

Оценка эффективности силового полупроводникового прибора методом двухимпульсного тестирования

Андреа Винчи (Tektronix)

Актуальная задача снижения коммуникационных потерь в силовой полупроводниковой электронике зачастую требует нетривиальных методов решения. Одним из доступных и эффективных подходов в данной области является двухимпульсное тестирование с применением генератора сигналов произвольной формы.

Коммутационные потери являются неизбежными для любого силового полупроводникового прибора. Однако эти потери могут быть минимизированы за счёт оптимизации и тщательного измерения параметров, связанных с энергоэффективностью. Предпочтительным методом измерения коммутационных параметров МОП-транзисторов или БТИЗ (биполярных транзисторов с изолированным затвором, IGBT) является двухимпульсное тестирование. Для оптимизации или проверки соответствия фактических параметров заданным инженеры могут точно определить динамические характеристики силовых полупроводниковых приборов и модулей в различных условиях посредством анализа параметров включения, выключения и обратного восстановления.

Для выполнения такого теста требуется сгенерировать не менее двух импульсов напряжения различной

длительности с точной синхронизацией. Это всегда было довольно сложной задачей, сопряжённой с различными ошибками. Однако ситуация изменилась после появления генераторов сигналов произвольной формы и стандартных функций со специализированным приложением для двухимпульсного тестирования. Для упрощения понимания метода двухимпульсного тестирования сначала рассмотрим его теоретические основы, а затем на конкретном примере дадим рекомендации по эффективному проведению тестов с помощью генератора сигналов произвольной формы и осциллографа.

Проблема эффективности

Вместо кремния в качестве основы силовых полупроводниковых приборов всё чаще применяют полупроводники с широкой запрещённой зоной, такие как карбид кремния

(SiC) и нитрид галлия (GaN), которые по характеристикам превосходно подходят для применения в жёстких условиях эксплуатации, например в промышленности и автотранспорте. GaN и SiC обеспечивают компактную эффективную конструкцию прибора и лучшее быстродействие. Как показано на рисунке 1, повышать энергоэффективность силовой электроники требуется на всех этапах: начиная с генерации электроэнергии и заканчивая её потреблением. Силовые преобразователи используются при генерации, передаче и потреблении энергии, а поскольку ни одна из этих операций не выполняется со 100% эффективностью, то потери энергии присутствуют на каждом этапе.

Как показано на рисунке 2, в идеальном случае коммутирующее устройство должно находиться в состояниях «открыто» или «закрыто» с мгновенным переключением между ними. В состоянии «открыто» импеданс устройства равен нулю, и оно не рассеивает мощность вне зависимости от величины протекающего через него тока. В состоянии «закрыто» импеданс бесконечно велик, ток не протекает и мощность не рассеивается.

Однако на практике потери мощности происходят в основном во время перехода из открытого в закрытое состояние и обратно. Такое неидеальное поведение происходит из-за паразитных элементов в схеме. Как показано на рисунке 3, паразитные ёмкости

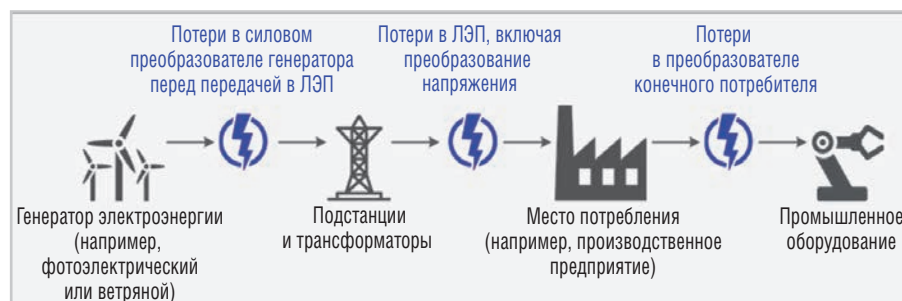


Рис. 1. Источники потерь электроэнергии

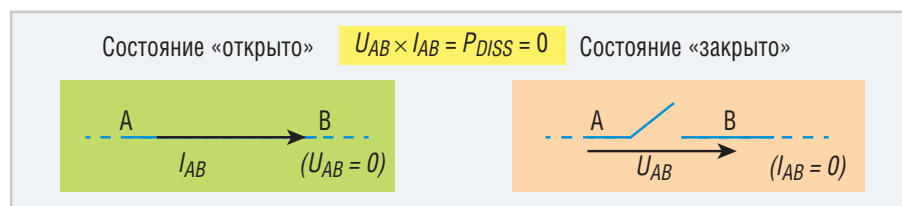


Рис. 2. Идеальная коммутация с нулевыми потерями мощности

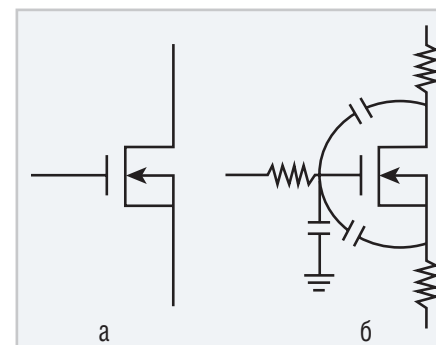


Рис. 3. Условное графическое обозначение МОП-транзистора (а) и его эквивалентная схема (б)

затвора снижают скорость переключения, увеличивая время включения и выключения. Протекание тока через паразитные сопротивления между стоком и истоком МОП-транзистора вызывает потери мощности. Поэтому, чтобы свести к минимуму коммутационные потери для создания более эффективных преобразователей, инженерам-конструкторам нужно измерять все временные параметры переключения.

Что такое двухимпульсное тестирование?

