
高频课程设计

实践指导书

——多级级联调谐放大器

电子信息与电气技术实验中心

2015年2月

第一部分 进程安排

本次设计时间为1周，共5天。具体时间安排如下：

序号	内容安排	天数
1	布置实践任务 （指导老师分配任务，讲解设计的整体要求。）	0.5
2	查资料、定方案 （学生根据课题要求查找相关资料，完成初步设计方案。）	0.5
3	方案评估 （学生分组讨论设计方案，并对方案进行答辩，并确定最终设计方案。）	0.5
4	采购 （学生根据确定的设计方案，自己采购电子元器件。）	0.5
5	制板 （学生利用 Protel 绘制原理图、PCB 图，并转印制作电路板。）	0.5
6	调试及功能改进 （学生焊接电路板并进行系统调试。时间允许条件下，学生可进行发挥设计，对系统功能进行扩展。）	1
7	实践总结 （学生完成设计报告，指导老师对学生设计产品、报告进行评估定级）	1

第二部分 设计内容

1 设计课题

方案 A: 多级级联窄带调谐放大器设计

方案 B: 多级级联宽带调谐放大器设计

2 实践目的

调谐放大器是高频无线通信中应用广泛,按照信号导通的角度进行分类可以分为全导通、部分导通和开关状态三类。据此,根据导通角的大小分为甲类、乙类、丙类、丁类、戊类等。甲类放大器适合于对微弱信号进行放大,对于大信号的输入,则可以考虑丙类、丁类等后面的放大器,以提高系统效率。

本次设计要达到以下目的:

1) 进一步理解谐振放大器理论中,增益、通频带、谐振、功率、效率、晶体管工作状态等概念及相关的计算;

2) 掌握谐振放大器的设计与调整方法;

3) 学会多级级联谐振放大器电路的分析。

3 设计要求

设计并制作一个低压、低功耗多级级联的 LC 谐振放大器。

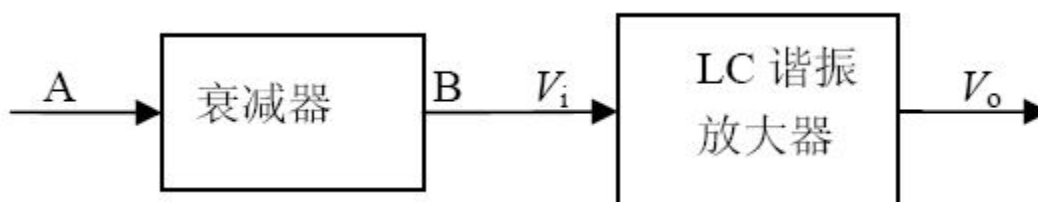


图 1 系统框图

方案 A: 窄带调谐放大器基本要求:

a) 谐振频率: $f_0 = 15\text{MHz}$; 允许偏差 $\pm 200\text{kHz}$;

b) 增益: 不小于 80dB ;

c) -3dB 带宽: $2\Delta f_{0.7} = 500\text{kHz}$;

d) 负载电阻为 50Ω , 负载上电压波形无明显失真;

e) 输入信号小于 $100\mu\text{V}$ 时, 要求输出电压大于 1V , 输出功率大于 10mW

f) 采用低压供电, 电源为 3.6V , 系统效率不低于 50% ;

方案B: 宽带调谐放大器基本要求:

- a) 中心频率: $f_0 = 15\text{MHz}$; 允许偏差 $\pm 200\text{kHz}$;
- b) 增益: $> 40\text{dB}$;
- c) -3dB 带宽: $> 20\text{MHz}$, 在通频带范围内, 幅频特性较为平坦;
- d) 负载电阻为 $50\ \Omega$, 负载上电压波形无明显失真;
- e) 输入信号小于 0.01V 时, 要求输出电压大于 1V , 输出功率大于 10mW
- f) 采用低压供电, 电源为 3.6V , 系统效率不低于 50% ;

说明:

