

УДК 621.314.632:62-52

## ГЕНЕРАТОРЫ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСОВ СПЕЦИАЛЬНОЙ 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 рассматриваются схемы высоковольтных генераторов импульсов, применяемых в аппаратуре для измерения параметров силовых полупроводниковых приборов (СПП) в состоянии низкой проводимости. Особенностью таких устройств является специальная форма импульса, имеющего пологую вершину. Это позволяет существенно снизить уровень емкостной составляющей тока через СПП, а также расширить динамический диапазон измерения тока.

**Ключевые слова:** силовой полупроводниковый прибор; генератор высоковольтных импульсов.

# GENERATORS OF HIGH-VOLTAGE IMPULSES SPECIAL 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

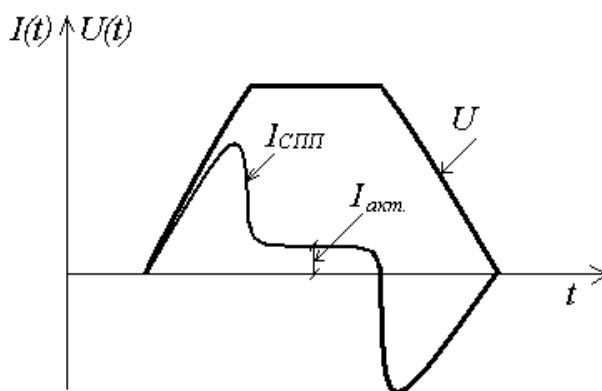
**Abstract.** In article schemes of high-voltage generators of the impulses applied in equipment to measurement of parameters of power semi-conductor devices (PSC) in a condition of low conductivity are considered. Feature of such devices is the special form of the impulse having flat top. It allows to lower essentially level of a capacitor component of a current through PSC, and also to expand a dynamic range of measurement of a current.

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

## Введение

В составе аппаратуры для измерения параметров СПП (диодов и тиристоров) в состоянии низкой проводимости применяют высоковольтные генераторы испытательных сигналов как синусоидальной (полусинусоидальной) формы [1], так и иной, специальной формы. Форма таких испытательных импульсов характеризуется наличием пологого участка, где скорость изменения напряжения весьма мала (рис. 1). Измеряя ток

утечки ( $I_{акт}$ ) на пологом участке испытательного высоковольтного импульса можно существенно расширить динамический диапазон в области малых значений за счет подавления емкостной составляющей тока

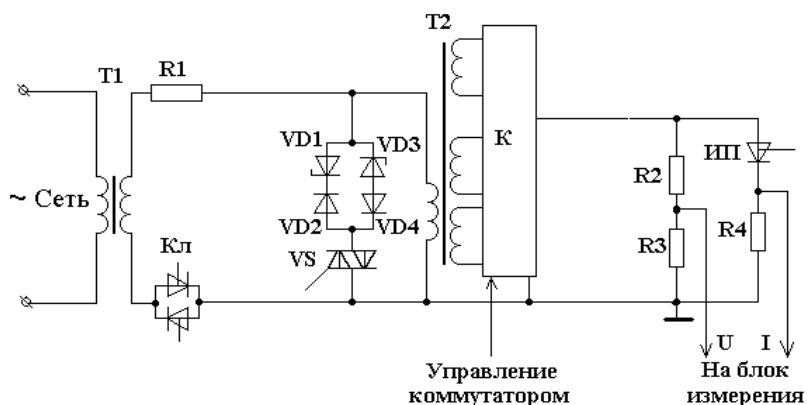


**Рис. 1. Форма испытательного импульса с пологой частью  $U$  и тока  $I_{спп}$  через испытываемый прибор**

через СПП. Диагностическая аппаратура с таким генератором (формирователем) является более универсальной, поскольку позволяет осуществлять точный контроль токов СПП как при комнатной, так и при максимально допустимой температурах [2]. На практике используются две группы схем генераторов. В первой, испытательный импульс формируется из сетевого переменного напряжения. В схемах второго типа высоковольтный импульс формируется автономно, с помощью дополнительных устройств. Рассмотрим несколько схемотехнических решений генераторов, представляющих различные группы.

