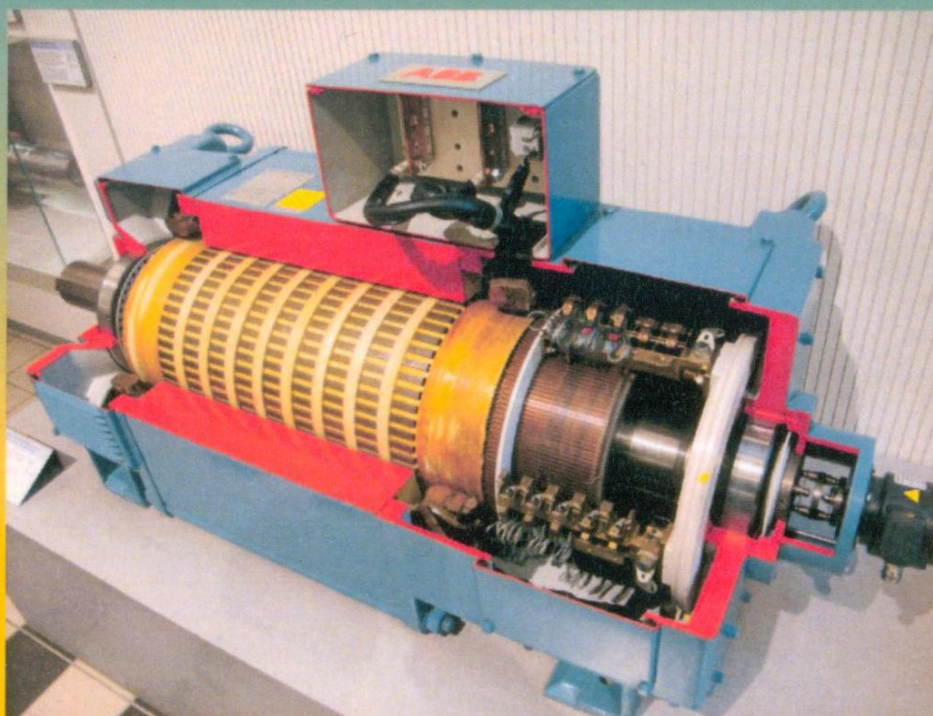


О.М. Безвесільна
І.В. Коробійчук
Г. С. Тимчик



АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЖИТОМИРСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

О.М. Безвесільна, І.В. Коробійчук, Г.С. Тимчик

**АВТОМАТИЗОВАНИЙ
ЕЛЕКТРОПРИВОД**

Підручник

Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів приладобудівних спеціальностей і
спеціальностей з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих
технологій

**ЖДТУ
2015**

БК 32.965 Я75
УДК 681.58 (075)
К68

ЗМІСТ

стор.

Гриф надано Міністерством освіти і науки України

(лист № _____ від _____)

Рецензенти: Академік НАН України, директор Інституту геофізики НАН України д.фіз.-мат.н., професор *Старостенко В.І.*

зав. кафедри комп'ютеризованих технічних систем та технологій НАУ, д.т.н., професор, Заслужений метролог України *Квасніков В.П.*

головний науковий співробітник Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. П.Е. Пухова НАН України, д.фіз.-мат.н., професор *Самойлов В.Д.*

Безвесьільна О.М., Коробійчук І.В., Тимчик Г.С.

К68 Автоматизований електропривод : підручник. / О.М. Безвесьільна, І.В. Коробійчук, Г.С. Тимчик. – Житомир : ЖДТУ, 2015. – 452 с.
ISBN 978-966-683-427-3

Викладена теорія і практика сучасних систем автоматизованого керування електроприводами – від релейно-контакторних до цифрових систем керування електроприводами. Розглянуті системи керування з різними типами двигунів: асинхронними, синхронними, постійного струму, кроковими і вентильними. Викладені питання застосування електроприводів в системах автоматизації технологічних процесів.

