

ному напряжению $U_{50\%} = 200$ кВ при положительной и отрицательной полярностях. Рассчитать средние разрядные градиенты.

6. Для промежутка стержень — плоскость при $S = 20$ см и положительной полярности напряжения снять и построить кривую эффекта по измерениям при двух значениях напряжения. Вероятность разряда определить при 10 приложениях напряжения. Напряжения определять по величине зарядного напряжения и измеренного в п. 1 коэффициента использования.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите основные составляющие времени разряда.
2. Как зависит время t_1 от расстояния между электродами и степени неоднородности электрического поля в промежутке?
3. Что такое время статистического запаздывания разряда t_0 ?
4. От каких факторов зависит t_0 ?
5. Из каких составляющих складывается время формирования разряда t_{ϕ} ?
6. Какие составляющие времени t_{ϕ} являются определяющими в длинных и коротких промежутках?
7. Что такое вольт-секундная характеристика?
8. Какой вид имеют вольт-секундные характеристики промежутков со слабо- и резко неоднородными полями?
9. Как влияет полярность импульса на значение разрядного напряжения промежутка шар — заземленный шар?
10. Как влияет полярность импульса на значение разрядного напряжения промежутка стержень — заземленная плоскость?
11. Что такое «кривая эффекта»?
12. Что такое 50%-ное разрядное напряжение?
13. Как определяется вольт-секундная характеристика?
14. Как определяется «кривая эффекта»?
15. Какие основные элементы испытательной установки?
16. Какие меры безопасности предусмотрены при выполнении лабораторной работы?

Глава 6

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПЯЖЕНИЯ ПО ЭЛЕМЕНТАМ ИЗОЛЯЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Гирлянды изоляторов. Переменное и импульсное напряжения распределяются по изоляторам гирлянды неравномерно. С увеличением числа изоляторов в гирлян-

де неравномерность возрастает. Если не принять специальных мер, на линиях высокого напряжения (220 кВ и более) часть изоляторов в гирляндах может оказаться под таким напряжением, что на этих изоляторах уже при рабочем напряжении и нормальных атмосферных условиях возникает корона, которая является источником радиопомех и причиной ускоренной коррозии арматуры, вызывает дополнительные потери энергии.

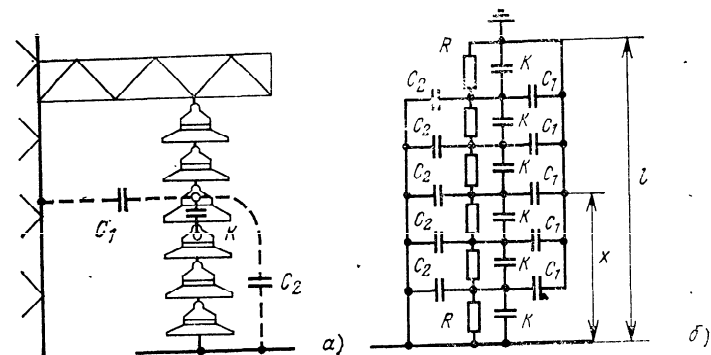


Рис. 6.1. Гирлянда изоляторов (а) и схема замещения гирлянды (б).

Распределение напряжения по изоляторам гирлянды можно определить с помощью схемы замещения, показанной на рис. 6.1. На этой схеме K — собственные емкости изоляторов; C_1 — емкости металлических элементов изоляторов относительно заземленных частей сооружения (опоры, заземленных тросов и т. д.); C_2 — емкости этих же элементов относительно частей установки, находящихся под напряжением (проводов, арматуры); R — сопротивления утечки по поверхности изоляторов.

Обычно гирлянды комплектуются из однотипных изоляторов, поэтому их собственные емкости имеют одинаковые значения ($K = 30 \div 70$ пФ). При чистой и сухой поверхности изоляторов $R \gg 1/\omega K$. Поэтому распределение напряжения зависит только от емкостей K , C_1 и C_2 . Если бы емкости C_1 и C_2 отсутствовали, напряжение распределялось бы по изоляторам равномерно. В реальных условиях емкости $C_1 = 4 \div 5$ пФ и $C_2 = 0,5 \div 1,0$ пФ, т. е. не равны нулю, поэтому ток, протекающий через емкости K изоляторов, не остается постоянным.

