

МСЭ-Т

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

G.9710

(02/2020)

СЕРИЯ G: СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ,
ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

Сети доступа – Сети доступа на металлических
кабелях

**Быстрый мультигигабитный доступ к
абонентским терминалам (MGfast) –
Спецификация спектральной плотности
мощности**

Рекомендация МСЭ-Т G.9710

РЕКОМЕНДАЦИИ МСЭ-Т СЕРИИ G
СИСТЕМЫ И СРЕДА ПЕРЕДАЧИ, ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ

МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТЕЛЕФОННЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ЦЕПИ	G.100–G.199
ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБЩИЕ ДЛЯ ВСЕХ АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	G.200–G.299
ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ ПО МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ЛИНИЯМ	G.300–G.399
ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕЖДУНАРОДНЫХ СИСТЕМ ТЕЛЕФОННОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ ИЛИ СПУТНИКОВЫХ ЛИНИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЕ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПРОВОДНЫМИ ЛИНИЯМИ	G.400–G.449
КООРДИНАЦИЯ РАДИОТЕЛЕФОНИИ И ПРОВОДНОЙ ТЕЛЕФОНИИ	G.450–G.499
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ И ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	G.600–G.699
ЦИФРОВОЕ ОКОНЕЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	G.700–G.799
ЦИФРОВЫЕ СЕТИ	G.800–G.899
ЦИФРОВЫЕ УЧАСТКИ И СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ЛИНИЙ	G.900–G.999
КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ – ОБЩИЕ И СВЯЗАННЫЕ С ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ АСПЕКТЫ	G.1000–G.1999
ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДЫ ПЕРЕДАЧИ	G.6000–G.6999
ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ – ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	G.7000–G.7999
АСПЕКТЫ ПЕРЕДАЧИ ПАКЕТОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ СЕТЯМ	G.8000–G.8999
СЕТИ ДОСТУПА	G.9000–G.9999
Сети доступа на металлических кабелях	G.9700–G.9799
Системы оптических линий для местных сетей и сетей доступа	G.9800–G.9899
Сети внутри помещений	G.9900–G.9999

Для получения более подробной информации просьба обращаться к перечню Рекомендаций МСЭ-Т.

Рекомендация МСЭ-Т G.9710

Быстрый мультигигабитный доступ к абонентским терминалам (MGfast) – Спецификация спектральной плотности мощности

Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.9710 определены требования к маске спектральной плотности мощности (PSD) для быстрого мультигигабитного доступа к абонентским терминалам (MGfast), набор инструментов для снижения маски PSD передачи и методика верификации PSD передачи. Обеспечивается поддержка работы по кабелю с витыми парами и по коаксиальному кабелю.

Хронологическая справка

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор*
1.0	МСЭ-Т G.9710	07.02.2020 года	15-я	11.1002/1000/14022

Ключевые слова

G.mgfast-PSD

* Для получения доступа к Рекомендации наберите в адресном поле вашего браузера URL <http://handle.itu.int/>, после которого укажите уникальный идентификатор Рекомендации. Например, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи и информационно-коммуникационных технологий (ИКТ). Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

На Всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соблюдение положений данной Рекомендации осуществляется на добровольной основе. Однако данная Рекомендация может содержать некоторые обязательные положения (например, для обеспечения функциональной совместимости или возможности применения), и в таком случае соблюдение Рекомендации достигается при выполнении всех указанных положений. Для выражения требований используются слова "следует", "должен" ("shall") или некоторые другие обязывающие выражения, такие как "обязан" ("must"), а также их отрицательные формы. Употребление таких слов не означает, что от какой-либо стороны требуется соблюдение положений данной Рекомендации.

ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на вероятность того, что практическое применение или выполнение настоящей Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, действительности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, доказываются ли такие права членами МСЭ или другими сторонами, не относящимися к процессу разработки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для выполнения настоящей Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ по адресу: <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2020

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.

Содержание

		Стр.
1	Сфера применения	1
2	Справочные документы	1
3	Определения	2
	3.1 Термины, определенные в других документах	2
	3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации	2
4	Сокращения и акронимы	2
5	Соглашения по терминологии	3
6	Маска PSD передачи	3
	6.1 Обзор	3
	6.2 Маска предельной PSD (LPM).....	4
	6.3 Маскирование поднесущей.....	4
	6.4 Формирование спектральной плотности мощности.....	4
	6.5 Режекция конкретных полос частот.....	4
	6.6 Маскирование затуханием на границе низких частот.....	6
7	Спецификация спектрального состава	7
	7.1 Тип PSD	7
	7.2 Спецификации маски PSD	8
8	Верификация PSD передачи.....	10
	Приложение А к Приложению О	12
	Приложение Р – Адаптация к среде витой пары	13
	Р.1 Полное сопротивление оконечной нагрузки	13
	Приложение Q – Адаптация к среде с витыми парами	14
	Q.1 Полное сопротивление оконечной нагрузки	14
	Q.2 Верификация PSD передачи	14
	Дополнение I – Международные полосы частот любительской радиослужбы	15
	Дополнение II – Другие службы воздушной связи, радионавигации и радиовещания.....	16
	Дополнение III – Определение PSD (TXPSD) передатчика для не являющихся непрерывными передач	17

Рекомендация UIT-T G.9710

Быстрый мультигигабитный доступ к абонентским терминалам (MGfast) – Спецификация спектральной плотности мощности

1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации определена спектральная плотность мощности для быстрого мультигигабитного доступа к абонентским терминалам (MGfast), который поддерживает передачу с совокупной чистой скоростью передачи данных (сумма скоростей восходящего и нисходящего потоков) по металлическим кабелям, включая витые пары и коаксиальные кабели, примерно до 10 Гбит/с. Способы адаптации к этим двум средам приведены, соответственно, в Приложениях Р и Q. В настоящей редакции Рекомендации к MTU в блоке оптической сети (MTU-O) подключен только один одноранговый MTU-R/NT; случай подключения к одному MTU-O нескольких MTU-R/NT в данной редакции Рекомендации не рассматривается. Использование спектра MGfast соответствует типам PSD 424 МГц и 848 МГц, однако в настоящей редакции Рекомендации описан только тип спектральной плотности мощности (PSD) 424 МГц.

