

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

---

Кафедра «Электротехника, метрология и  
электроэнергетика»

**Г.С. Касаткин, И.А.Ермаков**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЁМКостей  
ИЗОЛЯЦИИ НА ТОКИ И НАПРЯЖЕНИЯ В  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ**

*Рекомендовано  
редакционно-издательским советом университета  
в качестве методического указания  
для студентов ИТТСУ*

Москва - 2013

УДК 621.315.5

К-28

Касаткин Г.С., Ермаков И.А., Исследование влияния ёмкостей изоляции на токи и напряжения в электротехнических устройствах: Методические указания к лабораторным работам. – М.: МИИГ. 2013. – 36 с.

Приведены теоретические сведения и даны задания по исследованию влияния ёмкостей изоляции на токи и напряжения в электротехнических устройствах и схемах их замещения.

# 1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ВДОЛЬ ЁМКОСТНЫХ ЦЕПОЧЕК

## 1.1. Цель работы

Исследование влияния ёмкостей и схем их включения на распределение напряжения по цепи конденсаторов.

## 1.2. Краткие теоретические сведения

Ёмкостная цепочка, изображенная на рис. 1.1, является приближенной схемой замещения для многих изоляционных конструкций (гирлянды изоляторов, обмотки трансформаторов, проходные втулки и т.д.)

Конденсаторы  $C$  схемы замещения моделируют собственную ёмкость элемента изоляционной конструкции, конденсаторы  $C_3$  - ёмкость относительно заземленных частей установки (ёмкость на землю), конденсаторы  $C_n$  - ёмкость относительно частей, находящихся под наиболее высоким потенциалом.

При включении под напряжение только конденсаторов  $C$  график распределения потенциалов по ёмкостной цепочке  $\varphi=f(N)$  – прямая линия (рис. 1.2), так как токи  $I_1$

$= I_2 = I_3 = I_4 = I_5$  и падения напряжения на каждой ёмкости цепочки также одинаковы:

$$\Delta U_1 = I_1 \frac{1}{\omega C} = \Delta U_2 = I_2 \frac{1}{\omega C} = \dots = \Delta U_5 = I_5 \frac{1}{\omega C}.$$

При подключении к ёмкостям  $C$  ёмкостей  $C_3$  соотношение токов в цепи  $C$  станет следующим:  $I_1 < I_2 < I_3 < I_4 < I_5$ . Это объясняется оттеканием токов  $I_{14}$ ,  $I_{13}$ ,  $I_{12}$ ,  $I_{11}$  на землю через подключённые ёмкости  $C_3$ . Уменьшение тока по ёмкостям  $C$  по мере приближения к заземленной точке приводит к неравномерному распределению падений напряжения по этим ёмкостям:

$$\Delta U_1 = I_1 \frac{1}{\omega C} < \Delta U_2 = I_2 \frac{1}{\omega C} < \Delta U_3 < \Delta U_4 < \Delta U_5.$$

и неравномерному распределению потенциалов по цепочке (рис. 1.2).

Иная картина имеет место при включении под напряжение цепочки конденсаторов  $C - C_n$ . За счёт подтекания через ёмкости  $C_n$  к цепи  $C$  токов:  $I_{n4}$ ,  $I_{n3}$ ,  $I_{n2}$ ,  $I_{n1}$  соотношение токов в цепи становится следующим:  $I_1 > I_2 > I_3 > I_4 > I_5$ .

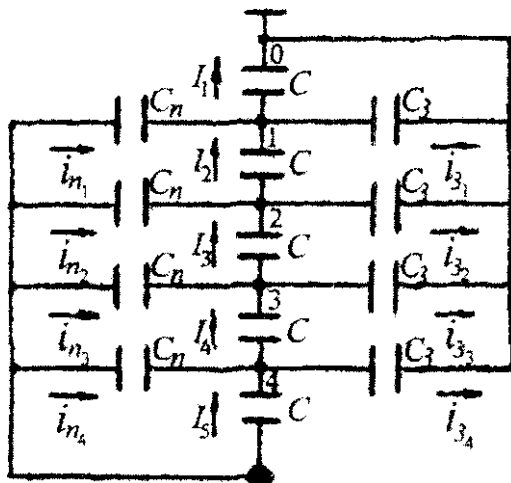


Рис. 1.1 Приближенная схема замещения изоляционных конструкций

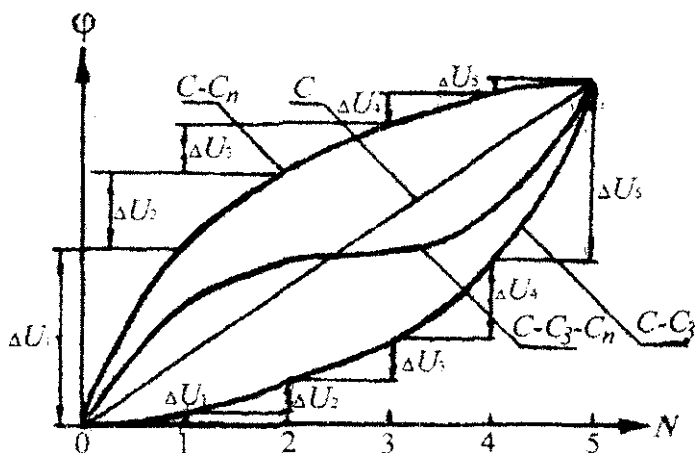


Рис. 1.2 Распределение потенциалов по ёмкостной цепочке

Поэтому падения напряжения по ёмкостям  $C$  цепочки увеличиваются по мере приближения к заземленной точке:

$$\Delta U_1 = I_1 \frac{1}{\omega C} > \Delta U_2 = I_2 \frac{1}{\omega C} > \Delta U_3 > \Delta U_4 > \Delta U_5.$$

График распределения потенциалов для этого случая показан на рис. 1.2 (кривая  $C—C_n$ ).

