

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ИЗОЛЯТОРОВ ДЛЯ ГИРЛЯНД ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ ПЕРЕДАЧ

А. С. Солиев 2-курс магистр, НамГУ

Наличие металлических элементов в гирлянде с неизвестными потенциалами в первой подвеске вносит дополнительную сложность в численных расчетах. Для того, чтобы избежать громоздких итерационных вычислений с непрогнозируемым исходом, предложено металлические элементы «внутри» гирлянды задавать в виде отдельных диэлектрических подобластей с удельной проводимостью большей, чем на 5 и более порядков по сравнению со смежными подобластями.

На рис. 1 показан один из примеров расчета поля для случая  $\epsilon_y = 1 \times 10^{10}$  см, представленный в виде линий равных потенциалов. Левая половина рисунка соответствует гирлянде из фарфоровых изоляторов, а правая - подвеске с полимерным изолятором.

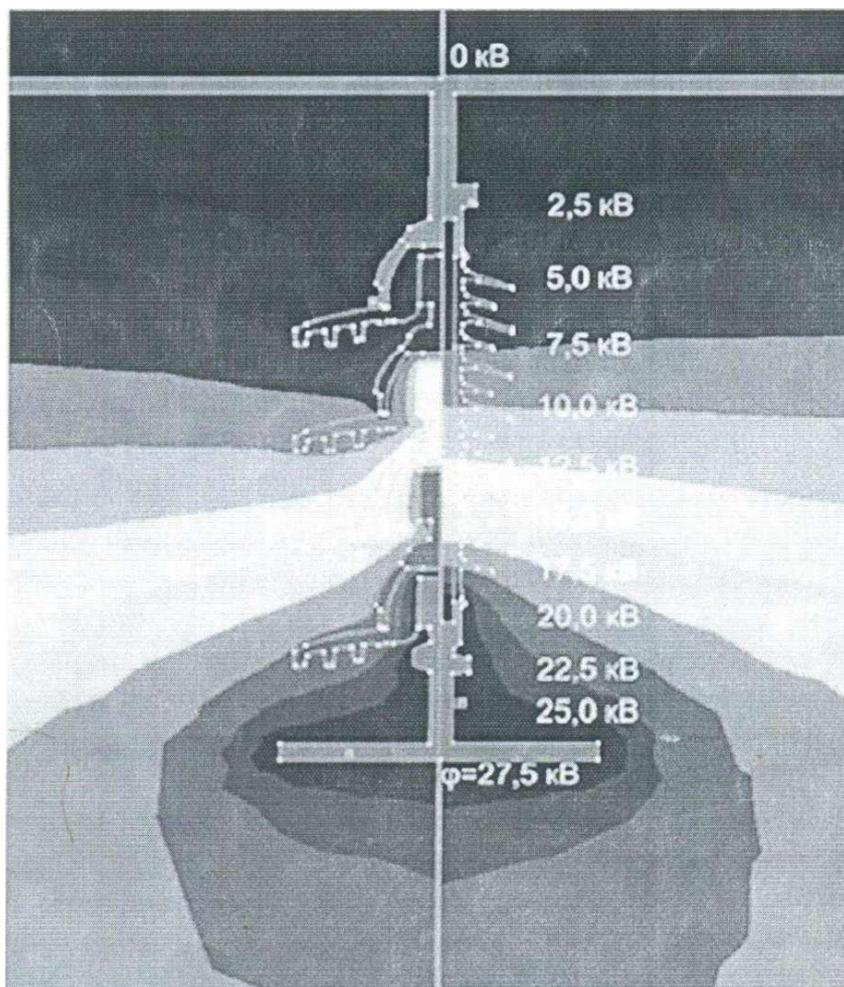


Рис. 1. Линии равного потенциала изолирующих подвесок

Приведенный рисунок дает общее представление о том, что полимерный изолятор нагружен электрически значительно равномернее, чем фарфоровые изоляторы. При этом линии равных потенциалов заметно гуще располагаются на фарфоровых изоляторах.

Действительно, активная составляющая токов утечки вдоль гирлянды из фарфоровых изоляторов значительно больше, чем у полимерного изолятора, и, как показано на рис. 2 для  $\rho=\gamma \geq 10^{11}$  Ом соотношение между токами может превышать 10... 100 раз, хотя следует заметить, что наибольшая величина тока не превышает единиц микроампер.

