

Модулятор питания для GaN СВЧ усилителя мощности

Борисов О. В., Глыбин А. А., Ивко А. М., Колковский Ю. В.

Представлены результаты разработки, экспериментального исследования и внедрения конструкции модулятора для твердотельного СВЧ передатчика X-диапазона с вторичным источником питания, буферным и накопительным конденсаторами и двумя инверсно управляемыми ключами. Результаты экспериментальных исследований показывают, что разработанная конструкция позволяет обеспечивать высокий КПД передатчика при значительном снижении разогрева передатчика, эффективно защищать усилительный тракт от внесения помех с частотами преобразования ВИП и усиливать СВЧ сигнал с уровнем фазовых шумов -120 дБ/Гц (при частоте отстройки 100 кГц) без внесения дополнительных шумов и фазовых искажений в СВЧ сигнал.

Введение

На современном рынке радиолокационных систем наиболее востребованы твердотельные усилители мощности благодаря их высокому сроку службы и малым габаритам. Постоянное развитие систем слежения за объектами подразумевает применение различных видов модуляции (фазовая модуляция, фазовая манипуляция, амплитудная модуляция). Для работы с этими типами модуляции СВЧ сигнал должен иметь низкие фазовые и амплитудные шумы. Эти требования к СВЧ сигналу и большое тепловыделение СВЧ транзисторов подразумевают сложную систему электропитания и охлаждения. В системе, для которой разрабатывался модулятор, используются GaN транзисторы, которые в отличие от GaAs транзисторов имеют более высокий КПД и позволяют работать в линейной области при больших мощностях. Однако GaN транзисторы имеют большее тепловыделение с малой площади из-за более высоких удельных мощностей.

1. Постановка задачи

Диапазон длительности импульсов в современных РЛС составляет от 0,5 до 200 мкс при минимальной скважности $Q = 4$. Для улучшения теплового режима СВЧ транзистора необходимо модулировать не только радиочастотный импульс, но и напряжение питания. Причём импульс питания СВЧ транзистора должен быть шире СВЧ импульса не менее чем на 100 нс, для того чтобы избежать искажения СВЧ импульса на фронтах питания и обеспечить разогрев кристалла перед рабочим СВЧ импульсом. То есть при минимальной длительности СВЧ импульса 0,5 мкс и скважности менее $Q = 4$ скважность импульса питания приближается к 2. Для сохранения максимально возможного значения скважности импульсов питания и снижения тепловыделения скорость нарастания и спада импульсов должна быть менее 100 нс.

Чтобы исключить влияние шумов импульсного источника питания на СВЧ сигнал, был применён «двухключевой метод», схема которого приведена на рис. 1.

Принцип действия данного метода лежит в инверсном управлении ключами. Последовательность работы данной схемы:

1. ключ 1 замкнут, ключ 2 разомкнут – происходит заряд конденсатора $C1$;
2. ключ 1 разомкнут, ключ 2 замкнут – происходит питание Rn .

Таким образом осуществляется питание транзистора от заряженного конденсатора

в импульсном режиме, исключая паразитные амплитудные составляющие ШИМ преобразователя в СВЧ сигнал.

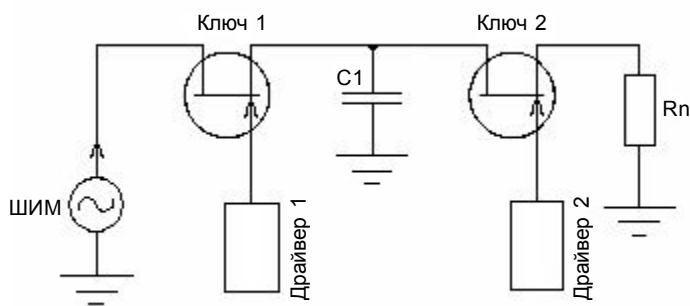


Рис. 1

Схема двухключевого модулятора

2. Разработка модулятора

Разработанный модулятор имеет диапазон входных напряжений 48-72 В. Для конвертации напряжения вниз был применён ШИМ преобразователь с выходным напряжением 5-45 В, способный отдавать в нагрузку 20 А. Несмотря на наличие дискретных составляющих в спектре питания ШИМ преобразователя в сравнении с линейным источником, выбор был

сделан в сторону первого, так как ШИМ преобразователь имеет значительно более высокий КПД.

Для эффективной работы данной схемы в качестве ключей были использованы мощные переключательные МДП (MOSFET) полевые транзисторы.

Высокая скорость переходного процесса при подключении энергонакопительного конденсатора к нагрузке обеспечивается малым эквивалентным последовательным сопротивлением и малой величиной паразитной индуктивности конденсатора. Для получения необходимых параметров модулятора в качестве энергонакопителя был использован гибридный конденсатор фирмы EVANS с большой ёмкостью 8200 мкФ на 80 В, с малым эквивалентным последовательным сопротивлением [1]. Номинал конденсатора подобран таким образом, чтобы при длительности импульса 200 мкс и токе нагрузки 20 А падение напряжения не превышало 10%.

Для формирования фронтов импульса питания менее 100 нс были применены современные схемотехнические решения [2], в частности, драйвер, способный отдавать в затвор МОП ключа ток равный 4 А за 50 нс [3]. Фронт импульса питания, измеренный на истоке ключа 2, показан на рис. 2.