При включении конденсаторов  $C—C_3—C_n$  падения напряжения по ёмкостям  $C$  и график распределения потенциалов вдоль ёмкостной цепочки будут зависеть от соотношений токов  $i_j$  и  $i_n$ , протекающих через конденсаторы  $C_3$  и  $C_n$ . При одинаковых величинах  $C_3$  и  $C_n$  кривая распределения потенциалов имеет вид, изображенный на рис. 1.2 (кривая  $C—C_3—C_n$ ). Изменяя величины емкостей  $C_n$  или  $C_3$ , можно приблизить кривую распределения потенциалов по цепочке  $C—C_3—C_n$  к прямолинейной за счет изменения соотношения токов  $i_j$  и  $i_n$ . Зависимость  $\varphi=f(N)$  по этой цепочке будет изображаться прямой линией при  $i_{j1}=i_{n1}$ ,  $i_{j2}=i_{n2}$ ,  $i_{j3}=i_{n3}$ ,  $i_{j4}=i_{n4}$  так как ток в цепи  $C$  и падения напряжения на каждой ёмкости станут одинаковыми:  $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5$  и  $\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3 = \Delta U_4 = \Delta U_5$ .

График распределения потенциалов по цепочке  $C_3—C_n$  можно несколько выровнять за счёт увеличения ёмкости  $C$  по отношению к величинам ёмкостей  $C_3$  и  $C_n$ . Такое увеличение  $C$  приведёт к уменьшению ёмкостного сопротивления конденсаторов  $C - X_C = \frac{1}{\omega C}$  а, следовательно, увеличению токов в цепи  $C$  по отношению к токам  $i_3$  и  $i_n$ . Это снизит влияние токов  $i_3$  и  $i_n$  на неравномерность токов  $I$  в цепи  $C$  и приведет к выравниванию распределения напряжения по цепочке  $C_3—C_n$ .

Для экспериментального определения потенциалов узловых точек ёмкостной цепочки, а также исследования влияния величин ёмкостей на характер распределения потенциалов собирается схема рис. 1.3.

Измерение потенциалов точек цепочки проводится методом сравнения. Напряжение на выходе потенциометра ( $U_K$ ), контролируемое вольтметром  $V$ , сравнивается с потенциалом измеряемой точки схемы с помощью нуль-индикатора  $I$  (вольтметр, осциллограф и др.).

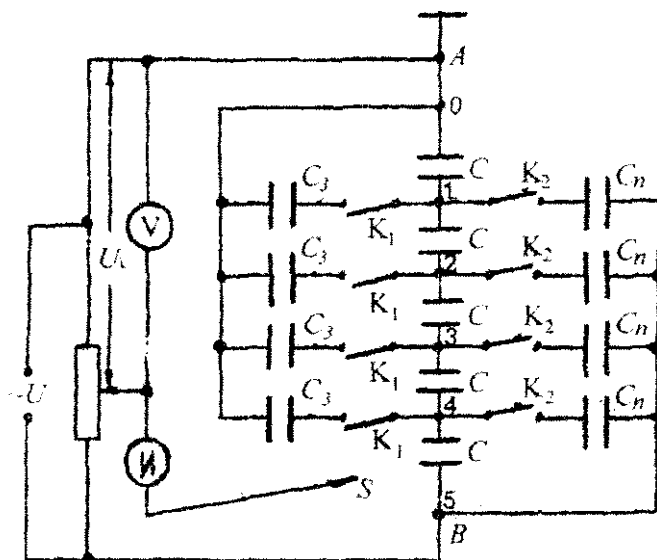


Рис. 1.3. Схема лабораторной установки для определения потенциалов узловых точек емкостной цепочки

Один зажим нуль - индикатора подключён к движку потенциометра, а второй зажим с помощью специального штыря  $S$  присоединяется поочередно к точкам 1, 2, 3, 4, 5 емкостной цепочки. Изменяя путём перемещения движка потенциометра величину напряжения  $U_k$  добиваются нулевых показаний индикатора  $I$ . При этом потенциал движка относительно точки  $A$  (напряжение  $U_k$ ) равен потенциалу точки цепочки, к



которой присоединён штырь  $S$ . Потенциал движка непосредственно измеряется вольтметром  $V$ .

Метод сравнения устраняет искажения в распределении потенциалов, которые могут возникнуть при непосредственном подключении вольтметра к точкам схемы. Эти искажения особенно возрастают в случае использования вольтметров, сопротивление которых соизмеримо с ёмкостным сопротивлением конденсаторов на промышленной частоте.

### 1.3. Экспериментальная часть работы

1.3.1. Ознакомиться со схемой установки и её монтажным выполнением.

1.3.2. Собрать схему рис. 1.3.