С увеличением поверхностной проводимости изоляции разница в токах существенно сокращается, а величина токов составляет уж десятки микроампер (табл. 2).

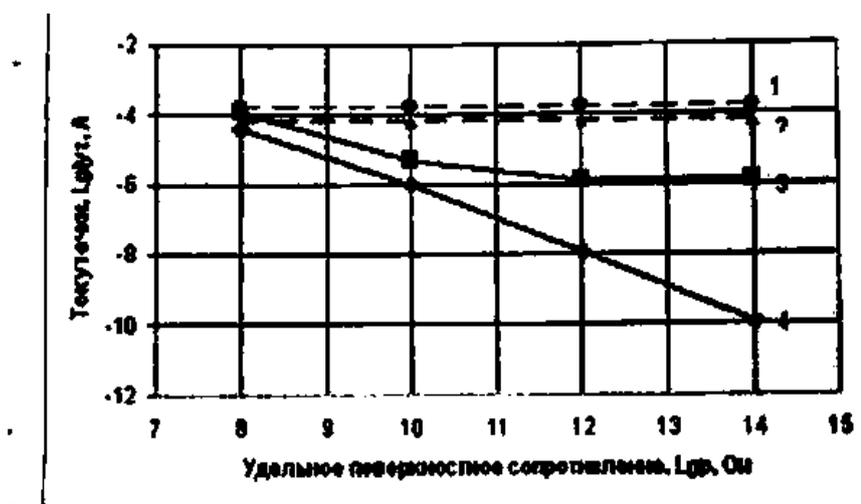


Рис. 2. Токи утечки в сети переменного тока: 1,3- токи смещения и проводимости подвески из ПФ70Д; 2, 4 - токи смещения и проводимости подвески из ПСК 120/27,5-5

Токи смещения приведены на рис. 2 (обозначены цифрами 1 и 2), что соответствует расчетным значениям эквивалентных емкостей

- 18,2 пФ - для подвески из гирлянды фарфоровых изоляторов;
- 6,8 пФ - для подвески из полимерного изолятора.

По данным табл. 1 можно судить, что разность потенциалов, приходящаяся между шапкой и стержнем на нижнем фарфоровом изоляторе, на 6...9 % больше, чем на других изоляторах. По мере увеличения

поверхностной проводимости отмечается тенденция выравнивания разности потенциалов на изоляторах.

Максимумы напряженности поля,  $E_m$ , имеют место в области потенциального электрода. Для первой подвески точки  $E_m$  находятся на стыке «стержень с цементной связкой - фарфор», для второй подвески - по границе «оконцеватель - защитная оболочка». Численные значения максимальной напряженности поля даны на рис. 3, откуда видно, что  $E_m$  на фарфоре больше примерно в два

Наименование показателей		Удельная поверхностная проводимость, См			
		$1 \times 10^{14}$	$1 \times 10^{12}$	$1 \times 10^{10}$	$1 \times 10^8$
Эквивалентное сопротивление, МОм	Подвеска из ПФ70Дх4	21 400	20 700	5 860	250
	Подвеска из ПСКЦ120/27,5-5	246 000 000	2 430 000	28 500	736
Ток проводимости, мкА	Подвеска из ПФ70Дх4	1,29	1,33	4,69	110
	Подвеска из ПСКЦ 120/27,5-5	0,00 011	0, 011	0,97	37,4
Напряжение на изоляторе в подвеске ПФ70Дх4, кВ	На 1 -ом от траверсы	6,84	6,84	6,85	6,89
	На 2-ом от траверсы	6,60	6,60	6,60	6,74
	На 3-ом от траверсы	6,75	6,75	6,74	6,86
	На 4-ом от траверсы	7,31	7,31	7,31	7,01

Токи утечки вдоль изоляции можно условно представить как сумму токов, протекающих через тело изолятора и по его поверхности. Соответственно

резистивное Электрические характеристики подвесок  
сопротивление - в виде  
параллельно соединенных поверхностного  $R_s$  и объемного сопротивлений  $R_v$  :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_v} \quad (7)$$

