

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

КАНТРОЛЬНЫ  
ЭКЗЭМПЛЯР

Факультет информационных технологий и управления

Кафедра систем управления

Научная библиотека



ЛТНЧ

**Н. И. Сорока, Г. А. Кривинченко**

**ТЕЛЕМЕХАНИКА.  
СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для студентов учреждений высшего образования  
по специальности «Информационные технологии  
и управление в технических системах»*

В двух частях

Часть 2



Минск БГУИР 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8 Широкополосные сигналы.....                                                                                     | 181 |
| 8.1 Основные понятия .....                                                                                        | 181 |
| 8.2 Методы расширения спектра частот передаваемых сообщений .....                                                 | 184 |
| 8.2.1 Прямое расширение спектра .....                                                                             | 184 |
| 8.2.2 Программная перестройка рабочей частоты .....                                                               | 188 |
| 8.2.3 Программная перестройка временного положения импульсных<br>сигналов .....                                   | 192 |
| 8.3 Псевдослучайные последовательности .....                                                                      | 194 |
| 8.3.1 Требования, предъявляемые к ПСП .....                                                                       | 194 |
| 8.3.2 <i>M</i> -последовательности .....                                                                          | 195 |
| 8.3.3 Последовательность Гоулда ( <i>Q</i> -последовательности) .....                                             | 205 |
| 8.3.4 Последовательности Касами ( <i>K</i> -последовательности).....                                              | 207 |
| 8.3.5 Кодовые последовательности Баркера .....                                                                    | 209 |
| 8.3.6 Последовательности Уолша .....                                                                              | 209 |
| 8.3.7 Сигналы на основе явления динамического хаоса .....                                                         | 217 |
| 8.4 Примеры применения сложных сигналов в цифровых системах<br>передачи данных .....                              | 218 |
| 8.4.1 Применение сложных сигналов в многолучевых каналах .....                                                    | 218 |
| 8.4.2 Применение широкополосных сигналов для борьбы с помехами.....                                               | 221 |
| 8.4.3 Применение сложных сигналов для улучшения эффективности<br>использования отведенного диапазона частот ..... | 222 |
| 8.4.4 Скрытность системы связи .....                                                                              | 225 |
| 8.4.5 Кодовое разделение абонентов .....                                                                          | 226 |
| 8.4.6 Измерение координат подвижных объектов .....                                                                | 235 |
| 8.4.7 Электромагнитная совместимость .....                                                                        | 236 |
| 9 Многочастотные способы модуляции. Треллис-модуляция .....                                                       | 238 |
| 9.1 <i>DMT</i> -модуляция .....                                                                                   | 238 |
| 9.2 <i>OFDM</i> -модуляция .....                                                                                  | 240 |
| 9.3 Треллис-модуляция .....                                                                                       | 240 |
| 9.4 Треллис-кодирование <i>4D/PAM-5</i> .....                                                                     | 244 |
| 10 Системы передачи цифровой информации с обратной связью .....                                                   | 249 |
| 10.1 Классификация систем с обратной связью .....                                                                 | 249 |
| 10.2 Система с РОС и ожиданием решающего сигнала (РОС-ОЖ).....                                                    | 250 |
| 10.3 Автоматический запрос повторной передачи с возвращением<br>на <i>h</i> блоков.....                           | 255 |
| 10.4 Автоматический запрос повторной передачи с селективным<br>повторением .....                                  | 256 |
| 10.5 Системы передачи цифровой информации с ИОС .....                                                             | 257 |
| 10.6 Сравнение систем передачи цифровой информации с РОС-ОЖ и ИОС....                                             | 262 |
| 10.7 Сравнение эффективности систем с РОС и исправлением ошибок<br>помехоустойчивым кодом .....                   | 263 |

