

USTC

中国科学技术大学

21世纪教改系列教材

非线性电子线路实验

高世忻 蒋宗洲 肖 鸿

.4-33

中国科学技术大学出版社

中国科学技术大学 21 世纪教改系列教材

非线性电子线路实验

高世忻 蒋宗洲 肖 鸿

中国科学技术大学出版社

2002·合肥

内 容 简 介

本书是非线性电子线路方面的实验指导书。授课对象主要是无线电专业的本科生。本书是线性电子线路实验课的后续及扩展。在实验内容上有单元实验、综合性实验及较大的系统实验。

本书主要是针对曾经学习过“非线性电子线路”课程的学生。对他们进行必要的相关实验训练，从而进一步加强他们非线性电子线路实验的动手能力，使他们熟练地掌握更深一步的实验技巧和更新的实验手段和方法。

本书也可作为非电子技术类专业的本科生及有关工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

非线性电子线路实验/高世忻, 蒋宗洲, 肖鸿. —合肥: 中国科学技术大学出版社, 2002.7
ISBN 7-312-01462-3

I. 非... II. ①高...②蒋...③肖... III. 非线性电路-实验-高等学校-教学参考资料
IV. TN711.4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 046608 号

中国科学技术大学出版社出版发行

(安徽省合肥市金寨路 96 号, 邮编: 230026)

中国科学技术大学印刷厂印刷

全国新华书店经销

开本: 787×1092/16 印张: 8 字数: 200 千

2002 年 7 月第 1 版 2002 年 7 月第 1 次印刷

印数: 1—3000 册

ISBN 7-312-01462-3/TN·50 定价: 11.00 元

前 言

非线性电子线路实验是无线电专业的一门重要课程。随着电子技术的日益发展，我们在原有实验课的基础上，更系统、更全面地对实验内容做了修改和完善。

本实验书中较全面地介绍了非线性电子线路的实验内容和仪器的使用，注重加强同学们的设计能力和独立操作能力，并从各方面介绍了许多通用芯片的使用方法。实验内容注重灵活性和生动性，意在更多地启发同学们的实验兴趣。

本书所有实验均已在无线电专业学生中开设过，并得到较充分的实践。高世忻、蒋宗洲、肖鸿三位作者均是参加过多年实验课的老师。

由于编者水平有限，书中难免有不妥及错误之处，恳请使用者批评指正。

编 者
2002 年 1 月

目 次

第一章	非线性电子线路与系统实验	(1)
实验一	小信号调谐放大器	(1)
实验二	调幅器	(9)
实验三	检波器	(13)
实验四	调频器与鉴频器	(18)
实验五	模拟开关的测试和应用	(24)
实验六	多路开关应用——示波器多路波形显示	(30)
实验七	音频译码器	(34)
实验八	自动增益控制电路	(38)
实验九	555 定时器的应用举例——测试电容值的一种定时电路	(42)
实验十	频率鉴别电路	(46)
实验十一	单片集成锁相环电路	(49)
实验十二	数字式方波占空比测试电路	(60)
实验十三	锁相环路的应用及单环频率合成器	(66)
实验十四	模拟乘法器原理和应用	(72)
实验十五	电子系统实验——地下金属模拟探测器	(82)
第二章	电子仪器使用说明	(88)
第一节	SS-7802A 双踪示波器	(88)
第二节	频率特性测试仪的原理及使用	(103)
第三节	EE1643 型函数信号发生器/计数器	(107)
第四节	FG506 函数发生器	(113)
第五节	DF1931 交流数字毫伏表	(117)
第六节	LPS 304 直流稳压电源	(120)

第一章 非线性电子线路 与系统实验

实验一 小信号调谐放大器

一、实验目的

1. 通过实验进一步熟悉小信号调谐放大器的工作原理，初步掌握工程估算的方法。
2. 通过实验掌握多级调谐放大器的调试方法。
3. 掌握用频率特性测试仪测量多级调谐放大器的增益和带宽的方法。

