

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ПОЛОСОВОЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ДИАПАЗОНА 20...1000 МГц

Александр Титов

Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники. Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 40

Тел. (382-2) 51-65-05, E-mail: titov_aa@rk.tusur.ru

(Радиодело. – 2005. – № 11. – С. 40–43)

Полосовые усилители мощности являются неотъемлемой составной частью практически любой радиотехнической системы и во многом определяют ее параметры. В статье описана конструкция и методика настройки полосового усилителя мощности, изменение рабочего диапазона частот которого сводится к перестройке выходного трансформатора сопротивлений, выполненного в виде полосового фильтра четвертого порядка. Такой подход позволил упростить и унифицировать задачу построения ряда полосовых усилителей мощности, перекрывающих диапазон частот 20...1000 МГц.

Технические характеристики усилителя:

- выходная мощность 3,8...5 Вт;
- полоса пропускания около половины октавы с центральной частотой в диапазоне 20...1000 МГц;
- неравномерность амплитудно-частотной характеристики $\pm 1,5$ дБ;
- коэффициент усиления, не менее 30 дБ;
- сопротивление генератора и нагрузки 50 Ом;
- потребляемый ток в режиме молчания 0,4 А;
- максимальное значение потребляемого тока 1,1 А;
- напряжение питания +13...30 В;
- габаритные размеры 90·87·30 мм.

Задача построения линейки полосовых усилителей мощности перекрывающих диапазон частот в несколько октав может быть решена различными способами. Наиболее удобным представляется использование унифицированного усилителя, настройка которого на любой из поддиапазонов сводилась бы к изменению минимального числа элементов схемы. Это возможно при построении полосовых усилителей мощности на основе мощного широкополосного усилителя, выходной каскад которого переводится в режим работы с отсечкой. В этом случае изменение рабочего диапазона частот полосового усилителя будет заключаться в перестройке выходного транс-

форматора сопротивлений, обеспечивающего реализацию оптимального сопротивления нагрузки транзистора выходного каскада.

Рассматриваемая концепция построения полосовых усилителей мощности была использована при разработке мощного сверхширокополосного усилителя диапазона 20...1000 МГц. Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 1. На рис. 2 приведена принципиальная схема перестраиваемого полосового усилителя мощности, в основу которого положена схема мощного сверхширокополосного усилителя приведенного на рис. 1. На рис. 3 приведен чертеж печатной платы, позволяющей осуществлять монтаж и настройку мощного сверхширокополосного усилителя (рис. 1), а затем его перестройку в полосовой усилитель мощности, схема которого дана на рис. 2. На рис. 4 и 5 показано размещение элементов мощного сверхширокополосного усилителя (рис. 1) и полосового усилителя мощности (рис. 2). На рис. 6 и 7 приведены фотографии настроенного мощного сверхширокополосного усилителя (рис. 1) и полосового усилителя мощности (рис. 2).

