

Новосибирский государственный технический университет

Лаборатория электромагнитной совместимости

Лабораторная работа №2

*Исследование характеристик
устройств защиты
от импульсных перенапряжений*

Новосибирск 2009

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2
«Исследование характеристик устройств защиты
от импульсных перенапряжений»

Цель работы

Изучение характеристик устройств защиты от импульсных перенапряжений, применяемых в фильтрах импульсных помех, экспериментальное определение емкости варистора и снятие его вольтамперной характеристики.

Содержание работы

1. Ознакомиться с принципами работы устройств защиты от импульсных перенапряжений.
2. При помощи генератора импульсных помех и осциллографа получить осциллограммы напряжений и токов на исследуемых элементах.
3. Используя полученные осциллограммы, определить: напряжение срабатывания, рассеиваемую энергию, емкость элемента.
4. Сравнить полученные значения с паспортными характеристиками.
5. Составить отчет, содержащий полученные осциллограммы и результаты расчетов. Объяснить полученные результаты и сформулировать выводы по работе.

Основные понятия и положения

Надежность работы технических средств, применяемых в электроэнергетике, во многом определяется качеством питающих электрических сетей, в которых могут иметь место перенапряжения длительностью от сотен миллисекунд до нескольких секунд, провалы напряжения длительностью до десятков миллисекунд, пропадания (отсутствие напряжения более одного периода) и так далее.

Особенно опасны высоковольтные импульсы амплитудой до нескольких киловольт и длительностью от десятков наносекунд до сотен микросекунд. Именно они могут приводить к серьезным сбоям электронной аппаратуры и выходу ее из строя, а также быть причиной пробоя изоляции проводов и даже их возгорания.

Импульсы напряжения могут наводиться электромагнитными импульсами искусственного происхождения от передающих радиостанций, высоковольтных ли-

ний электропередач, сетей электрифицированных железных дорог, электросварочных аппаратов, они могут быть естественного происхождения и наводиться мощными грозовыми разрядами. Они могут создаваться статическим напряжением, разряд которого достигает 25 кВ. Высоковольтные импульсы способны возникать и в самой аппаратуре при ее функционировании в результате переходных процессов, при срабатывании электромагнитов, размыкании контактов реле, коммутации реактивных нагрузок и так далее. Наибольшую угрозу представляют импульсы, возникающие при отключении индуктивной нагрузки.

По указанным причинам технические средства должны быть защищены от высоковольтных импульсных помех. Чтобы аппаратура могла быть сертифицирована, она должна пройти проверку на устойчивость к воздействию импульсных помех. Например, ГОСТ Р 51317.4.4-99 (МЭК 61000-4-4-95) [3] распространяется на электротехнические, электронные и радиоэлектронные изделия и устанавливает требования и методы их испытаний на устойчивость к наносекундным импульсным помехам (НИП).

В настоящее время для защиты от внешних импульсных воздействий применяются различные виды экранировки, RC- и LC-фильтры, газоразрядные приборы (разрядники) и полупроводниковые ограничители напряжения (ПОН). К сожалению, разрядники не обладают необходимым быстродействием, а быстродействующие ПОН, с высокой нелинейностью вольтамперной характеристики (ВАХ) не способны рассеивать большую мощность из-за малого объема р-п-перехода. Это обуславливает резкое уменьшение допустимого тока в импульсе, протекающем через прибор.

Схема типового ступенчатого фильтра импульсных помех показана на рис. 1. Первая ступень – разрядник (FV), вторая – варистор (VDR), включенные каскадом через сопротивления R.

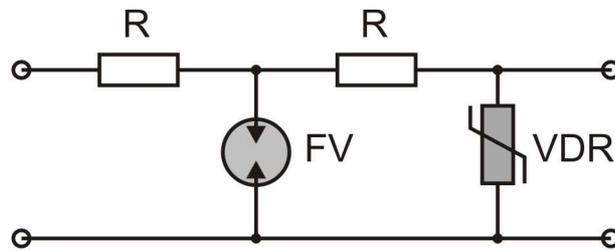


Рис. 1. Схема каскадного фильтра импульсных помех

Дополнительно фильтр может содержать стабилитрон, катушки индуктивности, конденсаторы для лучшей фильтрации ВЧ помех.

Разрядник представляет собой устройство из двух токопроводящих пластин с калиброванным зазором. При существенном повышении напряжения между пластинами возникает дуговой разряд, обеспечивающий сброс высоковольтного импульса на землю.