В Рекомендации определены:

- требования к маске предельной спектральной плотности мощности (PSD);
- набор инструментов для снижения маски PSD передачи; и
- методика и требования к полному сопротивлению оконечной нагрузки для верификации PSD передачи.

Этим обеспечивается возможность того, чтобы технология удовлетворяла:

- региональным требованиям;
- требованиям операторов к развертыванию, например совместимости с другими технологиями цифровой абонентской линии (ЦАЛ);
- применимым нормативным актам или стандартам в области электромагнитной совместимости (ЭМС); и
- вопросам локальной ЭМС.

Соответствие оборудования настоящей Рекомендации МСЭ-Т, возможно, не обеспечит соблюдения конкретных национальных или региональных нормативных положений по электромагнитной совместимости после ввода установки в эксплуатацию.

2 Справочные документы

Указанные ниже Рекомендации МСЭ-Т и другие справочные документы содержат положения, которые путем ссылок на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие справочные документы могут подвергаться пересмотру; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается изучить возможность применения последнего издания Рекомендаций и других справочных документов, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т регулярно публикуется. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- | | |
|-----------------|--|
| [ITU-T G.993.2] | Recommendation ITU-T G.993.2 (2019), <i>Very high speed digital subscriber line transceivers 2 (VDSL2)</i> |
| [ITU-T G.997.2] | Recommendation ITU-T 997.2 (2019), <i>Physical layer management for G.fast transceivers</i> |

3 Определения

3.1 Термины, определенные в других документах

Отсутствуют.

3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации

В настоящей Рекомендации определяются следующие термины.

3.2.1 ceiling(x) – наименьшее целое число, которое не меньше, чем x .

3.2.2 floor(x) – наибольшее целое число, которое не больше, чем x .

3.2.3 f_{sc} – параметр, представляющий разнос между поднесущими частотами.

3.2.4 поднесущая (subcarrier) – основополагающий элемент модулятора дискретного многотонального сигнала DMT. Модулятор делит ширину полосы канала на множество параллельных подканалов. Центральная частота каждого подканала является поднесущей, которая может модулироваться битами для их передачи по каналу.

4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы.

DAB	Digital Audio Broadcasting		Цифровое звуковое вещание
DMT	Discrete Multitone		Дискретный многотональный сигнал
EMC	Electromagnetic Compatibility	ЭМС	Электромагнитная совместимость
ESD	Energy Spectral Density		Спектральная плотность энергии
FDS	Full duplex compatible Downstream Sub-frame		Субкадр нисходящего потока, совместимый с полнодуплексной передачей
FDX	Full Duplex		Полнодуплексная передача
FM	Frequency Modulation	ЧМ	Частотная модуляция
FUS	Full duplex compatible Upstream Sub-frame		Субкадр восходящего потока, совместимый с полнодуплексной передачей
IAR	International Amateur Radio		Международная любительская радиослужба
LESM	Low-frequency Edge Stop-band Mask		Маска затухания на границе низких частот
LPM	Limit PSD Mask		Маска предельной PSD
MGfast	Multi-gigabit Fast Access to Subscriber Terminals		Быстрый мультигигабитный доступ к абонентским терминалам
MIB	Management Information Base		База управляющей информации
MTU	MGfast Transceiver Unit		Приемопередатчик MGfast
MTU-O	MTU at the Optical Network Unit		MTU в составе элемента оптической сети
MTU-R	MTU at the Remote Site (i.e., subscriber end of the loop)		MTU в удаленном пункте (то есть абонентский конец линии)
NM	Notching Mask		Маска режекции
PSD	Power Spectral Density		Спектральная плотность мощности
PSM	PSD Shaping Mask		Маска формирования PSD
RFI	Radio Frequency Interference		Радиопомехи

SM	Subcarrier Mask		Маска поднесущей
TDD	Time Division Duplexing		Дуплексирование с временным разделением
TxPSDM	Transmit PSD Mask		Маска PSD передачи
VHF	Very High Frequency	ОВЧ	Очень высокая частота

5 Соглашения по терминологии

Отсутствуют.

6 Маска PSD передачи

6.1 Обзор

Маска PSD передачи (TxPSDM) строится путем объединения следующих масок:

- маски предельной PSD (LPM);
- маски поднесущей (SM);
- маски формирования PSD (PSM);
- маски режекции (NM); и
- маски затухания на границе низких частот (LESM).

Маски TxPSDM, применяемые к блоку приемопередатчика MGfast (MTU) в блоке оптической сети (MTU-O) или к MTU в удаленном пункте (то есть абонентском конце линии) (MTU-R), могут быть различными.

Для MTU – PSD сигнала передачи на любой частоте никогда не должна превышать TxPSDM.

Маска LPM (см. пункт 7.2.1) определяет абсолютный максимальный предел TxPSDM. Маска поднесущей (SM), маска формирования PSD (PSM), маска режекции (NM) и маска затухания на границе низких частот (LESM) обеспечивают снижение TxPSDM с помощью следующих механизмов:

- маскирование поднесущей;
- режекция конкретных полос частот;
- формирование PSD; и
- маскирование затуханием на границе низких частот.

Поддержка этих механизмов является обязательной как для MTU-O, так и для MTU-R.