- 1) 由于输入信号要求很小, 可自行设计一个衰减器, 让高频信号发生器的输出信号衰减后在输入调谐放大器。
- 2) 系统可采用全甲类多级级联实现, 也可以考虑采用甲丙类级联。
- 3) 学生自行选择设计窄带放大器, 或者宽带放大器。

4 相关知识

在高频电路中, 器件的终端阻抗和线路的匹配阻抗通常有 $50\ \Omega$ 和 $75\ \Omega$ 。

4.1 衰减器

高频衰减器分为固定衰减器和高频可变(调)衰减器两种。除了微波衰减器可以用其他形式构成外, 高频衰减器通常都用电阻网络、开关电路或 PIN 二极管实现。

以T型电阻衰减器为例, Z_1, Z_2 为两端的匹配阻抗, 衰减器的最小衰减量为

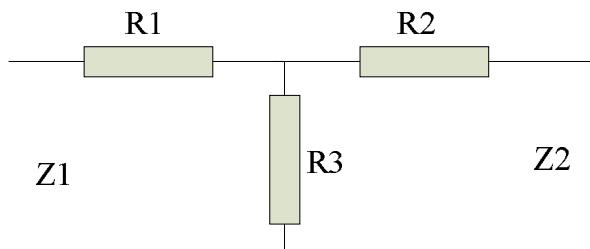


图 2 T 型衰减器

$$L_{\min} = \frac{2Z_1}{Z_2} + 2\sqrt{\frac{Z_1}{Z_2} \left(\frac{Z_1}{Z_2} - 1 \right)} - 1$$

其中,

$$\begin{cases} R1 = \frac{Z_1(L_{\min} + 1) - 2\sqrt{Z_1 Z_2 L_{\min}}}{L_{\min} - 1} \\ R2 = \frac{Z_2(L_{\min} + 1) - 2\sqrt{Z_1 Z_2 L_{\min}}}{L_{\min} - 1} \\ R3 = \frac{2\sqrt{Z_1 Z_2 L_{\min}}}{L_{\min} - 1} \end{cases}$$

4.2 甲类谐振放大器理论

4.2.1 单级甲类电路图

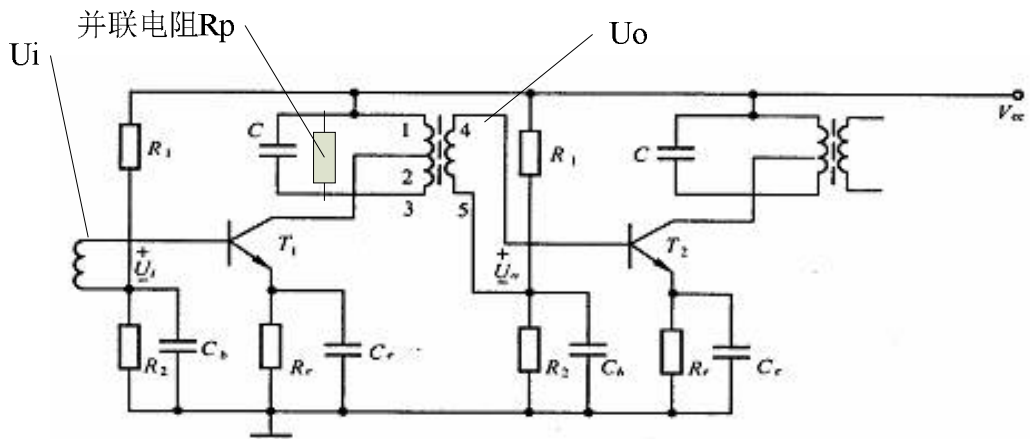


图 3 甲类谐振放大器

1) 级间耦合

可以采用变压器耦合，包括单调谐、双调谐两种；也可以通过电容直接耦合到下一级。

4.2.2 电压增益、谐振频率、品质因素、通频带理论计算

$$\dot{A}_u = - \frac{p_1 p_2 Y_{fe}}{g_{\Sigma} + j\omega C_{\Sigma} + \frac{1}{j\omega L}},$$

