

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

**Володимир Іванович Мілих  
Тетяна Павлівна Павленко**

# **ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**ПІДРУЧНИК**

для студентів вищих закладів освіти  
електромеханічних спеціальностей

Затверджено вченою радою НТУ «ХПІ»

**Київ  
Видавництво «Каравела»  
2018**

**УДК 621.32  
М75**

**Затверджено вченою радою НТУ «ХПІ»  
як підручник для студентів електро-  
механічних спеціальностей,  
протокол №8 від 04.11.2016 р.**

**Рецензенти:**

*М.М. Заблодський, д-р техн. наук, проф.,  
Національний університет*

*біоресурсів і природовикористання;*

*В.О. Яровенко, д-р техн. наук, проф.,  
Одеський національний морський університет*

**Мілих В.І.**

**М75 Електропостачання промислових підприємств :**  
Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – К.: «Каравела», 2018. – 272 с.

**ISBN 978-996-2229-91-2**

Розглянуто основні питання, пов'язані з керуванням електропостачання промислових підприємств, розподілом електричного навантаження, розташуванням трансформаторних підстанцій, компенсацією реактивної потужності, а також з організацією інших необхідних заходів. Відображено аспекти техніки безпеки та охорони праці на промислових підприємствах. Деякі розглянуті теми забезпечено прикладами розв'язання задач.

Призначено для студентів спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та інших технічних спеціальностей.

Іл. 199. Табл. 15. Бібліогр. 26 назв.

**УДК 621.32**

**© В.І. Мілих,  
Т.П. Павленко, 2018**

**SBN 978-966-2229-91-2**

**© Видавництво  
«Каравела», 2018**

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АВР	–	автоматичне вмикання резерву
АПВ	–	автоматичне повторне вмикання
АСК	–	автоматизована система керування
АСДК	–	автоматична система диспетчерського керування
БТМ	–	блок трансформатор-магістраль
АЕС	–	атомна електростанція
ВВ	–	високовольтний вимикач
ВН	–	висока напруга
ВРП	–	вузлова розподільна підстанція
ВТНП	–	високотемпературна надпровідність
ГАЕС	–	гідроакумулювальна електростанція
ГЕС	–	гідроелектростанція
ГЗП	–	головна знижувальна підстанція
ГРП	–	головна розподільна підстанція
ДП	–	диспетчерський пункт
ЗП	–	високовольтний запобіжник
КЗ	–	коротке замикання
КП	–	контролюючий пункт
ККД	–	коефіцієнт корисної дії
КРП	–	комплектний розподільний пристрій
КТП	–	комплектна трансформаторна підстанція
ЛЕП	–	лінія електропередач
М	–	електродвигун
НН	–	низька напруга
НХ	–	неробочий хід
О	–	віддільник високовольтний
П	–	приймач електричної енергії
ПС	–	підстанція
ПУЕ	–	правила улаштування електроустановок
РП	–	розподільний пункт
РЗП	–	розподільна знижувальна підстанція
РТП	–	розподільна трансформаторна підстанція

РП	–	розподільний пристрій
РШ	–	розподільна шафа
СГВ	–	схема глибокого вводу
СЕЕ	–	споживач електричної енергії
СЕП	–	система електропостачання
СН	–	середня напруга
Т	–	трансформатор
ТГ	–	турбогенератор
ТП	–	трансформаторна підстанція
ТЕС	–	теплова електростанція
ТЕЦ	–	теплоелектроцентрально
ЦП	–	цехова підстанція
ЦРП	–	центральний розподільний пункт
ЦТП	–	цехова трансформаторна підстанція
G	–	генератор
HL	–	лампа освітлення
FU	–	топкий запобіжник
Q	–	рубильник
QF	–	вимикач автоматичний (низьковольтний)
QS	–	роз'єднувач
PR	–	перемичка

## ВСТУП

Система електропостачання (СЕП) створена для забезпечення живлення електричною енергією промислових споживачів і приймачів. Це комплекс пристроїв для виробництва, передачі і розподілу електричної енергії. Він складається з джерел електричної енергії, ліній електропередач (ЛЕП), трансформаторних, перетворювальних і розподільних підстанцій. До цього комплексу також належить вимірювальне і захисне обладнання, що обслуговує керування пристроїв комплексу.