Маска TxPSDM должна удовлетворять применимым национальным и региональным регуляторным требованиям.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – При определении корректной PSD для применения в конкретной юрисдикции операторам следует использовать предоставляемые инструменты для соблюдения национальных и региональных норм электромагнитной совместимости (ЭМС), особое внимание уделяя защите приемников служб обеспечения безопасности жизни, которые могут не находиться в непосредственной близости с абонентскими вводами, по которым передаются сигналы MGfast. К примерам этого относятся различные каналы очень высокой частоты (ОВЧ) воздушной радионавигационной службы в полосе 108–117,975 МГц, каналы системы управления "умными" электросетями в полосе 450–470 МГц и каналы воздушной связи в чрезвычайных ситуациях (например, 121,5 МГц, 406 МГц), а также каналы морской связи в чрезвычайной ситуации в полосах ВЧ и ОВЧ.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – TxPSDM определяется для разных усредненных значений ширины полосы в соответствии с частотой, указанной в таблице 8-1, за исключением подполос на границе низких частот и в области определенных в базе управляющей информации (MIB) режекторов, где применяются маски TxPSDM_W (широкая полоса 1 МГц) и TxPSDM_N (узкая полоса 10 кГц), описанные в пунктах 6.5 и 6.6.

ПРИМЕЧАНИЕ 3. – В системах связи пункта со многими пунктами к одному MTU-O подключено несколько MTU-R. В этом режиме работы MTU-O контролирует уровни передачи сигналов восходящего потока каждого отдельного MTU-R, гарантируя соответствие TxPSDM во время передачи в восходящем направлении.

6.2 Маска предельной PSD (LPM)

Маска предельной PSD (LPM) определяет абсолютный максимальный предел PSD маски TxPSDM, который никогда не должен превышаться. Все остальные определения и механизмы масок, используемых для построения TxPSDM, могут привести только к снижению маски по сравнению с пределами, установленными LPM.

6.3 Маскирование поднесущей

Маскирование поднесущей должно использоваться для подавления передачи на одной или нескольких поднесущих. Маска поднесущей (SM) конфигурируется в базе управляющей информации пункта распределения (DP-MIB) путем использования параметра CARMASK MCЭ-Т G.997.2. Мощность передачи поднесущих, определенная в SM, должна равняться нулю (по линейной шкале). Маска SM имеет приоритет над всеми другими инструкциями, относящимися к мощности передачи поднесущих.

Маска SM определяется в виде ряда маскированных полос частот. Каждая полоса задается начальным индексом поднесущей (x_L) и конечным индексом поднесущей (x_H) в виде $\{x_L, x_H\}$. Маску SM, включающую S полос, можно представить в следующем формате:

$$SM(S) = [\{x_{L1}, x_{H1}\}, \{x_{L2}, x_{H2}\}, \dots, \{x_{LS}, x_{HS}\}].$$

Все поднесущие в пределах заданной полосы, то есть с индексами больше или равными x_L и меньше или равными x_H , должны быть отключены (передаваться с нулевой мощностью).

ПРИМЕЧАНИЕ. – Маска SM предназначена для охвата маскируемых поднесущих, определяемых в приложении, в котором задаются региональные требования, направленные на соблюдение местных нормативных актов, и охвата маскируемых поднесущих, определяемых пользователем или поставщиком услуг в целях упрощения локального развертывания. Маскирование поднесущих не предназначено для защиты радиослужб; эта задача решается с помощью режекции (см. пункт 6.5).

6.4 Формирование спектральной плотности мощности

Формирование спектральной плотности мощности (PSD) позволяет снижать TxPSDM в некоторых частях спектра, главным образом для обеспечения спектральной совместимости и совместной работы с другими технологиями доступа и домашних сетей. Маска формирования PSD (PSM) конфигурируется в базе MIB пункта распределения путем использования параметра CARMASK MCЭ-Т G.997.2.

Маска PSM задается в диапазоне частот между самой низкой поднесущей x_1 (при $x_1 = \text{ceiling}(f_{tr1}/f_{sc})$) и самой высокой поднесущей x_H (при $x_H = \text{floor}(f_{tr2}/f_{sc})$) и состоит из одного или нескольких частотных сегментов. Границы сегментов определяются заданными точками излома. В пределах каждого сегмента PSM может быть постоянной либо формировать линейную наклонную характеристику между заданными точками излома (в дБм/Гц) с частотой, выраженной в линейном масштабе.

Каждая точка излома PSM определяется индексом поднесущей x_n и значением PSD_n в данной поднесущей, выраженным в дБм/Гц $\{x_n, PSD_n\}$. Значение PSD_1 также должно применяться к поднесущим ниже x_1 , а значение PSD_H также должно применяться к поднесущим выше x_H . Маску PSM, включающую S сегментов, можно представить $(S + 1)$ точкой излома в следующем формате:

$$PSM(S) = [\{x_1, PSD_1\}, \{x_2, PSD_2\}, \dots, \{x_S, PSD_S\}, \{x_H, PSD_H\}].$$

MTU должен поддерживать конфигурацию, содержащую минимум 32 точки излома PSM.

Если одна или несколько точек излома PSM заданы выше LPM, маска PSD передачи должна быть равна $TxPSDM = \min(PSM, LPM)$. Все значения PSD_n точек излома PSM должны быть больше уровня -90 дБм/Гц.

6.5 Режекция конкретных полос частот

В MTU должна быть предусмотрена возможность настройки на режекцию одной или нескольких конкретных полос частот в целях защиты радиослужб, например полос частот любительской радиослужбы и полос частот радиовещательной службы. Международные полосы частот любительской радиослужбы (IAR), подлежащие режекции, называются полосы IAR, а остальные полосы, подлежащие режекции, называются полосами радиопомех (RFI).

