

УДК 629.3.078:681.5(075)

ББК 39.33-048.1я73

С21

**Рецензенты:**

**Прутчиков И. О.** — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электроэнергетики и электротехники Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета;

**Ожегов Н. М.** — доктор технических наук, профессор кафедры автомобилей, тракторов и технического сервиса Санкт-Петербургского государственного аграрного университета

**Сафиуллин, Р. Н.**

С21 Управление техническими системами транспортных средств : учебное пособие / Р. Н. Сафиуллин, Р. Р. Сафиуллин ; под ред. проф. Р. Н. Сафиуллина. — Москва : Директ-Медиа, 2023. — 348 с.

ISBN 978-5-4499-3401-7

Книга представляет собой учебное издание, в котором с системотехнических позиций представлены конструктивные решения основных технических систем управления транспортных средств, закономерности функционирования и особенности их работы. Целью данного учебного пособия является обобщение, систематизация вопросов конструкции, диагностирования и обслуживания современных электронных и микропроцессорных систем управления автомобиля, дать определения основным понятиям, описание некоторым электронным системам автомобиля. Рассмотрены основные компоненты автоматических устройств автомобильного транспорта и условия их функционирования. Изложены особенности построения алгоритмов, оптимального управления транспортными средствами, а также отдельные аспекты теории передачи информации систем управления. В рассматриваемой предметной области анализируются конкретные примеры, направленные на выработку навыков применения математических методов при управлении техническими системами.

Учебное пособие написано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования третьего поколения и предназначено для бакалавров направления подготовки 23.03.01 — Технология транспортных процессов; 23.05.02 — Наземные транспортно-технологические средства; 23.03.03 — Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, а также магистров направления подготовки 23.04.01 — Технология транспортных процессов; 23.04.02 — Наземные транспортно-технологические средства; 23.04.03 — Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов. Книга может быть полезна инженерно-техническим работникам предприятий автомобильной промышленности, а также специалистам сервисных служб и всем, кто связан с эксплуатацией автотранспортных средств.

Книга может быть полезна инженерно-техническим работникам предприятий автомобильной промышленности, а также специалистам сервисных служб и всем, кто связан с эксплуатацией автотранспортных средств.

УДК 629.3.078:681.5(075)

ББК 39.33-048.1я73

ISBN 978-5-4499-3401-7

© Сафиуллин Р. Н., Р. Р. Сафиуллин, текст, 2023

© Издательство «Директ-Медиа», оформление, 2023

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	11
Глава 1. Основные понятия и принципы управления .....	14
1.1. Исходные положения .....	14
1.2. Принципы управления .....	17
1.2.1. Принцип программного управления .....	17
1.2.2. Принцип компенсации .....	17
1.2.3. Принцип обратной связи (управление по отклонению).....	18
1.2.4. Принцип комбинированного управления .....	19
1.3. Структура системы управления .....	19
1.4. Законы управления .....	21
1.5. Классификация систем управления.....	22
Глава 2. Системы управления, применяемых в автомобилях .....	24
2.1. Система водитель — автомобиль — дорога — среда .....	24
2.2. Гидроусилитель руля.....	24
2.2.1. Гидроусилитель руля с золотниковым распределителем поступательного действия.....	25
2.2.2. Гидроусилитель руля с золотниковым распределителем тангенциального типа .....	26
2.3. Система управления двигателем.....	27
2.4. Система управления дроссельной заслонкой.....	29
2.5. Антиблокировочная тормозная система .....	31
2.6. Система автоматического управления светом фар.....	33
2.7. Система адаптивного круиз-контроля.....	35
2.8. Тенденции развития автоматических систем управления в автомобилестроении .....	38
2.9. Теоретические основы управления скоростными и нагрузочными режимами работы двигателя.....	40
2.9.1. Характеристики оптимального по экономичности регулирования двигателя.....	44
2.9.2. Регулирование двигателя при наличии дополнительных ограничений .....	47
2.9.3. Автоматизация управления двигателем .....	49
2.9.4. Разомкнутые и локально-замкнутые подсистемы автоматического управления ДВС.....	53
2.9.5. Управление опережением зажигания и составом смеси.....	56