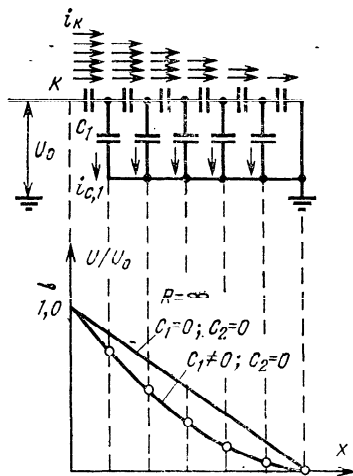


Рис. 6.2. Влияние емкости C_1 на распределение напряжения вдоль гирлянды.

Выведена схема замещения для случаев $C_1 \neq 0$ и $C_2 = 0$ и условно показано распределение токов. Через собственную емкость ближайшего к проводу изолятора протекает наибольший ток, а через емкость изолятора, ближайшего к «земле», — наименьший. При этом напряжение вдоль гирлянды распределяется неравномерно.

В реальных условиях на распределение напряжения вдоль гирлянды оказывают влияние как емкости C_1 , так и емкости C_2 . При этом изоляторы, расположенные в средней части гирлянды, оказываются менее нагруженными, чем изоляторы у концов гирлянды. Вследствие того, что $C_1 > C_2$, наибольшее падение напряжения приходится на изоляторы, ближайшие к проводу.

Выравниванию распределения напряжения вдоль гирлянды способствует применение специальной арматуры в виде колец, восьмерок и овалов, которые укрепляются в месте подвески провода. Такая арматура увеличивает емкость C_2 изоляторов, ближайших к проводу, и тем самым уменьшает долю напряжения, приходящуюся на эти изоляторы. Аналогичное влияние оказывает и расщепление проводов в фазе.

При сильном загрязнении и увлажнении поверхностей изоляторов $R \ll 1/\omega K$, поэтому распределение напряжения вдоль гирлянды определяется главным образом сопротивлениями утечки. Если изоляторы гирлянды загрязнены и увлажнены одинаково и равномерно по всей поверхности, то происходит выравнивание распределения напряжения.

Обмотки трансформаторов. При воздействии на трансформаторы импульсов перенапряжений в обмотках возникают переходные процессы, сопровождающиеся значительными импульсными перенапряжениями в главной (по отношению к «земле») и продольной (между

соседними витками и катушками) изоляции, значения которых в значительной степени определяются начальным распределением напряжения вдоль обмотки (см. гл. 15).

Наиболее простой для анализа и наиболее тяжелый для изоляции случай соответствует падению на обмотку трансформатора прямоугольного бесконечно длинного импульса U_0 , при воздействии которого токи через индуктивности в начальный момент времени будут равны нулю. Поэтому начальное распределение напряжения вдоль обмотки, как и для гирлянды изоляторов, будет

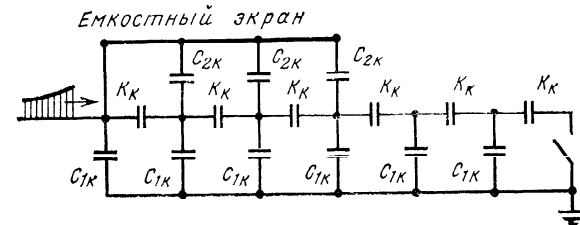


Рис. 6.3. Схема замещения обмотки трансформатора для определения начального распределения напряжения.

K_K — продольная емкость между катушками; C_{1K} — емкость катушек относительно земли; C_{2K} — емкость катушек относительно экрана.

определяться из цепочечной схемы, включающей продольные емкости K между соседними витками и катушками, а также поперечные емкости C_1 относительно земли (рис. 6.2). Емкостями C_2 пренебрегаем, так как при отсутствии специальных мер у трансформаторов $C_2 \ll C_1$.