Каждый режектор в маске режекции (NM) должен задаваться в виде индексов поднесущих SC_{start} и SC_{stop} .

Допустимым диапазоном начального индекса тонального сигнала режектора SC_{start} являются все допустимые индексы тонального сигнала, которые ниже или равны минимальной частоте защищенной полосы радиосвязи минус $f_{sc}/2$. Допустимым диапазоном конечного индекса тонального сигнала режектора SC_{stop} являются все допустимые индексы тонального сигнала, которые выше или равны максимальной частоте защищенной полосы радиосвязи плюс $f_{sc}/2$.

MTU должен поддерживать режекцию 32 полос RFI одновременно.

Кроме того, MTU должен поддерживать режекцию 15 полос IAR. Подробное описание частоты этих полос IAR представлено в Дополнении I. В MTU должна быть предусмотрена возможность настройки для режекции отдельных полос частот любительской радиослужбы, исходя из необходимой защиты.

В пределах режектора все поднесущие должны быть отключены, и маска режекции (NM) должна быть равна LPM –20 дБ.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Может также потребоваться, чтобы поднесущие на любой стороне маскируемых поднесущих были отключены в целях удовлетворения требования к глубине режекции TxPSDM.

Для режектора задаются две маски PSD.

- Маска PSD узкополосной передачи (TxPSDM_N)

Данная маска задается для проверки PSD с использованием MBW = 10 кГц с центром в рассматриваемой частоте.

Маска TxPSDM_N задается как максимальное из NM и нижнего предела, равного –100 дБм/Гц:

$$TxPSDM_N = \max[NM, -100 \text{ дБм/Гц}].$$

- Маска PSD широкополосной передачи TxPSDM_W)

Данная маска задается для проверки математически рассчитанной средней PSD широкополосной передачи (PSD_W). Она получается путем усреднения узкополосных измерений (PSD_N) (измеренных в полосе MBW = 10 кГц) в окне шириной 1 МГц с центром в рассматриваемой частоте:

$$PSD_W(f) = 10 \times \log_{10} \left(\left(\frac{1}{100} \right) \times \sum_{i=(-49)}^{50} 10^{\left(\frac{PSD_N(f+i \times 10 \text{ кГц})}{10} \right)} \right),$$

где

PSD_N(f): узкополосное измерение на частоте f , выраженное в дБм/Гц;

PSD_W(f): математически рассчитанная средняя PSD широкополосной передачи на частоте f , выраженная в дБм/Гц;

TxPSDM_W задается как максимальное из двух значений: маски режекции (NM) и нижнего предела, определенного в таблице 6-1 для рассматриваемой частоты:

$$TxPSDM_W(f) = \max[NM(f), \text{нижний предел}(f)].$$

Таблица 6-1 – Требования к нижнему пределу TxPSDM_W

Частота, МГц	Нижний предел TxPSDM_W (дБм/Гц)
2,0–4,0	–100
4,0–5,0	–110
> 5,0	–112

Для режекторов, ширина которых менее 1 МГц:

- PSD передачи должна удовлетворять только маске PSD узкополосной передачи $TxPSDM_N$, и это требование должно соблюдаться на частотах $(SC_{start} \times f_{SC} + \frac{1}{2} \times MBW) < f < (SC_{stop} \times f_{SC} - \frac{1}{2} \times MBW)$.

Для режекторов, ширина которых составляет 1 МГц и более:

- PSD передачи должна удовлетворять маске PSD узкополосной передачи $TxPSDM_N$ на частотах $(SC_{start} \times f_{SC} + \frac{1}{2} \times MBW) < f < (SC_{stop} \times f_{SC} - \frac{1}{2} \times MBW)$; и
- средняя PSD широкополосной передачи ($PSD_W(f)$) должна удовлетворять маске PSD широкополосной передачи $TxPSDM_W$, на частотах $(SC_{start} \times f_{SC} + \frac{1}{2} \times MBW + 0,5 \text{ МГц}) < f < (SC_{stop} \times f_{SC} - \frac{1}{2} \times MBW - 0,5 \text{ МГц})$. Значением маски, с которым должно проводиться сравнение, является максимальное значение, которое принимает маска в окне 1 МГц $[f - 0,5 \text{ МГц}, f + 0,5 \text{ МГц}]$.

В Дополнении II приведено подробное описание частот радиовещательной службы (частотная модуляция (ЧМ), цифровое звуковое вещание (DAB), воздушная связь и радионавигация).

Для служб ЧМ, DAB и других радиослужб могут потребоваться различные настройки режекции в зависимости от характеристик конкретной радиослужбы.

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Маска NM может применяться для режекции отдельных вещательных станций в зависимости от использования спектра.

6.6 Маскирование затуханием на границе низких частот

Для маски затухания на границе низких частот (LESM) задаются две маски PSD.

- Маска PSD узкополосной передачи ($TxPSDM_N$)
Данная маска задается для проверки PSD с помощью полосы $MBW = 10 \text{ кГц}$ с центром в рассматриваемой частоте.
Маска $TxPSDM_N$ определяется, как показано на рисунке 6-1, где PSD_{tr3} – значение маски LPM внутриполосных составляющих на частоте f_{tr3} . Значения этой маски в переходной полосе получаются с помощью линейной интерполяции в децибелах на линейной шкале частот.
PSD передачи должна удовлетворять маске PSD узкополосной передачи $TxPSDM_N$ на частотах $(0,5 \text{ МГц} + \frac{1}{2} \times MBW) < f < (f_{tr3} - \frac{1}{2} \times MBW)$, где $f_{tr1} \leq f_{tr3} \leq 30 \text{ МГц}$. Значения PSD на частотах выше переходной частоты f_{tr3} считаются внутриполосными и определяются в пункте 7.2.1.1.