Підручник призначений для студентів галузей знань приладобудування, автоматика та управління вищих навчальних закладів, а також може бути корисним для аспірантів, педагогічних працівників та науковців, практичних фахівців.

БК 32.965 Я75
УДК 681.58 (075)

ISBN 978-966-683-427-3

© О.М. Безвесьільна, 2015
© І. В. Коробійчук, 2015
© Г. С. Тимчик, 2015

ПЕРЕДМОВА 9

Розділ 1. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ

АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА... 11

- 1.1. Основні поняття, терміни і визначення..... 11
- 1.2. Поняття про регулювання координат (змінних) електропривода..... 14
- 1.3. Структури і принципи побудови схем управління електропривода..... 15
- 1.4. Призначення і функції систем автоматизованого керування електроприводами 24

Затитання для самоперевірки..... 26

Розділ 2. МЕХАНІКА ЕЛЕКТРОПРИВОДУ 28

- 2.1. Рівняння механічного руху 28
- 2.2. Механічні характеристики електродвигунів 31
- 2.3. Механічні характеристики виробничих механізмів 33
- 2.4. Статична стійкість механічного руху 38
- 2.5. Приведення моментів до однієї осі обертання 40
- 2.6. Приведення моментів інерції до однієї осі обертання 42

Затитання для самоперевірки..... 44

Розділ 3. ЕЛЕМЕНТИ ТА ПРИСТРОЇ

АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА... 46

- 3.1. Силові напівпровідникові перетворювачі електроенергії 46
- 3.2. Електричні апарати ручного і дистанційного керування 55
- 3.3. Аналогові елементи і пристрої керування 67
- 3.4. Дискретні елементи і пристрої керування 72
- 3.5. Напівпровідникові логічні елементи 76
- 3.6. Мікропроцесорні засоби керування 78
- 3.7. Датчики часу і координат електропривода 84
- 3.8. Електромагнітні муфти і гальма 109
- 3.9. Захист, блокування і сигналізація в електроприводах..... 112
- 3.10. Вибір силових перетворювачів, апаратів керування, комутації і захистів 124

<i>Застосування для самоперевірки</i>	131
Розділ 4. РОЗІМКНУТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ	133
4.1. Типові вузли та схеми керування електроприводами...	133
4.1.1. Загальні відомості	133
4.1.2. Класифікація схем	133
4.1.3. Загальні вимоги до виконання принципів електричних схем	134
4.1.4. Принципи автоматичного керування пуском і гальмуванням двигунів	135
4.1.5. Типові вузли і схеми автоматичного керування пуском двигунів постійного струму	136
4.1.6. Типові вузли схем керування гальмуванням двигунів постійного струму.....	144
4.1.7. Керування збудженням електродвигунів постійного струму	146
4.2. Типові вузли та схеми керування електроприводами з асинхронними двигунами	147
4.2.1. Керування асинхронними електроприводами з короткозамкненим ротором	147
4.2.2. Вузли схем керування гальмуванням асинхронних двигунів.....	151
4.2.3. Типові схеми керування асинхронними двигунами з фазним ротором	155
4.3. Типові вузли та схеми керування електроприводами із синхронними двигунами.....	159
4.3.1. Керування синхронними двигунами	159
4.3.2. Схема прямого пуску синхронного двигуна напругою до 1000 В.....	164
4.3.3. Захист у схемах керування електроприводом ...	165
4.3.4. Тиристорне керування асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором	169
<i>Застосування для самоперевірки</i>	171
Розділ 5. ЗАМКНУТІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ	173
5.1. Загальні принципи регулювання електроприводу	173

