Сергей Кузьмин,
инженер по внедрению холдинга PT Electronics,
sergey.kuzmin@ptelectronics.ru

РАБОТА МОЩНЫХ GAN-ТРАНЗИСТОРОВ MICROSEMI В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ

В статье представлена работа мощных импульсных радиочастотных (ВЧ) GaN-HEMT-транзисторов в импульсном режиме. В качестве примера рассмотрен транзистор 1011GN-700ELM 1030MHz Mode-S Enhanced Message Length (ELM) для применения в авиационных радарах. Детально проанализированы импульсный режим питания затвора и последовательность подачи питания на схему импульсного генератора, устанавливаемого на оценочные платы Microsemi, для испытаний всех импульсных GaN-приборов с общим истоком, работающих в классе AB и применяемых в импульсных авиационных и радарных системах от L- и C- до X- и Ku-диапазонов. Также приводится общее описание разработки входных и выходных ВЧ-цепей 1011GN-700ELM. В заключение представлены импульсные ВЧ-характеристики транзистора 1011GN-700ELM, демонстрирующие использование схемы импульсного генератора, установленного на тестовой плате.

Цепь импульсного генератора: импульсное питание затвора и последовательность подачи питания

На рис. 1 показана структурная схема типичной платы Microsemi, предназначенной для оценочных испытаний. Она состоит из схемы импульсного генератора (Pulser Circuit) и ВЧ-цепи мощного GaN-транзистора. Цепь транзистора включает мощный транзистор, входную и выходную радиочастотные цепи согласования, цепи подачи питания на затвор и сток и другие необходимые компоненты.

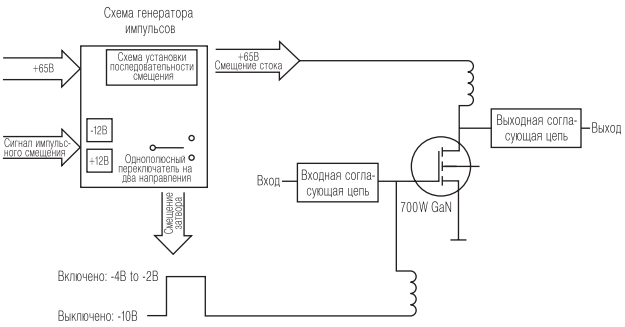

Рис. 1. Типичная структурная схема тестовой платы для мощных ВЧ-GaN-транзисторов Microsemi

Схема импульсного генератора при работе осуществляет три важные функции:

1. Генерирует отрицательное импульсное смещение затвора ON (от –4 до –2 В) и OFF (–10 В).
2. Увеличивает КПД и рабочие температурные характеристики в режиме импульсного питания затвора.
3. Выполняет постоянное смещение Vdd после того, как подается напряжение отсечки на затвор транзистора, находящегося в режиме усиления.

На вход цепи импульсного генератора подается постоянное напряжение +65 В сигнал ТТЛ. DC/DC-конвертер преобразует входное напряжение и выдает на выходе два независимых канала питания: +12 В для питания всех активных устройств генератора и –12 В для подачи отрицательного импульсного смещения на затвор. В схеме используется быстродействующий переключатель для переключения между состояниями OFF (–10 В) и переменным (настраиваемым) состоянием ON (от –4 В до –2 В). ТТЛ-линия импульсного смещения контролирует вход однополюсного переключателя на два направления. В результате на выходе переключателя получается отрицательное импульсное напряжение, которое используется для смещения затвора GaN-транзистора между состояниями OFF и ON.

Для 1011GN-700ELM напряжение включения выбирается таким образом, чтобы Idq в импульсе достигало значения 1 А. Таким образом, этот прием импульсного смещения затвора позволяет ограничить средний ток Idq транзистора в течение рабочего цикла. В результате при таком режиме работы увеличивается КПД и значительно сокращается рассеяние тепла.

