння електромагнітних явищ, необхідно спиратися на рівняння Максвелла, на яких, при певних допущеннях, базується теорія електричних і магнітних кіл.

1.2. Аналіз професійної діяльності інженерів машинобудівного профілю

З метою реалізації основних законів педагогіки, при проектуванні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки, проведемо аналіз професійної діяльності інженерів машинобудівного профілю. Для цього розглянемо електротехнічну базу промислового обладнання машинобудівного виробництва.

Основою економіки індустріально розвинутих країн світу є електроенергетика і на її базі електрифікація всіх галузей промислового виробництва [23, 69, 187, 188, 206]. Зростаюча роль електричної енергії і її широке застосування в житті сучасного суспільства визначається перш за все необхідністю інтенсифікації виробництва за рахунок комплексної автоматизації, впровадження нових технологій, роботехнічних пристроїв і маніпуляторів, сучасної обчислювальної і інформаційно-вимірювальної техніки. Тому в обладнанні сучасного машинобудівного підприємства зорієнтованого на застосування новітніх технологій провідну роль відіграє електрообладнання, тобто сукупність електричних машин, апаратів, вимірювальних приладів та пристроїв технологічного призначення, за допомогою яких відбувається перетворення електричної енергії в інші види енергії, а також забезпечується автоматизація технологічних процесів і здійснюється управління виробництвом [21, 25, 26, 31, 69, 109, 126, 171].

Однією з провідних галузей економіки є машинобудування. Процес виготовлення машинобудівної продукції складається з операцій, що використовують різноманітні технологічні пристрої як загального, так і спеціального призначення. Технологічне та електрообладнання машинобудівного виробництва здебільшого типово для промислових компаній, але це не виключає використання нестандартних установок, які виготовляються безпосередньо на самих підприємствах.

Машинобудування характеризується широким розмаїттям технологічних процесів, що споживають електроенергію: термічна обробка, зварювання, обробка металів тиском і різанням, ливарне виробництво тощо. Машинобудівні компанії значною мірою оснащені електрифікованими підйомними і транспортними пристроями, насосами, компресорами, вентиляторами та іншим обладнанням. Застосування сучасного електротехнічного устаткування не тільки підвищує ступінь автоматизації окремих агрегатів та допоміжних механізмів, але також дозволяє створювати повністю автоматизовані виробничі лінії та роботизовані цехи [72].

Для автоматизації виробництва і механізації виробничих процесів великого значення набуває застосування багатодвигунового електроприводу, який укомплектований елементами силової електроніки та засобами електричного управління. Розвиток електричного приводу відбувається шляхом спрощення механічних передач та наближення електродвигунів до робочих органів машин і механізмів, а також через все більше використання електричного регулювання швидкості приводів. Широко застосовуються комплексні електроприводи, до складу яких входять тиристорні перетворювачі. Ці напівпровідникові компоненти використовуються для живлення двигунів постійного струму, як регулятори струму та напруги, та як перетворювачі частоти для живлення двигунів змінного струму [23, 29, 109].

Набувають все більшого поширення новітні засоби електричної автоматизації технологічного обладнання, машин та механізмів на базі напівпровідникових технологій. Активно впроваджуються в виробничий процес високочутливі контрольно-вимірювальні та регулювальні пристрої. Розширюється сфера застосування мікропроцесорних систем управління технологічними об'єктами з високоефективним програмним забезпеченням.

У сучасних умовах експлуатація електрообладнання вимагає глибоких і різноманітних знань, а завдання створення або вдосконалення нового електрифікованого технологічного вузла, механізму чи пристрою

вирішується спільними зусиллями інженерів різних спеціальностей. Вимоги до електротехнічних пристроїв формуються їх умовами експлуатації та параметрами технологічного процесу.

Необхідно також враховувати, що електротехнічні пристрої входять до складу промислового устаткування, тому їх не можна розглядати окремо від конструктивних та технологічних особливостей об'єкта, в якому вони використовуються. Тому інженери машинобудівних спеціальностей повинні добре знати не тільки основи технологічних процесів, конструкції металообробних верстатів, електричних машин, підйомно-транспортних механізмів, електротермічного та зварювального обладнання, а також їх електротехнічну складову.

Щоб забезпечити плідну співпрацю із спеціалістами електротехнічного напрямку, інженери неелектрики повинні володіти глибокими знаннями в галузі електротехніки і чітким розумінням конструкції, принципу дії, а також технічних і експлуатаційних властивостей основних електричних пристроїв, машин, апаратів, приладів, які узагальнені під терміном – електротехнічне обладнання промислового виробництва. Це електротехнічне обладнання промислового виробництва має бути основою професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки

Таким чином, електротехнічним обладнанням прийнято називати сукупність промислових виробів, які призначені для виконання певних функцій при вирішенні комплексної проблеми виробництва, розподілу, контролю, перетворення та використання електричної енергії [69].

Розглянемо види електроустаткування для машинобудівного виробництва, які є частиною професійної діяльності інженера-механіка.

Електротехнічні пристрої в машинобудуванні досить складні і різноманітні. Технічні та експлуатаційні властивості типових електротехнічних пристроїв детально обговорюються в спеціалізованій літературі [23, 39, 53, 85, 97, 103, 105, 122, 142, 182, 192], в якій проводяться

певні класифікації кожного типу пристрою за його функціональним призначенням.

В цілому все різноманіття електрообладнання, що застосовується в машинобудуванні, можна розділити на кілька груп. Кожна група обособлює в собі елементи, які відповідають певним характеристикам. Таким чином, варіант спрощеної класифікації (рис. 1.1) передбачає наявність чотирьох основних груп [165].



Рис. 1.1. Класифікація електротехнічного обладнання

Однак таке спрощення не дає повного уявлення про складність і різноманітність всіх електричних пристроїв, що використовуються в сучасній промисловості. Кожна з обраних груп (рис. 1.2), в свою чергу, містить ряд складних високотехнологічних пристроїв, в яких переважає електротехнічна складова [1, 182, 192].

Розширена класифікація електротехнічного обладнання машинобудівного виробництва (рис. 1.2) представлена підгрупами найбільш характерних пристроїв, які застосовуються в машинобудуванні [88].

Кожна підгрупа складається з пристроїв, які об'єднані належністю до конкретної ланки виробництва.

Наприклад, електротехнологічне устаткування, в якому електрична енергія перетворюється в інші види енергії при одночасному здійсненні

технологічних процесів, за рахунок дії електричного струму, електричних і магнітних полів на матеріал, який обробляється.

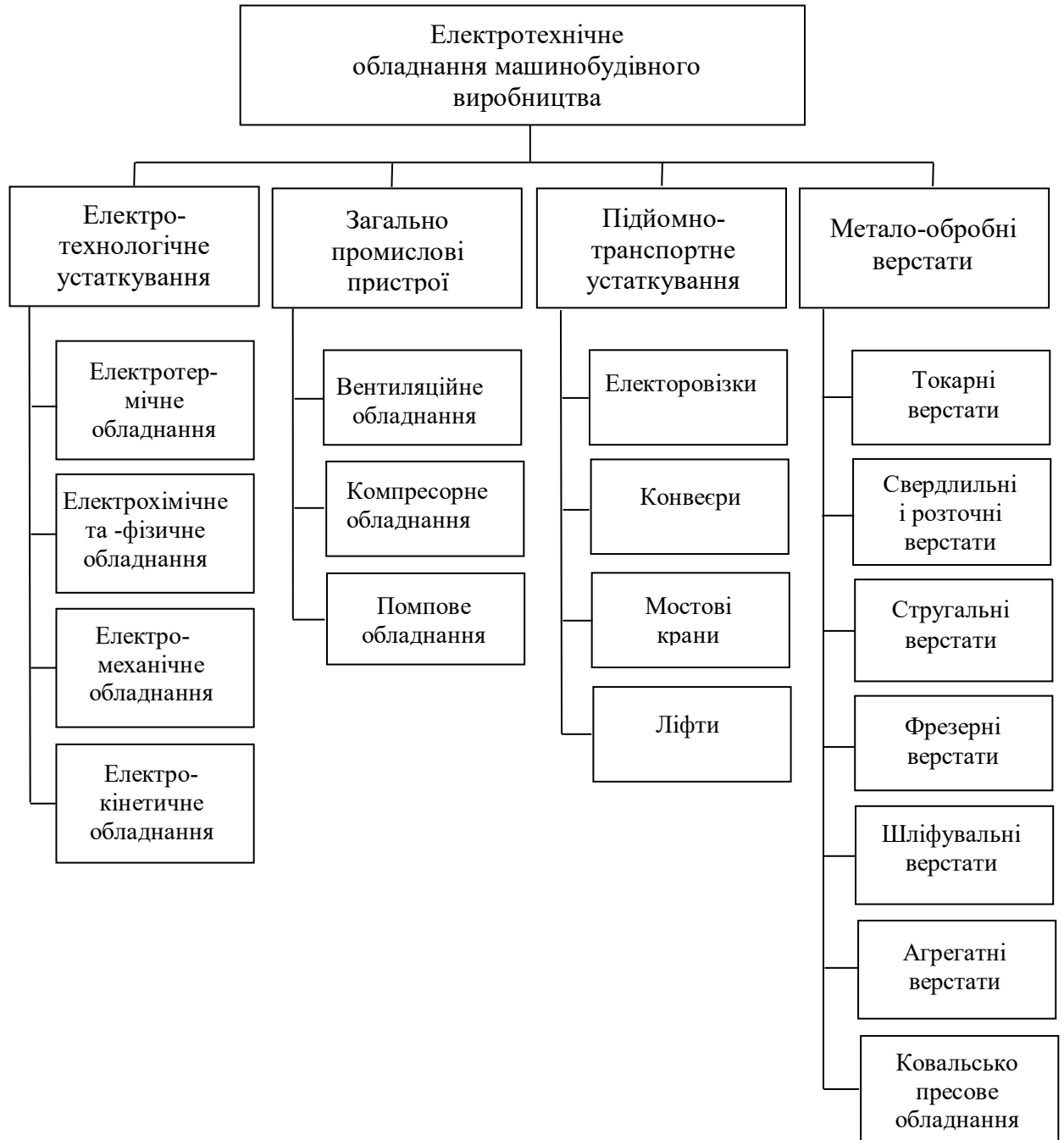


Рис. 1.2. Класифікація електротехнічного обладнання машинобудівного виробництва

Створення нових джерел енергопостачання, спорудження потужних ліній електропередач створило умови для розвитку передових

електротехнологій. Втілення удосконалених технологій в сферу промислового виробництва сприяє створенню матеріалів, які набувають нових властивостей: стійкість до дії агресивного середовища, високу міцність, термостійкість та ін. Створено принципово нові пристрої для високоточної обробки деталей, розроблено нові принципи конструювання і виготовлення електронних мікросхем.

В електротехнічних пристроях технологічного устаткування реалізується вплив електричного струму, електричного та магнітного полів на матеріал, який підлягає обробці. Під час технологічного процесу, дія вказаних електричних величин, залежить від стану речовини, що входить до складу продукту. Завдяки тому, що речовина може знаходитись у чотирьох агрегатних станах (твердому, рідкому, газовому та плазмовому), з комплексним впливом на кожен стан речовини, можна виконувати безліч різних технологічних операцій. До таких процесів належать: зміна температури, форми, структури, складу речовини тощо.

Все *електротехнологічне устаткування* можна розділити на окремі групи відповідних пристроїв, які відрізняються по характеру дії на речовину, що обробляється [53, 88, 182, 192].

Класифікація електротехнологічного устаткування, що широко застосовується в машинобудівній галузі показана на рис. 1.3, де виділено чотири основні групи пристроїв:

- електротермічні;
- електромеханічні;
- електрохімічні і електрофізичні;
- електрокінетичні.

Опис особливостей роботи елементів електротехнічного обладнання машинобудівного виробництва приведено в додатку М.

Всі електротехнічні пристрої, які входять до складу промислового обладнання – це пристрої, з якими інженер-механік повинен постійно

працювати. В додатку Л приведена класифікація представників електротехнічних пристроїв за основними групами.

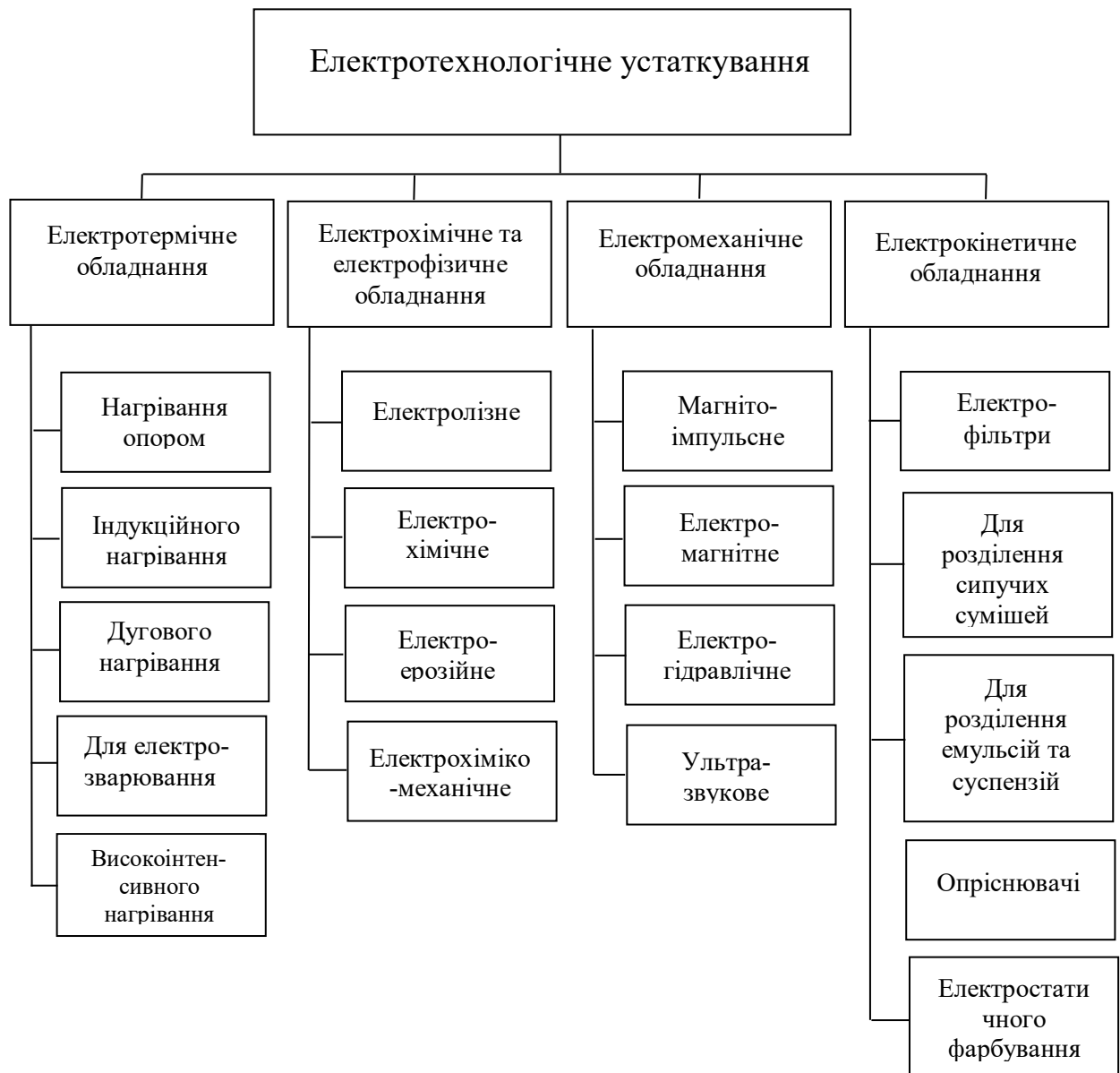


Рис. 1.3. Класифікація електротехнологічного устаткування

Наступним етапом, реалізації основних законів педагогіки при проєктуванні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки, проведемо аналіз видів професійної діяльності інженера машинобудівного профілю, які обумовлені його посадовими обов'язками.

Головне місце в підготовці інженера певного профілю займає спеціалізація [84, 130, 131, 143, 138-140, 150, 151, 166, 194]. Водночас виникає багато задач, які доводиться вирішувати інженеру на практиці, та які вимагають від нього знань інших галузей інженерної діяльності. Кожен виробничий процес різноманітний і вимагає від інженера-механіка, інженера-хіміка знань інженера-електрика та, можливо, будівельника або технолога. Інженерам різних профілів часто доводиться співпрацювати з фахівцями інших професій. Тому здобувачам також потрібно вивчити низку інженерних дисциплін, які безпосередньо не пов'язані з їх предметною галуззю. Саме тому інженерам-механікам необхідно вивчати основи електротехніки [80].

У сучасних умовах використання нових технологій, нової елементної бази, широке використання комп'ютерів та цифрових технологій у різних галузях промисловості, виводить на одне з провідних місць проблему формування якісної електротехнічної освіти також й у інженерів неелектротехнічних спеціальностей [110, 111].

Все це ще раз доводить що, в якій би галузі не працював нинішній фахівець, будь-то в галузі машинобудування, електрозварювання чи хімічної технології, він не зможе бути провідним спеціалістом у близькій йому галузі науки і техніки, якщо він не засвоїть основи електротехніки.

Інженер-механік повинен добре знати властивості та характеристики різних електричних та електронних пристроїв для проектування, конструювання та особливо для експлуатації їх у складі обладнання, з яким пов'язана його професійна діяльність [112, 115, 159, 160].

Основним джерелом інформації, в якому відображені особливості професійної діяльності спеціаліста будь-якого профілю є професіограма фахівця відповідного напрямку.

Особливості формування професійно важливих якостей майбутніх інженерів різних підготовчих напрямків завжди була в центрі уваги теорії та практики педагогіки [73, 74, 94, 95, 96, 101, 176, 179, 181, 184, 196, 197, 198]. Роботи багатьох вчених були присвячені процесу підготовки майбутніх

інженерів. та розвитку їх професійних якостей. Дослідження В. Казакова, В. Ядова стосуються інженерів-конструкторів, роботи В. Бессараба, Е. Зеєра, В. Кунтиш, Г. Неустроєва – інженерів-педагогів, роботи І. Костилєва, С. Чижумова – інженерів-суднобудівників.

Визначення професійно важливих якостей майбутніх інженерів машинобудівників знайшло своє відображення в професіограмі фахівця напрямку підготовки «інженерна-механіка», на основі якої будується структурно-функціональна модель діяльності інженера-механіка [37, 38, 156, 157, 158].

Кожен вид професійної діяльності висуває свої специфічні вимоги до людини.

Відповідно до переліку, який приведено в класифікаторі професій України (ДК 003:2010) [71] інженери-механіки, які найчастіше зустрічаються на виробництві, це:

- інженер з комплектації устаткування
- інженер з інструменту;
- інженер з механізації трудомістких процесів;
- інженер з механізації та автоматизації виробничих процесів.

Інженер машинобудівної спеціальності повинен: знати стан та перспективи розвитку техніки та технологій у своїй галузі та у суміжних галузях; засвоїти сучасні методи оцінки продуктивності праці та сучасні методи проєктування. Він також повинен мати чітке розуміння предмету наукової методології, завдань у цій галузі, методів прогнозування та розвитку технологій; знати основні принципи організації та управління виробництвом, а також економіку галузі. Сучасний інженер повинен мати необхідні знання з питань охорони праці та безпеки життєдіяльності людини, а також кваліфіковано використовувати оргтехніку та інформаційно-вимірвальну техніку [22, 30, 80, 102].

Поле професійної діяльності інженера-механіка обумовлене його посадовими обов'язками, серед яких можна виділити найбільш вагомі [51, 128, 129]:

- організація роботи з раціональної експлуатації, технічному обслуговуванню, ремонту і модернізації механічного обладнання, машин, пристроїв та апаратів, автоматичних ліній і систем комплексної механізації та автоматизації;

- розроблення та упровадження прогресивних методів ремонту і відновлення вузлів та деталей механізмів, а також заходів по збільшенню термінів служби обладнання, скороченню його простоїв, попередження аварій та виробничого травматизму, зниження трудомісткості та собівартості ремонту, підвищення його якості;

- контроль якості ремонту, технічного обслуговування та модернізації всіх видів обладнання, організація обліку виконання цих робіт;

- участь в розробленні технічних завдань та заходів на реконструкцію діючих та створення нових пристроїв, конструкцій, обладнання;

- участь в прийомі, налагодженні, випробуваннях, установлення нового обладнання, в впровадженні засобів механізації трудомістких робіт;

- аналіз умов роботи обладнання, окремих деталей та вузлів, а також причин і тривалості простоїв, зв'язаних з технічним станом обладнання.

Для виконання кожної з цих функцій в майбутній професійній діяльності інженер-механік повинен володіти відповідною системою вмінь.

Нижче ми приводимо основні загальні, значущі для виконання професійної діяльності інженера-механіка, відповідно до кожної функції, вміння [129, 132]:

- уміння визначати режими роботи електротехнічного обладнання й систем електропостачання;

- уміння визначати основні теплофізичні параметри технологічних процесів;

- уміння визначати технологічні характеристики процесів обробки матеріалів із застосуванням електричного розряду та висококонцентрованих потоків енергії;
- уміння визначати технологічні характеристики процесів обробки матеріалів із застосуванням анодного розчинення, коливань ультразвукової частоти або їх комбінованої дії;
- уміння проводити діагностику параметрів виробів, роботи машин та їх механізмів;
- уміння визначати технічний рівень та якість об'єктів проєктно-конструкторських та проєктно-технологічних розробок;
- уміння визначати експлуатаційну придатність виробів;
- уміння виконувати параметричні розрахунки машин;
- уміння виконувати розрахунки параметрів технологічного процесу;
- уміння конструювати приводи машин;
- уміння створювати комп'ютерні моделі оптимізації параметрів при розробці виробів;
- уміння забезпечувати оптимальний режим роботи обладнання;
- уміння організовувати експлуатацію та ремонт засобів виробництва;
- уміння здійснювати контроль параметрів виробів, роботи машин та їх механізмів.

Відповідність професійних умінь посадовим обов'язкам інженера-механіка та їх забезпеченість знаннями та уміннями з електротехніки приведені в табл. 1.1. Використання знань та умінь з електротехніки в предметній галузі машинобудування приведено в табл. 1.2.

Огляд професійних обов'язків інженера-механіка показує, що серед них важливе місце посідає обслуговування, експлуатація, модернізація та ремонт промислового обладнання. Виробниче устаткування, яке встановлене в цехових приміщеннях містить в своєму складі велику кількість електротехнічних пристроїв.

Таблиця 1.1

Відповідність навчання електротехніки професійній діяльності інженера

№ з/п	Посадові обов'язки	Професійні уміння	Знання та уміння з електротехніки
1	2	3	4
1.	Організація роботи з раціональної експлуатації, технічному обслуговуванню, ремонту і модернізації механічного обладнання, машин, пристроїв та апаратів, автоматичних ліній і систем комплексної механізації та автоматизації;	- уміння визначати режими роботи електротехнічного обладнання й систем електропостачання; - уміння визначати основні теплофізичні параметри технологічних процесів; - уміння забезпечувати оптимальний режим роботи обладнання; - уміння організовувати експлуатацію та ремонт засобів виробництва; - уміння проводити діагностику параметрів виробів, роботи машин та їх механізмів.	Знати: - основні правила експлуатації електрообладнання та методи вимірювання електричних величин; - будову, принцип дії та основні характеристики електротехнічних пристроїв. Вміти: - вибирати електротехнічні пристрої та електричні прилади для забезпечення працездатності промислового обладнання; - проводити розрахунки простих електричних кіл.
2.	Розробка та упровадження прогресивних методів ремонту і відновлення вузлів та деталей механізмів, а також заходів по збільшенню термінів служби обладнання, скороченню його простоїв, попередження аварій та виробничого травматизму, зниження трудомісткості та собівартості ремонту, підвищення його якості.	- уміння виконувати розрахунки параметрів технологічного процесу; - уміння забезпечувати оптимальний режим роботи обладнання; - уміння організовувати експлуатацію та ремонт засобів виробництва; - уміння визначати технологічні характеристики процесів обробки матеріалів із застосуванням електричного розряду та висококонцентрованих потоків енергії; - уміння визначати технологічні характеристики процесів обробки матеріалів із застосуванням анодного розчинення, коливальних ультразвукової частоти або їх комбінованої дії.	Знати: - основні закони електротехніки; - основи фізичних процесів в провідниках, напівпровідниках та діелектриках; Вміти: - на основі знань основних законів електротехніки складати рівняння, зв'язані з розрахунком кіл; - проводити перевірку працездатності елементів електротехнічних пристроїв.

Продовж. табл. 1.1

1	2	3	4
3.	Контроль якості ремонту, технічного обслуговування та модернізації всіх видів обладнання, організація обліку виконання цих робіт.	- уміння здійснювати контроль параметрів виробів, роботи машин та їх механізмів; - уміння проводити діагностику параметрів виробів, роботи машин та їх механізмів; - уміння виконувати параметричні розрахунки машин.	Знати: - методи розрахунку та вимірювання основних параметрів електричних кіл; - класифікацію електричних приладів, їх будову та область застосування; Вміти: - проводити перевірку працездатності елементів електротехнічних пристроїв; - правильно складати електровимірювальні схеми і знімати показання електровимірювальних приладів; - правильно експлуатувати електрообладнання та механізми передачі руху технологічних машин і апаратів.
4.	Участь в розробці технічних завдань та заходів на реконструкцію діючих та створення нових пристроїв, конструкцій, обладнання.	- уміння визначати технічний рівень та якість об'єктів проектно-конструкторських та проектно-технологічних розробок; - уміння виконувати параметричні розрахунки машин; - уміння виконувати розрахунки параметрів технологічного процесу; - уміння конструювати приводи машин; - уміння забезпечувати оптимальний режим роботи обладнання.	Знати: - основи теорії електричних машин, принцип роботи типових електричних пристроїв; - параметри електричних схем та одиниці їх вимірювання; - способи отримання, передачі та використання електричної енергії; - будову і принцип дії електричних машин. Вміти: - вибирати електротехнічні пристрої та електричні прилади для забезпечення працездатності промислового обладнання; - розраховувати параметри різноманітних електричних кіл;

Продовж. табл. 1.1

1	2	3	4
			- на основі знань електромагнітних процесів, що відбуваються в електротехнічних пристроях сформулювати технічне завдання на розробку електричних частин промислового обладнання.
5.	Участь в прийомі, налагодженні, випробуваннях, установленні нового обладнання, в впровадженні засобів механізації трудомістких робіт.	- уміння визначати режими роботи електротехнічного обладнання й систем електропостачання; - уміння визначати експлуатаційну придатність виробів; - уміння конструювати приводи машин.	Знати: - методи розрахунку і вимірювання основних параметрів електричних та магнітних кіл; - будову і принцип дії електричних машин. Вміти: - на основі знань основних законів електротехніки складати рівняння, зв'язані з розрахунком кіл; - проводити перевірку працездатності елементів електротехнічних пристроїв.
6.	Аналіз умов роботи обладнання, окремих деталей та вузлів, а також причин і тривалості простоїв, зв'язаних з технічним станом обладнання.	- уміння виконувати параметричні розрахунки машин; - уміння створювати комп'ютерні моделі оптимізації параметрів при розробці виробів.	Знати: - принципи побудови простих електричних кіл; - основні закони електротехніки, методи аналізу електричних та магнітних кіл. Вміти: - на основі знань особливостей енергетичних процесів в електричних пристроях розробляти заходи по запобіганню втрат електроенергії в устаткуванні машинобудівних підприємств; - розраховувати параметри різноманітних електричних кіл.

Тому робота автоматичних ліній та систем із складною механізацією та автоматизацією загалом неможлива без широкого використання електротехнічного обладнання [91, 166].

Таблиця 1.2

Зв'язок знань та умінь з електротехніки з предметною галуззю

№ з/п	Знання та уміння з електротехніки	Використання в предметній галузі машинобудування
1	2	3
1.	- проводити перевірку працездатності елементів електротехнічних пристроїв	- знання будови та принципу дії трансформаторів, електричних машин, елементів автоматики
2.	- вибирати електротехнічні пристрої та електричні прилади для забезпечення працездатності промислового обладнання	- знання будови, принципу дії та експлуатаційних характеристик електричних приладів, схем їх включення
3.	- правильно експлуатувати електрообладнання та механізми передачі руху технологічних машин і апаратів	- вміння виконувати розрахунки режимів роботи та основних експлуатаційних характеристик електричних машин постійного та змінного струмів
4.	- проводити розрахунки простих електричних кіл	- вміння виконувати розрахунки кіл постійного та змінного струмів
5.	- розраховувати параметри різноманітних електричних кіл	- вміння виконувати розрахунки опору, індуктивності, ємності елементів електричних кіл
6.	- правильно складати електровимірювальні схеми і знімати показання електровимірювальних приладів	- знання методів вимірювання електричних та неелектричних величин, електровимірювальних приладів їх будови та принципу дії
7.	- на основі знань основних законів електротехніки складати рівняння, зв'язані з розрахунком кіл	- вміння виконувати розрахунки основних електричних величин та режимів роботи промислового обладнання
8.	- на основі знань електромагнітних процесів, що відбуваються в електротехнічних пристроях сформулювати технічне завдання на розробку електричних частин промислового обладнання	- знання будови, принципу дії електротехнічних пристроїв та розрахунки їх основних експлуатаційних характеристик
9.	- на основі знань принципу дії електровимірювальних приладів вміти проводити вимірювання основних електричних і неелектричних величин, пов'язаних з роботою пристроїв машинобудівної галузі	- вміння виконувати розрахунки кіл постійного та змінного струмів в системах комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів
10.	- на основі знань особливостей енергетичних процесів в електричних пристроях розробляти заходи по запобіганню втрат електроенергії в устаткуванні машинобудівних підприємств	- вміння визначати оптимальні режими роботи електрообладнання та знати методи покращення його енергетичних характеристик

На практиці, в умовах виробництва, у нього дуже часто виникає необхідність розв'язувати ті задачі, які не представляють складності для інженера-механіка, який засвоїв курс електротехніки.

Інженер в своїй повсякденній роботі має справу з конкретними машинами, механізмами та іншими елементами промислового обладнання, у складі яких знаходяться різноманітні електротехнічні пристрої. Для їх удосконалення, модифікації, зміни їх характеристик інженер машинобудівної спеціальності повинен провести, нехай нескладні, якісь елементарні розрахунки. Виконуючі нескладні, але необхідні для своєї роботи розрахунки, він повинен замінити реальні елементи, їх моделями, їх спрощеними представленнями, за допомогою яких він і зможе провести ці розрахунки. Перехід від реальних об'єктів до їх моделей, і за допомогою моделей проведення необхідних розрахунків параметрів та характеристик промислового обладнання, і є одним з основних методів пізнання (метод моделювання), яким повинен оволодіти інженер машинобудівник. Таким чином інженера-механіка необхідно навчити за конкретним фізичним об'єктом бачити те, що називається схемою заміщення, або еквівалентною схемою і що насправді є ідеалізованою моделлю [88, 91, 166].

Основи моделювання закладені в філософії. Визначимо вимоги до розроблення методу моделювання змісту навчання електротехніки. Саме філософія визначає моделювання як метод пізнання навколишнього світу. Можливості моделювання, тобто переносу результату отриманого в ході побудови і дослідження моделі на оригінал, базуються на тому, що модель в певній мірі відображає основні риси і властивості реального об'єкту, які цікавлять дослідника. Модель виступає як своєрідний інструмент пізнання, який дослідник ставить між собою і реальним об'єктом і за допомогою якого вивчає цей об'єкт [88].

Проведений аналіз професійної діяльності інженера-механіка включає в себе аналіз різноманіття електротехнічних пристроїв, які входять до складу промислового обладнання, та аналіз видів робіт, з якими йому доводиться

займатися згідно з посадовими обов'язками. Отримані результати дозволяють сформулювати вимоги до змісту навчання електротехніки інженерів машинобудівного напрямку.

Першою вимогою є те, що професійно орієнтований зміст повинен враховувати ті види електротехнічних пристроїв, які входять до складу різних груп промислового обладнання, тобто тих пристроїв, з якими інженер-механік буде мати справу в процесі своєї професійної діяльності [89]. Як було показано на рис. 1.1, обладнання машинобудівного виробництва складається з чотирьох основних груп:

- електротехнологічне устаткування;
- загальнопромислові пристрої;
- підйомно-транспортне устаткування;
- металообробні верстати.

Кожна група містить електротехнічні пристрої, які живляться як від джерел постійного, так і змінного струмів. Споживачі постійного струму частіш за все зустрічаються в схемах автоматики, управління та регулювання режимів роботи механізмів та машин, в гальваніці, а також в автономних транспортних засобах, вантажопідйомних механізмах та в електроприводах важких металообробних верстатів. Споживачі змінного струму промислової частоти є домінуючими в електрообладнанні будь-якої галузі виробництва, в тому числі і машинобудівної галузі. Для потужних споживачів та для електроприводу змінного струму застосовують трифазну систему живлення, а для малопотужних пристроїв, кіл управління, освітлення, електрифікованих інструментів використовують однофазне живлення [29, 182, 192].

Друга вимога полягає в тому, що при формуванні змісту дисципліни необхідно враховувати особливості професійної діяльності інженера-механіка, які обумовлені його посадовими обов'язками. Він повинен виконувати певні функції, серед яких важливе місце займає робота з електрообладнанням механізмів та машин промислового призначення. Розглянуті раніше посадові обов'язки інженера-механіка, визначили ті види

робіт, які потребують від нього якісної електротехнічної підготовки. Згідно з проведеним аналізом можна виділити основні види робіт [89].

- модернізація машин, пристроїв та апаратів автоматичних ліній і систем комплексної механізації та автоматизації;
- розроблення технічних завдань та заходів на реконструкцію діючих та створення нових пристроїв, конструкцій, обладнання;
- впровадження прогресивних методів ремонту механізмів та машин, а також заходів по збільшенню термінів служби промислового обладнання;
- установлення, налагодження, випробування нового сучасного обладнання та впровадження засобів механізації трудомістких робіт.

Третя вимога визначає [166], що професійно орієнтований зміст дисципліни повинен сприяти формуванню відповідної системи вмінь майбутнього інженера-механіка, серед яких необхідно відмітити вміння працювати з електричними приладами та електротехнічними пристроями, та виконувати розрахунки параметрів та режимів роботи електротехнічного обладнання. Так серед умінь, які необхідні інженеру-механіку, з точки зору електротехніки слід відзначити:

- уміння визначати режими роботи електротехнічного обладнання та систем електропостачання;
- уміння виконувати розрахунки параметрів електричних машин, які є основою електроприводу;
- уміння проєктувати приводи машин та механізмів, які переважно мають електричну основу;
- уміння створювати комп'ютерні моделі, при розробці виробів, для оптимізації параметрів.

На рис. 1.4 показано, які фактори предметної галузі є основними і відіграють головну роль в формуванні професійно орієнтованого змісту дисципліни [89, 166].

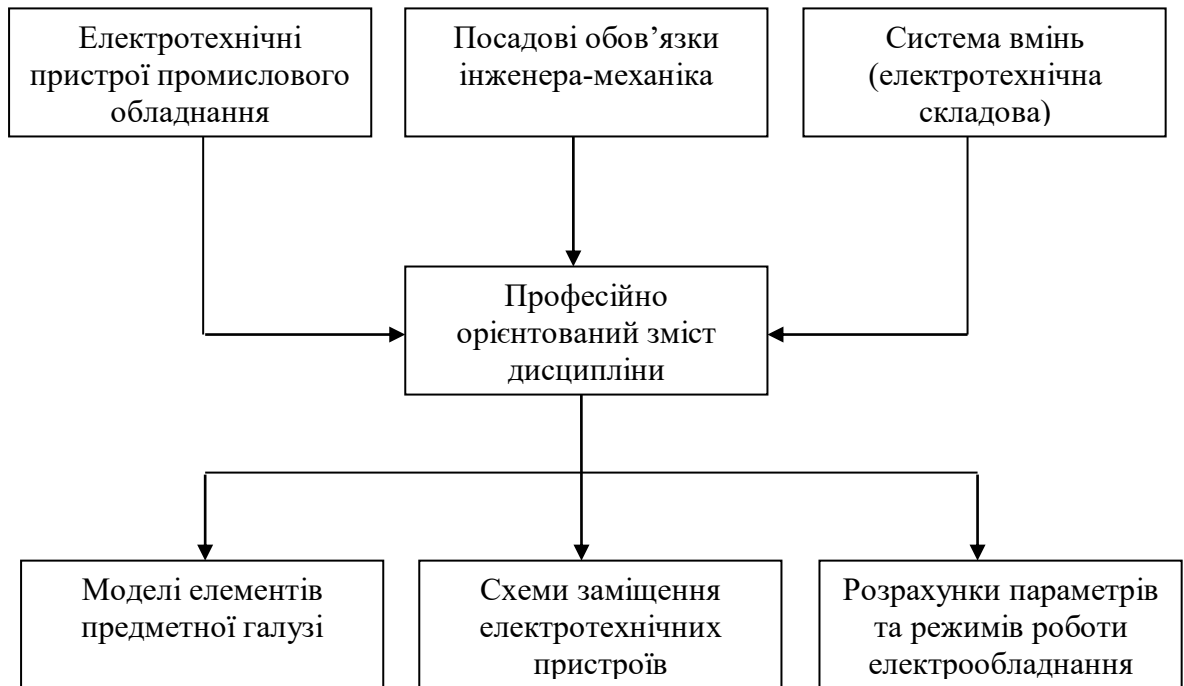


Рис. 1.4. Складові професійно орієнтованого змісту «Електротехніка»

Класична будова навчальної дисципліни «Електротехніка» складається з таких основних блоків [2, 9, 189]:

1. Основи теорії кіл

1.1. Електричні кола

- постійного струму;
- змінного струму (однофазні, трифазні).

1.2. Магнітні кола

- з постійними магніторухливими силами (МРС);
- із змінними МРС.

2. Електричні вимірювання

- засоби вимірювань;
- методи вимірювань.

3. Електричні машини

- трансформатори;

- машини постійного струму;
- асинхронні машини;
- синхронні машини;
- машини спеціального призначення.

Крім зазначених складових до змісту багатьох підручників та навчальних посібників з електротехніки додатково включають такі початкові розділи як «Основні поняття електротехніки», «Основні фізичні поняття та положення», «Основні елементи та властивості електричних кіл», «Елементи та параметри кіл».

До заключних розділів часто включають теми, які присвячені застосуванню різноманітних електротехнічних пристроїв в промисловому обладнанні: «Елементи електроприводу», «Апарати та схеми управління», «Електропостачання та електробезпека», «Апаратура управління та захисту».

У кожній групі електротехнічного обладнання, широко застосовуються пристрої, що працюють на постійному струмі. Розглянемо такі пристрої в кожній групі обладнання предметної галузі.

В електротехнологічному устаткуванні:

- зварювальні апарати з машинним генератором постійного струму;
- зварювальні апарати з випрямлячем;
- електролізне обладнання;
- електрохімічне обладнання;
- електроерозійні верстати;
- електрохіміко-механічне обладнання;
- кондукційна помпа магнітогідродинамічного принципу дії, яка призначена для транспортування рідких металів;
- електрофільтри;
- обладнання для електростатичного фарбування.

У загальнопромислових пристроях:

- схеми захисту та сигналізації синхронних двигунів компресорів.

У підйомно-транспортному устаткуванні:

- електрокари;
- електронавантажувачі;
- вантажопідіймальні електромагніти;
- електропривод кранових механізмів;
- схеми управління, захисту та сигналізації кранового електрообладнання.

У металообробних верстатах:

- електродвигуни постійного струму з різним типом збудження, в багатодвигунових та важких верстатах (стругальних, фрезерних, шліфувальних та ін.).

Професійна складова змісту електротехніки зорієнтована на конкретну галузь промислового виробництва, для якої ведеться підготовка майбутніх інженерів, в даному випадку інженерів-механіків для машинобудівної галузі.

Структура професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки [89, 113, 114, 159] приведена на рис. 1.5.

Основи професійно орієнтованого змісту базуються на тих складових, які відображають особливості та специфіку професійної діяльності інженера-механіка в умовах машинобудівного виробництва [161]. Ми виділили три складові, які, на відміну від загально прийнятих визначень, мають чітку орієнтацію на конкретну предметну галузь:

- моделі елементів;
- схеми заміщення;
- основи розрахунків параметрів та режимів.

Розглянемо *моделі елементів*. Кожен елемент схеми впливає на характер процесів, які протікають в електричному колі. Цей вплив визначається властивостями даного елемента у зрівнянні з властивостями інших елементів, а також схемою взаємних з'єднань окремих елементів, тобто властивостями кола в цілому. В багатьох випадках вплив деяких елементів на режим роботи електричного кола досить незначний і ним можна знехтувати. Необхідно враховувати, що в електротехніці в моделях

електричних кіл застосовуються їх ідеалізовані елементи. Найпростішими ідеалізаціями елементів електричних кіл є лінійні опори, індуктивності, ємності та ідеальні джерела напруги та струму.

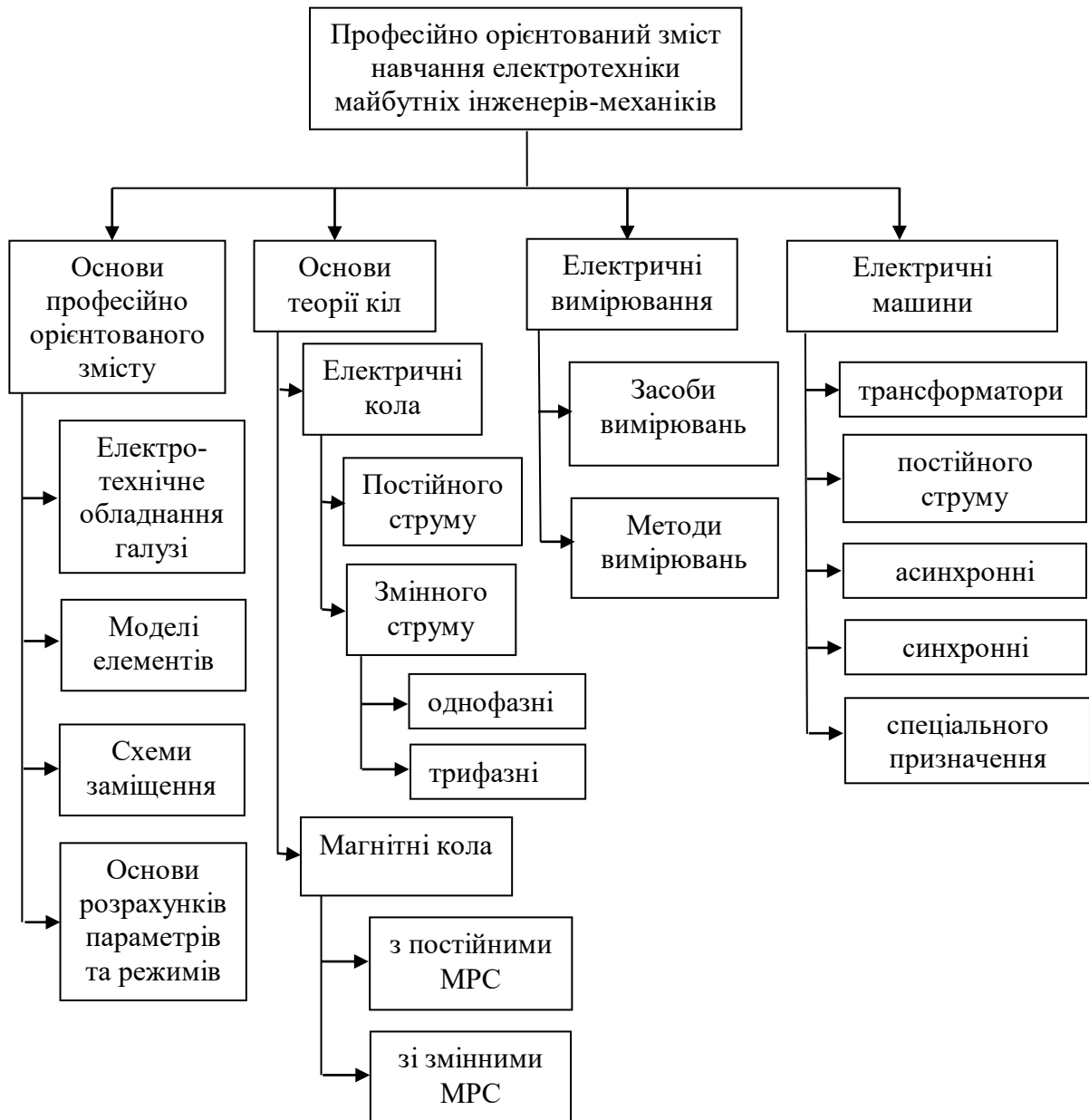


Рис. 1.5. Структура професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків

Надаючи характеристику ідеалізованим пасивним елементам електричного кола слід пам'ятати, що кожен з цих елементів відображає

тільки одну найбільш суттєву особливість електромагнітних процесів, які мають місце в реальних елементах електричних кіл. Кожен ідеалізований елемент має в якості прототипу реальний пасивний елемент: резистор, індуктивну котушку, або конденсатор. Процеси в реальних елементах набагато складніші, ніж в ідеалізованих, тому кожен реальний елемент електричного кола, окрім основного параметра, заради якого він створювався, може характеризуватися також іншими параметрами, які в електротехніці називають паразитними. Теоретично будь-який реальний пасивний елемент електричного кола може мати в своїй характеристиці всі три параметри: опір, індуктивність та ємність. Отже реальний елемент електричного кола можна представити за допомогою одного або сукупності ідеалізованих елементів (які характеризуються тільки одним параметром), з'єднаних певним чином. Складність моделі елемента суттєво залежить від багатьох факторів: конструкції реального елемента, технології його виготовлення, особливостей матеріалів, які були застосовані, а також від частотних характеристик електричного кола.

Розглянемо *схеми заміщення*. Розрахунки, які необхідно провести для визначення електричного стану кола, виконуються за допомогою схем заміщення. Схеми заміщення складаються з однотипних ідеалізованих елементів (моделей реальних елементів), які відображають найбільш характерні властивості елементів кола незалежно від їх дійсного призначення. Кількісна характеристика таких властивостей відображається числовими значеннями параметрів реальних об'єктів предметної галузі, які дійсно впливають на режим роботи електричного кола при визначених умовах його роботи [89].

При вирішенні практичних задач доводиться вибрати найбільш просту, але прийнятну схему заміщення. Складання такої схеми є найвідповідальнішою операцією при виконанні розрахунку і потребує добротної електротехнічної підготовки і володіння певними навичками електротехнічних розрахунків. Схеми заміщення дають можливість

визначити параметри режиму для будь-якого елемента кола шляхом вимірювань, а також проводити моделювання складних електротехнічних пристроїв на базі математичних моделей окремих елементів електричних кіл.

Розглянемо *основи розрахунків параметрів та режимів*. В реальних умовах експлуатації електротехнічного обладнання різноманітні джерела та приймачі електричної енергії утворюють складні електричні кола. Для забезпечення нормальних умов їх роботи необхідно проводити різноманітні розрахунки електричних кіл відповідних пристроїв по їх схемам заміщення. Зазвичай при розрахунках відомі встановлені потужності окремих споживачів та умови їх застосування, які дають можливість визначити потужність, яка одночасно споживається від джерела живлення. Аналіз і розрахунок умов роботи джерел електричної енергії, економічності постачання електричною енергією споживачів і забезпечення надійності їх експлуатації дозволяє в кінцевому підсумку вибрати як саме обладнання та захисні пристрої, так і перетин проводів, які з'єднують окремі елементи електричного кола. Щоб проводити подібні розрахунки використовують відомі закономірності між окремими величинами в електричних колах, а також різноманітні методи розрахунку електричних кіл, які вивчаються в електротехніці.

Основні розрахункові величини, які застосовуються при аналізі схем заміщення приведені в додатку Н.

1.3. Аналіз існуючого змісту навчання електротехніки та визначення проблеми дослідження

Електротехнічній підготовці інженерів неелектротехнічних спеціальностей завжди приділялось велике значення. Електротехнічна складова вважається однією з найважливіших в системі інженерної освіти, тому що електротехніка є теоретичною базою для цілого ряду інших дисциплін: електроніки, автоматики, обчислювальної техніки,

технологічного обладнання, зварювання та ін. Теоретичні методи, які розроблені в електротехніці (метод суперпозиції, теорія гармонічних коливань, моделювання та ін.), широко застосовуються в інших інженерних дисциплінах. І нарешті електротехнічні знання допомагають формувати інженерний світогляд майбутнього фахівця [80, 109, 187, 188, 197, 198].

Проаналізуємо існуючий зміст навчання електротехніки, який представлено в підручниках і навчальних посібниках з метою визначення рівня його відповідності вимогам професійної діяльності інженера машинобудівного напрямку.

Аналізу підлягає зміст підручників та навчальних посібників з електротехніки, призначених для здобувачів вищої освіти неелектротехнічних спеціальностей. Розглянемо матеріал, викладений в підручниках і навчальних посібниках, які мають назви «Електротехніка», «Основи електротехніки», «Загальна електротехніка», а також основну електротехнічну складову змісту інженерної підготовки майбутнього фахівця, яка представлена в навчальній літературі напрямку «Електротехніка та електроніка», «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка» і підручниках і навчальних посібниках, в яких основи електротехніки викладаються для здобувачів конкретних напрямів підготовки з урахування специфіки вибраної галузі.

Проаналізуємо на предмет професійної спрямованості зміст навчального посібника «Електротехніка» під редакцією В. Пантюшина [188].

Навчальний посібник призначений для здобувачів машинобудівних, гірничих, металургійних та теплоенергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів. Зміст посібника є класичним для підручників такого типу і складається з п'яти основних розділів.

У розділі 1 наводиться обґрунтування необхідності вивчення електричних кіл постійного струму. Показано, що незважаючи на панівне значення змінного синусоїдального струму в сучасній техніці, багато споживачів працюють на постійному струмі. Серед них відмічається

транспорт, електрообладнання кораблів, космічних пристроїв, літаків, автомобілів, в системах автоматики та механізації виробничих процесів.

Розглянуто нерозгалужені кола постійного струму. Приведені приклади застосування законів Ома та Кірхгофа для їх аналізу. Відмічено, що послідовне з'єднання елементів досить поширене в різних галузях техніки. Наприклад, в двигунах постійного струму послідовно з обмоткою якоря включають резистори із змінним опором для обмеження пускового струму (пусковий реостат) та для регулювання швидкості двигуна (регулювальний реостат). В електровимірювальній техніці послідовно з'єднані резистори складають вимірювальні магазини опорів, а послідовне підключення додаткових резисторів до вимірювальних механізмів, розширює їх границі вимірювання за напругою. Але при цьому, в посібнику відсутні конкретні приклади застосування електротехнічних пристроїв для машинобудування.

У навчальному виданні приведено основні методи аналізу складних кіл постійного струму з кількома джерелами живлення, а також кіл змінного синусоїдального струму на основі методу комплексних амплітуд.

У главі 7 «Трифазні кола» розглянуто основні співвідношення між лінійними та фазними струмами та напругами для трифазних споживачів електричної енергії при різних схемах з'єднання їх елементів. Це дозволяє виконати правильне підключення споживачів, враховуючи їх номінальні напруги.

У § 7.2 «Класифікація та способи включення приймачів в трифазне коло» приведені схеми включення:

- однофазних приймачів – лампи розжарювання (між лінійним та нейтральним проводами), однофазний двигун змінного струму, піч опору (між лінійними проводами);

- трифазних приймачів – трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, батарея конденсаторів для компенсації реактивної потужності, але при цьому відсутній опис цих пристроїв і їх місце і роль в промисловому устаткуванні машинобудівного виробництва.

Наведений матеріал може бути використаний в загальному розгляді теорії трифазних кіл.

У розділі 2 «Магнітні кола» приведена загальна теорія магнітних кіл з постійними та змінними силами, що намагнічують. Розглянуто методи аналізу магнітних кіл. Приведено приклади застосування магнітних кіл з електромагнітами та постійними магнітами в різних електротехнічних пристроях: електричних машинах постійного струму, електромагнітних реле, електровимірювальних приладах, дроселях. Розглянуто принцип дії, основи теорії та розрахунків трансформаторів, режими роботи та характеристики основних видів трансформаторів: силових (однофазних та трифазних), автотрансформаторів, вимірювальних трансформаторів струму та напруги. Але при цьому відсутній опис пристроїв, які застосовуються безпосередньо в машинобудуванні.

У розділі 3 «Електричні прилади та вимірювання» розглянуто види електровимірювальних приладів: прилади електромеханічної групи, електронні аналогові та цифрові прилади. Приведено методи вимірювання основних електричних та неелектричних величин. Відзначимо, що наведені методи можна використовувати в різних галузях промислового виробництва, в тому числі і в машинобудуванні.

У розділі 4 «Електричні машини» розглянуто електричні машини постійного та змінного струмів, як основні елементи електротехнічного обладнання, які призначені для перетворювання електричної енергії в механічну.

У главі 17 «Машини постійного струму», в § 17.1 приведено загальні відомості про застосування електричних машин постійного струму в складі промислового, технологічного, автотранспортного, підйомно-транспортного та іншого обладнання. Наведено дані про їх потужність, напругу, частоту обертання, коефіцієнт корисної дії та ін.

У § 17.17 вказано на можливість генераторного рекуперативного гальмування тягових двигунів електропоїздів. Для цього їх комплектують додатковою паралельною обмоткою збудження.

Глава 18 присвячена темі «Трифазні асинхронні двигуни». У § 18.1 відмічається, що завдяки високій надійності, низькій вартості асинхронні двигуни набули широкого застосування в системах електроприводу різних верстатів, ковальсько-пресових, підйомно-транспортних, помпово-компресорних та інших машин.

Але весь матеріал стосовно електричних машин носить в основному загальний характер і не містить необхідної інформації про їх застосування безпосередньо в промисловому обладнанні машинобудівної галузі.

У розділі 5 «Поняття про електропривод, апаратуру та схеми управління електроприводами» основними питаннями, які розглянуті в цьому розділі, є:

- елементи електропривода;
- апаратура та схеми управління.

У підрозділі «Механічні характеристики виробничих механізмів» дається загальне пояснення основним типовим характеристикам найбільш поширених виробничих механізмів. Пристрої, у яких момент опору зростає із збільшенням швидкості: вентилятори, відцентрові помпи, компресори, центрифуги. Деякі пристрої мають нелінійні спадаючі механічні характеристики: металорізальні верстати, моталки прокатного стану. Цілий ряд пристроїв має сталий момент опору: піднімальні крани, конвеєри, ліфти, деякі металообробні верстати.

У підрозділі «Діаграми моментів та потужностей» приведено графік руху та навантажувальні діаграми електроприводу шахтного підйомника, що дозволяє розрахувати сумарний момент на валу двигуна за один цикл роботи і правильно вибрати двигун необхідної потужності.

У підрозділі «Розрахунок потужності та вибір двигуна для тривалого режиму роботи» приведено наближені формули для визначення потужностей

двигунів таких поширених виробничих механізмів як компресор, вентилятор та помпа.

У підрозділі «Вибір типу двигуна» дано рекомендації з вибору електродвигунів з урахуванням особливостей режимів роботи виробничих механізмів, до складу яких вони входять.

Враховуючи призначення навчального посібника, можна констатувати, що профілізація змісту посібника з урахуванням специфіки предметної області машинобудування, загалом, недостатня.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок про те, що зміст навчання, представлений в розділах аналізованого навчального посібника має загальний характер і не достатньо прив'язаний до конкретної предметної галузі машинобудування, тобто не є професійно орієнтованим змістовим матеріалом.

Розглянемо зміст навчального посібника «Загальна електротехніка» авторів Ю. Борисова, Д. Ліпатова [19]. Посібник призначений для здобувачів машинобудівних, гірничих, металургійних та теплоенергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів.

У розділі «Електричні кола постійного струму», в § 1.8 «Електричні кола з одним джерелом» розглянуто приклад розрахунку режимів роботи електричного кола, в якому приведена методика визначення:

- напруги на окремих елементах кола;
- потужності споживачів;
- втрати напруги та потужності в дротах;
- потужності, що споживається від джерела живлення.

Дається алгоритм проведення розрахунків, показано, що при збільшенні числа приймачів в електричному колі загальний опір зменшиться і це приведе до збільшення струму, потужності джерела живлення і втрат напруги на дротах, за рахунок чого зменшиться напруга на споживачах. Але приклад відтворює ідеалізоване електричне коло і неприв'язаний до будь-якої конкретної предметної галузі.

У § 1.11 «Нелінійні електричні кола постійного струму» приведено перелік деяких елементів пристроїв автоматики, які характеризуються належністю до предметної галузі машинобудування.

У § 1.12 «Електричні кола з конденсаторами» показано, що конденсатори застосовуються в радіотехнічних, телекомунікаційних пристроях, електронних пристроях різного призначення, промисловому обладнанні і є елементами коливального контуру, фільтрів та ін. Але відсутні конкретні приклади використання в галузі машинобудування.

У главі 2 «Магнітні кола. Індукційна та силова дії магнітного поля» показано, що на використанні індукованих ЕРС базується принцип дії генераторів, трансформаторів, багатьох приладів контролю та автоматизації виробничих процесів. За допомогою електромагнітних сил здійснюється управління рухом заряджених частинок в електронно-променевих трубках, електронних мікроскопах, прискорювачах заряджених частинок. Предметна галузь машинобудування не представлена.

У § 3.1 «Отримання синусоїдальної ЕРС. Основні співвідношення» відмічається, що доцільність застосування енергії змінного струму обумовлена багатьма техніко-економічними причинами. У прикладі проілюстровано, що змінний струм знайшов широке застосування в нагрівальному обладнанні для плавлення металів, поверхневого закалювання, в роботі освітлювальних приладів, трансформаторів, електромеханічного обладнання (економічні і надійні двигуни змінного струму), але конкретне використання в машинобудуванні не показано.

У § 3.3 «Коло, що містить індуктивність» серед об'єктів промислового призначення, які мають параметр індуктивності, вказано обмотки електричних машин, трансформаторів, магнітних підсилювачів, електромагнітів, реле, контакторів, індукторів електричних нагрівальних пристроїв та печей змінного струму, що стосується в тому числі і машинобудівної галузі.

У § 3.4 «Коло, що містить ємність» описуються конденсатори електросилових пристроїв, які використовуються для покращення коефіцієнта потужності і як елементи коливального контуру височастотного обладнання для гартування та плавки металів, але не проілюстровано використання в галузі машинобудування.

У главі 9 «Трансформатори» наведено загальні відомості про застосування силових трансформаторів в електроенергетиці, а в промисловості – трансформаторів спеціального призначення: випрямних, зварювальних та ін. Трансформатори малої потужності застосовують в схемах пристроїв автоматичного управління виробничими процесами. В підрозділі «Охолодження трансформаторів» наведені експлуатаційні характеристики деяких типів серійних силових трансформаторів, у тому числі і ті, що використовуються в машинобудуванні.

У главах «Асинхронні машини», «Синхронні машини», «Машини постійного струму», «Електропривод» приведені характеристики деяких типів електричних машин, та вказано на можливість їх застосування в промислових пристроях машинобудівної галузі.

В цілому зміст навчання посібника «Загальна електротехніка», характеризується недостатньою професійною спрямованістю для майбутніх фахівців машинобудівної галузі.

Наступним проаналізуємо зміст навчального посібника «Електротехніка» авторів Б. Волинського, Е. Зейна, В. Шатернікова [31]. Він призначений для здобувачів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

Посібник складається з двох частин.

Перша частина «Електричні та магнітні кола» містить два розділи: «Лінійні електричні кола» та «Нелінійні електричні та магнітні кола». У першому розділі розглянуто класичні глави електротехніки: «Електричні кола постійного струму», «Електричні кола синусоїдального струму», «Трифазні кола», «Електричні кола несинусоїдного струму», «Перехідні

процеси в електричних колах». В розглянутому матеріалі підкреслюється, що без знання основних законів електротехніки, принципів роботи електротехнічних пристроїв і приладів неможливо оволодіти будь-якою вибраною професією і стати повноцінним інженером.

Але виклад основного матеріалу і приклади розрахунків електричних кіл не прив'язані до конкретної виробничої галузі і носять загальнотеоретичний непрофесійно орієнтований характер.

Однак, як позитивний момент, необхідно відмітити те, що у посібнику постійно підкреслюється важливість практичного застосування теоретичних знань. Тому рішення задач – найважливіший етап навчання дисципліни. Наведено алгоритм розв'язання задач з електротехніки. Але задачі, які викладені в матеріалі, мають абстрактний характер і не відображають галузь професійної діяльності майбутнього інженера машинобудівної галузі.

Більш детальна інформація про застосування електротехнічних пристроїв в окремих галузях виробництва зустрічається в другій частині навчального посібника «Електричні пристрої та машини». В деяких розділах (розділ четвертий «Трансформатори та електричні машини») зустрічається інформація про застосування конкретних електротехнічних пристроїв в промисловому виробництві. Так в § 12.17 «Типи електричних машин постійного струму та деякі питання їх експлуатації» приведено дані про серії, габарити та модифікації електричних машин постійного струму та їх застосування в окремих галузях промислового виробництва. Вказано, що для приводів металургійних і кранових механізмів випускаються двигуни серії Д потужністю до 185 кВт з високою кратністю пускових моментів, широким діапазоном регулювання частоти обертання.

У § 13.14 – 13.16 детально розглянуті такі питання, як пуск, гальмівні режими та регулювання частоти обертання асинхронних двигунів, які достатньо широко використовуються в машинобудівній галузі.

У § 14.4 розглянуто переваги, недоліки та застосування синхронних двигунів. Серед переваг відмічається доцільність застосування двигунів там,

де не потрібно часто зупиняти і пускати механізми або регулювати їх швидкість. Частіше за все вони застосовуються для приводу перетворюючих агрегатів, компресорів, pomp, вентиляторів, млинів, дробарок, нерегульованих прокатних станів, але всі ці питання розглянуто без прикладів застосування в конкретній промисловій галузі.

Отже, в цілому зміст навчання посібника «Електротехніка» характеризується недостатнім рівнем професійної спрямованості на машинобудівну галузь.

Розглянемо зміст навчання, представлений у посібнику «Електротехніка» авторів А. Касаткіна, М. Немцова [69], призначеного в якості навчального посібника для здобувачів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

В першій главі визначено важливість електротехнічного обладнання в сучасному промисловому виробництві і необхідність вивчення електротехніки як дисципліни. Подано визначення терміну «електротехнічний пристрій» – це промисловий виріб, призначений для виконання певної функції при вирішенні комплексної проблеми виробництва, розподілу, контролю, перетворення і використання електричної енергії.

Окремо представлено електротехнічні пристрої постійного струму широкого застосування: акумулятори, лінії передачі енергії, електровимірювальні прилади, реостати. Вказано, що постійний струм, а значить і відповідне обладнання, застосовується при електрохімічному отриманні алюмінію, на міському та залізничному транспорті, в електроніці, медицині та інших галузях науки та техніки, у тому числі і у машинобудівному виробництві.

У § 1.18 «Умова передачі максимальної потужності споживачу» зазначено, що враховуючи низькі енергетичні показники такий режим доцільно застосовувати в пристроях електрозв'язку, автоматики,

електричних вимірювань, тобто там де потужність споживачів енергії невелика.

У § 1.19 «Чотириплечі мости» відмічається широке застосування таких схем при вимірюванні неелектричних величин, в пристроях автоматики і регулювальної апаратури різних галузей промислового виробництва.

В главах, в яких розглянуто основи теорії електричних та магнітних кіл, зустрічаються вказівки на застосування тих чи інших пристроїв в промисловому обладнанні різних галузей виробництва, в тому числі і в машинобудуванні.

Матеріал, який найбільш наближений до виробничої галузі машинобудування, зустрічається в главах 16, 17 «Електропривод» та «Апаратура управління та захисту». Так в § 16.1 зазначена необхідність автоматизації управління потужними механізмами для складних приводів, які потребують швидкого і частого регулювання частоти обертання двигунів.

У главі 17 подаються відомості про елементи управління та захисту електротехнічних пристроїв широкого застосування (апарати теплового захисту, автоматичні вимикачі максимального струму, вимикачі високої напруги, реле та елементи релейного захисту, контактори, магнітні пускачі та контролери), які є невід'ємними елементами електротехнічних пристроїв промислового призначення.

У цілому зміст навчання цього навчального посібника все ж є недостатньо орієнтований на машинобудівну галузь.

Проаналізуємо зміст навчального посібника «Електротехніка» під редакцією В. Герасимова [187], призначеного для здобувачів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

У главі 1 «Основні елементи та властивості електричних кіл» відмічається, що основні приймачі електричної енергії: резистори, конденсатори та котушки індуктивності відрізняються великим різноманіттям. Приведено приклади реалізації резисторів на порівняно великі потужності типу ПЕВ (постійний, емальований, вологостійкий), а також

конденсаторів: електролітичних, підстроювальних, змінної ємності і котушок індуктивності з феромагнітним осердям та з регульованим осердям. Але приклади застосування цих елементів електричних кіл в електротехнічних пристроях промислового призначення практично відсутні.

У § 3.9 «Режими роботи активних двополюсників» відмічається, що для деяких малопотужних електротехнічних пристроїв, які використовуються в електроніці, автоматиці та вимірювальній техніці, важливим є досягнення максимально можливої потужності приймача.

У главі 7 «Періодичні несинусоїдні струми в лінійних електричних колах» звертається увага на те, що в пристроях автоматики, вимірювальної техніки широко застосовуються спеціальні генератори та перетворювачі, у яких напруга на виході суттєво відрізняється від синусоїди. Тому в курсі електротехніки необхідно розглянути методи аналізу і властивості лінійних кіл, при дії на них джерел з несинусоїдними періодичними струмами та напругами.

У главах 8 і 9 розглянуто магнітні кола електротехнічних пристроїв постійного та змінного струмів. Показано, що робота електротехнічних пристроїв, таких як електромагнітні реле, контактори, тяглові електромагніти, перетворювачі неелектричних величин, електричні машини та інші, заснована на створенні необхідних магнітних полів. У всіх цих випадках можна виділити елементи, які призначені для збудження і формування магнітних полів, тобто для створення магнітних кіл. Але приклади застосування цих пристроїв в промисловому обладнанні не приводяться.

У главі 10 «Трансформатори» вказано, що окрім силових трансформаторів широко застосовуються трансформатори при електрозварюванні, електронагріві, вимірюванні великих струмів та напруг, випробуванні ізоляції високою напругою.

У главі 11 «Електричні вимірювання» наведені приклади застосування вимірювальних перетворювачів для вимірювання таких неелектричних

величин як температура, швидкість потоку газу або рідини, малих розмірів та переміщень, механічних напруг та деформацій.

В подальших главах розглянуто теорію електричних машин постійного та змінного струмів, їх будову, експлуатаційні характеристики, особливості їх роботи. Так в § 15.11 «Особливості використання двигунів постійного струму» відмічається широке застосування двигунів постійного струму незалежного збудження в потужних приводах прокатних станів, кермових механізмів морських суден. Двигуни з паралельним збудженням застосовують в металорізючих верстатах, де потрібна сталість кутової швидкості в певному діапазоні змінення навантаження. Двигуни з послідовним збудженням знайшли широке застосування в електрифікованому транспорті, підйомно-транспортних механізмах великої потужності, тощо. Таким чином, можна дійти висновку, про недостатню професійну спрямованість змісту навчання посібника «Електротехніка».

Проаналізуємо зміст навчального посібника «Загальна електротехніка», під редакцією А. Блажкіна [121]. Посібник призначений для здобувачів неелектротехнічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

Посібник складається з п'яти частин. У перших двох частинах викладено теорія та методи дослідження електричних та магнітних кіл. Вся інформація, яка вказує на практичне застосування теоретичних положень, має загальний напрям і не прив'язана до конкретної галузі промислового виробництва. Так в § 2-15 «Коефіцієнт потужності та його народногосподарське значення» вказані шляхи покращення коефіцієнта потужності за рахунок таких засобів:

- заміна двигунів змінного струму, які недостатньо навантажені, двигунами меншої потужності;
- застосування синхронних двигунів в режимі перезбудження;
- включення батареї конденсаторів паралельно навантаженню.

У четвертій частині «Електричні машини» чітко і послідовно викладена теорія електричних машин змінного та постійного струмів, їх властивості і

характеристики, особливості роботи в різних режимах. Але відомості про застосування цих пристроїв в складі електротехнічного обладнання промислових механізмів та технологічного обладнання практично відсутні. У главі 15 «Спеціальні електричні машини», де розглянуті малопотужні машини: двофазні асинхронні двигуни, сельсини, тахогенератори наведені дані про застосування цих пристроїв в системах автоматики для управління і регулювання роботи промислового обладнання.

У п'ятій частині «Електропривод та елементи систем автоматики» в § 16-2 «Механічні характеристики електродвигунів» підкреслено, що для правильного вибору електродвигуна необхідно знати механічні характеристики виробничих механізмів. Так, для забезпечення високої продуктивності металообробного верстата необхідно, щоб швидкість обробки виробу, а значить і швидкість двигуна не змінювались при зміні товщини стружки. Для цього найбільш підходять електродвигуни постійного струму з незалежним або паралельним збудженням.

Для підйомних кранів рекомендується режим гальмування противмиканням. В деяких випадках застосовують режими рекуперативного та динамічного гальмувань.

У § 2-15 «Поняття про розрахунок та вибір пускового реостата» приведений приклад розрахунку пускового реостата кранового трифазного асинхронного двигуна з контактними кільцями потужністю 16 кВт. За результатами розрахунку вибрано пусковий реостат з оливним охолодженням типа ПР-17.5, який може бути запропонованим для пуску двигунів потужністю до 17,5 кВт при номінальному струмі до 75 А.

