

МСЭ-R

Сектор радиосвязи МСЭ

Отчет МСЭ-R SM.2212-1
(06/2012)

Влияние систем связи по линиям электропередач на системы радиосвязи, работающие в полосах ОВЧ и УВЧ выше 80 МГц

Серия SM
Управление использованием спектра



Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

Серии Отчетов МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REP/en>.)

Серия	Название
BO	Спутниковое радиовещание
BR	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
BS	Радиовещательная служба (звуковая)
BT	Радиовещательная служба (телевизионная)
F	Фиксированная служба
M	Подвижная спутниковая служба, спутниковая служба радиоопределения, любительская спутниковая служба и относящиеся к ним спутниковые службы
P	Распространение радиоволн
RA	Радиоастрономия
RS	Системы дистанционного зондирования
S	Фиксированная спутниковая служба
SA	Космические применения и метеорология
SF	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
SM	Управление использованием спектра

***Примечание.** – Настоящий Отчет МСЭ-R утвержден на английском языке исследовательской комиссией в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.*

Электронная публикация
Женева, 2014 г.

© ITU 2014

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

ОТЧЕТ МСЭ-R SM.2212-1

Влияние систем электросвязи по линиям электропередач на системы радиосвязи, работающие в полосах ОВЧ и УВЧ выше 80 МГц

(Вопрос МСЭ-R 221-1/1)

(2011-2012)

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1	Введение.....	4
2	Характеристики радиочастотного излучения от систем PLT в диапазонах ОВЧ и УВЧ..	5
2.1	Мешающее излучение от модемов системы PLT.....	5
2.2	Напряженность поля помех от системы PLT с горизонтальной поляризацией	6
2.3	Напряженность поля помехи от системы PLT с вертикальной поляризацией.....	7
2.4	Помехи от систем PLT, создаваемые системам с частотной модуляцией (ЧМ) и системам DAB	7
2.5	Заключение	7
3	Характеристики радиосистем, критерии защиты и влияние систем PLT на системы радиосвязи в диапазонах ОВЧ и УВЧ	8
3.1	Радиовещание	8
3.1.1	Минимальная используемая напряженность поля радиовещательных систем с учетом систем PLT на частотах выше 80 МГц.....	8
3.1.2	Максимальные значения плотности напряженности поля помех в радиовещательной приемной системе	10
3.2	Любительская и любительская спутниковая служба.....	11
3.2.1	Уровни фоновых шума в полосе 144–148 МГц.....	12
3.2.2	Характеристики любительских станций, работающих в полосе 144–148 МГц.....	12
3.2.3	Требования к защите для любительских станций, работающих в полосе 220–225 МГц	12
3.2.4	Требования к защите для любительских станций, работающих в полосе 420–450 МГц	13
3.2.5	Прочие службы, работающие в домашних условиях и имеющие аналогичные требования.....	13
3.3	Воздушная подвижная служба.....	13
3.4	Морская подвижная служба	16
3.5	Служба радиоопределения	16
3.6	Сухопутная подвижная служба.....	16
3.7	Радиоастрономия.....	17
3.8	Подвижная спутниковая служба.....	17
3.8.1	Полосы частот.....	17
3.8.2	Критерий защиты	18
3.8.3	Параметры системы	18
3.8.4	Конкретный случай полосы 406–406,1 МГц.....	20

3.9	Радионавигационная спутниковая служба.....	20
3.9bis	Вспомогательная служба метеорологии	20
3.9.1	Полосы частот.....	20
3.9.2	Критерий защиты	20
3.9.3	Параметры системы	21
3.10	Другие системы/применения радиосвязи	21
3.10.1	Медицинские имплантируемые беспроводные системы связи	21
4	Возможные средства предотвращения или исключения помех	21
4.1	Адаптивные меры ЭМС.....	21
4.2	Постоянная режекция	23
4.3	Динамическая режекция	23
4.4	Режекция на основе геолокации	25
4.5	Управление мощностью передачи согласно Рекомендации МСЭ-T G.9960.....	25
4.5.1	Построение маски PSD при передаче.....	25
4.5.2	Уведомление о маске спектральной плотности мощности при передаче.....	27
4.5.3	Предельный уровень PSD.....	27
4.5.4	Ссылки.....	28
4.6	Заключение относительно предотвращения или устранения помех.....	28
5	Общие выводы.....	28
Приложение 1 – Рассмотрение вопросов излучения и распространения сигналов шума в диапазонах ОВЧ и УВЧ		28
A1	Подробный анализ преобразования мод в отводах с переключателями.....	28
A1.1	Матрица рассеяния смешанной моды симметричной линии передачи, односторонне нагруженной с помощью последовательного шлейфа.....	29
A1.1.1	Теоретические формулы.....	29
A1.1.2	Результаты.....	31
A1.1.3	Выводы	37
Приложение 2 – Анализ возможных помех в диапазонах ОВЧ и УВЧ.....		37
A2	Помехи системам радиосвязи в диапазонах ОВЧ/УВЧ от гармоник систем связи по линиям электропередачи, работающих в полосах ОВЧ между 80 и 200 МГц.....	37
A2.1	Бытовые радиосистемы.....	37
A2.1.1	Заключение	38
A2.2	Совместимость между воздушной службой радиосвязи и устройствами PLT внутри зданий в полосе частот от 30 до 380 МГц.....	39
A2.2.1	Анализ совместимости в воздушной радиосвязи.....	39
A2.2.2	Вычисление порога помех для систем PLT в соответствии с требованиями к воздушной радиосвязи	40
A2.2.3	Вычисление плотности потока мощности, обусловленной предельными значениями исходя из стандартов систем PLT	42

Стр.

A2.2.4	Сравнение требуемого порога помех для бортового радиоприемника с уровнем помех, вызываемых системами PLT	44
A2.2.5	Выводы	45
A2.3	Модель совокупности PLT, применимая к системам воздушной радиосвязи и воздушной радионавигации	45
Приложение 3 – Радиочастотное излучение от систем PLT в диапазонах ОВЧ и УВЧ.....		46
A3	Радиочастотное излучение от систем PLT в диапазонах ОВЧ и УВЧ	46
A3.1	Измерения модемов PLT, проведенные Институтом вещательных технологий (Institut für Rundfunktechnik GmbH).....	46
A3.1.1	Обзор измерений	46
A3.1.2	Эксплуатационные характеристики систем PLT.....	47
A3.1.3	Измерения частотного спектра	48
A3.1.4	Излучение помех модемом PLT Belkin "Power line Gigabit" F5D4076-S v1	52
A3.1.5	Напряженность поля с горизонтальной поляризацией.....	53
A3.1.6	Напряженность поля с вертикальной поляризацией.....	55
A3.1.7	Влияние реальных помех на прием ЧМ-сигналов и сигналов DAB.....	56
A3.1.8	Заключение по результатам измерений в IRT	57
A3.2	Измерения на модемах PLT, проведенные Научно-исследовательским центром связи (Канада)	57
A3.2.1	Процедура измерений, проведенных CRC, и результаты измерения кондуктивных излучений	57
A3.2.2	Выводы из измерений, проведенных CRC.....	59
A3.3	Результаты измерений модема PLT "Gigabit" компанией CBS Broadcasting и Национальным государственным радио	59
A3.3.1	Процедура измерений	60
A3.3.2	Результаты измерения уровня кондуктивных излучений модема PLT "Gigabit power line HD" F5D4076-S v2 от компании Belkin	60
A3.3.3	Помехи, вносимые в работу ЧМ-приемника от модема PLT "Gigabit power line HD" F5D4076-S v2 компании Belkin.....	63
A3.3.4	Выводы на основе измерений CBS и Национального государственного радио.....	64
A3.4	Измерения излучений от сетей PLT, проведенные компанией Би-би-си	64
A3.4.1	Введение.....	64
A3.4.2	Измерения в экранированной комнате	65
A3.4.3	Измерения в жилом здании А	67
A3.4.4	Измерения в жилом здании В.....	69
A3.4.5	Выводы	71

1 Введение

В рамках исследований совместимости между системами радиосвязи и системами электросвязи с высокой скоростью передачи данных, использующими проводной источник питания, или телефонные распределительные провода (Вопрос МСЭ-R 221/1), в настоящем Отчете рассматриваются вопросы использования радиочастотного спектра и соответствующие требования защиты служб радиосвязи в отношении влияния систем электросвязи по линиям электропередачи (PLT) в полосах ОВЧ и УВЧ. Он дополняет Отчет МСЭ-R SM.2158, в котором предоставляется информация и инструкции по использованию полос частот от диапазона НЧ до примерно 80 МГц.

Последние разработки в сфере технологий PLT демонстрируют, что такие системы могут использовать частоты, намного превышающие 80 МГц. В будущем развитие технологий может даже позволить использовать частоты в полосах диапазона УВЧ для целей PLT.

В настоящее время имеются два основных семейства применений PLT:

- PLT доступ (вне помещений), целевым рынком которого является "последняя миля" (т. е. 1,2 км) между электрической подстанцией и абонентом, благодаря чему этот вариант может стать альтернативным средством доступа к местной линии связи.
- PLT внутри помещений, цель которой состоит в том, чтобы распределять сигналы, приходящие, например, от PLT доступа или цифровой абонентской линии (DSL), или даже от домашних источников данных и не имеющие соединений с сетью доступа по розеткам сети электропитания внутри зданий.

Согласно имеющимся данным, на текущий момент частоты выше 80 МГц применяются только системами PLT внутри помещений.

В Рекомендации МСЭ-T G.9960 (06/2010) – Unified high-speed wire-line based home networking transceivers – System architecture and physical layer specification (Унифицированные домашние сетевые приемопередатчики на основе применения высокоскоростных проводных линий связи – Архитектура системы и спецификация физического уровня) содержится спецификация физического уровня подобных систем PLT, использующих частоты вплоть до 100 МГц. Эта версия объединила в себе 3 ранее утвержденные Рекомендации МСЭ-T: G.9960 Базовая (2009 г.), МСЭ-T G.9960 Поправка 1 (2009 г.) и МСЭ-T G.9960 Исправление 1 (2009 г.). Профиль основной полосы частот линии электропередачи в 100 МГц был изменен в целях снижения верхней границы частоты от 100 до 80 МГц. Ожидается, что дальнейшее сотрудничество между МСЭ-R и МСЭ-T позволит пересмотреть это ограничение частоты в Рекомендации МСЭ-T G.9960.

Следует отметить, что на рынке уже доступны системы PLT для работы внутри помещений, имеющие характеристики, отличные от указанных в Рекомендации МСЭ-T G.9960 и использующие частоты вплоть до примерно 300 МГц или даже выше.

Подобные системы PLT для работы внутри помещений предлагают потенциальные скорости передачи данных в несколько сотен Мбит/с по обычной электрической проводке внутри каждого здания. Такие скорости передачи могут потребоваться для потоковых трафиков фильмов высокого разрешения (HD) и онлайн-игр. Реализация данных систем PLT и их технические характеристики могут различаться в широких пределах.

Поскольку линии электропередачи не рассчитаны на высокоскоростную передачу данных, сигналы PLT, передаваемые по таким линиям, могут причинять помехи службам радиосвязи.

В п. 15.12 Регламента радиосвязи (PP) содержится следующее требование: "Администрации должны предпринимать все практически осуществимые и необходимые меры для того, чтобы работа всевозможной электрической аппаратуры и установок, включая сети линий электропередач и распределительную сеть электросвязи, но исключая оборудование для промышленного, научного и медицинского применения, не создавала вредных помех какой-либо службе радиосвязи и, в особенности, радионавигационной или любой другой службе безопасности, работающей в соответствии с положениями этого Регламента"¹.

¹ 15.12.1 и 15.13.1 В этом отношении администрации должны руководствоваться соответствующими новейшими Рекомендациями МСЭ-R."

В главе 3 настоящего Отчета МСЭ-R представлена информация по характеристикам системы радиосвязи и критериям защиты для большинства систем радиосвязи, работающих на частотах между 80 и 470 МГц и которые могут испытывать помехи от системы PLT. Предполагается расширять данный Отчет МСЭ-R поэтапно, в конечном счете охватывая все системы радиосвязи, заинтересованные в этом диапазоне частот. В зависимости от будущего развития систем PLT может также возникнуть необходимость в рассмотрении возможного вредного влияния на системы радиосвязи, работающие на частотах выше 470 МГц.

2 Характеристики радиочастотного излучения от систем PLT в диапазонах ОВЧ и УВЧ

2.1 Мешающее излучение от модемов системы PLT

Ниже приведен пример мешающего излучения, создаваемого линией электропередачи, используемой для связи двух высокоскоростных модемов PLT, передающих данные на скоростях до 250 Мбит/с. Измерения проводились с помощью эталонной антенны на расстоянии трех (3) метров от линии электропередачи. Были измерены и записаны следующие пиковые значения напряженности поля в полосе частот 30–320 МГц с горизонтальной и вертикальной поляризацией:

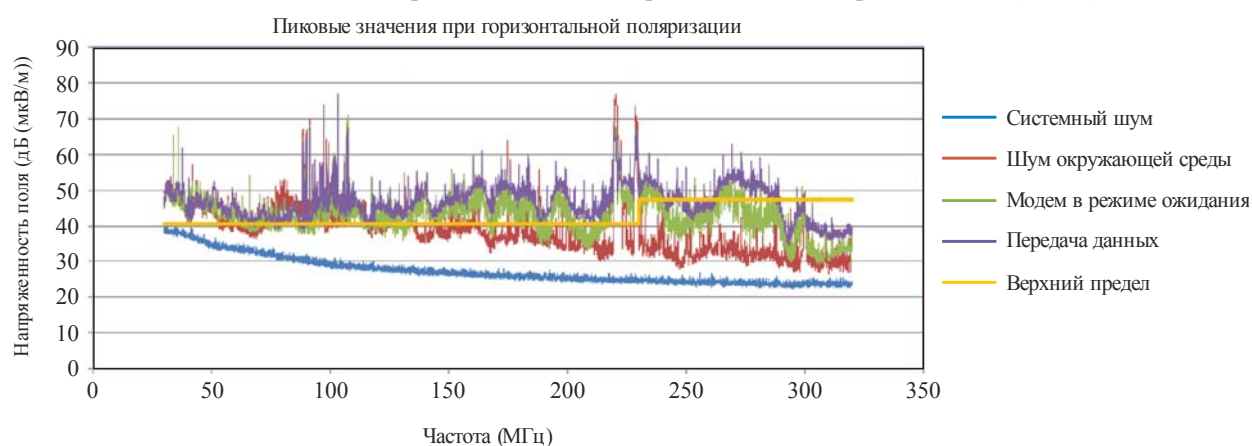
- системный шум измерительного приемника (нижний опорный уровень измерительной системы);
- шум окружающей среды;
- помехи от модемов в режиме ожидания;
- помехи от модемов при передаче данных на скорости до 250 Мбит/с.

Подробности процедуры испытания представлены в Приложении 3. В качестве верхнего опорного уровня в диаграммах использовались предельные значения, приведенные в таблице 6 стандарта EN 55022 (апрель 2007 г.)². Предельные величины указаны в квазипиковых значениях. Квазипиковые значения обычно ниже пиковых на величину до 4 дБ (см. Отчет МСЭ-R SM.2158).

2.2 Напряженность поля помех от системы PLT с горизонтальной поляризацией

РИСУНОК 1

Пиковые значения напряженности поля с горизонтальной поляризацией, в дБ(мкВ/м)



Report SM.2212-01

² CENELEC EN 55022:2006; Information technology equipment – Radio interference characteristics – Limits and methods of measurement (CISPR 22: 2005 (modified)).

Синяя линия на рисунке 1 представляет наименьшую измеренную напряженность поля, соответствующую уровню системного шума измерительного приемника. Красная линия характеризует уровень шума окружающей среды (промышленного шума) при отсутствии модемов. Поскольку измерения проводились в Институте вещательных технологий (IRT), где работает множество электрических и электронных систем, это обусловило достаточно высокий уровень шума окружающей среды (красная линия); на частоте ниже 150 МГц данный уровень даже перешел за линию верхнего предельного значения. Пиковые значения напряженности поля в полосе 87,5–108 МГц соответствуют ЧМ-сигналам, а пиковые значения на частотах около 220 и 229 МГц соответствуют сигналам цифрового звукового радиовещания (DAB), которые можно принимать в IRT.

После включения модемов напряженность поля помех возрастает, на что указывает зеленая линия. При передаче данных помехи снова возрастают, что показано фиолетовой линией. На частотах выше 130 МГц уровень напряженности поля помех, создаваемых модемами, на несколько дБ выше шума окружающей среды; это означает, что измеренные данные верны. Пиковые значения помех от модемов при передаче данных, а также в режиме ожидания превышают предельные значения CISPR на величину до (приблизительно) 20 дБ. Соответствующие предельные значения CISPR показаны в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1

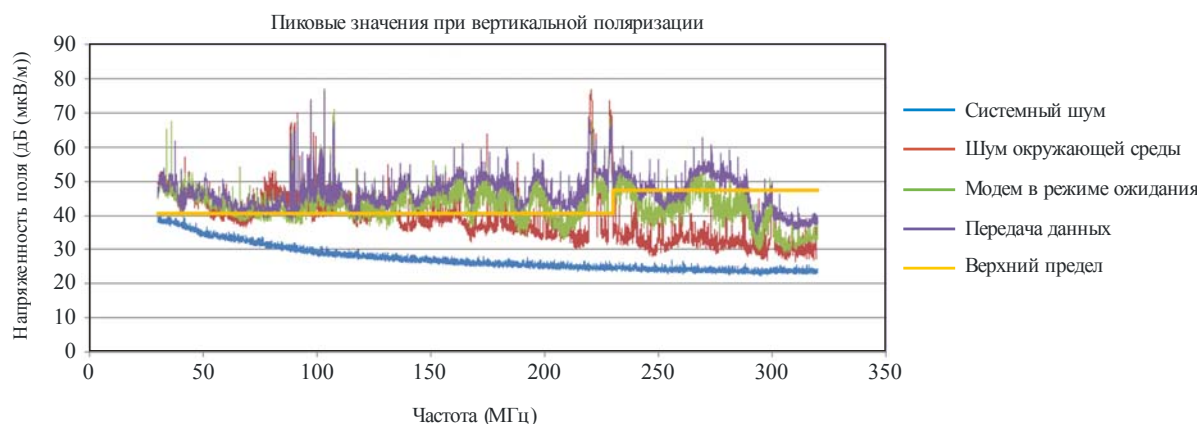
Предельные значения излучения для оборудования информационных технологий согласно CISPR 22 (издание 6) (полоса пропускания 120 кГц)

Полоса частот	Излучения (квазипиковые, антенна на расстоянии 10 м)	
	Класс А (не предназначен для бытового использования)	Класс В (для бытового использования)
30–230 МГц	40 дБ(мкВ/м)	30 дБ(мкВ/м)
230–1 000 МГц	47 дБ(мкВ/м)	37 дБ(мкВ/м)

2.3 Напряженность поля помехи от системы PLT с вертикальной поляризацией

РИСУНОК 2

Пиковые значения напряженности поля с вертикальной поляризацией, в дБ(мкВ/м)



Величины и обозначения, использованные на рисунке 1, также применимы и к значениям напряженности поля на рисунке 2. Уровни сигналов DAB на частотах 220 и 229 МГц более высокие, поскольку они передаются с вертикальной поляризацией. Пиковые значения помех от модемов при передаче данных, а также в режиме ожидания, превышают предельные значения во всем диапазоне частот.

2.4 Помехи от систем PLT, создаваемые системам с частотной модуляцией (ЧМ) и системам DAB

Отдел исследований и разработок Би-би-си провел измерение спектра излучений высокоскоростных модемов PLT для сравнения с полезными сигналами от ЧМ-передатчиков диапазона II и DAB-передатчиков диапазона III. Эти измерения были проведены для двух мест расположения зданий наряду с обоснованием процедуры и калибровочными испытаниями в лабораторных условиях. Результаты, приведенные в Приложении 3, показывают, что излучение от PLT сравнимо с уровнями полезной напряженности поля при приеме, используемыми в установленных методах планирования. В действительности система PLT поднимает нижний порог шума на такой уровень, что прежние зоны покрытия с хорошим приемом превращаются теперь в зоны неуверенного приема. Фактически отношение сигнал/шум (SNR) снижается настолько, что приближается к допустимому порогу приема, и качество звука может быстро ухудшаться от просто зашумленного до неразборчивого и лишь при небольшом изменении показателей, таких как расположение приемника и условия тропосферного распространения.

2.5 Заключение

Спектральные измерения, проведенные на высокоскоростных модемах PLT, показали наличие мешающего излучения на частотах до 305 МГц, которое охватывает как диапазон ЧМ-вещания, так и диапазон DAB. Измерения также показали, что уровень помех, вызываемых работой модемов, превышает допустимые пределы, установленные стандартом EN 55022 для полосы 30–300 МГц. Также ожидается, что при увеличении скорости передачи данных высокоскоростными модемами соответственно возрастет и уровень мешающего излучения на частотах выше 300 МГц.

3 Характеристики радиосистем, критерии защиты и влияние систем PLT на системы радиосвязи в диапазонах ОВЧ и УВЧ

3.1 Радиовещание

3.1.1 Минимальная используемая напряженность поля радиовещательных систем с учетом систем PLT на частотах выше 80 МГц

В этом разделе приводятся некоторые основные сведения, касающиеся минимальной используемой напряженности поля радиовещательных систем в диапазоне частот от более чем 80 МГц до примерно 1 ГГц. В различных Рекомендациях и Отчетах МСЭ-R даны спецификации и полезная информация, которые могут использоваться для установления требований по защите для обеспечения надежного приема радиовещательных программ. В следующем разделе указываются данные из соответствующих Рекомендаций, которые дают общее представление о подходящих значениях для различных радиовещательных систем, работающих на частотах выше 80 МГц.

В Статье 5 Регламента радиосвязи (РР) для Района 1 для радиовещания выделены следующие полосы выше 80 МГц:

ТАБЛИЦА 2

Полосы частот для радиовещания

Диапазон	Частоты
ОВЧ	87,5–100 МГц
	100–108 МГц
	174–223 МГц 223–230 МГц
УВЧ	470–790 МГц 790–862 МГц

Рекомендация МСЭ-R BS.412-9 – Стандарты планирования для наземного звукового ЧМ-радиовещания в диапазоне ОВЧ

Для удовлетворительной работы служб звукового ЧМ-радиовещания в присутствии помех от промышленного и бытового оборудования (предельные значения излучения от такого оборудования приведены в Рекомендации МСЭ-R SM.433*, в которой указаны соответствующие рекомендации CISPR) медианная напряженность поля (измеренная на высоте 10 м от уровня земли) должна быть не меньше значений, приведенных в таблице 3:

ТАБЛИЦА 3

Медианные значения напряженности поля для ЧМ, измеренные с помощью антенны высотой 10 м (Источник: Рек. МСЭ-R BS.412-9, таблица 1)

Районы	Службы	
	Монофоническая дБ(мкВ/м)	Стереофоническая дБ(мкВ/м)
Сельские	48	54
Городские	60	66
Большие города	70	74

Часто прием звукового ЧМ-радиовещания осуществляется с помощью портативных или мобильных устройств с антеннами высотой около 1,5 м, однако данная служба запланирована для приема на антенны высотой 10 м. Предполагается, что портативный приемник со встроенной антенной будет иметь ту же чувствительность, что и приемник, выбранный для планирования. Поэтому для используемой напряженности поля можно принять те же самые значения.

Рекомендация МСЭ-R BS.1660-3 – Техническая основа для планирования наземного цифрового звукового радиовещания в диапазоне ОВЧ

Эта Рекомендация является технической основой для планирования Системы А наземного цифрового звукового радиовещания (T-DAB) в диапазоне III ОВЧ. В таблице 4 приведены значения, включающие поправочные коэффициенты: 13 дБ для учета процента мест и 10 дБ для учета усиления антенны. Указанная ниже минимальная медианная эквивалентная напряженность поля является минимальной полезной напряженностью поля, используемой для планирования. Значения, приведенные в таблице 4, применяются для подвижного приема.

* *Примечание Секретариата.* – Рекомендация МСЭ-R SM.433 была исключена 6 июня 2003 года решением Ассамблеи радиосвязи (AP-03).

ТАБЛИЦА 4

**Минимальная медианная эквивалентная напряженность поля для системы T-DAB (дБ(мкВ/м))
на антенне высотой 10 м
(Источник: Рек. МСЭ-R BS.1660-3, таблица 1)**

Полоса частот	Диапазон III
Минимальная эквивалентная напряженность поля (дБ(мкВ/м))	35
Поправочный коэффициент для учета процента мест (от 50 до 99%) (дБ)	+13
Поправка для учета усиления антенны (дБ)	+10
Минимальная медианная эквивалентная напряженность поля для планирования (дБ(мкВ/м))	58

Для приема на портативные устройства с использованием комнатной антенны значение 35 дБ(мкВ/м) можно рассматривать как минимальную эквивалентную напряженность поля, которую необходимо учитывать в расчетах.

Рекомендация МСЭ-R BT.1368-8 – Критерии планирования для служб наземного цифрового телевизионного вещания в диапазонах ОВЧ/УВЧ

Значения, приведенные в таблице 5, рассчитаны для канала Райса.

ТАБЛИЦА 5

**Значения минимальной напряженности поля для систем наземного цифрового телевизионного вещания DVB-T с полосой пропускания 8 МГц
(Источник: Рек. МСЭ-R BT.1368-8, таблица 44)**

Частота (МГц)	200			550			700		
Вариант системы с защитным интервалом 1/4	QPSK 2/3	16-QAM 2/3	64-QAM 2/3	QPSK 2/3	16-QAM 2/3	64-QAM 2/3	QPSK 2/3	16-QAM 2/3	64-QAM 2/3
Минимальная напряженность поля для фиксированного приема, $E_{мин}$ (дБ(мкВ/м))	27	33	39	33	39	45	35	41	47

Для приема на портативные устройства с использованием комнатной антенны значения, указанные в таблице 5, можно рассматривать как минимальную эквивалентную напряженность поля, которую необходимо учитывать в расчетах.

3.1.2 Максимальные значения плотности напряженности поля помех в радиовещательной приемной системе

При использовании внешней антенны внешние помехи являются основным минимальным уровнем шума приемника. При использовании встроенной антенны внешние помехи являются основным фактором в деловых и жилых районах. Даже в сельской местности наблюдается значительный уровень внешнего шума. Минимальный уровень внешнего шума определяется промышленными шумами, поскольку они являются доминирующим фактором при затухании атмосферных помех. Поскольку минимальное значение внешнего шума определяется промышленными шумами, требования к защите, касающиеся напряженности поля, также определяются промышленными шумами.

Источники шума, которые необходимо учитывать при планировании радиовещательных станций, включают нежелательные излучения других радиовещательных станций, а также иные источники помех. Требование по защите, применимое в отношении суммарной мощности помех от нежелательных излучений других радиовещательных станций, заключается в установлении максимального ухудшения чувствительности приемника в 0,5 дБ ("правило половины децибела").

Это соответствует увеличению уровня шума примерно на 11%, хотя эту величину нередко округляют до 10% при объяснении ситуации. Это приемлемый уровень повышенных помех для совместного использования частот в рамках одной службами или между разными службами на равной первичной основе.

Помехи, создаваемые другими источниками радиочастотных излучений, которые не имеют соответствующего распределения частот в Регламенте радиосвязи, не отменяют применения жесткого критерия в 0,5 дБ, используемого при планировании сетей радиовещательных станций. Выход из этой ситуации можно найти, потребовав, чтобы ухудшение чувствительности приемника от этих других источников помех не превышало 1% или 0,05 дБ.

Эти принципы воплощены в Рекомендации МСЭ-R BS/BT.1895 "Критерии защиты систем наземного радиовещания", в которой рекомендуется:

"1 чтобы приведенные в пунктах 2 и 3 раздела *рекомендует* значения использовались в качестве нормативов, при превышении которых следует проводить исследования совместимости в отношении воздействия излучений и передач, осуществляемых другими промышленными службами на радиовещательную службу;

2 чтобы общие помехи в приемнике от всех излучений и передач, осуществляемых в отсутствие соответствующего распределителя частот в Регламенте радиосвязи, не превышали 1% общей мощности шума приемной системы³;

3 чтобы общие помехи в приемнике, создаваемые всеми источниками радиочастотных излучений в службах радиосвязи, имеющих соответствующие распределения частот на равной первичной основе, не превышали 10% общей мощности шума приемной системы."

Если уровень помех ниже указанного эталонного уровня, то он считается приемлемым. Если уровень помех превышает указанный уровень, то он является "пороговым" для выполнения дальнейшей работы по обеспечению совместимости, когда это целесообразно.

Чтобы ограничить ухудшение чувствительности приемника под воздействием устройств, не имеющих соответствующего распределения в Регламенте радиосвязи, чтобы оно находилось в пределах 1% или 0,05 дБ, требование по защите радиовещательной службы должно быть на 20 дБ ниже, чем E_n , где E_n – это эквивалентная напряженность поля промышленного шума в полосе пропускания b . Также требование по защите может быть выражено в виде максимальной плотности напряженности поля в дБ(мкВ/м/МГц) при $b = 1$ МГц.

Требование по защите выражается следующим образом:

$$\text{Максимальная плотность напряженности поля} = g + h \log f \quad (\text{дБ(мкВ/м/МГц)}), \quad (1)$$

где:

$$\begin{aligned} g &= c - 55,5; \\ h &= 20 - d \end{aligned}$$

и где значения постоянных c и d приведены в таблице 1 Рекомендации МСЭ-R P.372, поэтому значения постоянных g и h приведены в таблице 6.

³ За исключением излучений устройств PLT на частотах ниже 30 МГц.

ТАБЛИЦА 6
Значения постоянных g и h

Категория окружающей среды	g	h
Город	21,3	-7,7
Жилой район	17,0	-7,7
Сельская местность	11,7	-7,7
Тихая сельская местность	-1,9	-8,6

Требования к защите для наземной радиовещательной службы, выраженные в виде максимальной плотности напряженности поля на антенне радиовещательного приемника, приведены в таблице 7. Поскольку внешний шум для тихой сельской местности на частотах выше 30 МГц превышает нижним уровнем шума приемника, значения для тихой сельской местности на частотах выше 30 МГц рассчитываются с помощью формулы (3–4) в Отчете МСЭ-R SM.2158 и критерия защиты, равного -20 дБ. Аналогично нижний уровень шума приемника превышает промышленный шум на частотах выше 470 МГц. Таким образом, все значения для частот выше 470 МГц рассчитываются с помощью формулы (3–4) в Отчете МСЭ-R SM.2158 и критерия защиты, равного -20 дБ.

