

сравнению с LAN. Стандарт не позволяет оптимизировать выбор одномодовой ВОСП для конкретной многомодовой ВОЛС. Как известно, российские ОВ первого поколения, уступают по качеству импортным ОВ. С другой стороны, на сетях связи применялись ОВ с улучшенными параметрами передачи. Поскольку характеристики многомодовых ОВ, связанные с DMD, индивидуальны, то обязательным условием является обследование ВОЛС, направленное на исследование этих характеристик.

Поэтому для обеспечения возможности реконструкции многомодовой ВОЛС для работы с одномодовыми ВОСП рекомендуется следующая методика, основанная на необходимости применения:

- устройства подавления DMD;
- устройства согласования одномодовых и многомодовых ОВ;
- средства измерения параметров широкополосности многомодовых ОВ.

**Выводы:**

1. Операторы связи, стремясь к унификации оборудования находящихся в эксплуатации и работающих в одномодовом режиме ВОСП, сталкиваются с проблемой адаптации многомодовых ОВ ВОСП первого поколения к современным высокоскоростным одномодовым ВОСП.

2. Вместе с тем, многомодовые ОВ по-прежнему продолжают достаточно эффективно использоваться на локальных сетях передачи данных, что позволяет свести к минимуму суммарные затраты на строительство ВОЛС ведомственных сетей передачи данных.

3. Процесс распространения оптических импульсов, возбуждаемых одномодовым источником оптического излучения, по многомодовому ОВ характеризуется сильным проявлением эффекта дифференциальной модовой задержки (Differential Mode Delay – DMD).

4. Известны решения данной проблемы, полученные в результате экспериментальных и теоретических исследований в ходе разработки стандарта IEEE 802.3z, однако он не позволяет оптимизировать выбор одномодовой ВОСП для конкретной многомодовой ВОЛС.

5. Для обеспечения возможности реконструкции многомодовой ВОЛС для работы с одномодовыми ВОСП предлагается методика, основанная на необходимости применения схемотехнических средств.

ЛИТЕРАТУРА

1.Алексеев Е.Б. Особенности эксплуатации ВОСП и пути повышения качества их функционирования //М., Электросвязь, 1997, № 5, с. 42-46.

**УДК 621.315.616.9039.83**

**Бекмагамбетова Куралай Хамитовна – к.т.н., профессор (Алматы, АИЭС)**

**ВЫРАВНИВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ КАБЕЛЯ С ПОЛИИМИДНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ЁМКОСТНЫМ МЕТОДОМ**

Размеры электроизоляционных изделий и их форма предопределяются стойкостью к механическим, электрическим и тепловым воздействиям. Форма изделий во многом предопределяется тем оборудованием, для которого они предназначены. В большинстве

случаев при конструировании электрической изоляции не удастся использовать ее форму с точки зрения получения наиболее выгодного для работы электроизоляционных материалов равномерного поля. В неравномерном поле отдельные участки электроизоляционной конструкции несут повышенную электрическую нагрузку, что может привести к быстрому разрушению материалов перегруженных областей.

Работоспособность электрической изоляции при неоднородном электрическом поле можно повысить: первое – снижая напряженность поля в наиболее нагруженных участках путем увеличения конструкций. Однако, такой путь экономический неоправдан.

Второй возможный путь – выравнивание (регулирование) электрического поля в конструкции. Путем регулирования электрического поля создают более равномерное распределение электрической нагрузки на отдельных участках электроизоляционных материалов, что повышает, как правило, их работоспособность. Регулировать электрическое поле можно двумя способами: изменяя либо активную проводимость, либо ёмкость отдельных участков изоляции.

Ёмкостные способы регулирования электрических полей основаны на увеличении ёмкости тех участков электрической изоляции, в которых необходимо понизить падение напряжения. Одним из распространенных видов увеличения ёмкости отдельных участков изоляции является размещение в тех местах, где нужно понизить падение напряжения, диэлектриков с повышенной диэлектрической проницаемостью ( $\epsilon$ ).

Выравнивание электрического поля путем размещения диэлектриков с большей диэлектрической проницаемостью в местах повышенной напряженности широко применяется в кабелях высокого напряжения. Здесь происходит градирование электрической изоляции с целью уменьшения напряженности поля у токопроводящей жилы. Наилучшее градирование получим при таком подборе материала, когда напряженность поля остается постоянной по всем слоям. Условие наилучшего градирования ( $E = \text{const}$ ) выполняется тогда, когда произведение диэлектрической проницаемости на площадь эквипотенциальной поверхности остается неизменной. Однако трудно подобрать электроизоляционные материалы, чтобы их диэлектрическая проницаемость плавно изменялась в широком диапазоне. Поэтому в кабелях и других электроизоляционных конструкциях широко применяется многослойная изоляция и, соответственно, многослойное градирование.