Джерелами електричної енергії є районні, теплові, гідравлічні та інші електростанції, які зазвичай розташовані на деякій відстані від споживачів електричної енергії. Робота електростанцій заснована на використанні різних природних енергетичних ресурсів. Об'єднання електростанцій та ЛЕП у єдину систему електропостачання сприяє збільшенню надійності забезпечення електричною енергією приймачів і споживачів. Це також дозволяє знизити пікове навантаження деяких електростанцій у різний час доби.

Основними приймачами електроенергії промислових підприємств є силові промислові установки – різноманітні машини і механізми з приводними електродвигунами (верстатобробне і підйомно-кранове обладнання, вентилятори, компресори, насоси, транспортні засоби та ін.); електричні освітлювальні пристрої; електролізні та електротермічні установки, перетворювальні агрегати для живлення двигунів низки машин і механізмів, внутрішньозаводського електричного транспорту; різні види електричних апаратів, які забезпечують керування технологічними процесами, електроприводами та ін.

З урахуванням різних категорій споживачів електричної енергії їх електропостачання повинно забезпечуватися на визначеному рівні, а головне, воно має бути якісним, надійним та економічним. При цьому напруга і частота електричної мережі не повинні відрізнятися від їх номінальних значень. До визначення категорій промислових підприємств необхідно ставитись дуже ретельно, оскільки це пов'язано з життям людей, випуском продукції промислового підприємства, з дорогими технологічними процесами.

Вибір електротехнічних установок промислових підприємств проводиться відповідно до споживаної потужності, яка при проектуванні підприємства повинна бути визначена з достатньою точністю, щоб не допускати аварійних ситуацій внаслідок перевантаження системи електропостачання й уникати підвищених капіталовкладень. У системах електропостачання широко використовуються пристрої захисту, що оберігають обладнання від перевантажень і обмежують струми КЗ.

Важливою особливістю системи електропостачання є практична неможливість створення запасів електричної енергії, тому що отримана електрична енергія негайно витрачається приймачами і споживачами. Крім того, під впливом різноманітних факторів відбуваються збурення, що призводять до зміни стану системи.

Сьогодні робота енергосистеми, а також електропостачання промислових підприємств практично повністю автоматизовані, завдяки чому вирішуються основні завдання захисту, регулювання напруги, потужності, обліку електроенергії та ін.

Створення універсального керування системою електропостачання забезпечує якісне електропостачання не лише промислових підприємств із різним характером їх виробництва, але й адміністративно-господарських, побутових та житлових приміщень. Системний підхід до вирішення оптимізаційних завдань сприяє підвищенню продуктивності машин і механізмів, зменшенню втрат електричної енергії, а також комплексному підвищенню надійності та ефективності роботи електричного обладнання, приймачів і споживачів електричної енергії. При цьому повинні бути забезпечені енергозбереження, екологічна безпека навколишнього природного середовища та техніка безпеки персоналу.

Теоретичний матеріал підручника містить необхідні відомості, які входять у програму дисципліни «Електропостачання промислових підприємств», та супроводжується, у міру необхідності, прикладами розв'язання задач. Ці приклади сприяють розвитку навичок визначення параметрів енергосистеми і вибору електричного обладнання для електропостачання промислового підприємства.

## ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

### **А**

Апарати електричні 191  
– автоматики 192  
– високої напруги 192  
– диференційні 202  
– захисту 34  
– керування 34, 191  
– обмежувальні 197

### **В**

Відокремлювачі 194  
Види коротких замикань 168  
Вимикачі 193  
– автоматичні 202  
Витратна частина енергії 123  
Вплив на людину  
– вібрації 251  
– шуму 251  
Втрати енергії 83  
– магнітні 130  
– електричні 129  
– механічні 135

### **Г**

Графік навантаження 39  
Групи з'єднання обмоток  
трансформаторів 72  
Групи приймачів електроенергії 23

### **Д**

Двигуни синхронні 96  
Двигуни трифазні асинхронні 106  
Джерела живлення 49  
Дія струмів КЗ  
– електродинамічна 171  
– термічна 173

### **Е**

Електричні мережі 60  
Електромагнітні поля 246  
Електростанції  
– атомна 9  
– вітряна 15  
– гідроелектростанція 11  
– гідроаккумулявальна 13  
– теплова 7  
Електротравми 245

### **Ж**

Живлення приймачів енергії  
– змішана схема живлення 60  
– магістральні схеми живлення 58  
– радіальне схеми живлення 58  
– транзитні магістралі 56, 59

### **З**

Загороджувачі 199  
Заземлення 249  
Занулення 250  
Запобіжники 208  
Захисне вимкнення 251  
Захист  
– диференційний 214  
– дистанційний 215  
– максимальний струмовий 209  
– напівпровідниковий 218  
– струмові відсічки 216

### **І**

Інструктаж 254

### **К**

Кабелі 63  
Картограма електричних  
навантажень 45  
Категорії приймачів  
електроенергії 23  
Компенсатори 119, 121,  
– динамічні 95  
– статичні 97  
– тиристорні 102  
Комплектні трансформаторні  
підстанції 228  
Конденсатори 97  
Контактор електромагнітний  
201  
Контролери 150  
Короткозамикач 195

### **Л**

Лампи освітлення 236  
Лінії електропередачі  
– кабельні 18  
– надпровідникові 19  
– повітряні 18

