

Рекомендация

## **МСЭ-Т G.9901 (2017) Попр.1 (04/2023)**

СЕРИЯ G: Системы и среда передачи, цифровые системы и сети

Сети доступа – Сети внутри помещений

---

Узкополосные приемопередатчики  
с ортогональным частотным разделением  
систем связи по линиям электропередачи –  
Спецификация спектральной плотности  
мощности

**Поправка 1**

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 ВЧ-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
<b>Сети внутри помещений</b>	<b>G.9900–G.9999</b>

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

# Рекомендация МСЭ-Т G.9901

## Узкополосные приемопередатчики с ортогональным частотным разделением систем связи по линиям электропередачи – Спецификация спектральной плотности мощности

### Поправка 1

#### Резюме

В Рекомендации МСЭ-Т G.9901 определяется передаваемое выходное напряжение в полосе 9–535 кГц, а также параметры управления, которые задают спектральный состав, требования к маске спектральной плотности мощности (PSD), набор инструментов, обеспечивающих снижение PSD передачи, средства измерения данной PSD применительно к передаче по проводам линий электропередачи, а также допустимую суммарную мощность передачи, выделяемую в указанном импедансе оконечной нагрузки.

Рекомендация МСЭ-Т G.9901 также дополняет спецификации архитектуры системы, физического уровня (PHY) и уровня канала передачи данных (DLL), изложенные в Рекомендациях МСЭ-Т G.9902 (G.hnem), G.9903 (G3-PLC) и G.9904 (PRIME).

В данное издание содержит следующие изменения:

- ограничения выходного напряжения, установленные для частотного плана МСЭ-Т G.9902 FCC-2, были расширены для охвата технологии МСЭ-Т G.9903 и, вследствие этого, помещены в основную часть; были приняты меры, для того чтобы в максимальной возможной степени обеспечить ссылки на существующие стандарты;
- разъяснение возможности маскировки тональными сигналами в Приложении В.

В Исправлении 1 исправлен ряд ошибок в параметрах управления CENELEC-B, содержащихся в Приложении В.

В Поправке 1 представлены частотные планы FCC-Low и FCC-High, содержащиеся в Приложении В.

#### Хронологическая справка\*

Издание	Рекомендация	Утверждение	Исследовательская комиссия	Уникальный идентификатор
1.0	МСЭ-Т G.9901	20.11.2012 г.	15-я	11.1002/1000/11827
1.1	МСЭ-Т G.9901 (2012), Попр. 1	12.07.2013 г.	15-я	11.1002/1000/11895
2.0	МСЭ-Т G.9901	04.04.2014 г.	15-я	11.1002/1000/12089
3.0	МСЭ-Т G.9901	30.06.2017 г.	15-я	11.1002/1000/13171
3.1	МСЭ-Т G.9901 (2017), Испр. 1	13.11.2022 г.	15-я	11.1002/1000/15161
3.2	МСЭ-Т G.9901 (2017), Попр. 1	28.04.2023 г.	15-я	11.1002/1000/15245

#### Ключевые слова

Пределы кондуктивных излучений, G3-PLC, узкополосная связь по линиям электропередачи, спектральная плотность мощности, PRIME.

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

## 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 получил извещение об интеллектуальной собственности, защищенной патентами/авторскими правами на программное обеспечение, 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 соответствующим базам данных МСЭ-Т, доступным на веб-сайте МСЭ-Т по адресу <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© ITU 2023

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 Условные обозначения .....	2
6 Спецификации передаваемого выходного напряжения, относящиеся к полосе 3–148,5 кГц.....	2
7 Спецификации передаваемого выходного напряжения, относящиеся к полосе 148,5–535 кГц.....	2
7.1 Эквивалент сети электропитания .....	3
Приложение А – Спецификации спектральной плотности мощности приемопередатчиков G.hnem.....	4
A.1 Спецификация полосы частот .....	4
A.2 Маска спектральной плотности мощности передачи .....	6
Приложение В – Спецификации спектральной плотности мощности для приемопередатчиков G3-PLC .....	8
B.1 Спецификации полос частот.....	8
B.3 Маска спектральной плотности мощности передачи .....	10
Приложение С – Спецификации спектральной плотности мощности для приемопередатчиков PRIME .....	13
C.1 Введение.....	13
C.2 Параметры PHY .....	13
C.3 Частотный план CENELEC.....	13