По исполнению разрядники делятся на: воздушные, воздушные многоэлектродные и газовые. В газовом разряднике дуговая камера заполнена инертным газом низкого давления. Благодаря этому их параметры мало зависят от внешних условий (влажность, температура, запыленность и т.д.), кроме этого газовые разрядники имеют экстремально высокое сопротивление (около 10 ГОм) и малую емкость, что позволяет их применять для защиты высокочастотных устройств до нескольких ГГц.

Варистор - резистивный элемент с резко выраженной нелинейной ВАХ и поликристаллической структурой из наиболее популярного для этих целей оксида цинка (ZnO). Их отличительной особенностью является резко выраженная зависимость сопротивления от приложенного к ним напряжения. Варисторы используются для стабилизации и защиты электронного оборудования от перенапряжений, преобразования частоты и напряжения, а также регулирования в системах автоматики.

Нелинейность характеристик варисторов обусловлена локальным нагревом соприкасающихся граней многочисленных кристаллов карбида кремния (или иного полупроводника). При локальном повышении температуры на границах кристаллов

сопротивление последних существенно снижается, что приводит к уменьшению общего сопротивления варисторов.

Один из основных параметров варистора — коэффициент нелинейности λ — определяется отношением его статического сопротивления R к динамическому сопротивлению R_d :

$$\lambda = \frac{R}{R_d} = \frac{U}{I} : \frac{dU}{dI} \approx const$$

где U и I — напряжение и ток варистора.

Коэффициент нелинейности лежит в пределах 2-10 у варисторов на основе SiC и 20-100 у варисторов на основе ZnO.

Варистор выбирается исходя из допустимой поглощаемой энергии и максимально допустимого напряжения. На рис. 2 показана типичная ВАХ варистора.

Недостатком варисторов является их значительная емкость, исключающая их применение в высокочастотных цепях.

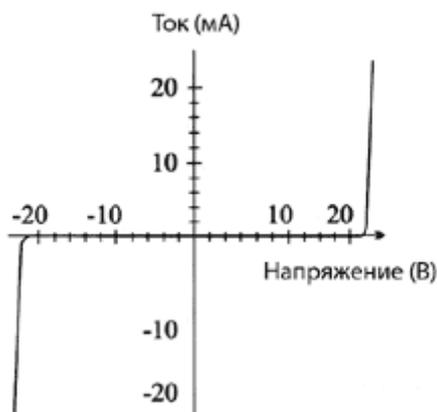


Рис. 2. ВАХ варистора.

Широкое применение в электроэнергетике нашли **ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН)** - электрические аппараты, предназначенные для защиты оборудования систем электроснабжения от коммутационных и грозовых перенапряжений. Основным элементом ОПН также является нелинейный резистор – варистор. Высоковольтные ОПН представляют собой набор последовательно включенных варисторов.

Стабилитрон (диод Зенера) — полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации напряжения в источниках питания. По сравнению с обычными

диодами имеет достаточно низкое регламентированное напряжение пробоя (при обратном включении) и может поддерживать это напряжение на постоянном уровне при значительном изменении силы обратного тока. Материалы, используемые для создания р-п перехода стабилитронов, имеют высокую концентрацию примесей. Поэтому, при относительно небольших обратных напряжениях в переходе возникает сильное электрическое поле, вызывающее его электрический пробой, в данном случае являющийся обратимым (если не наступает тепловой пробой вследствие слишком большой силы тока). Стабилитрон предназначен для работы в режиме стабилизации, т.е. при протекании через него определенного тока он обеспечивает практически постоянное напряжение на своих выводах.

Полупроводниковые **диодные ограничители** напряжения фиксируют заданный уровень напряжения на защищаемом устройстве. При превышении рабочего напряжения происходит обратимый лавинный пробой диода, он переходит в состояние с низким динамическим сопротивлением. В этом состоянии диодный ограничитель отводит импульсный ток перегрузки от защищаемого объекта и поглощает выбросы напряжения, превышающие напряжение пробоя. Время реакции на перенапряжение составляет несколько наносекунд (зависит от конструкции), импульсный ток — до сотен ампер, импульсная мощность — более 1 кВт, фиксируемое напряжение — 3...400 В, емкость — менее 50 пФ. Диодные ограничители допускают большие импульсные токи, чем стабилитроны и имеют более широкий диапазон рабочих напряжений.

Характеристики и описание используемых в работе ограничителей перенапряжений.

1. Разрядник фирмы EPCOS марки **EC350X**.

