



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

В.І. Міліх, Т.П. Павленко



ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

ПІДРУЧНИК
для студентів електромеханічних спеціальностей

Затверджено вченою радою НТУ «ХП»



Харків
НТУ «ХП»
2016

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

В.І. Мілих, Т.П. Павленко

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

ПІДРУЧНИК

для студентів електромеханічних спеціальностей

Затверджено вченою радою НТУ «ХПІ»

Харків
НТУ «ХПІ»
2016

УДК 621.32
ББК 31.29
М75

Рецензенти:

М.М. Заблудський, *д-р техн. наук, проф.*,
Національний університет біоресурсів і природовикористання;
В.О. Яровенко, *д-р техн. наук, проф.*,
Одеський національний морський університет

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

Міліх В.І.

М75 Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Міліх, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.

ISBN 978-617-7474_17-2

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
ББК 31.29

ISBN 978-617-7474_17-2

© В.І. Міліх, Т.П. Павленко, 2016
© НТУ «ХПІ», 2016

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 низьки 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 при-родного 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.

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» – Δ	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.....	265

Навчальне видання

МІЛИХ Володимир Іванович
ПАВЛЕНКО Тетяна Павлівна

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ
ПІДРУЧНИК
для студентів електромеханічних спеціальностей

Відповідальний за випуск проф. Мілих В.І.
Підручник до видання рекомендував проф. Вєприк Ю.М.
Редактори М.П. Єфремова та О.В. Козюк

Львів 2016 р., поз. 97

Підп. до друку 15.11.2016 р. Формат 60×84 1/16
Папір офсет. Друк цифровий. Гарнітура Bookman Old Style.
Ум. друк. арк. 12,5. Наклад 100 прим. Зам. № 15.

Видавець і виготовлювач: ФОП Панов А. М.
Свідчення серії ДК №4847 від 06.02.2015 р.
м. Харків, вул. Жон Мироносиць (Раднаркомівська), 10, оф. 6
тел. +38 (057) 714-06-74, +38(050) 976 -32-87
copy@vlavke.com.ua, <http://vlavke.com.ua>

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Міліх Володимир Іванович.

Професор, доктор технічних наук,
завідувач кафедри «Електричні машини»
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут».
Нагороджений знаком «Відмінник освіти
України». Є членом спеціалізованої
вченої ради з захисту дисертацій.
E-mail: mvikemkpi@gmail.com



Сайт кафедри електричних машин:

<http://web.kpi.kharkov.ua/elmach/>



Павленко Тетяна Павлівна.

Професор, доктор технічних наук,
професор кафедри «Електричний
транспорт» Харківського національного
університету міського господарства.
E-mail: khpavlenko@yandex.ru