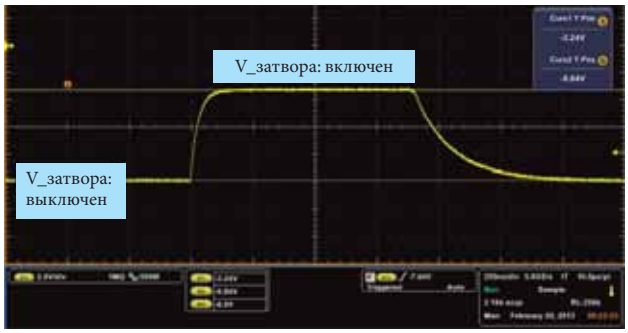

Рис. 2. Подача отрицательных импульсов затвора Vgs от OFF (–10 В) до ON (–3,2 В)

На рис. 2 показан типичный отрицательный импульс напряжения затвора, приложенный к 1011GN-700ELM (ON –3,2 В и OFF –10 В). Необходимо отметить один ключевой параметр: время нарастания импульса примерно 100 нс. Такое быстрое нарастание допускает минимальную задержку между импульсом включения и входным ВЧ-импульсом.

На рис. 3 представлены характерные для 1011GN-700ELM, работающего в режиме S, импульсы смещения затвора и ВЧ-импульсы. Время запаздывания входного ВЧ-импульса относительно импульса включения смещения затвора составляет 150 нс, и соответственно примерно 150 нс время опережения импульса смещения затвора ВЧ-импульса. Это позволяет поддерживать ток Idq от начала до конца ВЧ-импульса. Когда ВЧ-импульс отсутствует, цепь затвора выключается, ток Idq не протекает, что улучшает КПД и тепловое рассеяние.

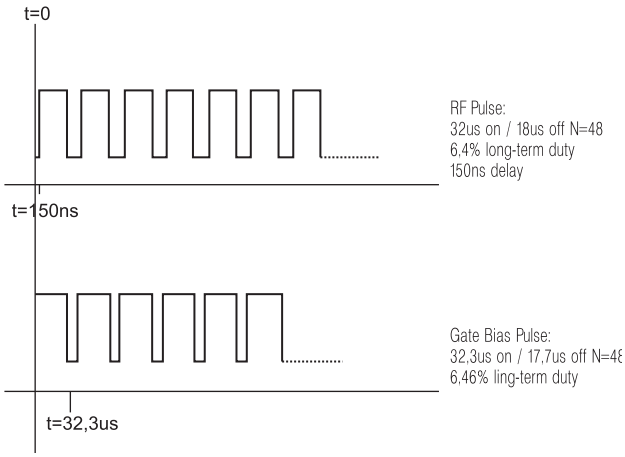

Рис. 3. Характерная для режима S последовательность ВЧ-импульсов

Поскольку GaN HEMT работает в режиме обеднения, для предотвращения выхода из строя транзистора крайне важно, чтобы напряжение отсечки прикладывалось к затвору до того, как будет подано напряжение стока. Схема генератора импульсов разработана так, чтобы правильно подавать импульсное отрицательное напряжение смещения к GaN-прибору прежде, чем приложено напряжение Vdd. После подачи +65 В на вход схемы генератора импульсов, DC/DC преобразователь выдает напряжения +12 В и –12 В, которые используются при генерации отрицательных импульсов напряжения смещения затвора. Когда детектируется окончание DC/DC-преобразования, P-канал, MOSFET безопасно включается напряжением стока транзистора Vdd.

Последовательность подачи питания GaN-транзистора показана на рис. 4. Вначале генерируется импульсное напряжение затвора, затем включается напряжение стока с задержкой в 35 мс. Медленное время нарастания напряжения стока объясняется зарядом накопительного конденсатора на вводе смещения стока.

ВЧ-цепь GaN-HEMT-транзистора

Приведенная на рис. 5 схема включения транзистора GaN HEMT 1011GN-700ELM может быть взята за основу. Подобная схема предназначена для большинства методов и технологий разработки, применяемых для других мощных транзисторов. Подача питания на затвор и сток осуществляется с помощью четвертьволновых отрезков линий. Для питания затвора применяется низкоомный последовательный резистор для подавления осцилляций. Добиться более компактной топологии позволяют шунтирующие конденсаторы, встроенные в цепи смещения для укорочения четвертьволновых отрезков. Также в цепь питания стока включена цепь RC-фильтра, предназначенная для подавления пульсаций.

