

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Предисловие . . . . .   | 3  |
| Глава 1   |    |
| ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ<br>АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ . . . . .   | 6  |
| 1.1. Структуры микропроцессорных САУ . . . . .  | —  |
| Структуры с центральным и децентрализованным управлением (6).<br>Многопроцессорные системы (7). Микропроцессорные САУ с пере-<br>страиваемой структурой (8). Структуры с резервированием (9).<br>Обобщенная структура иерархических САУ (10).   |    |
| 1.2. Примеры использования микропроцессоров в системах автоматиче-<br>ского управления . . . . .  | 13 |
| Микропроцессоры в промышленных САУ (13). Микропроцессоры в на-<br>учном эксперименте (14). Микропроцессоры в медицинской технике<br>(15). Микропроцессоры в авиационной технике (16). Другие области<br>применения микропроцессоров (17).   |    |
| Глава 2   |    |
| ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРОВ В СИ-<br>СТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ . . . . .  | 19 |
| 2.1. Особенности управления в реальном масштабе времени . . . . .   | —  |
| Выбор микропроцессорных комплектов БИС в соответствии с тре-<br>бованиями к их быстродействию (19). Использование методов уско-<br>ренных вычислений (20). Распараллеливание вычислительных задач<br>(21). Переход к аппаратурной реализации времяемких алгоритмов<br>(21).                   |    |
| 2.2. Эффекты в САУ, связанные с квантованием по уровню . . . . .  | 23 |
| Ошибки, вызванные квантованием по уровню (23). Влияние кванто-<br>вания сигналов на качество микропроцессорных САУ (24). Влия-<br>ние округления коэффициентов (24). Квантование по уровню и по-<br>казатели качества решений автоматических устройств (24).                                  |    |
| 2.3. Сопряжение непрерывной и цифровой частей микропроцессорной<br>САУ . . . . .  | 26 |
| Особенности выбора аналого-цифрового преобразователя (26). Вы-<br>равнивание длины кода преобразователя и слова данных процес-<br>сора (27). Объединение цифрового управляющего и исполнитель-<br>ных устройств (28). Требования, предъявляемые к цифроаналого-<br>вым преобразователям (29). |    |
| Глава 3   |    |
| МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ КОМПЛЕКТЫ С АППАРАТНЫМ ПРИН-<br>ЦИПОМ УПРАВЛЕНИЯ . . . . .  | 30 |
| 3.1. Архитектура центрального процессора . . . . .  | —  |

|      |  |    |
|------|--|----|
|      | Внутренняя структура микропроцессора (03). Адресная шина (31). Шина данных (32). Шина управления (32). Генератор тактовых импульсов КР580ГФ24 (33). Системный контроллер КР580ВК28 (34). Системная реализация модуля центрального процессора (36).   |    |
| 3.2. | Организация памяти и устройств ввода—вывода . . . . .<br>Общие принципы (36). Основные типы постоянных запоминающих устройств (36). Организация ОЗУ (39). Совместное использование ОЗУ и ПЗУ в микропроцессорной системе (41). Подключение устройств ввода—вывода (43).                                | 36 |
| 3.3. | Устройства параллельного и последовательного ввода—вывода . . .<br>Параллельный порт ввода—вывода КР580ВВ55 (43). Режимы работы (44). Пример использования (46). Устройство последовательного ввода—вывода информации КР580ВВ51 (47). Программирование режимов работы (49). Пример использования (51). | 43 |
| 3.4. | Использование режимов прерывания, ожидания и прямого доступа в память . . . . .<br>Прерывания в микропроцессоре (52). Контроллер прерываний КР580ВН59 (53). Особенности режима ожидания (55). Прямой доступ в память (57). Контроллер прямого доступа в память КР580ВТ57 (57).                         | 52 |
| 3.5. | Дополнительные устройства микропроцессорной системы . . . . .<br>Интервальный таймер КР580ВН53 (60). Контроллер клавиатуры и индикации КР580ВВ79 (63). Применение устройств АЦП и ЦАП (66).  | 60 |
| 3.6. | Программное обеспечение микропроцессорных систем . . . . .<br>Процедуры многоразрядного сложения и вычитания (70). Программы умножения и деления (70). Извлечение квадратного корня (71).  | 70 |

