



山东大学

信息科学与工程学院

2022 – 2023 学年第二学期

实 验 报 告

课程名称: 高频电子线路实验与课程设计

实验名称: 高频功率放大器

专 业 班 级 通信工程 三班

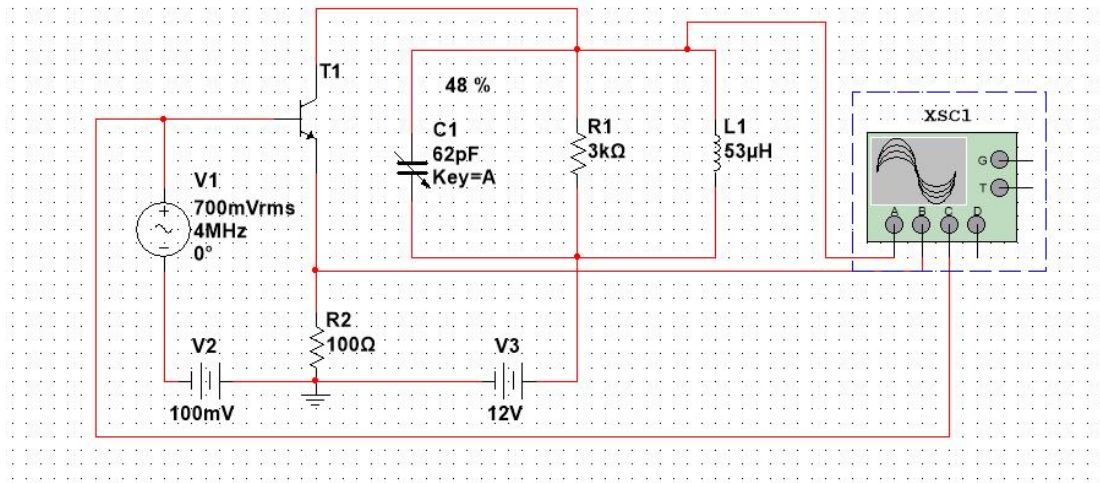
学 生 学 号 202100120059

学 生 姓 名 陈潇杰

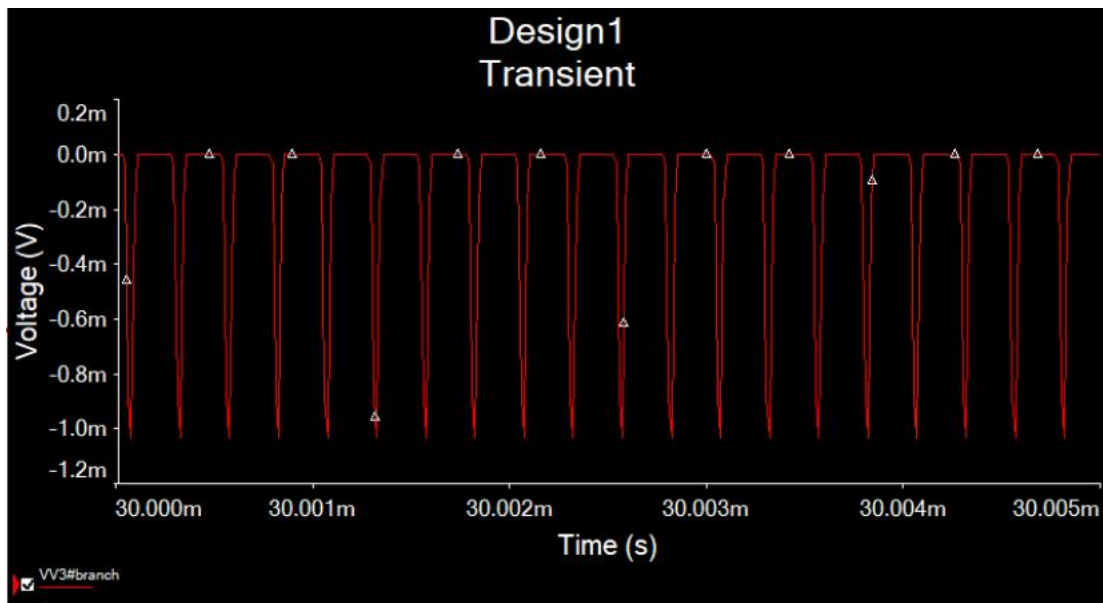
实 验 时 间 2023 年 4 月 8 日