Метод двухимпульсного тестирования предназначен для измерения коммутационных параметров и оценки динамических характеристик силовых полупроводниковых приборов. С его помощью определяют следующие параметры:

- параметры включения: задержка включения $t_{здвкл}$, время нарастания t_{nr} , время включения $t_{вкл}$, энергия включения $E_{вкл}$, скорость нарастания тока и напряжения dU/dt и di/dt ;
- параметры выключения: задержка выключения $t_{здвкл}$, время спада $t_{сп}$, время выключения $t_{выкл}$, энергия выключения $E_{выкл}$, скорость спада тока и напряжения dU/dt и di/dt ;
- параметры обратного восстановления: время обратного восстановления $t_{вос.обр}$, ток обратного восстановления $I_{вос.обр}$, заряд обратного восстановления $Q_{вос.обр}$, di/dt и прямое напряжение в открытом состоянии $U_{ис}$.

Двухимпульсное тестирование выполняется для решения следующих задач:

- гарантированно точное определение характеристик силовых полупроводниковых приборов, таких как МОП-транзисторы и БТИЗ;
- проверка соответствия фактических параметров заданным;
- измерение коммутационных параметров при различных значениях тока и с помощью различных устройств.

Двухимпульсное тестирование выполняют по схеме, показанной на рисунке 4. Для тестирования используются индуктивная нагрузка и источник питания. Индуктивная нагрузка имитирует условия работы транзистора в схеме реального силового преобразователя. Генератор сигналов произвольной формы подаёт на затвор МОП-транзистора импульсы, которые отпирают его. На рисун-

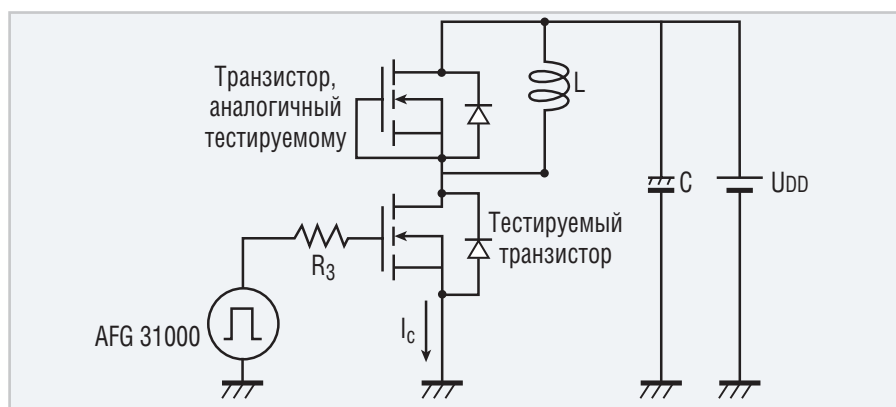


Рис. 4. Схема для проведения двухимпульсного тестирования

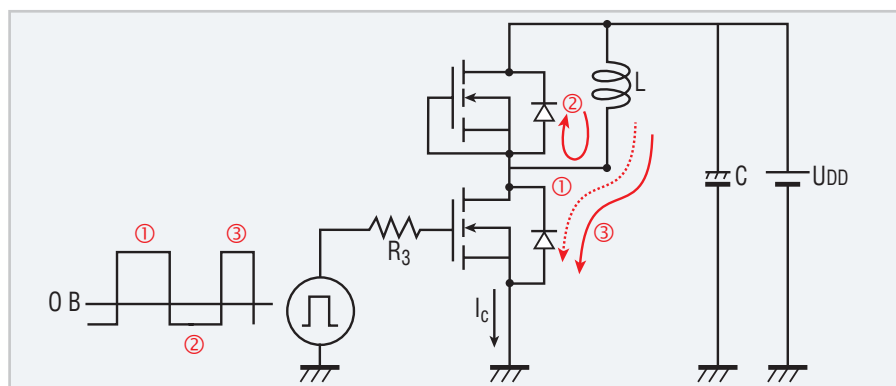


Рис. 5. Протекание тока при тестировании МОП-транзистора

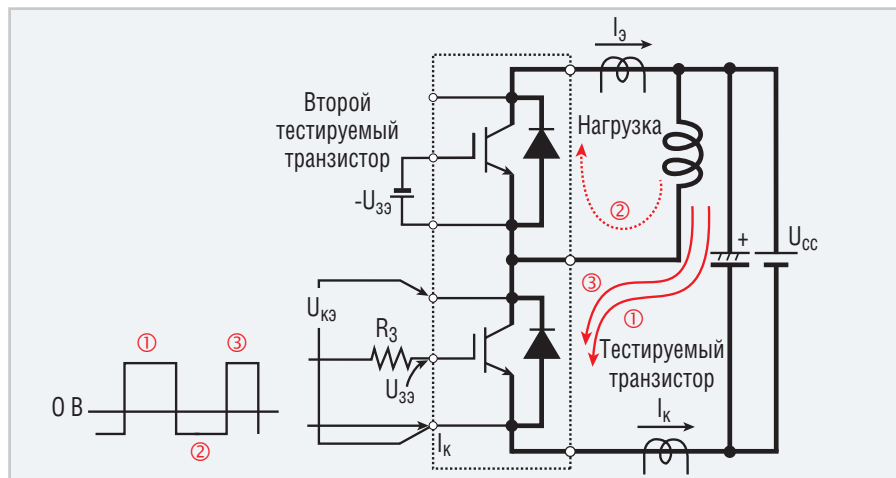


Рис. 6. Протекание тока при тестировании БТИЗ (IGBT-транзистора)

