ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

СТБ/ОР 2524

Средства электросвязи мультисервисных сетей

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ETHERNET

Требования к основным параметрам и методы испытаний

Сродкі электрасувязі мультысэрвісных сетак

ЭЛЕКТРЫЧНЫЯ ІНТЭРФЕЙСЫ ETHERNET

Патрабаванні да асноўных параметраў і метады выпрабаванняў

Настоящий проект стандарта
не подлежит применению до его утверждения

Госстандарт
Минск

УДК 004.732.05(083.74)(476) ОГКС **33.020**; 35.020

Ключевые слова: средства электросвязи, параметры электрические, интерфейсы Ethernet, испытания, измерения

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 РАЗРАБОТАН открытым акционерным обществом «Гипросвязь» (ОАО «Гипросвязь»)

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь от _____ № ____

4 ВЗАМЕН СТБ 2524-2018

© Госстандарт, 20__

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта Республики Беларусь

Издан на русском языке

Содержание

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Средства электросвязи мультисервисных сетей ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИНТЕРФЕЙСЫ ETHERNET Требования к основным параметрам и методы испытаний

Сродкі электрасувязі мультысэрвісных сетак ЭЛЕКТРЫЧНЫЯ ІНТЭРФЕЙСЫ ETHERNET Патрабаванні да асноўных параметраў і метады выпрабаванняў

Telecommunications facilities of multiservice networks
Ethernet electrical interfaces
Requirements to base parameters and test methods

Дата введения _____

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на средства электросвязи мультисервисных сетей (далее – оборудование) и устанавливает требования к основным параметрам и методы испытаний электрических интерфейсов Ethernet 10BASE-T, 10BASE-T1L, 100BASE-TX, 1000BASE-T, 2,5GBASE-T, 5GBASE-T и 10GBASE-T.

Настоящий стандарт может быть также применен к оборудованию информационных технологий, модулям (трансиверам) SFP и SFP+, другим техническим средствам, взаимодействующим со средствами электросвязи или подключаемым к сетям электросвязи через интерфейсы, входящие в область распространения настоящего стандарта.

2 Нормативные ссылки

ТКП 181-2023 (33240) Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей

СТБ 1343-2007 Единая сеть электросвязи Республики Беларусь. Термины и определения

СТБ 1956-2011 Передача данных. Термины и определения

СТБ 2156-2020 Средства электросвязи мультисервисных сетей. Основные параметры и характеристики

СТБ 2501-2025 Стойкость средств электросвязи к перенапряжениям и сверхтокам. Общие технические требования

СТБ 2506-2025 Стойкость средств электросвязи к перенапряжениям и сверхтокам. Общие требования к проведению испытаний

ГОСТ 8.207-76 Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения

ГОСТ 12.0.004-2015 Система стандартов безопасности труда. Организация обучения безопасности труда. Общие положения

ГОСТ 12.3.019-80 Система стандартов безопасности труда. Испытания и измерения электрические. Общие требования безопасности

ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных документов на официальном сайте Национального фонда технических нормативных правовых актов в глобальной компьютерной сети Интернет.

Если ссылочные документы заменены (изменены), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться действующими взамен документами. Если ссылочные документы отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применяют термины, установленные в СТБ 1343, СТБ 1956.

4 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применяют следующие обозначения и сокращения:

ВО – вспомогательное оборудование;

ГС – генератор сигналов;

ДП – дифференциальный пробник;

ИО – испытуемое оборудование;

ОЦ – осциллограф цифровой;

СКЗ – среднеквадратическое значение;

СТ – симметрирующий трансформатор;

AN – Auto-negotiation – автоматическое согласование параметров MDI;

AOI – Active Output Interface – активный выходной интерфейс;

AUI – Attachment Unit Interface – интерфейс блока программного приложения;

BT – Bit Time – длительность одного бита потока данных, передаваемых между физическим и канальным уровнями модели OSI;

DI – Data In – входные данные интерфейса AUI;

DO – Data Out – выходные данные канального уровня модели OSI;

DCD – Duty Cycle Distortion – искажение рабочего цикла;

DTE – Data Terminal Equipment – оконечное оборудование данных;

FLP – Fast Link Pulse – импульс быстрого соединения, передаваемый в среде передачи данных для инициирования установления связи при выполнении процесса Auto-Negotiation;

GMII – Gigabit Media Independent Interface – интерфейс, не зависящий от среды передачи данных, находящийся между физическим и канальным уровнями модели OSI;

IDL – idle – сигнальное состояние среды передачи данных при котором отсутствует передача кадров

Примечание – Это состояние начинается после обнаружения конца кадра и заканчивается после перехода в низкое или высокое состояние сигнала на интерфейсах AUI или MII;

LLC – Logical Link Control – подуровень контроля логической связи;

MAC – Media Access Control – подуровень управления доступом к среде передачи данных;

MAU – Medium Attachment Unit – блок физического уровня модели OSI;

MDI – Media Dependent Interface – интерфейс блока MAU, непосредственно соединенный со средой передачи данных;

MDIO – Management Data Input/Output – ввод/вывод данных управления;

MDI-X – Media Dependent Interface crossover – интерфейс блока MAU, непосредственно соединенный со средой передачи данных, с перекрещиванием;

MII – Media Independent Interface – независимый интерфейс среды передачи данных;

MLT-3 – Multi Level Transmit-3 levels – трехуровневое кодирование потока данных на физическом уровне модели OSI;

NLP – Normal Link Pulse – нормальный канальный импульс, передаваемый для поддержания целостности и индикации состояния связи при выполнении процесса Auto-Negotiation;

NRZ – Non Return to Zero – код без возврата к нулю при кодировании потока данных на канальном уровне модели OSI;

OSI – Open Systems Interconnection – модель взаимодействия открытых систем;

PAM3 – Pulse Amplitude Modulation – 3-уровневая импульсно-амплитудная модуляция физического уровня модели OSI интерфейса 10BASE-T1L;

PAM5 – Pulse Amplitude Modulation – 5-уровневая импульсно-амплитудная модуляция физического уровня модели OSI интерфейса 1000BASE-T;

PCS – Physical Coding Sublayer – подуровень кодирования физического уровня модели OSI интерфейсов 100BASE-TX и 1000BASE-T;

PHY – Physical Layer Device – блок физического уровня модели OSI интерфейсов 100BASE-TX или 1000BASE-T;

PD – Powered Device – питаемое устройство;

PLS – Physical Signaling – подуровень физической передачи сигналов интерфейса 10BASE-T;

PMA – Physical Medium Attachment – программное приложение физического уровня модели OSI;

PMD – Physical Medium Dependent – физический уровень модели OSI, зависящий от среды передачи данных интерфейса 100BASE-TX;

PoDL – Power over Data Lines – питание через линии передачи данных по одной паре проводов;

PoE – Power over Ethernet – питание через Ethernet (технология подачи электропитания через стандартные витые пары вместе с данными);

PSD – Power Spectral Density – спектральная плотность мощности;

PSE – Power Sourcing Equipment – питающее оборудование;

RD – Received Data – принимаемые данные;

RL – Return Loss – затухание отражения;

SFF – Small Form Factor Committee – комитет по малым форм-факторам;

SFP – Small Form-factor Pluggable – подключаемый модуль (трансивер) малого форм-фактора (компактного конструктивного типоразмера);

SFP+ – Enhanced Small Form-factor Pluggable – улучшенный SFP

Примечание – Модули SFP и SFP+ стандартизованы и соответствуют спецификациям SFF. Применяются совместно с сетевым оборудованием, имеющим соответствующие порты, для передачи и приема данных со скоростями до 1000 Мбит/с и до 10 Гбит/с соответственно;

SNR – Signal-to-Noise Ratio – отношение сигнал/шум;

STP – Shielded Twisted Pair – экранированная витая пара;

TD – Transmitted Data – передаваемые данные;

THP – Tomlinson-Harashima precoder – предварительное кодирование Томлинсона-Харашимы

Примечание – Предварительное кодирование Томлинсона-Харашимы применяется для уменьшения межсимвольной помехи;

TPM – Twisted-Pair Model – модель витой пары;

UTP – Unshielded Twisted Pair – неэкранированная витая пара.

5 Общие положения

5.1 В настоящем стандарте установлены требования только к основным электрическим параметрам интерфейсов Ethernet на физическом уровне, подключаемым к медным симметричным линиям электросвязи.

5.2 Требования к основным параметрам интерфейсов Ethernet соответствуют [1] и [2].

5.3 Процессы взаимодействия интерфейсов Ethernet со средой передачи на физическом уровне приведены в приложении А.

5.4 Подключение интерфейсов 10BASE-T (включая 10BASE-Te), 100BASE-TX, 1000BASE-T, 2,5GBASE-T, 5GBASE-T и 10GBASE-T выполняется с помощью 8-контактных разъемных соединителей, соответствующих [3].

5.5 Подключение интерфейса 10BASE-T1L выполняется с помощью 2-контактных разъемных соединителей, соответствующих [4] или [5].

5.6 Общий вид разъемных соединителей для интерфейсов Ethernet приведен в приложении Б.

5.7 Стойкость интерфейсов Ethernet, включая интерфейсы с поддержкой PoE, к перенапряжениям и сверхтокам – по СТБ 2501.

6 Требования к основным параметрам электрических интерфейсов Ethernet

6.1 Интерфейсы 10BASE-T и 10BASE-Te

6.1.1 Требования к основным параметрам интерфейсов 10BASE-T и 10BASE-Te соответствуют [1] (раздел 14).

6.1.2 Значения основных параметров должны соответствовать таблице 6.1.

Таблица 6.1

Наименование параметра	Значение параметра
1 Пиковое значение дифференциального выходного напряжения передатчика, соединенного с нагрузкой сопротивлением 100 Ом, В: – для интерфейса 10BASE-T; – для интерфейса 10BASE-Te (см. примечание 1)	 От 2,2 до 2,8 От 1,54 до 1,96

Окончание таблицы 6.1

Наименование параметра	Значение параметра
2 Разность уровней основной гармоники и любой гармонической составляющей сигнала передатчика, соединенного с нагрузкой сопротивлением 100 Ом, дБ, не менее (см. примечание 2)	27
3 Формы сигналов на выходе передатчика	В соответствии с В.1
4 Период повторения импульса NLP, мс	16 ± 8
5 Дифференциальный выходной импеданс передатчика в полосе частот от 5 до 10 МГц, дБ, не менее	15
6 Выходной временной джиттер, нс, не более: – без ТРМ; – с ТРМ	 ±8,00 ±3,50
7 Симметрия импеданса передатчика в полосе частот *f* от 1,0 до 20 МГц, дБ, не менее	$29 - 17 \cdot \log_{10}(f/10)$
8 Выходное напряжение общего вида, мВ, не более	50
9 Дифференциальный входной импеданс приемника в полосе частот от 5 до 10 МГц, дБ, не менее	15
Примечания 1 Требования относятся как к положительному импульсу, так и к отрицательному импульсу. Указанное значение параметра является абсолютным значением. 2 Требование не гарантирует соответствие относительно радиочастотных излучений, нормированных стандартами по электромагнитной совместимости.	

6.2 Интерфейс 10BASE-T1L

6.2.1 Требования к основным параметрам интерфейса 10BASE-T1L соответствуют [1] (раздел 146).

6.2.2 Значения основных параметров должны соответствовать таблице 6.2.

Таблица 6.2

Наименование параметра	Значение параметра
1 Размах выходного напряжения передатчика, В: – для режима работы при номинальном выходном напряжении 1,0 В; – для режима работы при номинальном выходном напряжении 2,4 В	 От 0,85 до 1,05 От 2,04 до 2,52
2 Абсолютная величина положительного и отрицательного спада выходного напряжения передатчика, %, не более	10
3 Временной джиттер сигнала передатчика, нс, не более	10
4 Уровень мощности сигнала на выходе передатчика, дБм: – для режима работы при номинальном выходном напряжении 1,0 В; – для режима работы при номинальном выходном напряжении 2,4 В	 От минус 0,2 до 2,2 От 7,4 до 9,8
5 Спектральная плотность мощности сигнала на выходе передатчика	В соответствии с В.2
6 Затухание отражения цепей MDI (см. примечание), дБ, не менее: – в полосе частот *f* от 0,1 до 0,2 МГц; – в полосе частот от 0,2 до 1 МГц; – в полосе частот *f* от 1 до 10 МГц; – в полосе частот *f* от 10 до 20 МГц	 $20 - 18 \cdot \log_{10}(0{,}2/f)$ 20 $20 - 16{,}7 \cdot \log_{10}(f)$ $3{,}3 - 7{,}6 \cdot \log_{10}(f/10)$
Примечание – Затухание отражения нормируется относительно импеданса 100 Ом.	

6.3 Интерфейс 100BASE-TX

6.3.1 Требования к основным параметрам интерфейса 100BASE-TX соответствуют [2] (раздел 9) и [1] (раздел 25).

6.3.2 Значения основных параметров должны соответствовать таблице 6.3.

Таблица 6.3

Наименование параметра	Значение параметра
1 Дифференциальное выходное напряжение, мВ	От 950 до 1 050
2 Форма сигнала на выходе передатчика	В соответствии с В.3
3 Выброс формы сигнала, %, не более	5
4 Симметрия амплитуды сигнала	От 0,98 до 1,02
5 Затухание отражения цепей передатчика (см. примечание), дБ, не менее: – в полосе частот от 2 до 30 МГц – в полосе частот *f* от 30 до 60 МГц – в полосе от 60 до 80 МГц	 16 $[16 - 20 \cdot \log_{10}(f/30)]$ 10
6 Длительность переднего и заднего фронтов, нс	От 3,0 до 5,0
7 Искажение коэффициента заполнения, нс, не более	±0,25
8 Джиттер, нс, не более	1,40
9 Затухание отражения цепей приемника (см. примечание), дБ, не менее: – в полосе частот от 2 до 30 МГц – в полосе частот *f* от 30 до 60 МГц – в полосе от 60 до 80 МГц	 16 $16 - 20 \cdot \log_{10}(f/30)$ 10
Примечание – Затухание отражения нормируется относительно импеданса (100 ± 15) Ом.	

6.4 Интерфейс 1000BASE-T

6.4.1 Требования к основным параметрам интерфейса 1000BASE-T соответствуют [1] (раздел 40).

6.4.2 Значения основных параметров должны соответствовать таблице 6.4.

Таблица 6.4

Наименование параметра	Значение параметра
1 Пиковое дифференциальное выходное напряжение	В соответствии с В.4.2
2 Максимальное выходное смещение	В соответствии с В.4.3
3 Формы сигналов на выходе передатчика	В соответствии с В.4.4
4 Затухание отражения цепей MDI передатчика/приемника (см. примечание), дБ, не менее: – в полосе частот от 1,0 до 40 МГц – в полосе частот *f* от 40 до 100 МГц	 16 $10 - 20 \cdot \log_{10}(f/80)$
5 Выходное напряжение общего вида, мВ, не более	50
Примечание – Затухание отражения нормируется относительно импеданса (100 ± 15) Ом.	

6.5 Интерфейсы 2,5GBASE-T и 5GBASE-T

6.5.1 Требования к основным параметрам интерфейсов 2,5GBASE-T и 5GBASE-T соответствуют [1] (раздел 126).

6.5.2 Значения основных параметров должны соответствовать таблице 6.5.

Таблица 6.5

Наименование параметра	Значение параметра
1 Абсолютное значение положительного и отрицательного спада сигнала на выходе передатчика (см. примечание 1), %, не более: – для интерфейса 2,5GBASE-T; – для интерфейса 5GBASE-T	 17,5 12,5
2 Временной джиттер сигнала на выходе передатчика (см. примечание 2), пс, не более: – для интерфейса 2,5GBASE-T; – для интерфейса 5GBASE-T	 10,0 7,2
3 Спектральная плотность мощности сигнала на выходе передатчика	В соответствии с В.5

Окончание таблицы 6.5

Наименование параметра	Значение параметра
4 Уровень мощности сигнала на выходе передатчика, дБм	От 1,0 до 3,0
5 Затухание отражения цепей MDI передатчика/приемника (см. примечание 3), дБ, не менее: – в полосе частот от 1 до 40 МГц; – в полосе частот *f* от 40 до f_{max} МГц (см. примечание 4)	 16 $16 – 10 \cdot \log_{10}(f/40)$
Примечания 1 Спад выходного сигнала определяется относительно начального значения, измеренного через 10 нс после пересечения сигналом нуля, и конечного значения, измеренного через 330 нс для интерфейса 2,5GBASE-T и 170 нс для интерфейса 5GBASE-T после пересечения сигналом нуля. 2 Временной джиттер определяется как среднеквадратическое значение джиттера периода сигнала, измеренное за интервал времени интегрирования 4 мс ± 10 % для интерфейса 2,5GBASE-T и 2 мс ± 10 % для интерфейса 5GBASE-T. 3 Затухание отражения нормируется относительно импеданса 100 Ом. 4 Частота f_{max} равна 125 МГц для интерфейса 2,5GBASE-T и 250 МГц для интерфейса 5GBASE-T.	

6.6 Интерфейс 10GBASE-T

6.6.1 Требования к основным параметрам интерфейса 10GBASE-T соответствуют [1] (раздел 55).

6.6.2 Значения основных параметров интерфейса должны соответствовать таблице 6.6.