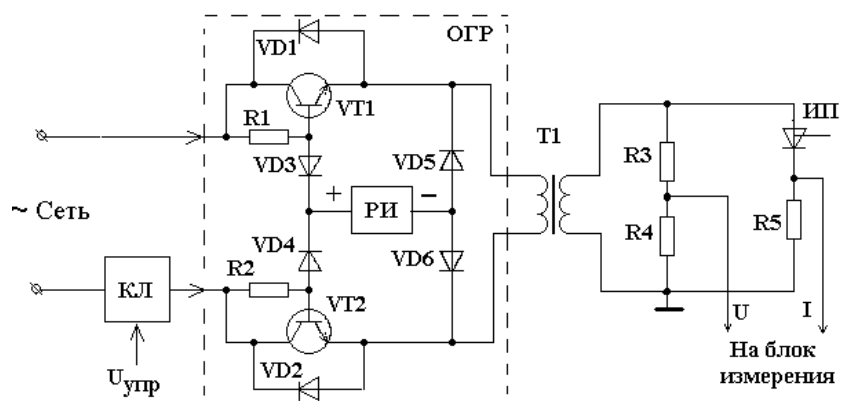
### **Формирователи, использующие сетевой импульс напряжения**

Особенность функциональной схемы формирователя, показанной на рис. 2 [1], заключается в том, что форма испытательного импульса представляет собой двухполярный синусоидальный импульс с пологой частью, во время действия которой запускается блок измерения и осуществляется контроль активной составляющей тока через СПП. Пологая часть импульса (полка) формируется с помощью параметрического



**Рис. 2. Формирователь испытательных импульсов с высоковольтным коммутатором**

стабилизатора на стабилитронах VD1 и VD3. Повышающий трансформатор T2 имеет ряд вторичных обмоток, которые могут соединяться в определенном порядке с помощью коммутатора K. В результате амплитуду пологой части испытательного двухполярного импульса можно устанавливать с дискретностью 100 В. С помощью ключа переменного тока Кл синусоидальное сетевое напряжение в течение одного периода подключается к первичной обмотке трансформатора T2. Однако его конструкция оказывается достаточно сложной из-за большого числа вторичных обмоток. Высоковольтный коммутатор также является громоздким изделием, содержит значительное число коммутирующих тиристоров и требует сложного алгоритма управления. Сказанное снижает надежность конструкции генератора в целом.



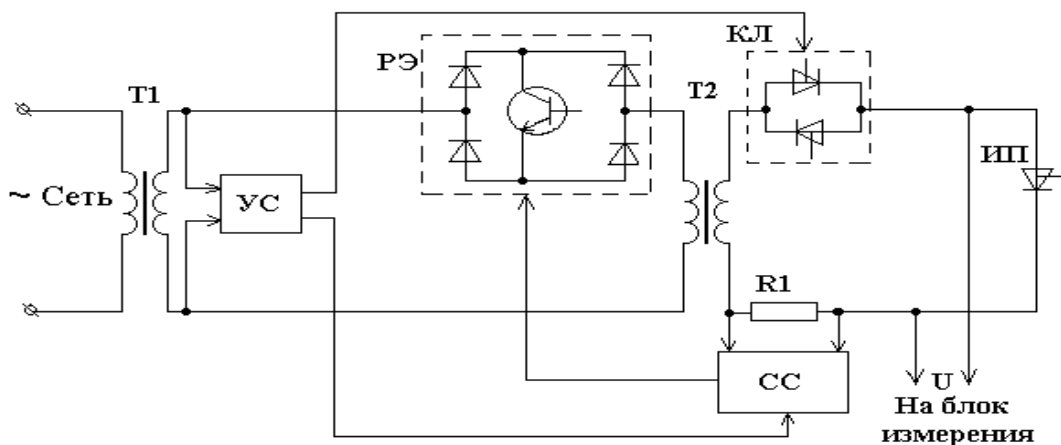
**Рис. 3. Формирователь испытательных импульсов на основе симметричного ограничителя напряжения**

Структура формирователя на рис. 3 [4] является улучшенным вариантом схемы рис. 2 и в значительной степени свободна от указанных недостатков.

Управляющий сигнал  $U_{упр}$  открывает ключ переменного тока КЛ. На входы регулируемого симметричного ограничителя напряжения сети (ОГР) поступает однократный двухполярный импульс напряжения синусоидальной формы в виде одного периода сетевого напряжения. С выхода ограничителя импульс напряжения, имеющий форму усеченной синусоиды с пологой частью, поступает на первичную обмотку трансформатора Т1, а с его вторичной обмотки двухполярный импульс высокого напряжения прикладывается к испытуемому прибору ИП. Уровень пологой части каждой полуволны импульса одинаков, и определяется напряжением регулируемого источника постоянного напряжения РИ.