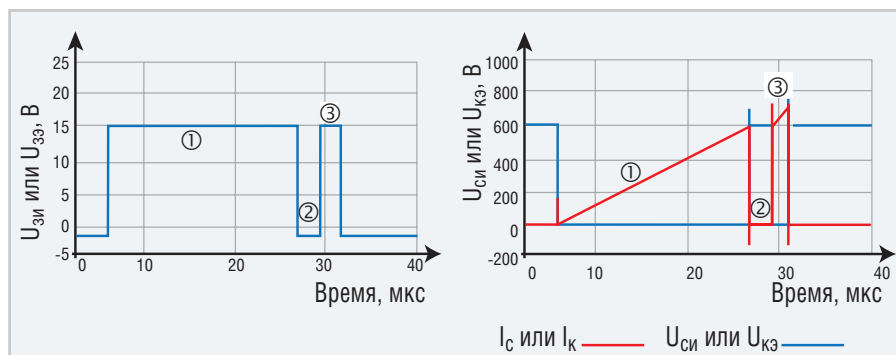


Рис. 7. Типовые осциллограммы, полученные в результате двухимпульсного тестирования

ке 5 показаны пути протекания тока на различных этапах двухимпульсного тестирования МОП-транзистора, а

на рисунке 6 – пути протекания тока при аналогичном тестировании БТИЗ (IGBT-транзистора). На рисунке 7 при-

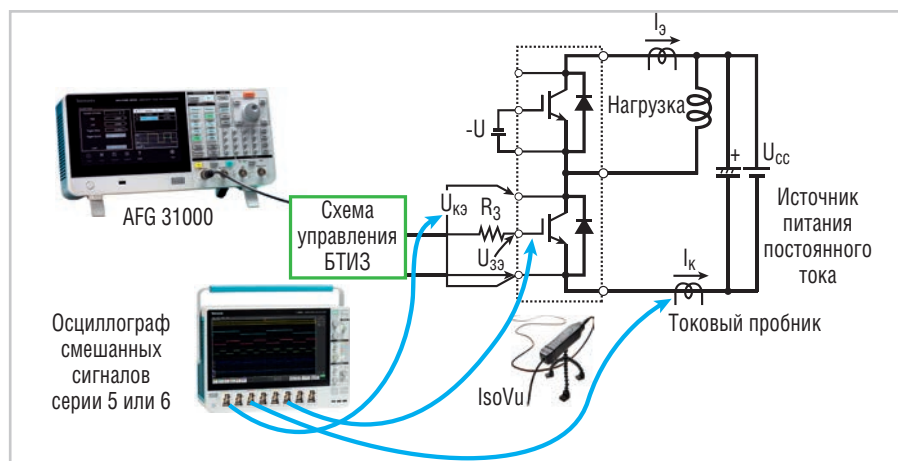


Рис. 8. Аппаратная схема установки для выполнения двухимпульсного тестирования

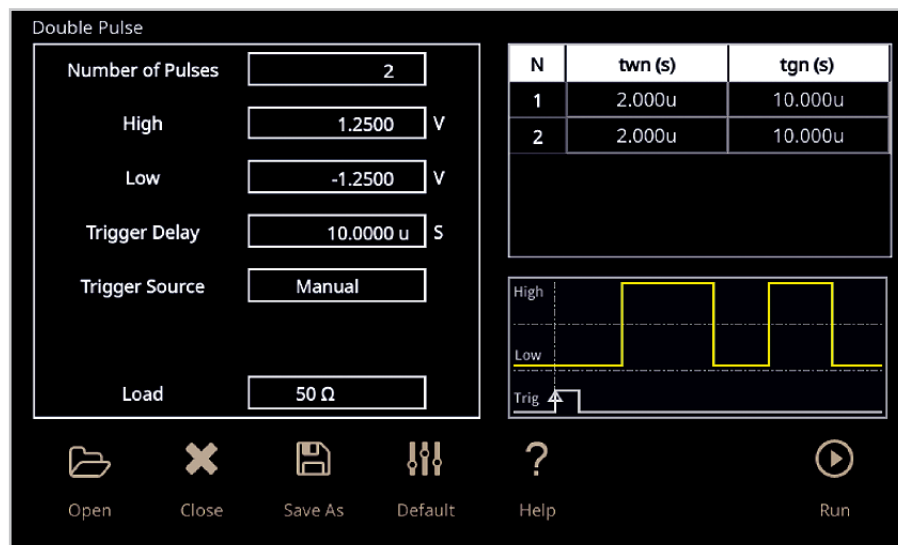


Рис. 9. Интерфейс программного обеспечения двухимпульсного тестирования

ведены осциллограммы измерений на МОП-транзисторе или БТИЗ в нижнем плече преобразователя. Рассмотрим этапы двухимпульсного тестирования и выясним, почему очень важно контролировать длительность и синхронизацию импульсов (эти этапы поясняются рисунками 5, 6 и 7).

Первый этап – подача импульса включения 1 с заранее установленной длительностью. Он открывает транзистор, и ток начинает протекать через индуктивную нагрузку. В течение этого этапа устанавливается нужный испытательный ток I_c , как показано на рисунке 7.

Второй этап начинается после спада первого импульса, что вызывает ток в оппозитном диоде. Период выключения кратковременный, чтобы значение тока сохранялось почти на постоянном уровне. Это видно на рисунках 5 и 6: ток протекает через диод верхнего плеча двухтактного преобразователя на МОП- или IGBT-транзисторах.

Третий этап представлен вторым импульсом включения. Его длительность меньше, чем у первого импульса, поскольку транзистор перегревается. Но эта длительность должна быть достаточной для выполнения измерений. Показанный на рисунке 7 выброс тока вызван обратным восстановлением оппозитного диода из МОП- или IGBT-транзистора верхнего плеча.

Значения времени выключения и включения измеряются в момент спада первого импульса и нарастания второго.

Схема двухимпульсного тестирования

Аппаратная схема двухимпульсного тестирования относительно проста и является общей для большинства технических лабораторий. В схему входят осциллограф средней ценовой категории, пробник с высоким коэффициентом подавления синфазного сигнала и источник питания постоянного тока или источник-измеритель для подачи питания на нагрузку.

