

ИЗМЕРЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИЛОВЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

¹ Открытое акционерное общество «МНИПИ», Республика Беларусь

² ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Республика Беларусь

Изготовлен макет устройства, который обеспечивает измерение динамических параметров силовых транзисторов и характеристики восстановления силовых диодов. Представлены функциональные возможности измерителя.

4 рисунка, 2 литературных источника.

Широкое распространение преобразователей электроэнергии, эффективность которых растет с увеличением частоты и скорости переключения, ставит задачу улучшения скоростных свойств силовых полупроводниковых приборов (СПП) за счет применения новых материалов, например, карбида кремния (SiC), и задачу контроля их динамических характеристик.

При этом особую актуальность приобретает контроль поведения динамических характеристик СПП предназначенных для создания изделий спецтехники, которые должны сохранять работоспособность в жестких условиях эксплуатации под воздействием внешних влияющих факторов (ВВФ), например, радиации и температуры.

Поскольку измерители динамических характеристик отечественными предприятиями не производятся, а применение зарубежных измерительных комплексов является весьма затратным, для измерения и исследования поведения динамических характеристик СПП в условиях ВВФ был изготовлен специализированный макет измерителя с ручным управлением [1, 2].

Макет измерителя предназначен для исследования динамических характеристик:

- силовых диодов (t_{rr} , Q_{rr} , I_{rr} , $I_d=f(t)$),
- биполярных (BT, IGBT) и полевых (JFET, MOSFET) транзисторов ($t_{d(on)}$, t_r , t_{on} , $t_{d(off)}$, t_f , t_{off} , $R_{ds(on)}$, $I_{ds}=f(t)$, $V_{ds}=f(t)$),
- полного заряда затвора Q_g , заряда затвор-исток Q_{gs} и заряда затвор-сток Q_{gd} для MOSFET и IGBT транзисторов,
- поведения перечисленных характеристик под воздействием ВВФ.

Кроме того, макет может быть использован для измерения по точкам статических ВАХ силовых ПП типа $I_{ds}=f(V_{ds})$, в диапазонах тока 0,5 А ÷ 130 А, напряжения 15 В ÷ 130 В и мощности испытательных импульсов до 16000 Вт, а также семейства ВАХ.

Макет содержит «Формирователь испытательных импульсов» (базовый блок), и модули подключения «Диод»; «n-МОП, рпн-БТ»; «р-МОП, рпр-БТ», один из которых подсоединяют к базовому блоку.

В базовом блоке находится источник питания, выполненный на преобразователях напряжения AC/DC, формирователь двойного импульса и схема заряда накопительных конденсаторов. На передней панели базового блока расположены органы управления и регулировки.

Измерение всех параметров осуществляют с помощью USB-осциллографа АКПП-75244В, который, совместно с компьютером, позволяет автоматизировать отсчет результатов измерений, их сравнение с допуском, запоминание и документирование, при этом режим тестирования устанавливают вручную. Внешний вид макета с модулем подключения и пробниками представлен на рисунке 1.

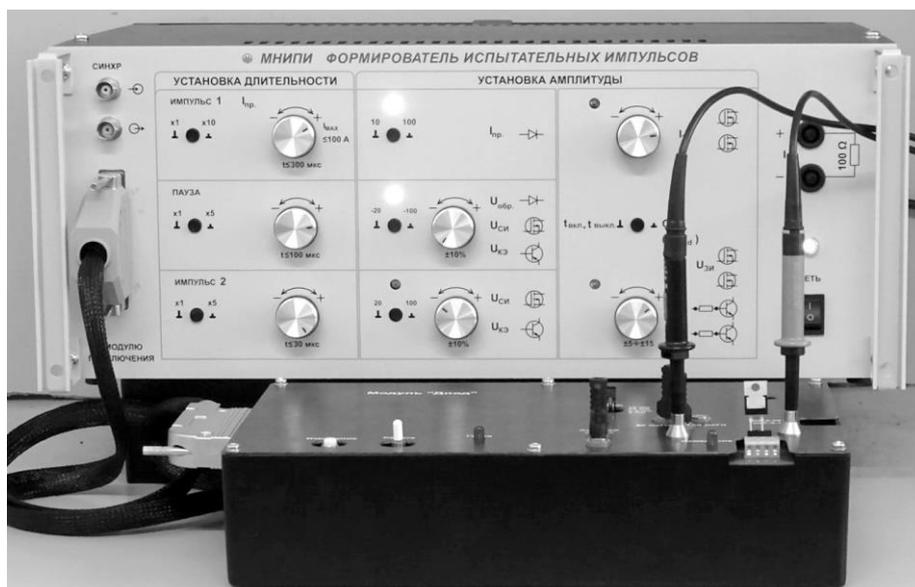


Рисунок 1 – Внешний вид измерителя динамических характеристик СПП

Измерение динамических параметров осуществляют методом двойного импульсного теста (ДИТ), который лежит в основе большинства современных приборов для исследования переходных процессов в СПП. Запуск процесса измерений кнопкой «Пуск» (однократный) или внешним сигналом.