Таблица 6.6

Наименование параметра	Значение параметра
1 Абсолютное значение положительного и отрицательного спада сигнала на выходе передатчика (см. примечание 1), %, не более:	10
2 Временной джиттер сигнала на выходе передатчика (см примечание 2), пс, не более	5,5
3 Спектральная плотность мощности сигнала на выходе передатчика	В соответствии с В.6
4 Уровень мощности сигнала на выходе передатчика, дБм	От 3,2 до 5,2
5 Затухание отражения цепей MDI передатчика/приемника (см. примечание 3), дБ, не менее: – в полосе частот от 1 до 40 МГц; – в полосе частот f от 40 до 400 МГц; – в полосе частот f от 400 до 500 МГц	 16 $16 – 10 \cdot \log_{10}(f/40)$ $6 – 30 \cdot \log_{10}(f/400)$
Примечания 1 Спад выходного сигнала определяется относительно начального значения, измеренного через 10 нс после пересечения сигналом нуля, и конечного значения, измеренного через 90 нс после пересечения сигналом нуля. 2 Временной джиттер определяется как среднеквадратическое значение джиттера периода сигнала, измеренное за интервал времени интегрирования 1 мс ± 10 %. 3 Затухание отражения нормируется относительно импеданса 100 Ом.	

7 Методы испытаний

7.1 Общие положения

7.1.1 Методы испытаний для определения стойкости к перенапряжениям и сверхтокам – по СТБ 2506.

7.1.2 Методы испытаний для определения основных параметров интерфейсов Ethernet соответствуют [1] и [2].

7.2 Определяемые характеристики и допустимая неопределенность измерений

Перечень определяемых электрических характеристик интерфейсов 10BASE-T, 10BASE-T1L, 100BASE-TX, 1000BASE-T, 2,5GBASE-T, 5GBASE-T, 10GBASE-T и допустимая неопределенность измерения приведены в таблицах 7.1–7.6. Допустимая неопределенность измерений *U* определена как расширенная неопределенность измерения при коэффициенте охвата 2 и уровне доверия, приблизительно равном 95 %.

Таблица 7.1 – Интерфейс 10BASE-T

Наименование параметра	Пункт стандарта		*U*, не более
	требование	метод	
1 Пиковое значение дифференциального выходного напряжения передатчика, соединенного с нагрузкой сопротивлением 100 Ом	1 (таблица 6.1)	7.6.2.1	25 мВ
2 Разность уровней основной гармоники и любой гармонической составляющей сигнала передатчика, соединенного с нагрузкой сопротивлением 100 Ом	2 (таблица 6.1)	7.6.2.2	2 дБ
3 Формы сигналов на выходе передатчика	3 (таблица 6.1)	7.6.2.3	–
4 Период повторения импульса NLP	4 (таблица 6.1)	7.6.2.3	0,05 нс
5 Дифференциальный выходной импеданс передатчика	5 (таблица 6.1)	7.6.2.4	2 дБ
6 Выходной временной джиттер	6 (таблица 6.1)	7.6.2.5	0,005 мс
7 Симметрия импеданса передатчика	7 (таблица 6.1)	7.6.2.6	2 дБ
8 Выходное напряжение общего вида	8 (таблица 6.1)	7.6.2.7	1 мВ
9 Дифференциальный входной импеданс приемника	9 (таблица 6.1)	7.6.2.4	3 дБ

Таблица 7.2 – Интерфейс 10BASE-T1L

Наименование параметра	Пункт стандарта		*U*, не более
	требование	метод	
1 Размах выходного напряжения передатчика	1 (таблица 6.2)	7.6.3.2	25 мВ
2 Абсолютная величина положительного и отрицательного спада выходного напряжения передатчика	2 (таблица 6.2)	7.6.3.3	1 %
3 Временной джиттер сигнала передатчика	3 (таблица 6.2)	7.6.3.4	0,5 нс
4 Спектральная плотность мощности сигнала на выходе передатчика	5 (таблица 6.2)	7.6.3.5	2 дБ/Гц
5 Уровень мощности сигнала на выходе передатчика	4 (таблица 6.2)	7.6.3.5	0,2 дБ
6 Затухание отражения цепей MDI	6 (таблица 6.2)	7.6.3.6	3 дБ

Таблица 7.3 – Интерфейс 100BASE-TX

Наименование параметра	Пункт стандарта		*U*, не более
	требование	метод	
1 Дифференциальное выходное напряжение	1 (таблица 6.3)	7.6.4.1	25 мВ
2 Форма сигнала на выходе передатчика	2 (таблица 6.3)	7.6.4.1	-
3 Выброс формы сигнала	3 (таблица 6.3)	7.6.4.2	0,5 %
4 Симметрия амплитуды сигнала	4 (таблица 6.3)	7.6.4.3	0,5 %
5 Затухание отражения цепей передатчика	5 (таблица 6.3)	7.6.4.4	2 дБ
6 Длительность переднего и заднего фронтов	6 (таблица 6.3)	7.6.4.5	0,2 нс
7 Искажение коэффициента заполнения	7 (таблица 6.3)	7.6.4.6	0,05 нс
8 Джиттер	8 (таблица 6.3)	7.6.4.7	0,5 нс
9 Затухание отражения цепей приемника	9 (таблица 6.3)	7.6.4.4	3 дБ

Таблица 7.4 – Интерфейс 1000BASE-T

Наименование параметра	Пункт стандарта		*U*, не более
	требование	метод	
1 Пиковое дифференциальное выходное напряжение	1 (таблица 6.4)	7.6.5.3	25 мВ
2 Максимальное выходное смещение	2 (таблица 6.4)	7.6.5.4	0,05 %
3 Формы сигналов на выходе передатчика	3 (таблица 6.4)	7.6.5.5	–
4 Затухание отражения цепей MDI передатчика/приемника	4 (таблица 6.4)	7.6.5.6	3 дБ
5 Выходное напряжение общего вида	5 (таблица 6.4)	7.6.5.7	1 мВ

Таблица 7.5 – Интерфейсы 2,5GBASE-T и 5GBASE-T

Наименование параметра	Пункт стандарта		*U*, не более
	требование	метод	
1 Абсолютное значение положительного и отрицательного спада сигнала на выходе передатчика	1 (таблица 6.5)	7.6.6.3	1 %
2 Временной джиттер сигнала на выходе передатчика	2 (таблица 6.5)	7.6.6.4	0,5 нс
3 Спектральная плотность мощности сигнала на выходе передатчика	3 (таблица 6.5)	7.6.6.5	2 дБ/Гц
4 Уровень мощности сигнала на выходе передатчика	4 (таблица 6.5)	7.6.6.5	0,2 дБ
5 Затухание отражения цепей MDI передатчика/приемника	5 (таблица 6.5)	7.6.6.6	3 дБ

Таблица 7.6 – Интерфейс 10GBASE-T

Наименование параметра	Пункт стандарта		*U*, не более
	требование	метод	
1 Абсолютное значение положительного и отрицательного спада сигнала на выходе передатчика	1 (таблица 6.6)	7.6.7.3	1 %
2 Временной джиттер сигнала на выходе передатчика	2 (таблица 6.6)	7.6.7.4	0,5 нс
3 Спектральная плотность мощности сигнала на выходе передатчика	3 (таблица 6.6)	7.6.7.5	2 дБ/Гц
4 Уровень мощности сигнала на выходе передатчика	4 (таблица 6.6)	7.6.7.5	0,2 дБ
5 Затухание отражения цепей MDI передатчика/приемника	5 (таблица 6.6)	7.6.7.6	3 дБ

7.3 Средства измерений, испытательное оборудование и вспомогательные устройства

При проведении испытаний используют средства измерений, испытательное оборудование и вспомогательные устройства в соответствии с таблицей 7.7.

Таблица 7.7

Наименование	Основные требования и метрологические характеристики
Дифференциальный пробник	Диапазон рабочих частот не менее 3,5 ГГц. Диапазон входного напряжения: от −2 до +2 В (постоянный ток +пиковое значение переменного тока). Дифференциальное входное сопротивление не менее 100 кОм. Дифференциальная входная емкость не более 0,3 пФ. Совместимость с цифровым осциллографом
Генератор сигналов произвольной формы	Номинальное выходное сопротивление 50 Ом. Максимальная выходная эффективная частота 4,8 ГГц. Номинальная частота дискретизации от 10 Мвыб./с до 12 Гвыб./с. Амплитуда выходного сигнала от –22 до 4 дБм. Погрешность установки амплитуды не более ±0,3 дБ. Возможность генерирования сигналов, форма которых задается программно
Вольтметр универсальный	Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения переменного напряжения на диапазоне с верхним пределом 700 В: $\pm$ [0,6 + 0,1·(Vк/Vx – 1)]·10^{-2} + 3 ед. мл. разряда, где Vк – верхний предел установленного диапазона измерения, Vx – измеренное значение.
Термогигрометр	Диапазон измерения температуры от 0 °С до 50 °С. Пределы абсолютной погрешности при измерении температуры в диапазоне от 5 °С до 50 °С, не более ±0,3 °С. Диапазон измерения влажности от 10 % до 90 %. Пределы абсолютной погрешности при измерении относительной влажности, не более ±3,0 %

Окончание таблицы 7.7

Наименование	Основные требования и метрологические характеристики
Осциллограф цифровой	Полоса пропускания аналогового сигнала не менее 3,5 ГГц. Входное сопротивление 1 МОм и 50 Ом. Входная емкость не более15 пФ. Вертикальная чувствительность от 10 мВ/дел до 1 В/дел. Расширенная неопределенность измерения амплитуды сигнала прямоугольной формы совместно с дифференциальным пробником при входном сопротивлении осциллографа 50 Ом не более: – 0,2 мВ при вертикальной чувствительности 20 мВ/дел; – 5 мВ при вертикальной чувствительности 500 мВ/дел. Диапазон коэффициентов развертки от 2,5 нс/дел до 1 с/дел. Частота дискретизации в реальном времени: – до 40 Гвыб/с на один канал. Предел допускаемой погрешности измерения интервалов времени не более $\pm(0{,}1/F + 5\cdot10^{-6}\cdot\lvert T\rvert)$, с, где F – частота дискретизации, Гвыб/с; T – измеренное значение, с. Наличие специализированного программного обеспечения и соответствующих шаблонов для измерения параметров интерфейсов 10BASE-T, 10BASE-T1L, 100BASE-TX, 1000BASE-T, 2,5GBASE-T, 5GBASE-T и 10GBASE-T на физическом уровне. Опция быстрого преобразования Фурье. Диапазон измерения относительных уровней с использованием опции быстрого преобразования Фурье от −40 до +10 дБВ. Предел допускаемой погрешности измерения относительных уровней не более ±0,5 дБ
Персональный компьютер	Наличие интерфейсов 10BASE-T, 100BASE-TX и 1000BASE-T. Операционная система DOS, WINDOWS. Специализированное программное обеспечение формирования тестовых файлов для передачи пакетов. Число пакетов в тестовом файле от 1 до непрерывной передачи. Размер пакета при формировании тестового файла от 16 до 1 514 байт
Вспомогательное оборудование	Наличие интерфейсов 10BASE-T1L, 2,5GBASE-T, 5GBASE-T, 10GBASE-T, отвечающих требованиям настоящего СТБ. Программное обеспечение, предназначенное для конфигурирования параметров интерфейсов
Модель витой пары для интерфейса 10BASE-T	В соответствии с рисунком В.2. Вносимое затухание при сопротивлении генератора и нагрузки, равном 100 Ом, в диапазоне от 9,70 до 10,45 дБ на частоте 10 МГц и от 6,50 до 7,05 дБ на частоте 5 МГц
Модель витой пары для интерфейса 10BASE-Te	В соответствии с рисунком В.3. Вносимое затухание при сопротивлении генератора и нагрузки, равном 100 Ом, в диапазоне от 6,8 до 7,4 дБ на частоте 10 МГц и от 4,75 до 5,25 дБ на частоте 5 МГц

7.4 Условия испытаний

7.4.1 При проведении испытаний и измерений соблюдают условия, приведенные в таблице 7.8.

Таблица 7.8

Наименование влияющей величины	Номинальное значение	Предельное отклонение
Температура окружающего воздуха	20 °С	±5 °С
Относительная влажность окружающего воздуха	60 %	От +15 % до −20 %
Напряжение сети электропитания	230 В	От +5 % до −10 %
Примечание – Указанные условия соблюдают при испытаниях и измерении всех параметров, указанных в разделе 6, если иные требования не оговорены во взаимосвязанных стандартах.		

7.4.2 При проведении испытаний должна быть обеспечена безопасность персонала, проводящего испытания. При выполнении испытаний и измерений соблюдают требования безопасности, изложенные в ГОСТ 12.3.019, и требования инструкций по охране труда, производственной санитарии и охране окружающей среды.

7.4.3 Перед каждым включением средств измерений, испытательного оборудования, вспомогательных устройств и ИО проверяют надежность заземления.

7.4.4 К выполнению испытаний, измерений и обработке их результатов допускаются лица, прошедшие проверку знаний по ТКП 181, инструктаж по безопасности труда в соответствии с ГОСТ 12.0.004, имеющие допуск к работе на электроустановках и квалификационную группу не ниже третьей, изучившие правила технической эксплуатации средств измерений, испытательного оборудования и ИО.

7.5 Подготовка к проведению испытаний

При подготовке к выполнению испытаний и измерений проводят следующие работы:

– определяют и регистрируют значения влияющих величин;

– выполняют требования 7.4.3;

– включают средства измерений и проводят операции их опробования и калибровки, руководствуясь соответствующей документацией.

7.6 Проведение испытаний

7.6.1 Общие положения

7.6.1.1 При измерении конкретных величин руководствуются инструкцией по эксплуатации соответствующего средства измерения.

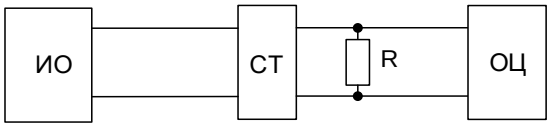
7.6.1.2 Если в схеме измерения используется симметрирующий трансформатор, то он не должен искажать сигнал с пиковым дифференциальным напряжением, равным 3 В, более чем на 1 % при нагрузке на сопротивление 100 Ом, подключенной к выходу трансформатора. При использовании совместно с осциллографом дифференциального пробника симметрирующий трансформатор допускается не применять.

7.6.1.3 Для поддержания непрерывности передаваемого ИО трафика может потребоваться применение ВО с интерфейсами, аналогичными испытываемым. В этом случае необходимо предусмотреть меры для исключения влияния входных цепей ВО на результаты испытаний.

7.6.1.4 Допускается измерять параметры интерфейсов с помощью специализированного аппаратно-программного измерительного комплекса с допустимой неопределенностью измерений, указанной в пункте 7.2.

7.6.2 Интерфейс 10BASE-T

7.6.2.1 Для измерения пикового значения дифференциального выходного напряжения передатчика, соединенного с нагрузкой 100 Ом, применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.1.



R – резистор сопротивлением 100 Ом ± 0,5 %

Рисунок 7.1

В ИО устанавливают режим непрерывной передачи сигнала с манчестерским кодированием исходной последовательности, содержащей псевдослучайную последовательность с периодом повторения 511 бит.

ОЦ измеряют пиковое значение дифференциального напряжения.

7.6.2.2 Для определения разности уровня основной гармоники и любой гармонической составляющей сигнала передатчика применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.1. В осциллографе включают опцию быстрого преобразования Фурье с представлением результата в децибелах. В ИО устанавливают режим непрерывной передачи сигнала с манчестерским кодированием, исходная последовательность которого содержит все единицы или все нули.

Измеряют уровень сигнала A_0 на частоте основной гармоники и уровень сигнала на частоте гармонической составляющей, имеющей максимальное значение уровня A_m.

Разность уровней ΔA вычисляют по формуле

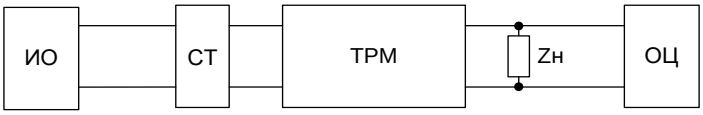
$$\Delta A = A_0 - A_m. \quad (7.1)$$

7.6.2.3 Для определения форм сигналов на выходе передатчика и периода повторения импульса NLP применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.2. Для интерфейса 10BASE-T применяют TPM в соответствии с рисунком B.2, для интерфейса 10BASE-Te – в соответствии с рисунком B.3. Формы определяют для следующих сигналов на выходе передатчика:

– все последовательности данных;

– импульс TP_IDL;

– импульс проверки соединения NLP.



Zн – испытательная нагрузка

Рисунок 7.2

При определении формы сигнала передатчика для всех последовательностей данных в ИО устанавливают режим непрерывной передачи сигнала с манчестерским кодированием исходной псевдослучайной последовательности с периодом повторения 511 бит. В качестве испытательной нагрузки используют резистор сопротивлением 100 Ом ± 0,5 %.

Результат определения формы сигнала получают в виде сохраненного изображения сигнала при включении в ОЦ соответствующего шаблона.

При определении формы сигнала передатчика для импульса TP_IDL в ИО устанавливают режим непрерывной передачи сигнала с манчестерским кодированием исходной псевдослучайной последовательности с периодом повторения 511 бит. Испытательная нагрузка – в соответствии с рисунком B.5. Испытания выполняют с каждой испытательной нагрузкой (нагрузка 1 и нагрузка 2), как с подключенной TPM, так и без нее.