Для выполнения теста генератор сигналов произвольной формы и стандартных функций подключают к схеме управления IGBT-транзистора. Генератор должен быть способен сформировать как минимум два импульса напряжения разной длительности (см. рис. 8). Как было сказано ранее, длительность первого импульса должна быть установлена такой, чтобы получить нужное значение коммутируемого тока. Длительность второго импульса должна регулироваться независимо от первого. Она обычно меньше длительности первого импульса, чтобы не допустить повреждения силового транзистора.

Для схемы измерений очень важно, чтобы генератор обеспечивал быстрое и гибкое формирование сигналов. Двухимпульсное тестирование применяют на этапах исследований и разработок, проверки и оценки характеристик, а также при диагностике и ремонте на всех уровнях – от уровня компонентов до готового изделия. Во всех этих областях применения необходимо быстро и просто изменять параметры и проводить измерения с высокой эффективностью и стабильностью.

Несмотря на то что существует ряд способов создания импульсов вручную с помощью ПК или микроконтроллера, одним из самых простых и надёжных является применение генератора сигналов произвольной формы и стандартных функций со специализированным приложением для двухимпульсного тестирования, интерфейс которого показан на рисунке 9. Данное программное обеспечение позволяет пользователю настраивать ряд параметров в одном окне, включая:

- количество импульсов: от 2 до 30;
- длительность импульса: от 20 нс до 50 мкс;
- напряжение высокого и низкого уровня;
- задержка запуска;
- источник сигнала запуска: запуск вручную, внешний или по таймеру;
- нагрузка: 50 Ом или высокоимпедансная.

Проведение двухимпульсных измерений

Для выполнения двухимпульсного тестирования была использована демонстрационная плата EVAL6498L от компании STMicroelectronics и n-канальные МОП-транзисторы STFN10N60M2 на 600 В с номиналь-

ным током стока 7,5 А – также от STMicroelectronics. Соединения были выполнены следующим образом:

- МОП-транзисторы запаены в плату, транзистор Q2 – нижнее плечо, Q1 – верхнее плечо;
- затвор и исток транзистора Q1 были замкнуты, чтобы он не открылся;
- к затвору Q2 был припаян резистор $R=100\text{ Ом}$;
- канал 1 генератора сигналов произвольной формы и стандартных функций был подключён к входам PWM_L и GND демонстрационной платы;
- питание было подключено к входам U_{cc} и GND, чтобы запитать ИС управления затвором;
- к выводам HV и GND был подключён источник-измеритель для подачи питания на индуктивную нагрузку;
- индуктивная нагрузка подключена к выводам HV и OUT.

После выполнения всех соединений к Q2 (МОП-транзистору нижнего плеча) были подключены пробники осциллографа, как показано на рисунке 10. Поскольку напряжение $U_{зи}$ чувствительно к синфазным помехам, применялся пробник с высоким коэффици-

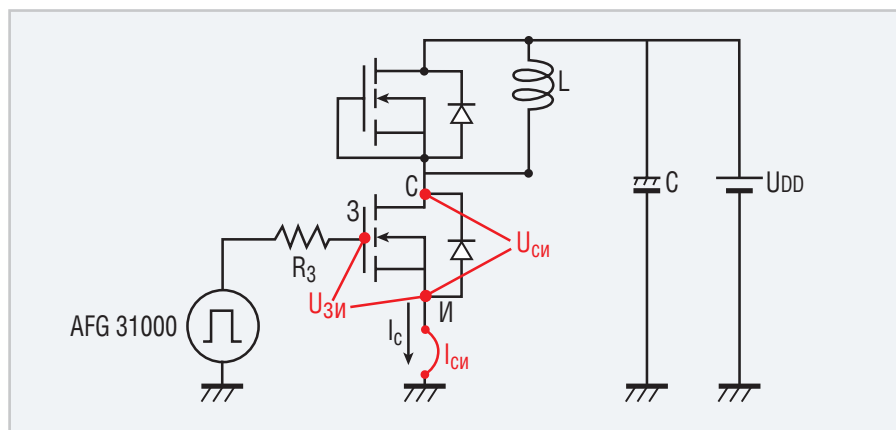


Рис. 10. Точки измерения осциллографом

ентом подавления синфазной помехи. Напряжение $U_{си}$ измерялось с помощью дифференциальных пробников напряжения, а к выводу истока МОП-транзистора был подключён токовый пробник.

На генераторе сигналов произвольной формы и стандартных функций задана амплитуда импульсов 2,5 В. Были установлены следующие настройки: длительность первого импульса 10 мкс, интервал между импульсами 5 мкс, длительность второго импульса 5 мкс и

ручной запуск. Напряжение источника питания было установлено равным 100 В. Осциллограф был настроен на измерение с однократным запуском. Генератор подавал импульсы, форма которых показана на рисунке 11.

Как можно видеть, формы сигналов схожи с формами, показанными на рисунке 7. Выброс тока $I_{си}$ вызван обратным восстановлением оппозитного диода из транзистора верхнего плеча. Этот выброс свойственен данной схеме и приводит к потерям энергии.

Tektronix

Вы хотели больше выбора

Поэтому мы создали ДВА осциллографа нового поколения, разработанных для повседневной работы каждого инженера.

Новые MSO Серии 4 и MDO Серии 3

Узнайте больше о полной линейке осциллографов с сенсорным дисплеем на ru.tek.com.