В любом  $i$ -м слое максимальная напряженность поля имеет вид:

$$E_i = \frac{U}{r_i \epsilon_{ri} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\epsilon_{ri}} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}} \quad (1)$$

При многослойном градировании стараются получить одинаковые максимальные напряженности поля во всех слоях. Это условие будет выполняться, если

$$r_i \epsilon_{ri} = \text{const} \quad (2)$$

где  $r_i$  - радиус  $i$  слоя;  $\epsilon_{ri}$  – его диэлектрическая проницаемость.

По (2) можно рассчитать радиусы слоев при известных диэлектрических проницаемостях электроизоляционного материала. До сих пор градирование широко применялось в кабелях с бумажно–масляной изоляцией двумя слоями. Диэлектрическая проницаемость бумаги, пропитанной маслом, может изменяться от 3,5 до 4,3. Диэлектрическая проницаемость полиимида от 2,1 до 3,5. По жиле накладывается слой изоляции из полиимида с большей  $\epsilon$ , а второй слой из полиимида меньшей  $\epsilon$ .

Градиентирование электрической изоляции дает наибольший эффект при малых радиусах токопроводящей жилы, когда неравномерность электрического поля велика.

Толщина изоляции кабелей на высокие напряжения находится из условия, чтобы ее пробивное напряжение было выше наибольшего действующего в эксплуатации. Существенное значение имеет выбор допустимой рабочей напряженности в изоляции кабеля. Например: допустимую напряженность поля в полиимидной изоляции кабеля примем 35 МВ/м, которая получается из формулы:

$$E_{раб} = \frac{E_{пр}}{\kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \kappa_4 \kappa_5}, \quad (3)$$

где  $\kappa_1 \kappa_2 \kappa_3 \kappa_4 \kappa_5 = \kappa_3$  - общий коэффициент запаса.

В зависимости от вида изоляции и класса напряжения коэффициент запаса находится в пределах от 32 до 5 [1]. Электрическая прочность полиимидной пленки  $E_{пр} = 200$  кВ/мм, поэтому для рассматриваемого случая коэффициент получился равным 7,5-8, выбрали 8. Электрическая прочность  $E_{пр}$  определяется на основе экспериментов как среднее значение и зависит от толщины листов пленки, времени приложения напряжения и других факторов. Электрическая прочность полимерной изоляции уменьшается с увеличением ее толщины, площади электродов, температуры и экспозиции напряжения. С повышением толщины пленки  $E_{пр}$  как на переменном, так и на импульсном напряжении снижается. Так, например, для полиимида алициклического строения при толщинах 140 мкм и 200 мкм на переменном напряжении  $E_{пр}$  снижается от 220 до 180 кВ/мм соответственно. При толщине 160 мкм  $E_{пр}$  составляет 200 кВ/мм.

С учетом всех коэффициентов, класса напряжения (500 кВ) и электрической прочности равной 200кВ/мм для полиимидной пленки толщиной в 160 мкм,  $E_{раб}$  получается равным 35 кВ/мм.

Изоляция изготавливается в два слоя: первый слой из полиимида с  $\epsilon_r = 3,5$  а второй -  $\epsilon_r = 2,1$ . При классе напряжения кабеля 500 кВ наибольшее рабочее напряжение равно  $525/\sqrt{3}$ . Для расчета берем кабели на напряжение 500 кВ, но с разными сечениями токоведущих жил: 800мм<sup>2</sup> и 3000мм<sup>2</sup>. Первый кабель имеет токопроводящую жилу радиусом  $r_1=16$  мм, второй –  $r_1=36$  мм. Определим толщину изоляции для первого и второго кабеля при двухслойном и однослойном исполнении. Для неградирированной изоляции внешний радиус ее найдем по формуле максимальной напряженности поля в цилиндрическом конденсаторе:

$$r_2 = r_1 e^{U_{раб}/E_{доп}r_1}, \quad (4)$$

где  $U_{раб}$  – рабочее напряжение, приложенное к изоляции;  $E_{доп}$  – допустимая наибольшая напряженность поля в кабельной изоляции.