У главі 17 «Електричні апарати та елементи» наведено дані про елементи, які найбільш поширені в схемах управління електроприводами:

- резистори та потенціометри;
- конденсатори;
- рубильники та перемикачі;
- кнопки управління;

- електромагнітні контактори та пускачі;
- автоматичні вимикачі;
- контролери;
- шляхові та кінцеві вимикачі;
- реле захисту, управління та автоматики.

У главі 18 «Управління електроприводами» приведено схеми систем автоматики для управління електродвигунами постійного та змінного струмів. Але жодної інформації про застосування цих схем в конкретному промисловому обладнанні немає. Тобто професійна спрямованість змісту навчання посібника «Загальна електротехніка» [121] недостатня.

Зробимо аналіз змісту навчання, представленою в підручнику «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка» автора М. Будіщева [23]. Який призначений для здобувачів вищих навчальних закладів, що навчаються за неелектротехнічними спеціальностями.

У цьому підручнику аналізу підлягає тільки електротехнічна складова змісту, тобто матеріал представлений в частині першій «Електротехніка».

Частина складається з одинадцяти розділів. Усі назви розділів свідчить про традиційний підхід до викладення матеріалу, який включає електричні кола постійного та змінного струмів, електричні вимірювання та трансформатори і електричні машини.

У § 1.14 «Коефіцієнт потужності у колах змінного струму» приводяться загальні відомості про методи підвищення коефіцієнта потужності за рахунок застосування індукційних та конденсаторних компенсаторів реактивної потужності.

Матеріал ілюстрований досить різноманітними числовими прикладами, але посилання на їх застосування в конкретному промисловому обладнанні відсутнє, що значно зменшує їх позитивний вплив на формування професійних навичок майбутнього інженера.

Деяка інформація про застосування електротехнічних пристроїв в різних галузях народного господарства наведена в розділах, присвячених трансформаторам та електричним машинам.

У § 8.10 «Зварювальні трансформатори» (розділ 8) розглянуто особливість роботи трансформатора при зварюванні на змінному струмі і способи формування зовнішньої характеристики трансформатора, необхідної для забезпечення технологічного процесу зварювання металів.

У розділах 9 – 11 приведено дані про застосування електричних машин в промислових електроприводах. Так в § 9.1 відмічається, що машини постійного струму використовуються на залізничному та автомобільному транспорті, річкових та морських судах. В § 9.7 наводиться приклад застосування двигуна з паралельним збудженням в приводі шпинделя токарного верстату і використання генераторного режиму роботи двигуна в приводі підйомно-транспортних механізмів для гальмування при спуску вантажу, а також режим противмикання при наявності великого додаткового опору в колі якоря.

У § 10.1 розглядається основна галузь застосування асинхронних двигунів – електропривод механізмів, які не вимагають плавного регулювання швидкості. До таких відносять вентилятори, компресори, транспортери, токарні та свердлувальні верстати, штампувальні преси, що безпосередньо стосуються машинобудівної галузі. Проте, в цілому зміст навчання є недостатньо орієнтованим на машинобудівну галузь.

Проаналізуємо зміст навчання, який представлений у підручнику «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка» авторів В. Мілиха, О. Шавьолкіна [109]. Підручник призначений для здобувачів вищих навчальних закладів. У передмові зазначається, що підручник, перш за все, орієнтований на здобувачів неелектротехнічних спеціальностей при вивченні ними дисциплін загального електротехнічного профілю та інших спеціалізованих дисциплін такого напрямку.

У § 1.1 «Основні поняття про електричні кола» дається перелік основних пристроїв і елементів, що входять до складу електричних кіл. Описано джерела електроенергії – електромеханічні генератори постійного та змінного струму, гальванічні елементи та акумулятори, фотоелемент, термopapa. Представлено пристрої передачі електроенергії – лінії електропередачі або лінії зв'язку. Дано опис перетворювачів електроенергії – випрямлячі, автотрансформатори та трансформатори, інвертори. Описано приймачі (споживачі) електроенергії – електродвигуни постійного і змінного струму, акумулятори (під час зарядки), резистори, реостати, електронагрівачі опору, електropечі індукційні, лампи розжарювання.

Представлено зміст навчання з накопичувачів енергії – котушки індуктивності, дроселі, реактори, конденсатори; з електричних апаратів – вимикачі, електромагнітні контактори, плавкі запобіжники, та з електровимірювальних приладів – амперметрів, вольтметрів, частотомірів, ватметрів, фазомітрів, лічильників електроенергії, омметрів та ін.

В § 1.4 «Параметри реальних об'єктів та приклади електричних схем заміщення» приведена принципова електрична схема, яка складається з паралельно з'єднаних споживачів: електропіч, котушка індуктивності та конденсатор. Далі показані дві схеми заміщення цього кола при підключенні до генератора змінного струму та постійного струму. Але відомостей про практичне застосування цієї схеми в конкретному промисловому обладнанні не представлено.

В численних прикладах, якими супроводжується виклад теоретичного матеріалу використовуються числові дані елементів схем заміщення, які не відображають характеристики конкретних електротехнічних пристроїв.

В розділі «Трансформатори» дається класифікація трансформаторів: силові, силові спеціальні (пічні, зварювальні), вимірювальні, випробувальні (надвисокої напруги), радіотрансформатори, повітряні, автотрансформатори. Але ця інформація подається в загальному вигляді без прикладів застосування в промисловому обладнанні.

В розділі «Електричні вимірювання» приведено дані про сучасні вимірювальні прилади, які застосовуються для вимірювання як електричних так і неелектричних величин. Даються відомості про технічні та метрологічні характеристики вітчизняних і закордонних засобів вимірювань та приклади їх застосування для вимірювання фізичних величин.

В розділі «Електричні апарати» приведено класифікація електротехнічних пристроїв цього типу: апарати високої напруги, апарати керування, електричні апарати автоматики, автоматичні регулятори і стабілізатори, підсилювачі і перетворювачі.

В розділах, які присвячені електричним машинам розглянуто будова, принцип дії, робочі характеристики машин постійного і змінного струму. Наведено достатньо прикладів розрахунку параметрів та характеристик електричних машин при різноманітних режимах роботи, що є дуже цінним доповненням до теоретичного матеріалу. Але вся ця інформація подана безвідносно до конкретного промислового обладнання.

Проаналізуємо зміст навчального посібника «Електротехніка та електроніка» колективу авторів під редакцією В. Кононенка [190]. Видання призначено для здобувачів, аспірантів та викладачів вищих навчальних закладів. У передмові зазначається, що навчальний посібник, перш за все, орієнтований на студентів неелектротехнічних спеціальностей, але враховуючи те, що робота виконана колективом кафедри будівельного університету, зміст посібника загалом відображає специфіку будівельної галузі.

У першому розділі «Електричні і магнітні кола» в стислій формі викладаються основи теорії електричних кіл постійного та змінного струмів. Цей матеріал займає всього лише 16 % від загального об'єму посібника і не прив'язаний до предметної галузі. Всі приклади розрахунків носять абстрактний загальний характер.

У подальших розділах «Електромагнітні пристрої та електричні машини», «Електричні вимірювання та прилади», «Електропостачання та

електробезпека», «Електротехнології та електрообладнання», «Електроосвітлення» розглядається матеріал, який відображає специфіку будівельної галузі. Він містить багато прикладів розрахунку електротехнічних пристроїв будівельного обладнання, таких як «Розрахунок потужності приводних електродвигунів будівельних механізмів» або «Електричні мережі зовнішнього та внутрішнього електропостачання будівельних майданчиків». Але ці розділи більше відповідають змісту дисципліни «Електрообладнання будівельних процесів» і дещо відмежовані від першого розділу посібника, де власне і викладено основи електротехніки.

Враховуючи все це, можна стверджувати про відсутність системного підходу до формування змісту дисципліни «Електротехніка» навіть при наявності в другій частині посібника позитивної тенденції спрямування навчального матеріалу до предметної галузі.

Проаналізуємо зміст навчального посібника «Розділи електротехніки та електроніки. Питання електрообладнання та електротехнології хімічних виробництв» автора Д. Богданова [14]. Він призначений для здобувачів хіміко-технологічних спеціальностей, які вивчають курс «Електротехніка та основи електроніки». У передмові зазначається, що посібник містить три основних розділи. Розглянемо перший розділ «Електротехніка» і третій розділ «Деякі приклади застосування електротехнічних та електронних пристроїв в хімічній промисловості». Другий розділ «Електроніка» не аналізувався, оскільки в даній роботі питання з електроніки не розглядаються.

У першому розділі в стислій формі розглядаються основні питання електротехніки (аналіз і розрахунок лінійних кіл постійного та змінного струмів, резонансні явища в колах синусоїдального струму, будова та принцип дії однофазного трансформатора, загальні відомості про електричні двигуни). Всі ці теми розглянуто в класичному стилі, без аналізу практичного застосування схем і контрольних завдань зазначеної галузі промисловості. У § 1.6 «Загальні відомості про електричні двигуни» відмічається, що

асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором знайшли широке застосування в такому обладнанні як верстати, лебідки, помпи, вентилятори, транспортери та ін. Тут же, в підрозділі «Двигуни постійного струму», вказується, що сфера пріоритетного застосування цих двигунів визначається їх характеристиками, тобто залежить від способу збудження:

- з незалежним збудженням – прокатні стани, стернові механізми суден;
- з паралельним збудженням – металообробні верстати;
- з послідовним збудженням – електротранспорт.

Але будь-які розрахунки або відомості про застосування електротехнічних пристроїв в конкретному обладнанні хімічного виробництва в цьому розділі відсутні.

В другому розділі подається матеріал більш конкретизований, який відображає специфіку хімічного виробництва. Це видно з назв параграфів, які входять до складу розділу:

1. Електричні методи вимірювання концентрації речовин.
2. Електрообладнання хімічних виробництв.
3. Основи електроприводу, що використовується в хімічному виробництві.
4. Електропостачання хімічних виробництв.
5. Будова та принцип дії характерних споживачів електроенергії хімічних виробництв.

Матеріал, який в них представлений носить в основному загальний описовий характер і не містить прикладів розрахунку параметрів або режимів роботи електротехнічних пристроїв. Виняток складає матеріал третього параграфу, де досить детально розглянуто принципи вибору потужності електродвигунів при різних умовах роботи і наведені розрахункові співвідношення для визначення основних експлуатаційних величин промислового електроприводу. Але приклади застосування цих висновків для конкретних пристроїв хімічного виробництва також відсутні.

В цілому проведений аналіз змісту навчання електротехніки поданий в підручниках та навчальних посібниках [9, 14, 23, 31, 69, 109, 121, 187, 188, 190] дозволяє зробити висновки про те, що в них:

1. Недостатня орієнтація змісту навчання на конкретну галузь промисловості. Здебільш він носить несистемний епізодичний характер.
2. Практично відсутні етапи створення моделей електротехнічних пристроїв за їх функціональним призначенням у складі промислового обладнання машинобудівної галузі.
3. Мають місце фрагменти змісту, епізодично спрямовані на конкретну промислову галузь.
4. Деякі елементи професійно орієнтованого змістового матеріалу подані фрагментарно, відірвано від основного тексту.

1.4. Комплексні моделі елементів професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей

Обґрунтуємо теоретичні основи розроблення методу моделювання професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних дидактичних моделей, які містять інформаційну, топологічну та математичну складові.

Базовою загальнонауковою основою системного опису електромагнітних явищ є рівняння Максвелла [133]. Електромагнітні явища, які мають місце в різноманітних електротехнічних пристроях, визначаються як процесами в заряджених тілах, так і фізичними процесами в навколишніх середовищах, в яких розповсюджується електромагнітне поле, яке характеризується векторами електричної $\vec{E}$ та магнітної $\vec{H}$ напруженості.

Для розуміння фізики явищ, які мають місце в електричних колах і лежать в основі принципу дії електротехнічних пристроїв, необхідно спиратися на рівняння Максвелла, які наведено в додатку 3.

Наступною теоретичною засадою розроблення методу моделювання професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних дидактичних моделей є використання ідеалізованих елементів. Для врахування процесів перетворення електричної енергії в колах застосовують ідеалізовані елементи, процеси в яких зв'язані лише з одним видом енергії поля. Перетворення енергії електромагнітного поля в будь який інший вид енергії враховується введенням ідеалізованого резистора, який характеризується опором R . З енергією електричного поля зв'язаний ідеалізований конденсатор, який характеризується ємністю $C = q/u$, а з енергією магнітного поля зв'язана ідеалізована котушка, яка характеризується індуктивністю $L = \Psi/i = w\Phi/i$.

Для врахування перетворення енергії неелектричної природи в електричну вводять ідеалізовані елементи джерела живлення – джерело напруги та джерело струму. Напруга u (або ЕРС, e) на затискачах ідеалізованого джерела напруги не залежить від струму в ньому, а струм j ідеалізованого джерела струму не залежить від напруги на його затискачах. Основні характеристики ідеалізованих елементів електричного кола та їх розрахункові співвідношення приведені в табл. 1.3.

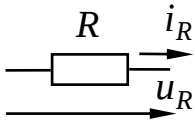
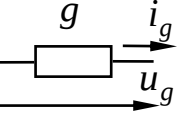
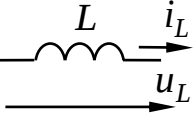
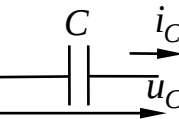
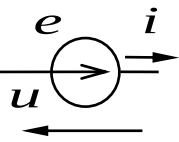
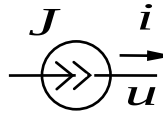
При розрахунку електричних кіл визначають струми та напруги на затискачах ідеалізованих елементів. З'єднуючи між собою елементи отримують електричне коло.

Задачу аналізу процесів в різноманітних споживачах електричної енергії, які використовуються на практиці і зокрема в машинобудівній галузі, завжди спрощують і уніфікують шляхом моделювання елементів електричного кола. Для цього застосовують схеми заміщення, які є моделями реальних електротехнічних пристроїв, що є наступною теоретичною основою

розроблення методу моделювання професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних дидактичних моделей. Для їх побудови використовують ідеалізовані елементи електричних кіл, які відображають зв'язок між струмами і напругами реальних об'єктів.

Таблиця 1.3

Основні характеристики ідеалізованих елементів

Елемент	Умовне позначення	Напруга на елементі	Струм в елементі	Потужність або енергія в елементі
Опір		$u_R = i_R R$	$i_R = \frac{u_R}{R}$	$p_R = Ri_R^2 = \frac{u_R^2}{R}$
Провідність		$u_g = \frac{i_g}{g}$	$i_R = u_R g$	$p_g = gu_g^2 = \frac{i_g^2}{g}$
Індуктивність		$u_L = L \frac{di}{dt}$	$i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt$	$W_L = \frac{Li_L^2}{2}$
Ємність		$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$	$i_C = C \frac{du_C}{dt}$	$W_C = \frac{Cu_C^2}{2}$
Джерело напруги		$e = -u$	i – будь-яке значення	$p_e = ei$
Джерело струму		u – будь-яке значення	$i = J$	$p_j = uJ$

Чим вище необхідна точність розрахунків, тим більша кількість факторів повинна бути прийнятим до уваги і тим більш складний вигляд буде мати еквівалентна схема кожного елемента. Тому, при побудові схеми заміщення будь-якого реального елемента електричного кола необхідно розуміти, що ускладнення моделі шляхом урахування різноманітних факторів, іноді несуттєвих в конкретних умовах експлуатації, приводить до

не виправданого ускладнення розв'язання задачі, а іноді і до неможливості її рішення. Тому моделюючи елементи електричного кола, необхідно приймати таку схему заміщення, яка відображає найсуттєвіші сторони процесів, що в них протікають.

Необхідно відмітити, що схеми заміщення одного й того ж елемента можуть суттєво відрізнятися в залежності від діапазону частот, в якому розглядається робота елемента. Так, при досить низьких частотах (промислова частота) і при невисоких вимогах до точності розрахунків еквівалентна схема конденсатора може складатися тільки з ємності, яка характеризує властивість конденсатора запасати енергію електричного поля, і опору, який відображає всі види втрат потужності в конденсаторі.

Таке приближення справедливе, якщо не враховувати хвильові процеси у навколишньому середовищі. Враховуючи швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль (у вакуумі $c = 3 \cdot 10^8$ м/с), можна вирахувати довжину хвилі при конкретній частоті процесів, що протікають в колі. Так, наприклад, при промисловій частоті відповідна довжина хвилі становить:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{50} = 6 \cdot 10^6 \text{ м.}$$

Тому електричне коло розміром в десятки метрів можна розглядати як коло з зосередженими параметрами.

У той же час, в швидкодіючих колах інформаційно-вимірювальних систем, в системах зв'язку при сигналах з частотою 500 МГц довжина хвилі складає $\lambda = 0,6$ м, і становиться порівняною з геометричними розмірами електротехнічних пристроїв, які входять до складу електричного кола. В таких випадках розрахунки повинні вестись з позицій електромагнітного поля або з позицій кіл з розподіленими параметрами, при яких враховується змінення напруги і струму в залежності від просторової координати.

Розглянемо властивість дуальності, яка дозволяє від одних розрахункових співвідношень переходити до інших, формально змінюючи символи одних величин іншими [171]. Ця властивість є важливою при розробленні професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки.

Дуальність – це формальна відповідність математичного опису двох різних об'єктів. Відмінність полягає лише в позначеннях і назвах величин, які входять в ці описи. Властивість дуальності надає можливість використовувати результати аналізу одного об'єкта для одержання результатів, які стосуються дуального йому об'єкта, шляхом формальної заміни величин і назв [60, 117, 127, 171].

Вивчаючи властивості елементів електричних кіл та їх характеристики, можна помітити формальні аналогії між рівняннями, що описують окремі елементи електричного кола (наприклад, $u_L = L di/dt$ та $i_C = C du/dt$). Така ж аналогія має місце і в більш складних випадках, наприклад, в колах з певним складом елементів та певної конфігурації з'єднань (табл. 1.4) [171].

Таблиця 1.4

Характеристики дуальних елементів

Елемент	Величина		
	Струм	Напруга	Потужність (енергія)
Активний опір	$i_R = Gu_R$	$u_R = Ri_R$	$p = Ri_R^2 = Gu_R^2$
Індуктивність	$i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt$	$u_L = L \frac{di_L}{dt}$	$W_L = \frac{Li_L^2}{2}$
Ємність	$i_C = C \frac{du_C}{dt}$	$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$	$W_C = \frac{Cu_C^2}{2}$

Порівняємо вирази для струму та напруги на активному опорі. Якщо виконати формальну заміну струму на напругу, а провідності – на опір, то від струму перейдемо до напруги. Так само здійснимо зворотний перехід, або одержимо формули потужності.

При цьому скористаємось властивістю дуальності, яка дозволяє від одних розрахункових співвідношень переходити до інших, формально замінюючи символи одних величин іншими. Взаємозв'язок між основними електричними величинами показано на рис. 1.6.



Рис. 1.6. Взаємозв'язок основних електричних величин

Принцип дуальності розповсюджується і на деякі поняття. Так, наприклад, взаємно дуальними є: контур і перетин; послідовне з'єднання і паралельне з'єднання; розрив і коротке замикання.

З дуальності основних елементів електричного кола випливає дуальність електричних кіл та їх математичних моделей, які найчастіше використовують у вигляді схем та математичних рівнянь.

Застосування принципу дуальності в деяких випадках дозволяє суттєво спростити дослідження процесів в електричних колах. Так, якщо відомі основні співвідношення, які описують процеси в деякому колі, то відповідні вирази для дуального кола можуть бути отримані без доведень на основі використання властивостей дуальності.

Дві планарні електричні схеми вважаються дуальними, якщо рівняння, складені за методом контурних струмів для однієї схеми, аналогічні рівнянням, складеним за методом вузлових потенціалів другої схеми.

В цьому випадку контурна матриця однієї схеми співпадає з вузловою матрицею другої схеми і навпаки.

Для дуальних схем рівняння, отримані за першим (другим) законом Кірхгофа для однієї схеми, співпадають з рівняннями, складеними за другим (першим) законом Кірхгофа для другої схеми.

Наступними теоретичними засадами розроблення методу моделювання професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних дидактичних моделей є категорії філософії, на яких базується абстракція в електротехніці і які складають основу моделювання фізичних об'єктів.

Більшість понять, які застосовуються в електротехніці, застосовуються також і в інших напрямках, коли основними величинами, за допомогою яких описують процеси в фізичних об'єктах є напруга і потоки. Наприклад, механічні сили і швидкості, температури і потоки тепла, хімічні потенціали і швидкості реакцій. Крім того, багато моделей, які розглядаються

в суспільних і біологічних науках, описуються рівняннями, аналогічними тим, які використовуються в електротехніці [144].

В моделях електричних кіл елементи або вітки характеризуються рівняннями, які зв'язують напруги та струми у вітках. Найпростішими ідеалізаціями елементів електричних кіл є лінійні опори, ємності індуктивності та ідеальні джерела електричної енергії.

Для роз'яснення специфіки електротехнічної підготовки спеціалістів важливо показати схожість і відмінність фізичної і технічної теорій. Перші технічні теорії будувались по зразку фізичних. Так в структурі будь-якої теорії поряд з концептуальним і математичним апаратом важливу роль відіграють ідеалізовані, досить абстрактні схеми.

Ідеалізовані схеми представляють собою сукупність абстрактних об'єктів, зорієнтованих, з одного боку на застосування відповідного математичного апарата, а з другого – на теоретичний експеримент, тобто на проектування можливих експериментальних ситуацій. Вони представляють собою особливі ідеалізовані представлення (абстрактні моделі), які часто виражаються графічно.

Таким чином, абстрактні об'єкти, що входять до складу теоретичних схем математизованих теорій являють собою результат ідеалізації і схематизації фізичних об'єктів або об'єктів предметної області [167]. Поняття джерела живлення, трансформатора, електричного двигуна і відповідні їм схематичні відображення, були необхідні для представлення в теорії реальних експериментів. В предметній області використовуються відповідні електротехнічні пристрої, але поняття і схеми, що їх описують, служать тій же цілі, тому що по відношенню до електротехніки ці пристрої виконують функції експериментальної техніки. Але разом з тим, ці пристрої є об'єктом конкретної інженерної діяльності, а їх абстрактні схематичні описання по відношенню до теоретичних досліджень в електротехніці виконують функцію теоретичних моделей.

Особливість технічних наук, в тому числі й електротехніки, полягає в тому, що інженерна діяльність, як правило, заміняє експеримент. Як раз в інженерній діяльності перевіряється адекватність теоретичних висновків технічної теорії і набувається новий емпіричний матеріал. Це зовсім не означає, що в технічних науках не проводиться експериментів, але вони не являються кінцевою практичною основою для теоретичних висновків. Величезне значення в цьому відношенні набуває інженерна практика, тобто практична робота в предметній галузі.

Абстрактні об'єкти технічної теорії мають цілий ряд особливостей. Перш за все вони зібрані з деякого фіксованого набору елементів за визначеними правилами їх з'єднання. В електротехніці такими елементами є джерело живлення, опір, індуктивність, ємність, в більш узагальненому вигляді – трансформатор, електрична машина, електровимірювальний прилад. За допомогою таких елементів можна здійснювати різні режими роботи електричних кіл. Кілька елементів створюють ділянку електричної схеми, сукупність ділянок – схему електротехнічного пристрою. Електротехнічний пристрій представляється конкретною електричною схемою з відповідним режимом роботи та з необхідним джерелом живлення.

Така побудова абстрактних об'єктів є специфічною і обов'язковою для технічної теорії, і робить їх однаковими в тому плані, що вони сконструйовані, по-перше, за допомогою фіксованого набору елементів, і, по-друге, обмеженого і заданого набору способів їх з'єднання. Будь-які електротехнічні пристрої можуть бути представлені як утворені з ієрархічно організованих кіл, блоків, з'єднань і елементів. Це забезпечує, з одного боку, відповідність абстрактних об'єктів конструктивним елементам реальних технічних систем предметної області, а з другої створює можливість їх дедуктивного перетворення на теоретичному рівні. З огляду на те, що всі пристрої виявляються зібраними з одного і того ж набору типових складових, то залишається тільки задати певні процедури їх сполучення із ідеальних кіл, блоків і елементів. Ці ідеалізовані складові відповідають стандартизованим

конструктивним елементам реальних технічних систем. У теоретичних схемах технічної науки задається образ технічної системи, яка підлягає дослідженню і проєктуванню.

Специфіка технічної теорії полягає в тому, що вона зорієнтована на конструювання технічних систем. Наукові знання і закони, отримані природничо-науковою теорією, потребують ще досить тривалого доведення для застосування їх до рішення практичних інженерних задач, в чому і полягає одна з функцій технічної теорії.

Теоретичні знання в технічних науках повинні бути обов'язково доведені до рівня практичних інженерних рекомендацій. Виконанню цього завдання в технічній теорії служать правила відповідності переходу від одного рівня моделювання до другого, а проблема інтерпретації і емпіричного обґрунтування в технічній науці формулюється як задача реалізації. Тому, в технічній теорії важливу роль відіграє розроблення особливих операцій перенесення теоретичних результатів в область інженерної практики, встановлення чіткої відповідності між сферою абстрактних об'єктів технічної теорії і конструктивними елементами реальних технічних систем, що фактично відповідає теоретичному і емпіричному рівням знань [114, 167].

Емпіричний рівень технічної теорії створює конструктивно-технічні і технологічні знання, які є результатом узагальнення практичного досвіду при проєктуванні, виготовленні, налагодженні і т.д. технічних систем. Це – евристичні методи і заходи, які розроблені в самій інженерній практиці, але розглянуті в якості емпіричного базису технічної теорії.

Теоретичний рівень науково-технічного знання включає в себе три основні рівня теоретичних схем: функціональні, поточні і структурні, які складають наступну теоретичну засаду розроблення методу моделювання професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних дидактичних моделей.

Функціональна схема фіксує загальне уявлення про технічну систему, незалежно від способу її реалізації, і є результатом ідеалізації технічної системи на основі принципів визначення технічної теорії. Функціональні схеми співпадають для цілого класу технічних систем. Блоки цієї схеми фіксують тільки ті властивості елементів технічної системи, заради яких вони включені в неї для виконання загальної цілі. Кожний елемент в системі виконує визначену функцію. У сукупності такі властивості і визначають функціональне призначення елементів схем. Як правило, вони відображають узагальнені математичні операції, а функціональні зв'язки, або співвідношення між ними – конкретні математичні залежності [114, 167].

Функціональні схеми в електротехніці представляють собою графічну форму математичного описання стану електричного кола. Кожному функціональному елементу такої схеми відповідає певне математичне співвідношення. Наприклад, співвідношення між силою струму і напругою на деякій ділянці кола, або між електрорушійними силами і падіннями напруги на виділених ділянках електричного кола. Деяка сукупність елементів може реалізовувати конкретні математичні операції (диференціювання, інтегрування і т.п.). Порядок розташування і характеристики функціональних елементів адекватні електричній схемі.

Електротехніка має справу не з величезною різноманітністю фізичних об'єктів предметної області, які відрізняються своїми характеристиками, принципом дії, конструктивним оформленням, а з порівняно невеликою кількістю ідеальних елементів та їх з'єднань, що представляють ці елементи на теоретичному рівні. До таких елементів, перш за все, відносяться опір, індуктивність, ємність, джерела напруги і струму. Для застосування математичного апарату необхідна подальша ідеалізація: кожний з перелічених елементів, або їх сукупність, може бути розглянута як активний або пасивний двополіусник, тобто ділянка кола з двома полюсами, до яких приложена різниця потенціалів і через яку протікає електричний струм. Всі реальні об'єкти електричного кола повинні бути приведені до

вказаного вигляду. Причому, в залежності від режиму функціонування електротехнічного пристрою, одна і та ж схема може приймати різний вигляд [91].

Один з атрибутів матерії – її незнищеність, яка проявляється у сукупності конкретних законів збереження стійкості матерії в процесі її змінення. Важливою властивістю матерії є здатність до взаємоперетворення різних видів матерії одне в одного. В безперервному процесі взаємних перетворень матерія зберігається як субстанція, тобто як основа всіх змінень. Перетворення електричної енергії внаслідок теплової дії струму приводить до накопичування внутрішньої енергії тіла, до посилення теплового руху його молекул. Тепловий рух в свою чергу може перетворитися у випромінювання. Закон збереження і перетворення енергії констатує: які б процеси перетворення не відбувалися у світі, загальна кількість маси та енергії залишається незмінною. Будь-який матеріальний об'єкт існує лише в зв'язку з іншими і через них він зв'язаний з навколишнім світом [6, 149].

Принцип незнищеності і нестворюваності матерії має велике методологічне значення. Цей принцип конкретно реалізується в таких фундаментальних законах, як закони збереження маси, енергії, заряду та інших, які дозволяють глибше і повніше зрозуміти процеси, що відбуваються в природі взагалі і зокрема в технічних пристроях. Найважливіші закони наукового пізнання є самим серйозним аргументом при критиці помилкових теорій та висновків [41, 147, 203].

Наступними теоретичними засадами розроблення методу моделювання професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних дидактичних моделей є закони і методи розрахунку електричних кіл.

В електротехніці цілий ряд законів та методів розрахунку електричних кіл, в яких вони застосовуються, базуються на основних положеннях філософії. Наприклад, рівняння енергетичного балансу в електричному колі – це застосування закону збереження енергії до електричного кола, відповідно

до якого, енергія, яку віддає джерело в електричне коло за деякий проміжок часу, повинна дорівнювати енергії, що перетворюється на інші види в елементах електричного кола.

Якщо ж розглядати енергетичний процес за одиницю часу, рівняння енергетичного балансу переходить в баланс потужностей, згідного якого в електричному колі у будь-який момент сумарна потужність джерел енергії дорівнює сумарній потужності пасивних елементів. Цей баланс виконується для будь-якої форми представлення і в загальному вигляді для миттєвих потужностей може бути сформульований таким чином: сума миттєвих потужностей, які виробляють всі джерела, дорівнює сумі миттєвих потужностей, які споживаються всіма приймачами енергії.

$$\sum_{i=1}^n P_{i \text{ дж}} = \sum_{i=1}^n P_{i \text{ сп}}$$

Для кола постійного струму, враховуючи, що джерела енергії можуть бути представлені джерелами ЕРС або джерелами струму, це записується так:

$$\sum_{i=1}^n E_i I_i + \sum_{i=1}^n U_i J_i = \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i.$$

Враховуючи те, що кола постійного струму складаються тільки з резистивних споживачів, потужність яку вони споживають, відповідно до закону Джоуля-Ленца, у приведеному рівнянні визначається як $I^2 R$.

Для кола синусоїдального струму складають баланс для активних та реактивних потужностей. Якщо прийняти до уваги, що в електротехнічних колах джерела струму зустрічаються досить рідко, рівняння балансу потужностей можна суттєво спростити:

– баланс активних потужностей

$$\sum_{i=1}^n E_i I_i \cos \varphi_i = \sum_{i=1}^n I_i^2 R_i;$$

– баланс реактивних потужностей

$$\sum_{i=1}^n E_i I_i \sin \varphi_i = \sum_{i=1}^n I_i^2 X_i.$$

Слід також ураховувати, що сума потужностей реактивних елементів – алгебраїчна. Додатною є потужність індуктивних елементів, а ємнісних – від’ємною.

Категорії філософії взаємозв’язані між собою і при певних умовах переходять один в одне. Випадкове стає необхідним, одиничне – загальним, кількісні зміни приводять до зміни якості, слідство перетворюється на причину і т.д. Цей взаємозв’язок категорій є узагальнене відображення взаємозв’язку явищ дійсності. Будь-яка категорія в реальному процесі людської діяльності, в науці існує тільки в системі категорій і через неї.

Розглянемо реалізацію категорій одиничне, особливе і загальне. Це філософські категорії, що відображають діалектичну єдність і відмінність між речами та явищами дійсності [36, 41]. Так, категорія «одиничне» відображає в предметі, явищі те, що притаманне тільки даному предмету, явищу. Тобто, одиничне – це об’єкт у всій сукупності притаманних йому властивостей, які відрізняють його від всіх інших об’єктів і які складають його індивідуальну, якісну і кількісну визначеність. «Загальне» – це тотожність, що об’єктивно існує між предметами, речами, явищами у рамках конкретної якісної визначеності. Ні одиничне, ні загальне не можуть існувати самотійно. Самотійно існують окремі предмети, явища, процеси. Як загальне, так і одиничне існує лише в окремому. Всяке окреме є єдністю протилежностей. Воно водночас і одиничне, і загальне. Всяке загальне

є частинкою, елементом, стороною окремого, оскільки воно відображає останнє не повністю, не цілком, а однобічно – те, що є тотожним у предметах. Одиничне за своїм змістом, проявом багатше від загального, яке є абстрактним. Однак загальне глибше розкриває зміст, сутність речі.

Проміжною категорією між одиничним і загальним є поняття «особливе». Особливе – це те, що є загальним стосовно одиничного і одиничним щодо загального. Для прикладу розглянемо такий розповсюджений електротехнічний пристрій як резистор [113, 157].

Відомо, що однією з характеристик будь якого елемента електричного кола є опір. Але тільки у одного елемента ця характеристика є основною заради якої він і створюється. Цей елемент електричного кола називається резистор. Резистор включають в коло спеціально для того, щоб чинити заданий опір струму в цьому колі. Тобто, резистор це елемент, який вносить опір в електричне коло. Існує велика кількість видів резисторів. Основні з них приведені на рис. 1.7.

Прокоментуємо деякі характерні властивості окремих видів резисторів:

1. За видом резистивного матеріалу:

- дротяні резистори – відрізок дроту з високим питомим опором намотаний на неметалевий каркас. Можуть мати значну паразитну індуктивність;

- плівкові металеві резистори – тонка плівка металу з високим питомим опором, напилена на керамічне осердя;

- металофольгові резистори – у якості резистивного матеріалу використовується тонка металева стрічка;

- вугільні резистори – бувають плівковими і об'ємними. Використовують високий питомий опір графіту;

- напівпровідникові резистори — використовують опір слабколегованого напівпровідника. Ці резистори можуть бути як лінійними, так і нелінійними.

2. За видом вольт-амперної характеристики:

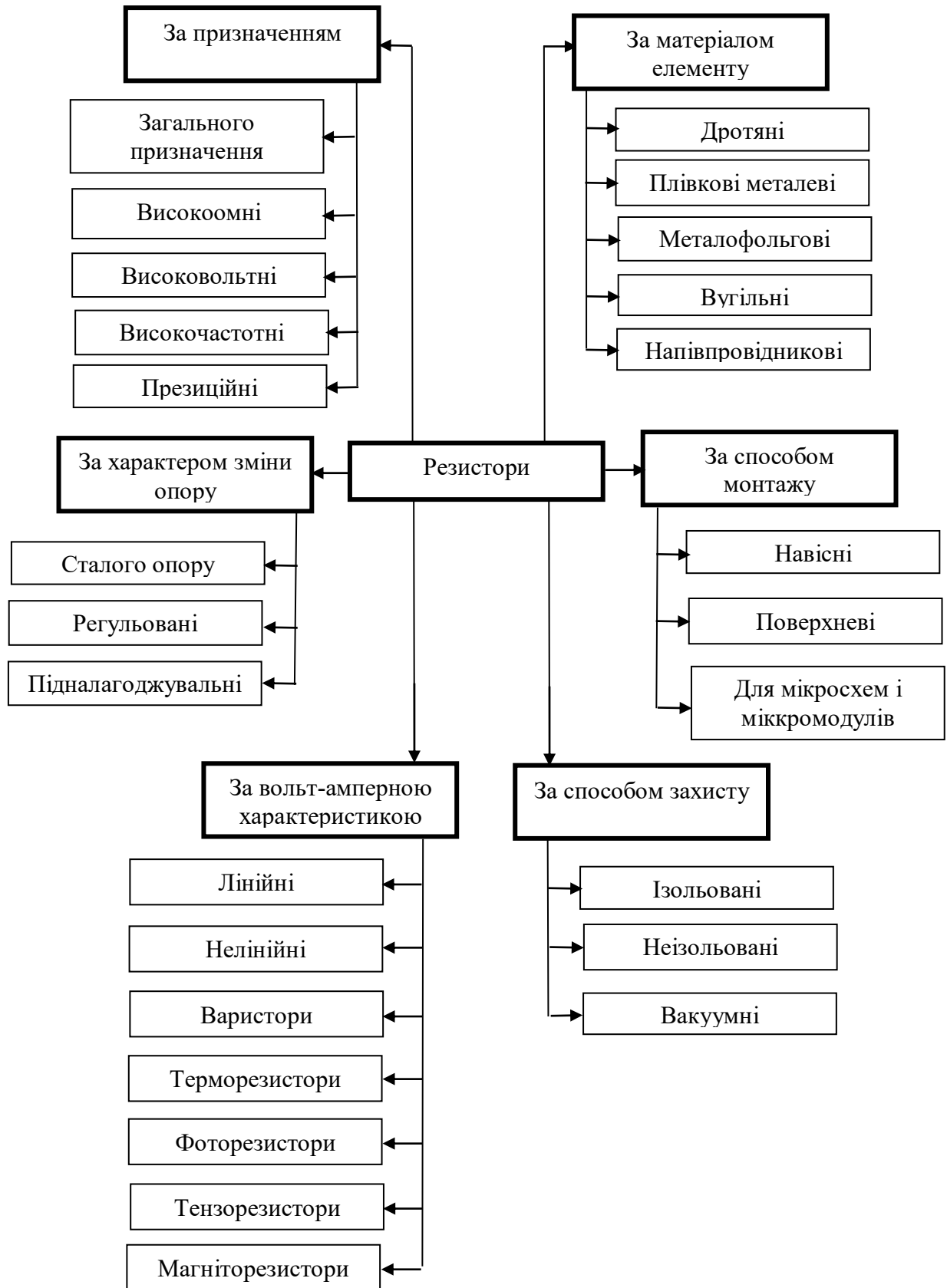


Рис. 1.7. Класифікація резисторів

- лінійні – опір залишається сталим при зміні режиму роботи;
- нелінійні – опір залежить від величини струму;
- варистори — опір залежить від прикладеної напруги;
- терморезистори — опір залежить від температури;
- фоторезистори — опір залежить від освітленості;
- тензорезистори — опір залежить від деформації резистора;
- магніторезистори — опір залежить від величини напруженості магнітного поля.

Розглянемо, як характеристики реальних фізичних об'єктів співвідносяться між собою з точки зору філософських категорій.

Елемент електричного кола, яким є резистор – це «загальне» по відношенню до резистора. Резистор є «особливим» до елемента електричного кола. А така характеристика, яка виділяє його поміж резисторів як регульований, є «одиничним». У свою чергу поняття «резистор» є загальним стосовно поняття «дротяний», який в свою чергу є особливим стосовно поняття «тип С5-35В(ПЕВ)», яке по відношенню до нього є «одиначним».

Категорії одиничного, особливого і загального в процесі пізнання відіграють роль його опорних пунктів, сходинок від незнання до знання

Правильне врахування одиничного, особливого та загального відіграє велику пізнавальну і практичну роль. Електротехніка як наука має справу з узагальненнями і оперує загальними поняттями, що дає можливість встановлювати закони і забезпечувати практику необхідними теоретичними знаннями.

Як бачимо, кожен елемент предметної області в залежності від умов його роботи може бути представлений певною схемою заміщення. Найпростіша схема заміщення відповідає ідеальному елементу, Вона включає один параметр, який є основним для даного елемента. Така ідеалізація є досить популярною при виконанні розрахунків, що не претендують на велику точність і дозволяють отримати прийнятний

результат при значному спрощенні об'єму обчислювань. При необхідності початкову модель ускладнюють, вводючи в неї додаткові параметри.

Узагальнюючи зазначене, можна сформулювати основну ідею формування моделей реальних об'єктів промислового обладнання [91]. Структурне втілення цієї ідеї показано на рис. 1.8.

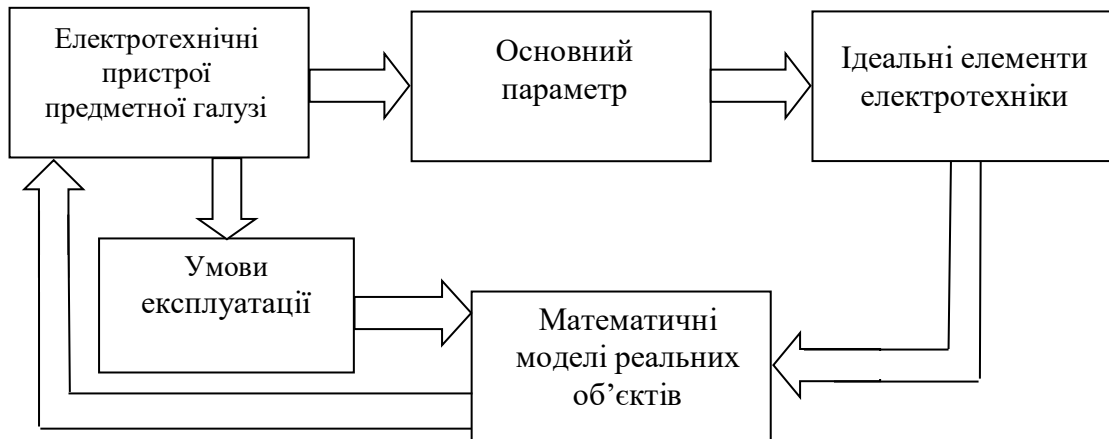


Рис. 1.8. Структура основної ідеї формування моделей електротехнічних пристроїв промислового обладнання

Взагалі послідовність визначення схеми заміщення фізичного елемента можна представити в такому вигляді:

1. Виділити основний параметр, який характеризує реальний елемент предметної області.
2. Визначити ідеальну базову модель, яка відповідає властивостям елементу.
3. Визначити схеми заміщення для найбільш характерних режимів роботи елемента:
 - в колі постійного струму;
 - в колі промислової частоти;
 - в високочастотних колах промислової електроніки.

Професіоналізація знань, набуває конкретного змістовного наповнення тільки при умові професійного спрямування навчальних завдань, задач,

а також максимального наближення теоретичного матеріалу до сфери діяльності майбутнього спеціаліста [14, 16, 32, 66, 80, 190, 199, 201, 202]. Необхідно відмітити, що професіоналізація знань ще не прийняла масовий характер, імовірно, тому, що їхня розробка сполучена з наявністю об'єктивних методичних труднощів: визначенням переліку професійних умінь майбутнього фахівця і формуванням його профілю роботи, розробки продуктів навчальних дій максимально наближених до професійних [3, 4, 5, 12, 82].

У тих випадках, коли навчання ведеться з урахуванням майбутньої професії здобувача, поліпшуються всі показники навчальної діяльності. Як стверджує В. Казаков [66], «Тільки після відповіді на питання здобувача «А де це нам знадобиться?» і можна приступати до навчання». Про це свідчить діалектика пізнання. «Від живого споглядання до абстрактного мислення і від нього до практики – такий діалектичний шлях пізнання істини, пізнання об'єктивної реальності» [36]. «Живе споглядання» – це в тому числі і реальні життєві завдання. Стосовно до навчання – це завдання орієнтовані на майбутню професію.

Згідно з положеннями філософії загальне не існує до і поза одиничного, також одиничне не існує поза загального. Їх єдність і є особливе. Ця категорія долає односторонність, абстрактність того і іншого і сприймає їх в конкретній єдності. Особливе є завжди якісно визначене, конкретне буття відповідного класу об'єктів. Таким чином, особливе ширше загального і одиничного [147].

При навчанні курсу електротехніки явно простежується суперечність між ідеальними елементами електротехніки і відсутністю уявлення про реальну фізичну реалізацію цих елементів у предметній галузі. І, як наслідок, труднощі практичного застосування знань з електротехніки для вирішення конкретних професійних завдань.

Одиничне – це об'єкт з усією сукупністю притаманних йому властивостей, які відрізняють його від всіх других об'єктів і складають його

індивідуальну, якісну і кількісну визначеність. У формуванні одиничного приймає участь велика множина неповторних умов, безліч випадковостей [147].

Виходячи з цих положень, можна розглядати безліч реальних елементів предметної області як одиничне, неповторне, індивідуальне. Але з великої сукупності індивідуальних властивостей завжди можна виділити те особливе, що дозволить відсіяти всі випадкові індивідуальні відхилення і об'єднати об'єкти або явища на базі загальної закономірності. Так, наприклад, велика кількість об'єктів предметної галузі, які можна розглядати як елементи електричних кіл, мають електричний опір, або електрорушійну силу. Таким чином відбувається наповнення ідеального елемента електротехніки реальним фізичним змістом об'єктів машинобудівної галузі.

Побудова моделей електротехнічних пристроїв є необхідною, важливою і досить складною задачею, без вирішення якої неможливе вивчення властивостей, характеристик, енергетичних залежностей і поведінки електротехнічного пристрою в конкретних експлуатаційних умовах [113, 157].

Згідно з термінологією теорії моделювання, модель – це умовний образ об'єкту дослідження, який створюється так, щоб відобразити будову, властивості, взаємозв'язки, параметри об'єкта, які є суттєвими для дослідника. Таким чином, моделювання є одним з найефективніших методів дослідження реально існуючих об'єктів на їх моделях [119, 171, 187]. Метою моделювання є отримання пояснень явищ (процесів), які відбуваються в об'єктах, а також для передбачення явищ, що цікавлять дослідника [148, 149].

Класифікація моделей передбачає їх відмінність за певними ознаками. Так, серед найбільш поширених видів моделей, відмічають три види: математичну модель, графічну (топологічну) модель, модель по типу мови опису – інформаційна модель [148].

Таким чином, можна визначити концептуальну ідею побудови комплексної моделі елементу змісту навчання електротехніки, як трискладової структури – інформаційна модель, топологічна та розрахункова (математична) модель.

У нашому випадку інформаційну модель можна класифікувати як системно інформаційну, враховуючи застосування системного підходу в процесі її формування.

Створення єдиної структури узагальненої (універсальної) комплексної моделі опису об'єктів і процесів електротехніки суттєво спростить розроблення великої кількості моделей опису конкретних електротехнічних пристроїв.

Побудова структури узагальненої комплексної моделі елементів системи професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки здійснюється на основі системного підходу. Згідно з системним методом поетапної деталізації, спочатку визначається перелік блоків (складових) структури узагальненої комплексної моделі. Найбільш повно і адекватно описують електротехнічні об'єкти і процеси інформаційні, топологічні та математичні моделі [10, 91, 92, 97, 104, 144, 148, 176, 187, 200]. Отже, структура узагальненої комплексної моделі містить саме ці складові.

Визначимо наповнення складових структури узагальненої комплексної моделі. Основою інформаційної складової має бути системний (структурно-функціональний) опис електротехнічного об'єкта чи процесу.

Інформаційне моделювання [194] складається в нашому випадку з виділення в різноманітті електротехнічних пристроїв інформаційних суттєвостей, їх атрибутів і зв'язків між ними.

Інформаційне моделювання – процес описування або побудови моделі предметної галузі в тому вигляді або форматі, які, по-перше, легко сприймаються людиною, і по-друге, легко можуть бути перетворені в набір специфічних елементів інформаційного характеру.

Серед таких інформаційних елементів можна виділити наступні [86]:

1. Визначення елементу змісту.
2. Призначення .
3. Будова.
4. Принцип дії.
5. Умови роботи.
6. Характеристики.
7. Галузь застосування.

Базовий варіант інформаційної моделі I_0 має вигляд:

$$I_0 = \{S; D\},$$

де S – множина ознак опису побудови, складу, структури, конструкції електротехнічного об'єкта чи процесу;

D – множина ознак опису принципів дії, функціонування електротехнічного об'єкта чи процесу.

На першому етапі, на основі базового варіанту інформаційної моделі, формується розширена системно-інформаційна складова комплексної моделі електротехнічного об'єкта чи процесу I_e :

$$I_e = \{R; S; D; H\},$$

де R – множина ознак опису призначення електротехнічного об'єкта чи процесу;

S, D – множина ознак опису об'єкта чи процесу за базовою моделлю I_0 ;

H – множина ознак опису параметрів та характеристик об'єкта чи процесу.

Для системно-інформаційного опису електротехнічних об'єктів і процесів професійно орієнтованого (галузевого) змісту навчання електротехніки формується модифікований варіант розширеної моделі I_1 :

$$I_1 = \{R(R_{заг}; R_{гал}); S(S_{заг}; S_{гал}); D(D_{заг}; D_{гал}); H(H_{заг}; H_{гал})\},$$

де $R_{заг}$ – множина ознак опису загального призначення об'єкта чи процесу;

$R_{гал}$ – множина ознак опису галузевого призначення об'єкта чи процесу;

$S_{заг}$ – множина ознак опису побудови, складу, структури, конструкції об'єкта чи процесу загального призначення;

$S_{гал}$ – множина ознак опису побудови, складу, структури, конструкції об'єкта чи процесу галузевого призначення;

$D_{заг}$ – множина ознак опису принципів дії, функціонування об'єкта чи процесу загального призначення;

$D_{гал}$ – множина ознак опису принципів дії, функціонування об'єкта чи процесу галузевого призначення;

$H_{заг}$ – множина ознак опису параметрів та характеристик об'єкта чи процесу загального призначення;

$H_{гал}$ – множина ознак опису параметрів та характеристик об'єкта чи процесу галузевого призначення.

На другому етапі розглянемо побудову топологічної складової моделі.

Мета моделювання на цьому етапі полягає в тому, що базуючись на результатах, отриманих на першому етапі, визначити структуру топологічної моделі, скласти еквівалентну схему заміщення реального об'єкта, визначити складові схеми заміщення, які представлені ідеальними елементами електротехніки й визначити зв'язки між ними.

Сучасні вимоги до електротехнічних пристроїв ведуть до все більшого їх ускладнення. До складу таких пристроїв все частіше входять елементи електроніки, елементи автоматичного управління та регулювання і в номенклатурі пристроїв вони виступають, як комплектні електротехнічні пристрої промислового обладнання. Для визначення параметрів елементів, які відповідають оптимальним режимам роботи таких складних схем, необхідно проводити загальний аналіз роботи електричного кола. Для цього широко застосовуються, так звані, символні методи аналізу електричних кіл, які засновані на застосуванні матричної алгебри, теорії графів та теорії множин [104]. Але в нашому випадку ми розглядаємо побудову топологічної моделі електричного кола, як еквівалентну схему взаємозв'язків параметрів, які характеризують конкретний пристрій в реальних умовах експлуатації, тобто нам необхідна схема заміщення фізичного об'єкта. Важливість схеми заміщення для аналізу роботи кола обумовлена тим, що ми маємо можливість отримати схемні зв'язки між елементами, а також високу ступінь формалізації. Найважливішим є завдання розглянути варіанти можливих схем в залежності від умов роботи та режимів.

Характеристики реальних двополюсних елементів резистора, котушки індуктивності та конденсатора відрізняються від характеристик ідеальних елементів. Це відбувається через те, що виникають втрати потужності в проводах, пластинах та діелектрику конденсатора, магнітопроводі котушки, а також від впливу супутніх параметрів елементів. Ці явища враховуються в схемах заміщення додатковими ідеальними елементами, які включаються послідовно або паралельно по відношенню до основного параметра, який характеризує фізичний об'єкт.

Втрати потужності в діелектрику конденсатора і в магнітопроводі котушки, які виникають в змінних електромагнітних полях, приблизно пропорційні квадрату діючого значення напруги. Тому для врахування цих втрат в схеми заміщення пристроїв вводять резистивні елементи, які включають паралельно основному елементу.

Втрати у дротах, обмотках котушок та пластинах конденсаторів враховуються послідовно підключеними резистивними елементами, тому що ці втрати пропорційні квадрату діючого значення струму в пристрої. Необхідно враховувати те, що так як втрати в діелектрику та в магнітопроводі є функціями частоти, значення опорів, які враховують ці втрати, також будуть частотно-залежними [133].

Таким чином, друга складова узагальненої комплексної моделі елементів системи професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки I_2 представляє собою топологічні моделі об'єкта, його схеми заміщення у різних режимах, як у випадках загального, так і галузевого призначення:

$$I_2 = \{C_{заг}; C_{гал}\},$$

де $C_{заг}$ – множина схем заміщення об'єкта загального призначення;

$C_{гал}$ – множина схем заміщення об'єкта галузевого призначення.

Модель I_2 формується на основі моделі I_1 .

На третьому етапі створюємо розрахункову складову комплексної моделі.

Розрахункова складова передбачає наявність конкретного завдання по розрахунку необхідних параметрів, режимів, характеристик, експлуатаційних величин, які необхідно знати для вирішення виробничих задач по експлуатації, модернізації, удосконаленню роботи промислового обладнання.

Під розрахунковою складовою будемо розуміти математичну модель, яка представляє собою систему математичних виразів, які описують характеристики об'єкта моделювання.

Отже, третя складова узагальненої комплексної моделі – це система математичних моделей I_3 , які представляють собою математичні вирази, що за топологічними моделями I_2 описують об'єкт:

$$I_3 = \{M_{заг}; M_{гал}\},$$

де $M_{заг}$ – математичні моделі, які описують об'єкт загального призначення;

$M_{гал}$ – математичні моделі, які описують об'єкт галузевого призначення.

Необхідно враховувати те, що системно-інформаційні, топологічні та розрахункові складові галузевого призначення комплексної моделі будь-якого електротехнічного об'єкту або процесу, притаманні конкретним електротехнічним пристроям, які знаходяться у складі промислового обладнання машинобудівного виробництва.

Для окремих навчальних елементів, які складають теоретичну основу електротехніки (елементи, параметри, закони, методи розрахунку електричних кіл, методи електричних вимірювань), можливі збіги характеристик, коли деякі загальні та галузеві ознаки можуть співпадати. Це пояснюється тим, що вони ґрунтуються на одних і тих же фізичних явищах і законах.

Структура узагальненої комплексної трискладової моделі елементів системи професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей приведена на рис. 1.9 [207].

Запропонована узагальнена модель дозволяє розробити комплексні моделі конкретних елементів системи професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки.

Розглянемо методику поетапної побудови трискладової комплексної моделі електротехнічного пристрою реального фізичного об'єкта, як елемента системи змісту навчання. Для цього наведемо приклад побудови моделі електротехнічного елементу промислового обладнання машинобудівної галузі – резистора.

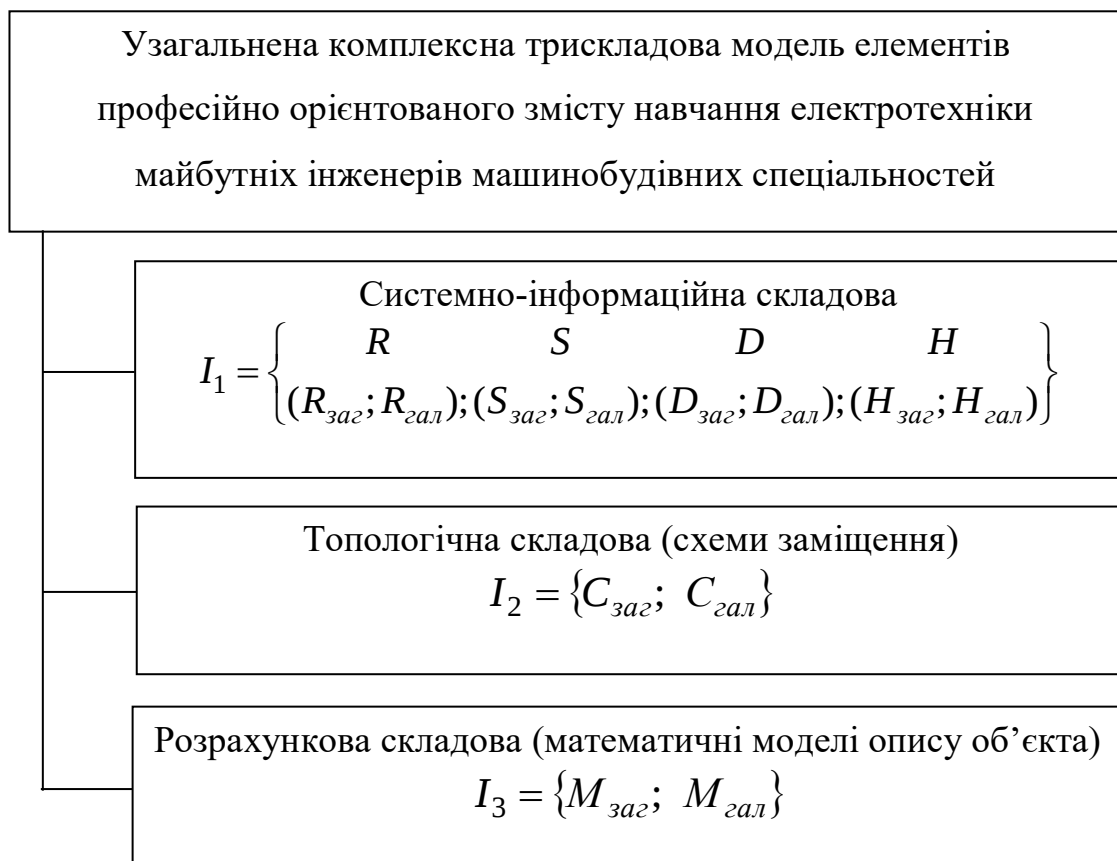


Рис. 1.9. Структура узагальненої комплексної трискладової моделі елементів професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей

Визначимо послідовність побудови моделей електротехнічних пристроїв, основне призначення яких – створення опору протіканню електричного струму в електричних колах різноманітного призначення. Під терміном «резистор» в даному випадку будемо розуміти всі ті електротехнічні пристрої, в яких основний параметр (параметр, за ради якого вони створювались) є параметр R , омичний або активний опір. Це, перш за все, безпосередньо резистори постійного та змінного опору, пускові та регульовальні реостати, зразкові резистори опору, з'єднувальні дроти та ін.

На першому етапі здійснюється побудова системно-інформаційної складової моделі реального електротехнічного елемента – резистора.

Множина ознак R (R_{zag} , R_{gal}) містить наступні елементи [109, 182, 187,]:

R_{zag1} – створення опору протіканню електричного струму;

R_{gal1} – забезпечення необхідних режимів роботи електротехнічного об'єкта;

R_{gal2} – забезпечення безпечних умов експлуатації промислового обладнання.

Множина ознак S (S_{zag} , S_{gal}) містить такі елементи [29, 109]:

S_{zag1} – діелектрична основа основного елементу;

S_{zag2} – основний елемент з провідникового матеріалу;

S_{gal1} – виводи або затискачі.

Множина ознак D (D_{zag} , D_{gal}) має такі елементи [109, 187]:

D_{zag1} – опір матеріалу провідника протіканню електричного струму;

D_{gal2} – перетворення електричної енергії в теплову.

В даному випадку множина ознак D_{zag} і D_{gal} повністю співпадають, тому що ці ознаки ґрунтуються на одних і тих же фізичних явищах.

Множина ознак H (H_{zag} , H_{gal}) складається з наступних елементів [109, 117, 133, 182, 187]:

H_{zag1} – опір;

H_{zag2} – струм;

H_{zag3} – напруга;

H_{zag4} – потужність;

H_{gal1} – робоча температура;

H_{gal2} – масо-габаритні параметри;

H_{gal3} – вольт-амперна характеристика;

$H_{гал4}$ – ВЧ-параметри.

На другому етапі виконується побудова топологічної складової моделі фізичного об'єкта, тобто визначаються можливі схеми заміщення в залежності від умов та режимів експлуатації електротехнічного пристрою.

На етапі топологічного моделювання фізичного об'єкта, в якості прикладу, розглянемо схеми заміщення резистора, як конструктивного елемента електротехнічної складової промислового обладнання. Структура схем залежить від цілого ряду факторів. Перш за все, необхідно враховувати умови експлуатації резистора, характеристики джерела живлення, конструктивні особливості та технологію виготовлення елемента. На рис. 1.10 представлені варіанти топологічних моделей цього елемента.

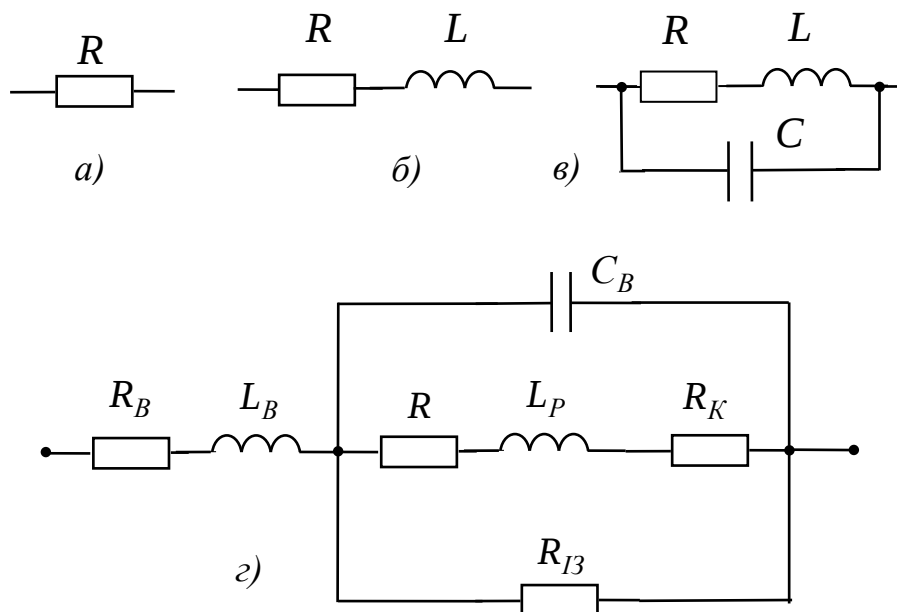


Рис. 1.10. Схеми заміщення резистора

Модель резистора на рис. 1.10, а є ідеальною, бо представлена одним параметром і не враховує інші супутні параметри, які мають місце в реальному елементі. Така модель може бути прийнята в таких випадках:

1) резистор працює в колі постійного струму і враховує тільки омичний (активний) опір резистора і його властивість перетворювати електричну енергію в інші види енергії;

2) резистор працює в колі змінного струму низької частоти (промислова частота) і супутні параметри на цій частоті мають малі значення по відношенню до основного параметра, тобто ними можна знехтувати без суттєвого впливу на результати розрахунку;

3) резистор працює в колі змінного струму, але технологія його виготовлення не передбачає наявності супутніх параметрів, значення яких необхідно враховувати.

Модель резистора на рис. 1.10, б є вже більш складною і враховує такий супутній параметр, як індуктивність. Цей параметр залежить від багатьох факторів і, перш за все, від таких, що виводять параметр індуктивності на такий рівень, при якому опір, що створює цей параметр в електричному колі суттєво впливає на режим роботи навантаження. Серед таких факторів слід зазначити:

1) технологія виготовлення резистора. Резистор при виготовленні, якого застосовувалась намотка дроту на діелектричний каркас має досить велику індуктивність, тому що має місце поточкозчеплення магнітного потоку з витками резистора, що створюється особливостями конструкції (намотка котушки);

2) конструкція резистору передбачає наявність відносно довгих виводів складної конфігурації. Індуктивність виводів такої форми може суттєво впливати на режими роботи резистора і її необхідно враховувати при побудові моделі елементу.

В моделі, представлений на рис. 1.10, в, враховується міжвиткова ємність. Поряд з раніше розглянутими параметрами, модель доповнена третім параметром. Такий варіант еквівалентної електричної схеми пропонується при побудові моделі резистора, який застосовують у вимірювальній техніці (зразкового опору) [186]. Окрім основного

параметра R , при застосуванні резистора у вимірювальних колах змінного струму, і особливо при підвищеній частоті, необхідно враховувати і супутні параметри L і C . За допомогою деяких конструктивних заходів, значення цих параметрів намагаються звести до мінімуму (біфілярна намотка, секціонування), та все ж, при побудові математичної моделі елементу, їх, як буде показано нижче, необхідно враховувати. Таку ж модель резистора пропонують і інші автори [133, 171], вважаючи, що необхідно враховувати супутні параметри L і C при роботі на високих частотах.

Для врахування всіх особливостей тих процесів, які відбуваються в реальному резисторі при різних частотах джерела живлення, схема заміщення набуває досить складного вигляду (рис. 1.10, з.) [127].

Так, поряд з основним параметром (елементом) R , показані супутні параметри, які суттєво залежать від конструкції реального елемента, технології його виготовлення і властивостей матеріалів, що входять до його складу. На рис. 1.10, з. позначено:

R_{I3} – опір ізоляції; який необхідно враховувати при побудові моделей високоомних резисторів, а також резисторів, що працюють при високій напрузі.

R_K – опір контактів, залежить від матеріалу (мідь, срібло, полуда), а також від робочої площі контактів;

R_B – опір виводів, залежить від матеріалу, площі перерізу, довжини виводів;

L_P – індуктивність резистора, визначається технологією виготовлення резистора та його конструкцією. Так резистори виготовлені шляхом намотки дроту на ізоляційний каркас мають досить велику індуктивність.

L_B – індуктивність виводів, залежить від довжини та конфігурації виводів.

C_B – ємність між выводами, залежить від конструкції резистора. При

намотці дроту на ізоляційний каркас сумарна міжвиткова ємність може бути досить значною.

Чим вище точність розрахунків, тим більша кількість факторів повинна враховуватись при побудові моделі і тим складніший вигляд буде мати еквівалентна схема кожного елемента предметної галузі. Разом з тим, ускладнення еквівалентних схем суттєво збільшує трудомісткість розрахунків, тому, при аналізі електричних кіл, необхідно прагнути до використання спрощених схем заміщення реальних елементів, які б склались з мінімальної кількості обґрунтовано необхідних ідеалізованих елементів [91].

В залежності від умов експлуатації резистора, технології його виготовлення, конструкції та інших факторів, представлені на рис. 1.10, схеми заміщення можна класифікувати таким чином:

1. Схеми на рис. 1.10, *а, б* – схеми заміщення резистора загального та галузевого призначення $C_{заг1}$, $C_{заг2}$ та $C_{гал1}$, $C_{гал2}$ (схеми співпадають);
2. Схеми на рис. 1.10, *в, г* – схеми заміщення резистора галузевого призначення $C_{гал3}$, $C_{гал4}$.

Але, в кожному випадку схеми заміщення одного і того ж елемента, можуть мати різний вигляд в залежності від робочого частотного діапазону.

На третьому етапі здійснюється побудова розрахункової (математичної) складової моделі фізичного об'єкта, тобто визначаються можливі математичні залежності, які зв'язують основні електричні величини з параметрами схеми заміщення з урахуванням умов експлуатації електротехнічного пристрою. За результатами третього етапу моделювання з'являється можливість провести необхідні розрахунки параметрів в різних режимах роботи конкретних фізичних об'єктів.

Параметр R , який є основним параметром резистивного елемента, характеризується наступними залежностями:

1) залежність параметра від властивостей матеріалу, з якого виготовлено резистор, та від його геометричних розмірів (характеристика, як загального M_{zag1} , так і галузевого M_{gal1} призначення):

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де ρ – питомий опір матеріалу елемента; l – довжина провідника, з якого виготовлено резистор; S – площа поперечного перерізу провідника;

2) залежність параметра від температури. В процесі експлуатації необхідно знати опір резистора при температурі навколишнього середовища, а також опір при роботі елемента з різним ступенем навантаження, тобто резистора галузевого призначення M_{gal2} :

$$R_2 = R_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)],$$

де R_1 – опір елемента при температурі T_1 ; T_2 – робоча температура елемента; α – температурний коефіцієнт опору;

3) вплив основного параметра на енергетичні характеристики резистора:

– струм, який проходить через елемент M_{zag2} :

$$I = \frac{U}{R}.$$

– потужність, яка виділяється на елементі M_{zag3} :

$$P = I^2 R, \quad P = \frac{U^2}{R}.$$

– електрична енергія, яка споживається елементом $M_{заг4}$:

$$W = I^2 R t.$$

4) залежність повного опору резистора від частоти джерела живлення. При врахуванні супутніх параметрів в моделях резистора представлених на рис. 1.10 для моделі на рис. 1.10, б маємо $M_{заг5}$:

$$\underline{Z} = R + j\omega L.$$

Для моделі (рис. 1.10, в) повний опір схеми заміщення пропонується [123, 186] в такому вигляді $M_{заг3}$:

$$\underline{Z} = \frac{R}{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 R^2} + j\omega \frac{L - R^2 C - \omega^2 LC}{(1 - \omega^2 LC)^2 + \omega^2 C^2 R^2}.$$

Цей вираз можна значно спростити, якщо знехтувати тими його складовими, які по відношенню до основного параметра будуть мати мізерно малі значення при відносно невисоких частотах джерела живлення $M_{заг4}$:

$$\underline{Z} = R + j\omega(L - R^2 C).$$

Для повної моделі резистора (рис. 1.10, з) математичні залежності, які зв'язують між собою всі параметри, що входять в схему заміщення, а також їх зв'язок з енергетичними характеристиками елемента мають досить складну структуру. Застосування такої моделі виправдано тільки в тому випадку, коли необхідно врахувати всі її складові і вони мають домінуючий вплив на режими роботи елемента в конкретних умовах експлуатації.

Інтегрована комплексна трискладова модель змісту навчання резистора в компактному вигляді представлена на рис. 1.11.