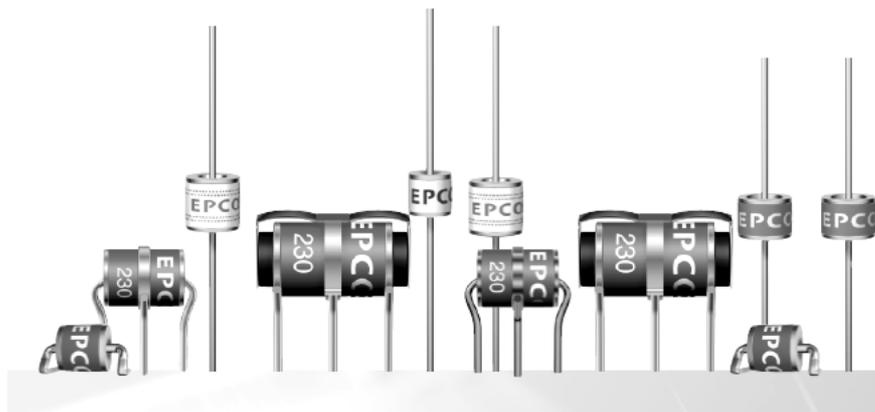


Рис. 3. Разрядники фирмы EPCOS

Характеристики разрядника:

Напряжение пробоя (постоянное)	230 В±15%
Напряжение пробоя импульсное 100 В/мкс, не более	500 В / 550 В
Напряжение пробоя импульсное 1 кВ/мкс не более	600 В / 700 В
Импульсный разрядный ток 8/20 мкс	5 кА
Единичный импульсный разрядный ток 8/20 мкс	10 кА
Разрядный ток 50 Гц, 1 с	5 А
Разрядный ток 50 Гц, 9 циклов	20 А
Сопротивление изоляции, не менее	10 ГОм
Емкость, не более	1 пФ
Диапазон рабочих температур	-40 — +90 °С

2. Разрядник P-350.

Разрядник P-350 представляет собой стеклянный баллон с двумя электродами, заполненный аргоном. Разрядник предназначен для защиты линий и аппаратуры связи от перенапряжений, а также для грозозащиты. Климатическое исполнение УХЛ.

Основные электрические параметры разрядника P-350

Наименование параметра, единица измерения	Норма		
	Не менее	Номинал	Не более
Напряжение пробоя (амплитудное значение при частоте 50 Гц), В	310	350	390
Сопротивление изоляции, МОм	5000	-	-
Амплитуда импульса тока, А	-	-	3
Емкость между электродами, пФ	-	-	10
Время восстановления пробоя, мин	-	-	0,5
Разрядный ток, А	-	-	3
Продолжительность разряда, с	-	-	2

3. Ограничитель **ОПН-0,4/0,24-10(I)**

ОПН-0,4/0,24-10(I) – ограничитель перенапряжения нелинейный для защиты изоляции электрооборудования сетей 0,4 кВ производства ЗАО «Феникс-88» (г. Новосибирск). Климатическое исполнение УХЛ1. Внешний вид и размеры ОПН показаны на рис. 4.

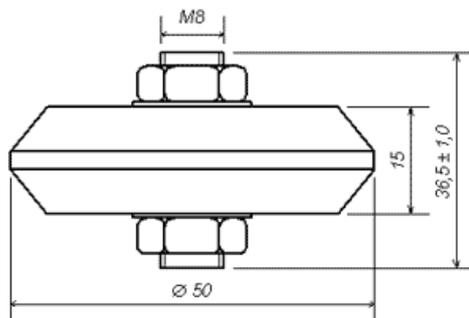


Рис. 4. Размеры ОПН-0,4/0,24-10.

Характеристики ОПН-0,4/0,24-10:

Класс напряжения сети – 0,4 кВ действ.

Длительное рабочее напряжение промышленной частоты – 0,24 кВ действ.

Номинальный разрядный ток – 10 кА

Энергоемкость ограничителя – 650 Дж.

Амплитуда выдерживаемого импульса 4/10 мкс – 40 кА.

Масса, не более – 0,1 кг.

4. Варистор марки **FNR 20K 331**.

Варистор FNR 20K 331 используется для стабилизации и защиты электронного оборудования от перенапряжений, преобразования частоты и напряжения, а также регулирования в системах автоматики. Внешний вид варистора и его основные характеристики приведены ниже.

