

К МЕТОДИКЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ИЗОЛЯЦИИ

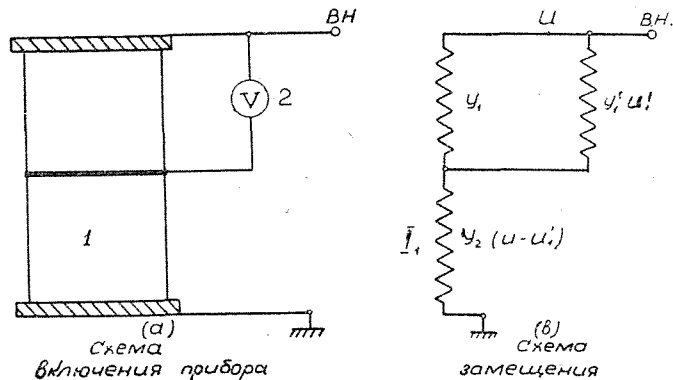
В. С. ДМИТРЕВСКИЙ

При исследовании твердых диэлектриков, а также при исследовании изоляционных конструкций чрезвычайно важно знать распределение напряжения в диэлектрике и по его поверхности при напряжениях различной частоты и при импульсах.

Все известные методы измерения распределения напряжения можно разделить на две группы:

1. Компенсационные методы.
2. Методы вольтметра.

Компенсационные методы требуют сложного оборудования и довольно большой затраты времени на снятие кривой распределения напряжения. Эти методы дают высокую точность. Такие измерения могут быть производимы также и при наличии коронного разряда.



Фиг. 1

1—образец; 2—вольтметр; ВН—зажим высокого напряжения; U —общее напряжение на образце; U_1' —напряжение на части образца, измеренное прибором; Y_1 и Y_2 —полная проводимость частей образца; Y_1' —полная проводимость прибора.

„Методы вольтметра“ не требуют сложного оборудования и измерения, могут быть сделаны при меньшей затрате времени и менее квалифицированным персоналом. Точность измерения зависит от точности применяемого прибора и от того, насколько велико искажение распределения напряжения, вносимое проводимостью прибора. Чем меньше проводимость прибора по сравнению с проводимостью образца, по которому измеряется распределение напряжения, тем меньше погрешность измерения.

По нашему мнению, метод вольтметра можно сделать более точным, если производить измерения дважды, включая приборы, как показано на

фиг. 1а и 2а. Схемы замещения этих измерений показаны на фиг. 1б и 2б. Для этих схем замещения можно написать следующие уравнения:

$$I_1 = U'_1 (Y'_1 + Y_1) = (U - U'_1) Y_2, \quad (1)$$

$$I_2 = (U - U'_2) Y_1 = U'_2 (Y'_2 + Y_2), \quad (2)$$

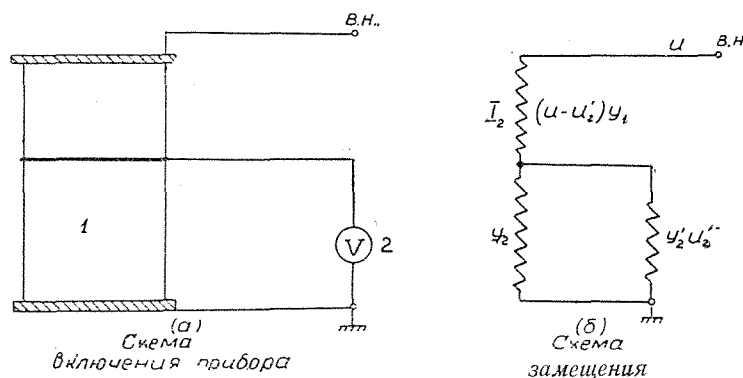
где I_1 и I_2 и другие величины определяются из фиг. 1 и 2. При отсутствии измерительной цепи, когда $Y'_1 = Y'_2 = 0$, ток, протекающий по диэлектрику, можно записать:

$$I = Y_1 (U - U_2) = U_2 Y_2. \quad (3)$$

В этих уравнениях Y'_1, Y'_2, Y_1 и Y_2 — проводимости измерительной системы и участков диэлектрика определяются в операторной форме:

$$Y = \frac{1}{R + Lp + \frac{1}{Cp}}, \quad (4)$$

где R, L и C — активное сопротивление, индуктивность и емкость измерительной системы или участка образца, для которого подсчитывается Y .



