

# 功放变压器的补偿电容

BG6RDF

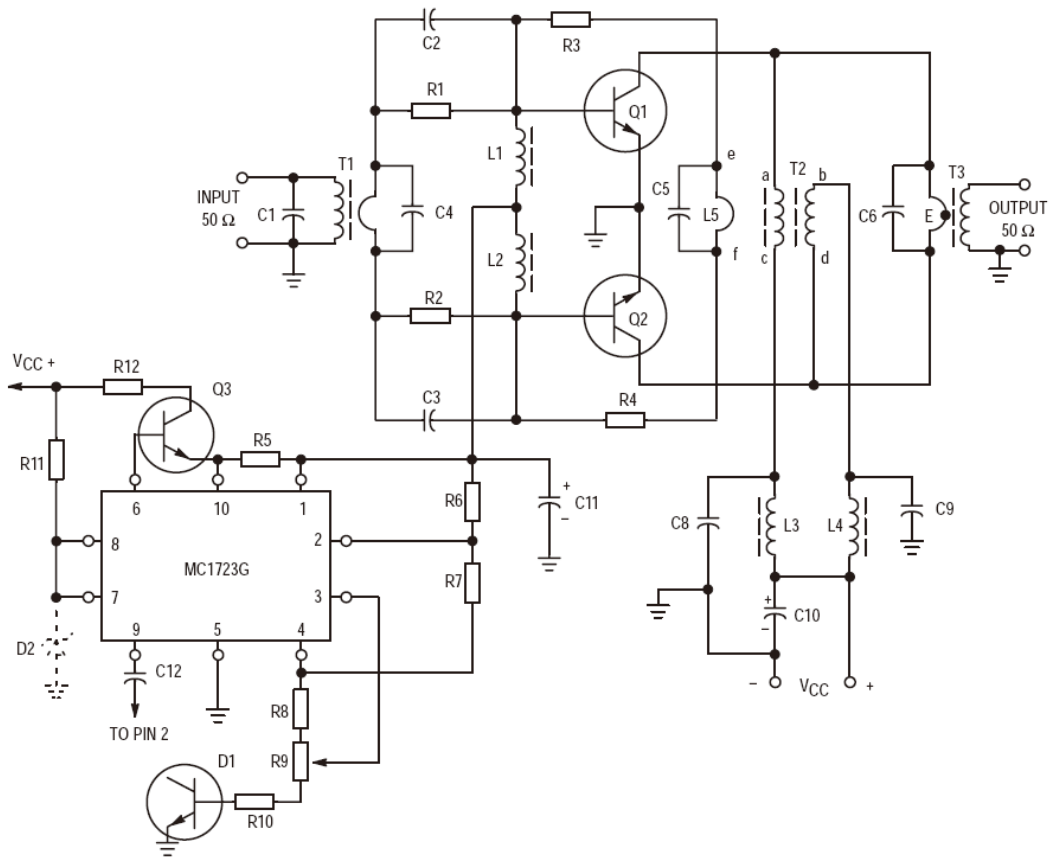


图 1: 摘自 Motorola AN-762

图 1 中 C5 和 L5 的说明可参考 Motorola AN-758，其作用是组成一个 Q 值约为 1.5 的并联谐振电路，用以提高末级功放管两个基极之间的阻抗，并在高频段破坏输入信号和反馈信号间的 180 度相位差。这样减少由反馈带来的高段增益损失。该谐振频率应高于最高使用频率，以避免稳定性问题。

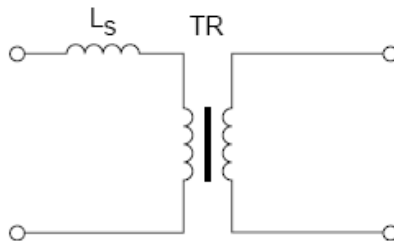


图 2: 传统变压器等效电路

图 1 中 C1, C4, T1 的说明可参考 Philips/NXP ECO7213。传统的变压器等效电路如图 2，Ls 称为 stray-inductance，有文章称为 leakage-inductance。该电感影响变压器在频率高端的性能。初级 Ls 的测量方式是短路次级，在使用频率下通过初级测量电感，次级 Ls 测量方式类似。在高阻端测量的结果比较精确。补偿方式可使用图 3 所示的电路。

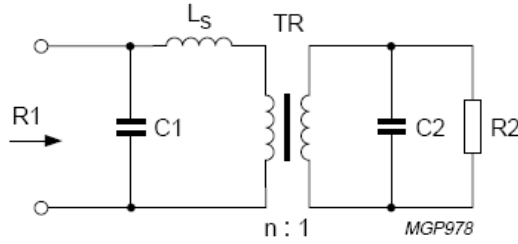


图 3: 补偿电路

这种补偿方式下，为保证 VSWR 在 1.2 以内，应满足图 4 所示要求。

NUMBER OF COMPENSATION ELEMENTS	0	1	2
Maximum X/R	0.18	0.44	1.09

图 4: 补偿范围

表中 X/R 是  $L_s$  的电抗除以变压器该端的输入阻抗  $L_{sn}$ ， $n$  表示 normalized 归一化。1 个器件补偿既可以在初级并联电容，也可以在次级并联电容。2 个器件补偿在初级和次级都并联电容。图中  $R_1 = n^2 \times R_2$ 。计算方法是，首先计算  $L_{sn} = \frac{\omega_{max} \times L_s}{R_1}$ ，其中  $\omega_{max}$  大于等于使用的最高频率的  $2\pi$  倍。

