

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**


Кафедра електропостачання ім. проф. В.М. Синькова

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Директор ННІ ЕАЕ

В.В. Каплун
“ ” 2022_р.


“СХВАЛЕНО”
на засіданні кафедри електропостачання
ім. проф. В.М. Синькова
Протокол №14 від “02” 05 2022_р.


Завідувач кафедри
В.В. Козирський

“РОЗГЛЯНУТО”
Гарант ОП EEE (бакалавр)

Синявський О.Ю.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ»
(назва навчальної дисципліни)

спеціальність 141 «Енергетика, електротехніка і електромеханіка»
освітня програма «Енергетика, електротехніка і електромеханіка»
ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження

Розробники: доцент, д.т.н., доцент А.П. Нікіфоров
(посада, науковий ступінь, вчене звання)

Київ – 2022 р.

1. Опис навчальної дисципліни

«РЕЛЕЙНИЙ ЗАХИСТ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень		
Освітній ступінь	<i>Бакалавр</i>	
Спеціальність	<i>141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</i>	
Освітня програма	<i>Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка</i>	
Характеристика навчальної дисципліни		
Вид	Обов'язкова	
Загальна кількість годин	70	
Кількість кредитів ECTS	2	
Кількість змістовних модулів	2	
Курсовий проект «Проект релейного захисту блоку лінія-трансформатор»	2	
Форма контролю	іспит	
Показники навчальної дисципліни для денної та заочної форми навчання		
	денна форма навчання	заочна форма навчання
Рік підготовки (курс)	2021-2022, 2	2020-2021, 2
Семестр	4	
Лекційні заняття	30 год.	6 год.
Практичні, семінарські заняття		
Лабораторні заняття	30 год.	6 год.
Самостійна робота	52 год.	
Індивідуальні завдання		
Кількість тижневих аудиторних годин для денної форми навчання	4 год.	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою курсу «Релейний захист та автоматизація енергосистем» є підготовка до використання комплексу автоматичних приладів управління режимами роботи, протиаварійного управління та релейного захисту сучасних електричних систем, вивчення теоретичних основ автоматики та релейного захисту електроенергетичних систем, принципів дії, алгоритмів функціонування та технічної реалізації основних видів приладів автоматики і релейного захисту та оволодіння практичними навичками розрахункової та дослідницької роботи з проектування та експлуатації автоматики та релейного захисту елементів електричних систем.

Завдання:

1. Вивчення принципів виконання релейного захисту та автоматики елементів електричних систем.
2. Отримання навичок вибору типів захистів та системної автоматики і визначення параметрів їх спрацювання.
3. Отримання навичок узгодження дії захистів окремих вузлів між собою та узгодження дії захистів з різними видами системної автоматики
4. Освоєння методів проектування захистів та автоматики електрообладнання.

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

знати: давальники струму і напруги, схеми їх сполучень з реле, вибір їх для роботи в схемах релейного захисту; основні вимоги до релейного захисту; принципи виконання РЗ з відносною селективністю; вибір параметрів спрацювання та забезпечення необхідної чутливості; принципи роботи РЗ з абсолютною селективністю та визначення їх основних параметрів спрацювання; призначення РЗ та принципи захисту ліній електропередачі; близьке та далеке резервування; пристрої резервування відмови вимикача; релейний захист генераторів, трансформаторів, збірних шин та електродвигунів; пристрої автоматичного вмикання резерву (АВР), автоматичного повторного вмикання вимикача (АПВ); автоматичне частотне розвантаження (АЧР); основні поняття про цифрові пристрої релейного захисту і автоматики на мікропроцесорах;

вміти: вибирати трансформатори струму для їх роботи в схемах РЗ; розраховувати параметри спрацювання ступеневого струмового захисту ліній електропередачі від міжфазних та однофазних КЗ; вибирати типи захистів силових ліній, генераторів, трансформаторів, двигунів; визначати параметри спрацювання диференційних та максимально-струмових РЗ силових ліній, трансформаторів; визначати параметри спрацювання захистів двигунів; вибирати параметри спрацювання та складати структурні схеми АВР, АПВ, АЧР; читати прості схеми РЗ та автоматики.