## Глава 4

### СЕКЦИОНИРОВАННЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ КОМПЛЕКТЫ 79

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 4.1. | Принципы и цели секционирования микропроцессоров . . . . .<br>Применение секционированных микропроцессоров (79). Основные типы секционированных комплектов (81).  | —   |
| 4.2. | Состав и параметры микропроцессорного комплекта К589 . . . . .<br>Состав комплекта (82). Блок микропрограммного управления К589ИК01 (82). Центральный процессорный элемент К589ИК02 (85). Схема ускоренного переноса К589ИК03 (87). Многорежимный буферный регистр К589ИР12 (88). Блок приоритетного прерывания К589ИК14 (89). Шинные формирователи К589АП16 и К589АП26 (90). Многофункциональное синхронизирующее устройство К589ХЛ4 (91). | 82  |
| 4.3. | Области применения и состав микропроцессорного комплекта К1804 . . . . .<br>Назначение и состав комплекта (91). Микропроцессорная секция К1804ВС1 (92). Микропроцессорная секция К1804ВС2 (96). Схема ускоренного переноса К1804ВР1 (100). Четырехразрядный параллельный регистр К1804ИР1 (101). Схема управления состояниями и сдвигами К1804ВР2 (101)   | 91  |
| 4.4. | Микросхемы комплекта К1804 для блока микропрограммного управления . . . . .<br>Назначение микросхем (106). Схемы управления адресом микрокоманды К1804ВУ1 и К1804ВУ2 (106). Нарращивание разрядности схем управления адресом микрокоманд К1804ВУ1 и К1804ВУ2 (109). Схема управления следующим адресом К1804ВУ3 (109). Схема управления последовательностью микрокоманд К1804ВУ4 (109).   | 106 |

## Глава 5

|  |     |
|--|-----|
| МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ . . . . .  | 113 |
| 5.1. Дискретные процессы и их описание . . . . .   | —   |
| Решетчатые функции (113). Прямая и обратная разности (114). Разностные уравнения (115).  |     |
| 5.2. Дискретные преобразования процессов . . . . .   | 116 |
| Дискретное преобразование Лапласа (116). Использование z-преобразования (117). Основные правила и теоремы (120). Решение разностных уравнений (127). |     |
| 5.3. Частотные методы исследования . . . . .   | 128 |
| Синусоидальные решетчатые функции (128). Реакция импульсного фильтра на синусоидальную последовательность (130). Частотные характеристики (131).     |     |

## Глава 6

|  |     |
|--|-----|
| МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ ЦИФРО-АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ . . . . .  | 133 |
| 6.1. Структурные схемы цифроаналоговых систем . . . . .  | —   |
| Общие сведения (133). Квантование по времени и по уровню (133). Коэффициенты передачи цифрового устройства (135). Структура цифровой системы автоматического управления (136).   |     |
| 6.2. Передаточные функции цифровых систем управления . . . . .   | 137 |
| Передаточная функция непрерывной части (137). Передаточная функция цифрового управляющего устройства (140). Требования по устойчивости цифровых фильтров (142). Требования к точности задания коэффициентов цифровых фильтров (142). Использование последовательного программирования (144). Использование параллельного программирования (144). Передаточные функции ЦАС (144). Более сложные структуры ЦАС (146). Корректирующие обратные связи (146). |     |
| 6.3. Устойчивость и качество управления в цифроаналоговых системах . . . . .   | 147 |
| Устойчивость ЦАС (147). Оценка качества (148). Оценка точности (149).  |     |

