

Перевод ITU-T G.703

Версия 1

Контроль версий

Версия	Дата	Изменения
1	август 2024	Первая версия.

Будьте осторожны, это любительский перевод ! Связь по почте tiuta sbk mail tчk ru

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Сектор стандартизации телекоммуникаций
Серия G: системы передачи данных, среда передачи, цифровые системы и сети
Цифровое оконечное оборудование
Общие положения

Рекомендация ITU-T G.703 Электрические параметры иерархически организованных цифровых интерфейсов

Версия 9.1 (2021 год)

Рекомендации ITU-T серии G

Системы передачи данных, среда передачи, цифровые системы и сети

Международные телефонные соединения и цепи	G.100–G.199
Основные параметры, общие для всех аналоговых систем передачи	G.200–G.299
Параметры международных систем телефонной связи, использующих металлические кабели	G.300–G.399
Основные параметры международных систем телефонной связи, использующих радиорелейные или спутниковые линии, а также их стыковка с системами передачи, использующими металлические кабели	G.400–G.449
Взаимодействие между радиотелефонией и проводной телефонией	G.450–G.499
Параметры среды передачи и оптических кабелей	G.600–G.699
Цифровое оконечное оборудование	G.700–G.799
Общие положения	G.700–G.709
Кодирование голосовых и звуковых сигналов	G.710–G.729
Основные параметры мультиплексоров первого уровня	G.730–G.739
Основные параметры мультиплексоров второго уровня	G.740–G.749
Основные параметры мультиплексоров высших уровней	G.750–G.759
Основные параметры транскодировщиков и цифрового оборудования сжатия голосовых сигналов	G.760–G.769
Особенности эксплуатации, управления и технического обслуживания систем передачи данных	G.770–G.779
Основные параметры мультиплексоров синхронной цифровой иерархии	G.780–G.789
Другое оконечное оборудование	G.790–G.799
Цифровые сети	G.800–G.899
Цифровые участки сетей связи и цифровые линии	G.900–G.999
Качество обслуживания и эффективность передачи мультимедиа. Общие параметры и параметры, зависящие от пользователя.	G.1000–G.1999
Параметры среды передачи	G.6000–G.6999
Передача данных по транспортным сетям. Общие положения.	G.7000–G.7999
Передача пакетного трафика по транспортным сетям	G.8000–G.8999
Сети доступа	G.9000–G.9999

Для более подробного ознакомления смотрите полный список рекомендаций ITU-T.

Аннотация

Данная рекомендация устанавливает рекомендуемые электрические параметры для интерфейсов, образующих иерархии скоростей передачи данных, описанные в рекомендациях ITU-T G.702 (PDH) и ITU-T G.707 (SDH). Приведены основные характеристики интерфейсов, параметры передатчиков и приёмников (и/или параметры сигнала в точках стыка с другими системами передачи), сведения о заземлении внешнего проводника или экрана кабеля, а также описания используемых электрических кодов.

В рамках дополнения 1 было добавлено приложение Б, в котором приведены требования к высокоточному интерфейсу синхронизации времени. Также были обновлены ссылки на сторонние документы.

История изменений

Версия	Документ	Дата утверждения	Исследовательская группа	Идентификатор ¹
1.0	ITU-T G.703	15 декабря 1972		11.1002/1000/11264
2.0	ITU-T G.703	8 октября 1976		11.1002/1000/9993
3.0	ITU-T G.703	21 ноября 1980		11.1002/1000/7754
4.0	ITU-T G.703	19 октября 1984		11.1002/1000/3630
5.0	ITU-T G.703	25 ноября 1988		11.1002/1000/894
6.0	ITU-T G.703	5 апреля 1991	XVIII	11.1002/1000/895
7.0	ITU-T G.703	13 октября 1998	15	11.1002/1000/4514
8.0	ITU-T G.703	29 ноября 2001	15	11.1002/1000/5602
8.1	ITU-T G.703 (2001), включая поправку 1	29 марта 2008	15	11.1002/1000/9369
8.2	ITU-T G.703 (2001), включая изменение 1	29 августа 2013	15	11.1002/1000/11989
9.0	ITU-T G.703	13 апреля 2016	15	11.1002/1000/12788
9.1	ITU-T G.703 (2016), включая дополнение 1	29 мая 2021	15	11.1002/1000/14618

Ключевые слова

Электрические параметры интерфейса, PDH, плезиохронная цифровая иерархия, SDH, синхронная цифровая иерархия, интерфейс синхронизации.

¹ Для доступа к рекомендации укажите в адресной строке вашего браузера адрес «<http://handle.itu.int>», а затем уникальный идентификатор документа. Например, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>

Введение

Международный союз электросвязи (ITU) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций, которое занимается вопросами в области телекоммуникаций, а также информационными и коммуникационными технологиями (ИКТ). Сектор стандартизации телекоммуникаций (ITU-T) является постоянным органом международного союза электросвязи. ITU-T отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов, а также за выпуск рекомендаций по ним с целью стандартизации телекоммуникаций во всём мире.

На всемирной ассамблее по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяются темы для изучения исследовательскими комиссиями ITU-T, которые, в свою очередь, вырабатывают рекомендации по этим темам. Утверждение рекомендаций ITU-T осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию ITU-T, необходимые стандарты разрабатываются совместно с ИСО и МЭК.

Примечание

В данной рекомендации термин "администрация" используется для краткого обозначения как организации, осуществляющей непосредственное управление телекоммуникационным оборудованием, так и государственного исполнительного органа.

Соблюдение положений данной рекомендации осуществляется на добровольной основе. Однако данная рекомендация может содержать некоторые обязательные требования, выполнение которых необходимо, например, для обеспечения совместимости или возможности использования. В таком случае, соответствие рекомендации достигается при выполнении всех указанных требований. Для выражения обязательных требований используется слово «следует» или некоторые другие обязывающие выражения, такие как «должен», а также их отрицательные формы. Употребление таких слов не означает, что соблюдение требований данной рекомендации является обязательным для какой-либо стороны.

Права интеллектуальной собственности

ITU обращает внимание на возможность того, что практическое применение или внедрение данной рекомендации может быть связано с использованием прав интеллектуальной собственности. ITU не занимает никакой позиции относительно подтверждения, действительности или применимости прав интеллектуальной собственности, независимо от того, доказываются ли такие права членами ITU или другими сторонами, не участвующими в процессе разработки рекомендации.

На момент утверждения данной рекомендации ITU не получал извещений об объектах интеллектуальной собственности, защищённых патентами или авторским правом на программное обеспечение, которые могут потребоваться для реализации данной рекомендации. Однако лица и организации, использующие данную рекомендацию, должны иметь в виду, что вышесказанное может не отражать самых последних данных. Поэтому им настоятельно рекомендуется обратиться к соответствующим базам данных бюро стандартизации электросвязи по адресу <http://www.itu.int/ITU-T/ipr>.

© ITU 2021

Все права сохранены. Запрещается копирование любой части данного документа с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения ITU.

Оглавление

1. Область действия	8
2. Ссылки	8
3. Определения	10
3.1 Термины, определённые в других документах	10
3.2 Термины, определённые в данной рекомендации	10
4. Сокращения	10
5. Соглашения.....	10
6. Интерфейс со скоростью 64 кбит/с (E0).....	10
6.1. Функциональные требования	10
6.2 Электрические параметры.....	12
7. Интерфейс со скоростью 1544 кбит/с (E11).....	21
7.1 Основные параметры.....	21
7.2. Форма импульса	23
7.3 Глаз-диаграмма	24
8. Интерфейс со скоростью 6312 кбит/с (E21).....	24
9. Интерфейс со скоростью 32064 кбит/с	26
10. Интерфейс со скоростью 44736 кбит/с (E32).....	28
11. Интерфейс со скоростью 2048 кбит/с (E12).....	31
11.1 Основные параметры.....	31
11.2 Параметры передатчика	31
11.3 Параметры приёмника.....	32
11.4 Заземление внешнего проводника или экрана кабеля.....	33
12. Интерфейс со скоростью 8448 кбит/с (E22).....	34
12.1 Основные параметры.....	34
12.2 Параметры передатчика	35
12.3 Параметры приёмника.....	36
12.4 Заземление внешнего проводника кабеля	37
13. Интерфейс со скоростью 34368 кбит/с (E31).....	37
13.1 Основные параметры.....	37
13.2 Параметры передатчика	37
13.3 Параметры приёмника.....	38
13.4 Заземление внешнего проводника кабеля	39
14. Интерфейс со скоростью 139264 кбит/с (E4).....	39
14.1 Основные параметры.....	39
14.2 Параметры передатчика	39
14.3 Параметры приёмника.....	42
14.4 Заземление внешнего проводника кабеля	42
15. Интерфейс тактирования с частотой 2048 кГц (T12).....	42
15.1 Основные параметры.....	42
15.2 Параметры передатчика	42
15.3 Параметры приёмника.....	44
15.4 Заземление внешнего проводника или экрана кабеля.....	44
16. Интерфейс со скоростью 97728 кбит/с	44
17. Интерфейс со скоростью 155520 кбит/с – STM-1 (ES1).....	45
17.1 Основные параметры.....	45
17.2 Параметры передатчика	45
17.3 Параметры приёмника.....	49
17.4 Параметры сигнала на стыке с другими системами передачи	49
17.5 Заземление внешнего проводника кабеля	50
18. Интерфейс со скоростью 51840 кбит/с (STM-0).....	50
18.1 Основные параметры.....	50
18.2 Параметры передатчика	51
18.3 Параметры приёмника.....	55
18.4 Параметры сигнала на стыке с другими системами передачи	56

18.5	Заземление внешнего проводника кабеля	57
19.	Интерфейсы синхронизации времени, описанные в ИТУ-Т G.8271/Y.1366	57
19.1	Интерфейс синхронизации времени и передачи секундных меток	57
19.2	Интерфейс секундных меток (сопротивление 50 Ом).....	59
20.	Интерфейс тактирования с частотой 10 МГц.....	61
20.1	Основные параметры	61
20.2	Параметры передатчика	61
20.3	Параметры приёмника.....	62
Приложение А.	Описание линейных кодов	63
А.1	Описание кодов V3ZS, HDB3, V6ZS и V8ZS	63
А.2	Описание кода СМI.....	64
Приложение Б.	Требования к высокоточному интерфейсу секундных меток	64
Дополнение I.	Устаревшие параметры интерфейса со скоростью 1544 кбит/с.....	65
I.1	Введение	65
I.2	Параметры интерфейса	65
I.3	Маска импульса	65
Дополнение II.	Интерфейсы тактирования с частотами 64 и 6312 кГц, используемые в Японии ...	66
II.1	Интерфейс тактирования с частотой 64 кГц.....	66
II.2	Интерфейс тактирования с частотой 6312 кГц.....	67
Дополнение III.	Интерфейс со скоростью 3152 кбит/с, использующийся в Северной Америке.....	68
Список использованных источников	69

1. Область действия

В данной рекомендации приведены электрические параметры, рекомендуемые для интерфейсов, образующих иерархии скоростей передачи данных, описанные в рекомендациях ITU-T G.702 (PDH) и ITU-T G.707 (SDH). Данные интерфейсы обеспечивают взаимодействие различных компонентов цифровых сетей связи (цифровых участков линий связи, оборудования мультимплексирования, телефонных станций) с целью формирования межгосударственных цифровых каналов или соединений. Параметры, приведённые в данной рекомендации, следует использовать при проектировании нового оборудования и его частей.

Примечание 1. Параметры интерфейсов, скорости которых не входят в какую-либо иерархию, приведены в рекомендациях, относящихся к соответствующему оборудованию. Исключение составляет интерфейс со скоростью 3152 кбит/с, относящийся к североамериканской иерархии, а также интерфейсы со скоростями $n \times 64$ кбит/с, использующиеся для предоставления абоненту части пропускной способности интерфейсов со скоростями 1544 и 2048 кбит/с.

Примечание 2. Требования, предъявляемые данной рекомендацией к дрожанию сигнала, относятся к межгосударственным стыкам.

Примечание 3. Если интерфейсы, описанные в разделах 6 – 12, используются для сопряжения радиорелейных систем с другими системами передачи, то эти интерфейсы должны соответствовать портам T (выходной) и T' (входной), описанным в рекомендации ITU-R F.596-1 – «Interconnection of digital radio-relay systems».

Примечание 4. Для передачи данных со скоростями $n \times 64$ кбит/с ($n = 2 \dots 31$) через мультимплексирующее оборудование, предназначенное для работы с иерархией скоростей, основанной на скорости 2048 кбит/с, следует использовать интерфейс³ со скоростью 2048 кбит/с, описанный в разделе 11. Для передачи данных со скоростями $n \times 64$ кбит/с ($n = 2 \dots 23$) через мультимплексирующее оборудование, предназначенное для работы с иерархией скоростей, основанной на скорости 1544 кбит/с, следует использовать интерфейс со скоростью 1544 кбит/с, описанный в разделе 7.

Примечание 5. Приведённые в данной рекомендации электрические параметры, относятся только к интерфейсам оборудования и не распространяются на оборудование в целом. В частности, допустимое отклонение частоты может быть уточнено в рекомендациях, относящихся к конкретным типам оборудования или сетей передачи данных (например, в ITU-T G.813 и ITU-T G.783).

Примечание 6. Измерение параметров передатчика, приведённых в подразделах 6.2.1.2, 11.2, 12.2, 13.2, 14.2, 15.2, 17.2, 18.2 и 20.2, следует производить таким образом, чтобы затухание и искажения сигнала были по возможности малы. При измерениях следует использовать как можно более короткие соединительные кабели. Для определённости, длину соединительных кабелей можно ограничить, например, тремя метрами.

2. Ссылки

В данном разделе приведён список содержащихся в данной рекомендации ссылок на другие рекомендации и документы. Указаны действующие (на момент публикации) версии документов. Все рекомендации и другие ссылочные документы могут быть пересмотрены, поэтому рекомендуется изучить возможность использования новых версий документов. Список действующих рекомендаций ITU-T регулярно публикуется.

Наличие в тексте данной рекомендации ссылки на какой-либо документ не означает, что этот документ имеет статус рекомендации.

ITU-T G.701 рекомендация ITU-T G.701 (1993), «Vocabulary of digital transmission and

² В английской версии документа изменения, внесённые в рамках дополнения 1, показаны в виде редакторских правок (например, зачёркнутым текстом). В тексте перевода эти правки учтены, но не показаны, т. е. приведена конечная версия документа (с учётом дополнения 1) – прим. пер.

³ В передаче данных со скоростью $n \times 64$ кбит/с через интерфейс со скоростью 2048 кбит/с не противоречия. Такая передача реализуется путём выделения части пропускной способности интерфейса со скоростью 2048 кбит/с. Подробнее см. в ITU-T G.704 – прим. пер.

	multiplexing, and pulse code modulation (PCM) terms»
ITU-T G.702	рекомендация ITU-T G.702 (1988), «Digital hierarchy bit rates»
ITU-T G.704	рекомендация ITU-T G.704 (1998), «Synchronous frame structures used at 1544, 6312, 2048, 8448 and 44 736 kbit/s hierarchical levels»
ITU-T G.707	рекомендация ITU-T G.707/Y.1322 (2007), «Network node interface for the synchronous digital hierarchy (SDH)»
ITU-T G.742	рекомендация ITU-T G.742 (1988), «Second order digital multiplex equipment operating at 8448 kbit/s and using positive justification»
ITU-T G.747	рекомендация ITU-T G.747 (1988), «Second order digital multiplex equipment operating at 6312 kbit/s and multiplexing three tributaries at 2048 kbit/s»
ITU-T G.751	рекомендация ITU-T G.751 (1988), «Digital multiplex equipments operating at the third order bit rate of 34 368 kbit/s and the fourth order bit rate of 139 264 kbit/s and using positive justification»
ITU-T G.752	рекомендация ITU-T G.752 (1988), «Characteristics of digital multiplex equipments based on a second order bit rate of 6312 kbit/s and using positive justification»
ITU-T G.753	рекомендация ITU-T G.753 (1988), «Third order digital multiplex equipment operating at 34 368 kbit/s and using positive/zero/ negative justification»
ITU-T G.755	рекомендация ITU-T G.755 (1988), «Digital multiplex equipment operating at 139 264 kbit/s and multiplexing three tributaries at 44 736 kbit/s»
ITU-T G.810	рекомендация ITU-T G.810 (1996), «Definitions and terminology for synchronization networks»
ITU-T G.811	рекомендация ITU-T G.811 (1997), «Timing characteristics of primary reference clocks»
ITU-T G.812	рекомендация ITU-T G.812 (2004), «Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks»
ITU-T G.813	рекомендация ITU-T G.813 (2003), «Timing characteristics of SDH equipment slave clocks (SEC)»
ITU-T G.823	рекомендация ITU-T G.823 (2000), «The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy»
ITU-T G.824	рекомендация ITU-T G.824 (2000), «The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 1544 kbit/s hierarchy»
ITU-T G.825	рекомендация ITU-T G.825 (2000), «The control of jitter and wander within digital networks which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)»
ITU-T G.8260	рекомендация ITU-T G.8260 (2020), «Definitions and terminology for synchronization in packet networks».
ITU-T G.8271	рекомендация ITU-T G.8271/Y.1366 (2020), «Time and phase synchronization aspects of packet networks»
ITU-T G.8272	рекомендация ITU-T G.8272/Y.1367 (2018), «Timing characteristics of primary reference time clocks»
ITU-T K.20	рекомендация ITU-T K.20 (2021), «Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunication centre to overvoltages and overcurrents»
ITU-T K.27	рекомендация ITU-T K.27 (2015), «Bonding configurations and earthing inside a telecommunication building»
ITU-T O.151	рекомендация ITU-T O.151 (1992), «Error performance measuring equipment operating at the primary rate and above»
ITU-T O.172	рекомендация ITU-T O.172 (2005), «Jitter and wander measuring equipment for digital systems which are based on the synchronous digital hierarchy (SDH)»
ITU-T V.11	рекомендация ITU-T V.11/X.27 (1996), «Electrical characteristics for balanced double-current interchange circuits operating at data signalling rates up to 10 Mbit/s»
ITU-R F.750-4	рекомендация ITU-R F.750-4 (2000), «Architectures and functional aspects of radio-relay systems for synchronous digital hierarchy (SDH)-based networks»
IEC 60469	IEC 60469:2013, «Transitions, pulses and related waveforms – Terms, definitions and algorithms»
IEC 60603-7	IEC 60603-7:2020, «Connectors for electronic equipment – Part 7: Detail specification for 8-way, unshielded, free and fixed connectors»

3. Определения

3.1 Термины, определённые в других документах

В данной рекомендации используются следующие термины, определённые в других документах:

- дрожание сигнала тактирования (определено в ITU-T G.810)
- синхронизация времени (определено в ITU-T G.8260)

3.2 Термины, определённые в данной рекомендации

Отсутствуют.

4. Сокращения

В данной рекомендации используются следующие сокращения:

1 pps	один импульс в секунду
AIS	сигнал аварии
AMI	код с чередованием полярности импульсов
B3ZS	двуполярный код с заменой последовательности из 3 нулей
B8ZS	двуполярный код с заменой последовательности из 8 нулей
CM1	код с инверсией полярности импульсов
DC	постоянный ток
DSN	сеть с коммутацией цифровых каналов
EMC	электромагнитная совместимость
EPRTC	улучшенный PRTC
GND	земля (электрическая)
GNSS	глобальная навигационная спутниковая система
HDB2	код с высокой плотностью импульсов, допускающий максимум две последовательных паузы
HDB3	код с высокой плотностью импульсов, допускающий максимум три последовательных паузы
PCM	импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)
PDH	плезиохронная цифровая иерархия
PRBS	псевдослучайная последовательность бит
PRC	первичный эталонный генератор частоты
PRTC	первичный эталон времени
SDH	синхронная цифровая иерархия
SEC	внутренний генератор SDH-устройства
SSU	блок синхронизации
STM	синхронный транспортный модуль
ZBTSI	рассредоточение нулевых байт

5. Соглашения

Отсутствуют.

6. Интерфейс со скоростью 64 кбит/с (E0)

6.1. Функциональные требования

Интерфейс должен обеспечивать возможность передачи в обоих направлениях трёх видов сигналов: сигнала данных⁴ со скоростью 64 кбит/с, сигнала тактирования с частотой 64 кГц и сигнала тактирования⁵ с частотой 8 кГц. Работоспособность интерфейса не должна зависеть от передаваемой последовательности бит.

Примечание 1. Сигнал данных со скоростью 64 кбит/с и сигнал тактирования с частотой 64 кГц являются обязательными. Сигнал тактирования с частотой 8 кГц должен передаваться

⁴ Во всём документе при указании скорости передачи данных приставка кило- обозначает множитель 1000, а не 1024 – прим. пер.

⁵ Сигнал тактирования с частотой 8 кГц используется для разделения последовательности бит на октеты. Значущий момент этого сигнала должен совпадать с границей между октетами. Поэтому в общем случае этот сигнал нельзя получить из сигнала с частотой 64 кГц простым делением частоты – прим. пер.

ведущим⁶ оборудованием (например, ИКМ-мультиплексором или оборудованием, осуществляющим доступ к данным, передаваемым в определённых временных интервалах), но приём этого сигнала ведомым оборудованием не является обязательным. Ведомое оборудование может либо использовать сигнал, получаемый от ведущего оборудования, либо формировать сигнал с частотой 8 кГц самостоятельно.

Примечание 2. Ведущее оборудование может уведомить ведомое оборудование об аварии на вышестоящем (по отношению к ведущему) оборудовании путём передачи ведомому сигнала AIS.

Примечание 3. На передаваемые через интерфейс данные не налагается никаких ограничений. Однако, это не означает, что каналы со скоростью 64 кбит/с, не имеющие ограничений на передаваемую последовательность бит, легко реализуемы в глобальном масштабе. Это связано с тем, что некоторые администрации уже имеют и продолжают создавать обширные сети, включающие в себя цифровые каналы, чьи характеристики не позволяют передавать длинные последовательности нулей (параметры ИКМ-мультиплексоров, предназначенных для таких каналов, приведены в рекомендации ITU-T G.733). Конкретнее, если передача производится со скоростью 64 кбит/с через цифровые сети, основой которых являются каналы со скоростью 1544 кбит/с, и при передаче данные разделяются на октеты, то в каждом октете должна содержаться как минимум одна единица. Если при передаче через такие сети данные не разделяются на октеты, то в потоке бит со скоростью 64 кбит/с допустимо появление не более семи последовательных нулей.

Примечание 4. Через интерфейс может быть передана любая последовательность бит. Однако использование сигнала AIS, представляющего собой последовательность бит из одних единиц⁷, может привести к некоторым незначительным ограничениям. Например, использование синхрослова⁸, состоящего из одних единиц, скорее всего, будет затруднено.

6.1.1. Три типа интерфейсов

6.1.1.1 Сонаправленный интерфейс

Термин «сонаправленный» используется для обозначения интерфейса, в котором сигнал данных и относящийся к нему сигнал тактирования передаются в одном направлении (см. рис. 1).



Рис. 1 – Сонаправленный интерфейс

6.1.1.2 Интерфейс с внешним тактированием

Термин «интерфейс с внешним тактированием» используется для обозначения интерфейса, в котором сигналы тактирования для обоих направлений передачи данных формируются отдельным генератором. Передача сигналов тактирования от внешнего генератора может быть организована, например, по отдельным линиям (см. рис. 2).

Примечание. Для построения плездохронных сетей, в которых используются генераторы тактовых сигналов со стабильностью достаточной для того, чтобы обеспечить приемлемый интервал между проскальзываниями (см. рекомендацию ITU-T G.811), а также построения синхронизируемых сетей, следует использовать сонаправленный интерфейс или интерфейс с внешним тактированием.

⁶ Ведущее оборудование – это оборудование, являющееся в рамках интерфейса источником тактового сигнала. Ведомое оборудование – это оборудование, использующее тактовый сигнал, принимаемый от ведущего оборудования – прим. пер.

⁷ Сигнал AIS не всегда является последовательностью бит из одних единиц. Для интерфейсов разных уровней иерархии последовательность бит, образующая сигнал AIS, является разной – прим. пер.

⁸ Синхрослово – это заранее известная последовательность бит, которая используется для указания в потоке бит начала какой-либо структуры данных – прим. пер.

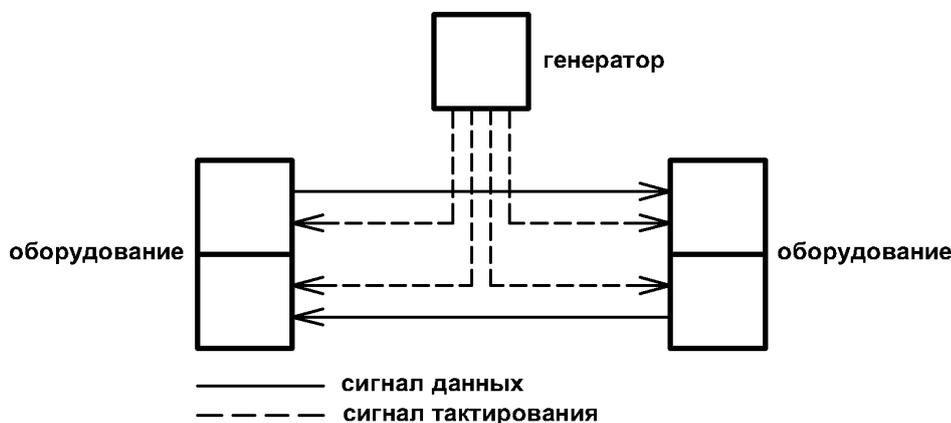


Рис. 2 – Интерфейс с внешним тактированием

6.1.1.3 Противонаправленный интерфейс

Термин «противонаправленный» используется для обозначения интерфейса, в котором сигналы тактирования для обоих направлений передачи данных передаются по направлению от ведущего оборудования к ведомому (см. рис. 3).



Рис. 3 – Противонаправленный интерфейс

6.2 Электрические параметры

6.2.1 Электрические параметры сонаправленного интерфейса со скоростью 64 кбит/с

6.2.1.1 Основные параметры

Номинальная скорость передачи данных составляет 64 кбит/с. Допуск⁹ на скорость передачи данных составляет ± 100 ppm ($\pm 6,4$ бит/с).

Сигналы тактирования с частотами 64 кГц и 8 кГц передаются в том же направлении, что и сигнал данных, к которому они относятся.

Для каждого направления передачи следует использовать отдельный симметричный двухпроводный кабель¹⁰, по которому передаётся сигнал, переносящий и данные, и относящиеся к ним сигналы тактирования.

Рекомендуется использование развязывающих трансформаторов. Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T К.20.

Формирование электрического сигнала выполняется следующим образом.

Шаг 1 – временной интервал, предназначенный для передачи одного бита, делится на четыре равных подынтервала.

Шаг 2 – двоичные биты преобразуются в электрический сигнал, напряжение которого в пределах временных подынтервалов может принимать либо высокий (В), либо низкий (Н) уровень. Двоичная единица представляется последовательностью напряжений ВВНН. Двоичный ноль представляется последовательностью напряжений ВНВН.

⁹ В случае дуплексного канала, необходимо рассматривать два направления передачи: прямое и обратное. Скорость передачи данных в прямом направлении может не совпадать со скоростью передачи данных в обратном направлении (при этом скорости должны находиться в пределах установленного допуска). Также возможно совпадение скоростей, но наличие смещения по фазе между сигналами прямого и обратного направлений (т. е. несовпадение границ битовых интервалов). Данное замечание относится и к остальным интерфейсам, описанным далее – прим. пер.

¹⁰ Требования к повиву проводников не предъявляется. Первое упоминание о витой паре находится в разделе 7 – прим. пер.

Шаг 3 – электрический сигнал изменяется таким образом, чтобы соседние биты были представлены напряжением разной полярности. В результате двухуровневый сигнал преобразуется в трёхуровневый.

Шаг 4 – для каждого 8-го бита, являющегося последним битом октета, чередование полярности нарушается, т. е. он должен быть представлен напряжением той же полярности, что и предыдущий бит. Шаги преобразования представлены на рис. 4.

