

Диэлектрические свойства полимеров для медных кабелей связи

Развитие систем связи и кабелей связи, как комплектующих изделий для этих систем, характеризуется сегодня скачкообразным увеличением скоростей передачи цифровой информации.

Для наглядности рассмотрим историю развития систем связи для локальных сетей. Первый стандарт Ethernet для локальных сетей появился в начале 80-х годов прошлого века. За ним последовали стандарты: Fast Ethernet — в 1995 году, Gigabit Ethernet — в 1998 году, 10G Ethernet — в 2002 году. Перечисленным стандартам соответствует следующая иерархия скоростей передачи информации: 10 Мбит/с — 100 Мбит/с — 1000 Мбит/с — 10 Гбит/с [1].

Несмотря на давние заявления, полной замены кабелей связи с медными токопроводящими жилами на волоконнооптические кабели не произошла и, по-видимому, в ближайшие годы не осуществится.

Очевидно, это обусловлено тем, что схема построения волоконнооптических сетей связи FTTB или FTTC (оптическое волокно до здания или до некоторого центра) экономически в ряде случаев более выгодна, чем схема FTTH (оптическое волокно до дома или квартиры, для многоэтажных домов). В этом случае абонентская часть линии прокладывается кабелями с медными токопроводящими жилами: кабелями симметричными парной скрутки или коаксиального типа.

К этому следует добавить организацию систем широкополосной связи на базе технологий xDSL по существующим распределительным сетям на базе кабелей типа ТПП или с прокладкой кабелей широкополосного абонентского доступа новых конструкций.

Многозначность вариантов построения сетей связи в текущий период определяется как экономическими причинами, несовершенством предлагаемого контента, так и неопределенностью выбора решений конкретными операторами и разнообразием самих операторов.

Однозначно можно утверждать одно: если будут применяться кабели связи с медными токопроводящими жилами парной скрутки, то максимальная частота диапазона их применения будет предположительно расти.

Согласно [2], существует градация частотных диапазонов. Последовательность диапазонов в

порядке возрастания частоты, отличающихся характерными особенностями поведения функции потерь в них, соблюдается, как правило, для всех проводниковых структур из меди:

- RC-область;
- LC-область;
- область поверхностного эффекта;
- область диэлектрических потерь;
- область волноводной дисперсии.

В [2] приведены формулы для расчета граничных частот вышеперечисленных диапазонов, которые мы, однако, приводить не будем, так как они находятся несколько в стороне от рассматриваемых в данной статье вопросов.

И если в трех первых диапазонах влияние диэлектрика на коэффициент затухания не столь существенно, то в области диэлектрических потерь оно становится преобладающим.

Рассмотрим наиболее известные материалы, применяемые в качестве изоляции в конструкциях кабелей связи с медными токопроводящими жилами. Наиболее широко используется для этих целей полиэтилен.

Согласно [3] для полиэтилена нормируется:

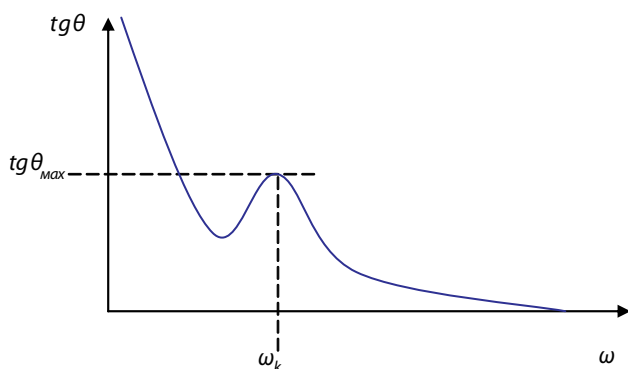
- относительная диэлектрическая проницаемость: не более 2,3 на частоте 1 МГц и не более 2,3 на частоте 500 МГц;
- тангенс угла диэлектрических потерь: не более $3 \cdot 10^{-4}$ на частоте 1 МГц и не более $4 \cdot 10^{-4}$ на частоте 500 МГц.