二、实验原理

调谐放大器的作用是对中频和高频信号进行电压放大。对它的要求是：足够高的增益，满足设计要求的通频带、选择性和工作的稳定性。

1. 为了减少级数，简化电路，采用共发射极电路，各级间采用电感抽头耦合。

在设计调谐放大器时，应首先选择 $|Y_{fe}|$ 大， g_0 和 g_{ie} 小， C_{bc} 小的晶体管，以保证放大器的稳定工作。回路电容 C 应根据中心频率和绕制的电感来确定。阻尼电阻 R 应从放大器的稳定性和带宽要求来考虑。接入系数 n_L 应根据减小晶体管参数变化对谐振回路的影响来确定，并应满足总电压增益的要求。

2. 级联放大器调试时的注意事项。

与单级调谐放大器相比，级联调谐放大器更易引起自激。因为级数愈多，总增益愈高，末级信号也愈大，很小的分布参数就能引起足够大的正反馈。同时级数愈多，前后级通过电源交连的机会也就愈多，引起自激的可能性也愈大。

除了设计时用最大稳定增益来考虑各级电路外，还必须在工艺上注意以下各点：

(1) 各级间的退耦要好。由于整个放大器的电源是公用的，基极偏置是同一电源经分压得到的，而任何高质量的电源总有内阻存在，因此各级电流流经电源时都将经电源内阻产生耦合，这种耦合可能产生正反馈，引起放大器的自激。解决的办法是在公用电源两端加接旁路电容，以降低内阻抗。电源两端的旁路电容通常用几十微法的电解电容和1000微微法至0.01微法的电解电容并联。前者用以旁路低频电流，因为大容量的电容不可避免地存在感抗；后

者用以旁路高频电流. 同时在各级加 T 型滤波器, 它由电感上 L_ϕ 和电容 C_ϕ 组成, 所选 L_ϕ , C_ϕ 必须根据放大器的信号频率决定, 使 $\omega L_\phi \gg \frac{1}{\omega C_\phi}$, 对于几兆赫至几十兆赫的中频放大器来说, L_ϕ 取 $22\mu\text{H}$ 到 $150\mu\text{H}$ 左右的固定电感, C_ϕ 取 1000pF 到 $0.01\mu\text{F}$ 左右的电容.

(2) 在满足增益带宽的要求下, 除了回路上可并联适当的电阻外, 为了提高放大器的稳定性, 有时尚须加入负反馈. 本实验第二级留有串联负反馈电阻的位置, 供实验中调试用.

(3) 放大器的输入阻抗和输出阻抗必须分别与信号源的内阻和下级电路的输入阻抗相匹配.

(4) 当频率较高时, 流过导体(接线和机壳)的高频电流会产生集肤效应, 使导体对高频电流呈现一定的电阻, 在这一电阻上自然会产生高频压降, 从而有可能引起正反馈. 对于这种耦合的退耦措施是加宽地线, 或采用大面积接地, 如图 1-1-1 所示. 同时将导体镀银. 同一信号电平的各元件要尽量靠近一点接地, 以防各级电流在公共地线上流动.

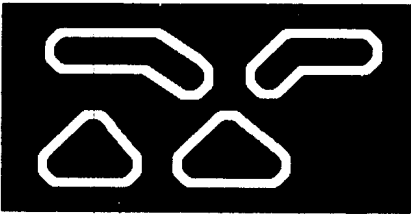


图 1-1-1 大面积接地示意图

为了防止由于分布参数引起的杂散耦合, 各级应排成长条形状, 切忌排成 T 形和 π 形. 回路电感宜交错排列, 以减小互感, 但对采用磁芯、磁环并有屏蔽罩的回路电感可不必强求. 元件引线要尽量短.

(5) 结构上存在的波导耦合与屏蔽盒尺寸有关, 应满足以下关系式

$$L > \frac{b}{1.36} \log A$$

式中, b 为屏蔽盒宽度, A 为放大器的总增益, L 为屏蔽盒长度.

3. 晶体管单调谐放大器.