Результат определения формы сигнала получают в виде сохраненного изображения сигнала при включении в ОЦ соответствующего шаблона.

При определении формы сигнала передатчика для импульса проверки соединения NLP в ИО обеспечивают режим формирования импульса NLP. Испытательная нагрузка – в соответствии с рисунком B.5. Испытания выполняют с каждой испытательной нагрузкой (нагрузка 1 и нагрузка 2), как с подключенной TPM, так и без нее.

Результат определения форм сигнала получают в виде сохраненного изображения сигнала при включении в ОЦ соответствующего шаблона.

При измерении периода повторения импульса NLP в ИО обеспечивают режим формирования импульса NLP.

Период повторения импульса NLP измеряют ОЦ.

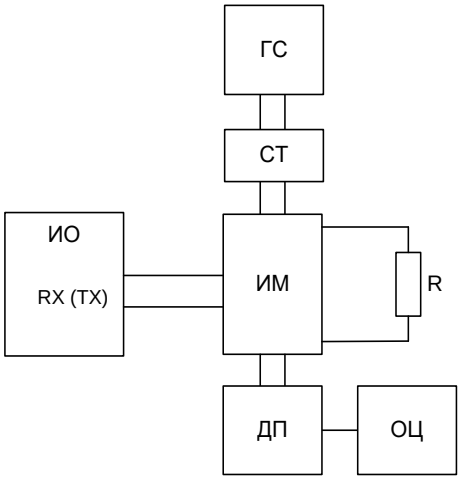
7.6.2.4 Для определения дифференциального выходного импеданса передатчика и дифференциального входного импеданса приемника применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.3.

В осциллографе включают опцию быстрого преобразования Фурье. С ГС подают синусоидальный сигнал с требуемым значением частоты и СКЗ напряжения V_1, равным 2 В. Регистрируют показания V_2 осциллографа, включенного в диагональ измерительного моста через дифференциальный пробник.

Дифференциальный импеданс (затухание отражения) A_R вычисляют по формуле

$$A_R = 20 \cdot \log_{10}(0{,}5 \cdot V_1/V_2). \quad (7.2)$$

Измерения выполняют в диапазоне частот от 5 до 10 МГц для трех значений сопротивления резистора R.



ИМ – измерительный мост;
R – резистор сопротивлением 85 Ом ± 0,5 %, 100 Ом ± 0,5 % или 111 Ом ± 0,5 %

Рисунок 7.3

7.6.2.5 Для измерения выходного временного джиттера применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.2.

В ИО устанавливают режим непрерывной передачи сигнала с манчестерским кодированием исходной псевдослучайной последовательности с периодом повторения 511 бит. В качестве испытательной нагрузки используют резистор сопротивлением 100 Ом ± 0,5 %.

Величину джиттера оценивают по глазковой диаграмме, отображаемой осциллографом.

Испытания выполняют как с подключенной TPM, так и без нее.

7.6.2.6 Для определения симметрии импеданса передатчика применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.4.

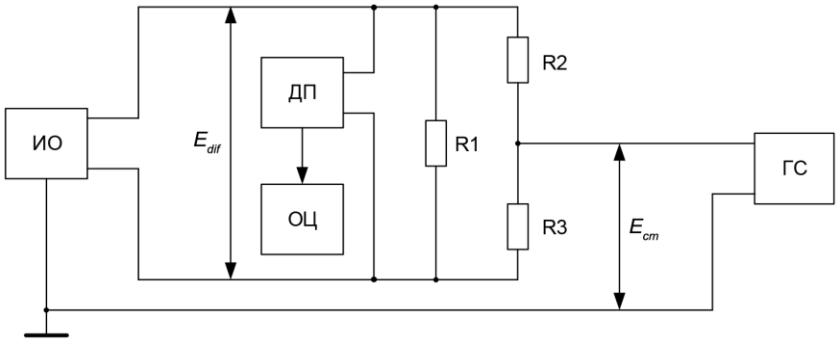
С ГС подают синусоидальный сигнал с требуемым значением частоты и напряжением E_{cm}, равным 5 В.

Регистрируют показания осциллографа E_{dif}, подключенного через дифференциальный пробник.

Симметрию импеданса передатчика В вычисляют по формуле

$$B = 20 \cdot \log_{10}(E_{cm}/E_{dif}). \quad (7.3)$$

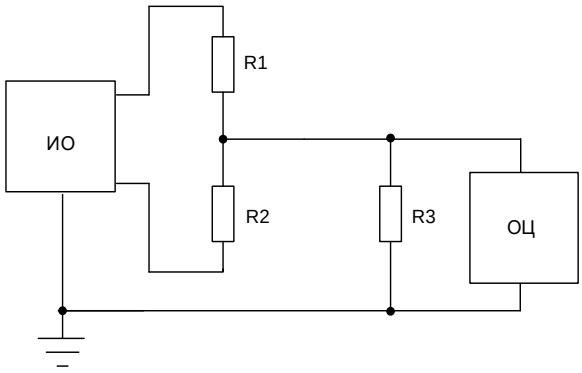
Измерения выполняют в диапазоне частот от 1 до 20 МГц.



R1 – резистор сопротивлением 143 Ом ± 0,5 %;
R2, R3 – резисторы сопротивлением 147 Ом ± 0,1 %

Рисунок 7.4

7.6.2.7 Для измерения выходного напряжения общего вида применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.5.



R1 и R2 – резисторы сопротивлением 47,5 Ом ± 0,1 %;
R3 – резистор сопротивлением 49,9 Ом ± 1 %

Рисунок 7.5

В ИО устанавливают режим непрерывной передачи сигнала с манчестерским кодированием исходной псевдослучайной последовательности с периодом повторения 511 бит. В осциллографе включают опцию быстрого преобразования Фурье.

Осциллографом измеряют амплитудное значение выходного напряжения общего вида отдельно для положительного и отрицательного импульсов на частотах более 1 МГц. Регистрируют максимальное значение из измеренных.

7.6.3 Интерфейс 10BASE-T1L

7.6.3.1 Для обеспечения условий измерения параметров интерфейса 10BASE-T1L формируют режимы блока PHY с помощью установки соответствующих битов в регистре управления PHY 1.2296.15:13 в соответствии с таблицей 7.9.

Таблица 7.9

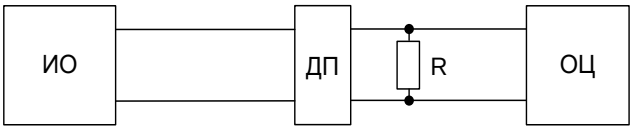
Регистр команд управления PHY			Режим работы, применение
1.2296.15	1.2296.14	1.2296.13	
0	0	1	«Испытательный режим 1» – при определении выходного напряжения передатчика и временного джиттера сигнала передатчика
0	1	0	«Испытательный режим 2» – при определении абсолютной величины положительного и отрицательного спада выходного напряжения передатчика
0	1	1	«Испытательный режим 3» – при определении уровня мощности сигнала на выходе передатчика и спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика

Алгоритмы формирования сигнала в режимах «Испытательный режим 1», «Испытательный режим 2», «Испытательный режим 3» приведены в таблице 7.10.

Таблица 7.10

Испытательный режим	Вид последовательности
1	Непрерывная передача последовательности символов (+1, -1)
2	Непрерывная передача десяти символов +1, затем десяти символов -1
3	Передача последовательности данных при нормальной работе в режиме ВЕДУЩИЙ (MASTER)

7.6.3.2 Для измерения размаха выходного напряжения передатчика применяют схему измерения в соответствии с рисунком 7.6.



R – резистор сопротивлением 100 Ом ± 0,1 %

Рисунок 7.6

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 1».

Осциллографом измеряют амплитудное значение напряжения сигнала передатчика в зависимости от установленного номинального выходного напряжения.

Примечание – Во всех режимах передачи при измерении на нагрузке 100 Ом ± 0,1 %, передаваемый дифференциальный сигнал на MDI составляет менее 2,64 В от пика до пика для номинального напряжения 2,4 В и 1,10 В от пика до пика для номинального напряжения 1,0 В, включая спад сигнала.

7.6.3.3 Для измерения абсолютной величины положительного и отрицательного спада выходного напряжения передатчика применяют схему измерения в соответствии с рисунком 7.6.

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 2».

Осциллографом измеряют абсолютную величину положительного и отрицательного спада выходного напряжения сигнала передатчика.

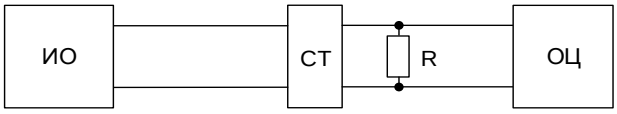
Спад выходного напряжения передатчика измеряют в диапазоне от начального значения, измеренного через 133,3 нс после пересечения сигналом нуля, до конечного значения, измеренного через 800 нс после пересечения сигналом нуля.

7.6.3.4 Для измерения временного джиттера сигнала передатчика применяют схему измерения в соответствии с рисунком 7.6.

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 1».

Величину джиттера оценивают по глазковой диаграмме, отображаемой осциллографом.

7.6.3.5 Для измерения уровня мощности сигнала на выходе передатчика и спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика применяют схему измерения в соответствии с рисунком 7.7.



R – резистор сопротивлением 100 Ом ± 0,1 %

Рисунок 7.7

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 3».

В осциллографе включают опцию быстрого преобразования Фурье.

Устанавливают режим работы ИО для номинального выходного напряжения 1,0 В или 2,4 В.

В осциллографе устанавливают ограничивающие маски уровней спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика (см. рисунки В.7 и В.8) в соответствии с номинальным выходным напряжением (1,0 В или 2,4 В).

Осциллографом определяют спектральную плотность мощности сигнала на выходе передатчика.

Результат определения спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика получают в виде сохраненного изображения сигнала при включении в ОЦ соответствующей маски.

Уровень мощности сигнала на выходе передатчика L_C вычисляют по формуле

$$L_C = 10 \cdot \log_{10}\left(\sum_{i=1}^{N} 10^{L_i/10}\right), \qquad (7.4)$$

где L_i – уровень мощности, измеренный осциллографом в i-ой полосе селекции, дБм;

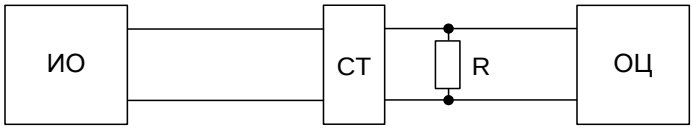
N – целое число полос селекции.

7.6.3.6 Определение затухания отражения цепей MDI выполняют аналогично изложенному в 7.6.2.4.

Измерения выполняют в диапазоне частот от 0,1 до 20 МГц при значении сопротивления резистора R, равном 100 Ом.

7.6.4 Интерфейс 100BASE-TX

Для измерения всех параметров применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.8, за исключением затухания отражения цепей передатчика и приемника.



R – резистор сопротивлением 100 Ом ± 0,2 %

Рисунок 7.8

Для частот до 100 МГц последовательная индуктивность резистора R не должна превышать 20 нГн, параллельная емкость не должна превышать 2 пФ.

При измерениях в ИО устанавливают режим непрерывной передачи сигнала с кодированием кодом MLT-3 исходной псевдослучайной последовательности с периодом повторения 2 047 бит. При определении искажения коэффициента заполнения используют исходную последовательность 01010101 NRZ.

7.6.4.1 При измерении дифференциального выходного напряжения регистрируют амплитудные значения напряжения V_{out} положительной и отрицательной полярностей. За результат измерения принимают скорректированные значения $+V_{out}$ и $-V_{out}$, как показано на рисунке В.10, которые используют для дальнейших вычислений.

Результат определения формы сигнала получают в виде сохраненного изображения сигнала при включении в ОЦ соответствующего шаблона.

7.6.4.2 Выброс формы сигнала ΔK (см. рисунок В.10) определяется отклонением формы импульса ΔV от скорректированного значения V_{out} и выражается в процентном отношении по формуле

$$\Delta K = \left| \frac{\Delta V}{V_{out}} \cdot 100 \right| . \qquad (7.5)$$

7.6.4.3 Симметрию амплитуды сигнала K_{ca} рассчитывают по формуле

$$K_{ca} = \frac{|+V_{out}|}{|-V_{out}|}, \qquad (7.6)$$

где $+V_{out}$ и $-V_{out}$ – дифференциальные выходные напряжения, измеренные в соответствии с 7.6.4.1.

7.6.4.4 Определение затухания отражения цепей передатчика и приемника выполняют аналогично изложенному в 7.6.2.4. Измерения выполняют в диапазоне частот от 2 до 80 МГц для значений сопротивления резистора R, равных 85, 100 и 115 Ом.

7.6.4.5 Длительности переднего и заднего фронтов измеряют осциллографом.

7.6.4.6 Для определения искажения коэффициента заполнения измеряют временную девиацию фронта или спада четырех последовательных переходов в точках последовательности, соответствующих уровню напряжения, равному 0,5 от амплитудного значения $+V_{out}$ или $-V_{out}$, как показано на рисунке В.11.

7.6.4.7 Джиттер измеряют аналогично изложенному в 7.6.2.5 в режиме непрерывной передачи сигнала с кодированием кодом MLT-3 исходной псевдослучайной последовательности с периодом повторения 2 047 бит.

7.6.5 Интерфейс 1000BASE-T

7.6.5.1 Измерения параметров интерфейса проводят для каждой пары проводов BI_DA, BI_DB, BI_DC и BI_DD (см. также таблицу Б.1).

7.6.5.2 Для обеспечения условий измерения параметров интерфейса 1000BASE-T формируются режимы блока PHY с помощью установки соответствующих битов в регистре управления GMII 9.13:15 в соответствии с таблицей 7.11. В случае реализации блока PHY без GMII должны быть предусмотрены средства, реализующие указанные режимы работы.

Таблица 7.11

Регистр команд интерфейса GMII			Режим работы, применение
9.15	9.14	9.13	
0	0	0	Нормальная работа
0	0	1	«Испытательный режим 1» – при определении пикового дифференциального выходного напряжения, максимального выходного смещения и форм сигнала на выходе передатчика
1	0	0	«Испытательный режим 4» – при измерении выходного напряжения общего вида

Алгоритмы формирования сигнала в режимах «Испытательный режим 1» «Испытательный режим 4» приведены в таблице 7.12.

Таблица 7.12

Испытательный режим	Вид последовательности
1	Непрерывная передача последовательности с периодом повторения 2 048 бит, содержащей следующие символы: – {от 1 до 127 бит символ «0», в 128 бите символ «+2»}; – {от 1 до 127 бит символ «0», в 128 бите символ «−2»}; – {от 1 до 127 бит символ «0», в 128 бите символ «+1»}; – {от 1 до 127 бит символ «0», в 128 бите символ «−1»}; – {от 1 до 128 бит символ «+2»; от 1 до 128 бит символ «−2»; от 1 до 128 бит символ «+2»; от 1 до 128 бит символ «−2»}; – {от 1 до 1 024 бит символ «0»}. Установку регистра управления GMII для формирования последовательности производят согласно таблице 7.11
4	Непрерывная передача последовательности символов, сформированной с помощью полинома $(1 + x^9 + x^{11})$, с периодом повторения 2 047 бит, с модуляцией PAM5. Первые три разряда регистра генератора и значение кода PAM5 – в соответствии с таблицей 7.13.

Таблица 7.13 – Импульсно-амплитудная модуляция PAM5

X2	X1	X0	PAM5
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	−1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	−2
1	1	1	−1

7.6.5.3 Для измерения пикового дифференциального выходного напряжения применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.9.

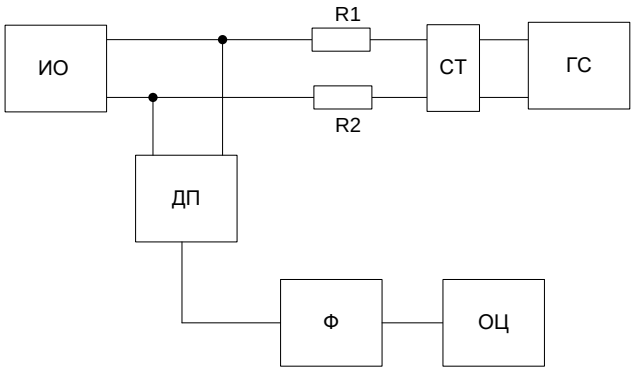
Фильтр должен иметь следующую передаточную функцию в области непрерывного времени или эквивалентную в области дискретного времени:

$$H_{tf}(f) = \frac{j \cdot f}{j \cdot f + 2 \cdot 10^6}, \qquad (7.7)$$

где j – мнимая величина;

f – частота, Гц.

Такой фильтр может быть реализован как цифровой фильтр в составе программного обеспечения цифрового осциллографа.



Ф – фильтр;
R1 и R2 – резисторы сопротивлением 50 Ом ± 0,5 %

Рисунок 7.9

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 1». С генератора ГС подают синусоидальный сигнал с частотой 31,25 МГц и размахом напряжения от пика до пика, равным 2,8 В.