## Рекомендация МСЭ-Т G.9901

### Узкополосные приемопередатчики сигналов с ортогональным частотным разделением систем связи по линиям электропередачи – Спецификация спектральной плотности мощности

#### Поправка 1

*Примечание редактора. – Данная публикация содержит полный текст. Изменения, вносимые настоящей Поправкой, показаны в режиме отображения исправлений в тексте Рекомендации МСЭ-Т G.9901 (2017) и Изменении 1 к ней.*

#### 1 Сфера применения

В настоящей Рекомендации определяются параметры управления, которые задают спектральный состав, требования к маске спектральной плотности мощности (PSD), набор инструментов, обеспечивающих снижение PSD передачи, средства измерения данной PSD применительно к передаче по проводам линий электропередачи, а также допустимую суммарную мощность передачи, выделяемую в указанном импедансе оконечной нагрузки. Эта Рекомендация дополняет спецификации архитектуры системы, физического уровня (PHY) и уровня канала передачи данных (DLL), изложенные в [ITU-T G.9902] (G.hnem), [ITU-T G.9903] (G3-PLC) и [ITU-T G.9904] (PRIME).

#### 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.9902]  | Recommendation ITU-T G.9902 (2012), <i>Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for ITU-T G.hnem networks.</i>  |
| [ITU-T G.9903]  | Recommendation ITU-T G.9903 (2014), <i>Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for G3-PLC networks.</i>  |
| [ITU-T G.9904]  | Recommendation ITU-T G.9904 (2012), <i>Narrowband orthogonal frequency division multiplexing power line communication transceivers for PRIME networks.</i>   |
| [IEC 61334-5-1] | IEC 61334-5-1:2001, <i>Distribution automation using distribution line carrier systems – Part 5-1: Lower layer profiles – The spread frequency shift keying (S-FSK) profile.</i>   |
| [CISPR 16-1-2]  | CISPR 16-1-2:2014, <i>Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Coupling devices for conducted disturbance measurements.</i> |
| [EN 50065-1]    | EN 50065-1:2011, <i>Signalling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148, 5 kHz – Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances.</i>                              |
| [ARIB STD-T84]  | ARIB STD-T84 (2002), <i>Power line communication equipment (10 kHz-450 kHz).</i>   |

### 3 Определения

#### 3.1 Термины, определенные в других документах

В настоящей Рекомендации используется следующий термин, определенный в других документах.

**3.1.1 частотный план (bandplan)** [ITU-T G.9902]: Конкретный диапазон частотного спектра, определяемый нижней и верхней частотами.

#### 3.2 Термины, определенные в настоящей Рекомендации

Отсутствуют.

### 4 Сокращения и акронимы

В настоящей Рекомендации используются следующие сокращения и акронимы.

AMN	Artificial Mains Network		Эквивалент сети электропитания
CES	Circuit Emulation Service		Услуга эмуляции канала
DLL	Data Link Layer		Уровень канала передачи данных
FCH	Frame Control Header		Заголовок управления кадром
FFT	Fast Fourier Transform	БПФ	Быстрое преобразование Фурье
LV	Low Voltage		Низкое напряжение
NB-PLC	Narrowband-Power Line Communications		Узкополосная связь по линиям электропередачи
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing		Мультиплексирование с ортогональным делением по частоте
PFH	PHY-Frame Header		Заголовок кадра PHY
PHY	Physical layer		Физический уровень
PLC	Power Line Communications		Связь по линиям электропередачи
PMSC	Permanently Masked Subcarriers		Постоянно маскированные поднесущие
PSD	Power Spectral Density		Спектральная плотность мощности
S-FSK	Spread Frequency Shift Keying		Расширенная частотная манипуляция

### 5 Условные обозначения

Не используются.

### 6 Спецификации передаваемого выходного напряжения, относящиеся к полосе 3–148,5 кГц

В Европе следует применять [EN 50065-1].

### 7 Спецификации передаваемого выходного напряжения, относящиеся к полосе 148,5–535 кГц

Должны соблюдаться следующие ограничения:

- 1) напряжение выходного сигнала, измеренное пиковым детектором с полосой пропускания 200 Гц, ни в какой части полосы частот не должно превышать 120 дБ (мкВ) при нагрузке на эквивалент сети электропитания (AMN);
- 2) напряжение выходного сигнала, измеренное пиковым детектором по всей полосе, не должно превышать 137 дБ (мкВ) при нагрузке на AMN;



- 3) напряжение выходного сигнала за пределами полосы 148,5–535 кГц должно соответствовать [EN 50065-1].