Фиг. 2

1—образец; 2—вольтметр; В.Н.—зажим высокого напряжения; U —общее напряжение на образце; U'_2 —напряжение на части образца, измеренное прибором; Y_1 и Y_2 —полные проводимости отдельных частей образца; Y'_2 —полная проводимость прибора.

В уравнениях 1, 2, 3 известными величинами являются: U, U'_1, U'_2, Y'_1 и Y'_2 , а неизвестными Y_1, Y_2, U_2 . Значения Y_1 и Y_2 , найденные из уравнений 1 и 2, подставляем в уравнение 3 и находим значение U_2 :

$$U_2 = \frac{UU'_2 Y'_2 - U'_1 U'_2 (Y'_2 - Y'_1)}{U'_1 Y'_1 + U'_2 Y'_2}. \quad (5)$$

Для большинства измерительных приборов проводимость мало меняется в пределах измерения по одной шкале, т. е. можно принять, что $Y'_1 = Y'_2 = Y$.

В этом случае уравнение (5) примет простой вид:

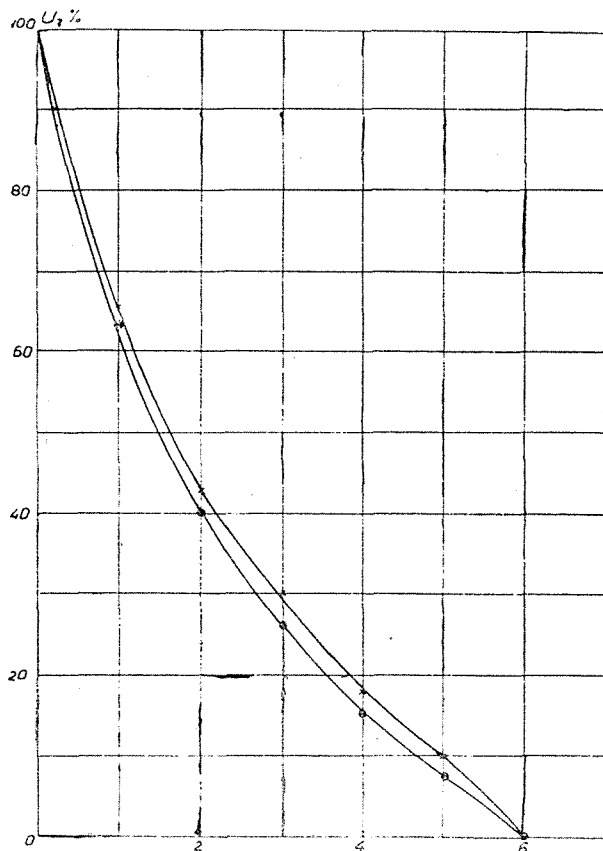
$$U_2 = U'_2 \frac{U}{U'_1 + U'_2}. \quad (6)$$

Вышеописанный метод будет неточен при наличии коронного разряда на электродах.

Результаты измерения распределения напряжения по гирлянде изоляторов

Метод измерения распределения напряжения, описанный выше, был применен для снятия кривой распределения напряжения по гирляндам изоляторов типа П-4,5.

На фиг. 3 показаны результаты измерения распределения напряжения по 6-элементной гирлянде изоляторов приборами, имеющими различную проводимость и дающими различную степень искажения электрического поля. Однако при измерении по методу, описанному выше, ошибка измерения в результате искажения поля почти полностью учитывается при подсчете по формуле (6).