Без специальных мер по выравниванию распределения напряжения начальное распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора получается сильно неравномерным. Напряжения между первыми витками обмотки могут в 10—20 раз превышать те, которые соответствуют равномерному распределению. Для выравнивания начального распределения напряжения в трансформаторах выполняют специальную внутреннюю защиту, часто в виде емкостных экранов, электрически соединенных с началом обмотки. Эти экраны создают дополнительные емкости между витками или катушками обмотки и началом обмотки (рис. 6.3) и тем самым частично выравнивают начальное распределение напряжения (как и емкости C_2 в гирлянде изоляторов).

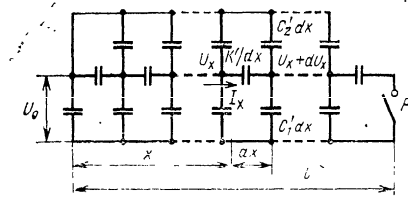


Рис. 6.4. Емкостная схема с распределенными параметрами.

состоит из конечного числа сосредоточенных емкостей и сопротивлений. Однако удобнее заменить сосредоточенные параметры равномерно распределенными и считать их постоянными по длине гирлянды, хотя на самом деле емкости C_1 и C_2 (см. рис. 6.1) зависят от положения изолятора. Такое допущение упрощает решение и позволяет получить результаты, достаточно близкие к опытным.

В схеме на рис. 6.4 емкости на единицу длины обозначены K' , C_1' , C_2' . На этой схеме случай замкнутого рубильника P соответствует схеме замещения гирлянды изоляторов или трансформатора (начальное распределение) с заземленной нейтралью; разомкнутого рубильника P — схеме замещения трансформатора с изолированной нейтралью.

Для участка схемы длиной dx уравнения для $d\dot{U}_x$ и dI_x имеют вид:

$$d\dot{U}_x = \frac{1}{j\omega K'} I_x dx; dI_x = \dot{U}_x j\omega C_1' dx + (\dot{U}_x - U) j\omega C_2' dx. \quad (6.1)$$

На основании (6.1) дифференциальное уравнение, описывающее распределение напряжения вдоль цепочечной схемы, будет:

$$\frac{d^2 \dot{U}_x}{dx^2} - \frac{1}{K'} (C_1' + C_2') \dot{U}_x = \frac{1}{K'} C_2' U_0. \quad (6.2)$$

Решение уравнения (6.2) имеет вид:

$$\dot{U}_x = A_1 e^{\alpha x} + A_2 e^{-\alpha x} + B, \quad (6.3)$$

где

$$\alpha = \sqrt{\frac{(C_1' + C_2')}{K'}};$$

Распределение напряжения в цепочечной схеме. Для решения рассмотренных выше задач необходимо провести анализ цепочечной схемы с равномерно распределенными параметрами (рис. 6.4). Схема замещения для гирлянды изоляторов

$$B = U_0 \frac{C_2'}{C_1' + C_2'} - \text{частное решение неоднородного уравнения.}$$

Коэффициенты A_1 и A_2 определяются из граничных условий:

рубильник P замкнут, при $x=0$ $U_x=U_0$; при $x=l$ $U_x=0$;

рубильник P разомкнут, при $x=0$ $U_x=U_0$; при $x=l$ $dU_x/dx=0$, так как $I_x=0$.

Общее решение (6.2) для различных граничных условий и его вид в частных случаях приведены ниже:

