

Г. Л. ЭПШТЕЙН

ПРИМЕНЕНИЕ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ ИЗОЛИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

(Представлено академиком В. Ф. Миткевичем 13 II 1947)

1. Передача на дальние расстояния энергии местных топлив и больших водных артерий СССР требует повышения напряжения электросистем сверх пределов, обычных для Западной Европы и США. Между тем развитие техники высоких напряжений лимитируется отсутствием рационального метода расчета изоляционных конструкций. Так, подвес линий с напряжением выше 220 kV затруднен задачей создания такой гирлянды, у которой линейный элемент был бы способен противостоять падающей на него части напряжения; для системы передачи Больдер-Дам — Лос-Анжелос применена гирлянда с числом звеньев 23—26. Дальнейшее повышение напряжения системы привело бы к угрожающему и все же мало эффективному нарастанию числа звеньев гирлянды.

В настоящей работе излагается новый принцип конструирования изоляционных систем — именно, принцип расчетного подхода к параметрам цепочки, поддающимся изменению, взамен огульного требования применения материалов с наилучшими количественными показателями. В качестве подобного параметра принято активное сопротивление изолятора (его тела или глазурного покрытия), возможность широкого изменения которого доказана проведенными нами работами. Хотя не представлялся бы исключенным и путь изменения диэлектрической проницаемости керамической массы, однако, он себя не оправдал (см., например, патент АЕГ, не реализованный фирмой (1)).

2. Для нахождения количественных зависимостей, определяющих величину потребного для любого частного случая сопротивления изолятора, исследована задача о распределении напряжения по звеньям цепочки с различными параметрами.

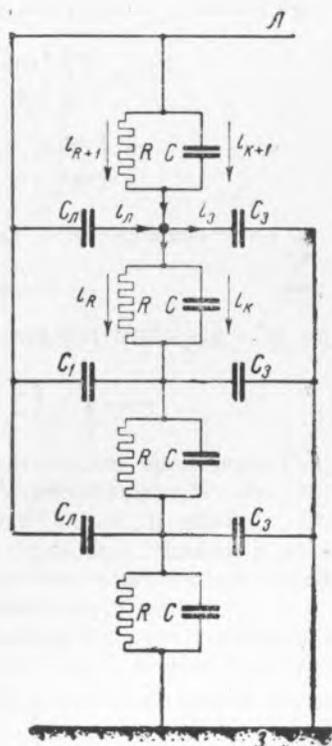


Рис. 1

Распределение напряжения по цепочке со схемой замещения рис. 1 может быть представлено дифференциальным уравнением:

$$\frac{\partial^2 V_k}{\partial k^2} \frac{1}{R} + jC \frac{\partial^3 V_k}{\partial k^2 \partial t} + j\omega C \frac{\partial^2 V_k}{\partial k^2} + jC_{\text{л}} \frac{\partial(U - V_k)}{\partial t} + j\omega C_{\text{з}}(U - V_k) - jC_{\text{з}} \frac{\partial V_k}{\partial t} - j\omega C_{\text{з}} V_k = 0, \quad (1)$$

в котором C , $C_{\text{з}}$ и $C_{\text{л}}$ — емкости межзвеньевая, относительно земли и относительно линии; R — сопротивление пути активной утечки по телу звена; V_k — напряжение на k -м звене; U — напряжение питания; ω — угловая частота; j — мнимая единица. Все параметры отнесены к единичному звену. В уравнении (1) допущено пренебрежение активными сопротивлениями утечек к линии и к земле (по малости их величин). Члены уравнения (1), содержащие производную по времени, характеризуют переходный режим.