1.3.3. После проверки схемы произвести измерения потенциалов точек 1,2,3,4,5 по методу сравнения:

1.3.3.1. при разомкнутых ключах  $K_1$  и  $K_2$ ,

1.3.3.2. при замкнутых ключах  $K_1$  и разомкнутых  $K_2$ ,

1.3.3.3. при разомкнутых ключах  $K_1$  и замкнутых  $K_2$ ,

1.3.3.4. при замкнутых ключах  $K_1$  и  $K_2$ ,

1.3.4. Результаты измерений записать в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Результаты измерений величин потенциалов точек в ёмкостных цепочках

Вид цепочек	Потенциалы точек					Величины ёмкостей
	$\Phi_{1.}$ В	$\Phi_{2.}$ В	$\Phi_{3.}$ В	$\Phi_{4.}$ В	$\Phi_{5.}$ В	
$C$						
$C-C_3$						
$C-C_n$						
$C-C_3-C_n$						

1.3.5. По полученным данным построить в одних осях координат кривые зависимости потенциалов точек цепочки от номера точки  $\varphi=f(N)$ .

1.3.6. Увеличить по указанию преподавателя ёмкости  $C$  и произвести измерения согласно пункту 1.3.3.

1.3.7. Записать полученные значения в табл. 1.1 и построить кривые зависимости  $\varphi=f(N)$ .

1.3.8. Установив первоначальное значение ёмкости  $C$  и изменяя величину ёмкостей  $C_n$  приблизить график распределения потенциала по цепочке  $C—C_3—C_n$  к прямолинейному. Записать полученные значения ёмкостей  $C_n$  и сравнить с их первоначальными величинами.

#### 1.4. Контрольные вопросы

- 1.4.1. Объясните характер распределения потенциалов вдоль ёмкостных цепочек  $C$ ,  $C_1—C_2$  и  $C_1—C_2—C_n$ ?
- 1.4.2. Каким образом можно выровнять кривую распределения потенциалов вдоль ёмкостной цепочки  $C_1—C_2—C_n$ ?
- 1.4.3. Почему при измерении потенциалов точек ёмкостной цепочки использован метод сравнения?

## **2. ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ИЗОЛЯТОРАМ В ГИРЛЯНДЕ**

### **2.1. Цель работы**

Определение напряжений на изоляторах в гирлянде при отсутствии и наличии на ней защитной арматуры.

### **2.2. Краткие теоретические сведения**

Для подвески проводов на линиях электропередач и для подвески контактной сети электрифицированных железных дорог применяются подвесные изоляторы, собираемые в гирлянды. На дорогах постоянного тока обычно используют гирлянду из двух фарфоровых или стеклянных изоляторов. На дорогах переменного тока используют гирлянду из трёх, а в местах повышенного загрязнения из четырёх или пяти таких изоляторов.

Определение распределения напряжения на изоляторах в гирлянде может быть проведено экспериментально при помощи шарового разрядника. Необходимость экспериментального определения распределения напряжения вдоль гирлянды вызвана тем, что электрическая прочность гирлянды зависит от распределения напряжения вдоль поверхности изоляторов, а теоретическое определение электрической прочности гирлянды не может быть выполнено достаточно точно.

Гирлянду изоляторов с чистыми и сухими поверхностями можно заменить ёмкостной цепочкой (см. рис. 1.1, работа 1). Каждый изолятор имеет собственную ёмкость  $C$ , определяемую его геометрическими размерами и типом диэлектрика, ёмкость по отношению к земле  $C_3$  и ёмкость по отношению к проводу  $C_n$ .

Для фарфоровых изоляторов тарельчатого типа ёмкость  $C$  имеет порядок 25 — 70 пФ. Стекланные изоляторы той же конструкции имеют ёмкость  $C$  в 1,3 ÷ 1,5 раза большую. Величины  $C_3$  составляют 0,1  $C$ , а ёмкости  $C_n \approx 0,5 \div 1$  пФ. Наличие  $C_3$  и  $C_n$  приводит (как показано в работе 1) к неравномерному распределению напряжения вдоль гирлянды изоляторов. Так как  $C_3 > C_n$ , то кривая распределения потенциалов вдоль гирлянды изоляторов похожа на кривую  $C - C_3$  (рис. 1.2, работа 1).

Наибольшее напряжение приходится на ближайший к проводу изолятор. Неравномерность распределения напряжения возрастает по мере увеличения числа изоляторов в гирлянде.

Так, уже при 8 изоляторах (ЛЭП-110 кВ) на ближайший к проводу изолятор может приходиться до 25% напряжения, приложенного к гирлянде, т.е. порядка

25 - 30 кВ. Нормально допустимое напряжение на изоляторах тарельчатого типа в гирлянде  $\approx 17-20$  кВ. При напряжениях 25 - 30 кВ на изоляторе возникает корона, сопровождающаяся потерями энергии и радиопомехами. В случае атмосферных или коммутационных перенапряжений появляется опасность возникновения разряда, переходящего в дугу. Для выравнивания напряжения вдоль гирлянды изоляторов применяется защитная арматура - металлические кольца, восьмерки, рога и т.д. Арматура монтируется или с обеих сторон гирлянды или только со стороны высоковольтного провода. Наличие арматуры приводит к увеличению ёмкости, в основном, изоляторов, расположенных у провода, и уменьшает приходящуюся на них долю напряжения. Арматура, кроме того, защищает изоляторы от разрушения электрической дугой, которая может возникнуть при перенапряжениях. Дуга возникает между краями арматуры и не причиняет повреждений поверхностям изоляторов гирлянды.

Как было показано в работе [1], увеличение ёмкости  $C$  приводит к улучшению распределения напряжения по ёмкостной цепочке (рис. 1.1), являющейся моделью гирлянды. Поэтому в гирлянде, составленной из

изоляторов большей собственной ёмкости, например стеклянных, напряжение делится более равномерно по сравнению с гирляндой из аналогичных фарфоровых изоляторов.