## Глава 7

|   |     |
|---|-----|
| СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ ЦАС . . . . .  | 150 |
| 7.1. Статистические характеристики случайных процессов . . . . .  | —   |
| Основные понятия (150). Корреляционная функция (151). Стационарные процессы (152). Спектральная плотность (156).  |     |
| 7.2. Типовые решетчатые случайные стационарные процессы . . . . .   | 158 |
| Дискретный белый шум (158). Процессы с экспоненциальной корреляционной функцией (159). Процесс с равномерным спектром в ограниченной полосе частот (160). Нерегулярная качка (162). Гармонический сигнал (165). |     |
| 7.3. Прохождение случайного решетчатого сигнала через линейную систему . . . . .  | 166 |
| Использование корреляционной функции (166). Использование спектральной плотности входного сигнала (169). Расчет выходной величины в промежутке между дискретными моментами времени (171).                       |     |
| 7.4. Установившиеся ошибки в линеаризованных ЦАС . . . . .  | 172 |
| Случай отсутствия возмущения (172). Случай задающего и возмущающего воздействий, приложенных в общей точке (172). Приложение задающего и возмущающего воздействий в разных точках (174).                        |     |

## Глава 8

|   |     |
|---|-----|
| МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННЫХ АНАЛОГО-ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ . . . . .   | 175 |
| 8.1. Особенности постановки задачи исследования . . . . .   | —   |
| Понятие аналого-цифровой системы (175). Задачи анализа и синтеза (177).   |     |
| 8.2. Анализ устойчивости и качества . . . . .   | 179 |
| Эквивалентная структурная схема системы (175). Используемые дискретные передаточные функции (180). Оценка устойчивости (180). Построение переходной характеристики (181). Анализ ошибки при гармоническом воздействии (181). Исследование дополнительных ошибок от шумов квантования по уровню (182). |     |
| 8.3. Анализ точности при случайных воздействиях . . . . .   | 184 |
| Использование псевдочастоты (184). Использование обычной частоты (187).   |     |
| 8.4. Синтез цифровой части системы по непрерывному прототипу . . . . .  | 189 |
| Закономерности образования погрешностей управления, связанных с заменой непрерывного управляющего устройства цифровым (189). Нахождение дискретной передаточной функции цифровой части (193). Оценка ошибок реализации желаемых частотных характеристик (196).  |     |
| 8.5. Выбор периода дискретности и характеристик преобразователей . . . . .  | 199 |
| Выбор периода дискретности (199). Выбор характеристик АЦП (202). Выбор характеристик ЦАП (203).   |     |

## Глава 9

|  |     |
|--|-----|
| СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ В НЕЛИНЕЙНЫХ ЦАС . . . . .  | 204 |
| 9.1. Статистическая линеаризация нелинейных элементов . . . . .  | —   |
| Вводные замечания (204). Представление входного сигнала (205). Расчет дисперсий (205). Представление выходного сигнала (207).  |     |
| 9.2. Прохождение случайного сигнала через нелинейное звено в разомкнутой системе . . . . .   | 208 |
| Нелинейное звено с кусочно-линейной характеристикой (208). Характеристики с разрывом непрерывностей (209). Идеальная релейная характеристика (210). Релейная характеристика с зоной нечувствительности (212). Релейная характеристика с гистерезисом (213). Линейная характеристика с насыщением (214). Кубическая характеристика (215). |     |
| 9.3. Случайные процессы в замкнутых нелинейных ЦАС . . . . .   | 218 |
| Особенности расчета замкнутых систем (218). Воздействие помехи (222).  |     |
| 9.4. Примерная схема расчета замкнутой нелинейной ЦАС . . . . .  | 223 |
| Описание системы (223). Согласование выхода цифрового устройства с объектом управления (224). Определение передаточных функций и спектральных плотностей (225). Расчет математических ожиданий и дисперсий (226).  |     |

## Глава 10

|  |     |
|--|-----|
| ОПТИМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ . . . . .  | 229 |
| 10.1. Общие сведения о синтезе систем управления . . . . .   | —   |
| Статические и динамические требования (229). Другие требования при синтезе (231). Критерии запаса устойчивости (232). Критерии быстродействия (232). Особенности использования микропроцессоров (233). |     |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 10.2. | Цифровые винеровские фильтры . . . . .  | 233 |
|       | Общие сведения (233). Уравнение фильтра Винера (234). Ошибки в оптимальных системах (237). Системы с белым шумом на входе (239). Передаточная функция разомкнутой системы (241). Прогнозирование (244). Определение периода дискретности и вторичная оптимизация (247). |     |
| 10.3. | Цифровые калмановские фильтры . . . . .   | 248 |
|       | Общие сведения (248). Формирующие фильтры (249). Алгоритм фильтра Калмана (250). Прогнозирование (257).   |     |

