

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А. С. Ключев, А. Т. Лебедев, С. А. Ключев, А. Г. Товарное
Под ред. А. С. Ключева.

Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие

2-е издание, переработанное и дополненное

Москва Энергоатомиздат 1989

Изложены основы прикладной теории автоматического управления, инженерные методы наладки систем. Во втором издании книги (первое вышло в 1977 г.) учтены изменения в части терминологии и номенклатуры выпускаемых средств автоматизации и новых методов расчета параметров настройки регуляторов.

Для инженерно-технических работников, занимающихся наладкой и эксплуатацией автоматических систем.

Авторы: А. С. Ключев, А. Т. Лебедев, С. А. Ключев, А. Г. Товарное

Рецензент А. Я. Серебрянский
Ответственный редактор А. Н. Гусяцкая

Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования:
Справочное пособие. А. С. Ключев, А. Т. Лебедев, С. А. Ключев, А. Г. Товарное; Под ред. А. С. Ключева. —2-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергоатомиздат, 1989.- 368 с: ил.

Содержание справочного пособия

Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования

Предисловие

Раздел 1. Математические основы инженерных методов наладки автоматических систем регулирования

1.1. Общие положения

1.2. Основы теории функций комплексного переменного

Комплексные числа (6), Функции комплексного переменного (7)

1.3. Ряд в интеграл Фурье

Ряд Фурье (9). Интеграл Фурье (12). Преобразование Фурье (14)

1.4. Основы векторного исчисления

Основные понятия (15). Операции над векторами (16). Векторный анализ (17)

1.5. Элементы матричного исчисления

Основные понятия (20). Алгебра матриц (22)

1.6. Основы теории вероятностей

Случайные события (25). Случайные величины (26). Случайные векторы (27). Случайные функции (28)

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1.7. Основы операционного исчисления

Непрерывные функции (31). Дискретные функции (36)

Раздел 2. Основы теории автоматического регулирования

2.1. Основные понятия и определения

2.2. Линейные стационарные непрерывные системы

Уравнения движения (40). Типовые воздействия (41). Динамические характеристики (42). Типовые звенья (43). Соединение звеньев (43). Устойчивость АСР (48). Качество регулирования (52)

2.3. Лянейные дискретные системы

Основные понятия и определения (56). Уравнения движения (56). Устойчивость (58). Качество регулирования (60)

2.4. Нелинейные системы

Нелинейные характеристики (61). Линеаризация нелинейных характеристик (63). Исследование систем (66)

Раздел 3. Структура автоматических регуляторов

3.1. Классификация автоматических регуляторов

3.2. Типовые законы регулирования

Пропорциональные регуляторы (73). Интегральные регуляторы (75). Дифференциальные регулирующие устройства (77). Пропорционально-интегральные регуляторы (77).

Пропорционально-дифференциальные регуляторы (79).

Пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы (79)

3.3. Структурные схемы аналоговых промышленных регуляторов

Пропорциональные регуляторы (82). Пропорционально-интегральные регуляторы (83).

Пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы (85)

3.4. Импульсные регуляторы с исполнительными механизмами постоянной скорости

3.5. Позиционные регуляторы

3.6. Автоматические регуляторы прямого действия

Раздел 4. Наладка электрических средств автоматического регулирования

4.1. Современные принципы построения электрических средств регулирования

Комплекс технических средств АКЭСР (97). Комплекс технических средств АКЭСР-2 (101).

Комплекс технических средств «Каскад-2» (104). Система приборов автоматического регулирования «Контур» (106). Комплекс контроля и регулирования с нерременной структурой КМ2201 (107)

4.2. Регулирующие блоки импульсные РБИ

Предмонтажная проверка (115). Реализация АСР с автоподстройкой параметров РБИЗ (119)

4.3. Регулирующие блоки аналоговые (РБА)

Предмонтажная проверка (127). Реализация АСР с регулятором РБА (130)

4.4. Устройство регулирующее РП4

4.5. Регулирующие блоки импульсные РБИМ

Предмонтажная проверка (140)

4.6. Релейный регулирующий блок Р21

Предмонтажная проверка (149)

4.7. Регулирующий блок аналоговый Р12

Предмонтажная проверка (157)