Для первого кабеля

$$r_2 = 16e^{\frac{525}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 16}} = 27,5 \text{ мм},$$

Толщина изоляции  $\Delta$  для неградирированного кабеля с радиусом жилы равным 16 мм получился 11,5 мм.

для второго

$$r_2 = 36e^{\frac{525}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 36}} = 45,8 \text{ мм}$$

с радиусом жилы равным 36 мм  $\Delta$  равен 9,8 мм. Из (2) определим внешний радиус первого слоя градирированной изоляции:

для первого кабеля

$$r_2 = \frac{r_1 \cdot \varepsilon_{r1}}{\varepsilon_{r2}} = 16 \frac{3,5}{2,1} = 26,66 \text{ мм};$$

для второго

$$r_2 = r_1 \frac{\varepsilon_{r1}}{\varepsilon_{r2}} = 36 \frac{3,5}{2,1} = 60 \text{ мм}.$$

Внешний радиус изоляции при ее градировании в два слоя получим из (1):

$$r_3 = r_2 \exp\left(\frac{U_{\text{раб}}}{E_{\text{дон}} r_1} \frac{\varepsilon_{r2}}{\varepsilon_{r1}} - \frac{\varepsilon_{r2}}{\varepsilon_{r1}} \ln \frac{r_2}{r_1}\right).$$

Внешний радиус градированной изоляции составит:

для первого кабеля

$$r_3 = 26,66 \exp\left(\frac{525}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 16} \frac{2,1}{3,5} - \frac{2,1}{3,5} \ln \frac{26,66}{16}\right) = 19,01 \text{ мм};$$

для второго

$$r_3 = 60 \exp\left(\frac{525}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 36} \frac{2,1}{3,5} - \frac{2,1}{3,5} \ln \frac{60}{36}\right) = 51,02 \text{ мм}.$$

Толщина градированной изоляции для первого кабеля  $r_3 - r_1 = 19,01 - 16 = 3,6$  мм и второго –  $51,02 - 36 = 15,02$  мм.

Таким образом, за счет градирования изоляции ее толщину у первого кабеля можно уменьшить с 11,5 до 3,6 мм, т.е. на 7,9 мм, а у второго, наоборот, увеличилась – с 9,79 до 15,02 мм, т.е. всего на 6,23 мм. Из вышесказанного следует, что градирование электрической изоляции дает возможность снизить ее толщину только до определенных сечений: (по нашим расчетам до  $2370 \text{ мм}^2$ , т.е. до радиуса жилы 27 мм). При увеличении сечения выше этого значения, градирование увеличивает толщину изоляции. Подтвердился тот факт, что градирование электрической изоляции дает наибольший эффект при малых радиусах токопроводящей жилы, когда неравномерность электрического поля велика.

Возникает вопрос: стоит ли градировать изоляцию для выравнивания электрического поля кабеля на высокие напряжения при применении полиимидной изоляции, имеющего большое сечение ТПЖ, каким образом изменяется напряженность электрического поля в данной ситуации? Для выяснения этого вопроса необходимо ее рассчитать. Для расчета напряженности электрического поля принимаем  $U$  равное  $525/\sqrt{3}$ .

Напряженность электрического поля получают из общей зависимости:

$$E = \frac{U}{2,3x \lg R/r} [B/cm], \quad (5)$$

В большинстве случаев важны максимальная и минимальная величины напряженности электрического поля, получаемые из общей зависимости (5):

$$E_{\max} = \frac{U}{2,3r \lg R/r} [B/cm], \quad (6)$$

$$E_{\min} = \frac{U}{2,3R \lg R/r} [B/cm], \quad (7)$$

Напряженность электрического поля у поверхности с меньшим радиусом имеет максимальное значение. Таким образом, если вблизи внутреннего электрода материал напряжен до предела, то у внешней поверхности он недогружен. Это подтверждается расчетами, проведенными для кабелей разных сечений, изолированных полиимидом и сшитым полиэтиленом. Например, для кабеля, изолированного полиимидной пленкой ПИФ<sub>АБ</sub>, сечением 800мм<sup>2</sup>:

$$E_{\max} = \frac{525}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{2,3 \cdot 16 \cdot \lg \frac{27,5}{16}} = 35 \text{ кВ/мм},$$

$$E_{\min} = \frac{525}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{2,3 \cdot 27,5 \lg \frac{27,5}{16}} = 20,375 \text{ кВ/мм},$$

Аналогичным образом рассчитаны значения максимальных и минимальных напряженностей поля для кабеля сечением 3000мм<sup>2</sup> и кабелей изолированных сшитым полиэтиленом, значения приведены в таблице 3.

