

Установка для тестирования SiC MOSFET

МЕТОДОМ ДВОЙНОГО ИМПУЛЬСА

В статье описывается испытательная установка, предназначенная для тестирования характеристик SiC MOSFET методом двойного импульса. Установка представляет собой классический «двухимпульсный» тестер, содержащий все необходимые компоненты, размещенные на одной печатной плате, и обеспечивающий повторяемость измерений. Фотография приспособления показана на рис. 1.

Перевод:
Евгений Карташов

Валерия Смирнова

cree@macrogroup.ru

Принципиальная схема тестера приведена на рис. 2. Приспособление содержит гнездо для установки MOSFET-транзистора (J6), драйвер затвора (U1), конденсаторную батарею (C1–C9), антипараллельный диод (D1) и интегрированный двухступенчатый трансформатор тока (T1). Сигналы VDS и VGS можно контролировать через разъемы BNC (J7 и J10). Их назначение состоит не в использовании коаксиального кабеля, а в том, чтобы применить кабель в качестве пробника адаптера и избежать необходимости в клемме заземления. Это исключает паразитную индуктивность вывода заземления и снижает искажения при изме-

рении напряжения. Ток стока измеряется с помощью двухступенчатого трансформатора тока, состоящего из небольшого ферритового трансформатора с коэффициентом трансформации 1:10 в качестве первой ступени и токового сенсора Pearson Electronics model 2878 в качестве второй ступени. Результирующий масштабный коэффициент — 1 В = 100 А.

Девять пленочных полипропиленовых конденсаторов (C1–C9) используются для обеспечения низкой индуктивности источника питания тестера. VCC, GND и –VEE — входные сигналы драйвера затвора, VCC задает напряжение включения затвора, –VEE устанавливает напряжение выключения. Максимальный перепад сигнала между VCC и –VEE составляет 30 В. Импульс управления подается на входной разъем генератора BNC. Для включения затвора рекомендуется использовать сигнал амплитудой +10...+12 В. Этот вход подключен к сопротивлению 50 Ом для согласования с 50-омным коаксиальным кабелем. Входные резисторы (R3 и R4) имеют общую номинальную мощность не более 0,5 Вт, поэтому коэффициент заполнения входных импульсов должен быть соответствующим образом ограничен (~10%), чтобы избежать их перегрева. Между выводами LOAD LOW и LOAD HIGH подключается индуктор, рекомендуемое значение индуктивности около 850 мкГн. Он может быть реализован как дроссель с воздушным сердечником с однослойной обмоткой из 107 витков магнитного провода AWG 18 на 4" трубке PVC (OD = 4,5").

Фотография верхней части изделия показана на рис. 3. Существует возможность установки BNC-коннекторов на верхней или нижней части платы. В этом случае они монтируются на задней стороне, что дает возможность разместить термостатирующую головку над тестируемым устройством¹. Все силовые соединения выполняются с помощью штекер-