Поскольку в дальнейшем показано, что достаточным понижением активного сопротивления пути утечки достигается любое заранее заданное распределение напряжения по отдельным звеньям цепочки, допущено пренебрежение C ; равным образом, для частного случая гирлянды изоляторов учтено равенство нулю параметра $C_{\text{л}}$. При этих допущениях уравнение (1) упрощается:

$$\frac{\partial^2 V_k}{\partial k^2} = jRC_{\text{з}} \left(\omega V_k + \frac{\partial V_k}{\partial t} \right).$$

Решение последнего уравнения может быть дано в виде:

$$\begin{aligned} \frac{V_k}{U} = & \frac{1}{2} \left[\left\{ \frac{\operatorname{sh}(\gamma + j\delta)k}{\operatorname{sh}(\gamma + j\delta)n} + \frac{\operatorname{sh}(\delta + j\gamma)k}{\operatorname{sh}(\delta + j\gamma)n} \right\} \sin \omega t + \right. \\ & \left. + \left\{ \frac{\operatorname{sh}(\gamma + j\delta)k}{\operatorname{sh}(\gamma + j\delta)n} - \frac{\operatorname{sh}(\delta + j\gamma)k}{\operatorname{sh}(\delta + j\gamma)n} \right\} j \cos \omega t \right] + \\ & + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(-1)^m (4m^2 \pi^3 n^4 \gamma^4 0,83^2 + 2m^2 \pi^5 j n^2 \gamma^3 0,83 - 4m \pi j n^6 \gamma^6 0,83^3) \sin m \pi \frac{k}{n}}{m^3 \pi^3 + 4n^6 \gamma^6 0,83^4} e^{-\left(\frac{m^2 \pi^2}{j n^2 R C_{\text{з}}} + \omega\right) t}, \end{aligned} \quad (2)$$

где m — порядок гармоники; n — число звеньев в гирлянде;

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sqrt{2}+1}{2} R \omega C_{\text{з}}}, \quad \delta = \sqrt{\frac{\sqrt{2}-1}{2} R \omega C_{\text{з}}}.$$

Дальнейшее исследование направлено по линии анализа этого выражения. Рассмотрению случаев учета C и $C_{\text{л}}$, а равно активных утечек к линии и земле (что играет роль в вопросе использования гирлянд в линиях высокого напряжения постоянного тока) будут посвящены дальнейшие работы.

3. Решение уравнения (2) в части члена стационарного режима показывает, что распределение напряжения определяется геометрической суммой ряда гиперболических спиралей. Суммарная кривая является результатом наложения 2 спиралей: 1-й — активной (с множителем $\sin \omega t$) и 2-й — реактивной (с множителем $j \cos \omega t$); сложение произведено при условии поворота последней на угол $\pi/2$ в сторону упреждения. Обе группы спиралей тем ярче выражены, чем больше аргумент гиперболического синуса γn , т. е. чем выше при прочих неизменных сомножителях сопротивление активной утечки: с ростом R (и γn) кривизна активных спиралей увеличивается, реактивные же спирали численно растут. Примеры подобных кривых показаны на рис. 2

для γn , равных 1 и 8. Буквами A , P и C обозначены спирали активные, реактивные и суммарные, на том же рисунке показаны методы их сочетания. Характерен ряд выявляющихся с ростом γn обстоятельств: а) напряжение на линейном звене цепочки растет с ростом γn и может превзойти напряжения питания; б) алгебраическая сумма напряжений на отдельных звеньях цепочки превышает геометрическую; превышение может достигь, в зависимости от величины γn , 200% напряжения питания; в) как максимум выпадающего на 1-е звено напряжения, так и максимум алгебраической суммы имеют место при вполне определенных значениях γn , как это показано на рис. 3; при очень больших γn напряжение линейного звена стремится к равенству

