

УДК 621.314.632:62-52

ГЕНЕРАТОРЫ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ

Мускатиньев Александр Валентинович

канд. тех. наук

Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарева, Саранск

Мускатиньев Андрей Александрович

канд. тех. наук

Управление федерального казначейства по республике Мордовия
Саранск

author@apriori-journal.ru

Аннотация. В статье предлагается классификация формирователей (генераторов) высоковольтных импульсов, применяемых в аппаратуре для измерения параметров силовых полупроводниковых приборов (СПП) в состоянии низкой проводимости. Обсуждаются технические решения генераторов с синусоидальной формой испытательного импульса.

Ключевые слова: силовой полупроводниковый прибор; генератор высоковольтных импульсов.

GENERATORS OF THE TEST HIGH VOLTAGE IMPULSES OF THE SINUSOIDAL FORM

Muskatinyev Alexander Valentinovich

candidate of technical sciences
National research Mordovian state university of N. P. Ogaryov, Saransk

Muskatinyev Andrey Aleksandrovich

candidate of technical sciences
Management of Federal Treasury on the Republic of Mordovia, Saransk

Abstract. In article classification of the high-voltage impulses generators applied in equipment to measurement of parameters of power semi-conductor devices (PSD) in a condition of low conductivity is offered. Technical solutions of generators with a sinusoidal form of a test impulse are discussed.

Key words: power semi-conductor device; generator of high-voltage impulses.

Введение

Высоковольтные формирователи (генераторы) испытательного напряжения входят в состав аппаратуры для измерения параметров СПП, находящихся в состоянии низкой проводимости. К таким параметрам относятся токи утечек СПП при заданном напряжении или напряжении при заданном токе. В обоих случаях необходим импульсный формирователь высокого напряжения порядка единиц киловольт. Подобные устройства представляют собой наиболее ответственные узлы силовых установок измерительной аппаратуры [1]. Форма импульса генератора в

значительной степени определяет метрологические характеристики и возможности аппаратуры для измерения параметров СПП. Например, для измерения токов утечки СПП в горячем состоянии используется синусоидальный импульс. В то же время, измерение токов утечки (активной составляющей) СПП при комнатной температуре невозможно без подавления емкостной составляющей тока через СПП, что решается при наличии пологого участка испытательного импульса в момент измерения [2].

Обязательным требованием к формирователю высоковольтных импульсов является возможность регулировки амплитуды импульса, достаточная мощность импульса, особенно для испытаний СПП при максимальной температуре, и наличие схемы защиты испытуемого СПП от превышения тока через него.

Классификация формирователей

Схемотехнические решения формирователей отличаются большим разнообразием, что затрудняет их классификацию. В качестве классификационного признака первого уровня выберем способ формирования испытательного импульса напряжения – с вырезкой из сети переменного



Рис. 1. Классификация формирователей высоковольтных испытательных импульсов

тока или получение испытательного импульса автономным способом с помощью дополнительных узлов. Классификационным признаком второго уровня будет являться форма импульса – синусоидальная (полусинусоидальная) или с плоской вершиной (полкой) с различными методами ее стабилизации - параметрическим или с применением обратной связи. С учетом сказанного совокупность различных формирователей можно классифицировать в виде структурной схемы, показанной на рис. 1.

Генераторы с синусоидальным испытательным импульсом

Требованиями ГОСТа [3] определена форма испытательного напряжения, прикладываемого к СПП при измерении токов. Эта форма должна быть однополупериодной синусоидальной, длительностью не более 10 мс, частотой в пределах от одиночных до 50 Гц. Поэтому существует обширный класс формирователей испытательного напряжения, в которых в качестве испытательных сигналов используются синусоидальные импульсы сетевого напряжения. Одна из первой группы схем, иллюстрирующая указанный принцип, показана на рис. 2 [4]. Однополупериодное напряжение заданной полярности с вторичной обмотки повышающего трансформатора ТЗ через цепочку диод VD1 – ключ К2 или диод VD2 – ключ К3 прикладывается к испытуемому прибору ИП (диоду или тиристор). Поскольку формирователь генерирует последовательность испытательных импульсов, то для контроля тока утечки в блоке измерения необходимо использовать инерционные элементы (фильтр, интегратор), усредняющие результат. Окончательное значение искомой величины получается преобразованием среднего значения в амплитудное.