2.9.6. Локально-замкнутый контур подавления детонации .....	64
2.9.7. Разомкнутые подсистемы управления составом смеси .....	66
Глава 3. Система пуска и зажигания ДВС .....	72
3.1. Система электростартерного пуска ДВС .....	72
3.2. Системы электроискрового зажигания бензиновых ДВС .....	76
3.2.1. Классификация батарейных систем зажигания .....	78
3.2.2. Требования к системам зажигания, основные параметры систем зажигания .....	79
3.2.3. Классическая контактная система зажигания .....	80
3.2.4. Контактнo-транзисторная система зажигания .....	82
3.2.5. Бесконтактнo-транзисторная система зажигания .....	82
3.2.6. Двухвыводная катушка зажигания .....	83
3.2.7 Микроконтроллерная система зажигания .....	84
Глава 4. Системы диагностики .....	86
4.1. Система освещения и сигнализации .....	86
4.2. Информационно-диагностическая система .....	86
4.2.1. Системы диагностики автомобиля .....	88
Глава 5. Автомобильные мультиплексные системы передачи информации .....	96
5.1. Основные понятия .....	96
5.2. Примеры автомобильных мультиплексных систем .....	100
5.5. Информационные сети .....	104
5.5.1. Эталонная модель взаимодействия систем .....	105
5.5.2. Протоколы информационных сетей .....	107
5.5.3. Физическая передающая среда .....	108
5.5.4. Топология информационных сетей .....	109
5.5.4.1. Топология типа шина .....	110
5.5.4.2. Топология типа звезда .....	110
5.5.4.3. Топология типа кольцо .....	111
5.5.4.4. Ячеистая топология .....	111
5.5.4.5. Смешанная (гибридная) топология .....	112
5.5.5. Адресация .....	113
5.5.6. Методы доступа к среде передачи данных .....	114
Глава 6. Шина CAN .....	116
6.1. История развития .....	116
6.2. Основные свойства шины CAN .....	116

6.3. Стандарты CAN.....	118
6.4. Состав сетевого узла CAN.....	120
6.5. Кодирование битов .....	120
6.6. Среда передачи данных .....	121
6.7. Логические уровни сигналов .....	123
6.8. Синхронизация.....	124
6.9. Формат кадров.....	124
6.9.1. Форматы кадров данных Standard Data Frame и Extended Data Frame.....	125
6.9.2. Формат кадра удаленного запроса данных Remote Frame.....	127
6.10. Обнаружение ошибок.....	127
6.11. Обработка ошибок.....	128
6.12. Локализация ошибок.....	129
6.13. Обработка переполнений .....	132
6.14. Временные характеристики.....	133
6.15. Дальнейшее развитие протокола CAN — CAN FD.....	134
6.16. Стандарт SAE J1939 .....	138
6.16.1. SAE J193911, SAE J193915 — протокол физического уровня.....	139
6.16.2. SAE J193921 — протокол канального уровня.....	139
6.16.3. SAE J193971 — протокол прикладного уровня .....	144
Глава 7. Диагностика шины CAN.....	148
7.1. Системы диагностики автомобиля .....	148
7.2. Диагностика автомобиля Соболев 4×4 с двигателем Cummins ISF 2.8 .....	150
7.2.1. Подключение к диагностической шине .....	150
7.2.2. Коды неисправностей .....	152
7.2.3. Контроль параметров .....	152
7.3. Практическая работа с диагностическим сканером «АВТОАС-СКАН».....	155
7.3.1. Правила безопасности .....	155
7.3.2. Последовательность работы .....	155
Глава 8. Реверс-инжиниринг шины CAN автомобиля .....	157
8.1. Шина CAN .....	157
8.1.1. История развития .....	157
8.1.2. Основные свойства шины CAN .....	158
8.1.3. Стандарты CAN .....	160