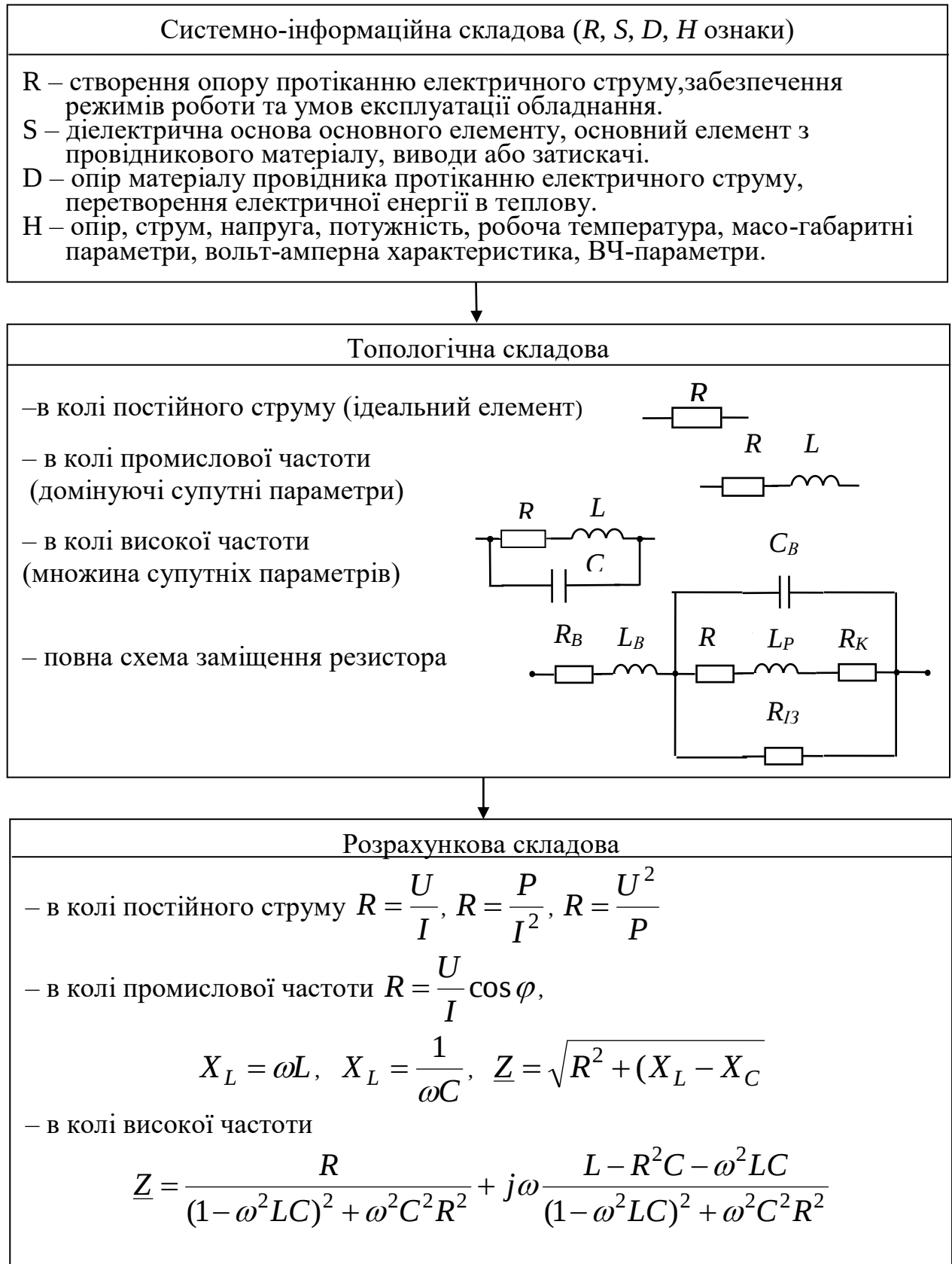


Рис. 1.11. Комплексна трискладова модель змісту навчання
елементу промислового обладнання – резистора

Розглянута методика формування комплексної трискладової моделі елементів та пристроїв електротехнічного обладнання може застосовуватися для побудови моделі будь-якого реального елементу електротехніки. Ця методика дає можливість формалізувати процес моделювання, об'єднавши його основні фрагменти на основі запропонованого системного підходу.

Подальші дослідження можуть бути направлені на побудову моделей реальних елементів електричних кіл промислового устаткування. Перспективним є також застосування цієї методики у процесі формування системи змісту навчання електротехніки для майбутніх інженерів неелектротехнічних спеціальностей.

Висновки до розділу 1

Застосування сучасного електротехнічного обладнання на підприємствах машинобудівної галузі є необхідною умовою підвищення ефективності промислового виробництва. Тому, формування знань, умінь, навичок та професійно важливих якостей, орієнтованих на конкретну галузь виробництва, є важливим завданням процесу навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей.

1. Аналіз професійної діяльності інженерів машинобудівного профілю визначає, що вони в галузі електрообладнання промислових підприємств повинні бути добре обізнані як з електричною частиною, так і з основами технологічних процесів і конструкціями устаткування електронагріву, електрозварювання, металообробних верстатів і електричних машин, підйомно-транспортних механізмів тощо. Крім того, для плідної співпраці із спеціалістами електриками, інженери неелектрики повинні мати знання та уміння в галузі електротехніки і чіткі уявлення про конструкцію, принцип дії, технічні та експлуатаційні характеристики основних електротехнічних пристроїв машин, апаратів, приладів тощо, які узагальнені під терміном – електротехнічне обладнання.

2. На основі проведеного аналізу сформовані вимоги до професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки. Ці вимоги визначають його рівень професійної спрямованості. Основним є те, що професійно орієнтований зміст повинен бути спрямованим на ті види електротехнічних пристроїв, які входять до складу різних груп промислового обладнання, тобто тих пристроїв, з якими інженер-механік буде мати справу в процесі своєї виробничої діяльності. Визначено, що при формуванні змісту дисципліни необхідно враховувати особливості професійної діяльності інженера-механіка, які обумовлені його посадовими обов'язками.

Необхідно також враховувати те, що професійно орієнтований зміст дисципліни повинен сприяти формуванню відповідної системи вмінь майбутнього фахівця машинобудівної галузі, серед яких необхідно відмітити вміння працювати з електричними приладами та електротехнічними пристроями, та виконувати розрахунки параметрів та режимів роботи електротехнічного обладнання.

Це зумовлює необхідність теоретичного обґрунтування та розроблення професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків на основі побудови комплексних моделей елементів змісту навчання дисципліни.

3. Запропоновано професійно орієнтований підхід до формування математичних моделей електротехнічних пристроїв промислового обладнання, на прикладі машинобудівного обладнання, що дозволяє зменшити складність сприйняття теоретичного матеріалу шляхом максимального його наближення до предметної галузі. Розглянутий підхід до формування комплексної трискладової моделі елементів та пристроїв електротехнічного обладнання можна застосувати для побудови моделі будь-якого реального елементу електротехніки. Цей метод дає можливість формалізувати процес моделювання, об'єднавши його основні фрагменти на основі запропонованого системного підходу. Основні положення та наукові результати розділу опубліковані в працях [88, 110, 111, 112].

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ ПРОФЕСІЙНО ОРІЄНТОВАНОГО ЗМІСТУ НАВЧАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ МАШИНОБУДІВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПЛЕКСНИХ МОДЕЛЕЙ

2.1. Професійно орієнтований зміст навчання електротехнічних елементів і пристроїв предметної галузі машинобудування на основі комплексних моделей

Визначимо на початку проєктування професійно орієнтованого змісту навчання *характеристики електротехнічних елементів предметної галузі* [90].

При вивченні процесів, які протікають в електротехнічних пристроях, що входять до складу виробничого обладнання машинобудівної галузі, реальні електричні кола представляють їх схемами заміщення [109, 182, 187, 205]. Тобто реальне електричне коло заміняють розрахунковою схемою або ідеалізованим колом, яке складається із певного набору ідеалізованих елементів, які відображають фізичні процеси, що відбуваються в реальних об'єктах [116, 137, 169, 170].

Найменування елементів схеми співпадає з найменуванням параметрів кола, які ці елементи характеризують. У той же час параметри кола можна розглядати як проявлення електромагнітних явищ, які виникають у реальних елементах кола [15, 17, 28, 59, 109, 124, 171, 187, 188]. Тобто опори, індуктивності, ємності, електрорушійні сили можуть розглядатися як електромагнітні явища. Характеристики цих елементів та варіанти схем заміщення приведені в додатку П.

Розглянемо поетапну побудову моделі найбільш характерного представника елементів групи L – котушки індуктивності, яка входить до складу багатьох електротехнічних пристроїв промислового обладнання

Згідно з приведеним вище алгоритмом побудови трискладової моделі змісту навчання розглянемо перший етап створення моделі – побудову системно-інформаційної складової моделі реального електротехнічного елемента.

Множина ознак $R (R_{zag}, R_{gal})$ містить такі ознаки:

R_{zag1} – створення індуктивності;

R_{zag2} – створення магнітного потоку для роботи електромагнітних пристроїв;

R_{zag3} – обмеження швидкості зміни струму в електричному колі;

R_{gal1} – забезпечення необхідних режимів роботи електротехнічного об'єкта.

Множина ознак $S (S_{zag}, S_{gal})$ містить такі ознаки:

S_{zag1} – діелектричний каркас;

S_{zag2} – обмотка з ізолюваного провідника (дріт або шина);

S_{zag3} – осердя з феромагнітного матеріалу;

S_{zag4} – виводи або затискачі.

В даному випадку вказані ознаки множини S можуть бути віднесені як до ознак елемента загального, так і галузевого призначення.

Множина ознак $D (D_{zag}, D_{gal})$ містить такі ознаки:

D_{zag1} – створення власного магнітного поля;

D_{zag2} – створення реактивного опору в електричному колі змінного струму;

D_{zag3} – забезпечення додатного кута зсуву фаз між струмом та напругою в колі змінного струму;

D_{gal1} – створення сили тяги електромагніту.

Множина ознак $H (H_{zag}, H_{gal})$ містить такі ознаки:

H_{zag1} – індуктивність;

$H_{за2}$ – струм;

$H_{за3}$ – напруга;

$H_{за4}$ – повний опір;

$H_{за5}$ – фазовий кут;

$H_{за6}$ – реактивна потужність;

$H_{за7}$ – частотно-залежний реактивний опір;

$H_{гал1}$ – масо-габаритні параметри;

$H_{гал2}$ – ВЧ-параметри.

Перейдемо до другого етапу побудови комплексної моделі фізичного об'єкта, а саме до побудови топологічної складової моделі котушки індуктивності. Варіанти схем заміщення представлені на рис. 2.1.

Велике різноманіття цих схем пояснюється залежністю характеристик котушки індуктивності і складових схем заміщення від частоти джерела живлення і режимів роботи електричного кола.

Так, якщо для аналізу електричного кола суттєвим є тільки накопичування енергії магнітного поля, а всіма іншими параметрами можна знехтувати, котушку індуктивності моделюють ідеальною індуктивністю (рис. 2.1, а). При необхідності врахування втрат на нагрів дроту, яким намотана котушка застосовують схему приведену на рис. 2.1, б. Якщо міжвиткова ємність котушки досить значна і суттєво впливає на процеси в електричному колі, схема заміщення становиться більш складною (рис. 2.1, в) [109, 117, 133].

Якщо потрібно розрізнити магнітні потоки, які замикаються по осердю і по повітрю (потік розсіювання), застосовують схему рис. 2.1, г, в яку додатково введено індуктивність розсіювання.

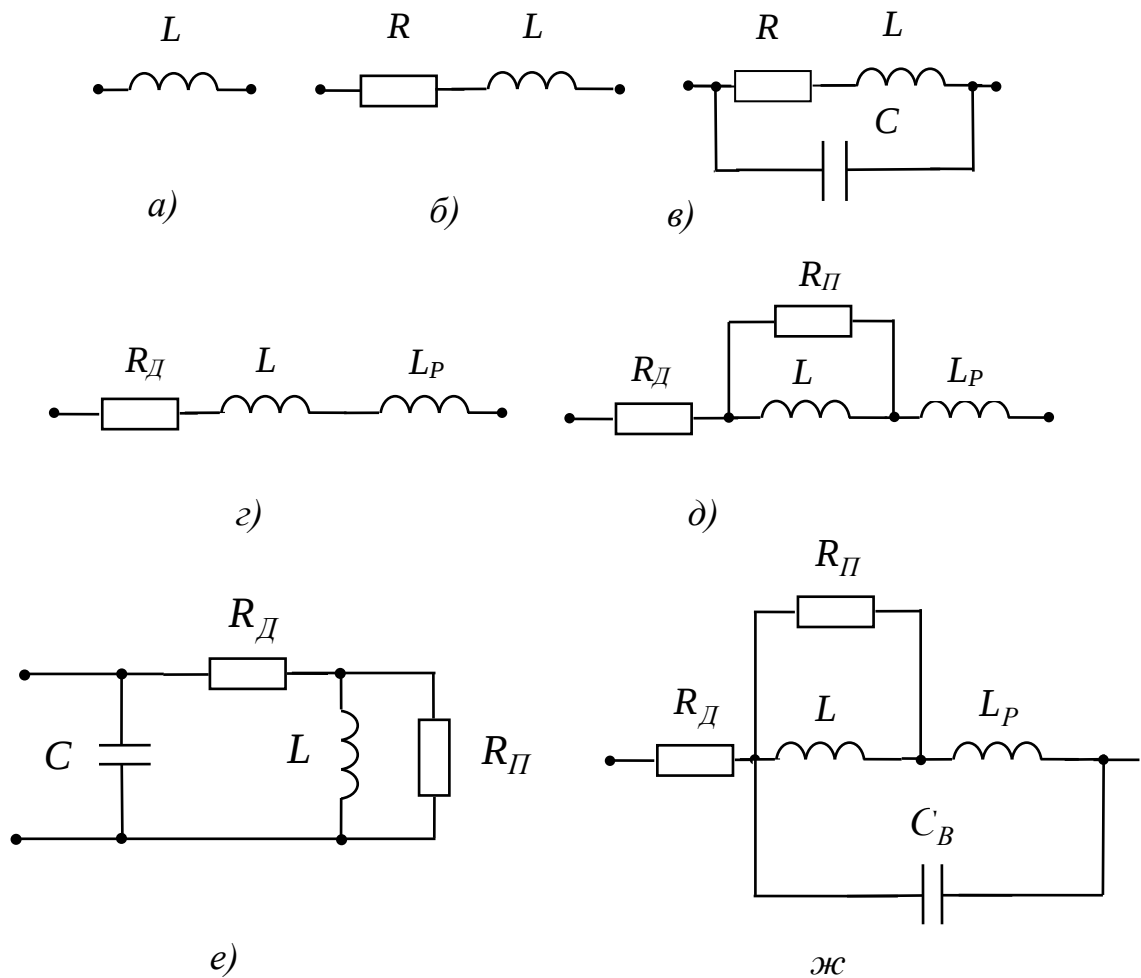


Рис. 2.1. Схеми заміщення котушки індуктивності

Для врахування втрат на перемагнічування осердя паралельно з основною індуктивністю необхідно включити опір, тому що втрати в осерді залежать тільки від відповідної частини магнітного потоку (рис. 2.1, д) [117, 133, 145].

Для врахування параметрів, які суттєво проявляють себе в високочастотних колах, використовують схеми приведені на рис. 2.1, е, ж. Розрахунки з застосуванням таких моделей значно ускладнюються, тому їх використання повинно бути чітко обґрунтованим [117].

Таким чином, як і в попередньому випадку, найбільш поширені топологічні моделі в класичній методиці формування змісту це ті, які не

враховують складність галузевих особливостей експлуатації електротехнічного пристрою. Це схеми заміщення C_{zag} :

– C_{zag1} – рис. 2.1, а, C_{zag2} – рис. 2.2, б, C_{zag3} – рис. 2.1, в.

Схеми, які враховують особливості роботи котушки індуктивності в конкретних умовах в складі промислового обладнання можна віднести до об'єктів галузевого призначення $C_{гал}$:

– $C_{гал1}$ – рис. 2.1, г, $C_{гал2}$ – рис. 2.1, д, $C_{гал3}$ – рис. 2.1, е,

$C_{гал4}$ – рис. 2.1, ж.

Як бачимо, варіанти схем заміщення (топологічна складова) електротехнічного пристрою досить різноманітні і суттєво відрізняються. Все залежить від частоти джерела живлення, умов експлуатації, найбільш важливих характеристик, домінуючих параметрів та ін. Тому враховуючи, що більш прості схеми заміщення найчастіше застосовуються при класичних методиках формування змісту навчання електротехніки, їх можна обґрунтовано віднести до схем заміщення об'єктів загального призначення, більш складні, з урахуванням додаткових факторів та особливостей експлуатації пристрою логічно віднести до пристроїв галузевого призначення. Але остаточний розподіл схем заміщення за цими ознаками буде доцільним при формуванні комплексної моделі реального електротехнічного пристрою промислового обладнання.

На третьому етапі побудови комплексної моделі котушки індуктивності розглянемо розрахункову складову моделі, яка встановлює математичні залежності між параметрами котушки та величинами, що діють в електричному колі (M_{zag} , $M_{гал}$).

1. Основний параметр котушки індуктивність визначається її геометричними параметрами [109]:

– для багатошарової котушки ($M_{гал1}$)

$$L = \frac{0,32 \cdot 10^{-4} r^2 w^2}{6r + 9l + 10d},$$

де окрім геометричних розмірів котушки вказують w – кількість витків котушки;

– для тороїдної котушки з неферромагнітним осердям прямокутного перерізу ($M_{гал2}$)

$$L = 2 \cdot 10^{-7} w^2 h \ln(r_2 / r_1).$$

Зазвичай на практиці індуктивність котушки вимірюють спеціальними приладами, які для цього призначені, наприклад, вимірювач R , L , C універсальний Е7-11.

2. Індуктивний та повний опори котушки ($M_{заг1}$)

$$X_L = \omega L = 2\pi f L, \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}.$$

3. Струм та напруга ($M_{заг2}$)

$$i = \frac{1}{L} \int_0^t u_L dt, \quad u_L = L \frac{di}{dt}.$$

4. Активна та реактивна потужності ($M_{заг3}$)

$$P = RI^2, \quad Q_L = X_L I_L^2.$$

У компактній формі комплексна трискладова модель котушки індуктивності представлена на рис. 2.2.

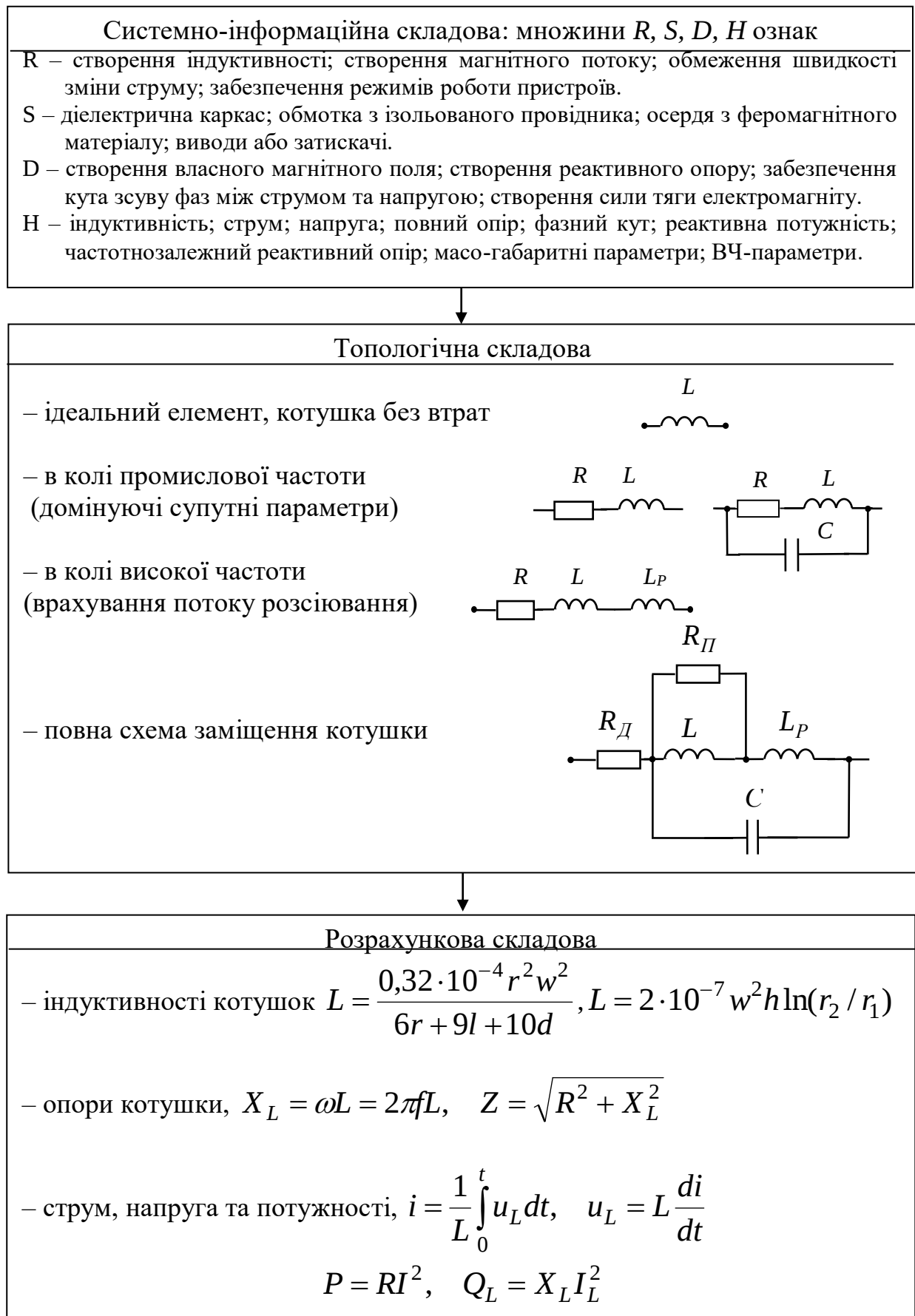


Рис. 2.2. Комплексна трискладова модель змісту навчання елементу промислового обладнання – котушки індуктивності

Застосуємо розглянуту вище методику побудови трискладових моделей електротехнічних пристроїв для моделі змісту навчання такого елемента електротехнічного обладнання, як конденсатор.

На першому етапі розглянемо побудову системно-інформаційної складової моделі по основним ознакам фізичного об'єкта.

Множина ознак $R (R_{zag}, R_{gal})$ містить наступні ознаки:

R_{zag1} – створення ємності, параметра, який характеризується здатністю накопичувати електричні заряди;

R_{zag2} – створення в оточуючому просторі електричного поля;

R_{zag3} – обмеження швидкості зміни напруги в електричному колі;

R_{gal1} – забезпечення необхідних режимів роботи електротехнічного об'єкта.

Множина ознак $S (S_{zag}, S_{gal})$ містить наступні ознаки:

S_{zag1} – пластини з провідникового матеріалу;

S_{zag2} – діелектрик розміщений між пластинами;

S_{zag3} – виводи або затискачі.

S_{gal1} – корпус для розміщення складових конденсатора;

Множина ознак $D (D_{zag}, D_{gal})$ містить наступні ознаки:

D_{zag1} – створення власного електричного поля;

D_{zag2} – створення реактивного опору в електричному колі змінного струму;

D_{zag3} – забезпечення від'ємного кута зсуву фаз між струмом та напругою в колі змінного струму;

D_{gal1} – полярність конденсатора.

Множина ознак $H (H_{zag}, H_{gal})$ містить наступні ознаки:

H_{zag1} – ємність;

H_{zag2} – струм;

$H_{заг3}$ – напруга;

$H_{заг4}$ – повний опір;

$H_{заг5}$ – фазовий кут;

$H_{заг6}$ – реактивна потужність;

$H_{заг7}$ – частотнозалежний реактивний опір;

$H_{гал1}$ – масо-габаритні параметри;

$H_{гал2}$ – ВЧ-параметри.

Для побудови топологічної складової моделі конденсатора розглянемо можливі схеми заміщення, склад яких залежить від характеристик джерела живлення та особливостей режиму роботи електричного кола (рис. 2.3).

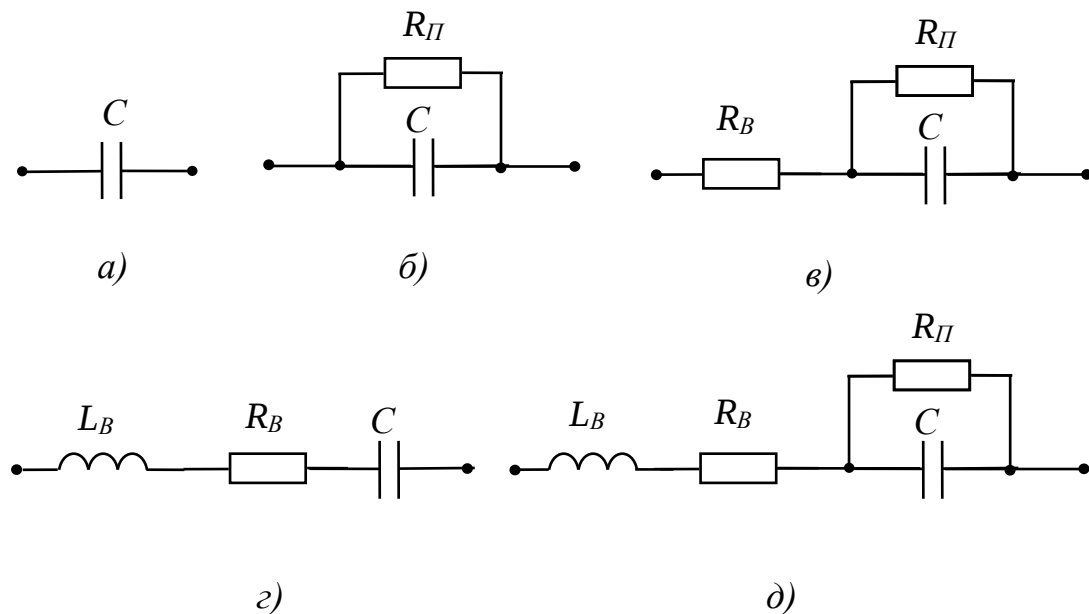


Рис. 2.3. Схеми заміщення конденсатора

Конденсатор можна представити одним параметром (рис. 2.3, а). Це ідеальний конденсатор, який в схемі заміщення має тільки основний параметр – ємність C . Якщо супутніми параметрами знехтувати не можна, пропонуються більш складні схеми заміщення [127]. Для низьких, середніх

і високих частот застосовують схеми, які показано на рис. 2.3, б, в, г відповідно, або узагальнену схему (рис. 2.3, д). В них додатково введено:

R_{II} – опір, який враховує втрати в діелектрику;

R_B – опір виводів та затискачів конденсатора,

L_B – індуктивність виводів та внутрішня індуктивність, яка залежить від технології виготовлення конденсатора. Наприклад, паперові конденсатори мають значну індуктивність, яка суттєво впливає на електромагнітні процеси в колах підвищеної частоти.

Досить часто топологічну складову моделі конденсатора представляють у вигляді позначеному на рис. 2.3, а. Тобто вважають, що конденсатор має тільки один параметр – ємність, і нехтують втратами в конденсаторі та іншими супутніми параметрами, які при певних обставинах себе майже не проявлять. Таким чином, таку модель можна прийняти, як модель елемента загального призначення – C_{zag1} . Моделі конденсатора, які враховують особливості його роботи в конкретних промислових умовах, доцільно представити як моделі пристрою галузевого призначення – $C_{гал1}$, $C_{гал2}$, $C_{гал3}$, $C_{гал4}$.

На третьому етапі моделювання формується розрахункова складова моделі електротехнічного пристрою, Вона містить основні математичні залежності, які визначають параметри конденсатора і описують електромагнітні процеси, що протікають в даному пристрої.

1. Ємність плоского конденсатора [69].

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d},$$

де ε_0 – електрична стала, ε_r – відносна діелектрична проникність, S – площа провідникових пластин конденсатора, d – відстань між пластинами.

2. Ємнісний опір конденсатора

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad .$$

3. Струм та напруга

$$u_C = \frac{1}{C} \int_0^t i dt, \quad i = C \frac{du_C}{dt}.$$

4. Реактивна потужність

$$Q_C = X_C I_C^2.$$

5. Енергія електричного поля конденсатора

$$W_E = \frac{Cu_C^2}{2}.$$

В компактній формі комплексна трискладова модель конденсатора, як елементу предметної галузі, що входить до складу багатьох електротехнічних пристроїв промислового обладнання, представлена на рис. 2.4.

Джерела живлення досить часто в схемах заміщення представляють ідеальними джерелами ЕРС або напруги. Такий підхід є правомірним, якщо потужність джерела живлення значно перевищує потужність споживача, і втратами потужності в джерелі можна знехтувати. Якщо таку ідеалізацію застосувати неможна, враховують внутрішній активний опір джерела живлення, втрати потужності в джерелі, змінення напруги на затискачах джерела при різних режимах його роботи.

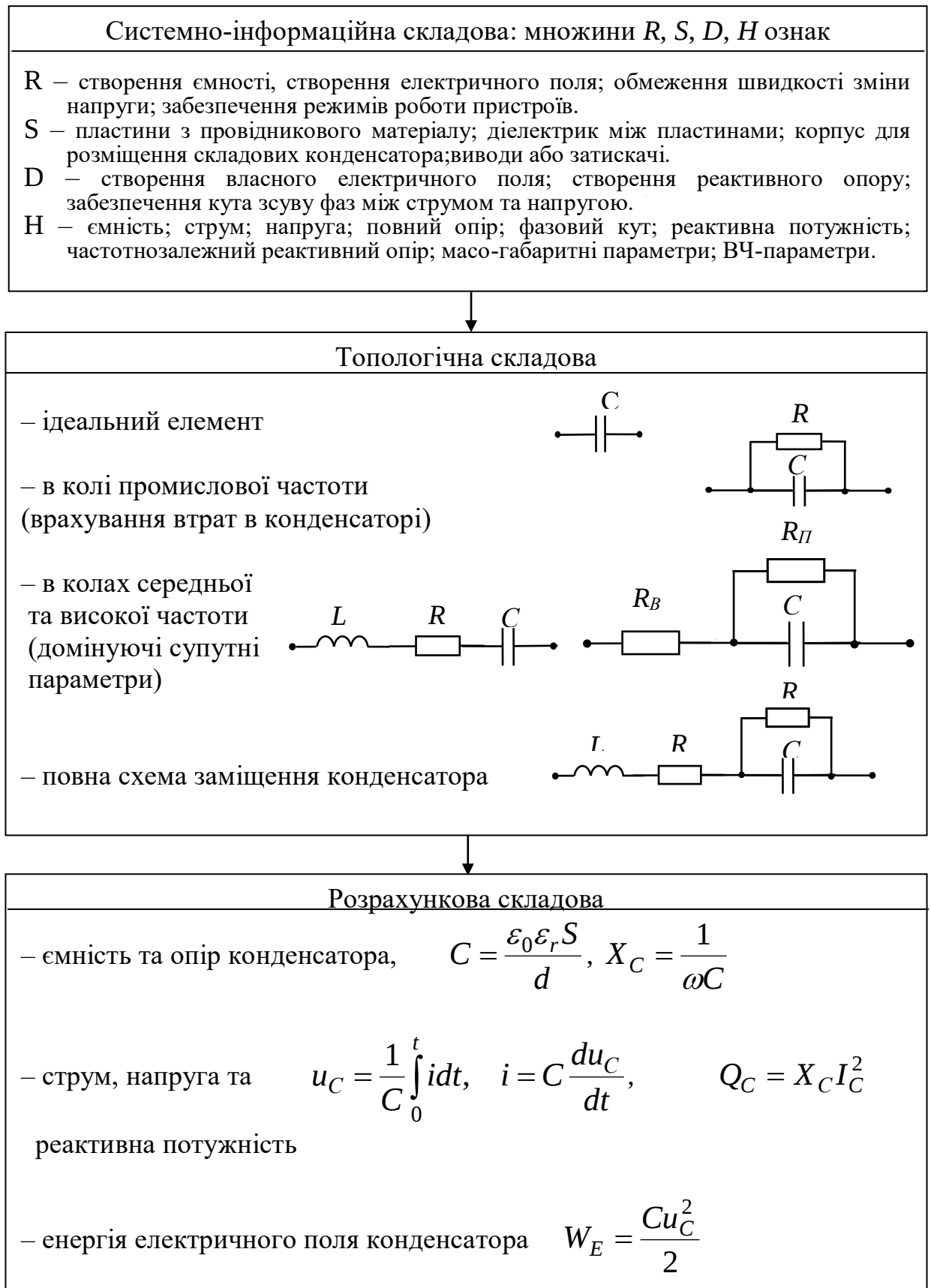


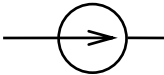
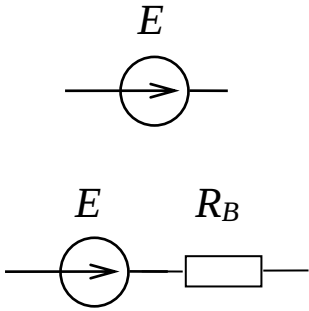
Рис. 2.4 Комплексна трискладова модель змісту навчання
елементу промислового обладнання – конденсатора

В більш складних випадках, при високих частотах роботи обладнання, виникає необхідність враховувати і реактивні складові внутрішнього опору джерела, як правило індуктивну складову [91].

Але при роботі обладнання на промислових частотах достатньо враховувати тільки активну складову внутрішнього опору джерела живлення (табл. 2.1). Більш складні схеми заміщення характерні для високочастотних пристроїв промислової електроніки.

Таблиця 2.1

Моделі елементів предметної області групи E

№ з/п	Фізичний елемент	Ідеальний елемент	Варіанти моделей (схем заміщення)
1.	Електромеханічний генератор		
2.	Гальванічний елемент		
3.	Акумулятор електричний		
4.	Термоелектричний генератор		
5.	Вентильний фотоелемент		
6.	Вторинне джерело живлення		

Як бачимо, кожен елемент предметної області, в залежності від умов його роботи, може бути представлений певною схемою заміщення. Найпростіша схема заміщення відповідає ідеальному елементу. Вона включає один параметр, який є основним для даного елемента. При необхідності початкову модель ускладнюють, вводячи в неї додаткові параметри [91, 167]. Взагалі послідовність визначення схеми заміщення фізичного елемента можна представити в такому вигляді:

1. Виділити основний параметр, який характеризує реальний елемент предметної області.
2. Визначити ідеальну базову модель, яка відповідає властивостям елементу.

3. Визначити схеми заміщення для найбільш характерних режимів роботи елементу:

- в колі постійного струму;
- в колі промислової частоти;
- в високочастотних колах промислової електроніки.

Більш складні пристрої електричних кіл, які складаються з багатьох простих елементів і характеризуються великою кількістю параметрів мають досить складні моделі. До таких пристроїв, перш за все, можна віднести трансформатори, електричні машини, вимірювальні пристрої та ін.

Розглянемо послідовність побудови моделей трансформатора, одного з найбільш розповсюджених електротехнічних пристроїв, який знайшов широке застосування в електротехнічній складовій промислового обладнання. Загальне призначення трансформатора відоме – це перетворення напруги змінного струму та гальванічне розділення ділянок електричного кола. Але в залежності від режимів роботи, частоти джерела живлення, умов експлуатації трансформатори можуть суттєво відрізнятися за характеристиками та конструкцією. Класифікація трансформаторів приведена в додатку Л. Тому, з усього різноманіття трансформаторів розглянемо моделювання силового трансформатора, як найпоширенішого пристрою промислового обладнання.

Згідно приведеної вище методики системно-інформаційна складова комплексної моделі будується за певними ознаками [10, 109, 136].

Множина ознак R (R_{zag} , R_{gal}) містить:

R_{zag1} – передача та розподіл електричної енергії;

R_{zag2} – перетворення змінних напруг та струмів;

R_{zag3} – гальванічне розділення ділянок електричного кола;

R_{gal1} – забезпечення необхідних режимів роботи електротехнічного об'єкта;

Множина ознак S (S_{zag} , S_{gal}) містить:

S_{zag1} – багатовиткові котушки із ізолюваного мідного проводу;

S_{zag2} – діелектричний каркас для намотки котушок;

S_{zag3} – шихтоване осердя із тонколистової електротехнічної сталі;

S_{zag4} – виводи або затискачі;

S_{gal1} – система охолодження.

Множина ознак D (D_{zag} , D_{gal}) містить:

D_{zag1} – явище електромагнітної індукції;

D_{zag2} – збудження в осерді змінного магнітного потоку;

D_{zag3} – зміна величини вихідної напруги по відношенню до вхідної;

D_{gal1} – регулювання вихідної напруги.

Множина ознак H (H_{zag} , H_{gal}) містить:

H_{zag1} – номінальна потужність;

H_{zag2} – номінальні напруги;

H_{zag3} – номінальні струми;

H_{zag4} – напруга короткого замикання;

H_{zag5} – струм холостого ходу;

H_{zag6} – втрати холостого ходу;

H_{zag7} – втрати короткого замикання;

H_{zag8} – коефіцієнт трансформації;

H_{zag9} – номінальний коефіцієнт корисної дії;

H_{gal1} – масо-габаритні параметри.

Друга складова комплексної моделі силового трансформатора – топологічна складова, включає різноманіття схем заміщення трансформатора в різних режимах роботи (рис. 2.5) [10, 23, 109].

При аналізі роботи трансформатора часто користуються спрощеними схемами заміщення, що значно зменшує об'єм розрахунків і дозволяє визначити параметри трансформатора, які є домінуючими при певному

режимі роботи. На рис. 2.5, *а* показана Г-подібна схема заміщення, в якій опори обмоток об'єднані, а вітка зі струмом намагнічування підключена безпосередньо до напруги джерела живлення. Для розрахунку зміни напруги на виході трансформатора при навантаженні застосовують схему на рис. 2.5, *б*. Схеми на рис. 2.5, *в*, *г* використовують в досліді холостого ходу та короткого замикання. Повна схема заміщення трансформатора, з урахуванням всіх його параметрів приведена на рис. 2.5, *д*.

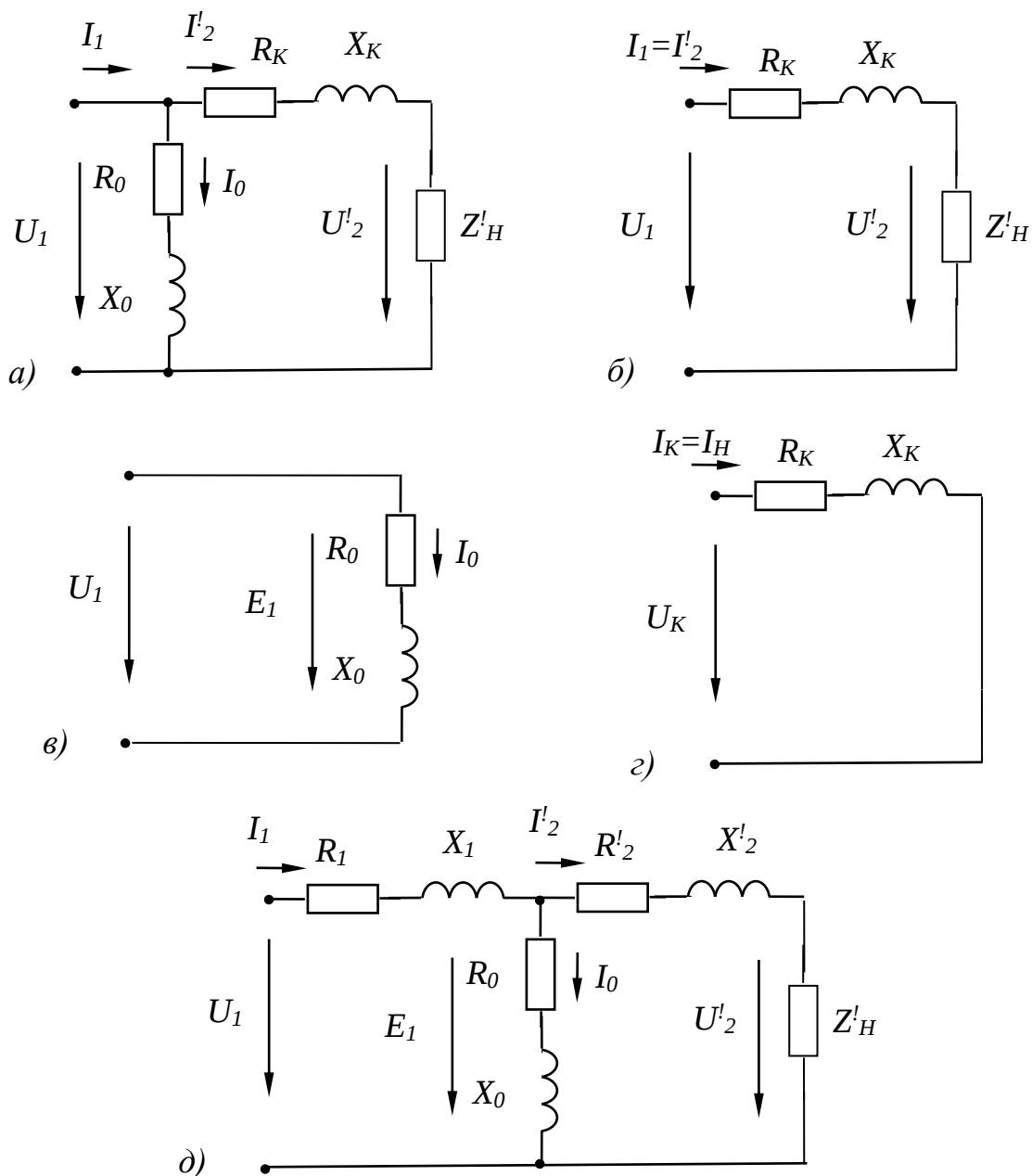


Рис. 2.5. Схеми заміщення силового трансформатора

Розглянемо третю складову комплексної моделі трансформатора – розрахункову. Вона включає математичні залежності, які необхідні для визначення параметрів трансформатора та величин, що характеризують режими роботи.

1. Коефіцієнт трансформації:

$$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}.$$

2. Параметри схеми заміщення при досліді холостого ходу:

$$R_0 = \frac{P_0}{I_0^2}, \quad Z_0 = \frac{U_{1H}}{I_0}, \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}.$$

3. Параметри схеми заміщення при досліді короткого замикання:

$$R_K = \frac{P_K}{I_{1H}^2}, \quad Z_K = \frac{U_{1K}}{I_{1H}}, \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}.$$

4. Відсоткова зміна напруги на виході трансформатора при навантаженні:

$$\Delta u_2 = \frac{U_{2.0} - U_2}{U_{2.0}}, \quad \Delta u_2 = \beta(u_{k.a} \cos \varphi_{2H} + u_{k.p} \sin \varphi_{2H}),$$

де β – коефіцієнт навантаження, $u_{k.a}$, $u_{k.p}$ – активна та реактивна складові напруги короткого замикання, φ_{2H} – фазовий кут навантаження.

5. Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = \frac{\beta S_H \cos \varphi_{2H}}{\beta S_H \cos \varphi_{2H} + P_0 + \beta^2 P_K}.$$

В компактному вигляді комплексна трискладова модель силового трансформатора показана на рис. 2.6.



Рис. 2.6. Комплексна трискладова модель змісту навчання елементу промислового обладнання – силового трансформатора

2.2. Професійно орієнтований зміст навчання основ теорії електричних кіл з використанням комплексних моделей

Розглянемо проектування професійно орієнтованого змісту навчання основних законів електротехніки.

В параграфі 1.4 було розглянуто методику побудови узагальненої комплексної трискладової моделі, на основі якої сформовано моделі основних елементів електричних кіл. Враховуючи те, що ця модель є універсальною, застосуємо її для побудови моделей елементів змісту навчання електротехніки, зокрема основних законів електротехніки.

З огляду на те, що ознаки основ електротехніки є спільними як для загального, так і для галузевого застосування, виокремлення галузевої складової нами буде зроблено в п. 2.3, де буде розглянуто електротехнічні пристрої машинобудівної галузі.

Співвідношення між струмами, напругами, ЕРС та опорами в електричних колах підпорядковуються найважливішим законам електротехніки: закону Ома, першому та другому законам Кірхгофа. Вказані закони дають можливість провести аналіз і розрахунок будь-яких електричних кіл [81, 109, 187, 199, 204].

Розглянемо послідовність створення комплексної моделі такого елементу змісту навчання електротехніки, як закон Ома.

На першому етапі сформуємо системно-інформаційну складову комплексної моделі, на основі множини ознак, яка дає детальний опис цього навчального елементу.

Розглянемо множину ознак R , складові якої визначають призначення та використання навчального елементу – «Закон Ома». Аналіз опису цього закону [23, 109, 171] дозволяє визначити:

– множину ознак R : R_1 – встановлення співвідношень між основними електричними величинами струмом, електрорушійною силою, напругою та

опором; R_2 – математичний опис процесів в електричному колі; R_3 – складовий елемент методів аналізу електричних кіл.

– множину ознак S : S_1 – алгебраїчне рівняння, S_2 – склад рівняння – струм, ЕРС, напруга та опір.

– множину ознак D : D_1 – діє на основі законів алгебри; D_2 – для ділянки електричного кола з пасивними елементами; D_3 – узагальнений закон Ома, D_4 – сила струму прямо пропорційна напрузі і обернено пропорційна електричному опору ділянки кола.

– множину ознак H : H_1 – опір; H_2 – струм; H_3 – напруга; H_4 – ЕРС; H_5 – лінійне алгебраїчне рівняння; H_6 – має рішення при одному невідомому.

На другому етапі побудуємо топологічну складову комплексної моделі. Найчастіше автори багатьох підручників з електротехніки пропонують декілька варіантів схем заміщення для ілюстрації закону Ома (рис. 2.7) [109, 187, 188] і відповідно є декілька варіантів топологічної складової комплексної моделі елемента змісту навчання «Закон Ома».

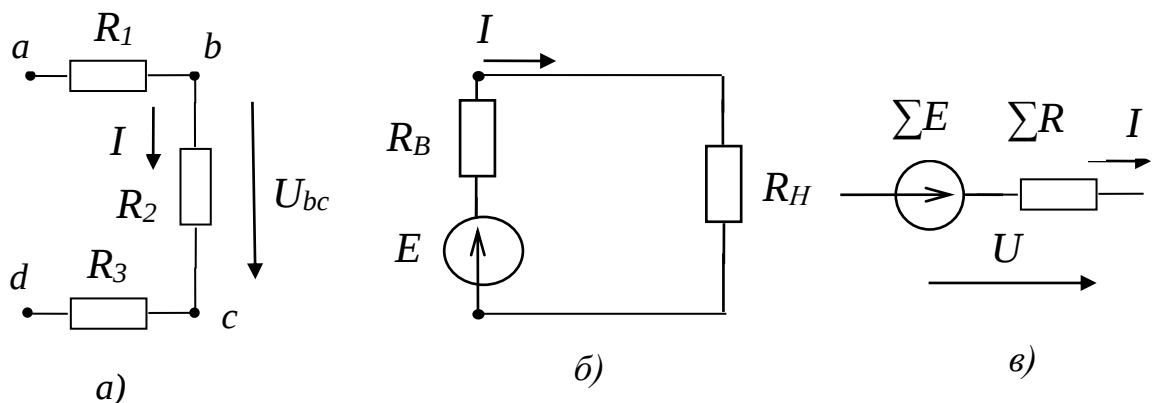


Рис. 2.7. Варіанти топологічної складової моделі закону Ома:

a – для пасивної ділянки кола; $б$ – для ділянки з джерелом ЕРС;

$в$ – для узагальненого закону Ома

Закон Ома може бути застосованим до будь-якої ділянки електричного кола різної складності, яка не містить джерела ЕРС, наприклад, на ділянці bc (рис. 2.7, *a*), яка складається тільки з пасивних елементів.

Для електричного кола з джерелом ЕРС, схема заміщення набуває іншого вигляду і представлена на рис. 2.7, *б*, де R_B – внутрішній опір джерела живлення; R_H – опір навантаження, загалом $R_B + R_H$ – є повним опором електричного кола, який складається з опору R_H приймача електричної енергії та внутрішнього опору R_B джерела [19, 109].

Для нерозгалуженої ділянки схеми електричного кола, яка містить довільне число резистивних елементів і джерел ЕРС, застосовують узагальнений закон Ома, топологічна модель якого представлена на рис. 2.7, *в*.

На третьому етапі розробимо розрахункову (математичну) складову комплексної моделі навчального елементу.

У найпростішому вигляді закон Ома визначається залежністю між струмом і напругою на резистивному елементі для нерозгалуженої ділянки електричного кола (рис. 2.7, *a*). В такому випадку струм знаходиться за формулою:

$$I = \frac{U_{bc}}{R_2},$$

яка є першим варіантом математичної моделі закону Ома.

Розглянемо застосування закону Ома для замкнутого нерозгалуженого кола. Згідно закону струм в колі прямо пропорційний ЕРС і обернено пропорційний повному опору. Так, для електричного кола з джерелом ЕРС, що зображене на рис. 2.7, *б* у відповідності до закону Ома струм описується наступною формулою, яка є другим варіантом математичної складової моделі:

$$I = \frac{E}{R_B + R_H}, \quad (2.1)$$

де R_B – внутрішній опір джерела живлення; R_H – опір навантаження, загалом $R_B + R_H$ – є повним опором електричного кола, який складається з опору R_H приймача електричної енергії та внутрішнього опору R_B джерела [19].

Закон Ома може бути записаним і для ділянки кола, яка містить джерело ЕРС, тобто для активної ділянки кола. В таких випадках застосовують узагальнений закон Ома.

Так для нерозгалуженої ділянки схеми електричного кола, яка містить довільне число резистивних елементів і джерел ЕРС (рис. 2.7, в) згідно з узагальненим законом Ома струм можна розрахувати за формулою, яка є третім варіантом розрахункової складової моделі:

$$I = \frac{U - \sum E}{\sum R},$$

де $\sum R$ – арифметична сума опорів всіх резистивних елементів; $\sum E$ – алгебраїчна сума ЕРС всіх джерел живлення, причому всі ЕРС, напрямки яких співпадає з вибраним додатним напрямком струму, записуються із знаком плюс, а ЕРС, які направлені протилежно вибраному додатному напрямку струму, записуються із знаком мінус [69].

Об'єднавши всі визначені складові отримаємо комплексну модель навчального елементу «Закон Ома» в компактній формі (рис. 2.8).

Основні співвідношення для електричних кіл та основні закони електротехніки зазвичай починають вивчати на прикладі кіл постійного струму.

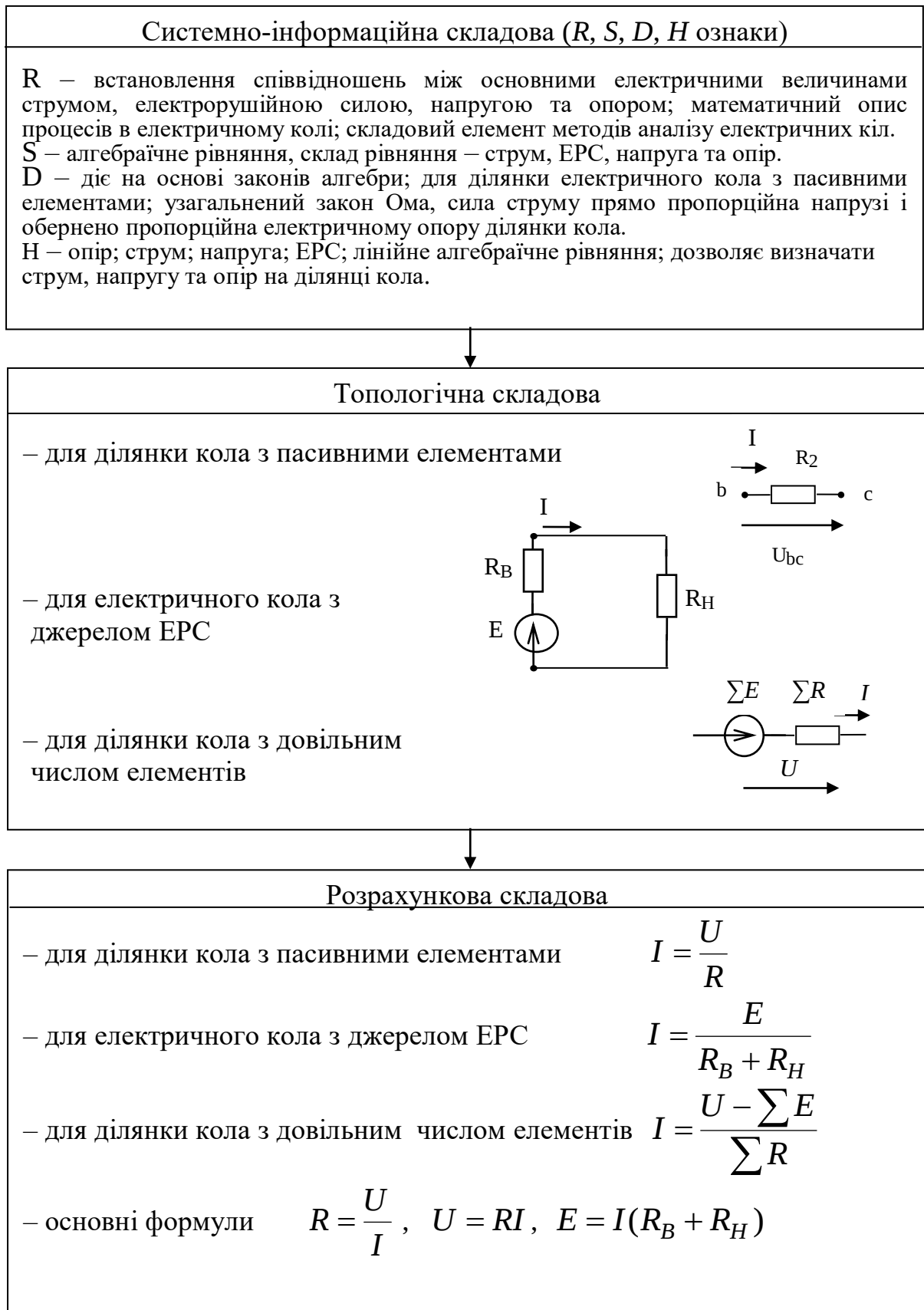


Рис. 2.8. Комплексна трискладова модель навчального елементу змісту навчання електротехніки – «Закон Ома»

В умовах машинобудівного виробництва споживачі, в яких застосовуються джерела постійного струму зустрічаються досить часто. Це, в першу чергу, автономні засоби пересування: електрокари, електронавантажувачі, які в своєму складі мають джерела живлення постійного струму – акумуляторні батареї. Сюди відносяться й споживачі, які живляться від електромеханічних генераторів та вторинних джерел живлення: двигуни постійного струму металообробних верстатів, підйомно-транспортне обладнання, технологічне обладнання, елементи автоматики та систем управління та ін.

Розглянемо застосування розробленої комплексної моделі закону Ома для розрахунку параметрів джерела живлення при електрохіміко-механічній обробці поверхні металевих виробів.

Системно-інформаційна складова комплексної моделі містить такі відомості: джерело живлення постійного струму (електромеханічний генератор або випрямляч змінного струму), діапазони робочих величин:

- напруга джерела живлення (2 – 16) В;
- густина робочого струму (0,5 – 10) А/см²;
- внутрішній опір джерела (0,05 – 1) Ом;
- опір робочої зони (0,05 – 0,5) Ом.

Склад робочої зони: електроліт з абразивними домішками, катод-інструмент, анод-заготівка. Необхідно визначити струм джерела живлення.

Топологічна складова комплексної моделі – еквівалентна схема електричного кола (рис. 2.7, б) з джерелом ЕРС.

Розрахункова складова комплексної моделі відображена формулою (2.1).

Розглянемо використання комплексної моделі на прикладі розрахунку параметрів джерела живлення при обробці металевого виробу площею $S = 200 \text{ см}^2$.

Струм необхідний для проведення технологічного процесу

$$I = SJ = 200 \cdot 0,5 = 100 \text{ A},$$

де $J = 0,5 \text{ A/cm}^2$ – густина електричного струму.

Напруга джерела живлення

$$U = I(R_B + R_H) = 100 \cdot (0,05 + 0,07) = 12 \text{ В}.$$

В розглянутому прикладі робочий струм технологічного процесу відносно невеликий. Для електрохіміко-механічної обробки великогабаритних виробів застосовуються джерела постійного струму моделей ИПП-300012 та ИПП-500012 з номінальним робочим струмом на 3000 та 5000 А і напругою 12 В [193].

Враховуючи вище приведену методику побудови комплексної трискладової моделі, застосуємо її для створення моделей таких важливих навчальних елементів змісту навчання електротехніки, як закони Кірхгофа.

Моделі навчальних елементів «Перший закон Кірхгофа» та «Другий закон Кірхгофа», а також приклади їх застосування для аналізу роботи електротехнічних пристроїв у складі промислового обладнання приведені в додатку К. В якості прикладів розглянуто фрагмент електричного кола електронавантажувача ЕП-201 та схема живлення тягового електродвигуна електронавантажувача ЕП-202.

Розглянемо проєктування професійно орієнтованого змісту навчання для еквівалентних перетворень електричних схем.

Розрахунок і дослідження електричних кіл різних ступенів складності в багатьох випадках можна значно спростити і зробити більш наглядним шляхом перетворення електричних схем одного виду в схеми іншого виду. Доцільне перетворення електричної схеми приводить до зменшення числа її віток або вузлів, а значить і рівнянь, які визначають її електричний стан. Цей метод, названий методом перетворень, полягає в приведенні шляхом низки

перетворень складного електричного кола до найпростішого. Ці перетворення полягають у визначенні еквівалентних опорів при різноманітних з'єднаннях. Найбільш розповсюджені види з'єднань опорів приведені на рис. 2.9.

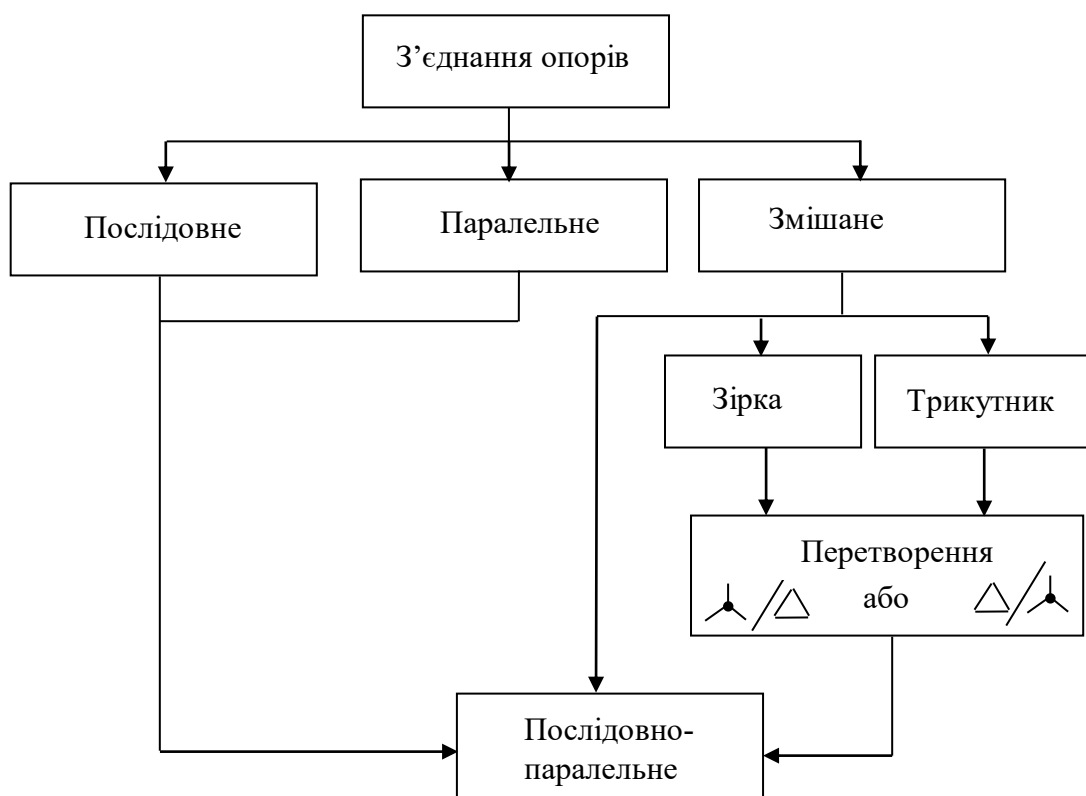


Рис. 2.9. Види з'єднань опорів

Формули для знаходження еквівалентних опорів при перетворенні схем з різними видами з'єднань елементів добре відомі і широко застосовуються при аналізі режимів роботи електротехнічних пристроїв промислового призначення. Так паралельне з'єднання характерне для елементів освітлювальних систем, послідовне – для включення елементів обмеження струму при реалізації різноманітних режимів роботи електричних двигунів як постійного, так і змінного струму.

Дуже важливими є перетворення з'єднання «зіркою» у з'єднання «трикутником» та зворотне перетворення. Тому, в деяких випадках, для

спрощення схеми необхідно перетворити з'єднання «зіркою» в еквівалентне з'єднання «трикутником», або з'єднання «трикутником» – в еквівалентне з'єднання «зіркою».

Узагальнюючи попередню інформацію розробимо комплексну модель навчального елементу – «Еквівалентні перетворювання пасивних ділянок електричного кола» [109, 171], або скорочено – «Еквівалентні перетворення».

Перший етап розроблення комплексної моделі – створення системно-інформаційної складової моделі навчального елементу за певними множинами ознак:

– R : R_1 – спрощення схеми з'єднання елементів ділянки електричного кола; R_2 – приведення схеми кола до одного еквівалентного опору по відношенню до затискачів джерела живлення; R_3 – складовий елемент методів аналізу електричних кіл;

– S : S_1 – алгебраїчне рівняння; S_2 – склад рівняння – опори елементів схеми заміщення електричного кола;

– D : D_1 – діє на основі законів алгебри; D_2 – для ділянок електричного кола; D_3 – еквівалентний опір ділянки кола визначається схемою з'єднання елементів;

– H : H_1 – елементи ділянки електричного кола; H_2 – опори елементів; H_3 – лінійне алгебраїчне рівняння.

Створення топологічної складової комплексної моделі є наступним етапом моделювання. В залежності від схем з'єднання елементів ділянки електричного кола розрізняють: послідовне, паралельне та з'єднання «зіркою» або «трикутником». Топологічне відображення вказаних видів з'єднань приведені на рис. 2.10.

За допомогою еквівалентних перетворень ділянки кола з послідовним та паралельним з'єднанням елементів (рис. 2.10, а, б) можуть спрощуватись до одного елементу R_e . (еквівалентний опір, отриманий в процесі

перетворення). Більш складні з'єднання («трикутник» і «зірка») можуть бути взаємно перетворені в еквівалентні з'єднання. Так, з'єднання «зірка» на рис. 2.10, *в* може бути перетворена в еквівалентне з'єднання «трикутник» (рис. 2.10, *г*) і навпаки. Такі перетворення дозволяють вихідні (початкові) досить складні схеми представити сукупністю послідовних і паралельних з'єднань елементів схеми заміщення.

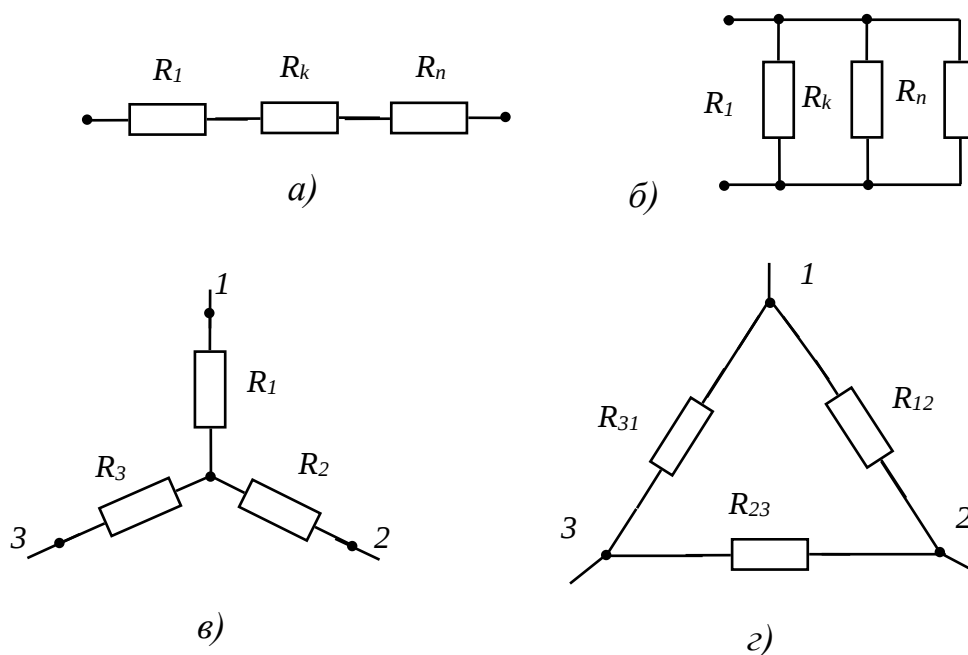


Рис. 2.10. Топологічне відображення видів з'єднання елементів електричних кіл: *а* – послідовне; *б* – паралельне; *в* – «зірка»; *г* – «трикутник»

Визначимо розрахункову складову комплексної трискладової моделі даного навчального елементу. Для схеми на рис. 2.10, *а* (послідовне з'єднання) еквівалентний опір визначається за формулою [23, 109, 171]:

$$R_e = \sum_{k=1}^n R_k.$$

Для паралельного з'єднання (рис. 2.10, б) еквівалентний опір визначається за формулою [23, 109, 171]:

$$R_e = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}}.$$

При перетворенні з'єднання «зірка» (рис. 2.10, в) в еквівалентний «трикутник» (рис. 2.10, г) використовують формули [23, 109, 171]:

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 R_2}{R_3}; \quad R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 R_3}{R_1};$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 R_1}{R_2}.$$

При зворотному перетворенні «трикутник» в «зірку» маємо інші формули [23, 109, 171]:

$$R_1 = \frac{R_{31} R_{12}}{R_{31} + R_{12} + R_{23}}; \quad R_2 = \frac{R_{12} R_{23}}{R_{31} + R_{12} + R_{23}};$$

$$R_3 = \frac{R_{31} R_{23}}{R_{31} + R_{12} + R_{23}}.$$

Зведемо розглянуті складові до єдиної структури і представимо комплексну модель навчального елементу «Еквівалентні перетворення» в цілісному вигляді (рис. 2.11).



Рис. 2.11. Комплексна трискладова модель навчального елементу змісту навчання електротехніки – «Еквівалентні перетворення»

Розглянемо застосування розробленої моделі навчального елемента при роботі вантажопідіймального електромагніту в одному з режимів, який застосовується для звільнення електромагніту від вантажу. В цьому режимі роботи утворюється схема, спрощений фрагмент якої приведено на рис. 2.12.

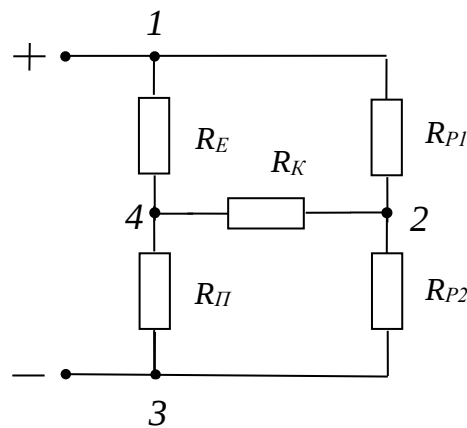


Рис. 2.12. Фрагмент схеми вантажопідіймального електромагніта

На схемі позначено:

R_E – опір котушки електромагніта; R_K – опір котушки контактора, який спрацьовує при звільненні електромагніту від вантажу і розмагнічуванні електромагніту, що необхідно для звільнення навіть від легких металевих предметів; R_{II} , R_{P1} , R_{P2} – опори резисторів, які забезпечують режими роботи вказаних котушок.

Після перетворення «зірки», що утворена елементами R_E , R_K , R_{II} , в еквівалентний «трикутник», отримаємо схему, яка представляє собою комбінацію паралельно та послідовно з'єднаних опорів (рис. 2.13, а). Значення опорів R_E , R_K , R_{II} легко розрахувати по відомим формулам:

$$R_{12} = R_E + R_K + \frac{R_E R_K}{R_{II}}, \quad R_{23} = R_K + R_{II} + \frac{R_K R_{II}}{R_E},$$

$$R_{31} = R_{II} + R_E + \frac{R_{II}R_E}{R_K}.$$

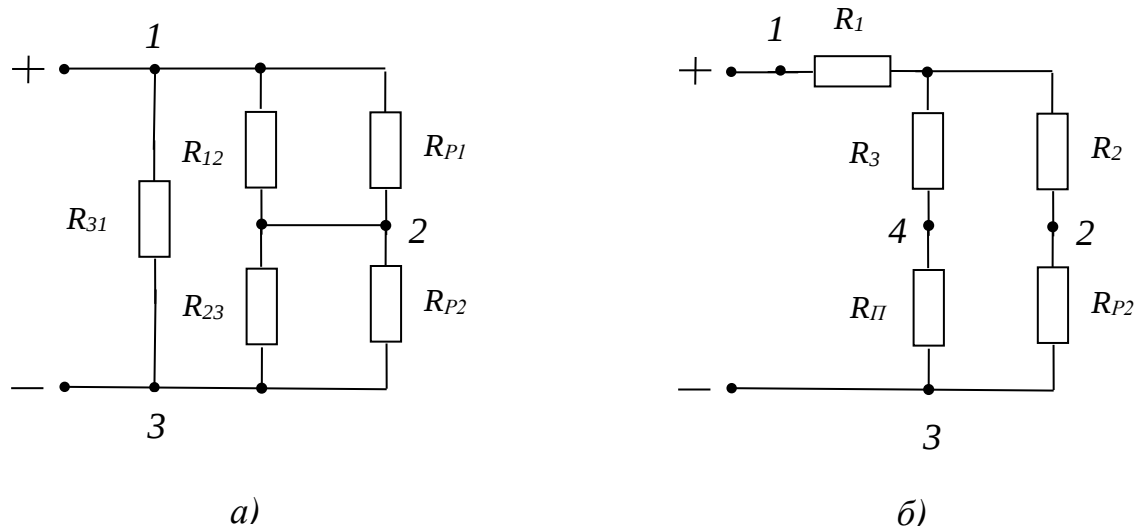


Рис. 2.13. Схеми перетворення

а) «зірка» в «трикутник»; б) «трикутник» в «зірку»

Аналогічно можна виконати перетворення «трикутника» в «зірку». Наприклад, для елементів R_E , R_K , R_{P1} , які утворюють «трикутник». Схема, яка утворилась після перетворення приведена на рис. 2.13, б. Формули для розрахунку еквівалентних опорів мають вигляд:

$$R_1 = \frac{R_E R_{P1}}{R_E + R_K + R_{P1}}, \quad R_2 = \frac{R_K R_{P1}}{R_E + R_K + R_{P1}},$$

$$R_3 = \frac{R_E R_K}{R_E + R_K + R_{P1}}.$$

Після таких перетворень, схеми легко згортаються і приводяться до одного еквівалентного опору, відносно затискачів джерела живлення.

