

УДК 621.375.026

А.А. Титов

Амплитудная манипуляция по цепям смещения и питания в полосовом усилителе мощности на полевых транзисторах

Рассмотрены особенности построения формирователей мощных радиоимпульсов на основе управления питанием и смещением в усилителе на полевых транзисторах.

Ключевые слова: усилители, формирователи радиоимпульсов, управление, полевые транзисторы.

При построении полосовых усилителей мощности (ПУМ) УВЧ- и СВЧ-диапазонов используется, как правило, режим работы транзисторов без отсечки. Это связано с уменьшением на 6 дБ коэффициента усиления каждого каскада усилителя при переводе транзисторов из режима без отсечки к режиму с отсечкой, что в УВЧ- и СВЧ-диапазонах оказывается недопустимым [1]. В этих условиях получение мощных радиоимпульсов на основе использования маломощных модуляторов с последующим усилением сформированного сигнала ПУМ оказывается не эффективным. Переход к формированию радиоимпульсов на основе управления питанием или смещением транзисторов ПУМ позволяет во много раз повысить его средний коэффициент полезного действия.

Однако отсутствие публикаций, посвященных рассмотрению особенностей построения формирователей радиоимпульсов на основе управления питанием или смещением транзисторов ПУМ, затрудняет построение указанных формирователей. В данной работе проведен сравнительный анализ достоинств схем управления питанием и смещением на основе их использования в ПУМ УВЧ-диапазона.

Схема исследуемого ПУМ со схемами управления питанием и смещением приведена на рисунке 1.

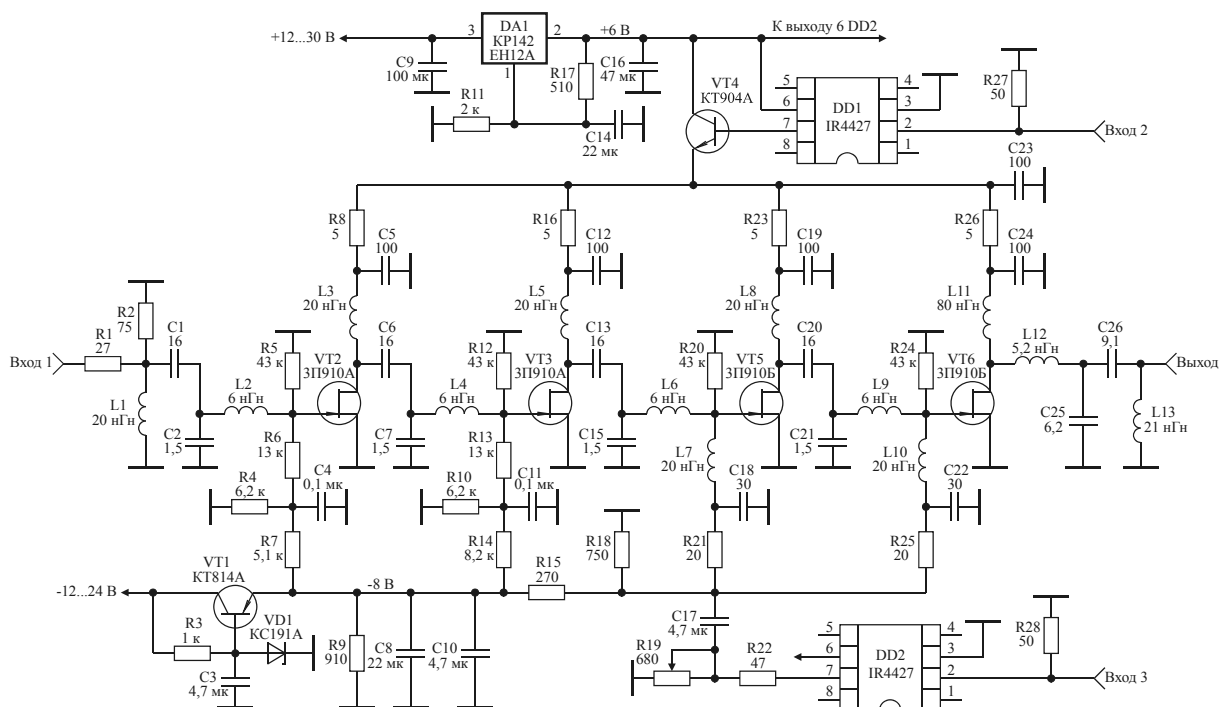


Рис. 1. Полосовой усилитель мощности со схемами управления питанием и смещением

Формирователь радиоимпульсов, состоящий из ПУМ и схем управления питанием и смещением, содержит четыре каскада усиления на транзисторах $VT2$, $VT3$, $VT5$, $VT6$, выходной трансформатор сопротивлений на элементах $L12$, $C25$, $C26$, $L13$, стабилизаторы напряжения на микросхеме $DA1$ и транзисторе $VT1$, схему управления питанием на транзисторе $VT4$ и драйвере $DD1$, схему управления смещением на драйвере $DD2$.