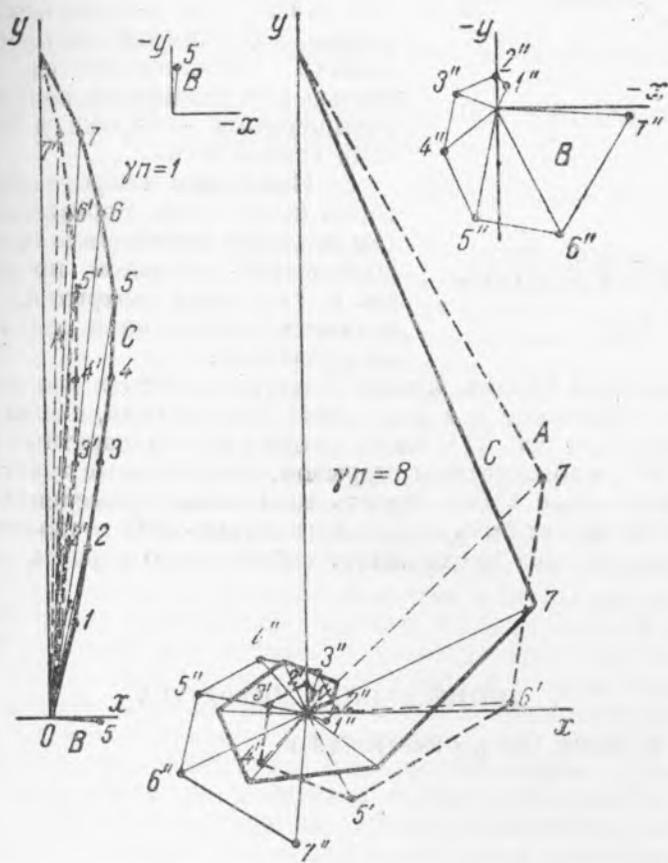


Рис. 2. A — активная спираль, P — реактивная спираль, C — суммарная спираль. Параметры: $R_1 C_3$

с напряжением питания, а алгебраическая сумма — к геометрической; г) при определенных γn на ряде звеньев появляются векторы напряжений, отклоняющиеся от напряжения питания на угол, больший $\pi/2$, что дает основание считать их отрицательными; д) изгиб спирали зависит только от величины γn ; изменение числа звеньев n при сохранении постоянства γn не меняет вида спирали, но обуславливает изменение распределения по отдельным звеньям; е) при одном и том же числе звеньев и росте единичного аргумента гиперболического синуса имеет место: растущее закручивание спирали; рост напряжения на линейном звене; понижение степени равномерности (рис. 3).

Что касается члена переходного процесса, то длительность существования его является функцией угловой частоты, а величины век-

торов, налагающихся на векторы стационарного режима, растут с ростом R .

4. Указанные свойства спиралей могут быть эффективно использованы для улучшения работы ряда электротехнических аппаратов. Наиболее характерным объектом являются гирлянды подвесных изоляторов. Требованиями к ним могут явиться условия равномерного распределения напряжения и улучшение эксплуатационных характеристик. Рост равномерности дается снижением аргумента гиперболического синуса до величин $\gamma n = 1 \div 1,5$ путем снижения сопротивления.

При этом, учитывая допущенное пренебрежение C , мы можем утверждать, что реальное распределение напряжения будет лучше, чем аналитически определенное. Улучшение эксплуатационных свойств обуславливается равномерностью электрического поля гирлянды и повышенными потерями в ней (свойствами самозащиты).

5. Изменения сопротивления изоляторов может быть произведено как путем создания керамического материала с повышенной активной проводимостью, так и глазурных покрытий. Оба пути являются реальными и подтвержденными практикой.

6. Изложенная теория, кроме области подвесных изоляторов, должна найти применение и в ряде иных конструкций, схемы замещения которых даются на рис. 1. К числу их относятся: аппаратные изоляторы, выключатели с многократным разрывом, грозоупорные трансформаторы и т. д. В настоящее время область возможных применений развиваемой теории не может быть определена какими-либо точно очерченными рамками, так как она представляет собой новую отрасль электротехники.

Поступило
6 XI 1946

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Герм. пат., № 355248, 1922 (кл 2/с, гр. 13/11).

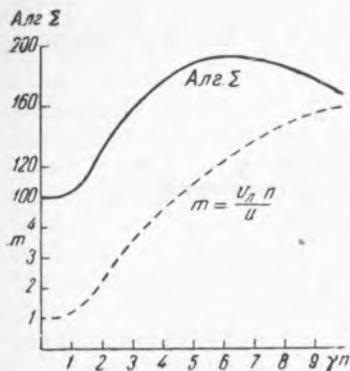


Рис. 3