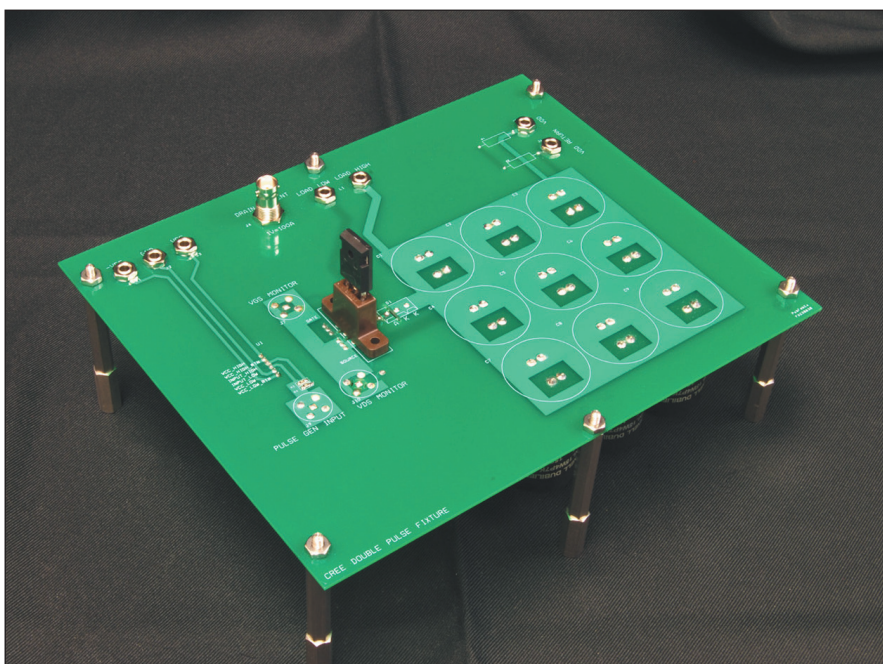
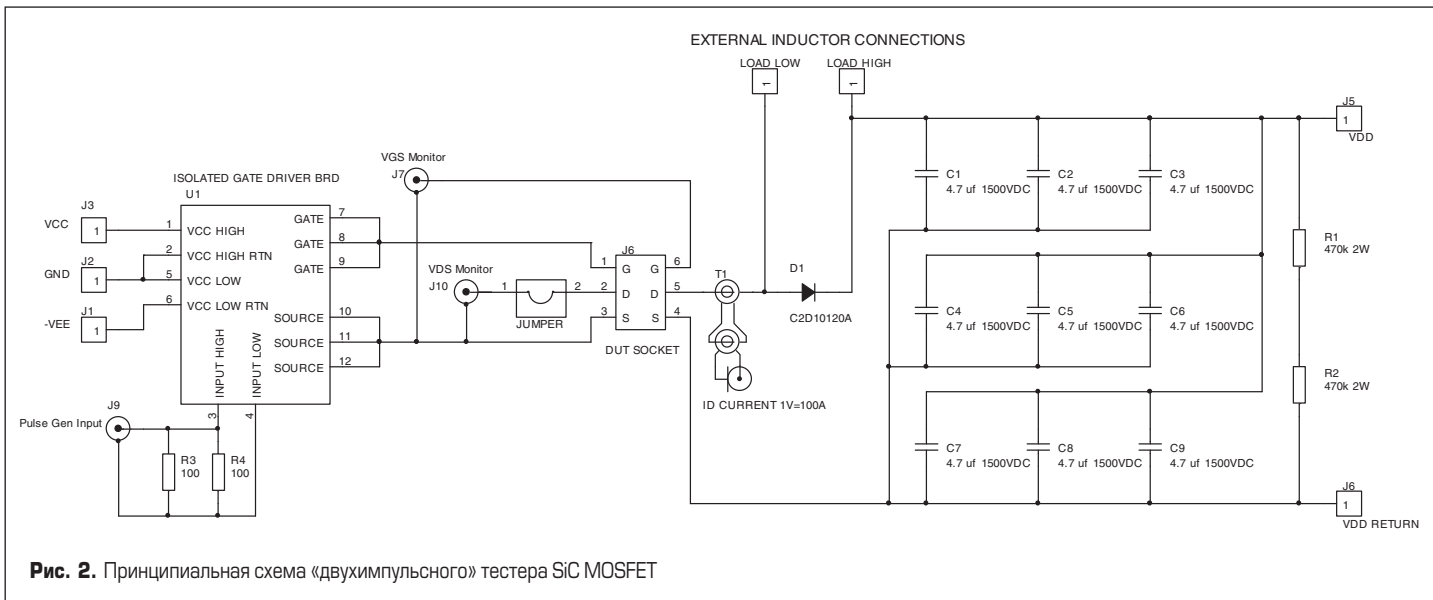


Рис. 1. «Двухимпульсный» тестер SiC MOSFET

¹ При установке разъемов BNC на задней стороне их нельзя устанавливать заподлицо с печатной платой, так как это может привести к замыканию, поэтому при монтаже используйте временную прокладку.



ров типа «банан», которые могут вставляться с верхней или нижней стороны платы.

