

Исследование электрических характеристик LAN-кабелей повышенной однородности

А. К. Бульхин¹, В. Ф. Ключников¹, В. В. Баннов¹, В. Б. Попов²

¹ АО «Самарская кабельная компания», Самара, Россия

² ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», Самара, Россия

Постановка проблемы. В настоящее время в мире и в России в структурированных кабельных системах (СКС) и на сетях фиксированного широкополосного доступа (ШПД) широко используются симметричные LAN-кабели. Практический опыт применения LAN-кабелей на реальных сетях широкополосного доступа показывает, что достичь высокого качества передачи можно только используя качественные высокооднородные кабели.

Цель. Исследование зависимости качества LAN-кабелей от технологического оборудования и качества материалов, которые обеспечивают повышенную однородность кабеля.

Результаты. На основе проведенных экспериментальных исследований с применением современной измерительной системы определены основные электрические характеристики передачи и взаимного влияния наиболее востребованного четырехпарного LAN-кабеля категории 5е типа U/UTP 4×2×0,52 в диапазоне частот до 100 МГц. Показано, что для обеспечения высоких и стабильных характеристик передачи и взаимного влияния современное технологическое оборудование необходимо оснащать системами автоматического регулирования параметров качества кабеля, а при использовании материалов отечественного производства необходимо выбирать надежных поставщиков.

Практическая значимость. Для эффективного практического применения LAN-кабелей на сетях фиксированного широкополосного доступа и в СКС очень важной является высокая стабильность электрических характеристик и их соответствие высоким установленным нормам. Это возможно только при обеспечении высокой геометрической и структурной однородности конструктивных элементов LAN-кабелей.

Ключевые слова: LAN-кабели, однородность кабеля, изолированная жила, электрические характеристики передачи, электрические характеристики взаимного влияния

Для цитирования:

Исследование электрических характеристик LAN-кабелей повышенной однородности / А. К. Бульхин, В. Ф. Ключников, В. В. Баннов, В. Б. Попов // Радиопромышленность. 2020. Т. 30, № 4. С. 14–22. DOI: 10.21778/2413-9599-2020-30-4-14-22

© Бульхин А. К., Ключников В. Ф., Баннов В. В., Попов В. Б., 2020



Research of electrical characteristics of increased uniformity LAN-cables

A.K. Bulkhin¹, V.F. Klyuchnikov¹, V.V. Bannov¹, V.B. Popov²

¹ Samara Cable Company JSC, Samara, Russia

² Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia

Formulation of the problem. At present, symmetric LAN cables are widely used in structured cabling systems (SCS) and fixed broadband access (BBA) networks in the world and in Russia. Practical experience of using LAN cables on real broadband access networks shows that high-quality transmission can only be achieved using high-quality highly uniform cables.

Objective. Study of the dependence of the quality of LAN-cables on technological equipment and the quality of materials, which provide increased cable uniformity.

Results. Based on the experimental studies carried out with the use of a modern measuring system, the main electrical characteristics of the transmission and the mutual influence of the most popular four-pair LAN-cable of the 5e category of the U/UTP4×2×0.52 type in the frequency range up to 100 MHz are determined. It is shown that to ensure high and stable transmission characteristics and mutual influence, modern technological equipment must be equipped with cable quality parameters automatic control systems and it is necessary to choose reliable suppliers when using domestic production materials.

Practical significance. For the effective practical use of LAN cables on fixed broadband access networks and in SCS, it is very important to have high stability of electrical characteristics and their compliance with rather high established standards. This is possible only by ensuring high geometric and structural homogeneity of the structural elements of LAN cables.

Keywords: LAN cables, cable uniformity, insulated core, electrical transmission characteristics, electrical characteristics of mutual influence

For citation:

Bulkhin A.K., Klyuchnikov V.F., Bannov V.V., Popov V.B. Research of electrical characteristics of increased uniformity LAN-cables. Radio industry (Russia), 2020, vol. 30, no. 4, pp. 14–22. (In Russian). DOI: 10.21778/2413-9599-2020-30-4-14-22