Согласно ДИТ за один цикл измерения на объект подверженный испытаниям (ОПИ) подают два мощных испытательных импульса разной длительности с паузой между ними. На рисунке 2 приведены временные диаграммы тестирования МОП транзистора методом ДИТ.

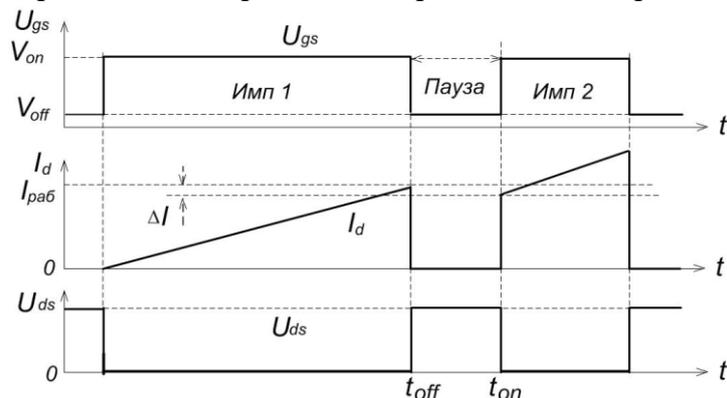
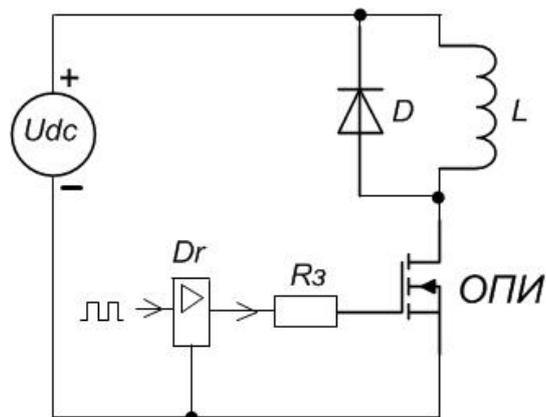


Рисунок 2 Временные диаграммы тестирования транзистора методом ДИТ.

Параметры импульсов по амплитуде (напряжению) и по времени (длительности) задают с помощью формирователя испытательных импульсов (базового блока), при этом численные значения амплитуды и длительности формируемых импульсов определяют с помощью осциллографа.

Для подключения тестируемого транзистора используют модули «n-МОП, рnp-БТ» или «р-МОП, рnp-БТ» в зависимости от типа его проводимости. Схема тестирования МОП транзистора с каналом n-типа показана на рисунке 3.

Схема содержит ОПИ (МОП транзистор), на сток которого, через катушку индуктивности L с параллельно включенным диодом D возвратного тока, поступает постоянное напряжение от источника U_{dc} , роль которого выполняет накопительный конденсатор установленный в модуле подключения.



U_{dc} – источник постоянного напряжения, D_r – драйвер затвора, R – ограничитель тока затвора, D – диод возвратного тока, L – индуктивность для задания прямого тока через диод, ОПИ – объект (диод) подверженный испытаниям

Рисунок 3. Схема измерительной цепи при тестировании МОП транзистора методом ДИТ

Как видно из рисунка 2, благодаря индуктивности L ток через ОПИ линейно нарастает в течение первого импульса. Рабочую точку ($I_{раб}$) устанавливают постепенно, увеличивая длительность первого импульса и контролируя достигнутое значение $I_{раб}$ с помощью осциллографа после каждого нажатия на кнопку «Пуск».

Таким же образом устанавливают напряжение на стоке и на затворе ОПИ. Причем, для измерения напряжения на стоке пробник устанавливают в гнездо « U_c , U_k », а для измерения напряжения на затворе ОПИ – в гнездо « $U_з$ » модуля подключения. После установки значений всех параметров режима тестирования выполняют интересное измерение искомой характеристики ОПИ.

На рисунке 4 представлена осциллограмма сигналов тока стока I_c и напряжения на затворе $U_з$ при выключении транзистора КП723. По ней можно измерить задержку выключения $t_{d(off)}$, время спада t_f и время выключения t_{off} при работе транзистора на индуктивную нагрузку L показанную на рисунке 3.