Застосування комплексних трискладових моделей навчальних елементів «Закон Ома» та «Еквівалентні перетворення» приведено в додатку Р.

Для аналізу конкретних схем реальних об'єктів промислового обладнання застосуємо розроблені комплексні моделі навчальних елементів, які були розглянуті вище. Послідовність використання складових моделей визначена структурою, яка приведена в п. 1.4, тобто системно-інформаційна, топологічна та розрахункова складова. В додатку Р приведено приклади застосування моделей навчальних елементів для аналізу об'єктів промислового обладнання.

Розглянемо застосування комплексних трискладових моделей навчальних елементів «Методи аналізу електричних кіл».

Аналіз електричного кола проводиться для розрахунку струмів, напруг та потужностей у всіх його елементах.

Класичним прикладом розрахунку складних електричних кіл є безпосереднє застосування законів Кірхгофа. Всі інші методи виходять із цих фундаментальних законів [188].

Найпростіше електричне коло має одне джерело живлення і певну схему з'єднання споживачів електричної енергії. Це може бути послідовне, паралельне або змішане з'єднання елементів. Схеми змішаного з'єднання різних електротехнічних пристроїв досить різноманітні. При розрахунках такого кола, які частіше за все зводяться до визначення струмів та потужностей на окремих його ділянках, застосовують метод еквівалентних перетворень. Цей метод полягає в тому, що окремі ділянки схеми з будь-яким з'єднанням елементів (послідовне, паралельне або змішане) замінюють одним еквівалентним елементом. Послідовним перетворенням ділянок, схему спрощують і приводять до найпростішої схеми, яка складається з одного еквівалентного елемента.

В більшості випадків мережі електропостачання, кола систем автоматики, кола електронних пристроїв та інші кола мають складну

конфігурацію. При аналізі таких схем необхідно визначити струми в окремих вітках кола. Найбільш трудомістким завданням є розрахунок розподілу струмів у вітках складного кола. Методи дослідження складних лінійних кіл, які будуть тут розглянуті, застосовуються також і для аналізу складних лінійних кіл змінного струму.

До таких складних кіл відносять кола, які мають в своєму складі два та більше джерел живлення.

Основні методи аналізу складних електричних кіл:

1. Метод безпосереднього застосування законів Кірхгофа;
2. Метод накладення;
3. Метод напруги між двома вузлами;
4. Метод контурних струмів;
5. Метод еквівалентного генератора.

Розглянемо послідовно основні принципи застосування цих методів, їх достоїнства та недоліки.

Розглянемо застосування методу законів Кірхгофа. Метод полягає в складанні рівнянь по першому та другому законам Кірхгофа для вузлів та контурів електричного кола. При розв'язанні отриманої системи рівнянь знаходять невідомі струми віток. Загальне число рівнянь повинно дорівнювати числу невідомих, тобто числу віток кола. Число рівнянь, які можна скласти на основі першого закону, дорівнює числу вузлів, зменшеному на одиницю. Решта рівнянь складається за другим законом Кірхгофа.

На прикладі, приведенному на рис. 2.14, схема має 6 віток, тому необхідно скласти систему з шести незалежних рівнянь.

Схема має 4 вузла, тому за першим законом Кірхгофа можна скласти 3 незалежних рівняння. Задамо довільні напрямки струмів окремих віток схеми.

Якщо вибрані напрямки струмів виявляться протилежними дійсним, то при розв'язанні рівнянь отримаємо значення цих струмів із знаком мінус.

Якщо умовитись, що струми, які направлені до вузла мають знак плюс, то струми направлені від вузла будуть мати знак мінус. Для вузлів *a*, *b*, *c* рівняння будуть мати вигляд:

$$I_1 + I_5 + I_6 = 0, \quad I_2 - I_4 - I_5 = 0, \quad I_4 - I_6 - I_3 = 0.$$

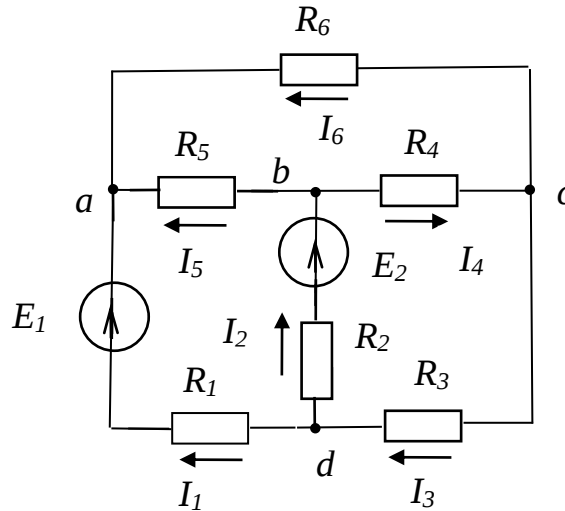


Рис. 2.14. Схема складного кола для визначення струмів віток за законами Кірхгофа

Так як число віток 6, то необхідну кількість рівнянь можна скласти за другим законом Кірхгофа для замкнутих контурів. Щоб кожне нове рівняння було незалежним від попередніх, необхідно щоб в кожний контур, для якого складається рівняння, входила хоча б одна вітка, яка не входила в розглянуті до цього контури.

Виберемо три незалежних контури:

I контур – *a b d*; *II* контур – *b c d*; *III* контур – *a c b*.

Для цих контурів за другим законом Кірхгофа, вибравши позитивний напрямок обходу, можна скласти необхідні рівняння:

$$E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_3 I_3 - R_2 I_2, \quad E_2 = R_2 I_2 + R_4 I_4 + R_3 I_3,$$

$$0 = R_5 I_5 - R_6 I_6 - R_4 I_4.$$

Таким чином, для визначення струмів у вітках схеми (рис. 2.14) необхідно розв'язати систему рівнянь:

$$I_1 + I_5 + I_6 = 0,$$

$$I_2 - I_4 - I_5 = 0,$$

$$I_4 - I_6 - I_3 = 0.$$

$$E_1 - E_2 = R_1 I_1 - R_3 I_3 - R_2 I_2,$$

$$E_2 = R_2 I_2 + R_4 I_4 + R_3 I_3,$$

$$0 = R_5 I_5 - R_6 I_6 - R_4 I_4.$$

Як бачимо, ступень системи рівнянь визначається кількістю віток електричної схеми і при високому рівні системи (як в нашому випадку) це призводить до досить трудомістких розрахунків.

Інші методи дослідження складних електричних кіл і приклади їх застосування для аналізу роботи електротехнічних пристроїв промислового обладнання машинобудівного виробництва приведено в додатку С.

2.3. Професійно орієнтований зміст навчання з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудівної галузі на основі комплексних моделей

Розглянемо проектування професійно орієнтованого змісту навчання з розрахунку транспортних засобів.

Внутрішньозаводський транспорт, який застосовується на підприємствах машинобудівної галузі досить різноманітний (електровізки, електрокари, електронавантажувачі та ін.), тому обмежимося розглядом

такого транспортного засобу як електровізок. Електровізки застосовуються для транспортування різних вантажів на майданчиках з твердим та рівним покриттям. Вони мають декілька різновидів і відрізняються вантажністю, масо-габаритними показниками та потужністю двигуна. Основні електротехнічні пристрої, які входять до їх складу: джерело живлення (акумуляторні батареї), двигун (двигун постійного струму з послідовним збудженням), пристрої управління, освітлення, сигналізації та ін. [182, 191,192].

Для визначення основних експлуатаційних параметрів та характеристик промислових об'єктів машинобудівної галузі, необхідність в яких виникає в процесі їх експлуатації, а також для аналізу роботи конкретного пристрою промислового виробництва (електровізка) скористаємося алгоритмом побудови трискладової комплексної моделі, який було приведено в п. 1.3.2.

Розглянемо *системно-інформаційну складову* комплексної моделі силової частини електричної схеми електровізка типу ЕТ-2040 [191, 192], яка будується за певними ознаками. Аналіз інформації стосовно даного транспортного засобу дозволяє визначити:

– множину ознак $R_{гал}$: $R_{гал1}$ – управління електроприводом транспортного засобу; $R_{гал2}$ – транспортування вантажу; $R_{гал3}$ – внутрішньозаводські переміщення; $R_{гал4}$ – цехові переміщення;

– множину ознак $S_{гал}$: $S_{гал1}$ – акумуляторні батареї, $S_{гал2}$ – контролер; $S_{гал3}$ – електричний двигун постійного струму з послідовним збудженням, $S_{гал4}$ – резистор обмеження струму якоря; $S_{гал5}$ – резистор шунтування обмотки збудження; $S_{гал6}$ – контактори;

– множину ознак $D_{гал}$: $D_{гал1}$ – режим 1. Пуск двигуна та розгін його до частоти обертання n_1 при напрузі живлення U_A і включенні в коло якоря резистору обмеження струму R_O ; $D_{гал2}$ – режим 2. Розгін двигуна до частоти

обертання n_2 при тому ж значенні напруги та шунтуванні резистора R_O ; $D_{гал3}$ – режим 3. Збільшення частоти обертання двигуна до значення n_3 при напрузі живлення $2U_A$ і включенні в коло якоря резистору обмеження струму R_O ; $D_{гал4}$ – режим 4. Збільшення частоти обертання двигуна до n_4 при тому ж значенні напруги живлення і замкненому резисторі обмеження струму в колі якоря R_O ; $D_{гал5}$ – режим 5. Подальше збільшення частоти обертання двигуна до n_5 при тому ж значенні напруги живлення і шунтуванні обмотки збудження двигуна резистором R_P , вихід двигуна на природну механічну характеристику.

– множину ознак $H_{гал}$: $H_{гал1}$ – напруга акумуляторних батарей; $H_{гал2}$ – потужність електродвигуна; $H_{гал3}$ – опори резисторів.

Топологічна складова комплексної моделі представлена схемами заміщення для різних режимів роботи об'єкта. Схема заміщення силової частини електричного кола транспортного засобу в режимі «1» показана на рис. 2.15.

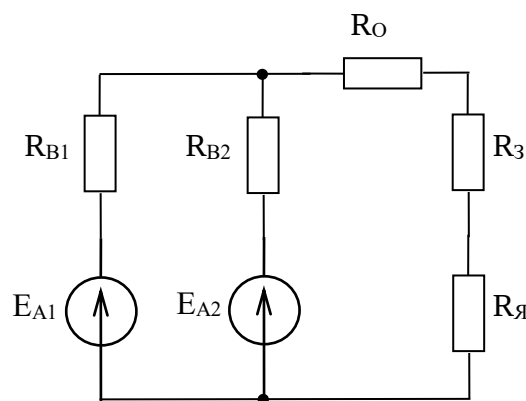


Рис. 2.15. Схема заміщення електровізка в режимі «1»

До складу схеми входять: дві паралельно з'єднані секції акумуляторної батареї, представлені джерелами ЕРС E_{A1} і E_{A2} з внутрішніми опорами R_{B1} , R_{B2} та елементи силової частини кола, представлені своїми опорами: обмотка

якоря електричного двигуна $R_{\text{Я}}$, послідовна обмотка збудження R_3 , резистор обмеження струму якоря R_O .

При аналізі цієї схеми здобувачі можуть відпрацювати елементи практичного застосування найбільш простих і доступних для інженерів-неелектриків методів розрахунку кіл постійного струму з декількома джерелами живлення: метод безпосереднього застосування законів Кірхгофа, метод напруги між двома вузлами, перевірити баланс потужностей. Схема також дозволяє змодельовати нештатні ситуації, такі як $E_{A1} \neq E_{A2}$ (неповний заряд однієї з секцій акумуляторної батареї або більш інтенсивний її розряд через змінення внутрішніх параметрів), коротке замикання резистора R_O під час пуску двигуна та перегорання запобіжників, та ін.

Для режиму «3» характерним є те, що секції акумуляторної батареї включаються послідовно (рис. 2.16), в результаті чого напруга на затискачах двигуна ($R_{\text{Я}}$ та R_3) стає вдвічі більшою, ніж у попередньому режимі. При аналізі цієї схеми, яка є послідовним з'єднанням елементів застосовують метод еквівалентних перетворень, закон Ома.

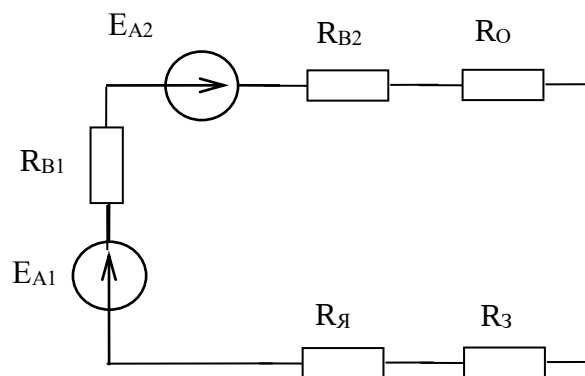


Рис. 2.16. Схема заміння електровізка в режимі «3»

Режим «5» відрізняється тим, що при тій же схемі включення джерел живлення, паралельно з послідовною обмоткою збудження двигуна підключається резистор R_P (рис. 2.17). Це дозволяє двигуну розвинути

максимально можливу, для даних умов, частоту обертання. В результаті швидкість руху електрокару досягає максимального значення.

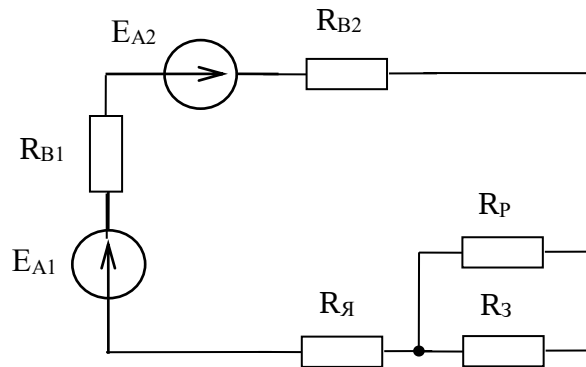


Рис. 2.17. Схема заміщення електровізка в режимі «5»

Розрахункова складова моделі може бути представлена рівняннями електричного стану схем заміщення електротехнічної частини транспортного засобу відповідно до конкретних режимів роботи.

Для визначення струмів при роботі пристрою в режимі «1» можна скористатися методом безпосереднього застосування законів Кірхгофа. Тоді маємо систему рівнянь третього порядку:

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$E_{A1} - E_{A2} = R_{B1}I_1 - R_{B2}I_2$$

$$E_{A2} = R_{B2} + (R_O + R_3 + R_Я).$$

Рішаючи цю систему знаходимо невідомі струми I_1 , I_2 , I_3 .

В режимі «3» струм в схемі на рис. 2.16 можна знайти з рівняння складеним за другим законом Кірхгофа:

$$I = \frac{E_{A1} + E_{A2}}{R_{B1} + R_{B2} + R_O + R_Я + R_3}.$$

В режимі «5» для знаходження струму в контурі також можна скористатись другим законом Кірхгофа:

$$I = \frac{E_{A1} + E_{A2}}{R_{B1} + R_{B2} + R_{Я} + \frac{R_P R_3}{R_P + R_3}}.$$

Розглянемо проектування професійно орієнтованого змісту навчання з розрахунку вантажопідіймальних магнітів.

Вантажопідіймальні електромагніти призначені для зачеплення феромагнітних матеріалів при транспортуванні та зняття їх при доставці на місце. Використання цих пристроїв дозволяє скоротити тривалість операцій по переміщенню вантажів [53, 182, 192].

Системно-інформаційна складова комплексної моделі вантажопідіймального електромагніту визначає склад, порядок роботи та особливості функціонування пристрою. Управління підіймальним електромагнітом здійснюється звичайно безпосередньо магнітним контролером, принципова схема якого приведена на рис. 2.18.

Котушки таких електромагнітів живляться постійним струмом, мають велику індуктивність і значний потік залишкового магнетизму. Тому, при відключенні електромагніту, повинні бути прийняті заходи для обмеження перенапруги, а також для швидкого звільнення електромагніту від вантажу.

Магнітний контролер типу ПМС-50 має у своєму складі вхідний вимикач ВВ, запобіжники ЗП1 та ЗП2, вмикаючий контактор КВ, контактор розмагнічування КР, резистори ПР та РР. Постійний струм до котушки електромагніту ЕМ підводиться від мережі 220 В через перетворюючі агрегати, які встановлюються на крані.

Для захоплення вантажу електромагнітом командоконтролер КК ставлять в положення, при якому отримує живлення контактор КВ, який

своїми контактами підключає електромагніт ЕМ до джерела живлення і вантаж зачіпляється.

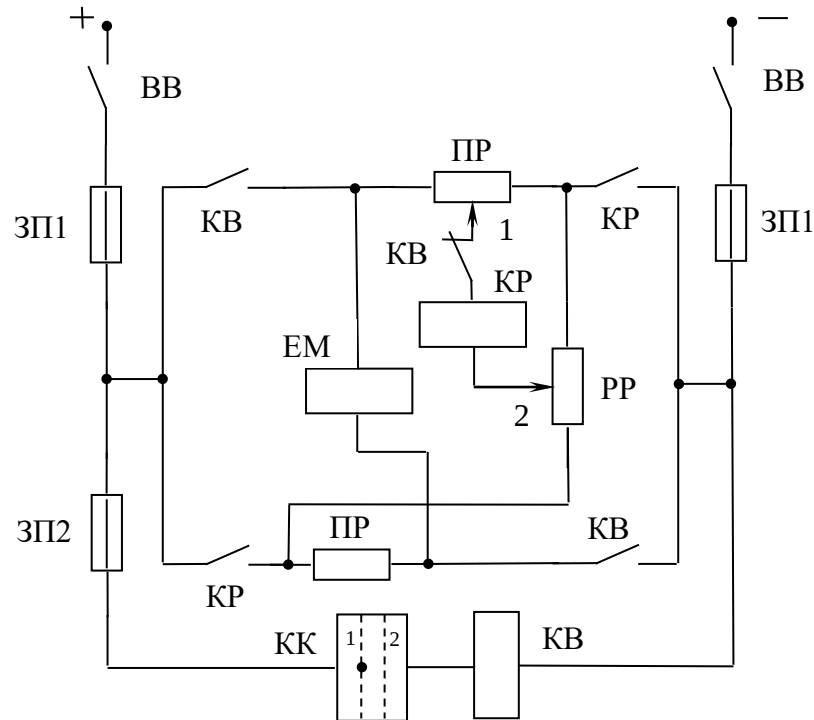


Рис. 2.18. Електрична схема магнітного контролера ПМС-50

Для того, щоб звільнити електромагніт від вантажу командоконтролер встановлюється в положення, при якому контактор КВ втрачає живлення і відключає котушку електромагніту ЕМ від джерела живлення. Однак, струм в ній миттєво не зникає, а під дією ЕРС самоіндукції продовжує протікати в тому ж напрямку по колу з резисторами ПР і РР. При цьому напруга між точками 1 і 2 виявляється достатньою, щоб включився контактор КР. Таким чином котушка ЕМ опиняється під напругою зворотної полярності, струм в ній інтенсивно зменшується, а потім зростає в зворотному напрямку до значення, яке необхідне для ліквідації остатнього магнетизму. Електромагніт звільняється від вантажу, навіть досить легкого, наприклад від стружки.

В процесі змінення струму електромагніту, напруга на котушці контактора КР зменшується, і при деякому його значенні контактор КР

відключається, що приводить до розриву кола розмагнічування. Але котушка електромагніту ЕМ залишається замкнутою на резистори ПР та РР. Це виключає неприпустимі перенапруги на електромагніті.

Розглянемо побудову *топологічної складової* комплексної моделі пристрою. Виходячи з описання роботи схеми електромагніту, можна виділити три усталені режими роботи, яким відповідають конкретні принципові електричні схеми з'єднання елементів, що входять до складу магнітного контролера:

1. Зачеплення вантажу (включений контактор КВ).
2. Звільнення від вантажу (включений контактор КР).
3. Заключний режим (виключені контактори КВ і КР).

Для аналізу роботи вантажопідіймального електромагніту в цих режимах необхідно схеми з'єднання його елементів представити схемами заміщення, в яких кожен елемент схеми буде представлений своїми параметрами:

- резистори ПР та РР – опори $R_{\text{П}}$ та $R_{\text{Р}}$;
- контактори КВ та КР – опори $R_{\text{В}}$ та $R_{\text{К}}$;
- котушка електромагніту ЕМ – опір $R_{\text{Е}}$ та ЕРС самоіндукції E .

Розглянемо перший режим. Командоконтролер КК переводиться в положення 1. Контактор КВ отримав живлення, в результаті чого до джерела живлення підключаються елементи показані на рис. 2.19, *а*. На схемі заміщення (рис. 2.19, *б*) ці елементи представлені їх опорами.

В результаті маємо схему з трьома паралельними вітками, підключеними до одного джерела живлення. Одна з цих віток має низку послідовно з'єднаних елементів.

Розглянемо другий режим. Командоконтролер КК переводиться в положення 2. Коло живлення котушки контактора КВ розмикається. Але, згідно з описаним вище порядком роботи пристрою, створюються умови для включення контактора КР і утворюється нова сукупність включених

елементів (рис. 2.20, а). Враховуючи те, що в точках 1 і 2 опори резисторів ПР та РР діляться у необхідному співвідношенні, на схемі заміщення (рис. 2.20, б) вони представлені у вигляді двох складових $R_{П'}$, $R_{П''}$ та $R_{Р'}$, $R_{Р''}$.

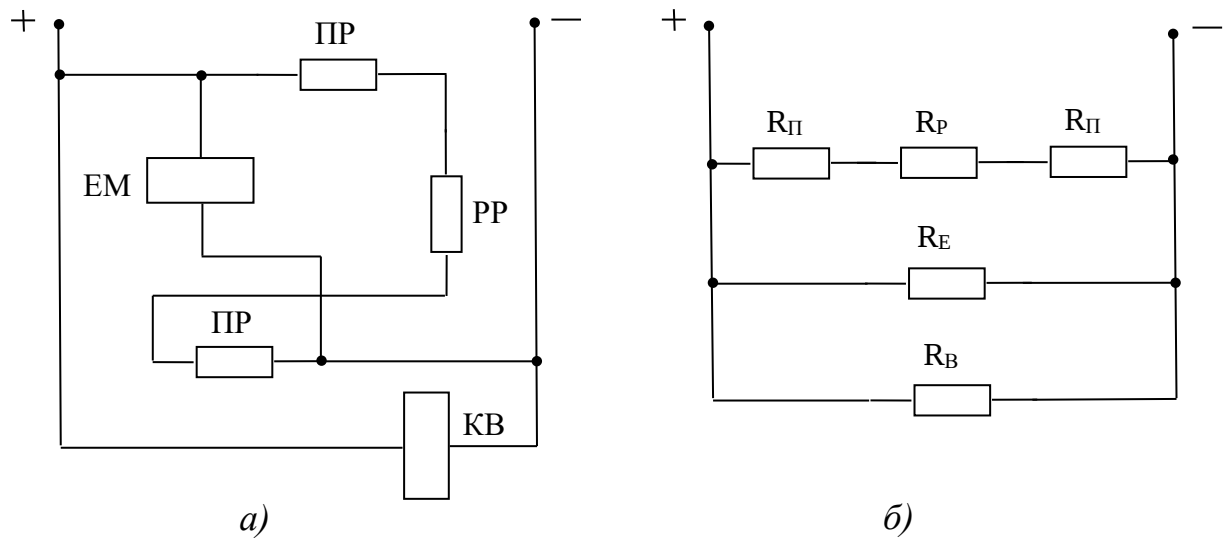


Рис. 2.19. Схема включення елементів магнітного контролера
а) та її схема заміщення; б) для першого режиму

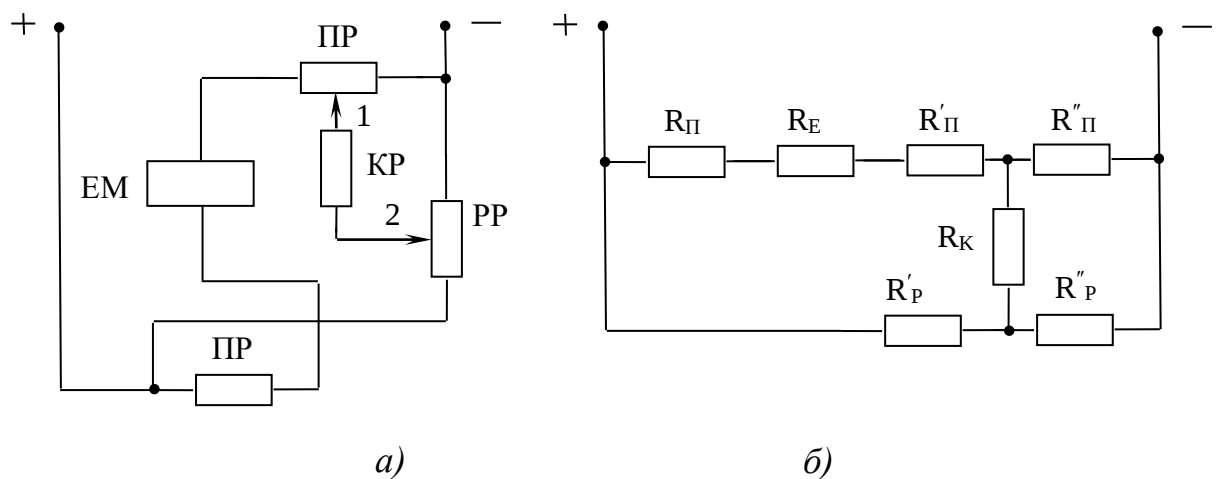


Рис. 2.20. Схема включення елементів магнітного контролера
а) та її схема заміщення б) для другого режиму

Нова схема заміщення має більш складний вигляд ніж попередня. З'єднання елементів утворюють «зірки» і «трикутники», тому для спрощення схеми необхідні перетворення одних з'єднань в еквівалентні інші.

Розглянемо третій режим. Контактори КВ і КР відключені. Але в схемі залишається контур (рис. 2.21, а), в якому буде протікати струм, викликаний ЕРС самоіндукції E котушки електромагніту ЕМ (рис. 2.21, б). Ця схема досить проста і представляє звичайний варіанта послідовного з'єднання опорів, підключеного до джерела ЕРС.

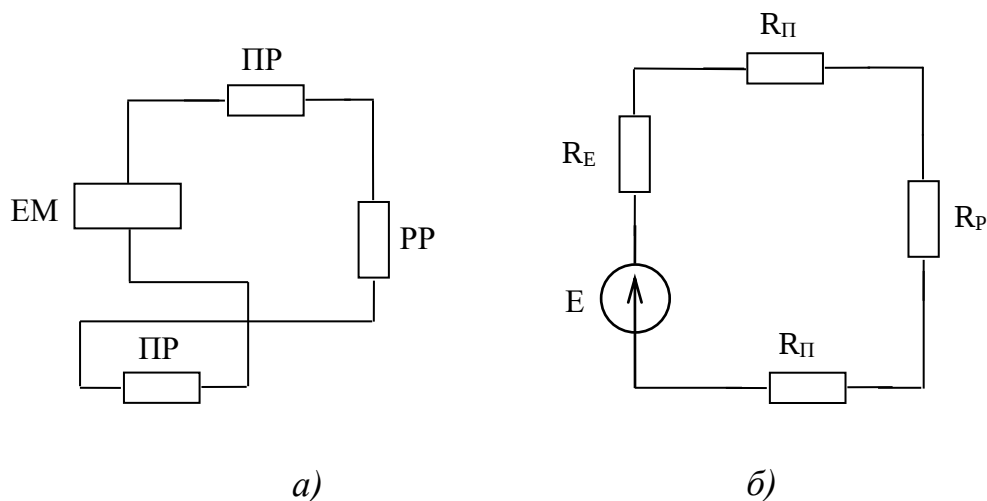


Рис. 2.21. Схема включення елементів магнітного контролера а) та її схема заміщення; б) для третього режиму

Таким чином, електричну схему реального фізичного об'єкта предметної галузі, а конкретно – машинобудівного обладнання, можна представити у вигляді сукупності ідеальних елементів. Схеми заміщення, за допомогою яких можна проаналізувати окремі режими роботи електротехнічного пристрою відповідають алгоритму його функціонування і відображають процеси, що в ньому протікають.

Розрахункова складова комплексної моделі вантажопідіймального електромагніту може бути представлена формулами еквівалентних перетворень електричних схем, рівняннями складеними за законами Ома та

Кірхгофа. Для аналізу схем, що входять до топологічної складової моделі, необхідно скористатись розглянутими вище методами. При цьому для кожної схеми топологічної складової необхідно застосувати метод, який дозволяє оптимізувати трудомісткість розрахункових процедур.

Розглянемо проектування професійно орієнтованого змісту навчання з розрахунку електрообладнання устаткування електричного зварювання.

На промислових підприємствах широко застосовується електрозварювання для нероз'ємного з'єднання металевих деталей шляхом їх місцевого нагріву до рідкого або пластичного стану з використанням для нагріву електричної енергії. Наприклад, на підприємствах електромашинобудування електрозварювальне устаткування застосовують для зварювання остовів генераторів та двигунів постійного струму, приварювання до остовів лап, виготовлення зварних кожухів електричних машин, зварювання хрестовин та інше. Найбільш поширені види електрозварювання – дугова та контактна. Всі промислові зварювальні установки мають у своєму складі, окрім джерела живлення зварювальної дуги, різноманітні електротехнічні пристрої: вимірювальні прилади, електричні двигуни, комутаційні апарати та ін.

Для побудови трискладової комплексної моделі зварювального пристрою застосуємо запропонований алгоритм до промислового об'єкту «Зварювальний напівавтомат».

Так до складу напівавтомату А-547Р для зварювання в середовищі вуглекислого газу входять:

- джерело напруги постійного струму (джерело зварювального струму);
- двигун постійного струму змішаного збудження, для подачі зварювального дроту в робочу зону;
- реостат регулювання швидкості двигуна;
- резистор обмежування струму в колі якоря двигуна;
- електромагнітна муфта зчеплення валу двигуна з редуктором;

- контактор;
- підігрівач газу;
- прилади контролю за режимом зварювання (вольтметр та амперметр з шунтом).

Все вище сказане є *системно-інформаційною складовою* комплексної моделі промислового об'єкту «Зварювальний напівавтомат».

Електрична схема зварювального напівавтомату приведена в [192] і при замиканні контактів комутаційних апаратів переходить в робочий режим та включає в себе всі перелічені елементи.

Топологічна складова моделі зварювального пристрою подана схемою заміщення (рис. 2.22), де всі складові елементи представлені їх параметрами, які в даних конкретних умовах відображають властивості цих елементів. На схемі показано:

- джерело живлення – джерело напруги U , внутрішній опір R_B ;
- двигун постійного струму – обмотка якоря, паралельна та послідовна обмотки збудження, відповідно опори R_J, R_{31}, R_{32} .
- регулювальний реостат – опір R_P ;
- резистор обмеження струму – опір R_O ;
- електромагнітна муфта – опір R_E ;
- контактор – опір R_K ;
- підігрівач газу – опір R_L ;
- прилади контролю: вольтметр – опір R_V , амперметр з шунтом – опори R_A та $R_{ш}$;
- зона зварювання – опір R_D .

Конфігурація отриманої схеми дещо відрізняється від еквівалентних схем, які за звичай застосовуються в електротехніці. Тому перекомпонували складові елементи отримаємо схему (рис. 2.23), яка має

традиційний вигляд схем постійного струму, що аналізуються в електротехніці.

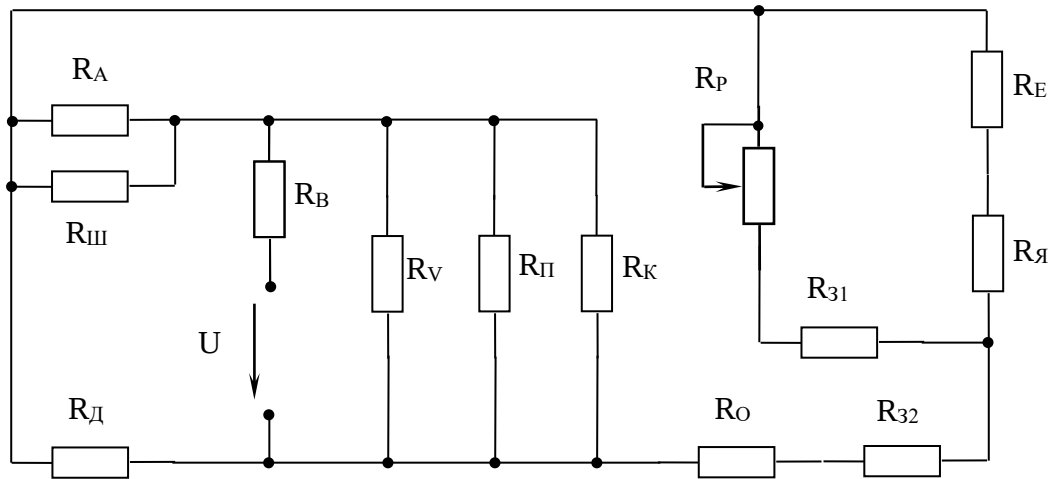


Рис. 2.22. Схема заміщення напівавтомату А-547Р

Розрахункова складова комплексної моделі включає в себе формули, які описують електричний стан представленої схеми. Для спрощення схеми на рис. 2.23 можна застосувати метод еквівалентних перетворень, а для визначення основних експлуатаційних величин – методи аналізу електричних кіл, моделі яких були розглянуті в п. 2.2.

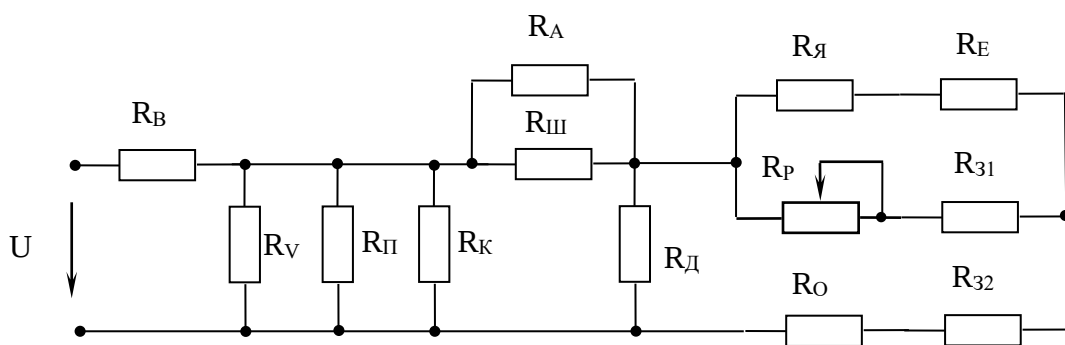


Рис. 2.23. Перетворена схема заміщення
зварювального напівавтомату

Розглянемо проектування професійно орієнтованого змісту навчання з розрахунку електричних машин.

Електричні машини, які найчастіше зустрічаються у складі промислового обладнання машинобудівної галузі це електричні двигуни змінного та постійного струмів. Вони досить складні за будовою і можуть працювати в багатьох режимах. *Системно-інформаційна складова* комплексної моделі будь-якого електричного двигуна базується на описі складу, принципу дії, режимів роботи та області застосування конкретного виду електричної машини.

Відмінною характеристикою електричного двигуна є його властивість саморегулювання, під якою розуміють здатність двигуна автоматично виробляти обертальний момент, який дорівнює протидіючому моменту на його валу. Саморегулювання відбувається за рахунок автоматичної зміни струмів обмоток двигуна і частоти обертання рухомої частини електричної машини [109].

Різноманіття режимів роботи зумовлює і велику кількість схем заміщення, які відображають специфіку роботи машини в конкретних режимах і є основою для побудови *топологічної складової* комплексних моделей.

Варіанти схем заміщення для найбільш поширених на виробництві електричних машин приведені в додатку Ж.

Для аналізу схем заміщення та розрахунку експлуатаційних параметрів електричних машин необхідно скористатися відповідними математичними залежностями. Тобто необхідно побудувати *розрахункову складову* комплексної моделі конкретного електричного двигуна. Чисельні розрахункові моделі пристроїв приведені в літературі [10, 19, 20, 23, 31, 109, 187].

Висновки до розділу 2

Проектування професійно орієнтованого змісту навчання будь-якої дисципліни передбачає максимальне наближення елементів змісту до конкретних завдань професійної діяльності визначеної галузі промислового виробництва.

Теоретично обґрунтовано та розроблено комплексні моделі змісту навчання електротехнічних елементів і пристроїв електротехнічного обладнання машинобудівної галузі на основі комплексних моделей. Визначені основні групи електротехнічних елементів предметної галузі (R , L , C , E), обґрунтовані основоположні параметри для їх класифікації та запропоновані принципи поетапної побудови моделей найбільш характерних представників цих груп: резистора, котушки індуктивності, конденсатора, джерела напруги. Характерною ознакою кожної групи є той параметр, заради якого цей елемент створювався, або параметр, який є основним у більшості випадків практичного застосування реального фізичного елементу. Розроблено комплексні трискладові моделі реальних електротехнічних елементів промислового обладнання: котушки індуктивності, конденсатора, силового трансформатора.

Розроблено елементи професійно орієнтованого змісту навчання основ теорії електричних кіл з використанням комплексних моделей. Запропоновано професійно орієнтований зміст формування електротехнічної компетентності з основних розділів дисципліни. Розроблено комплексні моделі навчальних елементів «Закон Ома», «Перший закон Кірхгофа», «Другий закон Кірхгофа», «Еквівалентні перетворення», методи аналізу електричних кіл: «Метод законів Кірхгофа», «Метод накладення», «Метод напруг між двома вузлами», «Метод контурних струмів», «Метод еквівалентного генератора».

На основі комплексних моделей законів та методів аналізу електричних кіл, які складають основу теорії електротехніки, розроблені професійно орієнтовані моделі навчальних елементів режимів роботи електротехнічних пристроїв у складі промислового обладнання. Так, із застосуванням комплексної трискладової моделі, розроблені професійно орієнтовані навчальні елементи змісту навчання реальних електротехнічних пристроїв промислового обладнання машинобудівної галузі (джерело живлення для електрохіміко-механічної обробки поверхні металевих виробів, електронавантажувач, вантажопідіймальний магніт, зварювальний апарат з електромашинним джерелом живлення, електровізок, вимірювач температури).

Для визначення основних експлуатаційних параметрів та характеристик промислових об'єктів машинобудівної галузі, необхідність в яких виникає в процесі їх експлуатації, а також для аналізу роботи конкретного пристрою промислового виробництва застосовано алгоритм побудови трискладової комплексної моделі, який було приведено в першому розділі п. 1.3.

Розроблено професійно орієнтований зміст навчання з розрахунку електротехнічних складових обладнання машинобудівного виробництва таких, як транспортні засоби, вантажопідіймальний електромагніт, електрообладнання устаткування електричного зварювання, електричні двигуни постійного струму паралельного та послідовного збудження, асинхронний двигун.

Основні положення та наукові результати розділу опубліковано в працях [89, 90, 91, 113, 116].

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОФЕСІЙНО ОРІЄНТОВАНОГО ЗМІСТУ НАВЧАННЯ ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ МАШИНОБУДІВНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

3.1. Організація експериментальної перевірки

Застосування проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-машинобудівників є важливим кроком в підвищенні ефективності і якості підготовки майбутніх інженерів неелектротехнічних спеціальностей. Перевірка розроблених теоретичних положень передбачає проведення дослідно-експериментальних досліджень, тобто проведення педагогічного експерименту [54, 57, 93, 100].

Експеримент, як метод дослідження, дозволяє здійснити перевірку гіпотези дослідження, тобто науково обґрунтувати підвищення якості навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей, завдяки запровадженню методики проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних трискладових моделей.

Призначення педагогічного експерименту визначає і завдання його проведення:

- встановлення послідовності етапів проведення експериментальної перевірки;
- визначення ефективності традиційного змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівників;
- визначення критеріїв і показників оцінювання ефективності та результативності розробленого професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки;

– експериментальна перевірка результативності розробленого професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних трискладових моделей навчальних елементів.

Експериментальне дослідження проводилося протягом 2015–2018 років та включало декілька етапів – констатувальний, формувальний та порівняльний. У проведенні педагогічного експерименту приймали участь здобувачі Української інженерно-педагогічної академії та Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

На достовірність результатів педагогічного дослідження впливають умови проведення експерименту, забезпечення репрезентативності та однорідності вибірки учасників. Репрезентативність вибірки характеризує кількість учасників дослідження. Генеральну сукупність дослідження складають здобувачі неелектротехнічних спеціальностей машинобудівного профілю, які вивчали електротехніку у зазначений період у закладах вищої освіти. Їх кількість становить близько 3600 осіб. Враховуючи ці дані, можна розрахувати необхідну кількість здобувачів для проведення констатувального етапу педагогічного експерименту, скориставшись формулою [56]:

$$n = \frac{(t\sigma\Delta^{-1})^2}{1 + N^{-1}(t\sigma\Delta^{-1})^2},$$

де t – значення абсциси для кривої нормального розподілу (закон Гауса) і для бажаної вірогідності $P = 0,95$ має значення $t = 1,96$;

σ – стандартне відхилення ($\sigma = 2$);

Δ – рівень точності;

N – обсяг генеральної сукупності.

Візьмемо за вихідні дані такі значення $t = 1,96$, $\sigma = 2$, $\Delta = 0,5$, $N = 3600$ та визначимо кількість учасників у виборці:

$$n = \frac{(t\sigma\Delta^{-1})^2}{1 + N^{-1}(t\sigma\Delta^{-1})^2} = \frac{(1,96 \cdot 2 \cdot \frac{1}{0,5})^2}{1 + \frac{1}{3600} \cdot (1,96 \cdot 2 \cdot \frac{1}{0,5})^2} \approx 60.$$

Таким чином, мінімальна необхідна кількість здобувачів учасників констатувального експерименту визначена і становить 60 осіб. Така кількість учасників повністю відповідає репрезентативному обсягу вибірки і є достатньою для того, щоб вважати результати експерименту обґрунтованими і вірогідними. Для проведення експерименту на констатувальному етапі було залучено 82 здобувачі.

Всього для проведення педагогічного дослідження залучено 203 здобувачі (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Етапи, завдання та учасники педагогічного експерименту

№ з/п	Етапи та завдання експерименту	Характеристика учасників	Кількість учасників	
			Контрольна група	Експериментальна група
1	2	3	4	5
1.	Констатувальний етап (аналіз змісту існуючих методик навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівної галузі)	Здобувачі УІПА	68	
		Здобувачі ХНТУСГ	14	
2.	Всього учасників констатувального етапу		82	
3.	Формувальний етап (перевірка результативності розробленої методики проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівної галузі)	Здобувачі УІПА	38	37
		Здобувачі ХНТУСГ	21	25

Продовж. табл. 3.1

1	2	3	4	5
4.	Всього учасників формувального етапу за групами		59	62
5.	Всього учасників формувального етапу		121	
6.	Всього учасників експерименту		203	

Основним завданням констатувального етапу є об'єктивне дослідження результативності традиційного змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків машинобудівної галузі. Протягом 2015–2016 років до участі в констатувальному етапі педагогічного експерименту було залучено 82 здобувачі, з яких 68 здобувачів з Української інженерно-педагогічної академії і 14 здобувачів з Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

Формувальний етап експерименту тривав протягом 2016–2018 року. На цьому етапі досліджувалась результативність теоретично обґрунтованого та розробленого професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків машинобудівної галузі. В експерименті приймав участь 121 здобувач, з них 75 здобувачів Української інженерно-педагогічної академії і 46 здобувачів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

За цей час були отримані результати контрольної та експериментальних груп, перевірено та оцінено результативність методики проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків машинобудівної галузі.

Під час проведення педагогічного експерименту були задіяні такі теоретичні та практичні методи:

– теоретичні: аналіз психолого-педагогічної, електротехнічної та науково-методичної літератури з проблеми дослідження для встановлення стану її наукової розробленості; моделювання елементів змісту навчання електротехніки здобувачів машинобудівного профілю; узагальнення,

порівняння, класифікація та систематизація теоретичних та практичних положень і результатів дослідження;

– емпіричні: аналіз та узагальнення педагогічного досвіду, анкетування, тестування, вивчення та аналіз системи студентських контрольних та лабораторно-практичних робіт, педагогічний експеримент (констатувальний, формувальний та порівняльний етапи) для визначення результативності методики проектування змісту навчання електротехніки інженерів неелектротехнічних спеціальностей;

– статистичні: методи математичної статистики для кількісного та якісного аналізу емпіричних даних (критерії Ст'юдента, Фішера), методи систематизації та встановлення залежностей між факторами, що досліджувалися, доведення достовірності результатів експерименту.

Об'єктивність одержаних експериментальних даних забезпечувалась дотримання основних вимог надійності, вірогідності та валідності [107, 146].

Надійність результатів експерименту базується на даних, отриманих шляхом дотримання регламенту процесу дослідження відповідно до вибраної методики проведення експерименту. Ще один фактор забезпечення надійності – це відбір незалежних експертів з висококваліфікованих викладачів закладів вищої освіти, в яких проводився педагогічний експеримент.

Вірогідність результатів експерименту забезпечувалася виконанням досліджень при проведенні реального освітнього процесу з вирівнюванням умов організації експерименту для контрольних та експериментальних груп.

Валідність результатів експериментальних досліджень забезпечувалась встановлення однакових факторів впливу, таких як контингент здобувачів, рівень їх фізико-математичної підготовки, умови організації та проведення експерименту. Відмінним фактором контрольної та експериментальної груп було визначено зміст навчання електротехніки: в контрольній групі – традиційний, в експериментальній групі – професійно орієнтований на основі комплексних моделей.

3.2. Аналіз результатів констатувального етапу експерименту

Ефективність розробленого професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки передбачає зростання якості засвоєних знань, умінь та навичок майбутніх інженерів-механіків машинобудівної галузі, а також рівня розвитку професійно важливих якостей, що в сукупності складають електротехнічну компетентність.

Розглянемо критерії і показники, які є основою для вимірювання і діагностики професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки здобувачів неелектротехнічних спеціальностей закладів вищої освіти.

Згідно із сформованою термінологією [49, 134] *критерій* – це характеристика, властивість або якість об'єкта, які можна оцінити за допомогою одного з методів вимірювання або експертного методу. Відповідно – *показник* визначається як доказ, характерологічний атрибут певного аспекту критерію формування знань, умінь і професійно важливих якостей, який фіксує певний стан або рівень досліджуваного об'єкта за обраними критеріями. Показник конкретизує критерії певних характеристик. Кількісною мірою сформованості критерію є рівень, як ступінь розвитку якості, масштабність розвитку значущості будь-чого. Критерії та показники дозволяють визначити рівень готовності здобувачів допрофесійної діяльності.

Аналіз професійної діяльності інженера-механіка згідно з його посадовими обов'язками (п. 1.2) визначає такі критерії, які дозволяють оцінювати результативність професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі побудови комплексних моделей елементів змісту навчання дисципліни [87]. Відповідно до розробленої методики критеріями експериментального дослідження визначено:

- критерій сформованості знань та умінь з електротехніки;
- критерій сформованості професійно важливих якостей.

До критерію сформованості знань та умінь з електротехніки відносять такі показники, як:

- показник сформованості знань із застосування елементів електричних кіл;
- показник сформованості умінь із застосування елементів електричних кіл;
- показник сформованості знань із використання законів електротехніки;
- показник сформованості умінь із використання законів електротехніки;
- показник сформованості знань із застосування еквівалентних перетворень;
- показник сформованості умінь із застосування еквівалентних перетворень;
- показник сформованості знань із застосування методів розрахунку електричних кіл;
- показник сформованості умінь із застосування методів розрахунку електричних кіл;
- показник сформованості знань із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування;
- показник сформованості умінь із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування.

Формування знань відбувається в процесі засвоєння навчального матеріалу, а формування умінь – у процесі застосовування здобутих знань при розв’язанні практичних задач. Формування знань з електротехніки здійснюється через засвоєння понять про елементи електричних кіл, закони електротехніки, еквівалентні перетворення, методи розрахунку електричних кіл, розрахунки електротехнічних пристроїв машинобудівного виробництва. Формування і засвоєння понять досить складний процес. Поняття це основа знань і вони не можуть бути засвоєні тільки шляхом заучування визначень.

Поняття являють собою систему, в якій одні з них зв'язані з другими, тому вони засвоюються в системі, в зв'язку один з одним. Рівень абстракції в електротехніці дуже високий, тому поняття дисципліни засвоюються не відразу, не одномоментно, а поступово, в процесі вивчення курсу [58].

Засвоївши поняття здобувач має можливість перейти до наступного етапу навчального процесу – оволодіння умінням оперувати цим поняттям при розв'язанні завдань пізнавального та практичного характеру. Тобто уміння формуються на основі набутих знань в процесі виконання здобувачами різноманітних завдань.

Для оцінювання виконання кожного завдання В. Беспалько пропонує визначити число суттєвих операцій, які приводять до рішення тесту, тобто їх загальну кількість p . Порівняння правильно виконаних здобувачами дій або завдань a з загальною кількістю дій, які підлягають засвоєнню дає можливість визначити коефіцієнт засвоєння, який розраховується за формулою [13]:

$$K_a = \frac{a}{p}.$$

Визначимо рівні сформованості знань та умінь з електротехніки. Згідно з аналізом наукових робіт [11, 48, 54] скористуємось наступною трирівневою шкалою, яка дозволить оцінити вимірювальну властивість критерію сформованості знань та умінь з електротехніки (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

**Інтервальна шкала критерію сформованості знань та умінь
з електротехніки**

Рівні сформованості	Значення критерію
Низький (1)	$K_a < 0,7$
Середній (2)	$0,7 \leq K_a < 0,85$
Високий (3)	$0,85 \leq K_a \leq 1$

Низький рівень сформованості знань та умінь з електротехніки характеризується неповним засвоєнням змісту та об'єму понять елементів електричних кіл, параметрів елементів, законів електротехніки, методів розрахунку електричних кіл, електромагнітних процесів та електротехнічного обладнання машинобудівного виробництва.

Здобувачі із середнім рівнем сформованості знань та умінь з електротехніки достатньо повно засвоюють зміст та об'єм базової та нової інформації з подальшим її відтворенням та застосуванням при розв'язанні типових задач.

Для здобувачів із високим рівнем сформованості знань та умінь з електротехніки характерним є повне засвоєння змісту та об'єму нової інформації з подальшим самостійним її перетворенням та застосуванням при розв'язанні професійно орієнтованих задач.

Розглянемо критерій сформованості професійно важливих якостей [34, 35, 40, 46, 63, 98, 99, 101, 153, 172], які необхідно набути здобувачам неелектротехнічних спеціальностей при вивченні електротехніки. До цього критерію відносяться наступні показники [47, 64, 108, 135, 152, 185]:

- показник сформованості мотивації навчання електротехніки;
- показник сформованості системного мислення;
- показник сформованості здатності до аналізу електротехнічних об'єктів;
- показник сформованості мнемічних здібностей;
- показник сформованості здатності до класифікації електротехнічних об'єктів;
- показник сформованості рівня самостійності навчання.

Методики визначення показників за критерієм сформованості професійно важливих якостей майбутніх інженерів-механіків машинобудівної галузі представлено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

**Методики визначення показників за критерієм сформованості
професійно важливих якостей майбутніх інженерів-механіків
машинобудівного профілю**

Показники експериментального дослідження	Методики проведення експериментального дослідження
Сформованість мотивації навчання електротехніки	Методика «Дослідження мотивів навчальної діяльності студентів» [64]
Сформованість системного мислення	Методика оцінки системності мислення [152]
Сформованість здатності до аналізу електротехнічних об'єктів (пристроїв)	Тест «Встановлення закономірностей» [47] Методика «Порівняння понять» [185]
Сформованість мнемічних здібностей	Методика дослідження продуктивності запам'ятовування [108]
Сформованість здатності до класифікації електротехнічних об'єктів (пристроїв)	Модифікована методика «Виявлення загальних понять» [47]
Сформованість рівня самостійності навчання	Опитувальник дослідження автономності – залежності особистості в навчальній діяльності [135]

Визначені критерії, їх показники та методики проведення експерименту зумовлені метою та змістом дослідження, а також вимогами до процедури проведення експерименту, можливостями та доцільністю використання вибраних методик дослідження. Така система критеріїв та показників дозволяє об'єктивно визначити результативність запропонованого професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки здобувачів машинобудівного профілю у закладах вищої освіти.

Для проведення констатувального етапу педагогічного дослідження розроблено програму. Вона складається з визначення мети та завдань експерименту, незалежних та залежних змінних експериментального дослідження, умов проведення, встановлення критеріїв та параметрів оцінювання ефективності методики навчання, визначення тривалості та методик дослідження. Для обробки фактично отриманих результатів застосовуються методи математичного аналізу та інтерпретації результатів експерименту.

Мета проведення констатувального етапу педагогічного дослідження – це перевірка ефективності навчання електротехніки за традиційним змістом навчання дисципліни.

Завдання проведення констатувального етапу експерименту відповідно до визначеної мети представлено у такому складі:

- сформувати контрольну групу здобувачів машинобудівного профілю з приблизно однаковим рівнем їх фізико-математичної підготовки;
- виявити наявний стан та рівень сформованості знань, умінь з електротехніки та професійно важливих якостей у здобувачів контрольної групи.

Незалежною змінною встановлено традиційний зміст навчання основ електротехніки здобувачів машинобудівних спеціальностей. Залежними змінними є визначені критерії та показники, які представлені вище. Для проведення педагогічного дослідження було використано методики, що наведені у табл. 3.3.

Експериментальною базою для проведення педагогічного дослідження були визначені Українська інженерно-педагогічна академія та Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. В експерименті приймали участь 203 здобувачі, з них 143 здобувачі Української інженерно-педагогічної академії та 60 здобувачів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

Проведення констатувального етапу педагогічного дослідження узгоджено з терміном вивчення електротехніки на другому курсі у здобувачів неелектротехнічних спеціальностей. Вимірювання проводились в процесі професійної підготовки майбутніх інженерів-механіків в умовах реального освітнього процесу.

Результативність традиційного змісту навчання майбутніх інженерів-механіків здійснювалась після вивчення здобувачами відповідних тем за показниками визначених критеріїв та за методиками, що приведені вище.

Розглянемо результати ефективності традиційної методики навчання електротехніки, які отримані на констатувальному етапі педагогічного дослідження (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Показники сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань з елементів електричних кіл	36 (43,9)	30 (36,6)	16 (19,5)	1,76
2.	Сформованість умінь із застосування елементів електричних кіл	37 (45,1)	32 (39,0)	13 (15,9)	1,71

Згідно з результатами проведеного аналізу, у більшості здобувачів контрольної групи показники сформованості знань і умінь з елементів електричних кіл знаходяться на низькому рівні в межах 1,71 – 1,76, який не дозволяє їм повністю виявляти зв'язки між поняттями, показує відсутність системності цих знань за топологічними та розрахунковими складовими змісту.

Далі розглянемо представлені в табл. 3.5 дані про сформованість знань та умінь при вивченні законів електротехніки.

Таблиця 3.5

Показники сформованості знань та умінь із законів електротехніки у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь із законів електротехніки	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань із законів електротехніки	33 (40,3)	37 (45,1)	12 (14,6)	1,74
2.	Сформованість умінь із використання законів електротехніки	37 (45,1)	34 (41,5)	11 (13,4)	1,68

Отримані результати дозволяють визначити рівень засвоєння навчального матеріалу, що сприяє якісному проведенню освітнього процесу. Високого рівня сформованості знань із законів електротехніки досягли лише 14,6 % здобувачів. Більшість здобувачів (45,1 %) демонструють середній рівень сформованості знань. Тобто отримані результати демонструють недостатню сформованість знань та умінь із законів електротехніки. Вони знаходяться в проміжку 1,68 – 1,74, що вказує на низький рівень традиційної методики навчання законів електротехніки.

Розглянемо наступні показники результативності змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівників. У табл. 3.6 приведені дані про сформованість знань та умінь з еквівалентних перетворень.

Таблиця 3.6

Показники сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань з еквівалентних перетворень	31 (37,8)	33 (40,2)	18 (22,0)	1,84
2.	Сформованість умінь із застосування еквівалентних перетворень	39 (47,6)	27 (32,9)	16 (19,5)	1,72

Як бачимо, при застосуванні традиційного змісту навчання еквівалентним перетворенням в електричних колах великий відсоток здобувачів показали низький (37,8 – 47,6) або середній (32,9 – 40,2) рівень сформованості знань та умінь. Такі результати вказують на те, що при виконанні практичних та професійних завдань здобувачі демонструють неповне засвоєння змісту навчального матеріалу та роблять принципові помилки при самостійному розв'язанні задач.

В табл. 3.7 приведені відомості про сформованість знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл.

Таблиця 3.7

Показники сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань з методів розрахунку електричних кіл	39 (47,6)	28 (34,1)	15 (18,3)	1,71
2.	Сформованість умінь із застосування методів розрахунку електричних кіл	44 (53,7)	25 (30,5)	13 (15,8)	1,62

Аналізуючи отримані результати можна констатувати, що одна з основних тем електротехніки в контрольній групі має досить низькі показники щодо засвоєння знань та формування умінь з практичного застосування основних методів розрахунку електричних кіл.

Високого рівня сформованості знань досягли лише 18,3 % здобувачів, а рівня сформованості умінь із застосування методів розрахунку електричних кіл 15,8 % здобувачів від загальної кількості учасників експерименту.

Розглянемо результати експериментального дослідження традиційного змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків машинобудівної галузі за критерієм сформованості знань та умінь із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування (табл. 3.8).

Аналіз отриманих результатів дозволяє стверджувати, що за умов застосування традиційного змісту, високий рівень сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування мають

близько 15 % здобувачів. Інші здобувачі мають середній та низький рівень сформованості професійно орієнтованих знань та умінь з електротехніки.

Таблиця 3.8

**Визначення показника сформованості знань та умінь розрахунку
електротехнічних пристроїв машинобудування у майбутніх
інженерів-механіків машинобудівного профілю**

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	43 (52,5)	27 (32,9)	12 (14,6)	1,62
2.	Сформованість умінь із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	43 (52,4)	28 (34,2)	11 (13,4)	1,61

Розглядаючи отримані дані, можна зазначити, що застосування традиційного змісту навчання електротехніки без врахування професійної спрямованості дисципліни має досить низьку результативність тому, відсутня цілісна система формування знань, умінь та професійно необхідних якостей майбутніх фахівців.

Проаналізуємо результати констатувального етапу педагогічного експерименту з визначення критерію сформованості професійно важливих якостей, які необхідно формувати у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю (табл. 3.9).

Результати дослідження показують, що при застосуванні традиційного змісту навчання електротехніки лише близько 20 % здобувачів мають високий рівень мотивації, усвідомлено сприймають мотиви для навчання та пізнання, які пов'язані зі змістом та структурою навчальної діяльності. Інші учасники експерименту мають досить низький рівень сформованості мотивації навчання зазначеної дисципліни.

Таблиця 3.9

**Критерій сформованості професійно важливих якостей у майбутніх
інженерів-механіків машинобудівного профілю
на констатувальному етапі експерименту**

№ з/п	Показники критерію сформованості професійно важливих якостей	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість мотивації навчання електротехніки	31 (37,8)	35 (42,7)	16 (19,5)	1,82
2.	Сформованість системного мислення	34 (41,5)	34 (41,5)	14 (17,0)	1,76
3.	Сформованість здатності до аналізу електротехнічних об'єктів	34 (44,5)	37 (45,1)	11 (13,4)	1,72
4.	Сформованість мнемічних здібностей	32 (39,0)	34 (41,5)	16 (19,5)	1,80
5.	Сформованість здатності до класифікації електротехнічних об'єктів	36 (43,9)	34 (41,5)	12 (14,6)	1,71
6.	Сформованість рівня самостійності навчання	33 (40,2)	35 (42,7)	14 (17,1)	1,77

Сформованість системного мислення, як видно з табл. 3.9 знаходиться у здобувачів на низькому та середньому рівні. Необхідно враховувати те, що електротехніка є технічною дисципліною і спрямована на вирішення практичних задач, тому основна робота по розвитку системного мислення повинна вестись через задачі. Адже в будь-яку задачу закладені великі можливості для формування та розвитку системного мислення. Але більшість здобувачів обмежуються вивченням формулювань та визначень, не розуміючи їх взаємозв'язку і не можуть застосувати їх на практиці при рішенні конкретних задач.

Показники сформованості здатності до класифікації та аналізу електротехнічних об'єктів у здобувачів контрольної групи знаходяться на рівні 1,71–1,72, що підтверджує низьку результативність традиційної методики формування змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю. При класифікації використовують певні спільні ознаки притаманні об'єктам промислового обладнання. Але

більшість здобувачів мають досить поверхневу уяву про різноманіття електротехнічного обладнання машинобудівної галузі, його особливості, властивості та інші фактори, які визначають класифікацію електротехнічних об'єктів.

Показник сформованості мнемічних здатностей в контрольній групі здобувачів знаходиться на середньому рівні. Це пояснюється тим, що рівень абстракції в електротехніці дуже високий і традиційний підхід до формування змісту навчання електротехніки не достатньо раціонально організований і структурований, не враховує мнемічні можливості. Орієнтація на побудову абстрактних моделей електротехнічних об'єктів з урахуванням специфіки їх роботи в конкретних промислових умовах потребує додаткових зусиль з розвитку мнемічних здібностей особистості.

Аналізуючи сформованість рівня самостійності навчання, можна зазначити, що він знаходиться на середньому рівні. Самостійність, як професійно важлива якість майбутніх фахівців, передбачає не тільки осмислення і освоєння здобувачами знань і умінь, але й оволодіння ними, а також засвоєння методів самостійного отримання знань, умінь і навичок для подальшого самостійного навчання. Некероване, самодовільне оволодіння суб'єктами навчання прийомами і методами самостійної роботи відбувається дуже повільно і є малоефективним.

Проведений констатувальний етап експериментального дослідження дозволяє встановити, що традиційний підхід до формування змісту навчання електротехніки має суттєві недоліки:

- формування професійних знань та умінь з електротехніки здобувачів машинобудівників не відповідає сучасним вимогам промислового виробництва;

- формування професійно важливих якостей у майбутніх інженерів-механіків здійснюється несистемно, фрагментарно без врахування особливостей професійної направленості змісту навчання електротехніки.

Таким чином, результативність традиційної методики формування електротехнічної складової в професійній підготовці майбутніх інженерів-механіків є низькою.

3.3. Аналіз результатів формувального етапу експерименту

Формувальний етап педагогічного експерименту проводиться з метою перевірки гіпотези, яка полягає у тому, що якість навчання електротехніки здобувачів машинобудівного напрямку підвищиться за умов упровадження професійно орієнтованого змісту навчання на основі застосування комплексної трискладової моделі представлення навчальних елементів змісту дисципліни.

Завданням формувального етапу педагогічного експерименту є визначення ефективності застосування розробленого змісту навчання при формуванні електротехнічної компетентності майбутніх інженерів-механіків машинобудівної галузі.

Формувальний етап експерименту проводився на основі професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки, який описано в розділі 2 та приведено в навчально-методичному посібнику «Електротехніка. Комплексні моделі змісту навчання», професійно орієнтованих задачах і тестах, які представлені в додатках А та Б відповідно.

Незалежною змінною для контрольної групи здобувачів визначено традиційний зміст навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків машинобудівної галузі.

Для експериментальної групи здобувачів незалежною змінною визначено розроблений професійно орієнтований зміст навчання електротехніки на основі застосування комплексної трискладової моделі побудови навчальних елементів дисципліни, який представлено у другому розділі дисертації та у навчально-методичному посібнику [116].

Критерії та показники, що визначені у п. 3.2, є залежними змінними формувального етапу експериментального дослідження. Методики, які

використовувались при проведенні формувального етапу експерименту приведені в табл. 3.3.

Формувальний етап педагогічного експерименту проводився в умовах реального процесу навчання здобувачів машинобудівних спеціальностей. Контрольні та експериментальні групи були сформовані із здобувачів Української інженерно-педагогічної академії та Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Загальна кількість здобувачів залучених до участі в експерименті на формувальному етапі становила 121 особу, з них: 59 здобувачів контрольної групи та 62 здобувачі експериментальної групи.

Визначення статистичної значущості різниці показників на формувальному етапі педагогічного експерименту проводилось з використанням однофакторного дисперсійного аналізу даних у середовищі програми MS Excel, з визначенням критерію F – розподілу Фішера.

Проаналізуємо отримані дані формувального етапу педагогічного експерименту в контрольній групі здобувачів та встановимо результативність теоретично обґрунтованої та розробленої методики формування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків машинобудівної галузі.

Результати сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл у здобувачів, які входили до складу контрольної групи представлені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Показники сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю контрольної групи на формувальному етапі експерименту

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1	2	3	4	5	6
1.	Сформованість знань з елементів електричних кіл	26 (44,1)	22 (37,3)	11 (18,6)	1,75

Продовж. табл. 3.10

1	2	3	4	5	6
2.	Сформованість умінь із застосування елементів електричних кіл	28 (47,5)	21 (35,6)	10 (16,9)	1,70

Результати сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл у здобувачів, які входили до складу експериментальної групи при проведенні формувального експерименту представлено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

**Показники сформованості знань та умінь з елементів
електричних кіл у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного
профілю експериментальної групи на формувальному етапі
експерименту**

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань з елементів електричних кіл	2 (3,2)	42 (67,8)	18 (29,0)	2,26
2.	Сформованість умінь із застосування елементів електричних кіл	5 (8,1)	41 (66,1)	16 (25,8)	2,17

За результатами проведеного дослідження (див. табл. 3.10, 3.11), знання та уміння із застосування елементів електричних кіл у здобувачів контрольної групи сформовано на низькому та середньому рівнях (1,70 – 1,75).

Здобувачі експериментальної групи досягли середнього та високого рівнів сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл, відповідно 2,26 та 2,17.

Такі результати вказують на значно вищий рівень сформованості визначеного показника у здобувачів експериментальної групи.

Різницю середніх значень показників сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл у здобувачів контрольної (КГ) та експериментальної (ЕГ) груп представлено в табл. 3.12.

Таблиця 3.12

**Різниця середніх значень показників сформованості знань та умінь
з елементів електричних кіл**

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл	Середні значення показників		Різниця значень показника, %
		КГ	ЕГ	
1.	Сформованість знань з елементів електричних кіл	1,75	2,26	22,6
2.	Сформованість умінь із застосування елементів електричних кіл	1,70	2,17	21,7

Проведено однофакторний дисперсійний аналіз за результатами середніх значень показників сформованості знань та умінь з елементів електричних кіл.

Результати, які представлені в табл. 3.13 свідчать про значущість різниць середніх значень у здобувачів контрольної та експериментальної груп (поточне значення критерію Фішера $F = 49,18$, критичне значення критерію Фішера $F_{кр} = 19,861$, $F > F_{кр}$). Дані дисперсійного аналізу дозволяють зробити висновок, що професійно орієнтований зміст навчання електротехніки на основі комплексних трискладових моделей дозволяє отримати вищий результат порівняно з традиційним.

Таблиця 3.13

Результати однофакторного дисперсійного аналізу за показниками сформованості знань та умінь із застосування елементів електричних кіл

Джерело варіації	SS	df	MS	F	F критичне
Між групами	0,1478	1	0,1478	49,18	19,861
Всередині груп	0,0068	2	0,0034		

Розглянемо результати сформованості знань та умінь із законів електротехніки у здобувачів контрольної групи на формувальному етапі експерименту та представимо середні значення показників в табл. 3.14.

Таблиця 3.14

**Показники сформованості знань та умінь із законів
електротехніки у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного
профілю контрольної групи на формувальному етапі експерименту**

№ з/п	Показники критерію сформованості із законів електротехніки	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань із законів електротехніки	27 (45,8)	21 (35,6)	11 (18,6)	1,73
2.	Сформованість умінь із використання законів електротехніки	26 (44,1)	24 (40,7)	9 (15,2)	1,71

Результати сформованості знань та умінь із законів електротехніки у здобувачів експериментальної групи на формувальному етапі експерименту представлено в табл. 3.15.

Таблиця 3.15

**Показники сформованості знань та умінь із законів електротехніки
у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю**

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь із законів електротехніки	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань із законів електротехніки	5 (8,1)	38 (61,3)	19 (30,6)	2,22
2.	Сформованість умінь із використання законів електротехніки	6 (9,7)	40 (64,5)	16 (25,8)	2,16

Аналіз отриманих результатів показує, що більшість здобувачів контрольної групи мають показники знань і умінь із законів електротехніки на низькому та середньому рівні. Середні значення показників сформованості

знань та умінь із законів електротехніки у здобувачів контрольної групи знаходяться в діапазоні 1,71 – 1,73.