**М**

Мікропроцесорні пристрої 150

**Н**

Навантаження

– несиметричне 26

– симетричне 26

**О**

Обмежувачі перенапруг 198

Освітлення

– аварійне 233

– робоче 233

Освітлювальні мережі

– магістральні 237

– розподільні 237

Освітлювальні прилади 235

**П**

Паралельна робота

трансформаторів 73

Підстанція 17

Потужність (види) 88

Прибуткова частина енергії 123

Приймачі енергії

– однофазні 25

– трифазні 26

Пристрої

– захисного вимкнення 203

– збору і передачі даних 158

– компенсувальні 94

– обмеження 197

– фільтрації гармонік 101

Проводи 63

**Р**

Реактор індуктивний

шунтувальний 101

Реактор обмеження струмів 170

Реле 203

Режими роботи

– асинхронний ТГ 164

– несиметричні 163

Роз'єднувачі 192

Розчеплювачі 225

Рубильники 201

Раптове коротке замикання 164

**С**

Синхронні компенсатори 95

Система автоматизована 138

Системи автоматичні 146

– апаратних засобів інформації 150

– вмикання повторного 146

– вмикання резерву 146

– частотного розвантаження 149

Системи телекомунікації

– телекерування 140

– телесигналізації 140

– телевимірювання 140

Струмопроводи 226

Схеми з'єднань

– зірка 25

– трикутник 26

**Т**

Техніка безпеки 254

Трансформаторні підстанції 70

– вимірювальні 141, 195

Трансформатори трифазні 70

**У**

Ураження електричним

струмом 243

**Ф**

Фільтрокомпенсувальні

пристрої 93

**Ш**

Шафи електричні 229

Шинне складання 226

Шинопровід 61, 227

Шини 63



## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СИСТЕМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	7
1.1. Виробництво електричної енергії.....	7
1.2. Передача електричної енергії.....	17
1.3. Розподіл електричної енергії.....	21
1.4. Живлення приймачів і споживачів електричної енергії.....	23
1.5. Засоби вмикання приймачів електроенергії у трифазну електричну мережу.....	25
1.5.1. З'єднання приймачів за схемою «зірка».....	26
1.5.2. З'єднання приймачів за схемою «трикутник» – $\Delta$ .....	29
1.6. Класифікація приймачів електричної енергії.....	32
2. ЕЛЕКТРИЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	36
2.1. Визначення електричних навантажень.....	36
2.2. Параметри електричних навантажень.....	38
2.3. Розрахунок електричних навантажень.....	41
2.4. Картограма електричних навантажень промислових підприємств.....	45
2.5. Основні параметри оптимізації електричних навантажень.....	47
2.5.1. Розподіл центрів електричних навантажень.....	48
2.5.2. Вибір місця розташування джерела живлення.....	49
2.5.3. Вибір обладнання.....	50
3. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДПРИЄМСТВ І ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ	54
3.1. Зовнішнє електропостачання промислових підприємств.....	54
3.2. Внутрішнє електропостачання промислових підприємств.....	57
3.3. Електричні мережі та їх складові.....	60
3.4. Конструкції кабелів, проводів та електричних шин.....	63
3.5. Вибір перерізів проводів, кабелів, шинопроводів.....	66
4. ТРАНСФОРМАТОРНІ ПІДСТАНЦІЇ. ВИБІР СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ.....	70
4.1. Загальні відомості про трифазні трансформатори. Співвідношення основних величин, що характеризують їх роботу.....	70
4.2. Схеми з'єднання трансформаторних підстанцій.....	75
4.3. Вибір силових трансформаторів.....	78
4.4. Спеціальні трансформатори.....	84
5. КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ.....	88
5.1. Види потужності в електричних мережах.....	88
5.2. Проблема компенсації реактивної потужності в електричних мережах.....	90
5.3. Заходи з підвищенням якості електроенергії і зменшенням впливу реактивної потужності.....	92

5.4.	Устаткування для компенсації реактивної потужності і підвищення якості електроенергії.....	94
5.5.	Режими роботи і регулювання потужності компенсувальних пристроїв.....	103
5.6.	Оцінка ефективності використання електродвигунів.....	106
5.6.1.	Подання трифазних асинхронних двигунів.....	106
5.6.2.	Приклад аналізу ефективності використання ТАД.....	109
5.7.	Моделі електроенергетичної системи і підвищення коефіцієнта потужності.....	110
5.7.1.	Модель електроенергетичної системи та постановка завдання...	110
5.7.2.	Розрахунок базової електроенергетичної системи.....	113
5.7.3.	Розрахунок електроенергетичної системи з конденсатором, який компенсує реактивну потужність.....	114
5.7.4.	Вибір раціонального рівня компенсації реактивної потужності....	116
5.7.5.	Розрахунок електроенергетичної системи при використанні електромеханічних компенсаторів.....	118
5.7.6.	Розрахунок електроенергетичної системи при вмиканні електромеханічних компенсаторів паралельно генератору.....	120
6.	ЕЛЕКТРОБАЛАНС І ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	123
6.1.	Основні положення.....	123
6.2.	Визначення параметрів витрати електричної енергії на промислових підприємствах.....	124
6.3.	Приклад розрахунку витрати електричної енергії на промисловому підприємстві.....	131
7.	КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯМ ПІДПРИЄМСТВА.....	138
7.1.	Структура керування системами електропостачання промислових підприємств.....	138
7.2.	Особливості роботи і взаємодія автоматизованих систем керування.....	144
7.3.	Мікропроцесорні засоби автоматизації і диспетчеризації системи електропостачання підприємства.....	149
7.4.	Приклади побудови систем автоматизації обліку енергоресурсів..	156
8.	НЕШТАТНІ ТА АВАРІЙНІ РЕЖИМИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ .....	162
8.1.	Ненормальні режими роботи генераторів.....	162
8.2.	Причини виникнення короткого замикання в електричних системах.....	167
8.3.	Дія струмів короткого замикання.....	171
8.4.	Розрахунок струмів короткого замикання.....	174
8.4.1.	Розрахунок струмів КЗ в установках змінного струму.....	174
8.4.2.	Розрахунок струмів КЗ в установках постійного струму.....	178
8.5.	Приклади розрахунку струмів короткого замикання.....	180
8.6.	Визначення місця виникнення короткого замикання і моніторинг стану повітряних ліній.....	186

