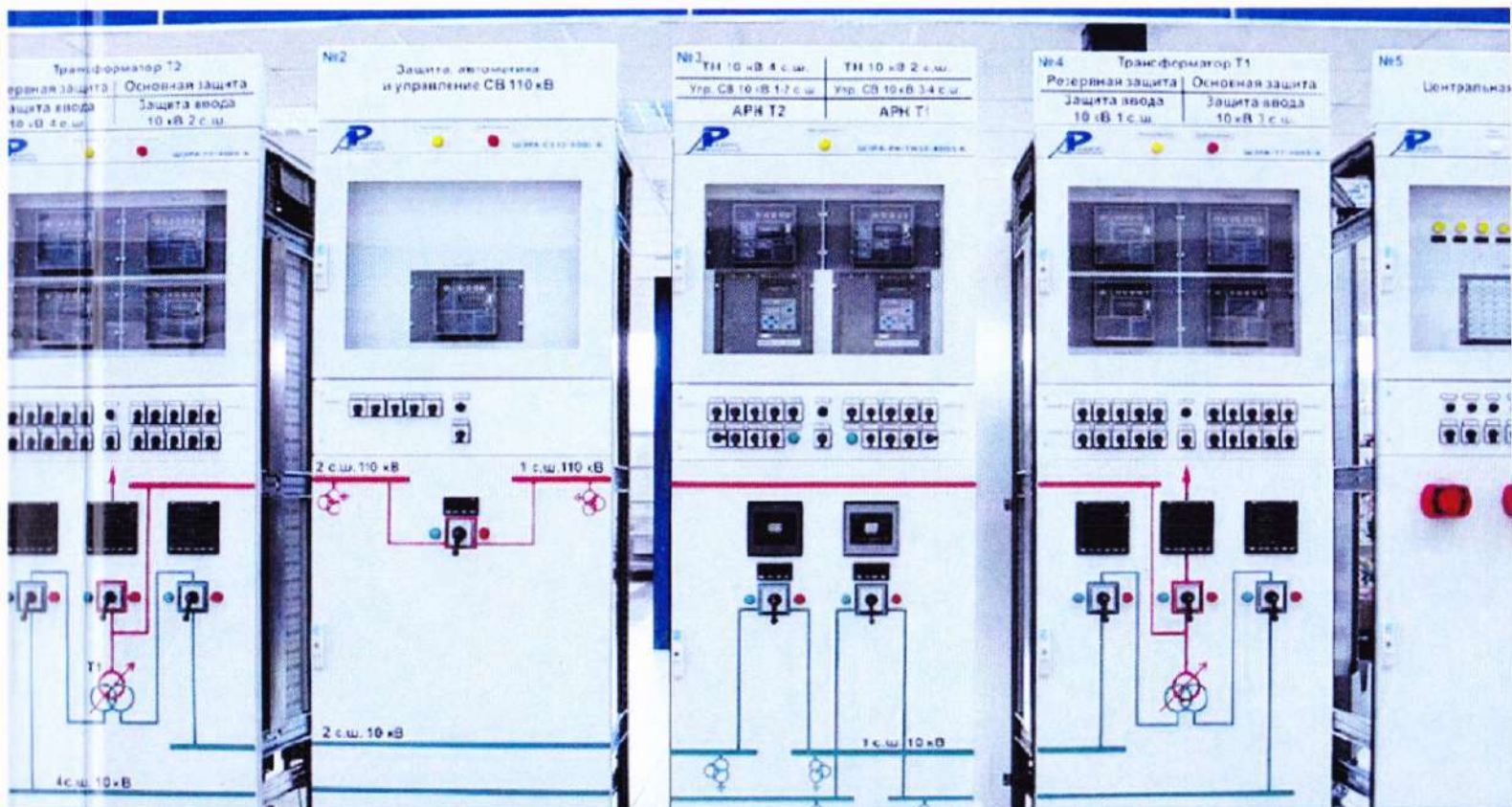


Ю. А. ЛЕНЬКОВ, А. С. БАРУКИН

# АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ



 TORAIGHYROV  
UNIVERSITY

ПАВЛОДАР

Министерство образования и науки Республики Казахстан

Некоммерческое акционерное общество  
«Торайгыров университет»

Ю. А. Ленков, А. С. Барукин

# **АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

Павлодар  
Toraighyrov University  
2022

УДК 681.5(075.8)

ББК 32.965 я73

Л46

**Рекомендовано к изданию Учёным советом  
НАО «Торайгыров университет»**

**Рецензенты:**

Б. Е. Машрапов – д-р PhD, асс. проф., НАО «Торайгыров университет»;

А. Б. Жантлесова – д-р PhD, Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина;

Л. А. Евтушенко – главный инженер городского предприятия внутридомовых электрических сетей, г. Павлодар.

**Леньков Ю. А., А. С. Барукин**

Л46 Автоматика электроэнергетических систем : учебное пособие для студентов электроэнергетических специальностей. – Павлодар : Toraighyrov University, 2022. – 320 с.