Технические характеристики ПУМ:

- выходная мощность 1,5 Вт;
- полоса пропускания 400...700 МГц;
- неравномерность АЧХ $\pm 1,5$ дБ;
- коэффициент усиления 52 дБ;
- сопротивление генератора и нагрузки 50 Ом.

Одним из основных параметров качества схемы управления формирователя является время установления фронта формируемых радиоимпульсов, определяющего информационную емкость систем связи и точность радиолокационных систем.

При амплитудной манипуляции на основе управления питанием, основными элементами, определяющими время установления фронта формируемых радиоимпульсов, являются дроссели в стоковых цепях усилительных каскадов и конденсаторы фильтров, устраняющие общие обратные связи по цепям питания. Лучшим способом минимизации указанных элементов является их включение в корректирующие цепи, осуществляющие межкаскадное согласование и формирование требуемой амплитудно-частотной характеристики ПУМ. Анализ известных схемных решений построения корректирующих цепей, используемых в ПУМ [2, 3], показал, что наилучшим образом этому условию удовлетворяет четырехполюсная реактивная корректирующая цепь четвертого порядка [4]. Эта цепь и была использована во всех четырех каскадах ПУМ. На рисунке 1 это элементы: $L1$, $C1$, $C2$, $L2$; $L3$, $C6$, $C7$, $L4$; $L5$, $C13$, $C15$, $L6$; $L8$, $C20$, $C21$, $L9$. Питание на стоки транзисторов $VT2$, $VT3$, $VT5$ подается через элементы корректирующих цепей $L3$, $L5$, $L8$, что в теории радиопередающих устройств [2] называется схемой последовательного питания.

Методика расчета рассматриваемой корректирующей цепи, при ее использовании в ПУМ на биполярных транзисторах, приведена в [4]. Однако для ПУМ на полевых транзисторах она отсутствует. Достаточно хорошее начальное приближение, используемое в дальнейшем при оптимизации в среде Microwave Office [5] либо при экспериментальной отработке макетов ПУМ, для значений элементов цепи может быть найдено из соотношений:

$$\begin{aligned} L_1[\text{нГн}] &= \frac{3 \cdot \theta^2}{f_{\text{cp}}[\text{ГГц}]}; \\ C_1[\text{пФ}] &= \frac{17}{\theta \cdot f_{\text{cp}}[\text{ГГц}]}; \\ C_2[\text{пФ}] &= \frac{7}{\theta^3 \cdot f_{\text{cp}}[\text{ГГц}]}; \\ L_2[\text{нГн}] &= \frac{0,8 \cdot \theta^2}{f_{\text{cp}}[\text{ГГц}]} \end{aligned} \quad (1)$$

где $\theta = f_{\text{в}}/f_{\text{н}}$ – относительная полоса пропускания ПУМ;

$f_{\text{в}}$, $f_{\text{н}}$ – верхняя и нижняя граничные частоты полосы пропускания ПУМ;

$f_{\text{cp}}[\text{ГГц}] = (f_{\text{в}} + f_{\text{н}})/2$ – средняя частота полосы пропускания ПУМ в ГГц.

В соотношениях (1) указаны элементы корректирующей цепи первого каскада ПУМ, однако по аналогии могут быть рассчитаны и остальные корректирующие цепи усилителя. При подстановке в (1) значений частоты f_{cp} в ГГц, значения элементов получаются в нГн и пФ.

На выходе ПУМ включен трансформатор сопротивлений 1:4, выполненный в виде полового фильтра на элементах $L12$, $C25$, $C26$, $L13$ [6], реализующий оптимальное сопротивление нагрузки транзистора $VT6$, и обеспечивающий, тем самым, получение максимальной

мощности в нагрузке усилителя. Использование других типов трансформаторов сопротивлений [2, 6] при полосе рабочих частот ПУМ, превышающей четверть октавы, приводит к значительным потерям выходной мощности из-за значительного частотно-зависимого отклонения их коэффициента трансформации от заданного значения [3]. Недостатком используемого трансформатора сопротивлений является невозможность реализации схемы последовательного питания транзистора VT6. Поэтому для подачи питания на транзистор VT6 использовалась схема параллельного питания с помощью дросселя L11.