Большинство компонентов платы монтируется на ее задней части. Диод D1 устанавливается в клеммную колодку, поэтому его можно снять и заменить резистором для настройки временных смещений пробника. Показанная на фото перемычка на схеме имеет обозначение Jumper, она используется для центрального вывода разъема VDS BNC. Обратите внимание, что плата драйвера затвора установлена нижней стороной вверх. Двухступенчатый трансформатор тока (T1) установлен на нижней стороне. Выход сенсора тока Pearson подключен к адаптеру SMA-SMA, а затем к адаптеру SMA-BNC, размещенному на верхней стороне платы.

Подробный вид первой ступени трансформатора тока показан на рис. 4. Трансформатор состоит из 10 витков медного, изолированного

тефлоном провода AWG 26, намотанного вокруг ферритового тороидального сердечника Ferroxcube TC9.5/4.8/3.2-3E27. Центральный проводник — изолированный шинный провод AWG 22, предназначенный для испытаний при напряжении 1,5 кВ. На рис. 5 показана плата драйвера затвора. Это модифицированная версия изолированного драйвера, описанного в руководстве по применению CPWR-AN10 «SiC Isolated Gate Driver». Модификация состоит в исключении и байпасировании DC/DC-преобразователей для того, чтобы обеспечить прямое подключение к источникам питания драйвера затвора. Обратите внимание на то, что коннекторы смонтированы на верхней стороне платы, что позволяет монтировать ее нижней стороной вверх.

Для проведения точных измерений очень важно устранить временные погрешности между датчиками напряжения и тока, чтобы

убедиться в том, что все задержки одинаковы. Такая корректировка датчиков напряжения легко выполняется подключением обоих