Таблица 3

Напряженности электрического поля в кабелях

Кабели	Сечение, S, мм <sup>2</sup>	Изоляция из ПИФ <sub>АБ</sub>	Изоляция из СШПЭ
$E_{\max}$ , кВ/мм	800	35	16,25
$E_{\min}$ , кВ/мм	800	20,4	5,42
$E_{\max}$ , кВ/мм	3000	36,7	12,96
$E_{\min}$ , кВ/мм	3000	29,2	6,9

Из таблицы видно, что разница между максимальными и минимальными значениями напряженностей электрического поля составляют, примерно, 10 - 15 кВ/мм. Для пленки ПИФ<sub>АБ</sub> электрическая прочность, которой составляет, примерно, 200-220 кВ/мм, перепад в 10 -15 кВ/мм считаем не опасным и по величине сопоставим с перепадом напряженностей у кабеля с изоляцией из СШПЭ. Но в любом случае, для данной изоляции есть возможность получения пленок с различными величинами диэлектрической проницаемости и можно провести градирование изоляции по емкости. В стандартных кабелях, выпускаемых заводами – изготовителями, изолированными сшитым полиэтиленом (СШПЭ) градирование не проведено, хотя перепад напряженностей электрического поля примерно такое же, как и в нашем случае. В этих кабелях применили экранирование по жиле и по изоляции полупроводящим полиэтиленом.

**Выводы:**

1. Градирование электрической изоляции дает наибольший эффект только при малых радиусах токопроводящей жилы, когда неравномерность электрического поля велика.

2. Напряженность электрического поля кабеля у жилы имеет максимальное значение, близкое к допустимой рабочей напряженности. Распределение напряженности по толщине изоляции соответствует общепринятым закономерностям.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Михалков А.В. Техника высоких напряжений в примерах и задачах. М., Высшая школа, 1965, 228 с.

2. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции. М., Энергоиздат, 1981, 392 с.

3. Украинский Ю.М. Пак В. М. Создание современных электроизоляционных материалов и систем изоляции для тяговых электродвигателей нового поколения электровозов //М., Электротехника, 1999, №3, с. 53-55.

4. Жубанов Б.А., Бекмагамбетова К.Х., Кравцова В.Д., Пленки из алициклических полиимидов и их основные электрические свойства. //Химический журнал Казахстана. Алматы, 2009, №3, с. 68-91.

5. Жубанов Б.А., Кравцова В.Д., Бекмагамбетова К.Х. Новые полимерные системы на основе алициклических полиимидов //М., Прикладная химия. РФ. М., 2006, т.79, вып 11, с.1890-1891.

**УДК 681.3:658.012**

**Темырканова Эльвира Кадылбековна – соискатель (Алматы, АИЭС)  
Казиева Галия Сейткамзаевна – к.т.н., профессор (Алматы, АИЭС)**

**НЕКОТОРЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА КАЧЕСТВО РАБОТЫ СЕТИ ПРИ  
ОКАЗАНИИ УСЛУГ IPTV**

Появившись сравнительно недавно, технология IPTV уже успела стать достойным конкурентом традиционному эфирному, кабельному и спутниковому телевидению. Если еще вчера операторы связи работали в узких сегментах рынка, то сегодня наблюдается тенденция расширения перечня услуг, предоставляемых на собственных сетях. Возникло понятие «мультисервисные сети» (сначала double потом triple play сетей и т. п.), способные по одному кабелю предоставить все типы услуг (голосовые, передача данных, видео и т. д.) [1]. Операторы традиционной телефонной связи стали активно предлагать услуги широкополосной передачи данных, а, например, операторы кабельного телевидения или интернет-провайдеры – услуги IP-телефонии. Очевидно, что при сохранении такой тенденции границы между ранее обособленными рынками будут постепенно стираться, что потребует от всех игроков на рынке достаточно большой гибкости и быстрой реакции. Выживут на столь высококонкурентном рынке только те, кто сможет предложить более привлекательную комбинацию услуг. С технологией IPTV операторы перестают быть просто «битовой трубой», а превращаются в полноценных участников цепочки добавленной стоимости, трансформируясь в провайдера инфокоммуникационных услуг. Переход от концепции «только голос» к концепции multiple play (и triple play – как частный случай) естественным образом вызывает рост абонентской базы и ARPU.