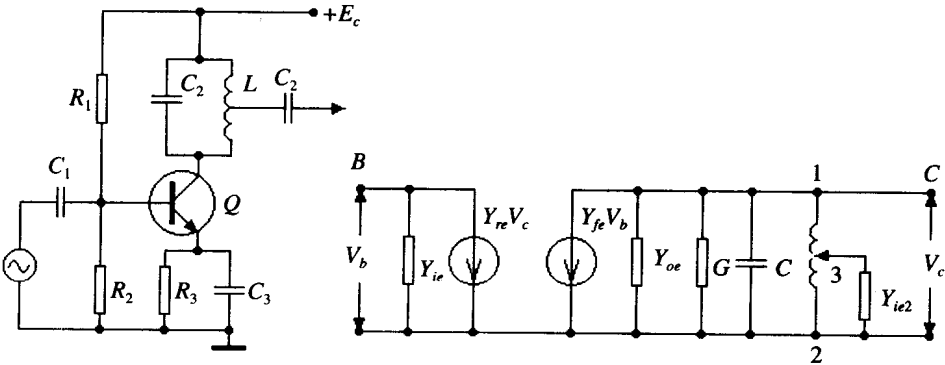


图 1-1-2 单调谐放大器及等效电路

图 1-1-2 是晶体管单调谐放大器电原理图及 Y 参数等效电路图. 从图中可以得出(不考虑后级 Y_{ie} 的影响)

$$A_v(f_0) = \frac{Y_{fe}}{g_\Sigma}$$

式中, $g_\Sigma = g_{oe} + G$.

多级调谐放大器总增益

$$A_{vn} = A_{v1} \cdot A_{v2} \cdot \cdots \cdot A_{vn}$$

式中, n 为级数.

有接入系数时各级增益 A_{v1} 应考虑后级 Y_{ie} 的影响.

$$A_{v1} = \frac{n_2 Y_{fe}}{g_\Sigma}$$

式中, n_2 为后级接入系数

$$n_2 = \frac{n_{23}}{n_{12}}$$

$$g_\Sigma = g_{oe} + G + n_2 g_{ie2}$$

单级带宽

$$B = \frac{f_0}{Q_L}$$

式中, $Q_L = \frac{1}{\omega_0 L g_\Sigma}$.

多级同步调谐放大器带宽

$$B_n = \sqrt{2^n - 1} \cdot B_1$$

4. 用频率特性测试仪调整 and 测量调谐放大器.

将被测电路与扫频仪按图 1-1-3 连接. 可以将第二级的集电极对地短接, 以减少第二级对第一级的影响. 然后调谐第一级, 调好后, 再使第三级集电极对地短接, 调谐前两级. 最后三级一起调谐. 每次调谐时, 应使谐振曲线在指定的中心频率上出现最大值. 由于前后级回路之间通过晶体管内部反馈互相影响, 所以必须经多次调整直到满意为止. 在调整过程中, 每次都是先调整回路上的可变电容, 如果不满意, 可以根据具体情况, 再调整另一个电容值. 另外要相应地减小扫频信号的输出, 以防止放大器由于信号太大而产生饱和或自激.