其中

$$\begin{cases} g_{\Sigma} = g + p_1^2 g_{oe} + p_2^2 g_{ie} \\ C_{\Sigma} = C + p_1^2 C_{oe} + p_2^2 C_{ie} \end{cases}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_\Sigma}}$$

$$Q_L = \frac{\omega_0 C_\Sigma}{g_\Sigma} \approx \frac{1}{\omega_0 L g_\Sigma} = \frac{R_\Sigma}{\omega_0 L}$$

$$B_{0.7} = 2\Delta f = \frac{f_0}{Q_L}$$

由于 g_{oe} 、 g_{ie} 、 C_{oe} 、 C_{ie} 与管子工作的静态工作点等有关，而一般的管子又没有给出具体参数，此外采用变压器耦合的接入系数，根据耦合程度不同，互感会变化，而互感在一般情况下是未知的。因此在工程设计过程中，可以采用估算：

1) 谐振频率估算

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

电容C采用固定电容并微调电容的方法。电感L采用漆包线绕成线圈而成，其估算方法参见“**线圈电感计算.doc**”。

2) 通频带调节

谐振回路并联电阻 R_p ，通过调节 R_p 改变回路的品质因素，进而改变通频带带宽，由于带宽与电压增益成反比，因而也可以通过 R_p 来调节电压增益。在特定条件下，增益×带宽=常数。

3) 品质因素

回路的品质因素很难测量，可以通过 R_p 、变压器初次级线圈的耦合程度、线圈绕的紧密程度等改变。

4) 扫频

如图 3 在 U_i 和 U_o 两端，通过扫频仪观测电路的幅频特性。可以观测谐振点、通频带、电压增益等。

4.2.3 静态工作点

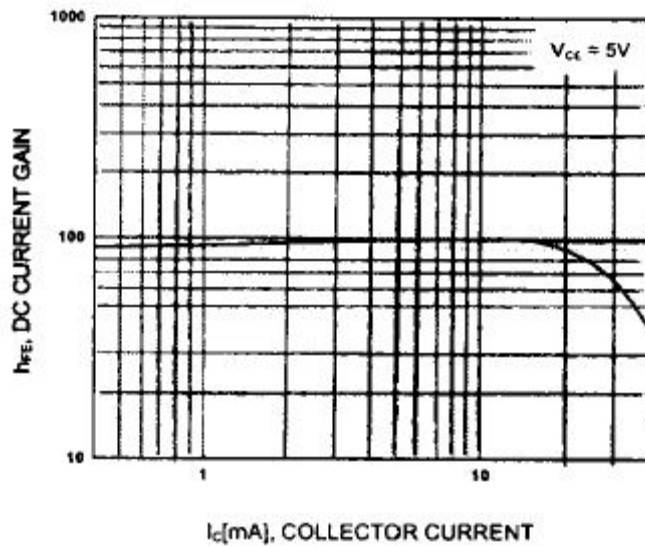


Figure 2. DC current Gain

图 4 9018 直流电流增益

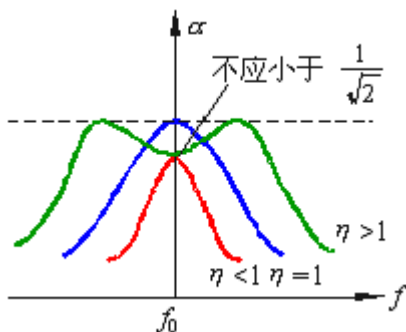
以 9018 高频管为例，如图 4，由 9018 的数据手册得到 $h_{FE} \sim I_C$ 曲线图可以看出，当管子静态工作电流 $I_C \in (0, 10mA)$ 时，电流放大倍数较为平坦。当 $I_C > 11mA$ 时，具有正向 AGC 特性，因此可以通过改变该管子的 I_C 来调整管子的电压增益。静态工作点计算如下：