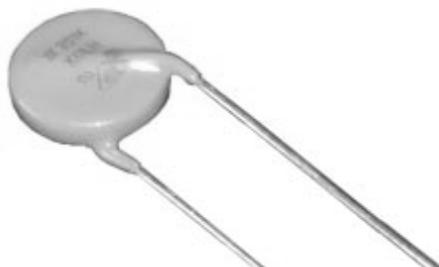


Рис. 5. Внешний вид варистора FNR 20K331.

Характеристики варистора:

Классификационное напряжение – 330 В при токе 1 мА.

Максимальная поглощаемая энергия – 150,0 Дж

Максимальная емкость – 1400 пФ на частоте 1 кГц.

5. Диод ограничительный 1.5KE350A. Является защитным диодом для защиты цепей от импульсных выбросов напряжения. Внешний вид диода и его основные характеристики приведены ниже.



Рис. 6. Внешний вид ограничительного диода.

Мощность P, Вт	1,5
Минимальное напряжение открывания, В	315
Максимальное напряжение открывания, В при тестовом токе, мА	385 1
Напряжение закрывания обратное, В	284
Максимальный ток утечки при напряжении закрывания I _{ут.} , мкА	5,0
Максимально допустимый импульсный ток, А	4,0
Максимальное напряжение защелки U _{зщ.} , В	504,0

6. Стабилитрон 1Z150

Стабилитрон 1Z150 предназначен для применения в ограничителях напряжения и стабилизации постоянного напряжения.

Напряжение стабилизации	150 В
Средняя рассеиваемая мощность	1 Вт
Пиковая рассеиваемая мощность	200 Вт при t _{имп} = 200μs
Максимально допустимый импульсный ток	10 А

Описание лабораторной установки

Для исследования работы ограничителей перенапряжений используются генератор импульсных помех ИИП-4000 (Г, рис. 7) и цифровой осциллограф. Генератор

позволяет создавать импульсы напряжения амплитудой 0,5, 1,0, 2,0 и 4,0 кВ. В работе используется амплитуда импульса **1,0 кВ**. Форма генерируемых импульсов 1/50 мкс (по ГОСТ Р 51317.4.5.-99). Длительность фронта импульса на уровнях 0,1-0,9 равна 1 мкс, длительность импульса на уровне 0,5 равна 50 мкс. Запуск генератора осуществляется вручную. На лабораторном стенде установлен тумблер, позволяющий увеличивать фронт импульса с 1 мкс до 15 мкс.

Для согласования уровня измеряемых импульсов с характеристиками осциллографа используется частотно-независимый делитель на элементах $R_B C_B$ - $R_H C_H$, коэффициент деления которого **указан на стенде**.

Установка позволяет осциллографировать напряжение на выходе генератора (без ограничителей напряжения) и на каждом из элементов, подключенных к генератору через активное сопротивление R для ограничения тока через них.

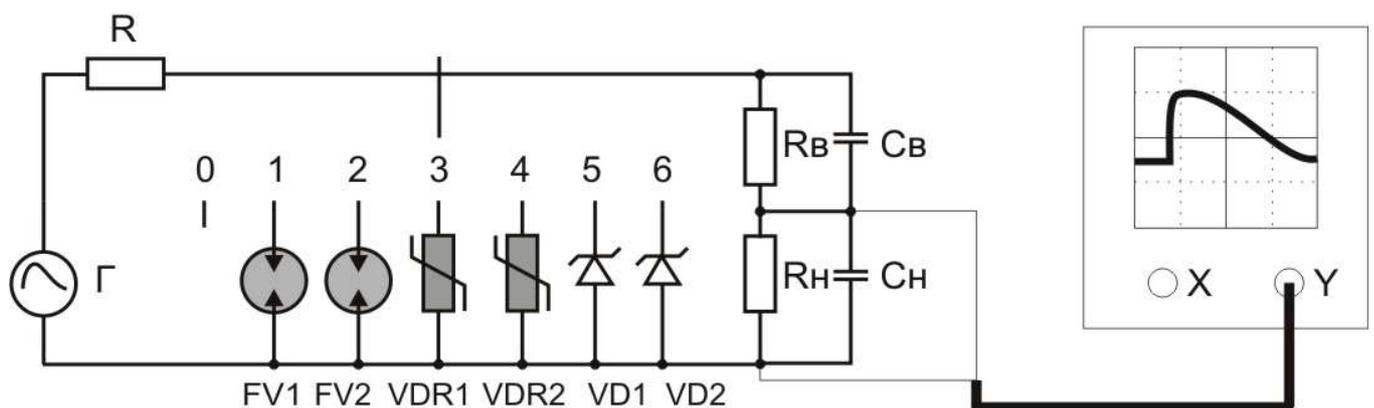


Рис. 7 Схема для осциллографирования импульса напряжения.