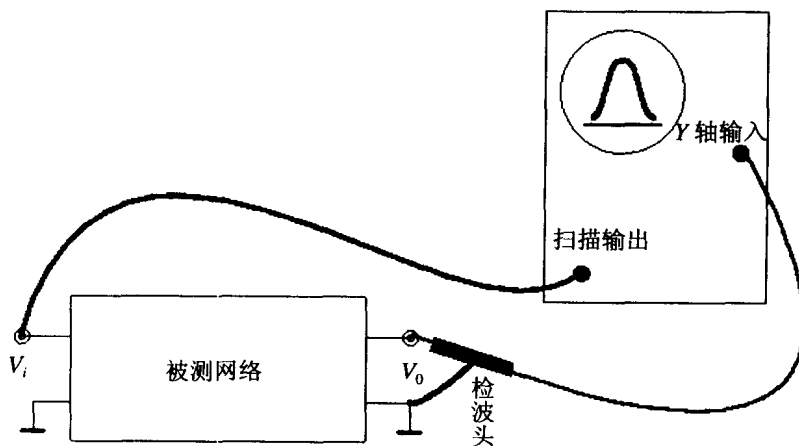


图 1-1-3 扫频仪与被测电路连线示意图

在测试带宽时, 必须将扫频仪屏幕上的谐振曲线展宽, 即扫频宽度减小, 以减小误差. 根

据内频标和示波管上的刻度粗略地估算出通频带 B 。如图 1-1-4 所示。

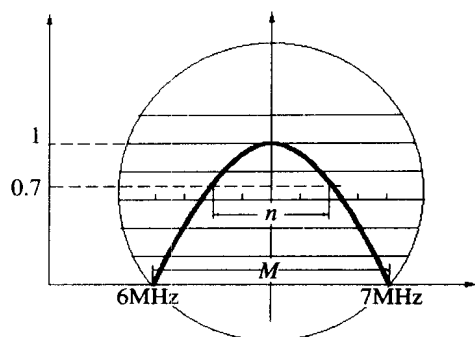


图 1-1-4 测试带宽示意图

根据通频带的定义, n 格所对应的频标宽度即为该放大器的频带宽度 B , 从示波管上读出 m 格对应的频标数 A MHz 则有比例

$$A(\text{MHz}): m = B : n$$

$$B = A \times n / m (\text{MHz})$$

在测量放大器增益时, 我们是用分贝数来表示的, 所以这里的放大器增益 $A(\text{dB}) = \text{输出信号的 dB 数} - \text{输入信号的 dB 数}$ 。

测量时应先对频率特性测试仪的 Y 轴放大器进行校正, 确定校正高度线。

我们首先按图 1-1-3 接入调谐放大器, 将扫频仪信号“输出衰减”旋钮放在“0dB”位置, 将检波头放在放大器输入端, 调节 Y 轴增益细调旋钮, 使屏幕上显示的方框为一固定的高度, 最好为整数格高度。这个高度称为此时的 0dB 校正线, 也就是调谐放大器的输入信号的高度。在保持 Y 轴增益细调旋钮不变的前提下, 将检波头移到放大器输出端的测试点, 增大扫频信号“输出衰减”的 dB 数, 使屏幕上出现的谐振曲线中心频率处的高度在原 0dB 校正线附近, 这时“输出衰减”指示的分贝数即为放大器的增益。

扫频仪的“输出衰减”是对扫频信号的衰减, “ Y 轴衰减”是对被测网络输出信号的衰减。因此在测试电路的幅频特性时应首先使用“输出衰减”旋钮。当被测网络的增益大于“输出衰减”的最大分贝数时, 可适当增加“ Y 轴衰减”, 再结合微调“输出衰减”, 使屏幕上的谐振曲线的高度和 0dB 校正线的高度一致, 此时被测网络的增益 = 输出衰减的分贝数 + Y 轴衰减的分贝数。

由于“ Y 轴衰减”的三档 (1, 10, 100) 分别表示衰减倍数, 必须转换或和“输出衰减”一致的分贝数方可按上式计算, 转换后的分贝数分别为 0dB、20dB、40dB。

测量第一级增益时, 只要将检波头放置在第一级输出测试点即可, 方法同前。

频率特性曲线出现突变时, 如图 1-1-5, 说明电路产生了寄生振荡, 此时需要检查线路, 你可以先关闭电源后重新启动, 如果仍然有自激现象就一定要查出原因并排除。

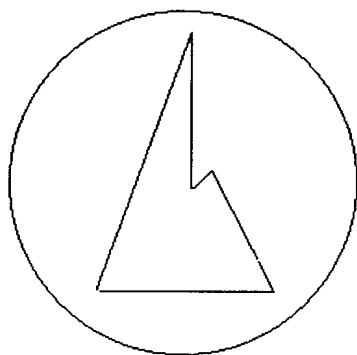


图 1-1-5 有自激现象的谐振曲线

三、实验仪器

1. 直流稳压电源.
2. 万用电表.
3. BT3 频率特性测试仪.