## Глава 11

|   |   |     |
|---|---|-----|
| РОБАСТНЫЙ СИНТЕЗ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ . . . |   | 257 |
| 11.1.   | Проблема исследования систем управления при неполной априорной информации . . . . .   | —   |
|   | Понятие робастных систем (257). Модели входных воздействий (258). Показатели точности управления (261). Оценка достоверных характеристик входных воздействий (263). |     |
| 11.2.   | Ограничение меры динамической ошибки . . . . .  | 265 |
|   | Оценка дисперсии динамической ошибки (265). Условия ограничения дисперсии ошибки (267). Условия ограничения максимальной динамической ошибки (272).                 |     |
| 11.3.   | Ограничение меры суммарной ошибки . . . . .   | 274 |
|   | Методика учета ошибки от возмущающего воздействия (274). Построение запретных областей для ЛАХ (275). Оценка возможности получения требуемой точности (276).        |     |
| 11.4.   | Оптимизация системы по критерию наивысшей точности . . . . .  | 279 |
|   | Методика оптимизации (279). Расчетные формулы (279). Оценка проигрыша (282). Учет неустойчивости параметров системы (285).  |     |
| 11.5.   | Синтез робастных нерекурсивных цифровых фильтров . . . . .  | 287 |
|   | Особенности постановки задачи (287). Использование критерия минимума максимальной ошибки (290).   |     |

## Глава 12

|  |   |     |
|--|---|-----|
| РЕАЛИЗАЦИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ . . . . . |   | 291 |
| 12.1.  | Микропроцессорные преобразователи информации . . . . .  | —   |
|  | Общие сведения (291). Преобразователи «код—напряжение» параллельного типа (293). Микропроцессорные цифроаналоговые преобразователи (296). Последовательные аналого-цифровые преобразователи «напряжение—код» (299). Параллельные аналого-цифровые преобразователи «напряжение—код» (300). Микропроцессорные аналого-цифровые преобразователи (301). |     |
| 12.2.  | Дифференцирование цифровых последовательностей . . . . .  | 304 |
|  | Общие сведения (304). Алгоритмы дифференцирования (305). Методические ошибки дифференцирования (305). Влияние шумов квантования (309). Оптимизация алгоритмов дифференцирования (311). Микропроцессорные дифференцирующие устройства (315).   |     |
| 12.3.  | Интегрирование цифровых последовательностей . . . . .   | 317 |
|  | Общие сведения (317). Алгоритмы интегрирования (317). Алгоритмы точного интегрирования (319). Двойное интегрирование (320). Влияние шумов квантования (320). Использование интеграторов в законах управления (321). Микропроцессорные интегрирующие устройства (321).   |     |
| 12.4.  | Цифровые комплексные фильтры . . . . .  | 324 |
|  | Понятие комплексных фильтров (324). Дискретные комплексные фильтры (326). Оптимальные комплексные режекторные фильтры (327). Влияние шумов квантования (329). Микропроцессорные комплексные фильтры (330).  |     |

|   |     |
|---|-----|
| 12.5. Микропроцессорные устройства быстрого преобразования Фурье . . . . .  | 333 |
| Дискретное преобразование Фурье (333). Алгоритм быстрого преобразования Фурье с прореживанием по времени (334). Алгоритм быстрого преобразования Фурье с прореживанием по частоте (336). Реализация микропроцессорных устройств быстрого преобразования Фурье (339). Влияние шумов квантования (341). |     |
| 12.6. Микропроцессорные специализированные устройства . . . . .   | 342 |
| Микропроцессорные временные дискриминаторы (342). Микропроцессорные частотные дискриминаторы (345). Микропроцессорные фазовые дискриминаторы (346). Микропроцессорные цифровые исполнительные устройства (348).   |     |
| Приложения. Приложение 1. Список команд микроЭВМ с общей шиной (351). Приложение 2. Таблица интегралов (354)  |     |
| Список литературы . . . . .   | 355 |