Стеклянные изоляторы выдерживают гораздо большие электромеханические нагрузки по сравнению с фарфоровыми, а возможные при эксплуатации внутренние дефекты стеклянных изоляторов легко выявляются визуально, без профилактических испытаний. Кроме того, стекло является очень технологичным материалом, что позволяет придать стеклянным изоляторам нужную заданную форму и добиться снижения размеров при сохранении электрических характеристик. Однако стекло, в отличие от фарфора, является смачиваемым материалом и поэтому стеклянные изоляторы нуждаются в защитных покрытиях.

В настоящее время на электрических железных дорогах наряду с фарфоровыми и стеклянными изоляторами применяют полимерные изоляторы на основе стеклопластика. Один полимерный изолятор с ребристым покрытием способен заменить гирлянду из фарфоровых или стеклянных изоляторов. Варианты конструкций

различных типов изоляторов, их маркировка и характеристики приведены в приложении 1.

Распределение напряжения вдоль гирлянды в значительной мере зависит от атмосферных условий и величины объёмного и поверхностного сопротивления изоляторов. При дожде и общем увлажнении напряжение почти полностью ложится на нижние поверхности изоляторов, токи утечки резко возрастают (до десятков и сотен мА). Резкое увеличение токов утечки гирлянды по сравнению с токами, протекающими через емкости  $C_3$  и  $C_n$ , приводит к почти полному выравниванию напряжения на изоляторах.

### **2.3. Экспериментальная часть работы**

#### **2.3.1. Описание лабораторной установки.**

Схема лабораторной установки приведена на рис. 2.1. Доля напряжения, приходящаяся на отдельный изолятор гирлянды, может быть определена очень удобно и быстро при помощи небольшого шарового разрядника, отрегулированного на определенное пробивное напряжение  $U_p$ .

Разрядник с неизменным расстоянием между шарами поочередно подключается параллельно изоляторам.



Напряжение на изоляторе повышается каждый раз до наступления пробоя разрядника. Так как при изменении напряжения гирлянды распределение напряжения на ней (до появления короны) не изменяется, доля напряжения  $\Delta U_N$ , приходящаяся на изолятор  $N$ , на котором установлен разрядник, может быть определена из выражения

$$\Delta U_N = \frac{U_0}{U_N} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где  $U_N$  - напряжение на всей гирлянде, при котором происходит пробой разрядника  $P_0$ , присоединенного к элементу  $N$  гирлянды.

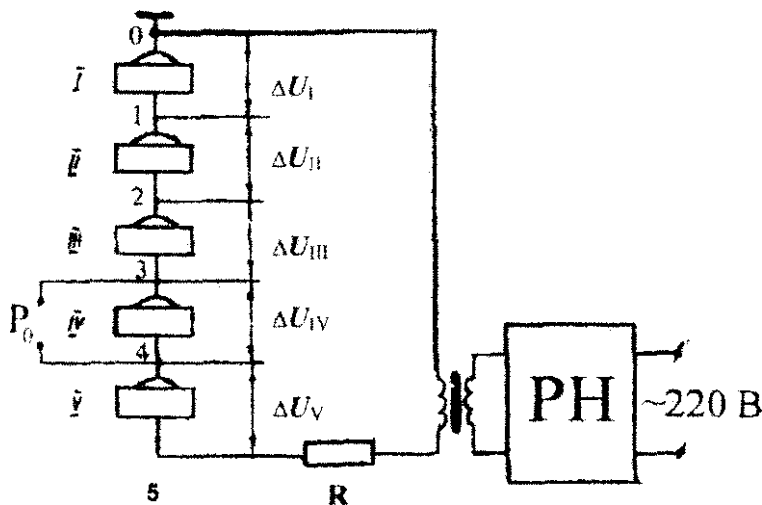


Рис. 2.1 Схема лабораторной установки

### 2.3.2. Порядок выполнения работы

2.3.2.1. Ознакомиться со схемой лабораторной установки и её монтажным выполнением.

2.3.2.2. Определить пробивное напряжение  $U_0$  разрядника  $P_0$ . Для этого необходимо присоединить его к высоковольтной обмотке трансформатора и, увеличивая с помощью автотрансформатора напряжение до пробоя, измерить величину  $U_0$  по вольтметру  $V$  на низковольтной обмотке трансформатора.

2.3.2.3. Собрать гирлянду из пяти фарфоровых изоляторов и, присоединяя разрядник между точками гирлянды: 0-1, 1-2, 2-3, 3-4 и 4-5, измерить напряжения  $U_N$ :  $U_I$ ,  $U_{II}$ ,  $U_{III}$ ,  $U_{IV}$ ,  $U_V$  и определить  $\Delta U_N$  в процентах по выражению (2.1).

2.3.2.4. Определить потенциалы точек  $n$ : 1,2,3,4 и 5 в процентах согласно выражениям:

$$\varphi_1 = \Delta U_I; \varphi_2 = \varphi_1 + \Delta U_{II}; \dots \dots \varphi_n = \varphi_{n-1} + \Delta U_N;$$

2.3.2.5. Полученные результаты записать в табл. 2.1

Таблица 2.1

Результаты измерений напряжений на изоляторах гирлянды

Номера изоляторов типа	Без защитной арматуры				С защитной арматуры			
	$U_o$	$U_N$	$\Delta U_N$	$\varphi_n$	$U_o$	$U_N$	$\Delta U_N$	$\varphi_n$
	<b>В</b>	<b>В</b>	<b>%</b>	<b>%</b>	<b>В</b>	<b>В</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
I								
II								
III								
IV								
V								

2.3.2.6. Установить защитную арматуру и произвести измерения и вычисления согласно пунктам 2.3.2.3. и 2.3.2.4. Полученные результаты записать в табл.2.1.