В генераторах рис. 2 и 3 используется пассивный (параметрический) способ формирования пологой части испытательного импульса напряжения. В результате пологая часть импульса будет отличаться от идеальной из-за конечных значений дифференциального сопротивления стабилитронов и индуктивности намагничивания высоковольтных трансформаторов. Поэтому в формирователе на рис. 4 [5] введена обратная связь по току, которая управляет работой регулирующего элемента РЭ, включенного последовательно с первичной обмоткой повышающего трансформатора Т2. Последовательно с вторичной обмоткой трансформатора Т2 включен силовой ключ КЛ, управляющийся с выхода устройства синхронизации УС. Трансформатор Т1 используется в качестве разделительного. Работа схемы происходит следующим образом. Импульсы с выхода устройства синхронизации УС открывают ключ КЛ на время действия полуволны сетевого напряжения. Сигнал управления, поступающий с выхода схемы сравнения на вход регулирующего элемента, пропорционален току через испытуемый прибор ИП. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора Т2 повышается до тех пор, пока

величина тока через испытуемый прибор не станет равной заданной, после чего этот уровень тока поддерживается постоянным в течение определенного времени. В течение этого времени происходит измерение напряжения на ИП при заданном токе. В следующий полупериод происходит формирование испытательного импульса тока противоположной полярности. В результате через ИП протекает двухполярный импульс тока с пологой частью, уровень которой соответствует заданному значению. Напряжение, прикладываемое к ИП, также имеет «полку», уровень которой произволен.

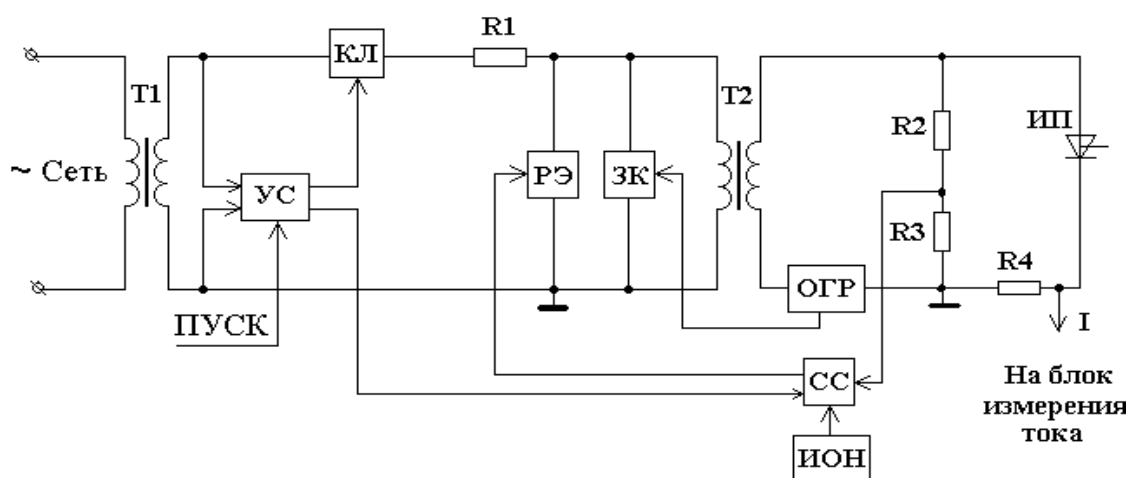


**Рис. 4. Формирователь испытательных импульсов с обратной связью по току**

Обратная связь по току, позволяет реализовать стабилизированный генератор тока, что может существенно улучшить метрологические характеристики устройства. Однако наличие емкостной составляющей тока через ИП [2] ограничивает минимальное значение тока уставки, которое должно существенно превышать максимально возможный уровень емкостного тока, что возможно только в случае измерений при максимальной температуре.

Схема формирователя импульсов с пологой частью [6], уровень которой стабилизирован обратной связью по напряжению, представлена на рис. 5. Через ключ переменного тока КЛ на первичную обмотку повышающего трансформатора Т2 через балластный резистор R1 поступает

один период синусоидального сетевого напряжения. Ключ КЛ представляет собой оптронный тиристор, включенный в диагональ постоянного тока выпрямительного моста. Регулирующий элемент РЭ, включенный параллельно первичной обмотке трансформатора Т2, работает в линейном режиме и управляется усиленным сигналом рассогласования с выхода схемы сравнения. РЭ может быть реализован в виде параллельного соединения биполярных или униполярных транзисторов разного типа проводимости. В исходном состоянии РЭ закрыт и начинает открываться, когда сигнал с выхода делителя напряжения R2-R3 превысит напряжение опорного источника ИОН. В результате, за счет падения напряжения на резисторе R1, формируется пологая часть («полка») выходного импульса. Пороговый ограничитель тока ОГР формирует выходной сигнал, который при превышении тока через ИП открывает защитный ключ ЗК, выполняемый в виде симистора.

