

ПОЛОСОВОЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ДИАПАЗОНА 66...73 МГц

Александр Титов

634034, Россия, г. Томск, ул. Учебная, 50, кв. 17.

Тел. (382-2) 55-98-17, E-mail: titov_aa@rk.tusur.ru

(Радиомир. – 2005. – № 5. – С. 21–22, Радиомир. – 2005. – № 6. – С. 21–23)

Полосовые усилители мощности применяются во многих радиотехнических системах. Для повышения выходной мощности таких усилителей используются различные схемы сложения мощности, отдаваемой несколькими транзисторами. В статье приведено описание усилителя, в котором использованы кольцевые схемы деления и сложения мощности.

Технические характеристики усилителя:

- максимальный уровень выходной мощности, не менее – 140 Вт;
- полоса рабочих частот – 66...73 МГц;
- неравномерность амплитудно-частотной характеристики – $\pm 0,5$ дБ;
- коэффициент усиления – 12 дБ;
- сопротивление генератора и нагрузки – 75 Ом;
- потребляемый ток в режиме молчания – 0,06 А;
- потребляемый ток в режиме максимальной выходной мощности – 27 А;
- напряжение источника питания – 13,8 В;
- габаритные размеры кассеты усилителя – 235x180x40 мм;
- КСВН по входу, не более – 1,5.

Функциональная схема полосового усилителя мощности (ПУМ), предназначенного для работы в составе передатчика УКВ ЧМ вещания и являющегося модификацией схемного решения описанного в [1], приведена на рис. 1.

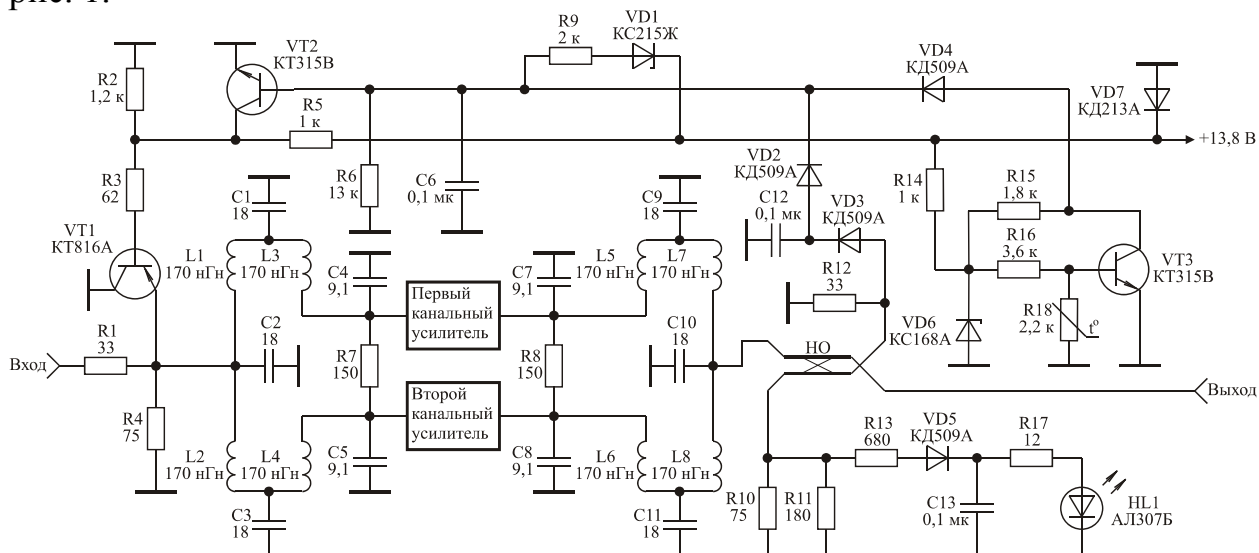


Рис. 1

ПУМ содержит два идентичных канальных усилителя (рис. 2); кольцевые делитель и сумматор мощности; схемы защиты от перегрузки по входу, от рассогласования по выходу, от превышения напряжением питания номинального значения, термозащиту.