Здобувачі експериментальної групи мають показники сформованості знань та умінь із законів електротехніки на середньому та високому рівнях (табл. 3.16).

Таблиця 3.16

**Різниця середніх значень показників сформованості знань та умінь
із законів електротехніки**

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь із законів електротехніки	Середні значення показників		Різниця значень показника, %
		КГ	ЕГ	
1.	Сформованість знань із законів електротехніки	1,73	2,22	22,1
2.	Сформованість умінь із використання законів електротехніки	1,71	2,16	20,8

Як видно із отриманих результатів у здобувачів експериментальної групи середні значення показників сформованості знань та умінь із законів електротехніки становлять 2,22 та 2,16 відповідно, що значно перевищує результати контрольної групи здобувачів.

Представлено різницю середніх значень показників сформованості знань та умінь із законів електротехніки у здобувачів контрольної (КГ) та експериментальної (ЕГ) груп.

Результати дисперсійного аналізу за критерієм сформованості знань та умінь із законів електротехніки наведено в табл. 3.17.

Таблиця 3.17

**Результати однофакторного дисперсійного аналізу за критерієм
сформованості знань та умінь із законів електротехніки**

Джерело варіації	SS	df	MS	F	F критичне
Між групами	0,1992	1	0,1992	63,44	21,22
Всередині груп	0,0298	2	0,0149		

З приведених даних можна зазначити, що статистична значущість показників за критерієм сформованості знань та умінь із законів електротехніки в контрольних та експериментальних групах здобувачів є суттєвою. При критичному значенні критерію Фішера $F_{кр} = 21,22$, поточне значення становить $F = 63,44$, $F > F_{кр}$.

Отримані дані дозволяють стверджувати, що у порівнянні з традиційним змістом навчання електротехніки ефективність розробленого змісту навчання на основі комплексних моделей є результативнішою і дозволяє формувати знання та уміння із використання законів електротехніки на більш високому рівні.

Розглянемо результати формувального етапу експерименту з визначення рівня сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень в контрольній групі здобувачів (табл. 3.18).

Дані приведені в табл. 3.18 показують, що результати отримані на формувальному етапі дослідження в контрольній групі здобувачів майже співпадають з результатами учасників констатувального етапу дослідження і знаходяться на досить низькому рівні сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень (1,72 – 1,81).

Таблиця 3.18

Показники сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю контрольної групи на формувальному етапі експерименту

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань з еквівалентних перетворень	24 (40,7)	22 (37,3)	13 (22,0)	1,81
2.	Сформованість умінь із застосування еквівалентних перетворень	23 (39,0)	29 (49,1)	7 (11,9)	1,72

Наступними розглянемо результати рівня сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень у здобувачів експериментальної групи, які приведені в табл. 3.19.

Таблиця 3.19

**Показники сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень
у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю
експериментальної групи на формуальному етапі експерименту**

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань з еквівалентних перетворень	3 (4,8)	38 (61,3)	21 (33,9)	2,29
2	Сформованість умінь із застосування еквівалентних перетворень	7 (11,3)	39 (62,9)	16 (25,8)	2,15

Аналіз цих результатів підтверджує ефективність розробленого змісту навчання дисципліни і показує, що показники сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень є вищими за результати контрольної групи і знаходяться в інтервалі 2,15 – 2,29.

Різниця середніх значень показників сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень в контрольній та експериментальній групах приведено в табл. 3.20.

Таблиця 3.20

**Різниця середніх значень показників сформованості знань та умінь
із застосування еквівалентних перетворень**

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень	Середні значення показників		Різниця значень показників, %
		КГ	ЕГ	
1.	Сформованість знань з еквівалентних перетворень	1,81	2,29	21,0
2.	Сформованість умінь із застосування еквівалентних перетворень	1,72	2,15	20,0

Дисперсійний аналіз, результати якого показані в табл. 3.21, підтвердив статистичну значущість різниці середніх значень показників сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень у здобувачів контрольної та експериментальної груп (поточне значення критерію Фішера $F=201,3$, критичне значення критерію Фішера $F_{кр} = 19,52$, $F > F_{кр}$).

Таблиця 3.21

Результати дисперсійного аналізу за показниками сформованості знань та умінь з еквівалентних перетворень

Джерело варіації	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>F</i> критичне
Між групами	0,2317	1	0,2317	201,3	19,52
Всередині груп	0,0024	2	0,0012		

Згідно з планом проведення формувального етапу експерименту, наступним кроком було визначення рівня сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл в контрольній групі учасників експерименту. Результати проведеного дослідження представлені в табл. 3.22.

Таблиця 3.22

Показники сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю контрольної групи на формувальному етапі експерименту

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1	2	3	4	5	6
1.	Сформованість знань з методів розрахунку електричних кіл	26 (44,1)	23 (39,0)	10 (16,9)	1,73

Продовж. табл. 3.22

1	2	3	4	5	6
2.	Сформованість умінь із застосування методів розрахунку електричних кіл	31 (52,6)	18 (30,5)	10 (16,9)	1,65

Результати визначення показників за критерієм сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл у здобувачів експериментальної групи на формуальному етапі експерименту представлено в табл. 3.23.

Таблиця 3.23

Показники сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю експериментальної групи на формуальному етапі експерименту

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань з методів розрахунку електричних кіл	6 (9,7)	37 (59,7)	19 (30,6)	2,21
2.	Сформованість умінь із застосування методів розрахунку електричних кіл	11 (17,7)	36 (58,1)	15 (24,2)	2,06

Різниця середніх значень показників сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл у здобувачів контрольної групи (КГ) та експериментальної групи (ЕГ) приведена в табл. 3.24.

Результати дисперсійного аналізу за критерієм сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл представлені в табл. 3.25.

Дисперсійний аналіз середніх значень показників сформованості когнітивних якостей у контрольних та експериментальних групах підтвердив статистичну значущість різниць їх середніх значень (поточне значення критерію Фішера $F = 96,032$, критичне значення критерію Фішера $F_{кр} = 8,813$, $F > F_{кр}$).

Таблиця 3.24

**Різниця середніх значень показників сформованості знань та умінь
з методів розрахунку електричних кіл**

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл	Середні значення показників		Різниця значень показників, %
		КГ	ЕГ	
1.	Сформованість знань з методів розрахунку електричних кіл	1,73	2,21	21,7
2.	Сформованість умінь із застосування методів розрахунку електричних кіл	1,65	2,08	20,7

Таблиця 3.25

Результати дисперсійного аналізу за показниками сформованості знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл

Джерело варіації	SS	df	MS	F	F критичне
Між групами	0,2431	1	0,2431	96,032	18,813
Всередині груп	0,0062	2	0,0031		

Встановлені дані підкреслюють ефективність розробленого професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних моделей елементів навчання дисципліни.

Представимо результати рівня сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування на формульовальному етапі педагогічного дослідження в контрольній групі (табл. 3.26).

В табл. 3.27 приведені результати формульовального етапу дослідження за критерієм сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування в експериментальній групі.

За результатами педагогічного дослідження визначена різниця середніх значень показників сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування в контрольній та експериментальній групах здобувачів (табл. 3.28).

Таблиця 3.26

Показники сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю контрольної групи на формувальному етапі експерименту

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	30 (50,9)	19 (32,2)	10 (16,9)	1,66
2.	Сформованість умінь із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	30 (50,9)	21 (35,6)	8 (13,5)	1,63

Таблиця 3.27

Показники сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю експериментальної групи на формувальному етапі експерименту

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість знань з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	9 (14,5)	37 (59,7)	16 (25,8)	2.11
2.	Сформованість умінь із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	12 (19,4)	36 (58,0)	14 (22,6)	2.03

Таблиця 3.28

**Різниця середніх значень показників сформованості знань та умінь
з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування**

№ з/п	Показники критерію сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	Середні значення показників		Різниця значень показників, %
		КГ	ЕГ	
1.	Сформованість знань з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	1,66	2,11	21,3
2.	Сформованість умінь із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	1,63	2,03	19,7

Для встановлення статистичної значущості різниць середніх значень показників сформованості знань та умінь з електротехнічних пристроїв машинобудування у здобувачів контрольної та експериментальної груп проведено однофакторний дисперсійний аналіз (табл. 3.29).

Визначено поточне значення критерію Фішера $F = 204,3$ та його критичне значення $F_{кр} = 18,33$. При цьому виконується умова $F > F_{кр}$.

Таблиця 3.29

**Результати однофакторного дисперсійного аналізу за показниками
сформованості знань та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв
машинобудування**

Джерело варіації	SS	df	MS	F	F критичне
Між групами	0,2418	1	0,2418	204,31	18,336
Всередині груп	0,0051	2	0,00255		

Результати експерименту підтверджують ефективність розробленого професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних моделей навчальних елементів.

На формувальному етапі педагогічного експерименту проводились дослідження сформованості професійно важливих якостей у майбутніх

інженерів-механіків машинобудівного профілю. Результати проведених досліджень у здобувачів контрольної групи приведено в табл. 3.30.

Таблиця 3.30

Показники сформованості професійно важливих якостей у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю контрольної групи на формувальному етапі експерименту

№ з/п	Показники критерію сформованості професійно важливих якостей	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість мотивації навчання електротехніки	25 (42,4)	21 (35,6)	13 (22,0)	1,80
2.	Сформованість системного мислення	26 (44,1)	22 (37,3)	11 (18,6)	1,75
3.	Сформованість здатності до аналізу електротехнічних об'єктів	22 (37,3)	30 (50,8)	7 (11,9)	1,74
4.	Сформованість мнемічних здібностей	24 (40,7)	22 (37,3)	13 (22,0)	1,81
5.	Сформованість здатності до класифікації електротехнічних об'єктів	25 (42,4)	27 (45,8)	7 (11,8)	1,70
6.	Сформованість рівня самостійності навчання	25 (42,4)	22 (37,3)	12 (20,3)	1,78

Здобувачі контрольної групи показали низький та середній рівні сформованості таких професійно важливих якостей як мотивація навчальної діяльності, логічне та системне мислення, здатності до аналізу об'єктів професійної діяльності, здатності підвищення мнемічних якостей, наполегливості, організованості та самостійності. Показників сформованості професійно важливих якостей у здобувачів контрольної групи знаходяться в діапазоні 1,70...1,81.

Проведено формувальний етап експерименту зі здобувачами експериментальної групи та отримано результати сформованості професійно важливих якостей, які представлено в табл. 3.31.

Таблиця 3.31

Показники сформованості професійно важливих якостей у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю експериментальної групи на формульовальному етапі експерименту

№ з/п	Показники критерію сформованості професійно важливих якостей	Кількість здобувачів, %			Середні значення
		низький рівень	середній рівень	високий рівень	
1.	Сформованість мотивації навчання електротехніки	4 (6,4)	37 (59,7)	21 (33,9)	2,28
2.	Сформованість системного мислення	8 (12,9)	35 (56,4)	19 (30,6)	2,18
3.	Сформованість здатності до аналізу електротехнічних об'єктів	7 (11,3)	36 (58,1)	19 (30,6)	2,20
4.	Сформованість мнемічних здібностей	3 (4,8)	39 (62,9)	20 (32,3)	2,27
5.	Сформованість здатності до класифікації електротехнічних об'єктів	9 (14,5)	37 (59,7)	16 (25,8)	2,11
6.	Сформованість рівня самостійності навчання	4 (42,4)	39 (62,9)	19 (30,6)	2,23

Згідно отриманих результатів середні значення показників сформованості професійно важливих якостей у здобувачів експериментальної групи знаходяться в діапазоні 2,11...2,28.

У здобувачів цієї групи такі професійно важливі якості, як мотивація навчання електротехніки, системне, здатність до аналізу та класифікації елементів навчання, здатність до організованості та самостійності сформовано на середньому та високому рівнях.

В табл. 3.32 представлена різниця середніх значень показників сформованості професійно важливих якостей у здобувачів експериментальної групи по відношенню до контрольної групи.

Проведено дисперсійний аналіз та визначено статистичну значущість різниці середніх значень показників сформованості професійно важливих якостей у здобувачів контрольної та експериментальної груп (табл. 3.33).

Таблиця 3.32

**Різниця середніх значень показників сформованості професійно
важливих якостей**

№ з/п	Показники критерію сформованості професійно важливих якостей	Середні значення показників		Різниця значень показників, %
		КГ	ЕГ	
1.	Сформованість мотивації навчання електротехніки	1,80	2,28	21,0
2.	Сформованість системного мислення	1,75	2,18	19,7
3.	Сформованість здатності до аналізу електротехнічних об'єктів	1,74	2,20	20,9
4.	Сформованість мнемічних здібностей	1,81	2,27	20,3
5.	Сформованість здатності до класифікації електротехнічних об'єктів	1,70	2,11	19,4
6.	Сформованість рівня самостійності навчання	1,78	2,23	20,2

Таблиця 3.33

**Результати дисперсійного аналізу за показниками сформованості
професійно важливих якостей**

Джерело варіації	SS	df	MS	F	F критичне
Між групами	1,248	1	1,248	733,29	45,56
Всередині груп	0,003834	2	0,001917		

Згідно проведених розрахунків поточне значення критерію Фішера становить $F = 733,29$, а критичне значення $F_{кр} = 45,56$. При таких значеннях критерію Фішера умова $F > F_{кр}$ виконується.

Зведені результати порівняльного етапу дослідження методики формування змісту навчання електротехніки спираються на порівняльний аналіз традиційного підходу до формування змісту навчання та розробленого на основі комплексних моделей (табл. 3.34). Отримані дані дозволяють стверджувати, що при застосуванні теоретично обґрунтованого та розробленого професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних моделей створюються умови, при яких формування знань, умінь та професійно важливих якостей (електротехнічної

компетентності) у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю досягає більш високого рівня порівняно з традиційним змістом.

Таблиця 3.34

**Результати сформованості знань, умінь та професійно важливих якостей
у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю**

№ з/п	Критерії та показники педагогічного експерименту	Середні значення показників		Різниця значень показників, %
		КГ	ЕГ	
1	Критерії сформованості знань та умінь з електротехніки			
1.1	Показник сформованості знань із застосування елементів електричних кіл	1,75	2,26	22,6
1.2	Показник сформованості умінь із застосування елементів електричних кіл	1,70	2,17	21,7
1.3	Показник сформованості знань із використання законів електротехніки	1,73	2,22	22,1
1.4	Показник сформованості умінь із використання законів електротехніки	1,71	2,16	20,8
1.5	Показник сформованості знань із застосування еквівалентних перетворень	1,81	2,29	21,0
1.6	Показник сформованості умінь із застосування еквівалентних перетворень	1,72	2,15	20,0
1.7	Показник сформованості знань із застосування методів розрахунку електричних кіл	1,73	2,21	21,7
1.8	Показник сформованості умінь із застосування методів розрахунку електричних кіл	1,65	2,08	20,7
1.9	Показник сформованості знань із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	1,66	2,11	21,3
1.10	Показник сформованості умінь із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування	1,63	2,03	19,7
2	Критерії сформованості професійно важливих якостей			
2.1	Показник сформованості мотивації навчання електротехніки	1,80	2,28	21,0
2.2	Показник сформованості системного мислення	1,75	2,18	19,7
2.3	Показник сформованості здатності до аналізу електротехнічних об'єктів	1,74	2,20	20,9
2.4	Показник сформованості мнемічних здібностей	1,81	2,27	20,3
2.5	Показник сформованості здатності до класифікації електротехнічних об'єктів	1,70	2,11	19,4
2.6	Показник сформованості рівня самостійності навчання	1,78	2,23	20,2

За результатами педагогічного експерименту встановлено зростання всіх показників навчальної діяльності здобувачів у напрямку підвищення їх професійних якостей (табл. 3.34). В експериментальній групі здобувачів середні значення показників вище середнього рівня і становлять 2,03 – 2,29 по відношенню до здобувачів контрольної групи, у яких значення показників знаходиться в діапазоні 1,63–1,81.

Висновки до розділу 3

Перевірка теоретичних положень та підтвердження висунутої гіпотези дослідження проводилась в рамках педагогічного експерименту. Визначені основні складові експерименту – мета, завдання, кількість учасників, бази проведення експерименту та його терміни. Для проведення експерименту була запропонована система критеріїв та показників перевірки ефективності методики формування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки та встановлено методики дослідження визначених критеріїв та показників.

Педагогічний експеримент проводився на базі Української інженерно-педагогічної академії та Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка протягом 2015–2018 років. Експеримент складався з констатувального, формувального та порівняльного етапів. Під час проведення експерименту визначалися критерії та відповідні показники сформованості знань, умінь та професійно важливих якостей (електротехнічної компетентності) у майбутніх інженерів-механіків машинобудівного профілю. Результати констатувального етапу експерименту показали, що середні значення показників за критерієм сформованості знань та умінь з електротехніки, а також за критерієм сформованості професійно важливих якостей знаходяться в межах 1,61 – 1,84 та 1,71 – 1,82 відповідно, що нижче середнього рівня. Це свідчить, що

застосування традиційного змісту навчання електротехніки є недостатньо ефективним.

При проведенні формувального етапу експерименту було застосовано теоретично обґрунтований та розроблений професійно орієнтований зміст навчання електротехніки на основі комплексних моделей. Середні значення показників на цьому етапі експерименту для контрольної групи знаходяться в діапазоні 1,63 – 1,81, що є нижче середнього рівня, тоді як показники для експериментальної групи вищі за середній рівень і розміщуються в діапазоні 2,03 – 2,29. Запровадження розробленого змісту навчання дозволило підвищити показники експериментальних досліджень. У порівнянні з традиційною методикою формування змісту навчання електротехніки простежується різниця значень показників: за критерієм сформованості знань із застосування елементів електричних кіл – 22,6 %; за критерієм сформованості умінь із застосування елементів електричних кіл – 21,7 %; за критерієм сформованості знань із використання законів електротехніки – 22,1 %; за критерієм сформованості умінь із використання законів електротехніки – 20,8 %; за критерієм сформованості знань із застосування еквівалентних перетворень – 21,0 %; за критерієм сформованості умінь із застосування еквівалентних перетворень – 20,0 %; за критерієм сформованості знань із застосування методів розрахунку електричних кіл – 21,7 %; за критерієм сформованості умінь із застосування методів розрахунку електричних кіл – 20,7 %; за критерієм сформованості знань із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування – 21,3 %; за критерієм сформованості умінь із застосування розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування – 19,7 %.

Різниця показників по критерію сформованості професійно важливих якостей складає від 19,4 до 21,0 %.

Математична обробка експериментальних даних та визначення статистичної значущості різниці між показниками експериментальної і контрольної груп проводилась в програмі Microsoft Excel. Достовірність

статистичної неоднорідності значень педагогічного експерименту ґрунтується на розрахунках критеріїв Ст'юдента та Фішера (F).

Результати педагогічного експерименту свідчать про позитивну динаміку показників сформованості знань, умінь та професійно важливих якостей з електротехніки (електротехнічна компетентність) у майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей і підтверджують ефективність впровадження розробленої методики формування змісту навчання дисципліни.

Отримані результати педагогічного експерименту вказують на те, що обрана методологія дослідження є коректною, а висунута гіпотеза та розроблені теоретичні положення одержали експериментальне підтвердження.

Основні наукові положення та результати розділу викладені в роботах [91, 92].

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі запропоновано нове розв'язання проблеми підвищення якості навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей, здійснене шляхом теоретичного узагальнення, обґрунтування, розроблення, експериментальної перевірки та практичного впровадження в процес підготовки здобувачів професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки на основі комплексних моделей навчальних елементів.

1. Визначено і обґрунтовано використання педагогічних законів і принципів, на яких має базуватися проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки: закони – виховного і розвивального навчання; соціальної зумовленості навчання; зумовленості навчання характером діяльності тих, хто навчається; цілісності та єдності дидактичного процесу; єдності та взаємозв'язку теорії і практики; принципи – науковості змісту навчання; практичної спрямованості; системності і послідовності; гуманізації та гуманітаризації; оптимізації; доступності і дохідливості; наочності; активності і свідомості навчання; міцності засвоєння знань, формування навичок та вмінь.

Визначено і обґрунтовано загальнонаукові, галузеві підходи і методи, на яких має базуватися проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки: системний підхід; метод моделювання; рівняння Максвелла.

Проведений аналіз теоретичного підґрунтя дозволив зробити висновок про те, що одним з основних напрямів системного проєктування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки є моделювання змісту навчання на основі комплексних дидактичних моделей, які містять інформаційну, топологічну та математичну складові.

2. Унаслідок аналізу професійної діяльності інженерів машинобудівних спеціальностей і визначення видів електротехнічного обладнання, що входять у сферу їхньої діяльності, встановлено, що професійна діяльність

інженера-механіка обумовлена його посадовими обов'язками і спрямована на вирішення завдань з експлуатації та модернізації електрифікованого агрегату, механізму або пристрою у складі промислового обладнання. На основі систематизації електротехнічних складових промислового обладнання предметної галузі встановлено види електротехнічного обладнання машинобудівного виробництва: електротехнологічне устаткування, загальнопромислові пристрої, підйомно-транспортне устаткування, металообробні верстати, а також показана їх значущість і важливість у сфері професійної діяльності інженера машинобудівної спеціальності.

З'ясовано, що електротехнічна компетентність інженера базується на сформованих професійних знаннях та уміннях аналізувати конструкції, принцип дії, технічні та експлуатаційні характеристики основних електротехнічних пристроїв машин, апаратів, приладів, узагальнених під терміном «електротехнічне обладнання промислового виробництва». На основі вивчення сучасних вимог до рівня кваліфікації інженерів машинобудівних спеціальностей, згідно з їхніми посадовими обов'язками, доведено необхідність формування електротехнічної компетентності фахівців зазначеного профілю.

3. Проведений аналіз існуючого змісту навчання електротехніки інженерів машинобудівних спеціальностей виявив, що, незважаючи на представлення в спеціальних дослідженнях науково обґрунтованих фактів, понять та ідей у змісті навчання, їх наочність та актуальність, відсутній системний підхід до формування змісту, професійно орієнтованого на конкретну галузь промисловості; відсутні етапи створення моделей електротехнічних пристроїв за їх функціональним призначенням у складі промислового обладнання машинобудівної галузі; наявна фрагментарність та епізодичність професійно орієнтованих елементів змісту.

Отже, аналіз теоретичних та практичних підходів до формування змісту навчання електротехніки дозволив виявити недоліки та суперечності, які зумовили існування проблеми підвищення якості навчання

електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей на основі формування професійно орієнтованого змісту.

4. Теоретично обґрунтовано й розроблено узагальнену комплексну трискладову модель елементів професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. Застосування комплексної моделі сприяє формуванню електротехнічної компетентності (що включає знання, уміння, навички з електротехніки та професійно важливі якості особистості) майбутніх інженерів-машинобудівників як складової професійної компетентності з експлуатації, обслуговування та модернізації промислового обладнання машинобудівного виробництва, яке містить електротехнічні пристрої, прилади та інше електротехнічне устаткування.

Комплексна модель унаслідок такої структури й властивостей складових містить інформаційні ознаки опису (системно-інформаційна складова), схеми (топологічна складова) та математичні вирази (розрахункова складова), які в узагальненому вигляді характеризують об'єкти чи процес як загального, так і галузевого призначення. Це дає можливість формалізувати процес моделювання, об'єднавши його основні фрагменти на основі запропонованого системного підходу.

Запропонований підхід до формування трискладової комплексної моделі змісту навчання елементів та пристроїв електротехнічного обладнання можна застосовувати для побудови моделі будь-якого реального елементу електротехніки.

5. На основі узагальненої комплексної моделі розроблено професійно орієнтований зміст навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей у вигляді системи комплексних моделей елементів змісту навчання. Ця система охоплює такі основні розділи електротехніки: «Елементи електричних кіл (резистор, котушка індуктивності, конденсатор)», «Закони електротехніки (закони Ома, Кірхгофа)», «Еквівалентні перетворення в електричних колах (визначення

еквівалентних опорів при різноманітних з'єднаннях)», «Методи аналізу електричних кіл (методи: на основі законів Кірхгофа, напруги між двома вузлами, контурних струмів, еквівалентного генератора)», «Трансформатори (силовий трансформатор)», «Електротехнічні пристрої промислового обладнання (електровізок, вантажопідіймальний електромагніт, зварювальний напівавтомат, асинхронний двигун, двигуни постійного струму)». Застосування комплексних моделей навчальних елементів дозволяє одночасно формувати професійні знання, уміння та професійно важливі якості майбутніх фахівців.

6. Експериментально перевірено ефективність теоретично обґрунтованого й розробленого професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. Результати формувального етапу педагогічного експерименту показали, що в експериментальній групі середні значення показників знаходяться в діапазоні 2,03 – 2,29, що вище за середній рівень, при цьому в контрольній групі середні значення показників знаходяться в діапазоні 1,63 – 1,81, що нижче за середній рівень. Різниця середніх значень показників в експериментальній групі щодо контрольної групи становила за критеріями сформованості знань та умінь з електротехніки від 19,7 % до 22,6 %, а за критеріями сформованості професійно важливих якостей – від 19,4 % до 20,0 %. Статистична значущість різниць показників експериментального дослідження в контрольній та експериментальній групах доведена засобами математичної статистики.

Виконана дисертаційна робота не розв'язує всіх аспектів підвищення якості навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. Подальшого дослідження потребує обґрунтування мультимедійного супроводу процесу формування електротехнічної компетентності майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей, розроблення та впровадження комплексних моделей реальних електротехнічних пристроїв промислового обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию : учеб. пособие для вузов. М. : Высш. шк., 2005. 255 с.
2. Анвельт М. Ю., Цепляева М. С., Шнейберг Я. А. Учебно-методическое пособие по общей электротехнике. М. : МЭИ, 1972. 74 с.
3. Архангельский С. И. Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы. М. : Высш. шк., 1980. 367 с.
4. Ашеров А. Т., Капленко С. А. Построение и анализ структурно-смысловой модели учебной деятельности. *Новый коллегіум*. 2000. № 6. С. 41–45.
5. Бабанский Ю. К. Оптимизация процесса обучения. М. : Педагогика, 1997. 347 с.
6. Багдасарьян Н. Г., Горохов В. Г., Назаретян А. П. История, философия и методология науки и техники : учебник для магистров / под ред. Н. Г. Багдасарьян. М. : Юрайт, 2014. 383 с.
7. Батышев С. Я. Реформа профессиональной школы: Опыт, поиск, задачи, пути реализации. М. : Высшая школа, 1987. 340 с.
8. Безрукова В. С. Педагогика. Проективная педагогика. Екатеринбург : Деловая книга, 1996. 344 с.
9. Белоусова Н. М., Толчеев О. В. Преподавание электротехники : метод. пособие. М. : Высш. шк., 1988. 191 с.
10. Беневоленский С. Б., Марченко А. Л. Основы электротехники : учеб. пособие для втузов. М. : Физматлит, 2006. 568 с.
11. Беспалько В. П. Слагаемые педагогических технологий. М. : Педагогика, 1989. 192 с.
12. Беспалько В. П. Педагогика и прогрессивные технологии обучения. М. : Педагогика, 1995. 186 с.
13. Беспалько В. П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия) : учеб.-метод. пособие. М. : Изд-во Москов. психол.-социального ин-та ; Воронеж : МОДЭК, 2002. 352 с.

14. Богданов Д. Ф. Разделы электротехники и электроники. Вопросы электрооборудования и электротехнологии химических производств : учеб. пособие. Киев : УМК ВО, 1991. 322 с.
15. Богданов І. Т. Методична система формування електротехнічних знань у процесі фахової підготовки майбутніх учителів фізики : монографія. Донецьк : Юго-Восток, 2015. 272 с
16. Богданов І. Т. Міжпредметні зв'язки фізики та спеціальних технічних дисциплін у вищих навчальних закладах І-ІІ рівня акредитації. *Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія педагогічна*. Кам'янець-Подільський : КПДУ, 2015. Вип. 20. С. 188–190.
17. Богданов І. Т. Дослідження кіл однофазного змінного струму засобами MatLab у віртуальному лабораторному практикумі. *Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Педагогічні науки*. Бердянськ : БДПУ, 2016. Вип. 2. С. 34–40.
18. Богданов І. Т. Теоретичні і методичні засади формування фізико-технічних знань у процесі фахової підготовки майбутніх учителів фізики : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.02 / Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. Київ, 2010. 464 с.
19. Борисов Ю. М., Липатов Д. Н. Общая электротехника. М. : Высш. школа, 1974. 519 с.
20. Борисов Ю. М., Соколов М. М. Электрооборудование подъемно-транспортных машин. М. : Машиностроение, 1971. 376 с.
21. Бочков В. М., Сілін Р. І. Обладнання автоматизованого виробництва. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. 404 с.
22. Брюханова Н. О. Компетентний фахівець – цільовий орієнтир сучасної професійної освіти. *Професійна освіта: методологія, теорія та технології* : зб. наук. пр. Переяслав-Хмельницький, 2015. Вип. 1. С. 16–25.
23. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Львів : Афіша, 2001. 424 с.

24. Булгакова Н. Б. Активация познавательной деятельности студентов у процессе навчання в технічному університеті. *Вісник НАУ. Серія : Педагогіка. Психологія*. 2009. Вип. 1. С. 9–14.
25. Бурек Я., Гурей І. В., Стоцько З. А. Верстатне обладнання : навч. посібник. Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2014. 168 с.
26. Буряк В. М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання : навч. посібник. Харків : Тимченко А. М., 2008. 496 с.
27. Бэрк Г. Ю. Справочное пособие по магнитным явлениям : пер. с англ. М. : Энергоатомиздат, 1991. 384 с.
28. Варварин В. К. Выбор и наладка электрооборудования : справочное пособие. М. : ФОРУМ, 2008. 340 с.
29. Вартабедян В. А. Загальна електротехніка. Київ : Вища школа, 1986. 359 с.
30. Вербицкий А. А. Активное обучение в высшей школе: контекстный подход : метод. пособие. М. : Высшая школа, 1991. 207 с.
31. Волынский Б. А., Зейн В. Е., Шатерников В. Г. Электротехника. М. : Энергоатомиздат, 1987. 528 с.
32. Воробйов А. В. Электротехника и электрооборудование строительных процессов. М. : Асоц. строит. вузов (АСВ), 1995. 400 с.
33. Врублевська О. Професійна спрямованість вивчення фізики в техніко-економічному коледжі. *Вісник Львів. ун-ту. Серія педагогічна*. 2003. Вип. 17. С. 142–147.
34. Выготский Л. С. Собрание сочинений : в 6 т. / под ред. В. В. Давыдова. М. : Педагогика, 1982. Т. 2 : Проблемы общей психологии. 504 с.
35. Гальперин П. Я. Введение в психологию. М. : МГУ, 1999. 332 с.
36. Гегель Георг. Работы разных лет : в 2 т. М. : Мысль, 1971. Т. 2. 630 с.

37. Гладішева О. В. Професіограма фахівця інженера механіка. URL: http://www.rusnauka.com/PNR_2006/Pedagogica/2_gladisheva%20o.v..doc.htm (дата звернення: 20.05.2018).

38. Гладішева О. В. Структурно-функціональна модель системи професійного самовдосконалення майбутніх інженерів-механіків. *Вісник Луганського національного університету імені Тараса Шевченка. Педагогічні науки*. 2012. № 22(3). С. 139–144. URL : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vlup_2012_22\(3\)_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vlup_2012_22(3)_22) (дата звернення: 20.05.2018).

39. Голубятников В. А., Шувалов В. В. Автоматизация производственных процессов и АСУП в химической промышленности. М. : Химия, 1978. 376 с.

40. Гончаренко С. У. Український педагогічний словник. Київ : Либідь, 1997. 376 с.

41. Горохов В. Г. Философия и история науки : учеб. пособие. Дубна : ОИЯИ, 2012. 211 с.

42. Гризун Л. Е. Дидактичні основи проектування модульної структури навчальної дисципліни на засадах інтеграції наукових знань : автореф. дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / Харків. нац. пед. ун-т ім. Г. С. Сковороди. Харків, 2009. 39 с.

43. Громкова М. Т. Психология и педагогика профессиональной деятельности : учеб. пособие для вузов. М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2003. 415 с.

44. Гулай О. І. Методичні основи формування фундаментальної складової професійної компетентності фахівців будівельного профілю : монографія / за наук. ред. д-ра пед. наук, проф. Л. М. Романишиної. Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2013. 296 с.

45. Гуревич Р. С., Кадемія М. Ю. Інформаційно-комунікаційні технології в сучасній професійній освіті *Теорія і методика професійної освіти*. 2011. № 1. С. 1–9.

46. Гуревич Ю. Г. Оптимизация познавательной деятельности студентов на учебных занятиях : монография. Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2014. 142 с.
47. Диагностика познавательных способностей: Методики и тесты : учеб. пособие. М. : Академический Проект; Альма Матер, 2009. 533 с.
48. Даржания А. К. Критерии и уровни сформированности организационно-управленческих умений у студентов профессионального колледжа. *Молодой ученый*. 2009. № 11 (11). С. 273–277.
49. Дичківська І. М. Інноваційні педагогічні технології : навч. посібник. Київ : Академвидав, 2004. 352 с.
50. Довідник кваліфікаційних характеристик професій працівників. Вип. 1 : Професії працівників, які є загальними для всіх видів економічної діяльності, Розд. 1: Професії керівників, професіоналів, фахівців та технічних службовців, які є загальними для всіх видів економічної діяльності. Краматорськ : Центр продуктивності, 2001. 262 с.
51. Должностная инструкция по специальности «Инженер-механик». URL : <https://www.kaus-group.ru/knowledge/duty/category/manufacture/material/656/> (дата звернення: 21.04.2019).
52. Дятленко Н. М. Умови адаптації студентів-першокурсників до навчання у ВНЗ. *Вісник психології і соціальної педагогіки. Збірник наук. праць Інституту психології і соціальної педагогіки КМПУ імені Б. Д. Грінченка*. Київ, 2009. Вип. 1. URL : <http://www.psych.kiev.ua>. (дата звернення: 10.11.2019).
53. Электрообладнання промислових підприємств : навч. посіб. для вузів / С. С. Мазепа та ін. Львів : Магнолія, 2006, 2008. 260 с.
54. Євдокимов В. І., Агапова Т. П., Гавриш І. В., Олійник Т. О. Педагогічний експеримент : навч. посіб. – Харків : ТОВ «ОВС», 2001. 148 с.
55. Єльнікова Г. В. Використання кваліметричних моделей діяльності учасників освітнього процесу на рівні загальноосвітнього

навчального закладу. *Єдине інформаційне середовище навчального закладу в контексті стратегічного управління освітою в Україні* : матер. міжнар. наук.-практ. конф. Київ : УМО АПН України, 2008. С. 56–60.

56. Завгородний В. И. Комплексная защита информации в компьютерных системах : учеб. пособие. М. : Логос ; ПБОЮЛ Н. А. Егоров, 2001. 264 с.

57. Загвязинский В. И. Методология и методы психолого-педагогического исследования. М. : АCADEMA, 2001. 207 с.

58. Зайнутдинова Л. Х. Создание и применение электронных учебников (на примере общетехнических дисциплин). Астрахань : ЦНТЭП, 1999. 364 с.

59. Зайцев В. Е., Нестерова Т. А. Электротехника. Электроснабжение, электротехнология и электрооборудование строительных площадок. М. : Академия, 2008. 128 с.

60. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В. Основы теории цепей. М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1963. 444 с.

61. Зеер Э. Ф. Профессионально-педагогическая направленность, как системообразующий фактор профессионального становления личности инженера-педагога. Свердловск : СИПИ, 1988. С. 3–16.

62. Зеер Э. Ф. Профессиональное становление личности инженера-педагога. Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1988. 120 с.

63. Зиновкина М. М. Формирование творческого технического мышления и инженерных умений студентов технических вузов : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.01 / Акад. пед. наук. М., 1989. 326 с.

64. Ильин В. П. Мотивация и мотивы. СПб. : Питер, 2000. 512 с.

65. История электротехники / под ред. И. А. Глебова. М. : МЭИ, 1999. 524 с.

66. Казаков В. А. Самостоятельная работа студентов и ее информационно-методическое обеспечение. Киев : Выща шк., 1990. 248 с.

67. Калашников С. Г. Электричество. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. 624 с.

68. Канюк Г. И., Мезеря А. Ю., Лаптинов И. П. Модель энергосберегающего управления нагнетательными установками тепловых электростанций. *Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ». Темат. вып. : Энергетические и теплотехнические процессы и оборудование* : сб. науч. тр. Харьков : НТУ «ХПИ», 2014. № 12 (1055). С. 90–97.
69. Касаткин А. С., Немцов М. В. Электротехника. М. : Высшая школа, 2000. 542 с.
70. Кашканова Г. Г., Кашканов А. А. Ігрові форми навчання загальнотехнічним дисциплінам як засіб формування професійної спрямованості студентів : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2012. 124 с.
71. Класифікатор професій України (ДК 003:2010). URL : <https://buhgalter911.com/uk/spravochniki/.../klasifikator-profesiy-kp-950586.html> (дата звернення: 24.11.2018).
72. Классификация машиностроительной отрасли. URL : https://studref.com/465241/tehnika/klassifikatsiya_mashinostroitelnoy_otrasli (дата звернення: 24.11.2018).
73. Климов Е. А. Психология профессионализма : избр. психол. труды. Москва : МПСИ ; Воронеж : МОДЭК, 2003. 454 с.
74. Коваленко Д. В., Лобунець В. І. Про методіку формування змісту вузівських стандартів вищої інженерно-педагогічної освіти. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2008. Вип. 21. С. 164–170.
75. Коваленко О. Е. Методика професійного навчання : підручник. Харків : НУА, 2005. 360 с.
76. Козловська І. М. Теоретичні та методичні основи інтеграції знань учнів професійно-технічної школи : монографія / за ред. С. У. Гончаренка. Львів : Світ, 1999. 302 с.
77. Костылев И. И., Петухов В. А. Судовые системы : учебник. СПб. : Изд-во ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2010. 420 с.
78. Кошкин Н. И., Ширкевич М. Г. Справочник по элементарной физике. М. : Наука, 1980. 208 с.

79. Краткий словарь физических терминов / сост. А. И. Болсун. Харьков : Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. 200 с.
80. Крик Э. Введение в инженерное дело / пер. с англ. Э. Крик. Москва : Энергия, 1970. 176 с.
81. Круг К. А. Основы электротехники. М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1946. Т. 1 : Физические основы электротехники. 472 с.
82. Кузьмина Н. В. Профессионализм личности преподавателя и мастера производственного обучения. М : Высшая школа, 1990. 123 с.
83. Кустов Ю. А. Преемственность профессионально-технической и высшей школы / под ред. А. А. Кирсанова. Свердловск : Изд-во Свердловского ун-та, 1990. 120 с.
84. Кучеренко Л. В., Мазур Н. Ф. Реализация междисциплинарных связей в техническом университете. *Найновите постижения на европейската наука – 2015* : матер. за XI международна научна практична конференция (София, 17-25 юни 2015). София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2015. Т. 7 : Педагогически науки. С. 33–38.
85. Лавриненко М. З. Технология машиностроения и технологические основы автоматизации. Киев : Вища школа, 1982. 320 с.
86. Лазарєв М. І. Полісистемне моделювання змісту технологій навчання загально інженерних дисциплін. Харків : Вид-во НФАУ, 2003. 356 с.
87. Лазарєв М. І., Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Формування професійних умінь майбутніх інженерів при вивченні курсу «Електротехніка». *Naukowa przestrzen Europy – 2012* : materialy VIII Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji (Przemysl, 07-15 kwietnia 2012). Przemysl : Nauka i studia, 2012. Vol. 14 : Pedagogiczne nauki. S. 94-96.
88. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Аналіз електротехнічної складової професійної діяльності інженерів

машинобудівного профілю. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2015. Вип. 48-49. С. 91-102.

89. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Структура професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів-механіків. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2016. Вип. 52-53. С. 118-127.

90. Лазарєв Н. И., Мосиенко А. Н., Тарасенко А. И. Профессионально ориентированный подход к формированию содержания курса электротехники для подготовки инженеров-механиков. *Science and education a new dimension. Pedagogy and Psychology*. Budapest, 2017. V(59). P. 30-33.

91. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Професійне-орієнтоване формування моделей електротехнічних пристроїв промислового обладнання. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2018. Вип. 58. С. 27-35.

92. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Узагальнена трискладова гібридна модель змісту навчання елементів електротехнічного обладнання. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2019. Вип. 64. С. 81-91.

93. Лазарєва Т. А. Методика проведення експериментального дослідження з технічних дисциплін. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2007. Вип. 18-19. С. 274-280.

94. Лазарєва Т. А., Коваленко Д. В. Теоретичні засади суб'єктно-діяльнісного підходу до професійної підготовки майбутніх інженерів. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2008. Вип. 20. С. 186-197.

95. Леднев В. С. Содержание образования: сущность, структура, перспективы. М. : Высш. шк., 1991. 223 с.

96. Леднев В. С. Научное образование: развитие способностей к научному творчеству. М. : МГАУ, 2002. 120 с.

97. Ленивкин В. А., Стрижаков Е. Л. Электротехнологические процессы и оборудование. Ростов н/Д : Издательский центр ДГТУ, 2007. 266 с.
98. Леонтьев А. Становление психологической деятельности. М. : Смысл, 2003. 439 с.
99. Ломов Б. Ф. Системность в психологии: избр. психол. тр. М. : Москов. психол. ин-т ; Воронеж : НПО МОДЭК, 2003. 424 с.
100. Лузан П. Г., Сопівник І. В., Виговська С. В. Основи науково-педагогічних досліджень : навч. посіб. Київ : НАКККіМ, 2011. 314 с.
101. Лузік Е. В. Теорія і методика загальнонаукової підготовки в інженерній вищій школі : автореф. дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / АПН України, Ін-т педагогіки і психології проф. освіти. Київ, 1996. 56 с.
102. Лунячек В. Е. Компетентнісний підхід як методологія професійної підготовки у вищій школі. *Публічне управління: теорія та практика*. 2013. № 1. С. 155–162.
103. Мазепа С. С., Марущак Я. Ю., Куцик А. С. Электрообладания промышленных предприятий : навч. посібник. 2-е вид., стереотип. Львів : Магнолія 2006, 2010. 260 с.
104. Максимович Н. Г., Стахив П. Г., Шемуратов Ф. А. Синтез электронных цепей с многополюсными элементами. Киев : Препринт - 186 ИЭД АН УССР, 1978. 46 с.
105. Малов А. Н., Иванов Ю. В. Основы автоматизации и автоматизация производственных процессов. М. : Машиностроение, 1974. 368 с.
106. Маркова А. К. Психология профессионализма. М. : Международный гуманитарный фонд «Знание», 1996. 312 с.
107. Методичні рекомендації з організації та проведення науково-педагогічного експерименту / уклад. : Г. П. Лаврентьева, М. П. Шишкіна. Київ : ПТНЗ, 2007. 74 с.

108. Методики диагностики свойств восприятия, внимания и памяти : практ. указ. / сост. А. Д. Чернобай, Ю. Ю. Федотова. Владивосток : Морск. гос. ун-т им. адмирала Г. И. Невельского, 2005. 53 с.
109. Міліх В. І., Шавьолкін О. О. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. Київ : Каравела, 2007. 688 с.
110. Мосієнко Г. М. Роль і місце електротехнічних знань в системі політехнічної підготовки інженерів-педагогів. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2004. Вип. 6. С. 134-142.
111. Мосиенко А. Н., Тарасенко А. И. Роль и место электротехнических знаний в системе подготовки инженеров-педагогов. *СО-MAT-TECH 2006 : Proceedings of the Abstracts and Contributions of 14th International Scientific Conference* (Trnava, Slovak Republic, 19-20 October 2006). Trnava, 2006. P. 1313-1319.
112. Мосиенко А. Н., Тарасенко А. И. Структурно-функциональный анализ системы профессиональных умений студентов в курсе электрических методов и средств измерений. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2008. Вип. 20. С. 62-68.
113. Мосієнко Г. М. Професійна орієнтація курсу «Електротехніка» для майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2009. Вип. 24-25. С. 166-176.
114. Мосієнко Г. М. Предметно-орієнтоване формування змісту дисципліни «Електротехніка» для майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2010. Вип. 28–29. С. 67–75.
115. Мосієнко Г. М. Розвиток професійної компетентності майбутніх інженерів на практичних заняттях з електротехніки. *Качество технологий - качество жизни* : матер. V междунар. науч.-практ. конф. (Солнечный берег, Болгария, 8-12 сентября 2012 г.). Харьков : УИПА, 2012. С. 135-136.
116. Мосієнко Г. М. Електротехніка. Комплексні моделі змісту навчання : навч.-метод. посіб. для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр»

денної та заоч. форм здобуття освіти машинобудівних спеціальностей. Харків : Друкарня Мадрид, 2020. 96 с.

117. Мурзин Ю. М., Волков Ю. И. Электротехника. СПб. : Питер, 2007. 443 с.

118. Нейман Л. Р., Демирчан К. С. Теоретические основы электротехники. Л. : Энергоиздат, 1981. Т. 1. 536 с.

119. Нечаев Н. Н. Моделирование как творчество: методологические аспекты психологического исследования проектной деятельности. *Математическая психология: школа В. Ю. Крылова* / под ред. А. Л. Журавлева, Т. Н. Савченко и др. М. : Изд-во ИП РАН, 2010. С. 79–97.

120. Ничкало Н. Г. Розвиток професійної освіти в умовах глобалізаційних та інтеграційних процесів : монографія. Київ : Вид-во НПУ імені М. П. Драгоманова, 2014. 125 с.

121. Общая электротехника / А. Т. Блажкин, В. А. Бесекерский, Б. В. Фролов и др.; под ред. А. Т. Блажкина. Л. : Энергия, 1986. 592 с.

122. Основы автоматизации химических производств / под ред. П. А. Обновленского и А. Л. Гуревича. Л. : Химия, 1975. 528 с.

123. Основы метрологии и электрических измерений / Б. А. Авдеев, Е. М. Антонюк, Е. М. Душин и др. ; под ред. Е. М. Душина. Л. : Энергоатомиздат, 1987. 480 с.

124. Основи теорії електронних кіл : підручник. 2-ге вид., доопрацьоване і допов. / Ю. Я. Бобало, Б. А. Мандзій, П. Г. Стахів, Л. Д. Писаренко, Ю. І. Якименко ; за ред. проф. Ю. І. Якименка. Київ : Вид-во Нац. техн. ун-ту України «Київський політехнічний інститут», 2011. 332 с.

125. Підласий І. П. Педагогіка. Новий курс. Кн. 1: Загальні основи. Процес навчання. 2010. 569 с. URL : <http://ibib.ltd.ua/pedagogika-novyiy-kurs-kniga-obschie-osnovyi.html> (дата звернення: 10.02.2020).

126. Полоцкий Л. М., Лапшенков Г. И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. М. : Химия, 1982. 296 с.

127. Попов В. П. Основы теории цепей. М. : Высш. шк., 2003. 575 с.

128. Посадова інструкція інженера-механіка. URL : <http://profi.ua/job-descriptions/view/1560/> (дата звернення: 20.05.2018).

129. Посадові обов'язки інженера-механіка. URL : <https://jetgear.ru/uk/kak-zarabotat/dolzhnostnye-obyazannosti-inzhenera-mehanika-mehanik-po.html> (дата звернення: 20.05.2018).

130. Проблемы политехнического обучения / под ред. П. И. Ставского. Свердловск : СГПИ, 1972. Вып. 2. 132 с.

131. Профессиональная педагогика : учебник для студентов, обучающихся по педагогическим специальностям и направлениям / под общ. ред. С. Я. Батышева. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Ассоциация «Профессиональное образование», 1999. 904 с.

132. Профессия инженер-механик – описание, обязанности. URL : <https://profitworks.com.ua/professii/inzhenernye-professii/inzhener-mekhanik> (дата звернення: 20.05.2018).

133. Прянишников В. А. Теоретические основы электротехники : учеб. пособие. СПб. : КОРОНА, 2000. 368 с.

134. Растопчина О. М. Проблема діагностування якості і розвитку знань студентів у сучасній вищій школі. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Педагогіка. Соціальна робота*. Ужгород : Говерла, 2013. Вип. 28. С. 131–134.

135. Реан А. А. Психология и психодиагностика личности. Теория, методы исследования : практикум. СПб. : Прайм-ЕВРОЗНАК, 2006. 255 с.

136. Рожкова Л. Д., Карнеева Л. К., Чиркова Т. В. Электрооборудование электрических станций и подстанций. М. : Академия, 2004. 448 с.

137. Рудевіч Н. В. Визначення професійних компетентностей

інженера-електрика. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УПА, 2014. Вип. 44. С. 50–59.

138. Рудевіч Н. В. Визначення професійно важливих якостей інженерів-електриків. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УПА, 2014. Вип. 45. С. 59–71.

139. Рудевіч Н. В. Загальнонаукові засади концепції професійної підготовки майбутніх інженерів-електриків на основі каузального навчання. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УПА, 2019. Вип. 64. С. 40–47.

140. Рудевич Н. В. Система професійної підготовки майбутніх інженерів з автоматизації енергосистем : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04 / Укр. інж.-пед. акад. Харків, 2018. 756 с.

141. Руденко В. С., Сенько В. И., Чиженко И. М. Преобразовательная техника. Киев : Вища школа, 1978. 424 с.

142. Сандлер А. С. Электропривод и автоматизация металлорежущих станков. М. : Высш. школа, 1972. 440 с.

143. Сергієнко Л. Г. Реалізація професійної спрямованості навчання фізики студентів гірничих спеціальностей технічних вузів : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / Укр. держ. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. Київ, 1997. 22 с.

144. Сиберт У. М. Цепи, сигналы, системы : в 2-х ч. М. : Мир, 1988. Ч. 1. 336 с.

145. Сила тяги электромагнитов. Электротехника. URL : <https://electrono.ru/elektrotexnicheskaya-apparatura/sila-tyagi-elektromagnitov> (дата звернення: 15.09.2019).

146. Сисоєва С. О., Кристопчук Т. Є. Методологія науково-педагогічних досліджень : підручник. Рівне : Волинські обереги, 2013. 360 с.

147. Спиркин А. Г. Философия : учебник. М. : Гардарики, 2004. 736 с.

148. Справочник проектировщика АСУ ТП / Г. Л. Смилянский, Л. З. Амлинский, В. Я. Баранов и др. ; под ред. Г. Л. Смилянского. М. : Машиностроение, 1983. 527 с.
149. Степин В. С., Горохов В. Г., Розов М. А. Философия науки и техники : учеб. пособие. М. : Гардарики, 1999. 400 с.
150. Ставский П. И., Труфанов В. А. Определение состава политехнических электротехнических знаний. *Проблемы политехнического обучения*. 1972. Вып. 2. С. 59–73.
151. Стрелков Ю. К. Инженерная и профессиональная психология : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М. : Академия, 2001. 360 с.
152. Сычев И. А. Методика оценки системности мышления учащихся старших классов. *Альманах современной науки и образования*. Тамбов : Грамота, 2008. № 4 (11). Ч. II. С. 234–237.
153. Талызина Н. Ф. Управление процессом усвоения знаний (психологические основы). Изд. 2-е, доп., испр. М. : МГУ, 1984. 345 с.
154. Талызина Н. Ф. Педагогическая психология : учеб. пособие. М. : Академия, 1998. 288 с.
155. Тамм И. Е. Основы теории электричества. М. : Физматлит, 2003. 616 с.
156. Тарасенко А. И., Мосиенко А. Н. Структурный анализ системы профессиональных умений студентов в курсе электрических методов и средств измерений. *Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2007* : матер. II междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 1-15 июня 2007 г.). Днепропетровск : Наука и образование, 2007. Т. 6: Педагогические науки. С. 88-90.
157. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Професійна направленість електротехнічної підготовки майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. *Настоящи постижения на европейската наука - 2009* : матер. за V междунар. науч. практ. конф. (София, 17-25 юни 2009). София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2009. Т. 5 : Педагогически науки. С. 9-11.

158. Тарасенко А. И., Мосиенко А. Н. Формирование профессиональных умений при изучении электротехнических дисциплин. *Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2010* : материалы VI Мiedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji (Przemysl, 07-15 czerwca 2010 roku). Przemysl : Nauka i studia, 2010. Vol. 21. Pedagogiczne nauki. S. 36-38.

159. Тарасенко А. И., Мосиенко А. Н. К вопросу о содержании курса «Основы метрологии и электрические измерения». *Качество технологий – качество жизни* : матер. III междунар. науч.-практ. конф. (Харьков, 14-16 апреля 2011 г.). Харьков : УИПА, 2011. С. 66-67.

160. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Удосконалення професійної електротехнічної підготовки сучасного інженера. *Динамиката на съвременната наука – 2011* : матер. за VII междунар. науч. практ. конф. (София, 17-25 юли 2011). София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2011. Том 5 : Педагогически науки. С. 5–7.

161. Тарасенко А. І. Професійна направленість курсу електротехніки для студентів машинобудівних спеціальностей. *Качество технологий – качество жизни* : матер. V междунар. науч.-практ. конф. (Солнечный берег, Болгария, 8-12 сентября 2012 г.). Харьков : УИПА, 2012. С. 137–138.

162. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М., Петров С. В. Електротехніка, електроніка і мікропроцесорна техніка : метод. вказівки до практ. занять для студ. денної та заоч. форм навч. неелектротехн. спец. Харків : УИПА, 2013. 148 с.

163. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М., Петров С. В. Електротехніка, електроніка і мікропроцесорна техніка : навч. посіб. для студентів денної та заоч. форм навч. неелектротехн. спец. Харків : УИПА, 2014. Ч. 2 : Електроніка і мікропроцесорна техніка. 79 с.

164. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М., Петров С. В. Електротехніка : навч.-метод. посіб. для студентів денної та заоч. форм навч. інж. та інж.-пед. спец. Харків : УИПА, 2015. Ч. 1 : Електричні кола. 136 с.

165. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Аналіз електротехнічної складової професійної діяльності майбутніх інженерів-механіків. *Найновите постиження на европейската наука – 2015* : матер. за XI междунар. науч. практ. конф. (София, 17-25 юни 2015). София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2015. Т. 7 : Педагогически науки. С. 13-16.

166. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Роль і місце електротехнічної складової в професійній діяльності інженера-механіка. *Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2016* : materialy XII miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji (Przemysl, 07-15 czerwca 2016 roku). Przemysl : Nauka i studia, 2016. Vol. 5 : Pedagogiczne nauki. S. 26-28.

167. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Абстракція в електротехніці і формування моделей електротехнічних пристроїв промислового обладнання. *Modern european science – 2018* : materials of the XIV international scientific and practical conference (Sheffield, June 30–July 7 2018). Sheffield : Science and education LTD, 2018. Vol. 7 : Pedagogical science. Philological science. Psychology and sociology. P. 87-89.

168. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Електричні методи та засоби вимірювань : навч. посіб. для здобувачів вищ. освіти електротех. та енерготех. спец. Харків : Друкарня Мадрид, 2020. 131 с.

169. Татур Ю. Г. Высшее образование: методология и опыт проектирования. М. : Логос ; Университетская книга, 2006. 256 с.

170. Теоретические основы электротехники: учеб. для электротехн. вузов / под ред. проф. П. А. Ионкина. Изд. 2-е, переработ. и доп. М. : Высш. школа, 1976. Т. 1. 544 с.

171. Теоретичні основи електротехніки : підручник : у 3 т. / В. С. Бойко, Ю. Ф. Видолоб та ін.; за заг. ред. І. М. Чиженка, В. С. Бойка. Київ : ІВЦ «Видавництво «Політехніка»», 2004. Т. 1 : Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. 272 с.

172. Трофімов Ю. Л. Инженерная психология : підручник. Київ : Либідь, 2002. 264 с.

173. Тюменева Ю. А. Психологическое измерение : учеб. пособие для студентов вузов. М. : Аспект Пресс, 2007. 192 с.
174. Фандеев Е. И., Луцаев Г. А., Карчков В. А. Специальные термометры с термопреобразователями сопротивления. М. : Энергоатомиздат, 1987. 96 с.
175. Хоменко В. Г. Загальнонаукові засади розробки системи дуального змісту професійної підготовки майбутніх інженерів-педагогів. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УПА, 2014. Вип. 42–43. С. 39–45.
176. Чабан В. Й. Математичне моделювання в електротехніці. Львів : Вид-во Тараса Сороки, 2010. 508 с.
177. Чернилевский Д. В. Дидактические технологии в высшей школе. М. : Юнити-Дана, 2002. 437 с.
178. Чижиумов С. Д. Примеры конструкций судов : учеб. пособие. Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КНАГТУ», 2007. 133 с.
179. Шадриков В. Д. Проблемы системогенеза профессиональной деятельности. М. : Наука, 1982. 185 с.
180. Шадриков В. Д. Психология деятельности и способности человека. М. : Логос, 1996. 320 с.
181. Шевченко Л. М. Професійна спрямованість: методологічний аспект. *Науковий Вісник*. 2005. Вип. 88. С. 204–215.
182. Шеховцов В. П. Электрическое и электромеханическое оборудование. М. : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2009. 416 с.
183. Штефан Л. В. Сучасні підходи до організації інноваційної діяльності інженерів-педагогів на основі аналізу структури діяльності. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти* / Укр. інж.-пед. акад. Харків : УПА, 2013. Вип. 40–41. С. 23–28.
184. Щербакowa Д. К. Розвиток професійної спрямованості студентів вищих навчальних закладів. URL : http://virtkafedra.ucoz.ua/el_gurnal/pages/vyp11/1/Sherbakova.pdf (дата звернення: 15.03.2018).

185. Экспериментальная психология: Практикум : учеб. пособие для вузов / Т. Г. Богданова, Ю. Б. Гиппенрейтер, Е. Л. Григоренко и др. ; под ред. С. Д. Смирнова, Т. В. Корниловой. М. : Аспект Пресс, 2002. 383 с.

186. Электрические измерения : учебник для вузов / Л. И. Байда, Н. С. Добротворский, Е. М. Душин и др. ; под. ред. А. В. Фремке. Л. : Энергия, 1980. 392 с.

187. Электротехника : учебник для неэлектротехнич. спец. вузов / Х. Э. Зайдель, В. В. Коген-Далин, В. В. Крымов и др.; под ред. В. Г. Герасимова. М. : Высш. шк., 1985. 480 с.

188. Электротехника : учеб. пособие / под ред. В. С. Пантюшина. М. : Высш. школа, 1976. 560 с.

189. Электротехника и основы электроники. Методические указания и контрольные задания для студентов-заочников строит. и химико-технолог. спец. вузов / Г. Н. Глушков, П. А. Фукс. М. : Высш. шк., 1990. 128 с.

190. Электротехника и электроника / В. В. Кононенко, В. И. Мишкович, В. В. Муханов и др. ; под ред. В. В. Кононенко. Ростов н/Д : Феникс, 2008. 778 с.

191. Электрооборудование внутризаводского транспорта - электрические схемы ЭП-201 и ЭП-202. URL : <http://leg.co.ua/arhiv/raznoe-arhiv/elektrooborudovanie-vnutrizavodskogo-transporta-10.html> (дата звернення: 18.03.2018).

192. Электрооборудование промышленных предприятий и установок : учебник для техникумов / Е. Н. Зимин и др. М. : Энергоиздат, 1981. 552 с.

193. Электро-химико-механическая обработка. URL : <http://pereosnastka.ru/articles/elektro-khimiko-mekhanicheskaya-obrabotka> (дата звернення: 18.03.2018).

194. Энсор Д., Стивенсон И. Orakl. Проектирование баз данных. Киев : Издательская группа BHV, 1999. 560 с.

195. Эрганова Н. Е. Методика профессионального обучения : учеб. пособие для вузов. Изд. 3-е, испр. и доп. Екатеринбург : Изд-во РГПУ, 2005. 149 с.
196. Ягупов В. В. Педагогіка : навч. посібник. Київ : Либідь, 2002. 560 с.
197. Якунин В. А. Педагогическая психология : учеб. пособие. СПб. : Полиус, 1998. 639 с.
198. Ячин С. Н. Инновации и задачи подготовки инженера. *Alma Mater*. 1993. № 3. С. 21–23.
199. Bloom B. Taxonomy of Educational Objectives. Vol. II : The Affective Domain. New York : David McKay, 1964. 196 p.
200. Grabbs M., Strimel G. J., Huffman T. J. Engineering Education: A Clear Content Base for Standards. *Technology and Engineering Teacher*. 2018. Vol. 77, Iss. 7. P. 32–38.
201. Hambley R. Electrical engineering: Principles and applications. Published by Prentice Hall, 1997.
202. Maj S. P. Modelling E-Commerce Architecture - A New Engineering Modeling Method. *Engineering Education in the 21-st century*. Perth (Western Australia), 2001. P. 46–50.
203. Li Ping Fan. Engineering Education Oriented Teaching Material Construction for Electrical and Electronic Technology. *International Conference, CSEE 2011* (Wuhan, China, August 21-22, 2011) : proceedings. Wuhan, 2011. Part IV. P. 319–323.
204. Li R. A theory of conceptual intelligence: Thinking, learning and giftedness. NY : Praeger Publishers, 1996. P. 256.
205. Lord T., Baviskar S. Moving from information recitation to exploiting Bloom's Taxonomy in creating science question. *Journal of College Science Teaching*. 2007. № 36(5). P. 40–44.
206. Phillip A. Laplante. Comprehensive Dictionary of Electrical Engineering (Electrical Engineering Handbook), CRC Press. URL :

<https://www.amazon.com/Comprehensive-Dictionary-Electrical-Engineering-Laplace-ebook-dp-> (Last accessed: 12.02.2020).

207. Savander-Ranne C, Lunden O.-P., Kolari S. (2008). An Alternative Teaching Method for Electrical Engineering Courses. *IEEE Transactions on Education*. 2008. № 51. P. 423–431.

208. Skott P. The Globalisation of Higher Education. London : Society for Research into Higher Education & Open University Press, 1998.

209. Tarasenko A., Mosiienko H. General models formation of electrical devices. *Strategiczne pytania swiatowej nauki – 2019 : materialy XV miedzynarodowej naukow-praktycznej konferencji* (Przemysl, 07-15 lutego 2019). Przemysl : Nauka i studia, 2019. Vol. 6 : Pedagogiczne nauki. S. 47-49.

ДОДАТКИ

Додаток А

Професійно орієнтовані задачі для формування знань та умінь з електротехніки

1. Професійно орієнтовані задачі для формування знань та умінь з елементів електричних кіл

1. В чому відмінність між ідеальними і реальними елементами електротехнічного обладнання?
2. Які складові входять до комплексної моделі елементів змісту навчання?
3. Які елементи входять до системно-інформаційної складової комплексної моделі?
4. Наведіть алгоритм побудови комплексної трискладової моделі елементів змісту навчання електротехніки.
5. Чим відрізняються топологічні складові моделі резистора при різних частотах джерела живлення?
6. Як опір провідника залежить від фізичних властивостей матеріалу?
7. Поясніть фізичний зміст ідеальних елементів схем заміщення електричних кіл і напишіть співвідношення електричних величин для цих елементів.
8. Як представлення фізичних елементів в схемах заміщення залежить від частоти змінного струму?
9. При яких умовах можна розглядати схему заміщення електричного кола з зосередженими параметрами?
10. Дайте характеристику групам елементів R , L і C .
11. Поясніть фізичний зміст і взаємодію ознак системно-інформаційної складової комплексної моделі електротехнічного елементу резистора.
12. Побудуйте системно-інформаційну складову комплексної моделі навчального елементу «катушка індуктивності».
13. Побудуйте системно-інформаційну складову комплексної моделі навчального елементу «конденсатор».
14. Прокоментуйте три способи визначення індуктивності L :

$$L = \frac{\psi}{i_L}, \quad L = \left| -\frac{e_L}{di_L / dt} \right|, \quad L = \frac{2W_L}{i_L^2}.$$

Сформулюйте розрахункову складову комплексної моделі.

15. Прокоментуйте три способи визначення ємності C :

$$C = \frac{q}{u_C}, \quad C = \frac{i}{du_C / dt}, \quad C = \frac{2W_C}{u_C^2}.$$

Сформулюйте розрахункову складову комплексної моделі.

16. Вольтметр на вихідних затискачах джерела живлення електрокопіювальної системи токарного верстата на холостому ході показує 20,6 В. При підключенні навантаження вольтметр показує 20 В, а амперметр 200 мА. Визначте внутрішній опір джерела живлення.

17. Які функції виконує резистор як елемент топологічної складової комплексної моделі реального електротехнічного пристрою?

18. Побудуйте комплексну трискладову модель нелінійного резистора при роботі в колі постійного струму. Вольт-амперна характеристика задана експонентою.

19. Резистор, котушка індуктивності і конденсатор працюють в колі змінного струму із змінною частотою. Побудуйте графіки залежності опорів цих елементів від частоти.

20. Як в комплексній моделі електротехнічного пристрою врахувати втрати потужності на його нагрів в процесі роботи?

21. Чим відрізняються електричні кола з зосередженими параметрами від кіл з розподіленими параметрами?

22. Побудуйте на векторній діаграмі наступні пари напруг і струмів:

а) $u_1 = U_{m1} \sin \omega t$, $i_1 = I_{m1} \sin(\omega t - 90^\circ)$;

б) $u_2 = U_{m2} \sin(\omega t - 30^\circ)$, $i_2 = I_{m2} \sin(\omega t + 60^\circ)$.

Які елементи електричного кола вони характеризують?

23. Запишіть формулу комплексного опору ділянки кола з послідовним з'єднанням елементів R , L і C .

24. Запишіть формулу комплексного опору ділянки кола з паралельним з'єднанням елементів R , L і C .

25. Побудуйте векторну діаграму струму і напруг при послідовному з'єднанні елементів R , L і C . Значення напруг на елементах:

$$\dot{U}_R = 50 \text{ В}, \quad \dot{U}_L = 60e^{j90^\circ} \text{ В}, \quad \dot{U}_C = 40e^{-j90^\circ} \text{ В}.$$

26. Побудуйте векторну діаграму напруги і струмів при паралельному з'єднанні елементів R , L і C . Значення струмів у вітках схеми:

$$\dot{I}_R = 10 \text{ А}, \quad \dot{I}_L = 5e^{-j90^\circ} \text{ А}, \quad \dot{I}_C = 8e^{j90^\circ} \text{ А}.$$

27. Знайдіть повний опір конденсатора згладжувального фільтру в колі промислової частоти з параметрами $R = 3 \text{ Ом}$, $C = 500 \text{ мкФ}$.

28. Знайдіть комплексну провідність котушки магнітного пускача з параметрами $R = 150 \text{ Ом}$, $L = 0,3 \text{ Гн}$ при роботі в колі промислової частоти.

29. У складі електроерозійного верстату знаходиться електричний двигун постійного струму з незалежним збудженням. Розрахуйте потужність, яку споживає коло збудження двигуна, якщо напруга джерела живлення кола

збудження 200 В, опір обмотки збудження 100 Ом, опір регулювального реостату 50 Ом.

30. Котушка індуктивності має такі параметри $R = 10$ Ом, $L = 0,1$ Гн. Напруга джерела живлення 300 В. Визначте втрати потужності при роботі котушки: а) в колі постійного струму; б) в колі змінного струму промислової частоти.

2. Професійно орієнтовані задачі для формування знань та умінь із законів електротехніки

1. Сформулюйте основні закони електротехніки, на яких базуються методи розрахунку електричних кіл.

2. Які ознаки входять до системно-інформаційної складової навчального елементу «Закон Ома»?

3. Чим відрізняються схеми заміщення топологічної складової комплексної моделі навчального елементу «Закон Ома»?

4. Сформулюйте перший закон Кірхгофа для перетину електричного кола.

5. Наведіть приклад застосування законів Кірхгофа для аналізу конкретної схеми.

6. На ділянці цеху машинобудівного виробництва при споживанні електроенергії від мережі потужність окремих споживачів складала: термічна піч 30 кВт, мостовий кран 10 кВт, металообробні верстати 15 кВт, транспортери 8 кВт, зварювальні пости 50 кВт, освітлення 5 кВт. Визначте електричну енергію, яку споживає ділянка протягом двох годин.

7. Сформулюйте розрахункову складову комплексної моделі реостату для обмеження струму споживача до 1 А, якщо він підключений до мережі 220 В і споживає струм 5 А.

8. Побудуйте системно-інформаційну складову комплексної моделі навчального елементу «Перший закон Кірхгофа».

9. Побудуйте системно-інформаційну складову комплексної моделі навчального елементу «Другий закон Кірхгофа».

10. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елементу «Закон Джоуля-Ленца».

11. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елементу «Закон електромагнітної індукції».

12. Сформулюйте системно-інформаційну і розрахункову складові комплексної моделі закону Ома для пасивної та активної ділянок електричного кола.

13. Сформулюйте алгоритм розрахунку електричного кола методом законів Кірхгофа.

14. Дайте формулювання законів Ома і Кірхгофа в комплексній формі.

15. Котушка реле в системі аварійного відключення стрічкового конвеєра має такі параметри: $R = 10 \text{ Ом}$, $L = 5 \text{ мГн}$. Визначити початкову швидкість наростання струму в котушці в момент включення її на постійну напругу 10 В і струм в котушці при усталеному режимі.

16. Визначте енергію магнітного поля і втрати потужності в котушці реле в усталеному режимі. Вихідні дані взяти з попередньої задачі.

17. Визначте коефіцієнт потужності електричного кола гармонічного струму, якщо вимірювальні прилади включені в коло показали; амперметр 11 А , вольтметр 220 В , ватметр 1200 Вт .