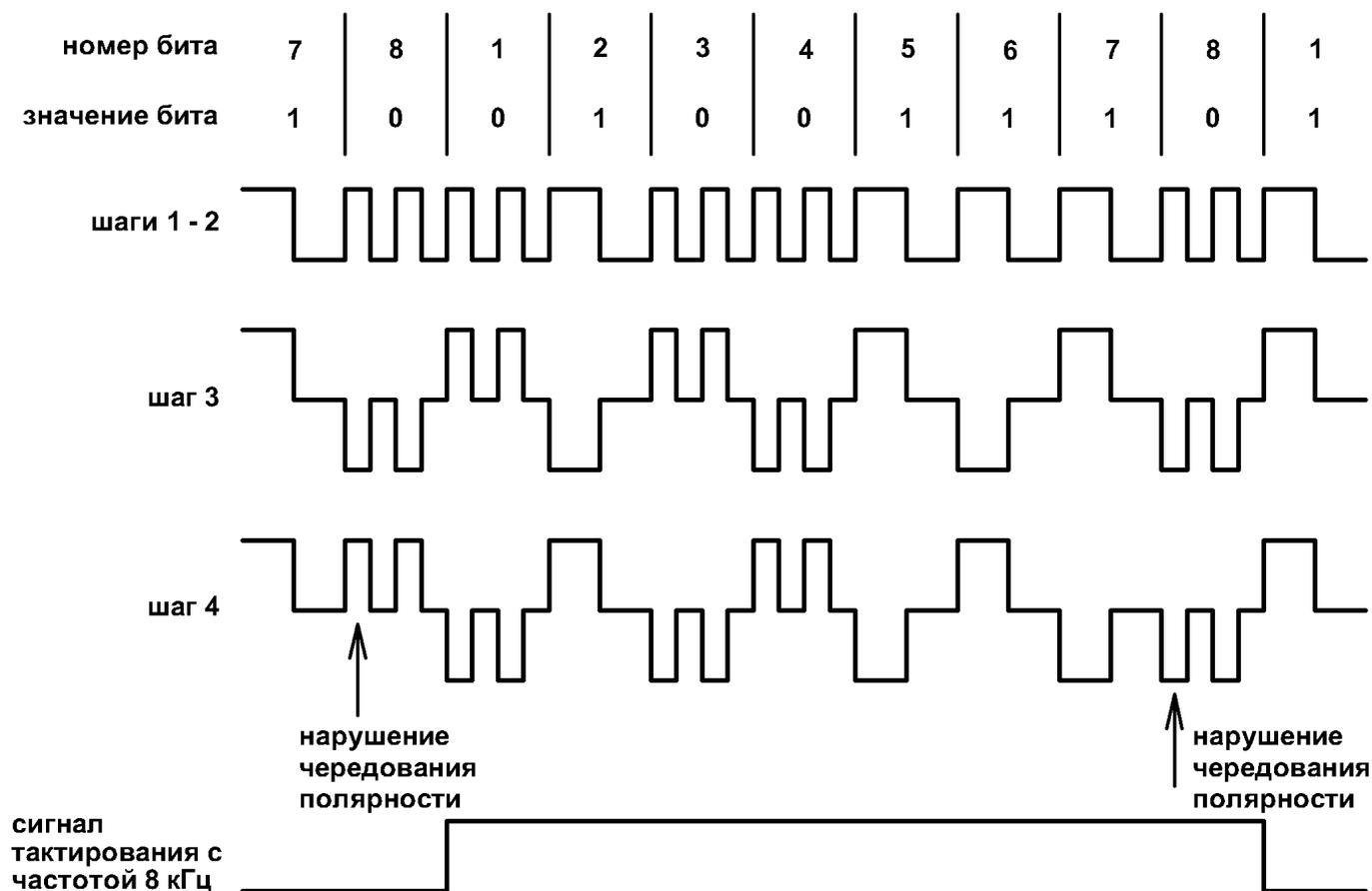


Рис. 4 – Пример преобразования данных в электрический сигнал

6.2.1.2 Параметры передатчика

Параметры передатчика приведены в таблице 1 (см. также примечание 6 в разделе 1).

Таблица 1

Параметр	Значение
скорость следования символов ¹¹	256 кбод
форма импульса	Номинальная форма импульса – прямоугольная. Каждый импульс, независимо от его полярности, должен соответствовать одной из масок, приведённых на рис. 5а и рис. 5б.
тип кабеля для каждого направления передачи	один симметричный двухпроводный кабель
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 120 Ом

¹¹ Под символом понимается «метка» или «пауза», т. е. наличие или отсутствие электрического импульса. Данная терминология унаследована от телеграфных систем. Скорость 1 бод – это 1 символ в секунду. В описанном выше способе кодирования 1 бит/с соответствует 4 бод – прим. пер.

номинальная амплитуда импульса (“метки”)	1,0 В
напряжение при отсутствии импульса (“пауза”)	$0 \pm 0,10$ В
номинальная длительность импульса	3,9 мкс
отношение амплитуд импульсов разной полярности (амплитуда измеряется в середине импульса)	от 0,95 до 1,05
отношение длительностей импульсов разной полярности на уровне половины номинальной амплитуды	от 0,95 до 1,05
максимальное дрожание сигнала передатчика	Указано в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.823. <i>Примечание. На данный момент эти значения применимы только к оборудованию, использующему иерархию скоростей, основанную на скорости 2 Мбит/с.</i>

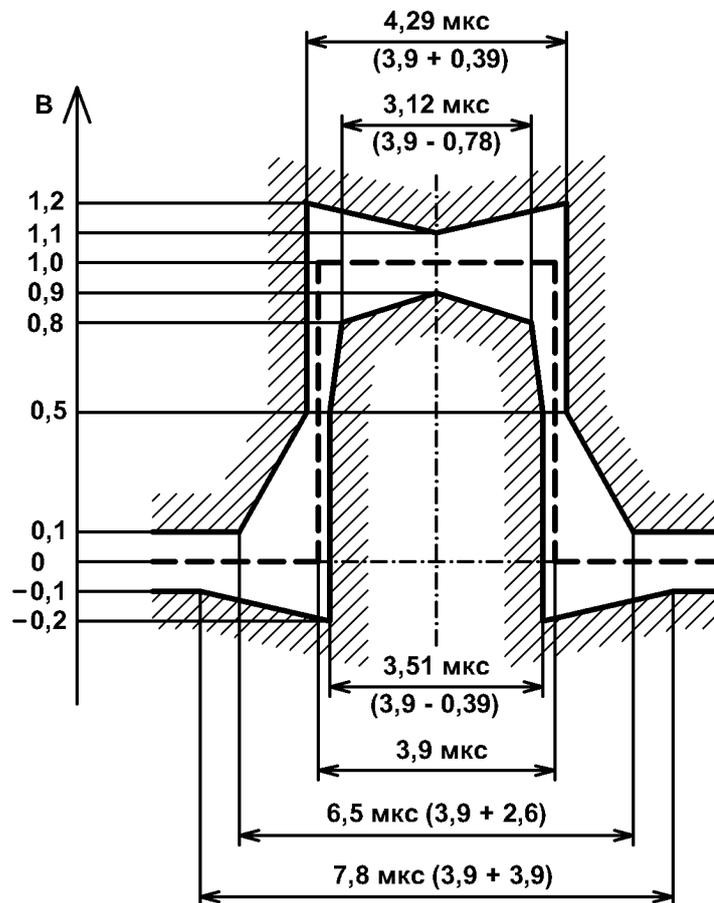


Рис. 5а – маска для импульса обычной длительности

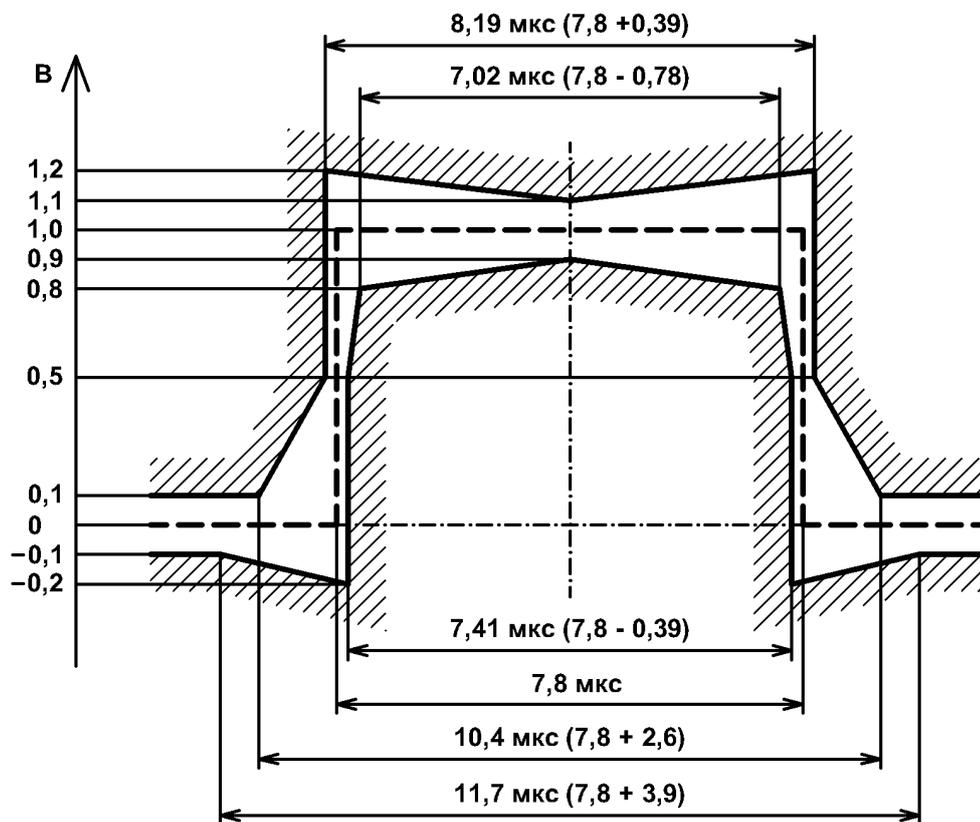


Рис. 5б – маска для импульса удвоенной длительности

Примечание. Маскам должны соответствовать импульсы обеих полярностей.

Затухание несогласованности¹² передатчика указано в таблице 2.

Таблица 2

диапазон частот, кГц	затухание несогласованности, дБ
от 6,4 до 13	6 и более
от 13 до 384	8 и более

6.2.1.3 Параметры приёмника

На вход приёмника поступает описанный выше цифровой сигнал, подвергшийся воздействию соединительного кабеля, по которому он распространяется. Затухание кабеля на частоте 128 кГц должно находиться в пределах от 0 до 3 дБ. Это значение должно включать в себя потери, возникающие на цифровом кроссе между оборудованием.

Дрожание сигнала, допустимое на входе приёмника, приведено в пункте 7.1.1 рекомендации ITU-T G.823. Затухание несогласованности приёмника указано в таблице 3.

Таблица 3

диапазон частот, кГц	затухание несогласованности, дБ
от 4 до 13	12 и более
от 13 до 256	18 и более
от 256 до 384	14 и более

¹² Затухание несогласованности показывает степень согласования между передатчиком и идеальным кабелем с волновым сопротивлением равным номинальному выходному сопротивлению интерфейса. Т. е. степень отклонения выходного сопротивления передатчика от номинала. Несовпадение сопротивлений передатчика и кабеля приводит к появлению так называемого «отражённого» сигнала. Затухание несогласованности – это отношение мощностей сигнала передатчика и «отражённого» сигнала, выраженное в децибелах. Чем больше затухание несогласованности, тем меньше уровень «отражённого» сигнала и тем лучше согласование. Затухание несогласованности также используется для оценки отклонения от номинала входного сопротивления приёмника – прим. пер.

Оценка помехозащищённости приёмника производится с помощью проверочного сигнала. Проверочный сигнал формируется путём сложения сигнала данных и сигнала помехи, после чего уровень суммарного сигнала снижается на величину максимально допустимого затухания кабеля.

Сигнал данных формируется путём преобразования некоторой последовательности бит в электрический сигнал в соответствии с пунктами 6.2.1.1 и 6.2.1.2. Каждый импульс сигнала данных должен соответствовать одной из масок, приведённых в пункте 6.2.1.2.

Сигнал помехи формируется на основе псевдослучайной последовательности бит.

Последовательность должна соответствовать рекомендации ITU-T O.152 и иметь период $2^{11} - 1$ бит. Сначала последовательность преобразуется в электрический сигнал таким же образом, как и биты данных. При этом битовая скорость сформированного сигнала должна находиться в допустимых данной рекомендацией пределах, но сигнал не должен быть синхронен по отношению к сигналу данных. Затем уровень сигнала снижается на 20 дБ.

Схема сложения сигналов должна иметь номинальный импеданс 120 Ом и не должна вносить потерь.

Приёмник считается защищённым от помех, если при подаче на его вход проверочного сигнала он может без ошибок выделить биты, передаваемые сигналом данных.

6.2.1.4 Заземление экрана кабеля

Если используется симметричный двухпроводный кабель, защищённый экраном, то экран следует заземлить как со стороны передатчика, так и со стороны приёмника.

Примечание 1. Если кабель выходит за пределы зоны действия заземления, то к маршруту его прокладки предъявляются определённые требования, приведённые в рекомендации ITU-T K.27.

Примечание 2. Возможность использования экранированного кабеля без подключения его экрана к заземлению ещё не изучена.

6.2.2 Электрические параметры интерфейса со скоростью 64 кбит/с и внешним тактированием

6.2.2.1 Основные параметры

Номинальная скорость передачи данных составляет 64 кбит/с. Допустимое отклонение скорости передачи данных определяется стабильностью генератора тактового сигнала (см. рекомендацию ITU-T G.811).

Для передачи данных следует использовать симметричный двухпроводный кабель (отдельный кабель для каждого направления передачи). Для передачи комбинированного сигнала тактирования (объединяющего сигналы с частотами 64 кГц и 8 кГц) от генератора тактового сигнала до передатчика и приёмника также следует использовать симметричный двухпроводный кабель.

Рекомендуется использование развязывающих трансформаторов. Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T K.20.

Преобразование бит данных в электрический сигнал следует выполнять с помощью кода АМІ. Длительность импульсов данных должна быть равна длительности битового интервала.

Комбинированный сигнал тактирования объединяет сигналы с частотами 64 кГц и 8 кГц. Сигнал тактирования с частотой 64 кГц, используемый для указания границ битовых интервалов, передаётся импульсами комбинированного сигнала тактирования. Эти импульсы формируются путём преобразования последовательности бит из одних единиц в электрический сигнал с помощью кода АМІ. Длительность импульсов тактирования должна составлять от 50 до 70 % битового интервала.

Сигнал тактирования с частотой 8 кГц, используемый для разделения потока бит на октеты, передаётся нарушениями в порядке чередования полярности импульсов. Формы сигналов, а также номинальные фазовые соотношения между сигналами показаны на рис. 6.



Рис. 6 – Сигнал данных на выходе передатчика и комбинированный сигнал тактирования

Передатчик должен производить изменение сигнала данных по фронту импульсов комбинированного сигнала тактирования. Приёмник должен производить считывание сигнала данных по срезу импульсов комбинированного сигнала тактирования.

6.2.2.2 Параметры передатчика

Параметры передатчика приведены в таблице 4.

Таблица 4

Параметр	Сигнал данных	Сигнал тактирования
форма импульса	Номинальная форма импульса – прямоугольная. Длительность фронта и длительность среза каждого импульса должна быть меньше 1 мкс.	Номинальная форма импульса – прямоугольная. Длительность фронта и длительность среза каждого импульса должна быть меньше 1 мкс.
номинальный импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 110 Ом	резистивный, 110 Ом
номинальная амплитуда импульса (“метки”) – см. прим. 1	а) $1,0 \pm 0,1$ В б) $3,4 \pm 0,5$ В	а) $1,0 \pm 0,1$ В б) $3,0 \pm 0,5$ В
напряжение при отсутствии импульса (“пауза”) – см. прим. 1	а) $0 \pm 0,1$ В б) $0 \pm 0,5$ В	а) $0 \pm 0,1$ В б) $0 \pm 0,5$ В
номинальная длительность импульса – см. прим. 1	а) 15,6 мкс б) 15,6 мкс	а) 7,8 мкс б) от 9,8 до 10,9 мкс
максимальное дрожание сигнала передатчика	Указано в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.823. <i>Примечание. На данный момент эти значения применимы только к оборудованию, использующему иерархию скоростей, основанную на скорости 2 Мбит/с.</i>	

Примечание 1. Разрешается выбирать между наборами параметров а) и б) в зависимости от длины кабелей между устройствами и от уровня помех.

6.2.2.3 Параметры приёмника

На вход приёмника сигнала данных и вход приёмника сигнала тактирования поступают описанные выше цифровые сигналы, подвергшиеся воздействию соединительных кабелей, по которым они распространяются. Наборы параметров а) и б), приведённые в таблице 4, обычно позволяют достичь максимальной дальности передачи 350 и 450 м.

6.2.2.4 Параметры кабеля

Параметры кабеля являются предметом дальнейших исследований.

6.2.3 Электрические параметры противонаправленного интерфейса со скоростью 64 кбит/с

6.2.3.1 Основные параметры

Номинальная скорость передачи данных составляет 64 кбит/с. Допуск на скорость передачи данных составляет ± 100 ppm ($\pm 6,4$ бит/с).

Для каждого направления передачи следует использовать два симметричных двухпроводных кабеля. По одному кабелю должен передаваться сигнал данных, по второму – комбинированный сигнал тактирования, объединяющий сигналы с частотами 64 кГц и 8 кГц.

Рекомендуется использование развязывающих трансформаторов. Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T К.20.

Преобразование бит данных в электрический сигнал следует выполнять с помощью кода АМІ. Длительность импульсов данных должна быть равна длительности битового интервала.

Сигнал тактирования с частотой 64 кГц, используемый для указания границ битовых интервалов, передаётся импульсами комбинированного сигнала тактирования. Эти импульсы формируются путём преобразования последовательности бит из одних единиц в электрический сигнал с помощью кода АМІ. Длительность импульсов тактирования должна составлять половину битового интервала.

Сигнал тактирования с частотой 8 кГц, используемый для разделения потока бит на октеты, передаётся нарушениями в порядке чередования полярности импульсов. Формы сигналов, а также номинальные фазовые соотношения между сигналами показаны на рис. 7.

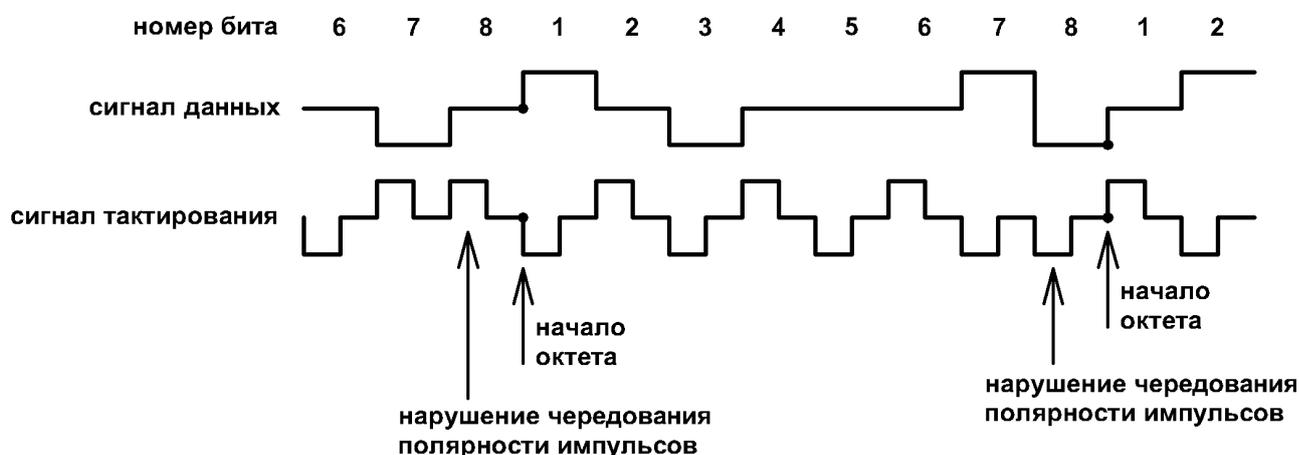


Рис. 7 – Сигнал данных и комбинированный сигнал тактирования на выходе передатчика ведущего оборудования

Примечание. Внутригосударственные правила могут требовать передавать сигнал аварии отдельно для каждого направления передачи данных. Это требование может быть реализовано путём прекращения передачи сигнала с частотой 8 кГц, относящегося к определённому направлению передачи данных. Т. е. путём запрета нарушений чередования полярности импульсов в комбинированном сигнале тактирования.

На входе приёмника ведущего оборудования сигнал данных, принимаемый от ведомого оборудования, немного запаздывает по отношению к соответствующему сигналу тактирования. В связи с этим на ведущем оборудовании допускается производиться считывание сигнала данных по фронту следующего тактирующего импульса¹³.

¹³ Распространение электрического сигнала в меди происходит со скоростью примерно равной 2/3 скорости света, т. е. примерно $(2/3) \times 3 \times 10^8$ м/с = 200000 км/с. Если расстояние между ведущим и ведомым оборудованием составляет 500 м, то сигнал пройдёт это расстояние примерно за 2,5 мкс. Передатчик данных ведомого оборудования производит изменение сигнала данных по фронту сигнала тактирования. С учётом того, что сначала сигнал тактирования должен достигнуть ведомого оборудования, а затем сигнал данных должен достигнуть ведущего оборудования, на входе приёмника ведущего оборудования временной сдвиг между сигналом тактирования и сигналом данных составит 5 мкс или примерно 30 % от номинальной длительности импульса сигнала данных. По срезу соответствующего импульса сигнала тактирования сигнал данных будет считан на расстоянии 20 % от фронта импульса данных. По фронту следующего импульса сигнала тактирования сигнал данных будет считан на расстоянии 70 % от фронта импульса данных. В данных условиях считывание сигнала данных по фронту следующего импульса может привести к меньшему количеству ошибок. Поэтому обычно в оборудовании есть возможность переключения между режимами тактирования по срезу соответствующего импульса и тактированием по фронту следующего импульса. В настройках

6.2.3.2 Параметры передатчика

Параметры передатчика приведены в таблице 5.

Таблица 5

Параметр	Сигнал данных	Сигнал тактирования
форма импульса	Каждый импульс, независимо от его полярности, должен соответствовать маске, приведённой на рис. 8.	Каждый импульс, независимо от его полярности, должен соответствовать маске, приведённой на рис. 9.
тип кабеля для каждого направления передачи	один симметричный двухпроводный кабель	один симметричный двухпроводный кабель
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 120 Ом	резистивный, 120 Ом
номинальная амплитуда импульса (“метки”)	1,0 В	1,0 В
напряжение при отсутствии импульса (“пауза”)	$0 \pm 0,1$ В	$0 \pm 0,1$ В
номинальная длительность импульса	15,6 мкс	7,8 мкс
отношение амплитуд импульсов разной полярности (амплитуда измеряется в середине импульса)	от 0,95 до 1,05	от 0,95 до 1,05
отношение длительностей импульсов разной полярности на уровне половины номинальной амплитуды	от 0,95 до 1,05	от 0,95 до 1,05
максимальное дрожание сигнала передатчика	Указано в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.823. <i>Примечание. На данный момент эти значения применимы только к оборудованию, использующему иерархию скоростей, основанную на скорости 2 Мбит/с.</i>	

Примечание 1. Если два импульса (сигнала данных) разной полярности следуют непосредственно друг за другом, то пересечение сигналом нулевого уровня (между импульсами) должно произойти во временном интервале, определяемом отклонением $\pm 0,8$ мкс от границы битового интервала.

Примечание 2. Моменты времени, в которые сигналу данных разрешено изменять свой уровень, определяются сигналом тактирования. Очень важно, чтобы передатчик ведомого оборудования, производил изменение сигнала данных не ранее, чем это будет разрешено сигналом тактирования, принимаемым от ведущего оборудования.

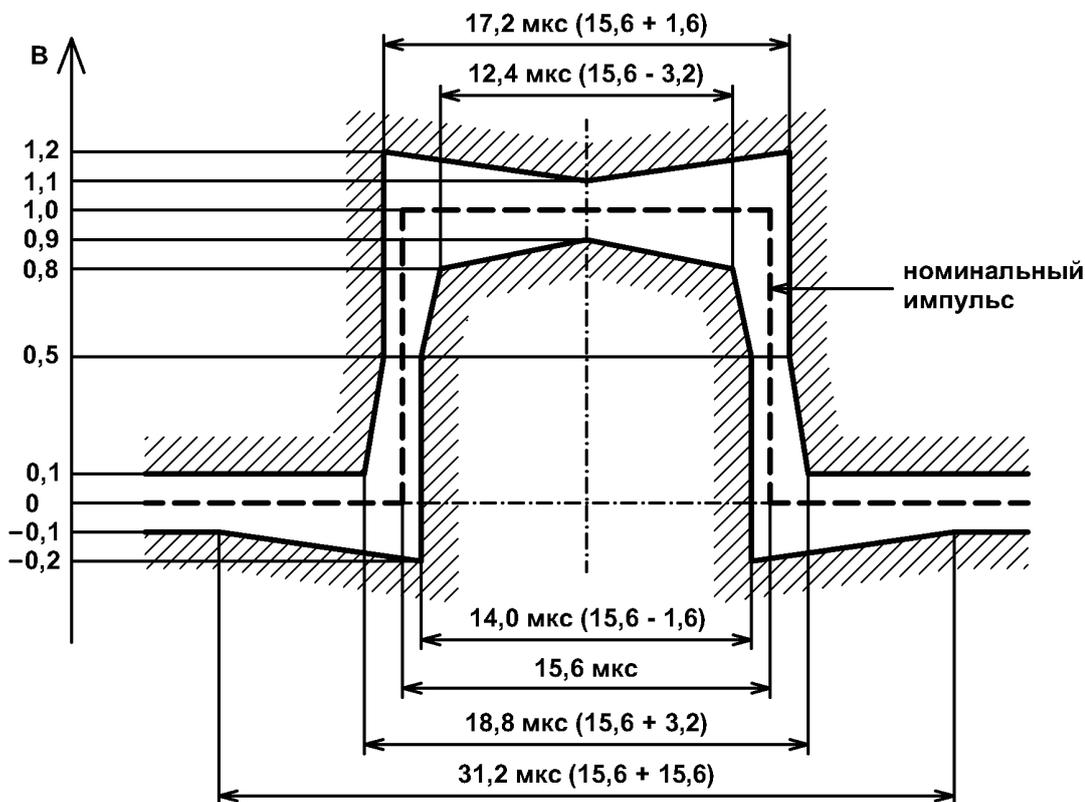


Рис. 8 – Маска импульса сигнала данных

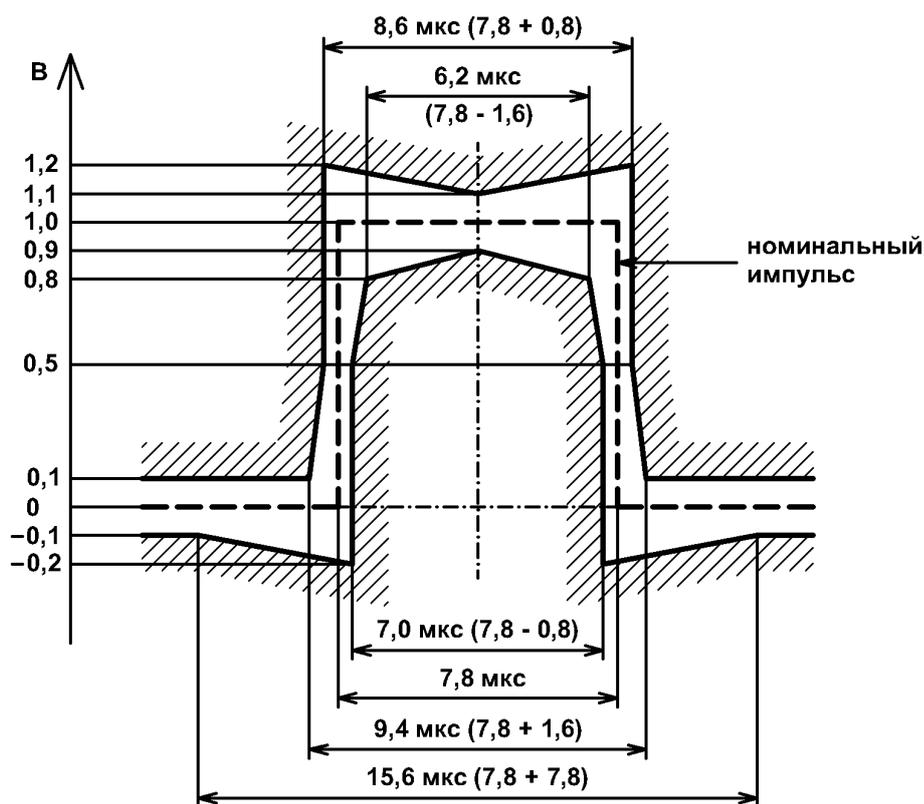


Рис. 9 – Маска импульса сигнала тактирования

6.2.3.3 Параметры приёмника

На вход приёмника сигнала данных и вход приёмника сигнала тактирования поступают описанные выше цифровые сигналы, подвергшиеся воздействию соединительных кабелей, по которым они распространяются. Затухание кабелей на частоте 32 кГц должно находиться в пределах от 0 до 3 дБ. Это значение должно включать в себя потери, возникающие на цифровом кроссе между оборудованием. Затухание несогласованности приёмника указано в таблице 5.