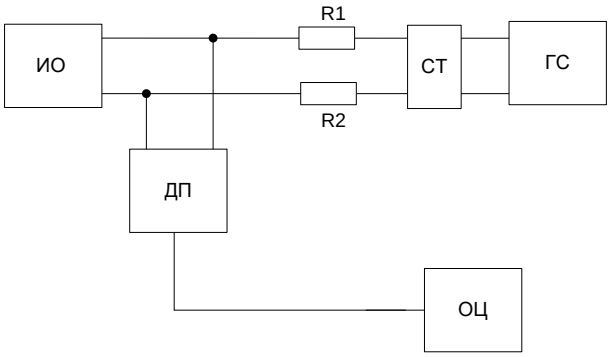
Осциллографом выполняют измерение напряжений в точках сигнала A, B, C и D (см. рисунок В.12).

Используя измеренные значения, вычисляют в процентном отношении:

– разность абсолютной величины пика сигнала в точках A и B от среднего значения абсолютных величин пиков сигнала в точках A и B;

– разность абсолютной величины пика сигнала в точках C и D от половины среднего значения абсолютных величин пиков сигнала в точках A и B.

7.6.5.4 Для определения максимального выходного смещения применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.10.



R1 и R2 – резисторы сопротивлением 50 Ом ± 0,5 %

Рисунок 7.10

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 1». С генератора ГС подают синусоидальный сигнал с частотой 31,25 МГц и размахом напряжения от пика до пика, равным 2,8 В.

Осциллографом выполняют измерение напряжений в точках сигнала G, F, J и H (см. рисунок В.12).

Используя измеренные значения, вычисляют в процентном отношении:

– разность величины отрицательного пика сигнала точке G от величины отрицательного пика сигнала в точке F;

– разность величины пика сигнала точке J от величины пика сигнала в точке H.

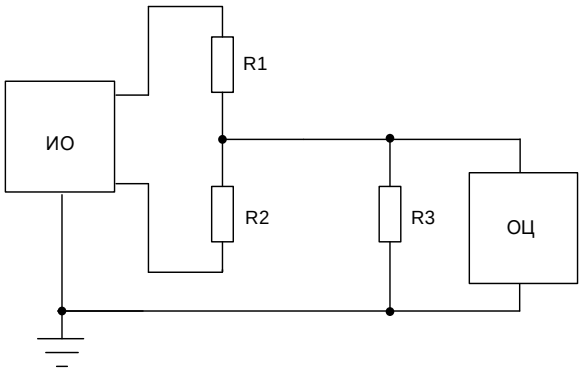
7.6.5.5 Для определения соответствия форм сигнала на выходе передатчика дифференциальным выходным шаблонам применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.9 (см. также рисунок В.12).

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 1». С ГС подают синусоидальный сигнал помехи с частотой 31,25 МГц и размахом напряжения от пика до пика, равным 2,8 В.

Результат определения форм сигнала получают в виде сохраненных изображений сигнала при включении в ОЦ соответствующего шаблона.

7.6.5.6 Определение затухания отражения цепей MDI передатчика/приемника выполняют аналогично изложенному в 7.6.2.4. Измерения выполняют в диапазоне частот от 1 до 100 МГц при значениях сопротивления резистора R, равных 85, 100 и 115 Ом.

7.6.5.7 Для измерения выходного напряжения общего вида цепей MDI применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.11.



R1 и R2 – резисторы сопротивлением 47,5 Ом ± 0,1 %
R3 – резистор сопротивлением 49,9 Ом ± 1 %

Рисунок 7.11

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 4». В осциллографе включают опцию быстрого преобразования Фурье.

Осциллографом измеряют амплитудное значение напряжения от пика до пика на частотах более 1 МГц.

7.6.6 Интерфейсы 2,5GBASE-T и 5GBASE-T

7.6.6.1 Измерения параметров интерфейсов проводят для каждой пары проводов (BI_DA, BI_DB, BI_DC и BI_DD) согласно таблице Б.1.

7.6.6.2 Для обеспечения условий измерения параметров интерфейсов 2,5GBASE-T или 5GBASE-T формируют режимы блока PHY с помощью установки соответствующих битов в регистре управления MDIO 1.132.15:13 в соответствии с таблицей 7.14.

Таблица 7.14

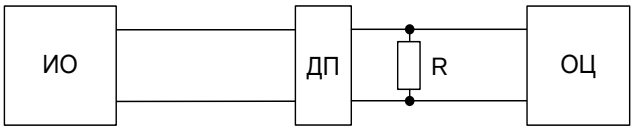
Регистр команд управления MDIO			Режим работы, применение
1.132.15	1.132.14	1.132.13	
0	0	0	Нормальная работа
0	1	0	«Испытательный режим 2» – при определении временного джиттера сигнала на выходе передатчика в режиме ВЕДУЩЕГО (MASTER)
1	0	1	«Испытательный режим 5» – при определении уровня мощности сигнала на выходе передатчика и спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика
1	1	0	«Испытательный режим 6» – при определении абсолютного значения положительного и отрицательного спада сигнала на выходе передатчика

Алгоритмы формирования сигнала в режимах «Испытательный режим 2» «Испытательный режим 5», «Испытательный режим 6» приведены в таблице 7.15.

Таблица 7.15

Испытательный режим	Вид последовательности
2	Передача PHY сигналов {два символа «+16», далее два символа «-16»} непрерывно от всех четырех передатчиков с выключенным THP и без отключения питания
5	Передача сигналов PHY при нормальном функционировании без отключения питания
6	Передача PHY последовательности символов данных An, Bn, Cn, Dn непрерывно от всех четырех передатчиков, с выключенным THP: {Сто двадцать восемь символов «+16», далее сто двадцать восемь символов «-16»}.

7.6.6.3 Для измерения абсолютного значения положительного или отрицательного спада сигнала на выходе передатчика применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.12.



R – резистор сопротивлением 100 Ом ± 0,1 %

Рисунок 7.12

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 6».

Спад выходного сигнала измеряют в диапазоне от начального значения, измеренного через 10 нс после пересечения сигналом нуля, до конечного значения, измеренного через 330 нс для интерфейса 2,5GBASE-T и 170 нс для интерфейса 5GBASE-T после пересечения сигналом нуля.

7.6.6.4 Для измерения временного джиттера сигнала на выходе передатчика применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.12.

В ИО устанавливают режим ВЕДУЩЕГО (MASTER).

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 2».

Временной джиттер определяют, как среднеквадратическое значение джиттера периода сигнала (RMS_{pj}), измеренное за интервал времени интегрирования 4 мс ± 10 % для интерфейса 2,5GBASE-T и 2 мс ± 10 % для интерфейса 5GBASE-T, по формуле

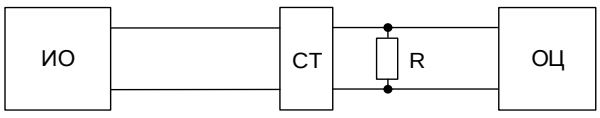
$$RMS_{pj}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\left(T_i-T_{cp}\right)^2\right]}{N}}, \qquad (7.8)$$

где N – число выборок в диапазоне от 180 000 до 220 000;

T_i – период сигнала, измеренный в *i*-й выборке;

T_{cp} – среднеарифметическое значение *N* выборок.

7.6.6.5 Для измерения уровня мощности сигнала на выходе передатчика и спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.13.



R – резистор сопротивлением 100 Ом ± 0,1 %

Рисунок 7.13

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 5».

В ОЦ включают опцию быстрого преобразования Фурье.

В ОЦ устанавливают ограничивающие маски уровней спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика.

Осциллографом определяют спектральную плотность мощности сигнала на выходе передатчика.

Результат определения спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика получают в виде сохраненного изображения.

Уровень мощности сигнала на выходе передатчика L_C вычисляют по формуле

$$L_C = 10 \cdot \log_{10}\left(\sum_{i=1}^{N} 10^{L_i/10}\right), \quad (7.9)$$

где L_i – уровень мощности, измеренный осциллографом в i-той полосе селекции, дБм;

N – целое число полос селекции.

7.6.6.6 Определение затухания отражения цепей MDI передатчика/приемника выполняют аналогично изложенному в 7.6.2.4.

Измерения выполняют в диапазоне частот от 1 до 125 МГц для интерфейса 2,5GBASE-T и от 1 до 250 МГц для интерфейса 5GBASE-T при значении сопротивления резистора R, равном 100 Ом.

7.6.7 Интерфейс 10GBASE-T

7.6.7.1 Измерения параметров интерфейса проводят для каждой пары проводов (BI_DA, BI_DB, BI_DC и BI_DD) согласно таблице Б.1.

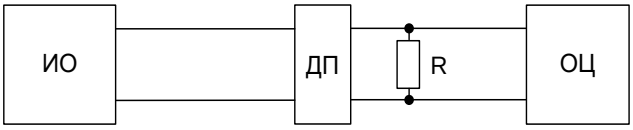
7.6.7.2 Для обеспечения условий измерения параметров интерфейсов 10GBASE-T формируются режимы блока PHY с помощью установки соответствующих битов в регистре управления MDIO 1.132.15:13 в соответствии с таблицей 7.16.

Таблица 7.16

Регистр команд управления MDIO			Режим работы, применение
1.132.15	1.132.14	1.132.13	
0	0	0	Нормальная работа
0	1	0	«Испытательный режим 2» – при определении временного джиттера сигнала на выходе передатчика в режиме ВЕДУЩЕГО (MASTER)
1	0	1	«Испытательный режим 5» – при определении уровня мощности сигнала на выходе передатчика и спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика
1	1	0	«Испытательный режим 6» – при определении абсолютного значения положительного и отрицательного спада сигнала на выходе передатчика

Алгоритмы формирования сигнала в режиме «Испытательный режим 2» «Испытательный режим 5», «Испытательный режим 6» – в соответствии с таблицей 7.15.

7.6.7.3 Для измерения абсолютного значения положительного или отрицательного спада сигнала на выходе передатчиков применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.14.



R – резистор сопротивлением 100 Ом ± 0,1 %

Рисунок 7.14

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 6».

Спад выходного сигнала измеряют в диапазоне от начального значения, измеренного через 10 нс после пересечения сигналом нуля, до конечного значения, измеренного через 90 нс после пересечения сигналом нуля.

7.6.7.4 Для измерения временного джиттера сигнала на выходе передатчика применяют схему измерений в соответствии с рисунком 7.14.

В ИО устанавливают режим ВЕДУЩЕГО (MASTER).

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 2».

Временной джиттер определяют как среднеквадратическое значение джиттера периода сигнала (RMS_{pj}), измеренное за интервал времени интегрирования 1 мс ± 10 %, по формуле

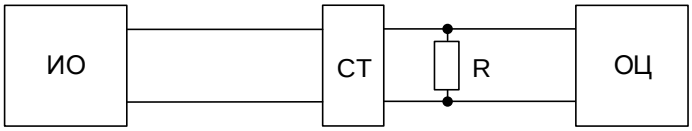
$$RMS_{pj}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\left(T_i-T_{cp}\right)^2\right]}{N}}, \qquad (7.10)$$

где N – число выборок в диапазоне 180 000 до 220 000;

T_i – период сигнала, измеренный в *i*-й выборке;

T_{cp} – среднеарифметическое значение *N* выборок.

7.6.7.5 Для измерения уровня мощности сигнала на выходе передатчика и спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика применяют схему измерения в соответствии с рисунком 7.15.



R – резистор сопротивлением 100 Ом ± 0,1 %

Рисунок 7.15

С ИО обеспечивают непрерывную передачу сигнала в режиме «Испытательный режим 5».

В ОЦ включают опцию быстрого преобразования Фурье.

В ОЦ устанавливают ограничивающие маски уровней спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика.

Осциллографом определяют спектральную плотность мощности сигнала на выходе передатчика.

Результат определения спектральной плотности мощности сигнала на выходе передатчика получают в виде сохраненного изображения.

Уровень мощности сигнала на выходе передатчика L_C вычисляют по формуле

$$L_C=10\cdot\log_{10}\left(\sum_{i=1}^{N}10^{L_i/10}\right), \qquad (7.11)$$

где L_i – уровень мощности, измеренный осциллографом в i-той полосе селекции, дБм;

N – целое число полос селекции.

7.6.7.6 Определение затухания отражения цепей MDI передатчика/приемника выполняют аналогично изложенному в 7.6.2.4.

Измерения выполняют в диапазоне частот от 1 до 500 МГц при значении сопротивления резистора R, равном 100 Ом.

8 Обработка и оценка результатов испытаний

8.1 Обработку результатов прямых измерений выполняют по ГОСТ 8.207.

Обработку результатов косвенных измерений выполняют в соответствии с [6].

При необходимости результат измерения сопровождается указанием неопределенности измерения.

Неопределенность измерения определяют в соответствии с ГОСТ 34100.3.

8.2 ИО считают выдержавшим испытания, если все результаты измерений соответствуют установленным требованиям.

9 Оформление результатов испытаний

Результаты испытаний оформляют протоколом.

Форма протокола устанавливается испытательной лабораторией. Содержание протокола должно соответствовать ГОСТ ISO/IEC 17025 (подраздел 7.8).

Приложение А
(справочное)

Процессы взаимодействия интерфейсов Ethernet со средой передачи на физическом уровне

А.1 Интерфейсы 10BASE-T и 10BASE-Te

А.1.1 Требования к параметрам электрического интерфейса 10BASE-T относятся к процессу взаимодействия блока MAU со средой передачи через интерфейс MDI, как показано на рисунке А.1.

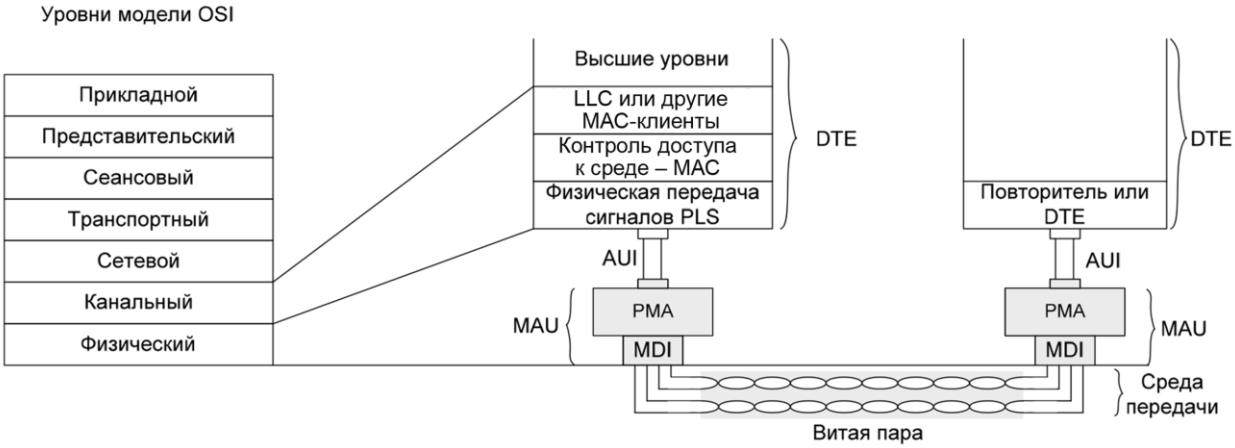


Рисунок А.1

А.1.2 Блок MAU выполняет следующие основные функции:

– поддерживает трафик сообщений на скорости передачи 10 Мбит/с;

– обеспечивает работу по витой паре длиной от 0 до 100 м без использования повторителей;

– работает с сигналами с уменьшенным пиковым дифференциальным напряжением в цепи TD для интерфейса 10BASE-Te.

Блок MAU интерфейса 10BASE-Te должен взаимодействовать с блоком MAU интерфейса 10BASE-T, если позволяют минимальные требования к кабелю для интерфейса 10BASE-Te.

А.1.3 Передатчик блока MAU при окончании передачи данных в цепи TD передает сигнал TP_IDL, указывающий на начало ожидания передачи кадров, затем следует периодическая последовательность пауз и импульсов проверки соединения NLP. После импульса TP_IDL периодическая последовательность должна начинаться с паузы.

А.2 Интерфейс 10BASE-T1L

А.2.1 Требования к параметрам электрического интерфейса 10BASE-T1L относятся к процессу взаимодействия блока PHY со средой передачи через интерфейс MDI, как показано на рисунке А.2.

А.2.2 Блок PHY выполняет следующие основные функции:

– поддерживает дуплексную передачу данных по одной симметричной проводной паре со скоростью передачи данных 10 Мбит/с в каждом направлении одновременно;

– обеспечивает работу до десяти повторителей с суммарной дальностью до 1000 метров;

– формирует трехуровневую импульсную модуляцию (PAM3) в среде передаче данных со скоростью 7,5 Мбод;

– формирует сигнал с номинальным выходным напряжением 1,0 В (и дополнительно поддерживает сигнал с номинальным выходным напряжением 2,4 В).

А.2.3 Функции AN используются блоками 10BASE-T1L, чтобы обнаружить способности (режимы работы), поддерживаемые устройством на другом конце сегмента связи. Функции AN выполняются, используя полудуплексный режим работы, применяя дифференциальное Манчестерское кодирование сигналов.