18. Для схеми гармонічного струму (рис. А.1) розрахуйте струм при таких параметрах кола: $R = 10 \text{ Ом}$, $X_L = 20 \text{ Ом}$, $X_C = 10 \text{ Ом}$, $U = 200 \text{ В}$

19. Визначте потужності P , Q , S при послідовному з'єднанні елементів електричного кола (рис. А.1). Вихідні дані: $R = 10 \text{ Ом}$, $X_L = 20 \text{ Ом}$, $X_C = 20 \text{ Ом}$, $I = 5 \text{ А}$.

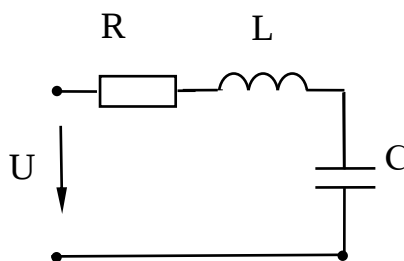


Рис. А.1

20. Визначте коефіцієнт потужності для попередньої задачі при тих же вхідних даних і побудуйте векторну діаграму.

21. Розрахуйте струм, який споживає система освітлювання, що встановлена на мостовому крані. Вихідні дані: кількість ламп – 6, потужність кожної лампи – 1 кВт , напруга живлення – 220 В .

22. Розрахуйте діаметр мідного дроту, яким необхідно приєднати систему освітлювання, параметри якої приведені в попередній задачі, виходячи з нормативу для відкритої проводки – $7,5 \text{ А/мм}^2$.

23. Активна потужність електродвигуна $P = 1000 \text{ Вт}$ при напрузі $U = 220 \text{ В}$ і струмі $I = 5 \text{ А}$. Визначте параметри топологічної складової комплексної моделі схеми заміщення з послідовним з'єднанням елементів.

24. Який закон Кірхгофа можна застосувати для аналізу схеми на рис. Д.1? Запишіть рівняння складене за цим законом і побудуйте в якісному відношенні векторну діаграму напруг за умови, що $X_L > X_C$.

25. Сформулюйте закон Ома для кола гармонічного струму в комплексній формі. Наведіть приклади застосування закону Ома.

26. Як формулюються закони Кірхгофа для аналізу кіл гармонічного струму? Чи виконується перший закон Кірхгофа для діючих значень струмів віток, що сходяться в одному вузлі?

27. Поясніть, чому другий закон Кірхгофа не виконується для діючих значень напруг на елементах замкнутого контуру електричного кола?

28. Чим відрізняються визначення «потужність» та «електрична енергія»? Дайте пояснення базуючись на формулюванні закону Джоуля-Ленца.

29. Трифазне навантаження з'єднане по схемі «зірка» з нейтральним проводом. Фазні струми навантаження відповідно дорівнюють 50, 80 та 20 А і зсунуті відносно фазних напруг відповідно на кути -30° , -60° та $+60^\circ$. Згідно з першим законом Кірхгофа знайдіть струм у нейтральному проводі.

30. Побудуйте топологічну складову комплексної моделі трифазної системи з'єднаної «трикутником» та векторну діаграму і покажіть на ній напрямки векторів фазних струмів, якщо в одну фазу включено R , в другу – L , а в третю – C .

3. Професійно орієнтовані задачі для формування знань та умінь з еквівалентних перетворень

1. Яким чином виконуються еквівалентні перетворення і які типи перетворень Ви знаєте?

2. В плиту для запікання форми під заливку майбутньої деталі вмонтовано 8 термоелектро нагрівачів (ТЕН). Всі ТЕНи з'єднані паралельно і підключені до джерела живлення 220 В. Потужність кожного ТЕНа – 1 кВт. Знайдіть еквівалентний опір паралельного з'єднання.

3. Ємність підлаштовного конденсатора в електронному пристрої автоматичного регулювання температури можна плавно змінювати від 10 до 200 пФ. Які границі регулювання ємності можна отримати, якщо до цього конденсатора приєднати такий же другий: а) паралельно, б) послідовно?

4. Вольтметр на номінальну напругу 75 В має внутрішній опір 10 кОм. Визначте опір додаткового резистора, який включається послідовно з вольтметром, для розширення границі вимірювання до 300 В.

5. Для освітлювання дільниці складального цеху використали 10 світильників з лампами потужністю 1 кВт і 7 – з лампами потужністю 500 Вт. Визначте еквівалентний опір системи освітлення і струм, який вона споживає.

6. Електронагрівальний пристрій споживає струм 50 А і містить 2 нагрівальні елементи (НЕ). Опір першого НЕ дорівнює 4 Ом. Струм другого НЕ, який перегорів, дорівнював 10 А. Знайдіть опір НЕ, який необхідно замінити, а також еквівалентний опір нагрівального пристрою.

7. Користуючись правилами еквівалентних перетворень «зірки» в «трикутник» і «трикутника» в «зірку», визначте вхідний опір мостової схеми вимірювача температури технологічного процесу при температурі 20°C (рис. А.2). Опір терморезистора R_1 при цій температурі дорівнює 10 Ом. Параметри елементів схеми: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10\text{ Ом}$, $R_B = 2\text{ Ом}$.

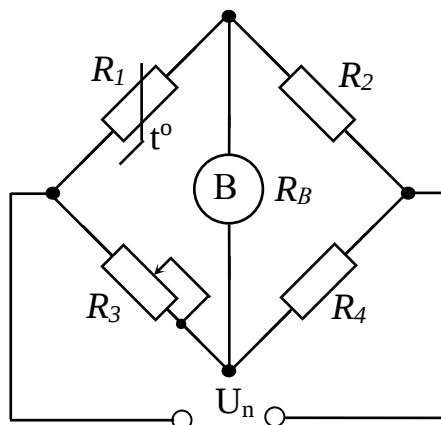


Рис. А.2

8. Побудуйте комплексну трискладову модель освітлювальної мережі технологічної ділянки для визначення струму споживання при напрузі 220 В. Кількість світильників – 20, потужність кожного світильника 1 кВт.

9. Як необхідно з'єднати три резистора і вибрати їх опір, щоб при живленні від одного джерела напруги відношення напруг на них було 1:3:6?

10. Як необхідно з'єднати два резистора і вибрати їх опір, щоб при живленні від одного джерела напруги відношення їх струмів було 1:3?

11. Симетричний резистивний «трикутник» перетворюється в еквівалентну «зірку». Визначте опір її віток, якщо опір вітки «трикутника» дорівнює 12 Ом.

12. Три резистора з'єднані за схемою «зірка». Опори двох резисторів однакові, дорівнюють R , а опір третього в два рази менший. Знайдіть опір віток «трикутника» еквівалентного «зірці».

13. Світильник на робочому місці слюсаря ремонтника складається з шести ламп потужністю 60 Вт, з'єднаних паралельно. Напруга мережі 120 В. Визначте еквівалентний опір світильника, якщо а) включені всі лампи; б) включено чотири лампи.

14. Розрахуйте еквівалентний опір ділянки ab електричного кола (рис. А.3), якщо при вимірюванні напруги на резисторі $R_H = 2$ кОм було підключено вольтметр з внутрішнім опором $R_V = 10$ кОм.

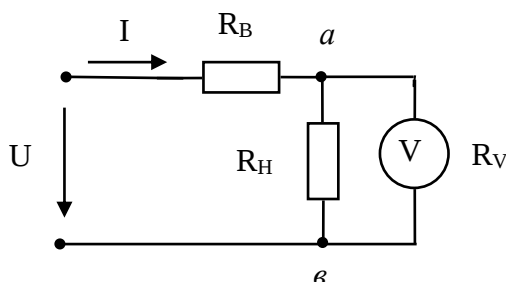


Рис. А.3

15. Наскільки будуть відрізнятися покази вольтметра в схемі на рис. А. 3 від дійсного значення напруги на резисторі R_H , якщо $U = 300$ В, $R_B = 200$ Ом?

16. Для розширення границі вимірювання вольтметра електростатичної системи з внутрішньою ємністю 20 пФ послідовно підключили додатковий конденсатор на 10 пФ. Знайдіть еквівалентну ємність послідовного з'єднання.

17. Для розширення границі вимірювання міліамперметра на 7,5 мА з внутрішнім опором 10 Ом до нього підключили шунт на 1,5 А. Визначте опір шунта.

18. Споживач електричної енергії потужністю 254 Вт розрахований на напругу 127 В. Розрахуйте опір баластного резистора для підключення споживача н мережу з напругою 220 В.

19. В мережу з напругою 220 В (рис. А.4) включені опори $R_1 = 70$ Ом, $R_2 = 75$ Ом, $R_3 = 100$ Ом, $R_4 = 300$ Ом. Визначте струми у вітках схеми, застосувавши метод еквівалентних перетворень.

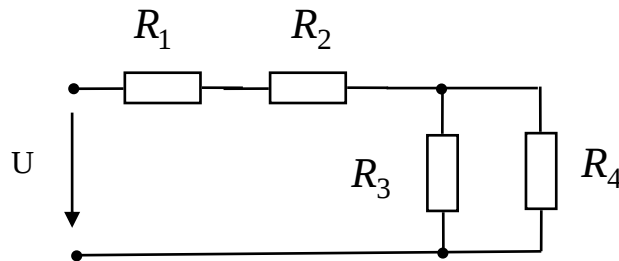


Рис. А.4

20. Визначте струми у вітках схеми рис. А.4, якщо $R_3 = \infty$. Вихідні дані такі ж, як в попередній задачі.

21. Визначте струми у вітках схеми рис. А.4, якщо $R_1 = R_2 = 0$ Ом. Вихідні дані такі ж, як в попередній задачі.

22. Для вимірювання напруги мережі 220 В, послідовно з'єднали два вольтметри, у яких номінальна напруга 150 В і опір відповідно 28 кОм і 16 кОм. Визначте покази кожного вольтметра і найбільшу напругу, яку можна виміряти при такій схемі з'єднання вольтметрів.

23. Двигун постійного струму паралельного збудження живиться від мережі 220 В. Номінальний струм обмотки збудження 1,75 А. Визначить опір обмотки збудження і опір регулювального реостату для зменшення струму збудження на 80 %.

24. Які функції виконує резистор як елемент схеми заміщення реального електричного кола? Зазначте його функцію в комплексній трискладовій моделі електротехнічних пристроїв.

25. Для збільшення сили тяги електромагніту з параметрами $R = 10$ Ом, $L = 0,2$ Гн послідовно включили конденсатор ємністю 100 мкФ. Визначте на

скільки збільшиться струм електромагніта при живленні від мережі промислової частоти?

26. Котушка індуктивності має параметри $R = 70 \text{ Ом}$, $L = 0,3 \text{ Гн}$. Розрахуйте, які потужності споживає котушка при підключенні до мережі 380 В, 50 Гц.

27. Побудуйте топологічну складову комплексної моделі трифазного навантаження з'єднаного «трикутником» для підвищення коефіцієнту потужності трифазної системи за допомогою ємнісного компенсатора реактивної потужності.

28. Освітлювальну лампу потужністю 100 Вт з напругою 127 В необхідно включити в мережу живлення 220 В. Визначте опір баластного резистора для підключення лампи до зазначеної мережі.

4. Професійно орієнтовані задачі для формування знань та умінь з методів розрахунку електричних кіл

1. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елемента «Метод накладення» для електричного кола постійного струму з двома джерелами живлення.

2. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елемента «Резонанс напруг».

3. У якому випадку для розрахункової складової комплексної моделі доцільно застосовувати метод еквівалентного генератора?

4. Побудуйте системно-інформаційну складову комплексної моделі навчального елемента «Метод еквівалентного генератора».

5. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елемента «Метод законів Кірхгофа» для електричного кола постійного струму з двома вузлами і трьома паралельними вітками, які містять джерела живлення.

6. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елемента «Метод контурних струмів» для електричного кола постійного струму з трьома контурами.

7. Побудуйте топологічну складову комплексної моделі навчального елемента «Метод напруги між двома вузлами» для електричного кола постійного струму.

8. Приведіть в узагальненому вигляді розрахункову складову комплексної моделі навчального елемента «Метод контурних струмів».

9. Побудуйте топологічну складову комплексної моделі для аналізу приведеної схеми (рис. А.5) методом накладення.

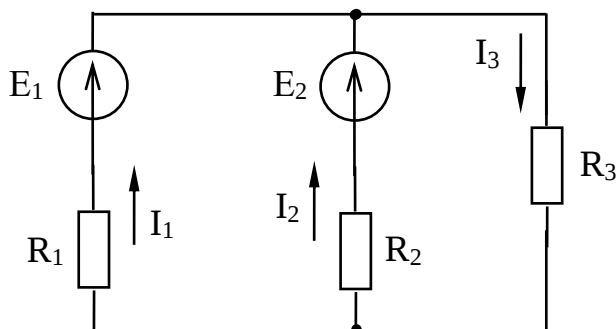


Рис. А.5

10. Побудуйте розрахункову складову комплексної моделі для аналізу схеми на рис. А.5 методом застосування законів Кірхгофа.

11. Побудуйте розрахункову складову комплексної моделі для аналізу схеми на рис. А.5 методом напруги між двома вузлами.

12. Як зміниться розрахункова складову комплексної моделі для аналізу схеми на рис. А.5 методом напруги між двома вузлами, якщо у вітку з опором R_3 включити джерело живлення E_3 ?

13. Побудуйте розрахункову складову комплексної моделі для аналізу схеми на рис. А. 5 методом контурних струмів.

14. Побудуйте топологічну та розрахункову складові комплексної моделі для визначення струму у вітці з опором R_3 (рис. А.5) методом еквівалентного генератора.

15. Поясніть методику розрахунку кіл синусоїдного струму при послідовному з'єднанні елементів кола.

16. Поясніть методику розрахунку кіл синусоїдного струму при паралельному з'єднанні елементів.

17. Поясніть методику розрахунку кіл синусоїдного струму при змішаному з'єднанні елементів кола.

18. Поясніть, що розуміють під активною, реактивною та повною потужностями електричного кола, і приведіть формули, за якими вони розраховуються.

19. Розрахуйте повну комплексну потужність індукційної тигельної печі, яка працює на промисловій частоті при таких значеннях напруги та струму $\dot{U} = 660e^{j50^\circ}$ В, $\dot{I} = 1520e^{j10^\circ}$ А. Визначте активну та реактивну потужності, які споживає індукційна піч.

20. Побудуйте топологічну складову однофазної індукційної тигельної печі, та розрахуйте ємність батареї конденсаторів для компенсації реактивної потужності, яку споживає піч у попередній задачі.

21. Коефіцієнт потужності цеху $\cos\varphi = 0,6$. Як підвищити коефіцієнт потужності? Побудуйте топологічну складову статичного компенсатора реактивної потужності в трифазному колі.

22. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елементу «Коефіцієнт потужності».

23. Поясніть в якому контурі і при яких умовах можливий: а) резонанс напруг; б) резонанс струмів.

24. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елементу «Напруга між нейтралями трифазної мережі при несиметричному навантаженні».

25. В трипровідне коло включено симетричне навантаження, з'єднане «зіркою». Параметри навантаження: активна потужність $P = 2900$ Вт, $\cos\varphi = 0.6$, $U_L = 380$ В. Розрахуйте струми в лінійних проводах і активний опір фази навантаження.

26. Як зміниться активна потужність, якщо трифазний симетричний приймач, з'єднаний «зіркою», буде переключений в «трикутник». Напруга живлячої мережі є сталою.

27. Споживач електричної енергії з параметрами $P = 5,5$ кВт, $I = 38,8$ А підключений до мережі 220 В. Визначте ємність батареї конденсаторів, яку необхідно включити паралельно для підвищення коефіцієнта потужності споживача до 0,9.

28. Розрахуйте резонансну частоту електричного кола, в якому послідовно з'єднані котушка індуктивності і конденсатор. Параметри елементів кола: котушки - $R = 40$ Ом, $L = 0,1$ Гн, конденсатора $C = 200$ мкФ.

29. В електричному колі (рис. А. 5) $E_1 = 120$ В, $E_2 = 100$ В, $R_1 = R_2 = 1$ Ом, $R_3 = 9$ Ом. В результаті розрахунку виявилось, що при вказаних умовно додатних напрямках струмів $I_1 = 15,8$ А, $I_2 = -4,2$ А, $I_3 = 11,6$ А. Складіть рівняння балансу потужностей.

30. Електричне коло має п'ять віток і три джерела живлення, які включені в окремі вітки. Для розрахунку струмів у вітках кола скористались методом законів Кірхгофа. Який порядок буде мати система рівнянь сформована за цим методом?

5. Професійно орієнтовані задачі для формування знань

та умінь з розрахунку електротехнічних пристроїв машинобудування

1. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елементу «Вимірювальний прилад магнітоелектричної системи».

2. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елементу «Електромагнітне реле постійного струму».

3. Побудуйте комплексну трискладову модель навчального елементу «Синхронний двигун».

4. Розробіть комплексну трискладову модель трифазного конденсаторного компенсатора реактивної потужності.

5. Розробіть комплексну трискладову модель обмотки електромагнітного клапану системи охолодження робочої зони токарного

верстату. Робочий струм обмотки промислової частоти. Міжвитковою ємністю обмотки можна знехтувати.

6. Які елементи електрообладнання входять до складу електрокару?

7. Для чого акумуляторні батареї електрокару включаються послідовно?

8. Чому котушки вантажопідіймальних електромагнітів живляться постійним струмом?

9. Яким чином ліквідують остатній магнетизм вантажопідіймального електромагніту?

10. Які електротехнічні пристрої входять до складу промислового електрозварювального обладнання?

11. Які властивості асинхронних двигунів визначають їх широке застосування в промисловому обладнанні?

12. Розробіть комплексну трискладову модель нагрівального елементу електропечі при роботі від джерела постійного струму. Номінальні дані: напруга джерела живлення – 380 В, опір нагрівального елементу при температурі 20°C – 19 Ом, матеріал нагрівача – ніхром (температурний коефіцієнт опору $\alpha = 0.4 \cdot 10^{-30} \text{C}^{-1}$).

13. Розробіть комплексну трискладову модель нагрівального елементу, дані якого приведені в попередньому завданні, при його роботі в колі змінного струму промислової частоти з параметром $L = 0.06 \text{ Гн}$.

14. Для утримання сталевих деталей на плитах плоскошліфувального верстату застосовують електромагніти. Розрахуйте номінальний струм джерела живлення постійного струму при підключенні до нього 6 котушок електромагнітів, які з'єднані між собою паралельно. Потужність, що споживається однією котушкою – 300 Вт, напруга джерела живлення – 110 В.

15. Головний електропривод круглошліфувального верстату 3A161 містить трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором потужністю 7 кВт. Розрахуйте струм двигуна при номінальному навантаженні: $U_H = 380 \text{ В}$, $\cos\varphi_H = 0.82$, $\eta_H = 0.85$.

16. Пуск трифазного асинхронного двигуна відцентрової помпи системи водяного охолодження здійснюється перемиканням обмотки статора з пускової схеми «зірка» на робочу схему «трикутник». У скільки разів зменшаться пускові фазні струми по відношенню до номінальних?

17. Асинхронний трифазний електродвигун, який працює у складі електрообладнання мостового крану, має такі номінальні дані: потужність $P_2 = 28 \text{ кВт}$, напруга $U = 380 \text{ В}$, коефіцієнт корисної дії $\eta = 0.9$, коефіцієнт потужності $\cos\varphi = 0.89$, кратність пускового струму $K = 5.5$. Визначте пусковий струм електродвигуна.

18. Побудуйте топологічну складову комплексної моделі трифазного реверсивного асинхронного двигуна.

19. Що необхідно зробити, щоб трифазний асинхронний двигун розвивав максимальний пусковий обертовий момент: а) двигун з коротко замкнутим ротором; б) двигун з фазним ротором?

20. Розрахуйте ковзання ротора трифазного асинхронного двигуна вентилятора при номінальному режимі роботи, якщо номінальна частота обертання двигуна 1470 об/хв.

21. Розрахуйте потужність P_{1H} , яку споживає двигун від мережі і обертовий момент M_H на валу асинхронного двигуна головного привода токарного верстату потужністю $P_{2H} = 5,5$ кВт, з частотою обертання ротора $n_{2H} = 965$ об/хв і коефіцієнтом корисної дії $\eta_H = 0.85$.

22. Визначте коефіцієнт трансформації і діючі значення ЕРС E_1 та E_2 обмоток однофазного трансформатора системи живлення світлової сигналізації підвісного конвеєра при частоті $f_1 = 50$ Гц, якщо площа поперечного перерізу магнітопроводу $S_M = 4$ см², амплітудне значення магнітної індукції $B_m = 1$ Тл, число витків первинної та вторинної обмоток трансформатора $w_1 = 2500$ та $w_2 = 500$.

23. Чому розмикання вторинної обмотки вимірювального трансформатора струму підчас його роботи є аварійним режимом? Поясніть це явище за допомогою рівняння магніторухливих сил розрахункової складової комплексної моделі трансформатора.

24. Скільки витків має вторинна обмотка вимірювального трансформатора струму з коефіцієнтом трансформації 600/5?

25. Розрахуйте коефіцієнт корисної дії силового трансформатора при роботі в номінальному режимі на активне навантаження. Вихідні дані трансформатора: $S_H = 40$ кВА, $P_K = 1000$ Вт, $P_O = 200$ Вт.

26. Двигун постійного струму для переміщення супорту токарного верстату має такі дані: $U_H = 220$ В, $I_H = 20$ А, $R_{\Sigma} = 0,5$ Ом. Знайдіть проти-ЕРС двигуна і його струм при пуску без пускового реостата.

27. Обґрунтуйте способи пуску двигуна постійного струму з паралельним збудження і приведіть схеми заміщення топологічної складової комплексної моделі двигуна.

28. Поясніть процес самозбуджування генератора постійного струму. Які умови необхідно виконати для самозбуджування генератора?

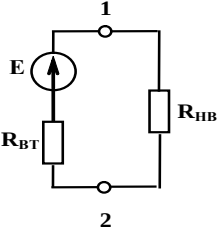
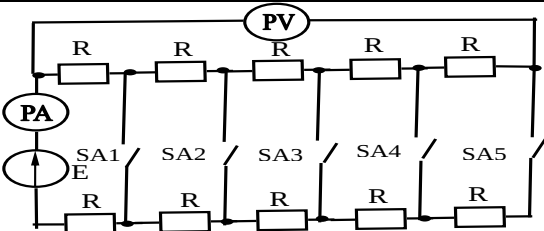
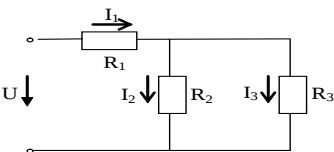
29. Трифазний синхронний двигун поршневого компресора має такі дані: $P_H = 500$ кВт, $\eta_H = 0.95$, $\cos\varphi_H = 0.8$. Визначте повну, активну і реактивну потужності, які споживає двигун від мережі.

30. Як можна регулювати коефіцієнт потужності синхронного двигуна при незмінному навантаженні на валу? Дайте пояснення за допомогою векторних діаграм.

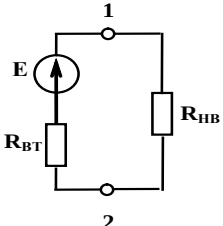
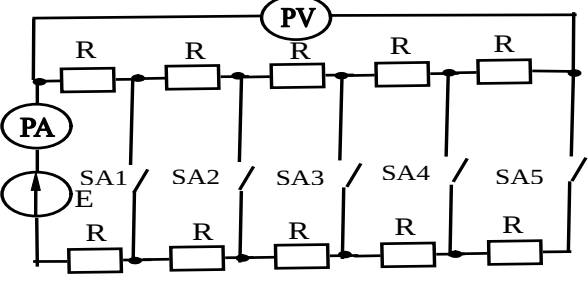
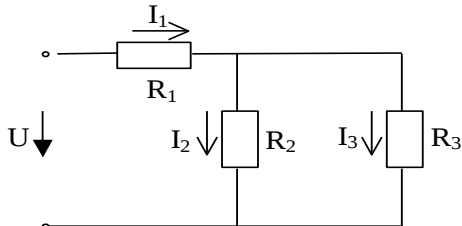
Додаток Б

**Приклади тестових завдань для проведення контролю
засвоєння професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки
з розділу «Електричні кола постійного струму»**

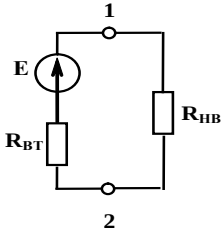
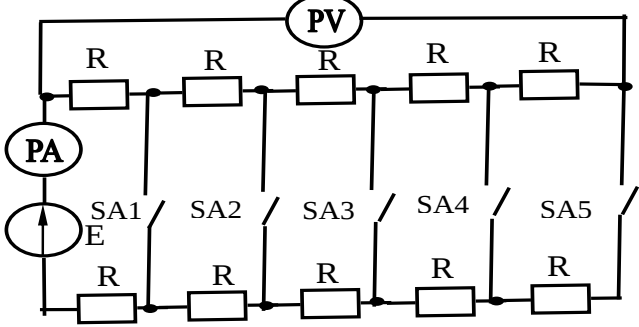
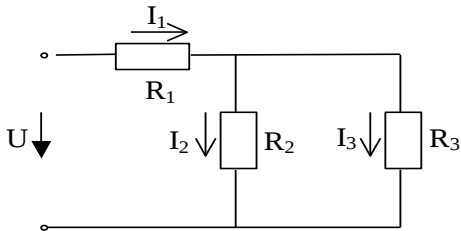
Тест № 1

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Що визначається співвідношенням $R_1 + R_2$?	1. Повний опір ділянки електричного кола, 2. Еквівалентний опір при паралельному з'єднанні резисторів, 3. Еквівалентний опір при послідовному з'єднанні резисторів, 4. Еквівалентний опір при змішаному з'єднанні елементів.
2	 В електричному колі ЕРС джерела живлення $E = 120$ В, а внутрішній опір $R_{BT} = 2$ Ом. Визначити напругу на затискачах 1,2 якщо опір навантаження $R_{HB} = 4$ Ом.	1. 80 В, 2. 60 В, 3. 100 В, 4. 120 В.
3	 Визначити покази амперметра ПА і вольтметра PV при розімкнених вимикачах SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, якщо в електричному колі постійного струму $E = 360$ В, $R = 3$ Ом.	1. $PA=0$, $PV=360$ В, 2. $PA=24$ А, $PV=0$, 3. $PA=0$, $PV=0$, 4. $PA=24$ А, $PV=360$ В.
4	Визначити напругу U_2 на резисторі R_2, якщо $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $P_1 = 18$ Вт. 	1. 9В, 2. 6 В, 3. 18 В, 4. 27 В.

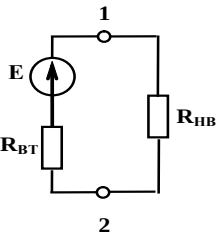
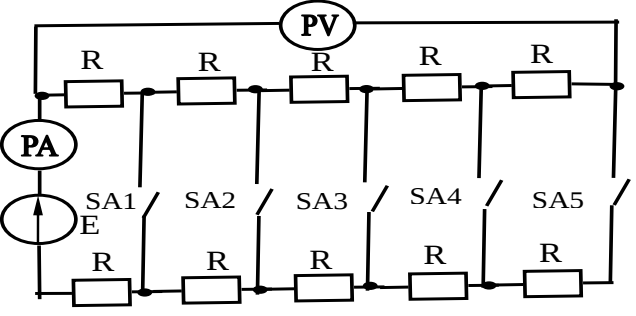
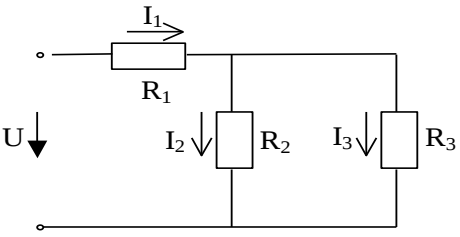
Тест № 2

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка величина визначається співвідношенням $E \cdot I \cdot t$ у колі постійного струму?	1. Електричний заряд, 2. Потужність джерела ЕРС, 3. Енергія джерела ЕРС, 4. Опір.
2	 В електричному колі ЕРС джерела живлення $E = 120 \text{ В}$, а внутрішній опір $R_{\text{вт}} = 2 \text{ Ом}$. Визначити напругу на затискачах 1,2 якщо опір навантаження $R_{\text{нвм}} = 6 \text{ Ом}$.	1. 120 В, 2. 90 В, 3. 30 В, 4. 15 В.
3	 В електричному колі постійного струму $E = 360 \text{ В}$, $R = 3 \text{ Ом}$. Визначити показання амперметра ПА і вольтметра PV при замкненому вимикачі SA1 і розімкненій решті вимикачів.	1. $PA=240 \text{ А}$, $PV=360 \text{ В}$, 2. $PA=240 \text{ А}$, $PV=0$, 3. $PA=60 \text{ А}$, $PV=360 \text{ В}$, 4. $PA=60 \text{ А}$, $PV=180 \text{ В}$.
4	 Визначити потужність P_3 у резисторі R_3, якщо $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$, $R_3 = 6 \text{ Ом}$, $P_1 = 18 \text{ Вт}$.	1. 12 Вт, 2. 16 Вт, 3. 18 Вт, 4. 6 Вт.

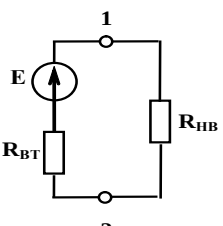
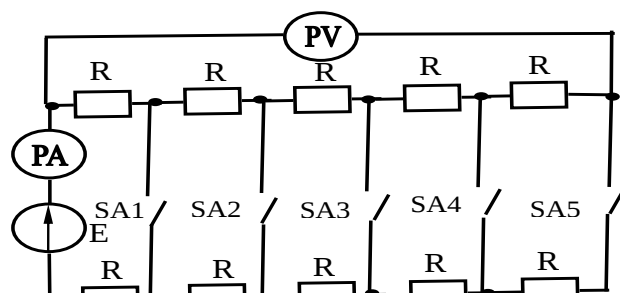
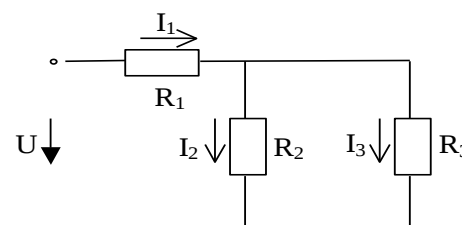
Тест № 3

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка величина визначається співвідношенням $U \cdot I = \dots$ у колі постійного струму?	1. Енергія, 2. Потужність, 3. Електричний заряд, 4. Опір.
2	 В електричному колі ЕРС джерела живлення $E = 120 \text{ В}$, а внутрішній опір $R_{\text{вт}} = 2 \text{ Ом}$. Визначити напругу на затискачах 1,2 якщо опір навантаження $R_{\text{нв}} = 10 \text{ Ом}$.	1. 110 В, 2. 40 В, 3. 100 В, 4. 120 В.
3	 В електричному колі постійного струму $E = 360 \text{ В}$, $R = 3 \text{ Ом}$. Визначити показання амперметра PA і вольтметра PV при замкненому вимикачі SA3 і розімкненій решті вимикачів.	1. PA=40 А, PV=180 В, 2. PA=20 А, PV=180 В, 3. PA=80 А, PV=360 В, 4. PA=20 А, PV=360 В.
4	 Визначити струм I_2, якщо $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$, $R_3 = 6 \text{ Ом}$, $P_1 = 18 \text{ Вт}$.	1. 1 А, 2. 2 А, 3. 4 А, 4. 0,5 А.

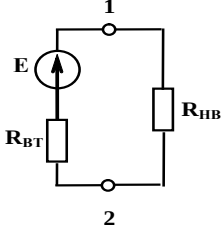
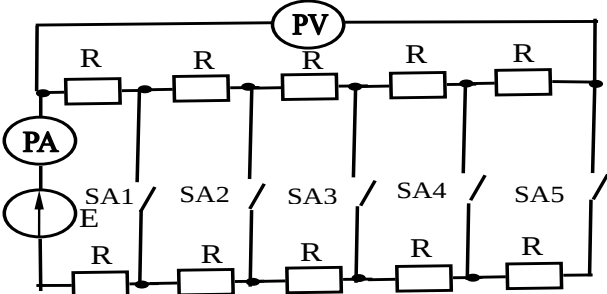
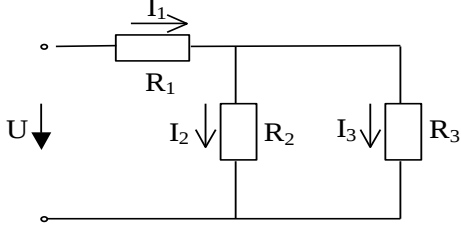
Тест № 4

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка величина визначається співвідношенням $R \cdot I^2 = \dots$ у колі постійного струму?	1. Енергія, що споживається резистором, 2. Заряд через резистор, 3. Напруга на резисторі, 4. Потужність резистора.
2	В електричному колі ЕРС джерела живлення $E = 120$ В, а внутрішній опір $R_{вт} = 2$ Ом. Визначити напругу на затискачах 1,2 якщо опір навантаження $R_{нв} = 18$ Ом. 	1. 120 В, 2. 108 В, 3. 132 В, 4. 114 В.
3	 В електричному колі постійного струму $E = 360$ В, $R = 3$ Ом. Визначити показання амперметра PA і вольтметра PV при замкненому вимикачі SA5 і розімкненій решті вимикачів.	1. PA=48 А, PV=180 В, 2. PA=12 А, PV=180 В, 3. PA=48 А, PV=360 В, 4. PA=24 А, PV=180 В.
4	 Визначити напругу U_1 на резисторі R_1, якщо $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $I_1 = 3$ А, а потужність приймачів $P = 45$ Вт.	1. 3 В, 2. 6 В, 3. 9 В, 4. 12 В.

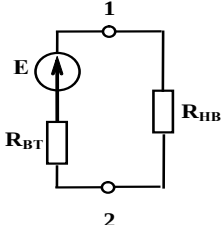
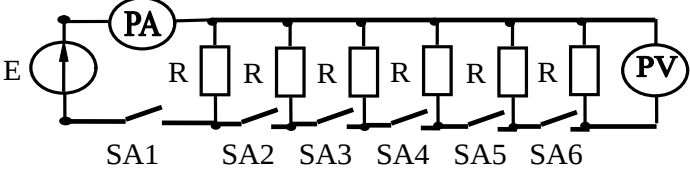
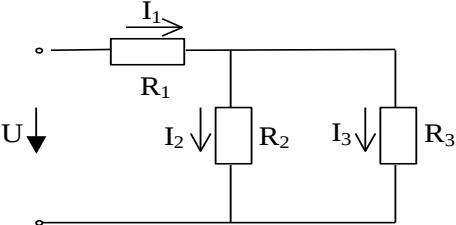
Тест № 5

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка величина визначається співвідношенням $\frac{W}{Q} = \dots$ у колі постійного струму?	1. Потужність джерела, 2. ЕРС джерела, 3. Струм джерела, 4. Напруга джерела.
2	В електричному колі ЕРС джерела живлення $E = 120$ В, а внутрішній опір $R_{BT} = 2$ Ом. Визначити напругу на затискачах 1,2 якщо опір навантаження $R_{HB} = 22$ Ом. 	1. 130 В, 2. 120 В, 3. 115 В, 4. 110 В.
3	 В електричному колі постійного струму $E = 360$ В, $R = 3$ Ом. Визначити показання амперметра PA і вольтметра PV при замкнених вимикачах SA1, SA2 і розімкненій решті вимикачів.	1. PA=30 А, PV=360 В, 2. PA=30 А, PV=180 В, 3. PA=60 А, PV=180 В, 4. PA=120 А, PV=360 В.
4	 Визначити опір R_1, якщо $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $I_1 = 5$ А, а напруга на вході $U = 50$ В.	1. 4 Ом, 2. 6 Ом, 3. 8 Ом, 4. 10 Ом.

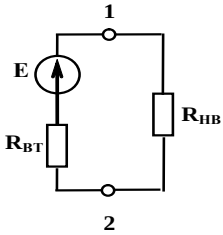
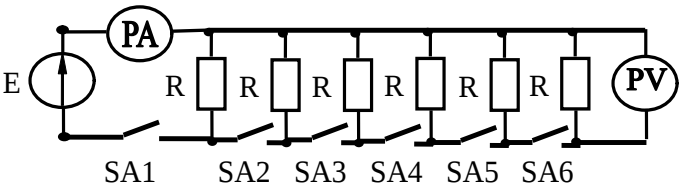
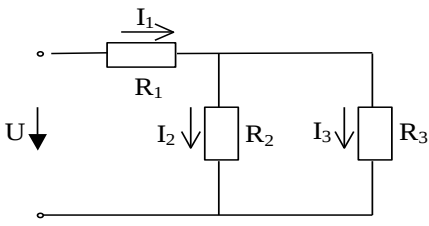
Тест № 6

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка величина визначається співвідношенням $\frac{W}{t} = \dots$?	1. ЕРС, 2. Напруга, 3. Електричний заряд, 4. Потужність.
2	 В електричному колі ЕРС джерела живлення $E = 120 \text{ В}$, а внутрішній опір $R_{\text{вт}} = 2 \text{ Ом}$. Визначити напругу на затискачах 1,2 якщо опір навантаження $R_{\text{нв}} = 28 \text{ Ом}$.	1. 118 В, 2. 128 В, 3. 112 В, 4. 120 В.
3	 В електричному колі постійного струму $E = 360 \text{ В}$, $R = 3 \text{ Ом}$. Визначити показання амперметра PA і вольтметра PV при замкнених вимикачах SA2, SA3 і розімкненій решті вимикачів.	1. PA=20 А, PV=360 В, 2. PA=30 А, PV=180 В, 3. PA=90 А, PV=360 В, 4. PA=90 А, PV=180 В.
4	 Визначити напругу U_1 на резисторі R_1, якщо напруга на вході $U = 40 \text{ В}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$, $R_3 = 6 \text{ Ом}$, $I_1 = 5 \text{ А}$.	1. 20 В, 2. 15 В, 3. 30 В, 4. 10 В.

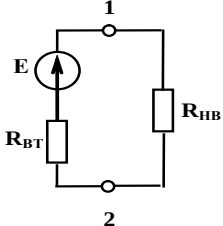
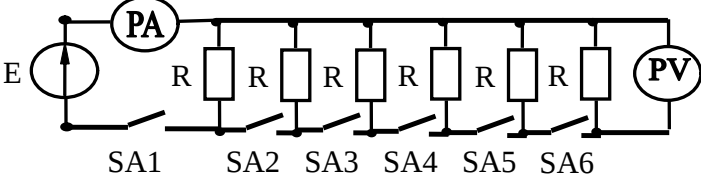
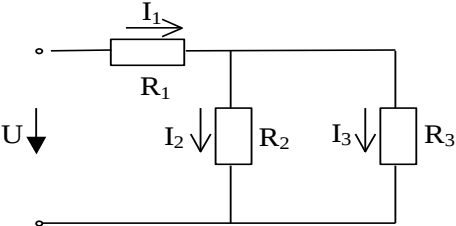
Тест № 7

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка одиниця вимірювання електричного струму та її позначення?	1. Вольт [В], 2. Ом [Ом], 3. Ампер [А], 4. Ватт [Вт].
2	В електричному колі ЕРС джерела живлення $E = 120$ В, а внутрішній опір $R_{BT} = 2$ Ом. Визначити падіння напруги у джерелі живлення якщо опір навантаження $R_{HB} = 4$ Ом. 	1. 60 В, 2. 40 В, 3. 20 В, 4. 0.
3	 В електричному колі постійного струму $E = 120$ В, $R = 60$ Ом. Визначити показання амперметра PA і вольтметра PV при розімкнених вимикачах SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6.	1. PA = 2 А, PV = 120 В, 2. PA = 2 А, PV = 0 , 3. PA = 0, PV = 0, 4. PA = 0, PV = 120 В.
4	 Визначити напругу U_3 на резисторі R_3, якщо $R_3 = 2$ Ом, $I_1 = 6$ А, $I_2 = 4$ А.	1. 8 В, 2. 4 В, 3. 2 В, 4. 1 В.

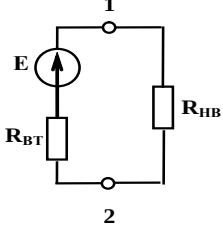
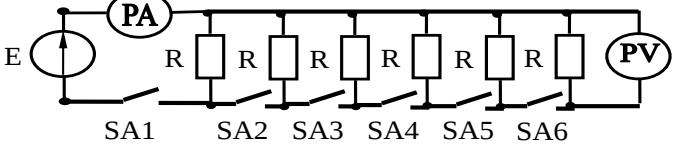
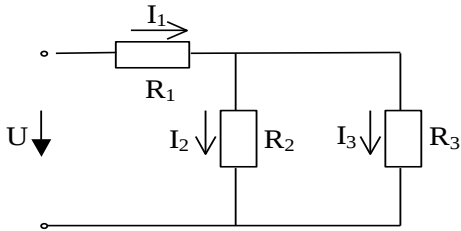
Тест № 8

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка одиниця вимірювання електричної напруги та її позначення?	1. Генри [Гн], 2. Джоуль [Дж], 3. Кулон [Кл], 4. Вольт [В].
2	В електричному колі ЕРС джерела живлення $E = 120$ В, а внутрішній опір $R_{\text{вТ}} = 2$ Ом. Визначити падіння напруги у джерелі живлення якщо опір навантаження $R_{\text{нВ}} = 6$ Ом. 	1. 0, 2. 30 В, 3. 90 В, 4. 15 В.
3	 В електричному колі постійного струму $E = 120$ В, $R = 60$ Ом. Визначити показання амперметра PA і вольтметра PV при замкнених вимикачах SA1, SA2, SA3, SA4, SA5, SA6.	1. $PA = \frac{1}{3}$ А, $PV = 120$ В, 2. $PA = \frac{1}{3}$ А, $PV = 20$ В, 3. $PA = 2$ А, $PV = 20$ В, 4. $PA = 12$ А, $PV = 120$ В.
4	 Визначити струм I_3, якщо $R_2 = 4$ Ом, $R_3 = 1$ Ом, $I_2 = 4$ А.	1. 1 А, 2. 2 А, 3. 4 А, 4. 16 А.

Тест № 9

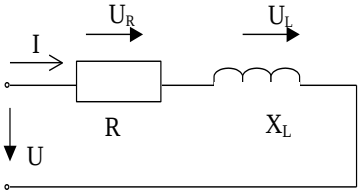
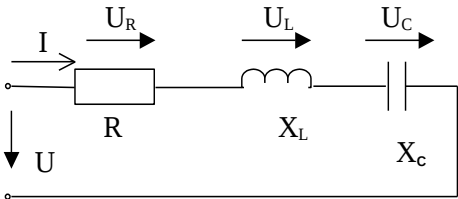
№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка одиниця вимірювання електричної потужності та її позначення?	1. Ампер [А] 2. Ватт [Вт] 3. Джоуль [Дж] 4. Кулон [Кл]
2	 В електричному колі ЕРС джерела живлення $E = 120 \text{ В}$, а внутрішній опір $R_{\text{вт}} = 2 \text{ Ом}$. Визначити падіння напруги у джерелі живлення якщо опір навантаження $R_{\text{нв}} = 8 \text{ Ом}$.	1. 120 В, 2. 15 В, 3. 24 В, 4. 0.
3	 В електричному колі постійного струму $E = 120 \text{ В}$, $R = 60 \text{ Ом}$. Визначити показання амперметра ПА і вольтметра PV при замкненому вимикачі SA1 і розімкненій решті вимикачів.	1. PA = 2 А, PV = 60 В, 2. PA = 0 А, PV = 0 В, 3. PA = 2 А, PV = 0 В, 4. PA = 10 А, PV = 60 В.
4	 Визначити струм I_1, якщо $R_2 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = 1 \text{ Ом}$, $I_2 = 4 \text{ А}$.	1. 6 А, 2. 8 А, 3. 12 А, 4. 10 А.

Тест № 10

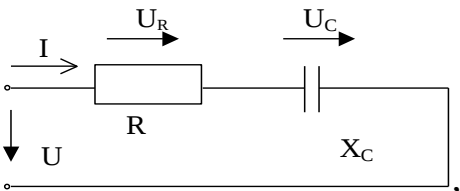
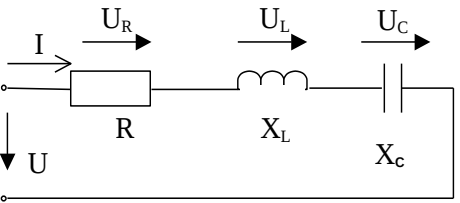
№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яке позначення напруги та назва її одиниці вимірювання?	1. E [Вольт], 2. U [Вольт], 3. W [Джоуль], 4. Q [Кулон].
2	 В електричному колі ЕРС джерела живлення $E = 120 \text{ В}$, а внутрішній опір $R_{\text{вт}} = 2 \text{ Ом}$. Визначити падіння напруги у джерелі живлення якщо опір навантаження $R_{\text{нв}} = 18 \text{ Ом}$.	1. 120 В, 2. 0, 3. 6 В, 4. 12 В.
3	 В електричному колі постійного струму $E = 120 \text{ В}$, $R = 60 \text{ Ом}$. Визначити показання амперметра PA і вольтметра PV при замкнених вимикачах SA1, SA2, SA3, SA4 і розімкненій решті вимикачів.	1. PA = 8 А, PV = 0 В, 2. PA = 8 А, PV = 120 В, 3. PA = 0,5 А, PV = 30 В, 4. PA = 0,5 А, PV = 0 В.
4	 Визначити струм I_3, якщо $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $I_2 = 4 \text{ А}$, напруга на резисторі R_1 складає $U_1 = 12 \text{ В}$.	1. 4 А, 2. 6 А, 3. 2 А, 4. 8 А.

**Приклади тестових завдань для проведення контролю
засвоєння професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки
з розділу «Електричні кола синусоїдного струму»**

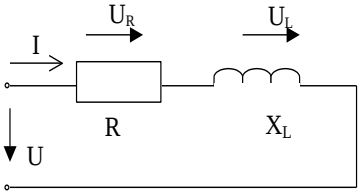
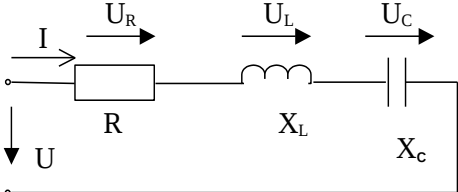
Тест № 1

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка величина визначається співвідношенням $R \cdot I = \dots$ у колі синусоїдного струму?	1. Активна потужність 2. Реактивна потужність 3. Напруга на реактивному опорі 4. Напруга на активному опорі
2	Визначити початкову фазу, період змінення та діюче значення струму, що змінюється за законом $i = 8,46 \sin(628t + 45^\circ)$ А	1. 45° ; 0,01с; 6 А 2. 45° ; 0,01с; 8,46 А 3. 45° ; 628с; 8,46 А 4. 45° ; 628с; 6 А
3	 Визначити повну потужність S, якщо $U_R = 60$ В, $U_L = 80$ В, $Q_L = 1,6$ квар.	1. 2,8 кВ·А 2. 2,0 кВ·А 3. 1,0 кВ·А 4. 1,4 кВ·А
4	 Визначити активний опір R, якщо $U_R = 32$ В, реактивна потужність $Q = 96$ вар, ємнісний опір $X_C = 2$ Ом, індуктивна потужність $Q_L = 128$ вар.	1. 4 Ом 2. -4 Ом 3. 8 Ом 4. 6 Ом

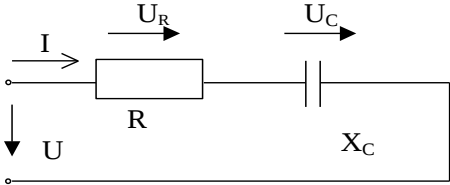
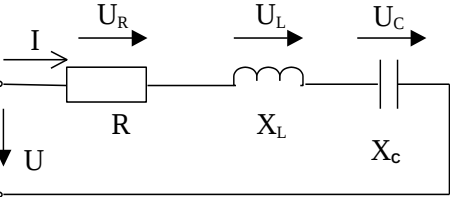
Тест № 2

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка одиниця вимірювання частоти синусоїдної напруги та її позначення?	1. Генрі [Гн] 2. Радіан [рад] 3. Кулон [Кл] 4. Герц [Гц]
2	Визначити початкову фазу, період змінення та діюче значення струму, що змінюється за законом $i = 35,25 \sin(314t - 45^\circ)$ А	1. -45° ; 0,02с; 35,25 А 2. -45° ; 0,02с; 25 А 3. -45° ; 314с; 35,25 А 4. -45° ; 314с; 25 А
3	 Визначити повний опір Z, якщо $U_R = 60$ В, $U_C = 80$ В, ємнісна потужність $Q_C = 1600$ вар.	1. 5 Ом 2. 4 Ом 3. 3 Ом 4. 50 Ом
4	 Визначити повну потужність S, якщо $U_R = 15$ В, $I = 5$ А, $U_L = 20$ В, ємнісна потужність $Q_C = 200$ вар.	1. 100 ВА 2. 125 ВА 3. 75 ВА 4. 175 ВА

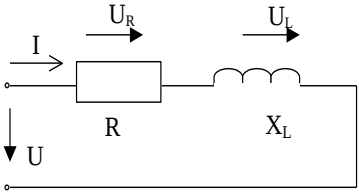
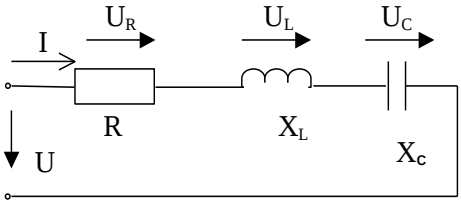
Тест № 3

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка одиниця вимірювання періоду синусоїдного струму та її позначення?	1. Радіан [рад] 2. Секунда [с] 3. Герц [Гц] 4. Кулон [Кл]
2	Визначити початкову фазу, період змінення та діюче значення струму, що змінюється за законом $i = 49,35 \sin(471t + 75^\circ)$ А	1. 75° ; 0,013с; 49,35 А 2. 75° ; 471с; 35 А 3. 75° ; 0,013с; 35 А 4. 75° ; 471с; 49,35 А
3	 Визначити індуктивний опір X_L, якщо $U = 200$ В, $U_R = 160$ В, $I = 4$ А.	1. 10 Ом 2. 20 Ом 3. 30 Ом 4. 40 Ом
4	 Визначити напругу U, якщо $U_R = 16$ В, $U_C = 4$ В, активна потужність $P = 32$ Вт, індуктивна потужність $Q_L = 8$ вар.	1. 20 В 2. 28 В 3. 12 В 4. 16 В

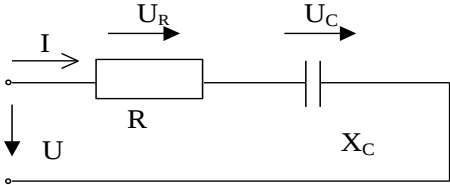
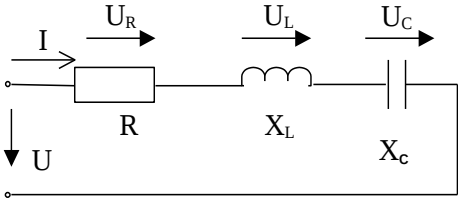
Тест № 4

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка одиниця вимірювання кутової частоти синусоїдної напруги та її позначення?	1. Радіан/сек [рад/с] 2. Радіан [рад] 3. Кулон [Кл] 4. Герц [Гц]
2	Визначити початкову фазу, період змінення та діюче значення струму, що змінюється за законом $i = 63,45 \sin(157t + 60^\circ) \text{ A}$	1. 60° ; 0,04с; 63,45 А 2. 60° ; 0,04с; 45 А 3. 60° ; 157с; 63,45 А 4. 60° ; 157с; 45 А
3	 Визначити ємнісну потужність Q_C, якщо $U = 200 \text{ В}$, $U_R = 160 \text{ В}$, $I = 4 \text{ А}$.	1. 160 вар 2. 320 вар 3. 480 вар 4. 240 вар
4	 Визначити реактивний опір X, якщо $U_L = 16 \text{ В}$, $I = 4 \text{ А}$, ємнісна потужність $Q_C = 128 \text{ вар}$.	1. 4 Ом 2. -4 Ом 3. 6 Ом 4. -8 Ом

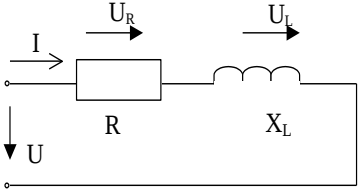
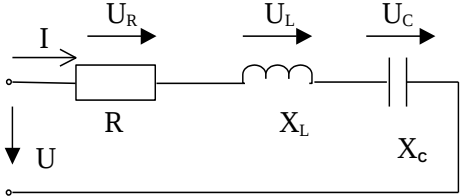
Тест № 5

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка одиниця вимірювання фази синусоїдної напруги та її позначення?	1. Кулон [Кл] 2. Радіан/сек [рад/с] 3. Герц [Гц] 4. Радіан [рад]
2	Визначити початкову фазу, період змінення та діюче значення струму, що змінюється за законом $i = 9,87 \sin(62,8t - 60^\circ) \text{ A}$	1. -60° ; 62,8с; 7 А 2. -60° ; 0,1с; 7 А 3. -60° ; 62,8с; 9,87 А 4. -60° ; 0,1с; 9,87 А
3	 Визначити повний опір Z, якщо $U_R = 40 \text{ В}$, активна потужність $P = 80 \text{ Вт}$, повна потужність $S = 100 \text{ ВА}$.	1. 30 Ом 2. 20 Ом 3. 15 Ом 4. 25 Ом
4	 Визначити повну потужність S, якщо $U_R = 16 \text{ В}$, $U_L = 16 \text{ В}$, індуктивна потужність $Q_L = 32 \text{ вар}$, ємнісна потужність $Q_C = 8 \text{ вар}$.	1. 32 ВА 2. 48 ВА 3. 40 ВА 4. 20 ВА

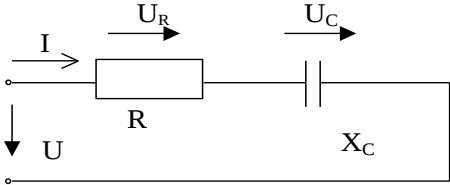
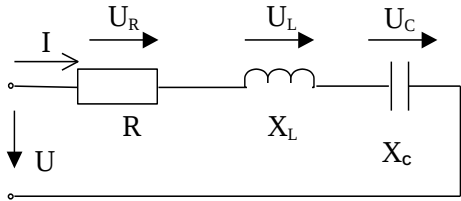
Тест № 6

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка одиниця вимірювання повної потужності електричного кола синусоїдного струму та її позначення?	1 Ват [Вт] 2 Вольт-ампер [$B \cdot A$] 3. Вольт-ампер реактивний [вар] 4. Джоуль [Дж]
2	Визначити початкову фазу, період змінення та діюче значення струму, що змінюється за законом $i = 15,51 \sin(785t - 90^\circ)$ А	1. -90° ; 0,008с; 15,51 А 2. -90° ; 785с; 11 А 3. -90° ; 785с; 15,51 А 4. -90° ; 0,008с; 11 А
3	 Визначити напругу U, якщо $U_R = 40$ В, активна потужність $P = 80$ Вт, повна потужність $S = 100$ ВА.	1. 50 В 2. 60 В 3. 80 В 4. 40 В
4	 Визначити напругу U, якщо $I = 4$ А, $U_C = 16$ В, активна потужність $P = 48$ Вт, індуктивна потужність $Q_L = 128$ вар.	1. 20 В 2. 28 В 3. 12 В 4. 16 В

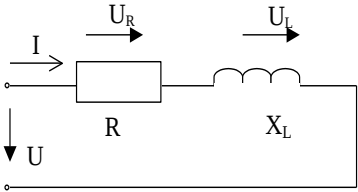
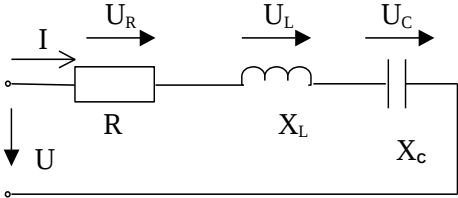
Тест № 7

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка одиниця вимірювання активної потужності електричного кола синусоїдного струму та її позначення?	1. Вольт-ампер реактивний [вар] 2. Вольт-ампер [ВА] 3. Ват [Вт] 4. Джоуль [Дж]
2	Визначити початкову фазу, період змінення та діюче значення струму, що змінюється за законом $i = 19,74 \sin(15,7t - 120^\circ) \text{ A}$	1. -120° ; 15,7с; 14 А 2. -120° ; 15,7с; 19,74 А 3. -120° ; 0,4с; 19,74 А 4. -120° ; 0,4с; 14 А
3	 Визначити індуктивний опір X_L, якщо $U_R = 40 \text{ В}$, активна потужність $P = 80 \text{ Вт}$, повна потужність $S = 100 \text{ ВА}$.	1. 5 Ом 2. 25 Ом 3. 20 Ом 4. 15 Ом
4	 Визначити реактивний опір X, якщо $I = 4 \text{ А}$, індуктивна потужність $Q_L = 64 \text{ вар}$, ємнісна потужність $Q_C = 128 \text{ вар}$.	1. 12 Ом 2. 8,9 Ом 3. -4 Ом 4. 4 Ом

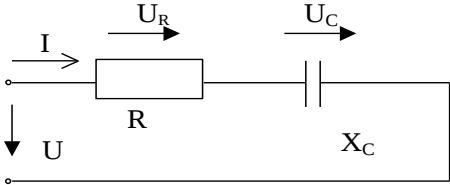
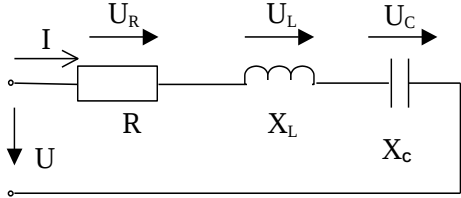
Тест № 8

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Яка одиниця вимірювання реактивної потужності електричного кола синусоїдного струму та її позначення?	1. Вольт-ампер реактивний [вар] 2. Вольт-ампер [$B \cdot A$] 3. Ват [Вт] 4. Джоуль [Дж]
2	Визначити початкову фазу, період змінення та діюче значення струму, що змінюється за законом $i = 8,46 \sin(31,4t - 25^\circ)$ А	1. -25° ; 0,2с; 6 А 2. -25° ; 0,2с; 8,46 А 3. -25° ; 31,4с; 8,46 А 4. -25° ; 31,4с; 6 А
3	 Визначити ємнісну напругу U_C, якщо $U_R = 40$ В, активна потужність $P = 80$ Вт, повна потужність $S = 100$ ВА.	1. 20 В 2. 30 В 3. 40 В 4. 50 В
4	 Визначити індуктивний опір X_L, якщо $U_R = 8$ В, $U_L = 8$ В, $U_C = 2$ В, повна потужність $S = 10$ ВА.	1. 2 Ом 2. 4 Ом 3. 6 Ом 4. 8 Ом

Тест № 9

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Як позначається повна потужність електричного кола синусоїдного струму?	1. Q 2. P 3. S 4. T
2	Визначити початкову фазу, період змінення та діюче значення струму, що змінюється за законом $i = 35,25 \sin(62,8t - 35^\circ) \text{ A}$	1. -35° ; 0,1с; 25 А 2. -35° ; 0,1с; 35,25 А 3. -35° ; 62,8с; 35,25 А 4. -35° ; 62,8; 25 А
3	 Визначити повну потужність S, якщо $I = 20 \text{ A}$, $U_R = 120 \text{ В}$, індуктивна потужність 3,2 квар.	1. 5,6 кВ·А 2. 2,0 кВ·А 3. 4,0 кВ·А 4. 4,8 кВ·А
4	 Визначити напругу U_R, якщо $I = 4 \text{ A}$, $U_L = 32 \text{ В}$, ємнісна потужність $Q_C = 64 \text{ вар}$, повна потужність $S = 80 \text{ ВА}$.	1. 12 В 2. 15 В 3. 16 В 4. 20 В

Тест № 10

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Як позначається активна потужність в електричних колах синусоїдного струму?	1. Q 2. P 3. S 4. T
2	Визначити початкову фазу, період змінення та діюче значення струму, що змінюється за законом $i = 11,28 \sin(94,2t + 40^\circ) \text{ A}$	1. 40° ; 0,067с; 8 А 2. 40° ; 0,067с; 11,28 А 3. 40° ; 94,2с; 11,28 А 4. 40° ; 94,2с; 8 А
3	 Визначити напругу U, якщо $U_R = 120 \text{ В}$, $I = 20 \text{ А}$, ємнісна потужність $Q_C = 3200 \text{ вар}$.	1. 200 В 2. 280 В 3. 40 В 4. 140 В
4	 Визначити реактивну потужність Q, якщо $U_R = 16 \text{ В}$, активна потужність $P = 32 \text{ Вт}$, індуктивна потужність $Q_L = 8 \text{ вар}$, ємнісний опір $X_C = 8 \text{ Ом}$.	1. 32 вар 2. - 24 вар 3. 8 вар 4. 16 вар

**Приклади тестових завдань для проведення контролю
засвоєння професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки
з розділу «Вимірювання параметрів і режимів роботи електрорадіокіл»**

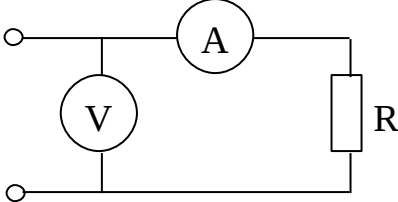
Тест № 1

№ з/п	Запитання	Відповіді
1	За якою формулою можна визначити опір додаткового резистора?	$R_{\partial} = R_V \left(1 - \frac{U_H}{U_V} \right)$ 1. $R_{\partial} = (R_V - 1) \frac{U_H}{U_V}$ 2. $R_{\partial} = R_V \left(\frac{U_V}{U_H} - 1 \right)$ 3. $R_{\partial} = R_V \left(\frac{U_H}{U_V} - 1 \right)$ 4.
2	Який повинен бути опір шунта, щоб магнітоелектричний вольтметр на 1,5 В з внутрішнім опором 150 Ом можна було застосувати для вимірювання струму 2 А.	1. 0,754 Ом 2. 0,825 Ом 3. 0,915 Ом 4. 1,06 Ом
3	До мілівольтметра на 20 мВ, з внутрішнім опором 100 Ом, підключили додатковий резистор з опором 5 кОм. Визначити нову границю вимірювання приладу.	1. 0,25 В 2. 0,5 В 3. 1,0 В 4. 1,5 В
4	На напругу 200 В підключено з'єднані послідовно між собою два вольтметри з внутрішніми опорами 50 кОм і 30 кОм. Визначити покази кожного вольтметра.	1. 110 В, 90 В 2. 125 В, 75 В 3. 130 В, 70 В 4. 145 В, 55 В

Тест № 2

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Виготовлення шунтів з чотирма затискачами дозволяє виключити вплив на результат вимірювання:	1. Температури середовища 2. Частоти 3. Опору контактів 4. Опору ізоляції
2	Який найбільший струм можна буде виміряти амперметром на 0,5 А з опором 0,2 Ом, якщо до нього підключити шунт з опором 0,05 Ом?	1. 1,5 А 2. 2 А 3. 2,5 А 4. 3 А
3	До вольтметра з опором 30 кОм підключили резистор з опором 90 кОм. В результаті границя вимірювання приладу збільшилась до 600 В. Яку границю вимірювання мав прилад без додаткового резистора?	1. 50 В 2. 75 В 3. 100 В 4. 150 В
4	Фазометр з границею вимірювання 90° і класом точності 2,5 показав 40° . Визначити відносну і абсолютну похибки вимірювання.	1. 1,7 %, $1,45^\circ$ 2. 2,5 %, $1,5^\circ$ 3. 4,2 %, $1,28^\circ$ 4. 5,6 %, $2,25^\circ$

Тест № 3

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	За якою формулою визначається коефіцієнт шунтування?	1. $\frac{I}{I_H}$ 2. $\frac{I_H}{I}$ 3. $\frac{I_H}{I_H}$ 4. $\frac{I}{I_H}$
2	Вимірювальний механізм магнітоелектричної системи з опором рамки $R_P = 1000 \text{ Ом}$ та $\alpha = 100$ поділок має чутливість за струмом $S_I = 2 \text{ под/мкА}$. Визначити опір шунта, якщо приладом необхідно вимірювати струм $0,5 \text{ А}$.	1. $0,01 \text{ Ом}$ 2. $0,02 \text{ Ом}$ 3. $0,1 \text{ Ом}$ 4. $0,15 \text{ Ом}$
3	Визначити відносну методичну похибку вимірювання потужності, якщо покази приладів $I = 4 \text{ А}$, $U = 80,4 \text{ В}$, опір навантаження $R = 20 \text{ Ом}$. 	1. $0,2 \%$ 2. $0,5 \%$ 3. $0,7 \%$ 4. $0,8 \%$
4	Границю вимірювання вольтметра постійного струму 100 В додатковим резистором розширено до 350 В . Визначити опір R_d , якщо власне споживання приладу до розширення границі вимірювання $P = 2 \text{ Вт}$.	1. $10,8 \text{ кОм}$ 2. $11,3 \text{ кОм}$ 3. $12,5 \text{ кОм}$ 4. $13,9 \text{ кОм}$

Тест № 4

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	По якій величині розширює границю вимірювання додатковий резистор?	1. Струм 2. Напруга 3. Потужність 4. Опір
2	Вимірювальний механізм характеризується такими номінальними величинами: $I_H = 7,5 \text{ мА}$, $U_H = 0,06 \text{ В}$. Чому повинен дорівнювати опір шунта, щоб границя вимірювання за струмом збільшилась у 40 раз?	1. 0,025 Ом 2. 0,205 Ом 3. 0,355 Ом 4. 0,525 Ом
3	Визначити опір додаткового резистора, який необхідно підключити до міліамперметра на 10 мА з внутрішнім опором 28 Ом, щоб ним можна було вимірювати напругу до 14 В.	1. 1158 Ом 2. 1261 Ом 3. 1372 Ом 4. 1488 Ом
4	Визначити відносну похибку вимірювання частоти 270 Гц частотометром з границею вимірювання 400 Гц класом точності 0,5.	1. 0,25 % 2. 0,74 % 3. 1,5 % 4. 1,7 %

Тест № 5

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	За якою формулою визначається опір шунта?	$R_{ш} = \left(\frac{I}{I_A} - 1 \right) \cdot R_A$ 1. $R_{ш} = \left(\frac{I}{I_A} - 1 \right) \cdot \frac{1}{R_A}$ 2. $R_{ш} = \frac{R_A}{\frac{I}{I_A} - 1}$ 3. $R_{ш} = R_A \left(\frac{I}{I_A} - I \right)$ 4.
2	Визначити опір додаткового резистора, необхідного для створення вольтметра на 100 В на основі вимірювального механізму з внутрішнім опором 100 Ом і границею вимірювання 1 В.	1. 10,5 кОм 2. 10 кОм 3. 1,9 кОм 4. 9,9 кОм
3	Чому дорівнює опір шунта, який підключено до міліамперметра зі струмом повного відхилення 750 мА, якщо необхідно отримати амперметр з границею вимірювання 30 А? Опір міліамперметра 0,5 Ом.	1. $10,5 \cdot 10^{-3}$ Ом 2. $12,8 \cdot 10^{-3}$ Ом 3. $12,3 \cdot 10^{-3}$ Ом 4. $13,8 \cdot 10^{-3}$ Ом
4	Ватметр з границями вимірювання 2 А і 300 В показав 35 поділок. Визначити виміряну потужність, якщо шкала ватметра містить 150 поділок.	1. 70 Вт 2. 75 Вт 3. 110 Вт 4. 140 Вт

Тест № 6

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	На яку найбільшу напругу розраховані внутрішні додаткові резистори?	1. 380 В 2. 600 В 3. 1000 В 4. 1500 В
2	До амперметра з внутрішнім опором 1,14 Ом підключили шунт з опором 0,06 Ом, після чого границя вимірювання приладу збільшилась до 5 А. Визначити границю вимірювання приладу без шунта.	1. 0,1 А 2. 0,15 А 3. 0,2 А 4. 0,25 А
3	Вольтметр з границею вимірювання $U_H = 30$ мВ і струмом повного відхилення 2 мА після підключення до нього додаткового резистора дозволяє вимірювати напругу до 75 В. Знайти опір додаткового резистора.	1. 27366 Ом 2. 37485 Ом 3. 49950 Ом 4. 50250 Ом
4	Яку найменшу потужність можна виміряти ватметром з границями вимірювання 10 А; 450 В і класом точності 0,5, щоб відносна похибка вимірювання не перевищувала 2%?	1. 1125 Вт 2. 1272 Вт 3. 1348 Вт 4. 1436 Вт

Тест № 7

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	Зростання якої похибки не дозволяє використовувати шунти для вимірювання великих струмів в колах змінного струму?	1. Частотна 2. Теплова 3. Випадкова 4. Додаткова
2	Магнітоелектричний вимірювальний механізм з внутрішнім опором 2 Ом має шкалу на 100 поділок і чутливість за струмом 2,5 под/мА. Визначити нову границю вимірювання приладу при підключенні до нього шунта з опором 0,15 Ом.	1. 655 мА 2. 750 мА 3. 845 мА 4. 920 мА
3	Для вимірювання невідомого опору послідовно з ним включили вольтметр з опором 20 кОм, який показав 60 В. При закорочуванні невідомого опору вольтметр показав 231 В. Чому дорівнює невідомий опір?	1. 49 кОм 2. 52 кОм 3. 57 кОм 4. 75 кОм
4	Знайти найбільшу відносну похибку вимірювання потужності $P = 20$ Вт ватметром класу точності 0,5 з границями вимірювання по струму і напрузі 0,2 А і 300 В.	1. 1,0% 2. 1,5% 3. 2,0% 4. 3,0%

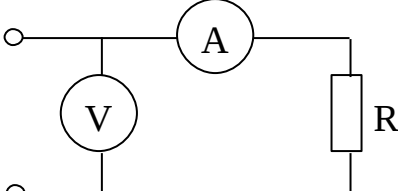
Тест № 8

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	За якою величиною розширюють границю вимірювання приладу за допомогою додаткового резистора?	1. Струм 2. Напруга 3. Потужність 4. Частота
2	Струм повного відхилення мілівольтметра на 150 мВ дорівнює 0,12 мА. Визначити опір шунта для отримання міліамперметра на 75 мА.	1. 0,1 Ом 2. 0,5 Ом 3. 2 Ом 4. 5 Ом
3	Магнітоелектричний вимірювальний механізм на 50 мА, з внутрішнім опором 12 Ом необхідно застосувати для вимірювання струму 2 А. Чому буде дорівнювати опір шунта?	1. 0,205 Ом 2. 0,308 Ом 3. 0,404 Ом 4. 0,501 Ом
4.	При вимірюванні потужності ватметром на 5 А і 150 В класу точності 0,5 зі шкалою на 150 поділок стрілка приладу відхилилася на 60 поділок. Визначити верхню границю дійсного значення вимірюної потужності.	1. 303,75 Вт 2. 305,25 Вт 3. 455,50 Вт 4. 600, 55 Вт

Тест № 9

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	За якою формулою можна визначити опір додаткового резистора?	$R_{\partial} = R_V \left(1 - \frac{U_H}{U_V} \right)$ 1. $R_{\partial} = (R_V - 1) \frac{U_H}{U_V}$ 2. $R_{\partial} = R_V \left(\frac{U_V}{U_H} - 1 \right)$ 3. $R_{\partial} = R_V \left(\frac{U_H}{U_V} - 1 \right)$ 4.
2	Який повинен бути опір шунта, щоб магнітоелектричний вольтметр на 2 В з внутрішнім опором 400 Ом можна було застосувати для вимірювання струму 3 А.	1. 0,668 Ом 2. 0,525 Ом 3. 0,415 Ом 4. 0,306 Ом
3	До мілівольтметра на 50 мВ, з внутрішнім опором 200 Ом, підключили додатковий резистор з опором 3,8 кОм. Визначити нову границю вимірювання приладу.	1. 0,5 В 2. 1,0 В 3. 1,5 В 4. 2,0 В
4	На напругу 400 В підключено з'єднані послідовно між собою два вольтметри з внутрішніми опорами 90 кОм і 110 кОм. Визначити покази кожного вольтметра.	1. 110 В, 290 В 2. 125 В, 275 В 3. 180 В, 220 В 4. 145 В, 255 В

Тест № 10

№ з/П	Запитання	Відповіді
1	За якою формулою визначається коефіцієнт шунтування?	$\frac{I}{I_H}$ $\frac{I_H}{I}$ $\frac{I_H}{I_H}$ $\frac{I}{I_H}$ $\frac{I}{I_H}$ $\frac{I_H}{I}$
2	Вимірювальний механізм магнітоелектричної системи з опором рамки $R_p = 1000 \text{ Ом}$ та $\alpha_m = 200$ поділок має чутливість за струмом $S_I = 2$ под/мкА. Визначити опір шунта, якщо приладом необхідно вимірювати струм $0,5 \text{ А}$.	1. $0,05 \text{ Ом}$ 2. $0,15 \text{ Ом}$ 3. $0,2 \text{ Ом}$ 4. $0,25 \text{ Ом}$
3	Визначити відносну методичну похибку вимірювання потужності, якщо покази приладів $I = 5 \text{ А}$, $U = 115 \text{ В}$, опір навантаження $R = 21 \text{ Ом}$. 	1. $2,3 \%$ 2. $5,2 \%$ 3. $8,7 \%$ 4. $9,5 \%$
4	Границю вимірювання вольтметра постійного струму на 20 В додатковим резистором розширено до 250 В . Визначити опір R_d , якщо власне споживання приладу до розширення границі вимірювання $P = 0,2 \text{ Вт}$.	1. 20 кОм 2. 25 кОм 3. 30 кОм 4. 35 кОм

Додаток В

Завдання до теми «Закони електротехніки»

(варіанти 1-25)

В колі постійного струму (рис. В.1) задані величини опорів R_1 , R_2 , R_3 , R_4 та потужність P , яка вимірюється ватметром (табл. Д.3). Визначити струми у вітках схеми і напругу джерела живлення. Перевірити баланс потужностей.