Наличие инерционных элементов в блоке измерения позволяет подавить емкостную составляющую тока СПП. Поэтому такой формирователь может быть использован и для испытаний СПП при комнатной температуре. Однако вследствие нелинейности ВАХ СПП существует по-

грешность измерения тока, которая повышается при приближении амплитуды испытательного напряжения к напряжению переключения U_{BO} или пробоя U_{BR} .

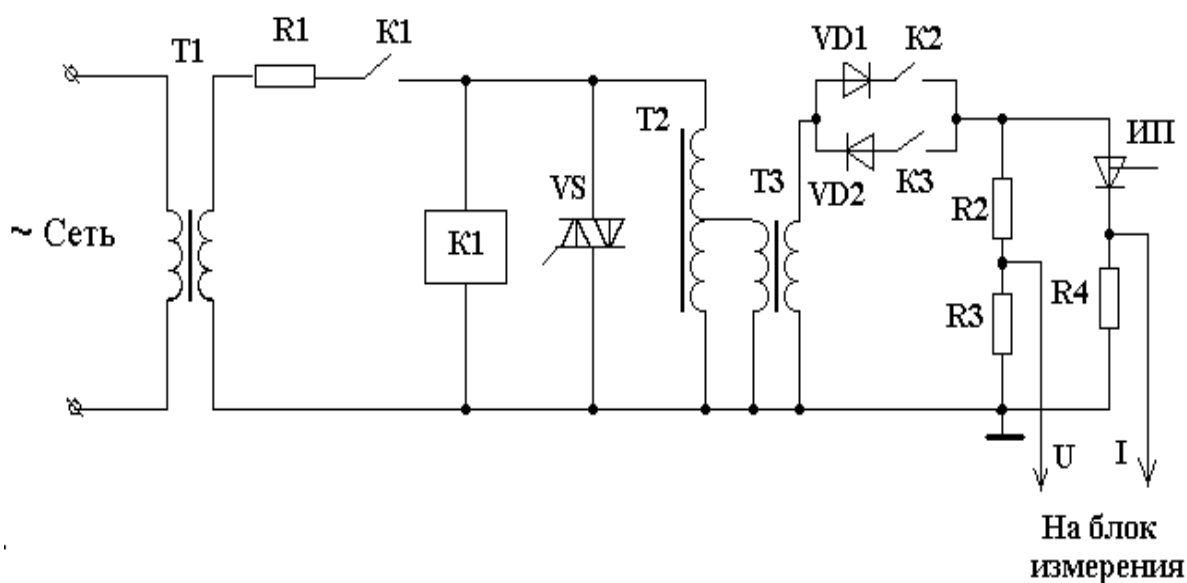


Рис. 2. Формирователь испытательных импульсов полусинусоидальной формы с питанием от сети

Симистор VS выполняет функции защиты ИП и включается в момент превышения тока через ИП заданного значения. Обмотка реле K1 практически обесточивается, контакты K1 размыкаются и сетевое напряжение, поступающее на формирователь с вторичной обмотки разделительного трансформатора T1 через балластный резистор R1, отключается. Регулировка испытательного напряжения выполняется с помощью автотрансформатора T2.

Модификация схемы рис. 2, в которой автотрансформатор T2 заменен на электронный регулятор напряжения, представлена на рис. 3. Регулятор представляет собой транзистор VT, включенный в диагональ постоянного тока мостового выпрямителя на диодах VD3-VD6. Следует отметить, что управляющее напряжение $U_{упр}$ должно быть гальванически развязано от общей точки схемы.