Введение

В настоящее время в мире и, в частности, в России в структурированных кабельных системах (СКС) и на сетях фиксированного широкополосного доступа (ШПД) широко используются симметричные LAN-кабели. Обусловлено это тем, что подавляющее большинство сетей фиксированного ШПД проектируется и строится по технологии FTTB (Fiber to the Building, «Оптическое волокно до здания»). Многие операторские компании считают, что эта технология в большинстве случаев пока является более простой и рентабельной по сравнению с более передовой технологией FTTH (Fiber to the Home, «Оптическое волокно до жилища»). Опыт работы на реальных сетях широкополосного доступа и СКС показывает, что достичь высокого качества передачи можно только используя высокооднородные кабели. Об этом было сказано и на форуме BBWF-2018, состоявшемся в октябре 2018 года в Берлине [1]. Этим объясняется широкое использование LAN-кабелей в России. Так, в [2] показано, что сегодня основная доля объема производства кабелей связи с медными жилами приходится на LAN-кабели (более 75%). Это вполне объяснимо, так как

они массово применяются в структурированных кабельных системах и на сетях ШПД. Следует подчеркнуть, что спрос российского рынка как минимум на порядок больше объема отечественного производства. Из этого становится ясно, что большая часть проектов в сфере IT-технологий отечественных компаний-интеграторов реализуется с применением LAN-кабелей иностранного производства.

Анализ рынка LAN-кабелей в России показывает, что этот сегмент составляет основную долю отечественного рынка кабелей связи с медными жилами, однако на нем до сих пор преобладают зарубежные компании [2]. В России в ответ на потребность в кабелях связи и разного рода аксессуарах к ним создано достаточно много компаний, которые продают кабельную продукцию зарубежного производства, в том числе и LAN-кабели. Особенно активно на нашем рынке присутствуют китайские LAN-кабели как с медными, так и с биметаллическими жилами, которые дешевле отечественных, но не отвечают требованиям структурированных кабельных систем и ШПД. Поэтому даже при наличии на российском рынке LAN-кабелей китайского производства невысокого качества, особенно

с биметаллическими жилами (алюминиевая или стальная проволока, покрытая медью), мы должны более активно осваивать рынок этих перспективных кабелей. К сожалению, многих российских операторов и интернет-провайдеров при покупке кабельной продукции больше привлекают низкие цены, чем оптимальное соотношение цены и качества. Это значит, что службам качества и менеджмента совместно с технологическими и коммерческими службами необходимо более активно убеждать заказчиков применять только высококачественные кабели с электрическими и эксплуатационными характеристиками, отвечающими требованиям действующих стандартов.

Одно из ведущих предприятий российской кабельной промышленности АО «Самарская кабельная компания» (АО «СКК») в 2019 году возобновило серийный выпуск LAN-кабелей. Для этого предприятием было приобретено и запущено передовое специализированное технологическое оборудование зарубежного производства. Это автоматические высокоскоростные технологические линии, способные обеспечить поточное производство больших объемов высококачественных LAN-кабелей. В настоящей статье рассматриваются технологические особенности изготовления и результаты исследования основных электрических характеристик передачи и взаимного влияния LAN-кабелей.

Технологические особенности изготовления LAN-кабелей

В реальных условиях производства симметричных кабелей связи значения их параметров передачи и взаимного влияния во многом определяется величинами неизбежных технологических отклонений геометрических размеров, изолированных токопроводящих жил, возникающих в процессе изготовления кабеля, и диэлектрических характеристик изоляционных материалов. Степень неоднородности кабеля определяется следующими основными технологическими параметрами:

- неодинаковость диаметров медных токопроводящих жил в рабочей паре, различие качества отжига меди;
- неодинаковость диаметров (толщины изоляции) изолированных жил в рабочей паре;
- различие диэлектрической проницаемости изоляции жил рабочей пары;
- отклонение шагов скрутки пар в пучках от номинального значения.

Рассмотрим особенности технологического процесса производства LAN-кабеля, используя технологическую и конструкторскую документации АО «СКК».

На АО «СКК» изолированные жилы для производства LAN-кабеля изготавливаются на современной поточной линии типа TDL-35, в которой применяется совмещение нескольких технологических процессов – процессов волочения и отжига проволоки для токопроводящей жилы и процесса наложения изоляции.

Применение данной технологии дает возможность обеспечить такие важные показатели производственного процесса, как непрерывность и высокая производительность технологического процесса. Это, в свою очередь, позволяет изготавливать LAN-кабели большими длинами при полном обеспечении необходимого качества.

В поточной линии TDL применены технологии наложения изоляции финской компании Mailefer и технологии волочения с отжигом немецкой компании Niehoff. Эти компании являются одними из мировых лидеров в изготовлении оборудования для кабельного производства.