5.1.1. Загальні положення	173
5.1.2. Показники регулювання швидкості.....	176
5.1.3. Вплив від'ємного зворотного зв'язку на механічні характеристики	179
5.1.4. Основні системи регульованого електроприводу	184
5.2. Електроприводи з двигунами постійного струму незалежного збудження	186
5.2.1. Електромеханічні властивості двигунів постійного струму незалежного збудження	186
5.2.2. Електроприводи за системою тиристорний перетворювач – двигун постійного струму	200
5.2.3. Електроприводи постійного струму з широтно-імпульсним регулюванням.....	214
5.3. Вентильний двигун	220
5.3.1. Принципи роботи вентиляного двигуна.....	220
5.3.2. Електропривод по системі транзисторний комутатор – вентиляний двигун з постійними магнітами	221
5.3.3. Електропривод за системою тиристорний комутатор – синхронний двигун.....	225
5.4. Електропривод з двигунами змінного струму	228
5.4.1. Завдання керування електроприводом	228
5.4.2. Класифікація способів регулювання асинхронного двигуна.....	229
5.4.3. Оцінка способів регулювання асинхронного двигуна	230
5.4.4. АЕП з АД із реостатним регулюванням.....	231
5.4.5. АЕП з АД із КЗ ротором з регульованою напругою, що підводиться до статора.....	235
5.4.6. Система тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун.....	239
5.5. Асинхронний електропривод з частотним регулюванням швидкості	241
5.5.1. Основні закони управління частотою обертання АД.....	241

5.5.2. АЕП з АД та КЗ ротором із використанням синхронних електромашинних перетворювачів частоти.....	248
5.5.3 АЕП з АД та КЗ ротором із використанням асинхронних електромашинних перетворювачів частоти.....	250
5.6. АЕП з АД зі статичними перетворювачами частоти	251
5.6.1. Класифікація статичних перетворювачів частоти.....	251
5.6.2. Перетворювач частоти з колом постійного струму.....	252
5.6.3 АЕП з ПЧ, який має в структурі керування випрямляч.....	256
5.6.4. Регулювання швидкості АЕП з ПЧ із КВ.....	239
5.6.5. Принцип перетворення частоти.....	263
5.6.6 Структурна схема перетворювача частоти.....	265
5.6.7. Електропривод за системою перетворювач частоти з безпосереднім зв'язком – асинхронний двигун.....	267
5.6.8. Електропривод за системою перетворювач частоти типу автономний інвертор – асинхронний двигун.....	271
5.6.9. Замкнуті системи частотного електропривода.....	276
5.7. Асинхронні вентиляльні каскади і двигуни подвійного живлення.....	280
5.7.1. Принцип роботи каскадних схем асинхронного привода.....	280
5.7.2. Двигуни подвійного живлення.....	286
5.8. Спеціальні схеми електроприводу.....	292
5.8.1. Вентильно-індукторний електропривод.....	292
5.8.2. Електропривод з кроковим двигуном.....	294
5.9. Електропривод з лінійними двигунами.....	298
<i>Замітання для самоперевірки.....</i>	302
Розділ 6. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ.....	304
6.1. Лабораторна робота № 1. Дослідження характеристик виконавчого двигуна постійного струму.....	304

6.2. Лабораторна робота № 2. Дослідження трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.....	312
6.3. Лабораторна робота № 3. Дослідження електромашинного підсилювача попереднього поля.....	318
6.4. Лабораторна робота № 4. Визначення моменту інерції і махового моменту електричного приводу методом вільного пробігу.....	322
6.5. Лабораторна робота № 5. Дослідження механічних характеристик двигуна постійного струму незалежного збудження в гальмівних режимах.....	331
6.6. Лабораторна робота № 6. Дослідження характеристик та параметрів фотоелектричного датчика, індукційного імпульсного датчика швидкості та цифрового і аналогового тахометрів.....	347
6.7. Лабораторна робота № 7. Дослідження селєбінного вимірювального пристрою.....	353
Розділ 7. ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ.....	362
7.1. Теми занять.....	362
7.1.1. Механіка електроприводів.....	362
7.1.2. Навантажувальні діаграми і вибір потужності двигунів приводів.....	365
7.1.3. Електромеханічні властивості електроприводів постійного струму.....	368
7.1.4. Електромеханічні властивості електроприводів змінного струму.....	374
7.2. Методичні вказівки до розв'язання завдань.....	380
7.2.1. Механіка електроприводів.....	380
7.2.2. Навантажувальні діаграми і вибір потужності двигунів приводів.....	383
7.2.3. Електромеханічні властивості електроприводів постійного струму.....	387
7.2.4. Електромеханічні властивості електроприводів змінного струму.....	393

