

实验二 高频谐振功率放大器实验

一、实验目的

1. 进一步掌握高频谐振功率放大器的工作原理。
2. 掌握谐振功率放大器的调谐特性和负载特性。
3. 掌握集电极电源电压及负载变化对放大器工作状态的影响。

二、实验使用仪器

1. 高频调谐放大器实验板
2. 200MHz 双踪示波器
3. 万用表

三、实验基本原理与电路

1. 高频谐振功率放大器原理电路

高频谐振功率放大器是一种能量转换器件，它可以将电源供给的直流能量转换为高频交流输出。高频谐振功率放大器是通信系统中发送装置的重要组件，其作用是放大信号，使之达到足够的功率输出，以满足天线发射和其它负载的要求。

高频谐振功率放大器研究的主要问题是如何获得高效率、大功率的输出。放大器电流导通角 θ 愈小，放大器的效率 η 愈高。如甲类功放的 $\theta = 180^\circ$ ，效率 η 最高为 50%，而丙类功放的 $\theta < 90^\circ$ ，效率 η 可达到 80%。本实验中的谐振功率放大器采用丙类功率放大器，采用选频网络作为负载回路的丙类功率放大器称为高频谐振功率放大器。高频谐振功率放大器原理电路如图 1。

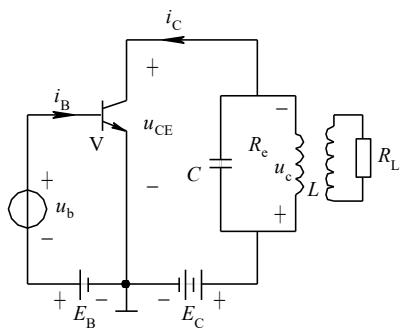


图 1 高频谐振功率放大器的工作原理

图 1 中 u_b 为输入交流信号， E_B 是基极偏置电压，调整 E_B ，改变放大器的导通角，以改变放大器工作的类型。 E_C 是集电极电源电压。集电极外接 LC 并联振荡回路的功用是作放大

器负载。放大器工作时，晶体管的电流、电压波形及其对应关系如图 2 所示。晶体管转移特性如图 2 中虚线所示。由于输入信号较大，可用折线近似转移特性，如图中实线所示。图中 U_B' 为管子导通电压， g_m 为特征斜率。设输入电压为一余弦电压，即

$$u_b = U_{bm} \cos \omega t$$

则管子基极、发射极间电压 u_{BE} 为

$$u_{BE} = E_B + u_b = E_B + U_{bm} \cos \omega t$$

在丙类工作时， $E_B < U_B'$ ，在这种偏置条件下，集电极电流 i_C 为余弦脉冲，其最大值为 i_{Cmax} ，电流流通的相角为 2θ ，通常称 θ 为集电极电流的通角，丙类工作时， $\theta < \pi/2$ 。把集电极电流脉冲用傅氏级数展开，可分解为直流、基波和各次谐波

$$i_C = I_{C0} + i_{c1} + i_{c2} = I_{C0} + I_{c1m} \cos \omega t + I_{c2m} \cos 2\omega t + \dots$$

式中， I_{C0} 为直流电流， I_{c1m} 、 I_{c2m} 分别为基波、二次谐波电流幅度。

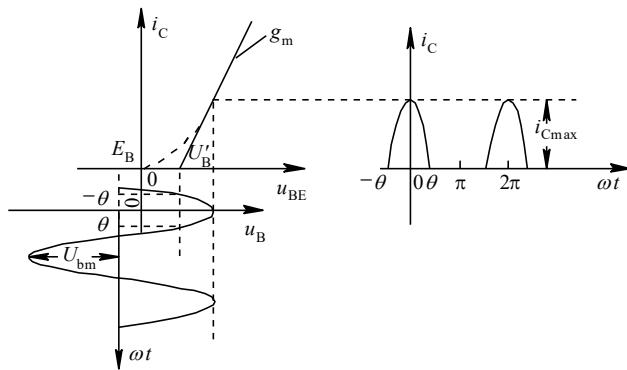


图 2 高频谐振功率放大器电压和电流关系

谐振功率放大器的集电极负载是一高 Q 的 LC 并联振荡回路，如果选取谐振角频率 ω_0 等于输入信号 u_b 的角频率 ω ，那么，尽管在集电极电流脉冲中含有丰富的高次谐波分量，但由于并联谐振回路的选频滤波作用，振荡回路两端的电压可近似认为只有基波电压，即

