

# 《非线性电路实验》实验报告

实验名称: Large-Signal Power Amplifier 指导教师: 冯鹏 fengpeng06@semi.ac.cn  
姓名: 丁毅 学号: 2023K8009908031 班级/专业: 2308/电子信息 实验时段: 下午  
实验日期: 2025.11.27 实验地点: 西实验楼 (8 号楼) 308 是否调课/补课: 否 成绩:     

## 目录

1 实验目的	1
2 实验仪器	1
3 实验原理	2
3.1 谐振功率放大器基本原理	2
3.2 谐振功率放大器的直流工作点	3
3.3 实验所用功放电路分析	3
4 实验内容与步骤	4
4.1 功率放大器直流工作点调整	4
4.2 负载调制特性测量	4
4.3 集电极调制特性测量	4
5 实验结果与分析	4
5.1 直流工作点调整	4
5.2 负载调制特性	5
5.3 集电极调制特性	5
6 思考题	6
6.1 根据实验电路, 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?	6
附录 A 原始数据记录表	7
附录 B 实验预习报告	8
附录 C MATLAB Codes	13

## 1 实验目的

- (1) 掌握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。

## 2 实验仪器

- (1) 高频实验箱 - 谐振功率放大器实验板 (031132201809392)

- (2) 示波器 RIGOL MSO2202A (080103201901376)
- (3) 信号发生器 GW INSTEK AFG-2225 (080102201901355)
- (4) 万用表 LINIT- UT61A (C181848639)

### 3 实验原理

#### 3.1 谐振功率放大器基本原理

本实验中使用的谐振功率放大器 (PA, Power Amplifier) 为 Class-C PA (丙类功放), 采用谐振网络作为负载回路, 且导通角  $\theta \in (0^\circ, 90^\circ)$ 。

功率放大器导通角余弦值  $\cos \theta = \frac{V_{TH} - V_B}{V_{in,amp}} < 180^\circ$  时 (例如 Class-AB, Class-B 和 Class-C PA), 尽管输出波形存在属于“削波失真” (clipping distortion) 的“截断”现象, 具有非常明显的非线性失真 (高次谐波分量较多), 但由于负载为谐振网络, 输出端口的电流和电压波形经过谐振网络滤波后, 高次谐波被充分抑制, 以此实现高效的大信号功率放大。

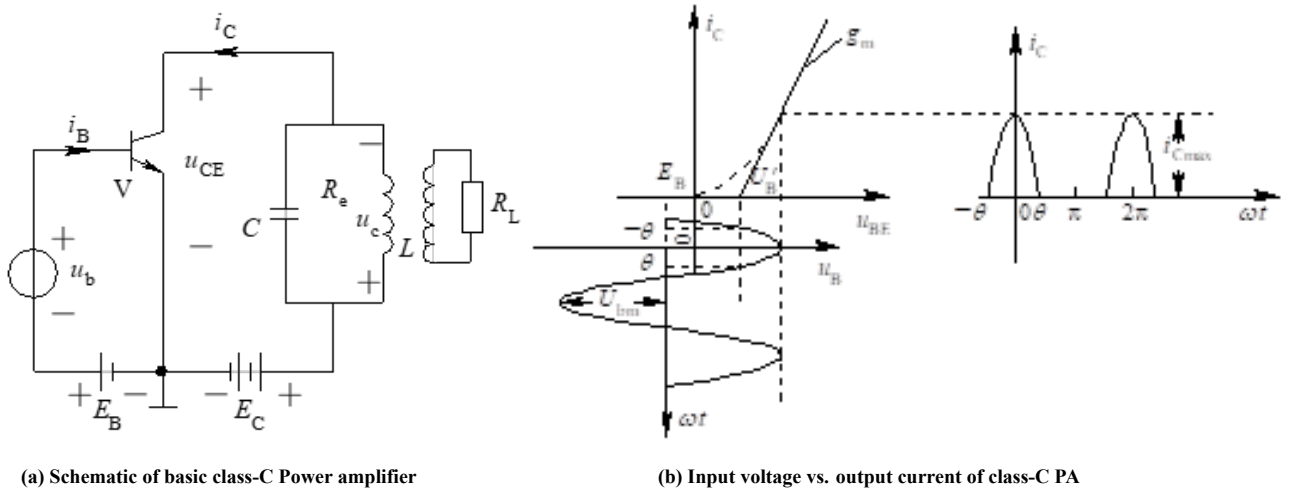


Figure 1: Class-C Power Amplifier Operating Principle

理论分析已经在非线性电路课程中详细介绍过, 以下仅给出主要公式:

$$\cos \theta = \frac{V_{TH} - V_B}{V_{in,amp}}, \quad I_{\max} = g_m V_{in,amp} (1 - \cos \theta) \quad (1)$$

$$P_L := P_{out,base} = \frac{1}{2} I_{1,amp} V_{1,amp} = \frac{1}{2} I_{1,amp}^2 R_L \quad (2)$$

$$P_Q = I_Q V_{CC} = I_0 V_{CC} \Rightarrow \eta_C = \frac{P_L}{P_Q} = \frac{1}{2} \frac{I_{1,amp} V_{1,amp}}{I_0 V_{CC}} = \frac{1}{2} \frac{\alpha_1 V_{1,amp}}{\alpha_0 V_{CC}} \quad (3)$$

$$\alpha_0 = \frac{I_0}{I_{\max}} = \frac{\sin \theta - \theta \cos \theta}{\pi (1 - \cos \theta)}, \quad \alpha_1 = \frac{I_{1,amp}}{I_{\max}} = \frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{\pi (1 - \cos \theta)} \quad (4)$$

$$\alpha_n = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sin n\theta \cos \theta - n \cos n\theta \sin \theta}{n(n^2 - 1)(1 - \cos \theta)}, \quad n = 2, 3, \dots \quad (5)$$

$$I_{n,amp} = \alpha_n I_{\max} = \alpha_n g_m V_{in,amp} (1 - \cos \theta) \quad (6)$$

$$i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} I_n \cos n\omega_0 t = I_0 + I_{1,amp} \cos(\omega_0 t) + I_{2,amp} \cos(2\omega_0 t) + \dots \quad (7)$$