Диапазон частот, кГц		затухание несогласованности, дБ
приёмник сигнала данных	приёмник сигнала тактирования	
от 1,6 до 3,2	от 3,2 до 6,4	12 и более
от 3,2 до 64	от 6,4 до 128	18 и более
от 64 до 96	от 128 до 192	14 и более

Оценка помехозащищённости приёмника сигнала данных производится с помощью проверочного сигнала. Проверочный сигнал формируется путём сложения сигнала данных и сигнала помехи, после чего уровень суммарного сигнала снижается на величину максимально допустимого затухания кабеля.

Сигнал данных формируется путём преобразования некоторой последовательности бит в электрический сигнал в соответствии с пунктами 6.2.3.1 и 6.2.3.2. Каждый импульс сигнала данных должен соответствовать маске, приведённой на рис. 8.

Сигнал помехи формируется на основе псевдослучайной последовательности бит.

Последовательность должна соответствовать рекомендации ITU-T O.152 и иметь период $2^{11} - 1$ бит. Сначала последовательность преобразуется в электрический сигнал таким же образом, как и биты данных. При этом битовая скорость сформированного сигнала должна находиться в допустимых данной рекомендацией пределах, но сигнал не должен быть синхронен по отношению к сигналу данных. Затем уровень сигнала снижается на 20 дБ.

Схема сложения сигналов должна иметь номинальный импеданс 120 Ом и не должна вносить потерь.

Приёмник сигнала данных считается защищённым от помех, если при подаче на его вход проверочного сигнала он может без ошибок выделить биты, передаваемые сигналом данных.

6.2.3.4 Заземление экрана кабеля

Если используется симметричный двухпроводный кабель, защищённый экраном, то экран следует заземлить как со стороны передатчика, так и со стороны приёмника.

Примечание 1. Если кабель выходит за пределы зоны действия заземления, то к маршруту его прокладки предъявляются определённые требования, приведённые в рекомендации ITU-T K.27.

Примечание 2. Возможность использования экранированного кабеля без подключения его экрана к заземлению ещё не изучена.

7. Интерфейс со скоростью 1544 кбит/с (E11)

7.1 Основные параметры

Параметры интерфейса¹⁴ приведены в таблице 6.

Таблица 6

Параметр	Значение
номинальная скорость передачи данных	1544 кбит/с
допуск на скорость передачи данных	В автономном режиме работы (при тактировании от внутреннего генератора устройства) допуск на скорость передачи данных составляет ± 50 бит/с (± 32 ppm).
линейный код	Первый вариант – код АМІ. Если используется этот код, то в передаваемой последовательности бит должно быть не более 15-ти последовательных нулей, а в любой последовательности из $8(N + 1)$ бит должно быть как минимум N единиц (N может принимать значения от 1 до 23). Второй вариант – код В8ZS (см. прим. 1).

¹⁴ Обычно в российской технической литературе интерфейсы североамериканской иерархии обозначаются буквой «Т» (Т1, Т2 и т. д.), а европейские буквой «Е» (Е1, Е2 и т. д.) – прим. пер.

формат данных	Для передачи данных через транспортное оборудование, а также для их мультиплексирования в цифровой интерфейс более высокого уровня, представление данных в виде какой-либо структуры не требуется.
тип кабеля	Для каждого направления передачи следует использовать одну симметричную витую пару проводников.
импеданс проверочной нагрузки	Для оценки формы импульса и измерения приведённых ниже электрических параметров, следует использовать резистивную проверочную нагрузку с сопротивлением $100 \text{ Ом} \pm 5 \%$.
амплитуда импульса	Амплитуда изолированного импульса должна составлять от 2,4 до 3,6 В. Импульс считается изолированным, если он получен путём преобразования в электрический сигнал последовательности бит, состоящей из единицы, которой предшествуют 4 нуля, и за которой следует как минимум один ноль (см. прим. 2).
форма импульса	Форма каждого изолированного импульса должна соответствовать маске, изображённой на рис. 10. Действия, которые разрешено производить при оценке формы импульса, приведены в подразделе 7.2.
мощность сигнала	Мощность нормируется для электрического сигнала, представляющего последовательность бит из одних единиц. Мощность этого сигнала, измеряемая в полосе частот, середина которой находится на частоте 772 кГц, а ширина составляет 3 ± 1 кГц, должна составлять от 12,6 до 17,9 дБм. Мощность того же сигнала, измеряемая в полосе частот, середина которой находится на частоте 1544 кГц, а ширина составляет 3 ± 1 кГц, должна быть как минимум на 29 дБ ниже мощности, измеренной на частоте 772 кГц.
неравномерность импульсов	В любой последовательности из 17-ти бит амплитуды импульсов должны отличаться не более чем на 200 мВ, а длительности импульсов, измеряемые на уровне половины амплитуды, должны отличаться не более чем на 20 нс.
постоянная составляющая	В электрическом сигнале не должно быть постоянной составляющей.
проверка сигнала	Для проверки приведённых выше параметров следует предусмотреть возможность доступа к электрическому сигналу.

Примечание 1. Использование кода B8ZS является одним из способов, позволяющим устранить влияние передаваемых по каналу данных на работоспособность самого канала. В свою очередь возможность передавать любую последовательность бит означает, что канал пригоден для передачи любых данных, т. е. является прозрачным. Другим способом обеспечения прозрачности канала является технология ZBTISI (Zero Byte Time Slot Interchange).

Примечание 2. Сигнал интерфейса оценивается как по напряжению, так и по мощности. Однако использование этих величин не является взаимозаменяемым. Напряжение характеризует один изолированный импульс сигнала, в то время как мощность используется для оценки сигнала, представляющего последовательность бит из одних единиц.

Максимальное дрожание сигнала на выходе передатчика указано в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.824. Дрожание сигнала на входе приёмника должно удовлетворять пункту 7.2.1 рекомендации ITU-T G.824. Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T K.20.

Форма изолированного импульса должна соответствовать маске, изображённой на рис. 10. На рисунке по вертикальной оси откладывается амплитуда импульса (маска нормирована по амплитуде). По горизонтальной оси откладывается время в битовых интервалах (длительность битового интервала составляет 648 нс). Координаты узловых точек маски приведены в таблице 7.

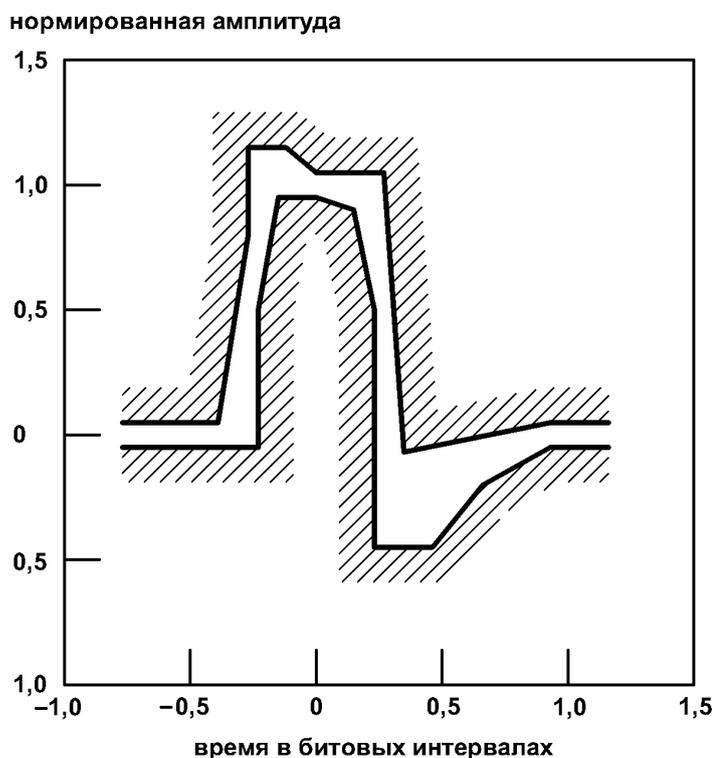


Рис. 10 – Маска изолированного импульса

Таблица 7

нижняя граница		верхняя граница	
время	нормированная амплитуда	время	нормированная амплитуда
-0,77	-0,05	-0,77	0,05
-0,23	-0,05	-0,39	0,05
-0,23	0,50	-0,27	0,80
-0,15	0,95	-0,27	1,15
0,00	0,95	-0,12	1,15
0,15	0,90	0,00	1,05
0,23	0,50	0,27	1,05
0,23	-0,45	0,35	-0,07
0,46	-0,45	0,93	0,05
0,66	-0,20	1,16	0,05
0,93	-0,05		
1,16	-0,05		

В сетях связи можно встретить оборудование, при разработке которого использовалась маска импульса, отличающаяся от приведённой на рис. 10. Чтобы иметь возможность принимать данные от оборудования, разработанного до утверждения данной рекомендации, приёмники должны быть способны принимать сигнал, имеющий допуск на скорость передачи данных ± 200 бит/с (± 130 ppm). Разработчики приёмников сигнала могут ознакомиться с ранее использующейся маской и другими параметрами устаревшего оборудования в дополнении 1.

7.2. Форма импульса

Для оценки формы изолированных импульсов, сформированных с помощью кода AMI, используется маска. В большинстве случаев из-за ограничений, возникающих на этапе формирования импульса, идеальный изолированный импульс может быть сформирован только приблизительно.

Маска импульса, приведённая на рис. 10, нормирована по амплитуде, т. е. номинальная¹⁵ амплитуда импульса указана как единица. При оценке соответствия изолированного импульса маске допускается только:

- а) перемещать маску по горизонтали для того, чтобы охватить ей импульс
- б) равномерно масштабировать изолированный импульс по амплитуде, чтобы охватить его маской

Опорный уровень, относительно которого измеряется амплитуда сигнала, должен быть совмещён с нулевым значением амплитуды на рисунке маски. Процедура определения опорного уровня сигнала описана в ИЕС 60469. Оценку соответствия маске отрицательных импульсов следует проводить после оценки положительных импульсов для того, чтобы использовать тот же опорный уровень.

Если при оценке формы отрицательных импульсов производится их инвертирование, то допускается только перемещение маски вдоль горизонтальной оси (для охвата импульса). Следует заметить, что последовательность импульсов с любой значительной постоянной составляющей не будет удовлетворять требованиям данного подраздела.

7.3 Глаз-диаграмма

Если оценка формы сигнала с помощью маски импульса невозможна, то используется другой способ оценки, называемый глаз-диаграммой. Глаз-диаграмма формируется путём наложения сигналов всех возможных последовательностей импульсов и показывает эффекты, вызванные взаимным влиянием импульсов. По вертикальной оси глаз-диаграммы откладывается амплитуда, а по горизонтальной оси время в битовых интервалах. Глаз-диаграмма обычно представляется в нормированном виде, т. е. номинальная амплитуда импульса соответствует единице. При оценке сигнала с помощью глаз-диаграммы допускается:

- а) перемещать маску глаз-диаграммы¹⁶ вдоль горизонтальной оси, чтобы охватить ей глаз-диаграмму сигнала
- б) равномерно масштабировать маску глаз-диаграммы по вертикальной оси, чтобы охватить ей глаз-диаграмму сигнала

Нулевой уровень маски должен быть совмещён с опорным уровнем, относительно которого измеряется амплитуда сигнала. Процедура определения опорного уровня сигнала описана в ИЕС 60469.

8. Интерфейс со скоростью 6312 кбит/с (E21)

Сопряжение интерфейса со скоростью 6312 кбит/с и транспортного оборудования, осуществляющего дальнейшую передачу данных, следует выполнять на кроссе, предназначенном для цифровых сигналов. Параметры интерфейса приведены в таблице 8.

Таблица 8

Параметр	Значение	
скорость передачи данных	6312 кбит/с	
допуск на скорость передачи данных	± 30 ppm (± 189,4 бит/с)	
тип кабеля для каждого направления передачи	один симметричный двухпроводный кабель	один коаксиальный кабель
линейный код	B6ZS (см. прил. А)	B8ZS (см. прил. А)
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 110 Ом ± 5 %	резистивный, 75 Ом ± 5 %

¹⁵ В таблице 6 не указано какое значение амплитуды считать номинальным. Если считать номинальным среднее значение 3,1 В, то получается, что таблица 6 допускает погрешность амплитуды 16 %, а маска только 5 %. Поэтому скорее всего имеется в виду не номинальная, а фактическая амплитуда, не выходящая за рамки, указанные в таблице 6. Интересно, что в версии рекомендации, выпущенной в 1991 году, напряжение на маске импульса указано в вольтах (номинальная амплитуда импульса 3,0 В, допуск ± 0,7 В) – прим. пер.

¹⁶ Сама маска глаз-диаграммы в тексте не приведена – прим. пер.

номинальная форма импульса	прямоугольник, стороны которого скруглены из-за потерь в кабеле (см. рис. 11)	прямоугольная (см. рис. 12)
мощность сигнала	Мощность нормируется для электрического сигнала, представляющего последовательность бит из одних единиц. Мощность этого сигнала, измеряемая в полосе частот шириной 3 кГц, должна составлять:	
	от 0,2 до 7,3 дБм на частоте 3156 кГц минус 20 дБм или менее на частоте 6312 кГц	от 6,2 до 13,3 дБм на частоте 3156 кГц минус 14 дБм или менее на частоте 6312 кГц

Форма изолированного¹⁷ импульса, измеряемая на кроссе, должна соответствовать либо маске, приведённой на рис. 11, либо маске, приведённой на рис. 12. Обе маски представлены в нормированном виде. На рис. 11 фактическая амплитуда импульса обозначена как единица. На рис. 12 фактическая амплитуда импульса обозначена как V. Границы маски для симметричного кабеля приведены в таблице 9.

При передаче двоичного нуля (“паузы”) напряжение в пределах битового интервала не должно превышать наибольшего из двух значений:

- напряжения, вызванного наличием импульсов (“меток”) в других битовых интервалах (импульсы должны соответствовать маске¹⁸, приведённой на рис. 11)
- напряжения, составляющего ± 10 % от максимальной амплитуды импульса (“метки”)

Максимальное дрожание сигнала на выходе передатчика указано в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.824. Дрожание сигнала на входе приёмника должно удовлетворять пункту 7.2.2 рекомендации ITU-T G.824.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T K.20.

Таблица 9

	T (длительность битового интервала)	уравнение кривой
нижняя граница	$T \leq -0,41$	0
	$-0,41 \leq T \leq 0,24$	$0,5 \left[1 + \sin \frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{T}{0,205} \right) \right]$
	$0,24 \leq T$	$0,331 e^{-1,9(T - 0,3)}$
верхняя граница	$T \leq -0,72$	0
	$-0,72 \leq T \leq 0,2$	$0,5 \left[1 + \sin \frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{T}{0,36} \right) \right]$
	$0,2 \leq T$	$0,1 + 0,721 e^{-2,13(T - 0,2)}$

¹⁷ В отличие от раздела 7, какой импульс считать изолированным не указано. Также не указана амплитуда импульса. Однако, можно примерно вычислить амплитуду по мощности сигнала. В таблице 8 приведена среднеквадратичная мощность сигнала из одних единиц (D дБм соответствуют $10^{0,1D}$ мВт). Если считать, что импульсы имеют идеально прямоугольную форму и их длительность составляет половину битового интервала, то мгновенная мощность сигнала будет вдвое больше среднеквадратичной мощности. Если принять, что выходное сопротивление передатчика равно волновому сопротивлению кабеля, то напряжение на выходе передатчика можно вычислить по формуле $U = \sqrt{PR}$, где P – мощность, а R – сопротивление. Вычисления показывают, что для симметричного кабеля амплитуда составляет от 0,5 до 1,1 В, а для коаксиального – от 0,8 до 1,8 В – прим. пер.

¹⁸ Поскольку упоминается маска для симметричного кабеля, видимо, это требование относится к сигналу, передаваемому по симметричному кабелю – прим. пер.

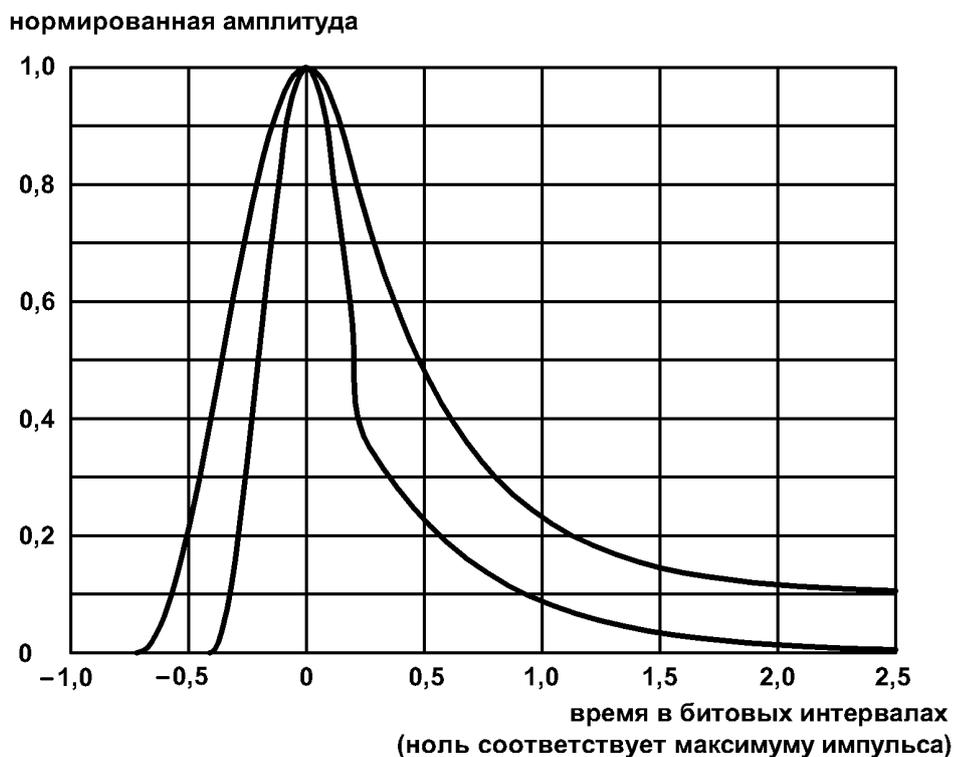


Рис. 11 – Маска импульса для симметричного двухпроводного кабеля

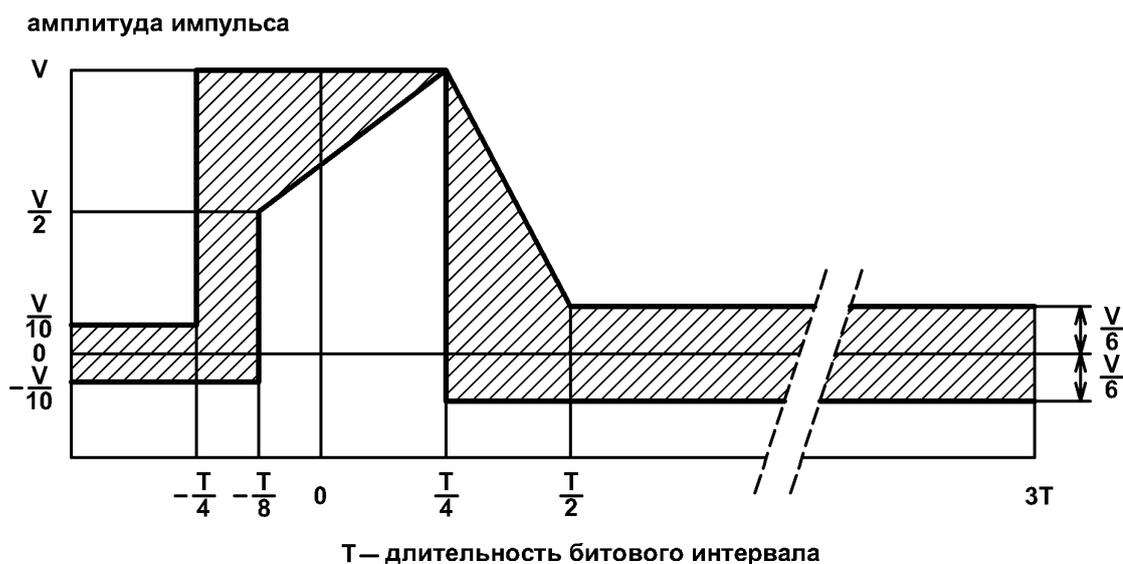


Рис. 12 – Маска импульса для коаксиального кабеля

9. Интерфейс со скоростью 32064 кбит/с

Сопряжение интерфейса со скоростью 32064 кбит/с и транспортного оборудования, осуществляющего дальнейшую передачу данных, следует выполнять на кроссе, предназначенном для цифровых сигналов.

Номинальная скорость передачи данных составляет 32064 кбит/с. Допуск на скорость передачи данных составляет ± 10 ppm ($\pm 320,6$ бит/с).

Для каждого направления передачи следует использовать один коаксиальный кабель.

Измерение электрических параметров интерфейса следует производить при непосредственном подключении к оборудованию. В качестве проверочной нагрузки следует использовать сопротивление номиналом $75 \text{ Ом} \pm 5 \%$.

Для формирования электрического сигнала следует использовать код АМІ с предварительным скремблированием данных. Форма изолированного¹⁹ импульса, измеряемая на кроссе, должна соответствовать маске, изображённой на рис. 13. Маска нормирована по амплитуде, т. е. фактическая амплитуда импульса обозначена как единица. Границы маски приведены в таблице 10.

Таблица 10

	T (длительность битового интервала)	уравнение кривой
нижняя граница	$-0,36 \leq T \leq -0,30$	$5,76T + 2,07$
	$-0,30 \leq T < 0$	$0,5 \left[1 + \sin \frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{T}{0,25} \right) \right]$
	$0 \leq T < 0,22$	$0,5 \left[1 + \sin \frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{T}{0,16} \right) \right]$
	$0,22 \leq T$	$0,11e^{-3,42(T-0,3)}$
верхняя граница	$-0,65 \leq T < 0$	$1,05 \left[1 - e^{-4,6(T+0,65)} \right]$
	$0 \leq T < 0,25$	$0,5 \left[1 + \sin \frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{T}{0,28} \right) \right]$
	$0,25 \leq T$	$0,11 + 0,407e^{-2,1(T-0,29)}$

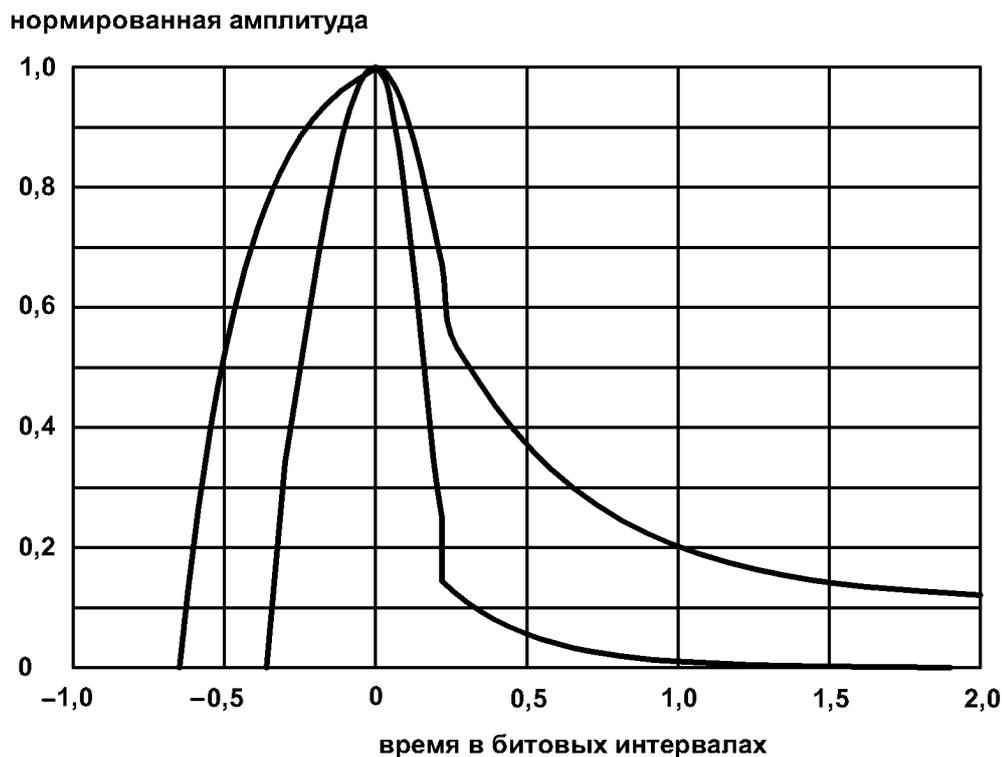


Рис. 13 – маска импульса для коаксиального кабеля²⁰

При передаче двоичного нуля (“паузы”) напряжение в пределах битового интервала не должно превышать наибольшего из двух значений:

- напряжения, вызванного наличием импульсов (“меток”) в других битовых интервалах (импульсы должны соответствовать маске, приведённой на рис. 13)
- напряжения, составляющего $\pm 10\%$ от максимальной амплитуды импульса (“метки”)

¹⁹ В отличие от раздела 7, какой импульс считать изолированным не указано. Также не указана амплитуда импульса – прим. пер.

²⁰ Маска, изображённая в английской версии документа, имеет более плавные закругления, особенно в области нуля по оси времени. Если строить маску точно по уравнениям из таблицы 10, то в небольшой области возле нуля линия нижней границы маски проходит выше линии верхней границы – прим. пер.

Мощность нормируется для электрического сигнала, представляющего последовательность бит из одних единиц. Мощность²¹ этого сигнала, измеряемая в полосе частот, середина которой находится на частоте 16032 кГц, а ширина составляет 3 кГц, должна составлять от 5 до 12 дБм. Мощность этого же сигнала, измеряемая в полосе частот, середина которой находится на частоте 32064 кГц, а ширина составляет 3 кГц, должна быть как минимум на 20 дБ меньше значения, измеренного на частоте 16032 кГц. Измерение мощности следует производить на кроссе. Волновое сопротивление разъёмов и коаксиальных кабелей кросса должно составлять 75 Ом ± 5 %.

Максимальное дрожание сигнала на выходе передатчика указано в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.824. Дрожание сигнала на входе приёмника должно удовлетворять пункту 7.2.3 рекомендации ITU-T G.824.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T K.20.

10. Интерфейс со скоростью 44736 кбит/с (E32)

Параметры интерфейса приведены в таблице 11.

Таблица 11

Параметр	Значение
номинальная скорость передачи данных	44736 кбит/с
допуск на скорость передачи данных	В автономном режиме работы (при тактировании от внутреннего генератора устройства) допуск на скорость передачи данных составляет ± 895 бит/с (± 20 ppm).
линейный код	B3ZS (двуполярный код с заменой трёх последовательных нулей)
формат данных	Для того чтобы гарантировать передачу данных через все типы транспортного оборудования, данные должны быть представлены в формате, описанном в рекомендации ITU-T G.752. При мультиплексировании данных в интерфейс более высокого уровня формат данных не имеет значения.
тип кабеля	Для каждого направления передачи следует использовать один коаксиальный кабель.
импеданс проверочной нагрузки	Для оценки формы импульса и измерения приведённых ниже электрических параметров, следует использовать резистивную проверочную нагрузку с сопротивлением 75 Ом ± 5 %.
амплитуда импульса	Амплитуда изолированного импульса должна находиться в диапазоне от 0,36 до 0,85 В. Импульс считается изолированным, если он получен путём преобразования в электрический сигнал последовательности бит, состоящей из единицы, которой предшествуют два нуля, и за которой следует как минимум один ноль (см. прим. 1).
форма импульса	Форма каждого изолированного импульса должна соответствовать маске, изображённой на рис. 14. Действия, которые разрешено производить при проверке формы импульса, приведены в подразделе 7.2. По сравнению с маской, приведённой в предыдущей версии рекомендации ²² , маска на рисунке 14 в любой своей точке допускает отклонение амплитуды импульса от значения, принятого за опорное, в пределах ± 3 %. Выражения, описывающие различные сегменты границ маски, приведены в таблице 12.

²¹ Если считать, что импульсы имеют идеально прямоугольную форму и их длительность составляет половину битового интервала, а выходное сопротивление передатчика равно волновому сопротивлению кабеля, то, исходя из мощности сигнала, амплитуда импульсов составляет от 0,7 до 1,5 В – прим. пер.

²² Точнее, по сравнению с версией рекомендации, выпущенной в 1991 году, которая не является предыдущей – прим. пер.