Особенности технологии изготовления медных жил

Неодинаковость диаметров токопроводящих жил в кабельной паре является причиной наличия омической асимметрии. Это отрицательно сказывается на параметрах передачи и взаимного влияния цепей связи. Неодинаковость диаметров токопроводящих жил в паре вызывается особенностями технологического процесса их изготовления. В процессе волочения токопроводящих жил волочильные фильеры постепенно изнашиваются. Поэтому полностью устранить влияние этого фактора невозможно. С целью уменьшения разницы диаметров токопроводящих жил принимаются следующие меры:

- волочение проволоки осуществляется через алмазные фильеры – это дает возможность значительно уменьшить технологические допуски диаметра токопроводящих жил;
- своевременно заменяется комплект волочильных фильер, особенно «чистовых», так как они определяют итоговый диаметр медных токопроводящих жил.

Качество получаемой токопроводящей жилы во многом зависит от хорошей смазки, которая существенно снижает трение жилы о волочильный инструмент. При этом износ инструмента уменьшается, а ресурс его работы увеличивается. Также достигается экономия электроэнергии, потребляемой линией волочения и повышается качество поверхности токопроводящей жилы. Хорошей смазкой являются эмульсии с добавлением эмульгаторов. Они нетоксичны и химически неагрессивны по отношению к материалу волочильного

инструмента. Эмульгаторы повышают стойкость эмульсии, уменьшают поверхностное натяжение масла и позволяют маслу лучше частично растворяться в воде. Практика производства медных кабелей связи показывает, что соблюдение высокой технологической дисциплины и применение современного оборудования позволяет производить волочение медных токопроводящих жил с допуском, не превышающим $\pm 0,002\text{--}0,003$ мм.

Особенности технологии наложения полиэтиленовой изоляции

Полиэтиленовая изоляция токопроводящих жил очень часто имеет конструктивные технологические и структурные отклонения, вызванные нестабильностью технологического процесса и характеристик изолирующих материалов. Нестабильность технологического процесса наложения полиэтиленовой изоляции на токопроводящие жилы приводит к неодинаковости диаметров изолированных жил. Полиэтилен, из которого изготавливается изоляция токопроводящих жил, также имеет нестабильность такого важного для изоляции параметра, как диэлектрическая проницаемость. Это приводит к появлению неодинаковости диэлектрической проницаемости изоляции жил рабочей пары LAN-кабеля. Указанные факторы являются одной из основных причин появления взаимных электромагнитных влияний между кабельными цепями. Необходимо отметить, что диаметр изолированной жилы и величина диэлектрической проницаемости изоляции являются взаимосвязанными параметрами.

Конструкция головки экструзионной линии подразумевает, что пространственное расположение матрицы по отношению к дорну может быть изменено с помощью болтов, регулирующих центровку накладываемой изоляции на токопроводящую жилу.

После выхода из головки экструдера токопроводящая жила с нанесенным слоем изоляции находится в состоянии расплава при температуре около 200°C . Ее требуется охладить до температуры не более $60\text{--}70^\circ\text{C}$. Это нужно, чтобы изоляция токопроводящей жилы не деформировалась на тяговом устройстве и при намотке на приемную катушку. Изолированная токопроводящая жила охлаждается постепенно. Охлаждение начинается в секции ванны с теплой водой с температурой $50\text{--}60^\circ\text{C}$. Затем охлаждение продолжается в секции ванны с холодной водой.

Экструзионная линия оснащена измерительными приборами и устройствами. С их помощью обеспечивается контроль технологических параметров и качества продукции непосредственно в процессе производства и точная настройка всех узлов экструзионной линии и параметров

технологического процесса изолирования токопроводящей жилы. К ним относятся:

- датчик диаметра токопроводящей жилы, который размещается перед входом в экструзионную головку;
- датчик диаметра и эксцентриситета изолированной жилы, который размещается после ванны охлаждения;
- датчик погонной емкости;
- прибор контроля электрической прочности изоляции.