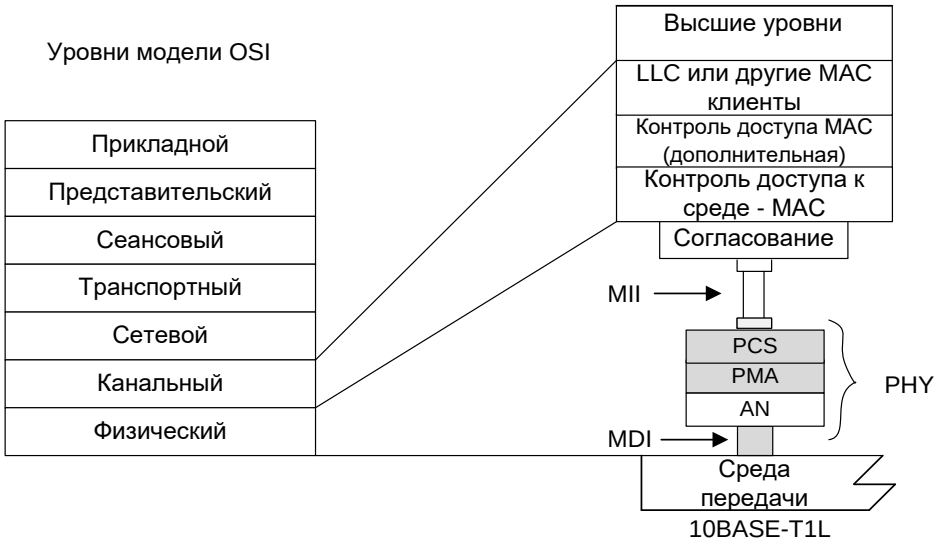


Рисунок А.2

А.2.4 Блок PMA передает сообщения от блока PCS к MDI и обеспечивает восстановление синхронизации, управление связью и функции контроля блока PHY.

А.3 Интерфейс 100BASE-TX

А.3.1 Физический уровень интерфейса 100BASE-TX содержит два подуровня:
– подуровень, зависящий от среды передачи (PMD);
– подуровень протокола физического уровня (PHY).

А.3.2 Устройство PMD, соединенное с линией связи, выполненной в виде неэкранированной проводной витой пары (UTP), должно функционировать с длиной линии до 100 м.

Соединение между двумя станциями на физическом уровне показано на рисунке А.3.

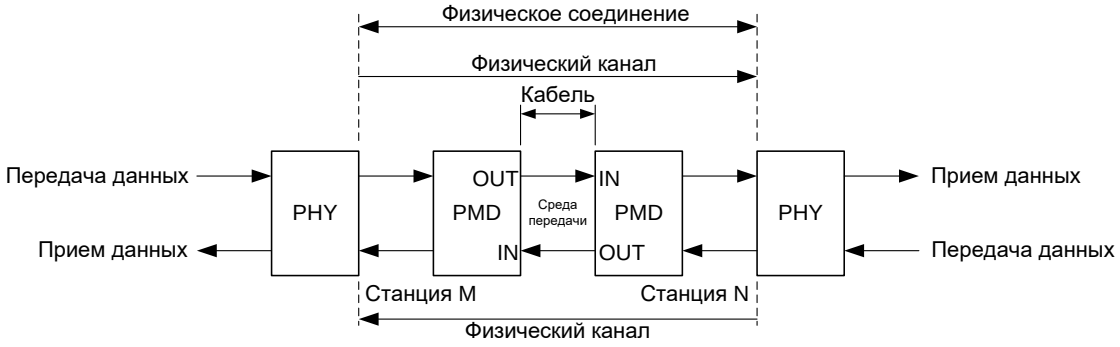


Рисунок А.3

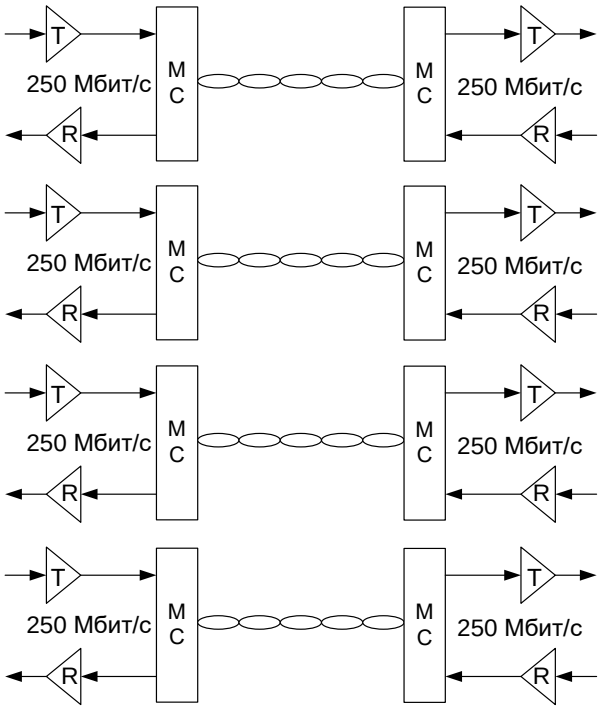
А.4 Интерфейс 1000BASE-T

А.4.1 Требования к параметрам электрического интерфейса 1000BASE-T относятся к процессу взаимодействия блока PHY со средой передачи через интерфейс MDI, как показано на рисунке А.4.

А.4.2 Блок PHY использует полнодуплексную передачу в полосе частот четырех симметричных пар категории 5 как показано на рисунке А.5.

Совокупная скорость передачи в 1 000 Мбит/с достигается передачей данных по каждой проводной паре со скоростью 250 Мбит/с. Использование мостовых схем и компенсаторов позволяет иметь возможность обеспечить режим полного дуплекса. Передача сигналов в каждой паре проводов производится со скоростью модуляции 125 Мбайт/с. Скорость модуляции 125 Мбайт/с соответствует тактовой скорости интерфейса GMII, равной 125 МГц, и периоду передачи символа, равному 8 нс.

Рисунок А.4



T – передатчик; R – приемник; MC – мостовая схема

Рисунок А.5

А.5 Интерфейсы 2,5GBASE-T и 5GBASE-T

А.5.1 Требования к параметрам электрических интерфейсов 2,5GBASE-T и 5GBASE-T относятся к процессу взаимодействия блоков PHY со средой передачи через интерфейс MDI, как показано на рисунке А.6.

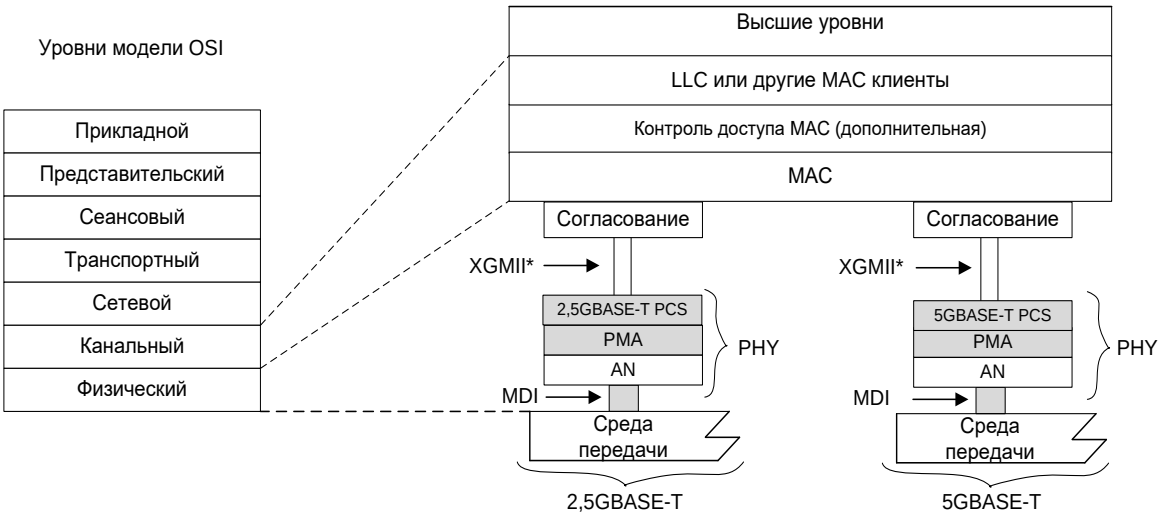
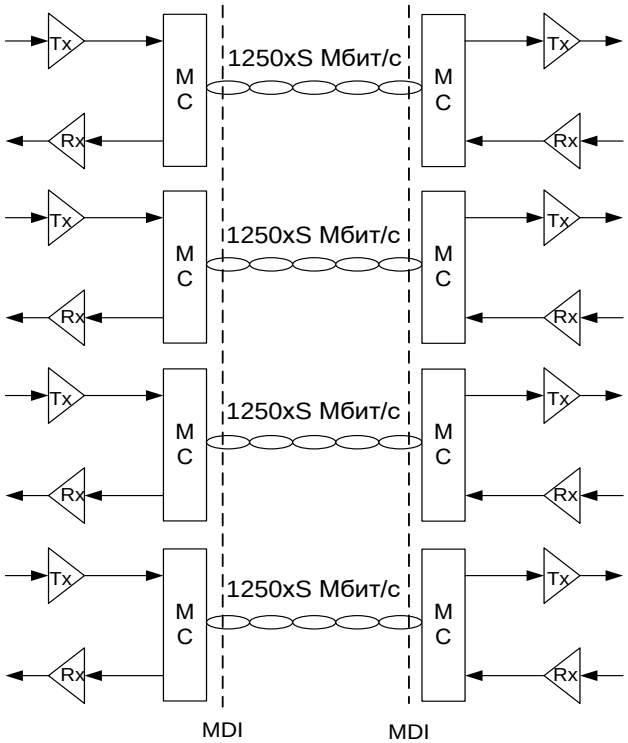


Рисунок А.6

А.5.2 Блоки 2,5GBASE-T PCS, 5GBASE-T PCS и PMA, составляющие физический уровень, предназначены для работы по четырем симметричным витым проводным парам. Совокупная скорость передачи в 2,5 Гбит/с и 5 Гбит/с достигается передачей данных по каждой проводной паре со скоростью модуляции 625 Мбит/с и 1250 Мбит/с соответственно (см. рисунок А.7). Использование мостовых схем и компенсаторов позволяет иметь возможность обеспечить режим дуплекса.



Tx – передатчик; Rx – приемник; MC – мостовая схема; S = 0,5 для скорости передачи данных 2,5 Гбит/с и S = 1 для скорости передачи данных 5 Гбит/с

Рисунок А.7

А.6 Интерфейс 10GBASE-T

А.6.1 Требования к параметрам электрического интерфейса 10GBASE-T относятся к процессу взаимодействия блоков PHY со средой передачи через интерфейс MDI, как показано на рисунках А.8 и А.9.

А.6.2 Блок PHY поддерживает дуплексную передачу данных по четырем парам кабеля с симметричными витыми проводными линиями с длиной линии до 100 метров.

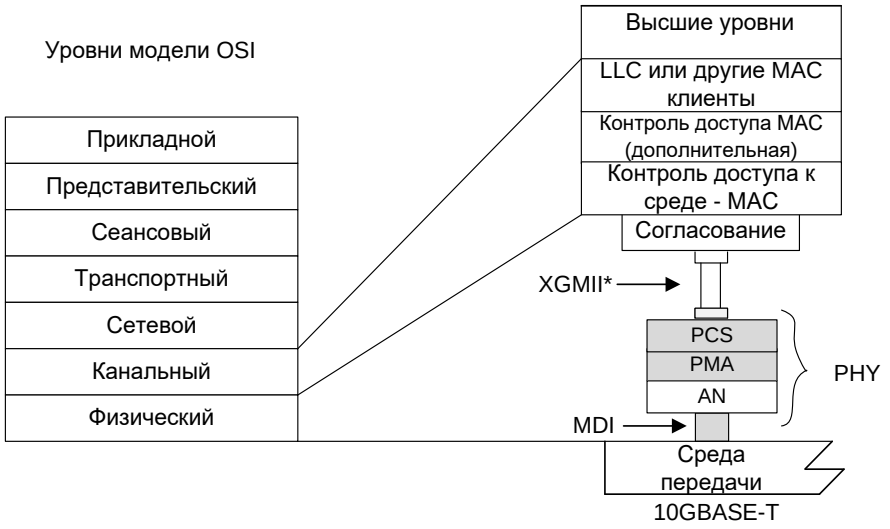
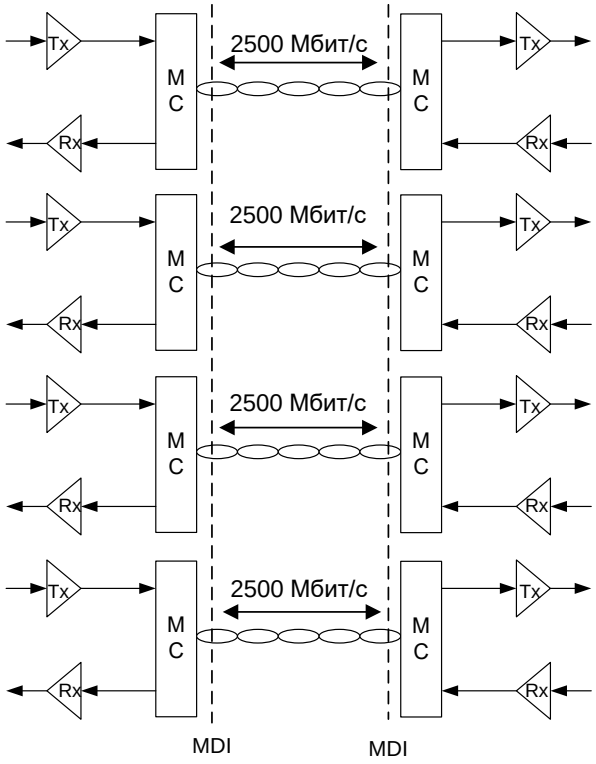


Рисунок А.8



Tx – передатчик; Rx – приемник; MC – мостовая схема

Рисунок А.9

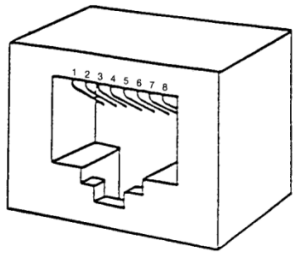
Приложение Б
(справочное)

Общий вид разъемных соединителей для интерфейсов Ethernet

Б.1 Общий вид разъемных соединителей для интерфейсов 10BASE-T, 10BASE-Te, 100BASE-TX, 1000BASE-T, 2,5GBASE-T, 5GBASE-T и 10GBASE-T, соответствующих [3], показан на рисунке Б.1.

Примечание – В документации данный соединитель может обозначаться как RJ45 (Registered Jack #45 – зарегистрированный соединитель № 45) или 8P8C (8 Position 8 Contact – 8-контактный 8-позиционный модульный соединитель).

Соответствие сигналов MDI и MDI-X номерам контактов разъемных соединителей приведено в таблице Б.1.



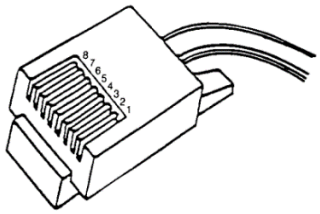


Рисунок Б.1

Таблица Б.1

Номер контакта	10BASE-T		100BASE-TX		1000BASE-T, 2,5GBASE-T, 5GBASE-T, 10GBASE-T	
	Сигнал MDI	Сигнал MDI-X	Сигнал MDI	Сигнал MDI-X	Сигнал MDI	Сигнал MDI-X
1	TD+	RD+	TD+	RD+	BI_DA+	BI_DB+
2	TD−	RD−	TD−	RD−	BI_DA−	BI_DB−
3	RD+	TD+	RD+	TD+	BI_DB+	BI_DA+
4	–	–	–	–	BI_DC+	BI_DD+
5	–	–	–	–	BI_DC−	BI_DD−
6	RD−	TD−	RD−	TD−	BI_DB−	BI_DA−
7	–	–	–	–	BI_DD+	BI_DC+
8	–	–	–	–	BI_DD−	BI_DC−
Примечание – Для интерфейса 1000BASE-T обозначение сигналов соответствует PMA.						

Б.2 Основная (T568A) и дополнительная (T568B) цветовые раскраски изоляции проводов в соответствии [7] (пункт 6.2.1) приведены в таблице Б.2.

Таблица Б.2

Номер контакта RJ45 (8P8C)	T568A	T568B
1	Бело-зелёный	Бело-оранжевый
2	Зелёный	Оранжевый
3	Бело-оранжевый	Бело-зеленый
4	Синий	Синий
5	Бело-синий	Бело-синий
6	Оранжевый	Зеленый
7	Бело-коричневый	Бело-коричневый
8	Коричневый	Коричневый

Б.3 Общий вид разъемных соединителей для интерфейса 10BASE-T1L, соответствующих [4], показан на рисунке Б.2, соответствующих [5] – на рисунке Б.3 Соответствие сигналов номерам контактов разъемных соединителей приведено в таблице Б.3.