Реклама

Параметры включения и выключения рассчитывались по отрицательному перепаду первого импульса и положительному перепаду второго. Стандартный отраслевой метод предусматривает измерение следующих временных параметров включения и выключения, показанных на рисунке 12:

- $t_{зд.вкл}$ – интервал времени между 10% амплитуды напряжения $U_{зи}$ и 90% амплитуды напряжения $U_{си}$;
- $t_{нр}$ – интервал времени между 90% и 10% амплитуды напряжения $U_{си}$;
- $t_{зд.выкл}$ – интервал времени между 90% амплитуды напряжения $U_{зи}$ и 10% амплитуды напряжения $U_{си}$;
- $t_{сп}$ – интервал времени между 10% и 90% амплитуды напряжения $U_{си}$.

На рисунке 13 показаны захваченные осциллографом сигналы для вычисления параметров включения. Воспользовавшись курсорами, можно получить временные параметры, а затем с помощью математической функции вычислить потери при включении в течение данного перепада сигнала. Для расчета потерь в течение перепада использовалась следующая формула:

$$E_{вкл} = \int_0^t U_{си} \times I_{си} dt.$$

С помощью функции интегрирования на осциллографе в данном примере было получено значение 4,7 мкДж. Это относительно небольшие потери энергии, поскольку они были вычислены только по номинальным значениям напряжения и тока.

Как и в случае с включением, для получения временных параметров выключения были использованы курсоры (см. рис. 14), а затем с помощью математической функции вычислялись потери при выключении в течение данного перепада сигнала. Потери энергии во время переходного процесса выключения также вычислены по формуле, приведённой выше.

С помощью функции интегрирования на осциллографе было получено значение 1,68 мкДж. И снова потери энергии оказались относительно небольшими, так как для вычисления были использованы только номинальные значения напряжения и тока.

Заключительным этапом процедуры тестирования было измерение характеристик обратной полярности диода МОП-транзистора. Ток обратного восстановления возникает при подаче второго импульса. Как показано на рисунке 15, открытый

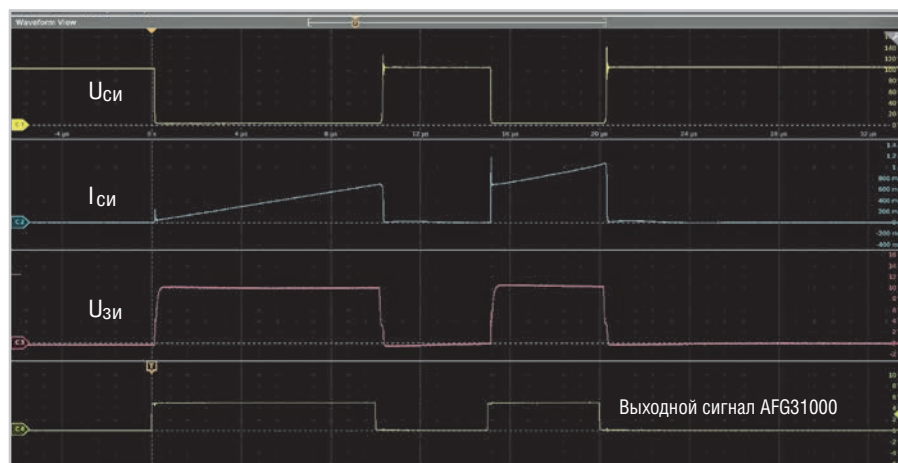


Рис. 11. Осциллограммы двух импульсов

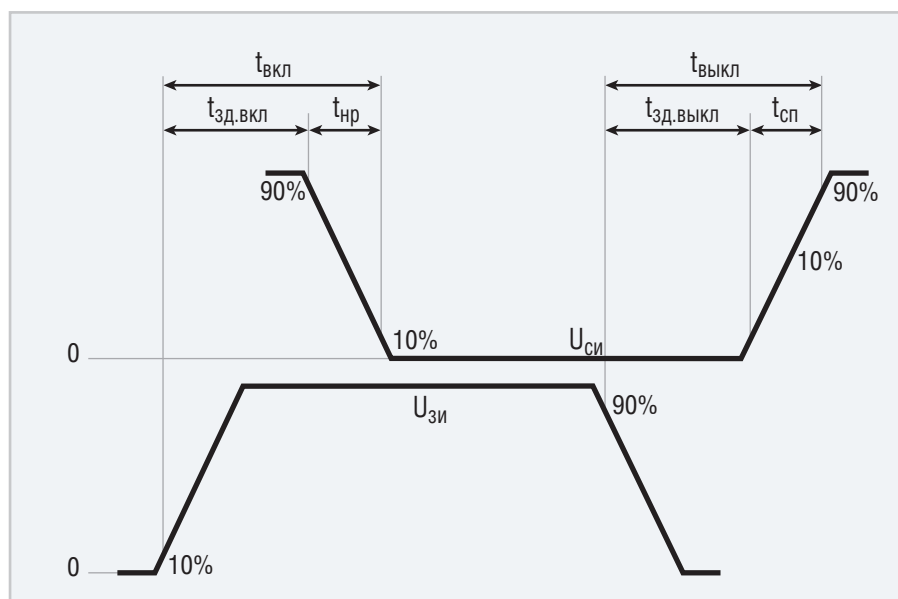


Рис. 12. Временные параметры включения и выключения, вычисляемые стандартным отраслевым методом