$$u_c = U_{cm} \cos \omega t = I_{c1m} R_e \cos \omega t$$

式中， U_{cm} 为 u_c 的振幅； R_e 为 LC 回路的谐振电阻。在集电极电路中，LC 振荡回路得到的高频功率为

$$P_0 = \frac{1}{2} I_{c1m} U_{cm} = \frac{1}{2} I_{c1m}^2 R_e = \frac{1}{2} \frac{U_{cm}^2}{R_e}$$

集电极电源 E_C 供给的直流输入功率为

$$P_E = E_C I_{C0}$$

集电极效率 η_C 为输出高频功率 P_0 与直流输入功率 P_E 之比，即

$$\eta_C = \frac{P_0}{P_E} = \frac{1}{2} \frac{I_{c1m} U_{cm}}{I_{C0} E_C}$$

静态工作点、输入信号、负载发生变化，谐振功率放大器的工作状态将发生变化。如图 3 所示。当 C 点落在输出特性 (对应 u_{BEmax} 的那条) 的放大区时，为欠压状态；当 C 点正好落在临界点上时，为临界状态；当 C 点落在饱和区时，为过压状态。谐振功率放大器的工作状态必须由 E_C 、 E_B 、 U_{bm} 、 U_{cm} 四个参量决定，缺一不可，其中任何一个量的变化都会改变 C 点所处的位置，工作状态就会相应地发生变化。

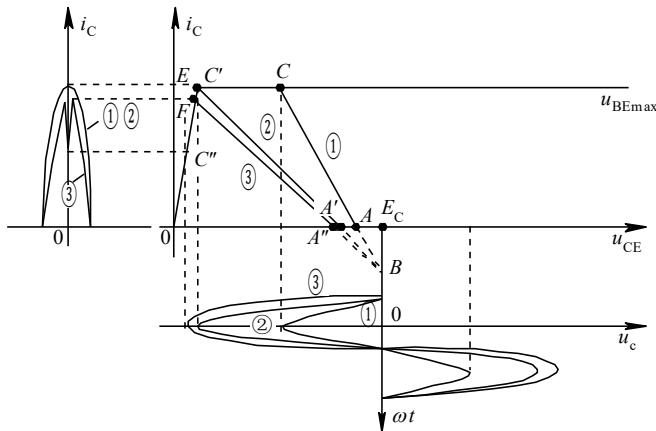


图 3 高频谐振功率放大器的工作状态

负载特性是指当保持 E_C 、 E_B 、 U_{bm} 不变而改变 R_e 时，谐振功率放大器的电流 I_{C0} 、 I_{c1m} ，电压 U_{cm} ，输出功率 P_0 ，集电极损耗功率 P_C ，电源功率 P_E 及集电极效率 η_C 随之变化的曲线。从上面动特性曲线随 R_e 变化的分析可以看出， R_e 由小到大，工作状态由欠压变到临界再进入过压。相应的集电极电流由余弦脉冲变成凹陷脉冲，如图 4(a) 所示。

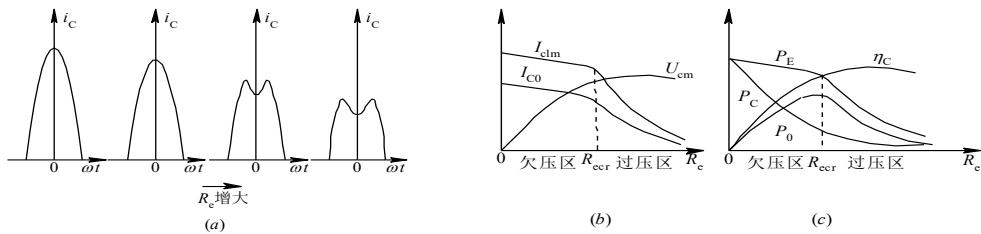


图 4 高频谐振功率放大器的负载特性

集电极调制特性是指当保持 E_B 、 U_{bm} 、 R_e 不变而改变 E_C 时，功率放大器电流 I_{C0} 、 I_{c1m} ，电压 U_{cm} 以及功率、效率随之变化的曲线。当 E_C 由小增大时， $u_{CEmin}=E_C-U_{cm}$ 也将由小增大，