Рубильник P замкнут Общее решение	$\dot{U}_x = \frac{U_0}{C_1' + C_2'} \left\{ C_2' + C_1' \frac{\text{sh } \alpha (l-x)}{\text{sh } \alpha l} - C_2' \frac{\text{sh } \alpha x}{\text{sh } \alpha l} \right\}; \alpha = \sqrt{\frac{j\omega (C_1' + C_2')}{j\omega K' + \frac{1}{R'}}$
Гирлянда изоляторов, поверхности сухие чистые $R' = \infty$	$\dot{U}_x = \frac{U_0}{C_1 + C_2} \left\{ C_2 + C_1 \frac{\text{sh } \alpha (n-i)}{\text{sh } \alpha n} - C_2 \frac{\text{sh } \alpha i}{\text{sh } \alpha n} \right\}; \alpha = \sqrt{\frac{C_1 + C_2}{K}}$ <p>Здесь i — номер изолятора, считая от провода; n — число изоляторов в гирлянде</p>
Трансформатор с заземленной нейтралью; $R' = \infty$; $C_2' = 0$	$U_x = U_0 \frac{\text{sh } \alpha l \left(1 - \frac{x}{l}\right)}{\text{sh } \alpha l}; \alpha = \sqrt{\frac{C_1'}{K - K_1}}$
Рубильник P разомкнут Общее решение	$\dot{U}_x = \frac{U_0}{C_1' + C_2'} \left\{ C_2' + C_1' \frac{\text{ch } \alpha (l-x)}{\text{ch } \alpha l} \right\}; \alpha = \sqrt{\frac{j\omega (C_1' + C_2')}{j\omega K' + \frac{1}{R'}}$
Трансформатор с изолированной нейтралью; $R' = \infty$; $C_2' = 0$	$U_x = U_0 \frac{\text{ch } \alpha l \left(1 - \frac{x}{l}\right)}{\text{ch } \alpha l}; \alpha = \sqrt{\frac{C_1'}{K}}$

Распределение напряжений по изоляторам гирлянды для случая, когда поверхности изоляторов чистые и сухие ($R'=\infty$), получено с учетом того, что для гирлянды изоляторов емкости K' , C'_1 и C'_2 на единицу длины определяются через реальные емкости изоляторов K , C_1 и C_2 (см. рис. 6.1):

$$K'=Kh; \quad C'_1=C_1/h; \quad C'_2=C_2/h,$$

где h — строительная высота изолятора.

Кроме того, учтено, что текущая координата x может принимать лишь дискретные значения $x=ih$, где i — порядковый номер изолятора, считая от провода; наибольшее значение $i=n$, где n — число изоляторов в гирлянде; $hn=l$ — длина гирлянды.

Напряжение ΔU_i , приходящееся на i -й изолятор гирлянды, равно:

$$\Delta U_i = U_{i-1} - U_i = \frac{U_0}{(C_1 + C_2) \operatorname{sh} \alpha n} \{ C_1 [\operatorname{sh} \alpha (n - i + 1) - \operatorname{sh} \alpha (n - i)] - C_2 [\operatorname{sh} \alpha (i - 1) - \operatorname{sh} \alpha i] \}.$$

На изоляторе, ближайшем к проводу ($i=1$), который работает в наиболее трудных условиях

$$\Delta U_1 = \frac{U_0}{C_1 + C_2} \left\{ C_1 \left[1 - \frac{\operatorname{sh} \alpha (n - 1)}{\operatorname{sh} \alpha n} \right] + C_2 \frac{\operatorname{sh} \alpha}{\operatorname{sh} \alpha n} \right\}. \quad (6.4)$$

При неограниченном увеличении числа изоляторов т. е. при $n \rightarrow \infty$,

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\operatorname{sh} \alpha (n - 1)}{\operatorname{sh} \alpha n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{e^{\alpha (n-1)} - e^{-\alpha (n-1)}}{e^{\alpha n} - e^{-\alpha n}} = e^{-\alpha};$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\operatorname{sh} \alpha}{\operatorname{sh} \alpha n} = 0.$$

Следовательно, на основании (6.4) при $n \rightarrow \infty$

$$\Delta U_1 = U_0 \frac{C_1}{C_1 + C_2} (1 - e^{-\alpha}). \quad (6.5)$$

Из (6.4) и (6.5) следует, что с ростом числа изоляторов в гирлянде напряжение на ближайшем к проводу изоляторе уменьшается не обратно пропорционально n , как было бы при равномерном распределении, а в меньшей степени, и стремится к некоторому пределу.