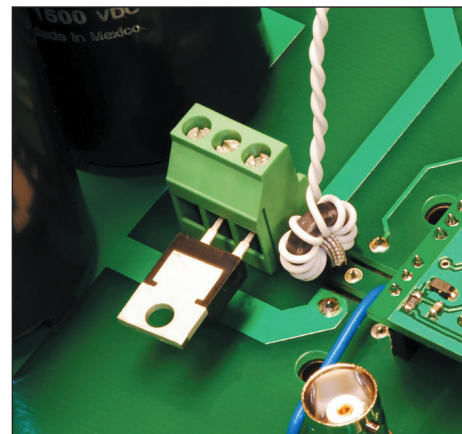


Рис. 4. Подробный вид первой ступени T1

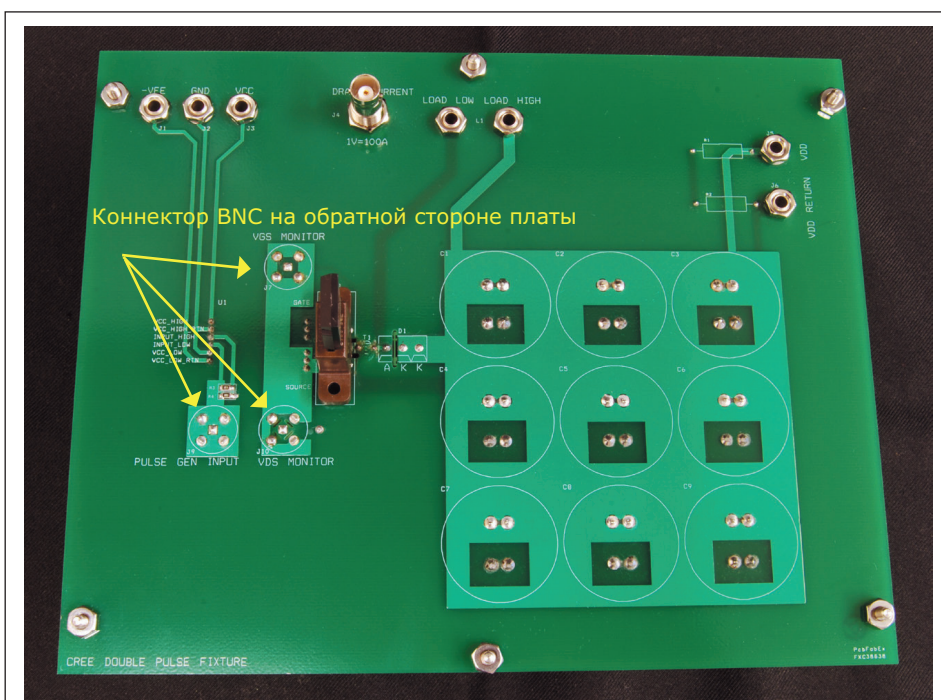


Рис. 3. Тестер SiC MOSFET, вид сверху

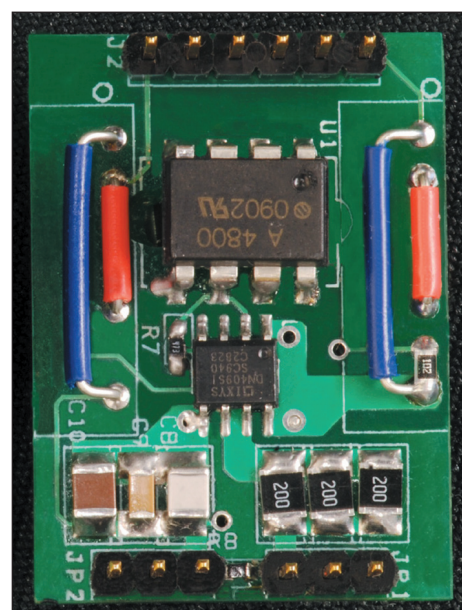
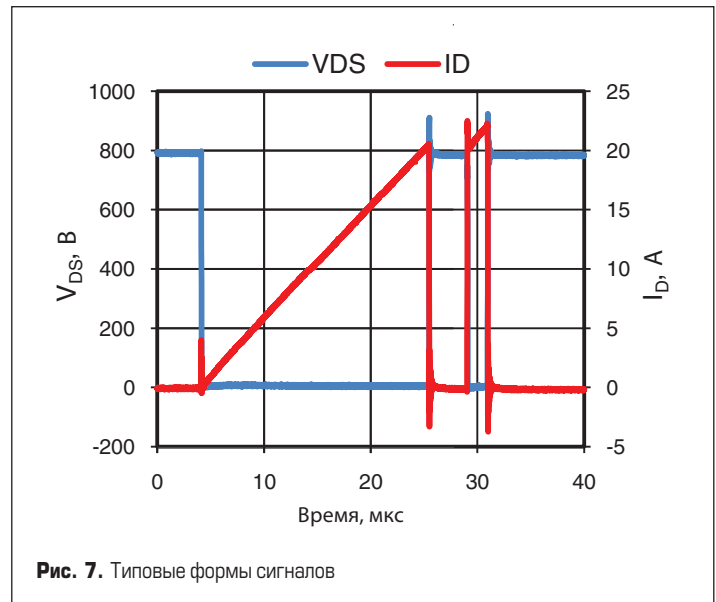
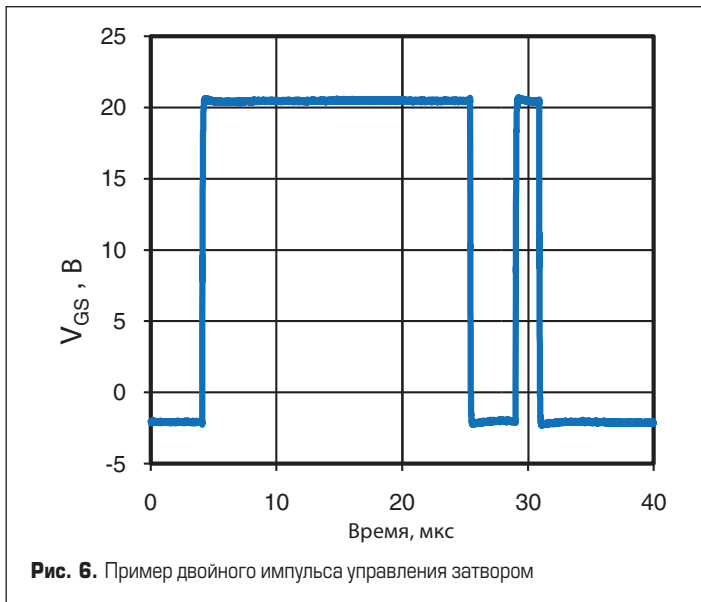