На сегодняшний день этой информации уже не достаточно: во-первых, потому, что на очереди разработка следующей более совершенной конструкции кабеля для структурированных кабельных систем (СКС), работающей в диапазоне частот до 1000 МГц и даже стандартизованная 7 категория работает в диапазоне частот до 600 МГц, что превышает диапазон нормирования; во-вторых, точечное нормирование при таких частотах вряд ли можно считать объективным показателем.

Известно [4, 5], что в самом общем случае теоретическая зависимость тангенса угла диэлектрических потерь выглядит так, как это представлено на рисунке.

В зависимости от конкретного значения $\operatorname{tg} \theta_{\max}$ можно судить о возможности использования кабеля в диапазоне частот близком к ω_c

Теоретическая зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от частоты приложенного к полимерному диэлектрику напряжения



Конечно, можно говорить, что к полиэтилену это не относится, что он очень чистый материал. Но и в полиэтилен вводятся антиоксиданты, термостабилизаторы и, что значительно хуже, пигменты красителей. А на концентраты пигментов и на окрашенный полиэтилен действие [3] не распространяется. Известно влияние концентрации пигментов в окрашенной полиэтиленовой изоляции на результаты испытания электрическим напряжением, но не известно, какое влияние они будут оказывать на тангенс угла диэлектрических потерь в диапазоне частот до 10 ГГц.

Если кого-то из специалистов волнует возможность проведения таких измерений или появляется сомнение в необходимости таких измерений, приведем в пример издание [2], в котором представлены значения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь сложных диэлектриков конкретных марок, применяемых для изготовления печатных плат приемопередающей аппаратуры связи на частоте 10 ГГц. Вполне возможно, что в скором будущем этот частотный диапазон освоят в кабелях СКС.

Наличие ступенчатых скачков в функциональных зависимостях относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь равнозначно разбиению полосы пропускания кабеля на два неодинаковых участка. Если кабель предназначен для передачи широкополосных сигналов, то не очень понятно, как будет вести себя широкополосный сигнал, захватывающий оба таких участка. Хотя, исходя из общих соображений, можно утверждать, что это приведет к искажениям сигнала. Возможно, что использование всей шири-

ны полосы для передачи сигналов окажется недопустимым.

В последнее время для изоляции высокочастотных кабелей связи наряду с полиэтиленом стали применять полипропилен, однако о нормировании относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в зависимости от частоты нам ничего не известно.

Как следует из вышеизложенного, в нормативной документации на полиэтилен и полипропилен должны быть приведены функциональные зависимости относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь от частоты, а также метод измерений.

Кстати, об измерениях. В [3] рекомендуется измерять относительную диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 1 МГц по методике, изложенной в [6], а на частоте 500 МГц — по методике, изложенной в [7].

Методика [6] описывает метод непосредственного измерения относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь и резонансный метод (с помощью определения добротности измеряемой цепи), в диапазоне частот от 100 до $5 \cdot 10^6$ Гц на образцах в виде круглых, квадратных пластин или цилиндрических трубок.

Методика [7] описывает резонансный метод, основанный на использовании измерителей добротности, тороидальных резонаторов и коаксиальных резонаторов постоянной и переменной длины, и метод измерения в линиях передач, основанный на использовании коаксиальных измерительных систем, в диапазоне частот 0,2–1 ГГц на образцах в виде плоскопараллельного диска или коаксиальной шайбы.

Отсюда видно, что существующие методики позволяют проводить измерения в диапазоне частот от 100 до 1000 МГц. Для проведения испытаний в диапазоне частот до 10 ГГц необходимо разрабатывать и стандартизовать методику измерений.

Ужесточение требований к кабелям, прокладываемым в помещениях, в частности требования по нераспространению горения, приводят к тому, что полиэтилен и полипропилен перестают соответствовать совокупным требованиям, предъявляемым к материалу изоляции.

В качестве возможной замены в простейшем случае могут рассматриваться поливинилхлоридный пластикат или полимерная безгалогенная компо-

зияция. Ввиду того, что безгалогенная полимерная композиция в России не производится, проведем анализ изоляционного поливинилхлоридного пластика.