(варіанти 26-50)

В колі постійного струму (рис. В.2) задані величини опорів R_1 , R_2 , напруга джерела живлення U та потужність P , яка вимірюється ватметром (табл. В.1). Визначити струми у вітках схеми і опір R_3 . Перевірити баланс потужностей.

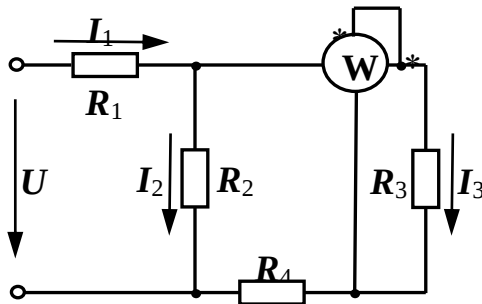


Рис. В.1

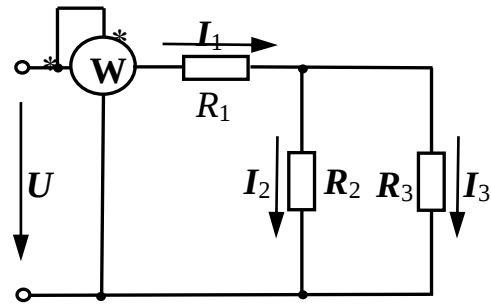


Рис. В.2

Таблиця В.1

Варіант	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$R_4, \text{Ом}$	$P, \text{Вт}$
00	5	10	4	6	16
01	2	5	8	12	32
02	2	8	4	4	64
03	1	8	8	8	128
04	2	6	4	2	144
05	1	6	8	4	288
06	1	12	5	1	320
07	1	12	10	2	640
08	1	8	5	3	500
09	1	8	10	6	1000
10	1	4	5	3	720
11	2	6	10	2	1440
12	2	10	4	1	900
13	2	10	8	2	1800
14	2	12	3	1	1200
15	2	10	4	1	1600
16	2	8	5	12	320

Продовж. табл. В.1

Варіант	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$R_4, \text{Ом}$	$P, \text{Вт}$
17	1	11	10	1	640
18	2	10	5	2	500
19	2	10	10	3	1000
20	1	8	5	3	500
21	2	10	5	5	320
22	2	10	4	6	64
23	1	8	8	2	32
24	2	5	10	10	640
25	2	5	8	2	128

Таблиця В.2

Варіант	$U, \text{В}$	$P, \text{Вт}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$
26	100	200	20	40
27	120	250	30	50
28	100	400	10	30
29	120	300	15	40
30	100	250	25	25
31	120	400	20	30
32	100	125	50	40
33	120	360	10	50
34	100	100	60	50
35	120	240	40	30
36	100	250	30	50
37	120	240	20	40
38	100	300	15	30
39	120	480	10	30
40	100	450	40	20
41	120	240	20	60
42	100	300	20	40
43	120	360	20	50
44	100	200	40	20
45	120	600	30	60
46	100	400	15	40
47	120	240	25	25
48	100	300	50	40
49	120	360	60	50
50	100	500	30	50

Завдання до теми «Електричні кола постійного струму»

Для електричного кола постійного струму, схема якого приведена на рис. Д.1, зобразити, у відповідності до таблиці варіантів, схему заміщення разом з джерелом ЕРС, яке включено послідовно з опором, вказаним в табл. Д.1, з додатнім напрямленням ЕРС від першого індексу до другого.

Визначити методом перетворень струми у всіх вітках, напругу U_{ac} , перевірити баланс потужностей.

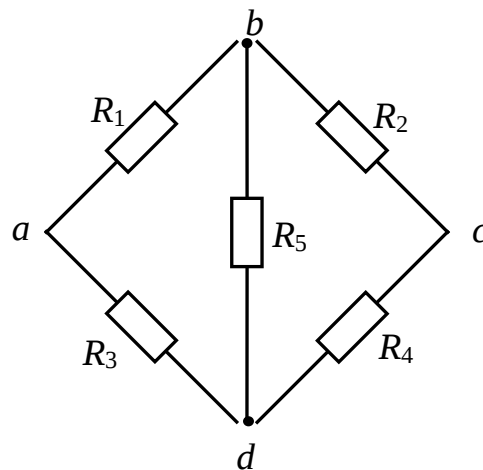


Рис. Д.1

Таблиця Д.1

Варіант	E , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	Вітка с ЕРС
00	36	7	4	5	2	2	bd
01	60	2	3	10	6	4	dc
02	100	3	4	5	8	7	ad
03	36	4	3	8	2	10	da
04	220	3	4	15	25	10	ab
05	24	4	5	3	2	6	bc
06	60	5	2	4	10	6	bd
07	36	5	1	7	5	8	dc
08	110	5	4	10	8	2	ad
09	220	6	4	10	15	25	da
10	24	8	6	2	4	4	bd
11	60	7	6	3	5	12	dc
12	110	3	2	8	7	5	ad
13	60	3	5	4	6	10	dc
14	24	5	6	2	3	5	ab

Продовж. табл. Д.1

Варіант	E , В	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	Вітка с EPC
15	110	7	4	6	8	6	<i>ba</i>
16	220	6	1	20	20	10	<i>bd</i>
17	24	1	4	5	2	3	<i>bc</i>
18	60	8	4	10	4	6	<i>ad</i>
19	60	2	3	5	8	7	<i>dc</i>
20	22	7	6	2	3	4	<i>bd</i>
21	110	7	4	20	20	10	<i>bc</i>
22	60	3	2	6	8	6	<i>dc</i>
23	36	1	6	2	3	5	<i>ad</i>
24	60	6	2	4	6	10	<i>bc</i>
25	110	2	4	8	7	5	<i>dc</i>
26	60	1	4	3	5	12	<i>ad</i>
27	24	2	6	2	4	4	<i>bc</i>
28	36	4	5	3	3	4	<i>dc</i>
29	60	3	4	10	6	4	<i>ac</i>
30	110	2	3	4	10	6	<i>ab</i>
31	220	7	3	10	8	2	<i>bc</i>
32	110	4	8	10	15	25	<i>cd</i>
33	240	5	6	4	3	3	<i>da</i>
34	60	3	5	6	4	10	<i>ba</i>
35	110	4	2	8	7	5	<i>bd</i>
36	36	6	3	2	10	8	<i>dc</i>
37	220	3	7	25	10	15	<i>cb</i>
38	24	2	6	4	2	3	<i>ad</i>
39	60	2	8	12	3	5	<i>db</i>
40	36	3	6	5	8	7	<i>ba</i>
41	110	4	5	10	4	6	<i>ad</i>
42	24	2	4	5	2	3	<i>dc</i>
43	60	3	4	6	6	8	<i>cb</i>
44	220	6	8	10	20	20	<i>ba</i>
45	24	8	6	3	5	2	<i>da</i>
46	60	4	5	6	10	4	<i>db</i>
47	36	5	6	7	3	8	<i>bc</i>
48	110	4	2	5	12	3	<i>cd</i>
49	24	3	6	4	4	2	<i>ad</i>
50	36	4	5	3	4	3	<i>ab</i>

Завдання до теми «Еквівалентні перетворення»

Для електричних кіл, схеми яких приведені на рис. Е.1, розрахувати значення параметра еквівалентного елементу. Значення параметрів складових елементів приведені в табл. Е.1.

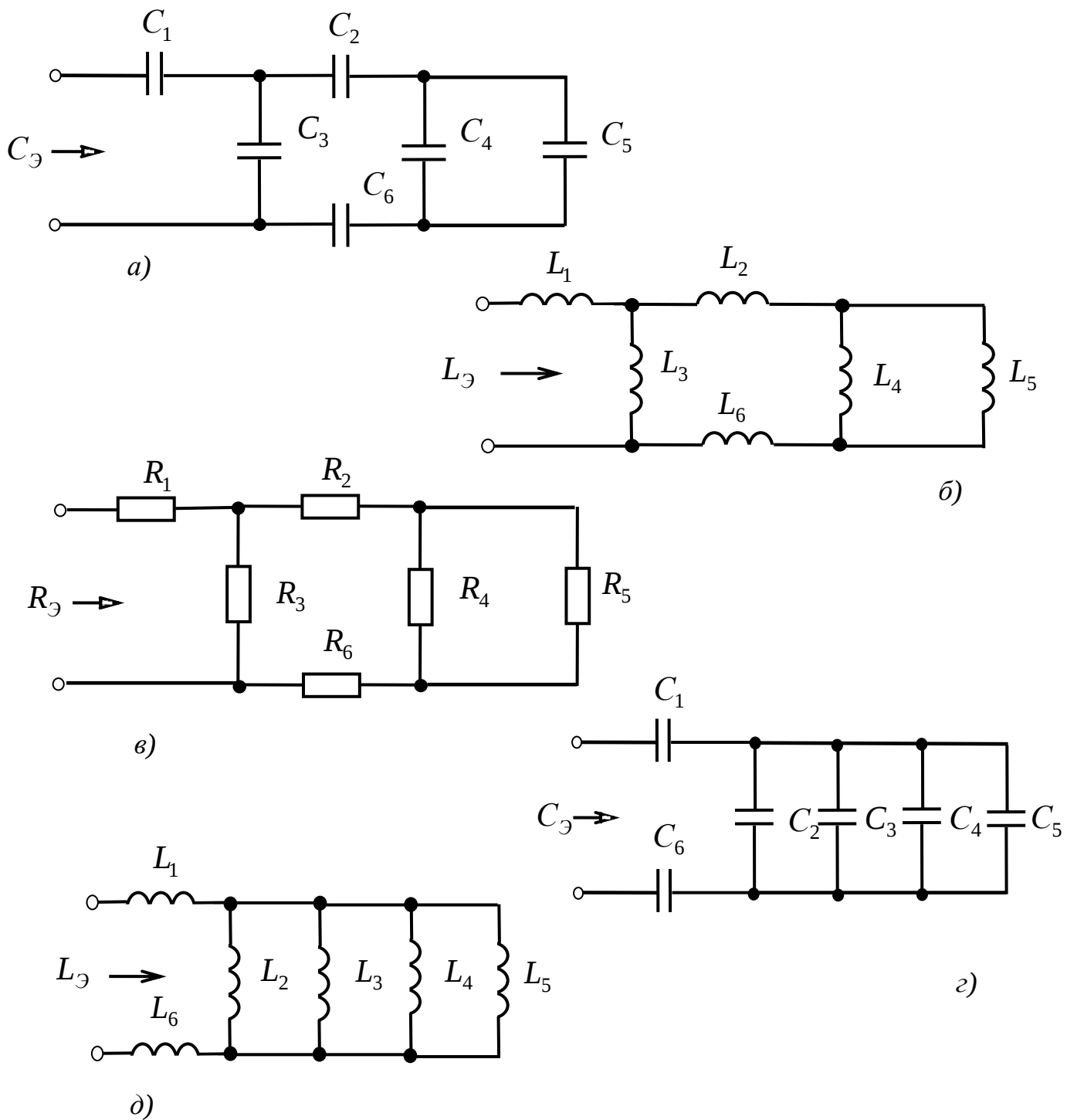


Рис. Е.1. Схеми з'єднання елементів до завдання
«Еквівалентні перетворення»

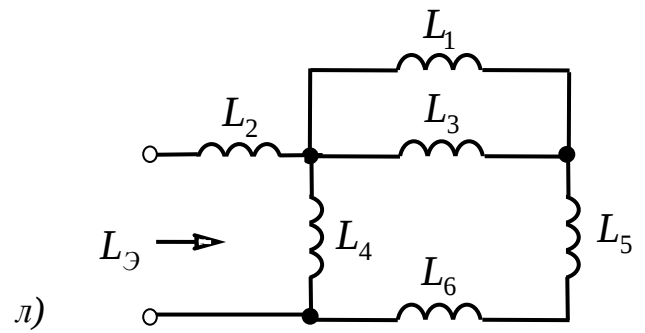
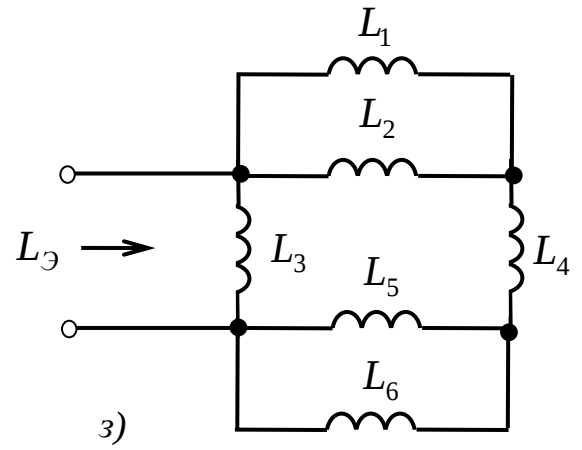
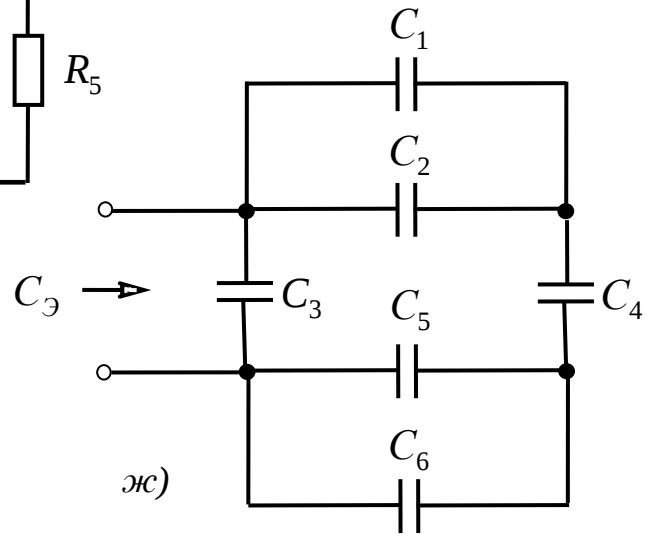
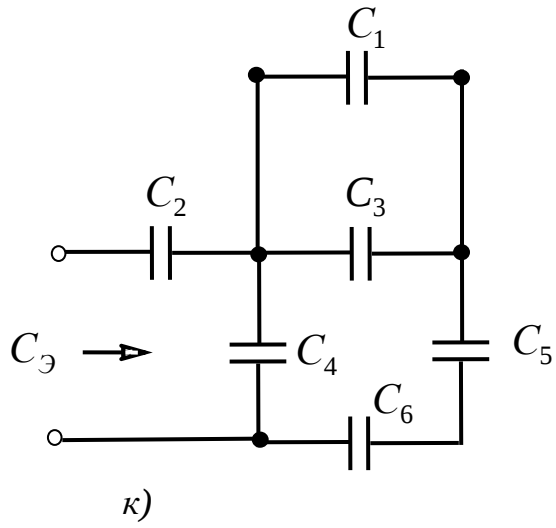
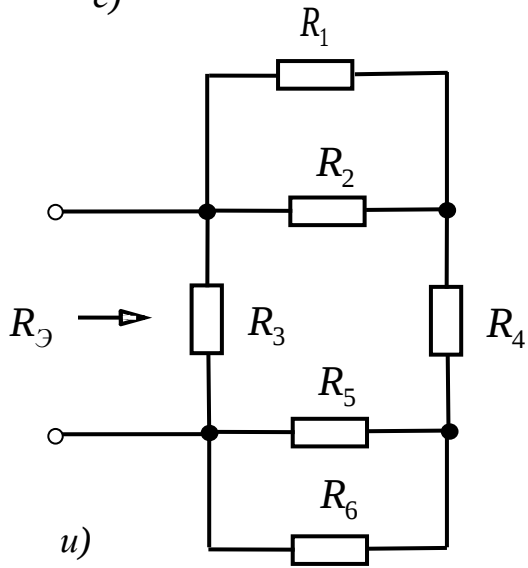
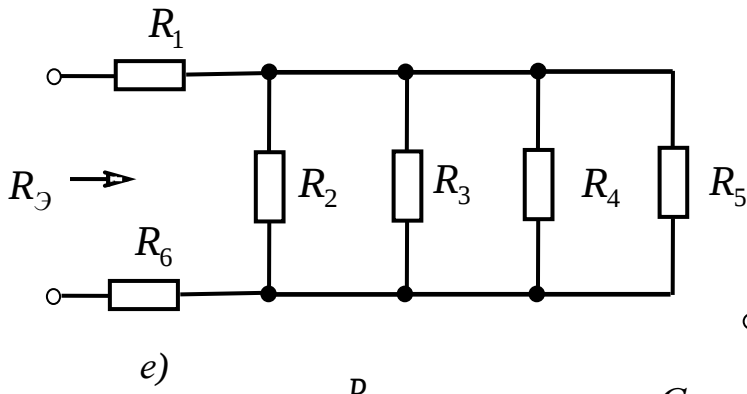


Рис. Е.1. Продолжения

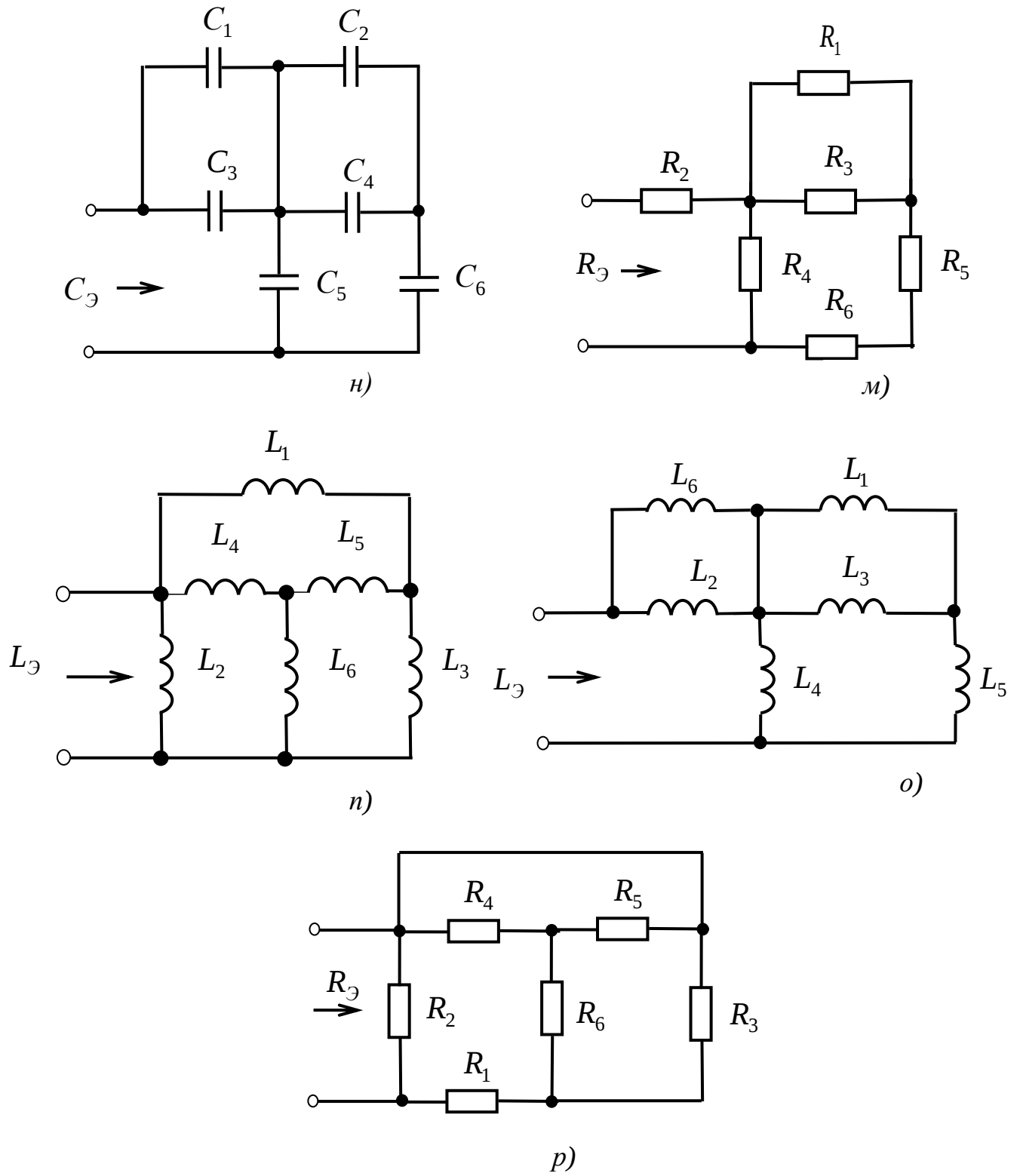


Рис. Е.1. Закінчення

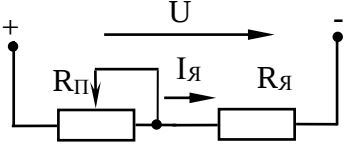
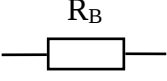
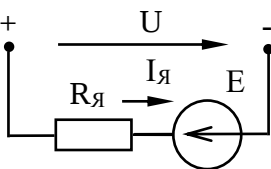
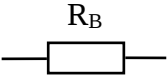
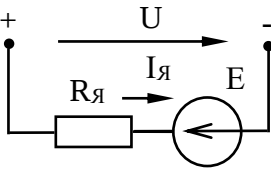
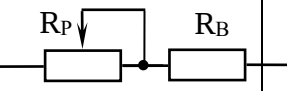
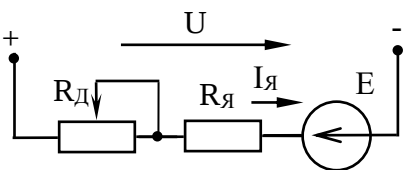
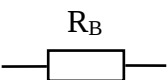
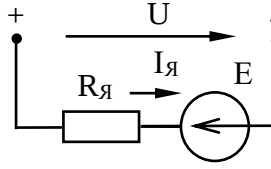
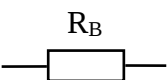
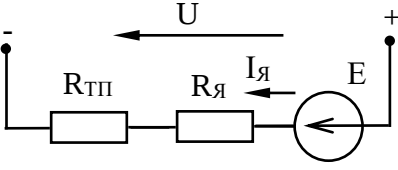
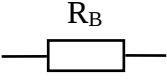
Таблиця Е.1

Варіант	Рисунок	Значення параметрів елементів віток ($Ом, Гн, мкФ$)					
		1	2	3	4	5	6
1	а	1	2	2	7	3	2
2	б	1	1	4	4	4	7
3	г	30	10	10	20	10	20
4	д	1	2	2	4	4	3
5	ж	6	6	12	9	6	6
6	з	4	4	12	8	4	4
7	к	2	2	12	8	8	8
8	л	4	4	10	6	9	1
9	н	2	4	2	4	4	8
10	о	2	2	2	2	1	1
11	в	8	8	6	4	4	2
12	е	5	1	4	4	2	4
13	и	2	6	9	6	2	6
14	м	4	6	12	6	3	6
15	п	2	2	2	4	4	4
16	р	2	2	2	3	3	3
17	а	6	1	3	2	4	6
18	б	2	8	12	4	12	1
19	г	10	3	5	2	5	30
20	д	4	12	12	12	8	6
21	ж	4	8	8	12	4	8
22	з	3	6	3	2	3	6
23	к	6	3	6	6	5	6
24	л	6	3	2	6	1	3
25	н	2	4	2	4	4	8
26	г	10	2	8	6	4	20
27	з	10	10	10	15	30	60
28	н	5	6	5	6	10	10
29	р	5	5	5	6	6	6
30	о	3	6	4	4	3	6

Топологічні складові комплексних моделей електричних машин

Таблиця Ж.1

1. Схеми заміщення двигуна постійного струму з паралельним збудженням

№ з/п	Режими роботи	Коло якоря	Коло збудження	Примітка
1	2	3	4	5
1	Пуск			
2	Номінальний			
3	Регулювання полюсне			
4	Регулювання реостатне			
5	Регулювання якірне			U - var
6	Гальмування противключенням			

Продовж. табл. Ж.1

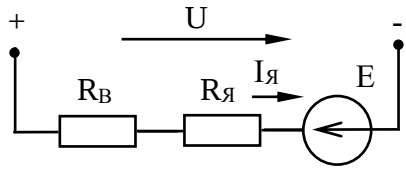
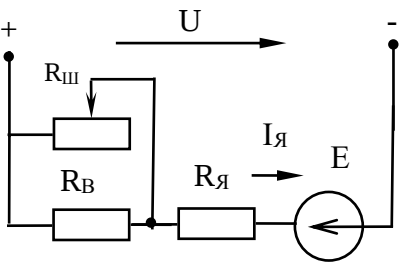
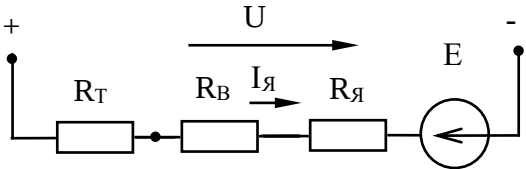
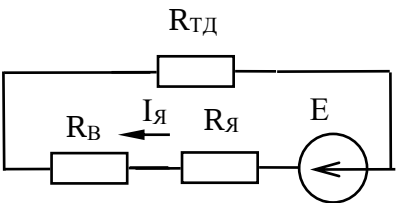
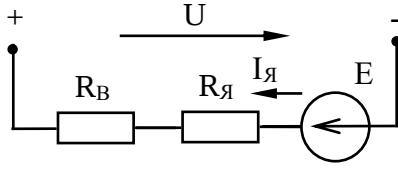
1	2	3	4	5
7	Гальмування динамічне			
8	Гальмування рекуперативне			

Таблиця Ж.2

2. Схеми заміщення двигуна постійного струму з послідовним збудженням

№ з/п	Режими роботи	Схема заміщення	Примітка
1	2	3	4
1	Пуск		
2	Номінальний		
3	Регулювання реостатне		

Продовж. табл. Ж.2

1	2	3	4
4	Регулювання напругою		U -var
5	Регулювання потоком збудження		
6	Гальмування противключенням (електромагнітне гальмо)		
7	Гальмування динамічне		
8	Гальмування рекуперативне		Додатково підключається паралельна обмотка збудження

3. Схеми заміщення асинхронного двигуна

№ з/п	Режими роботи, назва схеми	Схема заміщення	Примітка
1	2	3	4
1	Повна Т-подібна схема		
2	Г-подібна Схема		
3	Г-подібна схема (згорнута)		$X_K = X_1 + X'_2$

Базова основа системного опису електромагнітних явищ: рівняння Максвелла

Процеси в магнітних полях описуються в узагальненому вигляді рівняннями Максвелла (табл. 3.1), які витікають із законів Ампера, Фарадея та Гауса

Таблиця 3.1

Рівняння Максвелла

Інтегральна форма рівнянь	Фізична інтерпретація
$\oint_l \vec{H} d\vec{l} = \int_S \vec{j} d\vec{S}$	Вихрове магнітне поле збуджується електричним полем, яке змінюється в часі, струмами провідності і переносу, а також струмами від сторонніх джерел
$\oint_l \vec{E} d\vec{l} = \frac{d\Phi}{dt}$	Магнітне поле, яке змінюється в часі, збуджує вихрове електричне поле
$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q$	Джерела електричного поля розміщені в місцях знаходження електричних зарядів. Статичне електричне поле збуджується незмінними в часі зарядами
$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0$	Магнітне поле завжди є вихровим, а його силові лінії завжди замкнуті. Магнітне поле не має джерел силових ліній

Перше рівняння Максвелла встановлює зв'язок між магнітним полем та його джерелом – густиною $\vec{j}$ електричного струму.

Друге рівняння Максвелла встановлює зв'язок між електричним полем і змінним магнітним полем, яке його збуджує. Воно є узагальненням закону електромагнітної індукції Фарадея, згідно якому індукована ЕДС

$$e = -\frac{d\Psi}{dt},$$

де $\Psi = w\Phi$ – магнітне потокозчеплення;

w – число витків, які зчеплені з потоком Φ ;

$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S}$ – потік вектора магнітної індукції через поверхню S .

Третє рівняння Максвелла встановлює зв'язок між потоком вектора електричної індукції $\vec{D}$ через замкнуту поверхню $\vec{S}$ і сумарним зарядом q ,

що міститься в об'ємі V , який обмежений поверхнею S . Це рівняння є узагальненим законом Гауса

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q,$$

і стверджує, що джерела електричного поля знаходяться в місцях, в яких є заряди.

Четверте рівняння Максвелла встановлює оленюї дальність магнітного поля. Воно стверджує, що вектор індукції магнітного поля $\vec{B}$ не має джерел, а його силові лінії завжди замкнуті.

В загальному випадку розрахунок електромагнітних систем зводиться до рішення рівнянь Максвелла для електромагнітного поля. Рішення цих рівнянь навіть для порівняно простих електромагнітних систем вкрай складне, тому на практиці в багатьох випадках, коли в системі можна виділити окремо елементи, які зв'язані тільки з одним видом поля (електричним або магнітним), можна не займатися дослідженням електромагнітного поля. Тоді можна рішати задачу, розглядаючи систему як електричне коло, яке на відміну від електромагнітної системи описується не векторами поля $\vec{E}$, $\vec{D}$, $\vec{H}$, $\vec{B}$, а інтегральними величинами – електричною напругою U , струмом i , зарядом q і магнітним потоком Φ [133].

Електричний струм – це явище спрямованого руху носіїв електричних зарядів, а також процес зміни електричного поля у просторі.

Існують такі види електричного струму [171]:

1. Струм провідності – спрямований, упоряджений рух під дією електричного поля вільних електронів або іонів – структурних елементів провідного середовища.
2. Струм перенесення – існує в пустоті чи газах як рух заряджених частинок або тіл, які не є структурними елементами середовища,
3. Струм зміщення – має місце в діелектриках (а також у пустоті) у разі зміни в них електричного поля.. Він має дві складові: струм поляризації, що є процесом створення електричних диполів з нейтральних молекул, у напрямі дії електричного поля, яке змінюється, та струм зміщення в пустоті.
4. Молекулярний струм – обумовлений рухом елементарних електричних зарядів на орбітах атомів та власним обертанням, що виявляється намагнічуванням речовини в магнітному полі.

Отже під електричним струмом розуміють фізичну скалярну величину, що є кількісною характеристикою явища електричного струму. Її обчислюють як границю відношення заряду, що переміщується через перетин провідника за будь-який проміжок часу, до розміру цього проміжку, за умови наближення його до нуля.

Струму, як скалярній величині, приписують додатний або від'ємний знак, який визначає напрям переміщення зарядів відносно перетину, що розглядається.

Різниця потенціалів – це фізична скалярна величина, що характеризує поле взаємодії з енергетичного боку, яка чисельно дорівнює лінійному інтегралу вектора напруженості цього поля вздовж довільного шляху між двома точками в полі:

$$\varphi_A - \varphi_B = \int_A^B \vec{E}_{\text{вз}} \vec{dl} = \frac{dA_{\text{вз}}}{dq}.$$

Електрорушійна сила (ЕРС) – фізична скалярна величина, що характеризує стороннє електричне поле з енергетичного боку, або інакше – його здатність створювати в електричному полі електричний струм. Вона чисельно дорівнює лінійному інтегралу вектора напруженості стороннього електричного поля вздовж заданого шляху між двома точками в сторонньому полі:

$$e = \int_A^B \vec{E}_{\text{см}} \vec{dl} = \frac{dA_{\text{см}}}{dq}.$$

Електрична напруга – фізична скалярна величина, що характеризує сумарне електричне поле з енергетичного боку, яка чисельно дорівнює лінійному інтегралу вектора напруженості сумарного поля вздовж заданого шляху між двома точками в цьому полі:

$$u_{AB} = \int_A^B \vec{E}_{\text{сум}} \vec{dl} = \frac{dA_{\text{сум}}}{dq}.$$

Одиницею ЕРС та електричної напруги є вольт [В]. Необхідно відмітити, що електрична напруга на ділянці поля поза джерелами електричної енергії є різницею електричних потенціалів.

Якщо струму у джерелі електричної енергії немає, то його ЕРС співпадає з напругою між полюсами, яка звичайно розглядається поза джерелом.

Для напруги, як і для струму позитивний напрямок може бути вибраним довільно, але для більшості випадків його приймають співпадаючим з позитивним напрямком струму. Напруга та струм на ділянці електричного кола зв'язані між собою законом Ома:

$$u = Ri = \frac{i}{g},$$

де $R=1/g$ – опір ділянки; g – її провідність.

Якщо під дією напруги в провіднику переміщається заряд dq , то при цьому витрачається енергія

$$dW = udq = uidt.$$

Робота, яка проводиться електричним струмом за деякий інтервал часу $t_1 - t_2$:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} uidt = \int_{t_1}^{t_2} pdt,$$

де $p = \frac{dW}{dt} = u \frac{dq}{dt} = ui$ - потужність електричного кола.

Комплексні трискладові моделі основних законів електротехніки

Розробимо комплексну модель першого закону Кірхгофа для кола постійного струму.

У класичному варіанті він формулюється так: алгебраїчна сума струмів, що сходяться у вузлі електричного кола, дорівнює нулю, тобто сума струмів направлених до вузла дорівнює сумі струмів, направлених від вузла [23].

Виходячи з принципу неперервності електричного струму цей закон можна застосувати і для перетину електричного кола, під яким розуміють сукупність віток, видалення яких призводить до поділу електричного кола на дві окремі частини.

Закон, сформульований для перетину електричного кола стверджує, що алгебраїчна сума струмів віток, які належать до будь-якого перетину кола, дорівнює нулю [171].

Побудуємо системно-інформаційну складову комплексної моделі навчального елемента за певними множинами ознаками:

– R : R_1 – встановлення співвідношень між струмами, які діють у вузлі електричного кола; R_2 – математичний опис процесів в електричному колі; R_3 – складовий елемент методів аналізу електричних кіл;

– S : S_1 – алгебраїчне рівняння; S_2 – склад рівняння – струми, які діють у вузлі електричного кола;

– D : D_1 – діє на основі законів алгебри; D_2 – для вузла електричного кола; D_3 – алгебраїчна сума струмів у вузлі електричного кола дорівнює нулю;

– H : H_1 – струми; H_2 – знаки струмів (додатні, від’ємні); H_3 – лінійне алгебраїчне рівняння.

Сформулюємо топологічну складову комплексної моделі першого закону Кірхгофа.

Враховуючи те, що вузлом електричного кола називається місце з’єднання трьох і більше віток, для ілюстрації першого закону Кірхгофа приводять фрагмент схеми заміщення електричного кола, який містить вузол, що об’єднує певну кількість віток (рис. К.1, а), або для перетину, який містить певну кількість вузлів (рис. К.1, б).

Сформуємо розрахункову складову комплексної моделі першого закону Кірхгофа.

У відповідності до тих ознак, які були приведені в системно-інформаційній моделі математичний вираз закону має вигляд:

$$\sum_{k=1}^n I_k = 0.$$

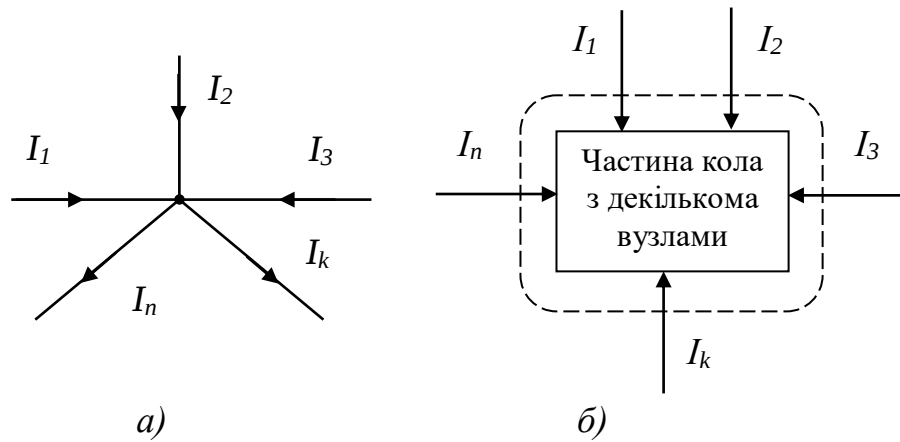


Рис. К.1. Струми у вітках вузла та перетину електричного кола

І для вузла та перетину на схемі рис. К.1 можна записати:

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_k - I_n = 0.$$

Тобто струми, які течуть до вузла слід брати з одним знаком, а струми, які течуть від вузла – з іншим знаком.

Розроблена комплексна модель у компактному вигляді приведена на рис. К.2.

Застосуємо розглянуту комплексну модель першого закону Кірхгофа для аналізу схеми заміщення реального промислового об'єкта з предметної галузі машинобудування. Розглянемо фрагмент електричного кола електронавантажувача ЕП-201, який використовується в системі внутрішньозаводського транспорту [20, 191]. Він має у своєму складі дві акумуляторні батареї АБ1 та АБ2, два двигуни постійного струму з послідовним збудженням: тяговий та гідравлічної помпи, та кола управління, освітлення та сигналізації, які отримують живлення від акумуляторних батарей. Схема заміщення містить вузол, в якому з'єднуються вітки електричного кола електронавантажувача і для якого ми можемо застосувати розглянуту модель першого закону Кірхгофа.

На схемі (рис. К.3) позначені:

I_1 – струм акумуляторної батареї АБ1; I_2 – струм акумуляторної батареї АБ2; I_3 – струм тягового електродвигуна послідовного збудження; I_4 – струм електродвигуна послідовного збудження помпи гідравлічної; I_5 – струм кола управління; I_6 – струм кола освітлення; I_7 – струм кола сигналізації.

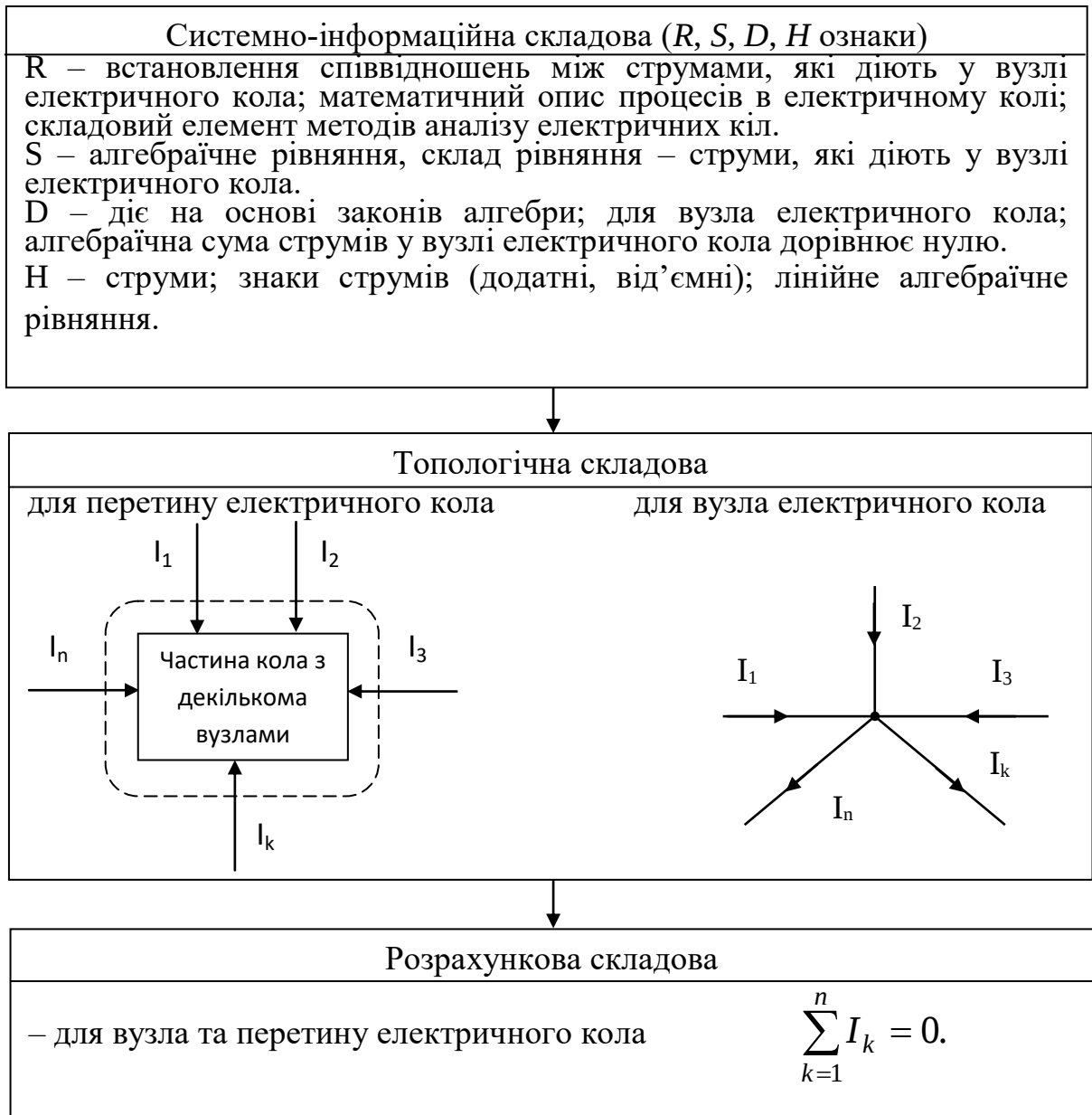


Рис. К.2. Комплексна трискладова модель навчального елементу змісту навчання електротехніки – «Перший закон Кірхгофа»

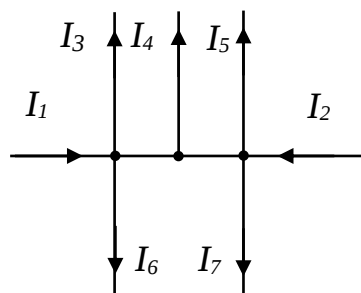


Рис. К.3. Струми у вітках вузла електричного кола електронавантажувача ЕП-201

Для вузла цієї схеми рівняння складене за першим законом Кірхгофа буде мати вигляд:

$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 - I_5 - I_6 - I_7 = 0.$$

Розробимо комплексну модель другого закону Кірхгофа.

Цей закон формулюється для замкненого контуру електричного кола. Він встановлює зв'язок між результуючою ЕРС, яка діє в замкненому електричному колі, і спадами напруг на опорах віток кола.

Формулюється цей закон так: алгебраїчна сума ЕРС, які діють в будь-якому замкненому контурі, дорівнює алгебраїчній сумі спадів напруг у вітках цього контуру [121].

Існує альтернативне формулювання другого закону Кірхгофа: алгебраїчна сума напруг ділянок замкненого контуру дорівнює нулю [188].

Застосовуючи розглянутий раніше підхід сформуємо системно-інформаційну модель другого закону Кірхгофа з такими множинами ознак:

– *R*: R_1 – встановлення співвідношень між ЕРС та напругами, які діють у електричному колі; R_2 – математичний опис процесів в електричному колі; R_3 – складовий елемент методів аналізу електричних кіл;

– *S*: S_1 – алгебраїчне рівняння; S_2 – склад рівняння – ЕРС та напруги, які діють у замкненому контурі електричного кола;

– *D*: D_1 – діє на основі законів алгебри; D_2 – для замкненого контуру електричного кола; D_3 – алгебраїчна сума ЕРС, які діють замкненому контурі, дорівнює алгебраїчній сумі спадів напруг у вітках цього контуру; D_4 – алгебраїчна сума напруг ділянок замкненого контуру дорівнює нулю;

– *H*: H_1 – ЕРС; H_2 – напруга; H_3 – знаки складових (додатні, від'ємні); H_4 – лінійне алгебраїчне рівняння.

Побудуємо топологічну складову комплексної моделі другого закону Кірхгофа. Другий закон Кірхгофа сформульовано для замкненого контуру електричного кола. Тому, для ілюстрації застосування цього закону, приводять схеми заміщення електричних кіл, виділяючи в них будь-які замкнені контури. Так, в замкненому контурі, який представлений на рис. К.4 діють три джерела ЕРС: E_1 , E_2 та E_3 . До складу контуру також входять чотири ділянки з пасивними елементами R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , на яких мають місце спади напруг.

Сформуємо розрахункову складову комплексної моделі навчального елементу.

Для запису рівняння і визначення знаків його складових необхідно вибрати напрямок обходу контуру. Звернемось до визначень приведених в системно-інформаційній складовій моделі. Для першого визначення: алгебраїчна сума ЕРС, які діють в будь-якому замкнутому контурі, дорівнює

алгебраїчній сумі спадів напруг у вітках цього контуру [121], маємо формулу:

$$\sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^m I_i R_i.$$

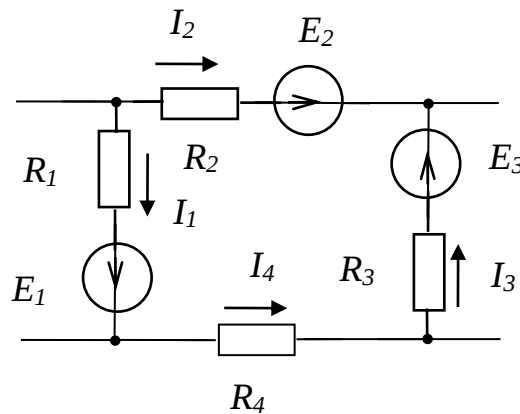


Рис. К.4. Замкнутий контур кола постійного струму

Для альтернативного формулювання другого закону Кірхгофа: алгебраїчна сума напруг ділянок замкнутого контуру дорівнює нулю [188], маємо відповідно другу формулу:

$$\sum_{i=1}^n U_i = 0.$$

У компактному вигляді розроблена комплексна модель другого закону Кірхгофа представлена на рис. К.5.

Розглянемо застосування побудованої комплексної моделі другого закону Кірхгофа для аналізу конкретної схеми.

Як було зазначено, в контурі (рис. К.4) діють три ЕРС. Одна з них – E_2 , співпадає з напрямком обходу контуру (за годинниковою стрілкою), а дві інші – E_1 та E_3 , направлені проти вибраного напрямку обходу контуру. Таким чином, вважаючи ЕРС, які діють в напрямку обходу контуру додатними, а ЕРС, які діють в зворотному напрямку – від’ємними, можна визначити ЕРС, яка є результатом їх дії: $E = -E_1 + E_2 - E_3$.

Ця результуюча ЕРС буде затрачуватись на проведення струму у вітках кола і у відповідності до закону Ома буде дорівнювати сумі добутків струмів на опори віток. Для кола на рис. К.4:

$$-E_1 + E_2 - E_3 = -I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 - I_4 R_4.$$

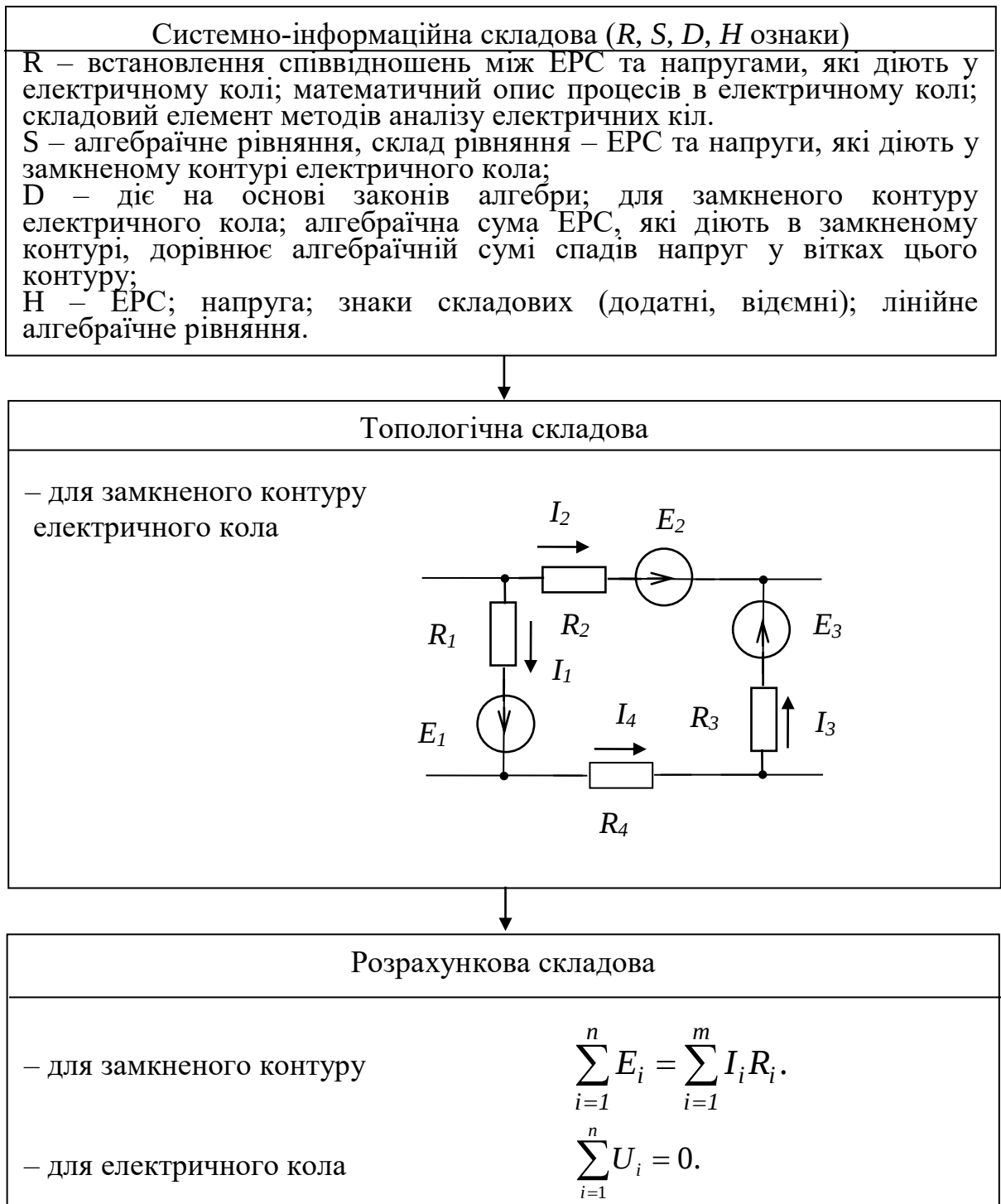


Рис. К.5. Комплексна трискладова модель навчального елементу змісту навчання електротехніки – «Другий закон Кірхгофа»

У правій частині рівняння добутки струмів I_1 , I_3 та I_4 взяті зі знаком мінус тому, що ці струми протікають проти прийнятого напрямку обходу контуру.

Застосуємо розроблену комплексну модель для аналізу роботи тягового електродвигуна електронавантажувача типу ЕП-202 при виході його на штучну механічну характеристику з початкового положення командного контролера (рис. К.6).

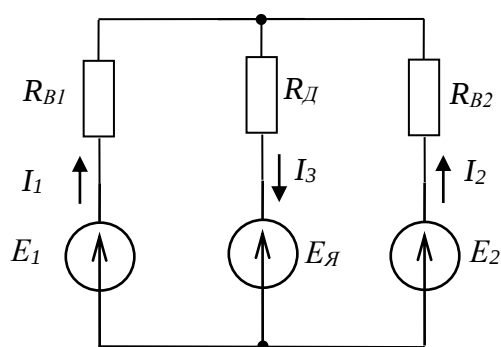


Рис. К.6. Схема заміщення електронавантажувача

До складу схеми входять такі елементи:

- E_1 , E_2 – ЕРС акумуляторних батарей;
- $E_Я$ – проти-ЕРС якоря, яка прямопропорційна частоті обертання якоря електродвигуна;
- R_{B1} , R_{B2} – внутрішні опори джерел живлення;
- R_D – сумарний опір в колі якоря, який складається з послідовно з'єднаних опорів якоря $R_Я$, послідовної обмотки збудження R_3 та пускового реостата $R_П$, тобто:

$$R_D = R_Я + R_3 + R_П.$$

Для трьох контурів цієї схеми (два внутрішні і один зовнішній) можна за другим законом Кірхгофа скласти такі рівняння (вибраний напрямок обходу контурів – за годинниковою стрілкою):

$$E_1 - E_Я = I_1 R_{B1} + I_3 R_D;$$

$$E_Я - E_2 = -I_3 R_D - I_2 R_{B2};$$

$$E_1 - E_2 = I_1 R_{B1} - I_2 R_{B2}.$$

Додаток Л
Таблиця Л.1

Класифікація електротехнічних пристроїв

№ з/п	Електро-технічний пристрій	Види пристрою	Особливості будови	Область застосування
1	2	3	4	5
1.	Трансформатор	Силовий, освітлювальний, зварювальний, автотрансформатор, вимірювальний, імпульсний, роздільний, погоджувальний	Однофазний, трифазний	Електричні кола змінного струму, елементи автоматики та управління
2.	Електрична машина	Генератор постійного струму	Збудження: змішане	Зварювання, вантажо-підіймальний електромагніт
		Двигун постійного струму	Збудження: паралельне, послідовне, змішане	Верстати, електрокари, електро-навантажувачі
		Двигун змінного струму, асинхронний	Ротор: короткозамкнений, фазний	Верстати, вентилятори, кондиціонери, тельфери, крани, конвеєри, транспортери
		Двигун змінного струму, синхронний	Велика потужність	Компресори, синхронні компенсатори
3.	Комутаційний пристрій	Автоматичний вимикач	Розщиплювач: електро-магнітний, тепловий, комбінований	Кола управління споживачів електричної енергії
		Реле, контактор, магнітний пускач	Електромагнітна система включення	
		Кінцевий вимикач, контролер	Механічна система управління контактами	

Продовж. табл. Л.1

1	2	3	4	5
		Кнопка керування, кнопкова станція, рубильник, пакетний вимикач	Ручне управління	Кола управління споживачів електричної енергії
4.	Реостат	Пусковий, пускорегулюючий, регулювальний, навантажуючий, баластний	Зміна опору: плавно, східчасто. Охолодження: повітряне, оливове	Кола живлення електропри-водів, зварювання
5.	Запобіжник топкий	Загального призначення, швидкодіючий	Трубчатий, ножовий	Електричні кола постійного та змінного струмів
6.	Технологічне обладнання	Електромагнітна муфта	Тертя: сухе, в'язке; ковзання	Електропривод промислових механізмів
		Електромагнітний клапан	Прямої дії, непрямої дії	Пневмо- та гідро - системи
		Гальванічна ванна	Завантаження: ручне, механізоване	Покриття деталей: нікелювання, цинкування, кадміювання, міднення
		Електронагріваль-ний пристрій	Контактний, індукційний	Нагрівання деталей та середовищ
7.	Акумулятор	Кислотний, лужний	Кількість елементів в батареї	Електрокари, електро-навантажувачі
8.	Вимірювальний прилад	Амперметр, вольтметр, лічильник, фазометр, омметр, частотомір	Електромеханічний, електронний, цифровий	Електричні кола постійного та змінного струмів
9.	Лампа освітлювальна	Розжарювання	Цоколь нарізний 14, 27 та 40 мм	Виробничі та складські приміщення, заводська територія. Освітлення: загальне, місцеве, комбіноване робоче, аварійне
		Дугова ртутна	Цоколь нарізний 40 мм	
		Люмінесцентна	Цоколь штировий 2 та 4 контактний	
		Світлодіодна	Цоколь нарізний та штировий 2 контактний	

Електротехнічні пристрої машинобудівного виробництва

Для прикладу розглянемо електротермічні пристрої. Основою функціонування обладнання цієї групи є нагрівання виробів та матеріалів за рахунок використання електричної енергії. На практиці застосовують різні способи застосування теплової дії електричної енергії для нагрівання матеріалів, які задіяні в технологічних процесах. Охарактеризуємо способи, які найбільш поширені в сфері машинобудівного виробництва:

- нагрівання опору відбувається за рахунок виділення тепла в провідному матеріалі, коли по ньому протікає електричний струм. Цей тип нагріву діє на основі закону Джоуля-Ленца і застосовується в приладах прямого та непрямого нагрівання;

- індукційне нагрівання здійснюється шляхом перетворення енергії електромагнітного поля в тепло завдяки індукції вихрових струмів в нагрітому матеріалі. Цей тип нагрівання заснований на законах електромагнітної індукції, Джоуля-Ленца і застосовується в промисловому обладнанні прямого та непрямого нагрівання.

- нагрівання відбувається за рахунок теплоти електричної дуги, яка виникає між електродами електротехнічного пристрою. Застосовується в пристроях прямого та непрямого нагрівання в плавильному та зварювальному обладнанні;

- діелектричне нагрівання відбувається за рахунок струмів провідності та зсуву під час поляризації. У цьому випадку напівпровідник або непровідний матеріал розміщуються у електричному полі високої частоти;

- нагрівання за допомогою електронного або іонного променя відбувається в результаті дії теплової енергії, яка виникає при зіткненні з поверхнею деталі електронів або іонів, прискорених електричним полем;

- плазмовий нагрів заснований на нагріванні газу шляхом пропускання через нього дугового розряду або високочастотного електромагнітного поля. Низькотемпературна плазма, отримана таким чином, використовується для нагрівання різних середовищ;

- лазерне нагрівання відбувається за рахунок поглинання сильно концентрованих потоків променистої енергії поверхнею предметів, які згідно з умовами технологічного процесу підлягають нагріванню. Для отримання таких потоків енергії застосовують оптичні квантові генератори – лазери.

Як бачимо, всі способи направлені на перетворення електричної енергії в теплову, що забезпечує необхідне протікання технологічного процесу.

Розглянемо особливості застосування і основні вимоги, які пред'являються до наступної групи обладнання професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки – загальнопромислові пристрої [88].

Загальнопромислові пристрої за класифікацією можна розділити на кілька груп обладнання, пов'язаних певною специфікою технологічних процесів. Це вентиляційні, компресорні та помпові пристрої. Такі пристрої

забезпечують життєдіяльність робітників та технічні процеси на виробництві. Крім того, вони мають багато спільного з точки зору принципу роботи, дизайнерських рішень та властивостей. З аналізу електротехнічної складової цю групу обладнання поєднує наявність електроприводу та елементів автоматики для управління, регулювання та підтримання необхідних робочих параметрів.

Розглянемо вентиляційні пристрої, основним елементом яких є відцентровий вентилятор. Вони забезпечують технологічний виробничий процес (подача робочої кількості газу) та умови праці (кондиціонування повітря, загальна система вентиляції цеху). Пристрої вентиляції легко автоматизуються за сигналами зміни режиму і реагують на них без залучення обслуговуючого персоналу, за рахунок роботи схеми управління. Основним параметром регулювання таких пристроїв, на який потрібно впливати, є частота обертання приводного двигуна. В якості основного елемента електроприводу таких пристроїв застосовують асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Для регулювання частоти обертання двигуна змінюють напругу живлення статора шляхом ступінчатого переключення секцій обмотки автотрансформатора.

Розглянемо компресорне обладнання, основне призначення якого – це забезпечення технологічного процесу. Щоб гарантувати нормальну роботу споживачів, тиск повітря в магістралі повинен підтримуватися постійним. Тобто головною умовою автоматизації компресорних систем є підтримка постійного тиску повітря в лінії. Залежно від потужності компресорного обладнання асинхронні двигуни застосовуються для пристроїв з низькою та середньою потужністю, а для пристроїв великої потужності використовують синхронні двигуни, які працюють від високовольтних джерел живлення.

Розглянемо особливості помпового обладнання. Це обладнання використовується для транспортування рідин, обслуговування резервуарів (заповнення і осушення) та забезпечення роботи механізмів (наприклад, систем водяного та масляного охолодження). В промисловому застосуванні широко представлені відцентрові помпи. В якості приводного двигуна в помповому обладнанні найчастіше використовують асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, або синхронні двигуни при великих потужностях пристрою.

Згідно з приведеною класифікацією електротехнічного обладнання машинобудівного виробництва, як основи професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки, окремою групою (рис. 1.2) представлено *підйомно-транспортне устаткування*.

Ця група пристроїв дуже важлива для ефективної роботи машинобудівного виробництва і складається з пристроїв різного призначення та різних конструкцій. Основними представниками цієї групи є:

- підвісні пристрої для переміщення вантажу (тельфери);
- наземні пристрої для горизонтального переміщення вантажу (електровізки або електрокари),

- пристрої для комбінованого переміщення вантажу (горизонтальне і вертикальне) – електронавантажувачі;
- конвеєри та транспортери;
- мостові крани;
- ліфти.

Послідовно розглянемо особливості функціонування промислових пристрої цієї групи.

Тельфери – підвісні електровізки, які призначені для підйому і переміщення вантажів на виробничих об'єктах по строго визначеному шляху. Такими візками комплектуються і кран-балки, які представляють собою легкі мостові крани вантажопідймальністю до 5 т. Як правило, для їх приводу використовують асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, а асинхронні двигуни з фазним ротором – для великої вантажопідйомності та необхідності регулювання швидкості руху вантажу.

Електрокари призначені для переміщення вантажу по цеховій та заводській території.

Такі промислові електромобілі можуть працювати у вузьких проходах виробничих та складських приміщень, де інші види транспорту просто неможливі для роботи. Хороша маневреність, зручна експлуатація, легке обслуговування, відсутність шкідливих газів під час роботи та безшумність роботи роблять електровізки незамінним універсальним засобом перевезення вантажів на короткі відстані. З електричних пристроїв вони використовують акумулятори, двигуни постійного струму з послідовним збудженням, пристрої управління, гальма та ліхтарі.

Розглянемо особливості функціонування конвеєрів та транспортерів, вони належать до класу механізмів безперервного транспорту для технологічного переміщення продукції та матеріалів усередині цехів та між виробничими потужностями. Залежно від конструкції та типу несучих елементів розрізняють стрічкові, скребкові, платівчаті, ланцюгові та інші типи конвеєрних модифікацій. Поширеними електротехнічними пристроями, які використовуються в них, є асинхронні двигуни різної конструкції, пристрої управління та контролю.

Розглянемо мостові крани. Вони є одним з найважливіших елементів цехового обладнання важкого машинобудівного виробництва. Ці пристрої призначені для вертикально та горизонтально переміщення на невеликі відстані досить великих та громіздких вантажів. Для всіх мостових кранів однотипними елементами їх конструкції є:

- електропривод пересування моста;
- електропривод пересування візка;
- механізм підймання та опускання вантажу.

Електричне обладнання мостового крана стандартизоване і використовується для комплектування уніфікованих схем. Перш за все до складу електрообладнання входять електродвигуни. Це можуть бути електродвигуни змінного струму асинхронні з короткозамкненим ротором

серії МТК, або з фазним ротором серії МТ. Застосовують також двигуни постійного струму з послідовним, паралельним або змішаним збудженням серії «ДП». Всі вказані типи електродвигунів забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики кранового обладнання. До складу електротехнічних пристроїв мостових кранів входять органи управління, кінцеві вимикачі крана, резистори, реле, захисні елементи від струмів короткого замикання та значних перевантажень тощо.

Наступні представники цієї групи промислового обладнання – ліфти, які розділяються на вантажні та пасажирські. Товарні та пасажирські ліфти (підйомники) – спроектовані таким чином, що люди та вантажі переміщуються у точно визначеному вертикальному напрямку. Ліфти належним чином поділяються на вантажні з провідником та без нього, вантажопасажирські, пасажирські та спеціального призначення.

В залежності від швидкості руху кабіни ліфти поділяються на:

- високошвидкісні (більш ніж 4 м/с);
- швидкісні (від 2,0 до 4,0 м/с);
- швидкоходові (від 1,0 до 1,6 м/с);
- тихохідні (до 0,71 м/с).

Вантажопідйомність ліфтів досягає 1600 кг, а закордонні моделі мають ще більш високі експлуатаційні характеристики. Електрообладнання ліфтів повинно забезпечувати такі режими роботи:

- реверс електроприводу;
- жорсткість механічної характеристики;
- плавний пуск та гальмування за умови, що прискорення та уповільнення не перевищують нормативні значення;
- мінімальний час перехідних процесів;
- точність зупинки кабіни ліфту на зазначених рівнях.

Такий широкий спектр експлуатаційних характеристик передбачає використання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором та різноманітними пристроями управління, контролю та сигналізації. В джерелах живлення електродвигунів широко застосовуються тиристорні перетворювачі частоти та регулятори напруги для управління частотою обертання двигуна.

Розглянемо наступну групу професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки – *групу металообробних верстатів*. Всі металообробні верстати за принципом дії на матеріал, що обробляється, можна розділити на металорізальні (різання за допомогою спеціального інструменту) та ковальсько-пресові (удар або тиск за допомогою спеціального технологічного обладнання). В металорізальних верстатах проводиться механічна обробка заготовок ріжучим інструментом (різці, свердла, фрези тощо). По призначенню та характеру роботи, яку виконують верстати, їх можна розділити на такі групи, вказавши найбільш розповсюджених представників кожної групи:

- токарні (універсальні, револьверні, карусельні);

- свердлильні та розточні (вертикально-свердлильні, координатно-розточні);
- стругальні (поздовжньо-стругальні);
- фрезерні (горизонтальні, вертикальні, зубо-фрезерні);
- шліфувальні (круглошліфувальні, плоскошліфувальні);
- агрегатні (для багатосерійного та масового виробництва).

У порівнянні з металорізальними верстатами, ковальсько-пресове обладнання має ряд переваг:

- значно менші відходи металу вихідної заготовки;
- механічні властивості оброблених виробів кращі;
- продуктивність вище.

Це обладнання призначене для обробки металів в холодному або нагрітому стані шляхом деформації. Ковальські молоти діють на заготовку за рахунок удару падаючих частин механізму, що приводить до необхідної деформації виробу. Штампувальні преси для гарячої та холодної штамповки призначені для деформації металу поступовим тиском. До цієї групи обладнання відносять також ковальсько-штампувальне обладнання, яке поєднує в собі функції молотів та пресів.