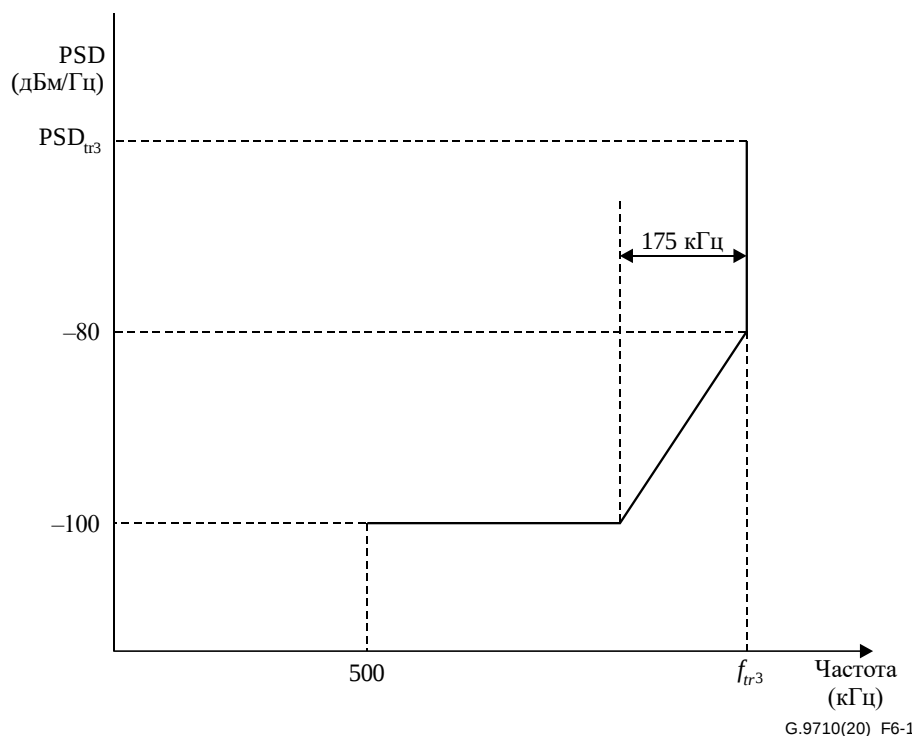


Рисунок 6-1 – Маска затухания на границе низких частот

- Маска PSD широкополосной передачи (TxPSDM_W).
 Данная маска задается для проверки математически рассчитанной средней PSD широкополосной передачи в окне шириной 1 МГц ($PSD_W(f)$), как это определено в пункте 6.5.
 Для рассматриваемой частоты значение $TxPSDM_W(f)$ задается в таблице 6-2.
 Средняя PSD широкополосной передачи ($PSD_W(f)$) должна удовлетворять маске PSD широкополосной передачи TxPSDM_W на частотах $(2,0 \text{ МГц} + \frac{1}{2} \times MBW + 0,5 \text{ МГц}) < f < (f_{tr3} - 175 \text{ кГц} - \frac{1}{2} \times MBW - 0,5 \text{ МГц})$. Значением маски, с которым должно проводиться сравнение, является максимальное значение, которое принимает маска в окне 1 МГц $[f - 0,5 \text{ МГц}, f + 0,5 \text{ МГц}]$.

Таблица 6-2 – Требования к маске TxPSDM_W LESM

Частота (МГц)	LESM TxPSDM_W (дБм/Гц)
2,0–4,0	–100
4,0–5,0	–110
> 5,0	–112

7 Спецификация спектрального состава

7.1 Тип PSD

Каждый тип PSD определяет нормативные значения для следующих параметров:

- маска предельной PSD (LPM).

В таблице 7-1 приведены применимые параметры для каждого типа PSD.

Таблица 7-1 – Параметры типа PSD

Параметр	Тип PSD (Примечание)	
	424 МГц	848 МГц
LPM	См. пункт 7.2.1	Требуется дальнейшего исследования
ПРИМЕЧАНИЕ. – Типы PSD могут определяться в будущем при условии, что они не выходят за границы маски предельной PSD, определенной в настоящей Рекомендации.		

7.2 Спецификации маски PSD

7.2.1 Маска предельной PSD (LPM)

Маска предельной PSD (LPM) представляет собой абсолютное максимальное значение T_xPSDM , которое никогда не должно превышать. Маски LPM внутриполосных составляющих для типа PSD 424 МГц представлены в пункте 7.2.1.1. Маски LPM внеполосных составляющих заданы в пункте 7.2.1.2.

7.2.1.1 Маска LPM внутриполосных составляющих

Маска LPM внутриполосных составляющих для типа PSD 424 МГц изображена на рисунке 7-1. Параметры этой маски LPM представлены в таблице 7-2.

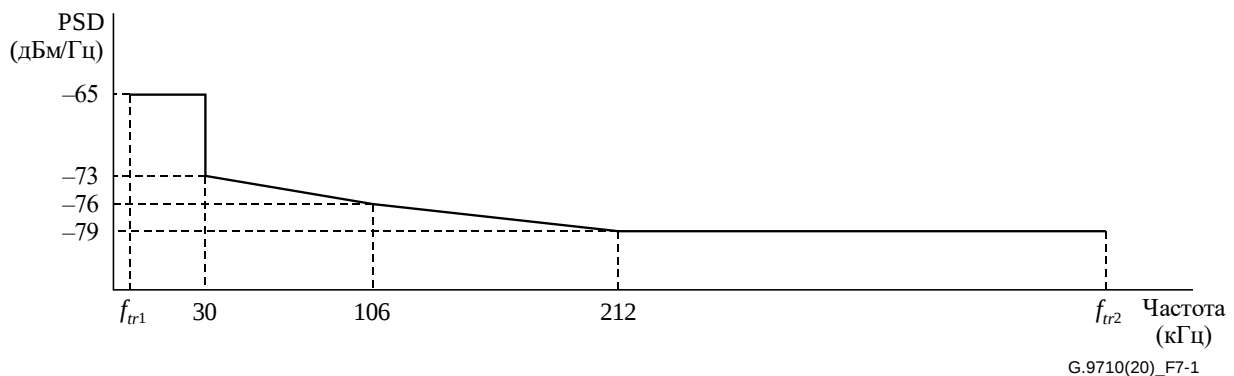


Рисунок 7-1 – Маска предельной PSD внутриполосных составляющих для типа PSD 424 МГц