Для обеспечения высокой однородности LAN-кабелей важнейшее значение имеет система автоматического контроля и автоматического регулирования погонной емкости и диаметра изолированной жилы. Погонная емкость и диаметр изолированной жилы автоматически настраиваются и поддерживаются с помощью системы контроля $C_{\text{пор}}/D_{\text{и}}$ (емкость/диаметр) путем регулирования скорости экструдера. Система контроля $C_{\text{пор}}/D_{\text{и}}$ для высокоскоростных линий изолирования имеет три контура контроля. Два контура контроля регулируют величину погонной емкости. Это достигается воздействием на нее положением подвижной секции ванны охлаждения. Третий контур осуществляет контроль диаметра по изоляции. Это достигается изменением скорости вращения шнека в экструдере или линейной скорости автоматической экструзионной линии. Все три контура контроля замкнутые и независимые. Система замкнутых контуров позволяет осуществлять изменение одного параметра кабеля для того, чтобы скорректировать другой его параметр. Система автоматического регулирования $C_{\text{пор}}/D_{\text{и}}$ дает возможность добиться высокостабильных параметров изолированной токопроводящей жилы: отклонение диаметра изолированной токопроводящей жилы не превышает $\pm 0,03$ мм; допуск на погонную емкость цепи LAN-кабеля не превышает ± 2 пФ/м; concentricность изоляции токопроводящей жилы составляет не менее 95%.

Применяемые технологии на АО «СКК» в производстве изолированной жилы для LAN-кабелей позволяют обеспечить их повышенную геометрическую и структурную однородность, а значит – высокие и стабильные электрические характеристики.

Результаты измерения электрических характеристик передачи и взаимного влияния LAN-кабелей

Сегодня наибольшие капитальные вложения направлены на развитие ШПД и внутриобъектовых сетей. Весьма востребованы также СКС, которые являются неотъемлемой частью любого

современного общественного здания, в первую очередь офисных помещений. И здесь наибольшее применение находят кабели на основе витой пары – LAN-кабели, в основном емкостью до 25 пар. В настоящее время наибольшим спросом пользуется четырехпарный кабель категории 5е без экрана типа U/UTP 4×2×0,52. Эти кабели предназначены для передачи информации на скоростях до 1 Гбит/с с полосой пропускания до 100 МГц. В структурированных кабельных системах длина таких кабелей не превышает 100 м, а на сетях широкополосного доступа, построенных по технологиям FTTC и FTTB, обычно составляет не более 200–250 м. Для этих кабелей ОАО «ВНИИКП» разработан ГОСТ Р 54429–2011 [3], в основу которого положен международный стандарт ISO/IEC 11801 [4]. В этом ГОСТе приведены нормы электрических характеристик LAN-кабелей, применяемых в структурированных кабельных системах и на сетях ШПД.

Рассмотрим основные электрические характеристики передачи и взаимного влияния четырехпарного кабеля типа U/UTP Cat 5е PVC4×2×0,52 с поливинилхлоридной оболочкой производства АО «СКК». Электрические характеристики определены с использованием измерительной системы AESA-9500.

Низкочастотные характеристики

К низкочастотным характеристикам передачи относятся: электрическое сопротивление медных

жил постоянному току R (норма: не более 80–95 Ом/км); омическая асимметрия жил в рабочей паре ΔR (норма: не более 2%); рабочая емкость C (норма: не более 56 нФ/км); емкостная асимметрия рабочей пары e (норма: не более 1600 пФ/км).

Низкочастотные характеристики кабеля в значительной мере зависят от геометрической и структурной однородности медных жил и изоляции. Высокая геометрическая и структурная однородность гарантирует выполнение норм и высокую стабильность электрических характеристик кабеля.

Для анализа электрических характеристик было взято 10 протоколов испытаний указанного выше кабеля стандартной длиной 305 м, которые поставляются заказчику вместе с кабелем. Результаты измерения низкочастотных характеристик отдельных пар кабеля статистически обработаны с учетом того, что они подчиняются нормальному закону распределения и характеризуются статистическим средним значением и среднеквадратическим отклонением от среднего значения [5]. Результаты статистической обработки приведены в табл. 1.

По результатам анализа статистических данных результатов измерения низкочастотных характеристик передачи (табл. 1) можно сделать вывод, что исследуемый кабель является весьма однородным. Сопротивление медных жил близко к минимальному допуску и очень стабильно; омическая асимметрия практически на порядок меньше допустимых

Таблица 1. Низкочастотные характеристики кабеля
Table 1. Low-frequency characteristics of the cable

R , Ом/км / R , Ohm/km		ΔR , %		C , нФ/км / C , nF/km		e , пФ/км / e , pF/km	
R_{cp} / R_{med}	σ	R_{cp} / R_{med}	σ	C_{cp} / C_{med}	σ	e_{cp} / e_{med}	σ
84,4	1,13	0,4	0,33	48,21	1,25	40	1,06

Таблица 2. Результаты измерения коэффициента затухания строительной длины кабеля, U/UTP Cat 5е 4×2×0,52