4.8. Регулирующий блок Р27

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Регулирующий модуль РО27.1 (165). Реализация трехпозиционного звена с зоной возврата (168). Реализация закона ПИ-регулирования (169). Реализация закона ПИД-регулирования (172). Ограничение воздействия по сигналу рассогласования (173). Предмонтажная проверка (174)

4.9. Блок регулирующий аналоговый Р17

4.10. Регулирующий прибор Р25

Предмонтажная проверка (182)

4.11. Регулирующие устройства БРАР1 и БРАА1

Раздел 5. Наладка пневматических средств автоматического регулирования

5.1. Универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики

Пневмоемкость (189). Пневмосопротивления (190). Элементы сравнения (191). Усилители мощности (195). Дроссельный сумматор (196). Пневмоповторитель пневматического сигнала (198). Реле выключающее (199). Пневмоповторитель-усилитель мощности (199)

5.2. Комплекс элементов и модулей пневмоавтоматики

5.3. Типовые функциональные звенья в системах и устройствах пневмоавтоматики

5.4. Общие технические требования и методы проверки пневматических регуляторов

Технические требования (208). Проверка параметров регуляторов (209)

5.5. Устройства предварения

Устройство прямого предварения ПФ2.1 (211). Устройство обратного предварения ПФ3.1 (214)

5.6. Позиционные регуляторы

Регулятор позиционный ПР1.5 (215). Регулятор позиционный с настраиваемой зоной возврата ПР1.6 (217)

5.7. Аналоговые регуляторы

Регулятор пневматический пропорциональный ПР2.8 (220). Пропорционально-интегральные регуляторы ПР3.31 и ПР3.32 (223). Регуляторы соотношения пневматические пропорционально-интегральные ПР3.33 и ПР3.34 (228).

Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор ПР3.35 (233). Устройство регулирующее пневматическое малогабаритное ПР3.27М (239)

5.8. Комплексы технических средств систем пневмоавтоматики

Установка управляющая пневматическая «Режим-1Д» (243). Модуль каскадного управления МКУ-6 (246). Модуль оперативного контроля регулируемых контуров М222Б (247). Прибор показывающий многошкальный ППМ-20П (247). Проверка и настройка схем регулирования установки «Режим-1Д» (249). Комплекс пневматических средств «Ритминал» (252)

Раздел 6. Наладка исполнительных устройств

6.1. Общие сведения об исполнительных устройствах

6.2. Дроссельные регулирующие органы

Шиберы (256). Поворотные заслонки (257). Регулирующие клапаны (259). Диафрагмовые и шланговые регулирующие органы (263). Шиберные клапаны (264). Краны (264)

6.3. Выбор и расчет дроссельных регулирующих органов

Расчет дроссельных регулирующих органов (269), Порядок расчета (269). Примеры расчетов (278). Особенности расчета регулирующих клапанов впрыска (281)

6.4. Наладка исполнительных механизмов

6.5. Наладка схем управления исполнительными механизмами

Электромагнитные исполнительные механизмы (288). Многооборотные исполнительные механизмы (290). Однооборотные исполнительные механизмы (299)

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Раздел 7. Параметрическая оптимизация автоматических систем регулирования

7.1. Определение характеристик объектов регулирования и возмущений

Определение статических характеристик объектов регулирования (301). Определение динамических характеристик объектов регулирования (308). Определение статистических характеристик возмущений (321)

7.2. Приближенные методы параметрической оптимизации АСР

Критерии оптимальности (327). Приближенные формулы для определения параметров настройки (331). Номограммы (331)

7.3. Аналитические методы параметрической оптимизации АСР

Метод расширенных КЧХ (331). Дисперсионный метод (335). Информационный метод (336). Метод максимума АЧХ (337)

7.4. Экспериментальные методы параметрической оптимизации АСР

Настройка АСР по методу «отработки возмущения за одно включение» (338). Метод Циглера и Никольса (338). Пошаговая оптимизация с оценкой переходной характеристики на каждом шаге (338)

