

Б.А. Авдеев

Элементы и функциональные устройства судовой автоматики

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2018

Авдеев Б. А.

**ЭЛЕМЕНТЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
СУДОВОЙ АВТОМАТИКИ**

Учебное пособие

Санкт-Петербург
«Научные технологии»
2018

УДК 629.5.06

ББК 32.965

А 18

Рецензенты:

Жуков Владимир Анатольевич – доктор технических наук, доцент, член-корреспондент Национальной академии прикладных наук Российской Федерации, заведующий кафедрой теории и конструкции судовых двигателей внутреннего сгорания ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова».

Петров Юрий Сергеевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника и электрические машины» ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)».

Емельянов Виталий Александрович – доктор технических наук, профессор кафедры «Бизнес-информатика» ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации».

Титов Иван Леонидович – кандидат технических наук, флагманский электромеханик АО «Проект».

А 18 **Авдеев Б. А.** Элементы и функциональные устройства судовой автоматики: учебное пособие / Б.А. Авдеев. – СПб.: Научное издание технологий, 2018. – 260 с.

ISBN 978-5-6040965-5-0

Учебное пособие содержит основные сведения об элементах и функциональных устройствах судовой автоматики. Рассмотрены принципы работы датчиков, усилителей и исполнительных устройств. Приведены основные характеристики элементов судовой автоматики; рассмотрены вопросы согласования элементов системы. Пособие содержит всеобъемлющее описание конструкций элементов автоматики с их важнейшими характеристиками, необходимое для выбора, настройки и обслуживания систем различного назначения на судах торгового и рыбного флотов.

Пособие предназначено для курсантов, осваивающих основные образовательные программы по специальности высшего и среднего профессионального образования 26.05.07 (26.02.06) «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» и направления бакалавриата 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электрооборудование и автоматика судов»).

«Рекомендовано Ученым советом Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Керченский государственный морской технологический университет» в качестве учебного пособия для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования по специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» и направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Протокол № 6 от «31» мая 2018 г.

УДК 629.5.06

ББК 32.965

ISBN 978-5-6040965-5-0

© Авдеев Б. А., 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ.....	9
1.1 Функциональная связь.....	9
1.2 Примеры объединения элементов в группы типовых звеньев.....	11
1.3 Элементы с непосредственным и промежуточными преобразованиями ..	13
1.4 Надёжность элементов систем автоматики.....	15
1.4.1 Надёжность	15
1.4.2 Отказы и их интенсивность	16
1.4.3 Восстанавливаемость.....	18
1.4.4 Нагрузки, воздействующие на системы автоматики	19
1.4.5 Меры повышения надёжности систем автоматики.....	21
РАЗДЕЛ 2. ДАТЧИКИ.....	23
2.1 Общие сведения о датчиках	23
2.1.1 Общие положения	23
2.1.2 Критерий выбора датчика	24
2.2 Датчики перемещения и положения	25
2.2.1 Общие положения.....	25
2.2.2 Потенциометрический датчик.....	25
2.2.3 Индуктивные датчики	30
2.2.4 Емкостные датчики.....	35
2.2.5 Оптические датчики	40
2.2.6 Вихретоковые датчики перемещения	41
2.2.7 Ультразвуковые датчики перемещения.....	42
2.2.8 Магниторезистивные датчики перемещения.....	43
2.2.9 Датчики на основе эффекта Холла.....	44
2.2.10 Магнитострикционные датчики перемещения	45
2.3 Энкодеры.....	46
2.3.1 Общие положения.....	46
2.3.2 Оптические энкодеры.....	47
2.3.3 Магнитный энкодер.....	53
2.3.4 Механические энкодеры	54
2.4 Сельсины.....	54
2.4.1 Конструкция и принцип действия сельсина	54
2.4.2 Индикаторный режим.....	56
2.4.3 Трансформаторный режим.....	58
2.4.4 Многократный режим включения.....	59
2.4.5 Дифференциальный режим включения.....	60
2.5 Вращающиеся трансформаторы.....	61
2.5.1 Общие положения.....	61
2.5.2 Синус–косинусные вращающиеся трансформаторы в синусном режиме.....	64
2.5.3 Синус-косинусные вращающиеся трансформаторы в синусно-косинусном режиме	65