$$\begin{aligned} \text{取 } I_C = 3mA, \text{ 则 } V_{CC} \cdot \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} &\approx I_E \cdot R_{e1} + U_{BE(on)} \\ &\approx I_C \cdot R_{e1} + 0.7 \end{aligned}$$

$$\text{取 } R_{b1} = R_{b2} = 2k\Omega, \text{ 则 } R_{be1} \approx 370\Omega。$$

4.2.4 通频带调节

对于窄带放大器，应尽量提高谐振回路品质因素，变压器可以采用带磁心的线圈。对于宽带放大器，级间耦合可以考虑采用传输线，或者采用双调谐耦合。

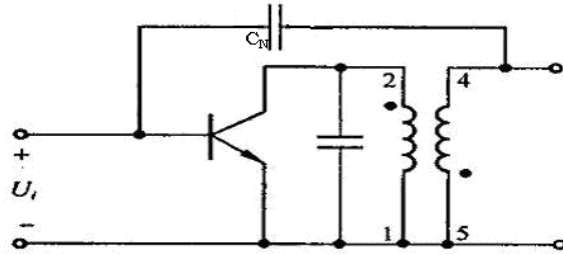


通频带的调节通过扫频仪进行观测。

4.2.5 稳定性调节

由于 B-C 之间结电容的存在，导致输出信号反馈到输入端，为此在输出端通过信号反相，接中和电容反馈到输入端，抵消 B-C 结电容反馈信号的影响。具体做法：

在晶体管的输出端和输入端之间连接一个电容 C_N ，通过一个反相耦合变压器，使得通过 C_N 的外部电流和通过 C_{bc} 的内部反馈电流相位相差 180° ，从而能互相抵消。



应该注意的是，完全中和很难达到。因晶体管的 C_{bc} 是随频率变化的。

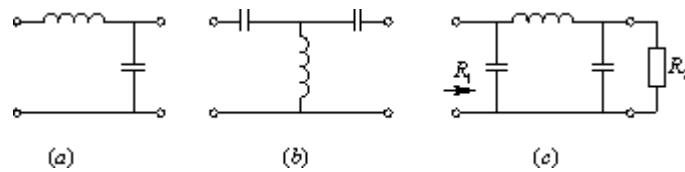
中和电容一般为几 pF，可以采用小电容，也可以采用绝缘电线按照如下图自己绕制。



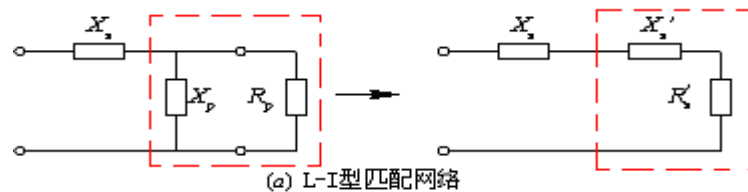
4.2.6 阻抗变换

如果相连接的两部分高频电路阻抗匹配，则可以直接相连。但如果阻抗不匹配，就需要用高频匹配器或阻抗变换器来连接。

几种常用的 LC 匹配网络如下图所示。



1) L 型匹配网络



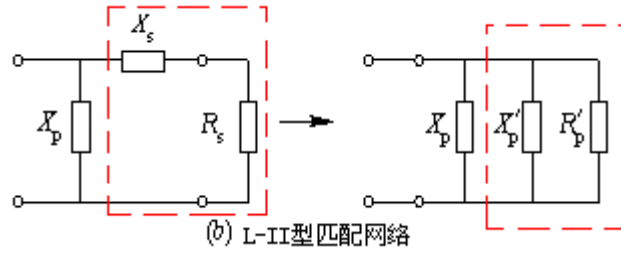


图 L型匹配网络

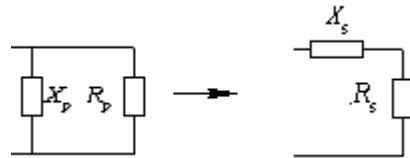
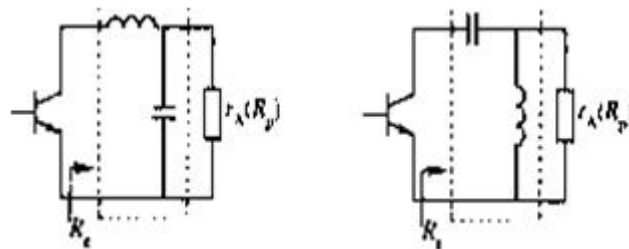