При $n \geq 10 \div 15$ увеличение числа изоляторов в гирлянде практически не изменяет долю напряжения на ближайшем к проводу изоляторе, что затрудняет выполне-

ние изоляции для линий высокого и сверхвысокого напряжения (свыше 220 кВ), так как без специальных мер напряжения ΔU_1 независимо от числа изоляторов в гирлянде растет почти пропорционально рабочему напряжению линии U_0 .

Для создания более равномерного распределения напряжения вдоль гирлянды и снижения отношения $\Delta U_1/U_0$ используют специальную арматуру в месте подвески провода. С помощью этой арматуры увеличивают емкость C_2 изоляторов, ближайших к проводу, что приводит к снижению напряжения ΔU_1 . В случае расщепления проводов емкость C_2 значительно увеличивается. Поэтому применение расщепленных проводов, а также сдвоенных гирлянд, у которых K увеличивается в большей степени, чем C_1 , способствует выравниванию распределения напряжения вдоль гирлянды изоляторов.

Начальное распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора при воздействии прямоугольного импульса. Формулы табл. 6.1 относятся к обмотке трансформатора без внутренней защиты.

Емкости на единицу длины K' и C'_1 определяются из формул $K'=K_{\text{тр}}/l$; $C'_1=C_{1\text{тр}}/l$, где l — длина обмотки; $K_{\text{тр}}$ — так называемая «продольная» емкость всей обмотки; $C_{1\text{тр}}$ — полная емкость всей обмотки относительно земли.

Тогда

$$\alpha = \sqrt{C'_1/K'} = 1/l \sqrt{C_{1\text{тр}}/K_{\text{тр}}}, \quad \text{или} \quad \alpha l = \sqrt{C_{1\text{тр}}/K_{\text{тр}}}. \quad (6.6)$$

Для обычных трансформаторов $\alpha l > 5$. С учетом этого можно упростить формулы для U_x , приняв в них $e^{-\alpha l} = 0$. Тогда независимо от режима нейтрали начальное распределение напряжения U_x вдоль обмотки определяется приближенным выражением

$$U_x/U_0 \approx \exp(-\alpha l x/l) = \exp(-\sqrt{C_{1\text{тр}}/K_{\text{тр}}} x/l). \quad (6.7)$$

Из (6.7) следует, что наибольшие напряженности в продольной изоляции обмотки (между витками) будут иметь место в начале обмотки ($x=0$):

$$|dU_x/dx|_{x=0} = \frac{U_0}{l} \sqrt{C_{1\text{тр}}/K_{\text{тр}}}, \quad (6.8)$$

и импульсные напряженности между первыми витками будут в $\sqrt{C_{1\text{тр}}/K_{\text{тр}}}$ больше, чем U_0/l , т. е. во много раз больше, чем при равномерном распределении.

Для выравнивания начального распределения используют емкостные экраны. Чтобы объяснить их действие, рассмотрим схему замещения обмотки трансформатора с емкостным экраном для $t=0$ при заземленной нейтрали (см. рис. 6.3, рубильник P замкнут). Будем считать, что на этой схеме K_k , C_{1k} и C_{2k} — соответствующие емкости катушек обмотки, т. е. схема содержит конечное число сосредоточенных емкостей, причем все емкости C_{1k} катушек относительно земли одинаковы, а емкости C_{2k} можно выполнить разными.

Если емкостный экран распространяется на всю длину обмотки, то при определенном подборе значений емкостей C_{2k} начальное распределение напряжения будет строго равномерным. Для этого необходимо, чтобы заряд на i -й емкости C_{2k} был равен заряду на емкости C_{1k} этой же катушки, т. е.

$$C_{2k,i}(U_0 - U_i) = C_{1k}U_i,$$

где $U_i = U_0(m-i)/m$ при равномерном начальном распределении напряжения по катушкам; i — номер катушки, считая от начала обмотки (от ввода); m — число катушек в обмотке.