2.3.2.7. Собрать гирлянду из пяти стеклянных изоляторов и повторить измерения и вычисления, указанные в пунктах 2.3.2.3, 2.3.2.4 и 2.3.2.6.

2.3.2.8. Полученные результаты записать в табл.2.1.

2.3.2.9. По данным табл.2.1 построить в одних осях координат графики зависимостей  $\varphi=f(n)$  для гирлянды изоляторов с защитной арматурой и без неё.

2.3.2.10. Присоединить разрядник  $P_0$  к нижнему элементу гирлянды, составленной из фарфоровых изоляторов, и определить напряжение  $\Delta U_V$  в процентах на этом ближайшем к проводу изоляторе, изменяя общее число элементов "К" в гирлянде. Полученные данные записать в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты измерений напряжений на ближайшем к проводу изоляторе

Число изоляторов <b>К</b>	$U_0$ <b>В</b>	$U_V$ <b>В</b>	$\Delta U_V$ <b>%</b>
1			
2			
3			
4			
5			

3.2.11. По данным табл.2.2 построить график зависимости

$$\Delta U_V = f(K)$$

## **2.4. Контрольные вопросы**

2.4.1. В чем причина неравномерного распределения напряжения по изоляторам в гирлянде ?

2.4.2. Каким образом можно выровнять распределение напряжения по изоляторам в гирлянде?

2.4.3. Каким образом можно экспериментально определить напряжения на изоляторах в гирлянде?

2.4.4. Каковы основные конструктивные элементы подвесных изоляторов тарельчатого типа?

2.4.5. Каковы основные достоинства и недостатки стеклянных и фарфоровых изоляторов ?

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЧНЫХ ЁМКостей КАБЕЛЯ

#### 3.1. Цель работы

Оценка величин ёмкостей кабеля между его жилами, между жилами и оболочкой и тока короткого замыкания.

#### 3.2. Краткие теоретические сведения

В однофазном кабеле (рис. 3.1) рабочая ёмкость  $C$  может быть выражена через три частичные ёмкости:

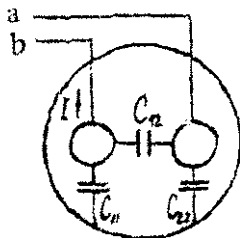


Рис. 3.1 Схема соединения частичных ёмкостей кабеля

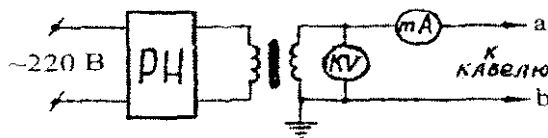


Рис. 3.2 Схема лабораторной установки для определения частичных ёмкостей кабеля

$C_{12}$  - частичная ёмкость между жилами;

$C_{11}$  и  $C_{22}$  частичные ёмкости между жилами и оболочкой;

$$C = C_{12} + \frac{C_{11}C_{22}}{C_{11} + C_{22}}$$

или, если  $C_{11} = C_{22}$        $C = C_{12} + \frac{C_{11}}{2}$       (3.1)

При подведении к кабелю, разомкнутому на конце, синусоидально меняющегося напряжения (рис. 3.2) в подводящих проводах и жилах протекает ток, обусловленный наличием рабочей ёмкости. Действующее значение этого тока

$$I_p = \omega CU \quad (3.2)$$

В случае пробоя изоляции между одной из жил и оболочкой, в месте повреждения возникает ток замыкания  $I_z$ , обусловленный частичной ёмкостью между оставшейся жилой и оболочкой  $C_{11}(C_{22})$

$$I_z = \omega C_{11} U \quad (3.2)$$

Определение тока  $I_z$ , является очень важной задачей, так как случаи однополюсного замыкания на землю происходят довольно часто.

Поскольку  $C_{11}$  составляет лишь часть рабочей ёмкости, то введено понятие о частичных ёмкостях. Ёмкость  $C_{11}(C_{22})$  может быть определена на основании рис. 3.3.

Показания миллиамперметра в этом случае можно выразить так  $I_1 = (C_{11} + C_{22})\omega U$

и в предположении  $C_{11} = C_{22}$   $I_1 = 2\omega C_{11}U$ ,

$$C_{11} = \frac{I_1}{2\omega U}, \quad (3.4)$$

или, переходя к частичной ёмкости на единицу длины:

$$K_{11} = \frac{I_1}{2\omega l U}, \quad (3.5)$$

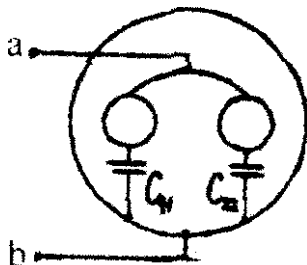


Рис. 3.3 Схема для определения частичных ёмкостей  $C_{11}(C_{22})$

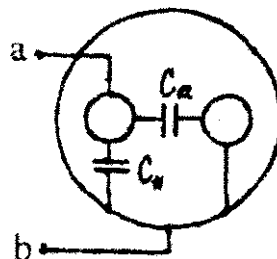


Рис. 3.4 Схема для определения частичной ёмкости  $C_{12}$

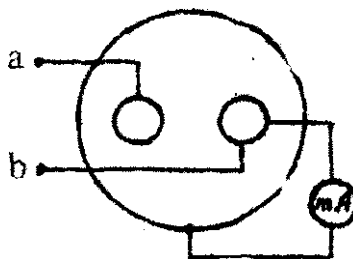


Рис. 3.5 Схема для определения тока замыкания



Определение частичной ёмкости  $C_{12}$  производится по схеме рис. 3.4.