7.5. Определение параметров настройки АСР с двухпозиционным регулятором

7.6. Моделирование АСР на аналоговых вычислительных машинах

Список литературы

Список литературы

1. Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами: Справочное пособие / А. С. Ключев, А. Т. Лебедев, Н. П. Семенов, А. Г. Товарное; Под ред. А. С. Ключева. М.: Энергия, 1977.
2. Ключев А. С., Лебедев А. Т., Новиков С. И. Наладка систем автоматического регулирования барабанных паровых котлов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
3. Корн Г., Кори Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1968.
4. Иванов В. А., Чемоданов Б. К., Медведев В. С. Математические основы теории автоматического регулирования. М.: Высшая школа, 1971.
5. Фельдбаум А. А., Бутковский А. Г. Методы теории автоматического управления, М.: Наука, 1971.
6. Справочник по средствам автоматики / Под ред. В. Э. Низе и И. В. Антика. М.: Энергоатомиздат, 1983.
7. Беляев Г. Б., Кузищи В. Ф., Смирнов Н. И. Технические средства автоматизации в теплоэнергетике. М.: Энергоиздат, 1982.
8. Бмельниов А. И., Емельянов В. А. Исполнительные устройства промышленных регуляторов. М.: Машиностроение, 1975.
9. Имбрицкий М. И. Справочник по арматуре тепловых электростанций. М.: Энергоиздат, 1981.
10. Арауманов Э. С. Расчет и выбор регулирующих органов автоматических систем, М.: Энергия, 1971.
11. Иванов В. А. Регулирование энергоблоков. Л.: Машиностроение, 1982.
12. Плетнев Г. П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. М.: Энергоиздат, 1981.
13. Ротач В. Я. Расчет динамики промышленных автоматических систем регулирования. М.; Энергия, 1973.
14. Ключев А. С. Двухпозиционные автоматические регуляторы и их настройка. М.: Энергия,

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

1967. 15. Ключев А. С, Товарное А. Г. Наладка систем автоматического регулирования котлоагрегатов. М.: Энергия, 1970.
16. Лебедев А. Т. Информационные основы выбора оптимальных параметров настройки промышленных регуляторов // Автоматика и телемеханика. 1977. № 10. С. 16 — 22.
17. Лебедев А. Т. Информационный метод расчета каскадных систем автоматического регулирования // Автоматика и телемеханика. 1980. № 6. С. 188-191,
18. Ключев А. С, Колесников А. А. Оптимизация автоматических систем управления по быстродействию. М.: Энергоиздат, 1982,
19. Дубровский А. Х. Устройство электрической части систем автоматизации. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984.
20. Автоматизация настройки систем управления/В. Я. Ротач, В. Ф. Кузицин, А. С. Ключев и др.; Под ред. В. Я. Ротача, М.: Энергоатомиздат, 1984.
21. Ключев С. А. Методика расчета дроссельных четырехполюсников в аналоговых пневматических регулирующих и вычислительных устройствах // Монтаж и наладка средств автоматизации и связи. М.: ЦБНТИ ММСС СССР, 1985. № 11. С. 13-17.
22. Ключев С. А. Анализ структур и динамических свойств пневматических регуляторов ПР3.35 // Монтаж и наладка средств автоматизации и связи. М.: ЦБНТИ ММСС СССР, 1986. № 4. С. 13-19.
23. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации. Отраслевой каталог № 9, Т. 4. Вып. 3. Агрегатный комплекс электрических средств регулирования в микроэлектронном исполнении АКЭСР. М.: ЦНИИТЭИ приборостроения, 1980.
24. Ротач В. Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 1985.
25. ГОСТ 21878-76. Случайные процессы и динамические системы. Термины и определения,
26. Круг Г. К., Сосулин Ю. А., Фатцев В. А. Планирование эксперимента в задачах идентификации и электрополюции. М.: Наука, 1977.
27. Трошии Л. П. Расчет параметров передаточных функций апериодических звеньев высоких порядков // Изв. вузов. Энергетика. 1970. № 10. С. 89-94.
28. Каримов Р. Н., Волгин В. В. Статистические характеристики случайных сигналов в системах автоматического управления. Саратов; Изд-во СПИ, 1971.
29. Стефанн Е. П. Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. М.: Энергия, 1972.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Автоматизация технологических процессов является решающим фактором в повышении производительности труда и улучшении качества выпускаемой продукции. Поэтому вопросам автоматизации в нашей стране уделяется огромное внимание.

