

621.311
П27

М.М. Черемісін, О.М. Мороз,
О.Б. Єгоров, С.В. Швець

ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Підручник



М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець

**ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В СИСТЕМАХ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

ПІДРУЧНИК

2016

УДК 621.311
ББК 31.27
Ч 46

Рекомендовано Вченою радою Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка (Протокол №7 від 31.03.2016 р.)

Черемісін М. М., Мороз О. М., Єгоров О. Б., Швець С. В.

Перехідні процеси в системах електропостачання: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / М. М. Черемісін, О. М. Мороз, О. Б. Єгоров, С. В. Швець. – Харків: ТОВ "В справі", 2016. – 260 с. – Бібліогр.: с. 254. – 200 пр.

ISBN 978-617-7305-20-9

Підручник присвячений основним питанням теорії перехідних процесів в електроенергетичних системах. Викладено базові положення електромагнітних, електромеханічних перехідних і асинхронних режимів, що виникають в аварійних режимах у системах електропостачання. Матеріал містить рішення розрахункових завдань та конкретних прикладів, що дозволяє використати підручник при виконанні практичних розрахунків енергосистем в режимах перехідних процесів. Наведені теоретичні й практичні матеріали дозволяють ефективно використовувати їх для дипломного і курсового проектування.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Рецензенти:

С. Ф. Артюх

д.т.н., професор кафедри Електричні станції НТУ ХПІ, заслужений діяч науки і техніки України, Академік Академії наук вищої освіти України;

В. В. Козирський

д.т.н., професор, директор ННІ Енергетики і автоматики Національного університету біоресурсів і природокористування України, заслужений діяч науки і техніки України.

© Черемісін М. М., Мороз О. М.
Єгоров О. Б., Швець С. В.
© ХНТУСГ, 2016 р.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	7
1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	9
1.1 Основні поняття про електричну систему та її режими.....	9
1.2 Поняття і терміни.....	12
1.3 Опис перехідних процесів.....	14
2 ОСНОВИ РОЗРАХУНКІВ УСТАЛЕНИХ ПЕРЕХІДНИХ І КВАЗІПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ.....	19
2.1 Постановка задачі.....	19
2.2 Розрахунки власних і взаємних провідностей та опорів.....	20
2.3 Вимоги до режимів.....	22
2.4 Якість перехідних процесів.....	24
2.5 Здійсненність режимів. Досяжність режиму.....	29
3 КРИТЕРІЇ СТІЙКОСТІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ.....	35
3.1 Застосування практичних критеріїв статичної стійкості.....	35
3.2 Практичні критерії динамічної стійкості.....	36
4 ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ У ВУЗЛАХ НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	43
4.1 Загальна характеристика проблеми.....	43
4.2 Статичні та динамічні характеристики рухомого навантаження.....	44
4.3 Лавина напруги (статична стійкість навантаження, перекидання двигунів).....	50
4.4 Основні розрахункові співвідношення.....	51
4.5 Практичний критерій стійкості комплексного навантаження.....	57
4.6 Повільні зниження напруги.....	60
4.7 Процес перекидання двигунів.....	62
4.8 Різкі зміни режимів в системах електропостачання.....	65
4.9 Вплив пристроїв компенсації на статичну стійкість навантаження.....	68
4.10 Перехідний процес у вузлі навантаження при запуску асинхронних двигунів.....	71
4.10.1 Загальна характеристика умов пуску.....	71
4.10.2 Схеми пуску.....	72
4.10.3 Розрахунки часу пуску.....	75
4.11 Перехідний процес у вузлі навантаження при пуску синхронного двигуна.....	76
4.12 Самозапуск асинхронних та синхронних двигунів.....	77
4.12.1 Наближений розрахунок самозапуску асинхронних двигунів.....	78
4.12.2 Самозапуск синхронних двигунів.....	80