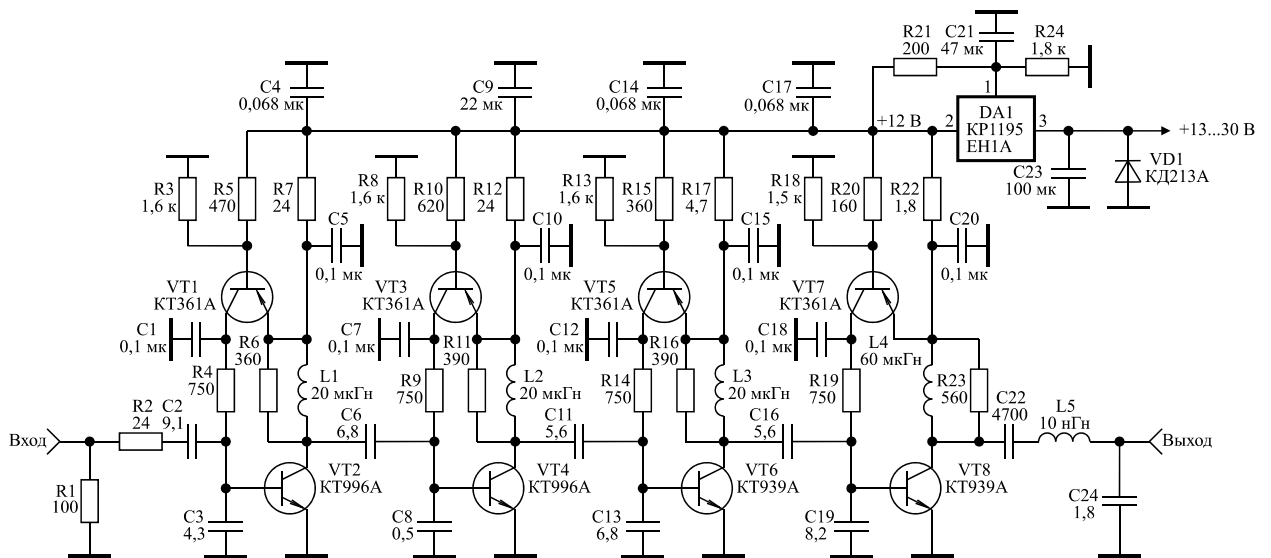


Рис. 1. Принципиальная схема мощного сверхширокополосного усилителя

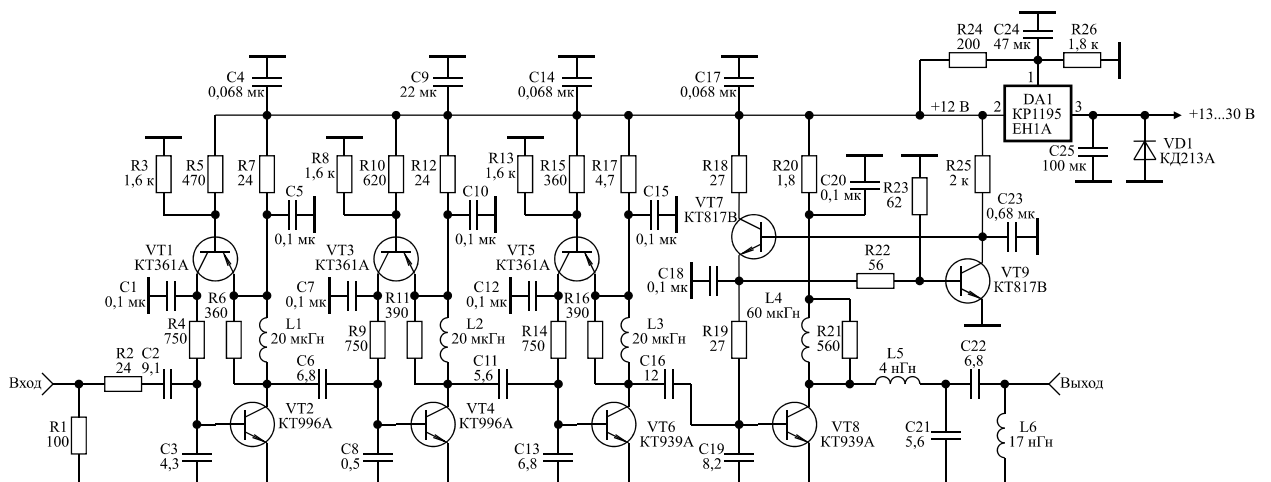


Рис. 2. Принципиальная схема полосового усилителя мощности