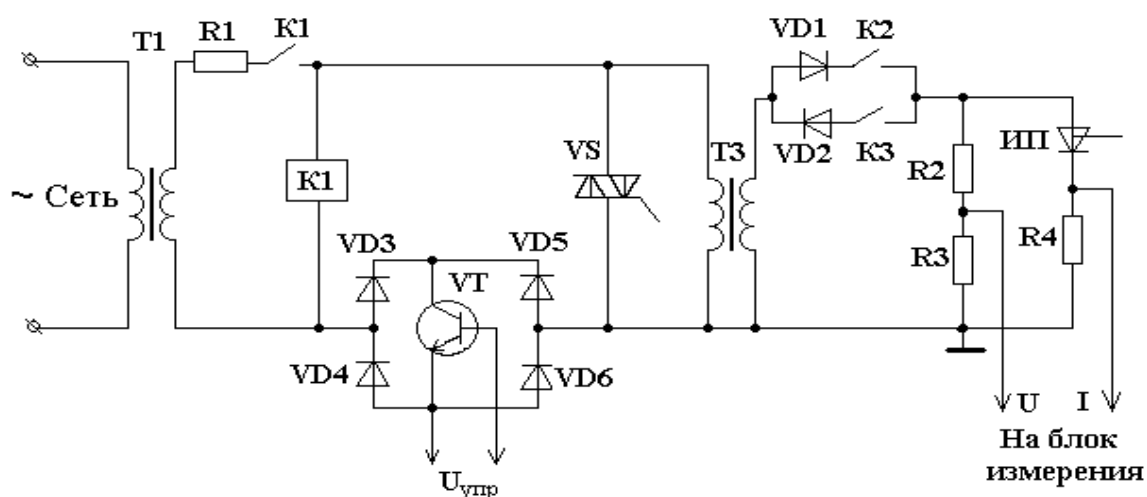


Рис. 3. Формирователь с электронным регулятором испытательных импульсов

Аппаратура измерения, построенная на основе рассмотренных схем, обладает низкой производительностью при массовом производстве СПП, что обусловлено использованием последовательности испытательных импульсов напряжения. Измерение тока за время действия одного испытательного импульса напряжения становится проблематичным при искажении формы сетевого напряжения импульсными помехами и требует использования низкочастотных сетевых фильтров. Кроме этого измерение тока утечки СПП необходимо проводить в момент времени, соответствующий амплитудному значению импульса напряжения (рис. 4), где скорость изменения напряжения равна нулю, и значение тока через СПП равно активной составляющей $I_{акт}$ за счет отсутствия емкостной составляющей. Это требование существенно усложняет измерительную часть аппаратуры.

Следующая группа генераторов характеризуется тем, что импульсы испытательного напряжения формируются автономным задающим узлом, и их форма не определяется сетевым напряжением, хотя она и близка к полусинусоидальной. Преимущества таких генераторов проявляются в отсутствии искажения формы импульса помехами и в большей безопасности работы обслуживающего персонала, так как запас энергии для формирования импульса ограничен. Один из ранних формировате-

лей этой группы представлен в [5] и показан на рис. 5. Накопительный конденсатор $C1$ заряжается от источника E через резистор $R1$ и тиристор $VS1$. Разряд $C1$ осуществляется на первичную обмотку повышающего трансформатора через тиристор $VS2$ и индуктивность L . К испытываемому прибору ИП через диод $VD2$ прикладывается однополярный им-

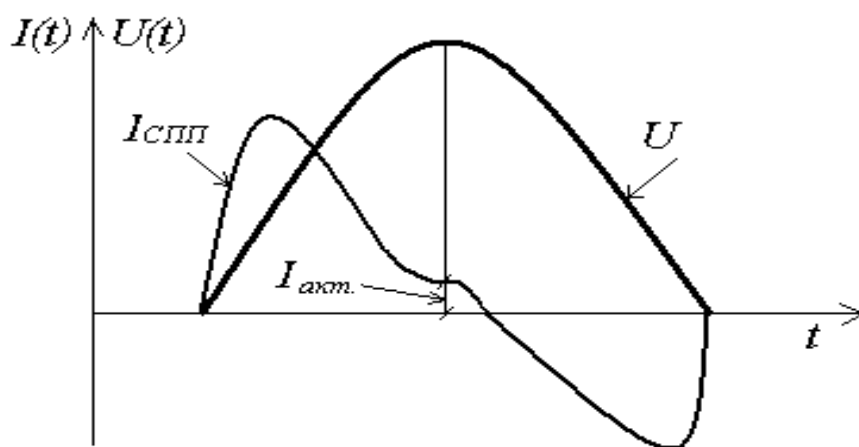


Рис. 4. Форма испытательного импульса U и тока $I_{спп}$ через испытываемый прибор

