

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЛЬТСЕКУНДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНЫХ ПРОМЕЖУТКОВ

Цель работы: изучение методов определения вольтсекундной характеристики воздушного промежутка с резконеоднородным электрическим полем.

1. Общие сведения

Основной внешней изоляцией ВЛ и высоковольтного оборудования ОРУ электрических станций и подстанций является воздух при атмосферных условиях. При нормальных атмосферных условиях электрическая прочность воздушных промежутков в однородном поле не превышает 30 кВ/см. Электрическое поле реальных изоляционных конструкций в большинстве случаев является неоднородным и электрическая прочность воздушных промежутков значительно уменьшается. При воздействии на изоляцию грозových или коммутационных импульсов перенапряжения напряжение пробоя зависит от времени действия импульса. Зависимость пробивного напряжения $U_{пр}$ от времени до пробоя $t_{пр}$ называется *вольтсекундной характеристикой изоляции (ВСХ)*.

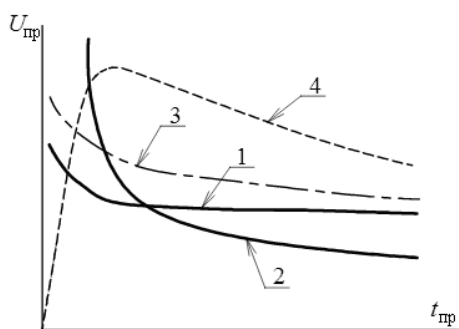


Рисунок 1 – ВСХ защитных разрядников и изоляции: 1 – ВСХ вентильного разрядника (однородное поле); 2 – ВСХ трубчатого разрядника (резконеоднородное поле); 3 – ВСХ защищаемого объекта; 4 – импульс напряжения.

Для промежутков с однородным или слабонеоднородным полем ВСХ слабо зависит от времени приложения напряжения (рисунок 1, кривая 1) и только при временах разряда порядка 1 мкс и меньше разрядное напряжение увеличивается.

Вольтсекундные характеристики промежутков с резконеоднородным полем (рисунок 1, кривая 2) имеют достаточно большую крутизну, поскольку в таких промежутках время формирования разряда сильно зависит от значения приложенного напряжения. Для таких промежутков разрядные напряжения при грозových импульсах больше, чем при переменном напряжении промышленной частоты 50 Гц. Отношение

$K_{имп} = U_{пр.имп} / U_{пр.~}$ называется коэффициентом импульса. Промежутки с однородным и слабонеоднородными полями имеют $K_{имп} = 1$ практически во всем диапазоне времен разряда.

Вольтсекундные характеристики широко используются для координации изоляции высоковольтного оборудования, в том числе для защиты от воздействия грозových и коммутационных перенапряжений. С этой целью параллельно защищаемому объекту включается воздушный разрядник (например, вентильный разрядник) с пологой ВСХ. Надежная защита будет обеспечиваться, если ВСХ разрядника (рисунок 1, кривая 1) находится ниже, чем ВСХ защищаемого оборудования (кривая 3) во всем диапазоне времен воздействующего напряжения.

Согласно ГОСТ 1516.2-97 вольтсекундную характеристику изоляции можно определять при линейно нарастающих импульсах или при импульсах постоянной формы.

В первом случае (рисунок 2, а) необходимо, чтобы полный разряд происходил всегда на фронте импульса в его линейной части. Вольтсекундную характеристику при импульсах постоянной формы (обычно стандартных грозových импульсах) опре-

деляют путем приложения к изоляции серии импульсов напряжения постоянной формы с различными максимальными значениями, вызывающих полный разряд на объекте испытания (рисунок 2, б).