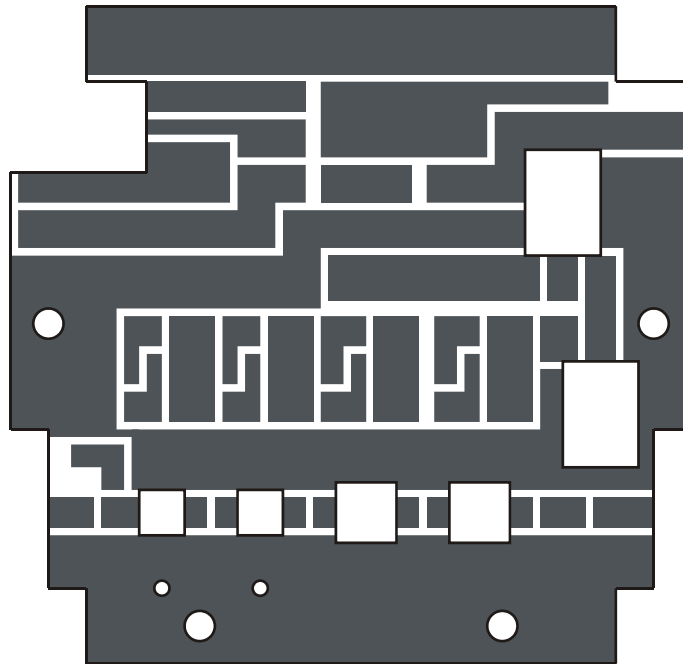


Рис. 3. Чертеж печатной платы унифицированного усилителя

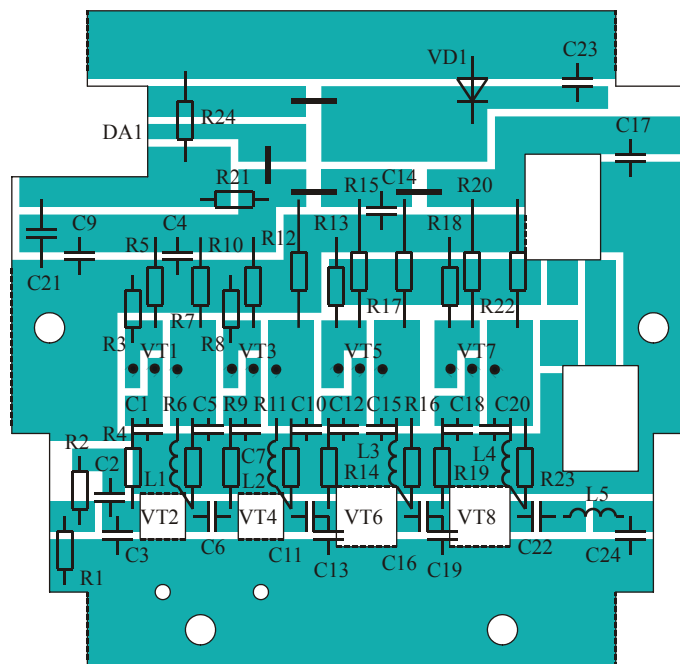


Рис. 4. Размещение элементов мощного сверхширокополосного усилителя на печатной плате