Розділ 8. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

8.1. Зміст розрахунково-графічної роботи	398
8.2. Вимоги до оформлення пояснювальної записки	400
8.3. Розрахунок потужності та загальні вимоги щодо вибору електродвигунів	404
8.4. Типові елементи та схеми керування електроприводами	429
8.5. Вибір апаратів комутації, керування та захисту	440
8.6. Варіанти технічних завдань до РТР	444
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	447
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	450

ПЕРЕДМОВА

У всіх галузях промисловості (у приладобудуванні, машинобудуванні), у системах автоматичного управління продуктивність технологічного обладнання значною мірою визначається рівнем його автоматизації, основною ланкою якої є електропривод. Без електроприводу не відбувається жоден вимірвальний або технологічний процес.

При підготовці спеціалістів у галузі приладобудування, машинобудування, механіки, автоматизованого управління технологічними процесами питанням автоматизованого електроприводу приділяється велика увага.

Автоматизований електропривод найчастіше за все не розглядається як окремий пристрій, а є суттєвою ланкою ієрархічної структури автоматизації. Найбільш яскраво сутність автоматизованого електропривода проявляється в електро-сталеплавильних установках і металорізальних верстатах з числовим програмним керуванням, робото - технічних комплексах і автоматичних лініях. Розуміння будови і роботи електропривода – це перед усім розуміння фізичних процесів, що відбуваються у ньому, уміння спів-

ставляти сучасні технічні рішення в галузі мікро- і силової електроніки, а також сучасного програмного забезпечення. Це необхідно усім, чия діяльність безпосередньо пов'язана з проектуванням, виготовленням і експлуатацією установок, в яких використовується автоматизований електропривод.

Різноманіття і складність функцій, які виконуються електроприводом, використання його в структурах нових, в першу чергу, напівпровідникових елементів та пристроїв, постійне збільшення кількості і видів автоматизованих електроприводів вимагають високого рівня підготовки спеціалістів, що займаються їх монтажем, налагодкою та експлуатацією. Вони повинні добре знати елементну базу автоматизованих електроприводів, розуміти основні принципи побудови і роботи як розімкннутих, так і замкннутих схем

