

УДК 621.317.7.072.9
ББК 32.88
Р93

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор кафедры формирования и обработки радиосигналов НИУ МЭИ *Н. Н. Удалов*; декан факультета сетей и систем связи МТУСИ, доктор техн. наук, профессор *С. С. Шаврин*; декан факультета радио и телевидения МТУСИ, доктор техн. наук, профессор *А. В. Пестряков*

Рыжков А. В.

Р93 Частотно-временное обеспечение в сетях электросвязи. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2021. – 270: ил.
ISBN 978-5-9912-0732-4.

Рассмотрены основные требования к частотно-временному обеспечению транспортных, мобильных и сотовых сетей электросвязи на основе международных Рекомендаций МСЭ-Т, стандартов ETSI и руководящих документов Минкомсвязи РФ. В основу пособия положены сведения из практики проектирования, строительства и эксплуатации классической системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС), Рекомендаций Международного союза электросвязи по «синхронному» Ethernet и протоколу прецизионного времени (PTP) стандарта IEEE 1588v2-2008. Приведены результаты оригинальных экспериментальных исследований по восстановлению тактовой частоты и распространению сигналов времени в сетях с коммутацией каналов и в пакетных сетях с использованием оборудования сетевой синхронизации и средств измерений различных производителей.

Для студентов, обучающихся по направлениям 11.03.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (бакалавриат) и 11.04.02 – «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» (магистратура), для аспирантов по специальности 05.12.13 – «Системы, сети и устройства телекоммуникаций», будет полезно студентам, обучающимся по направлениям 10.05.02 – «Информационная безопасность телекоммуникационных систем» и 09.03.02 – «Информационные сети и технологии». Может представлять интерес для специалистов, занимающихся проблемами моделирования, разработки и внедрения новых инфокоммуникационных систем.

ББК 32.88

Учебное издание

Рыжков Анатолий Васильевич

Частотно-временное обеспечение в сетях электросвязи

Учебное пособие для вузов

Тиражирование книги начато в 2018 г.

Все права защищены.

Любая часть этого издания не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения правообладателя

© ООО «Научно-техническое издательство «Горячая линия – Телеком»

www.techbook.ru

© А.В. Рыжков

Оглавление

Введение	3
1. Термины, определения и сокращения.....	9
1.1. Термины и определения	9
1.2. Сокращения	10
2. Международные документы, регламентирующие передачу сигналов времени и стандартных частот.....	12
<i>Контрольные вопросы по разделу 2</i>	24
3. Тактовая сетевая синхронизация	25
3.1. Влияние проскальзываний	28
3.2. Синхронизация в сетях IP/MPLS/Ethernet, синхронный Ethernet	32
3.3. Оборудование синхронизации	35
3.4. Требования к первичному эталонному генератору	42
3.5. Требования к вторичному задающему генератору.....	50
3.6. Требования к местному задающему генератору.....	60
3.7. Выбор аппаратуры сетевой синхронизации	64
3.8. Требования к преобразователю сигналов синхрониза- ции (ПСС) и распределителю сигналов синхронизации (РСС).....	70
3.9. Требования к системе управления тактовой сетевой синхронизацией (СУ ТСС)	72
3.10. Требования к структуре сети синхронизации	73
3.11. Требования к метрологическому обеспечению	75
3.12. Требования к проектированию схем синхронизации ..	81
3.13. Отечественный опыт разработки сетей ТСС.....	82
<i>Контрольные вопросы по разделу 3</i>	88
4. Фазовая и временная синхронизация	90
4.1. Основные задачи системы распределения сигналов час- точно-временного обеспечения на основе ВОЛП	90
4.2. Потребность в сигналах точного времени	93
4.3. NTP-серверы первого уровня (Stratum 1)	100
4.4. Апробация методики измерений разности (расхожде- ния) шкал времени на основе протоколов NTP и RTP ..	110
4.5. Интерфейсы передачи сигналов времени и частоты ..	115

4.6. Пути повышения точности передачи сигналов времени	119
4.7. Требования к аппаратуре распределения сигналов времени	119
4.8. Способы решения проблемы перспективного ЧВО сетей связи на основе РТР	132
4.9. Требования к точности (классам) передачи сигналов времени	139
4.10. Требования к архитектуре системы ЕТВ на основе протокола РТР	142
4.11. Характеристики эталонной модели на основе протокола РТР	142
4.12. Требования по бюджету допустимой ошибки времени	143
4.13. Требования к Алгоритму выбора лучших ведущих часов Master	144
4.14. Требования к пакетной сети для обеспечения работы протокола РТРv2 (ITU-T 1588-2008)	144
4.15. Требования к оборудованию системы ТСС для обеспечения фазовой и временной синхронизации сети электросвязи	145
4.16. Ведущее устройство РТР — OSA 5331 PTP Grandmaster	147
4.17. Ведомое устройство РТР — OSA 5320 PTP Slave	149
4.18. OSA 5401 Syncplug — ведущее устройство РТР в виде модуля SFP	153
4.19. Сравнительные результаты измерений с клиентами РТР на трассе большой протяженности	158
4.20. Особенности синхронизации в радиосетях	164
4.21. Критерии выбора устройств синхронизации	182
<i>Контрольные вопросы по разделу 4</i>	183
5. Программа и методики линейных испытаний	185
5.1. Состав оборудования стенда, используемого по всей программе тестирования	188
5.2. Тест № 1 — непосредственное включение ведущих и ведомых часов	192
5.3. Тест № 2 — с переменным числом коммутаторов в цепи между ведущими и ведомыми часами	195
5.4. Тест № 3 — проверка на обрывоустойчивость	171
5.5. Тест № 4 — определение реакции системы на изменения маршрутизации	197
5.6. Тест № 5 — оценка эффекта от применения прозрачных часов	201
<i>Контрольные вопросы по разделу 5</i>	204

Заключение	205
Литература	207
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Частотно-временные характеристики источников колебаний, модели	212
П1.1. Модель выходного сигнала источника колебаний: основные определения	215
П1.2. Оценка спектральных плотностей мощности шума ...	216
П1.3. Модель спектральной плотности шума в виде степенной функции	217
П1.4. Фазовые шумы автогенераторов	220
П1.5. Расчёт паразитного отклонения частоты и фазы по спектральной плотности шума с произвольным распределением	223
П1.6. Характеристики источников колебаний во временной области	226
П1.7. Системы фазовой автоподстройки частоты	225
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Моделирование синхронизации шкал времени	238
П2.1. Выбор объектов для моделирования	238
П2.2. Выбор способов моделирования	240
П2.3. Шкала времени	241
П2.4. Методы сравнения шкал времени	245
П2.5. Методы коррекции шкалы времени	248
П2.6. Модели систем синхронизации времени	249
П2.7. Статистическая оценка показателей систем синхронизации времени	254
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Синхронизация частоты и времени в пакетных сетях: показатели стабильности на основе девиации Аллана	258