Таблица 7-2 – Параметры маски LPM внутриполосных составляющих для типа PSD 424 МГц

Параметр	Частота (МГц)	PSD (дБм/Гц)	Описание
f_{tr1}	2	-65	Маска LPM на частотах ниже f_{tr1} задается в пункте 7.2.1.2
	30	-65	
	30	-73	Значения предельной PSD между перечисленными точками получаются методом линейной интерполяции в децибелах на линейной шкале частот. Маска LPM на частотах выше f_{tr2} задается в пункте 7.2.1.2
	106	-76	
	212	-79	
f_{tr2}	424	-79	

ПРИМЕЧАНИЕ. – При использовании формирования дополнительного спектра, как это описано в пункте 6 (например, для обеспечения спектральной совместимости или для соблюдения ограничения по мощности широкополосной передачи), различные части маски T_xPSDM могут быть уменьшены путем отключения поднесущих или уменьшения их мощности передачи. При необходимости могут также применяться дополнительные режекторы частот.

7.2.1.2 LPM внеполосных составляющих

LPM внеполосных составляющих должна быть такой, как показано на рисунке 7-2 для границы низких частот и на рисунке 7-3 для границы высоких частот, где PSD_{tr1} – значение маски LPM внутриполосных

составляющих на частоте f_{tr1} и PSD_{tr2} – значение маски LPM внеполосных составляющих на частоте f_{tr2} . Параметры этих масок LPM представлены в таблице 7-3 и таблице 7-4, соответственно.

Маска LPM внеполосных составляющих применяется к частотам, расположенным ниже нижней границы переходной частоты f_{tr1} , и к частотам, расположенным выше верхней границы переходной частоты f_{tr2} . Значения PSD между переходными частотами f_{tr1} и f_{tr2} считаются внутриполосными и определяются в пункте 7.2.1.1.

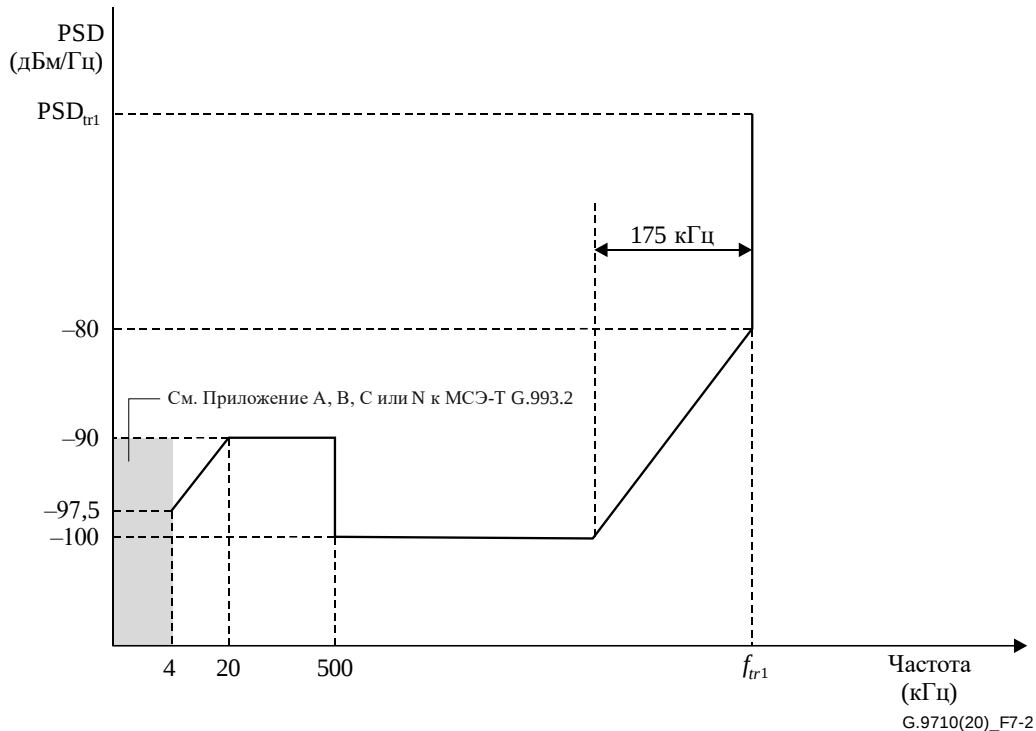


Рисунок 7-2 – Маска LPM внеполосных составляющих на границе низких частот

В Приложениях А, В, С и N [ITU-T G.993.2] указаны требования к частотам ниже 4 кГц для регионов Северной Америки, Европы, Японии и Китая, соответственно.