Table 2. The results of measuring the attenuation coefficient of the factory cable length, U/UTP Cat 5е 4×2×0.52

Частота, МГц / Frequency, MHz	Пара 1 / Pair 1	Пара 2 / Pair 2	Пара 3 / Pair 3	Пара 4 / Pair 4	Верх. прд. / Upper margin
1	1,99	1,91	1,91	1,89	2,1
4	3,91	3,77	3,75	3,7	4,1
10	6,17	5,96	5,93	5,85	6,5
16	7,9	7,64	7,59	7,49	8,3
20	8,82	8,53	8,48	8,36	9,3
31,25	11,16	10,79	10,73	10,56	11,7
62,5	16,03	15,52	15,44	15,19	17,0
100	20,39	19,78	19,67	19,31	22,0

2%; рабочая емкость заметно меньше максимально допустимого значения; емкостная асимметрия как минимум в несколько раз меньше (лучше) допустимой величины. Все это, безусловно, скажется положительно на высокочастотных характеристиках передачи, которые мы рассмотрим ниже.

Высокочастотные характеристики

К основным высокочастотным характеристикам относятся: коэффициент затухания α , дБ/100м; волновое сопротивление Z_c , Ом; возвратные потери (Return Loss), дБ/100м; время задержки сигнала τ_p , нс/100м; максимальная разность времени задержки сигнала между любыми парами Δt_p , нс/100м; суммарное переходное затухание на ближнем конце PS NEXT, дБ/100м; суммарная защищенность на дальнем конце PS ELFEXT, дБ/100м.

Анализ результатов измерения высокочастотных характеристик, проведенный по 10 протоколам заводских испытаний, позволяет подтвердить сказанное выше относительно геометрической и структурной однородности исследуемого LAN-кабеля. В качестве примера в табл. 2 и на рис. 1 показаны результаты измерения коэффициента затухания одной из строительных длин кабеля U/UTP Cat 5e 4×2×0,52.

Для высокоскоростных систем передачи широкополосного доступа и СКС важными характеристиками передачи кабеля являются волновое сопротивление Z_c и возвратные потери (затухание отражения) RL , которые взаимосвязаны и очень существенно зависят от степени чистоты медных проводников, от равномерности диэлектрической проницаемости изоляции, однородности геометрических характеристик по всей длине кабеля. На рис. 2 и 3 показаны частотные характеристики соответственно волнового сопротивления и возвратных потерь строительной длины исследуемого кабеля. Анализ представленных на рис. 2 и 3 частотных характеристик указывает на высокую однородность исследуемого кабеля.

В табл. 3 приведены результаты измерения времени задержки и его максимальной разности, измеренные в строительной длине LAN-кабеля.

Анализ данных табл. 3 показывает, что норма на величину и разность времени задержки сигнала выполняются, при этом на величину Δt_p имеется большой запас.

Относительно параметров взаимного влияния стоит отметить следующее. В классической теории взаимных влияний нормирование переходного затухания на ближнем конце и защищенности на дальнем конце кабеля выполнено на величину строительной длины и усилительного (регенерационного) участка. В LAN-кабелях принято нормировать практически все характеристики, в том числе и характеристики взаимного влияния, на длину

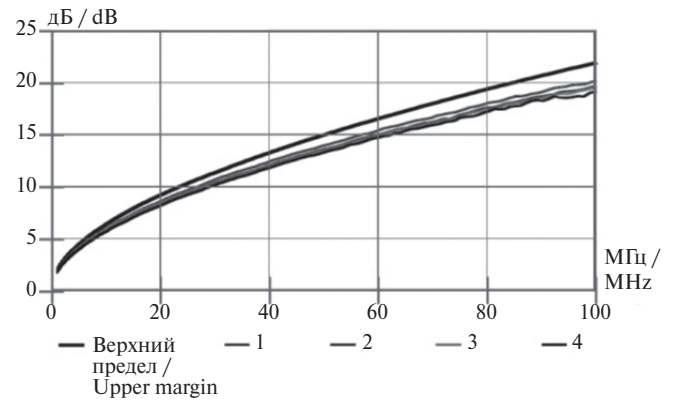


Рисунок 1. Частотные характеристики коэффициента затухания строительной длины кабеля U/UTP Cat 5e 4×2×0,52
Figure 1. Frequency characteristics of the attenuation factor of the factory length cable U/UTP Cat 5e 4×2×0,52