9.	ЗАХИСТ І КОМУТАЦІЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ.....	188
9.1.	Види пошкоджень в електроустановках.....	188
9.2.	Засоби забезпечення нормальної роботи енергетичної системи	190
9.3.	Елементи комутації і захисту у високовольтних електричних колах.....	192
9.4.	Елементи комутації і захисту електричних кіл напругою 1 000 В.....	201
9.5.	Основні види захисту.....	209
10.	РОЗПОДІЛ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НИЗЬКОЇ НАПРУГИ.....	224
10.1.	Напруга мережі у цехах промислових підприємств.....	224
10.2.	Схеми живлення цехових мереж.....	224
10.3.	Розподільні пристрої трансформаторних підстанцій промислових підприємств.....	227
10.4.	Освітлювальні цехові мережі.....	232
10.4.1.	Види освітлювальних мереж.....	232
10.4.2.	Освітлювальні прилади.....	235
10.4.3.	Розрахунок і вибір параметрів освітлювальних мереж.....	237
10.4.4.	Захист електричних і освітлювальних мереж.....	240
11.	ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ Й ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	242
11.1.	Вимоги і причини ураження електричним струмом.....	242
11.2.	Вплив електричного струму на людину.....	245
11.3.	Джерела електромагнітних полів і вплив їх на людину.....	246
11.4.	Технічні методи і засоби захисту людини на виробництві.....	248
11.4.1.	Методи захисту від ураження електричним струмом.....	248
11.4.2.	Методи захисту від шуму, вібрації та електромагнітних полів.....	251
11.5.	Організаційно-технічні методи захисту.....	254
11.5.1.	Електрозахистні засоби.....	255
11.5.2.	Методи охорони праці.....	258
	Список літератури.....	262
	Предметний покажчик.....	264

**Навчальне видання**

**МІЛИХ Володимир Іванович**

**ПАВЛЕНКО Тетяна Павлівна**

# **ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

**ПІДРУЧНИК**

для студентів електромеханічних спеціальностей

Керівник видавничих проектів Ю.В. Піча

Підписано до друку 11.06.2018 р.

Формат 60x84/16. Папір офсетний.

Друк цифровий. Гарнітура Bookman Old Style.

Ум. друк. арк. 12,50. Обл.-вид. арк 125,85.

Видавництво «Каравела»,

просп. М. Рокоссовського, 8а, м. Київ, 04201, Україна.

Свідоцтво

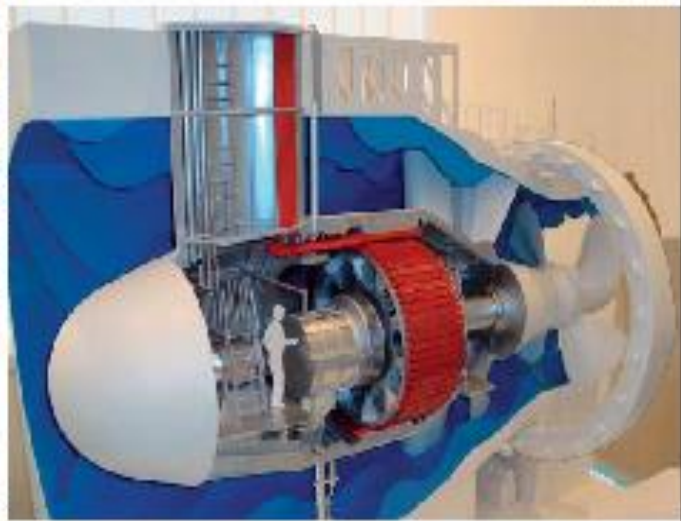
про внесення суб'єкта видавничої справи

до Державного реєстру

видавців, виготівників і розповсюджувачів

видавничої продукції:

ДК №2035 від 16.12.2004 р.





*Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

*М. О. Остащевський, О. Ю. Юр'єва  
за редакцією В. І. Мілих*

# *Електричні машини і трансформатори*