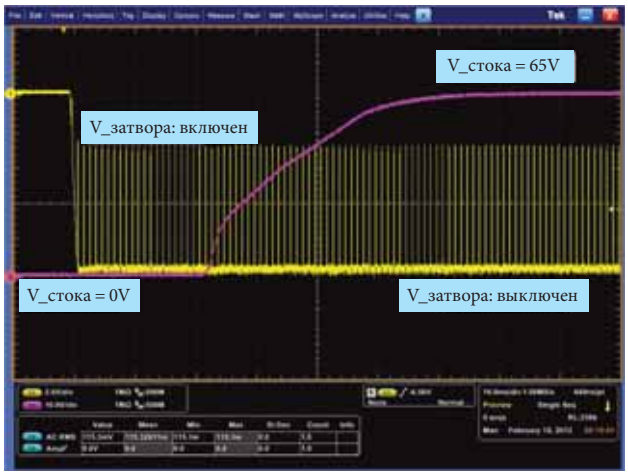

Рис. 4. Типичная картина последовательности подачи питания на мощный ВЧ-GaN-транзистор

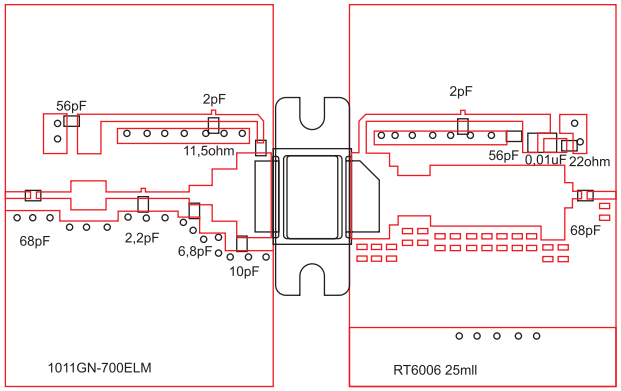

Рис. 5. Топология ВЧ части тестовой платы 1011GN-700ELM

ВЧ-характеристики

Последовательность включения тестовой платы:

1. Выключить ВЧ-вход, источник питания +65 В и ТТЛ-сигнал управления смещением затвора.
2. Подсоединить кабели к ВЧ-входу и выходу тестовой платы.
3. Подсоединить ТТЛ-сигнал управления смещением затвора ко входу тестовой платы.
4. Подсоединить источник питания ко входу +65 В.
5. Включить ТТЛ-сигнал управления смещением затвора.
6. Подать +65 В.
7. Подать импульсный ВЧ-сигнал.

КОММЕНТАРИЙ СПЕЦИАЛИСТА

Александр Федоров,
руководитель направления активных компонентов холдинга PT Electronics, aleksandr.fedorov@ptelectronics.ru

Появление новых транзисторов на основе GaN-технологии позволило сделать технический скачок в разработках устройств радиолокации, поскольку облегчило переход от пассивных схем к активным. От передатчиков и сложного фидерного тракта к выносным цифровым усилительным модулям и АФАР. При этом резко возросла функциональность.
Безусловным лидером в производстве GaN-транзисторов является компания Microsemi, чьи транзисторы позволяют получить значительные выходные мощности при высоком КПД и работают при температуре до 200 °С. Компания вышла на высокий уровень промышленного производства GaN-транзисторов и может обеспечить наименьшее на рынке соотношение $/Вт.

Некоторые наиболее выдающиеся характеристики 1011GN-700ELM:
- Не менее 700 Вт выходной мощности.
- КПД стока 70%.
- Коэффициент усиления не менее 20 дБ.

Особенности и функциональные возможности схемы генератора импульсов делают GaN-HEMT-транзисторы Microsemi более подходящими для импульсных ВЧ-применений благодаря увеличению КПД и уменьшению теплового рассеяния.

Динамический диапазон

На графиках, приведенных на рис. 6, показан динамический диапазон 1011GN-700ELM GaN-транзистора, который способен обеспечивать не менее 700 Вт выходной мощности при 70% КПД стока и более чем 20 дБ коэффициента усиления. Правильная подача питания обеспечивает очень гладкую характеристику коэффициента усиления для 1011GN-700ELM при выходной мощности от 20 Вт до 700 Вт.