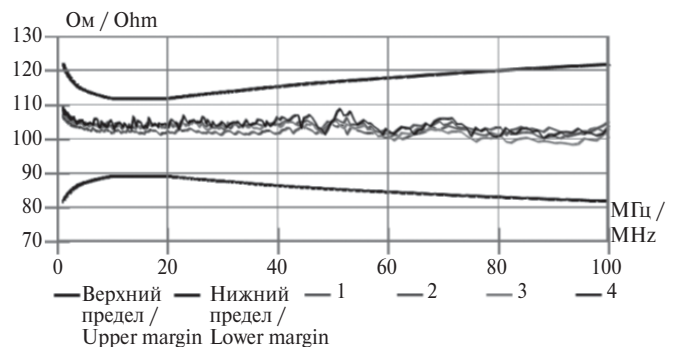


Рисунок 2. Частотные характеристики волнового сопротивления строительной длины кабеля U/UTP Cat 5e 4×2×0,52
Figure 2. Frequency characteristics of the characteristic impedance of the factory length cable of the U/UTP Cat 5e 4×2×0,52

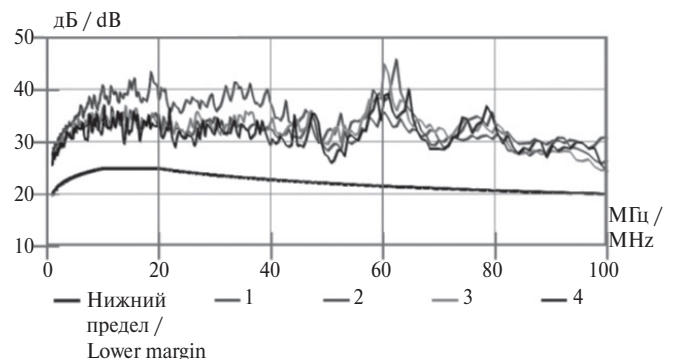


Рисунок 3. Частотные характеристики возвратных потерь строительной длины кабеля U/UTP Cat 5e 4×2×0,52
Figure 3. Frequency characteristics of the return loss of the factory length cable U/UTP Cat 5e 4×2×0,52

Таблица 3. Результаты измерения времени задержки t_p и его максимальной разности Δt_p , нс/100м строительной длины кабеля U/UTP Cat 5e 4x2x0,52

Table 3. The results of measuring the t_p delay time and its Δt_p maximum difference, ns/100m of factory cable length of U/UTP Cat 5e 4x2x0.52 cable

Частота, МГц / Frequency, MHz	Пара 1 / Pair 1	Пара 2 / Pair 2	Пара 3 / Pair 3	Пара 4 / Pair 4	Верх. прд. / Upper margin	Δt_p	Верх. прд. / Upper margin
4	513,94	505,09	501,76	495,21	552,00	18,73	45,00
10	507,44	498,79	495,51	489,06	545,4	18,39	45,00
16	505,07	496,49	493,24	486,84	543,00	18,23	45,00
20	504,1	495,55	492,31	485,92	542,00	18,19	45,00
31,25	502,47	493,97	490,74	484,39	540,00	18,08	45,00
62,5	500,54	492,11	488,89	482,57	538,6	17,97	45,00
100	499,51	487,88	487,88	481,58	537,6	17,93	45,00

Таблица 4. Результаты измерения суммарного переходного затухания на ближнем конце, PS NEXT, дБ/100м кабеля U/UTP Cat 5e 4x2x0,52

Table 4. Results of measurements of the total crosstalk loss at the near end, PS NEXT, dB/100m of U/UTP Cat 5e 4x2x0.52 cable

Частота, МГц / Frequency, MHz	Пара 1 / Pair 1	Пара 2 / Pair 2	Пара 3 / Pair 3	Пара 4 / Pair 4	Нижн. прд. / Lower margin
1	76,76	74,98	73,43	73,95	62,30
4	72,42	67,05	69,28	68,74	53,30
10	65,05	61,71	61,66	61,65	47,30
16	61,05	61,92	58,84	59,46	44,30
20	57,25	52,40	56,99	51,49	42,80
31,25	56,26	59,90	59,87	54,83	39,90
62,5	52,23	51,68	50,18	51,40	35,40
100	51,42	43,63	40,20	41,77	32,30

Таблица 5. Результаты измерения суммарной защищенности на дальнем конце, PS ELFEXT, дБ/100м кабеля U/UTP Cat 5e 4x2x0,52

Table 5. Results of measuring the total protection at the far end, PS ELFEXT, dB/100m of U/UTP Cat 5e 4x2x0.52 cable