Отсюда следует, что емкости $C_{2k,i}$ катушек относительно экрана должны изменяться вдоль обмотки следующим образом:

$$C_{2k,i} = C_{1k}(m-i)/i. \quad (6.9)$$

Теоретически может быть достигнуто идеально равномерное начальное распределение напряжения по катушкам обмотки трансформатора. Практически выполнить условие (6.9), т. е. изготовлять емкостный экран на всю длину обмотки и с требуемым изменением емкости C_{2k} , нецелесообразно. Обычно с помощью емкостного экрана защищают лишь первые катушки обмотки, продольная изоляция которых при отсутствии экрана подвергается воздействию особенно высоких импульсных перенапряжений.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка состоит из двух основных частей: модели емкостной цепочки и установки высокого напряжения.

1. *Модель емкостной цепочки* (рис. 6.5). В ее состав входят источник регулируемого переменного напряжения 1, собственно цепочечная схема 2, магазин емко-

стей 3 и электронный вольтметр для измерения напряжений в разных точках цепочечной схемы.

Цепочечная схема состоит из десяти звеньев с конденсаторами K , C_1 и C_2 , регулируемыми в пределах $C_1 = 0 \div 1,5$ мкФ, $C_2 = 0 \div 0,5$ мкФ, $K = 0 \div 1,5$ мкФ. Изменение значений емкостей осуществляется переключателями. Значения емкостей, соответствующие различным положениям переключателей, указаны в таблице на стенде.

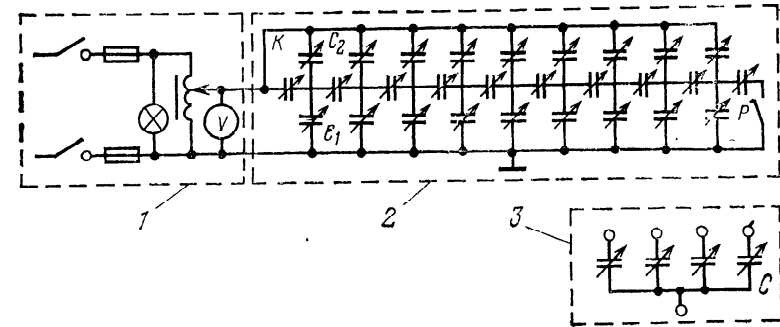


Рис. 6.5. Модель цепочечной схемы.

Магазин емкостей $C = 0,05 \div 10,0$ мкФ используется для подключения к цепочечной схеме, например, для имитации влияния емкостного экрана на распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора.

В реальной изоляции действительные значения емкостных сопротивлений обычно настолько велики, что значительно превышают внутреннее сопротивление даже ламповых вольтметров. Чтобы упростить технику измерений, на лабораторной установке введены масштабы, т. е. все значения емкостей увеличиваются по сравнению с действительными. При этом распределение напряжения по цепочечной схеме не изменяется, так как коэффициенты α , входящие в расчетные соотношения, зависят не от абсолютных значений емкостей, а от их отношений.

В опытах по изучению распределения напряжения по изоляторам гирлянды принимаются масштаб емкостей $m_c = 10^4$. При изучении начального распределения напряжения вдоль обмотки трансформаторов принимается масштаб емкостей $m_c = 10^3$. Обмотка с распределенными

емкостями моделируется цепочечной схемой из десяти звеньев. Тем самым реальная обмотка представляется как бы состоящей из десяти катушек с сосредоточенными параметрами. Поэтому емкости звеньев цепочечной схемы принимаются равными

$$K_{\text{к}}=10m_{\text{с}}K_{\text{тр}}; C_{1\text{к}}=m_{\text{с}}C_{1\text{тр}}/10, \quad (6.10)$$

где $K_{\text{тр}}$ — «продольная» емкость всей обмотки трансформатора; $C_{1\text{тр}}$ — «поперечная» емкость, т. е. емкость всей обмотки трансформатора на землю.

2. Установка высокого напряжения состоит из испытательного трансформатора на напряжение 100 кВ с регулятором напряжения, защитной, коммутационной и сигнальной аппаратуры; двух гирлянд из семи стандартных подвесных изоляторов, из которых одна гирлянда содержит дефектный (пробитый) изолятор, и универсальной измерительной штанги ШИУ-200.