8.1.4. Состав сетевого узла CAN .....	161
8.1.5. Кодирование битов.....	162
8.1.6. Среда передачи данных.....	163
8.1.7. Логические уровни сигналов.....	163
8.1.8. Формат кадров.....	164
8.1.8.1. Форматы кадров данных Standard Data Frame и Extended Data Frame.....	165
8.2. Сканер CAN шины PCAN-USB FD .....	167
8.3. Практическая работа по анализу сообщений в шине CAN автомобиля .....	171
8.3.1. Правила безопасности .....	171
8.3.2. Анализ сообщений в автомобиле .....	171
8.3.3. Расшифровка сообщений.....	173
8.3.4. Создание DBC файла.....	173
8.4. Разработка программы для Arduino для индикации частоты вращения коленвала .....	175
8.4.1. Шилд CANdiy .....	175
8.4.2. Программа для Arduino .....	176
8.4.3. Отладка программы с использованием MATLAB .....	178
8.4.4. Испытание программы на автомобиле.....	180
8.5. Оформление отчета.....	180
Глава 9. Датчики (сенсорные устройства).....	181
9.1. Микромеханика.....	183
9.1.1. Процесс APSM.....	186
9.1.2. Датчики положения .....	188
9.1.2.1. Магнитно-индуктивные датчики.....	190
9.1.2.2. Датчики с закорачивающим кольцом.....	190
9.1.2.3. Полудифференциальные датчики с закорачивающим кольцом.....	191
9.1.2.4 Датчики с вращающимися переменными полями. ....	191
9.1.2.5. Датчик Hella.....	192
9.1.2.6 Магнитостатические датчики .....	193
9.1.2.7. Гальваномангнитный эффект .....	194
9.1.2.8. Типы датчиков Холла.....	195
9.1.2.9. Датчики Холла, использующие принцип вращающихся токов.....	196
9.1.2.10. Дифференциальные датчики Холла .....	197

9.1.2.11. Датчики Холла для измерения угла поворота (на угол до 180°) .....	199
9.1.2.12. Датчики Холла для измерения угла поворота (на угол до 360°) .....	201
9.1.2.13. Магниторезистивные датчики.....	204
9.1.2.14. Магниторезистивные NiFe тонкопленочные датчики (AMR) .....	206
9.1.2.15 Датчик углового положения в диапазоне более 360° (определение нескольких оборотов) .....	209
9.1.2.16. GMR-датчики.....	210
9.1.3. Датчики скорости и частоты вращения .....	210
9.1.3.1. Формы датчиков .....	211
9.1.3.2. Роторы .....	211
9.1.3.3. Градиентные датчики.....	212
9.1.3.4. Тангенциальные датчики.....	212
9.1.3.5. Датчики ускорения и вибрации.....	212
9.1.3.6. Принципы измерения .....	212
9.1.3.7. Пьезоэлектрические датчики .....	213
9.1.3.8. Емкостные кремниевые датчики ускорения .....	213
9.1.4. Датчики давления .....	215
9.1.4.1. Прямое измерение давления.....	215
9.1.4.2. Емкостные датчики давления .....	215
9.1.4.3. Диафрагменные датчики.....	216
9.1.4.4 Применение полупроводниковых датчиков давления. ....	216
9.1.4.5. Датчики высокого давления с металлической диафрагмой.....	216
9.1.5. Расходомеры .....	217
9.1.5.1. Датчики массового расхода воздуха .....	217
9.1.6. Газовые датчики, датчики концентрации .....	218
9.1.6.1. Датчик концентрации кислорода (лямбда-зонд).....	218
9.1.6.2. Датчик качества воздуха .....	219
9.1.6.3. Измерение влажности .....	220
9.1.7. Датчики температуры. Косвенно измеряемые переменные.....	220
9.1.8. Конструктивные особенности.....	221
9.1.9. Датчики силы и момента .....	222
9.1.10. Датчики измерения механической нагрузки .....	223
9.1.10. Датчики для измерения углов (торсионное измерение).....	224
9.1.11. Датчики вихревых токов.....	226
9.1.12. Датчик загрязнения фар.....	226