21. Ильинский Н.Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н.Ф. Ильинский, В.В. Москаленко. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 208 с.
22. Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г.Б. Онищенко, М.И. Аксенов, В.П. Грехов, М.Н. Зарицкий, А.В. Куприков, А.И. Нитиевская; За ред. Г.Б. Онищенко. – М.: РАСХН, 2001. – 520 с.
23. Коробійчук І.В. Технічні засоби автоматизації: навчальний посібник/ І.В. Коробійчук, Д.М. Шостачук. – Житомир: ЖДТУ, 2013. – 264 с.
24. Безвесільна О. М. Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютеризованих технологій: підручник / О. М. Безвесільна, Г.С. Тимчик. – Житомир: ЖДТУ, 2012. – 812 с.
25. Безвесільна О. М. Технічні засоби автоматизації: підручник / О. М. Безвесільна, І.В. Коробійчук. – Житомир: ЖДТУ, 2014. – 904 с.
26. Безвесільна О. М. Елементи і пристрої автоматики та систем управління: підручник/ О. М. Безвесільна. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – 700 с.
27. Безвесільна О. М. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин. Інформаційно-комп'ютерні системи та технології: підручник/ О. М. Безвесільна, Ю.О. Подчашинський, Г.С. Тимчик. – Житомир: ЖДТУ, 2008. – 700 с.
28. Безвесільна О. М. Перетворюючі пристрої приладів. Технологічні вимірювання та прилади: підручник./ О. М. Безвесільна, В.Ю. Ларін, Н.І. Чичикало, Є.Є. Федоров, О.О. Добрянський. – Житомир: ЖДТУ, 2011. – 450 с.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Автоматичний вимикач 53, 105, 117 | Контролер 53 |
| Атономний інвертор | - програмувальний 76 |
| - напруги 45 | Контактор 54, 118 |
| - струму 45 | - постійного струму 55 |
| Випрямляч 43 | - змінного струму 56 |
| Вимикач | - безконтактний 56 |
| - автоматичний 53 | - гібридний 56 |
| - масляний 60 | Логічний елемент 70 |
| - електромагнітний 60 | Магнітний пускач 57, 118 |
| Датчик 78 | Мікропроцесор 72 |
| - часу 78 | Механічна характеристика |
| - швидкості 82 | - електродвигуна 27 |
| - положення 86 | - виробничого механізму 30 |
| - струму 92 | - природна 176 |
| - напруги 97 | Момент |
| - ЕРС 98 | - руху 25, 34 |
| Двигун | - опору 25, 34 |
| - постійного струму 126, 173 | - інерції 37 |
| - асинхронний 136 | Муфта |
| - синхронний 148 | - електромагнітна 101 |
| Діод 62 | Підсилювач |
| Зворотний зв'язок | - операційний 63 |
| - жорсткий 18 | Перетворювач 42 |
| - лінійний 19 | - силовий 42, 115 |
| Інвертор 45 | - частоти 46 |
| Електропривод 11 | - цифраналоговий 69 |
| - неавтоматизований 15, 21 | - аналоговоцифровий 69 |
| - автоматизований 15 | Пристрій |
| - регульований 162 | - гальмівний 103 |
| - розімкнутий 16, 123 | - пусковий 116 |
| - замкнутий 16 | Реле |
| Електричний апарат | - електромагнітне 58 |
| - низької напруги 50 | - часу 59 |
| - високої напруги 51 | - максимального струму 60, 105 |
| Кнопка керування 51 | - теплове 109 |
| Ключ керування 52 | Регулятор напруги |
| Командоконтролер 52 | - змінного струму 48 |
| | - постійного струму 49 |

Система керування 9
- електроприводом 13
- автоматизованим
електроприводом 22
Система автоматичного
керування 9
- регулювання 10
Тригер 67

Навчальне видання

БЕЗВЕСІЇНА Олена Миколаївна
КОРОВІЙЧУК Ігор Валдавович
ТИМЧИК Григорій Семенович

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

Підручник

Редактор *Б.Б. Самолюк*
Комп'ютерний набір та верстка *А.Г. Ткачук*
Макетування *В.В. Кондращенко*

Підп. до друку 03.12.2014 р.
Формат 60х84 1/16. Папір офс.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 26,3.
Наклад 300 пр. Зам. № 37.

Видавець і виготовлювач
Житомирський державний технологічний університет
вул. Черняхівського, 103, м. Житомир, 10005

Свідцтво про внесення до державного реєстру
суб'єктів видавничої справи ЖТ № 08 від 26.03.2004 р.



Безвесільна Олена Миколаївна

**Заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор кафедри
приладобудування Національного технічного
університету України
"Київський політехнічний
інститут"**

Наукові інтереси:
технічні засоби автоматизації,
системи автоматичного керування
прилади та методи вимірювання
механічних величин; комп'ютеризовані
інформаційні системи.



Тимчик Григорій Семенович

**декан приладобудівного факультету
НТУУ «КПІ», доктор технічних наук,
професор, завідувач кафедри
виробництва приладів НТУУ «КПІ».**

Наукові інтереси: лазерні методи
інформаційно-вимірювальних систем
для контролю технічного стану і
параметрів динамічних систем і
об'єктів.



Коробійчук Ігор Вацлавович

**к.т.н., доцент кафедри
автоматизованого управління технологічними
процесами та комп'ютерних
технологій Житомирського державного
технологічного університету**

Наукові інтереси: технічні засоби автоматизації,
системи автоматичного керування