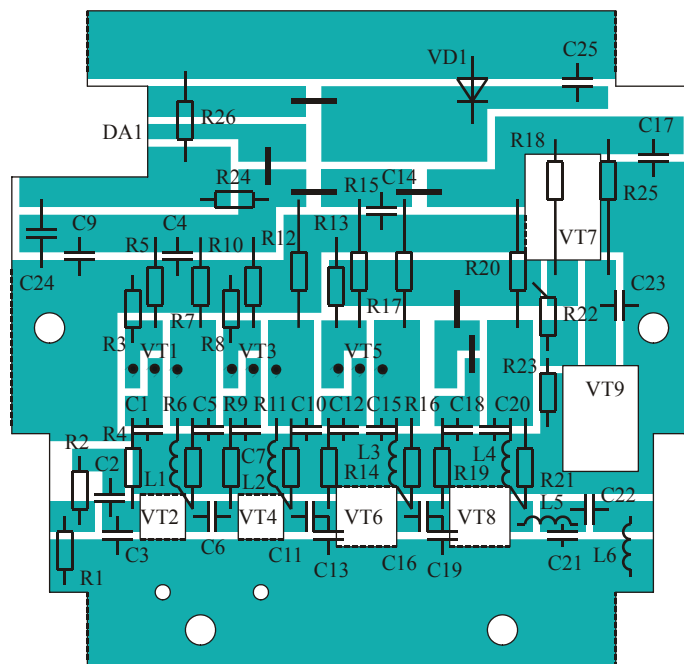


Рис. 5. Размещение элементов полосового усилителя мощности на печатной плате

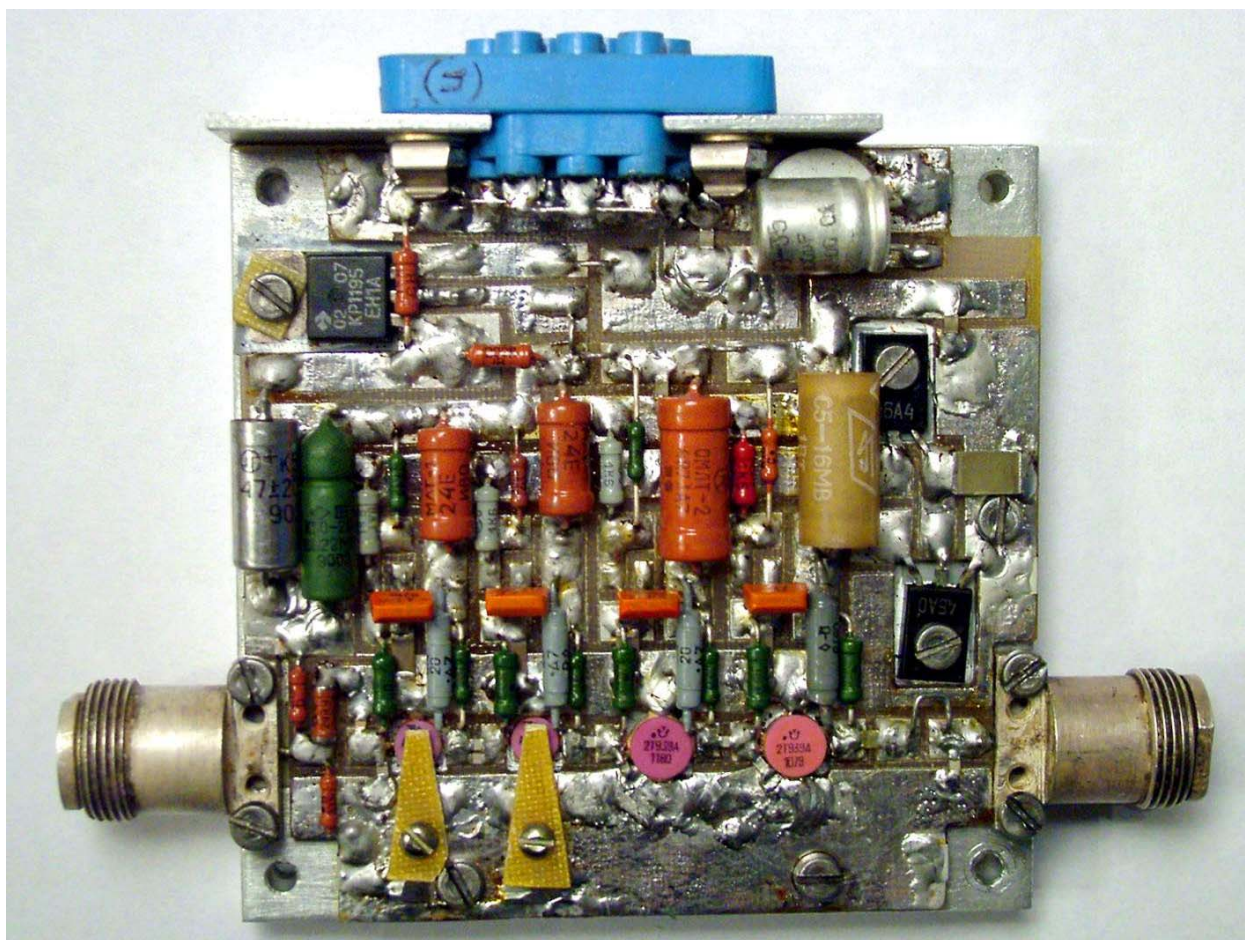


Рис. 6. Фотография мощного сверхширокополосного усилителя

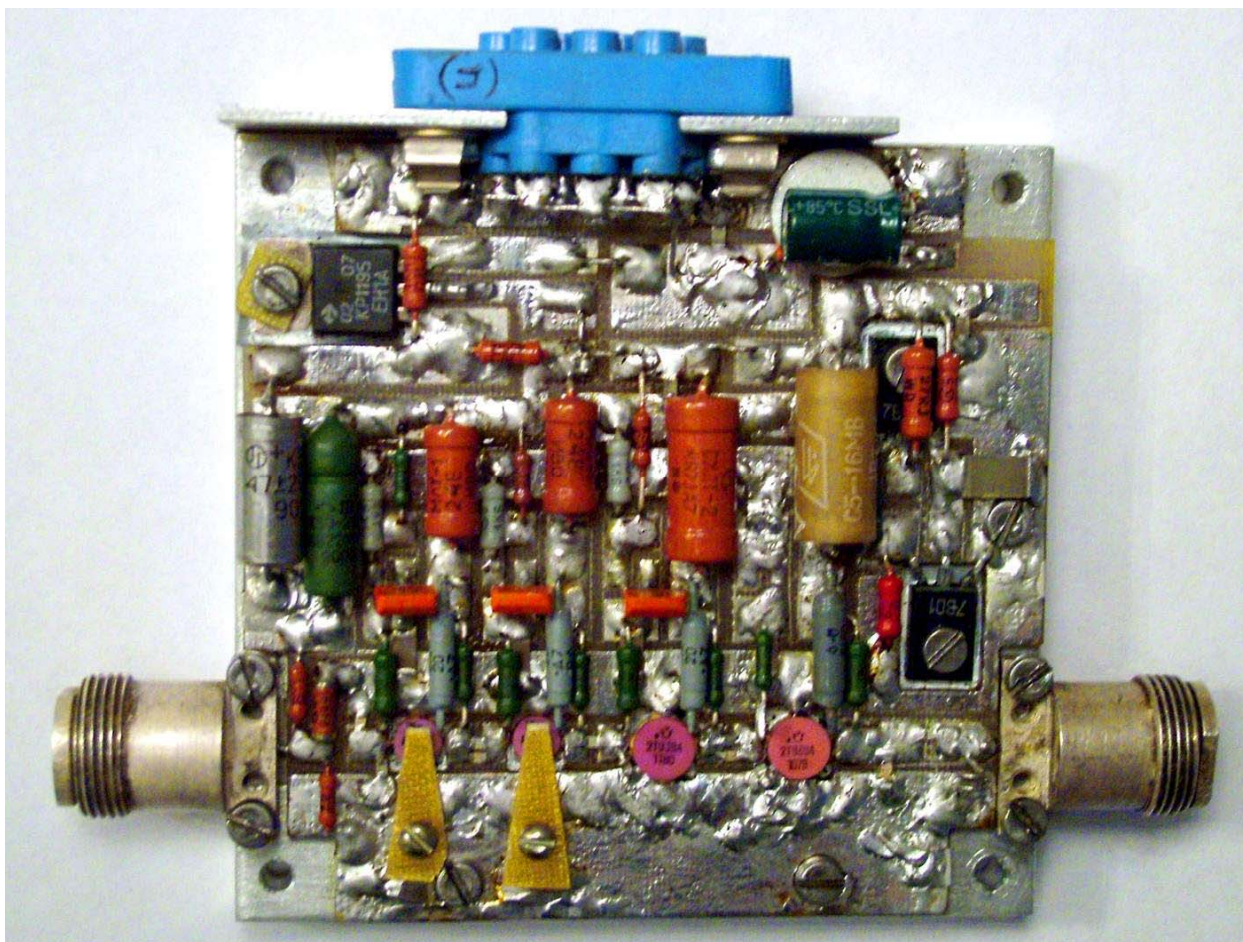


Рис. 7. Фотография полосового усилителя мощности

Мощный сверхширокополосный усилитель (рис. 1) содержит четыре каскада усиления на транзисторах VT_2 , VT_4 , VT_6 , VT_8 , включенных по схеме с общим эмиттером. Все каскады усилителя работают в режиме класса A с токами покоя транзисторов VT_2 , VT_4 , VT_6 , VT_8 равными 0,08; 0,12; 0,2; и 0,3 А соответственно. Во всех каскадах использована схема активной коллекторной термостабилизации [1]. Токи покоя транзисторов VT_2 , VT_4 , VT_6 , VT_8 устанавливаются подбором номиналов резисторов R_5 , R_{10} , R_{15} , R_{20} . Уменьшение указанных резисторов приводит к уменьшению токов покоя и наоборот. Во всех каскадах использованы реактивные межкаскадные корректирующие цепи третьего порядка [2, 3], где в качестве одного из элементов корректирующей цепи используется индуктивная составляющая входного сопротивления транзистора [3, 4]. В усилителе использованы безиндуктивные конденсаторы типа К10-42 в высокочастотном тракте и типа К10-17 в цепях фильтрации.

Настройка усилителя состоит из следующих этапов. Вначале с помощью резисторов R_5 , R_{10} , R_{15} , R_{20} устанавливаются токи покоя транзисторов VT_2 , VT_4 , VT_6 , VT_8 . Для этого указанные резисторы поочередно заменяются потенциометрами и по измерениям напряжений на резисторах R_7 , R_{12} , R_{17} , R_{22} устанавливаются требуемые токи покоя указанных транзисторов. Затем

впаиваются все элементы высокочастотного тракта за исключением конденсаторов $C13$, $C19$ и $C24$. На рис. 4 конденсатор $C8$ не указан, так как в качестве $C8$ используется металлизированная площадка, к которой припаивается база транзистора $VT4$.

При включении усилителя без конденсаторов $C13$, $C19$ и $C24$ его амплитудно-частотная характеристика в режиме малого сигнала будет равномерна до частот 600...700 МГц с дальнейшим медленным спадом, составляющим на частоте 1000 МГц около 7...10 дБ. Подключением конденсаторов $C13$ и $C19$ следует выровнять амплитудно-частотную характеристику в области частот 700...1000 МГц.

Выходная ёмкость транзистора $VT8$ оказывается включенной параллельно нагрузке, что приводит к уменьшению максимального значения выходной мощности усилителя с ростом частоты. Для устранения указанного недостатка на выходе усилителя установлены элементы $L5$ и $C24$, образующие совместно с выходной ёмкостью транзистора $VT8$ фильтр нижних частот [5]. Поэтому с помощью подключения и варьирования в небольших пределах значением емкости конденсатора $C24$ следует добиться выравнивания максимальной величины выходной мощности усилителя в верхней части рабочего диапазона частот.

Технические характеристики настроенного мощного сверхширокополосного усилителя: выходная мощность 1...1,3 Вт; полоса рабочих частот 20...1000 МГц; коэффициент усиления 38 дБ; неравномерность амплитудно-частотной характеристики $\pm 1,5$ дБ.

Достоинством усилителя является высокая повторяемость характеристик, что важно при его тиражировании и перестройке в полосовые усилители мощности заданного частотного диапазона.

Перестройка мощного сверхширокополосного усилителя в полосовой усилитель мощности состоит из следующих этапов. Из сверхширокополосного усилителя (рис. 1) выпаиваются элементы схемы активной коллекторной термостабилизации выходного каскада $R18$, $R19$, $R20$, $VT7$ и устанавливаются элементы стабилизатора напряжения базового смещения (см. рис. 2, элементы $R18$, $R19$, $R22$, $R23$, $R25$, $C23$, $VT7$, $VT9$). Далее с помощью резистора $R23$ ток покоя транзистора $VT8$ устанавливается в пределах 20...60 мА. Методика расчета используемого стабилизатора напряжения базового смещения дана в [6]. Конденсатор $C16$ емкостью 5,6 пФ заменяется конденсатором емкостью 12 пФ. Это необходимо для облегчения режима работы предоконечного каскада, поскольку транзистор $VT8$ переводится в режим работы с отсечкой.

После включения усилителя его выходная мощность должна остаться неизменной, то есть около 1...1,3 Вт во всем рабочем диапазоне 20...1000 МГц. Для повышения выходной мощности усилителя из схемы (см. рис. 1) следует удалить элементы $C22$, $C24$, $L5$ и на их место установить трансформатор сопротивлений (см. рис. 2, элементы $L5$, $L6$, $C21$, $C22$), обеспечивающий оптимизацию сопротивления нагрузки транзистора выходного каскада.

Значения элементов $L5$, $L6$, $C21$, $C22$ на рис. 2 соответствуют трансформатору с коэффициентом трансформации равным 2,5 раза и относительной полосой пропускания $f_b/f_n = 1,5$, где f_b и f_n верхняя и нижняя рабочие частоты трансформатора. То есть входное сопротивление трансформатора, при нагрузке равной 50 Ом, составляет 20 Ом, которое является оптимальным для транзистора КТ939А. Верхняя рабочая частота трансформатора равна 1000 МГц, нижняя – 660 МГц. Методика расчета рассматриваемого трансформатора подробно описана в [7]. Средняя частота рабочего диапазона трансформатора равна: $(1000+660)/2=830$ МГц. Значения элементов трансформатора для другой средней частоты f_{cp} рабочего диапазона могут быть рассчитаны из соотношений:

$$\begin{aligned} L5[\text{нГн}] &= 4 \times 830 / f_{cp}[\text{МГц}]; \\ L6[\text{нГн}] &= 17 \times 830 / f_{cp}[\text{МГц}]; \\ C21[\text{пФ}] &= 5,6 \times 830 / f_{cp}[\text{МГц}]; \\ C22[\text{пФ}] &= 6,8 \times 830 / f_{cp}[\text{МГц}]; \end{aligned}$$