### **7.1 Эквивалент сети электропитания**

AMN должен соответствовать пункту 4.4 [CISPR16-1-2].

Испытательная установка должна соответствовать представленной на рисунке 4 в [EN 50065-1] для однофазных систем PLC и представленной на рисунке 6 [EN 50065-1] для трехфазных систем PLC.

## Приложение А

### Спецификации спектральной плотности мощности приемопередатчиков G.hnet

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

ПРИМЕЧАНИЕ. – В настоящем Приложении содержатся спецификации PSD, относящиеся к [ITU-T G.9902].

#### А.1 Спецификация полосы частот

Для соответствия данной Рекомендации обязательной является поддержка как минимум одного из частотных планов CENELEC или FCC.

##### А.1.1 Полоса CENELEC

При работе в полосе CENELEC (3–148,5 кГц) узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице А.1 (см. пункт 8.4.7, [ITU-T G.9902]).

Таблица А.1 – Параметры управления модулятором мультиплексирования с ортогональным делением по частоте для полосы CENELEC

Обозначение	Значение
$N$	128
$f_{sc}$	1,5625 кГц
$N_{GI-PL}$	12 – 1, 2-битовое отображение 24 – 3, 4-битовое отображение
$N_{GI-HD}$	0
$N_{GI-CES}$	0
$B$	8
$f_{us}$	$64 \times f_{sc}$

Полоса CENELEC разделена на поддиапазоны, образующие частотные планы А, В и CD, которые описываются в подразделах А.1.1.1–А.1.1.3.

##### А.1.1.1 Частотный план CENELEC-A

Параметры частотного плана CENELEC-A заданы в таблице А.2.

Таблица А.2 – Параметры для частотного плана CENELEC-A

Обозначение	Значение	Примечание
$f_{START}$	35,9375 кГц	Нижняя частота плана CENELEC-A (поднесущая № 23)
$f_{END}$	90,625 кГц	Верхняя частота плана CENELEC-A (поднесущая № 58)
Индексы постоянно маскированных поднесущих	от 0 до 22, от 59 до 127	Пункт 8.4.2.1, [ITU-T G.9902]

##### А.1.1.2 Частотный план CENELEC-B

Параметры частотного плана CENELEC-B заданы в таблице А.3.

**Таблица А.3 – Параметры для частотного плана CENELEC-B**

Обозначение	Значение	Примечание
$f_{START}$	98,4375 кГц	Нижняя частота плана CENELEC-B (поднесущая № 63)
$f_{END}$	120,3125 кГц	Верхняя частота плана CENELEC-B (поднесущая № 77)
Индексы постоянно маскированных поднесущих	от 0 до 62, от 78 до 127	Пункт 8.4.2.1, [ITU-T G.9902]

### **А.1.1.3 Частотный план CENELEC-CD**

Параметры частотного плана CENELEC-CD заданы в таблице А.4.

**Таблица А.4 – Параметры для частотного плана CENELEC-CD**

Обозначение	Значение	Примечание
$f_{START}$	125 кГц	Нижняя частота плана CENELEC-CD (поднесущая № 80)
$f_{END}$	143,75 кГц	Верхняя частота плана CENELEC-CD (поднесущая № 92)
Индексы постоянно маскированных поднесущих	от 0 до 79, от 93 до 127	Пункт 8.4.2.1, [ITU-T G.9902]

### **А.1.2 Частотные планы FCC**

При работе в полосе FCC (9–490 кГц) узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице А.5 (см. пункт 8.4.7, [ITU-T G.9902]).

**Таблица А.5 – Параметры управления модулятором мультиплексирования с ортогональным делением по частоте для полосы FCC**

Обозначение	Значение
$N$	256
$f_{SC}$	3,125 кГц
$N_{GI}$	24 – 1, 2-битовое отображение 48 – 3, 4-битовое отображение
$N_{GI-HD}$	0
$N_{GI-CES}$	0
$\beta$	16
$f_{US}$	$128 \times f_{SC}$

Частотные планы FCC, FCC-1 и FCC-2, определенные для полосы FCC, описываются в подразделах А.1.2.1–А.1.2.3. Дополнительные частотные планы для полосы FCC требуют дальнейшего изучения.

### A.1.2.1 Частотный план FCC

Параметры для частотного плана FCC заданы в таблице А.6.