4.13 Самовимкнення електроустановок і відновлення навантаження.....	82
4.14 Заходи щодо зниження великих збурень.....	83
5 ЗАХОДИ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ.....	85
5.1 Заходи, пов'язані зі зміною параметрів основних елементів системи.....	85
5.2 Застосування додаткових пристроїв.....	88
5.2.1 Пристрої керованих ліній змінного струму.....	88
5.2.2 Електричне гальмування генераторів.....	89
5.2.3 Установки повздовжньої компенсації.....	90
5.3 Режимні заходи щодо підвищення стійкості.....	91
6 ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	94
6.1 Загальні відомості.....	94
6.2 Перехідний електромагнітний процес при симетричному к.з. у трифазному колі, підключеному до джерела необмеженої потужності.....	96
6.3 Перехідний процес у синхронному генераторі при трифазному короткому замиканні.....	102
6.4 Вплив та облік навантаження при коротких замиканнях.....	108
7 ПРАКТИЧНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТРИФАЗНОГО СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ.....	109
7.1 Загальні вказівки.....	109
7.2 Складання схем заміщення. Системи одиниць.....	110
7.3 Еквівалентні перетворення схем заміщення.....	115
7.4 Аналітичний метод розрахунків початкового та ударного струмів трифазного короткого замикання.....	117
7.5 Розрахунки струму трифазного к.з. для будь-якого моменту часу перехідного процесу з використанням розрахункових кривих.....	124
7.6 Особливості розрахунків струмів короткого замикання у схемах електропостачання підприємств АПК.....	128
8 РОЗРАХУНКИ НЕСИМЕТРИЧНИХ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ.....	133
8.1 Загальні відомості.....	133
8.2 Порядок розрахунку струмів при несиметричних к.з.....	137
9 РОЗРАХУНКИ СТРУМІВ І НАПРУГ ПРИ ПОВЗДОВЖНІЙ НЕСИМЕТРІЇ.....	144
9.1 Загальні відомості.....	144
9.2 Схеми заміщення прямої, зворотної та нульової послідовностей при повздовжній несиметрії.....	145
9.3 Розрив однієї фази.....	146
9.4 Розрив двох фаз.....	151

9.5 Несиметрія від вмикання опорів.....	153
9.6 Правило еквівалентності прямої послідовності.....	154
9.7 Комплексні схеми заміщення.....	155
9.8 Аналітичний метод розрахунків перехідного процесу.....	155
10 ЗАМИКАННЯ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖАХ З ІЗОЛЬОВНОЮ І ЗАЗЕМЛЕНОЮ НЕЙТРАЛЯМИ.....	158
10.1 Основні поняття і визначення.....	158
10.2 Мережі з незаземленими нейтралями	160
10.2.1 Нормальний режим.....	161
10.2.2 Напруги відносно землі при замиканні фази на землю.....	162
10.2.3 Струми замикання на землю.....	165
10.3 Мережі з резонансно заземленими нейтралями.....	168
10.3.1 Струм замикання на землю, який тривало допускається.....	168
10.3.2 Налаштування дугогасильних котушок.....	169
10.3.3 Резонансні перенапруги.....	171
10.4 Мережі з ефективно-заземленими нейтралями.....	173
10.4.1 Загальна характеристика.....	173
10.4.2 Напруги відносно землі при однофазному замиканні на землю.....	174
10.4.3 Струми замикання на землю.....	177
11 ОБМЕЖЕННЯ СТРУМІВ КОРОТКИХ ЗАМИКАНЬ.....	180
11.1 Максимальні рівні струмів короткого замикання.....	180
11.2 Засоби обмеження струмів короткого замикання.....	181
11.2.1 Оптимізація структури і параметрів мережі (схемні рішення).....	181
11.2.2 Стаціонарний або автоматичний поділ мережі.....	183
11.2.3 Пристрої для обмеження струмів	183
11.2.4 Трансформатори з розщепленою обмоткою низької напруги.....	186
11.3 Оптимізація режимів заземлення нейтралей в електричних мережах.....	187
11.4 Координація рівнів струмів к.з. та параметрів електрообладнання.....	188
12 СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ.....	190
12.1 Вступ.....	190
12.2 Створення моделей перехідних процесів енергетичних систем з використанням програмного забезпечення <i>Multisim</i>	191
12.2.1 Відомості про <i>Electronics Workbench</i> пакет <i>Multisim</i>	192
12.2.2 Використання можливостей пакету <i>Multisim</i> для аналізу аварійних режимів енергетичних систем.....	201
12.3 Використання програм <i>GuFaults</i> , <i>GuExpert</i> , <i>GuDCSets</i> та <i>GuTestAC</i> для розрахунків струмів коротких замикань.....	207

12.4 Загальні питання моделювання на універсальних розрахункових моделях змінного струму типу УРМЭС-2.....	218
12.5 Лабораторний практикум із перехідних процесів у системах електропостачання	223
12.6 Розрахунок струмів короткого замикання з використанням ПК у курсовому і дипломному проектуванні.....	241
12.6.1 Підготовка початкових даних.....	241
12.6.2 Алгоритм і програма розрахунків робочих струмів та струмів короткого замикання.....	242
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	254
ДОДАТКИ.....	255