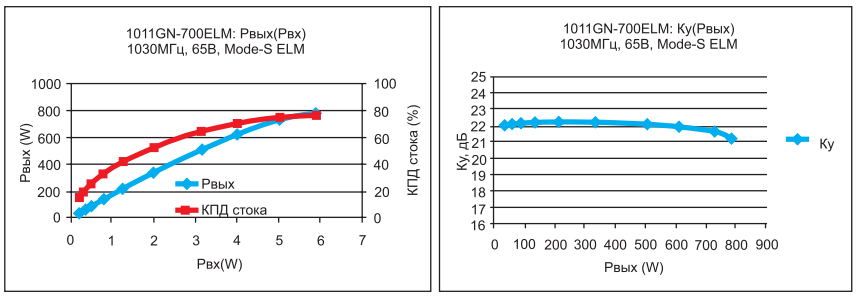

Рис. 6. Типичные характеристики 1011GN-700ELM

Импульсные характеристики

Рис. 7 иллюстрирует время нарастания и время спада (<25нс) для короткого 0,5 мкс импульса при 1%-ном рабочем цикле и пачки импульсов в EML-режиме: 48 пачек импульсов вида 32мкс ON/ 18мк OFF, повторяющихся каждые 24 мс (рабочий цикл пачки = 64%, долговременный рабочий цикл = 6,4%).

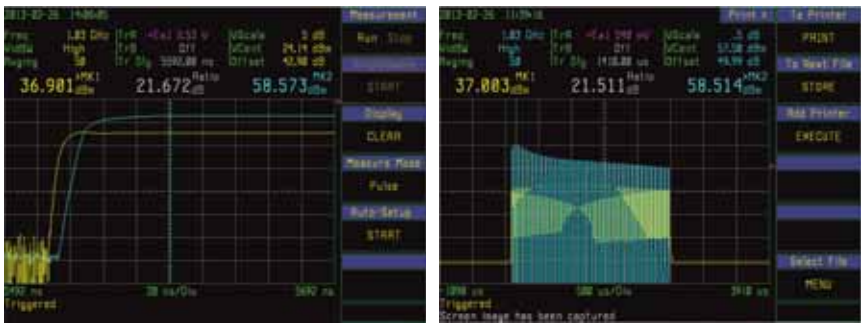

Рис. 7. Время нарастания короткого импульса и длинного ELM-импульса

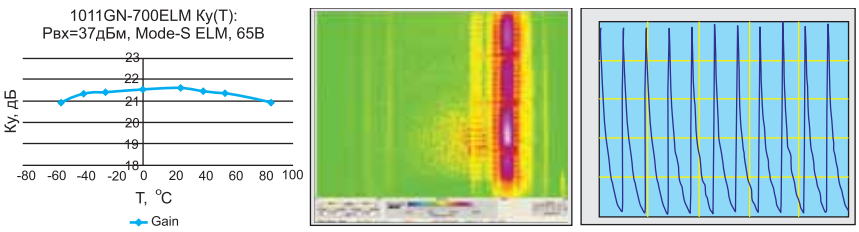

Рис. 8. Типичная температурная характеристика 1011GN-700ELM

Некоторые наиболее выдающиеся характеристики 1011GN-700ELM:

- **Не менее 700 Вт выходной мощности.**
- **КПД стока 70%.**
- **Коэффициент усиления не менее 20 дБ.**

Температурная и инфракрасная характеристики

На рис. 8 видно, что при номинальной выходной мощности (компрессия 1 дБ) усиление падает на 0,7 дБ при нагреве и на 0,3 дБ при охлаждении. Изменение коэффициента усиления при изменении температуры может возрастать, когда транзистор работает в линейной области. Однако изменение коэффициента усиления при изменении температуры и выходной мощности могут быть уменьшены путем плавной настройки величины напряжения смещения затвора, которое регулирует Idq. Тестовая плата Microsemi не имеет цепей температурной компенсации, позволяя разработчикам использовать предпочтительные для них методы, если это необходимо. Измерение температуры при переходном процессе показывает, что температурный пик достигает 97 °C.

Перспективы

Недавно линейка GaN-транзисторов фирмы Microsemi пополнилась изделием DMEGN-700V. Это внутренне согласованный мощный транзистор GaN on SiC, работающий в классе AB с коэффициентом усиления 18 дБ и выходной мощностью 700 Вт. Он специально создан для системы ADME и действует в диапазоне 1025–1150 МГц с импульсами формата 10 мкс, 1%.

По материалам сайта www.microsemi.com