мощность сигнала	Мощность сигнала AIS (определён в рекомендации ITU-T G.704 ²³), измеряемая в диапазоне частот до 200 МГц, должна составлять от минус 4,7 до 3,6 дБм. В данных значениях учтено наличие в схеме измерения кабелей длиной от 68,6 до 137,2 м (от 225 до 450 футов). При измерении следует использовать фильтр нижних частот с плоской АЧХ и частотой среза 200 МГц. Параметры спада АЧХ фильтра не существенны. Существует альтернативный способ нормирования мощности сигнала, используемый для проверки некоторых типов оборудования. Он заключается в нормировании мощности сигнала, состоящего из одних двоичных единиц (см. прим. 2). Мощность этого сигнала, измеряемая в полосе частот, середина которой находится на частоте 22368 кГц, а ширина составляет 3 ± 1 кГц, должна составлять от минус 1,8 до 5,7 дБм. Мощность этого же сигнала, измеряемая в полосе частот, середина которой находится на частоте 44736 кГц, а ширина составляет 3 ± 1 кГц, должна быть как минимум на 20 дБ ниже мощности, измеренной на частоте 22368 кГц.
неравномерность импульсов	Отношение амплитуд изолированных импульсов разной полярности должно составлять от 0,90 до 1,10. И положительные, и отрицательные изолированные импульсы должны соответствовать маске, изображённой на рис. 14.
постоянная составляющая	В электрическом сигнале не должно быть постоянной составляющей.
проверка сигнала	Для проверки приведённых выше параметров следует предусмотреть возможность доступа к электрическому сигналу.

Примечание 1. Сигнал интерфейса оценивается как по напряжению, так и по мощности. Однако использование этих величин не является взаимозаменяемым. Напряжение характеризует один изолированный импульс, в то время как мощность используется для оценки сигнала AIS или для оценки сигнала, представляющего последовательность бит из одних единиц.

Примечание 2. Последовательность бит из одних единиц не может быть реализована в рамках формата данных, описанного в рекомендации ITU-T G.752. В телекоммуникационных сетях стран северной Америки такая последовательность не используется.

Электрический сигнал интерфейса должен удовлетворять каждому приведённому выше требованию. Форма изолированного импульса должна соответствовать маске, приведённой на рис. 14. На рисунке по вертикальной оси откладывается амплитуда импульса. Маска нормирована по амплитуде, т. е. фактическая амплитуда импульса соответствует единице. По горизонтальной оси откладывается время в битовых интервалах (длительность битового интервала составляет 22,4 нс). Выражения, описывающие различные сегменты границ маски, приведены в таблице 12.

Для того, чтобы гарантировать надлежащую работу транспортного и мультиплексирующего оборудования, следует использовать формат данных, описанный в рекомендации ITU-T G.752.

Максимальное дрожание сигнала на выходе передатчика приведено в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.824. Дрожание сигнала на входе приёмника должно удовлетворять пункту 7.2.4 рекомендации ITU-T G.824.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T K.20.

²³ Для интерфейса со скоростью 44736 кбит/с сигналом AIS является последовательность бит, имеющая определённый формат, в которой значительную часть занимает последовательность 101010 – прим. пер.

время в битовых интервалах	уравнение кривой
верхняя граница	
$-0,85 \leq T \leq -0,68$	0,03
$-0,68 \leq T \leq 0,36$	$0,5 \left\{ 1 + \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{T}{0,34} \right) \right] \right\} + 0,03$
$0,36 \leq T \leq 1,4$	$0,08 + 0,407 e^{-1,84(T-0,36)}$
нижняя граница	
$-0,85 \leq T \leq -0,36$	-0,03
$-0,36 \leq T \leq 0,36$	$0,5 \left\{ 1 + \sin \left[\frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{T}{0,18} \right) \right] \right\} - 0,03$
$0,36 \leq T \leq 1,4$	-0,03

нормированная амплитуда

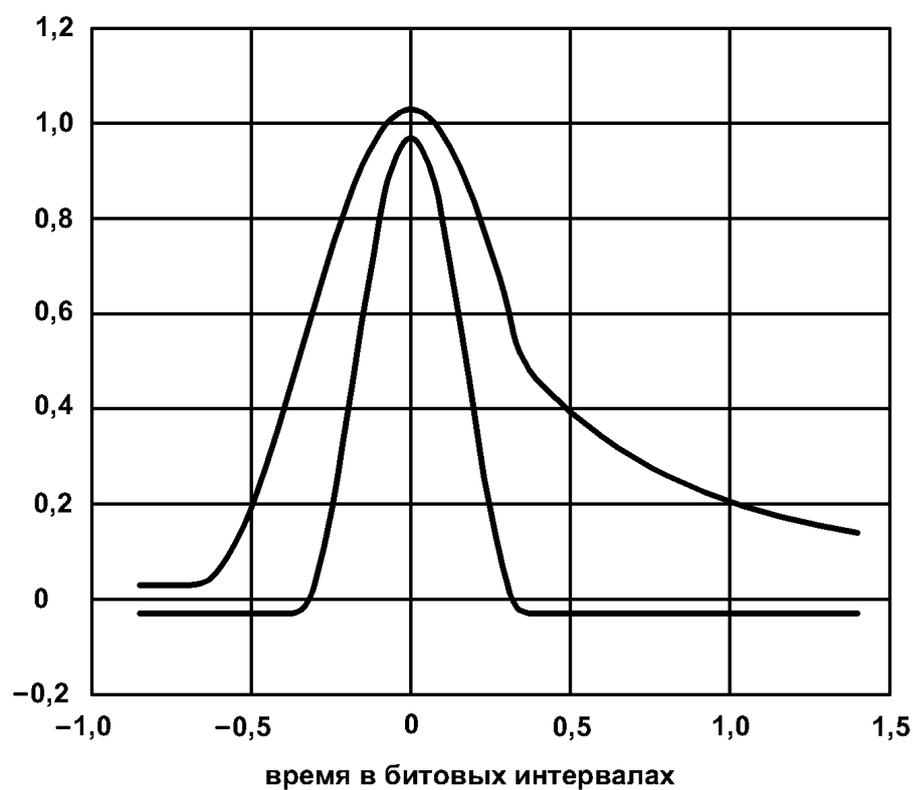


Рис. 14 – Маска изолированного импульса

11. Интерфейс со скоростью 2048 кбит/с (E12)

11.1 Основные параметры

Номинальная скорость передачи данных составляет 2048 кбит/с. Допуск²⁴ на скорость передачи данных составляет ± 50 ppm ($\pm 102,4$ бит/с).

Для формирования электрического сигнала следует использовать код HDB3 (двуполярный код с высокой плотностью импульсов, допускающий максимум три последовательных паузы).

Описание кода приведено в приложении А.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T К.20.

11.2 Параметры передатчика

Параметры передатчика приведены в таблице 13 (см. также примечание 6 в разделе 1).

Затухание несогласованности передатчика приведено в таблице 14.

Таблица 13

Параметр	Значение	
форма импульса	Номинальная форма импульса – прямоугольная. Все импульсы (“метки”), независимо от их полярности, должны соответствовать маске, изображённой на рис. 15. Символом V на рисунке обозначена номинальная амплитуда импульса.	
тип кабеля для каждого направления передачи	один коаксиальный кабель (см. подраздел 11.4)	один симметричный двухпроводный кабель (см. подраздел 11.4)
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 75 Ом	резистивный, 120 Ом
номинальная амплитуда импульса (“метки”)	2,37 В	3 В
напряжение при отсутствии импульса (“пауза”)	$0 \pm 0,237$ В	$0 \pm 0,3$ В
номинальная длительность импульса	244 нс	
отношение амплитуд импульсов разной полярности (амплитуда измеряется в середине импульса)	от 0,95 до 1,05	

²⁴ Для краткости последовательность бит, передаваемая интерфейсом, будет обозначаться далее словом «поток». Обычно для потока E1 используется формат, описанный в рекомендации ITU-T G.704. В рекомендации G.704 описано формирование потока E1 из синхронных по отношению друг к другу потоков со скоростью 64 кбит/с. Синхронность означает, что в каждый момент времени фактические скорости всех мультиплексируемых потоков являются одинаковыми. Диапазон фактических скоростей определяется номинальной скоростью и допуском на неё. Отклонение скоростей мультиплексируемых потоков от номинала приводит к отклонению от номинала фактической скорости потока E1 на ту же величину (в ppm). Соответственно допуск на скорость передачи данных для мультиплексируемых потоков со скоростью 64 кбит/с не может превышать допуск на скорость для потока E1 (± 50 ppm). В то же время для описанных в данной рекомендации интерфейсов со скоростью 64 кбит/с допуск на скорость передачи данных составляет ± 100 ppm.

В общем случае скорость передачи данных для прямого и обратного направлений (приём и передача) не должна быть одинаковой (при этом скорости должны находиться в пределах установленного допуска). Также возможно совпадение скоростей, но наличие смещения по фазе между сигналами прямого и обратного направлений (т. е. несовпадение границ битовых интервалов). Наиболее часто для тактирования прямого и обратного направлений используется один и тот же тактовый сигнал. Передатчик ведущего устройства посылает тактовый сигнал приёмнику ведомого. А ведомое устройство использует принятый тактовый сигнал для передачи данных к ведущему устройству. В этом случае скорости передачи данных для прямого и обратного направлений совпадают, границы битовых интервалов совпадают. Однако, если используется формат потока с разделением на кадры, это не означает совпадения во времени прямого и обратного синхрослова (FAS) – прим. пер.

отношение длительностей импульсов разной полярности на уровне половины номинальной амплитуды	от 0,95 до 1,05
максимальное дрожание сигнала передатчика	указано в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.823

Таблица 14

диапазон частот, кГц	затухание несогласованности, дБ
от 51 до 102	6 и более
от 102 до 3072	8 и более

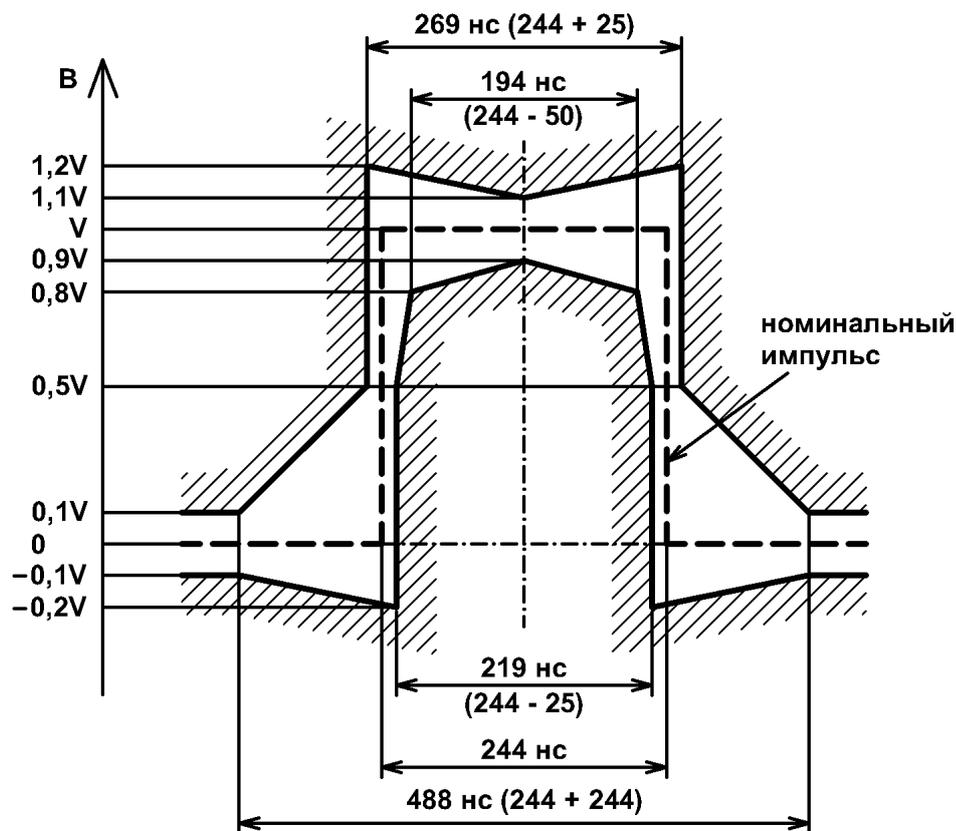


Рис. 15 – Маска импульса

Примечание: символом V на рисунке 15 обозначена номинальная амплитуда импульса²⁵.

11.3 Параметры приёмника

На вход приёмника поступает описанный выше цифровой сигнал, подвергшийся воздействию соединительного кабеля²⁶, по которому он распространяется. Затухание сигнала в кабеле

²⁵ Для коаксиального и симметричного кабеля используется одна и та же маска импульса. Импульсы в кабелях разного типа отличаются только амплитудой V . Также обратите внимание, что в отличие от интерфейсов со скоростью 64 кбит/с, фронты импульса расположены не по границам битового интервала. Длительность битового интервала – 488 нс, а длительность импульса – 244 нс. То есть сигнал из одних единиц не будет меандром – прим. пер.

²⁶ При прохождении электрического импульса по кабелю, его амплитуда уменьшается. При снижении амплитуды ниже некоторого порога приёмник перестаёт считать электрический сигнал импульсом. В оборудовании некоторых производителей есть возможность регулировать пороговый уровень путём переключения между вариантами "короткий кабель" и "длинный кабель". Вариант «короткий кабель» увеличивает порог. Вариант «длинный кабель» уменьшает. Уменьшение порога увеличивает вероятность того, что помеха будет принята за импульс – прим. пер.

пропорционально квадратному корню из частоты. Затухание сигнала на частоте 1024 кГц должно находиться в пределах от 0 до 6 дБ. Это значение должно включать в себя потери, возникающие на цифровом кроссе между оборудованием.

Дрожание сигнала, допустимое на входе приёмника, приведено в пункте 7.1.2 рекомендации ITU-T G.823. Затухание несогласованности приёмника указано в таблице 15 (приведённые значения не утверждены и являются предварительными).

Таблица 15

диапазон частот, кГц	затухание несогласованности, дБ
от 51 до 102	12 и более
от 102 до 2048	18 и более
от 2048 до 3072	14 и более

Помехозащищённость приёмника должна быть достаточной, для того чтобы приёмник мог корректно работать в условиях поступления на его вход помех, вызванных отклонением от нормы импедансов цифровых распределительных кроссов и передатчика.

Оценка помехозащищённости приёмника производится с помощью проверочного сигнала. Проверочный сигнал формируется путём сложения сигнала данных и сигнала помехи, после чего уровень суммарного сигнала снижается на величину максимально допустимого затухания в кабеле.

Сигнал данных формируется путём преобразования некоторой последовательности бит в электрический сигнал в соответствии с подразделами 11.1 и 11.2. Каждый импульс сигнала данных должен соответствовать маске, приведённой на рис. 15.

Сигнал помехи формируется на основе псевдослучайной последовательности бит. Последовательность должна соответствовать рекомендации ITU-T O.151 и иметь период $2^{15} - 1$ бит. Сначала последовательность преобразуется в электрический сигнал таким же образом как и биты данных. При этом битовая скорость сформированного сигнала должна находиться в допустимых данной рекомендацией пределах, но сигнал не должен быть синхронен по отношению к сигналу данных. Затем уровень сигнала снижается на 18 дБ.

Схема сложения сигналов должна иметь номинальный импеданс 75 Ом (для коаксиального кабеля) или 120 Ом (для симметричного кабеля) и не должна вносить потерь.

Приёмник считается защищённым от помех, если при подаче на его вход проверочного сигнала он может без ошибок выделить биты, передаваемые сигналом данных.

Примечание. Адаптивные приёмники, обеспечивающие подстройку своих пороговых уровней, считаются более устойчивыми к помехам, вызванным отражением сигналов, чем приёмники с жёстко фиксированными параметрами. Поэтому использование адаптивных приёмников предпочтительнее.

11.4 Заземление внешнего проводника или экрана кабеля

Внешний проводник коаксиального кабеля или экран симметричного кабеля следует заземлить как со стороны передатчика, так и со стороны приёмника.

Примечание 1. Если кабель выходит за пределы зоны действия заземления, то к маршруту его прокладки предъявляются определённые требования, приведённые в рекомендации ITU-T K.27.

Примечание 2. Подключение внешнего проводника коаксиального кабеля к заземлению со стороны передатчика и со стороны приёмника может из-за различия потенциалов в точках подключения привести к протеканию по внешнему проводнику тока, который будет проходить через приёмник. Протекание этого тока нежелательно, потому что может привести к появлению ошибок и даже к необратимому повреждению приёмника. Для предотвращения этой проблемы разрешается на стороне приёмника ввести изоляцию по постоянному току между внешним проводником кабеля и заземлением. Способ выполнения изоляции не должен негативно влиять на электромагнитную совместимость оборудования и работу всей системы передачи данных в целом.

Примечание 3. Возможность использования экранированного кабеля без подключения его экрана к заземлению ещё не изучена.

12. Интерфейс со скоростью 8448 кбит/с (E22)

12.1 Основные параметры

Номинальная скорость²⁷ передачи данных составляет 8448 кбит/с. Допуск²⁸ на скорость передачи данных составляет ± 30 ppm ($\pm 253,4$ бит/с).

²⁷ Поток E2 формируется путём мультиплексирования 4-х потоков E1. Однако номинальная скорость потока E2 больше чем скорость потока E1 умноженная на 4 ($8448 = 4 \times 2048 + 256$). Во всей плезиохронной иерархии скорость вышестоящего потока строго больше, чем скорость нижестоящего потока, умноженная на коэффициент мультиплексирования. Превышение скорости вызвано наличием в вышестоящем потоке служебных бит, необходимых для организации мультиплексирования плезиохронных по отношению друг к другу нижестоящих потоков.

Плезиохронные сигналы являются одним из видов асинхронных сигналов. Сигналы являются плезиохронными (по отношению друг к другу), если их частоты формально являются одинаковыми, однако фактически они отличаются, находясь при этом в пределах некоторого заранее оговоренного диапазона. То есть операция мультиплексирования 4-х потоков E1 в поток E2 должна выполняться корректно даже если часть потоков E1 имеет максимальную скорость (2048 кбит/с + 102,4 бит/с), а другие потоки E1 имеют минимальную скорость (2048 кбит/с – 102,4 бит/с). При этом ничто не должно мешать любому потоку E1 в любой момент времени изменять скорость передачи данных (в пределах заранее оговоренного допуска ± 50 ppm).

Увеличение и уменьшение скорости потока E1 внутри потока E2 обычно называют положительным и отрицательным выравниванием (или согласованием) скоростей. Но такое обозначение кажется мне неудачным, потому что не понятно по отношению к чему производится выравнивание, и что с чем согласуется. Скорости мультиплексируемых потоков определяются их отправителями и в общем случае не совпадают.

Регулирование скорости потока E1 внутри потока E2 достигается за счёт служебных бит, которые всегда присутствуют в кадре потока E2 (длина кадра не меняется), но могут либо использоваться для передачи данных потока E1, либо не использоваться (заполняться ничего не значащими данными, отбрасываемыми на приёмной стороне).

Поток E2 может быть сформирован из 4-х потоков E1 либо согласно ITU-T G.745, либо согласно ITU-T G.742. В кадре, соответствующем рекомендации G.745 (длина кадра 1056 бит), для регулирования скорости выделены два 4-битных поля: поле увеличения скорости (относительно номинальной) и поле уменьшения скорости. В каждом поле за каждым потоком E1 закреплён 1 бит.

Если производится уменьшение скорости конкретного потока E1, то в обоих полях биты, закреплённые за этим потоком, являются ничего не значащими (в этом случае данные потока E1 занимают в кадре 255 бит). Если поток E1 передаётся на номинальной скорости, то бит в поле уменьшения скорости является «полезным», а бит поле увеличения скорости является ничего не значащим (в этом случае данные потока E1 занимают в кадре 256 бит). Если производится увеличение скорости, то в обоих полях биты, закреплённые за этим потоком, являются «полезными» (в этом случае данные потока E1 занимают в кадре 257 бит).

Количество бит, выделяемых в кадре E2 для потока E1, регулируется отдельно для каждого кадра. Поэтому путём различной загрузки кадров можно регулировать скорость потока E1 в диапазоне от 2040 кбит/с (в каждом кадре для потока E1 используется 255 бит) до 2056 кбит/с (в каждом кадре для потока E1 используется 257 бит).

В кадре, соответствующем рекомендации G.742 (длина кадра 848 бит), для регулирования скорости выделено только одно 4-битное поле. Поток E1 может занимать в кадре 205 или 206 бит. Путём различной загрузки кадров можно регулировать скорость потока E1 в диапазоне от 2042,3 кбит/с (в каждом кадре для потока E1 используется 205 бит) до 2052,2 кбит/с (в каждом кадре для потока E1 используется 206 бит).

Подчеркну, что в обоих вариантах мультиплексирования скорости потоков E1 предполагаются различными и регулируются независимо друг от друга. Термин «положительное/нулевое/отрицательное выравнивание» является калькой с «positive/zero/negative justification» в названии рекомендации G.745. В этой рекомендации регулирование скорости потока E1 производится относительно номинальной и такое название выглядит логичным. В названии рекомендации G.742 упомянуто только «positive justification», хотя скорость потока E1 может быть как больше, так и меньше номинальной. Т. е. в рекомендации G.742 «положительное выравнивание» осуществляется относительно скорости, меньшей номинальной. Если взять за точку отсчёта скорость выше номинальной, то можно было бы считать, что в рекомендации G.742 описано мультиплексирование с «отрицательным выравниванием». А если взять за точку отсчёта номинальную скорость потока E1, то в рекомендации G.742 описано мультиплексирование с «положительным/отрицательным выравниванием» (без «нулевого выравнивания»).

В синхронной иерархии скоростей мультиплексируемые потоки должны быть синхронны по отношению друг к другу. Сигналы являются синхронными, если их частоты в среднем совпадают, а разность их фаз поддерживается постоянной. При синхронном мультиплексировании в каждый момент времени скорости всех мультиплексируемых потоков должны быть одинаковы (необязательно равны номинальной, но одинаковы). В этих условиях для выполнения операции мультиплексирования не нужны служебные биты. Поэтому в синхронной иерархии скорость вышестоящего потока строго равна скорости нижестоящего потока, умноженной на коэффициент мультиплексирования.

Помимо описанных выше способов поток E2 может быть сформирован согласно ITU-T G.704 путём мультиплексирования синхронных по отношению друг к другу потоков со скоростью 64 кбит/с.

Все упомянутые выше форматы кадров потока E2 значительно отличаются друг от друга. Несмотря на это, электрические параметры интерфейса E2 одинаковы для всех трёх форматов кадров – прим. пер.

²⁸ В плезиохронной иерархии допуск на скорость передачи данных уменьшается с ростом уровня (скорости) интерфейса. На первый взгляд уменьшение допуска должно повлиять и на мультиплексируемые потоки, однако, это не так. Поток E2 с допуском ± 30 ppm передаёт потоки E1 с допуском ± 50 ppm. Это связано с тем, что номинальная скорость потока

Для формирования электрического сигнала следует использовать код HDB3 (двуполярный код с высокой плотностью импульсов, допускающий максимум три последовательных паузы). Описание кода приведено в приложении А.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T К.20.

12.2 Параметры передатчика

Параметры передатчика приведены в таблице 16 (см. также примечание 6 в разделе 1). Затухание несогласованности передатчика указано в таблице 17.

Таблица 16

Параметр	Значение
форма импульса	Номинальная форма импульса – прямоугольная. Все импульсы (“метки”), независимо от их полярности, должны соответствовать маске, изображённой на рис. 16.
тип кабеля для каждого направления передачи	один коаксиальный кабель (см. подраздел 12.4)
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 75 Ом
номинальная амплитуда импульса (“метки”)	2,37 В
напряжение при отсутствии импульса (“пауза”)	$0 \pm 0,237$ В
номинальная длительность импульса	59 нс
отношение амплитуд импульсов разной полярности (амплитуда измеряется в середине импульса)	от 0,95 до 1,05
отношение длительностей импульсов разной полярности на уровне половины номинальной амплитуды	от 0,95 до 1,05
максимальное дрожание сигнала передатчика	указано в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.823

Таблица 17

диапазон частот, кГц	затухание несогласованности, дБ
от 211 до 422	6 и более
от 422 до 12672	8 и более

Е2 превышает номинальную скорость потока Е1 умноженную на 4. Если бы скорость потока Е2 была ещё больше, например, 10 Мбит/с, то можно было бы уменьшить допуск на скорость потока Е2 до ± 1 ppm и при этом передавать поток Е1 с допуском ± 50 ppm.

В синхронной иерархии отклонение скоростей мультиплексируемых потоков от номинала приводит к отклонению от номинала скорости вышестоящего потока на ту же величину (в ppm). Поэтому допуск на скорость передачи данных одинаковый для всех уровней – прим. пер.

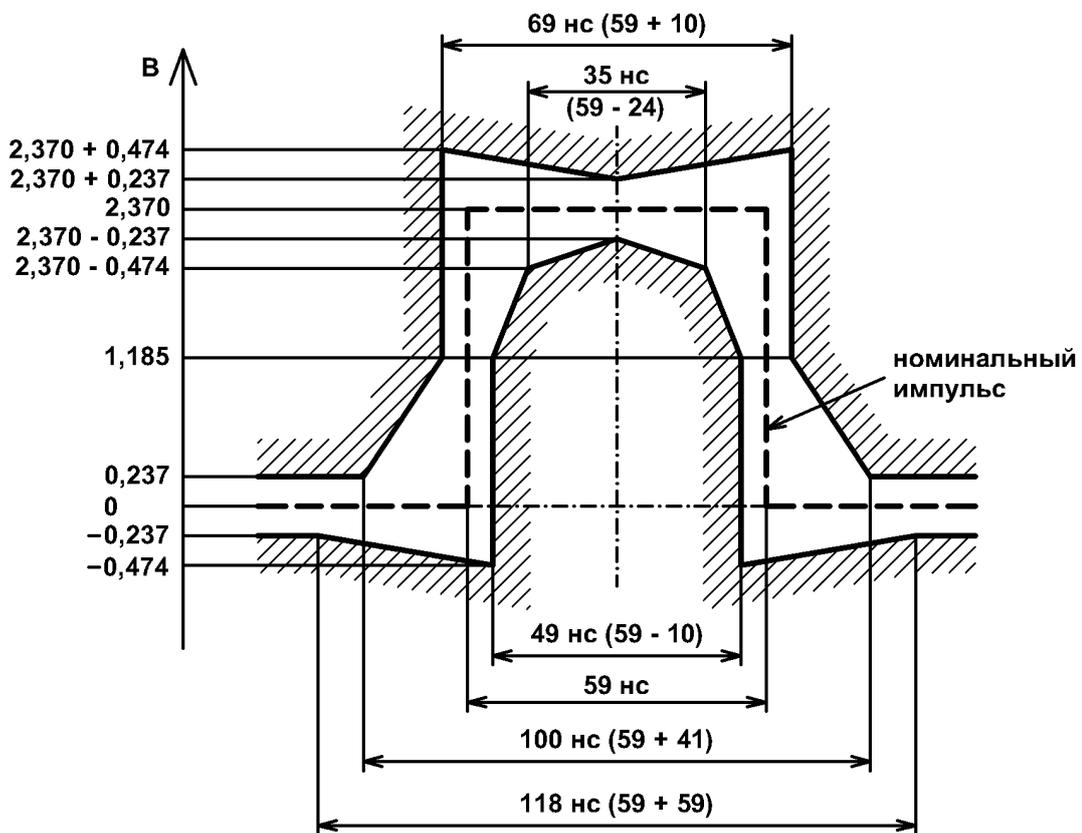


Рис. 16 – Маска импульса для интерфейса со скоростью 8448 кбит/с

12.3 Параметры приёмника

На вход приёмника поступает описанный выше цифровой сигнал, подвергшийся воздействию соединительного кабеля, по которому он распространяется. Затухание сигнала в кабеле пропорционально квадратному корню из частоты. Затухание сигнала на частоте 4224 кГц должно находиться в пределах от 0 до 6 дБ. Это значение должно включать в себя потери, возникающие на цифровом кроссе между оборудованием.

Дрожание сигнала, допустимое на входе приёмника, приведено в пункте 7.1.3 рекомендации ITU-T G.823. Затухание несогласованности приёмника указано в таблице 18 (приведённые значения не утверждены и являются предварительными).

Таблица 18

диапазон частот, кГц	затухание несогласованности, дБ
от 211 до 422	12 и более
от 422 до 8448	18 и более
от 8448 до 12672	14 и более

Помехозащищённость приёмника должна быть достаточной, для того чтобы приёмник мог корректно работать в условиях поступления на его вход помех, вызванных отклонением от нормы импедансов цифровых распределительных кроссов и передатчика.

Оценка помехозащищённости приёмника производится с помощью проверочного сигнала. Проверочный сигнал формируется путём сложения сигнала данных и сигнала помехи, после чего уровень суммарного сигнала снижается на величину максимально допустимого затухания в кабеле.

Сигнал данных формируется путём преобразования некоторой последовательности бит в электрический сигнал в соответствии с подразделами 12.1 и 12.2. Каждый импульс сигнала данных должен соответствовать маске, приведённой на рис. 16.

Сигнал помехи формируется на основе псевдослучайной последовательности бит. Последовательность должна соответствовать рекомендации ITU-T O.151 и иметь период $2^{15} - 1$ бит. Сначала последовательность преобразуется в электрический сигнал таким же образом как и биты данных. При этом битовая скорость сформированного сигнала должна находиться в

допустимых данной рекомендацией пределах, но сигнал не должен быть синхронен по отношению к сигналу данных. Затем уровень сигнала снижается на 20 дБ.