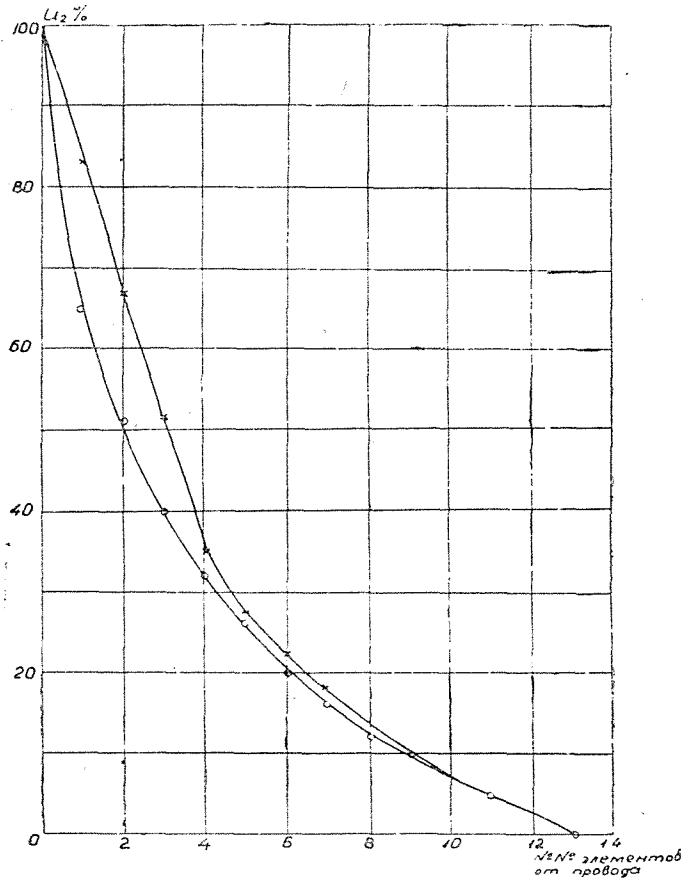
Фиг. 3. Распределение падения напряжения по 6-элементной гирлянде изоляторов типа П-4,5 на переменном напряжении.

× измерение производилось шарами диаметром 2 см.,
⊕ измерение производилось вольтметром с омическим делителем напряжения, имеющим сопротивление 40 мΩ

Пользуясь формулой (6), можно достаточно быстро и с большой степенью точности снять кривую распределения напряжения по изоляционной конструкции с помощью стрелочного прибора. Так, например, снятие кривой распределения напряжения по 6-элементной гирлянде изоляторов с помощью вольтметра с делителем напряжения занимает не более 2 часов, в то время как для снятия этой кривой методом постоянного раз-

двига шаров, описанным в литературе [1], потребовалось около 8 часов при меньшей точности измерения.

На фиг. 4 и 5 представлены кривые распределения напряжения по 13-элементной гирлянде изоляторов на переменном напряжении и при импульсном напряжении (волна I, 5/40) отрицательной полярности. Измерения напряжения производились с помощью шарового разрядника с диаметром шаров 2 см. Кривые снимались при наличии на гирлянде изоляторов



Фиг. 4. Распределение падения напряжения по 13-элементной гирлянде изоляторов типа П-4, 5 на переменном напряжении

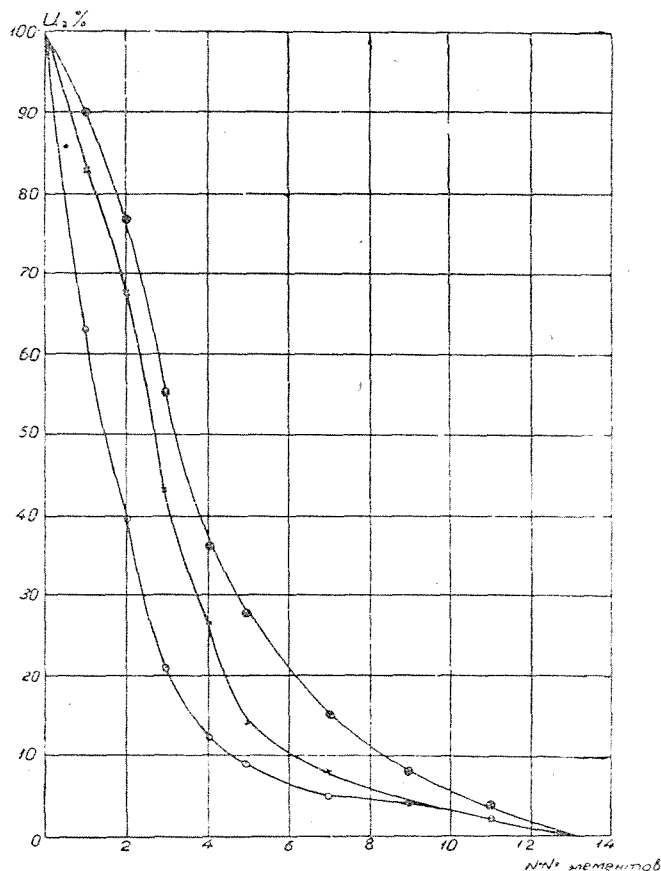
○ без колец, × с кольцами диаметром 0,8 м