ТАБЛИЦА 7
Максимальные значения плотности напряженности поля помех
в радиовещательной приемной системе

Полоса частот для радиовещания ⁽¹⁾	Максимальная плотность напряженности поля помех дБ(мкВ/м/МГц) ⁽²⁾			
	Город	Жилой район	Сельская местность	Тихая сельская местность
47–72 МГц	8,4	4,1	-1,2	-22,1
76–88 МГц	6,8	2,5	-2,8	-17,9
88–108 МГц	6,3	2,0	-3,3	-16,6
174–230 МГц	4,0	-0,3	-5,6	-10,7
470–960 МГц	-2,1	-2,1	-2,1	-2,1
1 452–1 492 МГц	7,7	7,7	7,7	7,7

(1) В полосы частот для радиовещания входят изменения по Районам, приведенные в Статье 5 Регламента радиосвязи.

(2) Значения взяты из Рекомендаций МСЭ-R P.372, а норма защиты в -20 дБ содержится в Рекомендации МСЭ-R BS/WT.1895, за исключением категории "тихая сельская местность" для частот выше 30 МГц и всех случаев выше 470 МГц, когда расчет ведется на основе минимального уровня внутреннего шума приемника.

3.2 Любительская и любительская спутниковая служба

Любительской службе в диапазоне 80–450 МГц распределены следующие полосы частот: 144–148 МГц (144–146 МГц в Районе 1 МСЭ), 220–225 МГц в Районе 2 и полосы 420–450 МГц во всех Районах. Помимо их интенсивного использования для обеспечения преимущественно местного покрытия аналоговыми ЧМ-системами и связанными с ними режимами вещания, поддерживаемыми в большинстве стран широкой сетью ретрансляторов, эти полосы используются для дальней связи фактически по всему миру, обеспечивая очень низкие (и даже отрицательные) отношения сигнал/шум. Именно эти применения слабых сигналов требуют защиты от помех, хотя полезными будут также и другие виды связи.

При любительской связи с использованием слабых сигналов в диапазоне ОВЧ систематически используются переходные режимы распространения радиоволн, например дальней тропосферное рассеяние, тропосферный волновод, а в случае работы в диапазонах 144 и 220 МГц используются трансэкваториальное распространение радиоволн, а также отражения радиоволн от полярного сияния, метеорных следов и Луны. Другие службы считают эти режимы распространения радиоволн "ненадежными", и поэтому им уделяется сравнительно небольшое внимание специалистов. Любители, напротив, используют эти режимы распространения радиоволн для связи на расстояния в 1000 км и более, в то время как использование отражения радиоволн от Луны обеспечивает связь во всех трех Районах МСЭ. Этот тип связи использует однополосную модуляцию (SSB) и код Морзе аналогично ВЧ, однако в большей степени использует крайне слабые и замирающие сигналы, зачастую при отношениях сигнал/шум равных 0 дБ, а также использует специальные протоколы для приема информации во время любых коротких повышений уровня сигнала. Новейшие цифровые режимы способны сегодня обеспечивать связь при уровнях сигнала на 10–20 дБ ниже порога слышимости.

Эти уникальные возможности делают любительскую связь с использованием слабых сигналов в диапазоне ОВЧ крайне чувствительной к любому повышению уровня фонового шума. Требуемая степень защиты сравнима с защитой для радиоастрономии, однако количество любительских станций, расположенных в тех удаленных местностях, где работают радиоастрономические обсерватории, относительно невелико.

3.2.1 Уровни фонового шума в полосе 144–148 МГц

Рекомендация МСЭ-R P.372-10 устанавливает, что в "тихих сельских районах" основным фоновым шумом на этих частотах является шум неба, особенно шум Солнца, которое является квазиточечным источником излучения, а также шум от нашей Галактики (Млечный Путь), которая создает широкую полосу сильного излучения. В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.372 медианный коэффициент галактического шума варьируется от примерно 0 дБ относительно kTb на 144 МГц до –9 дБ на 432 МГц. Исходя из формулы (2) в Рекомендации МСЭ-R P.372, эти уровни шума соответствуют значениям напряженности поля –23,4; –27,4 и 32,4 дБ(мкВ/м) соответственно для диапазонов 144, 225 и 432 МГц.

3.2.2 Характеристики любительских станций, работающих в полосе 144–148 МГц

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.372 напряженность поля помех составляет –23,4 дБ(мкВ/м).

Повышение минимального уровня шума на 0,5 дБ потребует, чтобы напряженность поля помех от системы PLT не превышала уровень –34 дБ(мкВ/м).

Если предположить, что антенна установлена снаружи здания и ее эффективный коэффициент усиления в направлении сети PLT равен 2 дБи (коэффициент усиления бокового лепестка), а сама антенна находится на расстоянии 10 м от установки PLT, то с учетом потерь в стенах 16 дБ и при контрольной полосе пропускания 120 кГц напряженность поля на основной частоте или гармониках системы PLT не должна превышать 6 дБ(мкВ/м) в полосе пропускания 120 кГц на расстоянии 3 м.

3.2.3 Требования к защите для любительских станций, работающих в полосе 220–225 МГц

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.372 напряженность поля помех составляет –27,4 дБ(мкВ/м).

Повышение минимального уровня шума на 0,5 дБ потребует, чтобы напряженность поля помех от системы PLT не превышала уровень –38 дБ(мкВ/м).

Если предположить, что антенна установлена снаружи здания и ее эффективный коэффициент усиления в направлении сети связи PLT равен 2 дБи (коэффициент усиления бокового лепестка), а сама антенна находится на расстоянии 10 м от установки PLT, то с учетом потерь в стенах 20 дБ и при контрольной полосе пропускания 120 кГц напряженность поля на основной частоте или гармониках от системы PLT не должна превышать 6 дБ(мкВ/м) в полосе пропускания 120 кГц на расстоянии 3 м.

3.2.4 Требования к защите для любительских станций, работающих в полосе 420–450 МГц

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.372 напряженность поля помех составляет $-32,4$ дБ(мкВ/м).

Повышение минимального уровня шума на $0,5$ дБ потребует, чтобы напряженность поля помех от системы PLT не превышала уровень -43 дБ(мкВ/м).

Если предположить, что антенна установлена снаружи здания и ее эффективный коэффициент усиления в направлении сети PLT равен 1 дБи (коэффициент усиления бокового лепестка), а сама антенна находится на расстоянии 10 м от установки PLT, то с учетом потерь в стенах 24 дБ и при контрольной полосе пропускания 120 кГц напряженность поля на основной частоте или гармониках от системы PLT не должна превышать 6 дБ(мкВ/м) в полосе пропускания 120 кГц на расстоянии 3 м.

3.2.5 Прочие службы, работающие в домашних условиях и имеющие аналогичные требования

В условиях старения населения повышаются требования к использованию радиосвязи в целях медицинского контроля в домашних условиях. Рекомендация МСЭ-R RS.1346 устанавливает условия работы медицинских имплантируемых систем связи (MICS) в полосе 401 – 406 МГц на вторичной основе, причем эти системы не должны требовать защиты от других служб и не должны создавать помех. Соответствующие стандарты требуют, чтобы порог LBT ("Listen before talk" (слушай перед тем как сказать)) рассчитывался по формуле $(-150 \text{ дБм} + 10 \log B + G)$, где B – это ширина полосы пропускания системы, а G – коэффициент усиления антенны по отношению к изотропному излучателю. Обычно в качестве приемлемого уровня, при котором обеспечивается уверенный прием сигнала, берется значение SNR 11 дБ. Если рассматривать полосу пропускания 120 кГц, порог LBT для систем MICS равен $16,6$ дБ(мкВ/м): напряженность поля помех, измеренная на программаторе MICS (оборудование, обеспечивающее канал связи), не может превышать примерно $5,5$ дБ(мкВ/м) при ухудшении SNR на 3 дБ. В случае если шум от систем PLT превышает 10 дБ(мкВ/м), порог LBT будет превышен, поскольку прием сигнала с таким значением SNR практически невозможен и никакие передачи не будут вестись для детальной проверки имплантированного устройства. Таким образом, можно отметить, что уровни защиты, требуемые для любительской службы, соответствуют требованиям к другим важным службам, которые могут использоваться в домашних условиях.

К другим устройствам ближнего радиуса действия (SRD), используемым в домашних условиях, относятся системы охранной и пожарной сигнализации, а также индивидуальные средства оповещения. В мире широко используется стандарт EN300-220, в соответствии с которым уровень шума на расстоянии 3 м в полосе пропускания 120 МГц должен быть порядка 9 дБ(мкВ/м) на частоте 400 МГц. Эти уровни также применяются к гармоникам и интермодуляционным составляющим, возникающим при работе низкочастотных систем PLT.

Необходимо отметить, что эти уровни равным образом применяются к гармоникам и интермодуляционным составляющим от устройств PLT для низкочастотной связи.

Таким образом, можно полагать, что требования по защите любительской службы соответствуют требованиям к другим службам, которые могут использоваться в домашних условиях.

3.3 Воздушная подвижная служба

Воздушные подвижные службы особенно чувствительны к совокупным помехам от плотно сосредоточенных источников радиочастотного излучения на земле, учитывая характер распространения на радиотрассах по линиям прямой видимости. Влияние помех усиливается в зонах плотного сосредоточения источников радиочастотного излучения, расположенных в аэропортах под траекториями захода на посадку/начального этапа набора высоты.

ТАБЛИЦА 8

**Исходный максимально допустимый уровень помех для систем, работающих в воздушных службах.
Уровень сигнала должен быть защищен на приемной антенне**

Система		Полоса частот	Расположение приемника	Минимальный уровень полезного сигнала		Требуемое отношение D/U (Примечание 1)	Полоса пропускания приемника	Запас безопасности для авиации	Ограничение для учета множества технологий	Исходный максимально допустимый уровень помех
				(мкВ/м)	(дБм)					
Связь на ОВЧ	25 кГц	117,975–137 МГц	Бортовой	75	–82	20	16	6	20	–170
		117,975–137 МГц	Наземный	20	–93	20	16	6	20	–181
	8,33 кГц	117,975–137 МГц	Бортовой	75	–82	20	5,6	6	20	–165
		117,975–137 МГц	Наземный	20	–93	20	5,6	6	20	–177
	Режим 2 и 3 VDL	117,975–137 МГц	Бортовой	75	–82	20	8	6	20	–167
		117,975–137 МГц	Наземный	20	–93	20	16	6	20	–181
	Режим 4 VDL	108–137 МГц	Бортовой	75	–81	20	5,56	6	20	–165
		108–137 МГц	Наземный	20	–93	20	6	6	20	–177

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Приведенные здесь значения являются внутрисистемным отношением D/U или в случае радаров – отношением I/N системы и указаны в качестве исходных значений.

В Приложении A2.2 приведены результаты исследования, касающегося совместимости воздушной подвижной и воздушной радионавигационной служб с системами PLT в диапазоне частот от 30 до 380 МГц.

ТАБЛИЦА 9

**Исходный максимально допустимый уровень помех для систем, работающих в бортовых службах радиоопределения.
Уровень сигнала должен быть защищен на приемной антенне**

Система	Полоса частот	Расположение приемника	Минимальный уровень полезного сигнала		Требуемое отношение D/U (Примечание 1)	Полоса пропускания приемника	Запас безопасности для авиации	Ограничение для учета множества технологий	Исходный максимально допустимый уровень помех
			(мкВ/м)	(дБм)					
Курсовой маяк посадки ILS	108–112 МГц	Бортовой	40	–86	20	30	6	20	–177
Глиссада ILS	328,6–335,4 МГц	Бортовой	400	–76	20	42	6	20	–168
GBAS	108–117,975 МГц	Бортовой	215	–72	26	14	6	20	–165
VOR	108–117,975 МГц	Бортовой	90	–79	20	36	6	20	–171
Воздушная радионавигация	200–225 МГц								
Радиолокация	216–220 МГц								
Воздушная радионавигация	420–460 МГц								
Радиолокация	430–450 МГц								

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Приведенные здесь значения являются внутрисистемным отношением D/U или в случае радаров – отношением I/N системы и указаны в качестве исходных значений.

3.4 Морская подвижная служба

Морские приемники ОВЧ – 154–174 МГц

В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R M.489-2:

- эталонная чувствительность должна быть равна или меньше 2,0 мкВ электромагнитного поля, для заданного эталонного отношения сигнал/шум на выходе приемника;
- избирательность по соседнему каналу должна быть не менее 70 дБ;
- коэффициент подавления побочных каналов приема должен быть не менее 70 дБ;
- коэффициент устранения радиочастотных интермодуляционных искажений должен быть не менее 65 дБ;
- мощность любого кондуктивного побочного излучения, измеренная на антенных вводах, не должна превышать 2,0 нВт на любой отдельной частоте. В некоторых условиях радиосвязи могут потребоваться более низкие значения.

Приемники сигналов автоматической идентификации судов (AIS)

Приемники сигналов AIS функционируют на двух частотах (161,975 МГц и 162,025 МГц) и обеспечивают выполнение широкого ряда задач, разработанных Международной морской организацией (ИМО), в области морской защиты и безопасности, в том числе управление движением судов на загруженных участках морских путей, предотвращение столкновения судов, повышение эффективности поисково-спасательных операций при оказании помощи судам, терпящим бедствие, защиту от загрязнения нефтью и обеспечение безопасных условий для судов и портов:

- нормативный минимальный уровень чувствительности приемника AIS (при допустимом коэффициенте ошибок 20%) = –107 дБм;
- как правило, базовые станции AIS имеют чувствительность при приеме –115 дБм или лучше.

3.5 Служба радиоопределения

Бортовые службы радиоопределения особенно чувствительны к совокупным помехам от плотно сосредоточенных источников радиочастотного излучения на земле, учитывая характер распространения на радиотрассах по линиям прямой видимости. Влияние помех усиливается в зонах плотного сосредоточения источников радиочастотного излучения, расположенных в аэропортах под траекториями захода на посадку/начального этапа набора высоты.

3.6 Сухопутная подвижная служба

Общеприменимые критерии защиты, охватывающие случай помех, причиняемых сухопутной подвижной службе источниками преднамеренного излучения, например системами PLT, отсутствуют. Необходимо провести дополнительную работу по определению основы для разработки требований к защите, которым должны отвечать системы PLT.

Однако в любом случае критерии защиты от излучения, создаваемого системами PLT, должны быть не менее жесткими, чем критерии защиты, которые были установлены на основе исследований совместного использования частот сухопутной подвижной службой и другими первичными и вторичными службами радиосвязи. Примеры требований к защите, которые были разработаны для сухопутной подвижной службы в затребованной полосе частот 80–470 МГц, приведены в следующих Рекомендациях МСЭ-R:

- Рекомендация МСЭ-R M.1808 – Технические и эксплуатационные характеристики традиционных и транковых сухопутных систем подвижной связи, работающих в распределениях подвижной службе ниже 869 МГц, для применения в исследованиях совместного использования частот. В этом документе приведены соображения, касающиеся критериев помех и качества (пп. 2.1 и 2.2 Приложения 1), и полный набор технических характеристик для полос частот 138–174 МГц и 406,1–470 МГц;

- Рекомендация МСЭ-R М.1824 – Характеристики систем внестудийного телевизионного вещания, электронного сбора новостей и внестудийного электронного производства программ в подвижной службе для применения в исследованиях совместного использования частот. В этом документе приведены характеристики систем внестудийного телевизионного вещания (TVOB), электронного сбора новостей (ENG) и внестудийного электронного производства программ (EFP) в подвижной службе. В частности, в таблицах 2 и 3 приведены технические характеристики переговорных устройств/портативных приемопередатчиков и аудиоканалов соответственно, причем некоторые из них работают в диапазоне частот 80–470 МГц.

Также в Резолюции 646 (ВКР-03) определены части полосы 380–470 МГц, которые могут использоваться для целей обеспечения общественной безопасности и оказания помощи при бедствиях.

Системы радиосвязи, работающие на частотах выше 470 МГц в сухопутной подвижной службе, включают системы сотовой связи и системы ИМТ. В некоторых странах системы сотовой связи также работают на частотах ниже 470 МГц.

Определенная информация, касающаяся требований к защите систем сотовой связи, приведена в Рекомендации МСЭ-R М.1823 – Технические и эксплуатационные характеристики цифровых систем сотовой сухопутной подвижной связи для применения в исследованиях совместного использования частот.

3.7 Радиоастрономия

Радиоастрономическая служба (РАС) использует распределения частот в трех диапазонах между 80 и 470 МГц на первичной основе (см. таблицу 10) с учетом примечания п. 5.149 Регламента радиосвязи. Диапазоны 150 и 410 МГц используются только для наблюдений континуума (то есть режим полной мощности), а диапазон 327 МГц используется для наблюдения континуума и спектральных линий. Пороговые уровни помех, которые оказывают негативное влияние на работу РАС, приведены в Рекомендации МСЭ-R RA.769, а эквивалентные значения электрического поля этих помех указаны в Отчете МСЭ-R RA.2131. Эти пороговые уровни также приведены в таблице 10.

ТАБЛИЦА 10

**Эквивалентные пороговые значения электрического поля помех
для радиоастрономической службы**

Полоса частот РАС (МГц)	Порог плотности потока мощности дБ(Вт/м ²)	Порог спектральной плотности потока мощности дБ(Вт/м ² /Гц)	Порог электрического поля дБ(мкВ/м)
150,05–153	–194 в полосе 2,95 МГц	–259	–48,2 в полосе 2,95 МГц
322–328,6	–189 в полосе 6,6 МГц для режима континуума –204 в полосе 10 кГц для режима спектральных линий	–258 для режима континуума –244 для режима спектральных линий	–43,2 в полосе 6,6 МГц для режима континуума –58,2 в полосе 10 кГц для режима спектральных линий
406,1–410	–189 в полосе 3,9 МГц	–255	–43,2 в полосе 3,9 МГц

3.8 Подвижная спутниковая служба

Далее приводятся подробные данные о полосах частот ниже 470 МГц, которые распределены подвижной спутниковой службе (ПСС), а также критерий защиты и параметры системы.

3.8.1 Полосы частот

Подвижной спутниковой службе (ПСС) распределены различные полосы частот ниже 470 МГц:

- полоса 137–138 МГц распределена ПСС, работающей в направлении космос-Земля;
- полоса 148–150,05 МГц распределена ПСС, работающей в направлении Земля-космос;

- полосы 161,9625–161,9875 МГц и 162,0125–162,0375 МГц распределены ПСС, работающей в направлении Земля-космос (см. п. 5.227А РР).
- полоса 235–322 МГц распределена ПСС (см. п. 5.254 РР);
- полоса 312–315 МГц распределена ПСС, работающей в направлении Земля-космос;
- полоса 335,4–399,9 МГц распределена ПСС (см. п. 5.254 РР);
- полоса 387–390 МГц распределена ПСС, работающей в направлении космос-Земля;
- полоса 399,9–400,05 МГц распределена ПСС, работающей в направлении Земля-космос;
- полоса 400,15–401 МГц распределена ПСС, работающей в направлении космос-Земля;
- полоса 406–406,1 МГц распределена ПСС, работающей в направлении Земля-космос, и ее использование ограничено маломощными спутниковыми аварийными радиомаяками – указателями места бедствия (см. п. 5.266 РР). Запрещается любое излучение, которое может создавать вредные помехи разрешенному использованию полосы частот 406–406,1 МГц (см. п. 5.267 РР).

3.8.2 Критерий защиты

Надлежащая инженерно-техническая практика в области использования спектра направлена на обеспечение минимальных технически достижимых уровней излучения, создаваемых устройствами РЛТ. При этом для излучения, создаваемого устройствами РЛТ, критерий $\Delta T/T$ в 1% соответствует допустимому уровню помех на входе приемников ПСС (либо бортовых космических, бортовых на воздушных судах либо наземных). Этот критерий считается приемлемым по аналогии с фиксированной спутниковой службой (ФСС), где в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R S.1432-1 такое значение рекомендовано для источников помех, не относящихся к ФСС или к службам на совместной первичной основе.

3.8.3 Параметры системы

Подробные параметры систем ПСС, использующих полосы частот 137–138 МГц, 148–150,05 МГц, 399,9–400,05 МГц и 400,15–401 МГц приведены в Приложении 2 Рекомендации МСЭ-R M.1184-2 – Технические характеристики систем подвижной спутниковой связи в полосах частот ниже 3 ГГц для использования при разработке критериев совместного использования частот подвижной спутниковой службой (ПСС) и другими службами. Для удобства использования в таблицах 11 и 12 приведены данные о соответствующих параметрах системы, требуемых для обеспечения защиты приемников ПСС от излучений РЛТ.

ТАБЛИЦА 11

Характеристики приемников подвижных земных станций в полосе 137–138 МГц

Усиление антенны приемной подвижной земной станции (дБи)	5,7	0,5	–3	3
Диаграмма антенны приемной подвижной земной станции	Всенаправленная	Всенаправленная	Всенаправленная	Всенаправленная
Шумовая температура приемной подвижной земной станции (К)	4 467	813	66	1 565
Развертывание приемных подвижных земных станций	По всему миру	По всему миру	По всему миру	По всему миру
Поляризация приемной подвижной земной станции	Правосторонняя круговая	Правосторонняя круговая	Левосторонняя круговая	Правосторонняя круговая

ТАБЛИЦА 12

Характеристики спутниковых приемников ПСС в полосе 148–150,05 МГц

Высота полета принимающего спутника (км)	950	775	800	893	1 000
Усиление антенны принимающего спутника (дБи)	–2	0	0	5,6	6
Диаграмма антенны принимающего спутника	С постоянной плотностью потока мощности (Isoflux)	Тороидальная	$10 \log (\cos 2 \theta)$	$10 \log (\cos 2 \theta)$	С постоянной плотностью потока мощности (Isoflux)
Шумовая температура принимающего спутника (К)	309	400	1 000	1 480	940
Поляризация приемника	Линейная	Линейная	Правосторонняя круговая	Левосторонняя круговая	Линейная

В отношении распределений частот выше 200 МГц для подвижной спутниковой службы требуется тщательный контроль отдельного совокупного воздействия излучений от систем РЛТ в полосе 406–406,1 МГц. Эта полоса используется спутниками поисково-спасательной службы, и в ее отношении применяются п. 5.266 и 5.267 Регламента радиосвязи.

ТАБЛИЦА 13

Характеристики спутниковых приемников ПСС в полосе 399,9–400,05 МГц

Высота полета принимающего спутника	667 км
Усиление антенны принимающего спутника	7 дБи
Диаграмма антенны принимающего спутника	Кардиоидная
Шумовая температура принимающего спутника	389 К
Поляризация приемника	Правосторонняя круговая

ТАБЛИЦА 14

Характеристики приемников подвижной земной станции в полосе 400,15–401 МГц

Усиление антенны приемной подвижной земной станции (дБи)	5,7	3	3	7
Диаграмма антенны приемной подвижной земной станции	Всенаправленная	Всенаправленная	Всенаправленная	Всенаправленная
Шумовая температура приемной подвижной земной станции (К)	4 467	229	505	550
Развертывание приемных подвижных земных станций	По всему миру	По всему миру	По всему миру	По всему миру
Поляризация приемной подвижной земной станции	Правосторонняя круговая	Правосторонняя круговая	Правосторонняя круговая	Левосторонняя круговая

В отношении распределения полосы 454–456 МГц для ПСС из базы данных МСЭ взяты следующие характеристики, которые соответствуют существующим системам, работающим в этой полосе:

- высота полета принимающего спутника: 650 км;
- коэффициент усиления антенны принимающего спутника: 0 дБи;
- диаграмма направленности антенны принимающего спутника: всенаправленная;
- шумовая температура принимающего спутника: 590 К;
- поляризация принимающего спутника: левосторонняя круговая (ЛНСП).

Конкретная информация, касающаяся полосы 459–460 МГц, отсутствует, но предполагается, что характеристики для полосы 454–456 также действительны для 459–460 МГц.

3.8.4 Конкретный случай полосы 406–406,1 МГц

Эта полоса распределена для ПСС, работающей в направлении Земля-космос, и предназначена для использования только маломощными спутниковыми аварийными радиомаяками – указателями места бедствия (см. п. 5.266 РР). Запрещается любое излучение, которое может создавать вредные помехи разрешенному использованию полосы частот 406–406,1 МГц (см. п. 5.267 РР). Эта полоса, в частности, используется международной спутниковой системой поиска и спасания "Коспас-Сарсат". Вся информация о спутниковых системах, использующих эту полосу, содержится в Рекомендации МСЭ-R М.1478 – Критерии защиты для приборов системы поиска и спасания "Коспас-Сарсат" в полосе частот 406–406,1 МГц. Особая необходимость обеспечения помехоустойчивой обстановки для этих систем обусловлена тем, что они используются службой обеспечения безопасности.

3.9 Радионавигационная спутниковая служба

Далее приводятся подробные данные о полосах частот ниже 470 МГц, которые распределены радионавигационной спутниковой службе (РНСС), а также критерий защиты и параметры системы.

3.9bis Вспомогательная служба метеорологии

Полоса 401,15–406 МГц распределена вспомогательной службе метеорологии на первичной основе. Подробная информация приводится в Рекомендации МСЭ-R RS.1262 "Критерии совместного использования частот и координации для вспомогательной службы метеорологии, работающей в полосах частот 400,15–406 МГц и 1668,4–1700 МГц". Для защиты от возможных помех, создаваемых системами РЛТ, надлежащим критерием будет уровень шума на входе приемника, составляющий менее –188 дБм/Гц.

3.9.1 Полосы частот

Радионавигационной спутниковой службе (РНСС) распределены две полосы частот ниже 470 МГц:

- полоса 149,9–150,05 МГц распределена РНСС;
- полоса 399,9–400,05 МГц распределена РНСС.

3.9.2 Критерий защиты

Надлежащая инженерно-техническая практика в области использования спектра направлена на обеспечение минимальных технически достижимых уровней излучения, создаваемых устройствами РЛТ. При этом для излучения, создаваемого устройствами РЛТ, критерий $\Delta T/T$ в 1% соответствует допустимому уровню помех в ходе приемников РНСС (либо бортовых космических, бортовых на воздушных судах или наземных). Этот критерий считается приемлемым по аналогии с фиксированной спутниковой службой (ФСС), где в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R S.1432-1 такое значение рекомендовано для источников помех, не относящихся к ФСС или к службам на совместной первичной основе.

3.9.3 Параметры системы

В отношении распределения частот в диапазоне 149,9–150,05 МГц из базы данных МСЭ взяты следующие характеристики, которые соответствуют существующим системам, работающим в этом диапазоне:

- коэффициент усиления антенны приемной наземной станции РНСС: 0 дБи;
- диаграмма направленности антенны приемной наземной станции РНСС: всенаправленная;
- шумовая температура приемной наземной станции РНСС: 200 К;
- развертывание приемных наземных станций РНСС: по всему миру.

В отношении распределения полосы частот 399,9–400,05 МГц из базы данных МСЭ взяты следующие характеристики, которые соответствуют существующим системам, работающим в этой полосе:

- коэффициент усиления антенны приемной земной станции РНСС: 0 дБи;
- диаграмма направленности антенны приемной земной станции РНСС: всенаправленная;
- шумовая температура приемной земной станции РНСС: 200 К;
- развертывание приемных земных станций РНСС: по всему миру.

3.10 Другие системы/применения радиосвязи

В этом разделе рассмотрены системы/применения радиосвязи, которые не могут быть непосредственно отнесены к конкретной службе радиосвязи. В дополнение к подразделу, касающемуся медицинских имплантируемых беспроводных систем, другие системы/применения могут быть добавлены в будущем пересмотре настоящего Отчета МСЭ-R.

3.10.1 Медицинские имплантируемые беспроводные системы связи

Медицинские имплантируемые беспроводные системы связи работают в полосе 401–406 МГц и используются для таких целей, как контроль и программирование медицинских имплантатов, например кардиостимуляторов, нейростимуляторов и т. п. В условиях старения населения повышаются требования к услугам здравоохранения в плане сложности и стоимости медицинских приборов, и в связи с этим будут возрастать требования к электронному контролю.

Поскольку полоса частот, задействованная активными медицинскими имплантатами крайне малой мощности (ULP-AMI), используется совместно с первичными службами радиосвязи, применяется комплексный механизм доступа к каналу. Для контроля в домашних условиях используется монитор (ULP-AMI-P), где порогом включения функции LBT (слушай перед тем как сказать) является напряженность поля +16 дБ(мкВ/м) при типичном коэффициенте усиления антенны 0 дБи. Питание таких мониторов осуществляется от сети переменного тока. Мониторы обычно располагаются рядом с другими устройствами, подключенными к сети переменного тока, например часами, прикроватными лампами, электрическими одеялами и т. д. Естественно, что электропроводка для таких устройств является источником излучения сигналов PLT. Для обеспечения нормальной работы медицинских имплантатов уровень помех от будущих систем PLT, работающих в полосах частот до 470 МГц и выше, создаваемый в полосе 401–406 МГц должен быть не более +16 дБ(мкВ/м) в полосе пропускания 300 кГц или около +12 дБ(мкВ/м) в полосе пропускания 120 кГц.

4 Возможные средства предотвращения или исключения помех

4.1 Адаптивные меры ЭМС

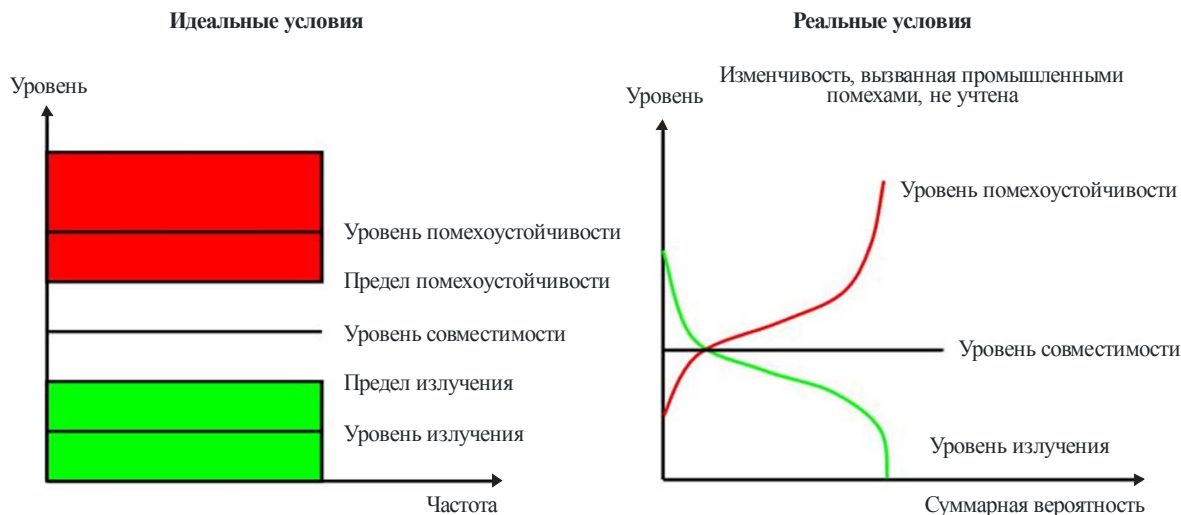
Классическая концепция ЭМС требует соблюдения постоянных предельных уровней излучения и пределов помехоустойчивости по отношению к высокочастотным сигналам. Предельный уровень излучения всех устройств и их собственный порог помехоустойчивости определяют рабочий диапазон. Приборы, работающие в пределах этого диапазона, не создают никаких помех в окружающей их среде. Недостаток этой классической концепции гарантирования ЭМС, показанной в левой части рисунка 3, состоит в том, что некоторые ресурсы остаются неиспользованными.

