

**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.

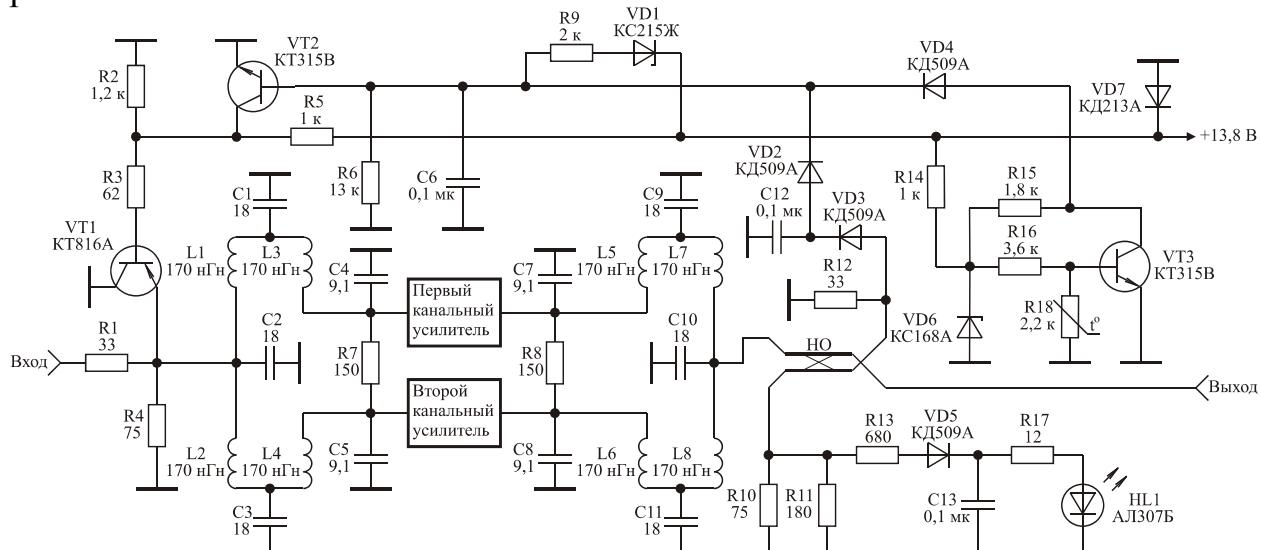


Рис. 1

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.

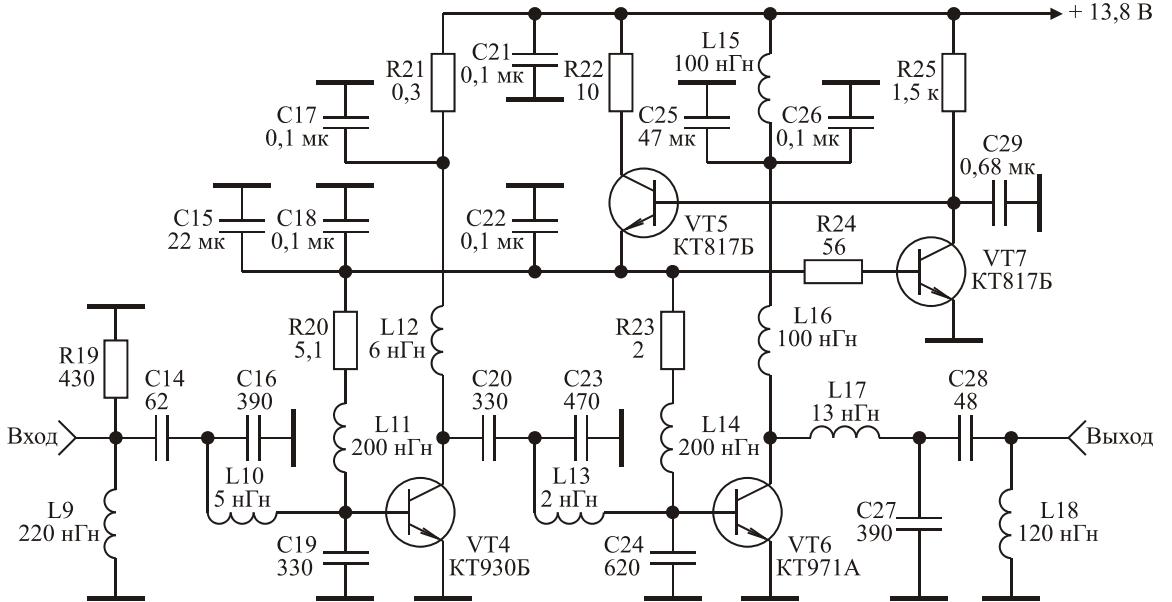


Рис. 2

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 самоуправляемого 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 1х0,35 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 запиранию 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 низких 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]:

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

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

В нашем случае, для  $R_h = 75$  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.

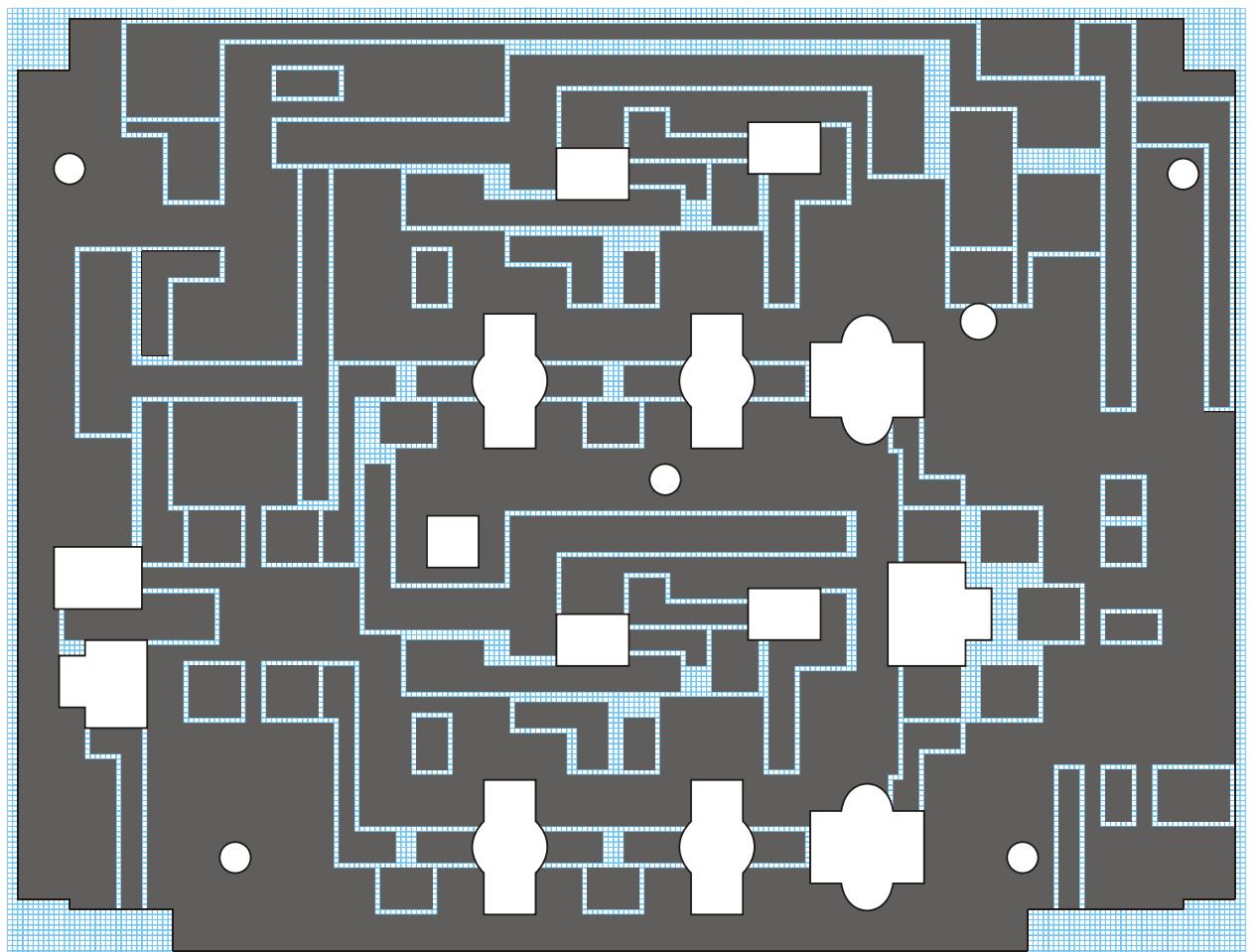


Рис. 3

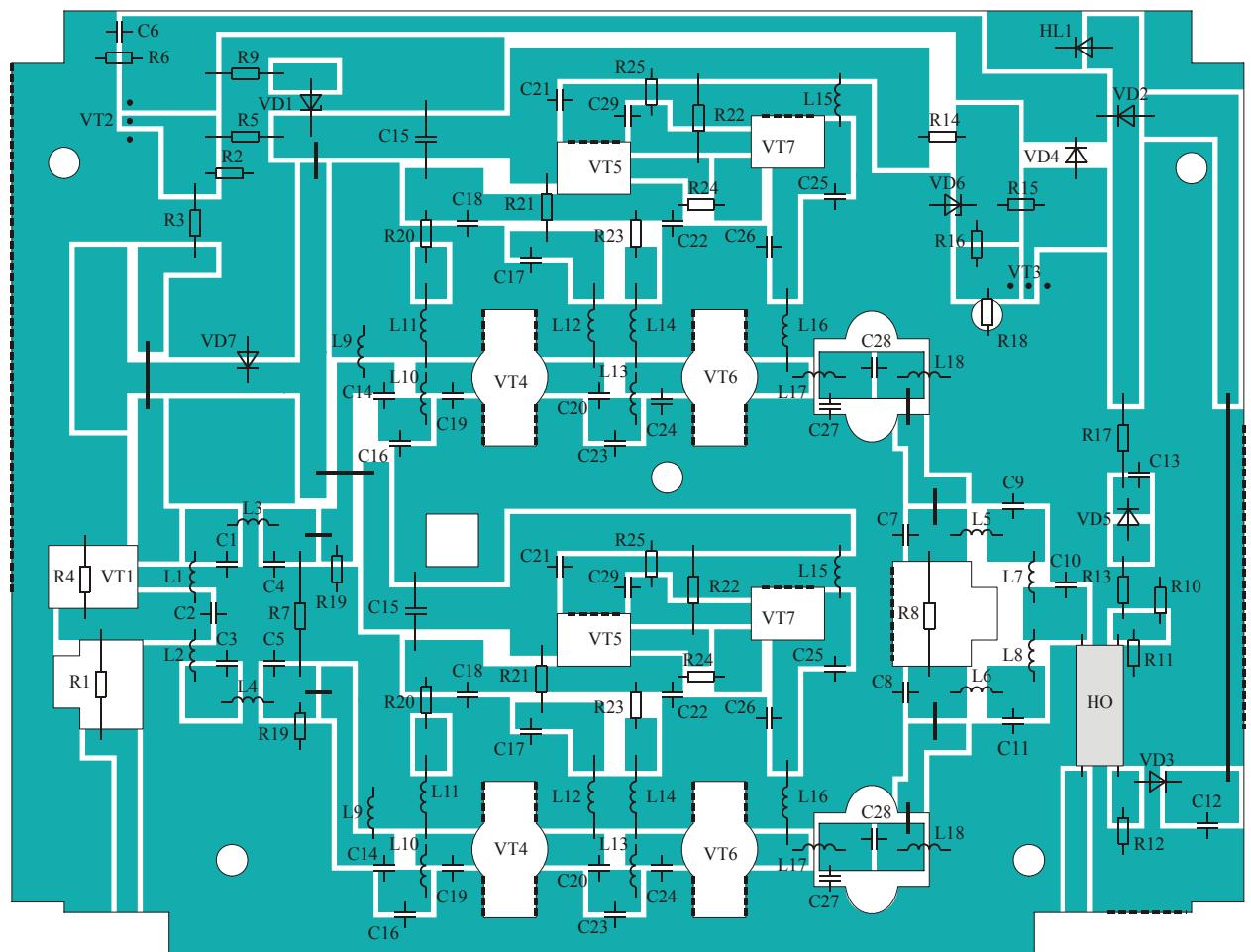


Рис. 4

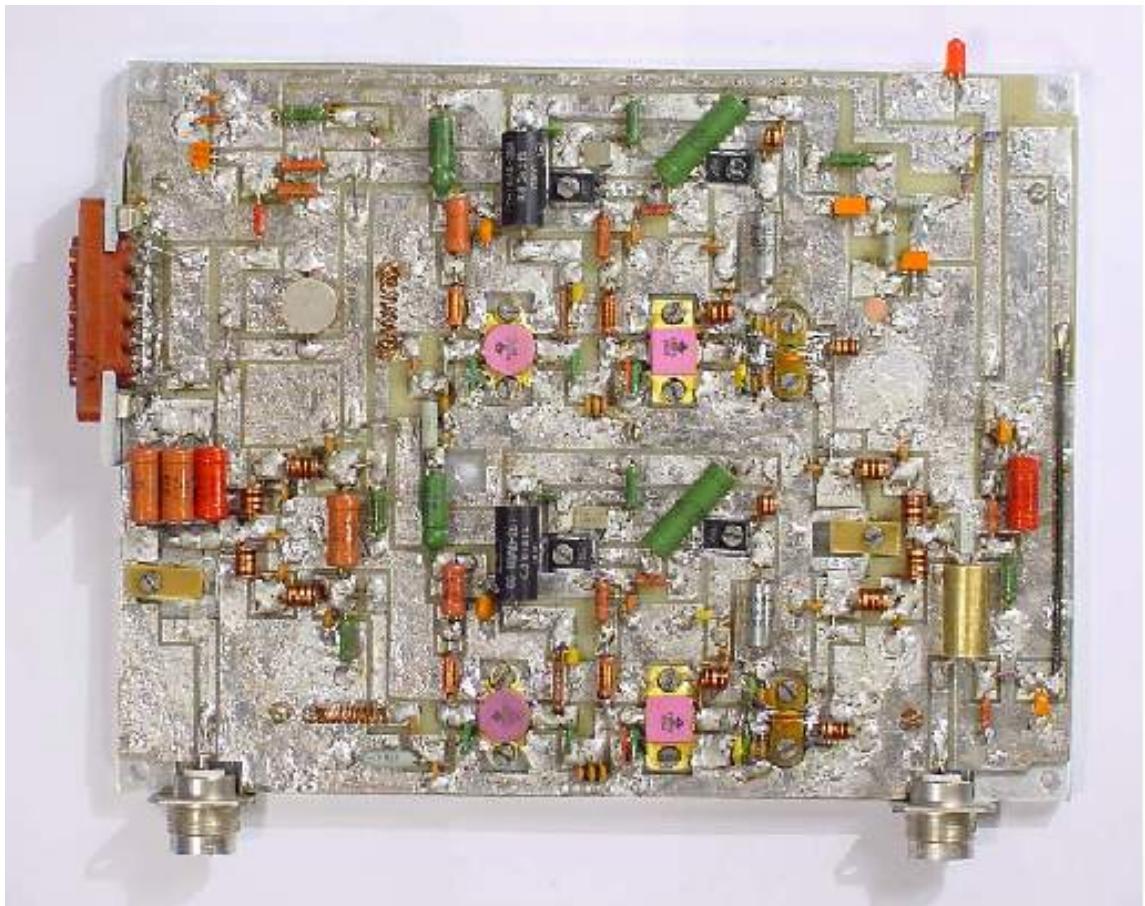


Рис. 5

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 пластины. 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  $d[\text{см}]$  – 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. – Опубл. 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., Перевощиков 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.