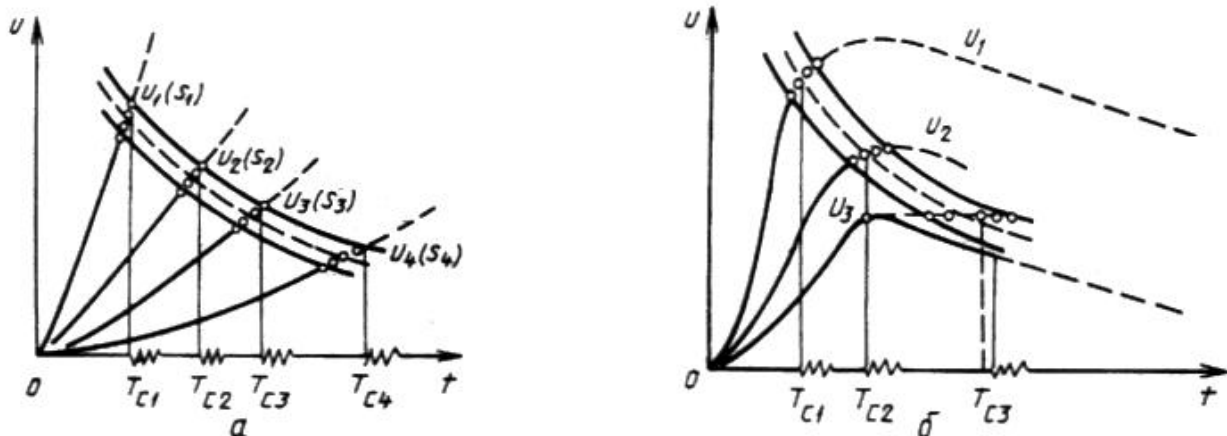


Рисунок 2 – Вольтсекундные характеристики:

а – разряд на фронте импульса; б – разряд на спадающей части импульса

Число ступеней нарастания скорости напряжения должно быть не менее четырех, а число импульсов на каждой ступени – не менее пяти. По полученным экспериментальным точкам строят верхнюю и нижнюю огибающие кривые, а также среднюю кривую, приведенные на рисунке 2.

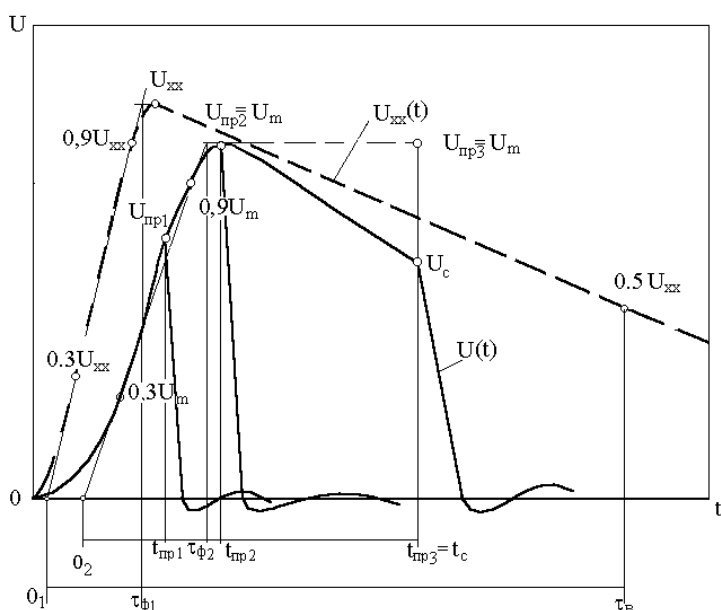


Рисунок 3 – Определение параметров импульса напряжения: $U_{xx}(t)$ – импульс напряжения ГИН на холостом ходу; $U(t)$ – импульс напряжения ГИН при пробое; U_{xx} – амплитуда импульса напряжения холостого хода; U_m – амплитуда импульса напряжения на промежутке; $U_{пр1}$, $t_{пр1}$ – пробивное (разрядное) напряжение и время до пробоя, если разряд произошел на фронте импульса; $U_{пр2}$, $t_{пр2}$ – пробивное напряжение и время до пробоя, если разряд произошел на максимуме напряжения U_m ; $U_{пр3}$, $t_{пр3}$ – пробивное напряжение и время до пробоя, если разряд произошел на спаде импульса; U_c , t_c – значение напряжения и время среза при разряде на спаде импульса; $\tau_{\phi 1}$, $\tau_{\phi 2}$ – длительность фронта импульсов напряжения $U_{xx}(t)$ и $U(t)$ соответственно; τ_b – длительность импульса $U_{xx}(t)$ до полуспада