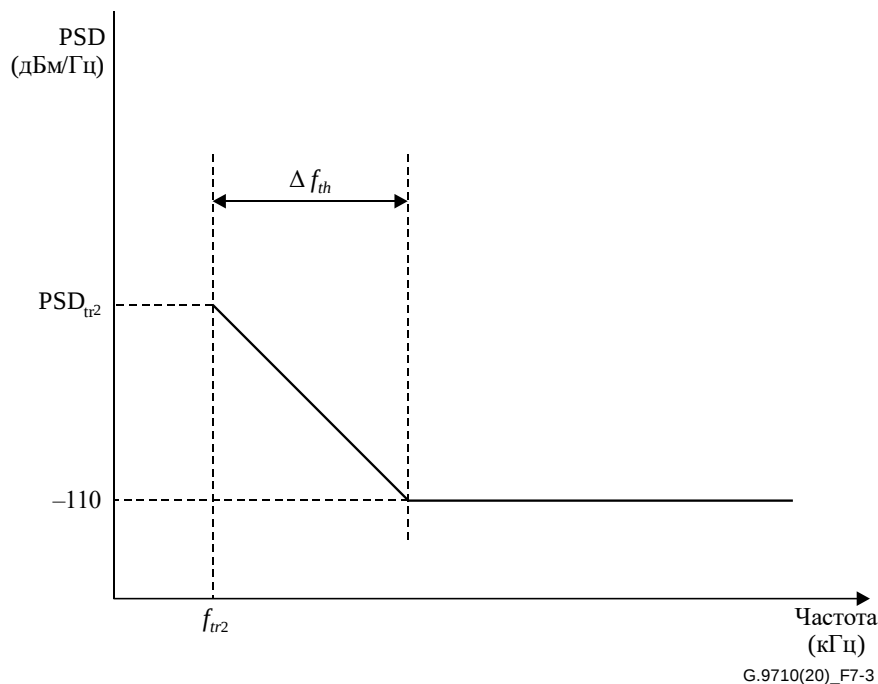


Рисунок 7-3 – Маска LPM внеполосных составляющих на границе высоких частот

Таблица 7-3 – Параметры маски LPM внеполосных составляющих на границе низких частот

f_{tr1} (МГц)		PSD_{tr1} (дБм/Гц)	Описание
2		–65	Предельная PSD на переходной частоте f_{tr1} опускается со значения PSD_{tr1} до –80 дБм/Гц. Предельная PSD в переходной полосе получается методом линейной интерполяции в децибелах по линейной шкале частоты. Предельная PSD в полосе 4–20 кГц получается методом линейной интерполяции в децибелах по логарифмической шкале частоты. Поднесущие на частотах ниже f_{tr1} не должны использоваться для передачи (ни данных, ни какой-либо вспомогательной информации)

Таблица 7-4 – Параметры маски LPM внеполосных составляющих на границе высоких частот

f_{tr2} (МГц)	PSD_{tr2} (дБм/Гц)	Переходная полоса Δf_{th} (МГц)	Описание
424	–79	80	Предельная PSD в переходной полосе (Δf_{th}) получается методом линейной интерполяции в децибелах по линейной шкале частоты. Поднесущие на частотах выше f_{tr2} не должны использоваться для передачи (ни данных, ни какой-либо вспомогательной информации)

7.2.2 Постоянно маскируемые поднесущие

Для типа PSD 424 МГц поднесущие с индексами 0–39 (включительно) должны постоянно маскироваться. Они не должны использоваться для передачи (ни данных, ни какой-либо вспомогательной информации).

8 Верификация PSD передачи

В настоящей Рекомендации значения маски PSD передачи определяются исходя из допущения, что передача является непрерывной. В системах, использующих режим дуплексирования с временным разделением (TDD), передача в каком-либо конкретном направлении не является непрерывной, а происходит только в определенные периоды времени. В системах, использующих режим полнодуплексной передачи (FDX), в данном направлении передачи PSD передачи в субкадре нисходящего потока, совместимом с полнодуплексной передачей (FDS), может отличаться от PSD в субкадре восходящего потока, совместимом с полнодуплексной передачей (FUS). Эти обстоятельства должны учитываться в применяемой процедуре измерения.

Ширина полосы измерения (MBW) для оценки PSD должна соответствовать значениям, определенным в таблице 8-1. Центральная частота полосы измерения должна совпадать с рассматриваемой частотой.

Значением маски, с которым должно проводиться сравнение, является максимальное значение, которое принимает маска в окне $[f - \frac{1}{2} \times MBW, f + \frac{1}{2} \times MBW]$.

ПРИМЕЧАНИЕ. – Если в каком-либо определенном диапазоне частот заданы маска PSD узкополосной передачи (TxPSDM_N) и маска PSD широкополосной передачи (TxPSDM_W), то значения MBW, определенные в данном пункте, соответствуют узкополосным измерениям PSD (PSD_N).

Маски PSD указаны относительно эталонного полного сопротивления оконечной нагрузки, определенного в пунктах P.1 и Q.1

Таблица 8-1 – Настройка ширины полосы измерения для верификации PSD передачи

Диапазон частот	Ширина полосы измерения (MBW)
$4 \text{ кГц} < f < 20 \text{ кГц}$	1 кГц
$20 \text{ кГц} < f < f_{tr1}$	10 кГц
$(f_{tr1} + \frac{1}{2} \times \text{MBW}) - (30 \text{ МГц} - \frac{1}{2} \times \text{MBW})$	1 МГц
$(30 \text{ МГц} + \frac{1}{2} \times \text{MBW}) - (f_{tr2} - \frac{1}{2} \times \text{MBW})$	1 МГц
$> f_{tr2}$ до 300 МГц	100 кГц
Любая полоса частот режекции	10 кГц

Приложение А к Приложению О

Приложение А к Приложению О намеренно оставлено пустым.

Приложение Р

Адаптация к среде витой пары

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

Р.1 Полное сопротивление оконечной нагрузки

Для приемопередатчика, работающего по кабелям с витыми парами, для обоих блоков – MTU-O и MTU-R – в U интерфейсе должно использоваться полное сопротивление оконечной нагрузки $R_V = 100$ Ом, являющееся чисто резистивным сопротивлением. В частности, $R_V = 100$ Ом должно использоваться в качестве оконечной нагрузки при определении и верификации PSD передачи, а также суммарной мощности передачи.