四、实验内容及步骤

实验线路如图 1-1-6 所示。

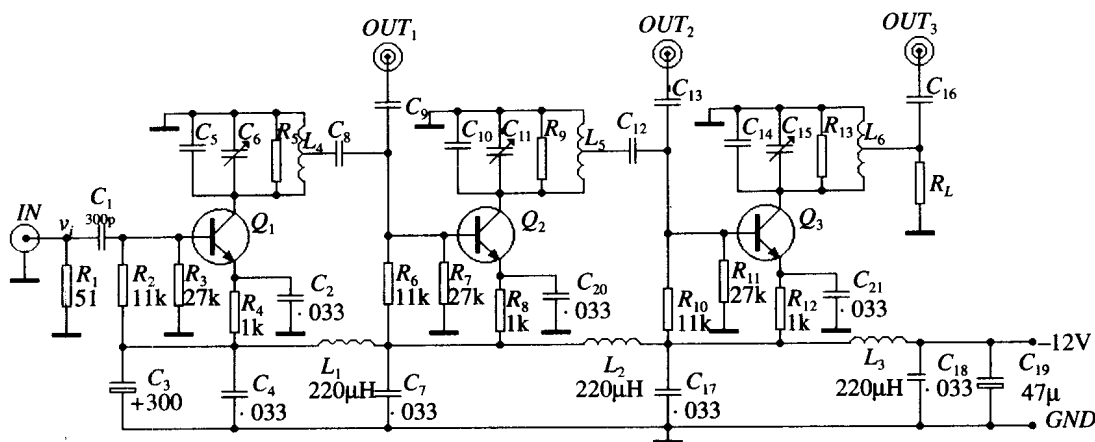


图 1-1-6 小信号调谐放大器实验原理图

1. 根据给出的电感线圈的电感值，估算出谐振电容 C 和回路电阻 R ，并对照线路图，找出实验板上各级谐振电容的位置。
2. 接通电源后，测试各级的静态工作点。
3. 用频率特性测试仪，调出幅频特性曲线，使中心频率在 6.5MHz 附近曲线对称，带宽在 500kHz 附近，调节回路谐振电容，没有自激现象。
4. 测试第一级的增益和带宽值。
5. 测试总增益和总带宽。
6. 记录带频标的总幅频特性曲线，并标出中心频率。

五、预习要求

1. 复习有关小信号调谐放大器的工作原理及稳定性的讨论。
2. 预习有关频率特性测试仪的用法及测量方法。
3. 通过工程估算完成对实验电路中回路的计算。

六、实验报告要求

1. 放大器的工程估算。
2. 调试完成后的实验线路图。
3. 测试数据，并和估算值比较。
4. 对较大的误差加以分析和讨论。

七、思考题

1. 引起小信号谐振放大器工作不稳定的原因是什么？如实验中出现自激现象，应怎样

消除?

2. 试讨论谐振曲线出现的不对称性.
3. 扫频仪的“输出衰减”和“Y轴衰减”有什么不同?

附录 小信号谐振放大器的工程估算

由于在工作频率较高时,晶体管的 Y 参数离散性比较大,使理论计算和实测值有较大的误差. 所以根据本附录设计出来的电路参数,尚须通过实验进行调整和修正.

1. 选择 r'_{be}, C'_{be} 较小, $f_T \geq 5f_0 \sim 10f_0$ 的晶体管,因此本实验选用 2SC2458,特征频率为 $f_T=250\text{MHz}$.

2. 静态工作点的计算. 根据实验底板的直流偏置计算,本实验各级 $I_c=(2\sim 3)\text{mA}$.

3. Y 参数. 在上述 I_c 条件下及 6.5MHz 的工作频率附近,测得 Y 参数,并取其平均值. 有

$$Y_{fe}=100\angle -20^\circ(\text{ms})$$

$$Y_{ie}=1.5+j0.9(\text{ms})$$

$$Y_{oe}=0.3+j0.9(\text{ms})$$

$$Y_{re}=-0.34-j0.094(\text{ms})$$

在估算增益时 Y_{re} 可忽略不计.

4. 估算从本级基级到下级基级的最大稳定电压增益

$$A_{vY} = \sqrt{\frac{2Y_{fe}}{Y_{fe}M[1 + \cos(\varphi_{fe} + \varphi_{re})]}}$$

式中, M 为稳定系数

$$M = \left| \frac{V_g}{V_r} \right|$$

式中, V_g 为输入电压; V_r 为由晶体管 Y_{fe} 引起的内反馈电压,该电压太大将会引起放大器的自激.

一般取 $M \geq 6$,可以保证放大器稳定地工作,而且其幅频特性也大体对称. 我们这里选 $M=6$. 估算三级放大器的最大稳定增益 $A_{vn}=(A_{vY})^3$.

计算该值,并验算本实验采用 3 级级联放大器能否满足总增益的要求.

5. 根据设计通频带 B_n 的要求计算有载 Q 值 Q_L

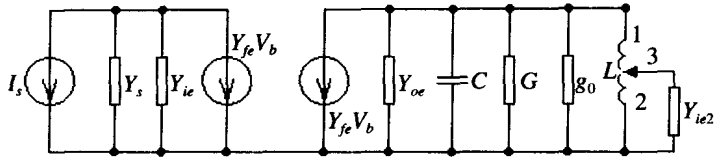
$$Q_L = \sqrt{2^{1/n} - 1} \cdot \frac{f_0}{B_n}$$

式中, n 为级数.