В начале работы следует снять осциллограмму импульса без ограничительных элементов – переключатель установить в положение «0». Осциллограммы снять при двух длительностях фронта импульса, изменяя ее положением соответствующего тумблера на стенде.

На каждом из элементов следует снять по две осциллограммы с разными длительностями фронта импульса, каждому элементу соответствует определенное положения переключателя «1» - «6». Полученные осциллограммы следует сопоставить с исходной осциллограммой напряжения импульса без элемента и отметить уровень срабатывания ограничителя.

Также в работе необходимо снять вольт-амперную характеристику варистора, ОПН, ограничительного диода и стабилитрона. Схема установки для снятия вольт-амперной характеристики (ВАХ) показана на рис. 8. Осциллограф должен быть переведен в режим работы XY. По оси Y отображается величина тока, протекающего через варистор (используется напряжение, снимаемое с шунта $R_{ш}$, его сопротивление **указано на стенде**). По оси X отображается напряжение, прикладываемое к элементу при запуске генератора импульсов.

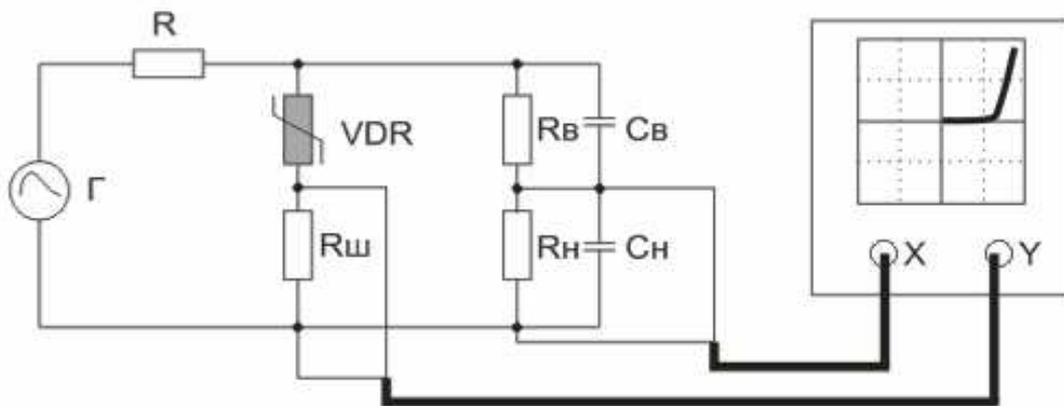


Рис. 8 Схема для снятия ВАХ нелинейного элемента.

Методические указания

1. Исследование работы ограничителей перенапряжения.

В ходе работы производится осциллографирование импульсных напряжений на входе фильтра (выход генератора импульсов), на разряднике и на варисторе. Переключение осциллографа на нужный элемент производится с помощью переключателя, положения которого соответствуют:

- 0 – напряжение на выходе генератора (без ограничения);
- 1 – напряжение на разряднике ЕС350Х.
- 2 – напряжение на разряднике Р-350;
- 3 – напряжение на ОПН 0,4/0,24-10(І)
- 4 – напряжение на варисторе FNR 20К331.
- 5 - напряжение на ограничительном диоде 1.5КЕ350А.

6 – напряжение на стабилитроне 1Z150.

Осциллограф должен быть переведен в режим развертки оси X по времени. Быстрый вызов необходимых настроек может быть произведен через специальную функцию вызова сохраненных настроек. Осциллограф должен работать в режиме готовности к однократному запуску по фронту импульса.

Путем нажатия кнопки «ЗАПУСК» на генераторе помех производится подача импульсного напряжения на выбранный элемент. В результате требуется получить осциллограммы напряжения на выходе генератора и на каждом элементе (положения 0, 1 - 6 переключателя) при двух длительностях фронта импульса. Осциллограммы должны быть представлены в отчете с указанием действительных значений напряжения (пересчитанные с учетом коэффициента деления и сопротивления шунта) и времени.

2. Снятие вольтамперной характеристики

Переключатель выбора элемента должен быть установлен в соответствующее положение. Путем однократного нажатия кнопки «ЗАПУСК» на генераторе помех производится подача импульсного напряжения на элемент. На осциллографе необходимо получить кривые напряжения и тока на варисторе. Затем осциллограф должен быть переведен в режим XY.