仿真实验部分

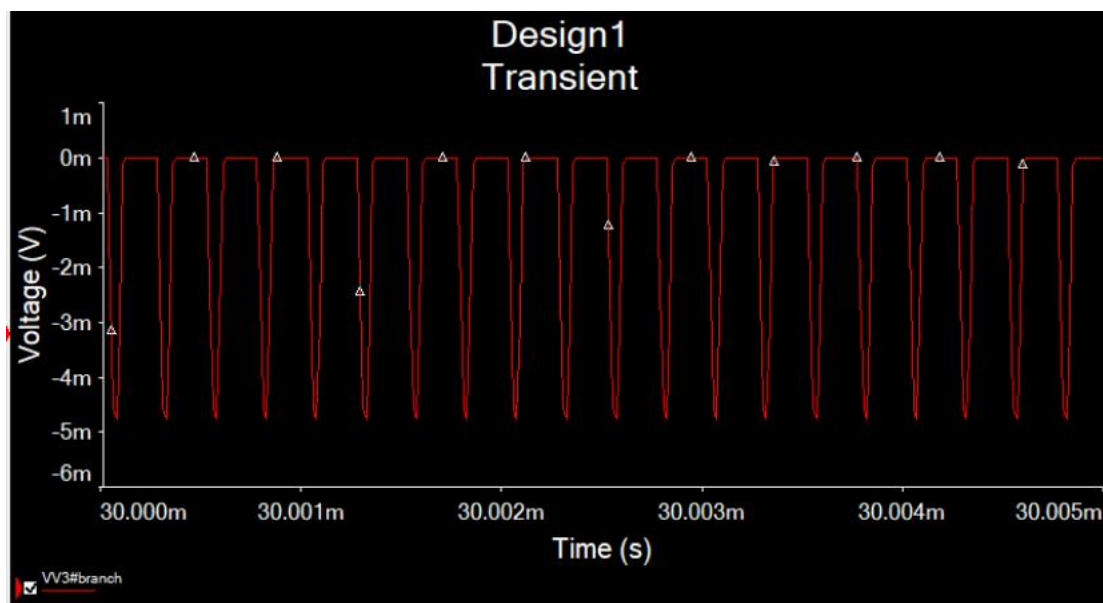
1) 集电极电流 I_C 与输入信号之间的非线性关系的测量



(1) .当输入信号的频率为 4MHz，幅度为 0.7V 时，利用 Multisim 软件的瞬态分析对功率放大器进行分析（注意：设置起始时间为 0.03s，终止时间为 0.030005s，输出变量为 VV3#branch）



(2) .当输入信号的幅度增大到 1V 时，设置同 (1)