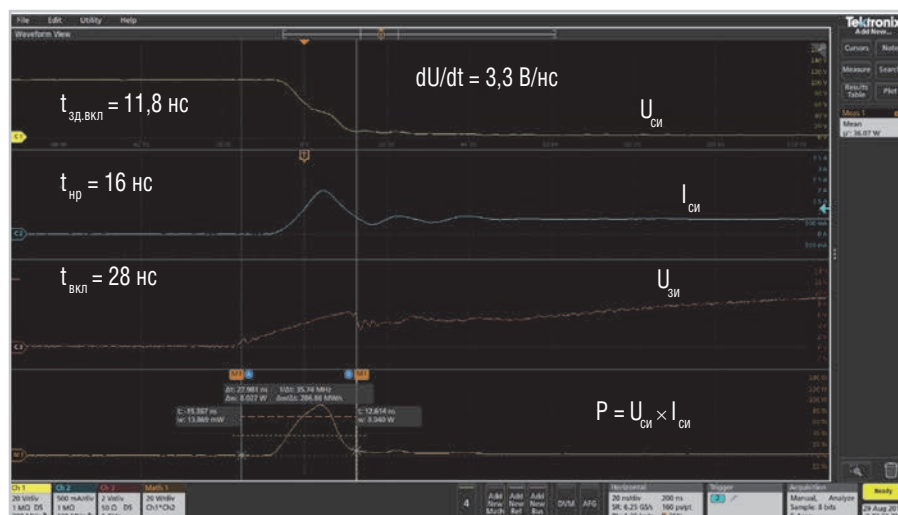


Рис. 13. Сигналы для вычисления временных параметров включения

диод проводит ток прямой полярности в направлении 2. При повторном включении МОП-транзистора нижнего плеча диод должен переключиться в закрытое состояние, однако в тече-

ние небольшого интервала времени он продолжит пропускать ток, называемый током обратного восстановления. Этот ток обратного восстановления вызывает потери энергии, что

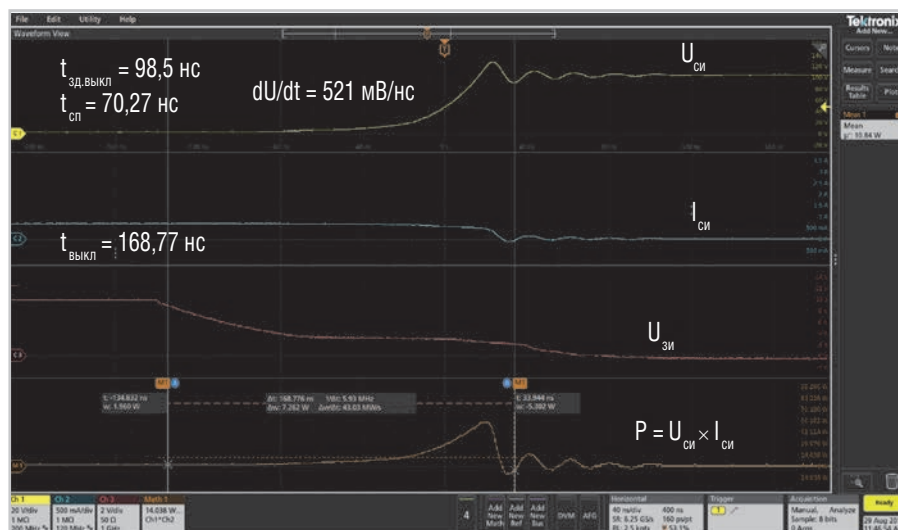


Рис. 14. Сигналы для вычисления параметров выключения

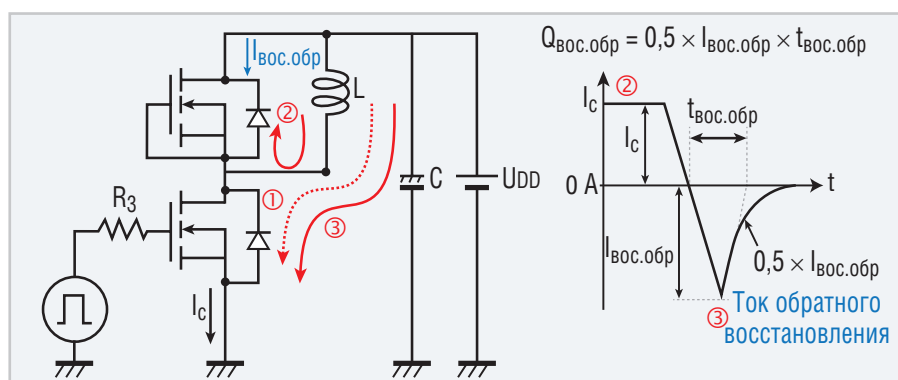


Рис. 15. Возникновение тока обратного восстановления при подаче второго импульса

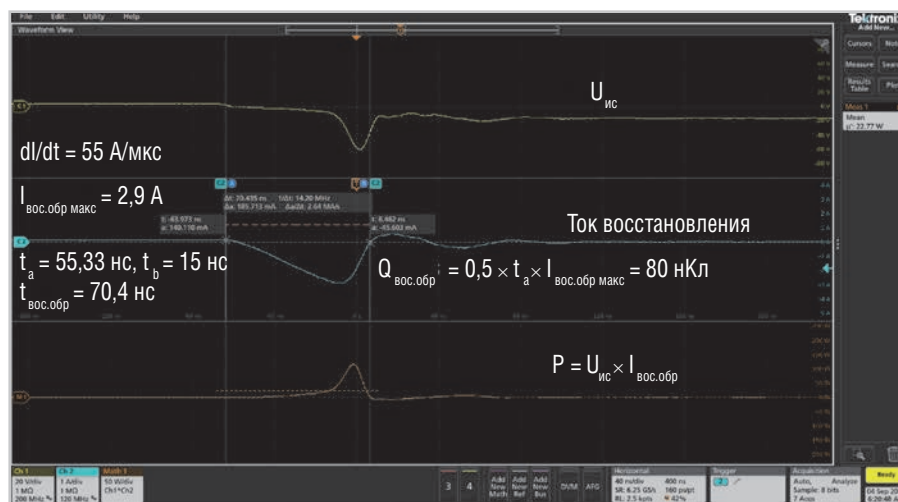


Рис. 16. Осциллограммы обратного восстановления при напряжении источника-измерителя 20 В

непосредственно сказывается на КПД силового преобразователя.

