

Диэлькометрия: прошлое и настоящее

В кабельных изделиях, как известно, имеется два основных компонента — это токопроводящие металлические элементы (жила и экран) и диэлектрическая изоляция. Среди множества видов изоляционных материалов во второй половине 20 века преобладающую роль заняли полимерные материалы. Они почти полностью вытеснили многие традиционные изоляционные материалы — бумагу, различные нити и резину. Преимущество полимерных материалов — в их технологичности и в превосходных механических и электрических свойствах. К числу последних свойств следует отнести удельное объемное электрическое сопротивление, электрическую прочность, диэлектрическую проницаемость и диэлектрические потери.

Напомним, что диэлектрическая проницаемость вещества ϵ характеризует его поляризуемость во внешнем электрическом поле. При этом если вещество не содержит постоянных дипольных моментов (полярных молекул), то во внешнем поле возникает деформационный дипольный момент, связанный со смещением положительных и отрицательных зарядов. По этому признаку диэлектрики делятся на полярные и неполярные. Из распространенных полимерных изоляционных материалов к первым относятся ПВХ пластики, к неполярным — полиэтилен, политетрафторэтилен.

Диэлектрические потери связаны с рассеиванием энергии электромагнитного поля в диэлектрике. В идеале при подаче переменного напряжения на конденсатор вектор тока опережает вектор напряжения на 90° , но из-за потерь энергии в диэлектрике угол между ними будет на величину δ меньше. Угол δ называется углом диэлектрических потерь. На практике пользуются не величиной угла, а тангенсом этого угла, который называется тангенсом угла диэлектрических потерь ($\text{tg } \delta$).

Характеристики ϵ и $\text{tg } \delta$ играют решающую роль в электрических свойствах радиочастотных кабелей. Для них главными характеристиками являются волновое сопротивление Z и коэффициент затухания α . Волновое сопротивление связано с диэлектрической проницаемостью известной зависимостью

$$Z = 60 \ln(D/d) / \sqrt{\epsilon},$$

где D — внутренний диаметр внешнего проводника; d — внешний диаметр внутреннего проводника.

Коэффициент затухания кабеля обусловлен потерями в металле и потерями в изоляции. Последние на высоких частотах определяются формулой

$$\alpha_d = 29\pi f \cdot \text{tg } \delta \cdot 10^{-9} \sqrt{\epsilon}, \text{ дБ/м,}$$

где f — частота, Гц.

Диэлектрическая проницаемость входит и в ряд других характеристик радиочастотных кабелей:

- коэффициент фазы $\beta = 2\pi f c^{-1} \sqrt{\epsilon}$, рад/км;
- скорость распространения поля в кабеле $V = c/\sqrt{\epsilon}$, м/с;
- коэффициент укорочения длины волны в кабеле $\xi = \sqrt{\epsilon}$.

Таким образом, знание величин ϵ и $\text{tg } \delta$ для изоляционных материалов является необходимым условием при конструировании радиочастотных кабелей. Эти величины являются предметом входного контроля материалов при производстве радиочастотных кабелей. Поэтому измерению ϵ и $\text{tg } \delta$ в кабельной технике всегда уделялось большое внимание.

Методы измерения ϵ и $\text{tg } \delta$ развивались и совершенствовались на протяжении более века.

Известно, что впервые этими измерениями занялся российский ученый П.Н. Лебедев. В 1895 г. он измерил диэлектрическую проницаемость эбонита и серы на частоте 50 ГГц путем измерения показателя преломления. В начале 20 века И.М. Косоногов изучал зависимость ϵ жидких диэлектриков от частоты в диапазоне СВЧ. Г.И. Сканава обобщил сведения по физике диэлектриков в слабых полях, накопленные к 1949 году [1].

В ОКБ КП измерениями ϵ и $\text{tg } \delta$ на СВЧ начал заниматься И.И. Уваров в 1959 году. Затем эту работу продолжили А.М. Кокшаров, М.Ф. Попов, А.И. Бейкин, Д.Я. Гальперович, Н.Н. Хренков, В.В. Костромин, Б.С. Романов, А.В. Быков, А.Б. Трушля.

Мы не будем касаться вопросов природы диэлектрических потерь в полимерных материалах различного строения и их зависимости от частоты и температуры. На эту тему есть большое количество литературы, например [2–4]. Наша задача — осветить историю и сегодняшнее состояние **диэлькометрии**, то есть методов измерения ϵ и $\text{tg } \delta$ и их аппаратурного воплощения. Это будет сделано в нескольких последующих статьях.

*В.В. Костромин, к. т. н.,
Б.С. Романов, к. ф.-м. н.,
ФГУП «ОКБ КП»*

Литература

1. Сканава Г.И. Физика диэлектриков. М. Л.: Гостехиздат, 1949.
2. Тагер А.А. Физикохимия полимеров. М.: Химия, 1978. 240 с.
3. Сажин Б.И и др. Электрические свойства полимеров. Л.: Химия, 1986. 80 с.
4. Гальперович Д.Я., Павлов А.А., Хренков Н.Н. Радиочастотные кабели. М.: Энергоатомиздат, 1990.