колец разных диаметров и при их отсутствии. Из фиг. 4 и 5 видно, что при отсутствии выравнивающих колец наибольшее падение напряжения приходится на первый от провода элемент и достигает $35 \div 37\%$ общего значения напряжения. Это значительно больше того значения, которое давалось до настоящего времени в литературе [2]. Такое расхождение с литературными данными объясняется следующим обстоятельством.

Напряжение, при котором нами производилось измерение распределения напряжения по гирлянде изоляторов, оставалось постоянным в течение всего опыта и во всех опытах никогда не было выше 50 кВ, т. е. падение напряжения на первый элемент гирлянды (17 кВ) во всех измерениях было ниже напряжения появления короны на элементе (18–20 кВ).

В литературе описаны измерения, проведенные методом постоянного раздвигания шаров. Проф. А. М. Залесский рекомендует при измерениях по

этому методу брать шары диаметром 5 мм и расстояние между шарами 0,5 мм. Разрядное напряжение такого разрядника равно 2,4 кВ. Если такой разрядник будет установлен на элементе гирлянды, расположенном недалеко от заземленного конца, на котором падение напряжения, как видно из фиг. 4, равно 2÷3%, то для пробоя этого разрядника на гирлянду изоляторов необходимо приложить напряжение порядка 80÷100 кВ; на первый элемент при этом придется порядка 30 кВ, что значительно превышает напряжение появления короны на элементе изолятора и вызовет значительные ошибки измерения, которые не учитываются при измерении методом постоянного раздвига шаров.



Фиг. 5. Распределение падения напряжения по 13-элементной гирлянде изоляторов типа П-4, 5 на импульсном напряжении

⊙ без колец, × с кольцами диаметром 0,8 м, ⊕ с кольцами диаметром у заземленного конца гирлянды 0,8 м, у провода 0,94 м.

На фиг. 4 и 5 показано распределение напряжения по гирлянде изоляторов при наличии колец, выравнивающих падение напряжения по данным автора. Эти данные показывают, что при наличии колец максимальное падение напряжения при импульсах приходится на третьем и четвертом элементе от провода, в то время как у заземленного конца распределение остается подобным распределению напряжения при отсутствии колец. При переменном напряжении кольца выравнивают распределения напряжения по гирлянде, т. е. достигают той цели, для которой их устанавливают.

Выводы

Предложен метод измерения распределения напряжения по длине изолятора.

Метод состоит в том, что для исключения влияния искажений, вносимых измерительной цепью, производят измерение напряжения данной точки диэлектрика по отношению к двум электродам, между которыми находится диэлектрик. Путем простого математического вычисления находят истинное значение напряжения данной точки по отношению к любому из электродов.

Метод применим при любом напряжении—при постоянном, переменном и импульсном и допускает применение любого измерительного прибора. Метод дает значительные ошибки при наличии короны на электродах. Применение этого метода для измерения распределения напряжения по гирляндам изоляторов позволило произвести эти измерения на импульсном напряжении и уточнить распределение напряжения по гирлянде изоляторов при переменном напряжении.

Наши измерения показали, что распределение напряжения по гирлянде изоляторов является более неравномерным, чем это описано в литературе.

Автор выражает свою глубокую признательность доктору физико-математических наук профессору А. А. Воробьеву за руководство настоящей работой и доктору технических наук доценту Г. Е. Пухову, просмотревшему рукопись и сделавшему ряд ценных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Залесский А. М., Сорокин А. В. и Стефанов К. С. Руководство к работам в лаборатории высокого напряжения. Изд. Кубуч, 1934.
 2. Техника высоких напряжений, вып. II, под ред. профессора Л. И. Сиротинского. Госэнергоиздат, 1939.
-