Измерения выполнялись на МОП-транзисторе верхнего плеча. Были измерены ток I_c через МОП-транзистор верхнего плеча и напряжение $U_{сн}$ на диоде. На рисунке 15 показано, как были получены следующие параметры обратного восстановления: время обратного восстановления $t_{вос.обр}$, ток обратного восстановления $I_{вос.обр}$.

заряд обратного восстановления $Q_{вос.обр}$, di/dt и прямое напряжение в открытом состоянии $U_{сн}$.

Показанные на рисунке 16 осциллограммы были получены при напряжении 20 В, поданном с источника-измерителя. Временные параметры были получены с использованием курсоров. С помощью математической функции были вычислены потери обратного восстановления во время данного пере-

пада сигнала. Для расчёта потерь в течение перепада использовалась формула:

$$E_{вос.обр} = \int_0^t U_{сн} \times I_{вос.обр.макс} dt.$$

С помощью функции интегрирования на осциллографе было получено значение 7 мкДж.

Заключение

Метод двухимпульсного тестирования является предпочтительным для измерения коммутационных параметров и оценки динамических характеристик силовых полупроводниковых приборов. Он позволяет инженерам-разработчикам оценить коммутационные потери в силовых преобразователях.

Для двухимпульсного тестирования следует подать два импульса напряжения разной длительности с точной синхронизацией, что является достаточно сложной задачей. Например, сигналы можно создать на компьютере, а затем загрузить их в генератор стандартных функций. Для этой цели также можно использовать микроконтроллеры, программирование которых требует много времени и усилий. Однако, как показано на практическом примере, генератор сигналов произвольной формы и стандартных функций с программным обеспечением двухимпульсного тестирования позволяет легко создавать импульсы заданной длительности для поддержки различных сценариев тестирования.

Литература

1. Double Pulse Test with the Tektronix AFG31000 Arbitrary Function Generator. Application note. <https://www.tek.com/document/technical-brief/evolving-materials-and-testing-emerging-generations-power-electronics>.
2. Measuring Power Supply Switching Loss with an Oscilloscope. Application note. <https://www.tek.com/document/application-note/measuring-power-supply-switching-loss-oscilloscope>.
3. Understanding MOSFET Datasheets: Switching Parameters. <https://training.ti.com/understanding-mosfet-datasheets-switching-parameters>.
4. STF110N60M2. Datasheet. <https://www.mouser.com/datasheet/2/389/stf110n60m2-974335.pdf>.
5. EVAL6498L. Evaluation board for the L6498L gate driver. https://www.st.com/resource/en/data_brief/eval6498l.pdf.

НОВОСТИ МИРА

РОСНАНО ПРОТИВ COVID-19

Ситуация с коронавирусом становится сложнее, и группа РОСНАНО мобилизует свои ресурсы для борьбы с ним. Уже задействованы мощности высокотехнологичных производств. Речь идёт не только о выпуске собственной продукции, но и о предоставлении сервисов для ускорения реализации других проектов, появляющихся на рынке.



Так, группа компаний «ТехноСпарк» (Technospark) ожидает государственной регистрации созданного при её участии анализатора «Индикатор-БИО» для выявления COVID-19, а её контрактная компания TEN fab приступила к серийному производству комплектов деталей для картриджей амплификаторов, тестирующих на коронавирус. Картридж – это сердце диагностической системы, куда помещаются пробы на анализ.

Мобильная версия прибора компании «Эвотек-Мирай Геномикс» (56 таких ком-

плектов будет поставлено для Департамента здравоохранения Москвы) позволяет временно проводить большое количество тестов и получать результат в течение 30 минут.

По контракту с «Эвотек-Мирай Геномикс» TEN fab изготовит 3 тысячи комплектов деталей для картриджей амплификаторов. Это – ключевой узел всей диагностической системы, куда пробы помещаются на анализ. Работа началась, и первая партия уже поступила заказчику.

Не оставим вирусу шансов!

#роснано #TENfab #ТехноСпарк
#диагностикаCOVID19

АНТИКРИЗИСНЫЕ МЕРЫ
ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Члены Ассоциации Разработчиков и Производителей Электроники согласовали предложения по дополнению перечня антикризисных мер, представленных Президентом России Владимиром Путиным. В заданном Президентом России направлении подготовлены предложения отраслевого уровня.

Электронная промышленность является одной из самых глобализованных, а потому несёт наибольший ущерб от эпидемиологических ограничений, установленных крупнейшими мировыми производителями

комплектующих и материалов. В настоящее время недоступность отдельных компонентов приводит к невозможности выполнения производственных планов многими предприятиями нашей отрасли. Значительная часть стоимости конечной продукции имеет валютное ценнообразование. При фиксированных рублёвых ценах многие долгосрочные государственные контракты стали убыточными для предприятий отрасли после девальвации рубля в марте.

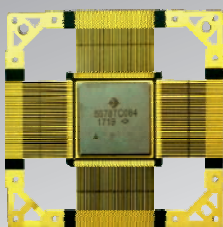
Электронная промышленность включает в себя большое число технологических передёлов, очень широкую и сложную сеть кооперации, в которой сбой одного поставщика часто приводит к невозможности выпуска конечной продукции множеством предприятий. Крайне важно сохранить устойчивость всей отраслевой кооперационной экосистемы. Это возможно, если максимально снизить для предприятий отрасли фискальную нагрузку, сократить сроки платежей, чтобы повысить эффективность использования оборотных средств. Критически важно устранить административные барьеры, на преодоление которых у компаний в условиях кризиса нет ни финансовых ресурсов, ни времени.