Ток в цепи определяется так:

$$I_2 = (C_{11} + C_{12})U = \omega K_{11}lU + \omega K_{12}lU,$$
$$K_{12} = \frac{I_2}{\omega lU} - K_{11},$$
$$C_{12} = K_{12}l. \quad (3.6)$$

### 3.3. Экспериментальная часть работы

3.3.1. Ознакомиться с установкой и её монтажным выполнением.

3.3.2. Собрать схему по рис. 3.2 и 3.3. Поскольку в работе используется трехфазный кабель, то одна из его жил должна быть наглухо соединена с оболочкой, а при сборке схемы следует использовать две оставшиеся жилы.

3.3.3. После проверки схемы и получения разрешения начать работу измерить величину тока по миллиамперметру при напряжении  $U=4$  кВ.

3.3.4. На основании выражения (3.5) определить величину  $K_{12}$

3.3.5. Собрать схему (см. рис 3.2 и 3.4).

3.3.6. Измерить ток  $I_2$  при напряжении  $U=4$  кВ.

3.3.7. На основании выражения (3.6) определить величину  $K_{12}(C_{12})$

3.3.8. Определить величину рабочей ёмкости  $C$  по формуле (3.1).

3.3.9. Пользуясь выражениями (3.2) и (3.3), рассчитать  $I_P$  и  $I_3$  для напряжения  $U = 4$  кВ.

3.3.10. Собрать схему рис. 3.1, определить ток  $I_P$  и сравнить его с расчётной величиной.

3.3.11. Собрать схему рис. 3.5, определить ток  $I_3$  и сравнить его с расчётной величиной.

3.3.12. Результаты измерений и вычислений записать в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты измерений ёмкостей и токов в кабеле

Измерено					Вычислено					
$U$ кВ	$I_1$ мА	$I_2$ мА	$I_P$ мА	$I_3$ мА	$K_{11}$ мкФ/км	$C_{11}$ мкФ	$I_3$ мА	$K_{12}$ мкФ/км	$C_{11}$ мкФ	$I_P$ мА

### 3.4. Контрольные вопросы

3.4.1. Какие частичные ёмкости возникают в однофазном кабеле?

3.4.2. Как, зная частичные ёмкости кабеля, определить его рабочую ёмкость?

3.4.3. Как вычислить ток однополюсного замыкания на землю  $I_z$ , и по какой цепи он протекает?

3.4.4. По каким схемам определяются частичные ёмкости кабеля?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### **Типы, параметры и размеры линейных подвесных тарельчатых фарфоровых и стеклянных изоляторов (ГОСТ 27661 - 88\*)**

Тип изолятора определяется классом, материалом изоляционной детали и ее конфигурацией.

Класс изолятора соответствует значению нормированной разрушающей механической (для стеклянных изоляторов) или электромеханической (для фарфоровых изоляторов) силы в килоньютонах и выбирается из ряда: 40, 60, 70, 80, 100, 120, 160, 190, 210, 240, 300, 400 и 530. Изоляционная деталь должна изготавливаться из электротехнического фарфора по ГОСТ 20419-83 или электроизоляционного стекла, подвергнутого закалке.

Варианты конфигураций изоляционной детали приведены на рис П1.1а - П1.1д ( а - нормальное исполнение, б-д - специальное исполнение).