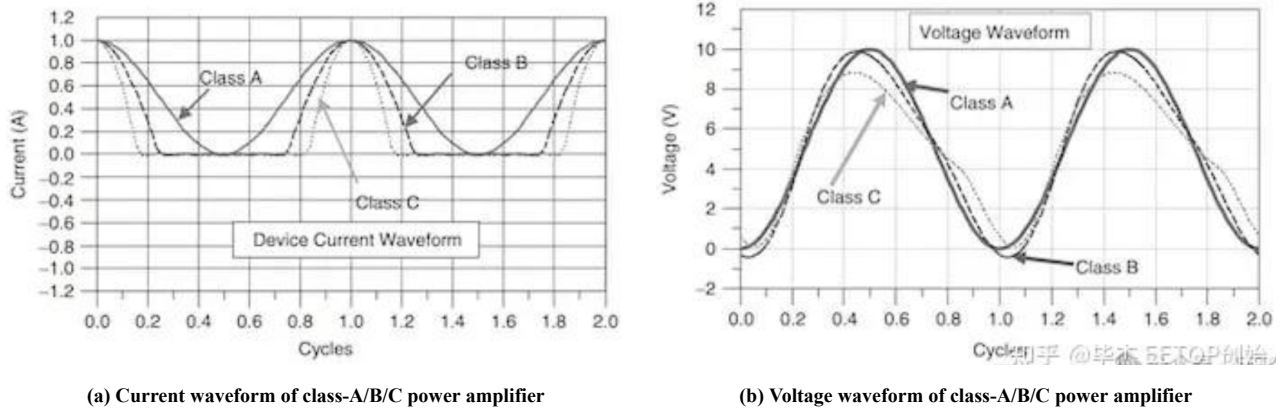


Figure 2: Operating Waveforms of Class-A/B/C Power Amplifiers

### 3.2 谐振功率放大器的直流工作点

一个 Class-C PA 的工作状态由下面四个参数决定：

- (1) 集电极电源电压  $V_{CC}$ ，即讲义中的  $E_C$
- (2) 负载电阻  $R_L$ ，即讲义中的  $R_e$
- (3) 输入信号幅度  $V_{in,amp}$ ，即讲义中的  $U_{bm}$
- (4) 晶体管 Base 端偏置电压  $V_B$ ，即讲义中的  $U_B$

由此衍生出几种特性曲线：

- (1) 负载特性：保持其它参数不变，改变负载电阻  $R_L$  时，功率放大器的基频输出电流  $I_{1,amp}$ 、基频输出电压  $V_{1,amp}$ 、基频输出功率  $P_L$  以及集电极效率  $\eta_C$  随之变化的曲线；
- (2) 集电极调制特性 (电源调制特性)：保持其它参数不变，改变电源电压  $V_{CC}$  (即集电极电压) 时，功率放大器的上述输出参数随之变化的曲线；
- (3) 输入调制特性：保持其它参数不变，改变输入信号幅度  $V_{in,amp}$  时，功率放大器的上述输出参数随之变化的曲线；

### 3.3 实验所用功放电路分析

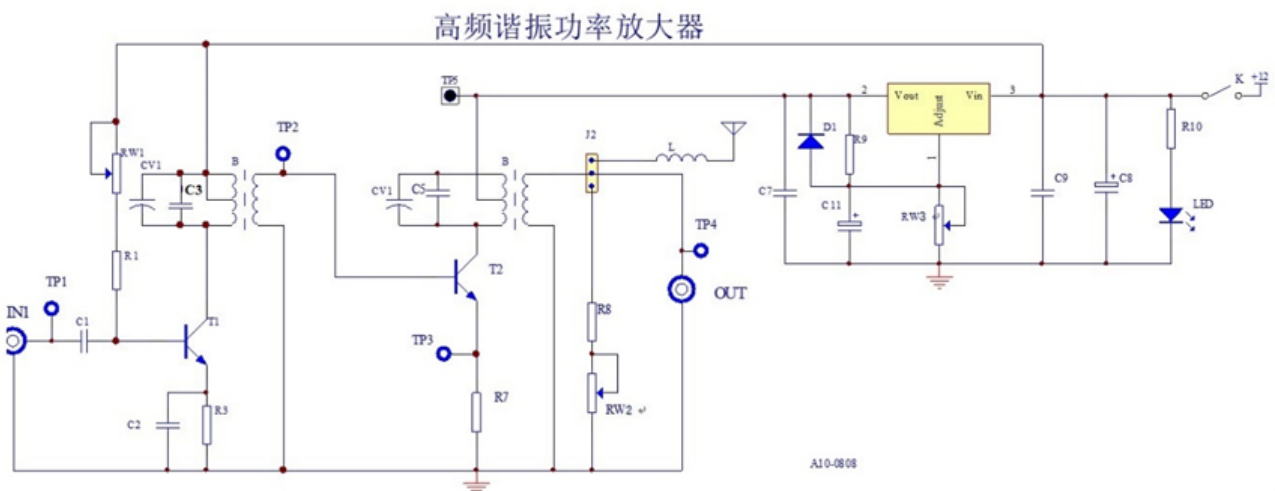


Figure 3: Schematic of The Power Amplifier Used in This Experiment

该放大器有两级，第一级放大器在基极用可变电阻调节偏置，集电极负载是一个可调 LC 谐振回路，电源电压 (集电极电压) 为 12 V；第二级集电极负载仍为 LC 谐振回路，但电源电压 (集电极电压) 由 LDO 给出，低于 12 V。RW2 和 R8 为功放负载，也可以将输出接到天线负载。

