

УДК 621.314.632:62-52

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ БАРЬЕРНОЙ ЕМКОСТИ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

Мускатиныйев Александр Валентинович

канд. тех. наук

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

author@apriori-journal.ru

Аннотация. В статье рассматривается влияние барьерной емкости силовых полупроводниковых приборов (СПП) на точность измерения параметров СПП в состоянии низкой проводимости. Предлагается способ и простое устройство измерения барьерной емкости для построения вольт-фарадной характеристики.

Ключевые слова: силовой полупроводниковый прибор; барьерная емкость; генератор пилообразных импульсов.

THE METHOD OF MEASURING THE BARRIER CAPACITY OF THE POWER SEMICONDUCTOR DEVICES

Muskatinoyev Alexander Valentinovich

candidate of technical sciences

Mordovian state university of N.P. Ogaryov, Saransk

Abstract. The article discusses the impact of the barrier capacitance C-power semiconductor devices (PSD) on the accuracy of the measurement parameters PSD in a state of low conductivity. We propose a method and a simple device to measure the barrier capacity to build the capacitance-voltage characteristics.

Key words: power semiconductor device; barrier capacitance; the generator sawtooth pulses.

Введение

В высоковольтных цепях различных преобразовательных устройств применяют последовательное соединение СПП. На практике надежность таких цепочек обеспечивается за счет равномерного распределения напряжений на ключах цепочки в динамических и статических режимах преобразователя. В высоковольтных высокочастотных преобразователях, в устройствах плавного пуска, равномерное распределения напряжений между последовательно включенными тиристорами необходимо обеспечить в динамическом режиме, как при их включении, так и при выключении СПП [1; 2]. Для этого все тиристоры цепи должны обладать минимальным разбросом заряда обратного восстановления $\Delta Q_{гр}$. Оставшийся разброс компенсируют шунтированием тиристоров RC – цепями. Для более точного подбора тиристоров по заряду обратного восстановления особые требования предъявляются к измерительной аппаратуре [1; 2].

В высоковольтных низкочастотных преобразователях при использовании последовательного соединения СПП их подбор производят по току утечки, величина которого в холодном состоянии СПП величина достаточно малая, составляющая единицы – десятки микроампер [3]. Измерение таких токов утечки (активная составляющая тока СПП) с малой погрешностью затрудняется наличием емкостной составляющей тока СПП (I_c), возникающей при использовании импульса испытательного напряжения с конечной скоростью нарастания в момент измерения. Емкостная составляющая тока определяется барьерной емкостью C_n перехода СПП, смещенного в обратном направлении. Следует иметь в виду, что для тиристора, включенного в обратном направлении, емкость C_n равна эквивалентной величине двух последовательно соединенных емкостей крайних переходов тиристора, включенных в обратном направлении.

Зависимость емкости C_n от напряжения на переходе нелинейная, и с достаточной для практики точностью рассчитывается по формуле [3]:

$$C_n = \frac{C_0}{\sqrt[3]{1 + \frac{|U_n|}{\varphi_0}}}, \quad (1)$$

где U_n – напряжение на переходе; C_0 – начальная емкость перехода при $U_n = 0$, зависящая от геометрических размеров (площади) и ряда технологических параметров перехода; $\varphi_0 \approx 0,7$ В.

На рис. 1 показаны кривые, построенные в соответствии с формулой (1). С увеличением обратного напряжения на переходе уменьшение емкости C_n относительно начального значения C_0 происходит