спеціальні компетентності

загальні:

- К01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.
- К02. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
- К05. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
- К06. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.

фахові:

- К12. Здатність вирішувати практичні задачі із залученням методів математики, фізики та електротехніки.
- К14. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами метрології, електричних вимірювань, роботою пристроїв автоматичного керування, релейного захисту та автоматики.
- К18. Здатність виконувати професійні обов'язки із дотриманням вимог правил техніки безпеки,

охорони праці, виробничої санітарії та охорони навколишнього середовища.

K20. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

K21. Здатність оперативно вживати ефективні заходи в умовах надзвичайних (аварійних) ситуацій в електроенергетичних та електромеханічних системах.

3. Програма та структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин						
	денна форма						
	тижн і	усь го	у тому числі				с.р.
			лек	прак	лаб	інд	
1	2	3	4	5	6	7	8
Змістовий модуль 1. Принципи дії захистів з відносною селективністю.							
Тема 1. Призначення РЗА. Види пошкоджень та ненормальних режимів.	1	8	2		2		4
Тема 2. Принципи виконання РЗ. Типи реле. Вимоги до РЗ. Вимірювальні трансформатори ТС і ТН.	2	8	2		2		4
Тема 3. Джерела оперативного струму. Схема управління вимикачем.	3	8	2		2		4
Тема 4. Максимальний струмовий захист. Розрахунки параметрів спрацювання та оцінка чутливості.	4	8	2		2		4
Тема 5. Способи підвищення чутливості МСЗ. Струмові відсічки.	5	8	2		2		4
Тема 6. Ступеневі струмові захисти. Спрямований струмовий захист.	6	8	2		2		4
Тема 7. Захисти нульової послідовності від к.з. на землю. Загальна сигналізація замикань на землю.	7	8	2		2		4
Разом за змістовим модулем 1	7	56	14		14		28
Змістовий модуль 2. Захист елементів електричних систем (лінії, трансформатори, генератори, збірні шини). Автоматика електричних систем.							
Тема 8. Дистанційний захист.	8	7	2		2		3
Тема 9. Поздовжній диференційний захист лінії. Поперечний диференційний захист.	9	7	2		2		3
Тема 10. Захист трансформаторів й генераторів.	10	7	2		2		3
Тема 11. Захист блоків ліній-трансформатор, збірних шин.	11	7	2		2		3
Тема 12. Захист електричних двигунів. Принципи побудови мікро-процесорних захистів.	12	7	2		2		3
Тема 13. Визначення параметрів спрацювання МП-захистів.	13	7	2		2		3
Тема 14. АПВ. Вимоги. Алгоритм роботи. Використання. Розрахунки.	14	7	2		2		3
Тема 15. АВР. Вимоги. Алгоритм	15	7	2		2		3

роботи. Використання. Розрахунки. АЧР.							
Разом за змістовим модулем 2	8	56	16		16		24
Усього годин		112	30		30		52

4. Теми семінарських занять

5. Теми практичних занять

6. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Здача лабораторної роботи №1. Дослідження схем з'єднання обмоток струмових реле вторинних обмоток трансформаторів струму	2
2	Здача лабораторної роботи №2. Дослідження максимального реле струму.	2
3	Здача лабораторної роботи №3. Дослідження мінімального реле напруги.	2
4	Здача лабораторної роботи №4. Дослідження ступеневих струмових захистів із залежною і незалежною характеристиками часу спрацювання.	2
5	Здача лабораторної роботи №5. Дослідження реле напрямку потужності.	2
6	Здача лабораторної роботи №6. Направлений струмовий захист від міжфазних коротких замикань лінії з двобічним живленням.	2
7	Здача лабораторної роботи №6. Направлений струмовий захист від міжфазних коротких замикань лінії з двобічним живленням.	2
8	Здача лабораторної роботи №8. Дослідження дистанційного захисту	2
9	Здача лабораторної роботи №9. Дослідження диференційного захисту трансформатора, що виконаний на реле струму з гальмуванням.	2
10	Здача лабораторної роботи №10. Дослідження мікропроцесорного захисту типу МРЗС.	2
11	Здача лабораторної роботи №11. Дослідження ступеневого струмового захисту на змінному оперативному струмі.	2
12	Здача лабораторної роботи №12. Мікропроцесорний захист електродвигунів.	2
13	Здача лабораторної роботи №13. Дослідження МП захисту трансформатора.	2
14	Здача лабораторної роботи №14. Дослідження АПВ.	2
15	Здача лабораторної роботи №15. Дослідження АВР.	2