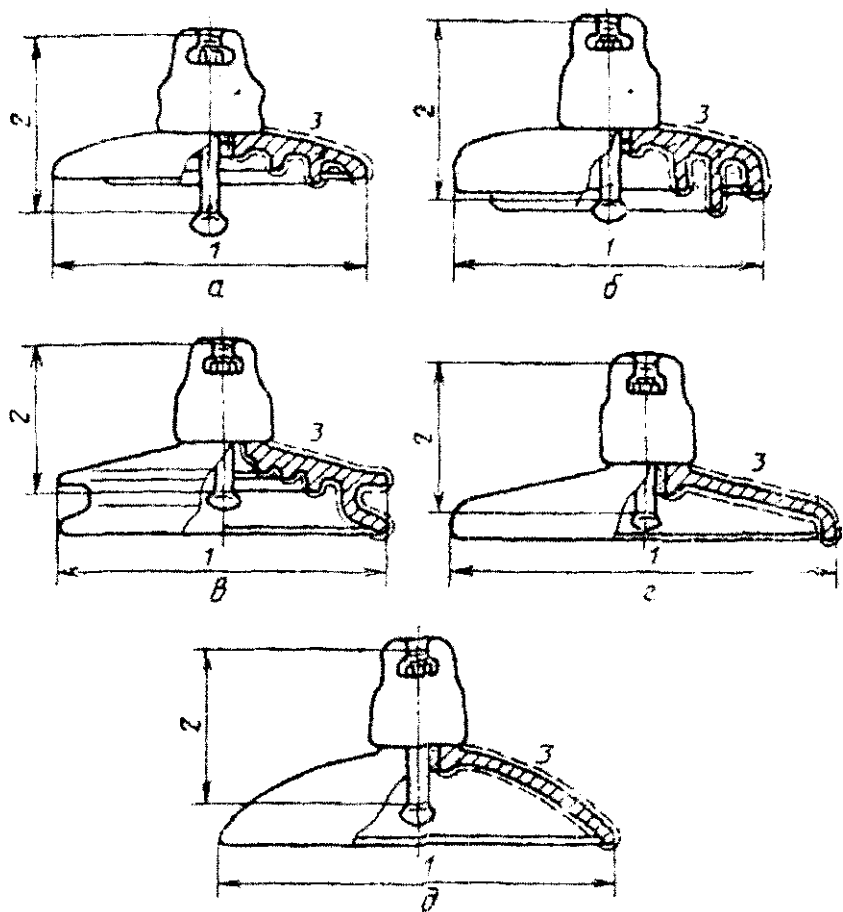


Рис. П1.1 Конфигурация изоляционной детали

*a*—со слабо развитой поверхностью изоляционной детали;  
*б*—с увеличенным вылетом ребра (В); *в*—двукрылая (Д); *г*—  
 коническая (К); *д*—сферическая (С); 1—диаметр; 2 —  
 строительная высота; 3—длина пути утечки

*Примечание.* В скобках приведено условное обозначение конфигурации изоляционной детали. Изоляторы нормального исполнения буквы в условном обозначении не имеют.

Условное обозначение типа изолятора состоит из букв и цифр, которые означают: первая - П - вид изолятора - подвесной; вторая - С-Ф - материал изоляционной детали: С - стекло, Ф - фарфор; третья - В, Д, К, С - условное обозначение конфигурации изоляционной детали (указаны на рис. П1.1).

Цифры- 40, 70, -класс изолятора: четвертая, следующая после цифр - А, Б, В, Г, - индекс модернизации изолятора. Например, изолятор ПФС-70 - изолятор подвесной фарфоровый со сферической конфигурацией изоляционной детали и электромеханической разрушающей силой 70 кН.

Основные параметры и размеры некоторых типов линейных подвесных тарельчатых изоляторов приведены в табл. П1.1

В таблице приняты следующие условные обозначения:

***F*** - механическая (электромеханическая) разрушающая сила;

$U_{np}$  - пробивное напряжение промышленной частоты  
в изоляционной среде;

$D$  - диаметр изоляционной детали;

$H$  - строительная высота;

$L_{ут}$  - длина пути утечки;

$U_{имп.пр}$  - выдерживаемое импульсное напряжение

$U_{пр-м}$  выдерживаемое напряжение промышленной  
частоты под дождем;

$m$  - масса.

Таблица ПП.1

Основные параметры и размеры линейных подвесных  
тарельчатых фарфоровых и стеклянных изоляторов  
нормального исполнения

Тип изолятора	$F$ , кН	$U_{np}$ ,	$D$	$H$	$L_{ут}$	$U_{имп.пр}$	$U_{пр-м}$ ,	$m$
	Не менее	кВ Не менее					кВ и кВ	
ПС40А	40	100	175	110	185	70	33	1,5
ПС70Д	70	130	255	127	303	100	40	3,5
ПФ70А	70	130	310	170	318	90	32	4,6
ПС70Е	70	130	255	127	303	100	40	3,4
ПФ70В	70	130	270	146	340	110	45	4,8
ПС120Б	120	130	255	146	320	100	40	4,2
ПС160В	160	130	280	146	370	110	45	6,3
ПС210В	210	130	300	170	370	110	45	7,3
ПС300В	300	130	320	195	385	130	50	10,0
ПС400Б	400	130	390	205	475	130	55	15,0

**Типы, параметры и размеры полимерных изоляторов  
устройств электрической тяги**

Полимерные изоляторы контактной сети электрических железных дорог маркируются следующим образом:

первая буква - назначение изолятора: П - подвесной, Н - натяжной, Ф - фиксаторный, К - консольный, О - опорный, Р - распорка и т.д;

вторая буква - конструкция изолятора: С - стержневой (в качестве силового элемента в изоляторе используется стеклопластиковый стержень), М - монолит (выполнен из одного полимерного изоляторного материала);

третья и четвертая (при ее наличии) буквы - материал защитного чехла (покрытия) стеклопластикового стержня или полимерного изоляционного материала: Ф - фторопласт, П - полиэтилен, К - кремний - органическая резина, Ц - циклоалифатическая смола;

индексы у третьей и четвертой букв - вид защитного чехла: Т - трубка, Р - ребристое (наборные втулки, цельный ребристый кожух, отформованные ребра), П - покрытие, выполненное окунанием стеклопластикового стержня и



напылением на него трекингоустойкого полимерного материала:

цифра в числителе дроби (например, 70) - класс изолятора, соответствующий значению нормированной разрушающей силы в килоньютонах;

цифра в знаменателе дроби (например, 0,9) - длина пути утечки в метрах;

буквы после дроби - А, Б, В, - индекс модификации изолятора.

Подвесной стержневой изолятор ПСКр70/  $L_{ум}$  -Д, используемый на контактной сети дорог переменного тока, изображен на рис. П2.1 .

На этом рисунке приняты следующие обозначения:

1 - оконцеватель;

2 - стеклопластиковый стержень;

3 - ребро из кремнийорганической резины.

Подвесной стержневой изолятор ПСКр70/0.43 -З, используемый на контактной сети дорог постоянного тока, изображен на рис. П2.2.