Объемное сопротивление не зависит от внешних условий, поэтому величина его будет близка величине общего сопротивления изоляции для случая, когда изоляторы находятся в сухом и чистом состоянии:

$$R_v = R (\gamma_3 \cong 1 \times 10^{-14} \text{ См}).$$

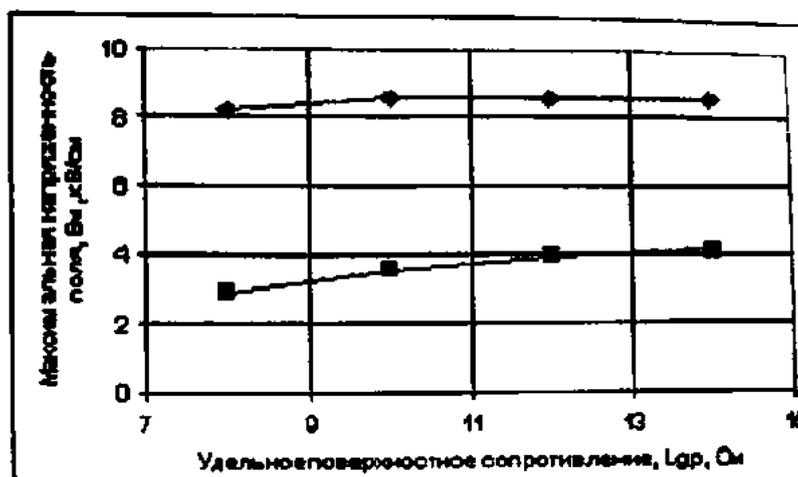


Рис. 3. Зависимости максимальной напряженности поля от величины поверхностного сопротивления изоляции подвески: 1,3-токи смещения и проводимости подвески из ПФ70Д; 2, 4 - токи смещения и проводимости подвески из ПСК 120/27,5-5

На практике при выборе внешней изоляции используют так называемый коэффициент формы изоляционной конструкции. Этот коэффициент определяет поверхностное сопротивление изоляции следующим образом:

$$R_s = \frac{l}{\pi \cdot \gamma_3} \int_0^l \frac{dl}{D(l)} = \frac{k_\phi}{\gamma_3} \quad (8)$$

где  $dl$  - приращение длины пути утечки  $L$  ;

$D(l)$  - диаметр изолятора;

$k_\phi$  - коэффициент формы изолятора (см. табл. 1).

Очевидно, что соотношения (7) и (8) в большей мере справедливы для системы постоянного тока, когда емкостные токи можно не учитывать. Были выполнены расчеты изолирующих подвесок для сети постоянного тока по аналогии, что и для случая с переменным током. На рис. 4 сопоставлены активные сопротивления подвесок сети постоянного тока, вычисленные на основе моделей электрического поля (5), но для  $\omega = 0$  и по величинам коэффициента форм использованных изоляторов (8):  $k_{\phi 1} = 0,72 \cdot 2$  для ПФ70Д\*2 и  $k_{\phi 2} = 3,9$  для ПСКЦ120/33-7.

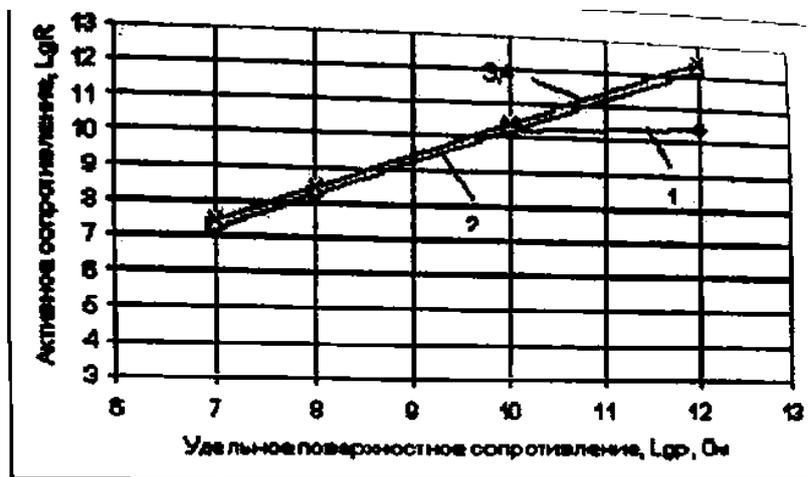


Рис. 4. Сопротивления изолирующих подвесок сети постоянного тока:

