

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

**Ю. М. Лавріненко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський,
Д. Г. Войтюк, В. В. Савченко, І. М. Голодний**

ОСНОВИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

*За редакцією кандидата технічних наук
Лавріненка Юрія Миколайовича*

*Рекомендовано Вченою радою Національного університету біоресурсів і
природокористування України як підручник для підготовки фахівців
у вищих навчальних закладах освіти II–IV рівнів акредитації
для енергетичних спеціальностей*

Київ
Видавництво Ліра-К
2017

УДК 631.3-83(075.8)
ББК 40.76я73
О 72

Копіювання, сканування, запис на електронні носії і тому подібне будь-якої частини підручника без дозволу видавництва заборонено.

Рецензенти:

Н.Г. Косуліна — д-р техн. наук, проф., (Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка)

Ю. В. Герасимчук — канд. техн. наук, старший науковий співробітник (Національний науковий центр ІМЕСГ)

В.В. Василенко — д-р техн. наук, проф. (Національного університету біоресурсів і природокористування України)

*Рекомендовано Вченою радою
Національного університету біоресурсів і природокористування України
(Протокол №12 від 25 травня 2016 р.)*

О 72 Основи електропривода: підручник / Ю.М. Лавріненко, П.І. Савченко, О.Ю. Синявський, Д.Г. Войтюк, В.В. Савченко, І.М. Голодний.— К.: Видавництво Ліра-К, 2017. — 524 с.

ISBN 978-617-7320-50-9

Викладені основи електропривода та питання керування автоматизованими електроприводами. Розглянуті механічні та електромеханічні властивості електродвигунів постійного і змінного струму, регулювання координат електропривода, динаміку, перехідні процеси і енергетику при перехідних процесах, розрахунок потужності електродвигунів, апарати керування і захисту, системи керування електроприводами, вибір електроприводів в цілому.

Для викладачів і студентів енергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів II — IV рівнів акредитації.

УДК 631.3-83(075.8)
ББК 40.76я73

ISBN 978-617-7320-50-9

© Лавріненко Ю. М., Савченко П. І.,
Синявський О.Ю. та ін., 2016
© Видавництво Ліра-К, 2016



ЗМІСТ

Передмова	10
Вступ	12
V1. Стан та основні напрями розвитку електропривода	12
V2. Привод. Електропривод та його елементи. Основні поняття і визначення	15
V3. Класифікація електроприводів	16
1. МЕХАНІКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА	19
1.1. Статичні та динамічні сили і моменти, що діють у системі електропривод — робоча машина	19
1.2. Зведення моментів статичного опору і моментів інерції до вала електродвигуна	21
1.3. Рівняння руху електропривода	26
1.4. Механічні характеристики робочих машин	30
1.5. Механічні характеристики електродвигунів	31
1.6. Статична стійкість системи електродвигун — робоча машина	33
1.7. Методи експериментального визначення моменту інерції системи електродвигун-робоча машина	36
1.8. Приклади	40
1.9. Питання для самоконтролю	43
2. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ТА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ	44
2.1. Електромеханічні та механічні характеристики електродвигунів постійного струму	44

2.1.1. Схема вмикання двигуна постійного струму незалежного збудження. Рівняння статичних електромеханічної та механічної характеристик	44
2.1.2. Механічні характеристики ДПС НЗ у відносних одиницях	49
2.1.3. Енергетичний режим роботи ДПС НЗ. Гальмівні режими	50
2.1.4. Способи пуску ДПС НЗ. Розрахунок опорів пускових і гальмівних резисторів	56
2.1.5. Схема вмикання, статичні електромеханічні та механічні характеристики двигунів постійного струму послідовного збудження	61
2.1.6. Гальмівні режими ДПС ПЗ	64
2.1.7. Розрахунок і побудова природних і штучних електромеханічних та механічних характеристик ДПС ПЗ. Розрахунок опорів пускових резисторів ...	66
2.1.8. Схема вмикання, рівняння електромеханічних та механічних характеристик, режими роботи двигуна постійного струму змішаного збудження ..	70
2.1.9. Приклади	72
2.1.10. Питання для самоконтролю	78
2.2. Електромеханічні та механічні характеристики двигунів змінного струму	78
2.2.1. Схеми вмикання та заміщення трифазного асинхронного двигуна	78
2.2.2. Рівняння статичних електромеханічної та механічної характеристик трифазного асинхронного двигуна у параметричній формі та його аналіз	80
2.2.3. Природні та штучні характеристики трифазного асинхронного двигуна, їх розрахунок і побудова	86
2.2.4. Гальмівні режими трифазних асинхронних двигунів	93
2.2.5. Способи пуску, обмеження пускових струмів і моментів трифазних асинхронних двигунів	97
2.2.6. Розрахунок пускових резисторів, увімкнених в коло статора та ротора	99
2.3. Механічні характеристики однофазних та універсальних колекторних двигунів	100