Расчеты в среде Microwave Office [5] и экспериментальные исследования показали, что, для исключения влияния конденсаторов фильтров питания C5, C12, C19, C24 и дросселя L11 на амплитудно-частотную характеристику ПУМ, должны выполняться следующие условия:

$$C_i[\text{пФ}] \geq \frac{40}{f_n[\text{ГГц}]}; L[\text{нГн}] \geq \frac{32}{f_n[\text{ГГц}]},$$

где $f_n[\text{ГГц}]$ – нижняя граничная частота ПУМ в ГГц.

Формирование радиоимпульсов с использованием схемы управления питанием на транзисторе VT4 и драйвере DD1 позволило получить время установления фронта радиоимпульсов равное 45 нс, при собственном времени установления фронта импульсов, генерируемых схемой управления питанием при работе на активную нагрузку, составляющем 15 нс.

Реализация амплитудной манипуляции на основе управления смещением на затворах затруднена необходимостью подачи различных смещающих напряжений на транзисторы разных типов. Поэтому при исследовании управление смещением осуществлялось в выходных каскадах ПУМ (см. рис. 1, транзисторы VT5, VT6). Для исключения влияния элементов схемы управления смещением на амплитудно-частотную характеристику ПУМ, сигналы управления на затворы подавались через фильтры второго порядка, состоящие из элементов L7, C18 и L10, C22.

Расчеты в среде Microwave Office [5] и экспериментальные исследования показали, что, для исключения влияния элементов фильтров L7, C18 и L10, C22 на амплитудно-частотную характеристику ПУМ, должны выполняться следующие условия:

$$C_i[\text{пФ}] \geq \frac{12}{f_n[\text{ГГц}]}; L_i[\text{нГн}] \geq \frac{8}{f_n[\text{ГГц}]}.$$

Формирование радиоимпульсов с использованием схемы управления смещением на драйвере DD2 позволило получить время установления фронта радиоимпульсов равное 20 нс. Это примерно вдвое меньше времени установления фронта радиоимпульсов формируемых с использованием схемы управления питанием.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. При необходимости получения минимального времени установления фронта формируемых радиоимпульсов следует использовать схему управления смещением на затворах полевых транзисторов. Использование схемы управления питанием приводит к увеличению длительности фронта радиоимпульса примерно в два раза. Однако в этом случае для формирования радиоимпульсов может быть использован любой серийно выпускаемый усилитель практически без вмешательства в его конструктивную и схемную реализацию.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, грант 08-02-99025-р_офи.

Литература

1. Титов А.А. Повышение коэффициента полезного действия выходных каскадов полупроводниковых усилителей мощности метрового, дециметрового диапазонов волн / А.А. Титов, М.А. Титова // Труды вузов России. Радиоэлектроника. – 2007. – №1. – С. 3–9.
2. Радиопередающие устройства / В.В. Шахгильдян, В.Б. Козырев, А.А. Ляховкин и др. / под ред. В.В. Шахгильдяна. – М. : Радио и связь, 2003. – 560 с.
3. Титов А.А. Транзисторные усилители мощности МВ и ДМВ. – М. : Солон-Пресс, 2006. – 328 с.

4. Титов А.А. Параметрический синтез межкаскадных корректирующих цепей высокочастотных усилителей мощности / А.А. Титов, Д.А. Григорьев // Радиотехника и электроника. – 2003. – №4. – С. 442–448.

5. Разевиг В.Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office / В.Д. Разевиг, Ю.В. Потапов, А.А. Курушин / под ред. В.Д. Разевига. – М. : Солон-Пресс, 2003. – 496 с.

6. Титов А.А. Синтез трансформаторов сопротивлений выходных каскадов передатчиков систем радиовещания и радиосвязи / А.А. Титов, М.А. Титова // Известия ТПУ. – 2005. – №1. – С. 165–170.

Титов Александр Анатольевич

Профессор кафедры радиоэлектроники и защиты информации ТУСУРа

Тел. сот.: 8-913-812-12-96

Эл. почта: titov_aa@rk.tusur.ru

A.A. Titov

Amplitude manipulation on circuits gate and of power supply in the amplifier of on field transistors

Features of two circuit decisions of realization of amplitude manipulation in the amplifier on field transistors are considered. The basic scheme of the amplifier with drive on circuits' gate and of power supply, and also results of experimental researches is resulted.

Keywords: amplifiers, shapers of radio impulses, management, field transistors.