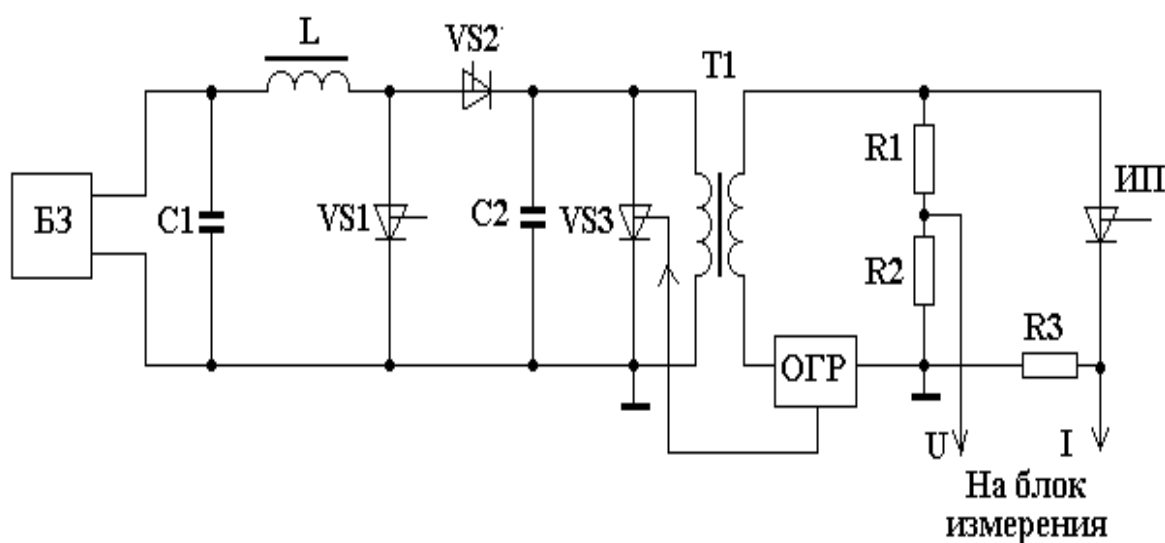


**Рис. 5. Формирователь, стабилизированный обратной связью по напряжению**

Формирователь в данной группе позволяет получить пологую часть импульса идеальной формы, что обеспечивает возможность измерения весьма малых токов утечки (порядка 5 мкА) при заданном напряжении на ИП. Это достигается за счет полного подавления емкостной составляющей тока ИП во время пологой части испытательного импульса.

## Автономные формирователи импульсов с пологой частью

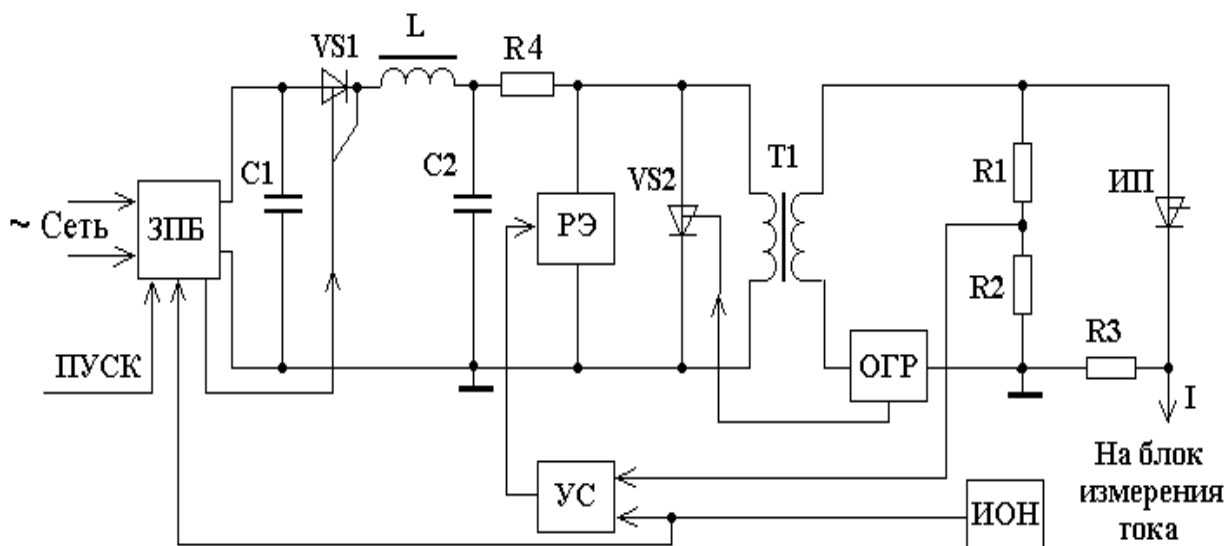
В автономных формирователях испытательный импульс с пологой частью формируется не из сети переменного тока, а автономно, с помощью дополнительных узлов (например, формирующих контуров). Одна из схем такого генератора, показана на рис. 6 [7]. В момент достижения выходным напряжением заданного значения включается отсекающий тиристор  $VS1$ . В результате тиристор  $VS2$  выключается и напряжение на первичной обмотке трансформатора за счет заряженной емкости  $C2$  поддерживается квазипостоянным в течение 150-200 мкс. За это время осуществляется выборка тока через ИП и его измерение. Конечное значение индуктивности намагничивания и разряд конденсатора  $C2$  приведенным к первичной обмотке трансформатора током нагрузки искажают пологую часть импульса, что не позволяют полностью избавиться от емкостной составляющей тока через ИП.