2.4. Механічна та кутова характеристика синхронного двигуна	103
2.5. Приклади	108
2.6. Питання для самоконтролю	111
3. ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В ЕЛЕКТРОПРИВОДАХ	113
3.1. Загальні положення	113
3.2. Визначення часу пуску і гальмування системи електродвигун — робоча машина	115
3.3. Механічні перехідні процеси в електроприводі з лінійною механічною характеристикою двигуна при незмінних статичному моменті і моменті інерції	121
3.4. Механічні перехідні процеси в електроприводі з лінійною механічною характеристикою двигуна при незмінному моменті інерції і моменті статичних опорів, лінійно залежним від швидкості	127
3.5. Перехідні процеси в електроприводах з трифазними асинхронними електродвигунами	130
3.5.1. Перехідні процеси на ділянках з лінійною механічною характеристикою двигуна при незмінних статичному моменті і моменті інерції	130
3.5.2. Перехідні процеси на ділянках з лінійною механічною характеристикою двигуна при незмінному моменті інерції і моменті статичних опорів, лінійно залежним від швидкості	134
3.5.3. Аналітичне визначення часу перехідного процесу пуску та електричного гальмування	136
3.6. Динамічні характеристики асинхронних електродвигунів ..	142
3.7. Перехідні процеси в електроприводі з лінійною механічною характеристикою при $\omega_0 = f(t)$	144
3.8. Приклади	148
3.9. Питання для самоконтролю	150
4. РЕГУЛЮВАННЯ КООРДИНАТ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ У РОЗІМКНЕНИХ СИСТЕМАХ	151
4.1. Загальні питання про регулювання координат електропривода	151
4.2. Основні показники регулювання кутової швидкості електроприводів	152

4.3. Регулювання швидкості обертання двигунів постійного струму	157
4.3.1. Регулювання кутової швидкості ДПС НЗ зміною напруги на якорі	157
4.3.2. Реостатне регулювання кутової швидкості ДПС НЗ	170
4.3.3. Регулювання кутової швидкості ДПС НЗ зміною магнітного потоку	178
4.3.4. Імпульсний спосіб регулювання кутової швидкості ДПС НЗ	182
4.3.5. Регулювання кутової швидкості ДПС ПЗ	187
4.3.6. Контрольні питання	191
4.4. Регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів ...	192
4.4.1. Загальні відомості	192
4.4.2. Частотне регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів	193
4.4.3. Перетворювачі частоти для керування асинхронними двигунами	198
4.4.4. Регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів зміною числа пар полюсів	208
4.4.5. Регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів зміною опору роторного кола	214
4.4.6. Асинхронний регульований електропривод у каскадних схемах	217
4.4.7. Регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів зміною напруги на статорі	224
4.4.8. Приклади	226
4.4.9. Питання для самоконтролю	229
5. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ КООРДИНАТ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ	231
5.1. Загальні відомості	231
5.2. Системи автоматичного регулювання кутової швидкості ДПС НЗ	232
5.3. Системи автоматичного регулювання моменту ДПС НЗ ..	236
5.4. Обмеження струму і моменту ДПС НЗ у замкненій системі з нелінійним від'ємним зворотним зв'язком по струму	239
5.5. Автоматичне регулювання положення	241