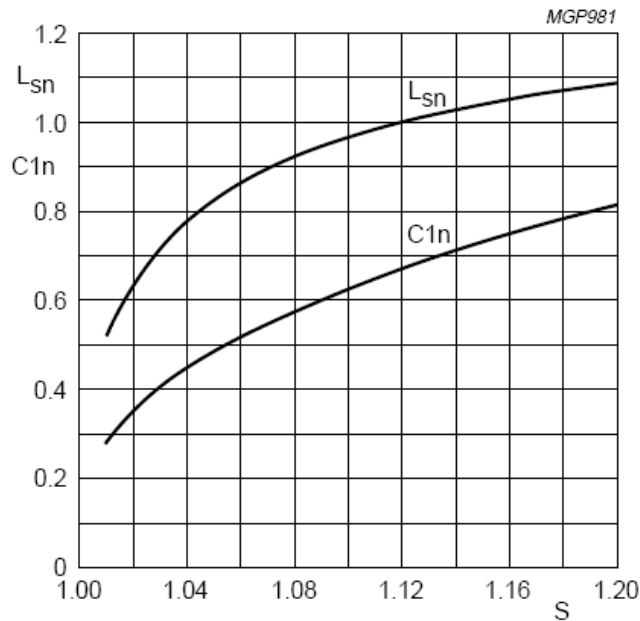


图 5: 补偿电容计算表

然后再在表 5 中查找该  $L_{sn}$  对应的 VSWR(S)，以及归一化补偿电容  $C_{1n}$ ，那么

$$C_1 = \frac{C_{1n}}{\omega_{max} \times R_1}, \quad C_2 = n^2 \times C_1。$$

下面将图 3 所示变压器初级等效电路进行等效变换，如图 6 所示：

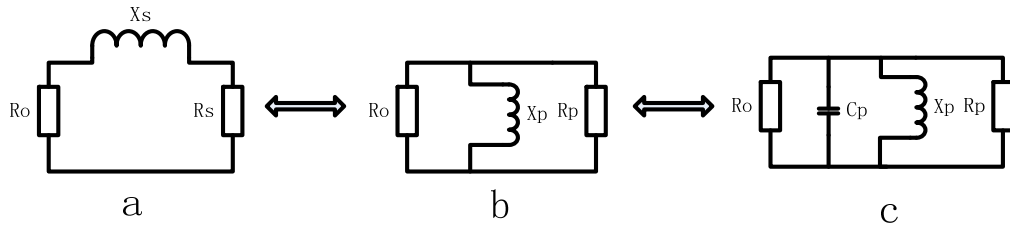


图 6: 等效串联电感变换为等效并联电路, 然后并联电容

等效变换的推导过程是左右电路复阻抗的实部和虚部相等, 详细过程略, 其公式为:

$$\begin{cases} Q = \frac{X_s}{R_s} \\ R_p = R_s(1 + Q^2) \\ X_p = X_s(1 + \frac{1}{Q^2}) \end{cases}$$

补偿电容的是指是通过并联电容  $C_p$ , 与  $X_p$  构成并联谐振电路, 并且谐振频率是最高工作频率  $f$ , 这样就可以确定  $C_p$  的计算公式了:

$$\begin{cases} L_p = \frac{X_p}{2\pi f} \\ C_p = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_p} \end{cases}$$

下面看看补偿后,  $SWR$  与等效串联电感的关系。针对图 6 电路, 在设计时可以认为  $R_o=R_s$ , 且并联谐振电路在谐振频率阻抗无穷大, 因此有:

$$\begin{cases} \Gamma = \frac{Z - Z_o}{Z + Z_o} = \frac{R_p - R_s}{R_p + R_s} \\ SWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = \frac{R_p}{R_s} = 1 + Q^2 \end{cases}$$

将  $Q$  的定义和 ECO7213 比较可以发现  $Q$  就是  $L_{sn}$ , 而  $C_{ln} = 2\pi f C_p R_s$ , 且谐振电路中

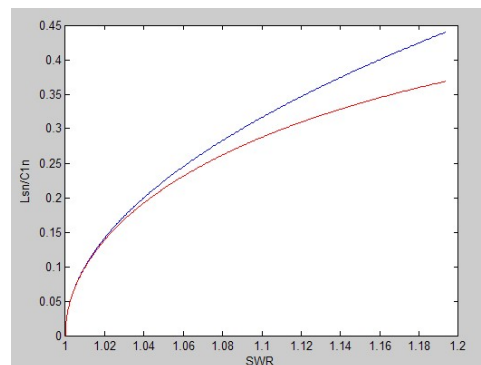
$$2\pi f C_p = \frac{1}{X_p}, \text{ 结合上述 } X_p \text{ 的计算公式可推导出 } C_{ln} = \frac{Q}{1 + Q^2}。$$

这是单侧补偿的情况, 用 `matlab` 进行计算, 从计算结果可知, 要保证  $SWR < 1.2$ ,  $L_{sn}$  应小于 0.44, 这和图 4 的结论一致:

```

%变压器补偿电容图
Q=0:0.01:0.44;
Cln=Q./(1+Q.*Q)
SWR=1+Q.*Q;
plot(SWR, Q, 'b', SWR, Cln, 'r');
xlabel('SWR');
ylabel('Lsn/Cln');

```



对于双侧补偿的计算，实在太复杂了。列了一堆方程，结果解不出来。非常想看这篇文章：

H. Nielinger; "Optimale Dimensionierung von Breitbandanpassungsnetzwerken", N.T.Z. 1968, Heft 2, pp. 88 to 91.