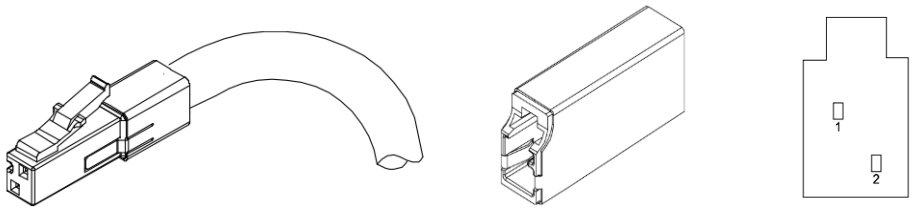


Рисунок Б.2

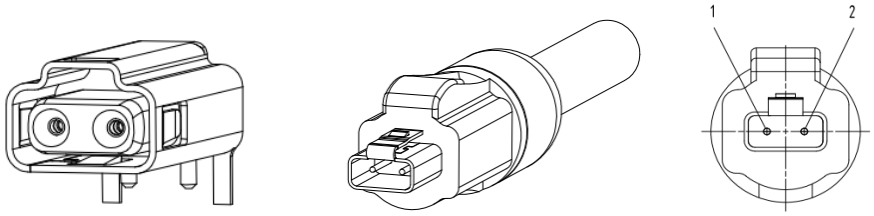
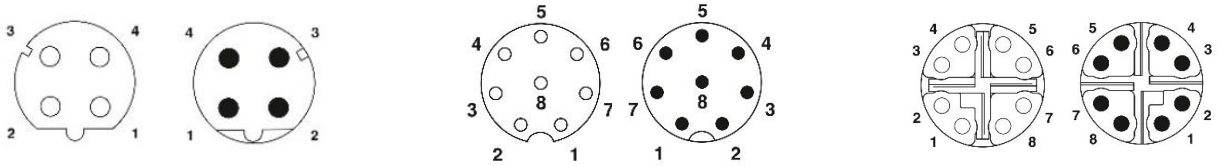


Рисунок Б.3

Таблица Б.3

Номер контакта	Сигнал PMA
1	BI_DA+
2	BI_DA−

Б.4 Для использования в промышленных условиях могут применяться разъемные цилиндрические соединители M12 в соответствии с [8]. Соединители различаются числом контактов, конструкцией (прямые, угловые), типом кодировки. Для интерфейсов Ethernet применяют 4- и 8-контактные соединители с кодировкой A, D и X. Нумерация контактов соединителей M12 с различной кодировкой приведена на рисунке Б.4.



Кодировка D Кодировка A Кодировка X

Рисунок Б.4

Соответствие номеров контактов соединителя RJ45 (8P8C) номерам контактов соединителей M12 приведено в таблице Б.4.

Таблица Б.4

Номер контакта RJ45 (8P8C)	Номер контакта M12, 4-контактный, кодировка D	Номер контакта M12, 8-контактный, кодировка A	Номер контакта M12, 8-контактный, кодировка X
1	1	6	1
2	3	4	2
3	2	5	3
4	–	7	8
5	–	1	7
6	4	8	4
7	–	2	5
8	–	3	6

Приложение В
(обязательное)

Формы и спектральная плотность мощности сигналов на выходе передатчика

В.1 Интерфейсы 10BASE-T и 10BASE-Te

В.1.1 Форма сигнала на выходе передатчика для всех последовательностей данных должна находиться в пределах шаблона, приведенного на рисунке В.1. Требование должно выполняться при нагрузке ТРМ на сопротивление 100 Ом. Реализация ТРМ должна соответствовать рисункам В.2 и В.3.

Координаты шаблона приведены в таблице В.1. Напряжение шаблона может быть масштабировано с коэффициентом от 0,9 до 1,1.

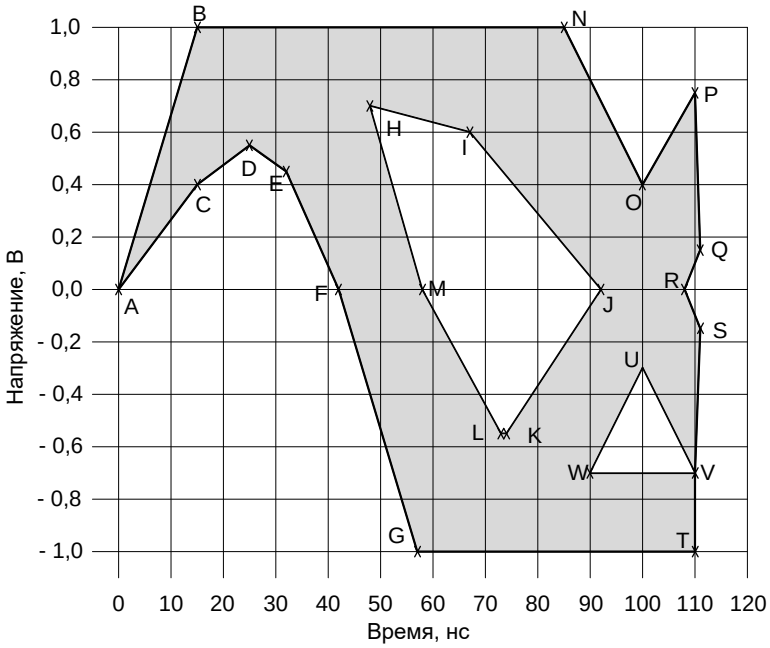


Рисунок В.1

Таблица В.1

Точка на рисунке В.1	Значение на оси «Время», нс	Значение на оси «Напряжение», В
A	0	0,0
B	15	1,0
C	15	0,4
D	25	0,55
E	32	0,45
F	42	0,0
G	57	−1,0
H	48	0,7
I	67	0,6
J	92	0,0
K	74	−0,55
L	73	−0,55
M	58	0,0
N	85	1,0
O	100	0,4
P	110	0,75
Q	111	0,15

Окончание таблицы В.1

Точка на рисунке В.1	Значение на оси «Время», нс	Значение на оси «Напряжение», В
R	108	0,0
S	111	−0,15
T	110	−1,0
U	100	−0,3
V	110	−0,7
W	90	−0,7

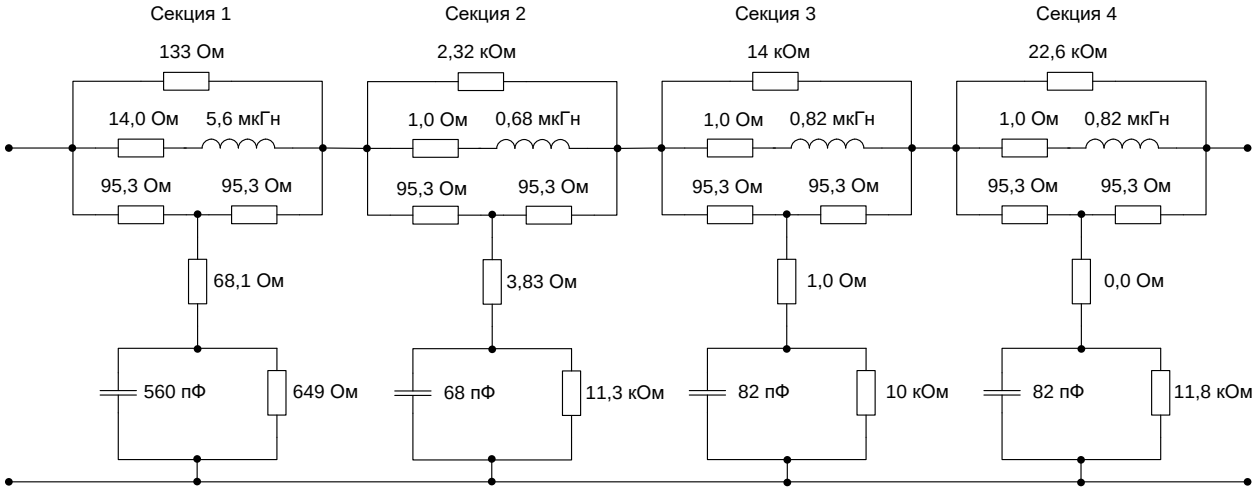


Рисунок В.2 – Модель витой пары для интерфейса 10BASE-T

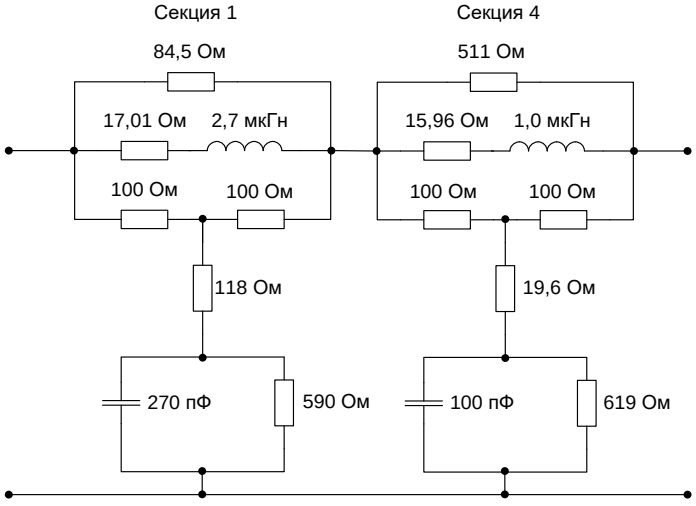
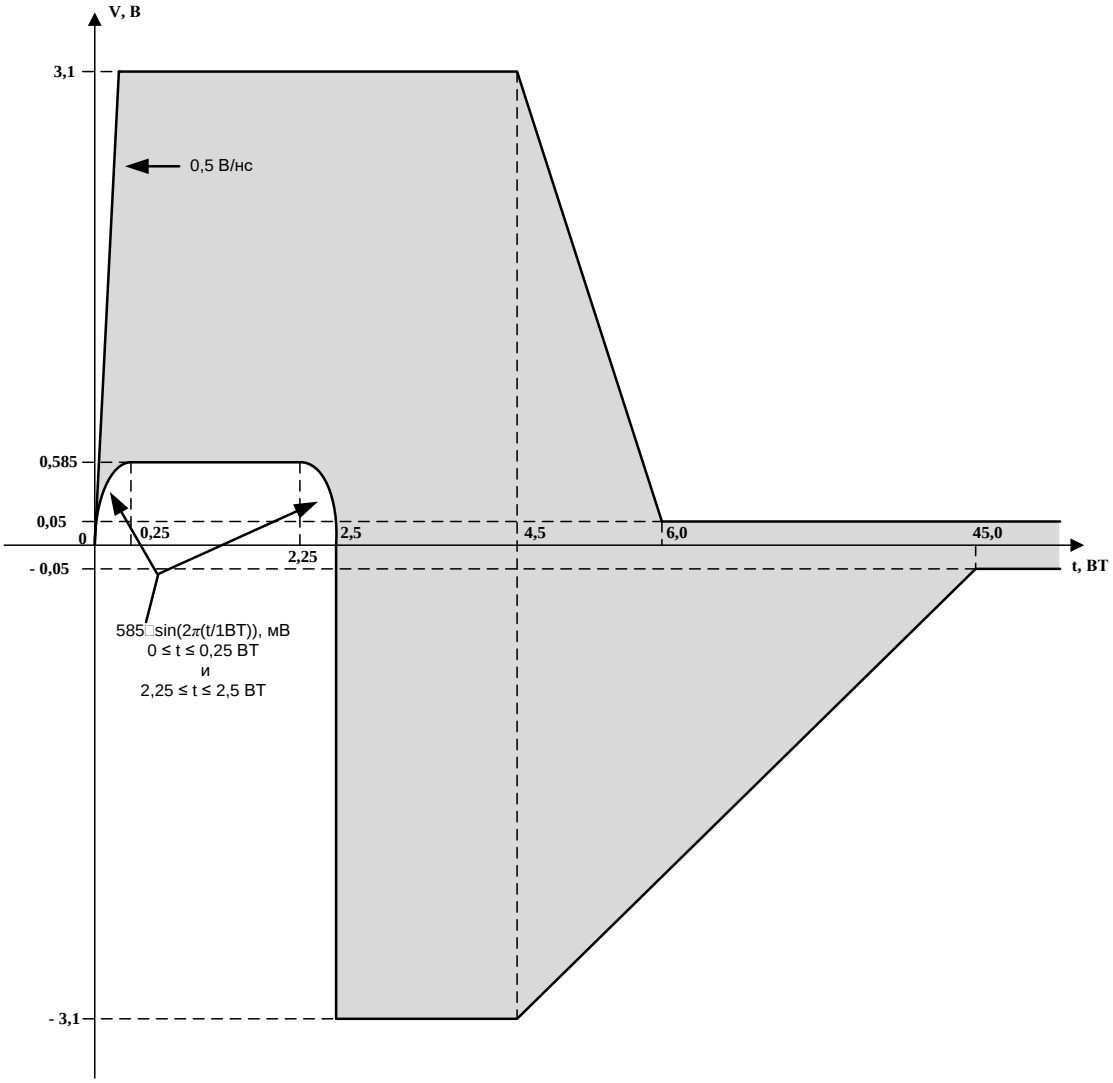


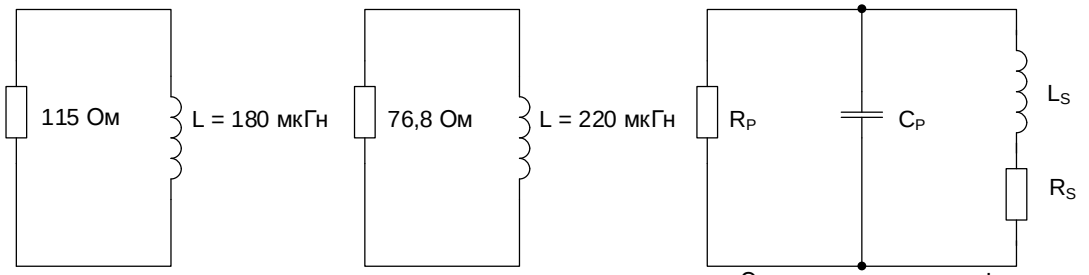
Рисунок В.3 – Модель витой пары для интерфейса 10BASE-Te

В.1.2 Форма сигнала на выходе передатчика для импульса TP_IDL должна находиться в пределах шаблона, приведенного на рисунке В.4. Требование должно выполняться для каждой из испытательных нагрузок (Нагрузка 1 и Нагрузка 2), приведенных на рисунке В.5, как при непосредственном подключении нагрузки к цепи передачи, так и при подключении нагрузки через ТРМ (см. рисунки В.2 и В.3).



ВТ – длительность одного бита, равная 100 нс

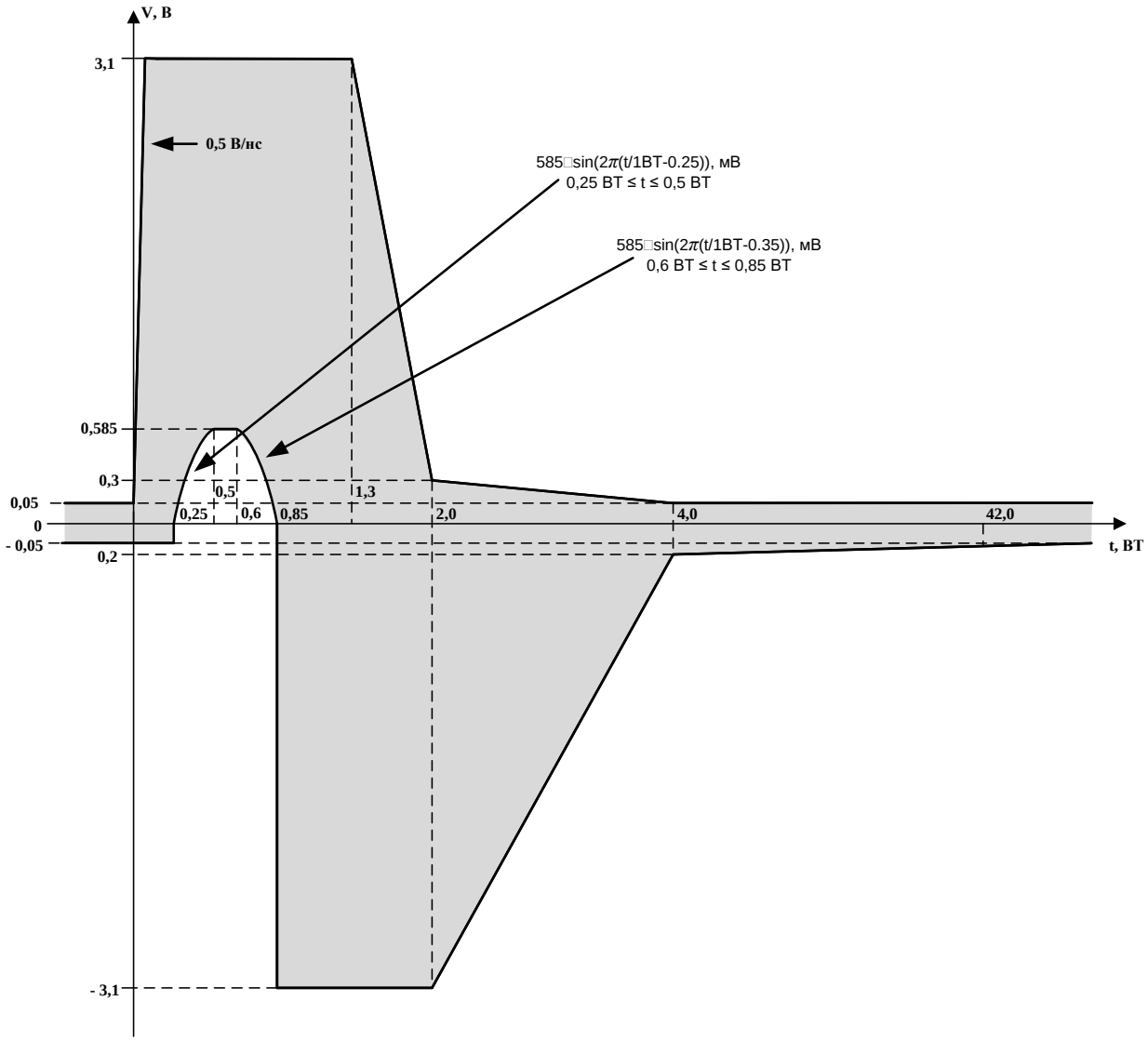
Рисунок В.4



$R_P \geq 2$ кОм, $C_P = 12$ пФ ± 20 %, $R_S \leq 0{,}5$ Ом, $L_S = L \pm 1$ %.
Элементы эквивалентной схемы L определены в диапазоне частот от 250 кГц до 6 МГц

Рисунок В.5

В.1.3 Форма сигнала на выходе передатчика для импульса проверки соединения NLP должна находиться в пределах шаблона, приведенного на рисунке В.6. Требование должно выполняться для каждой из испытательных нагрузок (Нагрузка 1 и Нагрузка 2), приведенных на рисунке В.5, как при непосредственном подключении нагрузки к цепи передачи, так и при подключении нагрузки через ТРМ (см. рисунки В.2 и В.3).