1,2 - ПФ70Дх2; 3,4 – из ПСК 120/3,3-7; 1, 3 - по (1); 2, 4 –по (8)

Зависимости на рис. 4 свидетельствуют о хорошей сходимости сравниваемых величин сопротивлений изоляции. Откуда вытекает, что в сетях постоянного тока для подвески с полимерными изоляторами

вследствие их большого объемного сопротивления ( $R_v \approx 1 \times 10^{14} \text{ Ом}$ ). токи утечки целиком определяются поверхностным сопротивлением изолятора:  $R \approx R_s$  (7). Для подвески с фарфоровыми изоляторами объемное сопротивление оценивается величиной  $R_v \leq 1 \times 10^{11} \text{ Ом}$ . Поэтому, как видно из рис. 4, можно пренебречь токами сквозь тело диэлектрика, если поверхностное загрязнение составляет  $\gamma_s \geq 1 \times 10^{-10} \text{ См}$ .

Таким образом, можно констатировать, что в рассматриваемых условиях эксплуатации в сетях постоянного тока токи утечки вдоль полимерной изоляции по сравнению с токами вдоль фарфоровой изоляции будут меньше, по крайней мере, во столько раз, во сколько отличаются

коэффициенты формы используемых изоляторов:  $k_{\text{Ф2}} / k_{\text{Ф1}} = 2,8$  (рис. 5). По сути, последний вывод относится и к изоляции переменного тока.

Уместно отметить, что проведенный здесь анализ предполагал ровность восприимчивости сравниваемой изоляции к загрязнению и увлажнению. В действительности, как подтверждает опыт работы, полимерные изоляторы вследствие высокой гидрофобности во внешних условиях загрязняются значительно меньше, поэтому реальные токи утечки по полимерным изоляторам оказываются, значительно меньше, чем спрогнозировано в данной работе.



Рис. 5. Токи утечки в сети постоянного тока ( н.р. 4 U = кВ) вдоль изоляции из: 1-ПФ70Дх2; 2-ПСК120/33-7

## Выводы

В нормальном режиме работы, в условиях слабых загрязнений и в периоды невысокой влажности атмосферы, стержневые полимерные изоляторы значительно слабее подвергаются электрическим воздействиям по сравнению с гирляндами из тарельчатых фарфоровых изоляторов, что обусловлено только лишь их конструктивными особенностями.

В условиях загрязненности изоляции, характеризуемой удельной поверхностной проводимостью  $Уз \cdot 10^{10} \text{ См}$ , оценку токов утечки можно осуществлять по коэффициентам формы изоляторов.

В рассматриваемых условиях в контактной сети замена фарфоровых изоляторов эквивалентными полимерными приведет к снижению токов утечки через изолирующие подвески в 3 и более раза.

В нормальном режиме работы, в условиях слабых загрязнений и в периоды невысокой влажности атмосферы, стержневые полимерные изоляторы значительно слабее подвергаются электрическим воздействиям по сравнению с гирляндами из тарельчатых фарфоровых изоляторов, что обусловлено только лишь их конструктивными особенностями.

В условиях загрязненности изоляции, характеризуемой удельной поверхностной проводимостью  $Уз \cdot 10^{10} \text{ См}$ , оценку токов утечки можно осуществлять по коэффициентам формы изоляторов.

В рассматриваемых условиях в контактной сети замена фарфоровых изоляторов эквивалентными полимерными приведет к снижению токов утечки через изолирующие подвески в 3 и более раза.

#### Литература

1. Новиков С.И. Тепловое расширение твёрдых тел. М.: Наука, 1974. ст 29
2. Гантмахер В. Ф. Электроны в неупорядоченных средах.  
2е изд испр и доп М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. ст 232 .
3. М.Лайние. А.Гласс. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы.  
Мир. Москва 1981 г ст 151.
4. Справочник по электротехническим материалам. Госенергиздат  
1960 г ст 89.