**Таблица А.6 – Параметры для частотного плана FCC**

Обозначение	Значение	Примечание
$f_{START}$	34,375 кГц	Нижняя частота плана FCC (поднесущая № 11)
$f_{END}$	478,125 кГц	Верхняя частота плана FCC (поднесущая № 153)
Индексы постоянно маскированных поднесущих	от 0 до 10, от 154 до 255	Пункт 8.4.2.1, [ITU-T G.9902]

### A.1.2.2 Частотный план FCC-1

Параметры для частотного плана FCC-1 заданы в таблице А.7.

**Таблица А.7 – Параметры для частотного плана FCC-1**

Обозначение	Значение	Примечание
$f_{START}$	34,375 кГц	Нижняя частота плана FCC (поднесущая № 11)
$f_{END}$	137,5 кГц	Верхняя частота плана FCC (поднесущая № 44)
Индексы постоянно маскированных поднесущих	от 0 до 10, от 45 до 255	Пункт 8.4.2.1, [ITU-T G.9902]

### A.1.2.3 Частотный план FCC-2

Параметры для частотного плана FCC-2 заданы в таблице А.8.

**Таблица А.8 – Параметры для частотного плана FCC-2**

Обозначение	Значение	Примечание
$f_{START}$	150 кГц	Нижняя частота плана FCC (поднесущая № 48)
$f_{END}$	478,125 кГц	Верхняя частота плана FCC (поднесущая № 153)
Индексы постоянно маскированных поднесущих	от 0 до 47, от 154 до 255	Пункт 8.4.2.1, [ITU-T G.9902]

### A.1.3 Частотный план ARIB

Частотный план ARIB должен соответствовать требованиям, изложенным в разделе 3.4, [ARIB STD-T84].

При работе в соответствии с частотным планом ARIB узел должен использовать параметры, указанные в пункте А.1.2, со следующим изменением: тоны 134–153 определены как тоны постоянно маскированных поднесущих (PMSC) (определение тонов PMSC см. в пункте 8.4.2.1, [ITU-T G.9902]).

## A.2 Маска спектральной плотности мощности передачи

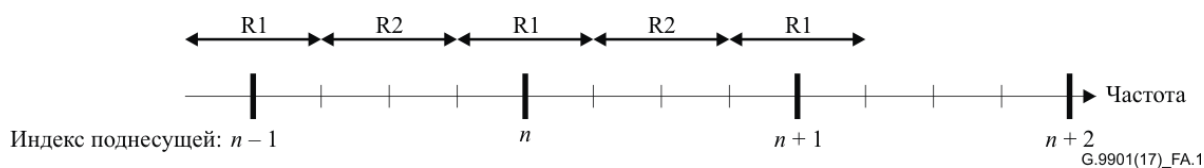
### A.2.1 Режекция частоты

В [ITU-T G.9902] поддерживается возможность режекции частоты для регуляторных целей и для целей сосуществования. Режекция применяется ко всем компонентам кадра РНУ [преамбула, заголовок кадра РНУ (PHF), услуга эмуляции канала (CES) и полезная нагрузка], а также ко всем кадрам РНУ, передаваемым в домене.

Если режекция частоты осуществляется посредством маскировки поднесущих, то такие маскированные поднесущие выбираются по следующим правилам:

- полоса частот между двумя последовательными поднесущими ( $f_{sc}$ ) разделена на четыре равномерно расположенные секции, которые затем группируются в две одинаковые области: R1, которая окружает каждую поднесущую, и R2, которая находится в середине между двумя поднесущими, как показано на рисунке А.1;
- если частота режекции попадает в область R1 поднесущей, должны маскироваться эта поднесущая и две соседние поднесущие (то есть должны маскироваться в общей сложности три поднесущие с индексами  $(n - 1)$ ,  $n$  и  $(n + 1)$ ), если частота режекции попадает в область R1, которая содержит поднесущую  $n$ );
- если частота режекции попадает в область R2, должны маскироваться две ближайшие поднесущие по обеим сторонам (то есть должны маскироваться в общей сложности четыре поднесущие с индексами  $(n - 1)$ ,  $n$ ,  $(n + 1)$  и  $(n + 2)$ ), если частота режекции попадает в область R2 между поднесущими  $n$  и  $(n + 1)$ ).

ПРИМЕЧАНИЕ. – В зависимости от относительного положения частоты, которая должна быть частотой режекции относительно поднесущих, количество маскируемых поднесущих может изменяться, однако частота режекции должна быть на удалении не менее  $7 \times f_{sc}/4$  кГц от ближайшей немаскируемой поднесущей.