Кроме того, может потребоваться дорогостоящее защитное экранирование приборов даже при отсутствии сигналов, создающих помехи. Все частоты экранируются устройством, независимо от того, где и когда это устройство эксплуатируется. Короче говоря, ресурсы не могут быть использованы эффективно.

В некоторых случаях при приеме слабого сигнала возникают помехи, несмотря на то что окружающие устройства отвечают требованиям соответствующих стандартов ЭМС. К сожалению, эта ситуация реальна (см. правую часть рисунка 3). Как с экономической, так и с технической точки зрения это неприемлемо. В этом случае должны выбираться более строгие предельные значения.

РИСУНОК 3

Соображения по ЭМС, идеальные и реальные условия



Report SM.2212-03

Поскольку некоторые радиосистемы (например, наземная подвижная связь, ТВ, аналоговое или цифровое радиовещание) принимают сигналы с широким диапазоном амплитуд, они, как правило, являются наиболее чувствительными устройствами в условиях дома или офиса. Поэтому защита радиосигнала от помех имеет основное значение в процессе обеспечения ЭМС в условиях приема высокочастотных сигналов. В течение нескольких десятилетий ЭМС осуществлялась путем простого определения предельных значений для электромагнитных излучений, создаваемых оборудованием. В прошлом этот простой подход был приемлем. Классические источники помех, такие как коммутаторы или импульсные источники питания, иногда создают излучения в широком диапазоне частот. Избирательное и одновременно с этим гибкое подавление помех было невозможно. Поэтому процесс такого подавления был направлен на ограничение максимального уровня излучаемых помех до значения на несколько дБ ниже предела. Установленные предельные значения широко обсуждаются радиоспециалистами, поскольку эти значения разрабатывались при определенных условиях, касающихся пространственной, временной и частотной вероятности источников помех. Сегодня большое количество современных источников помех создают непрерывные излучения в широком спектре частот в отсутствие соответствующего распределения в Регламенте радиосвязи, поэтому первоначальные предварительные условия могут оказаться недействительными.

Современные системы проводной связи, основанные на технологии OFDM (например, ADSL, VDSL, PLT), позволяют интегрировать адаптивные методы обеспечения ЭМС в свою конструкцию. Адаптивные методы могут гибко контролировать уровень нежелательных излучений этих систем. Когнитивные радиотехнологии также могут адаптировать их спектры излучения к фактическим условиям окружающей среды.

Например, модемы связи по линиям электропередачи в соответствии со стандартом ETSI TS 102 578 используют адаптивный подход. По сравнению с обычными PLT-модемами, которые могут создавать помехи радиослужбам, модемы, использующие концепцию Smart Notching (эффективная режекция), не создают помех для радиоприемников.

Диапазон частот помех, излучаемых PLT-модемом, накладывается на частоты радиовещания. Провода линий электропитания в частных домах не экранированы и имеют определенную асимметрию. Если радиоприемник работает вблизи активных систем связи по линиям электропередачи, качество приема радиосигналов может ухудшиться. Использование систем связи, работающих в одном и том же диапазоне частот, и линий связи между ними – проводных и беспроводных – неизбежно приводит к возникновению помех.

Ввиду того что распределительные сети низкого напряжения обладают свойствами антенн, электрические кабели внутри здания принимают сигналы радиовещательных служб. PLT-модемы, оснащенные технологией Smart Notching (в соответствии со стандартом ETSI TS 102 578), обнаруживают наличие таких радиослужб путем измерения спектра сигнала в сети электропитания. После выполнения анализа этого спектра PLT-модем исключает частоты, принимаемые радиоустройствами диапазона КВ. Этот процесс называется режекцией. Благодаря адаптивной OFDM передаче данных с большим количеством несущих, технология Smart Notching создает лишь незначительное уменьшение скорости передачи данных, поскольку теряются только несущие с низким SNR. Непрерывный анализ позволяет системе снизить до минимума помехи и оптимизировать пропускную способность в зависимости от текущей ситуации.

В таких адаптивных системах электромагнитная совместимость достигается другим способом: вместо жестких ограничений устройства с технологией Smart Notching могут соответствовать требованиям к ЭМС и повышать степень совместимости. Согласно определению Международного электротехнического словаря (IEV) тот или иной продукт имеет электромагнитную совместимость, если он работает удовлетворительно в своей электромагнитной обстановке и не создает недопустимых электромагнитных помех для других устройств.

4.2 Постоянная режекция

Режим постоянной режекции был принят в основном для полос частот любительской службы.

ЧМ-диапазон очень важен для слушателей как основной диапазон для приема радиопередач, и любой риск появления в нем помех от неконтролируемых систем связи по линиям электропередачи должен быть тщательно изучен. Поэтому предпочтительным вариантом было бы ограничить диапазон частот, используемый системами PLT и т. д. частотой 80 МГц, как ранее рекомендовалось ИК15 МСЭ-Т. В противном случае потребуются постоянная режекция всей полосы частот от 87,5 до 108 МГц.

В отношении цифрового радиовещания (DAB), при котором возникающие уровни напряженности полей, как правило, ниже, чем при приеме ЧМ-сигналов, имеют место еще большие сомнения в надежности приема сигналов DAB на фоне сигналов от проводных сетей электропитания и защитных служб. Для полос частот DAB рекомендуется режим постоянной режекции.

4.3 Динамическая режекция

Стандарт по динамической режекции ETSI TS 102 578 (для ВЧ-вещания) был предложен в качестве модели для использования на частотах выше 30 МГц вместе с предлагаемыми изменениями/дополнениями. Однако стандарт ETSI TS был разработан под контролем и в тесном сотрудничестве с радиовещательными компаниями, работающими в диапазоне ВЧ, и был принят только в качестве компромисса, позволяющего решить определенные проблемы сосуществования радиовещания в диапазоне ВЧ и систем PLT. Также необходимо отметить, что принятие этого стандарта было возможно лишь после демонстрации данной методики в действии, хотя и в значительно ограниченной форме только с одной экспериментальной системой, доступной для тестирования.

Использовать эту методику для радиовещания в диапазоне ОВЧ будет не так просто, поскольку существует множество причин для разногласий:

- диапазон с ЧМ используется для бытовых служб как основной вид радиовещания, принимаемого в большинстве домов, в течение продолжительных периодов времени;
- в этой ситуации требования слушателей к качеству приема значительно выше, поскольку ЧМ-вещание обеспечивает значительно более высокое качество приема, чем АМ-вещание в диапазоне КВ, и приближается к качеству записи на компакт-дисках (CD) в обычных домашних условиях. Поэтому ухудшение качества вещания будет неприемлемо для слушателей;

- с технической стороны ЧМ сильно отличается от АМ;
- длина волны сигнала ЧМ-диапазона приближена к типичной длине волны, характерной для проводов сетей электропитания, или короче ее (в отличие от ситуации на ВЧ), что приводит к увеличению интенсивности излучения помех от систем PLT в окружающую среду.

Еще не ясно, сможет ли схема динамической режекции работать вообще, особенно в плане адекватного и надежного контроля присутствия в эфире радиовещательных передач, которые необходимо защитить с помощью режекции. Следует отметить, что в городских условиях приема можно зачастую принимать порядка 30 ЧМ-передач. В таком случае при необходимой ширине полосы режекции как минимум 800 кГц это будет означать фактически режекцию всего ЧМ-диапазона.

Поэтому есть сомнения в целесообразности работ по внедрению этой методики, учитывая возможные помехи от систем PLT. Во многих странах Европы (на самом деле в большинстве) ЧМ-диапазон весьма интенсивно используется. При этом регулирующим органам приходится решать вопросы, связанные с постоянным спросом на большее количество частот для новых служб в ЧМ-диапазоне. ЧМ-станции уже работают на частотах, в максимально возможной степени приближенных друг к другу, и они планируются не только на основе недопущения помех в совмещенных каналах, но также с учетом использования соседних каналов в пределах полосы ± 400 кГц.

Вопрос ширины полосы режекции имеет особо важное значение. Предполагалось, что достаточно выбрать ширину полосы режекции в 200 кГц. Обоснование этого расчета представляется ошибочным, поскольку предлагаемое значение в 200 кГц было получено в результате применения правила Карсона к режиму MONO FM. Однако этот расчет больше подходит в качестве указания, куда попадает основная часть энергии передаваемого сигнала (IN MONO), и таким образом определяет минимальную полосу пропускания для приемника, в которой будет передаваться основная часть сигнала (и соответственно дает приемлемо ограниченное количество искажений, вызванных усечением спектра). Но при этом не принимается в расчет то, что практически все ЧМ-вещание осуществляется в режиме стерео с дополнительной передачей сигналов в формате RDS, в котором основная полоса частот выходит далеко за 15 кГц и фактически достигает 60 кГц. Важно, чтобы режекция PLT выходила за пределы ширины фактического аналогового или цифрового ЧМ-канала и должна охватывать соседние каналы.

Более того, этот подход не принимает в расчет то, что ключевым фактором является чувствительность приемников к помехам, которая порой в значительной степени зависит от особенностей конструкции приемника, а также то, что необходимо учитывать конструкции миллионов приемников, работающих уже на сегодняшний момент в домах слушателей. Только тестирование (фактически нечто вроде измерения защитного отношения при различных сдвигах частот) широкого ряда приемников позволит установить необходимые характеристики режекции, такие как ширину при полной глубине и не менее важную форму боковых сторон. Необходимо отметить, что эти оба параметра были учтены для ВЧ-приемников в стандарте TS 102 578. Область режекции из-за одной группы непрерывных (то есть не подвергнутых режекции) PLT поднесущих с одной стороны обнаруженной несущей ЧМ-станции должна составлять 400 кГц плюс еще 400 кГц с другой стороны до следующей группы непрерывных PLT поднесущих. Таким образом, ширина полосы режекции в PLT поднесущих при полной глубине должна быть 800 кГц, то есть ± 400 кГц от каждой обнаруженной ЧМ-несущей с дополнительными наклонными сторонами. Применение этой ширины полосы режекции во многих городских местах приема наверняка приведет к режекции всей полосы частот.

В случае применения динамической режекции для защиты служб радиосвязи, которые не относятся к радиовещанию, необходимо признать, что данная методика может быть эффективной, только если измерение выполняется в том же месте, где помехи могут причинить вред. Там, где прием предполагается только снаружи зданий, измерительные сигналы внутри здания не имеют цели, поскольку результаты не будут отображать суммарные помехи, принимаемые в условиях эксплуатации. Кроме того, если сигналы, предназначенные для приема снаружи зданий, принимаются внутри здания, то можно сделать вывод, что провода сети электропитания действуют как эффективная антенна и в результате могут привести к повышению уровня помех снаружи здания.

4.4 Режекция на основе геолокации

Для этой методики потребуется база данных служб, которые, по мнению национальной администрации, будут защищаться от помех в тех или иных местах. В простом случае использование этих служб может предоставляться коммерческими радиовещательными компаниями в зоне действия франшизы или в предполагаемой зоне покрытия в другом случае. Однако фактическая зона покрытия обычно выходит за пределы действия условной франшизы или зоны покрытия и национальная администрация столкнется с вопросом ограничения выбора слушателей в пользу использования систем PLT. Это может привести к правовым проблемам относительно законности ограничения доступа к службам, которые ранее принимались на данной территории.

Также возникнут и другие проблемы при реализации идеи в существующем виде. Какая-то организация должна быть ответственной за создание и обслуживание геолокационной базы данных. Даже если не учитывать возможность правовых трудностей при наличии ошибок, которые затрагивают существующие зоны покрытия и коммерческую доходность служб, реализация этого предложения займет длительное время и потребует больших затрат. Кто выполнит эти работы и оплатит их? Также данная методика приведет к отказам в предоставлении частотного спектра для новых услуг, предлагаемых радиовещательной службой. Поэтому поставщики услуг PLT должны будут оплачивать спектр, зарезервированный для их использования.

В случае ЧМ-диапазона приведенные выше комментарии, касающиеся ширины полосы режекции и объема спектра, который может быть вновь выделен для использования системами PLT, также будут применяться.

4.5 Управление мощностью передачи согласно Рекомендации МСЭ-T G.9960

В Рекомендациях МСЭ-T G.9960/G.9961 (также известных как G.hn) {1, 2} для домашних сетей указываются различные инструменты по управлению мощностью передачи PLT для отдельных устройств (узлов) стандарта G.hn в сети (домене). Эти инструменты позволяют обеспечить соответствие узла различным нормам (например, CISPR, CENELEC), а также требованиям к потребляемой мощности (например, Европейский кодекс поведения). В этом разделе описывается методика настройки маски спектральной плотности мощности (PSD) при передаче, которая применяется ко всем узлам в домене. Здесь также рассматривается механизм независимого управления мощностью передачи для отдельного узла.

На сегодняшний день верхняя фактическая граничная частота в соответствии с Рекомендацией МСЭ-T G.9960 установлена равной 80 МГц (согласно Отчету МСЭ-R SM.2158). Набор инструментов, приведенный в Рекомендации МСЭ-T G.9960 в принципе также может применяться для предотвращения или устранения помех, если системами связи PLT используются частоты выше 80 МГц.

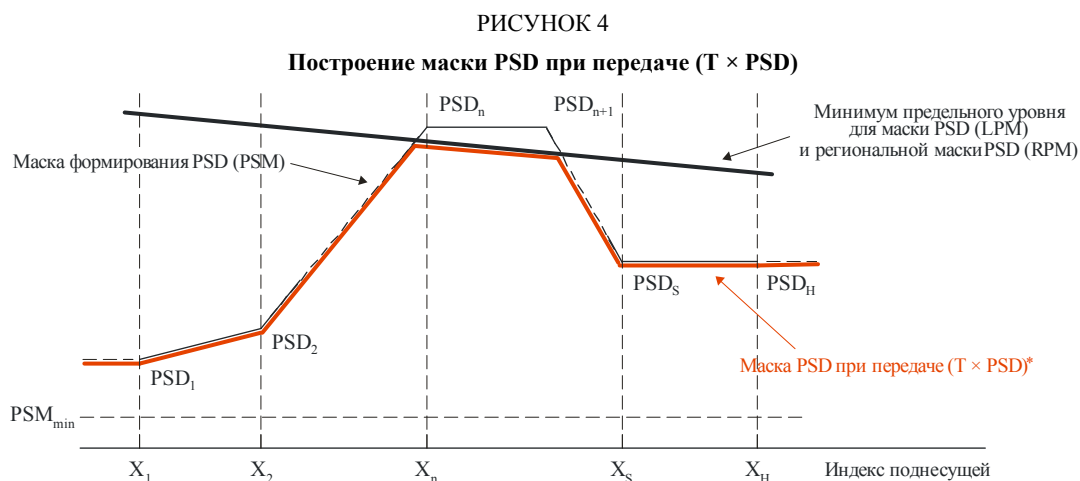
4.5.1 Построение маски PSD при передаче

В домене стандарта G.hn все узлы должны следовать требованиям маски PSD при передаче (TxPSD), заданной ведущим узлом (мастером домена). Ни в какой момент времени узел не должен передавать сигналы выше этой маски. Маска $T \times PSD$ описана в § 7.1.5 {1}, и состоит из следующих компонентов:

- 1 Предельная маска PSD (LPM, § 7.1.5 {1}): маска PSD, определяемая для каждого частотного плана (например, основная полоса частот для линии электропередачи, равная 100 МГц)
 - Маска LPM указана в основном тексте Рекомендации (например, основная полоса частот для линии электропередачи, равная 100 МГц, показана на рис. 7-32 в § 7.2.2.3 {1}).
 - Маска LPM определяет абсолютное предельное значение PSD, которое соответствует максимально допустимому предельному значению (то есть максимальному значению, указанному во всех региональных нормах).
 - Маска LPM служит ориентиром при проектировании устройства, которое может применяться во всех регионах.
- 2 Региональная маска PSD (RPM, § 7.1.5 {1}): маска PSD, определяемая для каждого частотного плана в каждом регионе
 - Маска RPM может быть указана в отдельных приложениях, чтобы отражать различные региональные нормы. На настоящий момент маска RPM не определена (маска RPM для Северной Америки была рассмотрена, но не включена в окончательно утвержденный проект).

- Если в конкретном регионе маска RPM не существует, то вместо нее используется маска LPM.
- 3 Маска поднесущей (SM, § 7.1.5.1 {1}): маскированные полосы, определяемые для заданной маски LPM или RPM
- Маска SM показывает параметры режекции частот. Мастер домена может указать до 32 полос частот, для которых заданы маски (§ 8.8.5.5 {2}). Эта информация передается на все узлы в сообщении по протоколу MAP (периодическое сообщение, передаваемое мастером домена, которое определяет план доступа к среде передачи) и может динамично изменяться.
- 4 Маска формирования PSD (PSM, § 7.1.5.2 {1}): контрольные точки PSD, определяемые для заданной маски LPM или RPM
- Мастер домена может указать до 32 контрольных точек PSD (§ 8.8.5.5 {2}). Эта информация передается на все узлы в сообщении по протоколу MAP и может динамично изменяться.
- 5 Международные полосы любительской радиосвязи (§ 7.1.5.3 {1})
- Несколько полос частот любительской радиосвязи в диапазоне от 0 до 100 МГц приведены в Приложении D {1}. Мастер домена может выполнить режекцию одного или нескольких таких полос частот (§ 8.8.5.5 {2}). Эта информация передается на все узлы в сообщении по протоколу MAP и может динамично изменяться.

Маска PSD при передаче ($T \times PSD$) состоит из этих пяти компонентов в соответствии с § 7.1.5.2 {1} и рисунком 4.



* Маска поднесущей (SM) на этом рисунке не показана.

Report SM.2212-04

4.5.2 Уведомление о маске спектральной плотности мощности при передаче

Мастер домена периодически сообщает сведения о маске $T \times PSD$, так чтобы все узлы в домене (в том числе новые узлы, которые будут подключаться к домену) знали характеристики $T \times PSD$ до того, как они начнут передачу любых сигналов по линии. Мастер домена даже может динамически изменять эту информацию (§ 8.8.5 {2}). Эта функция может использоваться для применения динамической режекции.

Новый узел обнаруживает и декодирует MAP-сообщение, передаваемое мастером домена для получения маски $T \times PSD$, применяемой к текущему домену. Новый узел руководствуется этой маской, поскольку он является членом данного домена. Узел может выполнять передачу с меньшей мощностью, чем задано этой маской.

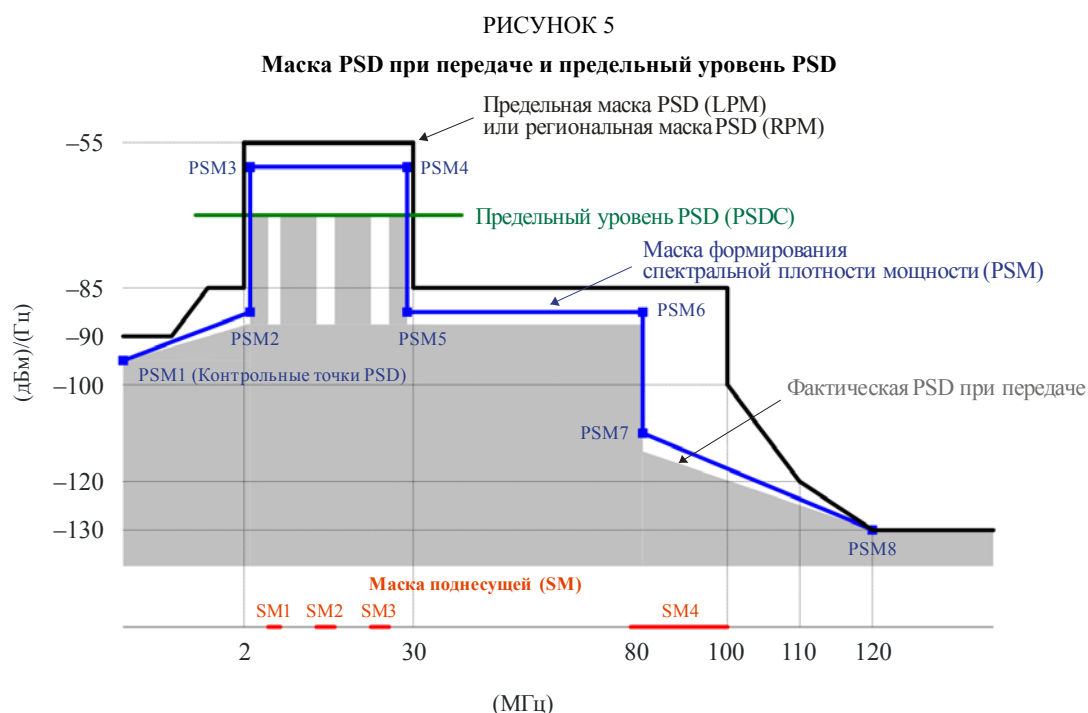
Мастер домена может оперативно изменять некоторые из этих компонентов (вкл./выкл. полос частот SM, PSM, HAM). Стандарт G.hn определяет метод синхронизации всех узлов в домене с новой маской $T \times PSD$.

4.5.3 Предельный уровень PSD

Предельный уровень PSD (PSDC, § 7.1.5.4 {1}) определяет предельный уровень значения PSD, применяемого к сигналам, передаваемым между узлами. Маска $T \times \text{PSD}$ применяется ко всем узлам в домене, в то время как значение PSDC применяется к отдельному узлу. Для каждого соединения могут применяться различные значения, которые могут динамически изменяться в зависимости от изменений канала. Это значение содержится в заголовке кадра физического уровня (поле APSDC-M, § 7.1.2.3.2.2.11 {1}), поэтому приемник знает максимальный уровень сигнала, который он принимает.

Во время процесса оценивания канала приемник сообщает передатчику оптимальное значение PSDC (таблица 8-93 в § 8.11.7.3 {2}). Этот механизм может быть использован для уменьшения мощности передачи и/или уменьшения до минимума мощности приема, что снижает не только общую мощность, потребляемую сетью, но также и помехи на другие сети.

На рисунке 5 показаны соотношения между $T \times \text{PSD}$ и PSDC.



Report SM.2212-05

4.5.4 Ссылки

- {1} ITU-T Recommendation G.9960 (2010): Unified high-speed wire-line based home networking transceivers – System architecture and physical layer specification, Предварительная публикация.
- {2} ITU-T Recommendation G.9961 (2010): Unified high-speed wire-line based home networking transceivers – Data link layer specification, Предварительная публикация.

4.6 Заключение относительно предотвращения или устранения помех

Необходимо провести работу, для того чтобы показать осуществимость и эффективность методов уменьшения помех для определенных служб в конкретных полосах частот. Если такие методы будут применяться без надлежащей оценки и мер предосторожности, а неадекватно определенные типы оборудования систем PLT будут выпущены на рынок, то возможно в адрес национальных администраций будут поступать многочисленные замечания и жалобы.

5 Общие выводы

В настоящем Отчете рассмотрена вероятность воздействия помех на различные службы радиосвязи в присутствии излучения от систем и устройств PLT. Этот Отчет описывает характеристики радиочастотного излучения от систем PLT, а также характеристики и критерии защиты систем радиосвязи, на которые воздействуют системы PLT. Кроме того, обсуждаются возможные методы уменьшения помех, вызванных излучениями систем PLT.

Приложение 1

Рассмотрение вопросов излучения и распространения сигналов шума в диапазонах ОВЧ и УВЧ

A1 Подробный анализ преобразования мод в отводах с переключателями

Отводы с переключающими схемами, состоящие из потолочных светильников и настенных выключателей, обычно используемые в домашних сетях электропитания, являются крайне несимметричным звеном в радиочастотном диапазоне; они преобразуют дифференциальные сигналы в синфазные или антенные токи, которые являются причиной излучения помех от линий электропитания. Несмотря на то что эти факты полностью признаны специалистами по радиосвязи, они, по-видимому, мало признаны специалистами по системам PLT. В п. 2.1.4.3 Отчета МСЭ-R SM.2158 показано, что дифференциальные и синфазные моды сильно связаны в широком спектральном диапазоне, а не только на резонансной частоте; этот вывод сделан на основании теоретического анализа, который моделирует замкнутый последовательный шлейф в виде несимметричного фазовращателя. Хотя основной физический механизм преобразования мод детально представлен в модели фазовращателя, желательно провести более общий анализ. Также при отключении настенного выключателя, отвод со схемой переключения представляет собой последовательный разомкнутый шлейф, который нельзя смоделировать в виде фазовращателя. Вместо этого в предыдущем анализе данный отвод, оканчивающийся люминесцентной лампой с сопротивлением всего в несколько ом, был смоделирован в виде замкнутого последовательного шлейфа. Целесообразно провести общий анализ последовательного шлейфа, в котором будут рассмотрены как замкнутые, так и разомкнутые шлейфы.

Ниже приведен такой общий анализ последовательных шлейфов, основанный на результатах последнего исследования⁴.

A1.1 Матрица рассеяния смешанной моды симметричной линии передачи, односторонне нагруженной с помощью последовательного шлейфа

A1.1.1 Теоретические формулы

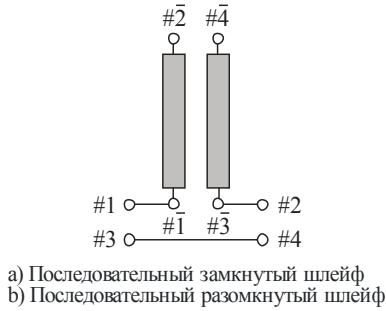
Были теоретически проанализированы цепи, односторонне нагруженные с помощью последовательного шлейфа, в которых состоящий из симметричной линии передачи разомкнутый или замкнутый шлейф последовательно подключается к одной стороне другой симметричной линии передачи (см. рисунок 6). Их матрицы рассеяния смешанной моды были рассчитаны для выявления определенных характеристик преобразования мод.

⁴ KITAGAWA, M. and OHIRA, T. [July 2010] Mixed-mode scattering matrix of a balanced transmission line unilaterally loaded with a stub in series – Pencil-and-paper formulation. IEICE Tech. Rep. MW.

ВЧ-сигналы от систем связи по линиям электропередачи (PLT) подаются в нечетную моду сети электропитания внутри дома. Поскольку отводы со схемой переключения, состоящие из потолочных светильников и однополюсных настенных выключателей, образуют односторонне нагруженные последовательные шлейфы, теоретический анализ позволяет предвидеть проблемы с ЭМС, вызываемые системами PLT, работающими в диапазоне ВЧ и/или ОВЧ.

РИСУНОК 6

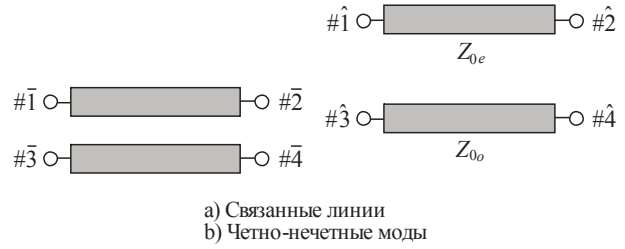
Симметричная линия передачи, односторонне нагруженная с помощью последовательного шлейфа



Report SM.2212-06

РИСУНОК 7

Симметричная линия передачи, которая образует шлейф



Report SM.2212-07

Два проводника симметричной линии передачи (рисунок 7 (а)), которые образуют шлейф (рисунок 6) соединяются. Четные и нечетные моды разъединяются, после чего они могут быть рассмотрены по отдельности, как показано на рисунке 7 (b). Четная мода и нечетная мода имеют следующие матрицы полного сопротивления соответственно

$$\hat{\mathbf{Z}}_e = \frac{Z_{0e}}{j \sin \phi_e} \begin{bmatrix} \cos \phi_e & 1 \\ 1 & \cos \phi_e \end{bmatrix}, \quad \hat{\mathbf{Z}}_o = \frac{Z_{0o}}{j \sin \phi_o} \begin{bmatrix} \cos \phi_o & 1 \\ 1 & \cos \phi_o \end{bmatrix},$$

где Z_{0e} и Z_{0o} обозначают характеристическое полное сопротивление четной и нечетной мод, ϕ_e и ϕ_o означают чередование фаз четной и нечетной мод в шлейфе, то есть $\phi_e = \beta_e l$ и $\phi_o = \beta_o l$ для линии передачи без потерь длиной l . Для линии передачи с потерями они заменяются на $\phi_e = \beta_e l (1 - j\alpha_e/\beta_e)$ и $\phi_o = \beta_o l (1 - j\alpha_o/\beta_o)$ для заданных постоянных распространения $\gamma_e = \alpha_e + j\beta_e$ и $\gamma_o = \alpha_o + j\beta_o$.