因而由 U_{CEmin} 、 U_{BEmax} 决定的瞬时工作点将沿 U_{BEmax} 这条输出特性由特性的饱和区向放大区移动，工作状态由过压变到临界再进入欠压， i_C 波形由 i_{Cmax} 较小的凹陷脉冲变为 i_{Cmax} 较大的尖顶脉冲，如图 5 所示。由集电极调制特性可知，在过压区域，输出电压幅度 U_{cm} 与 E_C 成正比。利用这一特点，可以通过控制 E_C 的变化，实现电压、电流、功率的相应变化，这种功能称为集电极调幅，所以称这组特性曲线为集电极调制特性曲线。

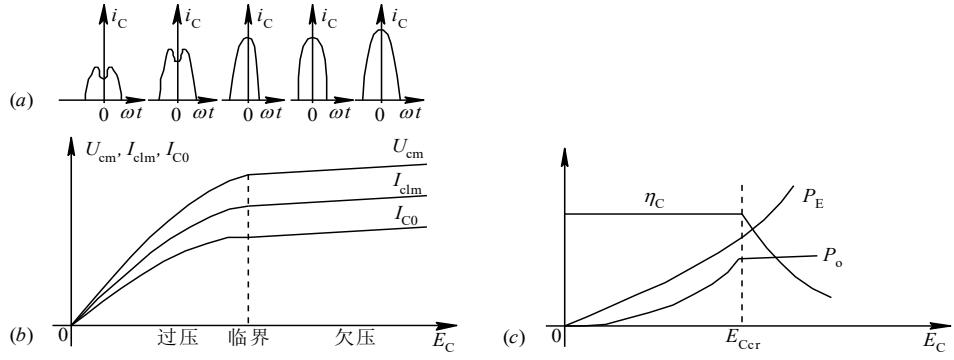


图 5 高频谐振功率放大器的集电极调制特性

基极调制特性是指当 E_C 、 U_{bm} 、 R_e 保持不变而改变 E_B 时，功放电流 I_{C0} 、 I_{c1m} ，电压 U_{cm} 以及功率、效率的变化曲线。当 E_B 增大时，会引起 θ 、 i_{Cmax} 增大，从而引起 I_{C0} 、 I_{c1m} 、 U_{cm} 增大。由于 E_C 不变， $U_{CEmin}=E_C-U_{cm}$ 则会减小，这样势必导致工作状态会由欠压变到临界再进入过压。进入过压状态后，集电极电流脉冲高度虽仍有增加，但凹陷也不断加深， i_C 波形如图 6 所示。利用这一特点，可通过控制 E_B 实现对电流、电压、功率的控制，称这种方式为基极调制，所以称这组特性曲线为基极调制特性曲线。

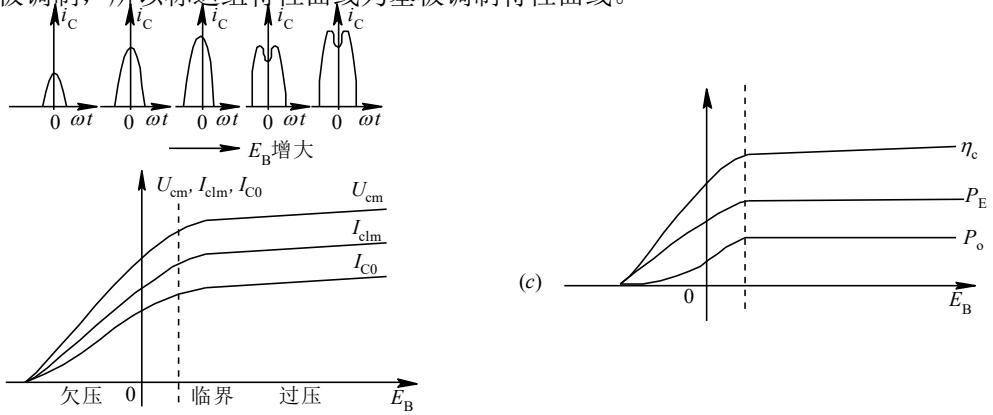


图 6 高频谐振功率放大器的基极调制特性

放大特性是指当保持 E_C 、 E_B 、 R_e 不变，而改变 U_{bm} 时，功率放大器电流 I_{C0} 、 I_{c1m} ，电压 U_{cm} 以及功率、效率的变化曲线。 U_{bm} 变化对谐振功率放大器性能的影响与基极调制特性相似。 i_C 波形及 I_{C0} 、 I_{c1m} 、 U_{cm} 、 P_o 、 P_E 、 η_C 随 U_{bm} 的变化曲线如图 7 所示。由图可见，在欠压区域，输出电压振幅与输入电压振幅基本成正比，即电压增益近似为常数。利用这一特点可将