BT – длительность одного бита, равная 100 нс

Рисунок В.6

В.2 Интерфейс 10BASE-T1L

Спектральная плотность мощности сигнала на выходе передатчика, измеренная на нагрузке 100 Ом, должна находиться между верхним пределом маски (PSD_U) и нижним пределом маски (PSD_L).

Маска PSD для режима работы при номинальном выходном напряжении 1,0 В приведена на рисунке В.7. Координаты маски приведены в таблице В.2.

Маска PSD для режима работы при номинальном выходном напряжении 2,4 В приведена на рисунке В.8. Координаты маски приведены в таблице В.3.

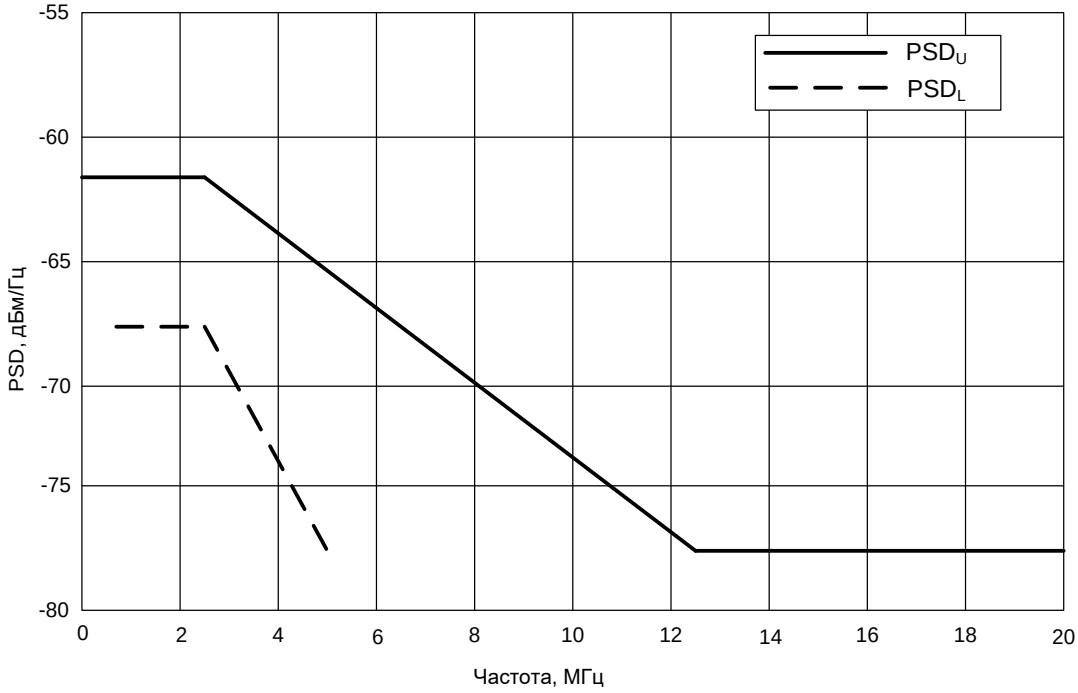


Рисунок В.7

Таблица В.2

Предел маски PSD	Полоса частот *f*, МГц	Значение PSD, дБм/Гц
PSD_U	От 0 до 2,5 включ.	−61,6
	2,5−12,5	$-61{,}6 - 1{,}6\cdot(f - 2{,}5)$
	От 12,5 до 20 включ.	−77,6
PSD_L	От 0,625 до 2,5 включ.	−67,6
	Св. 2,5 до 5 включ.	$-67{,}6 - 4\cdot(f - 2{,}5)$

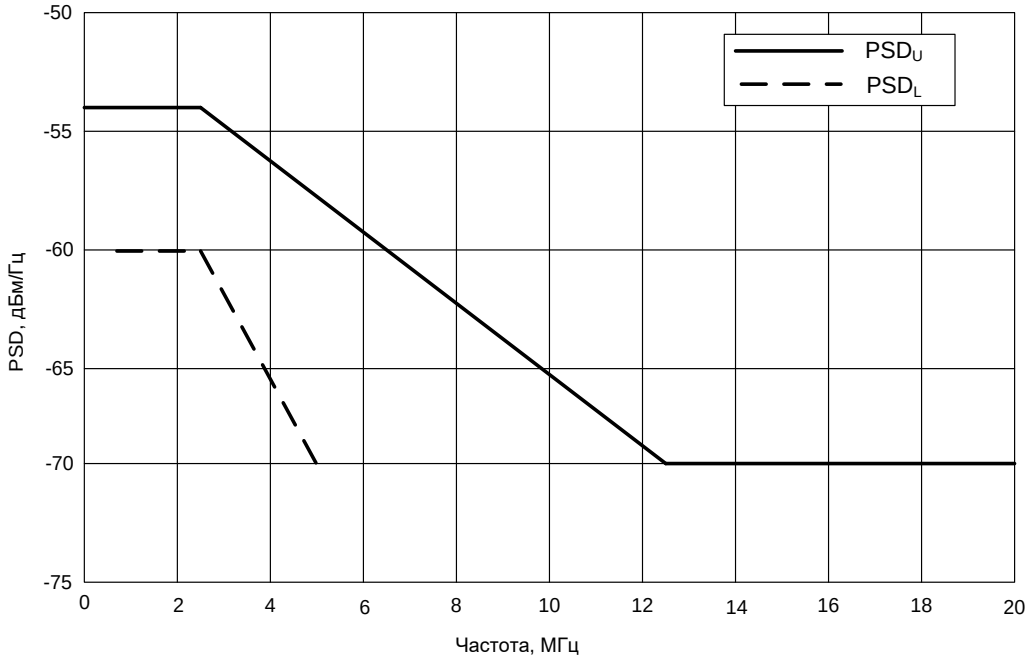


Рисунок В.8

Таблица В.3

Предел маски PSD	Полоса частот *f*, МГц	Значение PSD, дБм/Гц
PSD_U	От 0 до 2,5 включ.	−54
	2,5−12,5	−54 – 1,6·(*f* – 2,5)
	От 12,5 до 20 включ.	−70
PSD_L	От 0,625 до 2,5 включ.	−60
	Св. 2,5 до 5 включ.	−60 – 4·(*f* – 2,5)

В.3 Интерфейс 100BASE-TX

Форма сигнала на выходе передатчика должна находиться в пределах шаблона, приведенного на рисунке В.9. Напряжение шаблона может быть масштабировано с коэффициентом от 0,95 до 1,05. Выброс формы сигнала определяется отклонением формы импульса от скорректированного значения, как показано на рисунке В.10.

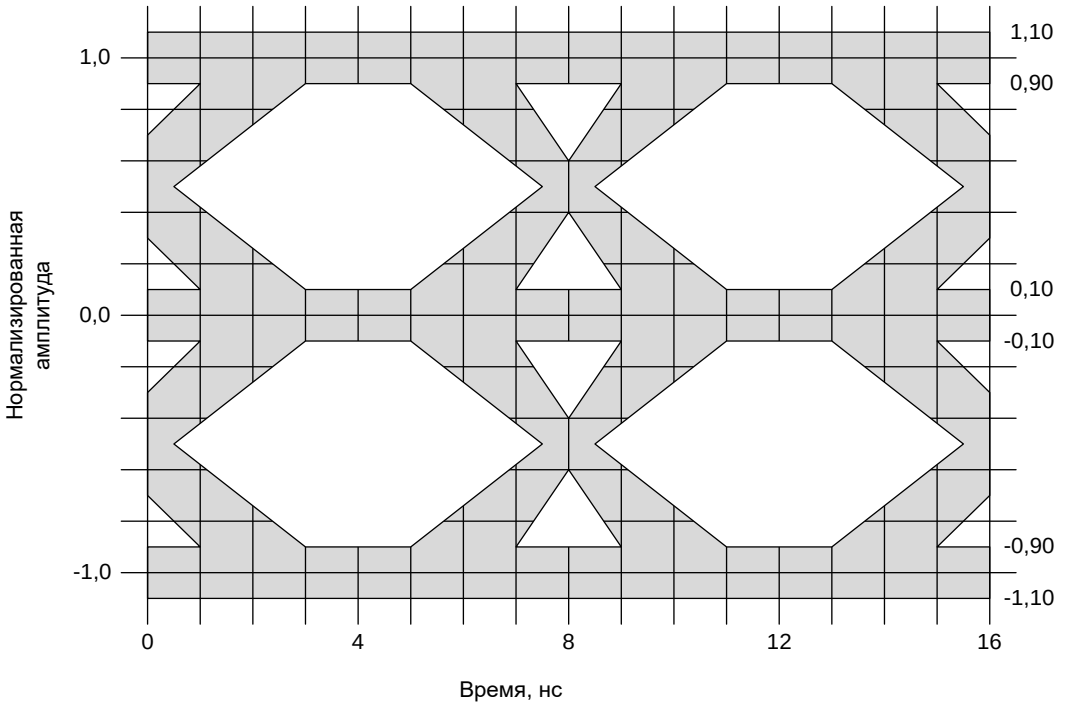


Рисунок В.9

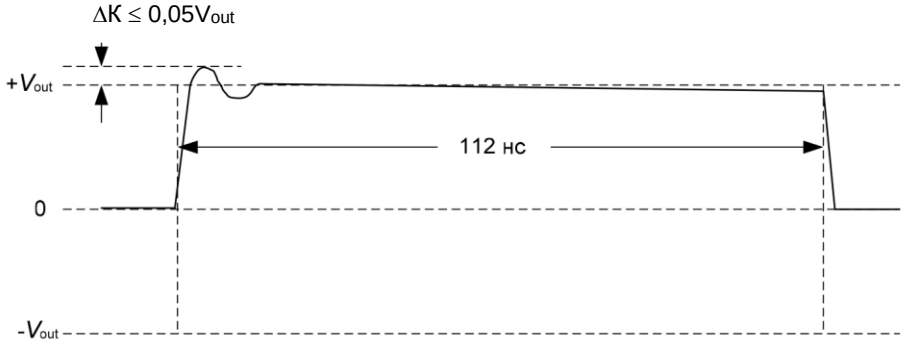


Рисунок В.10

Искажение коэффициента заполнения импульсов определяется на переднем и заднем фронтах дифференциальной выходной формы сигнала в точках с 50%-ным уровнем напряжения. Для формирования выходного сигнала должна использоваться исходная последовательность 01010101 NRZ. Результатом являются отклонения точек от интервала времени 16 нс, как показано на рисунке В.11.

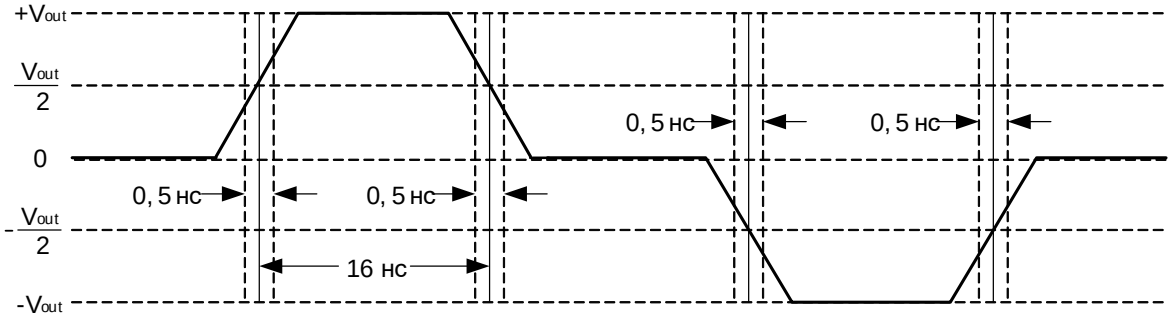


Рисунок В.11

В.4 Интерфейс 1000BASE-T

В.4.1 Форма сигнала на выходе передатчика для «Испытательного режима 1» (см. таблицу 7.11) приведена на рисунке В.12.

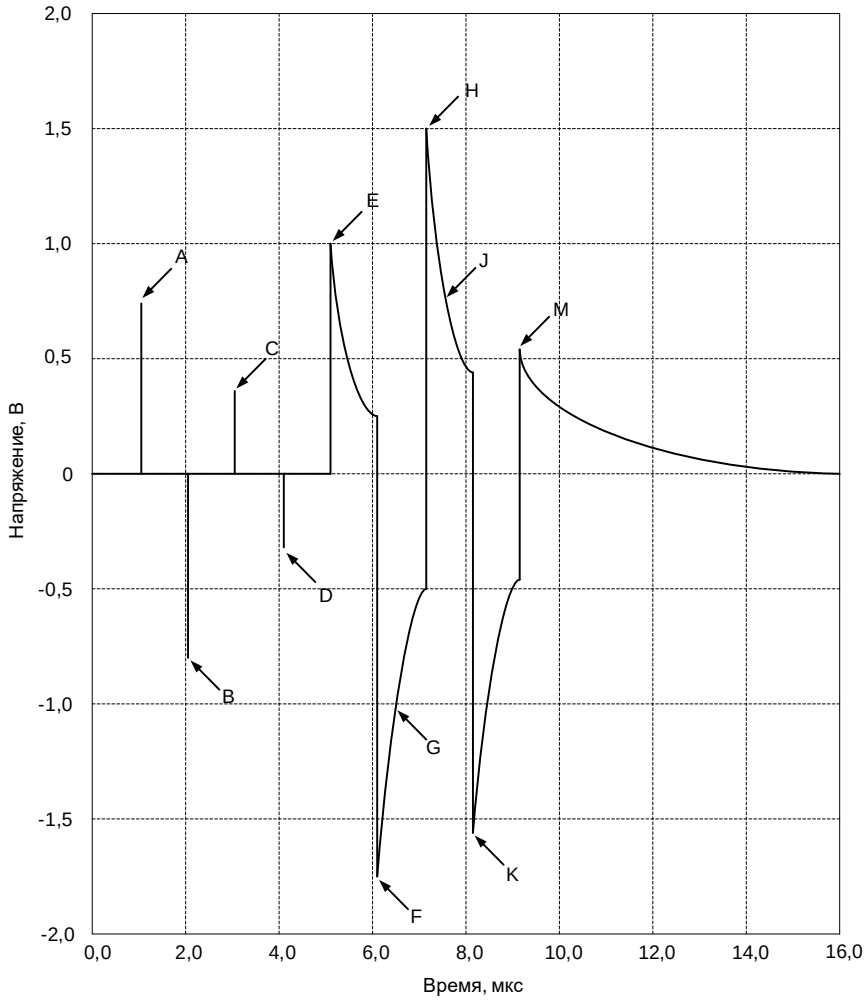


Рисунок В.12

B.4.2 Пиковое дифференциальное выходное напряжение (см. также рисунок B.12)

Абсолютное значение пика сигнала в точках A и B должно быть в диапазоне от 0,67 до 0,82 В.

Отличие абсолютного значения пика сигнала в точках A и B от среднего значения абсолютных значений пиков сигнала в точках A и B должно быть не более 1 %.

Отличие абсолютного значения пика сигнала в точках C и D от половины среднего абсолютных значений пиков сигнала в точках A и B должно быть не более 2 %.

B.4.3 Максимальное выходное смещение (см. также рисунок B.12)

Отличие абсолютного значения отрицательного пика сигнала в точке G от абсолютного значения отрицательного пика сигнала в точке F должно быть не менее 73,1 %. Точка G определяется после точки F через 500 нс.

Отличие абсолютного значения пика сигнала в точке J от абсолютного значения пика сигнала в точке H должно быть не менее 73,1 %. Точка J определяется после точки H через 500 нс.

B.4.4 Формы сигналов на выходе передатчиков (см. также рисунок B.12)

Нормализованная форма сигнала вблизи точек A, B, C и D должна находиться в пределах шаблона, приведенного на рисунке B.13.

Форма сигнала вблизи точки A нормализуется делением на значение пика сигнала в точке A.

Форма сигнала вблизи точки B нормализуется делением на значение пика сигнала в точке A, взятое со знаком минус.

Форма сигнала вблизи точки C нормализуется делением на 0,5 значения пика сигнала в точке A.

Форма сигнала вблизи точки D нормализуется делением на 0,5 значения пика сигнала в точке A, взятого со знаком минус.