Штанга ШИУ-200 используется в энергосистемах для выявления дефектных изоляторов в гирляндах на воздушных линиях электропередачи классов напряжения 35—220 кВ. Она состоит из собственно изоляционной штанги, длина которой обеспечивает безопасную работу под напряжением, и искрового промежутка с регулируемым расстоянием между электродами. Штанга снабжена специальными металлическими захватами для подсоединения искрового промежутка к проверяемому изолятору гирлянды, а также указателем, по шкале которого определяется напряжение на изоляторе.

Измерение напряжения на проверяемом изоляторе гирлянды осуществляется следующим образом. С помощью изоляционной штанги и захватов искровой промежуток подсоединяется параллельно проверяемому изолятору. После этого медленным вращением штанги производится постепенное уменьшение расстояния между электродами искрового промежутка до возникновения в нем разрядов. При этом стрелка указателя, связанная с подвижным электродом, указывает на шкале значение измеряемого напряжения в киловольтах (действующие значения).

ЗАДАНИЕ НА ПРЕДВАРИТЕЛЬНУЮ ПОДГОТОВКУ

1. Для гирлянды изоляторов: построить зависимость $\Delta U_1/U_0=f(C_2)$ при неограниченно большом числе изоляторов в гирлянде; в расчете принять $K=50$ пФ, $C_1=$

$=5,0$ пФ, $C_2=1,0; 3,0; 4,0; 5,0$ пФ; подсчитать необходимые для измерений значения емкостей модели.

2. Для обмотки трансформатора с параметрами $K_{\text{тр}}=150$ пФ, $al=10$; построить кривую начального распределения напряжения вдоль обмотки $U_x/U_0=f(x)$, считая, что обмотка состоит из десяти одинаковых катушек; определить значения емкостей $C_{2\text{к},i}$ катушек относительно емкостного экрана для равномерного распределения начального напряжения вдоль обмотки с заземленной нейтралью; подсчитать модельные значения емкостей.

ЗАДАНИЕ НА ИЗМЕРЕНИЯ

1. Измерить на модели распределение напряжения вдоль гирлянды из десяти изоляторов для следующих случаев:

$$K=50 \text{ пФ}, C_1=5,0 \text{ пФ}, C_2=0;$$

$$K=50 \text{ пФ}, C_1=0, C_2=1,0 \text{ пФ};$$

$$K=50 \text{ пФ}, C_1=5,0 \text{ пФ}, C_2=1,0 \text{ пФ}.$$

По полученным данным построить графики зависимостей $U_i/U_0=f(i)$ и $\Delta U_i/U_0=f(i)$.

2. Определить на модели зависимость напряжения $\Delta U_1/U_0$ на ближайшем к проводу изоляторе от числа n изоляторов в гирлянде при $K=50$ пФ; $C_1=5,0$ пФ и $C_2=1,0$ пФ. Число изоляторов n в гирлянде изменять от 1 до 10.

По полученным данным построить график зависимости $\Delta U_1/U_0=f(n)$. На этом графике построить ту же зависимость для случая идеально равномерного распределения напряжения. Сравнить и объяснить указанные зависимости.

3. Определить на модели зависимость напряжения $\Delta U_1/U_0$ на ближайшем к проводу изоляторе от емкости C_2 на проводе при числе изоляторов в гирлянде $n=10$. Для этого выполнить измерения при $K=50$ пФ; $C_1=5,0$ пФ и $C_2=1,0; 2,0; 3,0; 4,0$ и $5,0$ пФ.

По полученным данным построить зависимость $\Delta U_1/U_0=f(C_2)$ на одном графике с рассчитанной при предварительной подготовке. Сравнить и объяснить указанные зависимости.

4. Определить на модели начальное распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора без внутренней защиты ($K_{\text{тр}}=150$ пФ; $al=10$). Измерения выпол-

нить для случаев, когда нейтраль трансформатора заземлена и изолирована.

Построить зависимости $U_x/U_0=f(x)$, сравнить их с теоретической зависимостью, построенной при подготовке к работе. Объяснить полученные результаты.