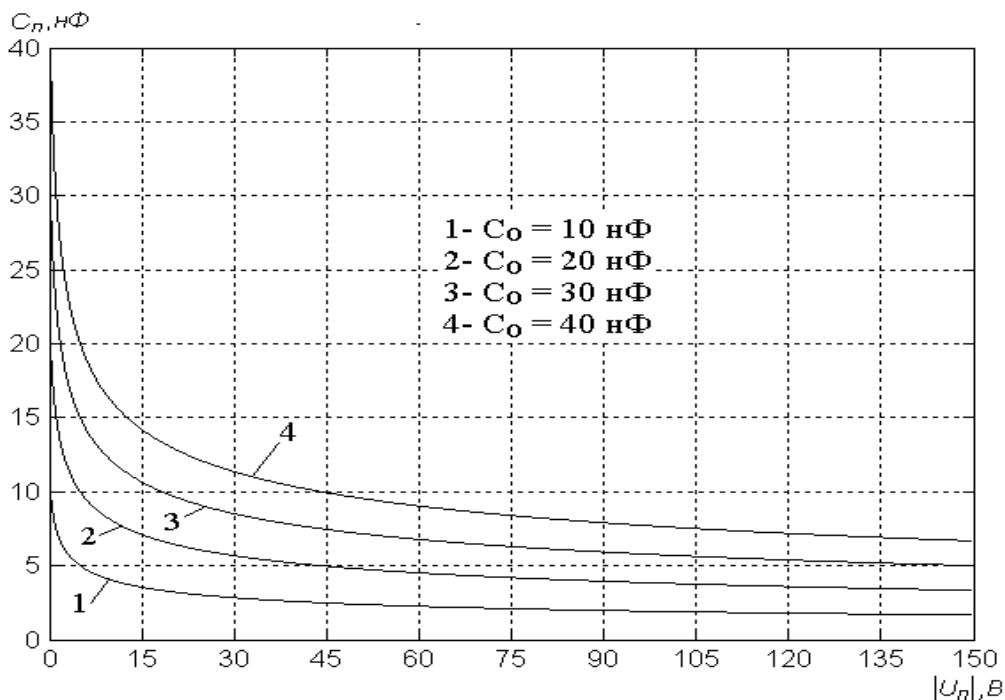


Рис. 1. Зависимости барьерной емкости СПП от обратного напряжения

достаточно быстро. При напряжении на переходе СПП порядка 100 вольт установившееся значение барьерной емкости составляет около 20 % от начального и составляет (0,1-5) нФ), в зависимости от площади перехода СПП. Эта емкость определяет уровень емкостной составляющей I_c тока СПП в соответствии с выражением:

$$I_c = C_n * \frac{dU_n}{dt} \quad (2)$$

В формуле (2) фигурирует скорость нарастания напряжения на переходе. В идеальном случае, если эта величина в момент измерения равна нулю, емкостная составляющая тока подавлена, и точность измерения тока утечки будет максимальной. Поэтому форма испытательного импульса напряжения в аппаратуре для измерения тока утечки СПП должна выбираться с учетом указанных факторов [4; 5].

При разработке генераторов испытательных импульсов напряжения, особенно стабилизированных цепью обратной связи [3-5], важно знать величину установившейся барьерной емкости. Измерение барьерной емкости СПП в зависимости от приложенного напряжения (вольт-фарадная характеристика) позволяет более полно оценить поведение СПП в различных динамических режимах, а также повысить точность измерения параметров ВАХ СПП в состоянии низкой проводимости.

Решение задачи

В предлагаемой статье обсуждаются вопросы построения измерителя барьерных емкостей СПП. Основная идея, используемая для решения указанной задачи, заключается в формировании однократного импульса напряжения пилообразной формы достаточно малой амплитуды U_m . Если суммировать этот импульс с постоянной составляющей испытательного напряжения U_o , то через СПП будет протекать емкостная составляющая тока с амплитудой I_m прямоугольной формы. Амплитуда I_m будет пропорциональна емкости C_n , соответствующей напряжению U_o при условии $U_m \ll U_o$. Следует отметить, что прямоугольный импульс будет располагаться на уровне активной составляющей тока СПП.

Укрупненная функциональная схема измерителя показана на рис. 2. С помощью регулируемого источника постоянного напряжения (РИПН) задается обратное напряжение смещения в требуемом диапазоне (0-150) В. Генератор пилообразного напряжения (ГПН) формирует импульс напряжения с линейно нарастающим фронтом. Этот импульс с

помощью изолирующего трансформатора T_p вводится в цепь испытуемого прибора (ИП) последовательно с напряжением смещения. На шунте тока R на фоне активной составляющей тока наблюдается прямоугольный импульс напряжения, амплитуда которого пропорциональна емкости перехода. В схеме измерения (СИ) осуществляется запоминание амплитуды импульса, вычитание активной составляющей и преобразование его в эквивалент емкости СПП.