Например, для $f_{cp} = 125$ МГц значения элементов трансформатора равны: $L5 = 26,6$ нГн; $L6 = 113$ нГн; $C21 = 37$ пФ; $C22 = 45$ пФ, а верхняя и нижняя рабочие частоты 150 и 100 МГц соответственно.

После установки трансформатора сопротивлений выходная мощность разрабатываемого полосового усилителя в диапазоне рабочих частот трансформатора увеличивается до 3,8...5 Вт.

Полосовые усилители мощности, описываемые в статье, предназначены для работы в составе нелинейного локатора [8], где не требуется сильное подавление высших гармонических составляющих в спектре выходного сигнала. В противном случае между выходом полосового усилителя и нагрузкой следует устанавливать фильтры нижних частот, методика расчета которых подробно описана, например, в [9].

Печатная плата унифицированного усилителя (рис. 3) размером 90·87 мм изготавливается из фольгированного с двух сторон стеклотекстолита толщиной 1,5...2 мм. Пунктирными линиями на рис. 3 обозначены места металлизации торцов, что может быть сделано с помощью металлической фольги, которая припаивается к нижней и верхней части платы. Металлизация необходима для устранения паразитных резонансов и заземления нужных участков печатной платы.

Основание усилителя выполнено из дюралюминия толщиной 10 мм и при длительной его эксплуатации устанавливается на небольшой радиатор. Для этого по краям основания предусмотрены крепежные отверстия (см. рис. 6 и 7).

Все транзисторы усилителя крепятся к основанию с использованием теплопроводящей пасты. Для улучшения теплового контакта транзисторов $VT2$ и $VT4$ с основанием усилителя они прижаты к основанию стеклотекстолитовыми пластинами (см. рис. 6 и 7).

При креплении транзисторов *VT7* и *VT9* (см. рис. 2, 5 и 7) также используется теплопроводящая паста. Однако между транзисторами и основанием следует устанавливать слюдяную прокладку и перед настройкой усилителя с помощью тестера убедиться в том, что не нарушена изоляция между коллекторами транзисторов и земляной шиной.

Литература:

1. Титов А.А. Расчет схемы активной коллекторной термостабилизации и её использование в усилителях с автоматической регулировкой потребляемого тока // Электронная техника. Сер. СВЧ-техника. – 2001. – № 2. – С. 26–30.
2. Титов А.А., Ильюшенко В.Н. Транзисторные усилители мощности с повышенными энергетическими характеристиками. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2004. – 286 с.
3. Титов А.А. Параметрический синтез межкаскадной корректирующей цепи сверхширокополосного усилителя мощности // Известия вузов. Сер. Электроника. – 2002. – № 6. – С. 81–87.
4. Петухов В.М. Транзисторы и их зарубежные аналоги: Справочник. В 4 томах. – М.: Издательское предприятие РадиоСофт, 2000.
5. Широкополосные радиопередающие устройства / Алексеев О.В., Головкин А.А., Полевой В.В., Соловьев А.А.; Под ред. О.В. Алексеева. – М.: Связь, 1978. – 304 с.
6. Титов А.А. Расчет полосовых усилителей мощности УКВ диапазона // Радио. – 2005. – № 5. – С. 64–66.
7. Титов А.А. Расчет выходного трансформатора сопротивлений передатчика ДМВ // Схемотехника. – 2004. – № 9. – С. 28–29.
8. Мелихов С.В., Титов А.А. Широкополосный преобразователь частоты с повышенным динамическим диапазоном для нелинейного локатора // Приборы и техника эксперимента. – 1997. – № 6. – С. 92–95.
9. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров: Пер. с нем. – М.: Радио и связь, 1983. – 752 с.