|                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11 Методы перемежения .....                                                                                              | 266 |
| 11.1 Блочное перемежение .....                                                                                           | 266 |
| 11.2 Межблочное перемежение .....                                                                                        | 268 |
| 11.3 Сверточное перемежение .....                                                                                        | 269 |
| 12 Формирование требуемого энергетического спектра данных .....                                                          | 272 |
| 12.1 Линейные коды для передачи информации по последовательным каналам связи .....                                       | 272 |
| 12.1.1 Униполярный код <i>NRZ</i> .....                                                                                  | 275 |
| 12.1.2 Биполярный код <i>NRZ</i> .....                                                                                   | 276 |
| 12.1.3 Код Манчестер-П (код <i>PE</i> ) .....                                                                            | 277 |
| 12.1.4 Код <i>AMI</i> .....                                                                                              | 277 |
| 12.1.5 Коды <i>BNZS</i> , <i>HDB3</i> .....                                                                              | 278 |
| 12.1.6 <i>RZ</i> – <i>Return to Zero</i> (возврат к нулю) .....                                                          | 278 |
| 12.1.7 <i>CDP</i> – <i>Conditional Diphase</i> .....                                                                     | 279 |
| 12.1.8 Логический код <i>4B/5B</i> .....                                                                                 | 280 |
| 12.1.9 Трехуровневое кодирование сигнала с гарантированным изменением уровней между соседними битовыми интервалами ..... | 282 |
| 12.1.10 Пятиуровневое кодирование <i>PAM-5</i> .....                                                                     | 284 |
| 12.2 Передача данных с использованием скремблера и дескремблера .....                                                    | 285 |
| 12.2.1 Самосинхронизирующиеся скремблер и дескремблер .....                                                              | 287 |
| 12.2.2 Аддитивные скремблер и дескремблер .....                                                                          | 288 |
| 12.2.3 Синхронизация аддитивных скремблера и дескремблера .....                                                          | 289 |
| 13 Синхронизация в системах передачи цифровой информации .....                                                           | 292 |
| 13.1 Основные режимы обмена данными между источником и приемником информации .....                                       | 292 |
| 13.2 Тактовая синхронизация .....                                                                                        | 294 |
| 13.2.1 Выделение синхросигнала и данных схемами на основе генераторов с фазовой автоподстройкой частоты .....            | 295 |
| 13.2.2 Выделение синхросигнала и данных схемой на основе сдвиговых регистров .....                                       | 300 |
| 13.2.3 Узел тактовой синхронизации с инерционным управлением .....                                                       | 302 |
| 13.3 Посимвольная синхронизация .....                                                                                    | 306 |
| 13.4 Кадровая синхронизация .....                                                                                        | 309 |
| 13.4.1 Распознавание многоразрядного флага в битовых потоках данных .....                                                | 310 |
| 13.4.2 Использование раздробленного СК начала кадра .....                                                                | 311 |
| 13.4.3 Распознавание и восстановление искаженных кадров при передаче данных по радиоканалу .....                         | 312 |
| 13.4.4 Поиск синхрокода в потоке данных, передаваемых по волоконно-оптической линии связи .....                          | 316 |
| 13.5 Временная синхронизация в промышленных сетях .....                                                                  | 319 |
| 13.5.1 Прямая синхронизация часов .....                                                                                  | 319 |
| 13.5.2 Временная синхронизация по ЛВС .....                                                                              | 320 |