7. Контрольні питання, комплекти тестів для визначення рівня засвоєння знань студентами

Перелік контрольних питань

1	Пошкодження й порушення нормального режиму роботи електрообладнання. Призначення релейного захисту
2	Основні принципи побудови захистів
3	Вимоги до релейного захисту. Параметри реле
4	Трифазне коротке замикання. Зміна параметрів режиму лінії в місці установки захисту
5	Двофазне к.з. Зміна параметрів режиму лінії в місці установки захисту
6	Двофазне к.з. на землю. Зміна параметрів режиму лінії в місці установки захисту
7	Однофазне к.з. Зміна параметрів режиму лінії в місці установки захисту
8	Робота схеми двофазного максимального струмового захисту на постійному оперативному струмі
9	Схеми включення ПО МСЗ: трифазна схема, двофазна схема із з'єднанням ТС у неповну зірку, трикутник
10	Вибір уставок (параметрів спрацювання) МСЗ із незалежною витримкою часу
11	Визначення коефіцієнту чутливості максимального струмового захисту (аналіз умов, при яких визначається)
12	Способи підвищення чутливості МСЗ
13	Вибір витримки часу МСЗ
14	Принцип дії миттєвої струмової відсічки від міжфазних к.з. (принцип, визначення параметрів спрацювання і зони дії)
15	Відсічка блоку лінія-трансформатор від міжфазних к.з. (принцип дії, визначення параметрів спрацювання і зони дії)
16	Відсічка з витримкою часу від між фазних к.з. (принцип дії, визначення параметрів спрацювання і зони дії)
17	Сполучення струмових відсічок з максимальним струмовим захистом від міжфазних к.з.(ступеневі струмові захисти)
18	Принцип дії направленої струмового захисту від міжфазних к.з. (струморозподіл, принцип забезпечення селективності, схема захисту)
19	Вибір уставок струму і часу спрацювання направленої струмового захисту від міжфазних к.з.
20	Принцип дії та характеристики реле напряму потужності
21	Схеми включення реле напряму потужності. Аналіз зміни параметрів при різних к.з. для вибору схеми.
22	Максимальний струмовий захист нульової послідовності від к.з. на землю (принцип дії, схеми, вибір параметрів спрацювання)
23	Відсічки нульової послідовності від к.з. на землю
24	Загальна сигналізація замикань на землю в мережі з ізольованими нульовими точками трансформаторів і генераторів (принцип дії, схема, вибір параметрів спрацювання)
25	Індивідуальна селективна сигналізація однофазних замикань на землю (принцип дії, схема, вибір параметрів спрацювання)
26	Принцип дії дистанційного захисту
27	Характеристики часу спрацювання дистанційного захисту
28	Спрощена схема дистанційний захисту (схема, основні органи, робота схеми)
29	Зображення характеристик реле опору на комплексній площині
30	Характеристики спрацювання реле опору та їх особливості
31	Схеми включення та точність роботи реле опору
32	Принцип дії поздовжнього диференціального захисту лінії
33	Струми небалансу в диференціальному захисту
34	Принципи виконання поздовжнього диф.захисту ліній (в тому числі гальмування)
35	Принцип дії струмового поперечного диференціального захисту паралельних ліній
36	Мертва зона та повна схема поперечного диференціального захисту двох паралельних ліній.
37	Спрямований поперечний диференціальний захист двох паралельних ліній. Зона каскадної дії захисту
38	Струмова відсічка трансформаторів від між фазних к.з.
39	Особливості виконання диференціального захисту трансформаторів
40	Газовий захист та захист від надструмів трансформаторів
41	Захист генераторів. Види пошкоджень і ненормальних режимів турбогенераторів. Види захистів генераторів.
42	Захист електродвигунів
43	Особливості захисту блоків лінія-трансформатор
44	Призначення і область застосування АПВ. Критерії спрацювання
45	Основні вимоги до схем АПВ
46	Структурна схема АПВ. Робота схеми АПВ.
47	Автоматичне включення резервного живлення та обладнання (АВР). Вимоги до пристроїв АВР.
48	Структурна схема АВР. Робота схеми АВР ліній
49	Основи фізики процесів формування стабільної частоти в електричних системах
50	Аварійні зниження частоти та напруги в електроенергетичних системах. Автоматичне частотне

розвантаження.