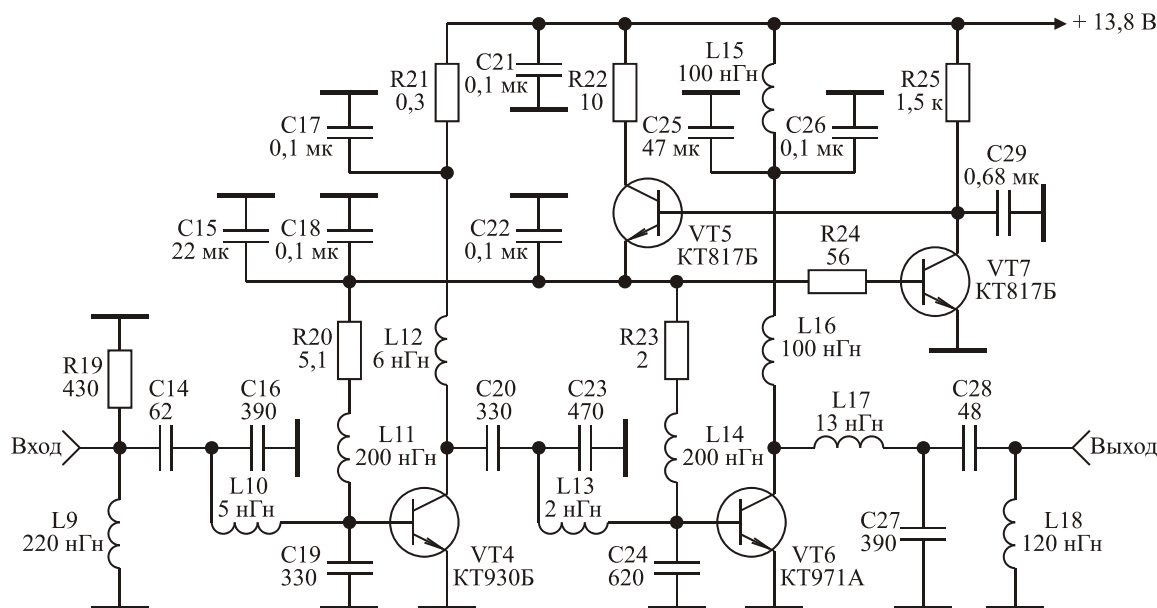


Рис. 2

Каждый из канальных усилителей имеет следующие характеристики: максимальный уровень выходной мощности 75 Вт; коэффициент усиления 20 дБ; полоса пропускания 64...75 МГц; неравномерность амплитудно-частотной характеристики $\pm 0,5$ дБ; сопротивление генератора и нагрузки 75 Ом.

На входе ПУМ включен делитель напряжения на резисторах $R1$ и $R4$, обеспечивающий согласование входа усилителя с сопротивлением генератора при срабатывании любой из защит.

Для защиты ПУМ от перегрузки по входу на выходе делителя установлен биполярный транзистор $VT1$, играющий роль самоуправяемого ограничителя входных сигналов. Порог срабатывания ограничителя устанавливается делителем на резисторах $R2$ и $R5$. С уменьшением постоянного напряжения на базе транзистора $VT1$ уменьшается сигнальное напряжение, подаваемое на вход кольцевого делителя мощности и на входы канальных усилителей соответственно. Величина постоянного напряжения на базе транзистора $VT1$ устанавливается приблизительно равной половине амплитуды номинального значения входного высокочастотного напряжения. Подробное описание физики работы ограничителя и методика его настройки подробно описаны в [1].

Ограничитель на транзисторе $VT1$ используется также в качестве управляемого ограничителя при срабатывании защиты от рассогласования по выходу, от превышения напряжением питания номинального значения, термозащиты [2].