**Рисунок А.1 – Режекция частоты**

## Приложение В

### Спецификации спектральной плотности мощности для приемопередатчиков G3-PLC

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

ПРИМЕЧАНИЕ. – В настоящем Приложении содержатся спецификации PSD, относящиеся к [ITU-T G.9903].

#### В.1 Спецификации полос частот

##### В.1.1 Полоса CENELEC

###### В.1.1.1 Частотный план CENELEC-A

При работе в полосе CENELEC-A (3–95 кГц) узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице В.1.

**Таблица В.1 – Параметры управления модулятором мультиплексирования  
с ортогональным делением по частоте для частотного плана CENELEC-A**

Число точек быстрого преобразования Фурье (БПФ)	$N = 256$
Число перекрывающихся отсчетов	$N_O = 8$
Число отсчетов циклического префикса	$N_{CP} = 30$
Число символов заголовка управления кадром (FCH)	$N_{FCH} = 13$
Частот дискретизации	$f_s = 0,4$ МГц
Число символов преамбулы	$N_{pre} = 9,5$

При работе в соответствии с частотным планом CENELEC-A узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице В.2.

**Таблица В.2 – Параметры для частотного плана CENELEC-A**

	Число поднесущих	Первая поднесущая (кГц)	Последняя поднесущая (кГц)
CENELEC-A	36	35,9375	90,625

###### В.1.1.2 Частотный план CENELEC-B

При работе в полосе CENELEC-B (95–125 кГц) узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице В.2-1.

**Таблица В.2-1 – Параметры управления модулятором мультиплексирования  
с ортогональным делением по частоте для полосы CENELEC**

Число точек быстрого преобразования Фурье (БПФ)	$N = 256$
Число перекрывающихся отсчетов	$N_O = 8$
Число отсчетов циклического префикса	$N_{CP} = 30$
Число символов заголовка управления кадром (FCH)	$N_{FCH} = 30$
Частот дискретизации	$f_s = 0,4$ МГц
Число символов преамбулы	$N_{pre} = 9,5$

При работе в соответствии с частотным планом CENELEC-B узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице В.3.

**Таблица В.3 – Параметры для частотного плана CENELEC-B**

	Число поднесущих	Первая поднесущая (кГц)	Последняя поднесущая (кГц)
CENELEC-B	16	98,4375	121,875

**В.1.2 Полоса FCC**

**В.1.2.1 Частотный план FCC**

При работе в полосе FCC (9–490 кГц) и в соответствии с частотным планом FCC узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице В.4.

**Таблица В.4 – Параметры управления модулятором мультиплексирования с ортогональным делением по частоте для частотного плана FCC**

Число точек быстрого преобразования Фурье (БПФ)	$N = 256$
Число перекрывающихся отсчетов	$N_O = 8$
Число отсчетов циклического префикса	$N_{CP} = 30$
Число символов заголовка управления кадром (FCH)	$N_{FCH} = 12$
Частот дискретизации	$f_s = 1,2$ МГц
Число символов преамбулы	$N_{pre} = 9,5$

При работе в соответствии с частотным планом FCC узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице В.5.

**Таблица В.5 – Параметры для частотного плана FCC**

Частотные планы	Число поднесущих	Первая поднесущая (кГц)	Последняя поднесущая (кГц)
FCC	72	154,6875	487,5

**В.1.2.2 Частотный план FCC-Low**

При работе в полосе FCC (9–490 кГц) и в соответствии с частотным планом FCC-Low узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице В.5-1.

**Таблица В.5-1 – Параметры управления модулятором мультиплексирования с ортогональным делением по частоте для частотного плана FCC-Low**

<u>Число точек быстрого преобразования Фурье (БПФ)</u>	<u><math>N = 256</math></u>
<u>Число перекрывающихся отсчетов</u>	<u><math>N_O = 8</math></u>
<u>Число отсчетов циклического префикса</u>	<u><math>N_{CP} = 30</math></u>
<u>Число символов заголовка управления кадром (FCH)</u>	<u><math>N_{FCH} = 27</math></u>
<u>Частот дискретизации</u>	<u><math>f_s = 1,2</math> МГц</u>
<u>Число символов преамбулы</u>	<u><math>N_{pre} = 9,5</math></u>

При работе в соответствии с частотным планом FCC-Low узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице В.5-2.