ISBN 978-601-345-315-6

В учебном пособии рассмотрены принципы действия устройств АПВ, АВР, АЧР, противоаварийной автоматики и устройств автоматического регулирования возбуждения и частоты вращения синхронных генераторов и включения их на параллельную работу применяемых на электрических станциях и подстанциях.

Учебное пособие предназначено для студентов электроэнергетических специальностей и может быть использовано специалистами в области электроэнергетики.

УДК 681.5(075.8)

ББК 32.965 я73

ISBN 978-601-345-315-6

© Леньков Ю. А., Барукин А. С., 2022

© Торайгыров университет, 2022

За достоверность материалов, грамматические и орфографические ошибки  
ответственность несут авторы и составители

## Содержание

	Введение	3
1	Общая характеристика энергосистемы	4
1.1	Структура энергетической системы	4
1.2	Режимы работы энергетической системы	5
1.3	Цели и задачи управления энергетической системой. Основные виды и назначение устройств автоматического управления	6
	Вопросы для самопроверки	11
2	Автоматическое повторное включение	12
2.1	Назначение и область применения АПВ	12
2.2	Классификация устройств АПВ и основные требования к ним	13
2.3	Принцип действия электрического однократного АПВ	15
2.4	Автоматическое повторное включение воздушных и элегазовых выключателей	18
2.5	Ускорение действия релейной защиты при наличии АПВ	20
2.6	Расчет уставок АПВ однократного действия для линий с односторонним питанием	23
2.7	Трехфазное АПВ на линиях с двусторонним питанием	25
2.7.1	Общие сведения	25
2.7.2	Несинхронное АПВ	27
2.7.3	Быстродействующее АПВ	28
2.7.4	Автоматическое повторное включение с ожиданием синхронизма	30
2.8	Микроэлектронные реле повторного включения	32
2.8.1	Микроэлектронное реле повторного включения РПВ-01	32
2.8.2	Микроэлектронное реле повторного включения РПВ-02	35
2.9	Микропроцессорные устройства АПВ	38
	Вопросы для самопроверки	44
	Тесты	45
3	Автоматическое включение резерва	47
3.1	Назначение и основные требования, предъявляемые к устройствам АВР	47

3.2	Принцип действия схем АВР	49
3.3	Пусковые органы минимального напряжения	51
3.4	Автоматическое включение резервных источников питания на электростанциях	55
3.4.1	Общие сведения	55
3.4.2	Схема АВР трансформаторов собственных нужд блочных электростанций, питающих шины РУСН 6 кВ	57
3.4.3	Схема АВР трансформаторов собственных нужд 6/0,4 кВ	60
3.5	Автоматическое включение резервных электродвигателей собственных нужд	62
3.6	Расчет уставок устройств АВР	65
3.6.1	Реле однократности включения	65
3.6.2	Пусковой орган минимального напряжения	65
3.6.3	Пусковой орган минимального тока и напряжения	66
3.6.4	Реле контроля наличия напряжения на резервном источнике питания	67
3.7	Микропроцессорные устройства АВР	67
	Вопросы для самопроверки	72
	Тесты	73
4	Автоматическая частотная разгрузка энергосистем	76
4.1	Назначение автоматической частотной разгрузки	76
4.2	Требования, предъявляемые к АЧР	78
4.3	Современные принципы выполнения АЧР	79
4.4	Автоматическое повторное включение после АЧР	83
4.5	Схемы АЧР и ЧАПВ	84
4.5.1	Схема АЧР и ЧАПВ на релейно-контактных элементах	84
4.5.1.1	Схема АЧР и ЧАПВ с двумя реле частоты на релейно-контактных элементах	84
4.5.1.2	Схема АЧР с ЧАПВ в КРУ 6-10 кВ на релейно-контактных элементах	86
4.5.2	Микроэлектронное аналоговое комплексное устройство АЧР и ЧАПВ	88
4.6	Микропроцессорные устройства АЧР и ЧАПВ	90
	Вопросы для самопроверки	93
	Тесты	93
5	Противоаварийное управление в энергосистемах	96
5.1	Назначение, классификация устройств	

	противоаварийной автоматики и требования предъявляемые к ним	96
5.2	Автоматика предотвращения нарушения устойчивости на релейно-контактных устройствах	99
5.2.1	Общие сведения	99
5.2.2	Принципы выполнения АПНУ	101
5.2.3	Пусковые и исполнительные устройства АПНУ	103
5.3	Микроэлектронная автоматика предотвращения нарушения устойчивости	114
5.3.1	Общие сведения	114
5.3.2	Измерительно-преобразовательная и пусковая части микроэлектронной автоматики предотвращения нарушения устойчивости	114
5.4	Автоматика ликвидации асинхронного режима	120
5.4.1	Общие сведения	120
5.4.2	Принципы выполнения устройств ликвидации асинхронного режима	122
5.4.3	Микроэлектронная панель автоматики ликвидации асинхронного режима	128
5.4.4	Микропроцессорная автоматика ликвидации асинхронного режима	135
5.5	Автоматические устройства ограничения повышения напряжения	139
5.5.1	Общие сведения	139
5.5.2	Устройство автоматического ограничения повышения напряжения на линии на релейно- контактных элементах	139
5.5.3	Микроэлектронная панель автоматики ограничения повышения напряжения на линии	142
	Вопросы для самопроверки	145
	Тесты	146
6	Автоматическое включение синхронных генераторов на параллельную работу	149
6.1	Общие сведения	149
6.2	Автоматическое включение синхронных генераторов по способу самосинхронизации	150
6.3	Автоматическое включение синхронных генераторов по способу точной синхронизации	153
6.3.1	Общие сведения	153
6.3.2	Синхронизатор с постоянным углом опережения	154