С увеличением рассогласования нагрузки усилителя с его выходным сопротивлением увеличивается напряжение, снимаемое с выхода отраженной волны направленного ответвителя HO . Это напряжение детектируется детектором на диоде $VD3$ и, открывая транзистор $VT2$, приводит к уменьшению порога срабатывания ограничителя на транзисторе $VT1$. Поэтому мощность сигнала на выходе усилителя будет падать пропорционально росту рассогласования нагрузки. Минимизация напряжения, снимаемого с выхода отраженной волны направленного ответвителя HO при работе ПУМ на стандартную нагрузку, достигается подбором номинала резистора $R11$. Направленный ответвитель HO выполнен из двух проводов марки МГТФ 1x0,35 длиной 10 см, намотанных вплотную друг к другу на цилиндрический изолятор, который помещается затем в заземленный металлический цилиндрический экран. Порог срабатывания схемы защиты от рассогласования усилителя по выходу устанавливается выбором резистора $R12$. В качестве изолятора HO может быть использован деревянный цилиндр.

Схема термозащиты на транзисторе $VT3$ минимизирует напряжение управления при превышении температурой корпуса усилителя определенного значения. Терморезистор $R18$ схемы термозащиты приклеивается к корпусу усилителя эпоксидным клеем. С увеличением температуры корпуса сопротивление терморезистора падает, что приводит к запирающему транзистора $VT3$ и открыванию транзистора $VT2$. Установка схемы термозащиты на заданную температуру срабатывания осуществляется с помощью соответствующего выбора резистора $R16$.

Защита от превышения напряжением питания номинального значения выполнена на стабилитроне $VD1$ и приводит к падению выходной мощности усилителя при величине питающего напряжения более 15,5 вольт. Диод $VD7$ установлен для защиты транзисторов ПУМ от пробоя при неправильном выборе полярности напряжения питания.

В усилителе использованы кольцевые схемы сложения, выполненные на сосредоточенных элементах в виде фильтров нижних частот пятого порядка, применяемые для синфазного возбуждения и суммирования мощности двух каналов усиления и позволяющие создавать усилители с полосой пропускания до 20...30 % [3]. При изготовлении кольцевых схем сложения на элементах с сосредоточенными параметрами значения этих элементов могут быть рассчитаны по формулам [4]:

$$L_{\Sigma} = R_n / (2 \cdot \pi \cdot f_{cp}); C_{\Sigma} = 0,29 / (R_n \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_{cp}),$$

где R_n – сопротивление нагрузки; f_{cp} – средняя частота полосы пропускания усилителя.

В нашем случае, для $R_n = 75$ Ом и $f_{cp} = 70 \cdot 10^6$ Гц, имеем: $L1 = L2 = L3 = L4 = L5 = L6 = L7 = L8 = L_{\Sigma} = 170$ нГн; $C1 = C2 = C3 = C9 = C10 = C11 = 2 \cdot C_{\Sigma} = 18$ пФ; $C4 = C5 = C7 = C8 = C_{\Sigma} = 9$ пФ.

Транзисторы канальных усилителей работают в режиме с отсечкой коллекторного тока. Стабилизация угла отсечки обеспечивается стабилизатором напряжения базового смещения [1] на транзисторах $VT5$ и $VT7$.

Во всех усилительных каскадах использованы полосовые корректирующие цепи пятого порядка, обеспечивающие высокие технические характеристики усилителя и достаточно простые в конструктивном исполнении и

настройке [5]. Например, формирование амплитудно-частотной характеристики каскада на транзисторе $VT4$ с помощью корректирующей цепи, состоящей из элементов $L9, L10, C14, C16, C19$, производится в следующей последовательности. При заданных нижней f_H и верхней f_B частотах полосы пропускания ПУМ подбором конденсатора $C16$ устанавливается максимально возможный коэффициент усиления каскада на частоте f_B . Далее величина индуктивности $L9$ изменяется так, чтобы на частоте f_H коэффициент усиления каскада также стал максимально возможным. Если окажется, что на частоте f_H коэффициент усиления больше, чем на частоте f_B , следует уменьшить величину конденсатора $C14$ и заново найти оптимальное значение индуктивности $L9$.