9.1.13. Датчик дождя.....	227
9.1.14. Датчики для систем повышения безопасности при движении (DAS) .....	227
9.1.14.1. Принцип работы ультразвукового датчика.....	228
9.1.14.2 Радарная технология .....	228
9.1.14.3. Радар малой дальности (24 ГГц) .....	231
9.1.14.4. Радар большой дальности.....	231
9.1.14.5. Лидар .....	231
9.1.15. Видеотехнология.....	233
9.1.15.1. Основные принципы фотосчитывания.....	233
9.1.15.2 ПЗС-матрицы .....	235
9.1.15.3. КМОП-матрицы .....	236
9.1.16. Технология определения дальности .....	237
Глава 10. Математическое описание систем управления .....	239
10.1. Уравнения динамики и статики .....	239
10.2. Линеаризация уравнений .....	241
10.3. Символическая форма записи дифференциальных уравнений .....	243
10.4. Преобразование Лапласа.....	243
10.4.1. Основные свойства преобразования Лапласа.....	244
10.4.2. Изображения Лапласа распространенных функций.....	245
10.5. Передаточные функции .....	247
10.6. Временные функции .....	250
10.7. Связь между передаточной функцией и временными функциями.....	251
10.8. Описание передаточных и временных функций в MATLAB.....	252
Глава 11. Частотные функции и характеристики .....	254
11.1. Понятие частотных функций и характеристик .....	254
11.2. Различные типы звеньев и их характеристики .....	257
11.3. Асимптотические ЛАЧХ.....	262
11.4. Построение частотных характеристик в MATLAB.....	263
Глава 12. Структурные схемы систем управления .....	264
12.1. Структурные схемы .....	264
12.2. Вычисление передаточной функции одноконтурной системы .....	268
12.3. Вычисление передаточной функции многоконтурной системы.....	270

12.4. Функции MATLAB, используемые для преобразования структурных схем .....	272
Глава 13. Устойчивость линейных непрерывных САУ .....	274
13.1. Понятие устойчивости САУ .....	274
13.2. Основное условие устойчивости САУ .....	276
13.3. Необходимое условие устойчивости .....	277
13.4. Алгебраические критерии устойчивости .....	277
13.4.1. Характеристическое уравнение .....	278
13.4.2. Критерий Гурвица .....	279
13.4.3. Критерий Лъенара — Шипара .....	279
13.4.4. Критерий Рауса .....	280
13.5. Частотные критерии устойчивости .....	281
13.5.1. Критерий устойчивости Михайлова .....	281
13.5.2. Критерий Найквиста .....	282
13.5.3. Запасы устойчивости системы по модулю и фазе .....	284
13.5.4. Устойчивость систем управления с запаздыванием .....	285
13.6. Теоремы Ляпунова об устойчивости по линейному приближению .....	287
13.7. Робастная устойчивость .....	287
13.7.1. Полиномы Харитонова. Теорема Харитонова .....	288
13.8. Оценка устойчивости САУ в MATLAB .....	290
Глава 14. Метод переменных состояния .....	299
14.1. Уравнение системы в нормальной форме .....	299
14.2. Уравнения линейных САУ в переменных состояния .....	301
14.3. Матричная передаточная функция .....	302
14.4. Управляемость и наблюдаемость объекта управления .....	302
14.4.1. Управляемость объекта управления .....	303
14.4.2. Управляемость линейных стационарных объектов .....	303
14.4.3. Наблюдаемость объекта управления .....	304
14.5. Описание и анализ в MATLAB САУ в пространстве состояний .....	304
Глава 15. Анализ качества линейных непрерывных систем автоматического регулирования .....	308
15.1. Понятие качества регулирования .....	308
15.2. Показатели качества в переходном режиме .....	310
15.2.1. Прямые показатели качества .....	310



15.2.2. Корневые показатели качества.....	312
15.2.3. Интегральные показатели качества .....	314
15.2.4. Частотные показатели качества.....	314
15.3. Показатели качества в установившемся режиме .....	315
15.3.1. Коэффициенты ошибок .....	315
15.3.2. Статические и астатические системы .....	316
15.4. Структура астатической системы управления.....	317
Глава 16. Синтез ПИД-регуляторов систем автоматического управления .....	320
16.1. Введение .....	320
16.2. Исследование типовых законов управления .....	321
16.3. Настройка параметров ПИД-регулятора.....	326
16.3.1. Метод Циглера — Никольса, основанный на переходной функции объекта.....	327
16.3.2. Метод Циглера — Никольса, основанный на частотных характеристиках объекта.....	329
16.4. Реализация ПИД-регулятора в MATLAB/Simulink .....	331
16.5. Ограничения, накладываемые на техническую реализацию ПИД-регулятора.....	334
16.6. ПИД-регулятор с фильтром .....	334
16.7. Проблема интегрального насыщения ПИД-регулятора.....	337
16.8. Программная реализация ПИД-регулятора .....	339
Заключение .....	341
Список литературы .....	342
Приложение А. Шилд CANdiy.....	344
Приложение Б. Плата индикации .....	347