Тогда напряжения и токи на модовых разъемах (рисунок 7 (b)) соединяются следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \hat{v}_1 \\ \hat{v}_2 \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{Z}}_e \begin{bmatrix} \hat{i}_1 \\ \hat{i}_2 \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \hat{v}_3 \\ \hat{v}_4 \end{bmatrix} = \hat{\mathbf{Z}}_o \begin{bmatrix} \hat{i}_3 \\ \hat{i}_4 \end{bmatrix}.$$

Матрица преобразования между парами физических разъемов входа (или выхода) (рисунок 7 (а)) и соответствующими модовыми разъемами (рисунок 7 (b)) задается как:

$$\mathbf{C}_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}.$$

Матрица преобразования между всеми физическими разъемами и всеми модовыми разъемами задается как:

$$\mathbf{C}_4 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Матрица полного сопротивления модовых разъемов линии передачи на рисунке 7 (b) имеет вид:

$$\hat{\mathbf{Z}}_{TL} = \begin{bmatrix} \hat{\mathbf{Z}}_e & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \hat{\mathbf{Z}}_o \end{bmatrix}.$$

Поэтому матрица полного сопротивления физических разъемов линии передачи (рисунок 7 (а)) рассчитывается следующим образом:

$$\mathbf{Z}_{TL} = \mathbf{C}_4 \hat{\mathbf{Z}}_{TL} \mathbf{C}_4 = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} & z_{14} \\ z_{12} & z_{11} & z_{14} & z_{13} \\ z_{13} & z_{14} & z_{11} & z_{12} \\ z_{14} & z_{13} & z_{12} & z_{11} \end{bmatrix}, \quad \begin{aligned} z_{11} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \cot \phi_o) \\ z_{12} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \operatorname{cosec} \phi_e + Z_{0o} \operatorname{cosec} \phi_o) \\ z_{13} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \cot \phi_o) \\ z_{14} &= -\frac{j}{2}(Z_{0e} \operatorname{cosec} \phi_e - Z_{0o} \operatorname{cosec} \phi_o) \end{aligned}$$

В случае замкнутого шлейфа (рисунок 6 (а)) конечные условия задаются как:

$$\bar{v}_4 = \bar{v}_2, \bar{i}_4 = -\bar{i}_2.$$

Поэтому входное и выходное напряжения и токи имеют следующее соотношение:

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} - \star & z_{13} + \star \\ z_{13} + \star & z_{11} - \star \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_1 \\ \bar{i}_3 \end{bmatrix}, \quad \star = -\frac{jZ_{0o}}{2 \cos \phi_o \sin \phi_o},$$

что может быть выражено матрицей полного сопротивления:

$$\mathbf{Z}_{ss} = -\frac{j}{2} \begin{bmatrix} Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \tan \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \tan \phi_o \\ Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \tan \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \tan \phi_o \end{bmatrix}.$$

В случае разомкнутого шлейфа (рисунок 6 (b)), конечное условие задается как:

$$\bar{i}_2 = \bar{i}_4 = 0.$$

Поэтому входное и выходное напряжения и токи имеют следующее соотношение:

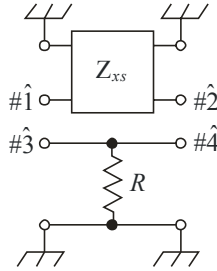
$$\begin{bmatrix} \bar{v}_1 \\ \bar{v}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{13} \\ z_{13} & z_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{i}_1 \\ \bar{i}_3 \end{bmatrix},$$

что может быть выражено матрицей полного сопротивления:

$$\mathbf{Z}_{os} = -\frac{j}{2} \begin{bmatrix} Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \cot \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \cot \phi_o \\ Z_{0e} \cot \phi_e - Z_{0o} \cot \phi_o & Z_{0e} \cot \phi_e + Z_{0o} \cot \phi_o \end{bmatrix}.$$

РИСУНОК 8

Анализ с действующим шунтовым сопротивлением, подключенным к заземлению



Report SM.2212-08

Для анализа линии передачи, односторонне нагруженной с помощью последовательного шлейфа (рисунок 6), другой проводник заземляется через сопротивление R , как показано на рисунке 8. В этом случае матрица полного сопротивления проводника задается как:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R & R \\ R & R \end{bmatrix},$$

а матрица полного сопротивления всей цепи на рисунке 8 задается как:

$$\mathbf{Z}_{xs4} = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}_{xs} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R} \end{bmatrix},$$

где нижний индекс $x = o$ для разомкнутого шлейфа и $x = s$ для замкнутого шлейфа. Это переводится в матрицу полного сопротивления смешанной моды:

$$\hat{\mathbf{Z}}_{xs} = \mathbf{C}_4 \mathbf{Z}_{xs4} \mathbf{C}_4 = \begin{bmatrix} \hat{z}_{11} & \hat{z}_{12} & \hat{z}_{13} & \hat{z}_{14} \\ \hat{z}_{12} & \hat{z}_{11} & \hat{z}_{14} & \hat{z}_{13} \\ \hat{z}_{13} & \hat{z}_{14} & \hat{z}_{11} & \hat{z}_{12} \\ \hat{z}_{14} & \hat{z}_{13} & \hat{z}_{12} & \hat{z}_{11} \end{bmatrix}.$$

Матрица рассеяния смешанной моды для цепи последовательного шлейфа, показанной на рисунке 6, рассчитывается путем взятия предела:

$$\hat{\mathbf{S}} = \lim_{R \rightarrow \infty} \frac{\hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} \hat{\mathbf{Z}}_{xs} \hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} - \mathbf{1}_4}{\hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} \hat{\mathbf{Z}}_{xs} \hat{\mathbf{W}}_0^{-1/2} + \mathbf{1}_4} = \begin{bmatrix} \hat{s}_{11} & \hat{s}_{12} & \hat{s}_{13} & \hat{s}_{14} \\ \hat{s}_{12} & \hat{s}_{11} & \hat{s}_{14} & \hat{s}_{13} \\ \hat{s}_{13} & \hat{s}_{14} & \hat{s}_{33} & \hat{s}_{34} \\ \hat{s}_{14} & \hat{s}_{13} & \hat{s}_{34} & \hat{s}_{33} \end{bmatrix}.$$

где:

$$\hat{\mathbf{W}}_0 = \begin{bmatrix} W_e & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_e & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_o & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_o \end{bmatrix},$$

W_e и W_o обозначают эталонное полное сопротивление четных и нечетных мод соответственно, а $\mathbf{1}_4$ – это единичная матрица четвертого порядка.

A1.1.2 Результаты

Элементы матрицы рассеяния смешанной моды линии передачи, односторонне нагруженной с помощью последовательного замкнутого шлейфа, задаются следующим образом:

$$\begin{aligned} \hat{s}_{11} &= \frac{(W_e^2 - W_o^2)Z_{0o} \sin \phi_e \sin \phi_o + 2jW_o(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - W_e^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{12} &= \frac{2W_e[2W_o Z_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + W_o^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{13} &= \frac{2j\sqrt{W_e W_o}(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - W_e W_o \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{14} &= \frac{2\sqrt{W_e W_o}[(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_e \sin \phi_o - j(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + W_e W_o \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{33} &= \frac{-(W_e^2 - W_o^2)Z_{0o} \sin \phi_e \sin \phi_o + 2jW_e(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - W_o^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]} \\ \hat{s}_{34} &= \frac{2W_o[2W_e Z_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0e}Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + W_e^2 \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(W_o + W_e) \sin \phi_e][2W_e W_o \cos \phi_o + j(W_o + W_e)Z_{0o} \sin \phi_o]}, \end{aligned}$$

где:

$$\begin{aligned} S_{11} &= S_{22} && \text{— отражения четной моды;} \\ S_{12} &= S_{21} && \text{— передачи четной моды;} \\ S_{13} &= S_{31} = S_{24} = S_{42} && \text{— обратные преобразования мод;} \\ S_{14} &= S_{41} = S_{23} = S_{32} && \text{— прямые преобразования мод;} \\ S_{33} &= S_{44} && \text{— отражения нечетной моды;} \\ S_{34} &= S_{43} && \text{— передачи нечетной моды;} \end{aligned}$$

Z_{0e} и Z_{0o}	– обозначают характеристическое полное сопротивление четных и нечетных мод;
ϕ_e и ϕ_o	– обозначают чередования фаз четных и нечетных мод;
W_e и W_o	– это эталонные полные сопротивления портов четных и нечетных мод соответственно. Они являются наиболее общими выражениями.

Матрица рассеяния смешанной моды для последовательного разомкнутого шлейфа получается путем подстановки $\phi_o + \pi/2$ в ϕ_o для приведенных выше выражений, а ϕ_e остается неизменной. Поэтому общие выражения для последовательного разомкнутого шлейфа опущены для краткости.

Ниже выбираются эталонные полные сопротивления, равные характеристическим полным сопротивлениям, то есть $W_e = Z_{0e}$ и $W_o = Z_{0o}$, для устранения ошибочного отражения на интерфейсах и искусственного резонанса.

После этого элементы матрицы рассеяния смешанной моды для последовательного замкнутого шлейфа задаются следующим образом:

$$\begin{aligned}
 \hat{s}_{11} &= \frac{(Z_{0e}^2 - Z_{0o}^2) \sin \phi_e \sin \phi_o + 2j Z_{0e} (Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o - Z_{0e} \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\
 \hat{s}_{12} &= \frac{2Z_{0e}[2Z_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0e} \cos \phi_e \sin \phi_o + Z_{0o} \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\
 \hat{s}_{13} &= \frac{2j\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}Z_{0e} \sin(\phi_o - \phi_e)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\
 \hat{s}_{14} &= \frac{2\sqrt{Z_{0e}Z_{0o}}[(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e \sin \phi_o - jZ_{0e} \sin(\phi_e + \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\
 \hat{s}_{33} &= \frac{-(Z_{0e}^2 - Z_{0o}^2) \sin \phi_e \sin \phi_o + 2j Z_{0e} (Z_{0e} \cos \phi_e \sin \phi_o - Z_{0o} \sin \phi_e \cos \phi_o)}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} \\
 \hat{s}_{34} &= \frac{2Z_{0e}[2Z_{0e} \cos \phi_e \cos \phi_o + j(Z_{0o} \cos \phi_e \sin \phi_o + Z_{0e} \sin \phi_e \cos \phi_o)]}{[2Z_{0e} \cos \phi_e + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_e][2Z_{0e} \cos \phi_o + j(Z_{0o} + Z_{0e}) \sin \phi_o]} .
 \end{aligned}$$

Приведенные выше выражения имеют достаточно общий характер, когда одни и те же двухпроводные линии передачи используются как для шлейфа, так и для линий передачи вокруг шлейфа.

Потери в линии передачи можно включить как мнимую часть чередования фаз. Например, потери четной моды можно включить в виде $\phi_e = \beta_e l(1 - j\alpha_e/\beta_e)$, если постоянная распространения четной моды задается формулой $\gamma_e = \alpha_e + j\beta_e$.

Простейший случай

Если допустить, что $Z_{0e} = Z_0$, а $\phi_e = \phi_o$, то элементы матрицы рассеяния последовательного замкнутого шлейфа будут иметь следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \hat{s}_{11} &= \hat{s}_{13} = \hat{s}_{33} = 0, \\
 \hat{s}_{12} &= e^{-j\phi} \cos \phi, \\
 \hat{s}_{14} &= -je^{-j\phi} \sin \phi,
 \end{aligned}$$

что соответствует описанию в п. 2.1.4.3 Отчета МСЭ-R SM.2158 на основе простой модели фазовращателя. Поскольку $Z_{0e} = Z_{DM}/2$ и $Z_{0o} = 2Z_{CM}$, то приведенные выше условия совпадают с $Z_{CM} = Z_{DM}/4$.

Численные результаты

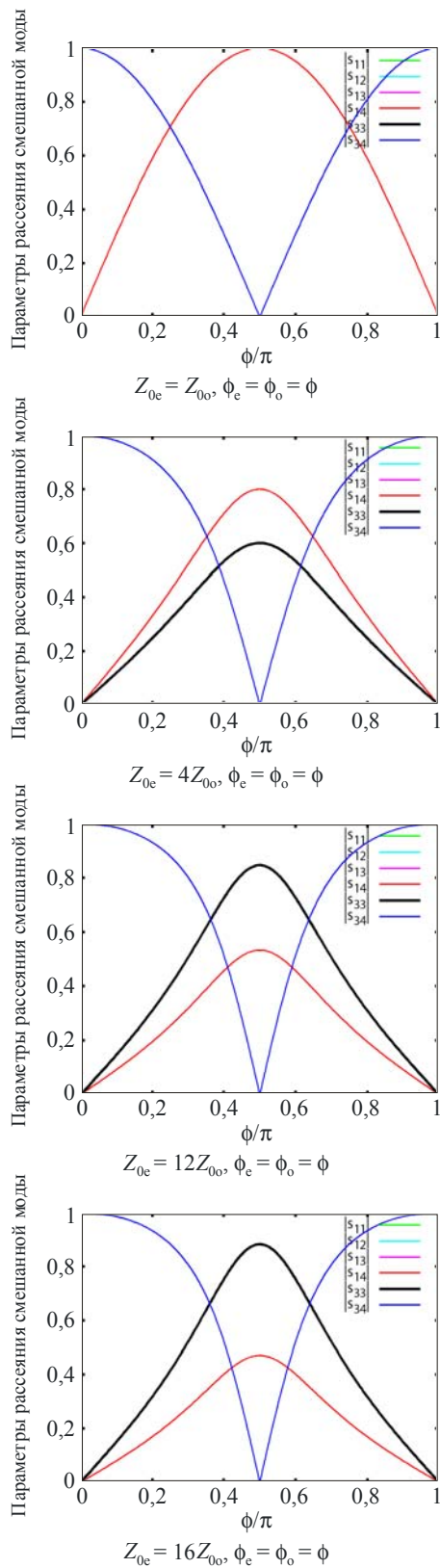
Ниже приведены различные численные примеры, рассчитанные на основе общих выражений для последовательных замкнутых шлейфов, и последовательных разомкнутых шлейфов, для изучения влияния характеристических полных сопротивлений, рассеяния моды (разность фазовых скоростей между четными и нечетными модами) и/или уровней потерь. На рисунках 9–14 горизонтальные оси

отображают чередование фаз нечетной моды ϕ_o , разделенное на число π . По центру (0,5) горизонтальной оси $\phi_o = \pi/2$. Если длина шлейфа l соответствует четверти длины волны нечетной моды на частоте f_0 , то $\phi_o = \beta_o l = \pi/2f_0$. Поэтому горизонтальная ось рассматривается как $f/2f_0$, частота f делится на $2f_0$ и центр оси (0,5) соответствует $f = f_0$.

Вертикальная ось показывает абсолютное значение элементов матрицы рассеяния смешанной моды. Что касается преобразований моды в шлейфе, значение имеют только $s_{13} = s_3$ (красные кривые), которые отображают межмодовые прямые рассеяния и $s_{14} = s_{41}$ (лиловые кривые), которые отображают межмодовые обратные рассеяния. Другие элементы соответствуют отражениям или передачам в пределах тех же мод.

РИСУНОК 9

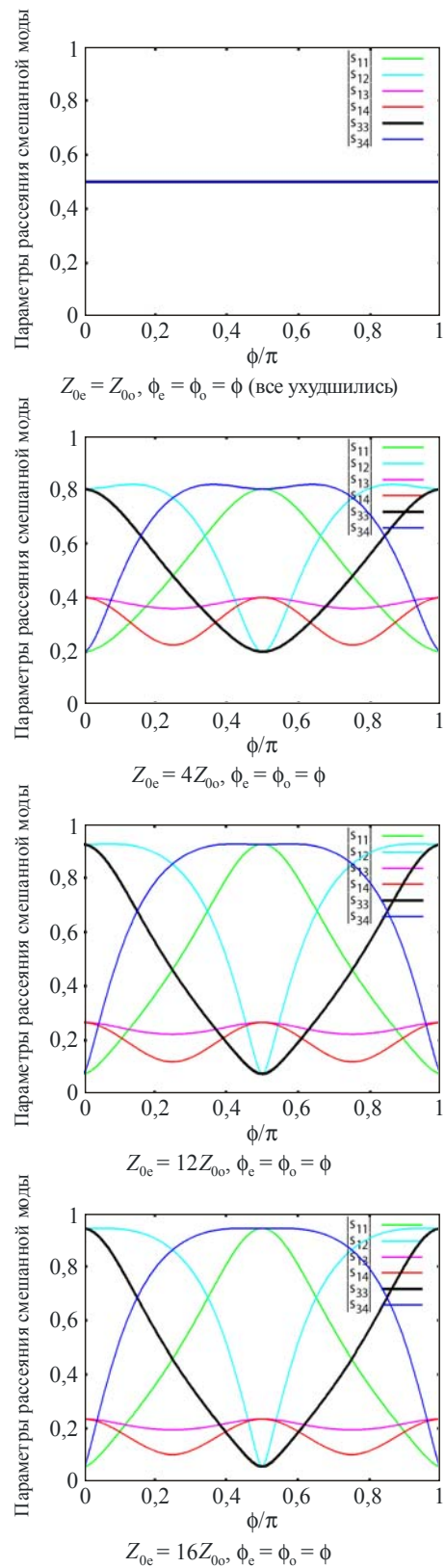
Последовательный замкнутый шлейф (без потерь)
с различными характеристическими полными сопротивлениями
Отмечается, что $s_{13}=0$, $|s_{11}|=|s_{33}|$, $|s_{12}|=|s_{34}|$, поскольку $\phi_e=\phi_o$



Report SM.2212-09

РИСУНОК 10

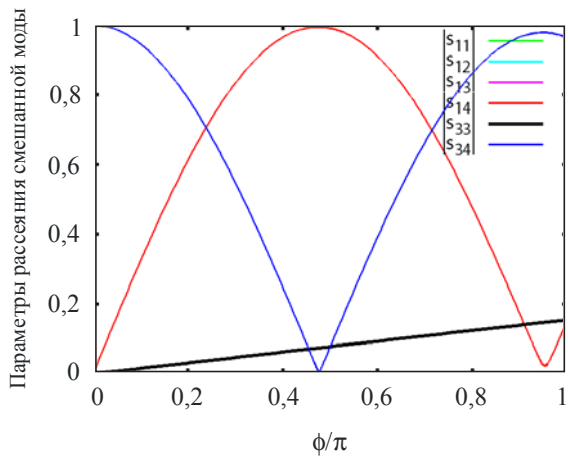
Последовательный разомкнутый шлейф (без потерь)
с различными характеристическими полными сопротивлениями



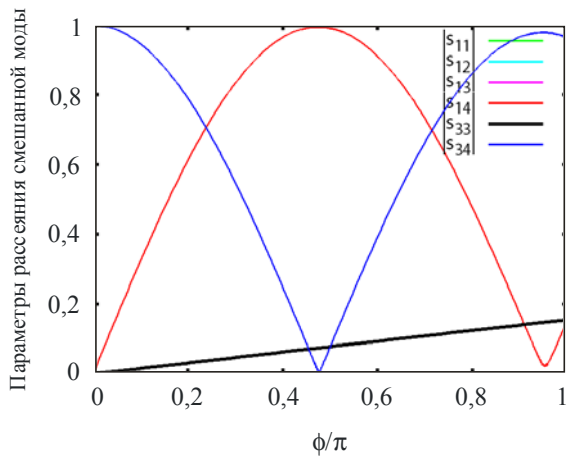
Report SM.2212-10

РИСУНОК 11

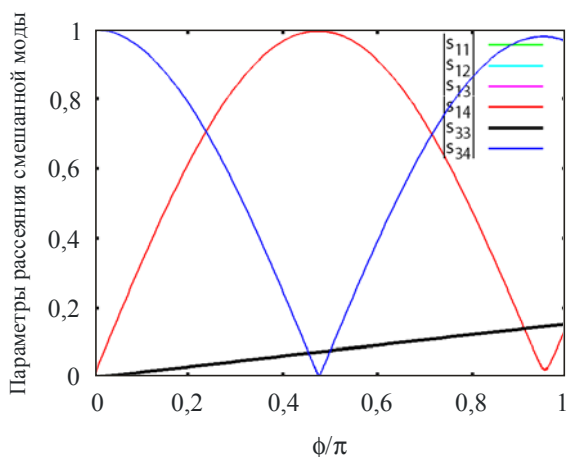
Последовательный замкнутый шлейф с модовой дисперсией и/или потерями ($Z_{0e} = Z_{0o}$)



Четная мода с потерями $\phi_e = \phi_o = \phi, \alpha_e/\beta_e = 0,05$



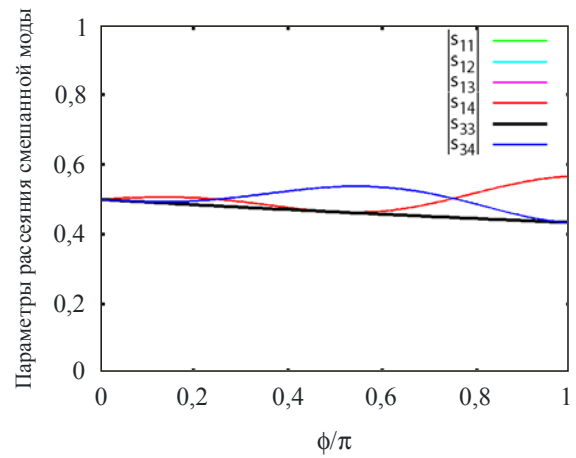
Модовая дисперсия, четная мода с потерями
 $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi, \alpha_e/\beta_e = 0,05$



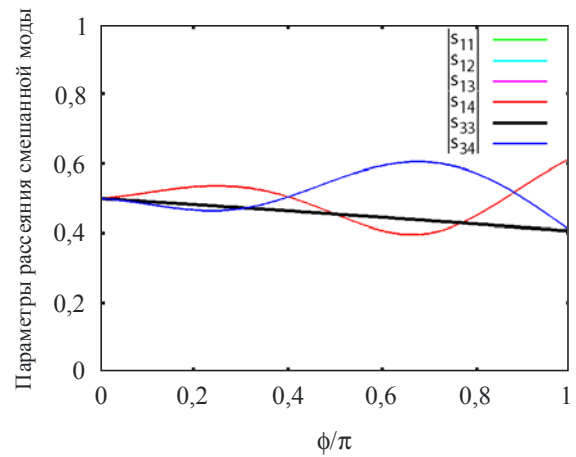
Модовая дисперсия $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$

РИСУНОК 12

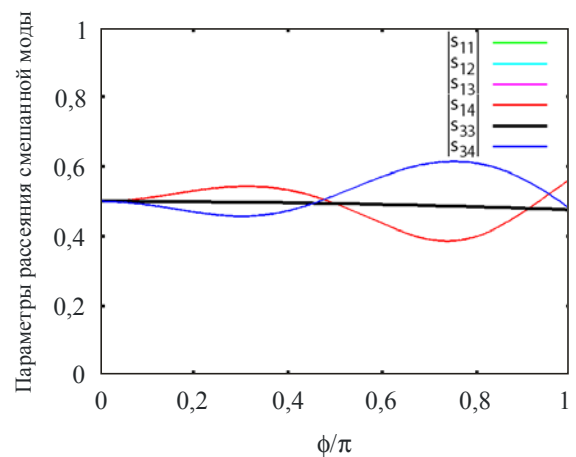
Последовательный разомкнутый шлейф с модовой дисперсией и/или потерями ($Z_{0e} = Z_{0o}$)



Четная мода с потерями $\phi_e = \phi_o = \phi, \alpha_e/\beta_e = 0,05$



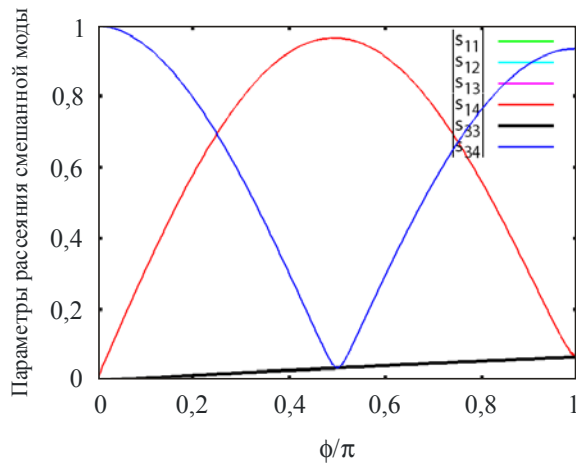
Модовая дисперсия, четная мода с потерями
 $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi, \alpha_e/\beta_e = 0,05$



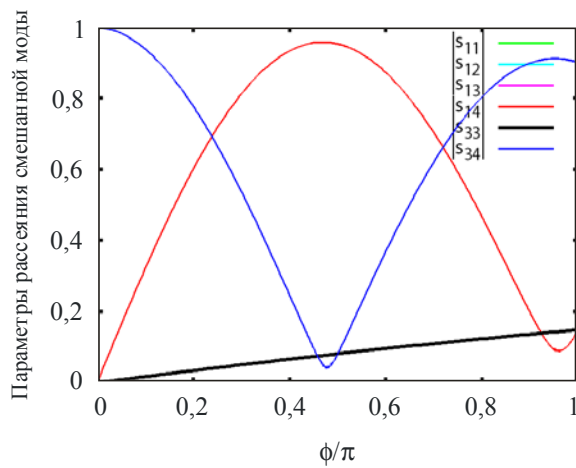
Модовая дисперсия $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$

РИСУНОК 13

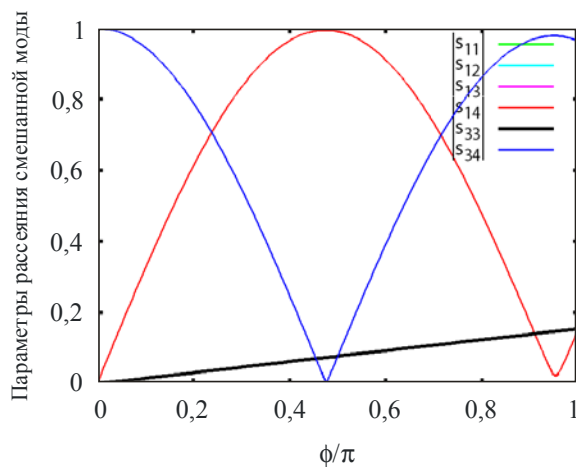
Последовательный замкнутый шлейф с модовой дисперсией и/или потерями ($Z_{0e} = 12Z_{0o}$)



Четная мода с потерями $\phi_e = \phi_o = \phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



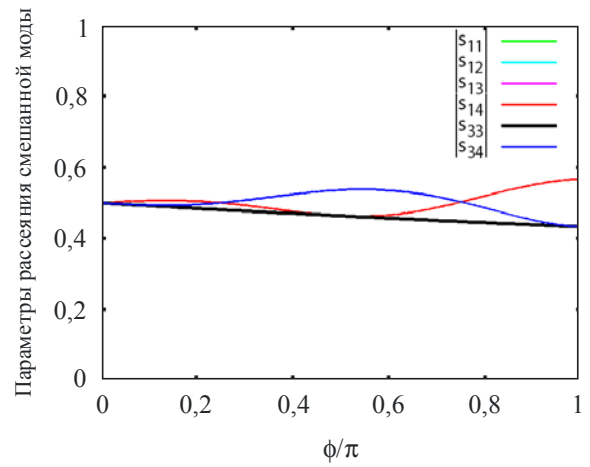
Модовая дисперсия, четная мода с потерями
 $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



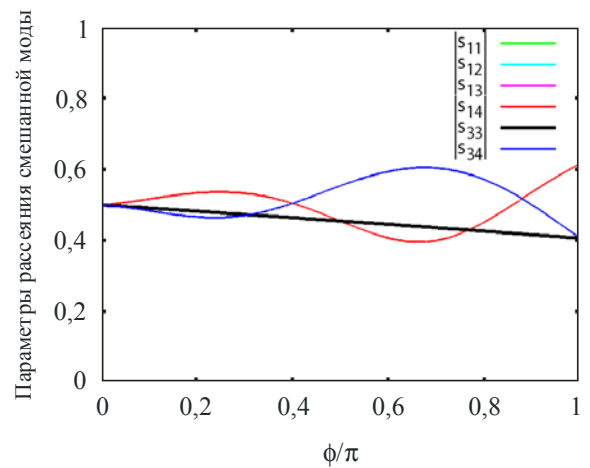
Модовая дисперсия $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$

РИСУНОК 14

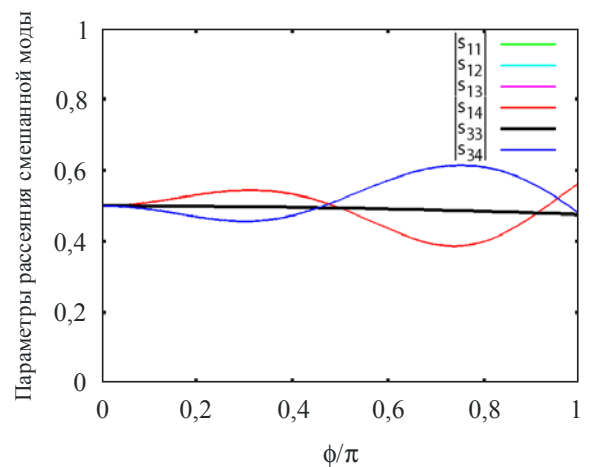
Последовательный разомкнутый шлейф с модовой дисперсией и/или потерями ($Z_{0e} = 12Z_{0o}$)



Четная мода с потерями $\phi_e = \phi_o = \phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



Модовая дисперсия, четная мода с потерями
 $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$, $\alpha_e/\beta_e = 0,05$



Модовая дисперсия $\phi_e = 1,1\phi_o = 1,1\phi$

A1.1.3 Выводы

Были сформулированы общие выражения для элементов матрицы рассеяния смешанной моды симметричной линии передачи, односторонне нагруженной с помощью последовательного шлейфа. В качестве простейшего случая общих выражений была проверена простая модель одностороннего фазовращателя последовательного замкнутого шлейфа, использованного в анализе, приведенном в п. 2.1.4.3 Отчета МСЭ-R SM.2158. Общие выражения для элементов матрицы рассеяния смешанной моды, которые отображают межмодовые рассеяния между четными и нечетными модами, а также численные расчеты для различных условий позволяют предположить, что четные и нечетные моды сильно связаны в широком спектральном диапазоне, а не только на частотах, при которых длина шлейфа кратна четверти длины волны нечетной моды.

Результаты показывают, что токи сигналов четной моды той же величины, что и токи сигналов нечетной моды возникают в проводах домашней сети электропитания, количество отводов с переключателями, в которых обычно соответствует количеству комнат, и что спектральная плотность мощности сигнала нечетной моды должна регулироваться до уровня спектральной плотности мощности сигнала четной моды.

Приложение 2

Анализ возможных помех в диапазонах ОВЧ и УВЧ

A2 Помехи системам радиосвязи в диапазонах ОВЧ/УВЧ от гармоник систем связи по линиям электропередачи, работающих в полосах ОВЧ между 80 и 200 МГц

Было проведено широкое исследование требований к защите служб радиовещания в полосе частот до 80 МГц от влияния помех, создаваемых системами PLT. Однако видно, что влиянию гармоник от систем PLT на работу систем радиосвязи в ОВЧ и УВЧ диапазонах уделялось мало внимания.

A2.1 Бытовые радиосистемы

Некоторые системы радиосвязи, работающие в диапазоне частот 88–800 МГц, используются в домашних условиях. К ним относятся системы любительской радиосвязи, радиовещания и телевидения, пейджинговая связь, индивидуальные средства оповещения для пожилых людей или лиц с ограниченными возможностями, устройства контроля и управления медицинскими имплантатами.