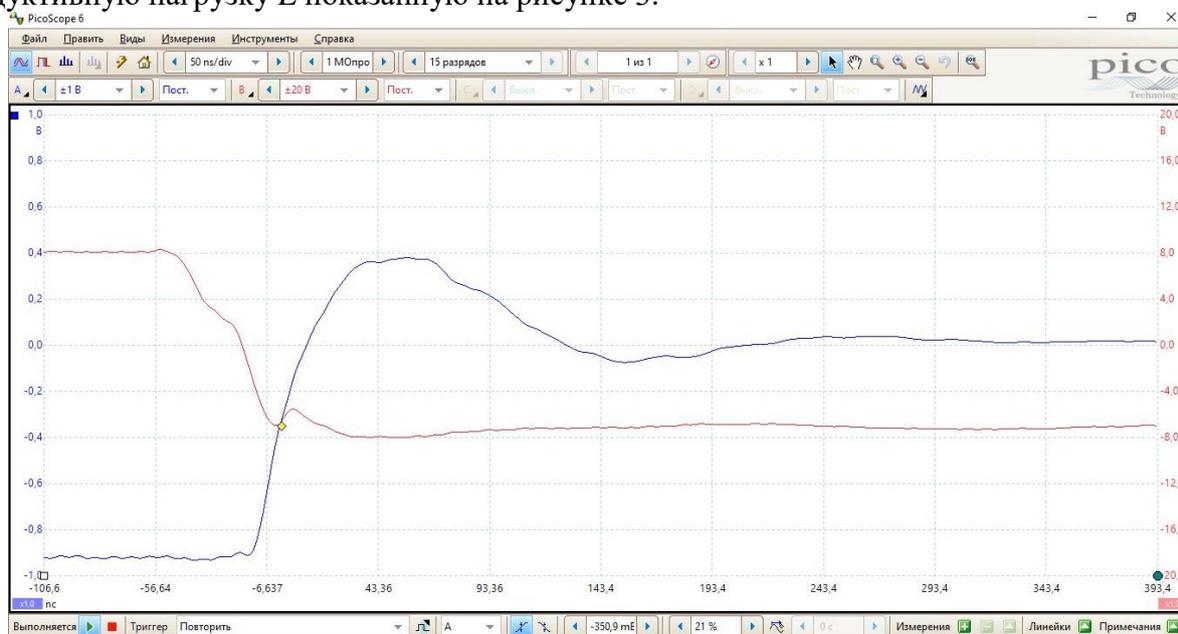


Рисунок 4.Изображение сигналов I_c и $U_з$ при выключении транзистора КП723.

Спад тока через ОПИ на экране осциллографа отображается нарастающим фронтом, поскольку шунт включен в цепь возвратного тока ОПИ. Поэтому, при выключении ОПИ, падение напряжения на шунте изменяется от отрицательного значения до нуля.

При измерении ВАХ транзистора в качестве нагрузки используют не индуктивность L , а внешний резистор R , для установки которого в модулях подключения предусмотрены специальные гнезда. По сути дела, внешний резистор выступает здесь как токоограничивающий, аналогично характеристикографу Л2-56.

При измерении выходной ВАХ транзистора по точкам, необходимо предварительно установить напряжение затвора - гнездо U_g (ток базы – гнездо I_b), контролируя это значение с помощью осциллографа.

Измерение ВАХ целесообразно проводить на вершине первого импульса, после окончания колебательного процесса. Установившееся значение вершины следует контролировать как по току, так и по напряжению на стоке (коллекторе). Мгновенные значения тока и напряжения следует считывать в один и тот же момент времени (при всех значениях тока и напряжения).

Чтобы не расходовать энергию на необоснованный нагрев ОПИ, длительность 1-го импульса желательно выбирать так, чтобы он заканчивался сразу после отсчета мгновенных значений тока и напряжения. Длительность 2-го импульса желательно устанавливать, как можно короче.

Список литературы

1. PD1500A Series Dynamic Power Device Analyzer/Double-Pulse Tester for discrete IGBT, SiC, and GaN devices, data sheet [электронный ресурс]. – Режим доступа: www.keysight.com/find/PD1500A/ – Дата доступа 21.10.2020.
2. Лисенков Б.Н., Измерение динамических параметров полупроводниковых приборов// Материалы 16-й Международной научно-технической конференции "Приборостроение-2023", Минск, 15-17 нояб. 2022 г. с.58-60. БНТУ 2023.