Схема сложения сигналов должна иметь номинальный импеданс 75 Ом и не должна вносить потерь.

Приёмник считается защищённым от помех, если при подаче на его вход проверочного сигнала он может без ошибок выделить биты, передаваемые сигналом данных.

12.4 Заземление внешнего проводника кабеля

Внешний проводник коаксиального кабеля следует заземлить как со стороны передатчика, так и со стороны приёмника.

Примечание 1. Если кабель выходит за пределы зоны действия заземления, то к маршруту его прокладки предъявляются определённые требования, приведённые в рекомендации ITU-T K.27.

Примечание 2. Возможность использования кабеля, внешний проводник которого не подключен к заземлению, ещё не изучена.

13. Интерфейс со скоростью 34368 кбит/с (E31)

13.1 Основные параметры

Номинальная скорость передачи данных составляет 34368 кбит/с. Допуск на скорость передачи данных составляет ± 20 ppm (± 688 бит/с).

Для формирования электрического сигнала следует использовать код HDB3. Описание кода приведено в приложении А.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T K.20.

13.2 Параметры передатчика

Параметры передатчика приведены в таблице 19 (см. также примечание 6 в разделе 1).

Таблица 19

Параметр	Значение
форма импульса	Номинальная форма импульса – прямоугольная. Все импульсы (“метки”), независимо от их полярности, должны соответствовать маске, изображённой на рис. 17.
тип кабеля для каждого направления передачи	один коаксиальный кабель (см. подраздел 13.4)
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 75 Ом
номинальная амплитуда импульса (“метки”)	1,0 В
напряжение при отсутствии импульса (“пауза”)	$0 \pm 0,1$ В
номинальная длительность импульса	14,55 нс
отношение амплитуд импульсов разной полярности (амплитуда измеряется в середине импульса)	от 0,95 до 1,05
отношение длительностей импульсов разной полярности на уровне половины номинальной амплитуды	от 0,95 до 1,05
максимальное дрожание сигнала передатчика	указано в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.823

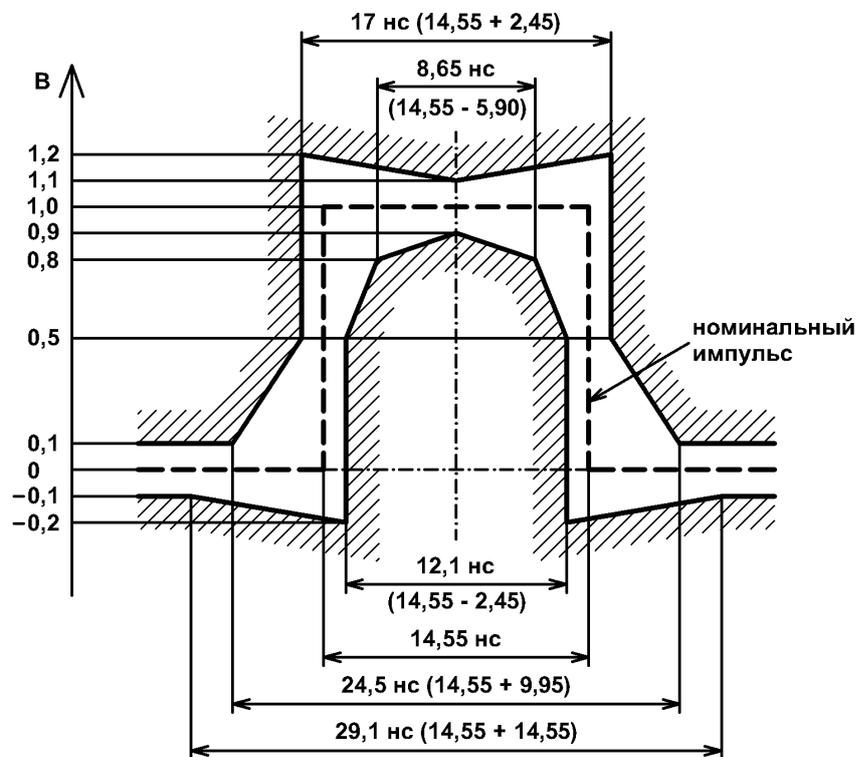


Рис. 17 – Маска импульса для интерфейса со скоростью 34368 кбит/с

Затухание несогласованности передатчика указано в таблице 20.

Таблица 20

диапазон частот, кГц	затухание несогласованности, дБ
от 860 до 1720	6 и более
от 1720 до 51550	8 и более

13.3 Параметры приёмника

На вход приёмника поступает описанный выше цифровой сигнал, подвергшийся воздействию соединительного кабеля, по которому он распространяется. Затухание сигнала в кабеле увеличивается примерно пропорционально квадратному корню из частоты сигнала (подробнее см. [1] и [2]). Затухание сигнала на частоте 17184 кГц должно находиться в пределах от 0 до 12 дБ.

Дрожание сигнала, допустимое на входе приёмника, приведено в пункте 7.1.4 рекомендации ITU-T G.823. Затухание несогласованности приёмника указано в таблице 21 (приведённые значения не утверждены и являются предварительными).

Таблица 21

диапазон частот, кГц	затухание несогласованности, дБ
от 860 до 1720	12 и более
от 1720 до 34368	18 и более
от 34368 до 51550	14 и более

Помехозащищённость приёмника должна быть достаточной, для того чтобы приёмник мог корректно работать в условиях поступления на его вход помех, вызванных отклонением от нормы импедансов цифровых распределительных кроссов и передатчика.

Оценка помехозащищённости приёмника производится с помощью проверочного сигнала. Проверочный сигнал формируется путём сложения сигнала данных и сигнала помехи, после чего уровень суммарного сигнала снижается на величину максимально допустимого затухания в кабеле.

Сигнал данных формируется путём преобразования некоторой последовательности бит в электрический сигнал в соответствии с подразделами 13.1 и 13.2. Каждый импульс сигнала данных должен соответствовать маске, приведённой на рис. 17.

Сигнал помехи формируется на основе псевдослучайной последовательности бит.

Последовательность должна соответствовать рекомендации ITU-T O.151 и иметь период $2^{23} - 1$ бит. Сначала последовательность преобразуется в электрический сигнал таким же образом как и биты данных. При этом битовая скорость сформированного сигнала должна находиться в допустимых данной рекомендацией пределах, но сигнал не должен быть синхронен по отношению к сигналу данных. Затем уровень сигнала снижается на 20 дБ.

Схема сложения сигналов должна иметь номинальный импеданс 75 Ом и не должна вносить потерь.

Приёмник считается защищённым от помех, если при подаче на его вход проверочного сигнала он может без ошибок выделить биты, передаваемые сигналом данных.

13.4 Заземление внешнего проводника кабеля

Внешний проводник коаксиального кабеля следует заземлить как со стороны передатчика, так и со стороны приёмника.

Примечание 1. Если кабель выходит за пределы зоны действия заземления, то к маршруту его прокладки предъявляются определённые требования, приведённые в рекомендации ITU-T K.27.

Примечание 2. Возможность использования кабеля, внешний проводник которого не подключен к заземлению, ещё не изучена.

14. Интерфейс со скоростью 139264 кбит/с (E4)

14.1 Основные параметры

Номинальная скорость передачи данных составляет 139264 кбит/с. Допуск на скорость передачи данных составляет ± 15 ppm (± 2089 бит/с).

Для формирования электрического сигнала следует использовать код CMI. Описание кода приведено в приложении А.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T K.20.

14.2 Параметры передатчика

Параметры передатчика приведены в таблице 22 (см. также примечание 6 в разделе 1). Маски импульсов приведены на рис. 18 и 19.

Примечание. Предполагается, что наиболее точным способом проверки выполнения требований, приведённых в таблице 22, является способ, основанный на измерении уровней первой и второй (а также, возможно, третьей) гармоник электрического сигнала, представляющего последовательность бит из одних нулей или единиц. Конкретные значения уровней гармоник пока не определены и являются предметом исследований.

Таблица 22

Параметр	Значение
форма импульса	Номинальная форма импульса – прямоугольная. Импульсы должны соответствовать маскам, приведённым на рис. 18 и 19.
тип кабеля для каждого направления передачи	один коаксиальный кабель
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 75 Ом
размах напряжения сигнала (от минимального до максимального)	$1 \pm 0,1$ В
длительность фронта и среза сигнала ²⁹ (время, за которое сигнал проходит между уровнем, находящимся на 10 % выше отрицательного установившегося напряжения импульса и уровнем, находящимся на 10 % ниже положительного установившегося напряжения импульса)	не более 2 нс

²⁹ Обратите внимание, что речь идёт не об импульсе, а о сигнале в целом – прим. пер.

<p>допуск на пересечение нулевого уровня</p> <p><i>Примечание: допуск указывается для положительного перепада сигнала (переход от отрицательного напряжения к положительному) и для отрицательного перепада (переход от положительного напряжения к отрицательному). Допуск для отрицательного перепада указывается относительно момента времени, определяемого усреднением предыдущих моментов пересечения отрицательными перепадами уровня 50 % размаха сигнала. Этот момент задаёт положение маски на оси времени и, соответственно, положение её остальных узловых точек.</i></p>	<p>$\pm 0,1$ нс для отрицательного перепада сигнала</p> <p>$\pm 0,35$ нс для положительного перепада сигнала в середине битового интервала</p> <p>$\pm 0,5$ нс для положительного перепада сигнала на границе битового интервала</p>
<p>затухание несогласованности</p>	<p>15 дБ и более в диапазоне частот от 7 до 210 МГц</p>
<p>максимальное дрожание сигнала передатчика</p>	<p>указано подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.823</p>

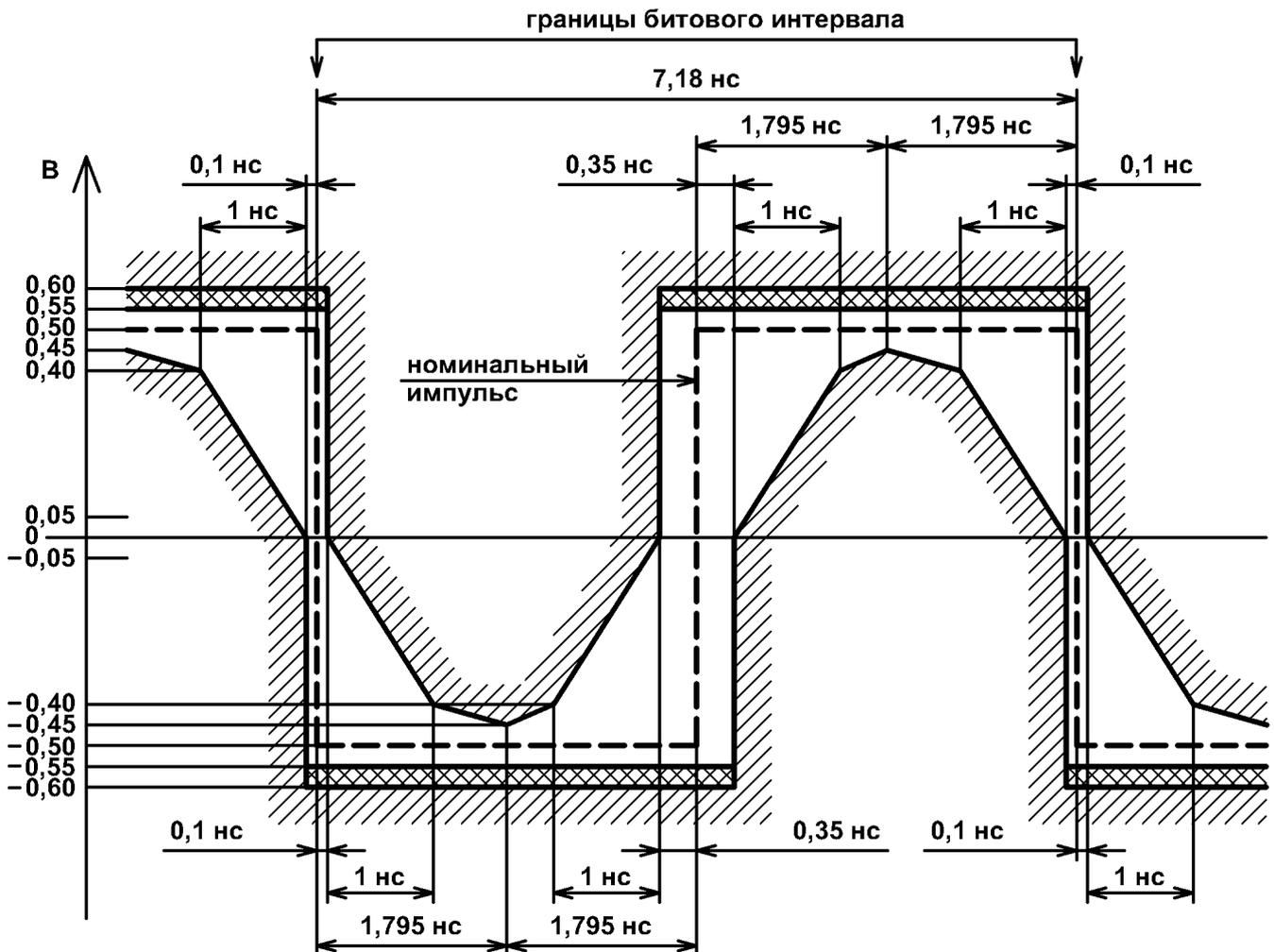


Рис. 18 – Маска импульса для двоичного нуля

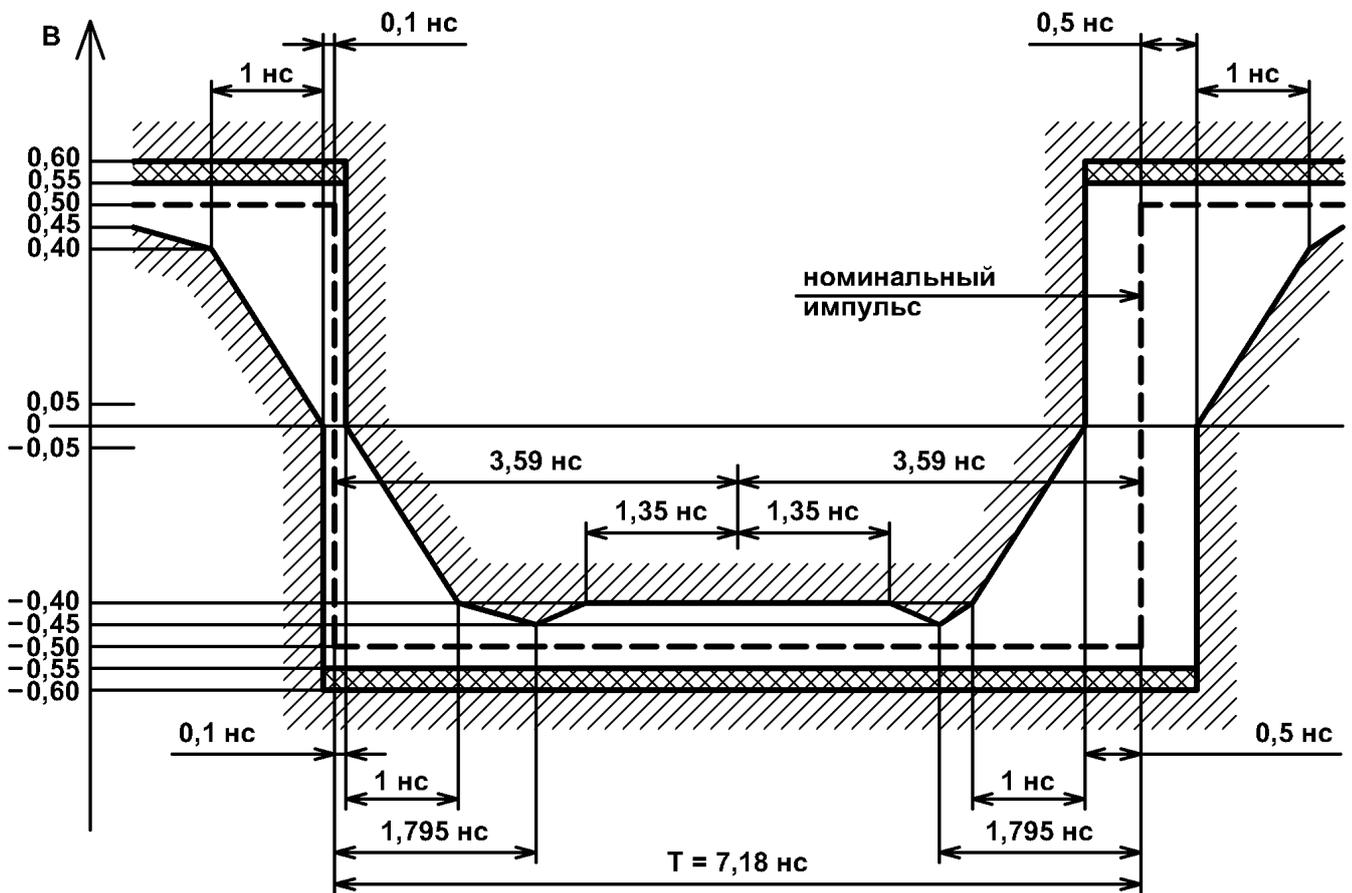


Рис. 19 – Маска импульса для двоичной единицы

Примечание 1. Установившееся значение амплитуды импульса не должно превышать 0,55 В. Всплескам сигнала и выбросам, связанным с переходными процессами, разрешается попадать в заштрихованные области (в которых абсолютная величина напряжения составляет от 0,55 до 0,60 В) при условии, что напряжение не превысит установившееся значение амплитуды более чем на 0,05 В. Возможность снижения допуска на превышение сигналом установившегося значения амплитуды является предметом дальнейших исследований.

Примечание 2. Оценка соответствия сигнала маскам выполняется с помощью осциллографа. Его вход должен быть закрыт для постоянной составляющей сигнала конденсатором номиналом не менее 0,01 мкФ. Перед проведением измерений нулевой уровень обеих масок следует совместить с линией, соответствующей отсутствию сигнала на входе осциллографа. Затем подаётся сигнал и осциллограмма перемещается по вертикали таким образом, чтобы она попала в границы, заданные масками. Перемещение должно быть одинаково для обеих масок и не должно превышать $\pm 0,05$ В. Для того чтобы это проверить, надо отключить входной сигнал и убедиться, что линия на экране осциллографа отстоит от нулевого уровня масок не более чем на $\pm 0,05$ В.

Примечание 3. Каждый импульс должен соответствовать предназначенной для этого импульса маске вне зависимости от того каким был предыдущий импульс и каким будет следующий импульс. Маски соседних импульсов должны быть одинаковым образом связаны с сигналом тактирования, т. е. конечная граница одной маски должна совпадать с начальной границей следующей маски.

Маски допускают высокочастотное дрожание сигнала, вызванное взаимовлиянием импульсов в выходном каскаде передатчика. Но масками не предусматривается дрожание сигнала, вызванное дрожанием сигнала тактирования, поступающего на передатчик³⁰.

При оценке соответствия импульсов маскам важно, чтобы осциллограммы последовательно накладывались одна на другую. Для этого необходимо подавить эффекты, вызванные низкочастотным дрожанием сигнала. Это может быть достигнуто несколькими способами, например:

³⁰ Т. е. предполагается, что скорость передачи данных составляет ровно 139264 кбит/с – прим. пер.

а) запуском развёртки осциллографа измеряемым сигналом

б) запуском развёртки осциллографа сигналом тактирования, используемым передатчиком, путём подачи этого сигнала на вход внешней синхронизации осциллографа

Оба способа требуют дальнейшего изучения.

Примечание 4. Для того, чтобы сигнал соответствовал маскам, длительность его фронта и среза не должна превышать 2 нс при измерении в диапазоне напряжений от минус 0,4 до 0,4 В.

Примечание 5. На рис. 19 изображена маска для импульса отрицательной полярности, обозначающего двоичную единицу. Импульс положительной полярности, обозначающий двоичную единицу, должен иметь те же параметры (т. е. соответствовать инвертированной маске), за исключением следующих изменений:

- для отрицательного перепада сигнала допуск на пересечение нулевого уровня должен составлять $\pm 0,1$ нс
- для положительного перепада сигнала допуск на пересечение нулевого уровня должен составлять $\pm 0,5$ нс

14.3 Параметры приёмника

На вход приёмника поступает описанный выше цифровой сигнал, подвергшийся воздействию соединительного кабеля, по которому он распространяется. Затухание сигнала в кабеле увеличивается примерно пропорционально квадратному корню из частоты сигнала (подробнее см. [1] и [2]). На частоте 70 МГц затухание сигнала не должно превышать 12 дБ.

Дрожание сигнала, допустимое на входе приёмника, приведено в пункте 7.1.5 рекомендации ITU-T G.823. Затухание несогласованности приёмника должно быть таким же, как и у передатчика.

14.4 Заземление внешнего проводника кабеля

Внешний проводник коаксиального кабеля следует заземлить как со стороны передатчика, так и со стороны приёмника.

Примечание 1. Если кабель выходит за пределы зоны действия заземления, то к маршруту его прокладки предъявляются определённые требования, приведённые в рекомендации ITU-T K.27.

Примечание 2. Возможность использования кабеля, внешний проводник которого не подключен к заземлению, ещё не изучена.

15. Интерфейс тактирования с частотой 2048 кГц (T12)

15.1 Основные параметры

Данный интерфейс рекомендуется использовать для подключения к цифровому оборудованию внешнего генератора тактового сигнала с частотой 2048 кГц.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T K.20.

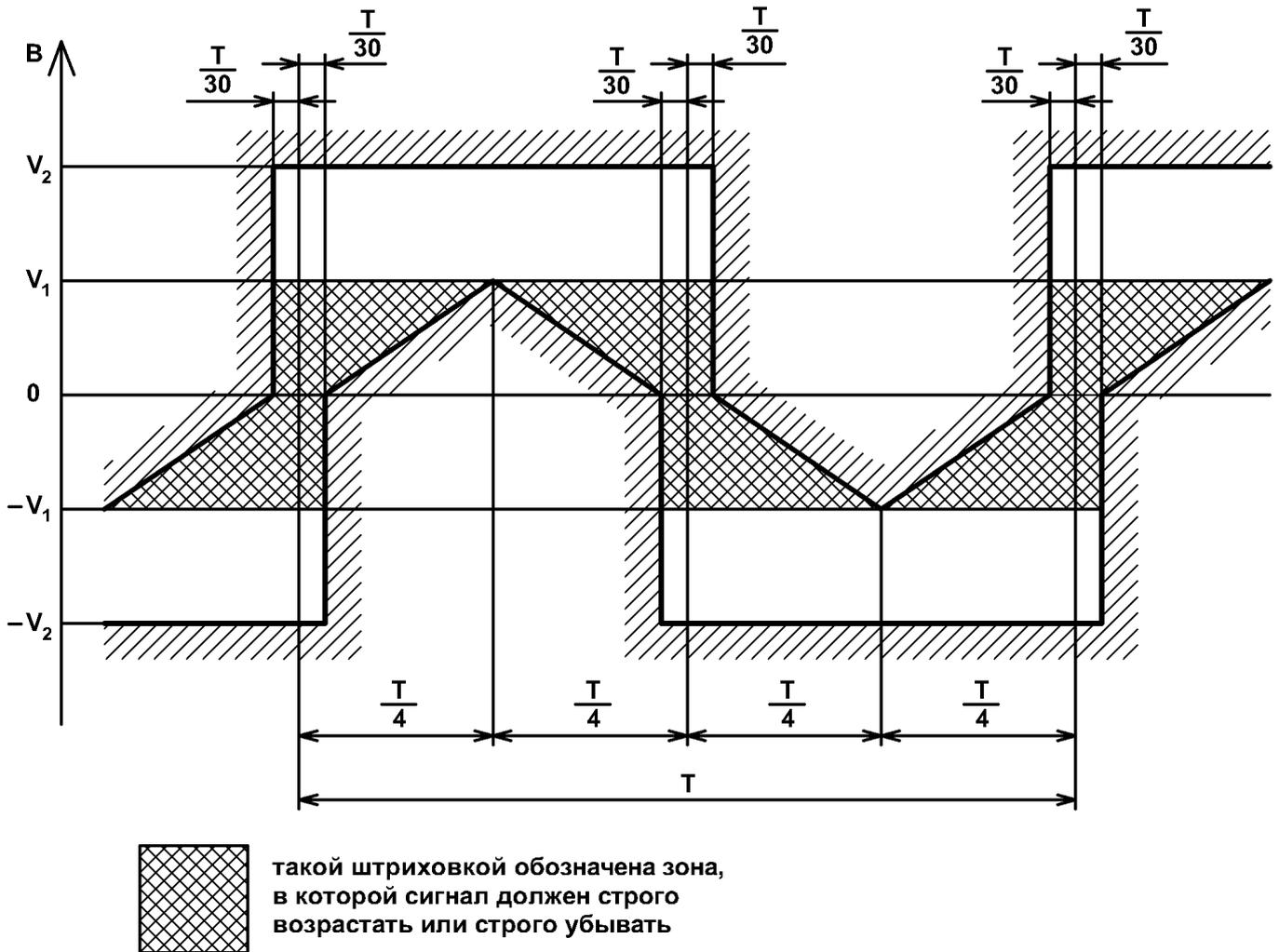
15.2 Параметры передатчика

Основные параметры передатчика приведены в таблице 23 (см. также примечание 6 в разделе 1). Допустимое отклонение частоты сигнала приведено в таблице 24.

Таблица 23

Параметр	Значение	
форма сигнала	Сигнал должен соответствовать маске, приведённой на рис. 20. На рисунке максимальное значение амплитуды сигнала обозначено как V_2 . Минимальное значение амплитуды сигнала обозначено как V_1 .	
тип кабеля	коаксиальный кабель	симметричный двухпроводный кабель
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 75 Ом	резистивный, 120 Ом
максимальная амплитуда сигнала (V_2)	1,5 В	1,9 В
минимальная амплитуда сигнала (V_1)	0,75 В	1,0 В

<p>максимальное дрожание сигнала передатчика</p>	<p>Указано в табл. 5 рекомендации ITU-T G.823.</p> <p><i>Примечание. Данные значения относятся к генераторам тактового сигнала (т. е. к оборудованию, основным назначением которого является выработка тактового сигнала как можно более высокого качества). В цифровых линиях, основным назначением которых является распространение сигнала тактирования по сети, передатчикам разрешается использовать другие значения.</i></p>
--	--



T – усреднённый период сигнала тактирования

Рис. 20 – Форма сигнала на выходе передатчика

Таблица 24

тип устройства	допустимое отклонение частоты передатчика
первичный эталонный генератор (ПЭГ)	приведено в рекомендации ITU-T G.811
вторичный задающий генератор (ВЗГ)	приведено в рекомендации ITU-T G.812
внутренний генератор SDH-устройства ³¹	4,6 ppm, см. также рекомендацию ITU-T G.813
интерфейсы тактирования, используемые в устаревшем оборудовании (например, относящемся к PDH)	± 50 ppm

³¹ В русскоязычной литературе этот генератор часто обозначается как генератор сетевого элемента (ГСЭ). В англоязычной литературе используется обозначение SDH Equipment Clock (SEC) – прим. пер.

15.3 Параметры приёмника

На вход приёмника поступает описанный выше сигнал, подвергшийся воздействию соединительного кабеля, по которому он распространяется. Затухание сигнала в кабеле увеличивается пропорционально квадратному корню из частоты сигнала (подробнее см. [1] и [2]). Затухание сигнала на частоте 2048 кГц должно находиться в пределах от 0 до 6 дБ. Это значение должно включать в себя потери, возникающие на цифровом кроссе между оборудованием.

Дрожание сигнала, допустимое на входе приёмника, приведено в таблице 25. Затухание несогласованности приёмника на частоте 2048 кГц должно составлять 15 дБ и более.

Таблица 25

тип устройства	допустимое дрожание сигнала на входе приёмника
первичный эталонный генератор (ПЭГ)	не применимо
вторичный задающий генератор (ВЗГ)	приведено в рекомендации ITU-T G.812
SDH-устройство	приведено в рекомендации ITU-T G.813
интерфейсы тактирования, используемые в устаревшем оборудовании (например, относящемся к PDH)	является предметом дальнейшего изучения

15.4 Заземление внешнего проводника или экрана кабеля

Внешний проводник коаксиального кабеля или экран симметричного кабеля следует заземлить как со стороны передатчика, так и со стороны приёмника.

Примечание 1. Если кабель выходит за пределы зоны действия заземления, то к маршруту его прокладки предъявляются определённые требования, приведённые в рекомендации ITU-T K.27.

Примечание 2. Возможность использования экранированного кабеля без подключения его экрана к заземлению ещё не изучена.