5. Определить на модели начальное распределение напряжения вдоль обмотки трансформатора с внутренней защитой в виде емкостного экрана.

Измерения выполнить для следующих случаев:

а) емкостный экран распространен на всю длину обмотки, емкости $C_{2к}$ катушек обеспечивают идеально равномерное распределение при заземленной нейтрали;

б) емкостный экран охватывает первые три катушки обмотки, емкости $C_{2к}$ для этих катушек те же, что и в п. «а»; нейтраль трансформатора заземлена.

Построить зависимости $U_x/U_0=f(x)$, сравнить их с результатами измерений в п. 4 и определить, насколько снижается начальное напряжение на продольной изоляции первой катушки при использовании емкостных экранов.

6. На установке высокого напряжения с помощью штанги ШИУ-200 измерить напряжения на каждом изоляторе гирлянды, не содержащей дефектных изоляторов. Число изоляторов в гирлянде — 7; напряжение на гирлянде — 63 кВ (номинальное фазное напряжение установок класса 110 кВ).

По результатам измерения построить графики зависимостей $U_i/U_0=f(i)$ и $\Delta U_i/U_0=f(i)$.

7. На установке высокого напряжения с помощью штанги ШИУ-200 измерить напряжения на каждом изоляторе гирлянды, содержащей один дефектный изолятор. Число изоляторов в гирлянде — 7; напряжение на гирлянде — 63 кВ.

По результатам измерения определить дефектный изолятор, построить графики зависимостей $U_i/U_0=f(i)$ и $\Delta U_1/U_0=f(i)$ и сравнить их с графиками, полученными в п. 6.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как составляются и решаются дифференциальные уравнения распределения напряжения для каждой из рассмотренной в работе изоляционной конструкции? Как выбираются граничные условия?

2. Как будет влиять увеличение собственной емкости изоляторов на распределение напряжения вдоль гирлянды?

3. Почему с увеличением рабочего напряжения гирлянды ΔU_1 возрастает? Какие меры применяют для уменьшения ΔU_1 ?

4. От чего зависит распределение напряжения вдоль гирлянды при постоянном рабочем напряжении?

5. Какие средства применяются для выравнивания начального распределения напряжения вдоль обмотки трансформатора?

6. Показать распределение токов в схеме замещения обмотки трансформатора при наличии емкостного экрана.

7. В чем причина несоответствия между начальным и принужденным распределениями напряжения вдоль обмотки трансформатора? Можно ли это несоответствие устранить и для какого режима заземления нейтрали?

Глава 7

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ИЗОЛЯЦИИ, ОСНОВАННЫЕ НА ЯВЛЕНИИ АБСОРБЦИИ ЗАРЯДОВ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Изоляция установок высокого напряжения состоит, как правило, из нескольких диэлектриков с различными диэлектрическими проницаемостями ϵ и удельными объемными сопротивлениями ρ_v . В таких случаях изоляция уже в силу конструктивных особенностей является неоднородной. При воздействии электрического поля в неоднородной изоляции происходит относительно медленная миграционная поляризация, которая в отличие от других видов поляризации обусловлена перемещением не связанных, а свободных зарядов. Вследствие миграционной поляризации на границах слоев разных диэлектриков образуются заряды абсорбции. С процессами накопления и растекания зарядов абсорбции связаны некоторые характерные явления, которые используются для контроля состояния изоляции.

В простейшем случае неоднородная изоляция состоит из двух слоев, каждый из которых характеризуется

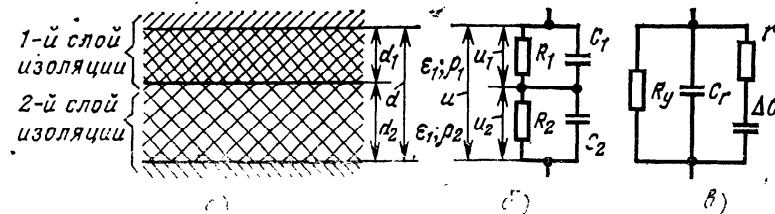


Рис. 7.1. Двухслойная изоляция (а) и схемы ее замещения (б и в).