**Таблица В.5-2 – Параметры для частотного плана FCC-Low**

<u>Частотные планы</u>	<u>Число поднесущих</u>	<u>Первая поднесущая (кГц)</u>	<u>Последняя поднесущая (кГц)</u>
<u>FCC</u>	<u>33</u>	<u>154,6875</u>	<u>304,6875</u>

### **В.1.2.3 Частотный план FCC-High**

При работе в полосе FCC (9–490 кГц) и в соответствии с частотным планом FCC-High узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице В.5-3.

**Таблица В.5-3 – Параметры управления модулятором мультиплексирования с ортогональным делением по частоте для частотного плана FCC-High**

<u>Число точек быстрого преобразования Фурье (БПФ)</u>	<u><math>N = 256</math></u>
<u>Число перекрывающихся отсчетов</u>	<u><math>N_O = 8</math></u>
<u>Число отсчетов циклического префикса</u>	<u><math>N_{CP} = 30</math></u>
<u>Число символов заголовка управления кадром (FCH)</u>	<u><math>N_{FCH} = 27</math></u>
<u>Частот дискретизации</u>	<u><math>f_s = 1,2</math> МГц</u>
<u>Число символов преамбулы</u>	<u><math>N_{pre} = 9,5</math></u>

При работе в соответствии с частотным планом FCC-High узел должен использовать параметры управления, указанные в таблице В.5-4.

**Таблица В.5-4 – Параметры для частотного плана FCC-High**

<u>Частотные планы</u>	<u>Число поднесущих</u>	<u>Первая поднесущая (кГц)</u>	<u>Последняя поднесущая (кГц)</u>
<u>FCC</u>	<u>32</u>	<u>337,5</u>	<u>482,8125</u>

### **В.3 Маска спектральной плотности мощности передачи**

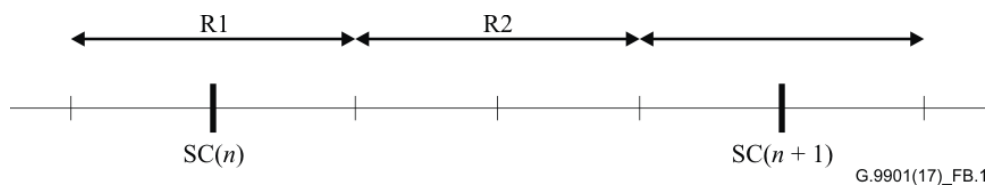
Система РНУ ITU-T G.9903 инициализируется таким образом, чтобы были возможными свойства маскировки тональным сигналом:

- 1) обеспечение гибкости в соблюдении региональных нормативных требований, например, упрощение сосуществования с радиослужбами;
- 2) обеспечение возможности сосуществования с другими технологиями связи по линиям электропередачи, действующими в той же полосе, например, системами расширенной частотной манипуляции (S-FSK) в соответствии с [IEC 61334-5-1];
- 3) обеспечение возможности гибкости в разнесении доменов ITU-T G.9903 с помощью частотного разделения, например, путем присвоения неперекрывающихся полос различным доменам ITU-T G.9903.

В передатчике должна использоваться соответствующая схема для введения глубоких режекций в спектр. В частности, для совместной работы с системами S-FSK осуществляется режекция двух частот  $f_M$  и  $f_S$ , называемых в [IEC 61334-5-1] частотами токовой посылки и бестоковой посылки.

В зависимости от положения требуемой частоты режекции относительно поднесущих маскируются несколько поднесущих. На маскируемых поднесущих никакие данные не передаются. В соответствии с приведенным рисунком В.1, если частота режекции находится в районе R1, то маскируются  $SC(n - 1)$ ,  $SC(n)$  и  $SC(n + 1)$ , то есть в общей сложности три поднесущие. Если частота режекции находится в области R2, то маскируются две ближайшие поднесущие с каждой стороны [ $SC(n - 1)$ ,  $SC(n)$ ,  $SC(n + 1)$  и  $SC(n + 2)$ ], то есть в общей сложности четыре поднесущие.





**Рисунок В.1 – Режекция частоты**

Карта режекций должна быть глобальным параметром, который устанавливается на этапе инициализации устройств. Как описывалось выше, для обеспечения достаточно глубокой режекции для определенной полосы частот необходимо установить на нуль одну (или в некоторых случаях две) дополнительные поднесущие перед и после этой полосы, в зависимости от положения режекции относительно поднесущих. Следующий псевдокод может использоваться для выбора между одной или двумя дополнительными поднесущими.