ВАХ варистора следует поместить в отчет, проставив реальные значения напряжения на варисторе и тока, протекающего через варистор (с учетом коэффициента делителя напряжения, сопротивления шунта и установленных пределов по осям X и Y осциллографа).

3. Расчет энергии, поглощаемой варистором

Требуется рассчитать количество энергии, поглощенной варистором при приложении к нему одиночного импульса перенапряжения. Для этого осциллограф должен быть переведен в режим развертки оси X по времени и задействованы два канала. Одним каналом отображается напряжение на варисторе, другим – импульс

тока, протекающий через варистор. Необходимо эти два импульса представить в виде таблицы (значения времени указаны условно):

t, мкс	0.0	25.0	50.0	...
U(t), В				
I(t), А				
P(t), Вт				

Значения P(t) определяются произведением соответствующих значений U(t) и I(t). Затем следует построить график изменения мгновенной мощности на варисторе P(t) и, посчитав площадь этого импульса, определить количество энергии.

4. Определение емкости варистора.

Если к варистору приложить изменяющееся напряжение, то до момента срабатывания варистора через него будет протекать ток, обусловленный его емкостью (током утечки пренебрегаем):

$$i_C(t) = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

Для определения емкости на варистор следует подать импульс напряжения с длительностью фронта **15 мкс**. Развертку осциллографа по оси X выбрать таким образом, чтобы можно было проанализировать фронт импульса напряжения на варисторе (порядка 1 мкс/дел.). На полученной осциллограмме следует определить величину емкостного тока $I_{емк}$ через варистор, протекающий через него до момента срабатывания и изменение напряжения ΔU на нем за некоторое время Δt (рис. 9).

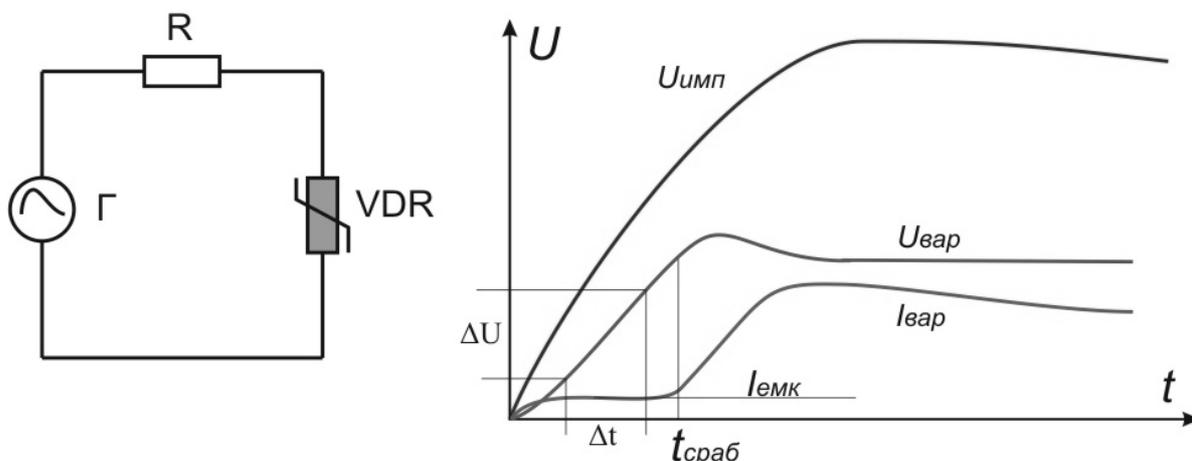


Рис. 9 Схема измерения и осциллограммы напряжения импульса генератора $U_{имп}$, напряжения на варисторе $U_{вар}$ и тока через него $I_{вар}$.

Если принять, что напряжение на варисторе в течение времени Δt изменяется по линейному закону, то емкость можно определить по выражению:

$$C = I_{емк} \frac{\Delta t}{\Delta U}.$$

Контрольные вопросы:

1. Импульсные помехи, причины их возникновения и воздействие на технические средства.
2. Что такое разрядник? Характеристики разрядников.
3. Что такое статическое и динамическое напряжение срабатывания разрядника?
4. Что такое варистор? Характеристики варисторов.
5. Как можно получить вольтамперную характеристику варистора?
6. Как рассчитывается энергия, поглощенная варистором при приложении к нему одиночного импульса?
7. Что характеризует вольтамперная характеристика варистора?
8. Что такое ограничительный диод?
9. Что такое стабилитрон?
10. Каково назначение конденсаторов в делителе напряжения?
11. Для чего применяются каскадные схемы ограничения перенапряжений?