Рис. 5. Изолированная плата драйвера затвора со снятыми и зашунтированными DC/DC-преобразователями



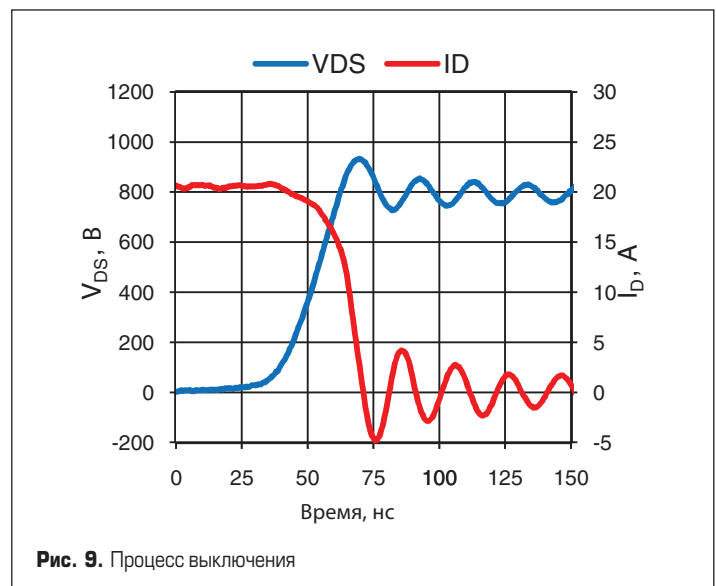
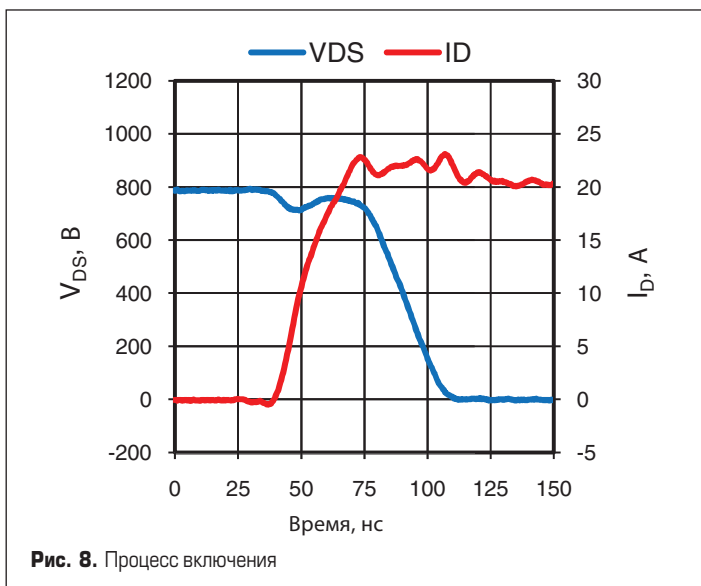
сенсоров к выходу генератора импульсов и настройкой с помощью осциллографа таким образом, чтобы оба импульса были синхронизированы по времени. Устранение временных погрешностей датчиков VDS и ID достигается путем снятия дросселя и замены диода D1 на низкоиндуктивный резистор 100 Ом. Рекомендуется

использовать сопротивление Caddock MP930-100-1% или его эквивалент. Во время настройки необходимо позаботиться о том, чтобы напряжение VDD было выбрано на уровне, не превышающем допустимое импульсное напряжение для резистора. Максимальное значение для данного резистора составляет 250 В.