Методика определения параметров импульса, значения пробивного напряжения и предпробивного времени показана на рисунке 3. За значение пробивного напряжения $U_{пр}$ срезанного импульса принимается напряжение в момент пробоя (среза), если разряд произошел на фронте импульса ($U_{пр1}$) или амплитуда импульса напряжения, если разряд произошел на максимуме напряжения ($U_{пр2} = U_m$) или на спаде импульса ($U_{пр3} = U_m$); за значение напряжения среза U_c принимается величина напряжения в момент времени t_c – начала резкого изменения формы импульса за счет быстрого снижения напряжения.

2. Методика проведения работы

ВСХ воздушного промежутка определяются при подаче импульсов положительной или отрицательной полярности постоянной формы (рисунок 2, б). Для получения резконеоднородного поля ис-

пользуется электродные системы «острие-плоскость» (О-П) и «острие-острие» (О-О).

Источником высоковольтных импульсов является генератор импульсных напряжений (ГИН) по схеме Маркса (рисунок 4). ГИН состоит из 10 ступеней и имеет лестничную конструкцию. В схеме предусмотрена односторонняя зарядка конденсаторов до напряжения 100 кВ от зарядного устройства, состоящего из регулировочного автотрансформатора АТ, высоковольтного трансформатора Т (ИОМ-100/25) и выпрямителя V . Для изменения полярности выходного напряжения нужно изменить полярность включения (выводы 1 и 2) выпрямителя V . Для ограничения тока в зарядном контуре (защиты выпрямителя и трансформатора) установлено защитное сопротивление $R_{\text{заш}}$, для ограничения тока в разрядном контуре – демпфирующее сопротивление $R_{\text{д}}$.

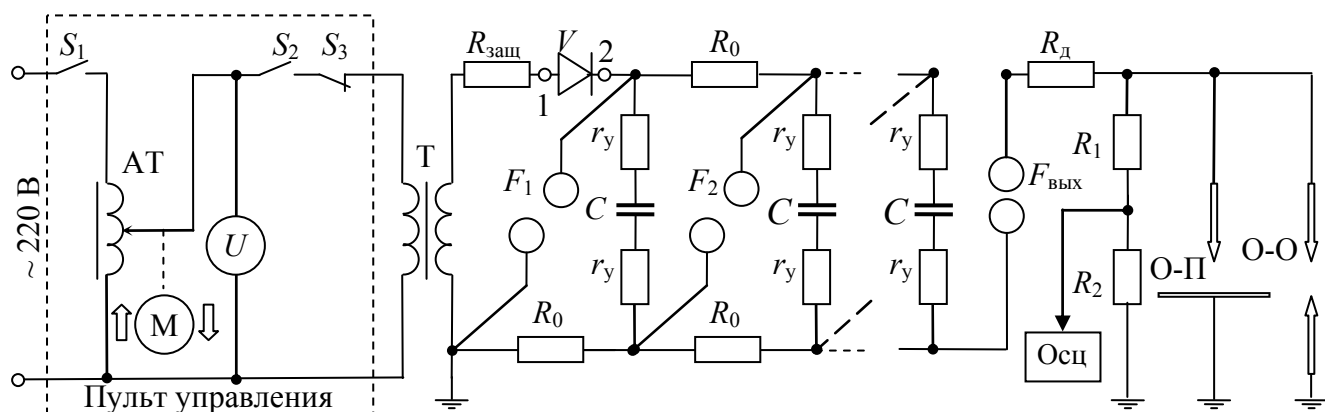


Рисунок 4 – Электрическая схема ГИН 1000/0,01: АТ – автотрансформатор; U – вольтметр; S_1 – пакетный выключатель; S_2 – кнопка «Вкл.»; S_3 – кнопка «Выкл.»; M – электродвигатель; T – высоковольтный трансформатор; $R_{\text{заш}}$ – защитное сопротивление; V – выпрямитель; C – конденсаторы ГИНа; $F_1 \dots F_n$ – искровые промежутки (шаровые разрядники); R_0 – зарядные сопротивления; r_y – успокоительные сопротивления; $F_{\text{вых}}$ – выходной промежуток; R_1, R_2 – омический делитель напряжения (ДИН); Осц – осциллограф; $R_{\text{д}}$ – демпфирующее сопротивление, О-П и О-О – электродные системы