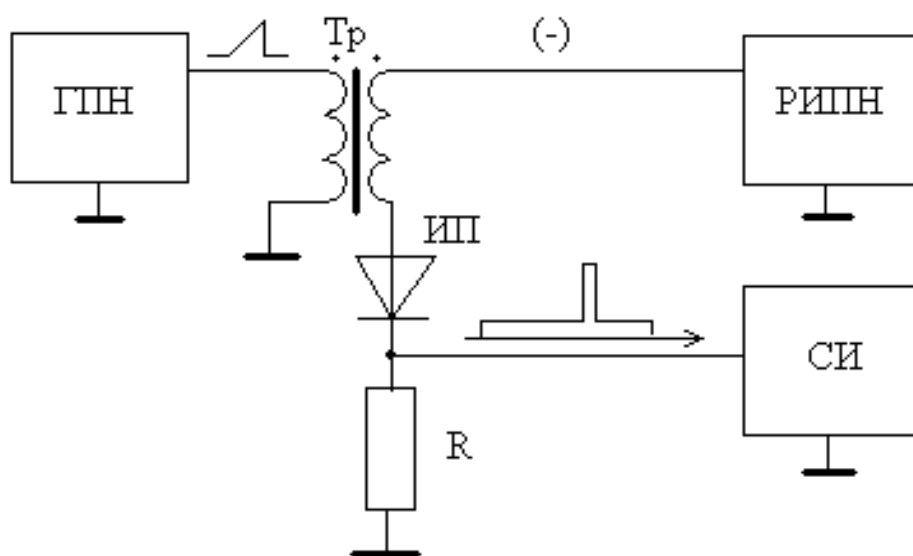


Рис. 2. Структурная схема измерителя емкости СПП

Диапазон измерения емкости C_n лежит в пределах 1 нФ – 100 нФ, что составляет 40 Дб. Решение этой задачи в значительной степени зависит от оптимального выбора поддиапазонов измерения емкости C_n и оптимального проектирования ГПН. Весь диапазон измерения разделен на два поддиапазона. В первом измеряются емкости от 1 нФ до 10 нФ, во втором от 10 нФ до 100 нФ. Крутизна напряжения пилы остается постоянной на всех трех поддиапазонах и составляет 1В/мкс. Изменяется только величина шунта R .

Наиболее ответственным узлом измерителя является генератор пилообразных импульсов, принципиальная схема которого представлена на рис. 3.