5.6. Автоматичне регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів зміною напруги живлення з від'ємним зворотним зв'язком по швидкості	243
5.7. Автоматичне частотне регулювання кутової швидкості асинхронних двигунів	245
5.8. Питання для самоконтролю	248
6. ЕНЕРГЕТИКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА	249
6.1. Основні енергетичні показники роботи електропривода ..	249
6.2. Втрати потужності, ККД і коефіцієнт потужності в нерегульованому електроприводі при роботі в усталеному режимі	251
6.3. Втрати потужності в регульованому електроприводі при роботі в усталеному режимі	255
6.4. Втрати енергії в нерегульованому електроприводі в перехідних режимах роботи і способи їх зниження	261
6.4.1. Визначення енергетичних показників роботи електропривода в перехідних режимах	261
6.4.2. Втрати енергії в двигунах постійного та змінного струму при роботі без навантаження ($M_c = 0$)	262
6.4.3. Втрати енергії при роботі з навантаженням ($M_c \neq 0$)	264
6.5. Втрати енергії в регульованому електроприводі у перехідних процесах і способи їх зниження	268
6.6. Шляхи енергозбереження в електроприводі	271
6.7. Приклад	272
6.8. Питання для самоконтролю	274
7. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ЗА ПОТУЖНІСТЮ	275
7.1. Класи нагрівостійкості ізоляції обмоток електродвигунів	275
7.2. Нагрівання та охолодження електродвигунів	277
7.3. Навантажувальні діаграми	286
7.4. Класифікація номінальних режимів роботи електричних двигунів	287
7.5. Вибір електродвигунів за потужністю для тривалого режиму роботи	294
7.6 Вибір двигунів за потужністю для короткочасного режиму роботи	309

7.7. Вибір двигунів за потужністю для повторно-короткочасного режиму роботи	316
7.7.1. Визначення допустимого числа вмикань асинхронного двигуна	324
7.8. Визначення потужності двигуна для регульованого електропривода	327
7.9. Приклади	330
7.10. Питання для самоконтролю	335
8. ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ	337
8.1. Класифікація електричних апаратів та вимоги до них	337
8.2. Нормовані параметри електричних апаратів	338
8.3. Контакти електричних апаратів	342
8.3.1. Режими роботи контактів	344
8.3.2. Матеріали контактів	345
8.3.3. Конструкції контактів	347
8.3.4. Електрична дуга	349
8.3.5. Умови горіння та гасіння дуги постійного струму	350
8.3.6. Дугогасні пристрої електричних апаратів	356
8.3.7. Електромагніти електричних апаратів	361
8.4. Апарати керування	365
8.4.1 Апарати ручного керування	365
8.4.2. Шляхові вимикачі і перемикачі	370
8.4.3. Контактори	373
8.4.4. Електромагнітні пускачі	381
8.4.5. Електричні реле	385
8.4.6. Напівпровідникові електричні апарати	395
8.4.7. Приклади вибору апаратів керування	426
8.4.8. Питання для самоконтролю	428
8.5. Апарати захисту електроприводів від аварійних і аномальних режимів	429
8.5.1. Плавкі запобіжники	430
8.5.2. Електротеплові реле	436
8.5.3. Автоматичні вимикачі	440
8.5.4. Пристрої температурного захисту	447
8.5.5. Пристрої захисного вмикання	448
8.5.6. Пристрої захисту з електронними блоками	453
8.5.7. Приклади вибору апаратів захисту	457
8.5.8. Питання для самоконтролю	458

9. СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ	460
9.1. Функції систем автоматичного керування електроприводом	460
9.2. Правила виконання електричних схем	463
9.3. Типові вузли і блоківрки у схемах керування електроприводами	467
9.4. Типові схеми автоматизованого керування двигунами змінного струму	473
9.5. Типові схеми керування двигунами постійного струму ...	492
9.6. Типові структури замкнених систем автоматичного керування електроприводами	498
9.7. Програмне керування електроприводами	504
9.8. Питання для самоконтролю	505
10. ВИБІР ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ	506
10.1. Загальна методика вибору електропривода	506
10.2. Розрахунки надійності електропривода	516
10.3. Техніко-економічна оцінка електропривода	519
10.4. Питання для самоконтролю	519
Бібліографія	520