Приложение Q

Адаптация к среде с витыми парами

Q.1 Полное сопротивление оконечной нагрузки

Для приемопередатчика, работающего по коаксиальным кабелям, для обоих блоков – MTU-O и MTU-R – в U интерфейсе должно использоваться полное сопротивление оконечной нагрузки $R_V = 75 \text{ Ом}$, являющееся чисто резистивным сопротивлением. В частности, $R_V = 75 \text{ Ом}$ должно использоваться в качестве оконечной нагрузки при определении и верификации PSD передачи, а также суммарной мощности передачи.

Q.2 Верификация PSD передачи

В системах, работающих по коаксиальным кабелям с использованием режима FDX, PSD передачи в данном направлении передачи должна быть одинаковой как для FDS, так и для FUS. Это обстоятельство следует учитывать в применяемой процедуре измерения.

Дополнение I

Международные полосы частот любительской радиослужбы

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

В таблице I.1 перечислены международные полосы частот любительской радиослужбы в диапазоне частот 1,8 МГц – 900 МГц.

**Таблица I.1 – Международные полосы частот любительской радиослужбы
в диапазоне частот 1,8 МГц – 900 МГц**

Начало полосы (кГц)	Конец полосы (кГц)
1 800	2 000
3 500	4 000
5 351,5	5 366,5
7 000	7 300
10 100	10 150
14 000	14 350
18 068	18 168
21 000	21 450
24 890	24 990
28 000	29 700
50 000	54 000
69 900	70 500
144 000	148 000
219 000	225 000
420 000	450 000

Дополнение II

Другие службы воздушной связи, радионавигации и радиовещания

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

В таблице II.1 перечислены другие службы воздушной связи, радионавигации и радиовещания в диапазоне частот 1,8 МГц – 900 МГц.

**Таблица II.1 – Другие службы воздушной связи, радионавигации и радиовещания
в диапазоне частот 1,8 МГц – 900 МГц**

Служба	Начало полосы (кГц)	Конец полосы (кГц)
ЧМ	87 500	108 000
Цифровое наземное телевидение (Район 2)	174 000	216 000
Цифровое наземное телевидение/ цифровое звуковое радиовещание (Районы 1 и 3)	174 000	230 000
Системы управления "умными" электросетями	450 000	470 000
EPIRB в системе КОСПАС-САРСАТ	460 000	460 100

Дополнение III

Определение PSD (TXPSD) передатчика для не являющихся непрерывными передач

(Данное Дополнение не является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации)

В настоящем Дополнении приведено формальное описание спектральной плотности мощности (TXPSD) передатчика для сигналов, составляющих поток символов, включая периоды молчания, аналогичных формируемым системами DMT, дуплексированными с временным разделением.

В настоящем Дополнении определяется TXPSD, применяемая к потоку передаваемых символов, перфорированному потоку или непрерывному потоку символов. Передаваемыми символами являются все символы, передаваемые в период передачи в направлении передачи. В кадре PDX существуют два периода передачи – FDS и FUS. Измерение TXPSD для периодов передачи FDS и FUS выполняется отдельно. Позиции символов молчания в период передачи исключаются. Конкретный метод измерения выходит за рамки настоящего Дополнения.

В настоящем Дополнении TXPSD определяется через промежуточную переменную "PSD символа передатчика" (TXSPSD). TXSPSD определяется в зависимости от математического ожидания спектральной плотности энергии (ESD) символов, передаваемых в конкретном направлении.

ESD формы напряжения сигнала $V_s(t)$ выводится с использованием опорного полного сопротивления, которое составляет 100 Ом:

$$\text{ESD}(V_s, f) = \frac{1}{R_0} \left| \int_{-\infty}^{\infty} V_s(t) \cdot e^{-i2\pi f t} dt \right|^2 (\text{Дж/Гц});$$

$$R_0 = 100 \text{ Ом}.$$

TXSPSD выводится из математического ожидания ESD по группе символов, переданных в период передачи (FDS или FUS):

$$\text{TXSPSD}(f) = f_{DMT} \cdot E[\text{ESD}(V(t), f); V \in S] (\text{Вт/Гц});$$

$$S = \{S_0, S_1, \dots, S_N\};$$

$S_0, S_1, \dots, S_N$ – действительная последовательность символов, переданных в период передачи (FDS или FUS);

$E[x]$ – математическое ожидание x .

Такая нормализация по периоду передачи символов обеспечивает, что бесконечная последовательность символов имеет TXSPSD, которая в пределе стремится к классической PSD, выведенной с помощью преобразования Фурье автокорреляционной функции.

Проверяемая TXPSD определяется в конкретной ширине полосы bw следующим образом:

$$\text{TXPSD}(bw, f) = 30 + 10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{bw} \int_{f-\frac{bw}{2}}^{f+\frac{bw}{2}} \text{TXSPSD}(f_b) df_b \right) (\text{дБм/Гц}).$$

$\text{TXPSDM}(f)$ – максимальный допустимый уровень для $\text{TXPSD}(bw, f)$ длинной последовательности символов.

Методы проверки на соответствие не входят в сферу применения настоящей Рекомендации.

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия D	Принципы тарификации и учета и экономические и стратегические вопросы международной электросвязи/ИКТ
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
Серия K	Защита от помех
Серия L	Окружающая среда и ИКТ, изменение климата, электронные отходы, энергоэффективность; конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	Управление электросвязью, включая СУЭ и техническое обслуживание сетей
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация, а также соответствующие измерения и испытания
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных, взаимосвязь открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, аспекты протокола Интернет, сети последующих поколений, интернет вещей и "умные" города
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи