

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 нижних частот (рис. 1) [1-4].

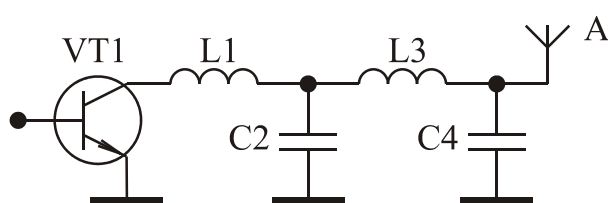


Рис. 1

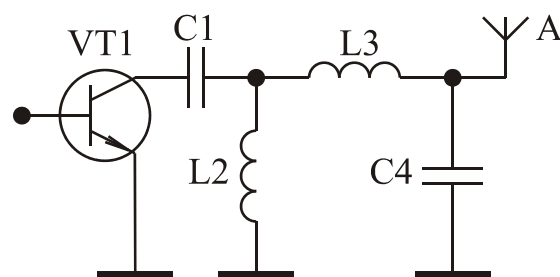


Рис. 2

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

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

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

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

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

Использование трансформаторов сопротивлений в виде фильтров нижних 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 нижних 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 $K_{тр}$ и относительной полосы рабочих частот W , равной отношению f_v/f_n , где f_v , f_n – 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 $C1$, $L2$, $L3$, $C4$ трансформатора (рис. 2), полученные с использованием методики синтеза межкаскадных корректирующих цепей, описанной в [11]. Элементы $C1$, $L2$, $L3$, $C4$ 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 $K_{тр}$ и W .

Таблица – Нормированные значения элементов трансформатора

Ктр	Параметр	W=1.3	W=1.5	W=1.7	W=2	W=3
2	C1H	2.2622	2.3209	2.4124	2.458	2.9987
	L2H	1.44	1.4136	1.3755	1.5042	1.5238
	L3H	0.6577	0.6596	0.6628	0.6442	0.6319
	C4H	0.4869	0.5036	0.5294	0.5141	0.6211
	KCB	1.016	1.02	1.025	1.03	1.08
3	C1H	2.5204	2.6496	2.7598	2.8339	3.6424
	L2H	0.9654	0.9321	0.9035	0.9539	0.9482
	L3H	0.6954	0.6939	0.6841	0.6654	0.6023
	C4H	0.6135	0.6483	0.677	0.6815	0.8648
	KCB	1.017	1.026	1.035	1.05	1.14
4	C1H	3.094	3.0949	3.3004	3.5347	4.6103
	L2H	0.6253	0.6615	0.6303	0.6458	0.6308
	L3H	0.6993	0.69	0.6722	0.6502	0.5349
	C4H	0.7712	0.7737	0.8246	0.8858	1.142
	KCB	1.02	1.031	1.05	1.07	1.24
6	C1H	3.7627	3.8857	4.2901	4.3142	6.1411
	L2H	0.4503	0.4514	0.4193	0.4551	0.4277
	L3H	0.6804	0.6638	0.6324	0.6055	0.4456
	C4H	0.9019	0.9367	1.0288	1.0543	1.5308
	KCB	1.022	1.037	1.07	1.095	1.39
8	C1H	4.5215	4.5811	5.112	5.6339	7.8383
	L2H	0.3439	0.3547	0.3265	0.3168	0.3176
	L3H	0.6556	0.6377	0.5977	0.5445	0.3719
	C4H	1.0207	1.0529	1.1686	1.307	1.9414
	KCB	1.024	1.046	1.09	1.14	1.47
10	C1H	5.0886	5.2296	5.8544	6.5144	8.5744
	L2H	0.292	0.2963	0.2717	0.2609	0.2827
	L3H	0.6371	0.6147	0.569	0.5085	0.3454
	C4H	1.0968	1.1487	1.2816	1.4603	2.1252
	KCB	1.028	1.053	1.11	1.18	1.86
15	C1H	6.6792	6.919	7.9079	8.9137	11.6087
	L2H	0.2058	0.2063	0.1859	0.1781	0.2064
	L3H	0.5926	0.5618	0.5035	0.4301	0.2673
	C4H	1.2785	1.3607	1.5598	1.8465	2.8525
	KCB	1.032	1.068	1.13	1.3	2.28
20	C1H	7.8947	8.9337	10.4176	11.8332	13.6744
	L2H	0.1674	0.1513	0.1342	0.13	0.1716
	L3H	0.5637	0.5122	0.4429	0.3615	0.2305
	C4H	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 нижних частот, приведенных в [7], показывает, что при прочих равных условиях он имеет гораздо меньшее значение КСВ.

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

В соответствии с заданными значениями $K_{тр}$ и W из таблицы найдем: $C_{1н}=5.2296$; $L_{2н}=0.2963$; $L_{3н}=0.6147$; $C_{4н}=1.1487$. Центральная круговая частота полосы рабочих частот трансформатора $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot 70 \cdot 10^6 = 4.4 \cdot 10^8$. Денормируя значения элементов трансформатора определим: $C1=C_{1н}/(R_A \cdot \omega_0) = 238$ пФ; $C4 = 52$ пФ; $L2=L_{2н} \cdot R_A / \omega_0 = 33.7$ нГн; $L3 = 70$ нГн.

На рис. 3 приведена расчетная зависимость модуля входного сопротивления $|Z_{вх}|$ спроектированного трансформатора от частоты (кривая 1). Здесь же (кривая 2) для сравнения представлена характеристика трансформатора, выполненного в виде фильтра нижних частот и рассчитанного по таблицам из [7] (рис. 1, $L1=19$ нГн, $C2=255$ пФ, $L3=63$ нГн, $C4=77$ пФ).

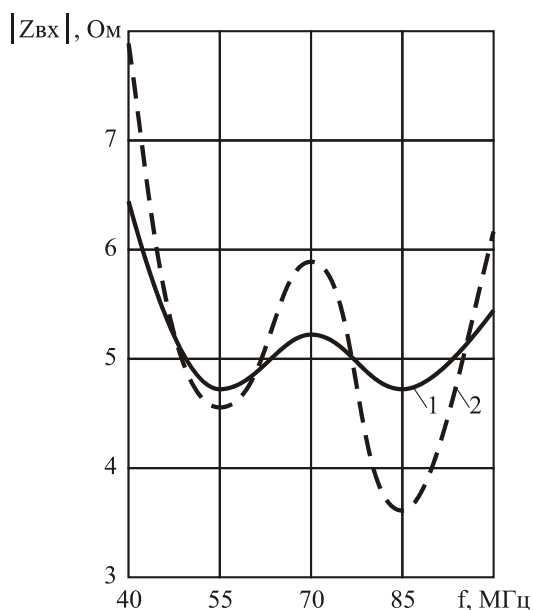


Рис. 3

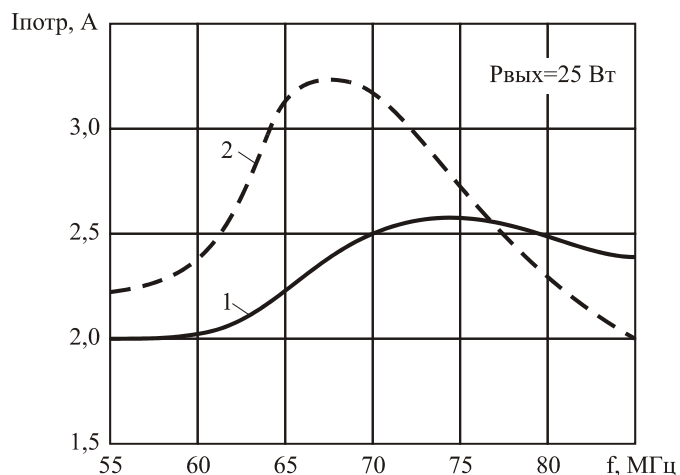


Рис. 4

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 нижних частот (кривая 2).

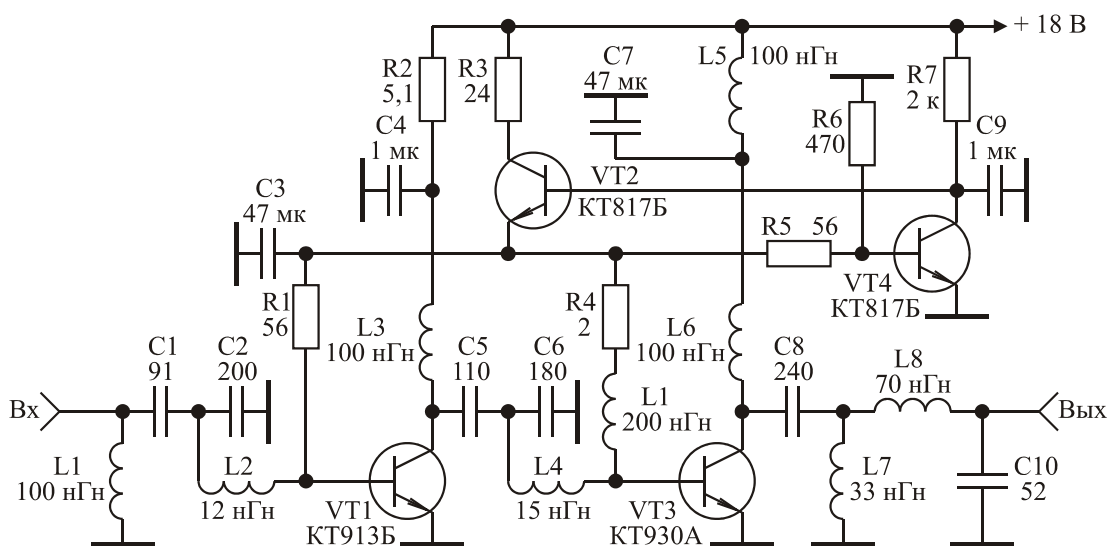


Рис. 5

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 // Электро-связь. – 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 нижних 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 нижних 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.