2.5.4	Линейные вращающиеся трансформаторы	67
2.6	Концевые выключатели.....	69
2.6.1	Общие сведения	69
2.6.2	Механические концевые выключатели	69
2.6.3	Бесконтактные концевые выключатели	71
2.6.4	Магнитные концевые выключатели.....	73
2.7	Датчики температуры	74
2.7.1	Общие положения	74
2.7.2	Термопары	75
2.7.3	Датчики температуры	76
2.7.4	Термометр сопротивления	78
2.7.5	Акустические термодатчики	80
2.7.6	Пирометры (тепловизоры)	82
2.7.7	Пьезоэлектрические датчики температуры.....	82
2.7.8	Pt 100.....	82
2.8	Датчики давления.....	84
2.8.1	Общие положения	84
2.8.2	Механические датчики	85
2.8.3	Емкостные датчики	87
2.8.4	Индуктивные датчики.....	89
2.8.5	Датчики давления, основанные на принципе магнетосопротивления	90
2.8.6	Пьезоэлектрические датчики	91
2.8.7	Потенциометрические датчики	92
2.8.8	Тензометрический датчик	93
2.8.9	Вибрационные датчики	94
2.8.10	Датчики дифференциального давления.....	95
2.8.11	Оптические датчики.....	96
2.8.12	Тепловые вакуумметры	97
2.8.13	Приборы ионизации.....	97
2.9	Тензометрические датчики	97
2.9.1	Общие положения	97
2.9.2	Тактильные тензодатчики	100
2.9.3	Резистивный тензодатчик.....	100
2.9.4	Пьезорезонансный тензодатчик	101
2.9.5	Пьезоэлектрические датчики	101
2.9.6	Магнитные тензометрические датчики	102
2.9.7	Емкостные датчики.....	103
2.10	Датчики расхода и счётчики количества вещества	103
2.10.1	Общие положения	103
2.10.2	Объемные расходомеры	104
2.10.3	Скоростной счётчик.....	105
2.10.4	Расходомеры переменного перепада давления.....	105
2.10.5	Расходомеры постоянного перепада давления	107
2.10.6	Электромагнитный расходомер.....	108
2.10.7	Ультразвуковой расходомер	109

2.10.8	Тепловые расходомеры	110
2.11	Датчики скорости.....	112
2.11.1	Оптические датчики	112
2.11.2	Крыльчатые датчики потока.....	113
2.11.3	Датчики с изменяющимся активным сопротивлением.....	114
2.12	Датчики частоты вращения.....	116
2.12.1	Общие положения.....	116
2.12.2	Механические датчики частоты вращения	116
2.12.3	Гидравлические датчики частоты вращения	118
2.12.4	Тахогенераторы постоянного тока.....	118
2.12.5	Асинхронные тахогенераторы.....	120
2.12.6	Синхронные тахогенераторы переменного тока	121
2.13	Уровнемеры	123
2.13.1	Общие положения.....	123
2.13.2	Визуальные уровнемеры	125
2.13.3	Поплавковые уровнемеры.....	126
2.13.4	Буйковые уровнемеры.....	127
2.13.5	Емкостной уровнемер.....	129
2.13.6	Гидростатический уровнемер.....	131
2.13.7	Магнитный уровнемер	134
2.13.8	Кондуктометрические уровнемеры	135
2.13.9	Акустические уровнемеры.....	137
2.13.10	Волноводный уровнемера.....	139
2.13.11	Оптические уровнемеры	141
2.14	Датчики давления.....	142
2.14.1	Общие положения.....	142
2.14.2	Трубки Бурдона.....	143
2.14.3	Сильфоны.....	144
2.14.4	Емкостные датчики.....	145
2.14.5	Индуктивный датчик давления	147
2.14.6	Датчики давления, основанные на принципе магнетосопротивления	148
2.14.7	Пьезоэлектрические датчики.....	148
2.14.8	Потенциометрические датчики	149
2.14.9	Тензометрический датчик	150
2.14.10	Виброэлемент	152
2.14.11	Датчики дифференциального давления.....	153
2.14.12	Оптические датчики	153
2.14.13	Тепловые вакуумметры.....	154
2.14.14	Приборы ионизации.....	155
2.15	Датчики Холла.....	155
2.16	Датчик тока.....	157
2.16.1	Общие положения.....	157
2.16.2	Токоизмерительный шунт.....	157
2.16.3	Трансформатор тока	159