пульс высокого напряжения. После прохождения однополярного импульса конденсатор $C1$ перезаряжается через первичную обмотку трансформатора, индуктивность L и диод $VD1$, вызывая перемагничивание сердечника трансформатора в обратном направлении и обеспечивая его работу без насыщения. Конденсатор $C2$ учитывает приведенные барьерную емкость ИП и емкость вторичной обмотки трансформатора. Измерение сигнала с шунта $R2$, пропорционального току через ИП, происходит на вершине импульса напряжения, так как искажения его формы отсутствуют. Установление требуемой амплитуды испытательного напряжения происходит в течение двух циклов формирования импульсов. Для этого во время второго цикла осуществляется коррекция напряжения заряда емкости $C1$ таким образом, чтобы амплитуда импульса стала равной заданной величине. Следует отметить, что защита ИП от превышения тока в процессе испытания в данном формирователе не предусмотрена.

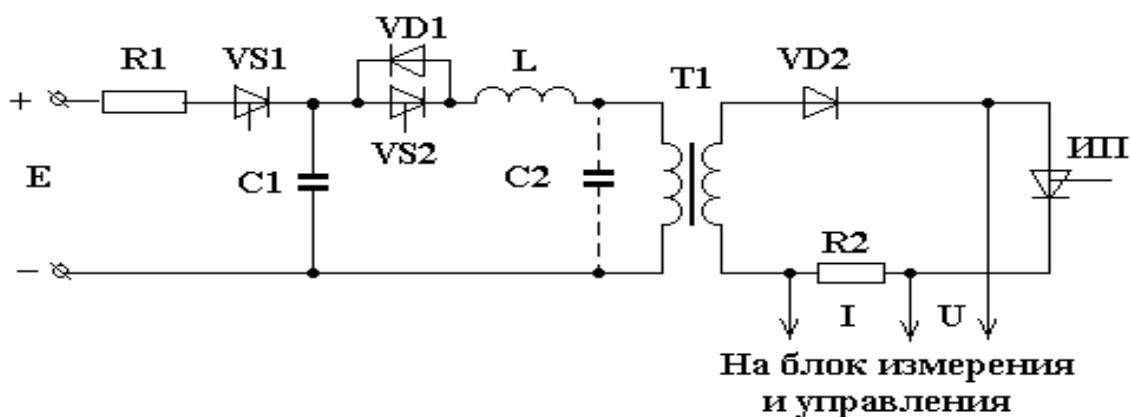


Рис. 5. Автономный формирователь испытательных импульсов

Формирователь, показанный на рис. 6 [6], отличается от предыдущей схемы применением нелинейного дросселя L , использованием конденсатора $C2$, величина которого существенно превышает приведенные емкости вторичной обмотки и нагрузки, а также наличием элементов, обеспечивающих защиту испытуемого прибора от превышения тока через ИП. Здесь также заряженный от блока заряда БЗ конденсатор $C1$ разряжается через тиристор $VS1$ на последовательный LC контур, состоящий из нелинейного дросселя L и конденсатора $C2$, параллельно которому подключена первичная обмотка повышающего трансформатора $T1$. Скорость нарастания начального участка фронта испытательного импульса мала вследствие большой индуктивности дросселя L , и емкостная составляющая тока СПП достаточно мала. После насыщения дросселя скорость нарастания фронта импульса увеличивается, но и барьерная емкость к этому времени существенно уменьшается и достигает установившегося значения. Положительный эффект проявляется при измерении напряжения на СПП при заданном токе, минимальная величина которого может быть достаточно малой. Измерение тока через СПП с использованием такого формирователя осуществляется при достижении напряжением заданного уровня. Поэтому погрешности, обусловленные наличием емкостной составляющей тока через СПП, особенно при комнатной температуре, присутствуют.