Уровни напряженности поля, на которые рассчитаны такие системы, а также уровни, при которых могут возникать помехи, варьируются в весьма широком диапазоне. Также было показано (ссылка 1), что интермодуляция в системах распределения электропитания может снижать глубину режекций спектра, обеспечиваемую в системах PLT, а нелинейности (такие, как эффект "ржавого болта") также приведут к возникновению гармоник. Гармоники, создаваемые системами PLT, работающими на частотах до 200 МГц, вероятно, не будут представлять значительных проблем на частотах выше приблизительно 500 МГц, однако чувствительные системы, работающие ниже этих частот, могут подвергнуться влиянию вредных помех.

Любительские службы, работающие в диапазоне 220 МГц в Районе 2, а также любительская и любительская спутниковая службы, работающие в диапазоне 432 МГц во всех Районах, могут особо пострадать от влияния таких гармоник: чувствительность систем, используемых этими службами, составляет примерно до -40 дБ(мкВ/м). Однако для приема этих служб используются, как правило, внешние антенны, которые располагаются снаружи здания и зачастую на некотором расстоянии от него, поэтому расстояние от антенны до распределительной сети PLT, равное 10 м, является обоснованным предположением. Также обычно предполагается ослабление сигнала в стенах, которое составляет 10 дБ.

Радиовещательные службы, как правило, создают достаточно большие уровни напряженности поля даже внутри зданий. Это, конечно, привело к использованию самых простых антенн, которые зачастую устанавливаются внутри зданий и очень близко к проводам сетей электропитания, что обуславливает относительно высокую вероятность возникновения помех.

К другим службам, которые могут подвергаться влиянию помех, относятся медицинские имплантаты, работающие в полосе частот от 401 до 406 МГц в соответствии с нормами Рекомендации МСЭ-R RS.1346. Такие устройства приобретают все более важное значение в области "электронного здравоохранения", особенно с учетом стоимости медицинских услуг для стареющего населения. В этом случае устройства используются внутри зданий и располагаются близко к проводам сетей электропитания – действительно, так называемые "программаторы", которые являются стационарными блоками, как правило, питаются от электросети, – и таким образом на шнуры питания рассматриваемых устройств поступает сигнал PLT высокого уровня (в том числе интермодуляционные составляющие и гармоники) и далее излучается на их антенны.

Чтобы избежать помех для основного пользователя (вспомогательной службы метеорологии), соответствующими производственными стандартами определен сложный механизм "слушай перед тем как сказать" для этого оборудования, например стандартом EN 301 839 установлен такой низкий порог, как +11 дБ(мкВ/м), выше которого передача запрещается. Поэтому помехи от систем PLT, превышающие этот уровень, не позволят программатору устанавливать связь с имплантатом. Весьма вероятно, что расстояние между излучающими проводами сети электропитания и программатором будет составлять 30 см, поэтому предполагаемые потери могут быть на 30 дБ ниже, чем в случае с любительской связью. Без учета ослабления сигнала в стенах, которое можно ожидать в случае с любительской станцией, или возможных выгод за счет режекции диаграммы направленности антенны, видно, что требования к защите для медицинских имплантатов, касающиеся мощности излучаемых помех от систем PLT, весьма схожи с требованиями для служб любительской связи.

Несмотря на то что пейджинговые службы диапазона ОВЧ утратили свою прежнюю популярность, они все еще используются, поскольку во многих ситуациях они гораздо дешевле по сравнению с альтернативными вариантами, такими как сотовые телефоны. Работая в основном в диапазоне ОВЧ, эти службы подвержены влиянию гармоник и помех на основной частоте от оборудования PLT, функционирующего на частотах до 200 МГц.

Индивидуальные средства оповещения, работающие в диапазоне ОВЧ или в диапазоне 400 МГц, используются пожилыми людьми или лицами с ограниченными возможностями, особенно проживающими в одиночестве или в приюте, для вызова помощи в экстренных случаях. Поскольку эти передатчики должны быть небольшими и легкими – часто их носят, прикрепив к ленте на шее, – и должны иметь небольшие и малоэффективные антенны с излучаемой мощностью всего в несколько милливатт, то необходимо, чтобы приемники обладали высокой чувствительностью. В случае потери человеком сознания, если антенна будет находиться под его телом, произойдет значительное ослабление сигнала, но опять же при этом приемник будет находиться вблизи проводов сети электропитания и напряженность поля принимаемого полезного сигнала может составлять всего лишь 0 дБ(мкВ/м).

A2.1.1 Заключение

Хотя уровень гармоник и интермодуляционных составляющих, выходящих за пределы рабочей полосы частот системы PLT, как ожидается, может понижаться с частотой, влияние резонирующих шнуров питания оборудования, которые приводят к повышению локальной напряженности поля, гораздо более вероятно, чем на низких частотах. Было показано, что требуемый уровень защиты любительской и любительской спутниковой служб на ОВЧ/УВЧ от помех на основной частоте и гармониках систем PLT аналогичен уровню, требуемому для других систем, которые могут использоваться в домашних условиях, при этом отказ каналов связи в этих службах, вызванный влиянием излучаемых вредных помех от систем PLT, может привести к серьезным последствиям.

A2.2 Совместимость между воздушной службой радиосвязи и устройствами PLT внутри зданий в полосе частот от 30 до 380 МГц

Для широкополосной связи по низковольтным электросетям переменного тока и установкам внутри зданий часть оборудования PLT использует диапазон частот до 300 МГц.

Этот анализ совместимости направлен на защиту приема радиосигналов бортовыми приемниками воздушной службы радиосвязи, использующей полосу частот от 30 до 380 МГц.

Требования к совместимости бортовых приемников воздушных служб в полосе от 80 до 380 МГц приведены в п. A2.2.5.1. Соблюдение этих требований приводит к установлению порога помех, который должен выполняться системой PLT (см. п. A2.2.5.2). Для подтверждения того, могут ли системы PLT соответствовать этим предельным значениям, максимальная спектральная плотность мощности, установленная для различных систем PLT в диапазоне частот выше 30 МГц, была преобразована в значение излучаемой мощности/напряженности поля от зданий, в которых ведется широкополосная связь PLT (см. п. A2.2.5.3). В п. A2.2.5.4 показано, в какой степени система PLT может создавать помехи авиационному приемнику.

A2.2.1 Анализ совместимости в воздушной радиосвязи

В 2000 году Федеральное агентство по сетям Германии (BNetzA) провело масштабные измерения цифровых кабельных сигналов для определения значений "полезной минимальной напряженности поля", необходимых для систем VHF COM, UHF COM, VOR, ILS-LOS и VDL Режим 2. Эти значения можно преобразовать в "максимально допустимую напряженность поля помех в бортовом приемнике" путем применения отношения C/I (несущая/помеха), зависящего от системы. Соответствующие значения приведены в таблице 15.

ТАБЛИЦА 15

Требования к совместимости в бортовом приемнике для сигналов с модуляцией COFDM, измеренной с помощью квазипикового детектора (QP) с полосой пропускания 120 кГц

	Полезная минимальная напряженность поля (дБ(мкВ/м))	C/I (дБ)	Максимально допустимая напряженность поля помех (дБ(мкВ/м))
VHF COM Растр 8,3 кГц 117,975–137 МГц	16	10	6
VHF COM Растр 25 кГц 117,975–137 МГц	16	10	6
UHF COM Растр 25 кГц 230–380 МГц	24	7	21
VOR Растр 40 кГц 108–117,975 МГц	39	13	26
ILS-LOC Растр 40 кГц 108,1–111,95 МГц	32	9	23
VDL Режим 2 118–138 МГц	39	9	30

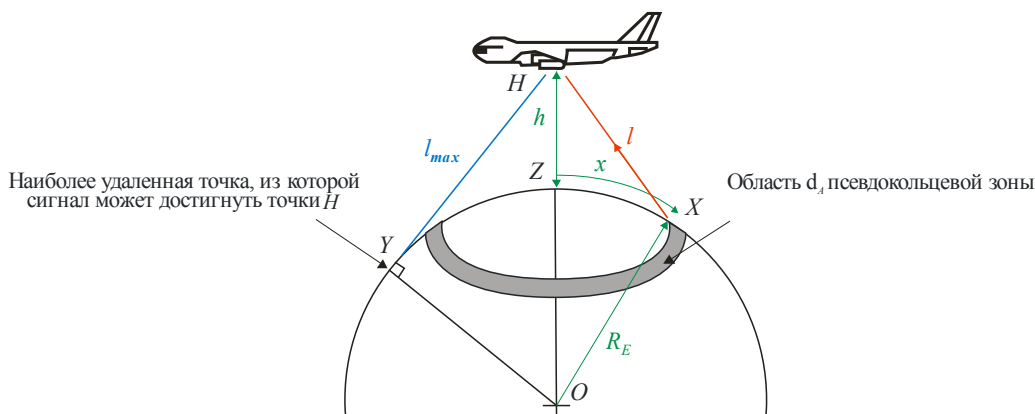
A2.2.2 Вычисление порога помех для систем PLT в соответствии с требованиями к воздушной радиосвязи

A2.2.2.1 Модель совместимости

Для оценки возможных совокупных помех от источников PLT, воздействующих на бортовые приемники, использована модель совместимости, приведенная в *Приложении 7 Отчета 024 ECC*⁵. Эта модель учитывает совокупные влияния источников помех на определенной территории по отношению к плотности источников помех (количество источников помех на квадратный километр). Схема модели показана на рисунке 15. Приемник на борту воздушного судна обслуживает увеличенную зону заметного шума, вызванного источниками помех в совокупности.

РИСУНОК 15

Модель для определения совокупного влияния помех



Report SM.2212-15

В случае одиночной помехи, непосредственно воздействующей на приемник (распространение волн в свободном пространстве), длину пути l можно рассчитать по формуле:

$$f[x] = \frac{1}{4\pi l^2}$$

$$l = \sqrt{R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2},$$

где значения x и l физически ограничены кривизной поверхности Земли:

$$x_{\max} = R_E \text{ArcCos}[R_E / (R_E + h)] \text{ и } l_{\max} = \sqrt{h(h + 2R_E)} \text{ соответственно}$$

$$f[x] = \frac{1}{4\pi (R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2)},$$

$$\text{PFD} = \frac{p_{\text{TX}} g_{\text{TX}} D R_E}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sin\left[\frac{x}{R_E}\right]}{(R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2)} dx$$

⁵ ECC Report 024 (2003), PLT, DSL, Cable Communications (including Cable TV), LANs and their effect on Radio Services, <http://www.ero-docdb.dk/doks/doccategoryECC.aspx?doccatid=4&alldata=1>.

и для нормализованного вида:

$$PFD_{\text{для единичной плотности EIRP}} = \frac{R_E}{2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{\sin\left[\frac{x}{R_E}\right]}{(R_E^2 - 2 \cos\left[\frac{x}{R_E}\right] R_E (h + R_E) + (h + R_E)^2)} dx.$$

A2.2.2.2 Исходные предположения

Для иллюстрации воздействия помех на бортовой приемник в качестве примера был использован город Берлин и его статистические данные:

Площадь города составляет 900 км²; средняя площадь застройки составляет 1,16 × 10⁻³ км². Здания занимают 40% площади (360 км²), поэтому плотность застройки равна 860 зданий/км². В среднем здание имеет 6 квартир, что означает 5200 источников помех/км². Предположительно 10% квартир имеют широкополосный доступ к сети интернет с использованием технологии PLT, поэтому количество источников помех снижается до 500 источников помех/км². Не все модемы PLT будут использоваться одновременно, поэтому плотность источников помех уменьшаем еще на 50%. Это означает, что плотность источников помех составляет порядка 250 источников помех/км² для города, подобного Берлину.

A2.2.2.3 Расчет

Используя максимально допустимое значение напряженности поля помех из таблицы 15, можно рассчитать допустимую плотность потока мощности PFD в приемнике по формуле:

$$PFD = \frac{E^2}{120\pi},$$

где:

PFD : плотность потока мощности (Вт/м²);

E : максимально допустимая напряженность поля помех (В/м).

С помощью модели совместимости, описанной в п. A2.2.2.1, можно далее рассчитать допустимую мощность излучения одного источника шума PLT.

$$h = 1 \text{ км} \quad R_E = 6371 \text{ км} \quad D = \frac{250}{\text{км}^2} \quad G_{TX} = 1,64 \quad \text{дБи}$$

$$P_{TX} = \frac{2 \cdot PFD}{D \cdot R_E \cdot G_{TX} \cdot \int_{x_1}^{x_2(h)} \frac{\sin\left(\frac{x}{R_E}\right)}{\left[R_E^2 - 2 \cdot \cos\left(\frac{x}{R_E}\right) \cdot R_E \cdot (h + R_E) + (h + R_E)^2\right]} dx}$$

$$p_{TX} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{TX}}{10^{-3} \text{ W}}\right)$$

где:

h : высота полета (км);

R_E : радиус Земли (км);

G_{TX} : коэффициент усиления антенны изотропного излучателя (дБи);

D : плотность источников помех (количество источников помех/км²);

PFD : плотность потока мощности (Вт/м²).

Расчеты были также выполнены для значений высоты полета 300 м, 1000 м и 10 км. Разница между 300 м и 10 км составляет всего 2 дБ; это означает, что высоту полета можно не принимать в расчет.

Обобщенные результаты, полученные для высоты 1 км при плотности источников помех в 250 источников помех/км², приведены в таблице 16. В этой таблице приведены данные о максимально допустимой напряженности поля помех из таблицы 1, расчетной максимальной PFD, определенной в бортовом приемнике, а также о результирующей максимально допустимой мощности излучения одного источника шума PLT, расположенного на земле.

ТАБЛИЦА 16

Максимально допустимая мощность излучения одного источника шума PLT, измеренная с помощью квазипикового детектора (QP) с полосой пропускания 120 кГц

	Максимально допустимая напряженность поля помех в бортовом приемнике (дБ(мкВ/м))	PFD Максимально допустимая плотность потока мощности в бортовом приемнике (пВт/м²)	РТХ Максимально допустимая мощность излучения одного источника шума PLT
VHF COM Растр 8,3 кГц 117,975–137 МГц	6	0,0106	–80 дБм/10 дБ(пВт)
VHF COM Растр 25 кГц 117,975–137 МГц	6	0,0106	–80 дБм/10 дБ(пВт)
UHF COM Растр 25 кГц 230–380 МГц	21	0,334	–65 дБм/25 дБ(пВт)
VOR Растр 40 кГц 108–117,975 МГц	26	1,056	–60 дБм/30 дБ(пВт)
ILS-LOC Растр 40 кГц 108,1–111,95 МГц	23	0,529	–63 дБм/27 дБ(пВт)
VDL Режим 2 118–138 МГц	30	2,653	–56 дБм/34 дБ(пВт)

Значения для максимально допустимой мощности излучения одного источника шума PLT варьируются для различных служб в диапазоне от 10 до 34 дБ(пВт).

A2.2.3 Вычисление плотности потока мощности, обусловленной предельными значениями исходя из стандартов систем PLT

Соответствующими стандартами, например МСЭ-T и IEEE, определена максимальная спектральная плотность мощности для устройств PLT, предназначенных для внутренней связи.

ТАБЛИЦА 17

Максимальная спектральная плотность мощности, установленная различными организациями

	Максимальная плотность мощности для устройств PLT на частотах выше 30 МГц
Поправка 1 к Рек. МСЭ-T G.9960	–85 дБм/Гц (среднеквадратичное значение)
Проект стандарта IEEE P1901	–85 дБм/Гц (среднее значение)

Для шумоподобных сигналов связи соотношение между показаниями измерительного приемника, полученное от различных детекторов выглядит следующим образом:

- a) пиковый (PK) 0 дБ – эталонное значение;
- b) квазипиковый (QP) –2 дБ;
- c) среднеквадратичный (r.m.s.) –10 дБ;
- d) средний (AV) –12 дБ;

В следующем расчете используется максимальный уровень PSD при передаче –85 дБ/Гц (среднеквадратичное значение). Максимальная спектральная плотность мощности принимается постоянной для частот выше 30 МГц. Преобразование в совокупную излучаемую напряженность поля на расстоянии 10 м от здания (измеренная с помощью пикового детектора) была выполнена тем же методом (моделирование методом конечных элементов). Для предполагаемой изотропной антенны напряженность поля можно преобразовать в мощность по формуле:

$$P_t = E + 20 \log d - 74,8 ,$$

где:

E : напряженность поля дБ(мкВ/м);

P_t : мощность (дБм);

d : расстояние (км).

Для расчета были приняты те же допущения, что и в п. A2.2.2.2: плотность источников помех 250 источников помех/км² и высота полета 1 км.

ТАБЛИЦА 18

Максимальная плотность потока мощности в бортовом приемнике

Максимальная спектральная плотность мощности для устройств PLT на частотах выше 30 МГц	Совокупная излучаемая напряженность поля на расстоянии 10 м от здания	Совокупная мощность, соответствующая напряженности поля	PFD Совокупная плотность потока мощности в бортовом приемнике
–85 дБм/Гц (среднеквадратичное значение)	33 дБ(мкВ/м) (пиковое значение)	4 нВт (пиковое значение)	3,903 пВт/м ² (пиковое значение)

Исходя из данных таблицы 18 видно, что устройство PLT с максимальной спектральной плотностью мощности –85 дБм/Гц (среднеквадратичное значение) создает излучение с напряженностью поля 33 дБ(мкВ/м), измеренное с помощью пикового детектора.

A2.2.4 Сравнение требуемого порога помех для бортового радиоприемника с уровнем помех, вызываемых системами PLT

Максимально допустимая напряженность поля помех и плотность потока мощности в бортовом приемнике приведены в таблице 16. Соответствующая совокупная плотность потока мощности в бортовом приемнике, излучаемая устройствами PLT, приведена в таблице 18. Это значение преобразуется в максимальную излучаемую напряженность поля в бортовом приемнике.

Допустимая напряженность поля и спектральная плотность мощности (PSD) (см. п. A2.2.2) сравниваются с излучаемыми уровнями напряженности поля (см. п. 4) в таблице 19. Для лучшего сравнения пиковые значения, использованные для помех от устройств PLT в таблице 18, указаны для квазипикового детектора, то есть с уменьшением на 2 дБ.

ТАБЛИЦА 19

Сравнение максимально допустимой и совокупной излучаемой напряженности поля в бортовом приемнике и пороговое значение, требуемое для защиты (все значения приведены в единицах QP)

	Максимально допустимая напряженность поля помех (дБ(мкВ/м))	Максимально допустимая плотность потока мощности (пВт/м ²)	Совокупная излучаемая напряженность поля (дБ(мкВ/м))	Совокупная излучаемая плотность потока мощности (пВт/м ²)	Пороговое значение, требуемое для защиты (дБ)
VHF COM Растр 8,3 кГц 117,975–137 МГц	6	0,0106	30	2,512	–24
VHF COM Растр 25 кГц 117,975–137 МГц	6	0,0106	30	2,512	–24
UHF COM Растр 25 кГц 230–380 МГц	21	0,334	30	2,512	–9
VOR Растр 40 кГц 108–117,975 МГц	26	1,056	30	2,512	–4
ILS-LOC Растр 40 кГц 108,1– 111,95 МГц	23	0,529	30	2,512	–7
VDL Режим 2 118–138 МГц	30	2,653	30	2,512	0

В последней колонке таблицы 19 приведено пороговое значение, которое необходимо для снижения помех, вызванных устройствами PLT. Допуская максимальную спектральную плотность мощности для устройств PLT –85 дБм/Гц (среднеквадратичное значение), для ОВЧ-систем потребуется снижение в 24 дБ. Пороговые значения варьируются от 0 до –24 дБ в зависимости от системы.

Эти расчеты были выполнены для плотности источников помех, составляющей 250 источников помех/км². Величина поправки находится в линейной зависимости от плотности источников помех (также см. Документ 1А/157).

ТАБЛИЦА 20

Величина поправки в зависимости от плотности источников помех

Плотность источников помех (количество источников помех/км ²)	Величина поправки (дБ)
50	7
100	4
150	2
200	1
250	0
300	–1

A2.2.5 Выводы

Предполагая значение максимальной спектральной плотности мощности для устройств PLT, равное -85 дБм/Гц (среднеквадратичное значение), которое в настоящее время определено, например, в Рекомендации МСЭ-T G.9960, все исследованные системы воздушной радиосвязи в диапазоне частот выше 80 МГц, за исключением VDL Режим 2, будут подвергаться воздействию помех в бортовом приемнике от устройств PLT. К рассматриваемым системам относятся системы VHF COM, UHF COM, VOR и ILS LOC.

Пороговое значение, требуемое для защиты систем воздушной радиосвязи, достигает 24 дБ для систем ОБЧ. Другими словами, максимальная спектральная плотность мощности для устройств PLT должна быть уменьшена на это пороговое значение.

A2.3 Модель совокупности PLT, применимая к системам воздушной радиосвязи и воздушной радионавигации

При условии потерь в свободном пространстве минимальные потери из-за переходного затухания можно преобразовать в минимальное расстояние до одиночного источника по следующей формуле:

$$L_{bf} = 32,4 + 20\log(f) + 20\log(d),$$

где:

- L_{bf} : основные потери в свободном пространстве при передаче (дБ);
- f : частота (МГц);
- d : расстояние (км).

Объединение всех одиночных точечных источников может быть выполнено по следующей формуле:

$$A = \frac{W_{eirp} \lambda^2 G_r \rho R_e}{16\pi(R_e + h)} \cdot \ln\left(\frac{2(R_e + h)H + h^2}{h^2}\right),$$

где:

- A : средняя совокупная помеха (ватт на единицу полосы пропускания);
- W_{eirp} : эквивалентный средний уровень EIRP устройства PLT (ватт на единицу полосы пропускания);
- λ : длина волны (м);
- G_r : усиление антенны приемника, испытывающего помехи (дБ);
- ρ : средняя плотность излучателей PLT (количество излучателей на м²);
- R_e : эффективный радиус Земли (м);
- R : радиус наблюдаемой зоны или радиогоризонта;
- h : высота приемной антенны над поверхностью земли (м);
- H : $R_e(1 - \cos(R/R_e))$.

Приложение 3

Радиочастотное излучение от систем PLT в диапазонах ОВЧ и УВЧ

А3 Радиочастотное излучение от систем PLT в диапазонах ОВЧ и УВЧ

В этом Приложении рассмотрено влияние излучения проводных систем электросвязи, в том числе систем связи по линиям электропередачи (систем PLT) на службы радиосвязи, а также критерии, необходимые для защиты от помех. Первоначально системы PLT работали на частотах ниже 30 МГц, поэтому излучение, создаваемое ими, также находилось в этом диапазоне. К сожалению, в настоящее время наблюдается рост использования проводки электрической сети для широкополосной передачи данных. Проводка электрической сети, как правило, не предназначалась и не прокладывалась для целей обеспечения широкополосной передачи данных, в результате эта проводка становится источником побочных излучений. Любой радиовещательный приемник, работающий рядом с проводами сетей электропитания, используемых устройствами PLT, воспринимает такое излучение как повышение минимального уровня шумов. Это влияет на способность приемника различать сигналы низкого уровня. Измерения устройств PLT показывают, что излучение происходит на частотах, далеко выходящих за пределы 300 МГц. Данные выводы и влияние устройств PLT на службы радиосвязи обобщены в настоящем Отчете.

Это Приложение содержит данные анализов, лабораторных и натурных испытаний, а также различных измерительных программ, которые описаны в Отчете МСЭ-R SM.2158 и МСЭ-R SM.2157.

А3.1 Измерения модемов PLT, проведенные Институтом вещательных технологий (Institut für Rundfunktechnik GmbH)

В этом разделе приведена техническая информация, касающаяся функциональных характеристик и параметров излучения некоторых систем PLT. Данная информация включает результаты измерений использования спектра современными модемами связи по линиям электропередачи (PLT), проведенных Институтом вещательных технологий (Institut für Rundfunktechnik GmbH) – центральным проектно-исследовательским и опытно-конструкторским центром организаций общественного вещания в Германии, Австрии и Швейцарии. Информация, приведенная в этом Приложении, предназначена для помощи в оценке помех от устройств PLT.

А3.1.1 Обзор измерений

Две предыдущие PLT-технологии, использовавшиеся в Европе до 2010 года, работали в диапазоне частот 2–30 МГц для стандарта Homeplug AV и 2–32 МГц для стандарта UPA. Частотная режекция применяется для снижения помех сигналам в пределах полос частот, используемых операторами любительской радиосвязи. Также мощность передачи в различных полосах частот снижена приблизительно на 30 дБ для того, чтобы снизить помехи для других пользователей, использующих эти полосы частотного спектра. С конца 2009 года в продажу поступили адаптеры, которые, как предполагается, позволят передавать данные со скоростью 1 Гбит/с (пиковая скорость). В отличие от стандарта Homeplug AV, в Рекомендации МСЭ-R G.9960 (06/10) и стандарте IEEE-1901 (также называемом Homeplug AV2) используются значительно более широкие полосы частот (от 2 до 30 МГц и от 50 до 305 МГц), которые включают диапазон II ОВЧ (ЧМ), а также диапазон III (DAB). Задачей измерений по использованию спектра этими технологиями PLT, в частности образцом, представляющим технологию mediastream, а именно набором микросхем Gigabit от фирмы Gigle⁶, было определить их эксплуатационные характеристики в реальных условиях нагрузки на линии электросетей, а также возможные уровни излучений. Остается выяснить величину помех и вредных воздействий, которые могут возникать в радиовещательных полосах при использовании этих адаптеров PLT.

⁶ В декабре 2010 года Gigle Networks Inc. была приобретена компанией Broadcom.

А3.1.2 Эксплуатационные характеристики систем PLT

Несмотря на тот факт, что во всей продукции Allnet, Devolo и Zyxel используется идентичный набор микросхем Intellon INT6300, а в продукции AcBel и Conceptronic – идентичный набор микросхем DS2 DSS9010, можно найти ряд различий в характеристиках этих двух чипсетов. Измеренные значения показывают очень хорошие характеристики всех устройств связи по линиям электропередачи, работающих в соответствии с протоколом управления передачей данных (TCP). Даже на расстоянии 22 м и при различных фазах тока, скорость передачи данных достигает значений от 50 до 74 Мбит/с, что, например, обеспечивает потоковую передачу двух сигналов HD с достаточным резервом для управления передачей данных со скоростью 10 Мбит/с в других целях. Адаптеры производства Allnet, Devolo и Zyxel, а также адаптеры производства AcBel и Conceptronic имеют номинальную максимальную скорость передачи данных 200 Мбит/с, что соответствует максимальной фактической скорости передачи данных 80 Мбит/с. Адаптеры Belkin Gigabit Powerline HD⁷ с набором микросхем mediastream производства Giga (GGL541) должны анализироваться отдельно, поскольку они являются единственными адаптерами и поддерживают номинальную максимальную скорость передачи 1000 Мбит/с. В реальных условиях работы максимальная фактическая скорость передачи данных может быть значительно ниже. Тем не менее при использовании спектра 50–305 МГц набор микросхем Giga GGL541 обеспечивает существенно более высокую скорость передачи данных, чем наборы микросхем от Intellon (2–30 МГц) и DS2 (2–32 МГц). Адаптеры Belkin продемонстрировали это, например, на расстоянии 2,3 м. На "более коротких расстояниях" эксплуатационные характеристики набора микросхем Giga превосходят соответствующие показатели набора микросхем Intellon и DS2 на коэффициент 3,5. На расстоянии 22 м характеристики адаптеров Belkin ухудшаются. Начиная с расстояния до проводов электросети приблизительно 10 м или при более высоком ослаблении сигнала между двумя адаптерами Belkin, эти устройства работают только в спектре Homeplug AV (нижняя полоса частот 2–30 МГц). Пропускная способность в этом случае составляет 50 Мбит/с, что приблизительно на 30% меньше, чем у адаптеров Intellon и DS2.

С декабря 2010 года в продажу поступили адаптеры для линий электропередачи, использующие стандарт IEEE-1901. Atheros⁸ AR7400 является самым первым набором микросхем на рынке, который отвечает требованиям этого стандарта. Он использует более широкий диапазон частот (от 2 до 68 МГц), чем стандарт Homeplug AV (от 2 до 30 МГц), поскольку задействованные на глобальной основе полосы ЧМ-радиовещания от 76 до 108 МГц и полосы радиовещания DAB от 174 до 240 МГц не используются. Расширенная полоса частот и более эффективный метод модуляции до 4096 QAM позволяют устройствам связи по линиям электропередачи на основе набора микросхем AR7400 передавать данные с физической скоростью выше 500 Мбит/с (пиковая скорость). Такие известные производители адаптеров для линий электропередачи как Netgear, Trendnet, TP-Link, Devolo, D-Link, AVM, Billion, MSI, Allnet уже анонсировали или представили устройства связи по линиям электропередачи, которые отвечают требованиям стандарта IEEE-1901.

В таблице 21 приведены технические характеристики адаптеров для линии электропередачи, прошедших процедуру измерения. Были испытаны три пары устройств связи по линиям электропередачи стандарта Homeplug AV производства Allnet, Devolo и Zyxel, а также два таких устройства стандарта UPA производства AcBel и Conceptronic. В качестве третьего варианта были испытаны адаптеры Gigabit для связи по линиям электропередачи производства Belkin. Их результаты также приведены в таблице. Эти адаптеры являются единственными устройствами, которые поддерживают максимальную номинальную скорость передачи данных 1000 Мбит/с. В качестве четвертого варианта была испытана пара адаптеров Netgear с максимальной номинальной скоростью передачи данных 500 Мбит/с.

⁷ Адаптеры Gigabit power line HD F5D4076 Sv1, F5D4076 Sv1 и MSI ePower 1000HD используют один и тот же чипсет Giga (GGL541), и для них получаются схожие результаты измерений.

⁸ Qualcomm приобрела корпорацию Atheros, которая в свою очередь незадолго до этого купила компанию Intellon.

ТАБЛИЦА 21

Технические характеристики испытанных адаптеров связи по линиям электропередачи

Производитель	Allnet	Devolo	Zyxel	Belkin	AcBel	Conceptronic	Netgear
Модель	ALL168203	dLAN 200 Avplus	PLA-400 v2	Gigabit Power line HD	DH10PF	Homeplug 200 Мбит/с	Power line AV 500 XAVB5001
Стандарт	Homeplug AV			HPAV2 mediastream	UPA		IEEE-1901
Скорость передачи (номинальная)	200 Мбит/с			1 000 Мбит/с	200 Мбит/с		500 Мбит/с
Полоса частот	2–30 МГц			2–30 МГц 50–300 МГц	2–32 МГц		2–68 МГц
Протоколы	CSMA/CA			CSMA/CA TDMA MAC	TDMA MAC		
Тип модуляции	OFDM – 1 155 несущих, 1 024/256/64-QAM, QPSK, BPSK				OFDM – 1 536 несущих		OFDM – 4 096 несущих

А3.1.3 Измерения частотного спектра

Для выполнения измерений один провод силового кабеля, который использовался для передачи данных был помещен в поглощающие клещи R&S MDS 21, а остальные провода были оставлены снаружи (см. рисунок 16). Затухание сигнала для измерительных клещей составляет 17 дБ в диапазоне 30–1000 МГц, поэтому это значение необходимо прибавить к измеренным значениям для определения правильного уровня ВЧ-сигнала на линии электропитания. Чтобы соответствовать конкретному стандарту системы связи по линиям электропередачи в качестве объектов измерений использовались адаптеры AcBel, Allnet и Belkin. Между двумя идентичными адаптерами связи по линиям передачи осуществлялся обмен данными, при котором эксплуатационные характеристики этих устройств были близки к их максимальным пределам. Во время измерений активных характеристик анализатор спектра FSEA регистрировал частотный спектр.