если  $\text{NotchFreq}/\text{SamplingFreq} \times \text{FFTSize}$  находится в районе R1

$$\text{Sc}(n - 1) = \text{Sc}(n) = \text{Sc}(n + 1) = 0;$$

если  $\text{NotchFreq}/\text{SamplingFreq} \times \text{FFTSize}$  находится в районе R2

$$\text{Sc}(n - 1) = \text{Sc}(n) = \text{Sc}(n + 1) = \text{Sc}(n + 2) = 0;$$

$\text{SamplingFreq}$  и  $\text{FFTSize}$  равны 400 кГц и 256 соответственно.

$\text{Sc}$  – массив, определяющий используемые поднесущие для передачи данных (если  $\text{Sc}(i)$  равен нулю, данные на этой поднесущей не передаются).

Режекция частоты уменьшает количество активных тонов, используемых для передачи информации. Поскольку режекция выполняется для всех передаваемых сигналов, включая заголовок управления кадром (FCH), количество символов в FC зависит от количества активных тонов.

Ниже приведен фрагмент кода, который может определить количество символов мультиплексирования с ортогональным делением по частоте (OFDM), используемых для передачи 33-битового FC:

```
fcSize = 33; // Размер FC
```

$$\text{rxFCSymNum} = \text{ceil}(((\text{fcSize} + 6) \times 2 \times 6) / \text{freqNum});$$

где  $\text{freqNum}$  – количество доступных поднесущих после режекции частот,  $\text{ceil}$  – функция максимального значения.

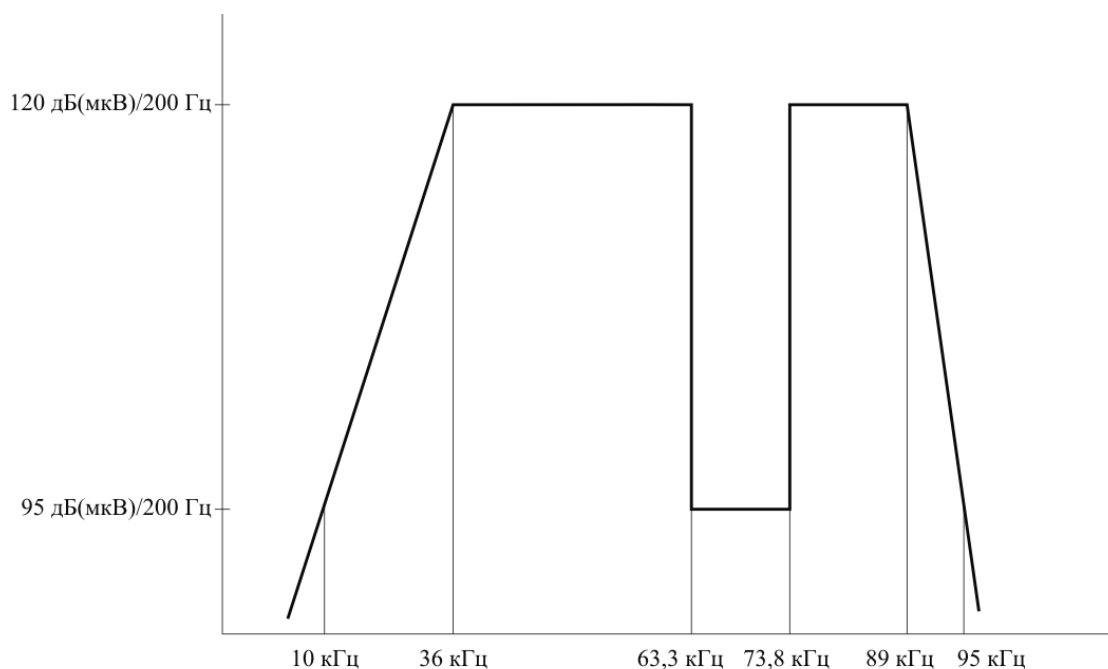
Например, в случае сосуществования с [IEC 61334-5-1]: для сведения к минимуму его воздействия на сигнал S-FSK модем OFDM не должен передавать каких-либо сигналов между частотами S-FSK, то есть в полосе 63–74 кГц. Подавленные в результате режекции поднесущие в этом режиме приведены в таблице В.6.