Изоляционный поливинилхлоридный пластикат в России производят по ГОСТ 5960-72 [8].

Поливинилхлоридный пластикат относится к полярным диэлектрикам, у которых относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь не только имеют большие значения, но и резко возрастают при повышении температуры [5].

Однако в нормативном документе на изоляционный поливинилхлоридный пластикат [8] требования к таким параметрам просто отсутствуют.

Поиск технической информации в этом направлении привел к противоречивым результатам. Так, в отечественной информации в сети Интернет [9] сообщается следующее:

- для жесткого ПВХ (винипласта) тангенс угла диэлектрических потерь при 50 Гц составляет 0,01–0,02, относительная диэлектрическая проницаемость при 50 Гц — от 3,1 до 3,5;

- для мягкого ПВХ (пластиката) тангенс угла диэлектрических потерь при 50 Гц равен 0,1, относительная диэлектрическая проницаемость при 50 Гц составляет 4,2–4,5.

По информации фирмы «Alpha Wire Company» [10] для стандартного поливинилхлоридного пластика тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 МГц равен 0,06–0,1, относительная диэлектрическая проницаемость при частоте 1 МГц составляет 4–6.

Расчетные значения, полученные на основании результатов измерений кабелей с поливинилхлоридной изоляцией марки И40-13А (рец. 8/2), показали, что относительная диэлектрическая проницаемость примененного материала превышает 5 (на частоте 1кГц).

Здесь важно отметить то, что области поверхностного эффекта и диэлектрических потерь не являются взаимно независимыми и могут перекрываться. За счет большого значения тангенса угла диэлектрических потерь поливинилхлоридного пластика нижняя граница области диэлектрических потерь спускается до 1 МГц, и кабель с изоляцией из поливинилхлоридного пластика уступает кабелю с изоляцией из полиэтилена по коэффициенту затухания.

Можно предположить, что не лучше обстоит дело и с безгалогенной полимерной композицией.

В заключение обобщим изложенное.

Для того, чтобы рассчитать коэффициент затухания и волновое сопротивление кабелей связи для частот выше 1 МГц, необходимо организовывать контроль комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 1 до 10000 МГц как функции от частоты или, что то же самое, относительной диэлектрической проницаемости (вещественной составляющей) и тангенса угла диэлектрических потерь всех полимерных материалов, которые могут применяться для изготовления изоляции этих кабелей.

Решить такую задачу, по нашему мнению, под силу только крупному кабельному заводу, Ассоциации «Электрокабель» или ОАО «ВНИИКП», но то, что необходимость ее решения давно назрела, очевидно. Без знания подобных параметров материалов ни конструировать, ни изготавливать кабели невозможно.

Эпоха, когда заводской технолог изготавливал любую кабель, измерив конструктивные размеры образца, уходит в прошлое.

*Д.В. Хвостов,
В.В. Бычков,
Ю.Д. Дмитриев*

Литература

1. Олифер В.Т., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Изд-во «Питер», 2006.
2. Джонсон Г.Д., Грэхэм М. Высокоскоростная передача цифровых данных. М., СПб: Изд-во «Вильямс», 2005.
3. ГОСТ 16336-77. Композиции полиэтилена для кабельной промышленности. Технические условия.
4. Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов. М.: Энергия, 1973.
5. Справочник по электротехническим материалам / под ред. Ю.В. Корицкого, В.В. Пасынкова, Б.М. Тареева. Т.1. М.: Энергоатомиздат, 1986.
6. ГОСТ 22372-77. Материалы диэлектрические. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до $5 \cdot 10^6$ Гц.
7. ГОСТ 8.358-79. Государственная система обеспечения единства измерений. Методика выполнения измерений относительной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот 0,2÷1 ГГц.
8. ГОСТ 5960-72. Пластикат поливинилхлоридный для изоляции и защитных оболочек проводов и кабелей. Технические условия.
9. Смола ПВХ. <http://ekoresurs.ru/product/smola-pvc.ru>.
10. <http://www.alphawire.com/pages/346.cfm>.