РИСУНОК 16

Измерительная установка с использованием поглощающих клещей

Анализатор спектра FSEA (R&S)

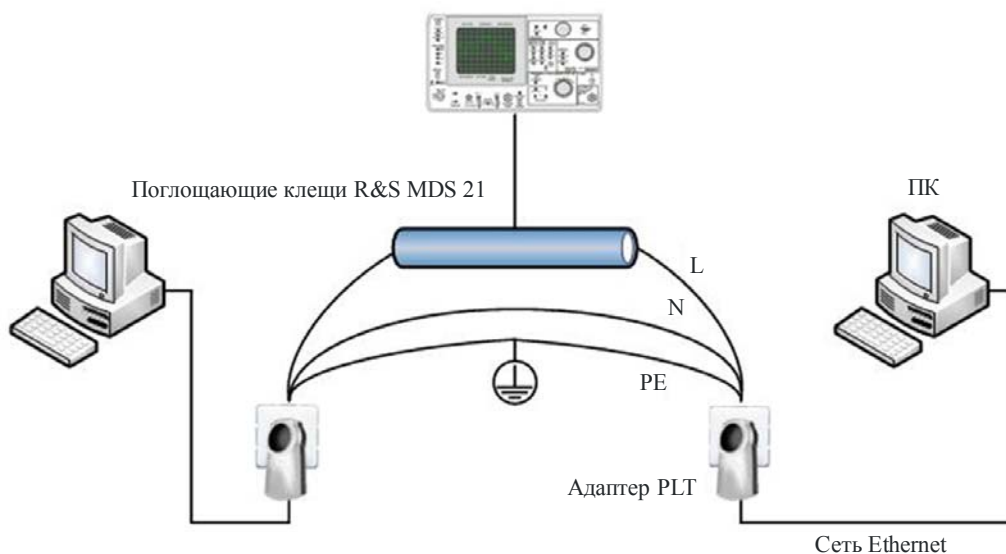
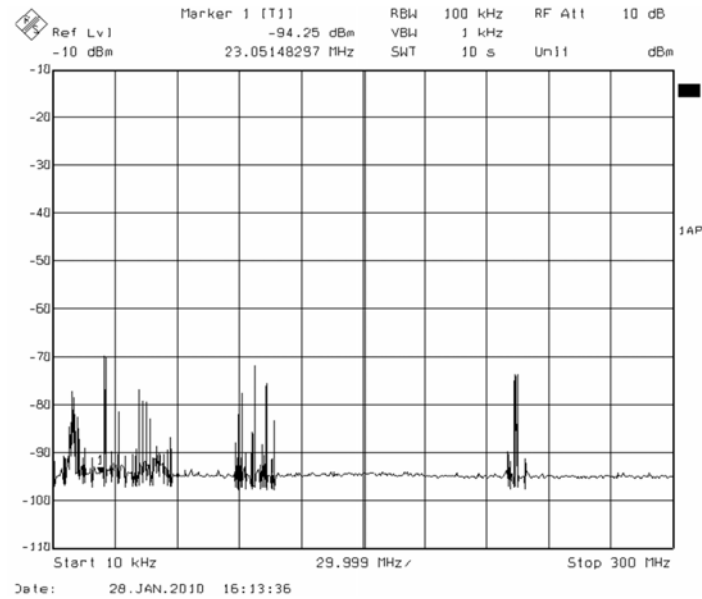


РИСУНОК 17

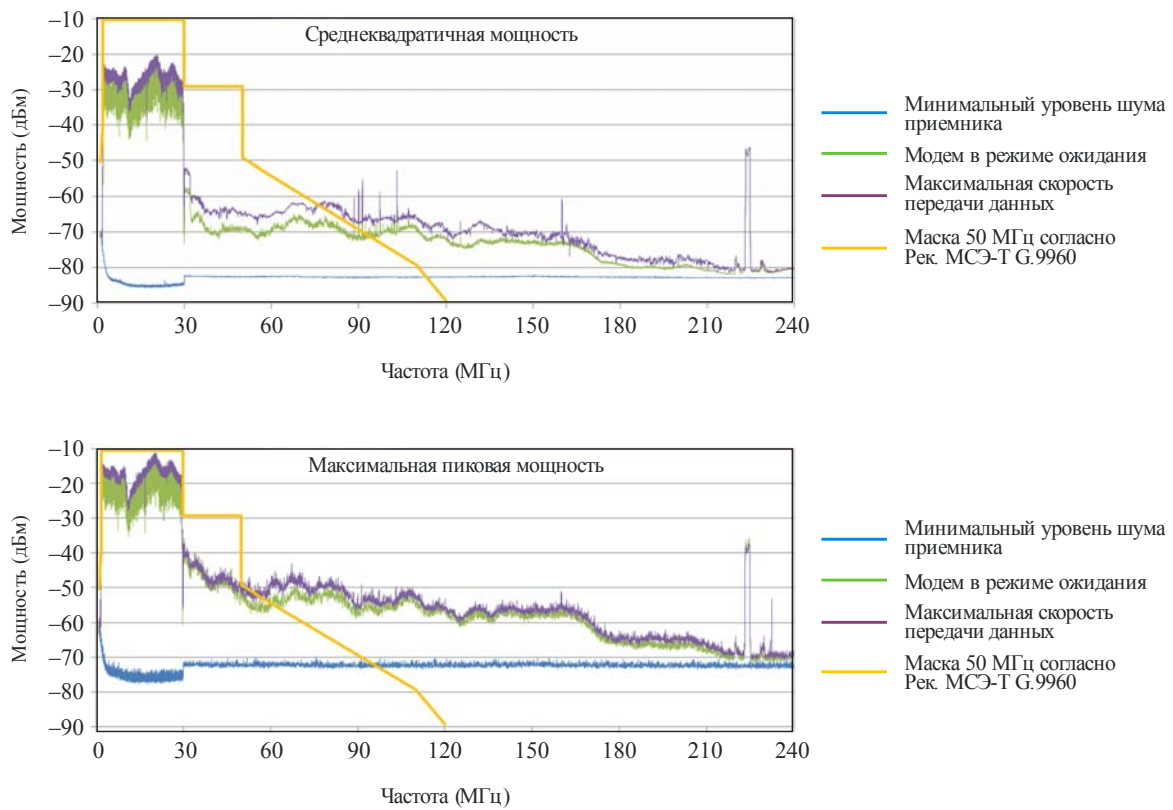
Эфирные сигналы и фоновый шум заметного уровня на измерительной площадке (в том числе):
КВ, ЧМ (87,5–108 МГц), DAB (около 215 МГц)



Report SM.2212-17

РИСУНОК 18

Спектральная мощность адаптера AcBel стандарта UPA в режиме ожидания
и при максимальной скорости передачи данных
UPA (AcBel DH10PF)



Report SM.2212-18

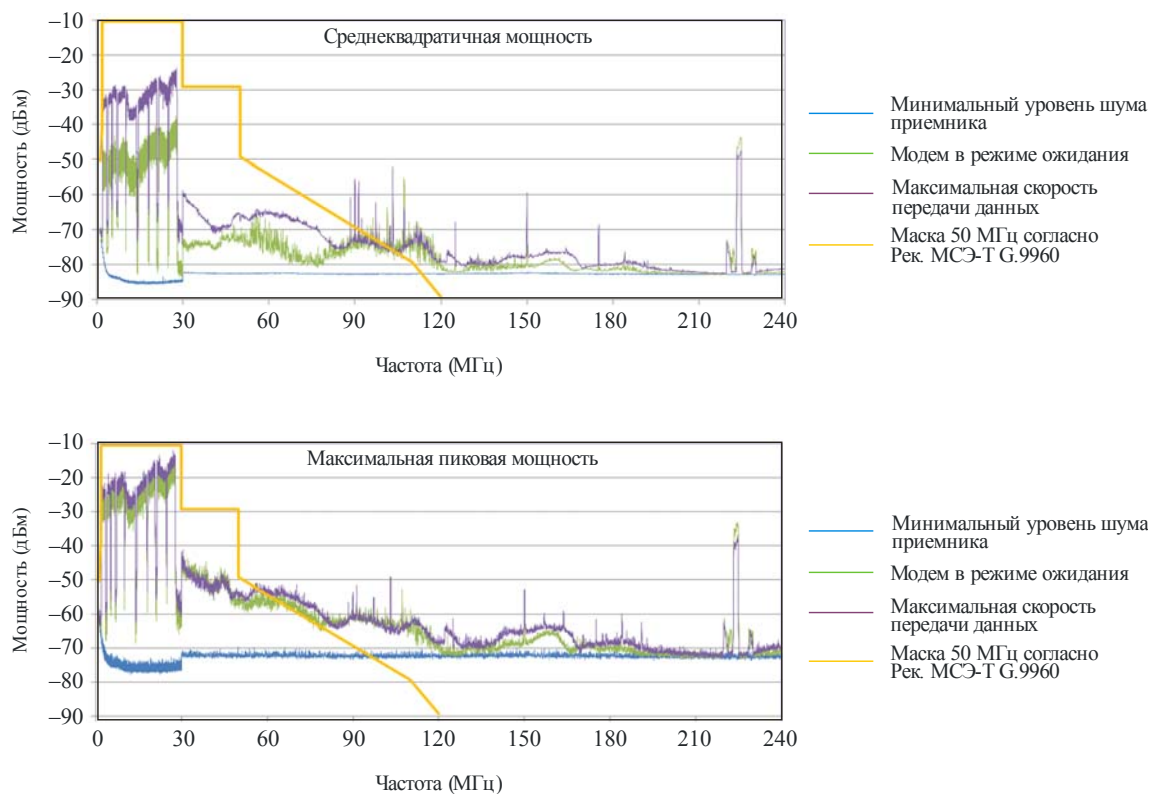
В соответствии с данными производителя адаптеры связи по линиям электропередачи стандарта UPA используют полосу частот 2–32 МГц. Однако анализ спектра показывает (см. рисунок 18), что при использовании стандарта UPA возникают составляющие спектра, которые выходят далеко за пределы 32 МГц, практически до 190 МГц, хотя и с затуханием примерно на 50 дБ. Уровни сигналов в фактическом рабочем диапазоне составляют приблизительно –15 дБ (включая затухание сигнала в поглощающих клещах).

В соответствии с данными производителя адаптеры связи по линии электропередачи стандарта Homeplug AV используют полосу частот 2–30 МГц. Хотя устройства стандартов Homeplug AV и UPA показывают одинаковую максимальную скорость передачи 200 Мбит/с, их частотные спектры отличаются. Устройства стандарта Homeplug AV имеют одинаково высокие уровни сигналов в нижней части полосы частот; однако уровни составляющих в верхней части спектра меньше, чем для устройств стандарта UPA (см. рисунок 19). Спектральные составляющие доходят приблизительно до 70 МГц.

РИСУНОК 19

Спектральная мощность адаптера Allnet стандарта Homeplug AV в режиме ожидания и при максимальной скорости передачи данных

Homeplug AV (Allnet ALL 168203)

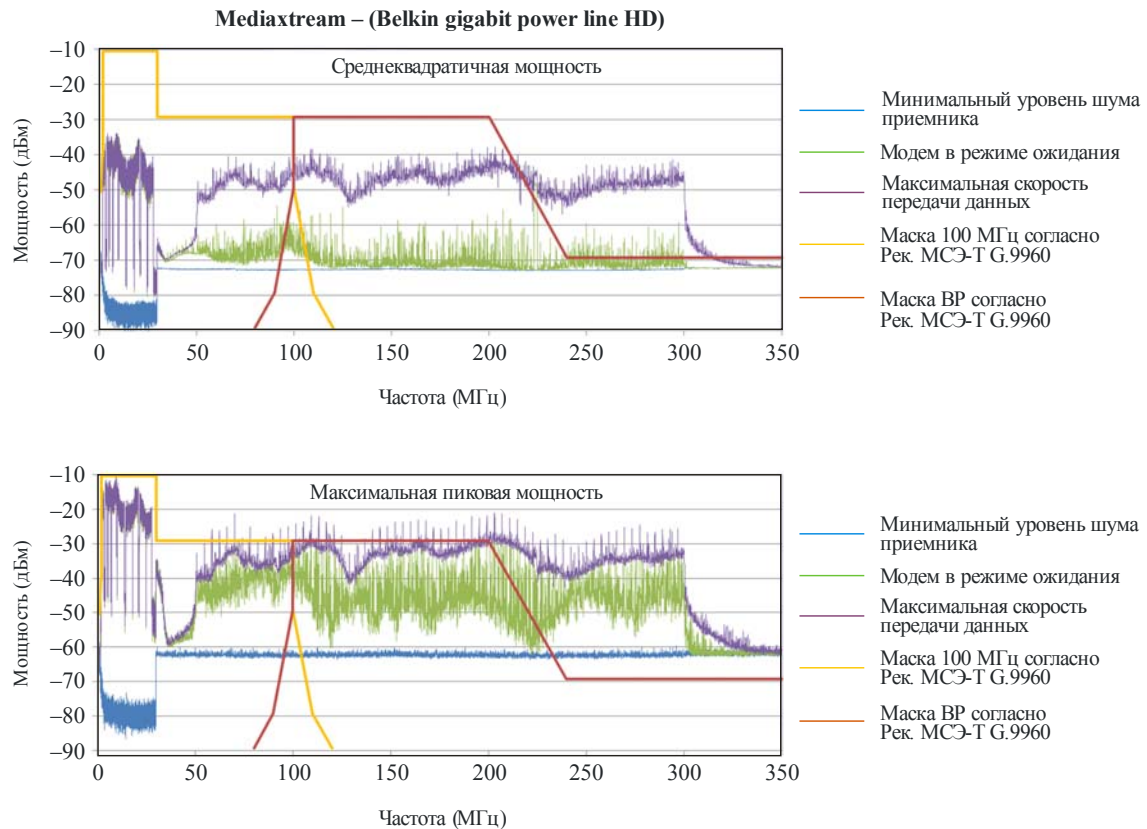


Report SM.2212-19

В соответствии с данными производителя адаптеры связи по линиям электропередачи с наборами микросхем mediastream могут работать в полосе частот 2–30 МГц (HRAV) и 50–300 МГц. Однако одновременное использование обеих полос спектра пока еще невозможно. При передаче данных с несколькими подключениями по протоколу TCP стало видно, что связь между двумя адаптерами происходит в спектральной полосе 50–305 МГц (верхняя полоса частот) (см. рисунок 20). Уровни сигналов в этой полосе частот приблизительно на 25–30 дБ ниже, чем для адаптеров производства AcBel и Devolo (2–30/32 МГц). Несмотря на работу в верхней полосе частот, устройства связи по линиям электропередачи стандарта mediastream одновременно показывают наличие спектральных составляющих в нижней полосе частот.

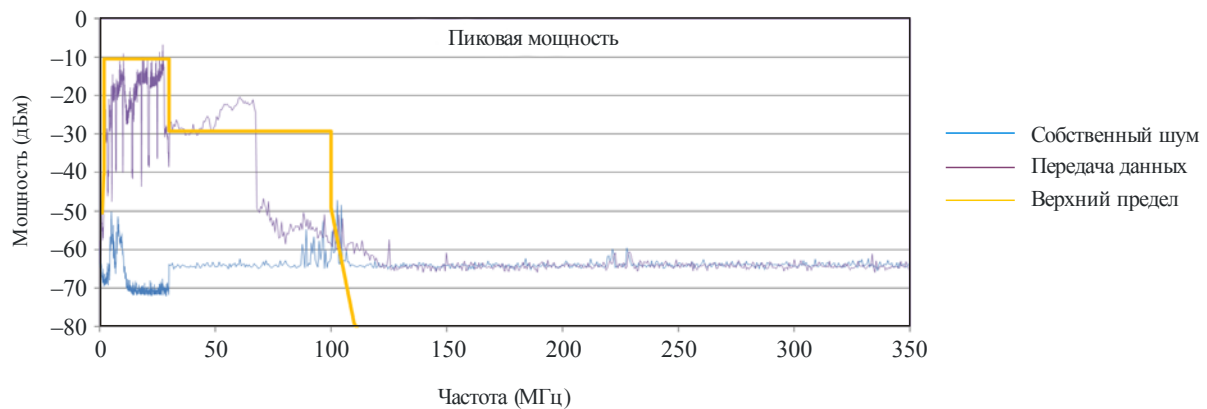
РИСУНОК 20

Спектральная мощность адаптера Belkin в режиме ожидания и при максимальной скорости передачи данных



Report SM.2212-20

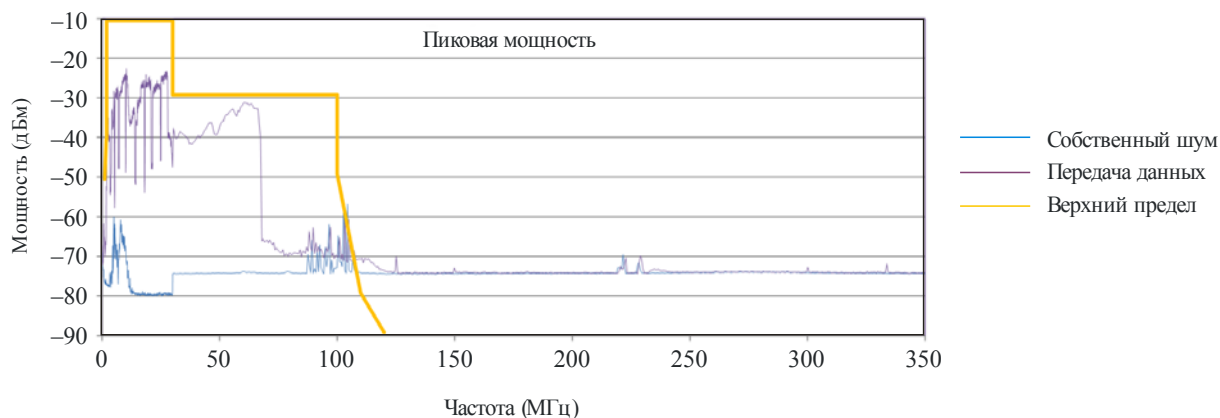
РИСУНОК 21

Спектр пиковой мощности адаптера Netgear AV500 при максимальной скорости передачи данных (дБм)
Верхний предел (желтый) в соответствии с Рек. МСЭ-T G.9960

Report SM.2212-21

РИСУНОК 22

Спектр среднеквадратичной мощности адаптера Netgear AV500 при максимальной скорости передачи данных (дБм)



Report SM.2212-22

A3.1.4 Излучение помех модемом PLT Belkin "Power line Gigabit" F5D4076-S v1

Два сетевых удлинительных провода, каждый состоящий из силового кабеля длиной 1,5 м, были подключены слева и справа к сетевому удлинителю, в свою очередь подключенному к настенной розетке сети питания (230 В), при этом предполагается размещение на столе двух удлинителей на расстоянии 3 м (см. измерительную установку на рисунке 23). Модемы Belkin были подключены к внешним розеткам питания и к двум ноутбукам. Затем с помощью программного обеспечения IxChariot выполнялась передача данных с фактической скоростью 250 Мбит/с (по протоколу TCP). Измерительная антенна Schwarzbeck UBAA 9114 была установлена на расстоянии 3 м и на высоте 1,5 м. Измерялись уровни напряженности поля с горизонтальной и вертикальной поляризацией в полосе частот 30–320 МГц. Измерения выполнялись с помощью тестового приемника R&S ESPI, предназначенного для проверки ЭМС.

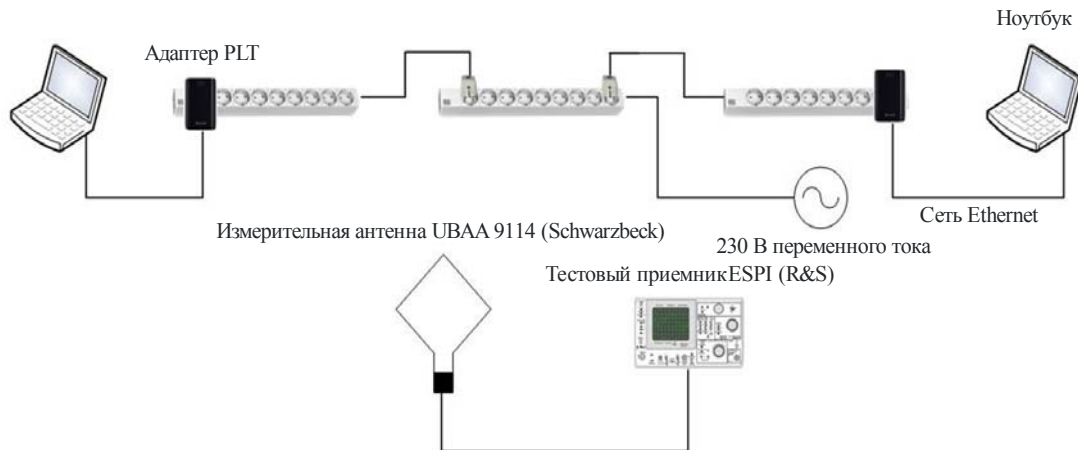
Настройки тестового приемника указываются ниже:

- ширина полосы измерения: 120 кГц;
- шаг измерения: 40 кГц;
- длительность измерения: 100 мс;
- с предусилителем;
- затухание: 10 дБ;
- измерительные детекторы: пиковый и среднеквадратичный (r.m.s).

Коэффициент преобразования (КПД антенны) широкополосной антенны UBAA9114 был введен в приемник в виде таблицы значений, зависящих от частоты приема, для непосредственной регистрации результатов измерений в дБ(мкВ/м). В течение двух циклов измерений для каждой частоты были измерены пиковое значение и среднеквадратичное значение напряженности поля. Измерения с использованием квазипикового детектора не проводились, поскольку такой цикл измерений занял бы много часов для получения одного значения. Вместо этого квазипиковый детектор специально использовался для моделирования влияния импульсных помех на человеческое ухо во время приема аналоговой радиопрограммы. За исключением диапазона с использованием ЧМ, помехи на частотах выше 30 МГц влияют на цифровые службы, для которых мешающее влияние может быть лучше описано с помощью среднеквадратичных и пиковых значений.

РИСУНОК 23

Установка для измерений излучаемых помех



Report SM.2212-23

Следующие значения напряженности поля были измерены и зарегистрированы для горизонтальной и вертикальной поляризации:

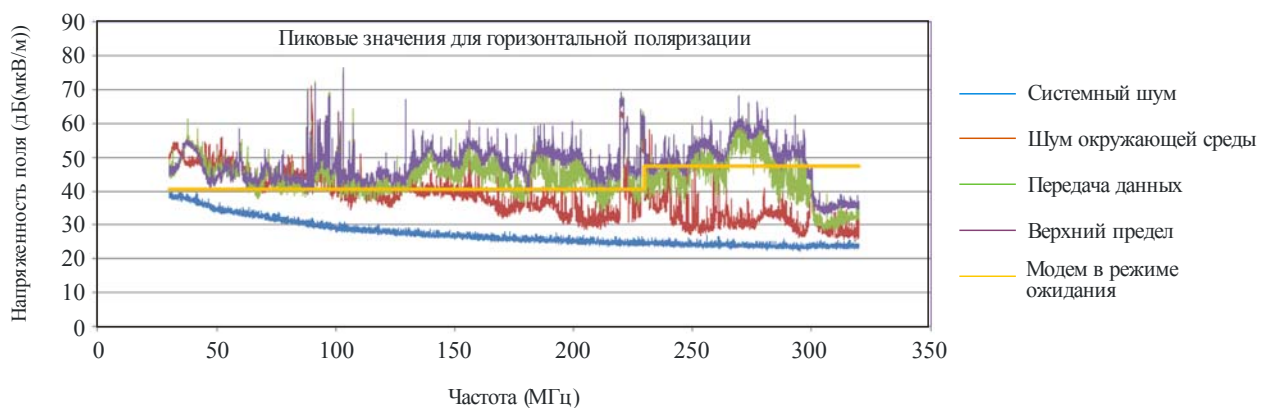
- системный шум измерительного приемника (нижний опорный уровень измерительной системы);
- фоновый шум;
- помехи от модемов в режиме ожидания;
- помехи от модемов во время передачи данных на общей скорости 250 Мбит/с.

В качестве верхнего опорного уровня на диаграммах указываются предельные значения из таблицы 6 стандарта EN 55022⁹. Эти пределы соответствуют квазипиковым значениям, которые обычно ниже пиковых, но в любом случае выше среднеквадратичных значений.

A3.1.5 Напряженность поля с горизонтальной поляризацией

РИСУНОК 24

Пиковые значения напряженности поля с горизонтальной поляризацией (дБ(мкВ/м))



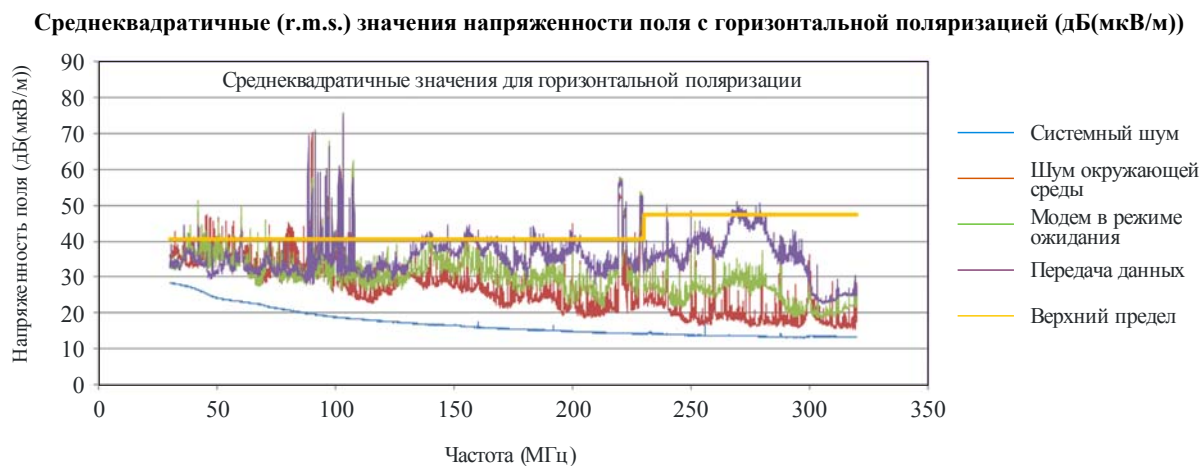
Report SM.2212-24

⁹ CENELEC EN 55022: 2006; Information technology equipment – Radio interference characteristics – Limits and methods of measurement (CISPR 22: 2005 (modified)).

Синяя линия на рисунке 24 характеризует наименьшую измеряемую напряженность поля, соответствующую уровню системного шума измерительного приемника. Красная линия характеризует фоновый шум (промышленные помехи) при отсутствии модемов. Поскольку измерения проводились в IRT, где функционирует множество электрических и электронных систем, это обусловило достаточно высокий уровень фонового шума (красная линия); на частоте ниже 150 МГц этот уровень даже перешел за линию верхнего предельного значения. Пиковые значения напряженности поля в полосе 87,5–108 МГц соответствуют ЧМ-сигналам, а аналогичные значения на частотах около 220 и 229 МГц соответствуют сигналам DAB, которые можно принимать в IRT.

После включения модемов уровни напряженности поля помех возрастают, на что указывает зеленая линия. При передаче данных напряженность поля помех продолжает расти, что показано фиолетовой линией. На частотах выше 130 МГц уровень напряженности поля помех, создаваемый модемами, на несколько дБ выше фонового шума; это означает, что измеренные значения верны. Пиковые значения помех модемов при передаче данных, а также в режиме ожидания превышают установленные предельные значения приблизительно на 20 дБ.

РИСУНОК 25



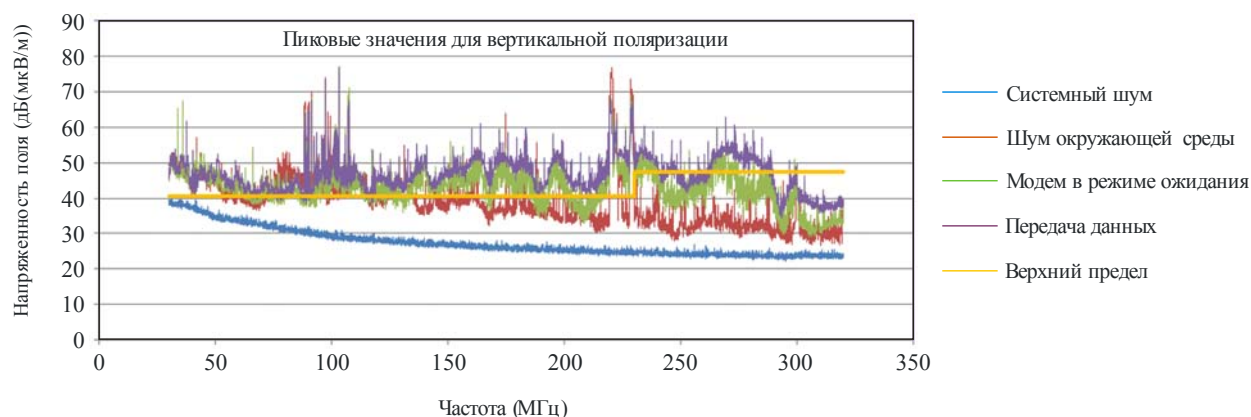
Report SM.2212-25

Среднеквадратичные значения, показанные на рисунке 25, приблизительно на 10 дБ ниже соответствующих пиковых значений для таких постоянных помех как системный шум тестового приемника (синяя линия) и помех модемов в рабочем состоянии (фиолетовая линия). В режиме ожидания модемы излучают импульсные помехи, что объясняет увеличение разности между пиковым значением и среднеквадратичными значениями (зеленые линии). Среднеквадратичные значения помех модемов в режиме передачи данных также частично превышают предельные уровни.