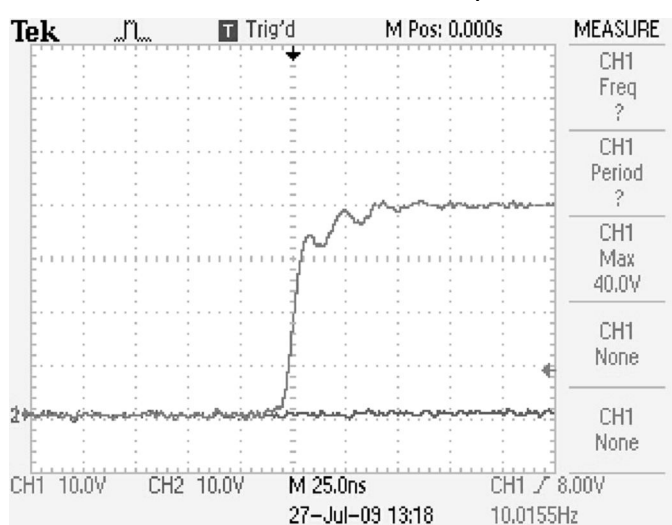


Рис. 2

Фронт импульса на истоке ключа 2

Поскольку спектр фронта сигнала превышает 10 МГц, важную роль играет линия передачи от источника питания до СВЧ транзистора. В разработанном устройстве была применена 50-омная линия передачи длиной 120 мм с подстроечным конденсатором, подключённым параллельно нагрузке. Такой метод дал хороший экспериментальный результат, отображённый на рис. 3.

Фронт импульса, измеренный после линии передачи, составляет 75 нс, что удовлетворяет поставленным требованиям. Габариты составляют (ДхШхВ) 100 ммх55 ммх22 мм. Внешний вид модулятора питания представлен на рис. 4.

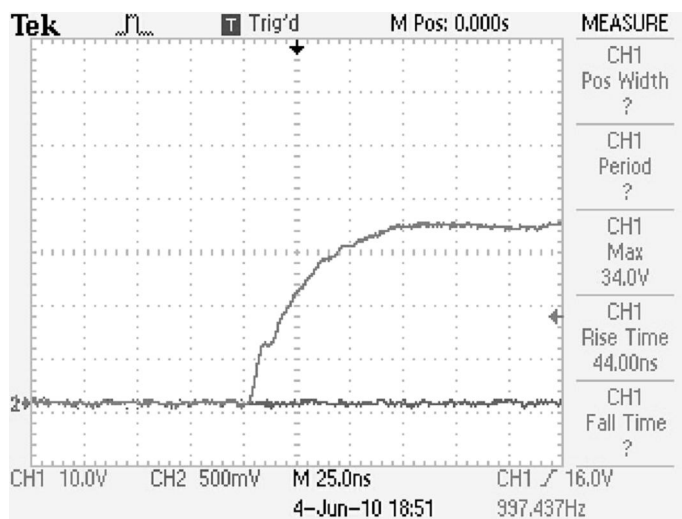


Рис. 3

Фронт импульса на нагрузке

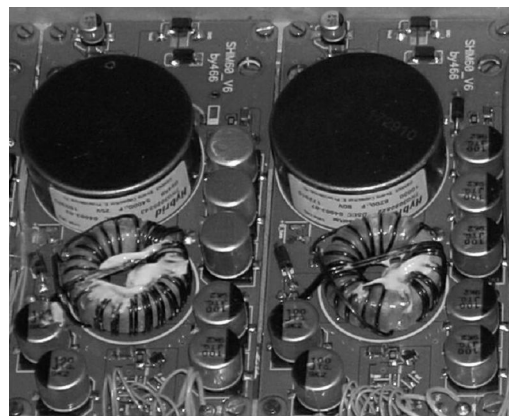


Рис. 4

Модулятор питания

Внешний вид твердотельного GaN СВЧ усилителя мощности с модуляторами питания представлен на рис. 5. Конструкция разработанного модуля герметична и выполнена по технологии «система в корпусе».

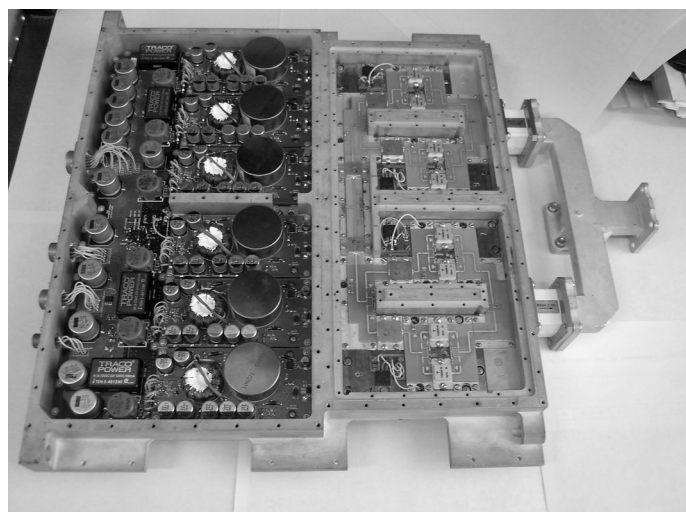


Рис. 5

GaN СВЧ усилителя мощности с модуляторами

- спад вершины импульса при длительности 200 мкс не превышает 6%;
- значительно снижено проникновение импульсных помех от широтно-импульсного преобразователя напряжения в нагрузку.

При измерении модуля использовалось оборудование: анализатор спектра Rohde-schwarz FSUP и осциллограф Agilent DSO5012A.

Литература

1. <http://www.evanscap.com/pdf/THQ3-LSpec.pdf>, USA
2. Хансiaoхим Блум. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств // Издательский дом «Додэка-XXI», 2008, Москва, 352 с.
3. <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irs21850spbf.pdf>, USA