16. Интерфейс со скоростью 97728 кбит/с

Сопряжение интерфейса со скоростью 97728 кбит/с и транспортного оборудования, осуществляющего дальнейшую передачу данных, следует выполнять на кроссе, предназначенном для цифровых сигналов.

Номинальная скорость передачи данных составляет 97728 кбит/с. Допуск на скорость передачи данных составляет ± 10 ppm (± 978 бит/с).

Для каждого направления передачи следует использовать один коаксиальный кабель. Импеданс проверочной нагрузки должен составлять $75 \text{ Ом} \pm 5 \%$.

Для формирования электрического сигнала следует использовать код АМІ с предварительным скремблированием данных. Скремблер должен быть построен на основе 5-битного регистра сдвига. Выходная последовательность скремблера должна определяться неприводимым многочленом $x^5 + x^3 + 1$.

Форма импульсов на выходе передатчика должна соответствовать маске, изображённой на рис. 21. При измерении формы импульса на кроссе следует учесть воздействие на сигнал соединительного кабеля.

Разъёмы и коаксиальные кабели кросса должны иметь волновое сопротивление $75 \text{ Ом} \pm 5 \%$. Максимальное дрожание сигнала передатчика должно удовлетворять пункту 5.1 рекомендации ITU-T G.824. Дрожание сигнала на входе приёмника должно удовлетворять пункту 7.2.5 рекомендации ITU-T G.824.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T K.20.

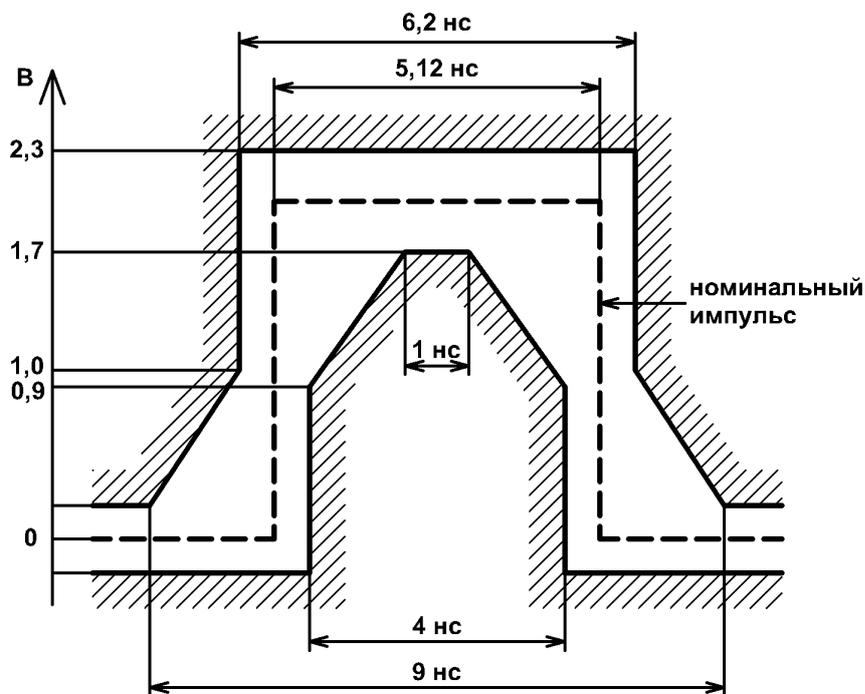


Рис. 21 – Маска импульса³² для интерфейса со скоростью 97728 кбит/с

17. Интерфейс³³ со скоростью 155520 кбит/с – STM-1 (ES1)

17.1 Основные параметры

Номинальная скорость³⁴ передачи данных составляет 155520 кбит/с. Допуск на скорость передачи данных составляет ± 20 ppm (± 3111 бит/с).

Для формирования электрического сигнала следует использовать код СМІ. Описание кода приведено в приложении А.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ITU-T К.20.

17.2 Параметры передатчика

Параметры передатчика приведены в таблице 26 (см. также примечание 6 в разделе 1). Маски импульсов приведены на рис. 22 и 23.

Примечание. Предполагается, что наиболее точным способом проверки выполнения требований, приведённых в таблице 26, является способ, основанный на измерении уровней первой и второй (а также, возможно, третьей) гармоник электрического сигнала, представляющего последовательность бит из одних нулей или единиц. Конкретные значения уровней гармоник пока не определены и являются предметом исследований.

³² В английской версии документа на рисунке маски явная ошибка в указании длительности горизонтального участка нижней границы маски. Там указано 10 нс (я поменял на 1 нс). Также в английской версии документа не указаны два значения по вертикальной оси (возле нуля) – прим. пер.

³³ «STM» расшифровывается как «Synchronous Transport Module». Название интерфейса обычно переводится на русский язык как «синхронный транспортный модуль». Слово «синхронный» в названии интерфейса отражает только его принадлежность к синхронной иерархии. Сигнал не может быть синхронным сам по себе, потому что синхронность является отношением между сигналами. Сигналы STM-1 и STM-0 содержат в своём названии слово «синхронный», но они асинхронны по отношению друг к другу, потому что их частота различается в 3 раза. Сигнал STM-1 со скоростью 155520 кбит/с + 20 ppm асинхронен по отношению к сигналу STM-1 со скоростью 155520 кбит/с – 20 ppm также из-за несовпадения частот. А вот поток E1 плезиохронен по отношению к любому другому потоку E1 – прим. пер.

³⁴ Скорость интерфейса STM-1 равна скорости интерфейса STM-0 умноженной на три ($155520 = 3 \times 51840$) – прим. пер.

Таблица 26

Параметр	Значение
форма импульса	Номинальная форма импульса – прямоугольная. Импульсы должны соответствовать маскам, приведённым на рис. 22 и 23.
тип кабеля для каждого направления передачи	один коаксиальный кабель
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 75 Ом
размах напряжения сигнала (от минимального до максимального)	$1 \pm 0,1$ В
длительность фронта и среза сигнала (время, за которое сигнал проходит между уровнем, находящимся на 10 % выше отрицательного установившегося напряжения импульса и уровнем, находящимся на 10 % ниже положительного установившегося напряжения импульса)	не более 2 нс
допуск на пересечение нулевого уровня <i>Примечание: допуск указывается для положительного перепада сигнала (переход от отрицательного напряжения к положительному) и для отрицательного перепада (переход от положительного напряжения к отрицательному). Допуск для отрицательного перепада указывается относительно момента времени, определяемого усреднением предыдущих моментов пересечения отрицательными перепадами уровня 50 % размаха сигнала. Этот момент задаёт положение маски на оси времени и, соответственно, положение её остальных узловых точек.</i>	$\pm 0,1$ нс для отрицательного перепада сигнала $\pm 0,35$ нс для положительного перепада сигнала в середине битового интервала $\pm 0,5$ нс для положительного перепада сигнала на границе битового интервала
затухание несогласованности	15 дБ и более в диапазоне частот от 8 до 240 МГц
максимальное дрожание сигнала передатчика	указано в подразделе 5.1 рекомендации ITU-T G.825

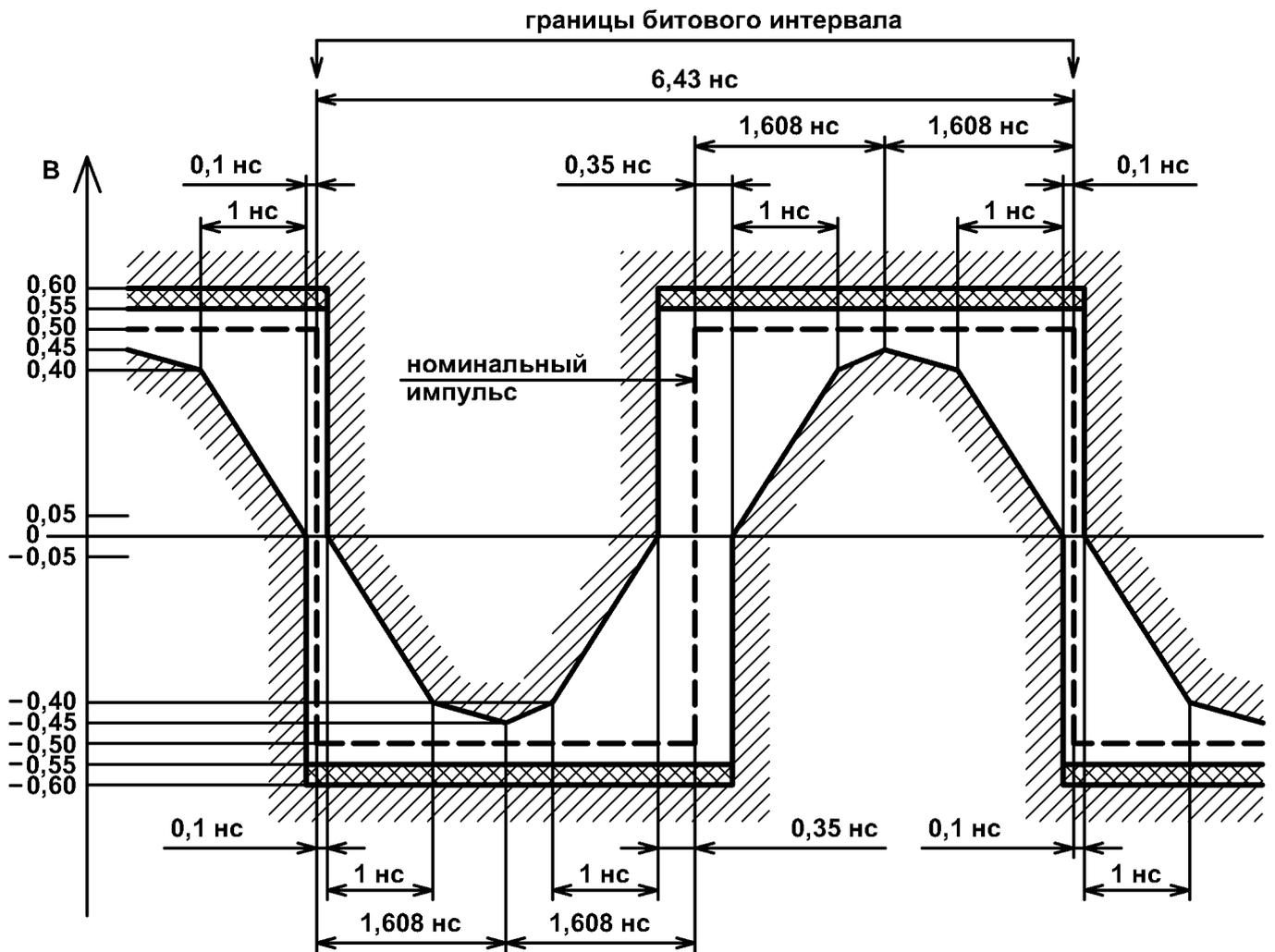


Рис. 22 – Маска импульса для двоичного нуля³⁵

³⁵ Как и в английской версии документа, рис. 22 получен из рис. 18 путём изменения размерных чисел, т. е. контуры маски остались те же. При этом не все размеры были изменены в одинаковой пропорции. Поэтому, если строить маску точно по размерам, то «горбики» маски получаются почти треугольными – прим. пер.

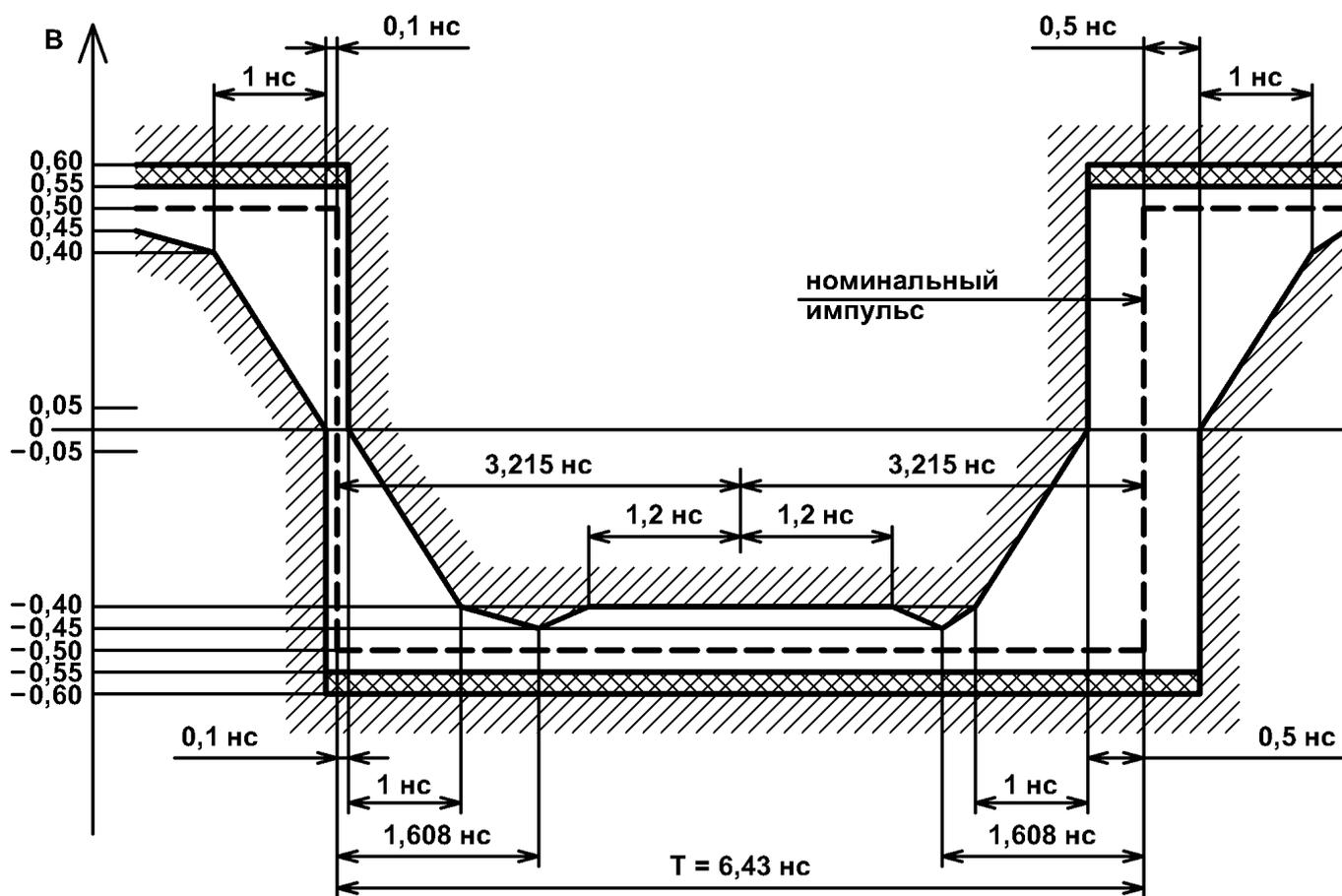


Рис. 23 – Маска импульса для двоичной единицы³⁶

Примечание 1. Установившееся значение амплитуды импульса не должно превышать 0,55 В. Всплескам сигнала и выбросам, связанным с переходными процессами, разрешается попадать в заштрихованные области (в которых абсолютная величина напряжения составляет от 0,55 до 0,60 В) при условии, что напряжение не превысит установившееся значение амплитуды более чем на 0,05 В. Возможность снижения допуска на превышение сигналом установившегося значения амплитуды является предметом дальнейших исследований.

Примечание 2. Оценка соответствия сигнала маскам выполняется с помощью осциллографа. Его вход должен быть закрыт для постоянной составляющей сигнала конденсатором номиналом не менее 0,01 мкФ. Перед проведением измерений нулевой уровень обеих масок следует совместить с линией, соответствующей отсутствию сигнала на входе осциллографа. Затем подаётся сигнал и осциллограмма перемещается по вертикали таким образом, чтобы она попала в границы, заданные масками. Перемещение должно быть одинаково для обеих масок и не должно превышать $\pm 0,05$ В. Для того чтобы это проверить, надо отключить входной сигнал и убедиться, что линия на экране осциллографа отстоит от нулевого уровня масок не более чем на $\pm 0,05$ В.

Примечание 3. Каждый импульс должен соответствовать предназначенной для этого импульса маске вне зависимости от того каким был предыдущий импульс и каким будет следующий импульс. Обе маски должны быть одинаковым образом связаны с сигналом тактирования, т. е. конечная граница одной маски должна совпадать с начальной границей следующей маски.

Маски допускают высокочастотное дрожание сигнала, вызванное взаимовлиянием импульсов в выходном каскаде передатчика. Но масками не предусматривается дрожание сигнала, вызванное дрожанием сигнала тактирования, поступающего на передатчик.

³⁶ Как и в английской версии документа, рис. 23 получен из рис. 19 путём изменения размерных чисел, т. е. контуры маски остались те же. При этом не все размеры были изменены в одинаковой пропорции. Поэтому, если строить маску точно по размерам, то правый горбик маски, определяемый размером 1,608 нс, получается не таким выраженным – прим. пер.

При оценке соответствия импульсов маскам важно, чтобы осциллограммы последовательно накладывались одна на другую. Для этого необходимо подавить эффекты, вызванные низкочастотным дрожанием сигнала. Это может быть достигнуто несколькими способами, например:

а) запуском развёртки осциллографа измеряемым сигналом

б) запуском развёртки осциллографа сигналом тактирования, используемым передатчиком, путём подачи этого сигнала на вход внешней синхронизации осциллографа

Оба способа требуют дальнейшего изучения.

Примечание 4. Для того, чтобы сигнал соответствовал маскам, длительность его фронта и среза не должна превышать 2 нс при измерении в диапазоне напряжений от минус 0,4 до 0,4 В.

Примечание 5. На рис. 23 изображена маска для импульса отрицательной полярности, обозначающего двоичную единицу. Импульс положительной полярности, обозначающий двоичную единицу, должен иметь те же параметры (т. е. соответствовать инвертированной маске), за исключением следующих изменений:

– для отрицательного перепада сигнала допуск на пересечение нулевого уровня должен составлять $\pm 0,1$ нс

– для положительного перепада сигнала допуск на пересечение нулевого уровня должен составлять $\pm 0,5$ нс

17.3 Параметры приёмника

На вход приёмника поступает описанный выше цифровой сигнал, подвергшийся воздействию соединительного кабеля, по которому он распространяется. Затухание сигнала в кабеле увеличивается примерно пропорционально квадратному корню из частоты сигнала (подробнее см. [1] и [2]). На частоте 78 МГц затухание сигнала не должно превышать 12,7 дБ.

Дрожание сигнала, допустимое на входе приёмника, приведено в подпункте 6.1.2.1 рекомендации ITU-T G.825. Затухание несогласованности приёмника должно быть таким же, как и у передатчика.

17.4 Параметры сигнала на стыке с другими системами передачи³⁷

Мощность сигнала, измеряемая широкополосным детектором с максимальной рабочей частотой как минимум 300 МГц, должна составлять от минус 2,5 до 4,3 дБм. В сигнале не должно быть постоянной составляющей.

Глаз-диаграмма сигнала должна соответствовать маске, приведённой на рис. 24. Данная маска построена на основе приведённых выше максимальном и минимальном уровнях мощности. Амплитуда на рисунке маски нормирована, т. е. амплитуда импульса на выходе передатчика принята за единицу³⁸. Время указано в долях битового интервала T . Координаты узловых точек маски приведены в табл. 27. При измерении электрических параметров сигнала, а также снятии глаз-диаграммы следует использовать резистивную проверочную нагрузку номиналом $75 \text{ Ом} \pm 5 \%$.

³⁷ Данные параметры измеряются не на выходе передатчика, а на входе приёмника. Т. е. характеризуют сигнал, ослабленный в результате передачи по кабелю – прим. пер.

³⁸ Непонятно какое именно напряжение принято за единицу: максимальное, номинальное, минимальное или фактическое. Раз при построении маски учитывался максимальный уровень мощности, то, скорее всего, единица соответствует максимальному напряжению на выходе передатчика. Маска допускает, что на вход приёмника попадёт сигнал, с амплитудой в 4 раза меньшей, чем на выходе передатчика – прим. пер.

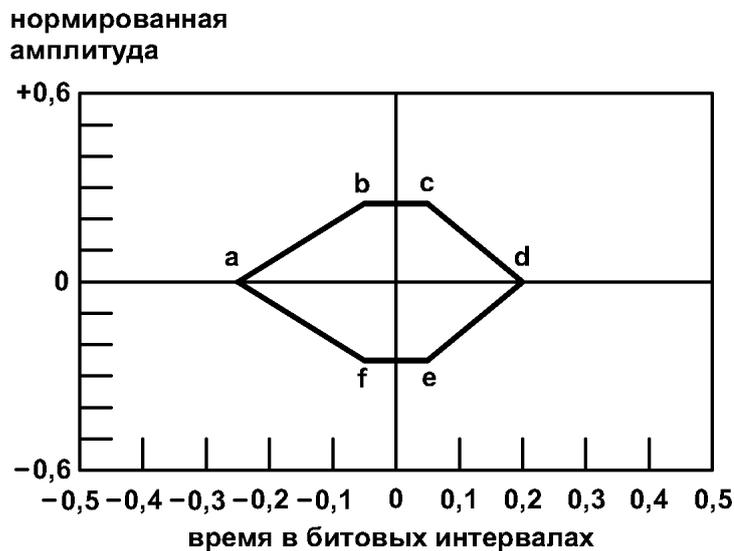


Рис. 24 – Маска глаз-диаграммы интерфейса STM-1

Таблица 27

точка	время ³⁹	амплитуда
a	$-0,25 \frac{T}{2}$	0,00
b	$-0,05 \frac{T}{2}$	0,25
c	$0,05 \frac{T}{2}$	0,25
d	$0,20 \frac{T}{2}$	0,00
e	$0,05 \frac{T}{2}$	- 0,25
f	$-0,05 \frac{T}{2}$	- 0,25

17.5 Заземление внешнего проводника кабеля

Внешний проводник коаксиального кабеля следует заземлить как со стороны передатчика, так и со стороны приёмника.

Примечание 1. Если кабель выходит за пределы зоны действия заземления, то к маршруту его прокладки предъявляются определённые требования, приведённые в рекомендации ИТУ-Т К.27.

Примечание 2. Возможность использования кабеля, внешний проводник которого не подключен к заземлению, ещё не изучена.

18. Интерфейс со скоростью 51840 кбит/с (STM-0)

18.1 Основные параметры

Номинальная скорость передачи данных составляет 51840 кбит/с. Допуск на скорость передачи данных составляет ± 20 ppm (± 1037 бит/с).

Для формирования электрического сигнала следует использовать коды CMI, HDB2 и HDB3. Описание кодов приведено в приложении А.

Требования к защите от перенапряжений приведены в рекомендации ИТУ-Т К.20.

³⁹ Время указано как в исходном тексте. Однако, если считать, что рис. 24 является верным, то в таблице 27 надо заменить $T/2$ на T – прим. пер.

18.2 Параметры передатчика

Параметры передатчика приведены в таблице 28 (см. также примечание 6 в разделе 1).
Затухание несогласованности передатчика указано в таблице 29.

Таблица 28

Параметр	Значение
тип кабеля для каждого направления передачи	один коаксиальный кабель
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 75 Ом
дрожание сигнала передатчика	<p>В диапазоне частот от 100 Гц до 400 кГц размах дрожания не должен превышать 1,5 битового интервала.</p> <p>В диапазоне частот от 20 кГц до 400 кГц размах дрожания не должен превышать 0,15 битового интервала⁴⁰.</p> <p><i>Примечание 1. При измерениях следует использовать фильтры верхних частот первого порядка со спадом АЧХ 20 дБ на декаду. Используемые при измерениях фильтры нижних частот должны иметь максимально гладкую АЧХ на частотах полосы пропускания (фильтр Баттерворта) и иметь спад АЧХ 60 дБ на декаду.</i></p> <p><i>Примечание 2. Если используется код СМІ, то приведённые значения дрожания сигнала следует считать предварительными и требующими уточнения.</i></p>
При использовании кодов HDB2 или HDB3	
форма импульса	Номинальная форма импульса – прямоугольная. Импульсы должны соответствовать маске, изображённой на рис. 25, независимо от их полярности.
номинальная амплитуда импульса (“метки”)	1,0 В
напряжение при отсутствии импульса (“пауза”)	0 В ± 0,1 В
номинальная длительность импульса	9,65 нс
отношение амплитуд импульсов разной полярности (амплитуда измеряется в середине импульса)	от 0,95 до 1,05
отношение длительностей импульсов разной полярности на уровне половины номинальной амплитуды	от 0,95 до 1,05
При использовании кода СМІ	
форма импульса	Номинальная форма импульса – прямоугольная. Импульсы должны соответствовать маскам, приведённым на рис. 26 и 27.
размах напряжения сигнала	1 ± 0,1 В

⁴⁰ Диапазоны частот пересекаются. Скорее всего, здесь ошибка – прим. пер.

<p>длительность фронта и среза сигнала (время, за которое сигнал проходит между уровнем, находящимся на 10 % выше отрицательного установившегося напряжения импульса и уровнем, находящимся на 10 % ниже положительного установившегося напряжения импульса)</p>	<p>не более 6 нс</p>
<p>допуск на пересечение нулевого уровня</p> <p><i>Примечание: допуск указывается для положительного перепада сигнала (переход от отрицательного напряжения к положительному) и для отрицательного перепада (переход от положительного напряжения к отрицательному). Допуск для отрицательного перепада указывается относительно момента времени, определяемого усреднением предыдущих моментов пересечения отрицательными перепадами уровня 50 % размаха сигнала. Этот момент задаёт положение маски на оси времени и, соответственно, положение её остальных узловых точек.</i></p>	<p>± 0,3 нс для отрицательного перепада сигнала</p> <p>± 1,0 нс для положительного перепада сигнала в середине битового интервала</p> <p>± 1,5 нс для положительного перепада сигнала на границе битового интервала</p>

Таблица 29

диапазон частот, кГц	затухание несогласованности, дБ
от 1296 до 2592	6 и более
от 2592 до 77760	8 и более

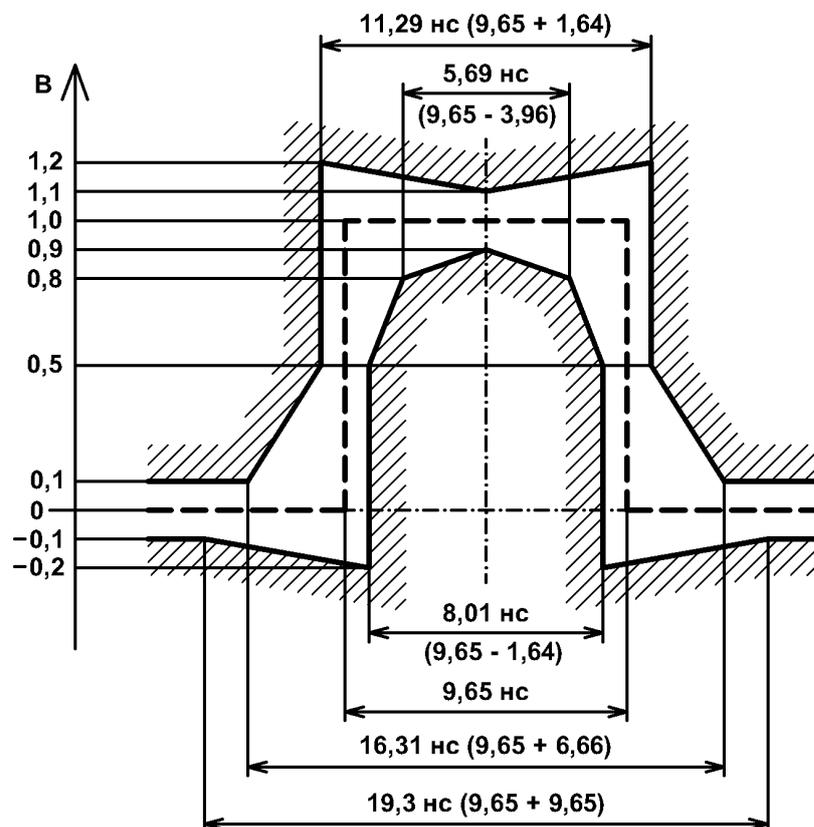


Рис. 25 – Маска импульса при использовании кодов HDB2 и HDB3

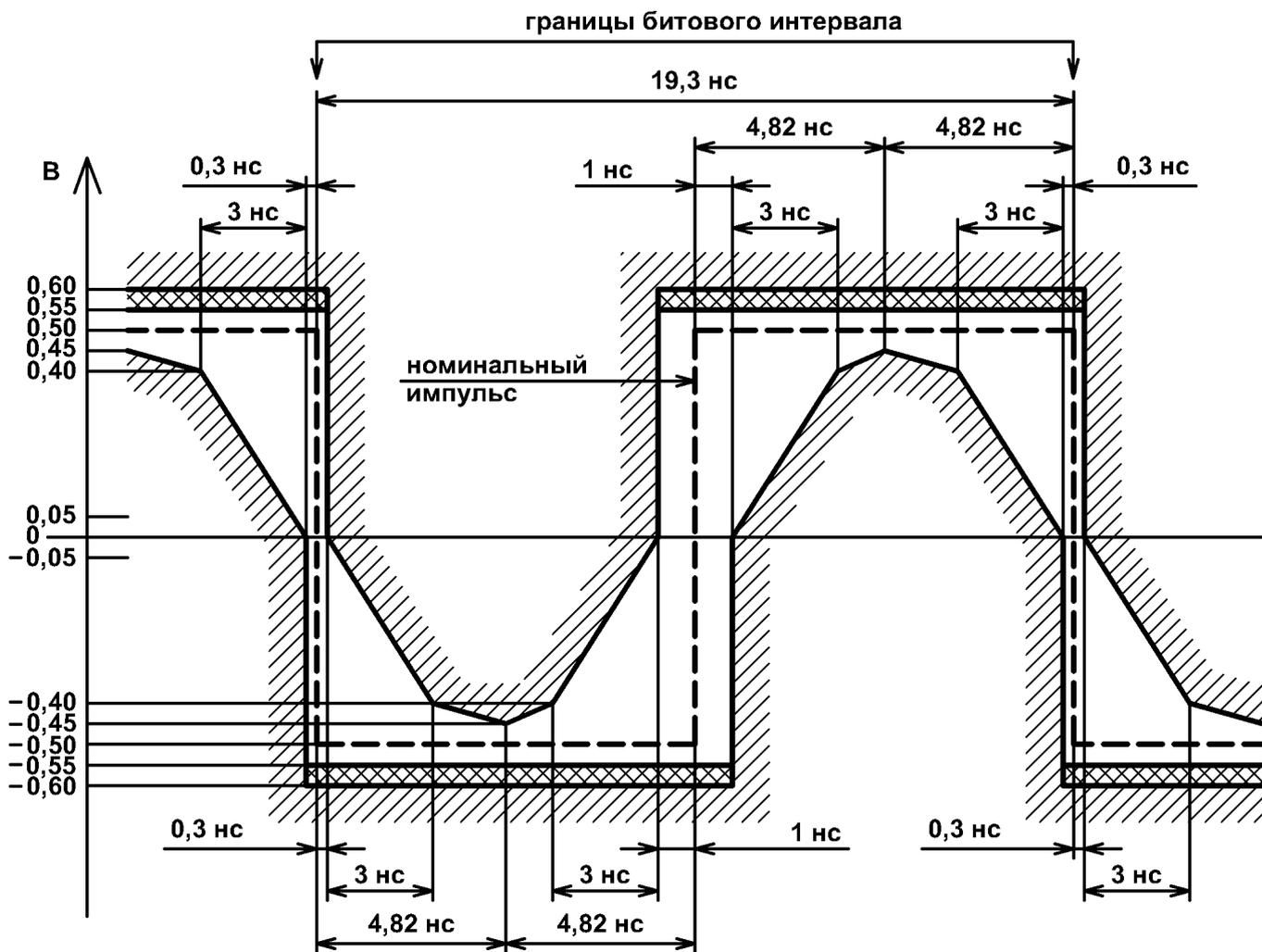


Рис. 26 – Маска⁴¹ импульса для двоичного нуля (код CMI)

⁴¹ Как и в английской версии документа, рис. 26 получен из рис. 18 путём изменения размерных чисел, т. е. контуры маски остались те же. При этом не все размеры были изменены в одинаковой пропорции. Поэтому, если строить маску точно по размерам, то «горбики» маски получаются почти треугольными – прим. пер.