А3.1.6 Напряженность поля с вертикальной поляризацией

РИСУНОК 26

Пиковые значения напряженности поля с вертикальной поляризацией (дБ(мкВ/м))



Report SM.2212-26

Значения на рисунке 24 также применимы к значениям напряженности поля на рисунке 26. Уровни сигналов DAB на частотах 220 и 229 МГц выше, поскольку они передаются с вертикальной поляризацией. Пиковые значения помех модема при передаче данных, а также в режиме ожидания превышают предельное значение во всем диапазоне частот.

РИСУНОК 27

Среднеквадратичные (r. m. s.) значения напряженности поля с вертикальной поляризацией (дБ(мкВ/м))



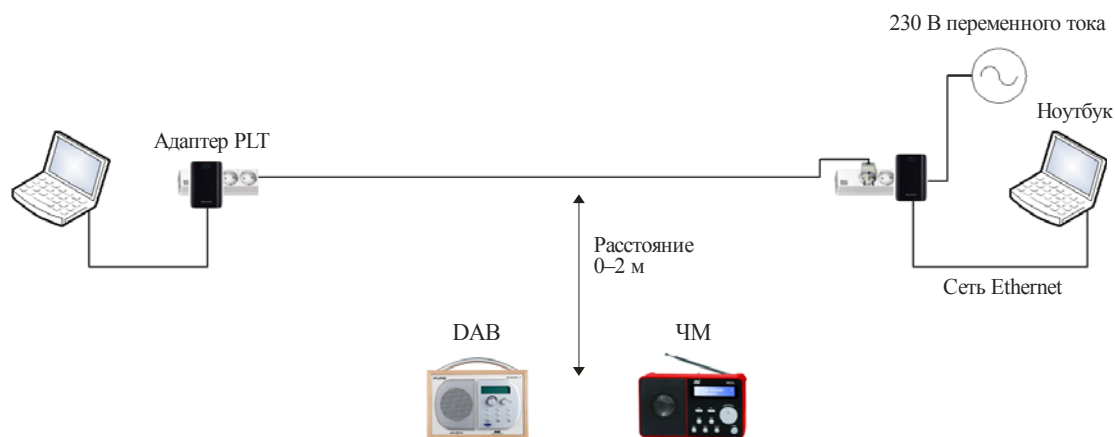
Report SM.2212-27

Комментарий к рисунку 25 также применяется к рисунку 27. Среднеквадратичные значения помех модема при передаче данных достигают предельных значений в полосе 30–200 МГц, а квазипиковые значения в любом случае превышают это предельное значение.

А3.1.7 Влияние реальных помех на прием ЧМ-сигналов и сигналов DAB

Для того чтобы можно было оценить влияние помех в измеряемой части спектра адаптеров, использующих стандарт mediastream, на прием сигналов ЧМ и/или DAB в IRT была создана простая испытательная установка с "нормальными" рабочими условиями, соответствующими условиям приема в частном доме или квартире (см. рисунок 28).

РИСУНОК 28

Установка для измерения реальных помех приему ЧМ-сигналов и сигналов DAB

Report SM.2212-28

Каждый адаптер Belkin-F5D4076 был подключен к тройной розетке, а кабель питания тройной розетки длиной 3 м был расположен на боковой стене комнаты на высоте стола. ЧМ-радиоприемник (DNT) и DAB-радиоприемник (PURE) были установлены на столе перед кабелем. Во время измерений для целей исследования помех расстояние до кабеля изменялось поэтапно в диапазоне от 0 до 2 м.

При каждом изменении расстояния до кабеля ЧМ- и DAB-радиоприемники устанавливались на полную громкость, в то время как передача потока данных, создаваемых устройством IxChariot (250 Мбит/с), по сети электропитания многократно включалась и выключалась.

Радиоприемники были расположены рядом (приблизительно на расстоянии 1 м) с большим окном в комнате, чтобы обеспечить хороший прием радиосигналов.

Результаты испытаний для ЧМ-вещания

Когда радиоприемник был настроен на мощную местную радиостанцию (Bayern3, Bayern5, диапазон II 100 МГц), субъективные помехи во время работы системы PLT были неразличимы. Однако, когда приемник был настроен на слабую станцию (Ö3), стали четко различимы дополнительные помехи из динамиков во время работы адаптера PLT на расстоянии приблизительно 1 м между радиоприемником и сбалансированным кабелем электропитания. При увеличении этого расстояния помехи уже не были слышны.

Результаты испытаний для вещания DAB

Слышимые помехи во время приема сигналов DAB (например, станции Bayern3, диапазон III 220 МГц) были гораздо более серьезной проблемой. Помехи возникали даже в случае хороших условий приема сигналов при расстоянии 1,5 м между радиоприемником и кабелем электропитания во время передачи данных с помощью системы PLT. Помехи варьировались от шепота и постукивания до "полного" провала звукового сигнала.

Слышимые помехи исчезали только на расстоянии более 1,5 м до кабеля электропитания.

A3.1.8 Заключение по результатам измерений в IRT

Измерения спектра, выполненные для адаптеров PLT "Power line Gigabit" F5D4076 S производства Belkin, с одной стороны, показали степень занятости полосы до 305 МГц, которая включает полосу ЧМ, а также полосу DAB. С другой стороны, измерения показывают, что помехи от модемов превышают нормы, разрешенные стандартом EN 55022, в полосе частот 30–300 МГц.

Необходимо отметить, что при проведении этих испытаний использовалась относительно симметричная кабельная электропроводка, поэтому результаты не отображают наихудшего случая, но должны рассматриваться как менее критичная конфигурация.

Одним из возможных решений может быть использование частотной режекции в полосах частот, в которых наблюдаются помехи. Производитель набора микросхем mediastream от компании Giga уже предложил использование таких действий в случае соответствующих отзывов.

А3.2 Измерения на модемах PLT, проведенные Научно-исследовательским центром связи (Канада)

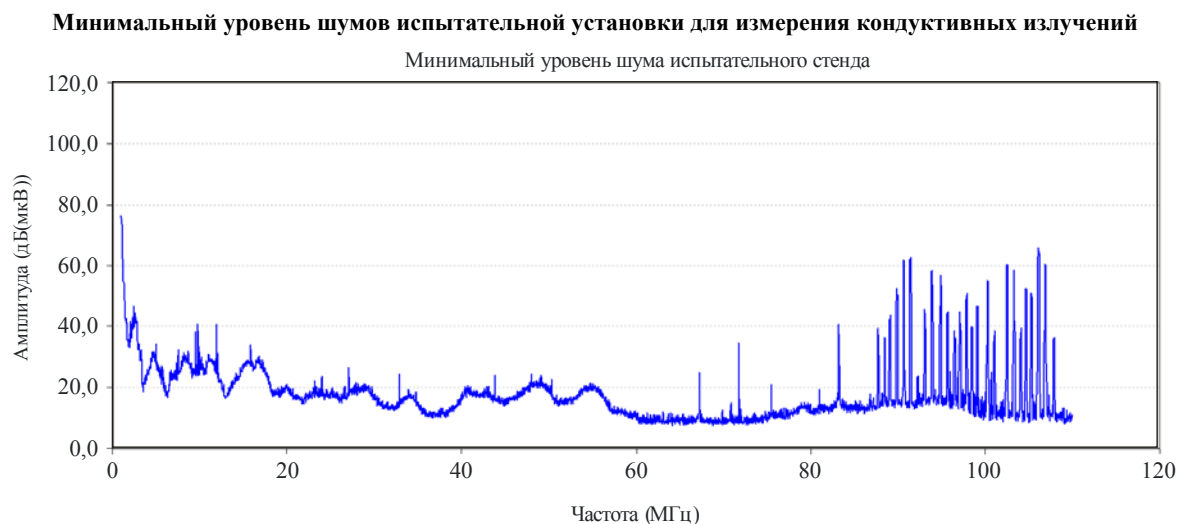
Научно-исследовательский центр связи (Канада) провел оценку всех восьми устройств PLT, имеющихся в продаже, которые используют различные стандарты PLT. Эти устройства продаются в Соединенных Штатах Америки, Канаде и Японии. Подробные сведения о тестовых измерениях и их результатах представлены в Отчете – Measurements of EM radiation from in-house Power line Telecommunication (PLT) devices operating in a residential environment – Field Test Report. Communications Research Centre (Canada), 24 марта 2009 года, размещенном по адресу: <http://www.nabernet.com/nabaweb/members/pdf/itur/CRCReport.pdf> или в Добавлении к Приложению Документа 6A/160.

Обобщенные результаты представлены в Отчете МСЭ-R SM.2158. Испытания включали измерения в полосе частот до 110 МГц с целью определения степени влияния устройств PLT на полосу ЧМ-вещания.

А3.2.1 Процедура измерений, проведенных CRC, и результаты измерения кондуктивных излучений

Результаты измерения минимального уровня шумов испытательного стенда в диапазоне частот от 50 кГц до 110 МГц показаны на рисунке 29. На рисунке показано, что испытательная установка с использованием электрического кабеля, работала как антенна и принимала сигналы от других систем радиосвязи. Всплески между частотами 85 МГц и 108 МГц вызваны сигналами местных ЧМ-радиостанций, а остальные всплески на других частотах были прерывистыми и возможно создавались другими системами радиосвязи. Это необходимо было принимать во внимание при оценке результатов измерения кондуктивных излучений.

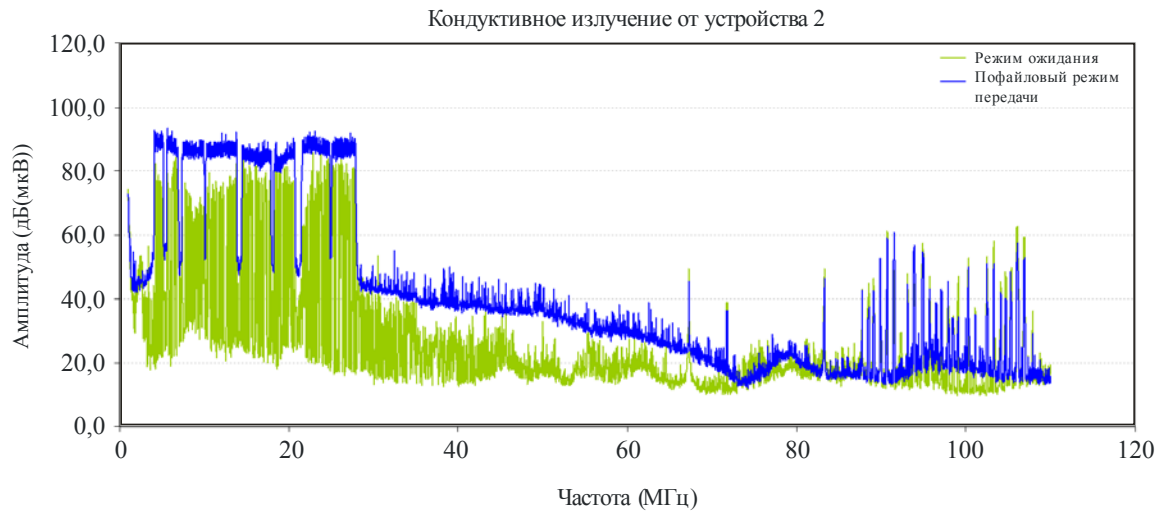
РИСУНОК 29



Report SM.2212-29

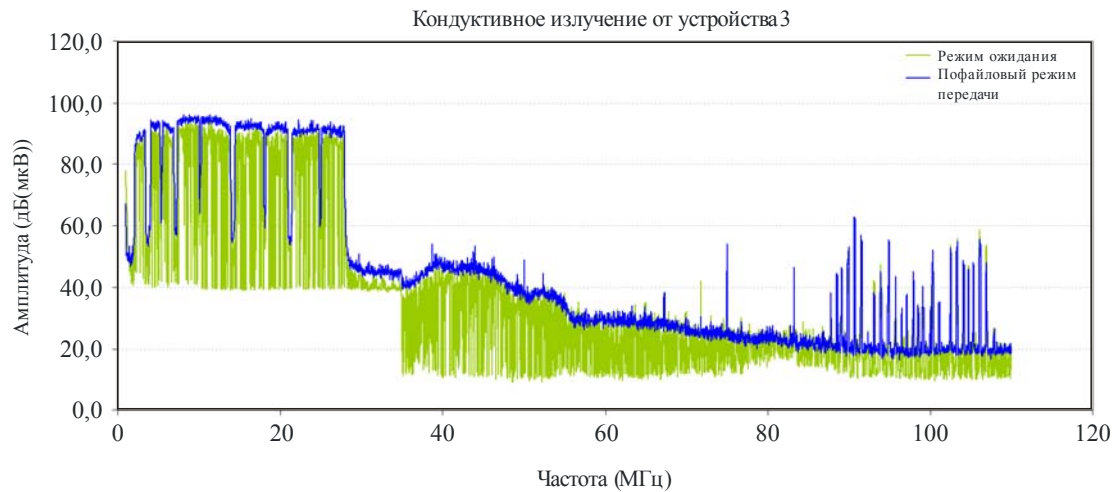
Результаты измерений для устройств PLT 2, 3 и 6 показаны на рисунках 30, 31 и 32 соответственно. Синяя кривая показывает кондуктивные помехи при передаче данных, а зеленая кривая (обычно нижняя кривая) показывает уровень кондуктивного сигнала в режиме ожидания. Как видно из рисунков, уровень сигнала в режиме ожидания не превышает уровень сигнала в режиме передачи данных. Кроме того, испытываемые устройства не работают одинаково в режиме ожидания. Устройства PLT 2 и 3 передавали случайные несущие для поддержания канала открытым и синхронизированным, а устройство 6 постоянно передавало полный сигнал.

РИСУНОК 30

Мощность кондуктивного излучения от устройства 2 (стандарт HD-PLC)

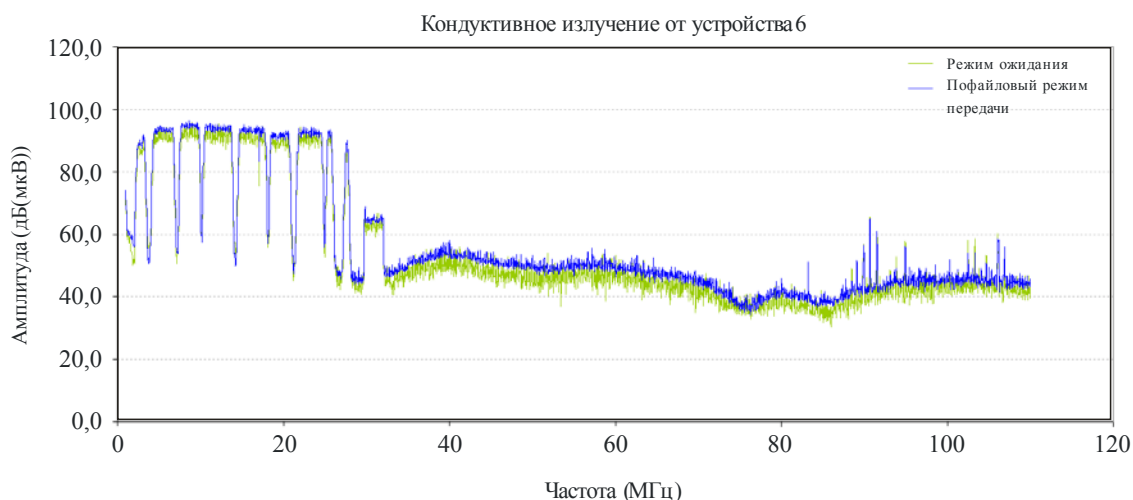
Report SM.2212-30

РИСУНОК 31

Мощность кондуктивного излучения от устройства 3 (стандарт Homeplug AV)

Report SM.2212-31

РИСУНОК 32

Мощность кондуктивного излучения от устройства 6 (стандарт UPA)

Report SM.2212-32

A3.2.2 Выводы из измерений, проведенных CRC

Эти результаты показывают, что даже если устройство PLT не передает данные, устройство активно создает помехи. Также установлено, что если даже устройство PLT работает на частотах ниже 30 МГц, уровень его излучения по крайней мере на 20 дБ выше минимального уровня шумов на частотах до 110 МГц.

A3.3 Результаты измерений модема PLT "Gigabit" компанией CBS Broadcasting и Национальным государственным радио

Компания CBS Broadcasting и Национальное государственное радио (NPR) провели ряд измерений в лабораториях NPR Labs, аналогичных лабораториям IRT, описанным в п. A3.1. Измерения кондуктивных излучений были выполнены для пары модемов PLT "Gigabit power line HD" модели F5D4076-S v2 производства компании Belkin.

A3.3.1 Процедура измерений

Два модемных адаптера PLT "Gigabit power line HD" (модель F5D4076-S v2) от компании Belkin были соединены с помощью двухжильного удлинительного кабеля длиной 1,8 м и расположены внутри экранированного испытательного бокса, как показано на рисунке 33. Экранированный бокс был оснащен сетевым фильтром и коаксиальными РЧ-разъемами. Адаптеры PLT были подключены к настольному компьютеру, а Ethernet-маршрутизатор – к серверу. Передача данных осуществлялась с сервера на компьютер.

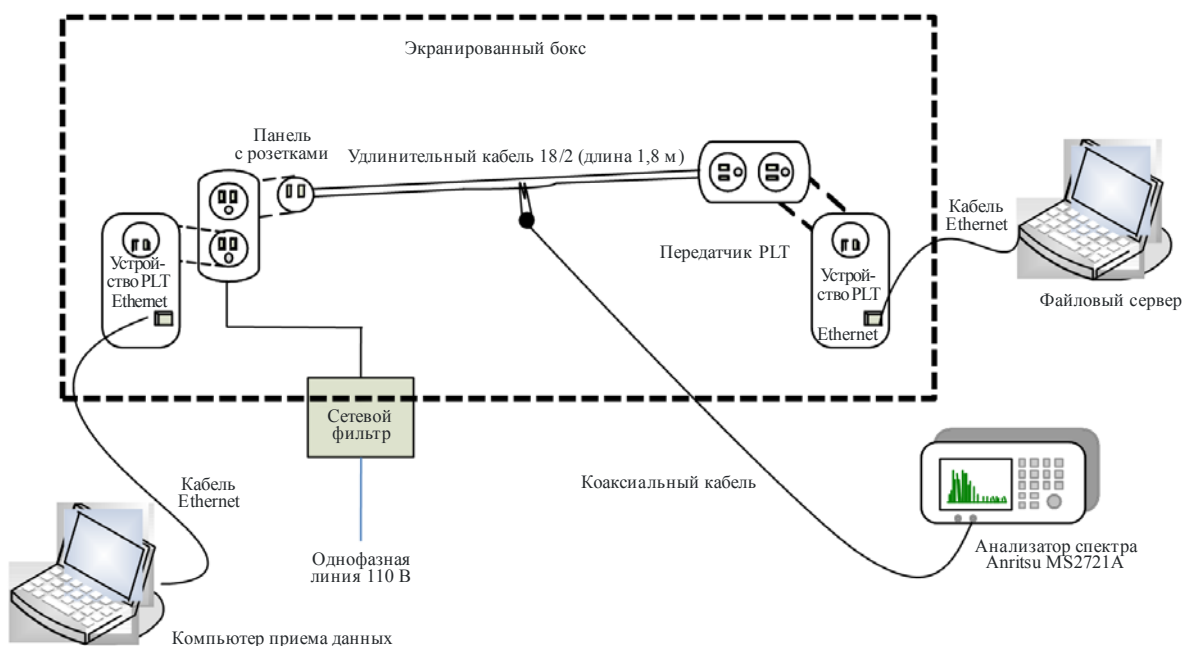
Регистрация частотного спектра выполнялась с помощью анализатора спектра Anritsu, модель MS2721A. Ниже приводятся настройки анализатора спектра (если не указано иное):

- разрешение по полосе пропускания (RBW): 1 МГц;
- количество шагов измерения: 551/развертка;
- без предусилителя;
- затухание: 0 дБ;
- измерительный детектор: пиковый;
- регистрация: удержание максимальных значений.

Двухпроводная петля обеспечивала связь между линией электросети, находящейся под напряжением, и анализатором спектра. Следующие результаты отображают мощность сигнала как функцию частоты, измеренной анализатором спектра.

РИСУНОК 33

Измерительная установка с использованием экранированного бокса



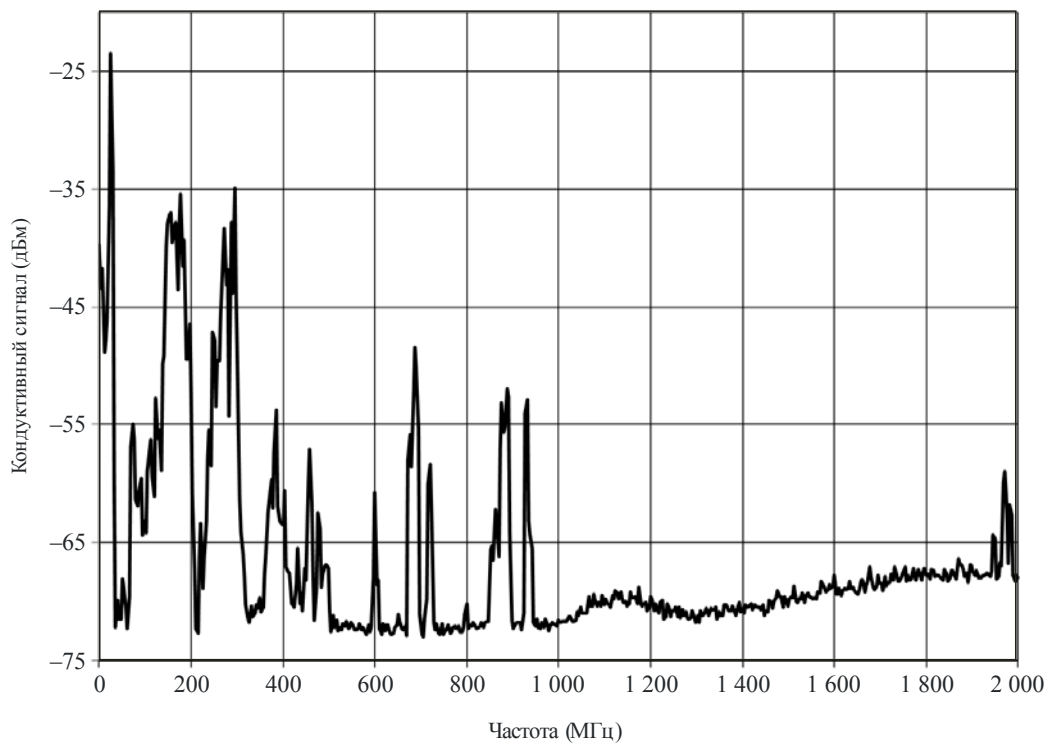
Report SM.2212-33

A3.3.2 Результаты измерения уровня кондуктивных излучений модема PLT "Gigabit power line HD" F5D4076-S v2 от компании Belkin

На рисунке 34 показаны сигналы, проходящие по линии электросети между двумя модемами PLT "Gigabit power line HD" (модель F5D4076-S v2) производства компании Belkin в режиме ожидания (передача данных не осуществляется). Следует отметить, что, согласно сообщениям Института IRT, адаптеры хорошо работают в широком диапазоне частот до 300 МГц. Однако их излучения выходят далеко за пределы 300 МГц, вплоть до 930 МГц, при этом дополнительный сигнал наблюдается на частоте 1970 МГц.

РИСУНОК 34

Кондуктивное излучение от двух модемов PLT "Gigabit power line HD" (модель F5D4076-S v2) компании Belkin –
Следует отметить, что излучения возникают в полосе частот до 1 ГГц и выше на частоте 1,9 ГГц
(RBW: 3 МГц, опорный уровень: –30 дБм)

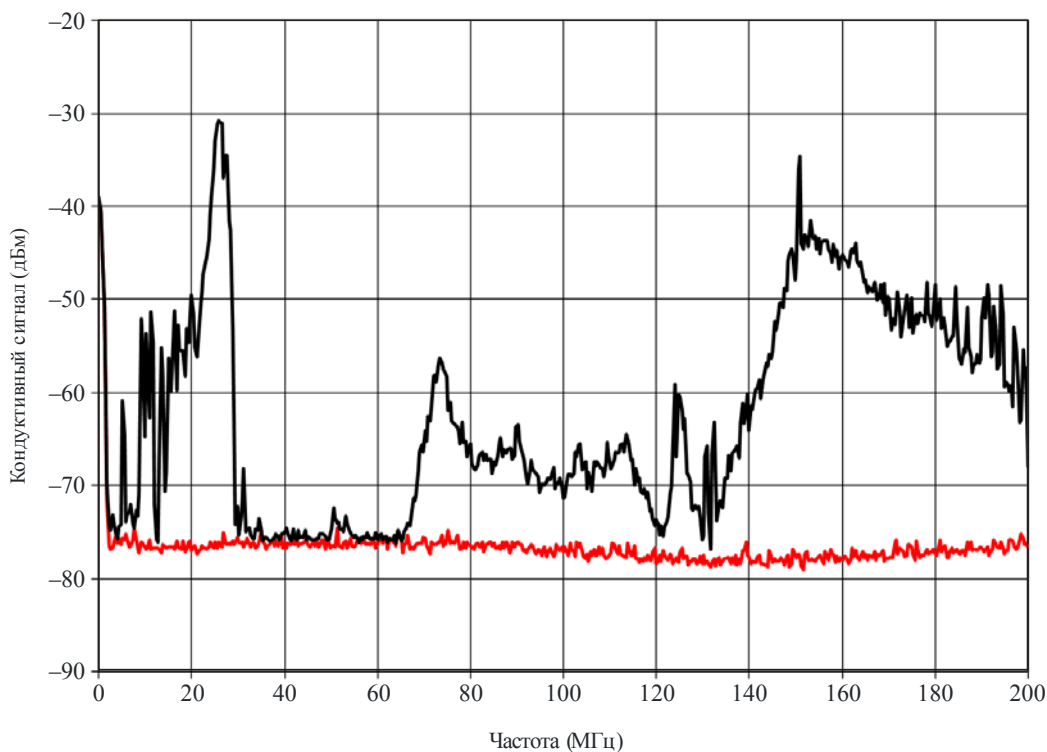


Report SM.2212-34

На рисунке 35 показаны кондуктивные излучения от двух модемов PLT "Gigabit power line HD" (модель F5D4076-S v2) компании Belkin на частотах до 200 МГц в режиме ожидания (передача данных не осуществляется). Верхняя кривая (черная) сравнивается с минимальным уровнем шумов (нижняя красная кривая) экранированного испытательного бокса. Следует отметить, что модемы PLT создают значительные излучения на частотах до 27 МГц и опять же на частотах выше 70 МГц.

РИСУНОК 35

Кондуктивные излучения от двух модемов PLT "Gigabit power line HD" (модель F5D4076-S v2) компании Belkin в диапазоне частот до 200 МГц. Верхняя кривая (черная) показывает излучение модемов в режиме ожидания (передача данных не осуществляется); нижняя кривая (красная) показывает минимальный уровень шумов экранированного испытательного бокса

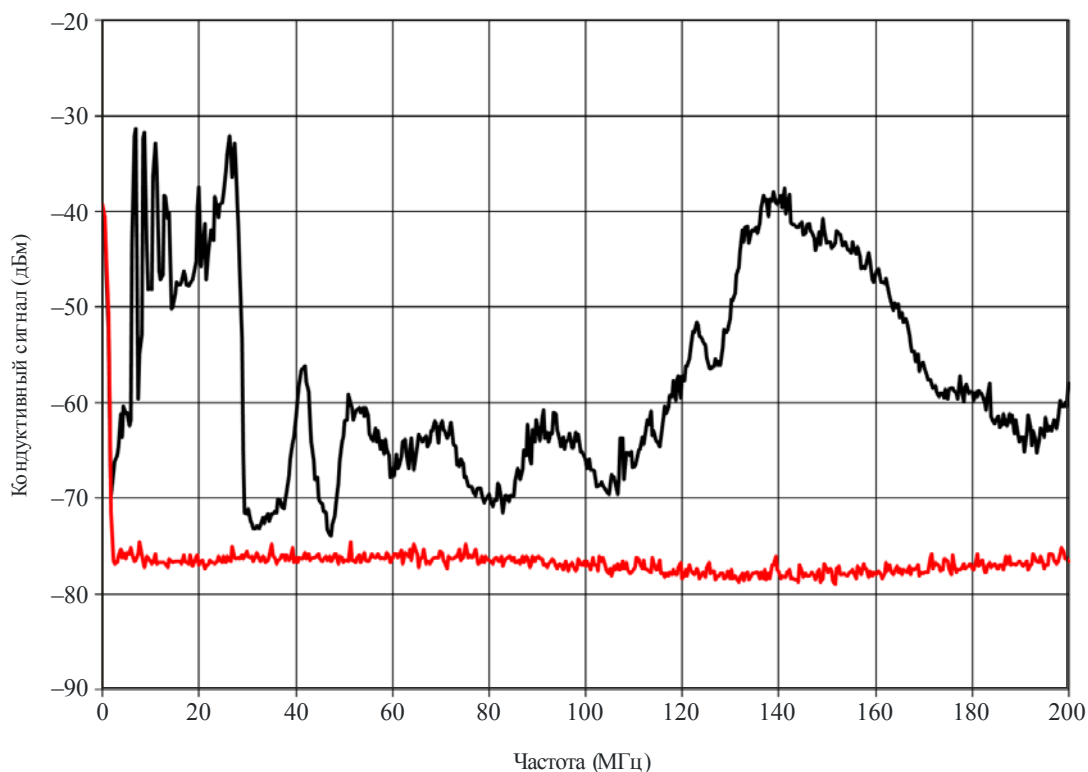


Report SM.2212-35

На рисунке 36 показаны кондуктивные излучения от двух модемов PLT "Gigabit power line HD" (модель F5D4076-S v2) компании Belkin на частотах до 200 МГц в активном режиме (осуществляется передача данных). Верхняя кривая (черная) сравнивается с минимальным уровнем шумов (нижняя красная кривая) экранированного испытательного бокса. Следует отметить, что модемы PLT создают дополнительные помехи на частотах от 27 до 70 МГц.