## 4 实验内容与步骤

本次实验的注意内容为“放大器的频率特性及通频带的测量”。需注意：

- (1) 调整两级放大器的可调电容，使两级放大器的谐振频率分别略低于和略高于 10.7 MHz, 但不能完全相等或相差过大；完全相等会导致频率响应曲线过于尖锐，难以测量通频带，差距过大则会导致增益明显下降，甚至出现中间窄两边高的“双峰现象”；
- (2) 为电路注入小信号时，输入信号幅度 (amplitude) 应控制在 30 mV 以内，过大会导致放大器进入非线性工作区，输出波形严重失真；

### 4.1 功率放大器直流工作点调整

- (1) 连接好电路，在实验箱主板上插上高频谐振功率放大器实验电路模块，接通实验箱电源并打开开关，指示灯点亮。由信号发生器提供 50 mVpp sinusoidal wave @ 10 MHz 给到功放的 IN1 输入端。
- (2) 在 OUT 端用示波器观测到放大后的输入信号，调整电位器 RW1/RW2，微调可调电容 CV，在 OUT 端用示波器观察输出信号状态。

### 4.2 负载调制特性测量

- (1) 调整 RW3 使第二级功放的电源电压为最大值 (测量 TP5)；
- (2) 将负载接到电阻端，保持其它参数不变，改变负载  $R_L$ ，观察电压、电流波形的变化情况；
- (3) 具体而言，改变  $R_L$  的同时，测量输出电压  $V_{1,amp}$ 、输出电流  $I_{1,amp}$  和直流偏置电流  $I_0$ ，以此计算输出功率  $P_L$  和集电极效率  $\eta_C$  等其它参数。

可先测量出 R8 的阻值，每次改变负载后断电测量 RW2 两端阻值，这样得到的是  $(R_8 \parallel RW_2)$ ，可通过数学运算得到负载  $R_L$  的值，省去了频繁拔插跳线 J2 的麻烦步骤。

**注意：**为避免板子烧坏，上电前将 J2 连接到电阻端，且负载电阻总阻值不能小于 50Ω (不能空载)，功放输出电压峰峰值不可超过 1.5V。

### 4.3 集电极调制特性测量

- (1) 保持偏置电压  $V_B$  不变，负载接天线并且将天线展开将天线展开，不断调整 RW3 以改变第二级功放的  $V_{CC}$  ( $E_C$ )，在 TP3 测量  $V_{CC}$  对电压和电流波形的影响。
- (2) 具体而言，改变  $V_{CC}$  的同时，需要测量输出电压  $V_{1,amp}$ 、输出电流  $I_{1,amp}$  和直流偏置电流  $I_0$ ，以此计算输出功率  $P_L$  和集电极效率  $\eta_C$  等参数。

## 5 实验结果与分析

### 5.1 直流工作点调整

先将电阻负载与功放输出端相连，然后将信号源调至 50mVpp (zero-offset) sinusoidal wave @ 10.7 MHz, 并连接到功放输入端。供电之前先将 RW3 调至最大，打开电路板的电源开关和信号发生器输出，调节 RW1/RW2 使得 TP5 输出幅度最大，再适当调节 RW3 使第二级 BJT 具有合适的集电极电压。最后，以 10mV 为步长增加信号源输峰峰值，使得功放总输出峰峰值接近 1.5V，即完成直流工作点调整。

## 5.2 负载调制特性

将负载接到电阻端，保持其它参数不变，改变负载  $R_L$ ，观察并记录电压电流的变化情况，结果如下表：

Table 1: Raw Data of Load Modulation Characteristic

(断电后测量) $R_L$ (Ohm)	1053.9	817.5	670.8	403.9	285.7	108.3	78.66
(AC of TP4) $V_{1,pp}$ (V)	1.4970	1.4610	1.3440	1.2230	1.1610	1.0870	0.9240
(DC of TP3) $I_0 R_7$ (V)	0.9004	0.8649	0.9461	0.9622	1.0532	1.2617	1.3306

通过  $I_0 R_7$  计算直流偏置  $I_0$  时，尽管实验讲义中给出了电阻  $R_7 = 29.78 \text{ Ohm}$ ，但讲义中测量的阻值仅为“示例实验板”上的阻值，实际实验中应以我们自己的实测值为准。先从 R7 的色环读出其阻值为  $30.0 \text{ Ohm} \pm 1\%$ ，符合预期，然后在断电情况下用万用表测量 R7，得到**实际阻值为  $30.17 \text{ Ohm}$** 。对上述数据进行换算，并作出相应图像：

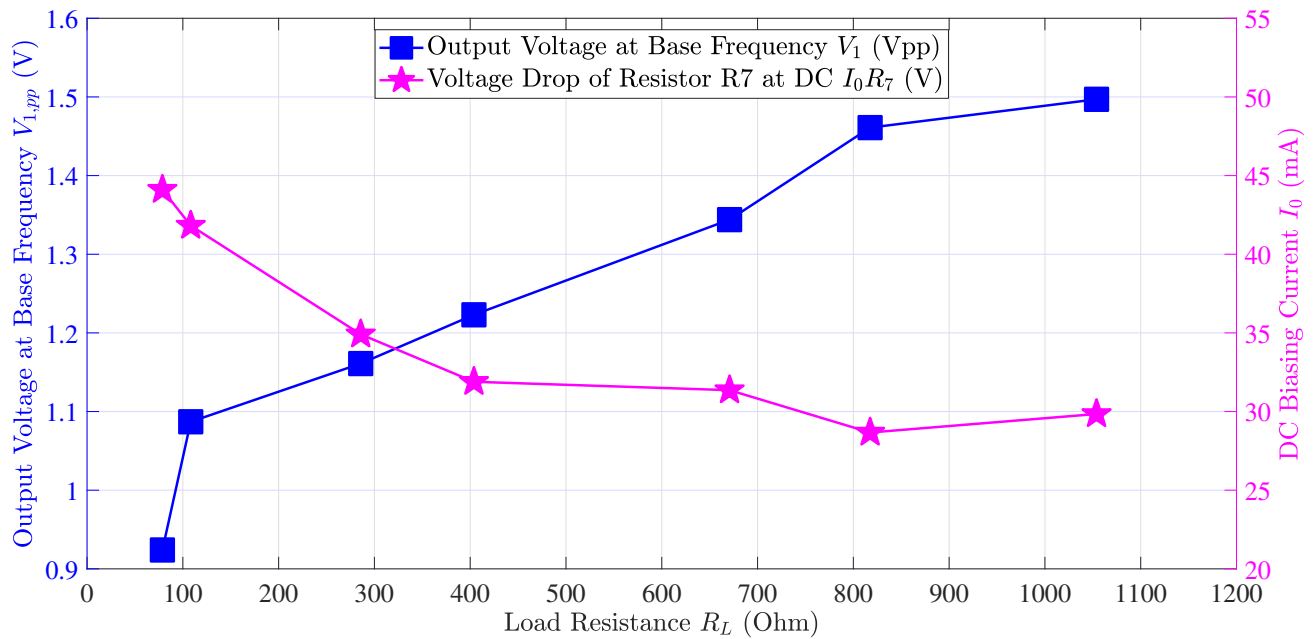


Figure 4: Load Modulation Characteristic Curves

## 5.3 集电极调制特性

把天线展开后将负载接到天线端，保持其它参数不变，调整 RW3 以改变第二级晶体管的集电极电压  $V_{CC}$  ( $E_C$ )，观察并记录电压、电流的变化情况，结果如下：

Table 2: Raw Data of Collector Modulation Characteristic

(DC of TP5) $V_{CC}$ (V)	10.7290	7.1290	5.5280	4.2650	3.0190	2.2440	1.3560
(AC of TP4) $V_{1,pp}$ (V)	1.7210	1.4150	1.3170	1.1880	1.1030	1.0170	0.9810
(DC of TP3) $I_0 R_7$ (V)	0.2980	0.2900	0.2810	0.2770	0.2700	0.2660	0.2640

与上一小节类似，通过  $I_0 R_7$  计算直流偏置  $I_0$  时，仍然使用实测阻值  $30.17 \text{ Ohm}$ 。对上述数据进行换算，并作出相应图像：

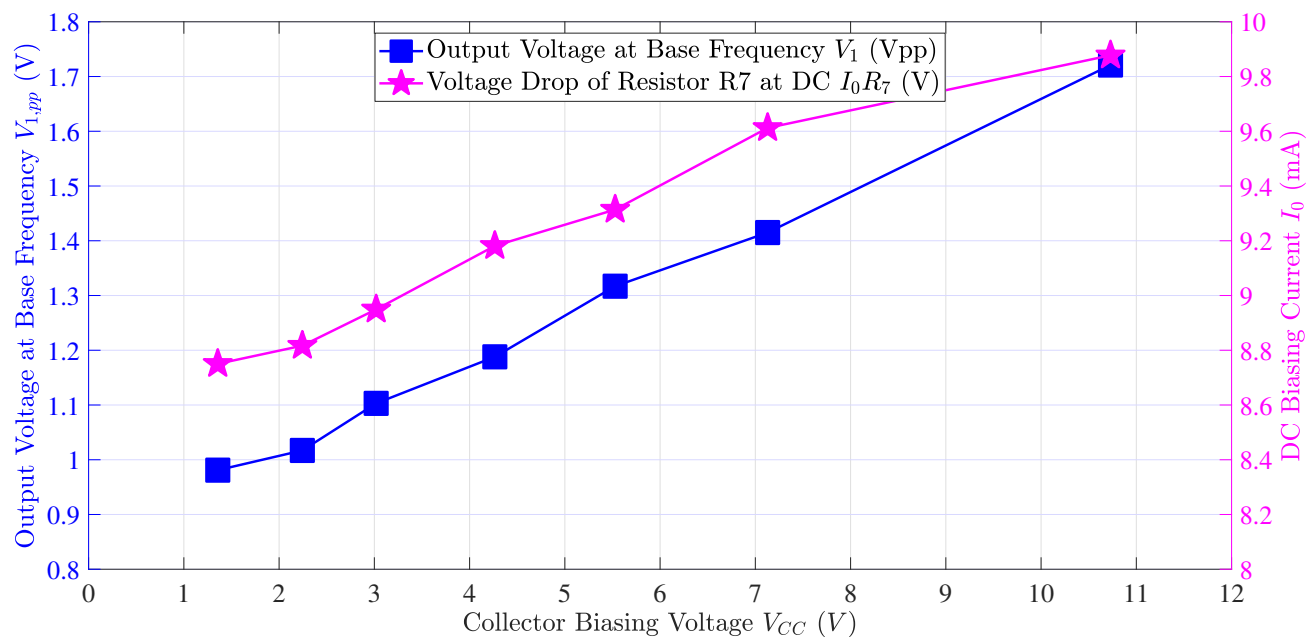


Figure 5: Collector Modulation Characteristic Curves

## 6 思考题

### 6.1 根据实验电路，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？

可能的原因：

- (1) 输入信号幅值过大或放大倍率过大，导致输出功率过大，板子烧毁；
- (2) 上电未接负载，导致输出电流过大，板子烧毁；
- (3) 断开条线 J2 前未断电，产生较强冲激电流，烧毁板子；
- (4) 板子以过大功率工作较长时间，导致负载端过热熔毁。

预防措施：

- (1) 合理控制放大倍数和输入电压幅值，控制输出功率；
- (2) 规范操作，上电前先接入负载，调节电路时断电；
- (3) 控制电路板工作时间，避免长时间工作导致过热。

## 附录 A 原始数据记录表

https://github.com/YiDingg/GH.UCAS-NonlinearCircuitExpriment

Preview Report of NCE-04 PA (2025.11.27, 丁毅)

数据记录表格如下:

Table 1: Load Modulation Characteristic Data

(断电后测量) $R_L$ (Ohm)	1053.9	817.5	670.8	403.9	285.7	108.26
(AC of TP4) $V_{1,pp}$ (V)	1.497	1.461	1.344	1.223	1.161	1.087
(AC of TP3) $I_{1,pp} R_7$ (V)						
(DC of TP3) $I_0 R_7$ (V)	900.4	864.9	946.1	962.2	1053.2	1261.7

注意: 为避免板子烧坏, 上电前将 J2 连接到电阻端, 且负载电阻总阻值不能小于 50Ohm (不能空载), 功放输出电压峰峰值不可超过 1.5V。

## 4.3 集电极调制特性测量

- (1) 保持偏置电压  $V_B$  不变, 负载接天线并且将天线展开将天线展开, 不断调整 RW3 以改变第二级功放的  $V_{CC}$  ( $E_C$ ), 在 TP3 测量  $V_{CC}$  对电压和电流波形的影响。
- (2) 具体而言, 改变  $V_{CC}$  的同时, 需要测量输出电压  $V_{1,amp}$ 、输出电流  $I_{1,amp}$  和直流偏置电流  $I_0$ , 以此计算输出功率  $P_L$  和集电极效率  $\eta_C$  等参数。

数据记录表格如下:

Table 2: Collector Modulation Characteristic Data

(DC of TP5) $V_{CC}$ (V)	10.129	7.129	5.529	4.265	3.019	2.244
(AC of TP4) $V_{1,pp}$ (V)	1.721	1.412	1.317	1.188	1.103	1.017
(AC of TP3) $I_{1,pp} R_7$ (V)						
(DC of TP3) $I_0 R_7$ (V)	0.298	0.290	0.281	0.277	0.270	0.266

## 5 思考题

## 5.1 根据实验电路, 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?

可能的原因:

- (1) 输入信号幅值过大或放大倍率过大, 导致输出功率过大, 板子烧毁;
- (2) 上电未接负载, 导致输出电流过大, 板子烧毁;
- (3) 断开条线 J2 前未断电, 产生较强冲激电流, 烧毁板子;

## 附录 B 实验预习报告

# 《非线性电路实验》预习报告

实验名称: Large-Signal Power Amplifier 指导教师: 冯鹏 fengpeng06@semi.ac.cn  
 姓名: 丁毅 学号: 2023K8009908031 班级/专业: 2308/电子信息 分组序号: 2-06  
 实验日期: 2025.11.27 实验地点: 西实验楼 (8 号楼) 308 是否调课/补课: 否 成绩:     

## 1 实验目的

- (1) 掌握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。

## 2 实验仪器

- (1) 谐振功率放大器实验板 (序列号……)
- (2) 示波器 RIGOL MSO2202A (序列号……)
- (3) 信号发生器 GW INSTEK AFG-2225 (序列号……)
- (4) 万用表 LINIT- UT61A (序列号……)

## 3 实验原理

### 3.1 谐振功率放大器基本原理

本实验中使用的谐振功率放大器 (PA, Power Amplifier) 为 Class-C PA (丙类功放), 采用谐振网络作为负载回路, 且导通角  $\theta \in (0^\circ, 90^\circ)$ 。

功率放大器导通角余弦值  $\cos \theta = \frac{V_{TH} - V_B}{V_{in,amp}} < 180^\circ$  时 (例如 Class-AB, Class-B 和 Class-C PA), 尽管输出波形存在属于“削波失真” (clipping distortion) 的“截断”现象, 具有非常明显的非线性失真 (高次谐波分量较多), 但由于负载为谐振网络, 输出端口的电流和电压波形经过谐振网络滤波后, 高次谐波被充分抑制, 以此实现高效的大信号功率放大。

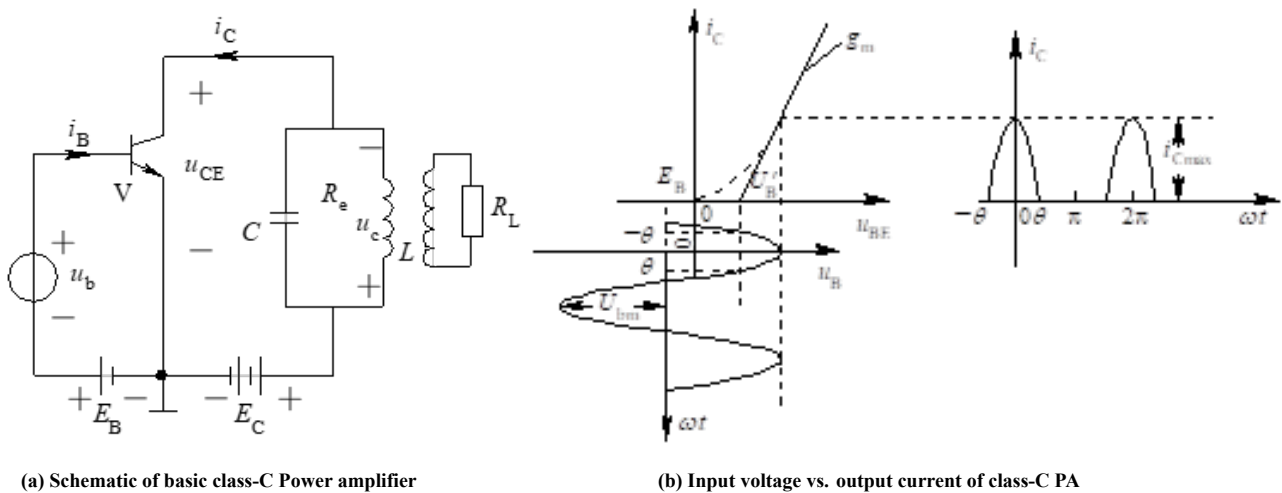


Figure 1: Class-C Power Amplifier Operating Principle

理论分析已经在非线性电路课程中详细介绍过，以下仅给出主要公式：

$$\cos \theta = \frac{V_{TH} - V_B}{V_{in,amp}}, \quad I_{\max} = g_m V_{in,amp} (1 - \cos \theta) \quad (1)$$