ПАКЕТ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ. ВАРІАНТ № 1

1. Як забезпечується селективність дії максимального струмового захисту від міжфазних к.з.?

1	За рахунок збільшення часу спрацювання захистів в напрямку від навантаження до джерела живлення
2	За рахунок зменшення часу спрацювання захистів в напрямку від навантаження до джерела живлення
3	За рахунок виключення часу спрацювання захистів
4	За рахунок забезпечення миттєвого спрацювання захистів мережі

2. Що треба зробити для підвищення чутливості максимального струмового захисту:

1	Збільшити час спрацювання захисту
2	Збільшити струм спрацювання захисту
3	Зменшити час спрацювання захисту
4	Зменшити струм спрацювання захисту

3. Вкажіть мінімально необхідне значення коефіцієнту чутливості максимального струмового захисту лінії в основній зоні дії захисту:

1	0,8
2	1
3	1,2
4	1,5

4. Вкажіть правильну формулу для визначення струму спрацювання максимального струмового захисту лінії від міжфазних к.з. (за першою умовою)

1	$I_{с.з.} = K_H \cdot I_{к.макс}$
2	$I_{с.з.} = \frac{K_n \cdot K_z}{K_n} I_{н.макс}$
3	$I_{с.з.} = K_{зап} \cdot I_{нб макс}$
4	$I_{с.з.} = K_{зап} \cdot 3I_{0,макс}$

5. Причина виникнення струму небалансу в максимальному струмовому захисті нульової послідовності лінії від к.з. на землю:

1	Похибки трансформаторів напруги
2	Характеристики трансформаторів струму не збігаються
3	Наявність РПН у трансформаторів
4	Похибки струмових реле

6. Основні вимоги до релейного захисту електричних систем

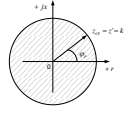
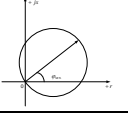
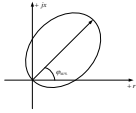
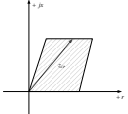
1	Взаємозамінюваність, придатність до ремонту
2	Швидкодія, селективність, чутливість, надійність
3	Універсальність, економічність, найменші габарити
4	Взаєморезервування, економічність

7. Який ступінь дистанційного захисту спрацює у разі виникнення двофазного к.з. у середині лінії, що захищається:

1	Перший
2	Другий

3	Третій
4	Захист не спрацює

8. Яка з характеристик реле опору найбільш раціональна

1	Ненаправлене реле повного опору	
2	Спрямоване реле повно опору	
3	Реле з еліптичною характеристикою	
4	Реле з характеристикою у вигляді багатокутника.	

9. Визначити струм спрацювання МСЗ лінії від міжфазних к.з. , якщо максимальний струм навантаження – 143 А. У захисті використовується реле струму типу РТ-40 ($K_H=1,2$):

1	214,5 А
2	514,8 А
3	643,5 А
4	735,4 А

10. Чи припустиме використання МСЗ лінії 10 кВ із струмом спрацювання 1710 А, якщо значення струму двофазного к.з. у кінці лінії в мінімальному режимі складає 2650 А?