На выходах канальных усилителей включены трансформаторы сопротивлений с коэффициентом трансформации 1:30, выполненные в виде полосовых фильтров четвертого порядка (элементы $L17, C27, C28, L18$) [6]. В этом случае ощущаемые сопротивления нагрузки транзисторов выходных каскадов равны около 2,5 Ом, что позволяет получить от них максимальную мощность.

Методика настройки подобных ПУМ подробно описана в [7].

На рис. 3 приведен чертеж печатной платы ПУМ, на рис. 4 показано размещение элементов, а на рис. 5 дана фотография его внешнего вида. ПУМ устанавливается на радиатор, обеспечивающий круглосуточную непрерывную его работу. Размеры радиатора 700x310x30 мм.

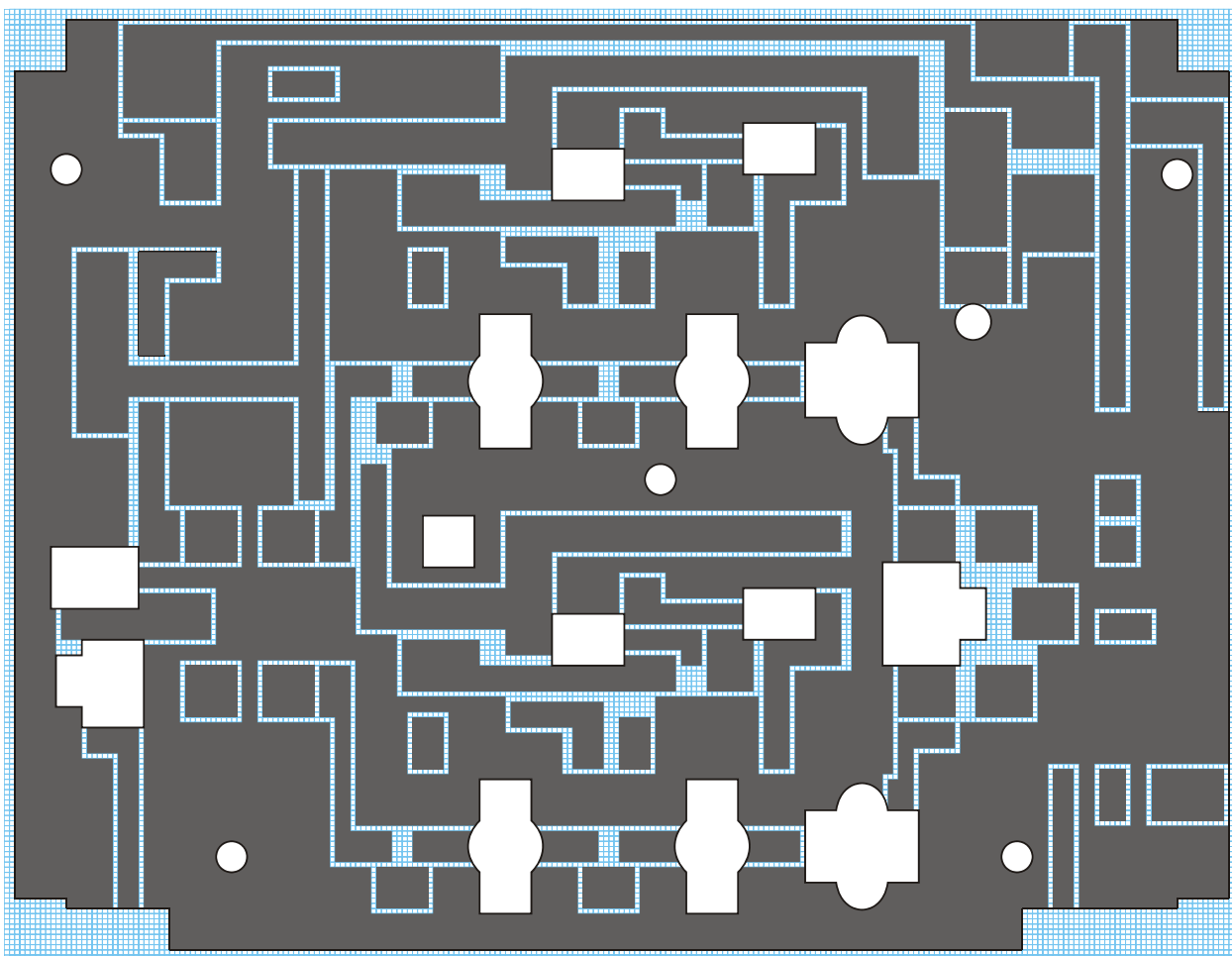


Рис. 3

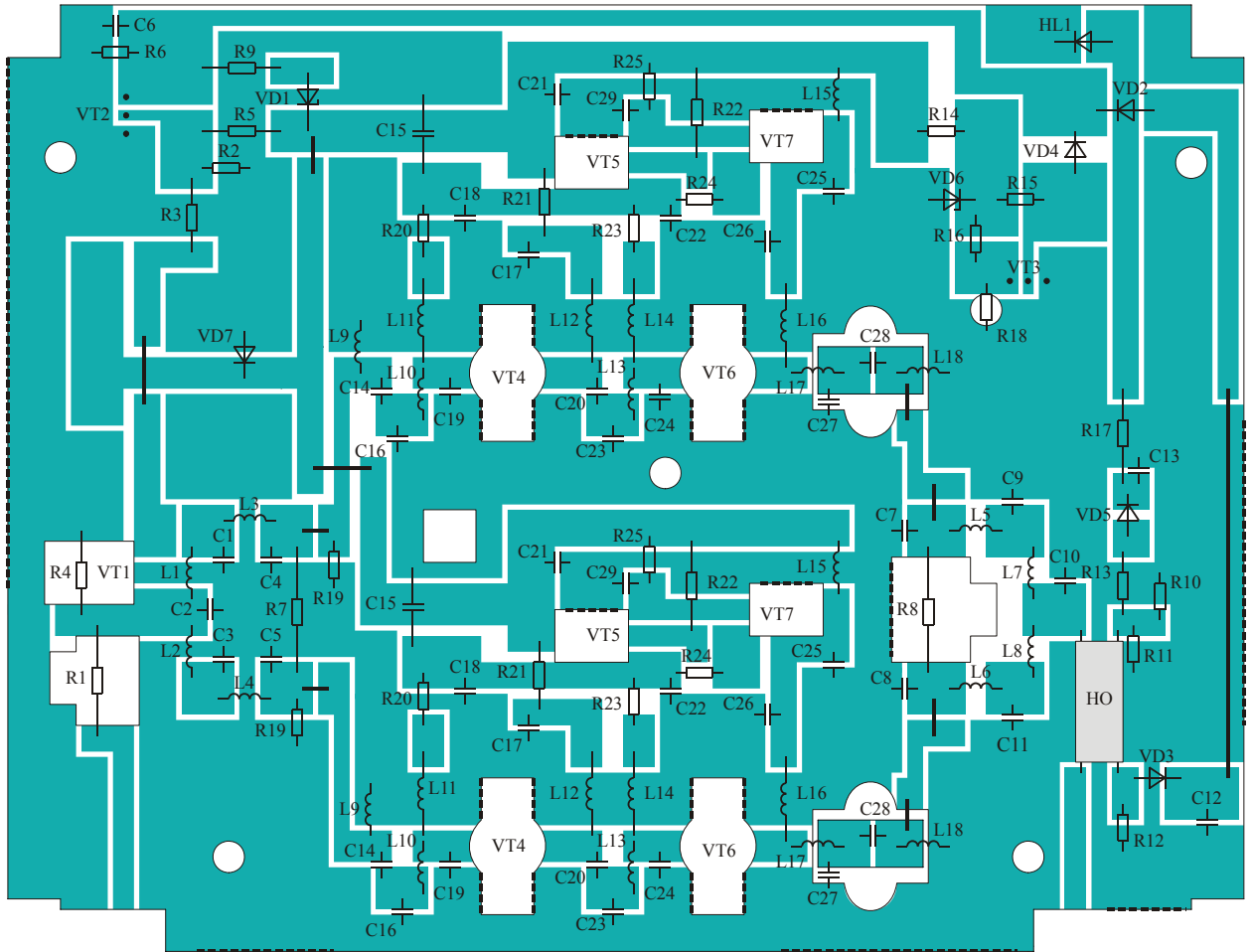


Рис. 4

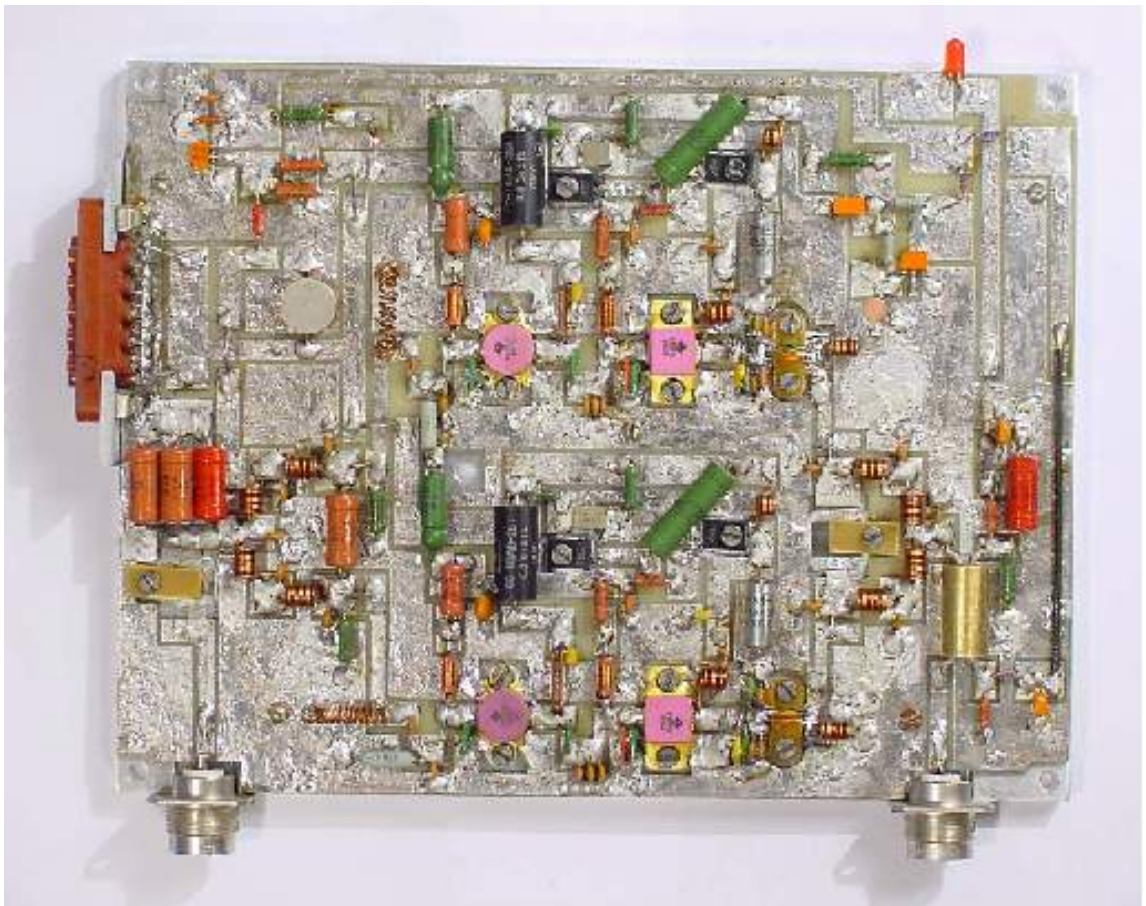


Рис. 5

Печатная плата размером 235x180 мм изготавливается из фольгированного с двух сторон стеклотекстолита толщиной 3 мм. Пунктирной линией на рис. 4 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.