На этом рисунке приняты следующие обозначения:

1 - верхний оконцеватель из чугуна;

2 - стеклопластиковый стержень;

3-сплошная защитная цельнолитая оболочка кулолообразной формы.

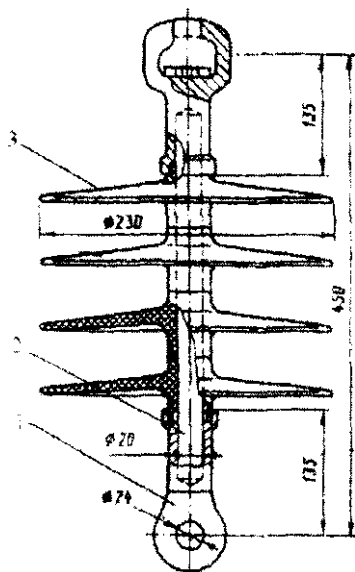


Рис. П2.1 Подвесной стержневой изолятор ПСКр70/  
 $L_{шт}$ -Д

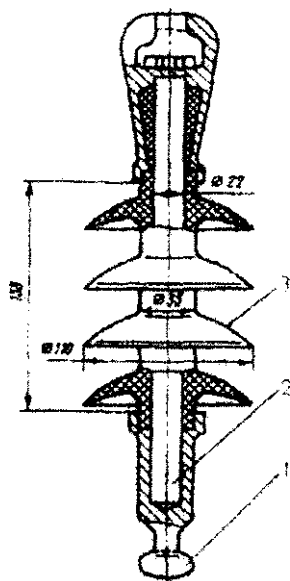


Рис. П2.2 Подвесной стержневой изолятор ПСКр70/0,43-3

В табл. П.2.1 и табл. П.2.2 приведены технические требования (значения параметров по техническим условиям -ТУ) к подвесным полимерным изоляторам электрических ж.д. постоянного и переменного токов. Здесь же даны результаты их испытаний, а также для сравнения данные одиночного фарфорового изолятора и гирлянды фарфоровых изоляторов, которую может заменить один

полимерный изолятор. В случае дорог постоянного тока (табл. П2.1.) цифры даны для гирлянды из двух фарфоровых изоляторов. в случае дорог переменного тока (табл. П2.2.) - для гирлянды из трёх (числитель дроби) и из четырёх (знаменатель дроби) фарфоровых изоляторов.

Условные обозначения параметров в табл. П2.1 и табл. П2.2 приняты такими, как в табл. П1.1.

Таблица П2.1

Основные параметры и размеры некоторых типов  
полимерных изоляторов электрических ж.д.  
постоянного тока

Параметр	Значение параметра по ТУ	Значения параметра изолятора типа			
		ПФ-70	Гирлянда из двух изоляторов ПФ-70	ПСКр70:0.4-А	ПСКр70:0.43-3
$F$ , кН	70	70	70	138	122
$H$ мм	350	167	350	450	350
$L_{ум}$ мм	400	285	470	410	430
$U_{пр}$ кВ	80	60	95	100	95
$U_{ум,пр}$ кВ.	110	90	-	160	135
$U_{пр-м}$ кВ	50	32	70	83	55
$m$ кг	-	6,5	13	1,6	2,3

Таблица 112.2

Основные параметры и размеры некоторых типов  
полимерных изоляторов электрических ж.д.  
переменного тока

Параметр	Значение параметра по ТУ	Значения параметра изолятора типа		
		Гирлянда из фарфоровых изоляторов	ПСКр70/0.8 2-Д	ПСКр70/0.82-В
<i>F</i> , кН	70	70/70	142	142
<i>H</i> , мм	400	500/660	450	500
<i>L<sub>гир</sub></i> , мм	750	1020/1300	820	820
<i>U<sub>пр</sub></i> , кВ	130	129/150	155	155
<i>U<sub>двипр</sub></i> , кВ.	-	-	270	270
<i>U<sub>пр-в</sub></i> , кВ	100	106/147	НО	ПО
<i>m</i> , кг	-	15/20,3	3.12	3,02

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серебряков А.С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы: Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта. - М.: Маршрут, 2005. - 280 с
2. Базуткин В. В. и др. Техника высоких напряжений: Изоляция и перенапряжения в электрических системах: Учебник для вузов/ В. В. Базуткин, В. П. Ларионов, Ю. С. Пинталь; Под общ. ред. В. П. Ларионова. - М.: Энергоатомиздат, 1986.- 464 с: ил.

3. Потанов В.Д. и др. Полимерные материалы в устройствах, контактной сети. -М.: Транспорт. 1988. - 224с.

СОДЕРЖАНИЕ		стр
1	Распределение напряжения вдоль ёмкостных цепочек	3
2	Исследование распределения напряжения по изоляторам в гирлянде	12
3	Определение частичных ёмкостей кабеля	22
4	Приложение 1	28
5	Приложение 2	32

Учебно–методическое издание

Касацкий Георгий Сергеевич  
Ермаков Илья Анатольевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЁМКостей  
ИЗОЛЯЦИИ НА ТОКИ И НАПРЯЖЕНИЯ В  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ**

Методические указания к лабораторным работам

---

Подписано в печать.....	Формат 60x80/16
Усл. печ. л. 2,5	Тираж 100 экз.
Заказ №.....	Изд. № 116-13

---

150048, г. Ярославль, Московский пр-т, д. 151,  
Типография Ярославского филиала МИИТ.