谐振功率放大器用作电压放大器，所以称这组曲线为放大特性曲线。

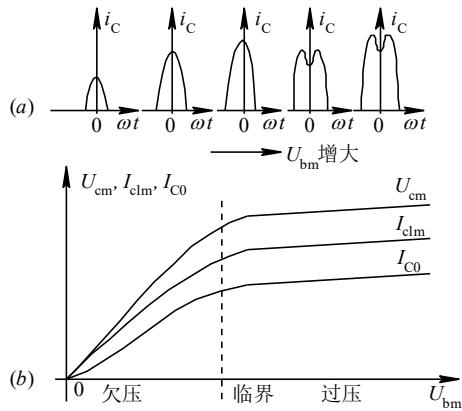


图 7 高频谐振功率放大器的放大特性

2. 实验电路

高频谐振功率放大器实验电路如图 8 所示。

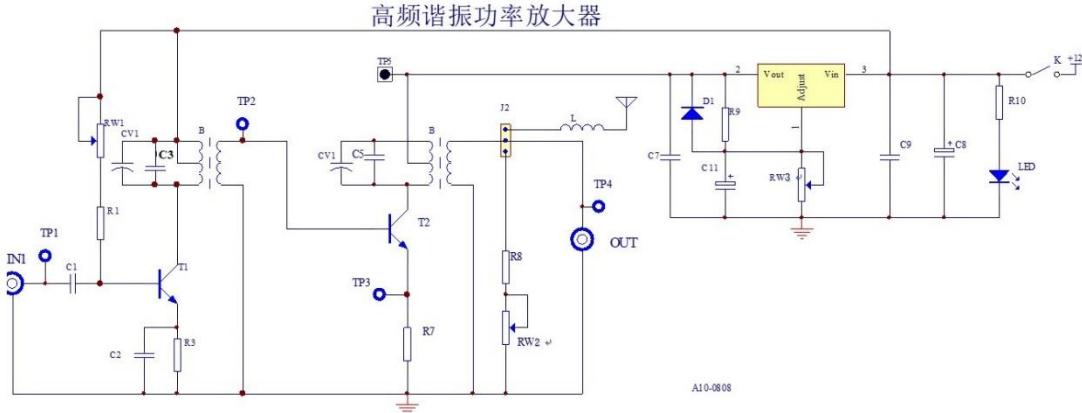


图 8 高频谐振功率放大器实验电路

四、实验内容

1. 高频谐振功率放大器实验电路的调整。
2. 集电极电源电压变化对放大器工作状态的影响（集电极调制特性）的测试。
3. 谐振功率放大器的负载特性测试——负载变化对放大器工作状态的影响测试。

五、实验步骤

1. 高频谐振功率放大器实验电路的调整

- (1) 在实验箱主板上插上高频谐振功率放大器实验电路模块。接通实验箱上电源开关电源指示灯点亮。使用信号发生器产生频率为 10.7MHz 的信号，由 IN1 端接入高频谐振功率放大器实验电路，**峰峰值**在 50mV 左右。

- (2) 调整电位器 RW1 和 RW2，微调 CV1、CV2（板上均为 CV1），在 OUT 端用示波器，观

I _{CO} (mA)								
----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

六、实验报告要求

1. 由实验数据分析负载 R_L、电压 E_C 对高频谐振放大器工作状态的影响。
2. 绘出 U_{CM} ~ R_L, I_{CO} ~ R_L 曲线。
3. 绘出 U_{CM} ~ E_C, I_{CO} ~ E_C 曲线。
4. 总结由本实验所获得的体会。

七、预习报告思考题

根据本实验电路，分析可能会造成实验电路损坏的原因，应该采取哪些预防措施？