1	Припустиме, тому що $K_{ч осн} > 1,5$
2	Не припустиме, тому що $K_{ч осн} > 1,2$
3	Не припустиме, тому що $K_{ч осн} < 2$
4	Припустиме, тому що $K_{ч осн} < 1,2$

11. Коефіцієнт повернення максимального струмового реле типу РТ-40

1	Менше 0,7
2	Більше 0,8
3	Більше 1
4	Більше 1,2

7. Коефіцієнт повернення струмового реле це

1	Відношення струму повернення реле до струму його спрацьовування
2	Швидкодія, селективність, чутливість, надійність
3	Універсальність, економічність, найменші габарити
4	Взаєморезервування, економічність

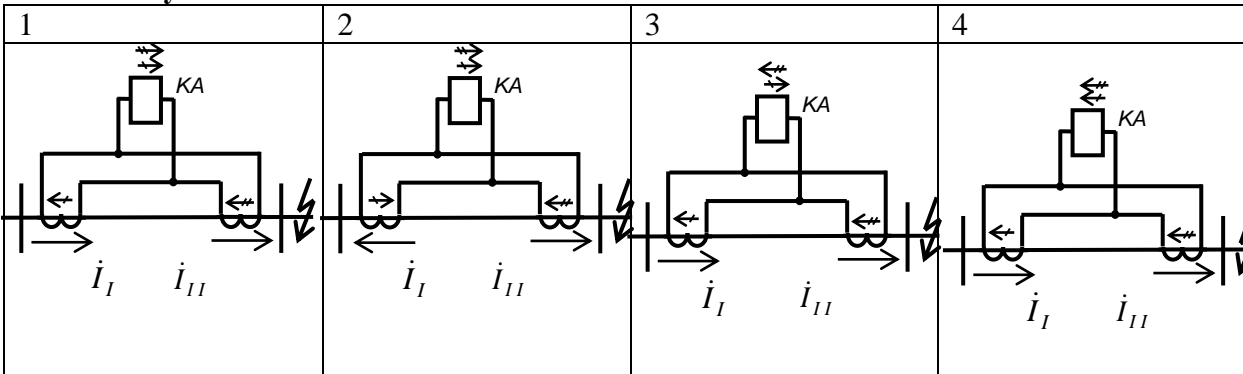
12. Основне призначення релейного захисту електричних систем

1	Сигналізація про виникнення к.з. та його місце
2	Попередження про можливість виникнення к.з.
3	Виявлення місця порушення нормального режиму роботи обладнання
4	Виявлення місця виникнення к.з. і швидке автоматичне відключення вимикачів пошкодженого обладнання

13. Вкажіть правильну формулу для визначення струму спрацювання миттєвої струмової відсічки лінії від міжфазних к.з. (за першою умовою)

1	$I_{с.з.} = K_H \cdot I_{K.МАКС}$
2	$I_{с.з.} = \frac{K_H \cdot K_3}{K_n} I_{н.макс}$
3	$I_{с.з.} = K_{зап} \cdot I_{нб макс}$
4	$I_{с.з.} = K_{зап} \cdot 3I_{0 макс}$

14. Вкажіть правильний розподіл струмів в лінії та у диференціальному захисті лінії при зовнішньому к.з.



15. Який ступінь дистанційного захисту спрацює у разі виникнення трифазного к.з. у кінці лінії, що захищається

1	Перший
2	Другий
3	Третій
4	Захист не спрацює

16. Чи повинен МСЗ повертатися у неспрацьоване положення після відключення зовнішнього к.з.?

1	Так
2	Ні
3	Інколи
4	Якщо не спрацював резервний захист

17. У яких випадках повинен спрацьовувати АВР:

1	У всіх випадках відключення вимикача
2	У разі втрати живлення від робочого джерела по будь-якій причині
3	Якщо зразу після включення вимикача виникло к.з.
4	Якщо навантаження вимкнуто внаслідок дії АЧР

18. У яких випадках повинно спрацьовувати АПВ:

1	У всіх випадках автоматичного відключення вимикача
2	У разі втрати живлення від робочого джерела по будь-якій причині
3	Якщо зразу після включення вимикача виникло к.з.
4	Якщо навантаження вимкнуто внаслідок дії АЧР

19. Визначити струм спрацювання МСЗ лінії від міжфазних к.з. , якщо максимальний струм навантаження – 87 А. У захисті використовується реле струму типу РТ-40 ($K_H=1,2$):

1	391,5 А
2	313,2 А
3	130,5 А
4	104,4 А

20. Чи припустиме використання МСЗ лінії 10 кВ із струмом спрацювання 1230 А, якщо значення струму двофазного к.з. у кінці лінії в мінімальному режимі складає 1580 А.