图 串并联阻抗变换

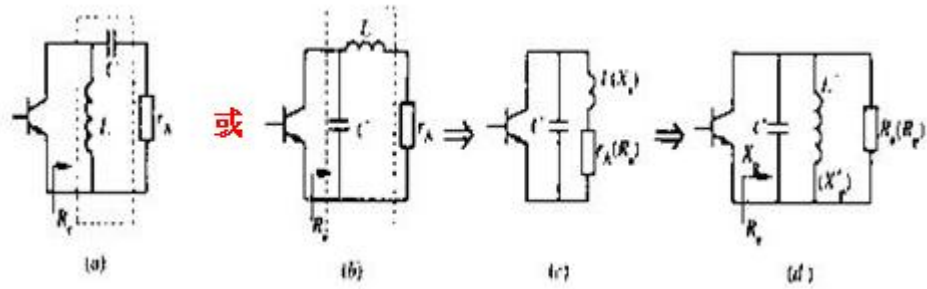
$$\left\{ \begin{array}{l} R_s = \frac{1}{1+Q^2} R_p \\ X_s = \frac{Q^2}{1+Q^2} X_p \\ Q = \frac{R_p}{|X_p|} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} R_p = (1+Q^2) R_s \\ X_p = \frac{1+Q^2}{Q^2} X_s \\ Q = \frac{|X_s|}{R_s} \end{array} \right.$$

由上式可见，①当负载 R_L 大于高频功放要求的最佳负载 R'_L 时，应采用 L-I 型匹配网络，通过调整 Q 值，可将大的 R_L 变换为小的 R'_L ；②反之采用 L-II 型；③谐振时，见图 4.20， $X_s = X'_s = 0$ ， $X_p + X'_p = 0$

2) L 型匹配网络的具体电路

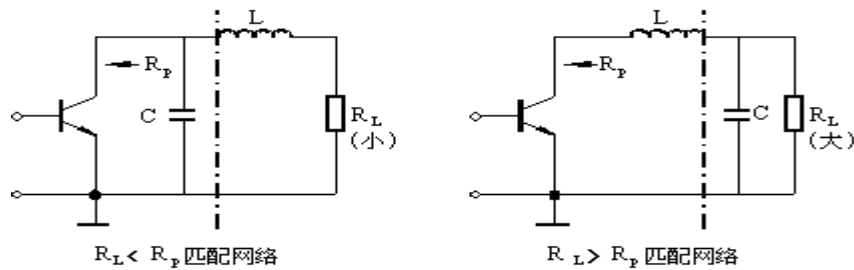


(a) L-I 型



(b) L-II 型

图 L 型匹配网络



(注: R_p 为功率管的最佳负载阻抗)

5 丙类谐振放大器理论

请参考相关资料。

6 设计报告

要求:

1. 给出设计课题题目、实践目的、设计原理、设计内容和要求;
2. 查阅相关资料,对系统扩展、应用场合在序言中进行阐述。
3. 给出系统设计方案、电路原理图、各个电子元器件的型号、参数;
4. 画出电路中,一些关键节点的信号波形;
5. 系统调试方法,设计过程遇到的问题、思考及解决方法;
6. 系统的功能扩展实现情况;
7. 心得体会;

7 参考资料

- [1] 高吉祥, 高频电子线路, 电子工业出版社, 2005. 1
- [2] 谢嘉奎, 高频电子线路, 高等教育出版社, 2001. 3
- [3] 张肃文, 高频电子线路, 高等教育出版社, 1999. 8
- [4] www.cndzz.com