Транзисторы $VT1$, $VT4$, $VT5$, $VT6$, $VT7$ крепятся к основанию с использованием теплопроводящей пасты. Однако между транзисторами $VT5$, $VT7$ и основанием следует устанавливать слюдяные прокладки и перед настройкой усилителя следует с помощью тестера убедиться в том, что не нарушена изоляция между коллекторами $VT5$, $VT7$ и общей шиной.

Резисторы ПУМ $R1$ и $R8$ напылены на керамические подложки и прижимаются к основанию с использованием теплопроводной пасты. Один из выводов элементов $L17$, $C27$, $L18$ трансформаторов импедансов припаивается к металлизированным площадкам керамических подложек, имеющих размер 19x9 мм. У конденсатора $C28$ оба вывода припаиваются к металлизированным площадкам подложек. Подложки, как видно на фотографии, прижаты к основанию стеклотекстолитовой пластиной. Нижняя часть подложек перед установкой смазывается теплопроводящей пастой. Это необходимо для устранения перегрева элементов трансформатора.

Если нет необходимости согласования ПУМ по входу, резисторы $R1$ и $R4$ могут быть удалены из схемы. В этом случае коэффициент усиления ПУМ возрастает до 19 дБ.

Печатная плата ПУМ разработана из условия возможности его настройки на любой из поддиапазонов с f_{cp} лежащей в пределах 20...450 МГц и с полосой пропускания $\Delta f = f_B - f_H$ равной 5...30 МГц. При настройке ПУМ на f_{cp} более 100 МГц в качестве транзистора $VT6$ может быть использован транзистор КТ970А, при f_{cp} более 400 МГц – транзистор КТ930Б. Перерасчет элементов $L1-L10$, $L12$, $L13$, $L17$, $L18$, $C1-C5$, $C7-C11$, $C14$, $C16$, $C19$, $C20$, $C23$, $C24$, $C27$, $C28$ высокочастотного тракта ПУМ на требуемую рабочую частоту производится по формулам:

$$L'_i = (70 \cdot L_i) / f_{cp} [\text{МГц}]; \quad C'_i = (70 \cdot C_i) / f_{cp} [\text{МГц}];$$

где f_{cp} [МГц] – требуемая частота f_{cp} в мегагерцах.

Необходимая длина проводов направленного ответвителя может быть рассчитана по эмпирической формуле:

$$d[\text{см}] = 700 / f_{cp} [\text{МГц}];$$

где d [см] – длина проводов в сантиметрах.

Выходная мощность ПУМ может быть повышена до 230...240 Вт при увеличении напряжения источника питания до 24 вольт. Однако в этом случае усилитель требует дополнительной подстройки и использования принудительной вентиляции в условиях продолжительной непрерывной его работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Титов А.А.** УКВ-усилитель мощности с защитой от перегрузок // Радиомир КВ и УКВ. – 2002. – № 10. – С. 17 – 18.
2. **Титов А.А., Ильюшенко В.Н.** Устройство для защиты усилителя мощности от перегрузки // Патент на изобретение № 2217861 Российского агентства по патентам и товарным знакам. – Оpubл. 27.11.2003 Бюл. № 33.
3. **Мазепова О.И., Мещанов В.П., Прохорова Н.И.** и др. Справочник по элементам полосковой техники / Под ред. А.М. Фельдштейна. – М.: Связь, 1979. – 215 с.
4. **Карпов В.М., Малышев В.А., Перевоииков И.В.** Широкополосные устройства СВЧ на элементах с сосредоточенными параметрами / Под ред. В.А. Малышева. – М.: Радио и связь, 1984. – 238 с.
5. **Титов А.А.** Двухканальный усилитель мощности с диплексерным выходом // Приборы и техника эксперимента - 2001. – №1.– С. 68 – 72.
6. **Титов А.А.** Расчет выходного трансформатора сопротивлений передатчика ДМВ // Схемотехника. – 2004. – № 9. – С. 28–29.
7. **Титов А.А., Стерхов А.П., Нечаева В.Н.** Усилитель мощности диапазона 140...150 МГц // Радиомир КВ и УКВ. – 2004. – № 4. – С. 18–20.