**Таблица В.6 – Подавленные в результате режекции поднесущие в режиме совместности**

Номер поднесущей	Частота поднесущей
39	60,9375
40	62,5000
41	64,0625
42	65,6250
43	67,1875
44	68,7500
45	70,3125
46	71,8750
47	73,4375
48	75,0000
49	76,5625

Поэтому 11 поднесущих не могут передавать данные. Учитывая то, что в общей сложности имеется 36 поднесущих, для передачи данных остается 25 поднесущих, что приводит к FC с 19 символами OFDM, поскольку  $\text{ceil}[(33 + 6) \times 2 \times 6 / 25] = 19$ .

На всех станциях должна использоваться маскировка тональными сигналами на поднесущих, определенных на каждой подстанции для соответствия спектральной маске передачи. Спектральная плотность передаваемой мощности на частоте режекции должна быть на 25 дБ ниже ограничений, установленных для остальных поднесущих – см., например, рисунок В.2.



G.9901(17)\_FB.2

**Рисунок В.2 – Спектр с двумя режекциями, произведенными для совместной работы с модемом системы связи по линии электропередачи с расширенной частотной манипуляцией**

Измерения выполняются при использовании анализатора спектра с разрешением по полосе пропускания 200 Гц и квазипикового детектора. Передатчик должен быть конфигурирован на повторение передачи просматриваемых пакетов данных максимальной длины.

### **В.3.1 Передача побочного сигнала**

Производитель несет ответственность за обеспечение того, чтобы передача побочных сигналов соответствовала регуляторным положениям, действующим в стране, в которой используется эта станция.

## Приложение С

### Спецификации спектральной плотности мощности для приемопередатчиков PRIME

(Данное Приложение является неотъемлемой частью настоящей Рекомендации.)

ПРИМЕЧАНИЕ. – В настоящем Приложении содержатся спецификации PSD, относящиеся к [ITU-T G.9904].

#### С.1 Введение

В настоящем Приложении содержатся спецификации PSD, относящиеся к [ITU-T G.9904]. ITU-T G.9904 представляет собой схему передачи данных по линиям электропередачи с использованием OFDM в полосе CENELEC-A, определенную в основной части настоящей Рекомендации. Объект физического уровня использует частоты в полосе 3–95 кГц, и он ограничивается приложениями для мониторинга или контроля распределительной низковольтной сети, включая использование энергии для подключенного оборудования и для помещений. Однако общеизвестным фактом является то, что использование частот ниже 40 кГц связано с рядом проблемных моментов в типовых низковольтных (LV) линиях электропередачи. Например:

- модуль импеданса нагрузки со стороны передатчиков иногда ниже 1 Ом, особенно для базовых узлов, размещаемых на трансформаторах;
- цветной фоновый шум, который постоянно присутствует в линиях электропередачи и обуславливается суммированием многочисленных источников шума относительно малой мощности, экспоненциально увеличивает свою амплитуду в области низких частот;
- помещения с измерительными приборами являются дополнительной проблемой, поскольку, как известно, поведение потребителя сильно влияет на свойства канала на низких частотах, т. е. работа всевозможных бытовых электроприборов приводит к значительным и непредсказуемым изменениям во времени характеристик функции передачи и помеховой обстановки.

Поэтому для сигнала OFDM используется полоса пропускания частоты 47,363 кГц, расположенная в верхней части полосы CENELEC A.

Для самого сигнала OFDM используется 97 равномерно распределенных поднесущих (96 для передачи данных и одна пилотная) с коротким циклическим префиксом.

#### С.2 Параметры РНУ

В таблице С.1 перечислены параметры управления и хронирования OFDM.

Таблица С.1 – Частота и параметры хронирования PRIME РНУ

Тактовая частота группового сигнала (Гц)	250 000	
Разнос поднесущих (Гц)	488,28125	
Количество поднесущих для передачи данных	84 (заголовок)	96 (полезная нагрузка)
Количество пилотных поднесущих	13 (заголовок)	1 (полезная нагрузка)
Интервал БПФ (отсчеты)	512	
Интервал БПФ (мкс)	2 048	
Циклический префикс (отсчеты)	48	
Циклический префикс (мкс)	192	
Интервал между символами (отсчеты)	560	
Интервал между символами (мкс)	2 240	
Период преамбулы (мкс)	2 048	

#### С.3 Частотный план CENELEC

Начальной и конечной частотами являются  $f_s = 41\,992$  Гц и  $f_t = 88\,867$  Гц соответственно.





## 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
<b>Серия G</b>	<b>Системы и среда передачи, цифровые системы и сети</b>
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 межсетевых протоколов, сети последующих поколений, интернет вещей и умные города
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи