

РАСЧЕТ СОГЛАСУЮЩЕГО ТРАНСФОРМАТОРА ВЫХОДНОГО КАСКАДА

Александр Титов

Домашний адрес: 634050, Россия, Томск, пр. Ленина, 46, кв. 28.

Тел. 51-65-05, E-mail: titov_aa@rk.tusur.ru

(Радиомир, 2004, № 11)

Традиционно для согласования сопротивления антенно-волноводного тракта R_A с выходным сопротивлением оконечного каскада передатчика используются трансформаторы сопротивлений, выполняемые обычно в виде фильтров низких частот (рис. 1) [1-4].

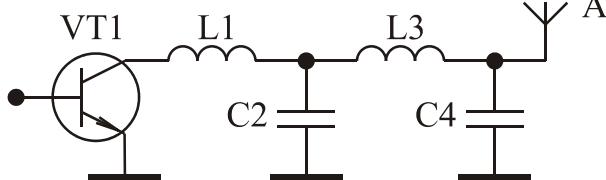


Рис. 1

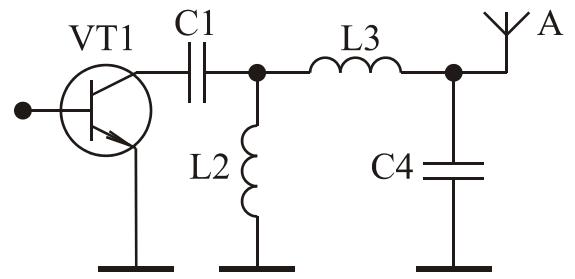


Рис. 2

Это обусловлено тем, что в соответствии с [1] оптимальное сопротивление нагрузки мощного транзистора $R_{h.\text{опт}}$, на которое он отдает максимальную мощность, составляет единицы Ом и может быть определено из соотношения:

$$R_{h.\text{опт}} = (E_{\text{п}} - U_{\text{нас}})^2 / 2P_{\text{вых. max}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{п}}$ – рекомендуемое напряжение источника питания транзистора, справочная величина [5];

$P_{\text{вых. max}}$ – максимальное значение выходной мощности, отдаваемой транзистором, справочная величина;

$U_{\text{нас}}$ – напряжение насыщения коллектор-эмиттер, справочная величина, составляющая 0,1...0,2 В.

Использование трансформаторов сопротивлений в виде фильтров низких частот объясняется наличием разработанной методики расчета таких трансформаторов, основанной на использовании таблиц нормированных значений элементов [6-8]. Как правило, указанные трансформаторы реализуются в виде фильтров низких частот четвертого порядка [1-4], что связано со сложностью их настройки при использовании более высоких порядков. Недостатком таких трансформаторов является значительное увеличение их коэффициента стоячей волны (КСВ) по входу при увеличении коэффициента трансформации Ктр и относительной полосы рабочих частот W , равной отношению f_b/f_h , где f_b , f_h – верхняя и нижняя граничные частоты полосы рабочих частот трансформатора.

Значительного уменьшения КСВ, при прочих равных условиях, можно достичь при использовании трансформатора, выполненного в виде полосового фильтра, что достигается благодаря увеличению его коэффициента отражения вне полосы рабочих частот [9]. В диапазоне метровых волн наиболее эффективным является трансформатор в виде полосового фильтра, схема которого приведена на рис. 2 [10].

В таблице приведены результаты вычислений нормированных значений элементов C_1 , L_2 , L_3 , C_4 трансформатора (рис. 2), полученные с использованием методики синтеза межкаскадных корректирующих цепей, описанной в [11]. Элементы C_1 , L_2 , L_3 , C_4 нормированы относительно центральной круговой частоты полосы рабочих частот трансформатора ω_0 и сопротивления антенно-волноводный тракта и рассчитаны для коэффициента трансформации лежащего в пределах от 2 до 20 и относительной полосы рабочих частот трансформатора от 1,3 до 3. Здесь же даны значения КСВ, соответствующие заданным значениям Ктр и W .

Таблица – Нормированные значения элементов трансформатора

Ктр	Параметр	W=1.3	W=1.5	W=1.7	W=2	W=3
2	C1 _Н	2.2622	2.3209	2.4124	2.458	2.9987
	L2 _Н	1.44	1.4136	1.3755	1.5042	1.5238
	L3 _Н	0.6577	0.6596	0.6628	0.6442	0.6319
	C4 _Н	0.4869	0.5036	0.5294	0.5141	0.6211
	KCB	1.016	1.02	1.025	1.03	1.08
3	C1 _Н	2.5204	2.6496	2.7598	2.8339	3.6424
	L2 _Н	0.9654	0.9321	0.9035	0.9539	0.9482
	L3 _Н	0.6954	0.6939	0.6841	0.6654	0.6023
	C4 _Н	0.6135	0.6483	0.677	0.6815	0.8648
	KCB	1.017	1.026	1.035	1.05	1.14
4	C1 _Н	3.094	3.0949	3.3004	3.5347	4.6103
	L2 _Н	0.6253	0.6615	0.6303	0.6458	0.6308
	L3 _Н	0.6993	0.69	0.6722	0.6502	0.5349
	C4 _Н	0.7712	0.7737	0.8246	0.8858	1.142
	KCB	1.02	1.031	1.05	1.07	1.24
6	C1 _Н	3.7627	3.8857	4.2901	4.3142	6.1411
	L2 _Н	0.4503	0.4514	0.4193	0.4551	0.4277
	L3 _Н	0.6804	0.6638	0.6324	0.6055	0.4456
	C4 _Н	0.9019	0.9367	1.0288	1.0543	1.5308
	KCB	1.022	1.037	1.07	1.095	1.39
8	C1 _Н	4.5215	4.5811	5.112	5.6339	7.8383
	L2 _Н	0.3439	0.3547	0.3265	0.3168	0.3176
	L3 _Н	0.6556	0.6377	0.5977	0.5445	0.3719
	C4 _Н	1.0207	1.0529	1.1686	1.307	1.9414
	KCB	1.024	1.046	1.09	1.14	1.47
10	C1 _Н	5.0886	5.2296	5.8544	6.5144	8.5744
	L2 _Н	0.292	0.2963	0.2717	0.2609	0.2827
	L3 _Н	0.6371	0.6147	0.569	0.5085	0.3454
	C4 _Н	1.0968	1.1487	1.2816	1.4603	2.1252
	KCB	1.028	1.053	1.11	1.18	1.86
15	C1 _Н	6.6792	6.919	7.9079	8.9137	11.6087
	L2 _Н	0.2058	0.2063	0.1859	0.1781	0.2064
	L3 _Н	0.5926	0.5618	0.5035	0.4301	0.2673
	C4 _Н	1.2785	1.3607	1.5598	1.8465	2.8525
	KCB	1.032	1.068	1.13	1.3	2.28
20	C1 _Н	7.8947	8.9337	10.4176	11.8332	13.6744
	L2 _Н	0.1674	0.1513	0.1342	0.13	0.1716
	L3 _Н	0.5637	0.5122	0.4429	0.3615	0.2305
	C4 _Н	1.3942	1.5752	1.8632	2.2857	3.3523
	KCB	1.037	1.082	1.19	1.45	2.53

Сравнение характеристик рассматриваемого трансформатора (см. таблицу) и характеристик трансформатора выполненного в виде фильтра низких частот, приведенных в [7], показывает, что при прочих равных условиях он имеет гораздо меньшее значение КСВ.

Для примера осуществим проектирование трансформатора с $K_{tr}=10$, $W=1,5$ и центральной рабочей частотой равной 70 МГц, при условии, что $R_A=50$ Ом.

В соответствии с заданными значениями K_{tr} и W из таблицы найдем: $C_{1h}=5.2296$; $L_{2h}=0.2963$; $L_{3h}=0.6147$; $C_{4h}=1.1487$. Центральная круговая частота полосы рабочих частот трансформатора $\omega_0 = 2\pi \cdot 70 \cdot 10^6 = 4.4 \cdot 10^8$. Денормируя значения элементов трансформатора определим: $C_1=C_{1h}/(R_A \cdot \omega_0) = 238$ пФ; $C_4 = 52$ пФ; $L_2=L_{2h} \cdot R_A / \omega_0 = 33.7$ нГн; $L_3 = 70$ нГн.

На рис. 3 приведена расчетная зависимость модуля входного сопротивления $|Z_{bx}|$ спроектированного трансформатора от частоты (кривая 1). Здесь же (кривая 2) для сравнения представлена характеристика трансформатора, выполненного в виде фильтра низких частот и рассчитанного по таблицам из [7] (рис. 1, $L_1=19$ нГн, $C_2=255$ пФ, $L_3=63$ нГн, $C_4=77$ пФ).

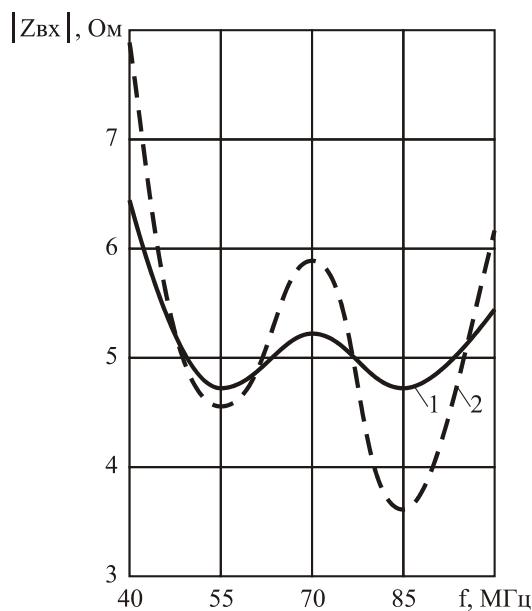


Рис. 3

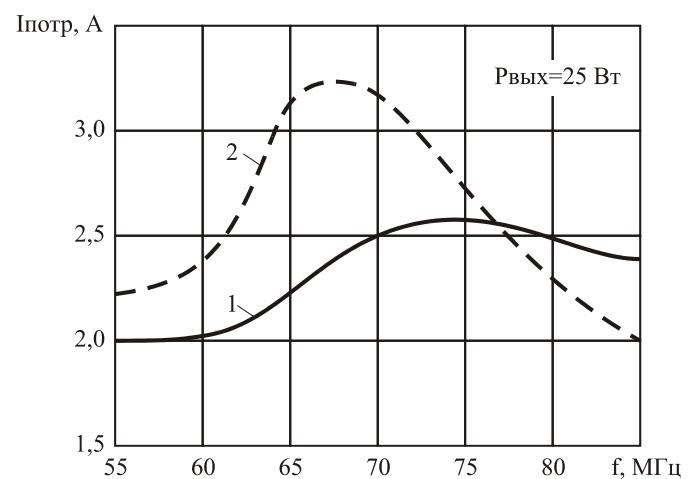


Рис. 4

Другим достоинством трансформатора приведенного на рис. 2 является следующее. При неизменной выходной мощности усилителя ток, потребляемый его выходным каскадом, слабо зависит от частоты усиливаемого сигнала, что позволяет обеспечить достижение более высокого среднего КПД усилителя.

На рис. 4 приведена зависимость тока, потребляемого выходным каскадом двухкаскадного усилителя (рис. 5), от частоты усиливаемого сигнала при выходной мощности $P_{\text{вых}}$ равной 25 Вт (кривая 1). Здесь же представлена аналогичная зависимость в случае использования трансформатора, выполненного в виде фильтра низких частот (кривая 2).

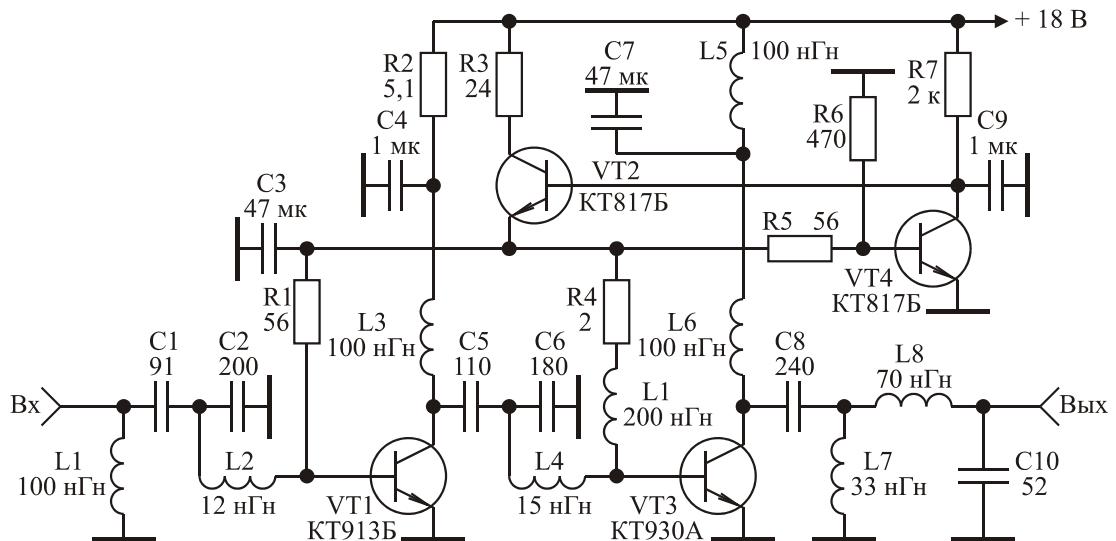


Рис. 5

Характеристики усилителя: максимальное значение выходной мощности 32 Вт; полоса рабочих частот 55..85 МГц; коэффициент усиления 22 дБ. В усилителе использован рассматриваемый трансформатор (элементы C8, L7, L8, C10), входная и межкаскадная корректирующие цепи рассчитаны по методике описанной в [11].

Таким образом, предлагаемая методика расчета рассматриваемого трансформатора сопротивлений проста в применении и позволяет значительно улучшить параметры разрабатываемого усилителя мощности.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. **Гребенников А.В., Никифоров В.В., Рыжиков А.Б.** Мощные транзисторные усилительные модули для УКВ ЧМ и ТВ вещания // Электросвязь. – 1996. – № 3. – С. 28 – 31.
3. **Гребенников А.В., Никифоров В.В.** Транзисторные усилители мощности для систем подвижной радиосвязи метрового и дециметрового диапазонов волн // Радиотехника. – 2000 – № 5. – С. 83 – 86.
4. **Титов А.А.** Полосовой усилитель мощности с повышенной линейностью амплитудной характеристики // ПТЭ. – 2003. – № 4. – С. 65–68.
5. **Петухов В.М.** Транзисторы и их зарубежные аналоги: Справочник. В 4 томах. – М.: Издательское предприятие РадиоСофт, 2000.
6. **Знаменский А.Е., Нестеров М.И.** Расчет трансформаторов сопротивлений с сосредоточенными элементами / Техника средств связи. Сер. Техника радиосвязи. 1983. Вып. 1. С. 83 – 88.
7. **Знаменский А.Е.** Таблицы для расчета трансформаторов сопротивлений в виде фильтров низких частот // Техника средств связи. Сер. Техника радиосвязи. 1985. Вып. 1. С. 99 – 110.
8. **Маттей Д.Л.** Таблицы для расчета трансформаторов сопротивлений в виде фильтра низких частот. // ТИИЭР. – 1964. – Т. 52. – № 8. – С. 1003 – 1028.

9. **Фано Р.** Теоретические ограничения полосы согласования произвольных импедансов: Пер. с англ. / Под ред. Г.И. Слободенюка. – М.: Сов. радио, 1965.
10. **Шварц Н.З.** Линейные транзисторные усилители СВЧ. – М.: Сов. радио, 1980. – 368 с.
11. **Титов А.А., Григорьев Д.А.** Параметрический синтез межкаскадных корректирующих цепей высокочастотных усилителей мощности // Радиотехника и электроника. – 2003. – № 4. – С. 442–448.