$$P_L := P_{out,base} = \frac{1}{2} I_{1,amp} V_{1,amp} = \frac{1}{2} I_{1,amp}^2 R_L \quad (2)$$

$$P_Q = I_Q V_{CC} = I_0 V_{CC} \Rightarrow \eta_C = \frac{P_L}{P_Q} = \frac{1}{2} \frac{I_{1,amp} V_{1,amp}}{I_0 V_{CC}} = \frac{1}{2} \frac{\alpha_1 V_{1,amp}}{\alpha_0 V_{CC}} \quad (3)$$

$$\alpha_0 = \frac{I_0}{I_{\max}} = \frac{\sin \theta - \theta \cos \theta}{\pi(1 - \cos \theta)}, \quad \alpha_1 = \frac{I_{1,amp}}{I_{\max}} = \frac{\theta - \sin \theta \cos \theta}{\pi(1 - \cos \theta)} \quad (4)$$

$$\alpha_n = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sin n\theta \cos \theta - n \cos n\theta \sin \theta}{n(n^2 - 1)(1 - \cos \theta)}, \quad n = 2, 3, \dots \quad (5)$$

$$I_{n,amp} = \alpha_n I_{\max} = \alpha_n g_m V_{in,amp} (1 - \cos \theta) \quad (6)$$

$$i(t) = \sum_{n=0}^{\infty} I_n \cos n\omega_0 t = I_0 + I_{1,amp} \cos(\omega_0 t) + I_{2,amp} \cos(2\omega_0 t) + \dots \quad (7)$$

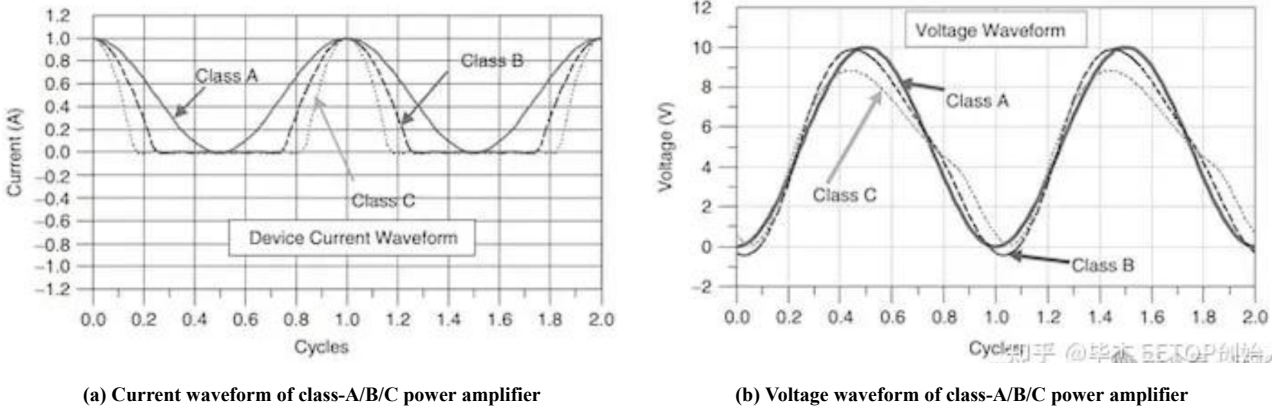


Figure 2: Operating Waveforms of Class-A/B/C Power Amplifiers

### 3.2 谐振功率放大器的直流工作点

一个 Class-C PA 的工作状态由下面四个参数决定：

- (1) 集电极电源电压  $V_{CC}$ ，即讲义中的  $E_C$
- (2) 负载电阻  $R_L$ ，即讲义中的  $R_e$
- (3) 输入信号幅度  $V_{in,amp}$ ，即讲义中的  $U_{bm}$
- (4) 晶体管 Base 端偏置电压  $V_B$ ，即讲义中的  $U_B$

由此衍生出几种特性曲线：

- (1) 负载特性：保持其它参数不变，改变负载电阻  $R_L$  时，功率放大器的基频输出电流  $I_{1,amp}$ 、基频输出电压  $V_{1,amp}$ 、基频输出功率  $P_L$  以及集电极效率  $\eta_C$  随之变化的曲线；
- (2) 集电极调制特性(电源调制特性)：保持其它参数不变，改变电源电压  $V_{CC}$  (即集电极电压) 时，功率放大器的上述输出参数随之变化的曲线；
- (3) 输入调制特性：保持其它参数不变，改变输入信号幅度  $V_{in,amp}$  时，功率放大器的上述输出参数随之变化的曲线；

### 3.3 实验所用功放电路分析

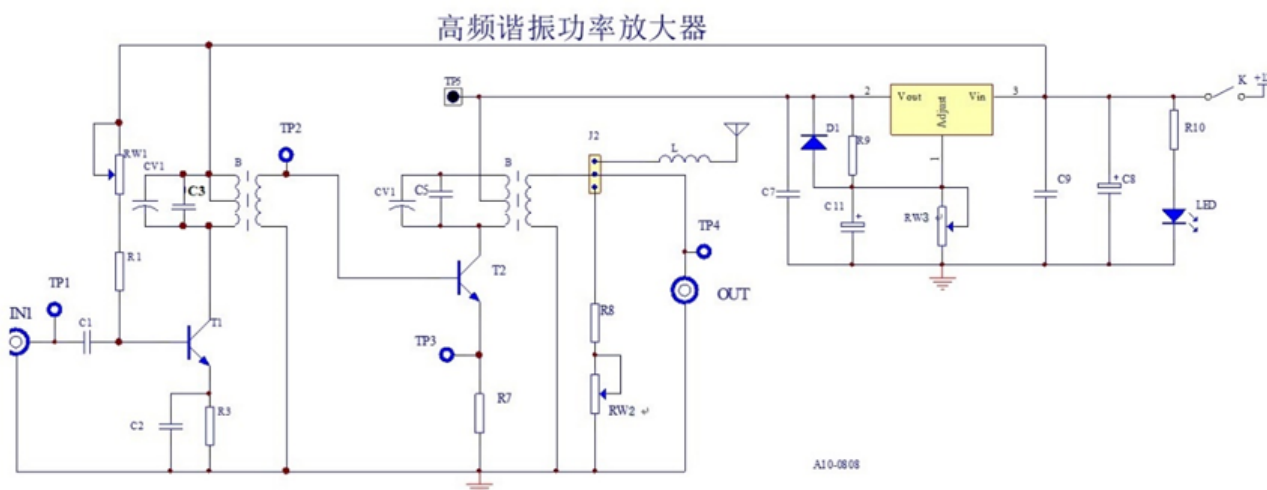


Figure 3: Schematic of The Power Amplifier Used in This Experiment

该放大器有两级，第一级放大器在基极用可变电阻调节偏置，集电极负载是一个可调 LC 谐振回路，电源电压 (集电极电压) 为 12 V；第二级集电极负载仍为 LC 谐振回路，但电源电压 (集电极电压) 由 LDO 给出，低于 12 V。RW2 和 R8 为功放负载，也可以将输出接到天线负载。

## 4 实验内容与步骤

本次实验的注意内容为“放大器的频率特性及通频带的测量”。需注意：

- (1) 调整两级放大器的可调电容，使两级放大器的谐振频率分别略低于和略高于 10.7 MHz, 但不能完全相等或相差过大；完全相等会导致频率响应曲线过于尖锐，难以测量通频带，差距过大则会导致增益明显下降，甚至出现中间窄两边高的“双峰现象”；
- (2) 为电路注入小信号时，输入信号幅度 (amplitude) 应控制在 30 mV 以内，过大会导致放大器进入非线性工作区，输出波形严重失真；

### 4.1 功率放大器直流工作点调整

- (1) 连接好电路，在实验箱主板上插上高频谐振功率放大器实验电路模块，接通实验箱电源并打开开关，指示灯点亮。由信号发生器提供 50 mVpp sinusoidal wave @ 10 MHz 给到功放的 IN1 输入端。
- (2) 在 OUT 端用示波器观测到放大后的输入信号，调整电位器 RW1/RW2，微调可调电容 CV，在 OUT 端用示波器观察输出信号状态。

### 4.2 负载调制特性测量

- (1) 调整 RW3 使第二级功放的电源电压为最大值 (测量 TP5)；
- (2) 将负载接到电阻端，保持其它参数不变，改变负载  $R_L$ ，观察电压、电流波形的变化情况；
- (3) 具体而言，改变  $R_L$  的同时，测量输出电压  $V_{1,amp}$ 、输出电流  $I_{1,amp}$  和直流偏置电流  $I_0$ ，以此计算输出功率  $P_L$  和集电极效率  $\eta_C$  等其它参数。

可先测量出 R8 的阻值，每次改变负载后断电测量 RW2 两端阻值，这样得到的是  $(R_8 \parallel RW_2)$ ，可通过数学运算得到负载  $R_L$  的值，省去了频繁拔插跳线 J2 的麻烦步骤。

数据记录表格如下：

**Table 1: Load Modulation Characteristic Data**

(断电后测量) $R_L$ (Ohm)
(AC of TP4) $V_{1,pp}$ (V)
(AC of TP3) $I_{1,pp}R_7$ (V)
(DC of TP3) $I_0R_7$ (V)

注意：为避免板子烧坏，上电前将 J2 连接到电阻端，且负载电阻总阻值不能小于 50Ohm (不能空载)，功放输出电压峰峰值不可超过 1.5V。

### 4.3 集电极调制特性测量

- (1) 保持偏置电压  $V_B$  不变，负载接天线并且将天线展开将天线展开，不断调整 RW3 以改变第二级功放的  $V_{CC}$  ( $E_C$ )，在 TP3 测量  $V_{CC}$  对电压和电流波形的影响。
- (2) 具体而言，改变  $V_{CC}$  的同时，需要测量输出电压  $V_{1,amp}$ 、输出电流  $I_{1,amp}$  和直流偏置电流  $I_0$ ，以此计算输出功率  $P_L$  和集电极效率  $\eta_C$  等参数。

数据记录表格如下：

**Table 2: Collector Modulation Characteristic Data**

(DC of TP5) $V_{CC}$ (V)
(AC of TP4) $V_{1,pp}$ (V)
(AC of TP3) $I_{1,pp}R_7$ (V)
(DC of TP3) $I_0R_7$ (V)

## 5 思考题

### 5.1 根据实验电路，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？

可能的原因：

- (1) 输入信号幅值过大或放大倍率过大，导致输出功率过大，板子烧毁；
- (2) 上电未接负载，导致输出电流过大，板子烧毁；
- (3) 断开条线 J2 前未断电，产生较强冲激电流，烧毁板子；
- (4) 板子以过大功率工作较长时间，导致负载端过热熔毁。

预防措施：

- (1) 合理控制放大倍数和输入电压幅值，控制输出功率；
- (2) 规范操作，上电前先接入负载，调节电路时断电；
- (3) 控制电路板工作时间，避免长时间工作导致过热。