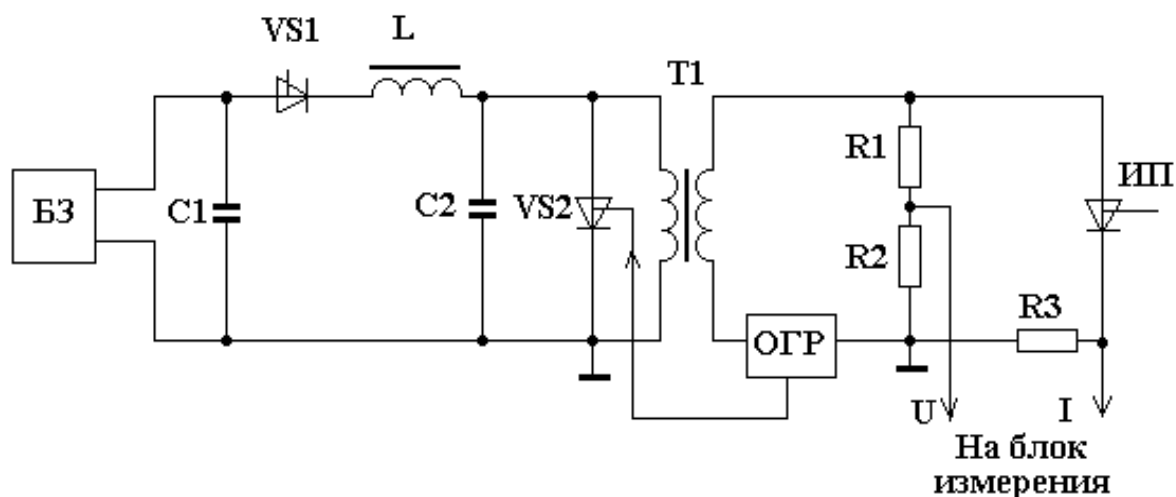


Рис. 6. Формирователь с нелинейным дросселем

Тиристор VS2 и пороговый ограничитель тока ОГР обеспечивают защиту СПП от превышения тока в процессе испытаний. Ограничитель срабатывает в момент превышения током заданного значения и поддерживает его в течение некоторого времени на этом уровне. Этого времени достаточно для включения защитного тиристора VS2, который шунтирует первичную обмотку трансформатора T1 и конденсатор C2.

Выводы

Рассмотренные формирователи с синусоидальной формой импульса не ограничивают все разнообразие схемотехнических решений, однако основные особенности и проблемы, возникающие при построении и использовании таких схем, могут быть оценены. Следует иметь в виду что генераторы, реализованные в полном соответствии с ГОСТ [3], применяются на заводах изготовителях СПП. В организациях, эксплуатирующих энергоустановки на СПП, диагностическая аппаратура отличается большим разнообразием, что будет показано в следующей статье.

Список использованных источников

1. Петров Д. Аппаратура для диагностики силовых компонентов. Методы построения и особенности реализации // Силовая электроника. 2004. № 2. С. 42-45.
2. Мускатиныйев А.В., Мускатиныйев А.А. Особенности измерения токов утечки в силовых полупроводниковых приборах в состоянии низкой проводимости // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 3 (19). С. 157-163.
3. ГОСТ 24461-80 (СТ СЭВ 1656-79). Приборы полупроводниковые силовые. Методы измерений и испытаний; введен с 01.01.82. М.: Изд-во стандартов, 1981. 55 с.
4. Чебовский О.Г., Моисеев Л.Г. Испытания силовых полупроводниковых приборов. М.: Энергоиздат, 1981. 200 с.
5. А.с. 438950 СССР, МКИ¹ G01 R 31/26. Устройство для испытания полупроводниковых вентилях / М.В. Гельман, Г.П. Дубовицкий, В.С. Шипков (СССР). № 1892265/26-25; заявлено 15.03.73; опубл. 05.08.74, Бюл. № 29. 3 с.
6. А.с. 1394925 SU, МКИ⁴ G01 R 31/26. Устройство для измерения параметров силовых полупроводниковых приборов / А.В. Мускатиныйев [и др.] (SU). № 24128438/25-21; заявлено 29.09.86. 3 с.