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 13.5.3 Некоторые особенности синхронизации в системах ракетно-космических аппаратов .....   | 320 |
| 14 Помехоустойчивость передачи дискретных и кодовых сообщений .....                         | 322 |
| 14.1 Помехоустойчивость передачи дискретных элементарных сигналов .....                     | 322 |
| 14.1.1 Передача дискретных сообщений видеопульсами .....                                    | 325 |
| 14.1.2 Передача дискретных сообщений радиопульсами .....                                    | 326 |
| 14.1.3 Передача дискретных сообщений частотной манипуляцией .....                           | 326 |
| 14.1.4 Передача дискретных сообщений полярной манипуляцией .....                            | 327 |
| 14.1.5 Передача дискретных сообщений фазовой манипуляцией .....                             | 327 |
| 14.1.6 Оптимальные приемники сигналов с пассивной паузой .....                              | 328 |
| 14.1.7 Оптимальные приемники сигналов с активной паузой .....                               | 331 |
| 14.1.8 Выводы .....                                                                         | 334 |
| 14.2 Прием с зоной стирания .....                                                           | 336 |
| 14.3 Помехоустойчивость двоичных избыточных кодов .....                                     | 338 |
| 14.4 Помехоустойчивость кодов с обнаружением ошибок .....                                   | 341 |
| 14.4.1 Помехоустойчивость кода с проверкой на четность (нечетность) .....                   | 343 |
| 14.4.2 Помехоустойчивость кода с постоянным весом .....                                     | 343 |
| 14.4.3 Помехоустойчивость кода с повторением .....                                          | 344 |
| 14.4.4 Помехоустойчивость инверсного кода .....                                             | 344 |
| 14.4.5 Помехоустойчивость корреляционного кода .....                                        | 345 |
| 14.5 Помехоустойчивость кодов с обнаружением и исправлением ошибок .....                    | 347 |
| 14.5.1 Помехоустойчивость итеративного кода .....                                           | 347 |
| 14.5.2 Помехоустойчивость кода Хэмминга с $d = 4$ .....                                     | 348 |
| 14.5.3 Помехоустойчивость циклического кода .....                                           | 349 |
| 14.5.4 Помехоустойчивость кода Рида – Соломона .....                                        | 350 |
| 14.5.5 Помехоустойчивость расширенного кода Голея .....                                     | 350 |
| 14.5.6 Помехоустойчивость ортогонального кода .....                                         | 351 |
| 14.5.7 Помехоустойчивость биортогонального кода .....                                       | 352 |
| 14.5.8 Помехоустойчивость трансортогонального кода .....                                    | 352 |
| 14.6 Помехоустойчивость систем передачи цифровой информации с дублированием сообщений ..... | 353 |
| 14.7 Помехоустойчивость систем с обратными каналами связи .....                             | 354 |
| 14.8 Помехоустойчивость цифровых видов модуляции .....                                      | 356 |
| 14.8.1 Помехоустойчивость многопозиционной амплитудной модуляции .....                      | 358 |
| 14.8.2 Помехоустойчивость многопозиционной фазовой модуляции .....                          | 359 |
| 14.8.3 Помехоустойчивость квадратурной амплитудной модуляции .....                          | 360 |
| 14.8.4 Помехоустойчивость многопозиционной частотной модуляции .....                        | 362 |
| 14.9 Помехоустойчивость систем с широкополосными сигналами .....                            | 363 |
| 15 Помехоустойчивость передачи непрерывных сообщений .....                                  | 367 |
| 15.1 Общие соображения .....                                                                | 367 |
| 15.2 Помехоустойчивость непрерывных методов модуляции .....                                 | 368 |
| 15.2.1 Потенциальная помехоустойчивость АМ .....                                            | 368 |

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| 15.2.2 Потенциальная помехоустойчивость ФМ .....           | 369 |
| 15.2.3 Потенциальная помехоустойчивость ЧМ .....           | 370 |
| 15.3 Помехоустойчивость импульсных методов модуляции ..... | 371 |
| 15.3.1 Потенциальная помехоустойчивость АИМ .....          | 371 |
| 15.3.2 Потенциальная помехоустойчивость ФИМ .....          | 372 |
| 15.3.3 Потенциальная помехоустойчивость ШИМ .....          | 374 |
| Приложение А Функции, связанные с интегралом ошибок .....  | 376 |
| Приложение Б Экспресс-тесты .....                          | 384 |
| ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ .....                                  | 398 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....                     | 400 |