2.16.4 Датчики на основе эффекта Холла	160
РАЗДЕЛ 3. УСИЛИТЕЛИ	164
3.1 Общие сведения об усилителях	164
3.1.1 Типы усилителей	164
3.1.2 Параметры и характеристики усилителей	166
3.2 Магнитные усилители.....	170
3.2.1 Общие сведения о магнитных усилителях	170
3.2.2 Однотактные магнитные усилители	173
3.2.3 Магнитный усилитель с обмоткой смещения	174
3.2.4 Магнитные усилители с обратными связями	175
3.2.5 Дифференциальные магнитные усилители	177
3.3 Электромашинный усилитель с поперечным полем	178
РАЗДЕЛ 4. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВАХ	185
4.1 Общие сведения об исполнительных устройствах	185
4.1.1 Основные понятия.....	185
4.1.2 Критерии выбора.....	186
4.2 Шаговые двигатели	187
4.2.1 Общие положения	187
4.2.2 Реактивный двигатель	189
4.2.3 Двигатель с постоянными магнитами.....	189
4.2.4 Гибридный шаговый двигатель	190
4.2.5 Конструктивные особенности шаговых двигателей	192
4.3 Сервопривод	194
4.3.1 Общие положения	194
4.3.2 Гидравлический сервопривод прямого действия	195
4.3.3 Гидравлический сервопривод с жесткой обратной связью	196
4.3.4 Электрический сервопривод	196
4.4 Электромагнитное реле	199
4.4.1 Назначение и классификация.....	199
4.4.2 Реле постоянного тока	203
4.4.3 Реле переменного тока.....	206
4.4.4 Поляризованное реле постоянного тока	207
4.4.5 Параметры реле и способы их изменения	208
4.5 Реле времени	209
4.5.1 Общие положения	209
4.5.2 Реле времени с электромагнитным замедлением	210
4.5.3 Реле времени с часовым или анкерным механизмом.....	211
4.5.4 Моторные реле времени	211
4.5.5 Реле времени с гидравлическим или пневматическим замедлением	212
4.5.6 Электронные реле	212
4.6 Герконы	213
4.6.1 Общие положения о герконах	213
4.6.2 Классификация герконов.....	214
4.6.3 Параметры и пути устранения недостатков герконов	216
4.7 Твердотельное реле	218

4.7.1 Общие положения	218
4.7.2 Конструктивные особенности твердотельных реле	219
4.8 Регулирующие органы расхода	222
4.8.1 Общие положения	222
4.8.2 Шиббер и заслонка	225
4.8.3 Кран	226
4.8.4 Клапан	227
4.8.5 Электромагнитный клапан	227
РАЗДЕЛ 5. СОГЛАСОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ	230
5.1 Общие положения	230
5.2 Метод уравнивающего заряда	231
5.3 Гальваническая развязка	231
5.3.1 Трансформатор	232
5.3.2 Оптопара	233
5.3.3 Емкостная развязка	234
5.3.4 Развязка, основанная на эффекте Холла	234
5.3.5 Магнитосопротивления	234
5.4 Схемы формирования сигналов	235
5.4.1 Схемы формирования электрических сигналов при наличии элементов–генераторов	235
5.4.2 Схемы формирования электрических сигналов при наличии элементов–модуляторов	236
5.5 Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи	237
5.5.1 Назначение, основные свойства и классификация	237
5.5.2 Процесс аналого-цифрового преобразования	238
5.5.3 Основные характеристики АЦП	240
5.5.4 Процесс цифро-аналогового преобразования	241
5.5.5 Основные характеристики ЦАП	242
5.6 Измерительный мост	243
5.6.1 Подключение измеряемого сопротивления в цепь моста	243
5.6.2 Усиление и линеаризация выходных характеристик моста	249
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	259

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» служит для обучения курсантов работе с автоматическими устройствами. Изучение данной дисциплины приводит будущих электромехаников и электроэнергетиков к:

- систематизации, закреплению и расширению теоретических знаний и практических навыков при разработке следящей системы;
- развитию навыков самостоятельной работы с технической литературой в ходе выполнения работы;
- приобретению творческих навыков при самостоятельном решении технических задач и освоение основ патентного поиска;
- подготовки к дипломному проектированию.

Задачей автоматических устройств является получение, передача, преобразование, обработка, хранение и сравнение информации; формирование новой информации; использование информации для воздействия на управляемый процесс.

Кроме того, для решения различных задач по системам автоматики необходимо знать особенности различных судовых механизмов, их характеристики, связывающие моменты, и другие важные параметры. Комплексная автоматизация, являясь важнейшим проявлением научно-технического прогресса на морском транспорте, превращает современные суда, по существу, в человеко-машинные системы, изучение и эксплуатация которых требуют системного подхода.

Дальнейшее развитие автоматизации судов уже в настоящее время достигла такого уровня, когда можно практически осуществить безвахтенное обслуживание машинной техники. Дальнейшее развитие комплексной автоматизации связано с углублением централизации управления, применением нейронных сетей, нечеткого регулирования и технологии big data.

В курс лекций входит изучение общих положений построения автоматических систем, датчиков, элементов преобразовательных систем, усилители и исполнительных механизмов.

Данный курс предназначен для курсантов, обучающихся по специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» и направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электрооборудование и автоматика судов»), для которых «Элементы и функциональные устройства судовой автоматики» является профилирующим предметом.

Учебное издание

Авдеев Борис Александрович

**ЭЛЕМЕНТЫ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА
СУДОВОЙ АВТОМАТИКИ**

Учебное пособие

Издательство «Наукоемкие технологии»
ООО «Корпорация «Интел Групп»
<http://publishing.intelgr.com>
E-mail: publishing@intelgr.com
Тел.: (812) 945-50-63

Подписано в печать 07.06.2018.
Формат 60×84/16
Объем 11,5 п.л.
Гарнитура PT Astra Serif
Тираж 500 экз.