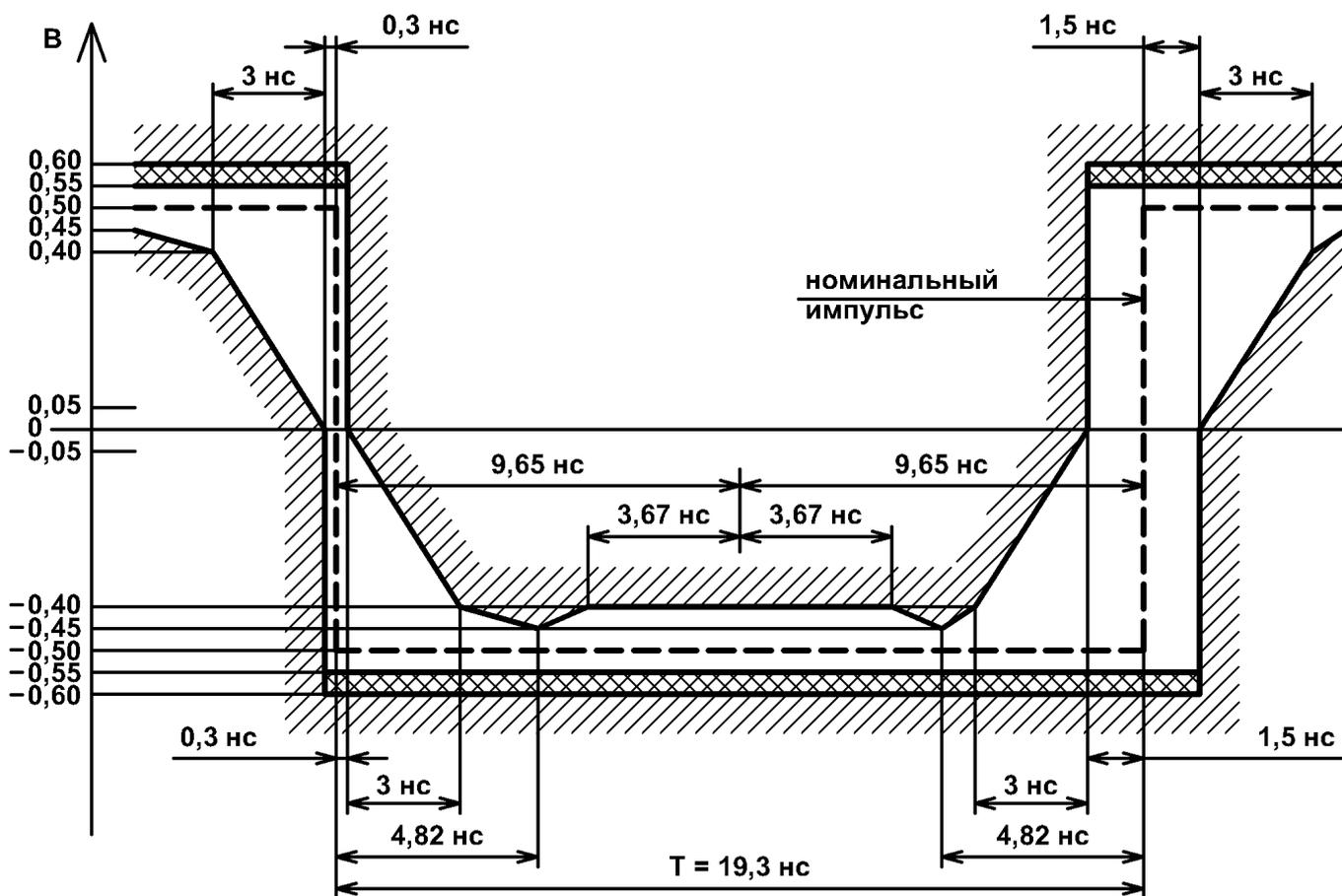


Рис. 27 – Маска⁴² импульса для двоичной единицы (код CMI)

Примечание 1. Установившееся значение амплитуды импульса не должно превышать 0,55 В. Всплескам сигнала и выбросам, связанным с переходными процессами, разрешается попадать в заштрихованные области (в которых абсолютная величина напряжения составляет от 0,55 до 0,60 В) при условии, что напряжение не превысит установившееся значение амплитуды более чем на 0,05 В. Возможность снижения допуска на превышение сигналом установившегося значения амплитуды является предметом дальнейших исследований.

Примечание 2. Оценка соответствия сигнала маскам выполняется с помощью осциллографа. Его вход должен быть закрыт для постоянной составляющей сигнала конденсатором номиналом не менее 0,01 мкФ. Перед проведением измерений нулевой уровень обеих масок следует совместить с линией, соответствующей отсутствию сигнала на входе осциллографа. Затем подаётся сигнал и осциллограмма перемещается по вертикали таким образом, чтобы она попала в границы, заданные масками. Перемещение должно быть одинаково для обеих масок и не должно превышать $\pm 0,05$ В. Для того чтобы это проверить, надо отключить входной сигнал и убедиться, что линия на экране осциллографа отстоит от нулевого уровня масок не более чем на $\pm 0,05$ В.

Примечание 3. Каждый импульс должен соответствовать предназначенной для этого импульса маске вне зависимости от того каким был предыдущий импульс и каким будет следующий импульс. Обе маски должны быть одинаковым образом связаны с сигналом тактирования, т. е. конечная граница одной маски должна совпадать с начальной границей следующей маски.

Маски допускают высокочастотное дрожание сигнала, вызванное взаимовлиянием импульсов в выходном каскаде передатчика. Но масками не предусматривается дрожание сигнала, вызванное дрожанием сигнала тактирования, поступающего на передатчик.

⁴² Как и в английской версии документа, рис. 27 получен из рис. 19 путём изменения размерных чисел, т. е. контуры маски остались те же. При этом не все размеры были изменены в одинаковой пропорции. Поэтому, если строить маску точно по размерам, то правый горбик маски, определяемый размером 4,82 нс, получается не таким выраженным – прим. пер.

При оценке соответствия импульсов маскам важно, чтобы осциллограммы последовательно накладывались одна на другую. Для этого необходимо подавить эффекты, вызванные низкочастотным дрожанием сигнала. Это может быть достигнуто несколькими способами, например:

а) запуском развёртки осциллографа измеряемым сигналом

б) запуском развёртки осциллографа сигналом тактирования, используемым передатчиком, путём подачи этого сигнала на вход внешней синхронизации осциллографа

Оба способа требуют дальнейшего изучения.

Примечание 4. Для того, чтобы сигнал соответствовал маскам, длительность его фронта и среза не должна превышать 6 нс при измерении в диапазоне напряжений от минус 0,4 до 0,4 В.

Примечание 5. На рис. 27 изображена маска для импульса отрицательной полярности, обозначающего двоичную единицу. Импульс положительной полярности, обозначающий двоичную единицу, должен иметь те же параметры (т. е. соответствовать инвертированной маске), за исключением следующих изменений:

– для отрицательного перепада сигнала допуск на пересечение нулевого уровня должен составлять $\pm 0,3$ нс

– для положительного перепада сигнала допуск на пересечение нулевого уровня должен составлять $\pm 1,5$ нс

18.3 Параметры приёмника

На вход приёмника поступает описанный выше цифровой сигнал, подвергшийся воздействию соединительного кабеля, по которому он распространяется. Затухание сигнала в кабеле увеличивается примерно пропорционально квадратному корню из частоты сигнала (подробнее см. [1] и [2]). На частоте 25920 кГц затухание сигнала должно составлять от 0 до 12 дБ.

Затухание несогласованности приёмника указано в таблице 30 (приведённые значения не утверждены и являются предварительными).

Таблица 30

диапазон частот, кГц	затухание несогласованности, дБ
от 1296 до 2592	12 и более
от 2592 до 51840	18 и более
от 51840 до 77760	14 и более

Дрожание сигнала, допустимое на входе приёмника, не должно превышать значений, приведённых на рис. 28.

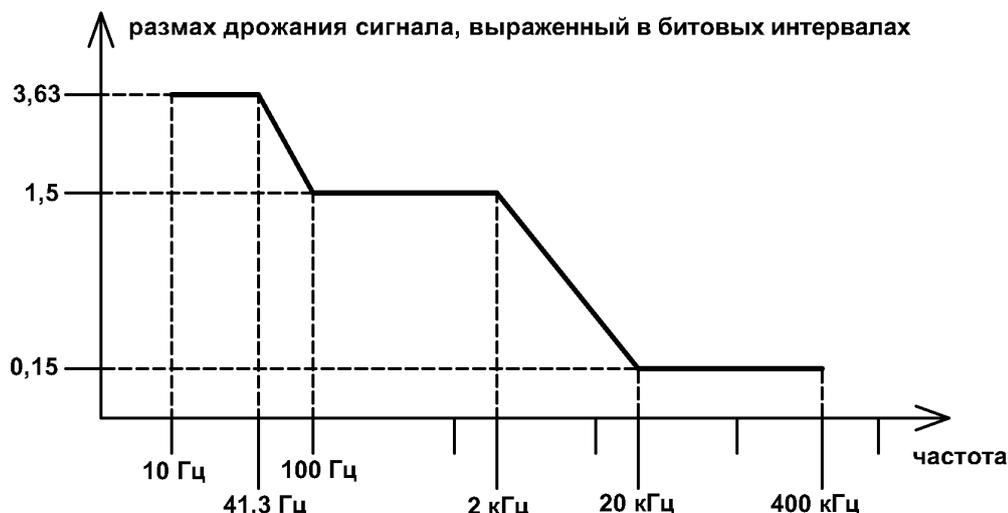


Рис. 28 – допустимое дрожание сигнала на входе приёмника

Примечание. Если используется код СМІ, то приведённые значения дрожания сигнала следует считать предварительными и требующими уточнения.

18.4 Параметры сигнала на стыке с другими системами передачи

Мощность сигнала, измеряемая в диапазоне частот не менее чем в четыре раза превышающем частоту 51840 кГц, должна составлять от минус 2,7 до 4,7 дБм. При расчёте этих значений был учтён как разброс параметров передатчиков, так и влияние соединительных кабелей длиной от 68,6 до 137 м. При измерении мощности следует использовать фильтр нижних частот Баттерворта с частотой среза 207,360 МГц. В сигнале не должно быть постоянной составляющей.

Глаз-диаграмма⁴³ сигнала должна соответствовать маске, приведённой на рис. 29. Данная маска построена на основе приведённых выше максимальном и минимальном уровнях мощности. При её построении было учтено наличие в схеме измерения соединительных кабелей с указанной выше длиной. На рис. 29 амплитуда импульса на выходе передатчика нормирована к единице⁴⁴, а время указано в долях битового интервала T . На рисунке заштрихованы зоны, в которых сигнал находиться не должен. Координаты узловых точек маски приведены в табл. 31.

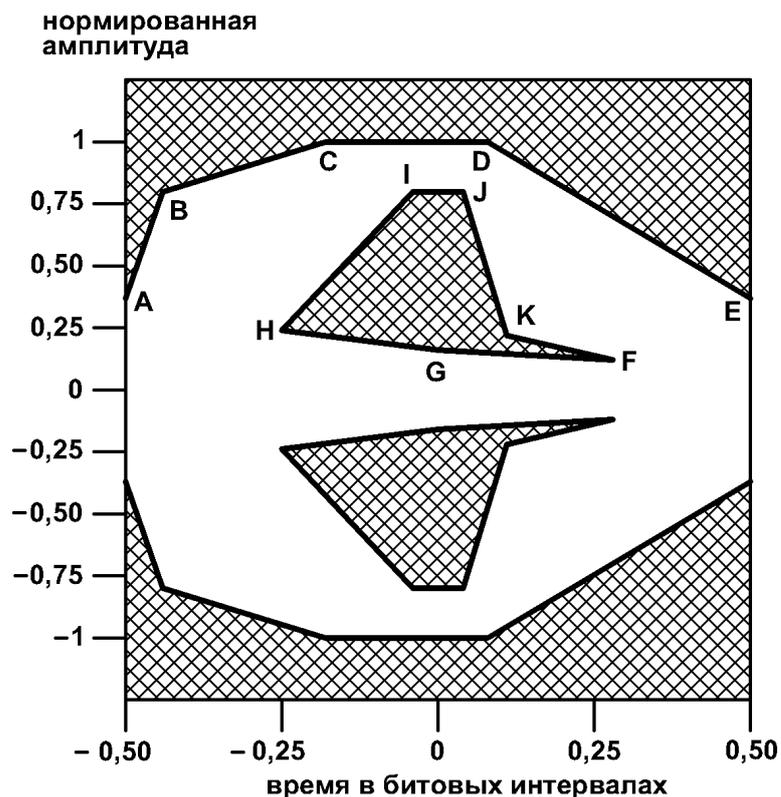


Рис. 29 – Маска глаз-диаграммы интерфейса STM-0

Таблица 31

узловые точки внешней границы			узловые точки внутренней границы		
точка	время	амплитуда	точка	время	амплитуда
A	-0,50	0,37	F	0,28	0,12
B	-0,44	0,80	G	0,00	0,16
C	-0,18	1,00	H	-0,25	0,24
D	0,08	1,00	I	-0,04	0,80
E	0,50	0,37	J	0,04	0,80
			K	0,11	0,22

⁴³ Судя по виду маски, она предназначена только для сигнала, сформированного с помощью кодов HDB2 или HDB3. Код СМІ данной маске удовлетворять не будет – прим. пер.

⁴⁴ Непонятно какое именно напряжение принято за единицу: максимальное, номинальное, минимальное или фактическое. Раз при построении маски учитывался максимальный уровень мощности, то, скорее всего, единица соответствует максимальному напряжению на выходе передатчика – прим. пер.

18.5 Заземление внешнего проводника кабеля

Внешний проводник коаксиального кабеля следует заземлить как со стороны передатчика, так и со стороны приёмника.

Примечание 1. Если кабель выходит за пределы зоны действия заземления, то к маршруту его прокладки предъявляются определённые требования, приведённые в рекомендациях ITU-T K.27.

Примечание 2. Возможность использования кабеля, внешний проводник которого не подключен к заземлению, ещё не изучена.

19. Интерфейсы синхронизации времени, описанные в ITU-T G.8271/Y.1366

19.1 Интерфейс синхронизации времени и передачи секундных меток

Интерфейс предназначен для передачи данных о текущем времени дня и передачи секундных меток – электрических импульсов, следующих друг за другом с частотой 1 импульс в секунду (1 pps). Передача осуществляется по двум парам проводников. По одной паре передаются данные о времени, по другой – секундные метки⁴⁵. В обоих парах передача импульсов должна выполняться дифференциальным сигналом в соответствии с рекомендацией ITU-T V.11 (режим точка-точка). Поскольку в интерфейсе используются дифференциальные сигналы, интерфейс устойчив к значительным по величине синфазным помехам.

Чтобы обеспечить необходимую точность секундных меток к импульсам меток предъявляются дополнительные требования по длительности передних и задних фронтов. Выходное сопротивление передатчика и входное сопротивление приёмника сигнала секундных меток должно составлять 100 Ом.

Интерфейс может быть использован как для синхронизации времени, так и для измерения временных интервалов. Сигнал секундных меток может быть подан на другое устройство тактирования или на измерительное оборудование.

Предусмотрено два режима работы интерфейса:

- 1) режим приёма, в котором интерфейс принимает данные о текущем времени от другого устройства. Устройство-передатчик должно быть ведущим по отношению к принимающему устройству.
- 2) режим передачи, в котором интерфейс передаёт данные о текущем времени другому устройству. Приёмником данных о текущем времени может быть только устройство, находящееся в режиме приёма. Это может быть либо проверочное оборудование, либо ведомое устройство тактирования.

Предполагается, что интерфейс будет реализован в виде разъёма, часто называемого «RJ-45» (IEC 60603-7). Назначение контактов разъёма приведено в таблицах ниже. В случае если устройству необходимо одновременно обеспечить как приём, так и передачу данных о текущем времени, следует использовать два разъёма RJ-45.

Таблица 32 – Назначение контактов разъёма RJ-45 для режима приёма

Номер контакта	Название цепи	Назначение контакта
1		зарезервировано, возможные варианты применения требуют изучения
2		зарезервировано, возможные варианты применения требуют изучения
3	1PPS IN–	приём секундной метки, провод минус
4	GND	сигнальная земля (согласно ITU-T V.11)
5		определяется пользователем (см. примечание)
6	1PPS IN+	приём секундной метки, провод плюс
7	RX–	приём данных о текущем времени, провод минус
8	RX+	приём данных о текущем времени, провод плюс

⁴⁵ Секундные метки представляют собой одиночные импульсы, обозначающие границы между секундными интервалами. Эти импульсы не преобразуются в биты. Импульсы, передаваемые по парам для передачи времени, преобразуются в биты. Биты, в свою очередь, образуют сообщения. Передача данных о времени дня реализуется путём передачи сообщений, формат которых описан в ITU-T G.8271. В данной рекомендации нормируются только электрические параметры импульсов секундных меток – прим. пер.

Примечание. Одним из возможных вариантов является подключение к контакту 5 сигнальной земли. Если к разъёму RJ-45 подключен приёмник глобальной навигационной спутниковой системы, то данный контакт может быть использован для других целей. Однако рассмотрение возможных вариантов использования выходит за рамки данной рекомендации. Если контакт 5 не используется, то рекомендуется соединить его с сигнальной землёй через резистор номиналом 10 кОм.

Таблица 33 – Назначение контактов разъёма RJ-45 для режима передачи

Номер контакта	Название цепи	Назначение контакта
1		зарезервировано, возможные варианты применения требуют изучения
2		зарезервировано, возможные варианты применения требуют изучения
3	1PPS OUT–	передача секундной метки, провод минус
4	GND	сигнальная земля (согласно ITU-T V.11)
5	GND	сигнальная земля (согласно ITU-T V.11), см. примечание
6	1PPS OUT+	передача секундной метки, провод плюс
7	TX–	передача данных о текущем времени, провод минус
8	TX+	передача данных о текущем времени, провод плюс

Примечание. Интерфейс синхронизации времени, рассматриваемый в данной рекомендации, обычно является составной частью оборудования передачи данных. Если данный интерфейс в режиме передачи является составной частью приёмника глобальной навигационной спутниковой системы, то для контакта 5 верны замечания, приведённые в примечании к таблице 32.

Если для интерфейса необходима возможность переключения между режимами приёма и передачи, то следует использовать назначение контактов, приведённое в таблице 34.

Таблица 34

Номер контакта	Название цепи для режима приёма	Название цепи для режима передачи	Назначение контакта
1			зарезервировано, возможные варианты применения требуют изучения (см. прим. 1)
2			зарезервировано, возможные варианты применения требуют изучения (см. прим. 1)
3	1PPS IN–	1PPS OUT–	приём или передача секундной метки, провод минус
4	GND	GND	сигнальная земля (согласно ITU-T V.11)
5		GND	в режиме передачи данный контакт является сигнальной землёй, в режиме приёма назначение данного контакта определяется пользователем (см. прим. 2)
6	1PPS IN+	1PPS OUT+	приём или передача секундной метки, провод плюс
7	RX–	TX–	приём или передача данных о текущем времени, провод минус
8	RX+	TX+	приём или передача данных о текущем времени, провод плюс

Примечание 1. Назначение контактов 1 и 2 пока не определено. В режиме приёма данные контакты разрешается использовать для измерения задержки секундной метки или для

настройки приёмника глобальной навигационной спутниковой системы. Разрешается реализовывать обмен данными через контакты 1 и 2 с помощью дифференциального сигнала.

Примечание 2. В режиме приёма одним из возможных вариантов является подключение к контакту 5 сигнальной земли. Если к разъёму RJ-45 подключен приёмник глобальной навигационной спутниковой системы⁴⁶, то данный контакт может быть использован для других целей. Однако рассмотрение возможных вариантов использования выходит за рамки данной рекомендации. Если контакт 5 не используется, то рекомендуется соединить его с сигнальной землёй через резистор номиналом 10 кОм.

19.1.1 Фронт и спад импульсов секундных меток

Длительность фронта и длительность спада импульса секундной метки пока не определены и являются предметом дальнейших исследований. Однако предполагается, что требования к длительности фронта и спада будут более жёсткими, чем приведённые в рекомендации IPU-T V.11.

Импульс метки должен быть положительным, а его длительность должна составлять от 100 нс до 500 мс.

19.1.2 Параметры сигнала секундных меток

Ведущее устройство должно формировать импульсы секундных меток таким образом, чтобы на выходе устройства средняя точка⁴⁷ фронта импульса совпадала с границей между секундными интервалами.

Временная задержка, вызванная распространением секундных меток по кабелю, должна контролироваться и в случае необходимости компенсироваться на стороне принимающего оборудования. Компенсация может быть проведена либо вручную оператором, либо автоматически самим оборудованием. Параметры интерфейса секундных меток приведены в таблице 35.

Таблица 35

Параметр	Допуск	Место измерения
точность секундной метки, формируемой ведущим устройством	± 10 нс	
точность компенсации задержки сигнала в кабеле (см. прим. 1)	± 10 нс	от разъёма до разъёма
точность детектирования секундной метки принимающим оборудованием	см. прим. 2	

Примечание 1. Допустимая длина кабеля является предметом дальнейших исследований. Предполагается, что допустимая длина будет составлять от 3 до 1000 м. По данному вопросу принимаются предложения.

Примечание 2. Рассматриваются значения в пределах от 10 до 30 нс. Причём 30 нс соответствует наихудшему случаю.

Примечание 3. Длительность фронта и длительность спада импульса метки являются предметом дальнейших исследований.

19.2 Интерфейс секундных меток (сопротивление 50 Ом)

Данный интерфейс предназначен для передачи секундных меток к измерительному оборудованию. Выходное сопротивление передатчика интерфейса и входное сопротивление приёмника должны составлять 50 Ом. Передача меток должна осуществляться несимметричным сигналом.

Примечание. Если параметры интерфейса соответствуют требованиям, приведённым в таблице 35, то интерфейс может быть использован для тактирования других устройств. Например, для тактирования устаревшего оборудования, принимающего только сигнал секундных меток. В случае необходимости передачи данных о текущем времени требуется

⁴⁶ В исходном тексте указано «GPS», т. е. одна из глобальных навигационных систем – прим. пер.

⁴⁷ Предполагаю, что имеется в виду точка на уровне половины амплитуды импульса – прим. пер.

использовать дополнительный интерфейс, описание которого выходит за рамки данной рекомендации.

19.2.1 Параметры сигнала

Значащими моментами сигнала являются средние точки фронтов импульсов. Ведущее устройство должно формировать импульсы секундных меток таким образом, чтобы на выходе устройства средняя точка фронта импульса совпадала с границей между секундными интервалами. Импульсы меток должны быть положительными.

Параметры интерфейса приведены в таблице 36. Для соединения устройств следует использовать кабель с волновым сопротивлением 50 Ом и длиной не более 3 м. Это необходимо для того, чтобы внести минимальные искажения в длительность фронтов импульсов и считать задержку сигнала в кабеле пренебрежимо малой.

Таблица 36

Параметр	Значение	Комментарий
длительность фронта импульса (время нарастания сигнала от 10 до 90 % амплитуды)	менее 5 нс	измеряется на выходе передатчика
длительность импульса	от 100 нс до 500 мс	измеряется на выходе передатчика
максимальная длина кабеля	3 м	данная длина позволяет минимизировать задержку сигнала в кабеле и не внести искажений в длительность фронтов импульсов

Примечание. Если сигнал секундной метки имеет скважность 50 % (что соответствует длительности импульса 500 мс), то допускается некоторое превышение точного значения длительности импульса. Конкретное значение этого превышения является предметом дальнейших исследований. Предполагается, что оно будет составлять 100 нс. Отклонение от точного значения 500 мс предназначено для компенсации задержек, вызванных фронтами и срезами импульсов, а также для компенсации неточности скважности внутреннего высокочастотного генератора, делением частоты которого образуется сигнал секундной метки.

19.2.2 Уровни напряжения

Уровни напряжения сигнала секундной метки на выходе передатчика приведены в таблице 37.

Таблица 37

Сигнал	максимальная амплитуда импульса	минимальная амплитуда импульса	максимальное напряжение при отсутствии импульса	минимальное напряжение при отсутствии импульса
сигнал секундных меток (несимметричный сигнал, сопротивление интерфейса 50 Ом)	5,5 В	1,2 В	0,3 В	минус 0,3 В

Примечание. Измерения следует производить при подключенной нагрузке с сопротивлением 50 Ом.

20. Интерфейс тактирования с частотой 10 МГц

20.1 Основные параметры

Данный интерфейс рекомендуется использовать для подключения к цифровому оборудованию внешнего генератора тактового сигнала с частотой 10 МГц.

20.2 Параметры передатчика

Передатчик должен формировать несимметричный сигнал с частотой 10 МГц. Форма сигнала должна соответствовать маске, приведённой на рис. 30. Данный сигнал может быть подан на измерительное оборудование или на оборудование, нуждающееся в синхронизации. Выходное сопротивление передатчика и входное сопротивление приёмника должны составлять 50 Ом.

Основные параметры интерфейса приведены в таблице 38 (см. также примечание 6 в разделе 1). Допустимое отклонение частоты сигнала приведено в таблице 39.