Примерная форма «двухимпульсного» сигнала управления затвором показана на рис. 6. Соответствующие эпюры тока и напряжения VDS и ID MOSFET приведены на рис. 7. Последовательность состоит из двух импульсов с частотой следования около 1–2 Гц. Первый (~22 мкс) используется для нарастания

Таблица. Перечень элементов «двухимпульсного» тестера

№	Количество	Условное обозначение	Тип/номинал	Описание	Производитель	Каталожный номер
1	9	C1–C9	4.7 uf 1500VDC	CAP FILM 4.7UF 1500V	Cornell Dubilier	UNL15W4P7K-F
2	1	D1	C2D10120A	10A 1200V Cree Schottky Diode	Cree	C2D10120A
3	3	J7, J9, J10	BNC	BNC Fem Jack PC Mount Straight	Amphenol Connex	112538
4	7	J1-J3, J5, J6, Load Low, Load High	Banana socket	Banana socket	Emerson	108-0740-001
5		J8	CON6	Kelvin Socket	Loranger	2903 032
6	1	J4	ID CURRENT	SMA Jack-BNC Bulkhead Jack	Amphenol Connex	242181
7		J12	JUMPER	Jumper wire		
8	2	R1, R2	470K 2W	Res Ceramic Comp 470K Ohm 2W	Ohmite	OY474KE
9		R3, R4	100	100 Ohm 1206 SMD Resistor 1/4W	Panasonic - ECG	ERJ-8GEYJ101V
10		U1	Isolated Gate Driver Brd	Isolated gate driver board		
11			Current Trans First Stage	Ferrite Toroid	Ferroxcube	TC9.5/4.8/3.2-3E27
12			Current Trans Second Stage	Current Monitor	Pearson Electronics	Model 2878
13			SMA Adapter	Conn SMA Adapter Plug- Plug Straight	Amphenol Connex	132168
14			N/A	Wire, solid AWG 26, Teflon insulation	Alpha	2853/1 WH005
15		U1 (6pin socket header)				PPTC061LFBN-RC
16	2	U1 (3pin socket header)		Conn Header Female 3Pos. 1" Tin	Sullins	PPTC031LFBN-RC
17	1	D1 (Socket)	3TERMINAL_BLOCK (D1)	Conn Term Block 3Pos 5mm PCB	Phoenix Contact	1711039



тока в индукторе, его ширина регулируется для получения требуемого испытательного тока. Когда импульс заканчивается, ID коммутируется от MOSFET-транзистора к оппозитному диоду. Этот переход применяется для измерения характеристик отключения MOSFET. Между первым и вторым импульсом существует задержка около 3 мкс, ее длительность достаточно большая для того, чтобы напряжение и ток достигли установившегося значения. Ее необходимо увеличить, если приспособление используется для оценки Si IGBT, чтобы обеспечить достаточное время для окончания «хвостового тока». Второй узкий импульс (~2 мкс) генерируется через несколько микросекунд. Во время данного перехода ток коммутируется из диода обратно в MOSFET, в этой точке измеряются характеристики включения транзистора.

Типовые формы сигналов VDS и ID при включении показаны на рис. 8. Обратите внимание на очень небольшой всплеск тока во время включения. Это объясняется малым количеством накопленного заряда в диоде SiC JBS по сравнению с быстрым кремниевым PiN-диодом. Примеры сигналов VDS и ID при выключении показаны на рис. 9. На эпюрах VDS

и ID виден звон, чего обычно не наблюдается в случае кремниевых IGBT, это связано с отсутствием у SiC MOSFET токового хвоста.

Причиной звона является выходная емкость SiC MOSFET, резонирующая с паразитной индуктивностью в цепи коммутации силового тока. Токковый хвост в кремниевом IGBT способствует демпфированию этой паразитной осцилляции. Обратите внимание, что разъем, используемый для измерения VGS, предназначен только для удобства настройки уровней импульсов управления затвора. Фактическая форма сигнала VGS, наблюдаемая в этой конкретной точке, кроме непосредственно напряжения VGS будет включать падение напряжения на индуктивностях выводов затвора и индуктивностях источника сигнала. Поэтому при измерении сильноточных импульсов сигнал, наблюдаемый в данной контрольной точке, будет иметь дополнительные всплески/провалы, вызванные падениями напряжения на упомянутых паразитных индуктивностях.

Перечень элементов «двухимпульсного» тестера приведен в таблице.

Гербер-файл на плату можно скачать по ссылке: <http://www.cree.com/products/power/doublepulsefixture.zip>.