До електрообладнання групи металообробних верстатів належать: двигуни змінного струму (асинхронні з короткозамкненими та фазними роторами), двигуни постійного струму з різними видами збудження, а також елементи контролю, управління, сигналізації, пускові та регулювальні резистори, контактори, реле та ін.

Отже, електрообладнання – це узагальнене поняття, що включає все, що пов'язане з машинами, механізмами та пристроями, об'єднаними загальною технологічною схемою виробництва енергії і її подальшого використання. Електрообладнання є важливою частиною будь-якої технічної системи, яка складається з різних компонентів та деталей.

Можна виконати певну класифікацію всього електрообладнання, що входить до складу різноманітних механізмів, машин і технологічних пристроїв машинобудівного виробництва. В своїй повсякденній практиці інженер-механік має справу не тільки з машинами та механізмами промислового призначення, а і з великою кількістю електротехнічних пристроїв [166]. До кожної групи пристроїв входять елементи, які за структурою, принципом дії і основними характеристиками є однотипними, але за своїм призначенням вони можуть суттєво відрізнятися [165].

Враховуючи те, що електротехнічні пристрої, які входять до складу виробничого устаткування, досить різноманітні, їх можна розділити на окремі групи, які найбільш характерні за своїм призначенням і мають у своєму складі типові елементи. Однак це в повній мірі відноситься не тільки до машинобудівного виробництва, а і до інших галузей економіки (хімічна, текстильна, харчова та ін.). Найбільш поширені групи електротехнічних пристроїв це трансформатори, електричні машини (генератори та двигуни), електровимірювальні прилади, комутаційні та

освітлювальні пристрої, технологічні пристрої (клапани, муфти, індуктори, гальма), запобіжники тощо [88]. Всі ці електричні пристрої – це пристрої, з якими інженер-механік повинен постійно працювати. В додатку 3 приведена класифікація представників електротехнічних пристроїв за основними групами.

Основні розрахункові величини при аналізі схем заміщення

До основних розрахункових величин при аналізі схем заміщення відносяться:

1. Параметри елементів схем R , L , C та опори, які вони чинять при проходженні електричного струму певної частоти.
2. Струми у вітках схеми.
3. Напруги на елементах (дільницях) кола.
4. Потужність:
 - джерела живлення;
 - на елементах (дільницях) кола;
 - повна, активна, реактивна;
 - коефіцієнт потужності.

Аналіз складних електротехнічних пристроїв (трансформаторів, електричних машин та апаратів) проводиться на базі їх схем заміщення, які дозволяють розглядати процеси, що відбуваються в цих пристроях, як такі, що протікають в звичайних електричних кола постійного або змінного струмів. Але для цих пристроїв, окрім зазначених вище величин, необхідно розраховувати цілий ряд специфічних величин, які обумовлені характером та особливостями їх роботи. В додатку Л (табл. Л.1) приведена класифікація електротехнічних пристроїв за їх функціональним призначення.

Основні електричні величини будь-якого електротехнічного пристрою, які обумовлюють його властивості та характеристики, це струм, напруга, потужність, параметри окремих елементів, коефіцієнт потужності.

Розглянемо перший елемент (табл. Л.1) – трансформатор, який є найбільш розповсюдженим електротехнічним пристроєм у складі промислового обладнання [89].

При експлуатації трансформатора (силового) орієнтуються на номінальні дані, які приведені в паспортній таблиці:

- номінальна потужність;
- номінальні напруги ВН (висока напруга) та НН (низька напруг);
- номінальні струми;
- позначення схеми та груп з'єднання обмоток;
- напруга короткого замикання (у відсотках) на основному відгалуженні обмотки ВН (висока напруга).

Можливі розрахунки в процесі експлуатації та модернізації промислового обладнання:

- змінена потужність модернізованого навантаження;
- коефіцієнт трансформації;
- активний опір обмоток;
- реактивний опір обмоток;
- втрати потужності в обмотках трансформатора;
- втрати потужності в осерді трансформатора;

– залежність к.к.д. від характеру навантаження.

Механічну енергію, яка потрібна для роботи більшості промислових механізмів та машин, отримують з електричної енергії за допомогою електричних двигунів постійного та змінного струмів. В електричного двигуна, який є основним елементом автоматизованого електроприводу, є цілий ряд специфічних параметрів, які інженер-механік в процесі своєї діяльності повинен вміти розраховувати, контролювати, знати взаємозв'язок з основними експлуатаційними характеристиками обладнання машинобудівного виробництва. До таких параметрів відносяться:

- номінальний обертальний момент на валу електродвигуна;
- номінальна механічна потужність на валу електродвигуна;
- номінальна частота обертання або кутова швидкість;
- максимальна частота обертання або швидкість;
- діапазон регулювання (відношення максимальної швидкості до мінімальної, при якій зберігаються всі параметри електроприводу по стабільності при змінюванні навантаження, напруги мережі, температури навколишнього середовища, реверсі двигуна);
- перевантажувальна здатність в сталих і перехідних режимах ($k_m = M_{max}/M_H$).

Застосування двигунів завищеної потужності небажане, тому що робота електропривода стає неекономічною: невиправдано підвищується вартість всього електрообладнання, а також збільшуються експлуатаційні витрати внаслідок роботи двигуна при зниженому к.к.д., а в асинхронних двигунах знижується і коефіцієнт потужності.

Для досягнення найбільш високого к.к.д., а отже, і найбільш економічної роботи привода прагнуть вибрати таку потужність двигуна, щоб при роботі ізоляція його була нагріта до гранично допустимої температури.

Для захисту електротехнічних пристроїв від перевантаження та коротких замикань застосовують спеціальні апарати (топкі запобіжники, автоматичні вимикачі з електромагнітним та тепловим розчеплювачем). Вибір таких пристроїв базується на знанні режимів роботи обладнання, вмінні розраховувати струми номінального навантаження, пускові струми для електродвигунів різного призначення, враховувати номінальні та максимальні навантаження для конкретного джерела живлення або електричної мережі.

Серед параметрів автоматичних вимикачів, які застосовують в схемах промислового обладнання, основними є:

- рід струму;
- напруга мережі;
- номінальний струм;
- струм миттєвого розчеплення;
- гранична та робоча комутаційна здатність.

Для розрахунку цих показників та правильного вибору комутаційних апаратів необхідно враховувати особливості роботи деяких електротехнічних

пристроїв в нестационарних режимах. Так пускові струми з'являються короткочасно і діють від доли секунди до 10 секунд, в залежності від виду пристрою:

- лампа розжарювання короткочасно при включенні споживає 2 – 4 номінальні потужності;
- електричний двигун під час розгону може споживати 8 – 14 робочих потужностей.

Проводи та кабелі є найважливішими елементами систем електропостачання промислового обладнання. Правильний вибір живлячих проводів, розрахунок їх перерізу, який необхідний для надійної та безпечної експлуатації системи електропостачання є однією з найважливіших задач для інженера будь-якого профілю. Якщо вибраний переріз проводу не відповідає його струмовим навантаженням, то це призводить до його надмірного перегріву, плавленню ізоляції, короткому замиканню і пожежі.

Реостати, які використовують в системах електроприводу для роботи електродвигунів постійного та змінного струмів, а також в електрозварювальному обладнанні, мають різне призначення. Загалом це пускові, регулювальні, пускорегулювальні та баластні реостати. Відрізняючись за функціональним призначенням, вони також відрізняються за конструктивними та експлуатаційними характеристиками. Але враховуючи їх основне призначення – обмеження величини струму в електричних колах живлення обмоток електродвигунів, вони мають багато спільних технічних характеристик. Всі ці параметри, з огляду на їх важливість і значимість в процесі експлуатації обладнання, потребують постійного контролю і уточнюючих розрахунків при модернізації та заміні електротехнічних пристроїв на етапах удосконалення промислового обладнання. Серед найважливіших характеристик реостатів слід відмітити:

- граничний струм;
- номінальна напруга;
- номінальний опір;
- установлена потужність;
- габарити;
- маса;
- допустима температура нагріву.

Всі зазначені вище розрахунки витікають із стандартних виробничих ситуацій. На перший погляд вони є досить специфічними, але вони не є надто складними і не вимагають спеціальної повної електротехнічної підготовки. Тобто, вони без будь-яких складностей можуть бути виконані інженером-механіком, який засвоїв курс електротехніки за професійним спрямуванням [162-164, 168]. Вміння виконувати подібні розрахунки дозволяє професійно вирішувати виникаючі виробничі проблеми, проводити, в разі необхідності, адекватну заміну елементів електротехнічних пристроїв в процесі удосконалення та модернізації промислового обладнання.

Проведена класифікація електротехнічного обладнання виробничих механізмів та технологічних пристроїв машинобудівної галузі та аналіз кваліфікаційних вимог з електротехнічної компетентності інженера-механіка, які обумовлені його посадовими обов'язками і нормативними документами з експлуатації промислового обладнання, дають підставу для аналізу існуючих методик навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівників на предмет наявності в них професійно орієнтованого змісту навчання [89].

Характеристики елементів електричних кіл та варіанти їх схем заміщення

Розглянемо опір. Для підтримки постійного струму, тобто руху електронів з постійною швидкістю, необхідно безперервна дія сили. А це значить, що електрони в провідниках рухаються з тертям, або, інакше кажучи, що провідники мають електричний опір [67].

Опір, який чинить електричне коло, або провідник електричним зарядам, що рухається в ньому – є електричний опір. Опір електричний постійному струму називається активним R [79].

Якщо стан провідника залишається незмінним (не змінюється його температура і та ін.), то для кожного провідника існує однозначна залежність між напругою U , яка прикладається до провідника, і силою струму I в ньому, тобто:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Опір провідника постійного перерізу можна розрахувати за формулою:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де ρ – питомий опір, визначається фізичними властивостями провідника; l – довжина провідника; S – площа поперечного перерізу.

Проаналізуємо індуктивність. Магнітна індукція (густина магнітного потоку) в будь-якій точці поля пропорційна силі струму i в котушці. Тому і магнітний потік Φ , який пронизує котушку, пропорційний струму:

$$\Phi = Li.$$

Коефіцієнт пропорційності L називається індуктивністю контуру.

Індуктивність будь-якого контуру залежить від його форми і розмірів, а також від властивостей навколишнього середовища [27, 67, 155].

Для соленоїда, у якого довжина значно більша за його діаметр, індуктивність можна розрахувати за такою формулою

$$L = \mu\mu_0 \frac{w^2 S}{l},$$

де μ – відносна магнітна проникність середовища, або просто магнітна проникність; μ_0 – магнітна стала

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{м}},$$

де w – кількість витків; S – площа поперечного перерізу соленоїда; l – довжина соленоїда.

Коли електричне коло утворює декілька витків w , то застосовують поняття потокозчеплення. Потоки, які зчіплюються з окремими витками котушки, різні. Тому різні і ЕРС, які наводяться в окремих витках. Але в ряді випадків можна вважати, що всі лінії магнітної індукції зчіплюються з усіма w витками котушки. Тоді потокозчеплення котушки зв'язується з потоком Φ простим співвідношенням:

$$\psi = w\Phi.$$

Розглянемо ємність. Розглянемо два провідника, між якими існує електрична напруга, і припустимо, що всі лінії зміщення, які виходять з одного провідника, закінчуються на другому. Таку пару провідників називають конденсатором.

З огляду на те, що лінії зміщення починаються і закінчуються на електричних зарядах, то звідси випливає, що заряди, які знаходяться на обкладинках конденсатора, завжди рівні по модулю і протилежні по знаку.

Напруженість поля, в будь-якій точці поміж обкладинками конденсатора, завжди пропорційна заряду обкладинок. Тому, і напруга U поміж обкладинками завжди пропорційна заряду обкладинок q :

$$q = CU.$$

Коефіцієнт C в цій формулі називають електричною ємністю конденсатора або просто ємністю [67].

Ємність плоского конденсатора можна розрахувати за формулою

$$C = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{d},$$

де ε – відносна діелектрична проникність, або просто діелектрична проникність, є величиною, що характеризує електричні властивості речовини і залежить від роду речовини і її стану (температури, тиску та ін.); ε_0 – електрична стала (діелектрична проникність вакууму)

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}},$$

де S – площа обкладинок конденсатора; d – відстань між обкладинками [78].

Проаналізуємо електрорушійну силу. В процесі перетворення в електричну енергію інших видів енергії в джерелі збуджується електрорушійна сила (ЕРС). Електрорушійна сила є тією причиною, яка збуджує в замкнутому колі електричний струм. В результаті дії ЕРС джерела в замкнутому колі в його провідниках виникає електричне поле, на окремих ділянках кола створюються різниці електричних потенціалів [155, 188].

Електрорушійна сила E чисельно дорівнює різниці потенціалів або напрузі між затискачами джерела енергії незалежно від фізичної природи її виникнення (контактна, термо-, фото- і т.д.).

Електрорушійну силу визначають як роботу сторонніх сил, властивих джерелу, на переміщення одиничного позитивного заряду усередині джерела від затискача з меншим потенціалом до затискача з більшим потенціалом [60].

Електрорушійна сила, що діє в будь-якому колі, вимірюється роботою, яка здійснюється при переміщенні одиничного позитивного заряду по цьому колу.

Фізична природа ЕРС в різних джерелах суттєво відрізняється. Так наприклад, в гальванічних елементах – це сили молекулярної взаємодії, в термоелектричних елементах – сили тиску електронного газу, в електромагнітних елементах – сили електромагнітного поля (але не електростатичного, а вихрового) [67].

Опір, індуктивність і ємність при визначених обставинах є коефіцієнтами пропорційності між деякими електричними величинами, які відображають характер процесів, що протікають в електричних колах.

$$U = RI ;$$

$$\Phi = Li ;$$

$$q = CU.$$

Значення цих коефіцієнтів визначається конструктивними характеристиками реальних об'єктів предметної області, а також фізичними властивостями речовин, що входять до їх складу.

Загалом всі фізичні електротехнічні елементи, які застосовуються в машинобудівному виробництві, мають ознаки основних електричних параметрів. Електричні параметри характеризуються тими фізичними

явищами, які викликають процеси, що в них протікають. Кожен фізичний елемент реальної предметної області можна представити у вигляді визначеного з'єднання деякої сукупності ідеальних R , L , C , E елементів. Так, резистор, який виготовлено шляхом намотки дроту на ізоляційну основу, окрім основного параметра – активного опору R , має індуктивність намотки L_H , індуктивність виводів L_B , та міжвиткову ємність C_M . Котушка індуктивності окрім основного параметру L , заради якого вона створювалась, має такі параметри, як міжвиткова ємність C_M , та активний опір R_K дроту, яким виконувалась намотка. Реальний конденсатор окрім основного параметра C , має параметр R_C , який характеризує теплові процеси, що протікають в конденсаторі і визначає втрати потужності при роботі конденсатора. До характеристики конденсатора можна додати і параметр L_B , величина якого залежить від конструкції конденсатора, а також враховує індуктивність виводів.

Представлення фізичних елементів в розрахункових схемах залежить від частоти змінного струму. При низькій частоті реостат може бути представлений опором, котушка індуктивності – послідовним з'єднанням індуктивності і опору, а конденсатор при хорошій ізоляції між обкладинками – ємністю [60]. З ростом частоти збільшуються ЕРС, зумовлені індуктивністю, і струми, зумовлені ємностями. Тому, при високих частотах доводиться враховувати індуктивність реостатів і міжвиткову ємність котушок. Крім того, із збільшенням частоти ростуть втрати в діелектриках конденсаторів. Для врахування всіх цих явищ доводиться реостати, котушки індуктивності і конденсатори замінити більш складними схемами.

При високих частотах доводиться також враховувати ємність між проводами, які з'єднують різні елементи реального електричного кола і вводити в розрахункову схему відповідні ємності.

Всю складність фізичних процесів, які відбуваються в колах змінного струму, необхідно враховувати далеко не у всіх випадках. Навпаки, в більшості випадків можна зробити ряд допущень, які суттєво спрощують задачу і разом з тим не приводять до помітних відхилень від дійсності.

Рівномірний розподіл електричного і магнітного полів вздовж кола спостерігається у порівняно рідких випадках. Значно частіше магнітне і електричне поля розподіляються вздовж кола нерівномірно. На одних ділянках кола, наприклад в конденсаторах, переважає електричне поле, на других ділянках, наприклад в котушках індуктивності, переважає магнітне поле і основними виявляються явища, які виникають внаслідок зміни магнітного поля.

Таким же чином, перетворення електромагнітної енергії в теплову часто буває зосереджене в основному на деяких конкретних ділянках кола.

Для прикладу розглянемо реостат. Він поряд з опором R має також деяку ємність між окремими його витками і деяку індуктивність. Однак, якщо частота змінного струму невелика, або взагалі струм змінюється по

будь-якому закону досить повільно, то струми зміщення, які відгалужуються від відрізків дроту в діелектрик, мізерно малі в порівнянні з струмом, що протікає в дроті реостата. Цими струмами зміщення в такому випадку можна знехтувати, що еквівалентно тому, що ємність C між відрізками дроту реостата приймається рівній нулю. Точно так же, при низькій частоті струму або взагалі при повільній його зміні, можна знехтувати електрорушійною силою самоіндукції в реостаті, в порівнянні з падінням напруги в його опорі, що еквівалентно прийняттю рівній нулю індуктивності L реостата. Іншими словами, абстрагуючись від дійсно складної картини явища, допускаємо, що реостат має тільки опір $R \neq 0$ і має $L = 0$ і $C = 0$ [114]. Відмітимо, що таку ділянку кола можна характеризувати також її провідністю $g = 1/R$.

На практиці знаходять широке застосування пристрої, які спеціально сконструйовані таким чином, що їх основною характеристикою є електричний опір. Елемент електричного кола, призначений для використання його електричного опору, називається резистором.

В якості другого важливого прикладу розглянемо конденсатор. Майже до дуже високих частот можна знехтувати індуктивністю L конденсатора і рахуватись тільки з його ємністю C . Якщо в колі знаходяться реостат і конденсатор, а енергія, яка поглинається в реостаті, значно перевищує енергію, яка втрачається в діелектрику конденсатора, то в першому наближенні останньою можна знехтувати або навіть можна врахувати її при розрахунку відповідної зміни опору реостата. При такій абстракції допускаємо, що конденсатор має ємність $C \neq 0$, але для нього $L = 0$ і $R = 0$.

І нарешті, важливим прикладом є індуктивна котушка. Якщо частота струму в котушці не дуже велика, то можна знехтувати струмами зміщення між витками дроту котушки в порівнянні зі струмом провідності в самі котушці, тобто знехтувати ємністю C між витками котушки. При не дуже малій частоті можна знехтувати падінням напруги в опорі дроту котушки, в зрівнянні з ЕРС, яка в ній індукується, тобто вважати рівним нулю опір котушки. При бажанні можна врахувати опір котушки, припустивши умовно, що послідовно з котушкою, яка має опір $R = 0$, включено реостат, який має опір рівний опору дроту реальної котушки. При такій абстракції вважаємо, що котушка має індуктивність $L \neq 0$ і має $R = 0$ і $C = 0$.

Розглянемо коло (рис. П.1), яке створене послідовним з'єднанням резистора (дільниця ab), індуктивності (дільниця bc), і конденсатора (дільниця cd).

Припустимо, що перетворення електромагнітної енергії в теплову відбувається тільки в резисторі на дільниці ab , тобто що на цій дільниці зосереджено весь опір R кола. Припустимо, що струми електричного зміщення існують тільки на дільниці cd між обкладинками конденсатора, тобто що на цій дільниці зосереджена ємність C кола. І нарешті, припустимо,

що змінний магнітний потік індукує ЕРС тільки в котушці на ділянці bc , тобто що на цій ділянці зосереджена вся індуктивність L кола.

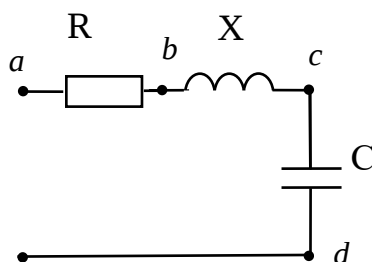


Рис. П.1. Схема кола з зосередженими параметрами

Такі електричні кола, які мають в загальному випадку значно складнішу конфігурацію і містять різноманітні елементи, називають електричними колами з зосередженими параметрами.

Практичне значення подібних наукових абстракцій винятково важливе. Приймаючи зроблені в них припущення, ми отримуємо можливість побудувати теорію електричних кіл з зосередженими параметрами, які охоплюють величезний клас реальних електричних кіл, що містять найрізноманітніші технічні пристрої. Сюди відносяться всі звичайні електричні кола при промисловій частоті, а також при звуковій частоті, за винятком довгих ліній передачі енергії та ліній електрозв'язку [114]. Більшість електричних кіл, які застосовуються в радіотехніці при досить високих частотах, також можуть з достатньою точністю бути представленими, як кола з зосередженими параметрами.

Надзвичайно важливо чітко представляти собі границі застосування подібних абстракцій. І дійсно, одне і теж реальне електричне коло може вести себе по різному при різних частотах. Наприклад, якщо при низькій частоті, можна знехтувати ємністю між витками котушки індуктивності, то при дуже високій частоті таке припущення для тієї ж котушки може привести до грубої помилки і буде спотворювати дійсну картину явища, так як при високих частотах в реальних умовах струми зміщення в діелектрику біля витків котушки можуть бути зрівняні зі струмом в дроті котушки [91, 114].

В якісному відношенні залежність від частоти струму і напруги значень похибок, які можуть бути отримані при розгляді реальних кіл, як кіл з зосередженими параметрами, витікає із розглянутих прикладів. Кількісний критерій допустимості подібного підходу можна буде встановити тільки з позиції теорії змінного магнітного поля. Для формування цього критерію слід враховувати те, що швидкість розповсюдження змінного електромагнітного поля в просторі складає $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с.

Електричне коло можна розглядати як коло, з зосередженими параметрами, якщо швидкості змінювання напруг і струмів в колі настільки малі, що за час розповсюдження електромагнітних хвиль вздовж всього кола,

в будь-якому напрямку, зміни напруг і струмів залишаються малими в порівнянні з повними їх змінами в досліджуваному режимі. При періодичних струмах і напругах це означає, що електромагнітна хвиля встигає пробігти вздовж всього кола за мізерну частку періоду. В таких випадках можна не розглядати хвильові процеси, які характеризують змінне електромагнітне поле, і враховувати в конденсаторах тільки змінювання електричного поля, а в котушках – змінювання магнітного поля [118].

Розіб'ємо всі елементи предметної галузі на окремі групи. Відмінною рисою кожної групи є параметр, для якого цей елемент був створений, або параметр, який у більшості випадків є головним фактором для практичного застосування реального фізичного елемента.

Перша група – це елементи, які у більшості випадках їх застосування, характеризуються параметром « R ». Для скорочення у подальшому викладенні матеріалу будемо застосовувати визначення «елементи групи R ». До цієї групи відносяться ті елементи, які створені для перетворення електромагнітної енергії в теплову. Це в першу чергу різноманітні нагрівальні елементи, термічні та топкові печі, лампи розжарювання та ін. Сюди також необхідно віднести пристрої, які призначені для обмеження струму за рахунок наявності активного опору R : резистори, реостати, а також пристрої, в яких особливості технологічних процесів дозволяють характеризувати їх параметром активного опору: електрична піч прямого нагрівання, гальванічна ванна тощо (табл. П.1).

Таблиця П.1

Елементи предметної області групи R

№ з/п	Елемент предметної області	Основний параметр	Супутні параметри	Основні співвідношення
1.	Дріт	R	L, C	$R = \rho \frac{l}{S}$ $R = \frac{U}{I}$ $R = \frac{P}{I^2}$ $R = \frac{U^2}{P}$ $R = \sqrt{Z^2 - X^2}$
2.	Резистор постійний			
3.	Резистор змінний			
4.	Лампа розжарювання			
5.	Контакт вимикача			
6.	Піч електрична			
	- прямого нагрівання			
	- непрямого нагрівання			
7.	Гальванічна ванна			
8.	Реостат			
	- пусковий			
	- регулювальний			

Друга група – елементи групи L . Ця група включає елементи фізичної області, які було створено для отримання параметра « L », а також ті елементи, які при певних обставинах (наприклад, при зміні режиму роботи

електричного кола) можуть проявляти себе, як носії параметра « L ». Це, в першу чергу, різноманітні конструкції, які виконані у вигляді обмоток: обмоток реле, контакторів, дроселів, фільтрів, реакторів та ін. Дуже часто в конструкціях різних електротехнічних пристроїв знаходять місце обмотки, які потребують компактного, зосередженого розміщення для забезпечення необхідних електромагнітних характеристик. Це можуть бути обмотки трансформаторів, електричних двигунів постійного та змінного струмів, обмотки електромагнітів різного призначення, електромагнітних муфт тощо. Деякі елементи цієї групи приведені в табл. П.2.

Таблиця П.2

Елементи предметної області групи L

№ з/п	Елемент предметної області	Основний параметр	Супутні параметри	Основні співвідношення
1	2	3	4	5
1.	Котушка	L	R, C	$L = \mu\mu_0 \frac{w^2 S}{l}$ $L = \frac{\Psi}{\Phi i}$ $L = \frac{X_L}{2\pi f}$
	- індуктивності			
	- дроселя			
	- електромагніта			
	- реле			
	- контактора			
	- магнітного пускача			
2.	Обмотка трансформатора			
3.	Обмотка електричної машини			
4.	Обмотка вимірювального приладу			
5.	Індуктивний датчик переміщення			
6.	Індуктивний датчик копіювального пристрою			
7.	Індуктивний мікрометр			
8.	Обмотка струмового реле			
9.	Обмотка електромагніта гальмівного пристрою			
10.	Обмотка тягового електромагніта			
11.	Електромагнітна муфта			

Третя група – елементи групи C . Елементи цієї групи – це елементи, які створено насамперед для отримання параметра « C », тобто конденсатори. Конденсатори можуть входити до складу як силових пристроїв (фільтри, компенсатори реактивної потужності), так і до складу пристроїв автоматики та контрольно-вимірювальних приладів. Це можуть бути ємнісні давачі

вимірювальних пристроїв різних неелектричних величин, таких як переміщення, рівні, розміри та ін. До цієї групи можна також віднести елементи, які в силу своїх конструктивних особливостей характеризуються параметром «С», як основним параметром (табл. П.3).

Таблиця П.3

Елементи предметної області групи С

№ з/п	Елемент предметної області	Основний параметр	Супутні параметри	Основні співвідношення
1	2	3	4	5
1.	Електроіскрова конденсаторна установка	С	R, L	$C = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d}$ $C = \frac{U}{q}$ $C = \frac{1}{2\pi f X_C}$
2.	Ємнісний давач лінійних розмірів			
3.	Ємнісний давач переміщень			
4.	Ємнісний давач тиску			
5.	Ємнісний давач вологості			
6.	Ємнісний рівнемір			
7.	Конденсатор фільтру випрямляча			
8.	Конденсатор компенсатора реактивної потужності			

Четверта група – елементи групи *Е*. В цю групу входять всі джерела живлення, тобто ті елементи фізичної області, які характеризуються наявністю електрорушійної сили (ЕРС), незалежно від того, яким чином вона отримана.

На промислових підприємствах основне джерело живлення – трифазна система електропостачання, яка отримує електричну енергію від електромеханічних перетворювачів (турбо-, та гідрогенераторів), які встановлені на електричних станціях. Висока напруга підводиться до підприємства по високовольтній лінії електропередачі. За допомогою трансформаторів рівень напруги знижується до необхідного, для роботи промислового обладнання змінного струму, як трифазного, так і однофазного. Таким чином, незважаючи на те, що первинним джерелом електричної енергії виступає електромеханічний генератор, електротехнічне обладнання отримує живлення безпосередньо від понижуючих трансформаторів заводської (цехової) підстанції.

Для живлення споживачів постійного струму можуть бути застосовані електромеханічні перетворювачі – генератори постійного струму. Але, частіше за все, для цього застосовують вторинні джерела живлення, які перетворюють енергію джерела змінного струму в постійний струм. До складу такого пристрою входять (в загальному випадку): трансформатор,

випрямляч, фільтр. Трансформатор необхідний для погодження напруги промислової системи живлення з напругою, яка необхідна для роботи електротехнічного обладнання. Основними елементами випрямляча є напівпровідникові вентиля, за допомогою яких забезпечується одностороннє протікання в колі навантаження, в результаті чого змінна напруга перетворюється в пульсуючу. Для згладжування пульсацій випрямленої напруги до вихідних затискачів випрямляча підключають електричний згладжувальний фільтр [141].

Окрім зазначеного джерела постійного струму широко застосовують акумуляторні батареї. Зокрема вони знайшли застосування в автономних засобах переміщення вантажів: електрокари, електронавантажувачі, а також в системах аварійного освітлення, безперебійного живлення тощо.

В системах автоматики, управління, регулювання, в вимірювальних приладах і системах, досить часто зустрічаються термоелектричні, фотоелектричні джерела живлення, а також гальванічні елементи.

Основні представники цієї групи приведені в табл. П.4.

Таблиця П.4

Елементи предметної області групи *E*

№ з/п	Елемент предметної області	Основний параметр	Супутні параметри	Основні співвідношення
1.	Електромеханічний генератор	E	R_B	$E = U + IR_B$
2.	Гальванічний елемент			
3.	Акумулятор електричний			
4.	Термоелектричний генератор			
5.	Вентильний фотоелемент			
6.	Вторинне джерело живлення (трансформатор, випрямляч, фільтр)			

Теоретично резистор, котушка індуктивності та конденсатор – реальні елементи електричного кола, які характеризуються усіма трьома розглянутими параметрами R , L , C .

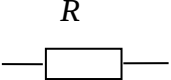
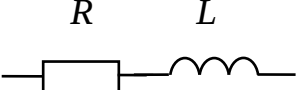
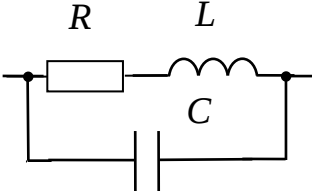
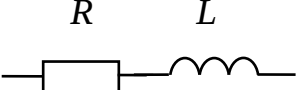
Враховуючи конкретні умови роботи елементів, деякими параметрами можна знехтувати, тобто, реальні елементи ідеалізовано визначити тільки найважливішими для даного режиму роботи параметрами.

Резистор найчастіше подають як електричний опір. В колах постійного струму його називають омичним. Опір того ж резистора, який знаходиться в колі змінного струму, називають активним. На високих частотах активний опір більший від омичного, що пояснюється поверхневим ефектом, тобто нерівномірним розподілом струму по перерізу провідника. Для промислових частот активний та омичний опори провідника практично однакові. Можливі

варіанти схем заміщення резистивних елементів в різних умовах експлуатації приведені в табл. П.5.

Таблиця П.5

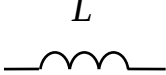
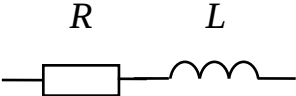
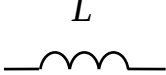
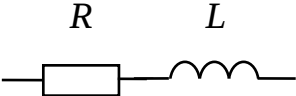
Моделі елементів предметної області групи R

№ з/п	Фізичний елемент	Ідеальний елемент	Варіанти моделей (схем заміщення)
1.	Дріт		
2.	Резистор постійний		
3.	Резистор змінний		
4.	Лампа розжарювання		
5.	Контакт вимикача		
6.	Нагрівальний елемент		
7.	Піч електрична		
	- прямого нагрівання		
	- непрямого нагрівання		
8.	Гальванічна ванна		
9.	Реостат		
	- пусковий		
	- регулювальний		

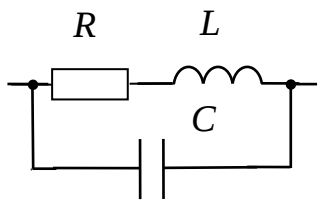
Індуктивна котушка ідеалізується або індуктивністю з послідовно (паралельно) з'єднаним з нею опором, або просто індуктивністю. В останньому випадку її називають ідеальною, або безвтратною. При роботі на високих частотах доводиться враховувати міжвиткову ємність. Варіанти схем заміщення елементів групи L приведені в табл. П.6.

Таблиця П.6

Моделі елементів предметної області групи L

№ з/п	Фізичний елемент	Ідеальний елемент	Варіанти моделей (схем заміщення)
1.	2	3	4
1.	Котушка		
	- індуктивності		
	- дроселя		
	- електромагніта		
	- реле		
	- контактора		
	- магнітного пускача		
2.	Обмотка трансформатора		
3.	Обмотка електричної машини		

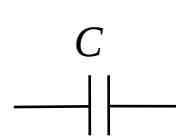
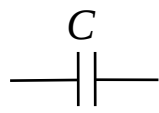
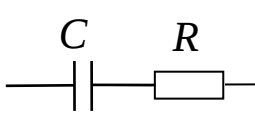
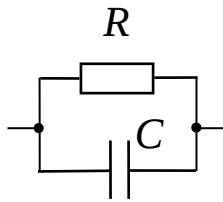
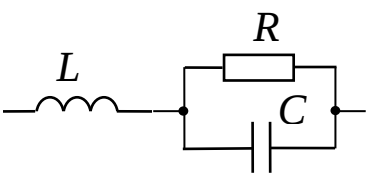
Продовж. табл. П.6

1	2	3	4
4.	Обмотка вимірювального приладу		
5.	Індуктивний давач переміщення		
6.	Індуктивний давач копіювального пристрою		
7.	Індуктивний мікрометр		
8.	Обмотка струмового реле		
9.	Обмотка електромагніта гальмівного пристрою		
10.	Обмотка тягового електромагніта		
11.	Електромагнітна муфта		

Схему заміщення конденсатора, найчастіше, подають ємністю і послідовно (або паралельно) з'єднаним з нею опором. Деякі типи конденсаторів, в силу своїх конструктивних особливостей, мають досить суттєву внутрішню індуктивність (паперові конденсатори). На високих частотах необхідно також враховувати індуктивність виводів. Ідеальний (безвтратний) конденсатор – це тільки ємність. Тому схеми заміщення реальних конденсаторів та технологічних пристроїв, які характеризуються параметром ємності, досить різноманітні в залежності від частоти джерела живлення та умов експлуатації (табл. П.7).

Таблиця П.7

Моделі елементів предметної області групи С

№ з/п	Фізичний елемент	Ідеальний елемент	Варіанти моделей (схем заміщення)
1.	Електроіскрова конденсаторна установка		
2.	Ємнісний давач лінійних розмірів		
3.	Ємнісний давач переміщень		
4.	Ємнісний давач тиску		
5.	Ємнісний давач вологості		
6.	Ємнісний рівнемір		
7.	Конденсатор фільтру випрямляча		
8.	Конденсатор компенсатора реактивної потужності		

Приклади застосування моделей навчальних елементів для аналізу об'єктів промислового обладнання

Розглянемо схему зварювального апарата з машинним зварювальним перетворювачем. Сам перетворювач складається з генератора постійного струму та приводного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором. Такі перетворювачі мають однокорпусне виконання з розташуванням на одному валу двигуна і генератора. Зварювальний генератор виконується з двома обмотками збудження: паралельної (ОЗП) та послідовної (ОПС), серієсної. При зустрічному включенні обмоток збудження при збільшенні струму навантаження напруга на виході генератора різко падає. Таку вольт-амперну характеристику, яку називають крутоспадаючою, мають зварювальні генератори (типу ПСО-300, ПСГ-500 та ін.) [10]. Вони забезпечують сталість струму при коливаннях опору кола внаслідок змінення довжини дуги. Розглянемо генератор типу ПСМ-1000 [182], який розрахований на одночасне живлення декількох зварювальних постів з максимальним струмом 200 або 300 А.

Розглянемо тільки фрагмент схеми зварювального генератора з однією обмоткою збудження (рис. Р.1).

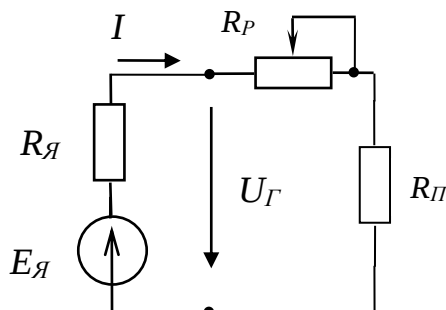


Рис. Р.1. Фрагмент принципової електричної схеми
зварювального генератора

На схемі позначено:

$E_Я$ – ЕРС якоря генератора;

$R_Я$ – опір обмотки якоря;

$R_П$ – опір паралельної обмотки збудження генератора;

R_P – опір регулювального реостата;

$U_Г$ – напруга на затискачах генератора.

Формула для визначення струму в цьому колі за законом Ома має вигляд

$$I = \frac{E_{\text{Я}}}{R_{\text{Я}} + R_{\text{Р}} + R_{\text{П}}}.$$

Якщо зручніше скористатися значенням напруги на виході генератора, то формула прийме вигляд:

$$I = \frac{U_{\Gamma}}{R_{\text{Р}} + R_{\text{П}}}.$$

Такі ж схеми з різною кількістю включених послідовно резисторів можна привести як приклади для багатьох промислових пристроїв. При відповідних режимах роботи можна вказати на принципову електричну схему захисту та сигналізації синхронного двигуна поршневого компресора, силову схему розрізного верстату для анодно-механічного розрізання деталей тощо [182].

При інших режимах роботи ці схеми ускладнюються і мають вигляд змішаного з'єднання елементів при наявності одного джерела живлення. Для аналізу таких схем і застосування закону Ома необхідно використати метод еквівалентних перетворень [121], який полягає в приведенні шляхом перетворень складного електричного кола до найпростішого. Ці перетворення полягають в визначенні еквівалентних опорів при послідовному і паралельному з'єднанні елементів схеми.

Розглянемо для прикладу відносно нескладне коло (рис. Р.2). Це схема зварювального генератора, який був розглянутий вище, але дещо ускладнена.

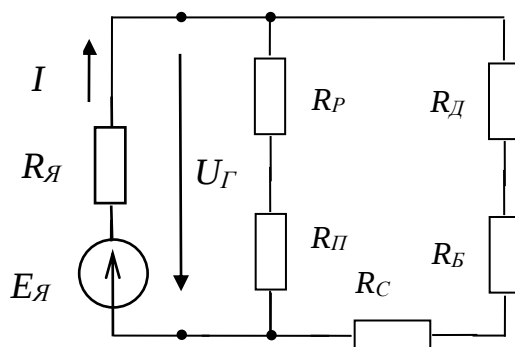


Рис. Р.2. Схема зварювального генератора

з підключенням навантаження (зварювальний пост)

Новий фрагмент схеми включає також коло навантаження генератора, куди входять параметри елементів зварювальних постів, тобто баластні реостати та безпосередньо зони роботи електричної дуги. У найпростішому випадку навантаження представлене одним постом зварювання,

На схемі позначено окрім знайомих елементів:

R_C – опір послідовної (серієсної) обмотки збудження;

R_B – опір баластного резистора;

R_D – опір робочої зони електричної дуги.

Для перетворення схеми рис. Р.2 до найпростішої необхідно виконати наступні дії:

1. Визначити еквівалентні опори паралельних віток:

$$R_{ДБС} = R_D + R_B + R_C, \quad R_{РП} = R_P + R_{П}.$$

2. Визначити еквівалентний опір навантаження генератора:

$$R_E = \frac{R_{ДБС} \cdot R_{РП}}{R_{ДБС} + R_{РП}}.$$

3. Визначити струму джерела живлення: $I = \frac{E}{R_{Я} + R_E}$.

Зварювальний апарат ПСМ-1000 обладнаний комплектом з 9 або 6 баластних реостатів (R_B), тобто розрахований на одночасне живлення 9 або 6 постів з максимальним струмом 200 або 300 А. Враховуючи це, схема зварювального генератора (рис. Р.2) буде мати вигляд, наприклад, для 6 постів (рис. Р.3).

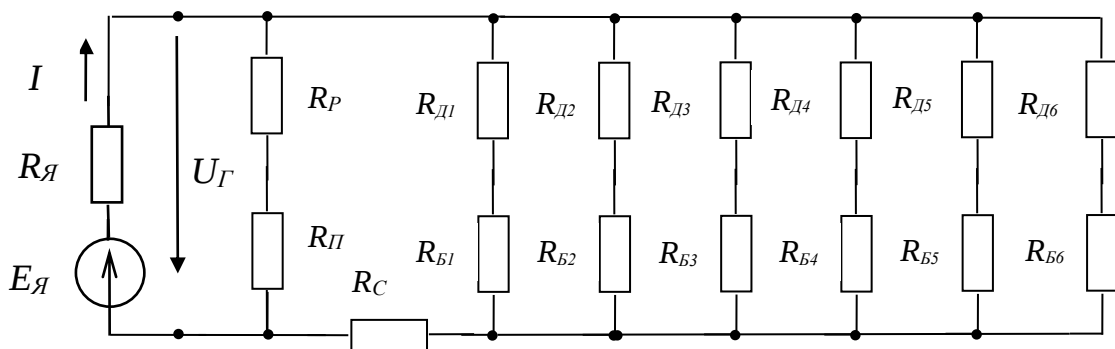


Рис. Р.3. Схема зварювального генератора
з підключенням 6-ти зварювальних постів

В цьому прикладі необхідно виконати більш складні перетворення. Маємо 6 паралельних віток з різним значення опорів елементів, що входять до їх складу. Еквівалентний опір паралельного з'єднання краще всього розраховувати через еквівалентну провідність цієї ділянки:

$$\begin{aligned}
 g &= g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5 + g_6 = \\
 &= \frac{1}{R_{Д1} + R_{Б1}} + \frac{1}{R_{Д2} + R_{Б2}} + \frac{1}{R_{Д3} + R_{Б3}} + \\
 &+ \frac{1}{R_{Д4} + R_{Б4}} + \frac{1}{R_{Д5} + R_{Б5}} + \frac{1}{R_{Д6} + R_{Б6}}.
 \end{aligned}$$

Опір паралельного з'єднання: $R = \frac{1}{g}$.

Еквівалентний опір навантаження генератора: $R_E = \frac{R_{PI} \cdot (R_C + R)}{R_{PI} + R_C + R}$.

Після визначення еквівалентного опору знаходимо струм I . За звичай необхідно визначити струми в вітках кола. Для цього необхідно розгорнути спрощену схему до початкової і послідовно визначити звичайним методом розподіл струмів між вітками.

Методи аналізу складних електричних кіл та приклади їх застосування для електротехнічних пристроїв промислового обладнання

Розглянемо метод накладення. При розрахунку за методом накладення струм у будь-якій вітці електричного кола визначається як алгебраїчна сума струмів, які визначаються в даній вітці кожною із ЕРС в окремості, при умові рівності нулю всіх інших ЕРС. Цей метод досить простий у використанні, але дещо громіздкий і незручний для розрахунків. Частіше за все, він застосовується в схемах з двома джерелами живлення. Разом з тим в деяких випадках застосування цього методу дозволяє швидко визначити струм в одній вітці, дослідити вплив змінення однієї ЕРС на змінення струмів у вітках та вирішувати інші питання.

Розглянемо метод напруги між двома вузлами. Згідно з цим методом, спочатку визначають напругу U_{ab} між двома вузлами a і b схеми, а потім знаходять струми у вітках. Потім вибирають умовно позитивне напрямлення напруги від вузла a до вузла b і позначають його стрілкою на схемі (рис. С.1). Потенціал вузла a в цьому випадку буде вищим за потенціал вузла b , тому струми у пасивних вітках направлені від вузла a до вузла b . Направлення струмів активних віток невідомі, тому частіше за все їх вибирають по напрямку ЕРС.

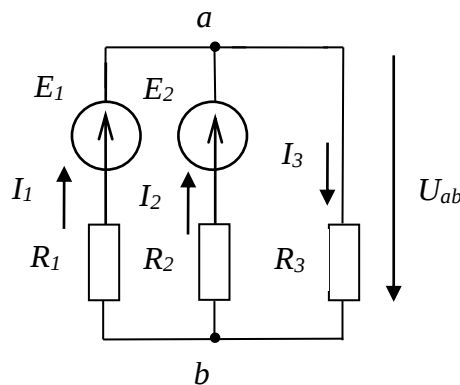


Рис. С.1. Схема кола з паралельним з'єднанням

Напруга, між двома вузлами паралельного з'єднання, дорівнює алгебраїчній сумі добутків провідності та ЕРС кожної вітки, поділеній на суму провідностей всіх віток схеми. Добуток провідності та ЕРС беруть із знаком «плюс» в тому випадку, коли напрямлення ЕРС протилежне вибраному умовно позитивному напрямку напруги та із знаком «мінус», коли ці напрямки співпадають [188].

Для схеми на рис. С.1 величину напруги між двома вузлами можна визначити за формулою:

$$U_{ab} = \frac{g_1 E_1 + g_2 E_2}{g_1 + g_2 + g_3}.$$

Якщо знак визначеної напруги буде додатній, це означає, що дійсний напрямок співпадає з вибраним умовно позитивним. Струми у вітках визначаються за формулами:

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1}; \quad I_2 = \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2}; \quad I_3 = \frac{U_{ab}}{R_3}.$$

Із цих залежностей видно, що величина та напрямок струму активної вітки залежать тільки від співвідношення між ЕРС джерела та напругою між вузлами схеми. Якщо ЕРС джерела живлення більша за напругу U_{ab} , то джерело працює в генераторному режимі і має тим більший струм і потужність, чим більша його ЕРС. Регулюючи величину ЕРС окремих паралельно працюючих генераторів постійного струму, можна перерозподіляти навантаження між ними.

Якщо ЕРС джерела менша за напругу U_{ab} , то струм цієї вітки змінить своє направлення і джерело буде працювати в режимі споживача електричної енергії. Електрична машина постійного струму в цьому випадку буде працювати в режимі двигуна, а акумулятор буде заряджатися.

Практична необхідність паралельного включення джерел пояснюється намаганням збільшити струм споживачів електричної енергії. Таким чином, в реальних колах джерела живлення включаються паралельно в тому випадку, коли струм споживача може перевищити величину номінального струму вже працюючих джерел.

Прикладом застосування цього методу для розрахунку схеми реального пристрою може бути схема заміщення електрокару (рис. С.2).

Ця схема майже повністю співпадає із схемою, яка була розглянута вище. До її складу входять такі елементи:

- E_1, E_2 – ЕРС акумуляторних батарей;
- R_{B1}, R_{B2} – внутрішні опори джерел живлення;
- R_O – опір резистора для обмеження струму в колі якоря;
- R_3 – опір обмотки збудження (послідовна обмотка збудження двигуна);
- R_J – опір обмотки якорю.

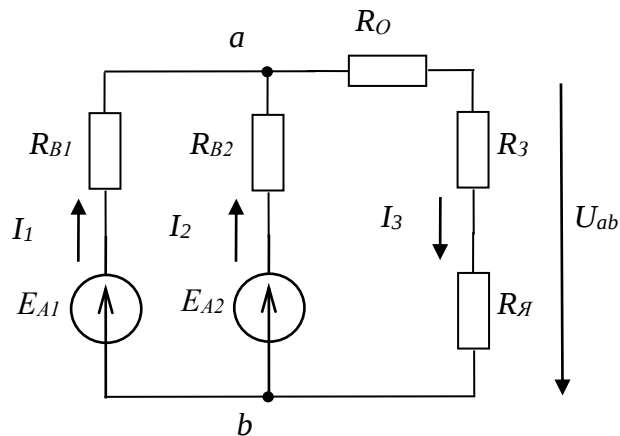


Рис. С.2. Схема заміщення електрокару

Відмінність схеми від попередньої полягає в тому, що пасивна вітка містить послідовне з'єднання трьох елементів. Провідність цієї вітки визначається з виразу:

$$g_3 = \frac{1}{R_O + R_3 + R_J}.$$

Застосування цього методу є ефективним при наявності значного числа віток, включених паралельно, тобто між двома вузлами.

Розглянемо метод контурних струмів. Метод дозволяє значно спростити розрахунок електричного кола при наявності відносно великої кількості віток. У відповідності до цього методу рівняння складаються тільки за другим законом Кірхгофа, для чого вибирають необхідне число контурів.

Так схему на рис. С.3 можна розбити на три контури і позначити струми, які в них протікають, як контурні струми I_I , I_{II} , I_{III} . Напрямок цих струмів виберемо у всіх контурах однаковим – за годинною стрілкою, як показано на схемі (рис. С.3).

Для визначення контурних струмів даної схеми достатньо скласти тільки три рівняння для кожного контуру:

$$\begin{aligned} (R_1 + R_4 + R_5 + R_7)I_I - R_4I_{II} + R_5I_{III} &= E_1 + E_4, \\ -R_4I_I + (R_2 + R_4 + R_6)I_{II} - R_2I_{III} &= E_2 - E_4, \\ -R_5I_I - R_2I_{II} + (R_2 + R_3 + R_5)I_{III} &= E_3 - E_2. \end{aligned}$$

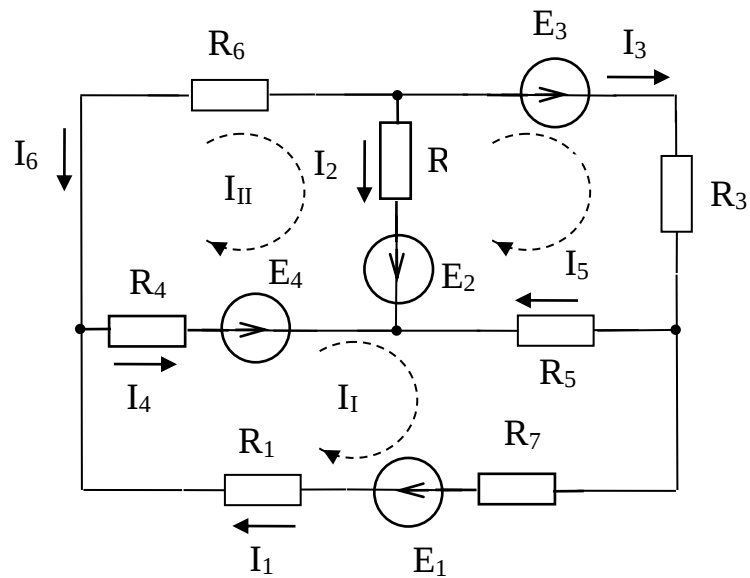


Рис. С.3. Схема складного кола для розрахунку методом контурних струмів

Рішаючи отриману систему рівнянь, визначаємо контурні струми, а по ним дійсні струми віток схеми:

$$I_1 = I_I,$$

$$I_2 = I_{II} - I_{III},$$

$$I_3 = I_{III},$$

$$I_4 = I_I - I_{II},$$

$$I_5 = I_{III} - I_I,$$

$$I_6 = -I_{II}.$$

Рівняння складені для контурних струмів можна записати в узагальненому вигляді. Для цього вводять такі поняття, як власний опір контуру, загальні опори суміжних контурів та контурні ЕРС. Для нашого прикладу власні опори контурів R_{11} , R_{22} , R_{33} мають вигляд:

$$R_{11} = R_1 + R_7 + R_4 + R_5,$$

$$R_{22} = R_2 + R_4 + R_6,$$

$$R_{33} = R_2 + R_3 + R_5.$$

Загальні опори суміжних контурів:

$$R_{12} = R_{21} = R_4,$$

$$R_{13} = R_{31} = R_5,$$

$$R_{23} = R_{32} = R_2.$$

Контурні ЕРС:

$$E_I = E_1 + E_4,$$

$$E_{II} = E_2 - E_4,$$

$$E_{III} = E_3 - E_2.$$

Враховуючи прийняті позначення систему рівнянь для контурних струмів можна записати у такому вигляді:

$$\begin{cases} R_{11}I_I - R_{12}I_{II} - R_{13}I_{III} = E_I, \\ -R_{21}I_I + R_{22}I_{II} - R_{23}I_{III} = E_{II}, \\ -R_{31}I_I - R_{32}I_{II} + R_{33}I_{III} = E_{III}. \end{cases}$$

Розглянемо метод еквівалентного генератора. Цей метод базується на представленні будь якого складного електричного кола по відношенню до виділеної окремої вітки ab з опором R , еквівалентним генератором, ЕРС якого дорівнює напрузі холостого ходу на затискачах виділеної вітки U_{XX} , а внутрішній опір дорівнює вхідному опору електричного кола R_B відносно затискачів цієї вітки.

Послідовність розрахунку струму цим методом має вигляд:

- визначити напругу U_{XX} на затискачах розімкнутої вітки ab ;
- знайти вхідний опір R_B всієї схеми по відношенню до затискачів ab при закорочених джерелах ЕРС, які є у складі схеми;
- визначити струм за формулою:

$$I = \frac{U_{XX}}{R + R_B}.$$

Цей метод доцільно застосовувати, коли необхідно визначити струм лише в одній вітці складного електричного кола і особливо тоді, коли треба визначити струм для декількох значень опору цієї вітки [23]. Також метод можна застосовувати при визначенні струму, який протікає через вимірювальний прилад, що входить до складу вимірювача температури.

При вимірюванні температурі в промислових пристроях досить часто застосовуються мостові вимірювальні схеми, різноманітного конструктивного оформлення, з різноманітним діапазоном температур,

класом точності, тощо. Широко застосовуються як автоматичні зрівноважені мости, так і прилади безпосередньої оцінки – показуючі та регулюючі магнітоелектричні прилади (логометри) [174]. Для загально промислового застосування випускаються логометри Ш-69000, Ш69001, Ш69002, Ш69006, Л-64, Л-64И та Л-64-02. Більшість з них мають клас точності 1,5 і призначені для щитового монтажу. Підключення термоперетворювачів опору (ТО) здійснюється за дво- або трипровідними схемами.

На рис. С.4 показана двопровідна схема підключення терморезистора до мостової схеми з виходом вимірювальної інформації на прилад магнітоелектричної системи, проградуирований в одиницях вимірювання температури ($^{\circ}\text{C}$).

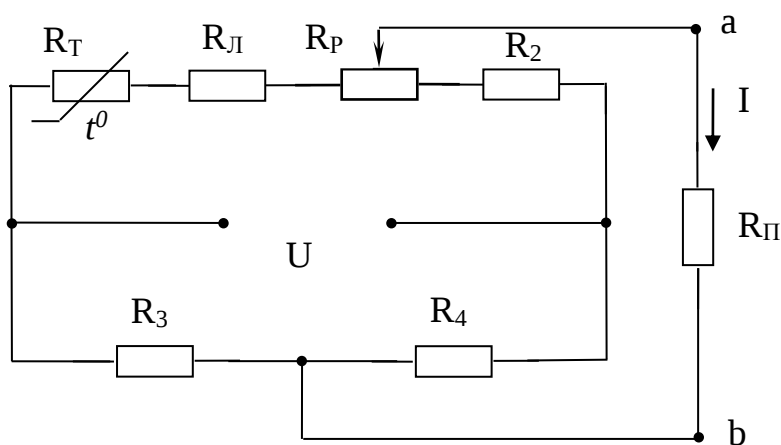


Рис. С.4. Схема вимірювача температури

На схемі позначено:

R_T – опір терморезистора, наприклад, типу ТСМ-23;

R_L – опір двопровідної лінії зв'язку;

R_P – опір регулюючого резистора, який необхідний для встановлення початкового значення показань вимірювального приладу. Його опір частково входить до складу першого плеча моста R_{P1} , а частково – до складу другого плеча R_{P2} ;

R_L – опір вимірювального приладу магнітоелектричної системи, наприклад, типу МЗ36;

R_2, R_3, R_4 – опори решти плечей моста.

Для знаходження струму, який протікає через вимірювальний прилад і визначає показання температури, необхідно згідно з зазначеним алгоритмом знайти наступні величини:

Напруга на розімкнутих затискачах вимірювального приладу:

$$U_{ab.xx} = U \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_T + R_{II} + R_{P1}}{R_T + R_{II} + R_P + R_2} \right).$$

Внутрішній опір схеми відносно затискачів вимірювального приладу:

$$R_B = \frac{(R_T + R_{II} + R_{P1}) \cdot (R_2 + R_{P2})}{R_T + R_{II} + R_P + R_2} + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}.$$

Струм у вимірювальному приладі:

$$I = \frac{U_{ab.xx}}{R_B + R_{II}}.$$

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Мосієнко Г. М. Електротехніка. Комплексні моделі змісту навчання : навч.-метод. посіб. для здобувачів вищої освіти ОС «бакалавр» денної та заоч. форм здобуття освіти машинобудівних спеціальностей. Харків : Друкарня Мадрид, 2020. 96 с.
2. Мосієнко Г. М. Роль і місце електротехнічних знань в системі політехнічної підготовки інженерів-педагогів. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2004. Вип. 6. С. 134-142.
3. Мосиенко А. Н., Тарасенко А. И. Структурно-функциональный анализ системы профессиональных умений студентов в курсе электрических методов и средств измерений. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2008. Вип. 20. С. 62-68.
4. Мосієнко Г. М. Професійна орієнтація курсу «Електротехніка» для майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2009. Вип. 24-25. С. 166-176.
5. Мосієнко Г. М. Предметно-орієнтоване формування змісту дисципліни «Електротехніка» для майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2010. Вип. 28-29. С. 67-75.
6. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Аналіз електротехнічної складової професійної діяльності інженерів машинобудівного профілю. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УІПА, 2015. Вип. 48-49. С. 91-102.
7. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Структура професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх

інженерів-механіків. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УПА, 2016. Вип. 52-53. С. 118-127.

8. Лазарев Н. И., Мосиенко А. Н., Тарасенко А. И. Профессионально ориентированный подход к формированию содержания курса электротехники для подготовки инженеров-механиков. *Science and education a new dimension. Pedagogy and Psychology*. 2017. V(59). Issue: 134. P. 30-33.

9. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Професійно-орієнтоване формування моделей електротехнічних пристроїв промислового обладнання. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УПА, 2018. Вип. 58. С. 27-35.

10. Лазарєв М. І., Мосієнко Г. М., Тарасенко А. І. Узагальнена трискладова гібридна модель змісту навчання елементів електротехнічного обладнання. *Проблеми інженерно-педагогічної освіти*. Харків : УПА, 2019. Вип. 64. С. 81-91.

Опубліковані праці апробаційного характеру

11. Мосиенко А. Н., Тарасенко А. И. Роль и место электротехнических знаний в системе подготовки инженеров-педагогов. *СО-MAT-TECH 2006 : Proceedings of the Abstracts and Contributions of 14th International Scientific Conference* (Trnava, Slovak Republic, 19-20 October 2006). Trnava, 2006. P. 1313-1319.

12. Тарасенко А. И., Мосиенко А. Н. Структурный анализ системы профессиональных умений студентов в курсе электрических методов и средств измерений. *Научный прогресс на рубеже тысячелений – 2007 : матер. II междунар. науч.-практ. конф.* (Днепропетровск, 1-15 июня 2007 г.). Днепропетровск : Наука и образование, 2007. Т. 6 : Педагогические науки. С. 88-90.

13. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Професійна направленість електротехнічної підготовки майбутніх інженерів машинобудівних

спеціальностей. *Настоящи постижения на европейската наука - 2009* : матер. за V междунар. науч. практ. конф. (София, 17-25 юни 2009). София : Бял ГРАД-БГ ООД, 2009. Т. 5 : Педагогически науки. С. 9-11.

14. Тарасенко А. И., Мосиенко А. Н. Формирование профессиональных умений при изучении электротехнических дисциплин. *Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2010* : материалы VI Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji (Przemysl, 07-15 czerwca 2010 roku). Przemysl : Nauka i studia, 2010. Vol. 21 : Pedagogiczne nauki. S. 36-38.

15. Тарасенко А. И., Мосиенко А. Н. К вопросу о содержании курса «Основы метрологии и электрические измерения». *Качество технологий – качество жизни*: матер. III междунар. науч.-практ. конф. (Харьков, 14-16 апреля 2011 г.). Харьков : УИПА, 2011. С. 66-67.

16. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Удосконалення професійної електротехнічної підготовки сучасного інженера. *Динамика на сьвременната наука – 2011* : матер. за VII междунар. науч. практ. конф. (София, 17-25 юли 2011). София: Бял ГРАД-БГ ООД, 2011. Том 5 : Педагогически науки. С. 5-7.

17. Лазарєв М. І., Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Формування професійних умінь майбутніх інженерів при вивченні курсу «Електротехніка». *Naukowa przestrzen Europy – 2012* : материалы VIII Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji (Przemysl, 07-15 kwietnia 2012). Przemysl : Nauka i studia, 2012. Vol.14 : Pedagogiczne nauki. S. 94-96.

18. Мосієнко Г. М. Розвиток професійної компетентності майбутніх інженерів на практичних заняттях з електротехніки. *Качество технологий – качество жизни* : матер. V междунар. науч.-практ. конф. (Солнечный берег, Болгария, 8-12 сентября 2012 г.). Харьков : УИПА, 2012. С. 135-136.

19. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Аналіз електротехнічної складової професійної діяльності майбутніх інженерів-механіків. *Найновите постижения на европейската наука – 2015* : матер. за XI междунар. науч.

практ. конф. (Софія, 17-25 юни 2015). Софія : Бял ГРАД-БГ ООД, 2015. Т. 7 : Педагогически науки. С. 13-16.

20. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Роль і місце електротехнічної складової в професійній діяльності інженера-механіка. *Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2016 : materialy XII miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji* (Przemysl, 07-15 czerwca 2016 roku). Przemysl : Nauka i studia, 2016. Vol. 5 : Pedagogiczne nauki. S. 26-28.

21. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М. Абстракція в електротехніці і формування моделей електротехнічних пристроїв промислового обладнання. *Modern european science – 2018 : materials of the XIV International scientific and practical conference* (Sheffield, June 30–July 7 2018). Sheffield : Science and education LTD, 2018. Vol. 7 : Pedagogical science. Philological science. Psychology and sociology. P. 87-89.

22. Tarasenko A., Mosiienko H. General models formation of electrical devices. *Strategiczne pytania swiatowej nauki – 2019 : materialy XV miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji* (Przemysl, 07-15 lutego 2019). Przemysl : Nauka i studia, 2019. Vol. 6 : Pedagogiczne nauki. S. 47-49.

Опубліковані праці, які додатково відображають результати дослідження

23. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М., Петров С. В. Електротехніка, електроніка і мікропроцесорна техніка : навч. посіб. для студентів денної та заоч. форм навч. неелектротехн. спец. Харків : УІПА, 2014. Ч. 2 : Електроніка і мікропроцесорна техніка. 79 с.

24. Тарасенко А. І., Мосієнко Г. М., Петров С. В. Електротехніка : навч.-метод. посіб. для студентів денної та заоч. форм навч. інж. та інж.-пед. спец. Харків : УІПА, 2015. Ч. 1 : Електричні кола. 136 с.

Відомості про апробацію результатів дисертації:

Основні положення та результати дослідження було апробовано на науково-практичних конференціях різного рівня:

– *міжнародних*: «СО-MAT-TECH 2006» (Trnava, 2006); «Научный прогресс на рубеже тысячелетий – 2007» (Днепропетровск, 2007); «Настоящи постижения на европейската наука – 2009» (София, 2009); «Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2010» (Przemysl, 2010); «Качество технологий – качество жизни» (Харьков, 2011); «Динамикатана съвременната наука – 2011» (София, 2011); «Naukowa przestrzen Europy – 2012» (Przemysl, 2012); «Качество технологий – качество жизни (Солнечный берег, 2012); «Найновите постижения на европейската наука – 2015» (София, 2015); «Aktualne problemy nowoczesnych nauk – 2016 (Przemysl, 2016); «Modern european science – 2018» (Sheffield, 2018); «Strategiczne pytania swiatowej nauki – 2019» (Przemysl, 2019);

– *академічних*: XXXIX, XLIV, XLV, XLX науково-практичні конференції науково-педагогічних працівників, науковців, аспірантів та співробітників Української інженерно-педагогічної академії (Харків, 2006, 2011, 2012, 2016).

Міністерство освіти
і науки України

УКРАЇНСЬКА ІНЖЕНЕРНО-
ПЕДАГОГІЧНА АКАДЕМІЯ

вул. Університетська, 16,
м. Харків, 61003, Україна



Тел.: (057)731 28 62; факс: (057)731 32 36
E-mail: rektor@uipa.edu.ua
Web: <http://uipa.edu.ua>
Код ЄДРПОУ 02071228

Ministry of Education
and Science of Ukraine

UKRAINIAN ENGINEERING
PEDAGOGICS ACADEMY

Universitets'ka str. 16,
Kharkiv, 61003, Ukraine

12.02.2020 № 105-46-12

на № _____ від _____

Довідка

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
здобувача кафедри педагогіки, методики та менеджменту освіти
Української інженерно-педагогічної академії

Мосієнко Ганни Миколаївни за темою:

«Проектування професійно орієнтованого змісту навчання електротехніки
майбутніх інженерів машинобудівних спеціальностей на основі комплексних
моделей» на здобуття наукового ступеня кандидата педагогічних наук за
спеціальністю 13.00.02 - теорія та методика навчання (технічні дисципліни)

Довідка дана у тому, що в період 2015 – 2018 рр. у процес навчання
студентів машинобудівних спеціальностей в Українській інженерно-
педагогічній академії було впроваджено наступні результати дисертаційного
дослідження:

- системний підхід до формування професійно орієнтованого змісту
навчання електротехніки з урахування особливостей застосування
електротехнічних пристроїв у складі виробничого обладнання машинобудівної
галузі, який дозволяє забезпечити гнучке опанування студентами змісту
навчання;
- узагальнена трискладова модель професійно орієнтованого змісту
навчання електротехніки;
- методика проектування професійно орієнтованого змісту навчання
електротехніки студентів спеціальностей машинобудівного напрямку на основі
комплексних моделей;
- система навчання електротехніки на основі розробленого професійно
орієнтованого змісту;
- навчально-методичний посібник «Електротехніка. Комплексні моделі
змісту навчання».

Застосування результатів дисертаційного дослідження дозволило
підвищити ефективність навчання студентів і покращити показники
сформованості професійно важливих якостей.

Перший проректор
з науково-педагогічної роботи



Сергій Петров



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002, тел.: (+38 057) 700-38-88, факс (+38 057) 700-39-14,
E-mail: info@khntusg.com.ua

18.06.2010 № 01-650
на № _____

ДОВІДКА

видана Мосієнко Ганні Миколаївні у тому, що вона у
Харківському національному технічному університеті сільського господарства
ім. П. Василенка протягом 2015-2018 рр. впроваджувала результати дисертаційного
дослідження у процес навчання студентів спеціальностей машинобудівного напрямку
(133-галузеве машинобудування, 274-автомобільний транспорт)

В навчальний процес було впроваджено такі теоретичні і практичні результати:

- методику проектування професійно-орієнтованого змісту навчання електротехніки студентів неелектричних спеціальностей закладів вищої освіти на засадах формування навчальних елементів дисципліни професійно-орієнтованих на специфіку електротехнічного обладнання машинобудівної галузі та посадових обов'язків інженерів-механіків, що забезпечує формування знань, умінь та професійно важливих якостей;
- комплексну модель змісту навчання електротехніки з використанням трискладової структури моделей навчальних елементів, які відтворюють універсальний підхід до створення моделей як окремих технічних елементів так і понять технічної галузі відповідного профілю;
- системний підхід до формування професійно-орієнтованого змісту навчання електротехніки з урахування особливостей застосування електротехнічних пристроїв у складі виробничого обладнання машинобудівної галузі, який дозволяє забезпечити гнучке опанування студентами змісту навчання;
- засоби навчання основ електротехніки студентів машинобудівних спеціальностей закладів вищої освіти на засадах формування комплексних моделей навчальних елементів, які ґрунтуються на узагальненій трискладовій структурі базової моделі;
- навчально-методичний посібник «Електротехніка Комплексні моделі змісту навчання».

Впровадження результати дисертаційного дослідження підвищило якість та ефективність навчання студентів машинобудівних спеціальностей.

Перший проректор



Микола ЛИСИЧЕНКО



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Україна, 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, тел.: +38(057) 707-66-00, факс: +38(057) 707-66-01
E-mail: omsroot@kpi.kharkov.ua

18.06.2020 502-66-132

ДОВІДКА

про впровадження дисертаційного дослідження
Мосієнко Ганни Миколаївни
на тему: «Проектування професійно орієнтованого
змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівних
спеціальностей на основі комплексних моделей»
на здобуття наукового ступеня кандидата педагогічних наук за спеціальністю
13.00.02 «Теорія та методика навчання (технічні дисципліни)»
в навчальний процес Національного технічного університету «Харківський
політехнічний інститут»

Матеріали дисертаційного дослідження Г. М. Мосієнко були впроваджені в освітній процес НТУ «ХПІ» в період 2015 – 2018 рр. при підготовці майбутніх фахівців машинобудівної галузі за напрямом підготовки 131. Прикладна механіка та 133. Галузеве машинобудування.

На базі начального закладу було апробовано основні результати дисертаційної роботи щодо формування професійно орієнтованих знань, умінь та навичок з електротехніки майбутніх інженерів-машинобудівників.

В процес навчання студентів були впроваджені розроблені автором теоретичні і практичні результати дисертаційного дослідження:

- концепція моделювання професійно-орієнтованого змісту навчання електротехніки майбутніх інженерів машинобудівного профілю на основі комплексних моделей;
- модель змісту навчання електротехніки з використанням трискладової структури побудови моделей навчальних елементів;
- системний підхід проектування змісту навчання електротехніки професійно зорієнтованого на номенклатуру електротехнічних пристроїв промислового обладнання машинобудівної галузі, що забезпечує професійну спрямованість викладання дисципліни;
- навчально-методичний посібник «Електротехніка Комплексні моделі змісту навчання».

Впровадження результатів дисертаційного дослідження створюють умови для підвищення якості та ефективності формування професійних компетентностей студентів машинобудівних спеціальностей.

В.о. ректора



Андрій МАРЧЕНКО