单级调谐放大器等效 Y 参数电路见附图 1-1-1, 由有载 Q 值可估算出回路 g_Σ 值.

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

式中, $g_{\Sigma} = g_{oe} + g_0 + G + n_2^2 g_{ie2}$. g_0 为电感中的损耗电导; $\frac{1}{G} = R$; n_2 为电感 L 的抽头比, 第二级的接入系数($n_2 = n_{2,3}/n_{1,2}$).



附图 1-1-1 Y 参数等效电路图

6. 根据设计要求的增益 A_V , 确定接入系数 n_2 .

单级调谐放大器的增益
$$A_{V1} = \frac{n_2 Y_{fe}}{g_{\Sigma 1}}$$

总增益
$$A_V = A_{V1} \cdot A_{V2} \cdot A_{V3}$$

因同步调谐放大器的增益应是
$$A_{V1} = A_{V2} = A_{V3}$$

故
$$A_V = A_{V1}^3$$

$$n_2 = \frac{\sqrt[3]{A_V \cdot g_{\Sigma}}}{Y_{fe}}$$

7. 自行绕制电感 L . 用 $\phi 0.1\text{mm}$ 漆包线在带有高频磁芯的骨架上绕制电感, 注意抽头比按计算的接入系数绕制, 并在高频 Q 表上测出 L 值和 Q_0 值. 取 $L = 5\mu\text{H} \sim 6.5\mu\text{H}$.

8. 计算回路接入电阻 R , 并选取 R 的标称值作为防振电阻接入电路.

$$G = g_{\Sigma} - g_{oe} - n_2^2 g_{ie}$$

$$R = \frac{1}{G}$$

9. 计算并选取回路电容 C

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

$$C_{\Sigma} = C_{oe} + C + n_2^2 C_{ie2}$$

$$C = C_{\Sigma} - C_{oe} - n_2^2 C_{ie2}$$

为了能有一定的微调作用, 使各级谐振曲线的中心频率准确地调到 f_0 , 每级回路中特加一微调电容 C_1

$$C_1 = 5/15\text{pF}$$

令 $C = C_1 + C'$, (C' 是按标称值选取的电容值)

10. 根据设计好的线路和指标, 验算放大器的总增益 A_V 、通频带 B_n , 并计算失配系数 P

$$P = \frac{g'_{ie}}{g_{oe}} = \frac{n_2^2 g_{ie}}{g_{oe}}$$

11. 如果第二级由于需要加入负反馈电阻 R_e 时, 增益计算应与其它两级不同, 可按负反馈一节计算.

$$A_{V2} \approx \frac{n_2 R'_L}{R_e}$$

12. 本实验的设计指标

中心频率

$$f_0 = 6.5\text{MHz}$$

总增益

$$A_{V\text{总}} = (65 \sim 75)\text{dB}$$

总通频带

$$B_n > 500\text{kHz}$$

实验二 调 幅 器

一、实验目的

1. 了解在过电压状态下集电极调幅的原理.
2. 掌握集电极调幅时晶体管工作点的设置.
3. 掌握用示波器测量调制系数 m 的方法.

二、实验原理

如果强迫高频振荡的振幅按其所需低频信号 $v_{\Omega}(f)$ 成比例地变化, 就会产生已调信号, 其频谱集中在高频正弦波附近. 已调信号不同于调制信号, 调制信号往往是频率较低的信号, 它们是无法发射的. 根据电磁场理论, 要发射一个 1kHz 的信号, 即使采用半波天线, 其长度也将达到 75km , 这是不可能实现的.

为了解决这一问题, 通常采用调幅和调频方式, 即用高频信号作为载波来运载低频信号的方法. 这样, 发射天线的长度只需按高频信号的波长来计算, 其天线长度大为缩短.

本实验采用集电极调幅. 众所周知, 只有当晶体管工作于饱和区, 集电极电压才能有效地控制集电极电流. 因此, 为了使集电极电流的基本分量随集电极调制电压变化, 就应让晶体管工作于饱和状态, 也就是说, 将调制级当作一个非线性谐振放大器更实际, 所以要求放大器工作于过压状态. 因此, 集电极调幅的基本原理在于通过改变集电极供电电压的大小来控制晶体管的过压程度, 并由此引起集电极电流中基波分量的改变.