Официальное письмо с предложениями АРПЭ

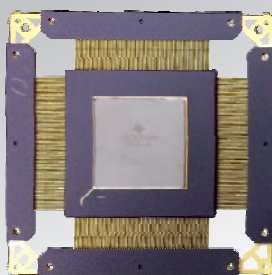
АО «ВЗПП-С»

Тел/Факс: (473) 223-69-51
e-mail: market@vzpp-s.ru
www.vzpp-s.ru

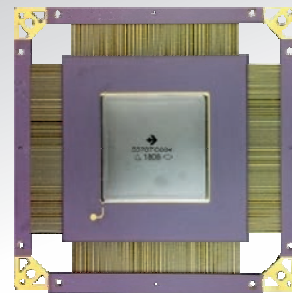
Программируемые логические интегральные схемы



ПЛИС 5578TC084



ПЛИС 5578TC094



ПЛИС 5578TC064, 5578TC104

Основные функциональные параметры	5578TC084	5578TC094	5578TC064	5578TC104
Зарубежные аналоги, ф. Altera	EP3C16	EP3C25	EP3C55	EP3C40
Емкость, системных вентиляей	800 000	1 200 000	3 000 000	2 000 000
Количество эквивалентных логических элементов	15 408	24 624	55 856	39 600
Объем встроенной памяти, Кбит	504	594	2 340	1 134
Количество умножителей 18×18	56	66	156	126
Количество блоков ФАПЧ	4			
Поддерживаемый ряд интерфейсов	2,5V LVTTTL/LVCMOS	2,5V LVTTTL/LVCMOS	LVDS; 2,5V LVTTTL/LVCMOS	LVDS; SSTL-2 Class I/II; 2,5V LVTTTL/LVCMOS
напряжение питания ядра	1,2 ± 0,05 В			
напряжение питания периферии	2,5 В ± 5 %			
Количество выводов, программ. пользователем	84	195	279	279
Корпусное исполнение	МК 4248.144-1	МК 4251.304-2	МК 4254.352-1	

Для проектирования используется САПР Quartus II и доп. ПО разработки и производства АО «КТЦ ЭЛЕКТРОНИКА».

Реклама

НОВОСТИ МИРА

**НИЗКИЕ ТРАТЫ НА СПАСЕНИЕ
ЭКОНОМИКИ ОТ КОРОНАВИРУСА
СВЯЗАНЫ С ОПАСЕНИЯМИ
ВЛАСТЕЙ**

На фоне глобальной пандемии и падения цен на нефть государства по всему миру столкнулись с замедлением деловой активности и угрозой полномасштабного кризиса. Для поддержки экономики правительства различных стран анонсируют широкие стимулирующие программы, которые превышают 10% ВВП.

Между тем президент России Владимир Путин объявил программу поддержки, которая, по подсчётам ING Bank, эквивалентна всего 2% ВВП. Это значительно меньше, чем Россия направила на поддержку экономики во время кризиса 2008-2009 годов. Тогда стимулирующие меры составляли 10% ВВП, поясняет агентство. При этом в российских резервах, включая Фонд национального благосостояния (ФНБ), куда шли сверхдоходы от нефти, находится \$550 млрд.

Известный экономист Григорий Явлинский рассказал, где России взять деньги: «США направляют на поддержку людей и экономики 9% от ВВП, Великобритания –

около 14%, Германия – свыше 20%. Россия выделила на медицину, помощь частному бизнесу и населению пока только 0,3% от своего ВВП. У России есть финансовые резервы: Фонд национального благосостояния – 8,3 трлн рублей, золотовалютные резервы – \$580 млрд и бюджет страны – 20 трлн рублей с профицитом около 2 трлн рублей. Все эти деньги принадлежат народу. Сейчас ими надо воспользоваться. Эпидемия, значительное падение цен на нефть и другие природные ресурсы, девальвация рубля, мировой экономический кризис и низкая эффективность российской экономической системы – опасное сочетание негативных факторов. Чтобы преодолеть кризис, потребуется разумно использовать имеющиеся ресурсы».

«С точки зрения бюджетно-налоговой политики Россия принимает меньше мер для смягчения удара [по экономике] от карантинных мер и внешних факторов, чем большинство стран. Это может быть оправдано на фоне обвала цен на нефть, однако следствием таких действий станет более глубокая рецессия и более медленное восстановление», – считает экономист Bloomberg Economics Скотт Джонсон.

Агентство поясняет нежелание российских властей тратить больше денег тем, что если после кризиса 2008–2009 годов страна смогла в короткие сроки восстановить резервы из-за высоких цен на нефть, то теперь в Кремле готовятся к затяжному периоду дешёвого сырья. По мнению аналитиков, это заставляет российские власти растягивать существующие резервы на как можно более длительный срок.

Цены на нефть начали снижаться в 2020 году на фоне пандемии коронавируса и остановки предприятий по всему миру. В марте они опускались до минимумов за почти 20 лет после того, как Россия и Саудовская Аравия вышли из сделки ОПЕК+ по сокращению добычи. Соглашение перестало действовать 1 апреля. Тогда же Эр-Рияд нарастил добычу, однако Россия фактически оставила свои объёмы неизменными. В апреле стороны заговорили о спасении цен на нефть. Первоначально они планировали провести встречу 6 апреля, однако в итоге её перенесли на 9 число. По неофициальной информации, причиной переноса сделки стало то, что Россия и Саудовская Аравия не договорились о конкретной схеме снижения добычи.

echo.msk.ru



Акционерное общество

ЭРКОН

Научно-производственное объединение

Разработка и производство постоянных неперывочных резисторов, СВЧ резисторов, поглотителей и чип-индуктивностей.

- Современная производственная база
- Высокое качество
- Индивидуальный подход к потребителю

603104, г. Нижний Новгород, ул. Нартова, д.6.
тел. (831)202-24-34 (многоканальный)
(831)202-25-52 отдел продаж (многоканальный),
www.erkon-nn.ru,
e-mail: info@erkon-nn.com



реклама