РИСУНОК 36

Кондуктивные излучения от двух модемов PLT "Gigabit power line HD" (модель F5D4076-S v2) компании Belkin в диапазоне частот до 200 МГц. Верхняя кривая (черная) показывает излучение модемов в активном режиме (осуществляется передача данных); нижняя кривая (красная) показывает минимальный уровень шумов экранированного испытательного бокса



Report SM.2212-36

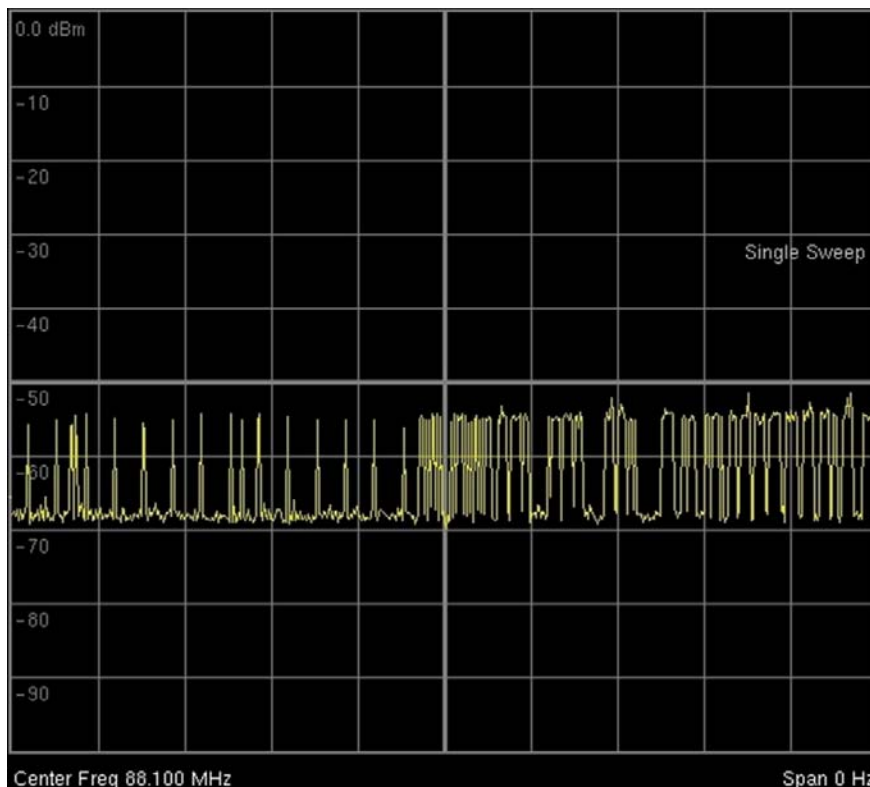
А3.3.3 Помехи, вносимые в работу ЧМ-приемника от модема PLT "Gigabit power line HD" F5D4076-S v2 компании Belkin

Поскольку было ясно показано, что модемы PLT излучают на частотах далеко за пределами 27 МГц, испытания проводились с использованием ЧМ-радиовещательного приемника Sony (модель типа "бумбокс"), расположенного рядом с устройствами PLT. На рисунке 37 показаны кондуктивные излучения от двух модемов PLT "Gigabit power line HD" (модель F5D4076-S v2) компании Belkin на одиночной частоте 88,1 МГц. Анализатор спектра показывает одnorазовую развертку при переходе модемов из режима ожидания в активный режим.

Помехи устройств PLT, воздействующие на ЧМ-радиовещательный приемник, создают раздражающий и неприятный звук, напоминающий шум работающего мотора. Частота импульсов в режиме ожидания, показанная в левой части развертки, составляла приблизительно 40 импульсов в секунду, и это значение повысилось при передаче данных, как видно на правой части развертки.

РИСУНОК 37

Кондуктивное излучение от двух модемов PLT "Gigabit power line HD" (модель F5D4076-S v2) компании Belkin на одиночной частоте 88,1 МГц в полосе частот ЧМ-вещания. При работе приемника возникают помехи, напоминающие шум работающего мотора



Report SM.2212-37

А3.3.4 Выводы на основе измерений CBS и Национального государственного радио

Ряд измерений, проведенных компанией CBS Broadcasting и Национальным государственным радио (NPR) в лабораториях NPR Labs, подтвердили результаты, полученные IRT. Модем PLT "Gigabit power line HD" F5D4076-S v2 от компании Belkin создает явное излучение в спектре радиочастот ниже 1000 МГц. Также Ассоциация вещателей Северной Америки (NABA) считает, что нормы, указанные в Рекомендации МСЭ-E G.9960, не обеспечивают защиту служб радиосвязи от этих мешающих излучений.

А3.4 Измерения излучений от сетей PLT, проведенные компанией Би-би-си

А3.4.1 Введение

Компания Би-би-си провела измерения излучения от сетей PLT в экранированной комнате и двух жилых домах¹⁰ с последующим анализом компанией BBC Distribution влияния помех на степень охвата вещанием, учитывая при этом прогнозируемые и измеренные значения напряженности поля. Измерения в рамках этого исследования проводились в двух жилых домах и поддерживались процедурой доказательства и калибровочными испытаниями в лабораторных условиях. Подробная информация о методике испытаний и дополнительные результаты приведены в "Белой книге".

¹⁰ BBC Research White Paper WHP 195 - VHF emissions from PLT devices: First investigation of potential interference to broadcast reception. Authors: Mark Waddell (BBC R&D) & Jonathan Stott (Jonathan Stott Consulting).

Так как измерения по приему сигналов проводились только в двух жилых домах, то выполнить точную экстраполяцию полученных результатов сложно. Однако, поскольку помехи наблюдались в условиях, которые *не* эквивалентны границе зоны покрытия (на самом деле еще был значительный запас по уровню полезного сигнала), то количество домов, в которых широкое использование модемов PLT вызвало бы помехи при приеме ЧМ- и DAB-передач, будет весьма значительным. Первоначальная оценка помех от устройств PLT на зону покрытия вещанием и планирование приведена в пп. 7 и 8 Белой книги компании Би-би-си¹⁰.

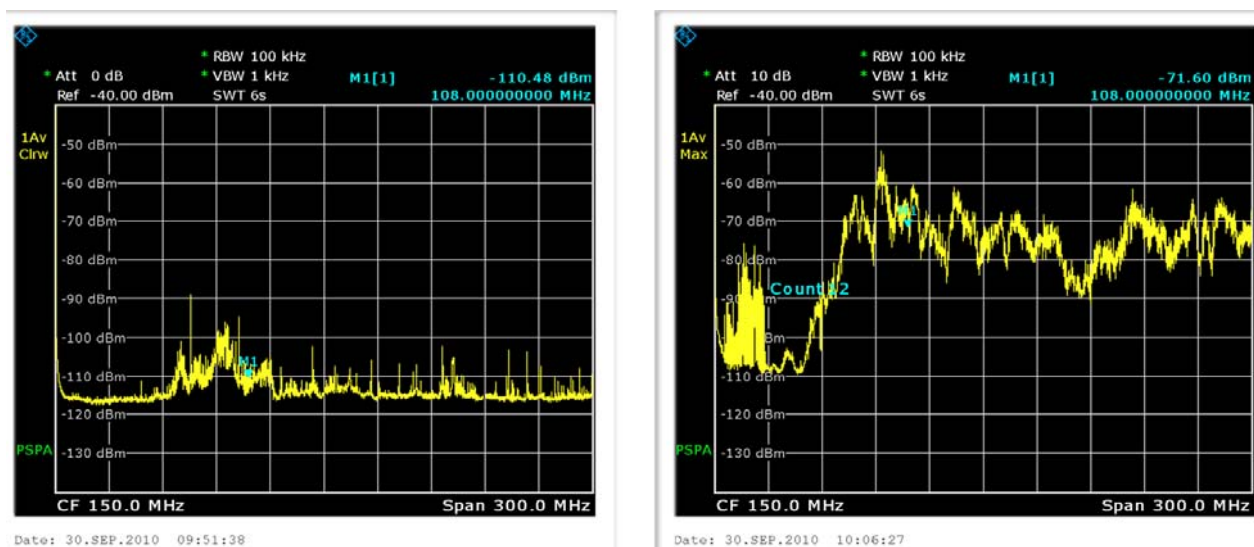
Наблюдения и результаты измерений, приведенные в настоящем Отчете и Белой книге компании Би-би-си, подтверждают вероятность негативного влияния систем PLT на прием радиовещания в диапазоне ОВЧ в типичных домашних условиях. Однако было отмечено, что влияние помех значительно варьировалось в зависимости от расположения приемника в домах, напряженности поля сигналов различных передач, доступных для изучения, а также других факторов. В ряде случаев значительные помехи не были обнаружены, и это подтверждает то, что не во всех домах будут наблюдаться помехи при определенной комбинации приемника, комнаты и передатчика, обычно используемого конкретным слушателем. Необходимо выполнить дополнительную работу, для того чтобы с большей точностью установить степень изменчивости, что позволит лучше оценить влияние устройств PLT на общую зону покрытия вещанием в диапазоне ОВЧ.

A3.4.2 Измерения в экранированной комнате

На рисунке 38 показаны результаты измерений излучения в экранированной комнате в диапазоне частот от 0 до 300 МГц для сети PLT в режиме ожидания (слева) и при передаче данных (справа).

РИСУНОК 38

Излучение от испытываемой сети PLT, измеренное в экранированной комнате



Report SM.2212-38

Кривая на левой развертке (рисунок 38) показывает спектр антенного сигнала при выключенных устройствах PLT, а кривая на правой развертке показывает помехи при включении сети PLT и передаче трафика данных по ней. Следует отметить, что минимальный уровень шумов при *выключенной* сети PLT не был совершенно ровным, в частности некоторый уровень излучения наблюдался в полосе от 60 до 120 МГц. Вероятно, эти сигналы излучались самим анализатором

спектра¹¹, поскольку другое оборудование в экранированной комнате было выключено во время данного измерения. Однако кривая на правом графике четко показывает что излучение PLT довольно значительно превышало уровень отсутствия помех. Действительно, излучение сети PLT примерно на 30–40 дБ выше минимального уровня шума на левом графике. Также было необходимо добавить 10 дБ затухания на анализаторе спектра, чтобы не допустить перегрузки для кривой на правом графике. В результате можно видеть, что минимальный уровень шума анализатора соответственно увеличился, например, на частоте около 45 МГц.

Особый интерес представляет сильное излучение в диапазоне ОВЧ на частотах от 50 до 300 МГц, которое возникает от сети PLT при передаче данных – в данном случае при передаче файлов по протоколу FTP на скорости около 12 Мбит/с. Как пример, после применения поправочного коэффициента для калибровки антенны уровень излучения на частоте 90 МГц составил приблизительно 47 дБ(мкВ/м) в полосе пропускания 100 кГц. В отсутствие излучения сети PLT минимальный уровень шумов анализатора был равен –115 дБм при разрешении по полосе пропускания фильтра анализатора 100 кГц; это значение соответствует плотности шума –165 дБм/Гц, что соответствует уровню шума анализатора в 9 дБ. При включении сети PLT и передаче трафика плотность шума увеличивается примерно на 35 дБ.

Хотя сеть PLT использует диапазон ОВЧ для передачи данных, излучение также наблюдается в диапазоне ВЧ ниже 30 МГц¹².

Значения напряженности поля помех, показанные на рисунке 38, сопоставимы с уровнями полезного сигнала для звукового радиовещания в диапазоне ОВЧ, поэтому можно ожидать значительного воздействия помех на прием.

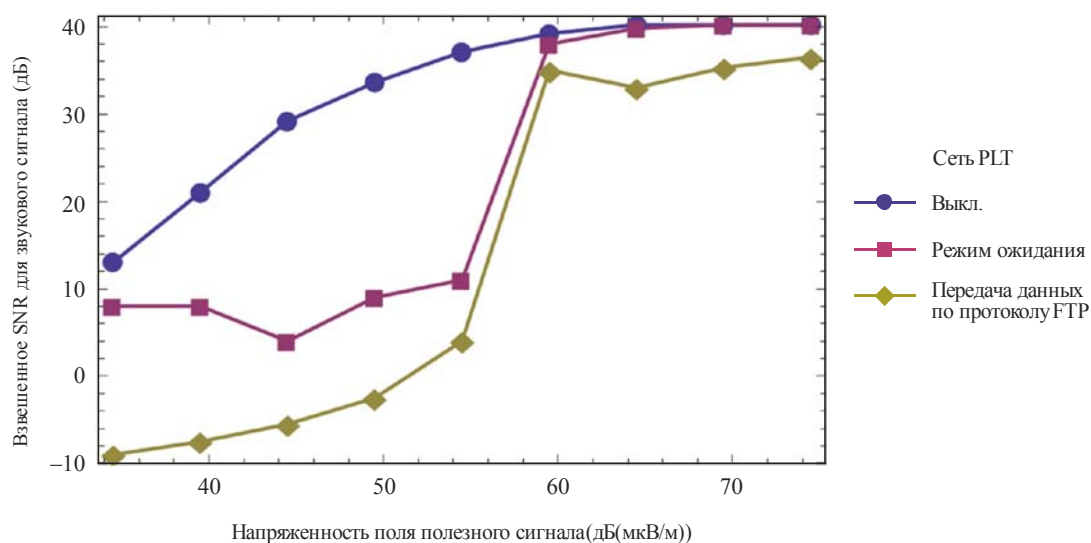
На рисунке 39 четко видно значительное ухудшение приема, вызванное работой сети PLT, если напряженность поля полезного сигнала недостаточно высока. При напряженности поля в диапазоне приблизительно от 35 до 50 дБ(мкВ/м) отношение SNR для звукового сигнала более или менее соответствует напряженности поля в отсутствие сети PLT. В этом диапазоне для восстановления отношения SNR при работе сети PLT требуется повышение напряженности поля полезного сигнала приблизительно на 20 дБ.

¹¹ Обычно измерительный сигнал выходит из экранированной комнаты, снаружи которой находится измерительное оборудование, например анализатор спектра. Таким образом, никакое побочное излучение не может достичь измерительной антенны. Однако в данном случае более удобным оказалось расположение оборудования и единственного оператора внутри комнаты.

¹² Не стоит делать поспешных выводов об относительных уровнях излучения в диапазонах ВЧ и ОВЧ, поскольку используемая измерительная антенна не рассчитана на измерение ВЧ и коэффициент калибровки (см. Добавление) заметно изменяется в зависимости от частоты. Следует отметить, что использовался режим удержания максимального значения ("max-hold") с целью обеспечения независимости полученного спектра от рабочего цикла в системе PLT. Похоже, что исследуемые устройства PLT для фактической передачи данных будут использовать либо ОВЧ-, либо ВЧ-диапазон, в зависимости от того, сможет ли соединение на ОВЧ обеспечить полезную пропускную способность. Но вне зависимости от того, какой из диапазонов используется, второй остается в режиме ожидания ("idle mode"), и поведение канала можно оценивать в плане готовности. Таким образом, излучения в определенной степени всегда присутствуют в обоих диапазонах.

РИСУНОК 39

Изменение отношения SNR для звукового сигнала в зависимости от напряженности поля полезного сигнала для портативного приемника в экранированной комнате при различных условиях сети PLT



Report SM.2212-39

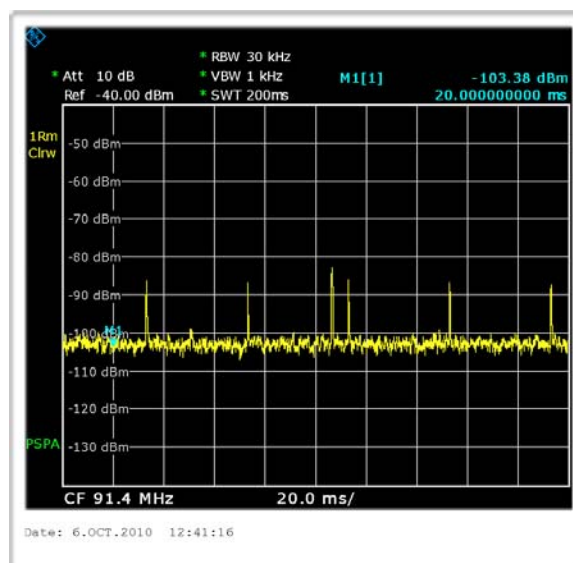
А3.4.3 Измерения в жилом здании А

Жилое здание А представляет собой двухквартирный дом с хорошим уровнем сигналов ЧМ и DAB. Прием ЧМ-сигналов национальной сети, соответствующих стандартам планируемого покрытия, возможен от двух передающих станций. Таким образом, в жилом здании А обеспечивается возможность сравнения двух условий приема ЧМ-сигналов национальной сети в одном месте. При выключенной сети PLT обеспечивался удовлетворительный прием сигналов от обеих передающих станций на портативные приемники внутри дома.

На рисунке 40 показан график с нулевой полосой обзора во временной области, на котором показаны помехи импульсного характера, когда сеть PLT находится в режиме ожидания.

РИСУНОК 40

График с нулевой полосой обзора для сети PLT в режиме ожидания

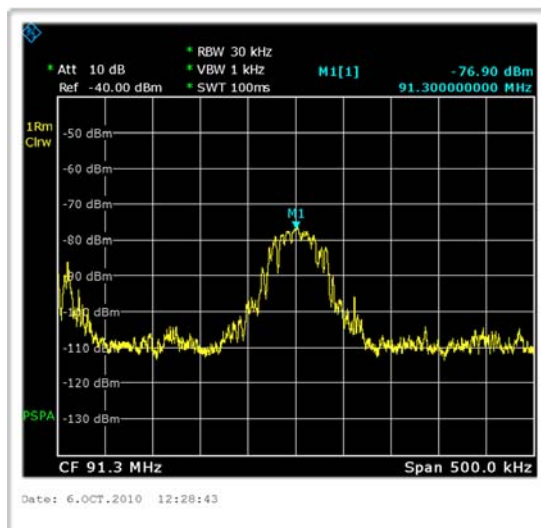


Report SM.2212-40

На рисунке 41 показан прием внутри помещения полезного ЧМ-сигнала радиостанции BBC Radio 3 от передатчика Wrotham в отсутствие помех со стороны сети PLT. Напряженность поля соответствует приблизительно 40 дБ(мкВ/м).

РИСУНОК 41

ЧМ-сигнал радиостанции BBC Radio 3 от передатчика Wrotham
в отсутствие помех со стороны сети PLT

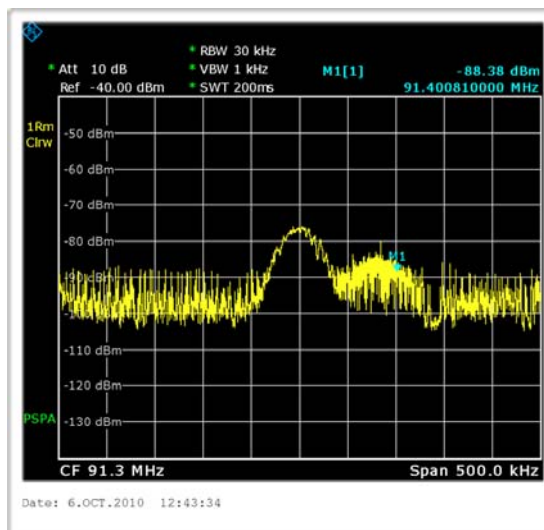


Report SM.2212-41

На рисунке 42 показан спектр сигнала во время передачи данных по сети PLT. Четко видно, что минимальный уровень шумов и помех значительно увеличился.

РИСУНОК 42

ЧМ-сигнал радиостанции BBC Radio 3 от передатчика Wrotham
во время передачи файлов по сети PLT



Report SM.2212-42

В этом месте внутри здания не было обнаружено никакого реального влияния сети PLT на прием сигналов DAB.

А3.4.4 Измерения в жилом здании В

В жилом здании В обеспечивается хороший прием служб ЧМ-вещания национальной сети от передатчика Wrotham, уровень сигналов которых также соответствует стандартам планируемого покрытия.

На рисунке 43 показан прием ЧМ-вещания внутри здания во время передачи данных по сети PLT и в режиме ожидания. По сравнению с условиями для жилого дома А, показанными на рисунках 41 и 42, уровень полезного сигнала приблизительно на 11 дБ выше, а помехи лишь на несколько дБ выше, поэтому отношение сигнал/помеха (SIR) возрастает. Таким образом, слышимые помехи становятся менее заметными, но все равно их уровень остается неприемлемым. Однако прием сигнала радиостанции BBC London на частоте 94,9 МГц в том же месте был практически нарушен. Измеренная напряженность поля сигнала этой станции внутри здания была на 3 дБ ниже уровня ЧМ-сигнала радиостанции BBC Radio 3.

В жилом здании В также обеспечивается хороший прием служб национальной сети DAB, а также различных "местных" мультимплексов. Национальные сети обеспечивают весьма надежный прием сигналов DAB во всем здании на портативный радиоприемник, работающий от батареек. Это не просто субъективное утверждение, поскольку DAB-радиоприемники позволяют объективно измерять качество приема путем контроля за работой внутренних процессов коррекции/обнаружения ошибок. Мультимплексы London 1 и 3 на практике обеспечивают надежный прием в отличие от варианта использования мультимплекса London 2.

На рисунке 43 показаны примеры спектров, записанных при нескольких комбинациях конфигурации сети PLT и расположения приемника DAB. Поскольку системы PLT и DAB являются широкополосными по сравнению с полосой пропускания используемого анализатора спектра, то можно непосредственно оценить отношение SIR путем визуального просмотра. В частности, верхний левый график на рисунке 43 показывает, что сигналы мультимплекса London 3 и обоих национальных мультимплексов четко различимы, в то время как сигналы других мультимплексов значительно слабее. При приеме внутри помещения наблюдается заметное различие. Нижний правый график на рисунке 43 показывает увеличенные уровни сигналов для всех мультимплексов, с небольшим преимуществом мультимплексов на более высокой частоте, а также показывает, что уровни сигналов местных лондонских мультимплексов немного выше по отношению к национальным мультимплексам¹³.

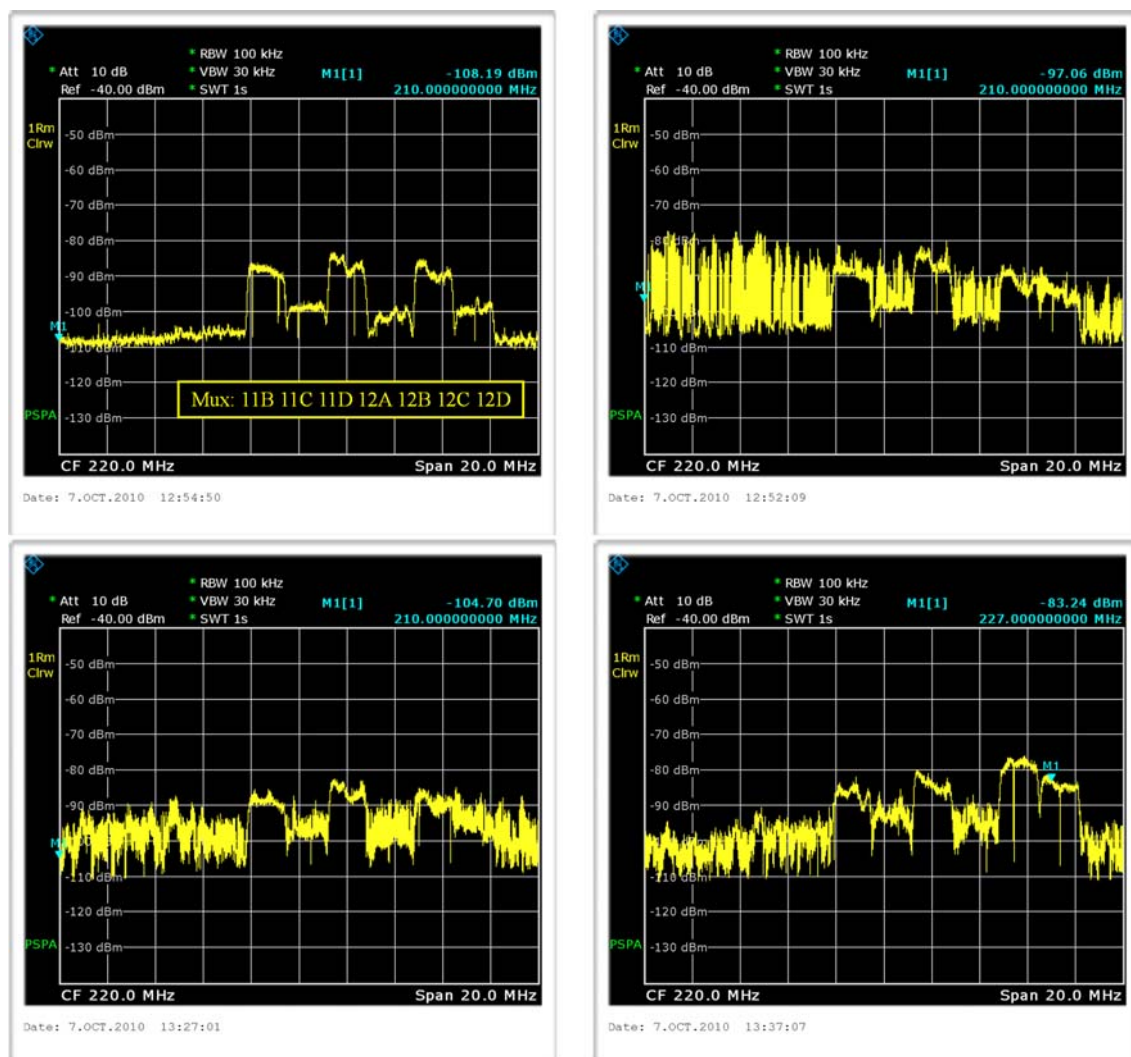
На верхнем левом и правом графиках на рисунке 43 показан прием во время работы сети PLT и без нее для одного местоположения приемника. Видно, что помехи в этом случае превышают уровень сигнала даже самых мощных мультимплексов (например, национальных), и поэтому неудивительно, что в этом сценарии их прием был невозможен.

Нижний левый график рисунка 43 соответствует тому же местоположению приемника, но с использованием других розеток электропитания для сети PLT. В этом случае отношение SIR было немного лучше, но прием даже национальных сетей все равно существенно ухудшался. На нижнем правом графике рисунка 43 показан прием для другого местоположения, но с использованием маршрутизации сети PLT, аналогичной варианту на левом нижнем графике. В этом случае отношение SIR еще немного улучшилось, после чего стал возможным прием сигналов от некоторых более мощных мультимплексов.

¹³ Местные лондонские мультимплексы используют набор положений передатчиков, отличный от набора, применяемого в национальных сетях; ближайшие оба (Crystal Palace и Reigate соответственно) находятся примерно к северу от жилого здания В (направление, в котором смотрят стеклянные двери гостиной), но имеют слегка различающиеся азимуты.

РИСУНОК 43

Спектры DAB-мультиплексов для различных комбинаций мест расположения приемника внутри дома и конфигурации сети PLT



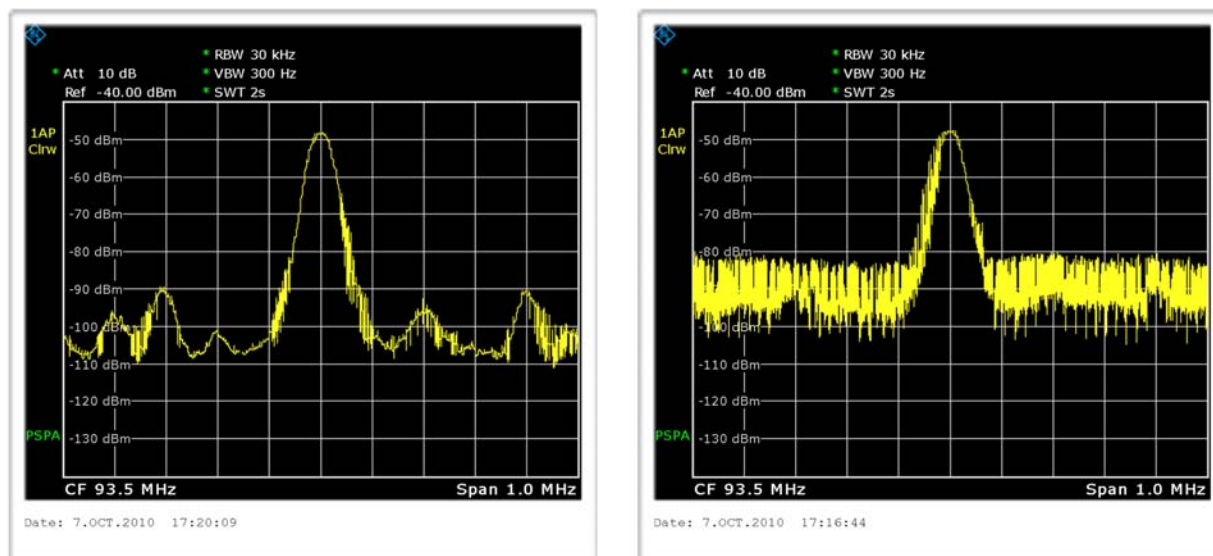
Report SM.2212-43

Жилое здание В также оснащено внешней антенной для приема радио с ЧМ в диапазоне II с распределительным усилителем на чердаке, обеспечивающим передачу сигналов по кабелям на несколько квартир.

На рисунке 44 показан спектр для приема национальной ЧМ-радиостанции BBC Radio 4 на частоте 93,5 МГц (передатчик Wrotham). На левом графике сеть PLT выключена, а на правом графике выполняется передача трафика данных по сети PLT. Заметно увеличение минимального уровня шума, вызванное воздействием помех сети PLT.

РИСУНОК 44

Спектры сигналов приема ЧМ-радиостанции BBC Radio 4 (93,5 МГц, передатчик Wrotham) с использованием внешней антенны в жилом здании В при выключенной сети PLT (слева) и при передаче трафика данных по сети PLT (справа)



Report SM.2212-44

Однако, чтобы сделать заключение об уровнях SNR и SIR исходя из этих результатов, необходимо соблюдать осторожность. Анализатор спектра использовал полосу пропускания 30 кГц, в то время как полоса пропускания ЧМ-приемника будет заметно шире. Поэтому РЧ-отношение SIR для приемника при передаче трафика данных по сети PLT будет хуже, чем предполагается согласно правому графику. На интерпретацию отношения SNR приемника на основании левого графика двояко влияет различие ширины пропускания анализатора спектра и приемника, а также тот факт, что анализатор спектра в своей схеме имеет аттенюатор для предотвращения перегрузки.

A3.4.5 Выводы

Это исследование позволило получить результаты спектральных измерений излучения от высокоскоростных модемов PLT в сравнении с полезными сигналами ЧМ-передатчиков диапазона II и DAB-передатчиков диапазона III. Эти измерения были проведены в двух типичных жилых зданиях наряду с процедурой доказательства и калибровочными испытаниями в лабораторных условиях.

Результаты показывают, что излучение от сети PLT сравнимо с уровнями полезной напряженности поля на приеме, используемыми в традиционных методах планирования. Действительно использование систем PLT поднимает минимальный уровень шума таким образом, что зоны, бывшие ранее зонами хорошего приема, превращаются в территории пограничного приема. Отношение SNR фактически снижается настолько, что приближается к допустимому порогу, и качество звука может быстро ухудшиться от просто зашумленного до неразборчивого при всего лишь небольшом изменении внешних факторов, таких как расположение приемника и условия тропосферного распространения.