1	Припустиме, тому що $K_{ч осн} > 1,5$
2	Не припустиме, тому що $K_{ч осн} > 1,2$
3	Не припустиме, тому що $K_{ч осн} < 1,5$
4	Припустиме, тому що $K_{ч осн} < 1,2$

2. Для збільшення діапазону струмів спрацювання необхідно

1	З'єднати послідовно дві полу обмотки реле
2	З'єднати паралельно дві полу обмотки реле
3	Включити одну полу обмотку реле
4	Відключити одну полу обмотку реле

8. Методи навчання

Теоретичний матеріал (лекції), практичні заняття (факультативно, а також самостійна робота), виконання контрольних та лабораторних робіт.

9. Форми контролю

Контрольні роботи щодо пройденого теоретично-практичного матеріалу. Контрольні запитання в режимі діалогу на лекціях на протязі семестру щодо попередньо пройденого теоретичного матеріалу та при захисті курсового проекту і лабораторних робіт.

10. Розподіл балів, які отримують студенти. Оцінювання студента відбувається згідно положення «Про екзамени та заліки у НУБіП України» від 20.02.2015 р. протокол № 6 з табл. Для визначення рейтингу студента (слухача) із засвоєння дисципліни $R_{дис}$ (до 100 балів) одержаний рейтинг з атестації (до 30 балів) додається до рейтингу студента (слухача) з навчальної роботи $R_{НР}$ (до 70 балів): $R_{дис} = R_{НР} + R_{ат}$.

Рейтинг студента, бали	Оцінка національна за результати складання	
	екзаменів	заліків
90-100	Відмінно	Зараховано
74-89	Добре	
60-73	Задовільно	
0-59	Незадовільно	Не зараховано

11. Методичне забезпечення

1. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи релейного захисту та автоматизації енергосистем». Укладачі: М.В. Гребченко, А.В. Іванченко - К: НУБіП. 2016. - 24 с.

2. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з дисципліни «Основи електропостачання (Релейний захист)». Укладачі: А.О. Омельчук, А.В. Іванченко, В.С. Трондюк - К: НУБ і ПУ. 2010. - 57 с.

3. Методичні вказівки щодо виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електропостачання АПК” (Релейний захист). Укладачі: А.О. Омельчук, В.С.Трондюк, А.В. Іванченко. – К.: НУБіП.- 2004. - 43 с.

12. Рекомендована література

Основна

1. Кідиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем. Львівська політехніка, Львів, 2015.-504 с.
2. Голота А.Д. Автоматика в електроенергетичних системах. Київ. Вища школа. 2006
3. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита. Энергоатомиздат, М. 2007.
4. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Релейная защита сетей. Учебн. пособие.- М. Энергоатомиздат, 1984.- 520 с.
5. Федосеев А.М. Релейная защита электроэнергетических систем. Учебник. М. Энергия, 1976. – 560 с.
6. Вавин В.Н. Релейная защита блоков турбогенератор-трансформатор. М. Энергоиздат, 1982. – 256 с.
7. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. М. Высшая школа.2006.
8. Басс Э.И., Дорогунцев В.Г. Релейная защита электроэнергетических систем. М. Издательский дом МЭИ. 2006.

Допоміжна

1. Барзам А.Б. Системная автоматика. М. Энергоатомиздат.1989.
2. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Л.Энергоатомиздат,1985.
3. Чернобровов Н.В. Релейная защита. М. Энергоатомиздат.1989.
4. Шабад М.А. Максимальная токовая защита. -Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние,1991.
5. Беркович М.А., Молчанов В.В., Семенов В.А. Основы техники релейной защиты.М.:Энергоатомиздат,1984.
6. Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей. М.Энергоатомиздат,1987.
7. Алексеев В.С. и др. Реле защиты. М.Энергия.1976.
8. Руководящие указания по релейной защите. Выпуски 7,9-12,13А,13Б.

13. Інформаційні ресурси

<http://www.springer.com/series/4622>

siemens.com/tip-cs

<http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/pages/ua/scientificworksandpublishedworks.aspx>

<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/2853>