Для регистрации осциллограмм напряжения $u(t)$ используется осциллограф TDS 2022B, расположенный в экранированной кабине. Импульсы напряжения преобразуются омическим делителем напряжения (ДИН) и преобразованный сигнал передается на вход осциллографа коаксиальным кабелем РК-75-4-11 (рисунок 5). Масштабный коэффициент системы измерения составляет $k_{\text{дн}} = 18$ кВ/В.

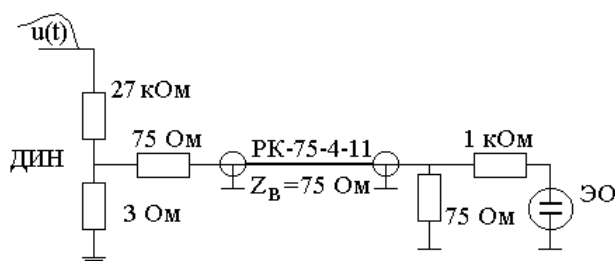


Рисунок 5 – Схема регистрации импульсов напряжения

3. Порядок работы

1. Собрать схему эксперимента с электродной системой «острие-плоскость», высоковольтный электрод подключить к выводу ГИН через демпфирующий резистор. Делитель напряжения присоединить к точке подключения электродной системы. Расстояние между электродами установить в диапазоне 100–150 мм.

- Установить первый разрядный промежуток ГИН равным 3 мм. Включить установку, подать единичный импульс и получить разряд на электродной системе. По осциллограмме определить пробивное напряжение $U_{пр}$ и время до пробоя $t_{пр}$. На одной ступени напряжения произвести 3–5 пробоев. Результаты записать в таблицу 1.
- Увеличить напряжение с шагом $\sim 30\text{--}50$ кВ на выходе ГИН и по осциллограмме определить пробивное напряжение $U_{пр}$ и время до пробоя $t_{пр}$. Провести эксперименты при 4–6 различных значениях напряжения.
- Установить электродную систему «остриё-остриё» с тем же расстоянием между электродами. Выполнить работу по пп. 2 и 3. Результаты записать в таблицу 1.
- Изменить полярность выходного напряжения ГИН. Провести измерения по пп. 2–4. Результаты записать в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	Пробивное напряжение $U_{пр}$, кВ				Время до пробоя $t_{пр}$, мкс				Примечание (вид электродов, расстояние между ними, мм; полярность высоковольтного электрода)
	U_1	U_2	U_3	$U_{ср}$	t_1	t_2	t_3	$t_{ср}$	
1									
2									
...									
6									
1									
2									
...									
6									
1									
2									
...									
6									
1									
2									
...									
6									

4. Содержание отчета

- Привести цель работы, электрическую схему установки (рисовать самостоятельно), порядок проведения эксперимента. Указать характеристики делителя и электродных систем.
- Привести типовую осциллограмму напряжения, полученную в эксперименте, показать методику определения $U_{пр}$ и $t_{пр}$.
- Привести сводную таблицу 1 с результатами экспериментов.
- По значениям $U_{ср}$ и $t_{ср}$ построить зависимости $U_{пр} = f(t_{пр})$ **в одних осях**.
- Объяснить полученные результаты.

5. Контрольные вопросы

- Пояснить термин «координация изоляции».
- Почему в слабонеоднородных полях эффект полярности минимален?
- Какой импульс напряжения называется стандартным грозовым импульсом напряжения?
- Объяснить методику определения длительности фронта и импульса.
- Для чего в разрядном контуре необходимо устанавливать демпфирующее сопротивление?
- Как изменить полярность выходного напряжения ГИН?