6.3.3	Автоматические синхронизаторы с постоянным временем опережения	157
6.3.4	Микроэлектронный аналоговый автоматический синхронизатор	167
6.4	Расчет параметров точной синхронизации генераторов	176
6.4.1	Расчет уставок синхронизатора с постоянным углом опережения	176
6.4.2	Расчет уставок синхронизатора с постоянным временем опережения типа СА-1	178
6.5	Микропроцессорный автоматический синхронизатор АС-М	181
	Вопросы для самопроверки	184
	Тесты	185
7	Автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности	189
7.1	Назначение и способы регулирования напряжения и реактивной мощности в электроэнергетической системе	189
7.2	Автоматическое регулирование возбуждения генераторов с электромашинными возбудителями постоянного тока	191
7.2.1	Общие сведения	191
7.2.2	Устройство быстродействующей форсировки и расфорсировки возбуждения синхронных генераторов	192
7.2.3	Способы пропорционального автоматического регулирования возбуждения	194
7.2.4	Компаундирование возбуждения синхронных генераторов	195
7.2.5	Электромагнитные корректоры напряжения	199
7.2.6	Устройства компаундирования с электромагнитным корректором	205
7.2.6.1	Устройство компаундирования с включенным корректором напряжения типа ЭПА-305	205
7.2.6.2	Устройство фазового управляемого компаундирования	208
7.3	Автоматическое регулирование возбуждения синхронных генераторов с электромашинными	

	возбудителями переменного тока	214
7.3.1	Общие сведения	214
7.3.2	АРВ турбогенераторов с высокочастотной системой возбуждения	215
7.4	Автоматическое регулирование возбуждения сильного действия	220
7.4.1	Назначение, особенности и алгоритмы автоматического регулирования возбуждения сильного действия	220
7.4.2	Функциональная схема автоматического регулятора возбуждения сильного действия	222
7.4.2.1	Общие сведения	222
7.4.2.2	Измерительные органы электромагнитного регулятора сильного действия	223
7.4.2.3	Измерительные органы микроэлектронного регулятора сильного действия	227
7.5	Микропроцессорные автоматические регуляторы возбуждения синхронных генераторов	233
7.6	Автоматическое распределение реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторами устройствами АРВ	239
7.7	Модернизированные автоматические регуляторы возбуждения синхронных генераторов	246
7.7.1	Модернизированные автоматические регуляторы возбуждения генераторов с электромашинными возбудителями переменного тока	246
7.7.2	Модернизированные автоматические регуляторы возбуждения генераторов с электромашинными возбудителями постоянного тока	251
7.8	Автоматическое регулирование напряжения и реактивной мощности в электрических сетях	254
7.8.1	Автоматическое регулирование напряжения трансформаторами с РПН	254
7.8.1.1	Особенности автоматического регулирования напряжения трансформаторов	254
7.8.1.2	Автоматический регулятор на электромеханических реле	258
7.8.1.3	Полупроводниковый автоматический регулятор АРТ-1	260
7.8.1.4	Микропроцессорный регулятор напряжения	



	SPAУ 341С	265
7.8.2	Управление батареями статических конденсаторов	271
	Вопросы для самопроверки	272
	Тесты	274
8	Автоматическое регулирование частоты и активной мощности	281
8.1	Назначение автоматического регулирования частоты и активной мощности	281
8.2	Характеристики регулирования	283
8.3	Методы регулирования частоты и активной мощности	285
8.3.1	Общие сведения	285
8.3.2	Метод статических характеристик	285
8.3.3	Метод ведущего генератора	287
8.3.4	Метод ведущей электростанции	288
8.3.5	Метод мнимостатических характеристик	289
8.3.6	Метод интегрального отклонения частоты	291
8.4	Регуляторы частоты вращения турбин	294
8.4.1	Общие сведения	294
8.4.2	Центробежный регулятор частоты вращения	295
8.4.3	Гидродинамический регулятор частоты вращения паровых турбин	297
8.5	Регулирование частоты и активной мощности в энергосистемах	301
	Вопросы для самопроверки	307
	Тесты	307
	Литература	310

Ю. А. Ленъков, А. С. Барукин

**АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
СИСТЕМ**

Учебное пособие

Технический редактор А. Р. Омарова  
Ответственный секретарь Ж. К. Сапенова

Подписано в печать 05.08.2022 г.  
Гарнитура Times.  
Формат 29,7 x 42 ¼. Бумага офсетная.  
Усл.печ.л. 18,4 Тираж 300 экз.  
Заказ № 3955

Toraighyrov University  
140008, г. Павлодар, ул. Ломова, 64