集电极调幅的原理图如图 1-2-1 所示, 在图中, 我们看到, 集电极回路中除有并联谐振

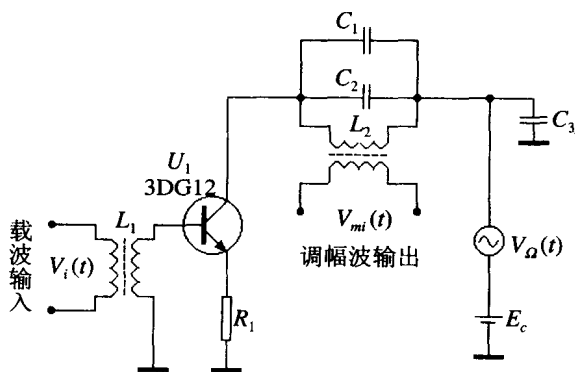


图 1-2-1 集电极调幅原理图

回路和直流供电电源外, 还在它们中间串接了一个调制信号, 该信号可用下式表示

$$v_{\Omega}(t) = V_{\Omega m} \sin(\Omega t + \varphi) \quad (2-1)$$

这就是说, 集电极电压不再是恒定的直流电压, 它还将随调制信号电压而改变.

为了保证有效的调制,就必须使整个调制过程都保持在过压状态,也就是说,即使供电电压最大时,也必须至少保证放大器工作于临界状态,而不允许进入欠压状态.

一个高频振荡可用下式表示

$$v_i(t) = V_{im} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2-2)$$

这样,一个典型的调幅信号可用下式表示:

$$v_{i\Omega}(t) = V_{im} [1 + m \cos(\Omega t + \varphi)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (2-3)$$

式中, m 为调制系数, $m = \frac{\Delta V(\text{受调时正比 } v_{i\Omega}(t) \text{ 的电压变化量})}{V_{im}(\text{未受调时高频电压的振幅})}$.

集电极调幅的电路要求在每周激励载波的振幅上集电极是饱和的(或接通的). 这个饱和所形成的电流产生两个效应,直接效应是在输出电路中引起调谐回路的电压随 $v_{i\Omega}(t)$ 变化,间接效应(或反射效应)是增加基极回路的负载,因此能有效地使输入激励电压也随着 $v_{i\Omega}(t)$ 变化. 集电极调幅波形如图 1-2-3 所示.

当集电极电压 E_c 逐渐减小时,晶体管的工作状态将从欠压区逐渐过渡到过压区,如图 1-2-2 所示,这就是静态调制特性.

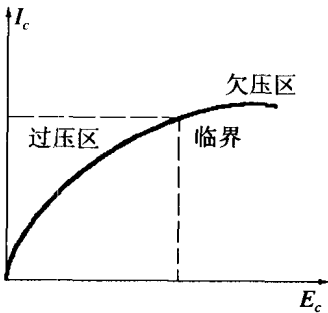


图 1-2-2 集电极调幅静态调制特性

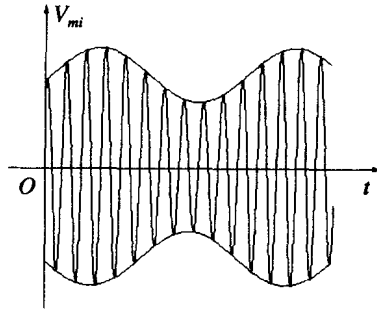


图 1-2-3 集电极调幅波形

随着 E_c 的减小,集电极电流脉冲的凹陷将逐步加深,基波分量也逐步减小,直到 $E_c=0$, $I_c=0$ 为止. 所以减小 E_c 可以实现 100% 的调制.

三、调幅系数的测量方法

测量调幅系数除使用调幅度测量仪外,还可以用示波器来测量.

1. 直接用包络线法测调幅系数 m .

如图 1-2-4 所示,在示波器屏幕上显示稳定的调幅波,读包络线的峰~峰和谷~谷之间所占格数 A 和 B , 则

$$m = \frac{A - B}{A + B} \times 100\%$$

2. 用梯形法——李萨如图形测调幅系数 m .

用双踪示波器,将水平显示模式选择开关置 $[X-Y]$ 位置, CH_1 接调制信号 $V_{i\Omega}(t)$, CH_2 接调幅信号 $V_{mi}(t)$. 示波器屏幕上显示如图 1-2-5 所示的波形(梯形).

$$m = \frac{A-B}{A+B} \times 100\%$$

式中, A 和 B 分别是梯形垂直方向上的最大和最小长度.