Частота, МГц / Frequency, MHz	Пара 1 / Pair 1	Пара 2 / Pair 2	Пара 3 / Pair 3	Пара 4 / Pair 4	Нижн. прд. / Lower margin
1	66,66	69,38	67,85	74,45	61,00
4	57,22	58,71	57,85	60,37	49,00
10	54,08	49,86	52,29	50,57	41,00
16	52,36	43,92	48,42	45,79	36,90
20	47,31	40,42	41,65	44,52	35,00
31,25	46,04	40,62	43,23	40,07	31,10
62,5	33,63	29,50	32,21	31,21	25,00
100	28,48	27,97	24,35	23,91	21,00

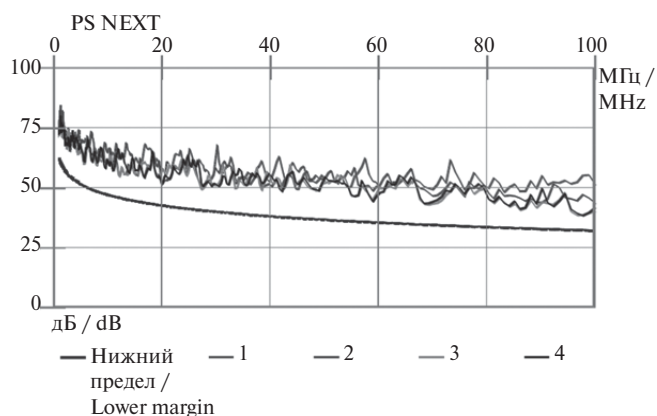


Рисунок 4. Частотные характеристики суммарного переходного затухания на ближнем конце PS NEXT кабеля U/UTP Cat 5e 4×2×0,52
Figure 4. Frequency characteristics of the total crosstalk at the near-end PS NEXT cable U/UTP Cat 5e 4×2×0.52

100 м. Обозначения характеристик взаимного влияния также заметно отличаются. В действующем ГОСТ Р 54529–2011 нормирование и обозначение электрических характеристик LAN-кабелей соответствуют международному стандарту ISO/IEC11801. В связи с этим все обозначения электрических характеристик соответствуют указанным стандартам. Нормирование электрических характеристик взаимного влияния LAN-кабелей выполняется как для отдельных комбинаций цепи, так и для суммарного значения помехи при учете влияния всех цепей кабеля на каждую отдельную цепь. Суммарные помехи нормируются на 3 дБ ниже помехи для отдельных комбинаций цепей кабеля. В реальных условиях в кабеле рабочими являются все пары, поэтому наиболее целесообразно измерять суммарное значение помех.

В табл. 4 и на рис. 4 приведены результаты измерения суммарного переходного затухания на ближнем конце PS NEXT, а в табл. 5 и на рис. 5. – суммарной защищенности на дальнем конце PS ELFEXT кабеля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАНЫ ИСТОЧНИКОВ

1. Попов С., Набоких Л. BBWF-2018: фиксированный широкополосный доступ берет курс на SDN // Первая миля. 2018. № 8. С. 60–66.
2. Воронцов А. Российские кабели для телекоммуникаций: динамика производства в 2017 году // Первая миля. 2018. № 2. С. 24–27.
3. ГОСТ Р 54429–2011. Кабели связи симметричные для цифровых систем передачи. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2012, 43 с.
4. ISO/IEC11801. Международный стандарт телекоммуникационной инфраструктуры коммерческих зданий, 2002 [Электронный ресурс]. URL: <https://dokipedia.ru/document/5160644> (дата обращения: 15.10.2020).
5. Шварцман В.О. Взаимные влияния в кабелях связи. М.: Издательство «Связь», 1996. 368 с.

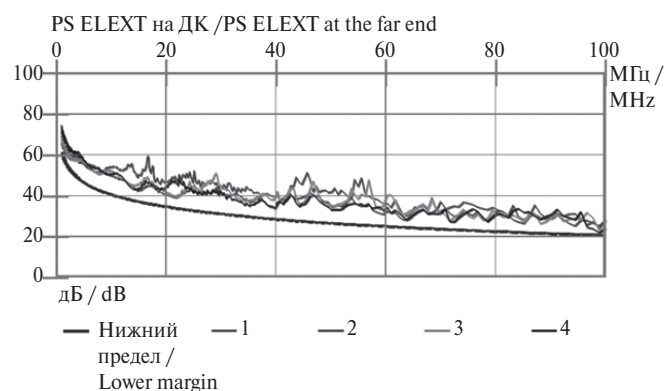


Рисунок 5. Частотные характеристики суммарной защищенности на дальнем конце PS ELFEXT кабеля U/UTP Cat 5e 4×2×0,52
Figure 5. Frequency characteristics of the total protection at the far end of the PS ELFEXT cable U/UTP Cat 5e 4×2×0.52

Анализ результатов измерения электрических характеристик взаимных влияний показывает, что исследуемый кабель полностью отвечает установленным нормам в диапазоне частот до 100 МГц.