Качество работы любой автоматической системы регулирования (АСР) зависит от того, насколько хорошо она спроектирована, смонтирована, налажена и эксплуатируется. По проектированию, монтажу и эксплуатации промышленных АСР опубликовано много монографий, учебных пособий и учебников. Курс «Проектирование, монтаж и эксплуатация АСР» читается в ряде вузов.

Несколько сложнее состояние дел с наладкой АСР, хотя по этому вопросу опубликовано много работ: монографий, статей, инструкций и др.

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Процесс наладки любой АСР состоит из нескольких этапов: проверки правильности монтажа, фазировки цепей, проверки аппаратуры, идентификации объектов и возмущений, параметрической оптимизации, испытаний, составления документации и др. Естественно, что изложить все эти вопросы глубоко и подробно «на все случаи жизни» в одной книге невозможно, да и нецелесообразно. Нужно выделить главное.

Авторы обсудили план второго издания справочного пособия с наладочными организациями Минмонтажспецстроя СССР, Минэнерго СССР и вузами, готовящими специалистов по автоматизации технологических процессов. Был сделан вывод, что необходимо более тесно соединить теоретические аспекты наладки АСР с практическими рекомендациями, полезными не только инженерам-наладчикам, но и студентам вузов. В основу предлагаемого второго издания справочного пособия были положены ранее опубликованные работы авторов.

С момента выхода в свет первого издания справочного пособия прошло 10 лет. За это время в практике расчетов автоматических систем регулирования и технике автоматизации произошли существенные изменения. Это обстоятельство учтено авторами при подготовке второго издания. Внесены дополнения о дискретных функциях и линейных дискретных системах

За истекшее время ряд регуляторов снят с производства, появились новые типы регуляторов, приборостроительной промышленностью освоен выпуск новых комплексов технических средств автоматического регулирования, что также было учтено при переработке справочного пособия.

При подготовке второго издания справочного пособия авторы придерживались тех же концепций, что и при написании первого издания. Современный объем и уровень автоматизации производства, сложность и многообразие автоматических систем регулирования требуют подхода к их наладке на современной теоретической основе. Прежде чем приступить к наладке автоматической системы регулирования, ее нужно теоретически рассчитать. При современном уровне развития вычислительной техники эти расчеты не очень трудоемки, но для того чтобы произвести их, необходимо хорошо владеть основами теории автоматического регулирования и соответствующим математическим аппаратом. Интуитивный подход к проведению наладочных работ, основанный на методе проб и ошибок, сейчас недопустим.

С учетом изложенного переработанное и дополненное второе издание справочного пособия состоит из семи разделов.

В разд. 1 приведены основные сведения из математического аппарата, используемого при производстве наладочных работ.

В разд. 2 приведены основы теории автоматического регулирования, владеть которыми должен каждый инженер-наладчик.

В разд. 3 даны классификация и типовые структуры автоматических регуляторов. Материал этого раздела поможет инженеру-наладчику освоить общие принципы и особенности наладки АСР с любым автоматическим регулятором независимо от его конструктивного

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

исполнения.

В разд. 4 и 5 изложены особенности наладки соответственно электрических и пневматических автоматических регуляторов и комплексов технических средств автоматического регулирования.

В разделе 6 рассмотрены вопросы наладки исполнительных устройств, а именно исполнительных механизмов и регулирующих органов.

В разд. 7 изложены методы параметрической оптимизации автоматических систем регулирования — определение оптимальных параметров настройки автоматических регуляторов.

Материал справочного пособия составили: А. С. Клюев - разд. 3, 6, 7; А. Т. Лебедев - разд. 1.2 и 7; С. А. Клюев — разд 4 и 5; А. Г. Товарное - разд. 6. При написании справочного пособия авторами использован опыт наладочных организаций Минмонтажспецстроя СССР, Минэнерго СССР и опыт подготовки инженеров по автоматизации технологических процессов в Ивановском энергетическом институте. Математический аппарат, использованный в пособии, не выходит за рамки соответствующих курсов, читаемых в вузах

Авторы

[Скачать книгу Под ред. А. С. Клюева. **Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования**](#): Справочное пособие. Москва, Издательство Энергоатомиздат, 1989