## 附录 C MATLAB Codes

```

1  %% NCE-04 示波器数据读取
2  address = 'USB0::0x1AB1::0x04B0::DS2F203700277::INSTR';
3  depth_level = 2; % 0 ~ 4
4  flag_plot = 1;
5  ch = 1;
6  stc = MyOscilloscope_MS02202A_Read(address, ch, depth_level, flag_plot);
7  stc.stc_spectrum.plot4.axes.XLim = [0.1e6, 0.5e9];
8  amplitude = stc.stc_spectrum.STC.y_oneSided;
9  freq = stc.stc_spectrum.STC.fAxis_oneSided;
10 power = stc.stc_spectrum.STC.power_oneSided;
11 fr = stc.stc_spectrum.STC.fr;
12
13 amplitude = amplitude(2:end); freq = freq(2:end); % 不考虑 DC 量
14 [ymax, ind] = max(amplitude);
15 index = (ind-1):1:(ind+1);
16 freq_MHz = freq(index)/1e6;
17 input_amp_mV = round(sqrt(sum( amplitude(index).^2 ))*1e3, 2)
18
19
20 ch = 2;
21 stc = MyOscilloscope_MS02202A_Read(address, ch, depth_level, flag_plot);
22 stc.stc_spectrum.plot4.axes.XLim = [0.1e6, 0.5e9];
23 amplitude = stc.stc_spectrum.STC.y_oneSided;
24 freq = stc.stc_spectrum.STC.fAxis_oneSided;
25
26 amplitude = amplitude(2:end); freq = freq(2:end); % 不考虑 DC 量
27 [ymax, ind] = max(amplitude);
28 index = (ind-3):1:(ind+3);
29 freq_MHz = freq(index)/1e6;
30 output_amp_mV = round(sqrt(sum( amplitude(index).^2 ))*1e3, 2)
31
32 freq_MHz_now = freq_MHz_now + 0.1
33 in = [in, input_amp_mV]
34 out = [out, output_amp_mV]
35
36
37 %% NCE-04 负载调制特性
38
39 clc, clear
40 R_L = [
41 1053.9 817.5 670.8 403.9 285.7 108.26 78.66
42 ]
43 V1_pp = [
44 1.497 1.461 1.344 1.223 1.161 1.087 0.924
45 ]
46 I0R7 = [
47 900.4 864.9 946.1 962.2 1053.2 1261.7 1330.6
48 ]*1e-3
49
50 stc = MyPlot_Marker(R_L, [V1_pp; I0R7]);
51 stc.legend.String = [
52 "Output Voltage at Base Frequency $V_{1}$ (Vpp)"
53 "Voltage Drop of Resistor R7 at DC $I_{0}$ R_7$ (V)"
54 ];
55 ylim([0.8, 1.5])
56 xlim([0 1200])
57 stc.label.y.String = 'Voltage (V)';
58 stc.label.x.String = 'Load Resistance (Ohm)';
59

```

```

60 MyFigure_ChangeSize([2.2, 1]*512);
61
62 V1_amp = V1_pp/2;
63 R_7 = 30.17;
64 I0 = I0R7/R_7;
65
66
67 stc = MyPlot(R_L, V1_pp);
68 yyaxis('left')
69 stc.plot.plot_1.Marker = 'square';
70 stc.plot.plot_1.MarkerFaceColor = 'b';
71 stc.plot.plot_1.Color = 'b';
72 stc.axes.YColor = 'b';
73 stc.label.y.String = 'Output Voltage at Base Frequency $V_{1,pp}$ (V)';
74 ylim([0.9, 1.6])
75 xlim([0 1200])
76
77 yyaxis('right')
78 stc = MyPlot_ax(stc.axes, R_L, I0*1e3);
79 stc.plot.plot_1.Marker = 'pentagram';
80 stc.plot.plot_1.MarkerFaceColor = 'm';
81 stc.plot.plot_1.Color = 'm';
82 stc.axes.YColor = 'm';
83 stc.label.x.String = 'Load Resistance $R_L$ (Ohm)';
84 stc.label.y.String = 'DC Biasing Current $I_0$ (mA)';
85 stc.legend.Visible = 'on';
86 stc.legend.String = [
87     "Output Voltage at Base Frequency $V_{1}$ (Vpp)"
88     "Voltage Drop of Resistor R7 at DC $I_0$ R7$ (V)"
89 ];
90 stc.legend.Location = 'north';
91 stc.axes.XTick = 0:100:1200;
92
93 ylim([20, 55])
94 MyFigure_ChangeSize([2.2, 1]*512*1.2);
95
96 MyExport_pdf_modal
97
98 %% NCE-04 集电极调制特性
99
100 clc, clear
101 VCC = [
102     10.729 7.129 5.528 4.265 3.019 2.244 1.356
103 ]
104 V1_pp = [
105     1.721 1.415 1.317 1.188 1.103 1.017 0.981
106 ]
107 I0R7 = [
108     0.298 0.290 0.281 0.277 0.270 0.266 0.264
109 ]
110
111 V1_amp = V1_pp/2;
112 R_7 = 30.17;
113 I0 = I0R7/R_7;
114
115
116 stc = MyPlot(VCC, V1_pp);
117 yyaxis('left')
118 stc.plot.plot_1.Marker = 'square';
119 stc.plot.plot_1.MarkerFaceColor = 'b';
120 stc.plot.plot_1.Color = 'b';
121 stc.axes.YColor = 'b';

```

```
122 stc.label.y.String = 'Output Voltage at Base Frequency $V_{1,pp}$ (V)';
123 ylim([0.8, 1.8])
124 xlim([0 12])
125
126 yyaxis('right')
127 stc = MyPlot_ax(stc.axes, VCC, I0*1e3);
128 stc.plot.plot_1.Marker = 'pentagram';
129 stc.plot.plot_1.MarkerFaceColor = 'm';
130 stc.plot.plot_1.Color = 'm';
131 stc.axes.YColor = 'm';
132 stc.label.x.String = 'Collector Biasing Voltage $V_{CC}$ (V)';
133 stc.label.y.String = 'DC Biasing Current $I_0$ (mA)';
134 stc.legend.Visible = 'on';
135 stc.legend.String = [
136     "Output Voltage at Base Frequency $V_{1}$ (Vpp)"
137     "Voltage Drop of Resistor R7 at DC $I_0$ R7 (V)"
138 ];
139 stc.legend.Location = 'north';
140 stc.axes.XTick = 0:1:12;
141
142 ylim([8, 10])
143 MyFigure_ChangeSize([2.2, 1]*512*1.2);
144
145 %MyExport_pdf_modal
```