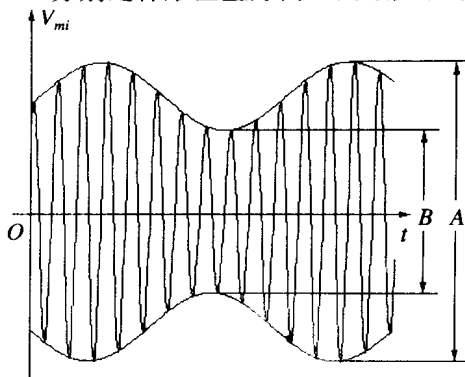


图 1-2-4 示波器测调制度

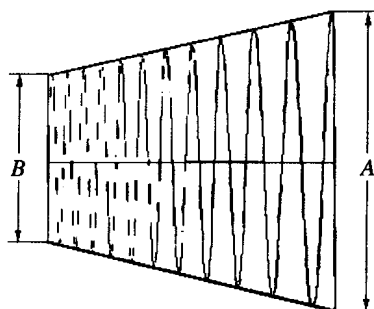


图 1-2-5 李萨如图形测调制度

四、实验内容和步骤

1. 检查实验板, 并对照电路图 1-2-6 检查元器件.

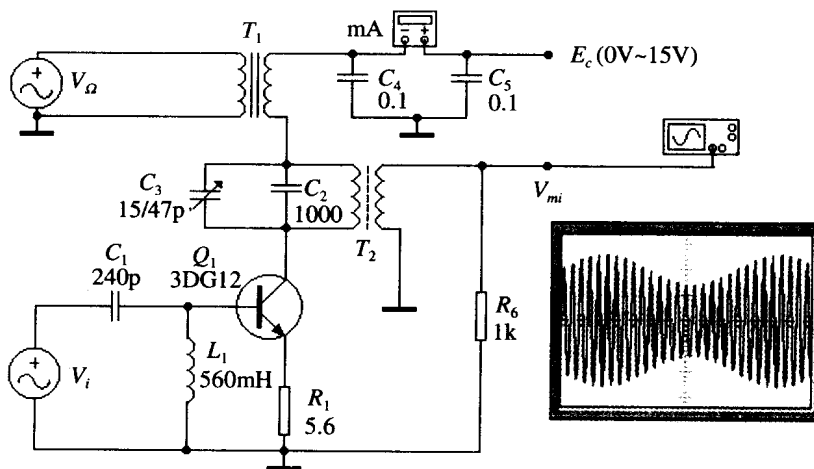


图 1-2-6 调幅器实验电路图

2. 接入直流电流表, 加+12V 电源, 输入端加等幅载波 V_i , 频率约为 2MHz 左右, 适当增加幅度, 用示波器在 V_{mi} 输出点观察集电极饱和失真波形, 此时实验板上 S_1 开关放在位置 1, 示波器用衰减 10 倍探头观察.
3. 加入低频调制信号 V_Ω , $f_\Omega = 10\text{kHz}$, 用示波器在 V_{mi} 输出点观察调幅波形, 调整 V_i 、 V_Ω 的幅度, 使调幅波形正常, 画出调幅波和 V_Ω 的波形.
4. 固定载波信号的大小, 改变调制信号 V_Ω 的幅度, 测 V_Ω 和调制系数 m 的关系曲线 (V_Ω 用毫伏表测, m 用示波器测). E_c 减小到 8V, 另测一根 V_Ω - m 曲线.
5. 去掉 V_Ω , 测静态调制特性 E_c - $I_{c(0)}$ 曲线. E_c 取 3V~15V, V_i 适当加大, 使 $E_c = 10\text{V}$ 时, $I_{c(0)}$ 约为 1.5mA.

五、思考题

- 1. 集电极调幅为什么必须工作在过压状态?怎样保证调幅器工作在过压状态?
- 2. 调制信号的频率是否可以任意选择?为什么?

六、实验仪器

- 1. 高频信号源.
- 2. 超高频毫伏表.
- 3. 函数发生器.
- 4. 直流稳压源.
- 5. 双踪示波器.

附：调幅器和检波器实验电路图