Выводы

Подводя итоги исследования основных электрических характеристик LAN-кабелей, следует отметить, что высокие и стабильные электрические характеристики обеспечиваются применением современного технологического оборудования, оснащенного системами автоматического контроля и регулирования параметров кабеля, а также использованием материалов надежных поставщиков.

Для эффективного практического применения LAN-кабелей на сетях фиксированного широкополосного доступа и в СКС очень важной является высокая стабильность электрических характеристик и их соответствие высоким установленным нормам. Это возможно лишь при обеспечении высокой геометрической и структурной однородности конструктивных элементов LAN-кабелей.

REFERENCES

1. Popov S., Nabokikh L. BBWF-2018: Fixed Broadband Access heading for SDN. *Pervaya milya*, 2018, no. 8, pp. 60–66. (In Russian).
2. Vorontsov A. Russian telecommunication cables: production dynamics in 2017. *Pervaya milya*, 2018, no. 2, pp. 24–27. (In Russian).
3. GOST P 54429–2011 *Kabeli svyazi simmetrichnye dlya tsifrovyykh sistem peredachi. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [State Standard P 53763–2009. Symmetrical communication cables for digital transmission systems. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2012, 43 p. (In Russian).
4. *ISO/IEC11801*. An international standard for telecommunications infrastructure for commercial buildings, 2002. (In Russian). Available at: <https://dokipedia.ru/document/5160644> (accessed 15.10.2020).
5. Shvartsman V. O. *Vzaimnye vliyaniya v kabelyakh svyazi* [Mutual influences in communication cables]. Moscow, Izdatelstvo «Svyaz» Publ., 1996. 368 p. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бульхин Анвар Кашафович, к. т. н., президент, АО «Самарская Кабельная Компания», 443009 г. Самара, ул. Физкультурная, д. 103, тел.: +7 (846) 279-12-10, e-mail: scc@samaracable.ru.

Ключников Валерий Федорович, к. э. н., генеральный директор АО «Самарская Кабельная Компания», 443009, г. Самара, ул. Физкультурная, д. 103, тел.: +7 (846) 279-12-10, e-mail: scc@samaracable.ru.

Баннов Владимир Вениаминович, к. т. н., технический директор, АО «Самарская Кабельная Компания», 443009, г. Самара, ул. Физкультурная, д. 103, тел.: +7 (927) 706-45-12, e-mail: bannov@samaracable.ru.

Попов Виктор Борисович, к. т. н., профессор кафедры «Линии связи», ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 443010, г. Самара, ул. Л. Толстого, д. 23., тел.: +7 (902) 371-47-77, e-mail: inkat@inbox.ru.

AUTHORS

Anvar K. Bulkhin, Ph.D. (Engineering), president, Samara Cable Company JSC, 103, ulitsa Fizkulturnaya, Samara, 443009, Russia, tel.: +7 (846) 279-12-10, e-mail: scc@samaracable.ru.

Valerii F. Klyuchnikov, D.Sc. (Economics), CEO, Samara Cable Company JSC, 103, ulitsa Fizkulturnaya, Samara, 443009, Russia, tel.: +7 (846) 279-12-10, e-mail: scc@samaracable.ru.

Vladimir. V. Bannov, Ph.D. (Engineering), technical director, Samara Cable Company JSC, 103, ulitsa Fizkulturnaya, Samara, 443009, Russia, tel.: +7 (927) 706-45-12, e-mail: bannov@samaracable.ru.

Viktor B. Popov, Ph.D. (Engineering), professor Communication Lines Department, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, 23, ulitsa L. Tolstogo, Samara, 443010, Russia, tel.: +7 (902) 371-47-77, e-mail: inkat@inbox.ru.

Поступила 25.03.2020; принята к публикации 26.05.2020; опубликована онлайн 04.12.2020
Submitted 25.03.2020; revised 26.05.2020; published online 04.12.2020