Таблица 38

Параметр	Значение
форма сигнала	Форма сигнала должна соответствовать маске, приведённой на рис. 30. На рисунке буквой V_1 обозначена минимальная амплитуда сигнала, измеряемая относительно напряжения смещения M . Буквой V_2 обозначена максимальная амплитуда, измеряемая относительно напряжения смещения M .
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 50 Ом
максимальная амплитуда (V_2)	2,5 В
минимальная амплитуда (V_1)	0,25 В (см. прим. 4)
напряжение смещения (M)	0 В
коэффициент, определяющий допуск на пересечение нуля (N)	30
максимальное дрожание сигнала передатчика	см. прим. 1

Примечание 1. Для первичного эталонного генератора с частотой 10 МГц допустимое дрожание сигнала приведено в ITU-T G.811 и ITU-T G.8272. Для других типов устройств нормы пока не определены и являются предметом дальнейших исследований.

Примечание 2. Напряжение смещения M должно быть равно нулю. Возможность ненулевого смещения является предметом дальнейших исследований.

Примечание 3. Значение коэффициента N , позволяет использовать как синусоидальный, так и прямоугольный сигнал. Передатчик может формировать любой сигнал, соответствующий маске.

Примечание 4. Для облегчения приёма сигнала рекомендуется, чтобы на выходе передатчика минимальная амплитуда сигнала была не меньше 0,5 В. Некоторые устройства спроектированы таким образом, что смогут принять сигнал с минимальной амплитудой. Но более высокое напряжение обеспечит работоспособность большего количества устройств, в том числе устаревших.

Таблица 39 – Допустимое отклонение частоты передатчика

тип передатчика	допуск
первичный эталонный генератор (ПЭГ)	приведён в рекомендации ITU-T G.811
первичный эталонный источник сигнала времени	приведён в рекомендации ITU-T G.8272
другие типы	является предметом дальнейших исследований

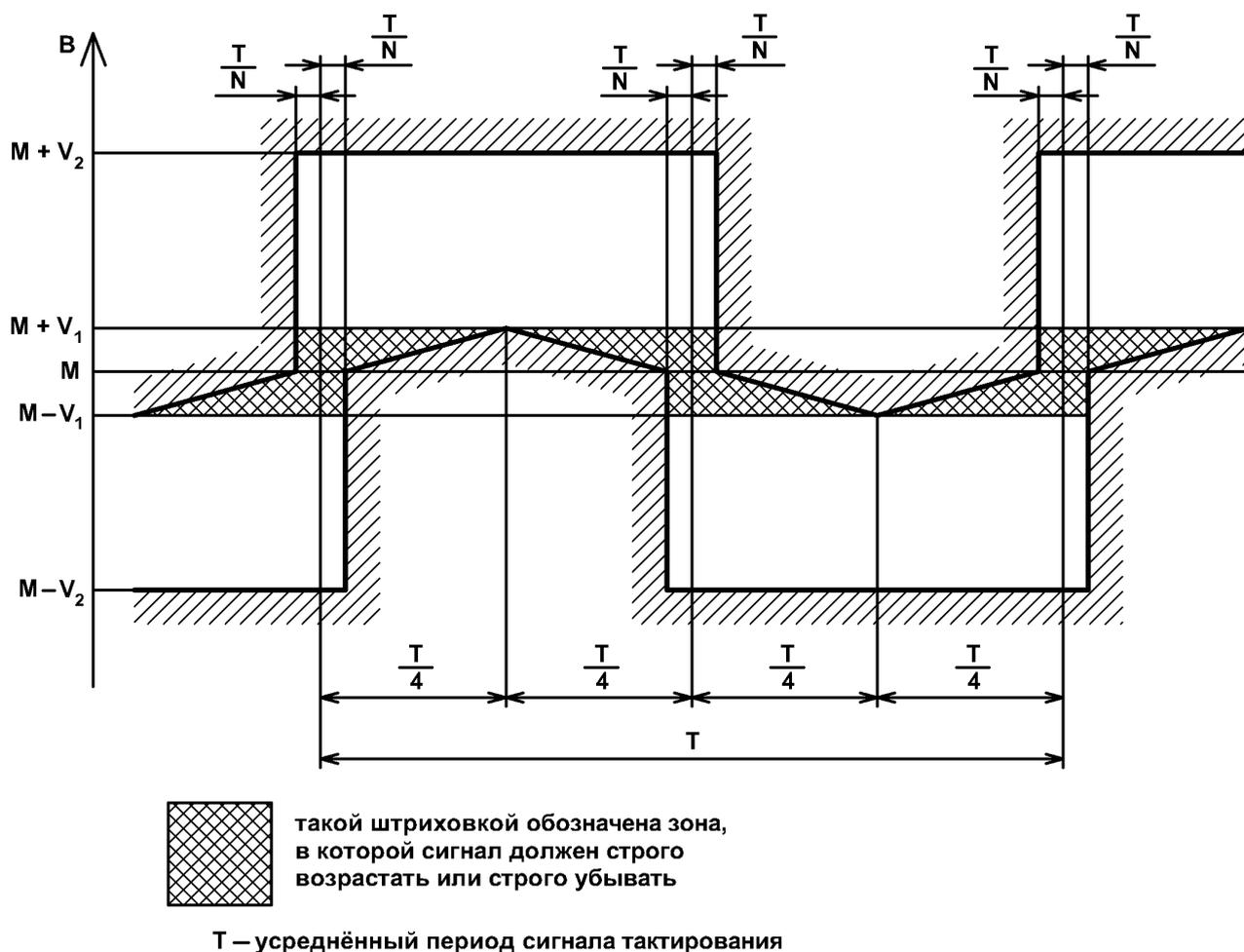


Рис. 30 – Маска сигнала на выходе передатчика

20.3 Параметры приёмника

На вход приёмника поступает описанный выше сигнал, подвергшийся воздействию соединительного кабеля, по которому он распространяется. Затухание сигнала в кабеле увеличивается примерно пропорционально квадратному корню из частоты сигнала (подробнее см. [1] и [2]).

Затухание сигнала в кабеле на частоте 10 МГц следует минимизировать. Также следует минимизировать влияние кабеля на форму сигнала. Это может быть достигнуто:

- уменьшением длины кабеля
- использованием специализированного кабеля с низким затуханием и низким уровнем вносимых искажений
- увеличением напряжения на выходе передатчика
- комбинированием вышеперечисленных способов

Максимальное затухание сигнала является предметом дальнейших исследований. Затухание несогласованности приёмника на частоте 10 МГц должно составлять 15 дБ и более. Дрожание сигнала, допустимое на входе приёмника является предметом дальнейших исследований.

Приложение А Описание линейных кодов

Данное приложение является неотъемлемой частью рекомендации. В нём приведены описания используемых в данной рекомендации линейных кодов. При использовании кода преобразованию должны быть подвергнуты все двоичные биты без исключения (включая биты синхрослова и т. д.).

А.1 Описание кодов В3ZS, HDB3, В6ZS и В8ZS

Данные коды сформированы на основе кода АМІ (см. рекомендацию ІТУ-Т G.701, определение 9005). В них двоичная единица обозначается положительным или отрицательным импульсом (полярность импульсов должна чередоваться), а двоичный ноль обозначается отсутствием импульса. Исключение составляют длинные последовательности нулей. Такие последовательности должны быть заменены на сигнал, содержащий импульсы. Правила по замене приведены ниже.

В описаниях правил символ «В» обозначает импульс, полярность которого определяется правилом формирования кода АМІ (см. рекомендацию ІТУ-Т G.701, определение 9004). Символ «V» обозначает импульс, полярность которого нарушает правило чередования полярности кода АМІ (см. рекомендацию ІТУ-Т G.701, определение 9007).

А.1.1 Правило замены для кодов В3ZS и HDB3

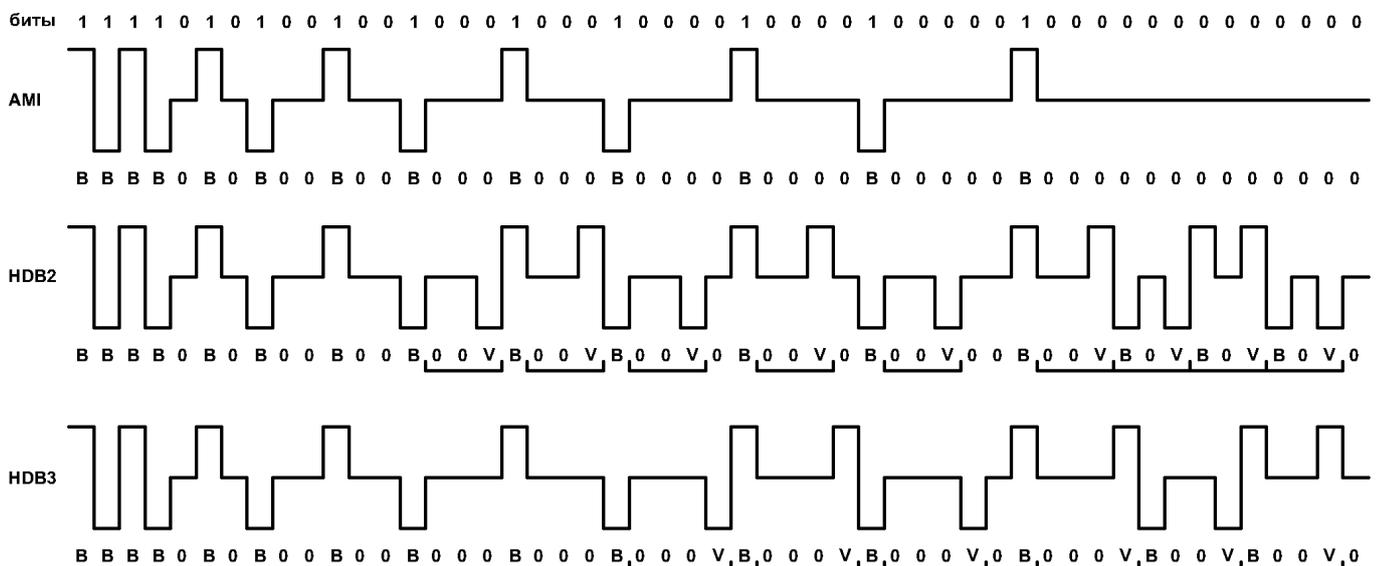
Альтернативным названием кода В3ZS является HDB2. В коде HDB2 каждая последовательность из трёх двоичных нулей должна быть заменена сигналом⁴⁸ 00V или V0V. В коде HDB3 каждая последовательность из четырёх двоичных нулей должна быть заменена сигналом 000V или V00V. В обоих кодах при замене следует использовать сигнал, обеспечивающий нечётное⁴⁹ количество импульсов В между соседними импульсами V. Другими словами, соседние импульсы V должны иметь противоположную полярность для того, чтобы предотвратить появление в сигнале постоянной составляющей.

А.1.2 Правило замены для кодов В6ZS и В8ZS

В коде В6ZS каждая последовательность из шести двоичных нулей должна быть заменена сигналом 0VB0VB. В коде В8ZS каждая последовательность из восьми двоичных нулей должна быть заменена сигналом 000VB0VB.

⁴⁸ Число 0 в записи электрического сигнала обозначает отсутствие импульса (паузу) – прим. пер.

⁴⁹ 0 – чётное число, 1 – нечётное. Инвертирование полярности электрического сигнала, сформированного помощью кодов АМІ, HDB2 и HDB3, не влияет на представляемую этим сигналом последовательность бит. Т. е. электрические сигналы противоположных полярностей будут преобразованы приёмником в одинаковую последовательность бит. Примеры преобразования данных в электрический сигнал приведены на рисунке ниже – прим. пер.



А.2 Описание кода СМІ

Код СМІ является двухуровневым кодом без возврата к нулю⁵⁰. В этом коде изменение напряжения в середине битового интервала от уровня A_1 до уровня A_2 обозначает двоичный ноль. Постоянное напряжение A_1 или A_2 в течение всего битового интервала обозначает двоичную единицу. Соседние двоичные единицы должны быть представлены разными уровнями напряжения. Пример преобразования данных в электрический сигнал показан на рис. 31.

Примечание 1. Двоичный ноль всегда представляется положительным перепадом напряжения в середине битового интервала.

Примечание 2. Правила формирования сигнала двоичной единицы:

- а) если предыдущая двоичная единица была представлена напряжением A_1 , то в начале следующего битового интервала должен быть положительный перепад напряжения*
- б) если предыдущая двоичная единица была представлена напряжением A_2 , то в начале следующего битового интервала должен быть отрицательный перепад напряжения*

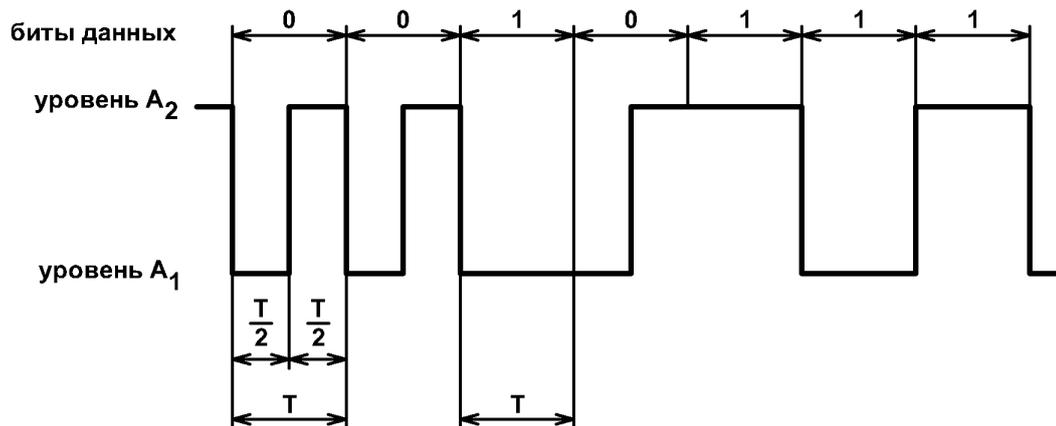


Рис. 31 – Пример преобразования данных с помощью кода СМІ

Приложение Б

Требования к высокоточному интерфейсу секундных меток

Данное приложение является неотъемлемой частью рекомендации. В нём приведены дополнительные требования к интерфейсу секундных меток, описанному в подразделе 19.2. Выполнение этих требований позволяет повысить точность секундных меток.

Высокоточный интерфейс секундных меток помимо требований, приведённых в подразделе 19.2, должен соответствовать следующим требованиям:

- значащий момент сигнала должен фиксироваться при достижении сигналом уровня, составляющего от 40 до 60 % амплитуды импульса. Конкретное значение уровня следует выбрать так, чтобы максимизировать наклон сигнала и стабильность меток
- время нарастания сигнала от 40 до 60 % амплитуды импульса должно быть меньше 500 пс
- задержка сигнала в кабеле должна быть точно измерена и скомпенсирована
- следует использовать кабель высокого качества максимальной длиной 3 м (подобнее см. в рекомендации ITU-T G.8271, приложение X, «Обоснование выбора кабеля для высокоточного интерфейса секундных меток»)
- следует тщательно проверить согласование сопротивлений кабеля, передатчика и приёмника

⁵⁰ Положение нуля на рис. 31 не показано, но предполагается, что нулевой уровень расположен посередине между уровнями A_1 и A_2 – прим. пер.

Дополнение I

Устаревшие параметры интерфейса со скоростью 1544 кбит/с

I.1 Введение

Данное дополнение не является неотъемлемой частью рекомендации. В нём приведены устаревшие параметры интерфейса со скоростью 1544 кбит/с, указанные в версии данной рекомендации, выпущенной в 1991 году⁵¹. Маска импульса, приведённая в данном дополнении, имеет существенно бóльший допуск для выброса на срезе импульса, чем маска в текущей версии рекомендации. Устаревшая маска встречается в ряде публикаций, посвящённых совместимости сетей связи, начиная с конца 1970-х годов. Поэтому оборудование, использующее устаревшую маску, может быть широко распространено. В связи с этим разработчикам нового оборудования необходимо знать параметры сигналов, формируемых устаревшим оборудованием.

I.2 Параметры интерфейса

Большинство параметров интерфейса, приведённых в таблице 6, включая мощность сигнала и амплитуду импульсов, совпадает с параметрами, использовавшимися ранее. Единственным существенным отличием является допуск на скорость передачи данных. Ранее допуск на скорость передачи данных составлял ± 130 ppm. Увеличенный допуск обусловлен ранее использовавшимися (ныне устаревшими) методами построения выходного каскада передатчика.

I.3 Маска импульса

На рис. 32 изображена устаревшая маска импульса для интерфейса со скоростью 1544 кбит/с. Оборудование, использующее данную маску, формирует импульсы со значительно бóльшим выбросом на срезе импульса, чем позволяет текущая версия рекомендации. Координаты узловых точек маски приведены в таблице 40.

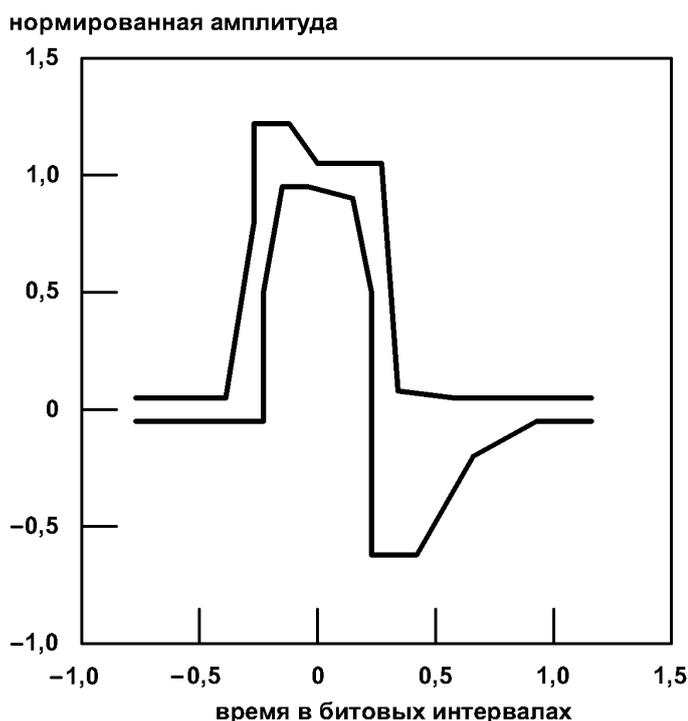


Рис. 32 – Устаревшая маска импульса для интерфейса со скоростью 1544 кбит/с

⁵¹ В версии рекомендации, выпущенной в 1991 году, указано, что допустимое отклонение скорости передачи данных составляет ± 50 ppm, а не ± 130 ppm. Форма импульса в версии 1991 года описывается маской, в которой напряжение указано в вольтах. При этом допуск для выброса на срезе импульса там меньше, чем указанный на рис. 32. Похоже, что в указании года ошибка – прим. пер.

нижняя граница		верхняя граница	
время	нормированная амплитуда	время	нормированная амплитуда
- 0,77	- 0,05	- 0,77	0,05
- 0,23	- 0,05	- 0,39	0,05
- 0,23	0,50	- 0,27	0,80
- 0,15	0,95	- 0,27	1,22
- 0,04	0,95	- 0,12	1,22
0,15	0,90	0,00	1,05
0,23	0,50	0,27	1,05
0,23	- 0,62	0,34	0,08
0,42	- 0,62	0,58	0,05
0,66	- 0,20	1,16	0,05
0,93	- 0,05		
1,16	- 0,05		

Дополнение II

Интерфейсы тактирования с частотами 64 и 6312 кГц, используемые в Японии

Данное дополнение не является неотъемлемой частью рекомендации.

II.1 Интерфейс тактирования с частотой 64 кГц

Данный интерфейс может работать в двух режимах:

- режим одновременной передачи сигналов тактирования с частотами 64 кГц и 8 кГц
- режим одновременной передачи сигналов тактирования с частотами 64 кГц, 8 кГц и 400 Гц

Электрический сигнал интерфейса формируется следующим образом:

- Последовательность бит из одних единиц преобразуется в электрический сигнал с помощью кода АМІ (длительность битового интервала должна соответствовать скорости 64 кбит/с)
- Каждые 125 мкс производится нарушение чередования полярности импульсов
- В режиме б) каждые 2,5 мс производится устранение нарушения чередования полярности импульсов

Импульсы обеспечивают передачу сигнала тактирования с частотой 64 кГц. Нарушения чередования полярности импульсов обеспечивают передачу сигнала тактирования с частотой 8 кГц. Устранённые нарушения чередования полярности импульсов обеспечивают передачу сигнала тактирования с частотой 400 Гц. Сигналы интерфейса приведены на рис. 33 и 34. Параметры приёмника и передатчика интерфейса приведены в табл. 41 и 42 соответственно.



Рис. 33 – Структура сигнала для режима а)

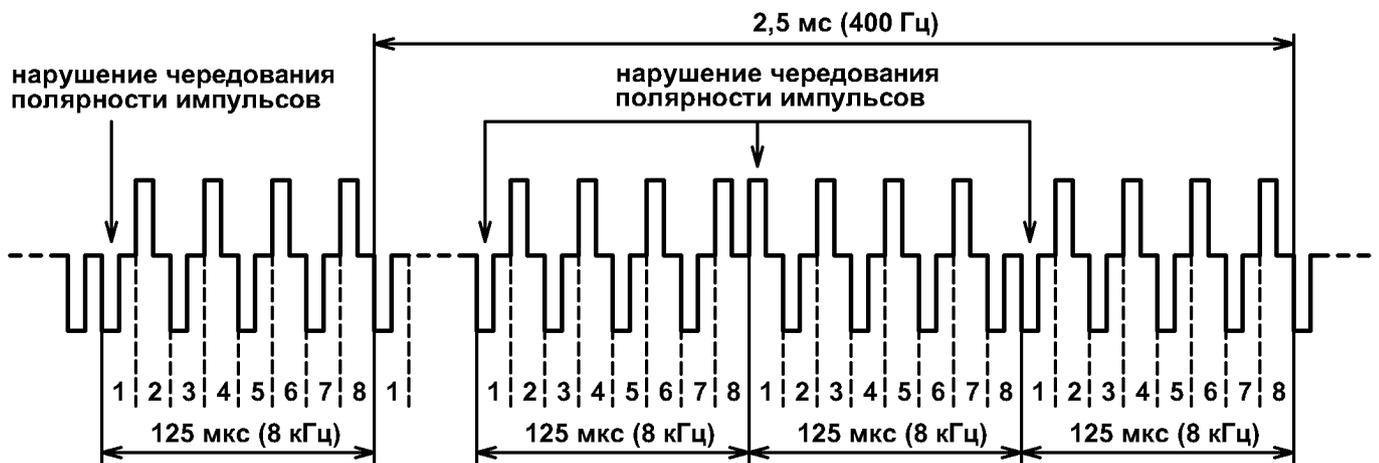


Рис. 34 – Структура сигнала для режима б)

Табл. 41 – Параметры приёмника

Параметр	Значение
принимаемые частоты	Два режима: а) режим приёма частот 64 кГц и 8 кГц б) режим приёма частот 64 кГц, 8 кГц и 400 Гц
критерий аварии	Пока амплитуда сигнала находится в пределах от $0,63V_{0-P}$ до $1,1V_{0-P}$ авария фиксироваться не должна ⁵²

Табл. 42 – Параметры передатчика

Параметр	Значение
тип кабеля	симметричный двухпроводный кабель
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 110 Ом
передаваемые частоты	Два режима: а) режим передачи частот 64 кГц и 8 кГц б) режим передачи частот 64 кГц, 8 кГц и 400 Гц
длительность импульса на уровне половины амплитуды	$7,8 \pm 0,78$ мкс ⁵³
амплитуда	$V_{0-P} \pm 0,1$ В

II.2 Интерфейс тактирования с частотой 6312 кГц

В данном интерфейсе в качестве сигнала тактирования используется синусоидальный сигнал (без постоянной составляющей) с частотой 6312 кГц.

Приёмник интерфейса не должен фиксировать аварию пока амплитуда сигнала находится в пределах от минус 16 до 3 дБм. Параметры передатчика приведены в табл. 43.

Табл. 43 – Параметры передатчика

Параметр	Значение
тип кабеля	коаксиальный кабель
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 75 Ом
частота сигнала	6312 кГц
амплитуда сигнала ⁵⁴	0 дБм \pm 3 дБ

⁵² Предполагаю, что V_{0-P} – это амплитуда импульсов. Её величина (в вольтах) не указана – прим. пер.

⁵³ В исходном тексте перед цифрами стоит знак « \leq ». Полагаю, что это ошибка. То же самое касается и амплитуды (следующая строка таблицы) – прим. пер.

⁵⁴ Для нагрузки с сопротивлением 75 Ом указанная в таблице величина соответствует амплитуде синусоидального сигнала $0,4 \pm 0,15$ В – прим. пер.

Дополнение III

Интерфейс со скоростью 3152 кбит/с, использующийся в Северной Америке

Данное дополнение не является неотъемлемой частью рекомендации. Приведённые ниже параметры указаны в приложении А к рекомендации ITU-T G.931.

Параметры приёмника и передатчика интерфейса приведены в таблице 44.

Таблица 44

Параметр	Значение
номинальная скорость передачи данных	3152 кбит/с
допуск на скорость передачи данных	± 30 ppm (± 95 бит/с)
импеданс проверочной нагрузки	резистивный, 100 Ом ± 5 %
линейный код	AMI (см. прим. 1 и 2)
форма импульса	номинальная форма импульса – прямоугольная
тип кабеля для каждого направления передачи данных	одна симметричная витая пара проводников (см. прим. 3)
номинальная амплитуда импульса	3,0 В (см. прим. 4)
длительность импульса на уровне половины амплитуды	159 ± 30 нс
длительность фронта и среза импульса (при измерении между уровнями 20 и 80 % амплитуды)	Не более 50 нс. Разница между длительностью фронта и среза импульса не должна превышать 20 нс.
мощность сигнала, представляющего последовательность бит из одних единиц (измеряется в диапазоне частот до 10 МГц)	$16,53 \pm 2$ дБм Отношение мощности положительных импульсов к мощности отрицательных импульсов должно составлять $0 \pm 0,5$ дБ

Примечание 1. Описание кода AMI приведено в приложении А.

Примечание 2. Для того чтобы обеспечить надлежащее тактирование, необходимо, чтобы в любой непрерывной последовательности из 130 битовых интервалов минимальное соотношение между импульсами и паузами составляло 1:8. При проектировании канала следует стремиться к тому, чтобы на длительных интервалах времени соотношение между импульсами и паузами составляло 0,5. Для того чтобы подавить дрожание входного сигнала, добротность схемы выделения тактового сигнала должна составлять 1200 ± 200 , что соответствует однорезонаторной схеме.

Примечание 3. Для каждого направления передачи данных следует использовать одну симметричную витую пару проводов. Разъём кросса, к которому подключена пара, по которой сигнал приходит к кроссу, называется входным разъёмом. Разъём кросса, к которому подключена пара, по которой сигнал уходит от кросса, называется выходным разъёмом.

Примечание 4. При передаче паузы абсолютная величина напряжения не должна превышать 10 % от номинальной амплитуды.

Требования к дрожанию сигнала на выходе передатчика и допустимому дрожанию сигнала на входе приёмника ещё не определены. Защита от перенапряжений должна соответствовать рекомендации ITU-T К.20.

Список использованных источников

ITU-T G.733	Рекомендация ITU-T G.733 (1988), «Characteristics of primary PCM multiplex equipment operating at 1544 kbit/s»
ITU-T G.783	Рекомендация ITU-T G.783 (2006), «Characteristics of synchronous digital hierarchy (SDH) equipment functional blocks»
ITU-R F.596-1	Рекомендация ITU-R F.596-1 (1982 - 1994), «Interconnection of digital radio-relay systems»
1	«Transmission Systems for Communications», издательство «Bell Telephone Laboratories», 1982, первое издание, часть 5, пункт 5.1, страница 83
2	Wiggington R. L., Nahman N. S. – «Transient Analysis of Coaxial Cable Considering Skin Effect», труды института радиоинженеров, февраль 1957 года, страницы 166-174, см. выражение (14)

СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ITU-T

Серия А	Организация работы ITU-T
Серия D	Общие принципы тарификации и экономические аспекты
Серия E	Эксплуатация сети связи в целом, телефонная служба, служебные операции и человеческий фактор
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы передачи данных, 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 телевизионных, звуковых и других мультимедийных программ
Серия K	Защита от помех
Серия L	Условия эксплуатации и информационно-коммуникационные технологии. Изменение климата, потери энергии и энергетическая эффективность. Конструкция и прокладка кабелей. Защита кабелей и других элементов инфраструктуры за пределами помещений.
Серия M	Управление сетью связи, включая системы мониторинга и техническое обслуживание
Серия N	Техническое обслуживание международных каналов передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной связи, телефонные устройства и местные телефонные линии
Серия Q	Телефонная коммутация и сигнализация, а также относящиеся к ним измерения
Серия R	Телеграфная связь
Серия S	Оконечное оборудование телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных, взаимодействие открытых систем и безопасность
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура, интернет-протоколы, сети связи следующего поколения, интернет вещей и умные города
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи

Напечатано в Швейцарии.
Женева, 2021 год