**Рис. 6. Автономный формирователь с пологой частью испытательного импульса**

В структуре на рис. 8 [8] для стабилизации пологой части испытательного импульса используется обратная связь по напряжению на испытуемом приборе ИП. Отличие от схемы на рис.5 заключается





**Рис. 8. Автономный формирователь, стабилизированный обратной связью по напряжению**

в применении элементов  $L$ ,  $C1$ ,  $C2$ ,  $VS1$ , с помощью которых автономно формируется испытательный импульс, поступающий на повышающий трансформатор  $T1$ , а затем на ИП. Зарядно-пусковой блок ЗПБ осуществляет заряд накопительного конденсатора  $C1$  до напряжения, пропорционального опорному. Во время пологой части импульса происходит измерение тока утечки через ИП, емкостная составляющая которого практически отсутствует. Именно такой формирователь применен в приборе «ТЕСТ1», предназначенный для измерения токов утечки СПП [2].

## Выводы

Диагностическая аппаратура, построенная с использованием рассмотренных устройств, обладает высокими метрологическими характеристиками в широком диапазоне измерения токов утечки СПП как при комнатной, так и максимальной температурах. Наилучшими схемами генераторов являются решения со стабилизацией пологой части импульса с помощью обратной связи по напряжению на СПП.

## Список использованных источников

1. Мускатиныйев А.В., Мускатиныйев А.А. Генераторы испытательных высоковольтных импульсов синусоидальной формы // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки [Электронный ресурс]. 2014. № 5. Режим доступа: <http://apriori-journal.ru/seria2/5-2014/Muskatiniev-Muskatiniev.pdf>
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. А.с. 545938 СССР, МКИ<sup>2</sup> G01 R 31/26. Устройство для контроля параметров тиристоров / К. Д. Боронин [и др] (СССР). № 2169867/25; заявлено 5.09.75; опубл. 05.02.77, Бюл. № 5. 3 с.
4. Патент на полезную модель 49280 RU, МПК<sup>7</sup> G01 R 31/26. Устройство для контроля параметров тиристоров / А.А. Мускатиныйев (RU), А.В. Мускатиныйев (RU), С. А. Федосин (RU). № 2005116693/22; заявлено 31.05.2005; опубл. 31.05.2005, Бюл. № 31. 2 с.
5. А.с. 859973 СССР, МКИ<sup>3</sup> G01 R 31/26. Устройство для контроля допустимого напряжения полупроводниковых приборов / В.В. Веревкин, В.Д. Шевцов, В.А. Мизев (СССР). № 2811892/18-25; заявлено 03.09.79; опубл. 30.08.81, Бюл. № 32. 4 с.
6. Патент на полезную модель 50003 RU, МПК<sup>7</sup> G01 R 31/26. Устройство для испытания силовых полупроводниковых приборов / А.А. Мускатиныйев (RU), А.В. Мускатиныйев (RU). № 2005123471/22; заявлено 22.07.2005; опубл. 10.12.2005, Бюл. № 34. 2 с.
7. Беспалов Н., Мускатиныйев А. «АДИП»: диагностика силовых полупроводниковых приборов // Силовая электроника. 2004. № 1. С. 38-39.
8. Патент на полезную модель 49281 RU, МПК<sup>7</sup> G01 R 31/26. Устройство для измерения токов утечки силовых полупроводниковых приборов / А.А. Мускатиныйев (RU), А.В. Мускатиныйев (RU). № 2005121204/22; заявлено 06.07.2005; опубл. 10.11.2005, Бюл. № 31. 2 с.