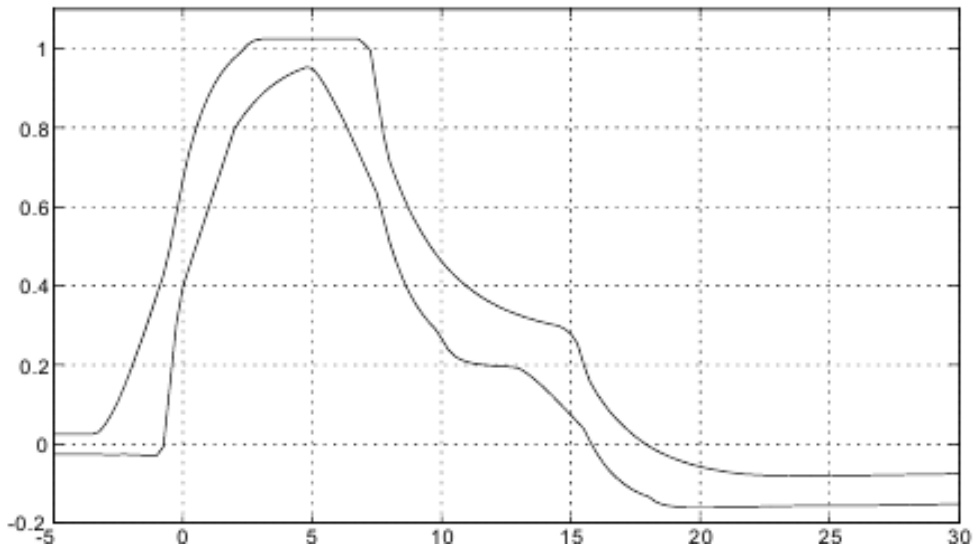


Рисунок B.13

Нормализованная форма сигнала вблизи точек F и H должна находиться в пределах шаблона, приведенного на рисунке B.14.

Форма сигнала вблизи точки F нормализуется делением на значение пика сигнала в точке F.

Форма сигнала вблизи точки H нормализуется делением на значение пика сигнала в точке H.

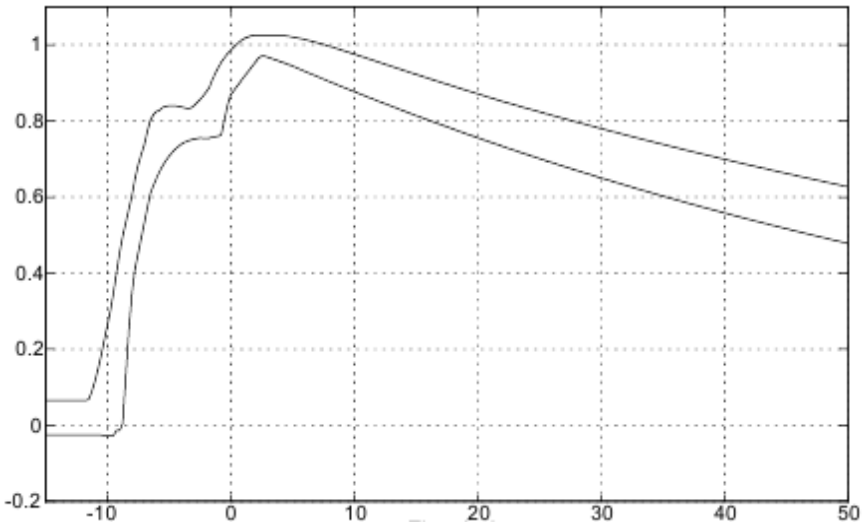


Рисунок В.14

В.5 Интерфейсы 2,5GBASE-T и 5GBASE-T

Спектральная плотность мощности сигнала на выходе передатчика, измеренная на нагрузке 100 Ом, должна находиться между верхним пределом маски (PSD_U) и нижним пределом маски (PSD_L).

Маска PSD для интерфейса 2,5GBASE-T приведена на рисунке В.15. Координаты маски приведены в таблице В.4.

Маска PSD для интерфейса 5GBASE-T приведена на рисунке В.16. Координаты маски приведены в таблице В.5.

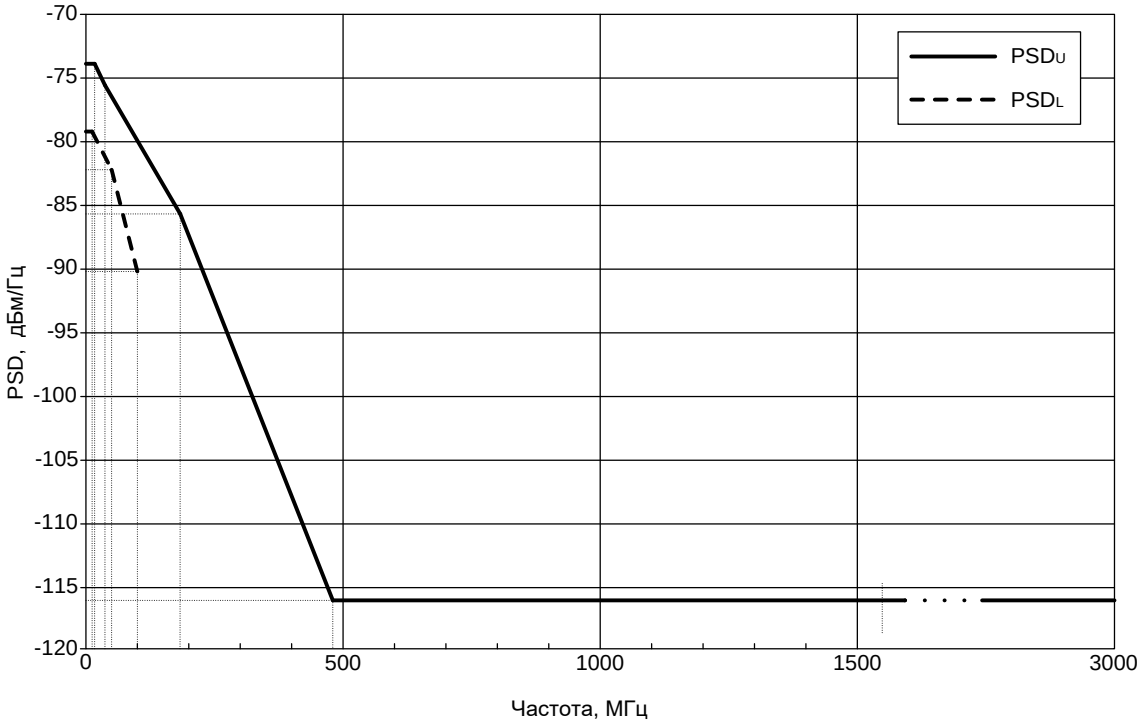


Рисунок В.15

Таблица B.4

Предел маски PSD	Полоса частот *f*, МГц	Значение PSD, дБм/Гц
PSD_U	От 0 до 17,5 включ.	−74,7
	Св. 17,5 до 37,5 включ.	−74,7 – (*f* – 17,5)/20
	Св. 37,5 до 182,5 включ.	−75,7 – (*f* – 37,5)/14,5
	Св. 182,5 до 485,5 включ.	−75,7 – (*f* – 82,5)/10
	Св. 485,5 до 3000 включ.	−116
PSD_L	От 1,25 до 12,5 включ.	−79,2
	Св. 12,5 до 50 включ.	−79,2 – (*f* – 12,5)/12,5
	Св. 50 до 100 включ.	−82,2 – (*f* – 50)/6,25

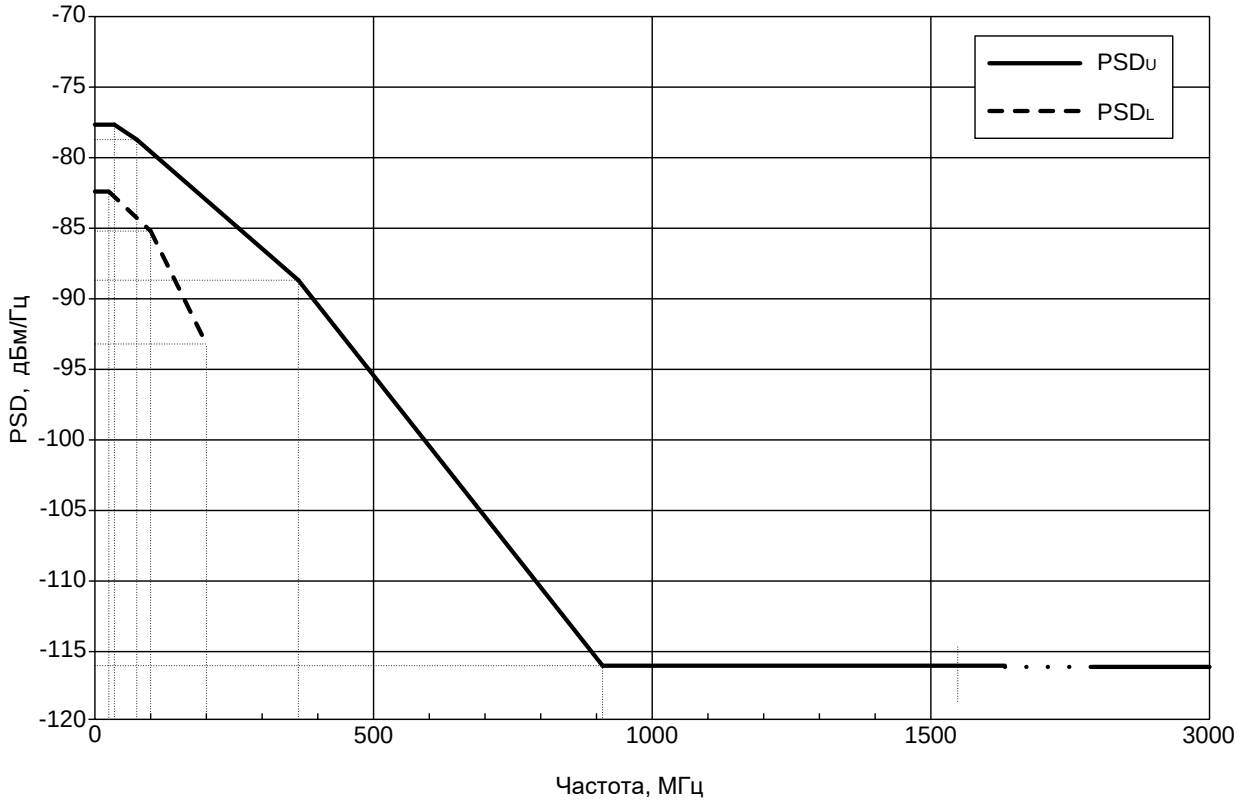


Рисунок B.16

Таблица B.5

Предел маски PSD	Полоса частот *f*, МГц	Значение PSD, дБм/Гц
PSD_U	От 0 до 35 включ.	−77,7
	Св. 35 до 75 включ.	−77,7 – (*f* – 35)/40
	Св. 75 до 365 включ.	−78,7 – (*f* – 75)/29
	Св. 365 до 911 включ.	−78,7 – (*f* – 165)/20
	Св. 911 до 3000 включ.	−116
PSD_L	От 2,5 до 25 включ.	−82,2
	Св. 25 до 100 включ.	−82,2 – (*f* – 25)/25
	Св. 100 до 200 включ.	−85,2 – (*f* – 100)/12,5

В.6 Интерфейс 10GBASE-T

Спектральная плотность мощности сигнала на выходе передатчика, измеренная на нагрузке 100 Ом, должна находиться между верхним пределом маски (PSD_U) и нижним пределом маски (PSD_L).

Маска PSD приведена на рисунке В.17. Координаты маски приведены в таблице В.6.

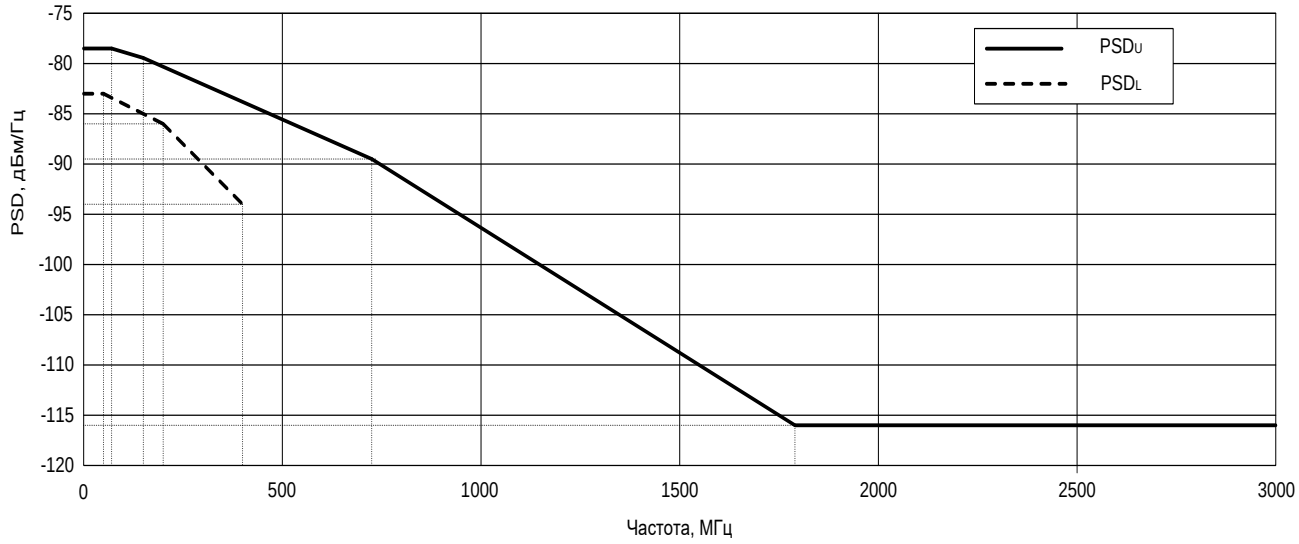


Рисунок В.17

Таблица В.6

Предел маски PSD	Полоса частот *f*, МГц	Значение PSD, дБм/Гц
PSD_U	От 0 до 70 включ.	−78,5
	Св. 70 до 150 включ.	−78,5 – (*f* – 70)/80
	Св. 150 до 730 включ.	−79,5 – (*f* – 150)/58
	Св. 730 до 1790 включ.	−79,5 – (*f* – 330)/40
	Св. 1790 до 3000 включ.	−116
PSD_L	От 5 до 50 включ.	−83
	Св. 50 до 200 включ.	−83 – (*f* – 50)/50
	Св. 200 до 400 включ.	−86 – (*f* – 200)/25

Библиография

[1] IEEE Std 802.3-2022 — IEEE Standard for Ethernet (Стандарт IEEE для Ethernet)

[2] ANSI INCITS 263-1995 — American National Standard for Information Technology – Fibre Distributed Data Interface (FDDI) – Token Ring Twisted Pair Physical Layer Medium Dependent (TP-PMD) (Американский национальный стандарт для информационной технологии. Волоконный распределительный интерфейс данных (FDDI). Физический уровень, зависящий от среды, кольцевой сети на витой паре (TP-PMD))

[3] IEC 60603-7:2020 — Connectors for electronic equipment – Part 7: Detail specification for 8-way, unshielded, free and fixed connectors (Соединители для электронного оборудования. Часть 7. Частные требования на неэкранированные 8-проводные свободные и стационарные соединители)

[4] IEC 63171-1:2024 — Connectors for electrical and electronic equipment - Part 1: Detail specification for 2-way, shielded or unshielded, free and fixed connectors - Mechanical mating information, pin assignment and additional requirements for Type 1 (copper LC style) (Соединители для электрического и электронного оборудования. Часть 1. Частные технические условия на двухконтактные экранированные или неэкранированные, свободные и стационарные соединители. Информация о механическом соединении, разводка контактов и дополнительные требования к типу 1 (медный LC))

[5] IEC 63171-6:2021 — Connectors for electrical and electronic equipment - Part 6: Detail specification for 2-way and 4-way (data/power), shielded, free and fixed connectors for power and data transmission with frequencies up to 600 MHz (Соединители для электрического и электронного оборудования. Часть 6. Частные технические условия на 2- и 4-контактные (данные/питание), экранированные, свободные и стационарные соединители для передачи данных и питания на частотах до 600 МГц)

[6] МИ 2083-90 — Рекомендация ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей

[7] TIA/EIA-568-B.1 (Revision of TIA/EIA-568-A) May 2001 — Commercial Building. Telecommunications Cabling Standard. Part 1: General Requirements (Коммерческое строительство. Стандарт по прокладки кабелей электросвязи. Часть 1: Общие требования)

[8] IEC 61076-2-101:2024 — Connectors for electrical and electronic equipment - Product requirements - Part 2-101: Circular connectors - Detail specification for M12 connectors with screw-locking (Соединители для электрического и электронного оборудования. Требования к изделию. Часть 2-101. Цилиндрические соединители. Частные технические условия на соединители М12 с контровкой)

СТБ/ОР 2524

Заместитель директора по науке и развитию ОАО «Гипросвязь»	Л.Г.Тригубович
Начальник НИИЛ ТО НИИЦ ОАО «Гипросвязь»	А.И.Воронов
Старший научный сотрудник НИИЛ ТО НИИЦ ОАО «Гипросвязь»	Я.С.Язловецкий
Ведущий инженер НИИЛ ТО НИИЦ ОАО «Гипросвязь»	А.Н.Кушнер