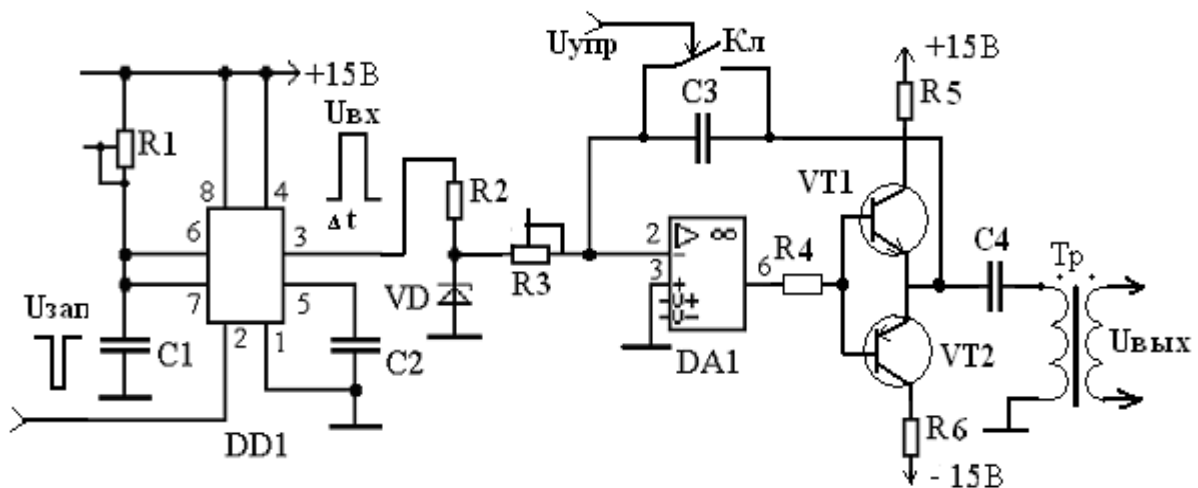


Рис. 3. Принципиальная схема генератора пилообразных импульсов

Генератор содержит следующие функциональные узлы: задающий генератор DD1 (1006BI1), интегратор на операционном усилителе DA1 (LF356) с усилителем мощности на комплементарных транзисторах VT1 и VT2. К выходу усилителя через разделительный конденсатор C4 подключен изолирующий трансформатор Tr.

Работа генератора осуществляется следующим образом. Таймер DD1 работает в ждущем режиме, запускается коротким импульсом «нулевой» полярности $U_{зан}$ и формирует импульс амплитудой $U_{вх}$ и длительностью Δt , который, в свою очередь, поступает на ограничитель R2-VD. С выхода прецизионного стабилитрона VD (D818E) импульс напряжения стабильной амплитуды $U_{см}$ поступает на вход интегратора DA1 и задает ток заряда конденсатора C3, что в конечном итоге определяет крутизну «пилы» выходного импульса $U_{вых}$. Быстродействующий аналоговый ключ Кл управляется напряжением $U_{упр}$, которое может быть сформировано из выходного импульса таймера.

Приведем основные соотношения, позволяющие правильно спроектировать ГПН. Предварительно задаем следующие параметры:

1. Амплитуду импульса U_m «пилы» примем равной 2 В.
2. Напряжение $U_{ст}$ стабилитрона VD равно 9В.
3. Скорость нарастания «пилы» $\Delta U_{вых}/\Delta t$ равна 1 В/мкс.

Для указанных параметров длительность прямого хода «пилы» и длительность импульса таймера Δt составляет 2 мкс и задается элементами R1 и C1 в соответствии с выражением [6]:

$$\Delta t = 1,1R1 * C1 \quad (3)$$

Если принять значение емкости конденсатора C3 равной 1 нФ, то величину R3 найдем из соотношения:

$$R3 = U_{CT} / (C3 * \Delta U_{ВЫХ} / \Delta t) , \quad (4)$$

что составит 9 к. Это значение резистора R3 является оптимальным и незначительно нагружает стабилитрон VD.

В диапазонах 1-2 измерения емкости сопротивление шунта принимается равным соответственно 1 к и 100 Ом. В результате сигнал с шунта в каждом поддиапазоне находится в пределах (1-10) В, что достаточно для его обработки в схеме измерения.

На практике, измерение емкости СПП выполняют в диапазоне изменения испытательного напряжения U_0 от нуля до 150 В. Подавляющее большинство СПП в этом диапазоне напряжений имеют активную составляющую тока утечки существенно меньшую емкостной составляющей, и ее можно не принимать в расчет. Это обстоятельство упрощает построение схемы измерения.

Список использованных источников

1. Мускатиныйев А.В., Мускатиныйев А.А. Особенности подбора силовых тиристоров для последовательного включения // Электротехнические комплексы и системы управления. 2014. № 2. С. 72-78.
2. Мускатиныйев А. В., Мускатиныйев А. А. Особенности построения аппаратуры контроля динамических параметров силовых полупроводниковых приборов // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014: Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. Т. 2. С. 4-8.
3. 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.
4. 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>
5. Мускатиныйев А.В., Мускатиныйев А.А. Генераторы высоковольтных импульсов специальной формы // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки [Электронный ресурс]. 2014. № 5. Режим доступа: <http://apriori-journal.ru/seria2/5-2014/Muskatiniev-Muskatiniev1.pdf>
6. Коломбет Е.А. Таймеры. М.: Радио и связь, 1983. 128 с.