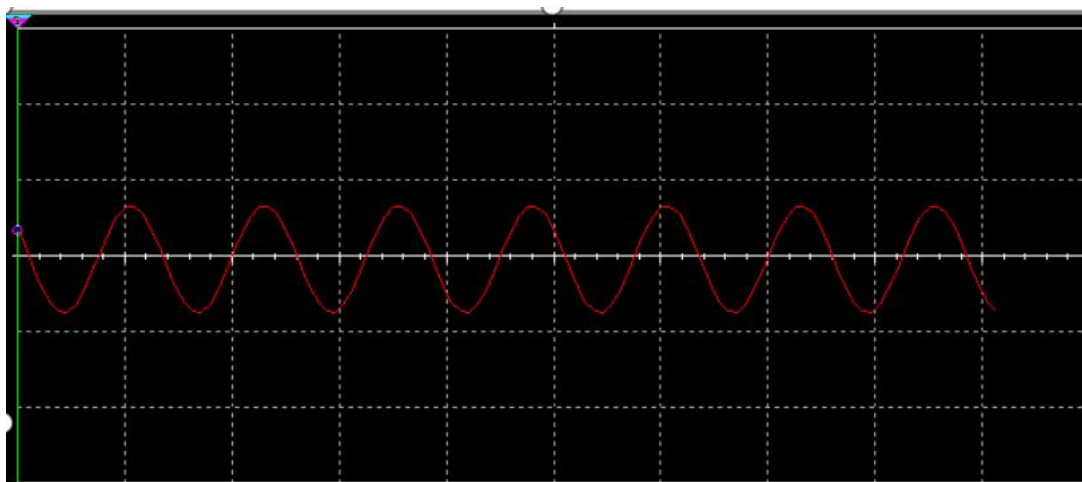


(3) .根据 (1) (2) 中的仿真结果得到对应的结论

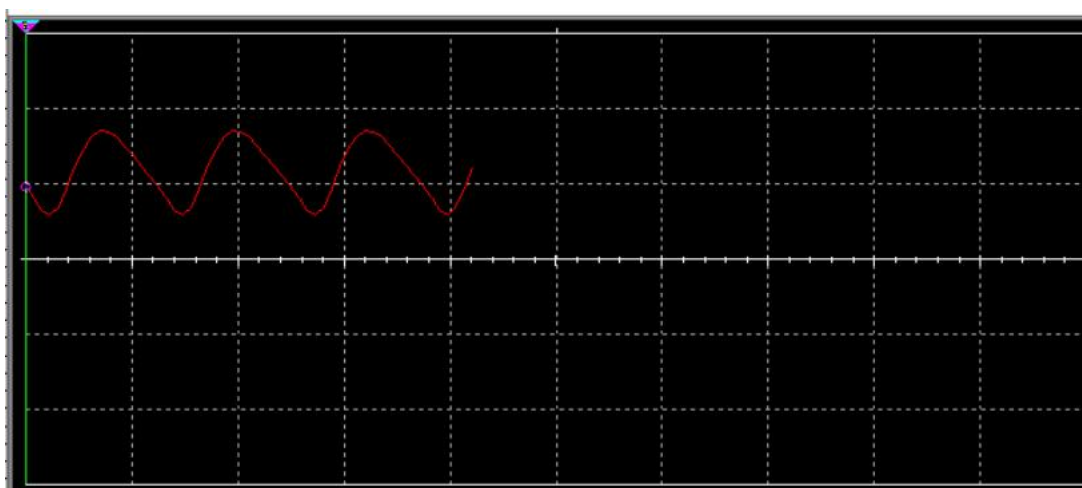
答：随着输入信号幅度的增大，输出幅度也增大

2) 输入与输出信号之间的线性关系

创建如图 4.3.15 所示的仿真电路后，单击“仿真”按钮，用四踪示波器观察输入，输出及发射极信号的波形，并得到相应的结论



输入信号



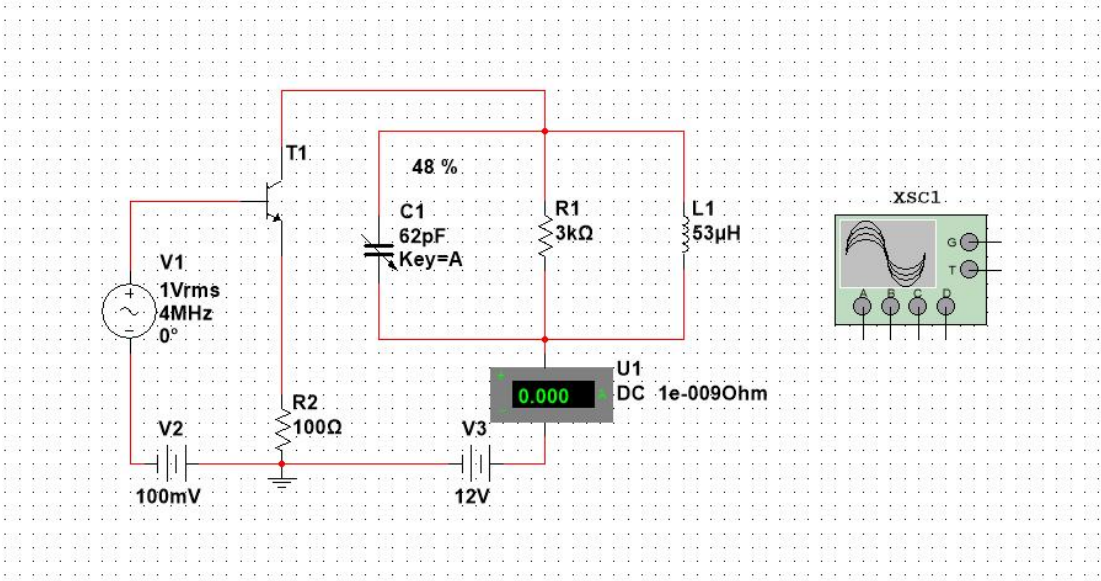
输出信号



发射极信号

结论：高频功率放大器的集电极电流成脉冲状，各频率成分经过 LC 谐振回路选频滤波后输出正弦波。

3) 调谐特性的仿真



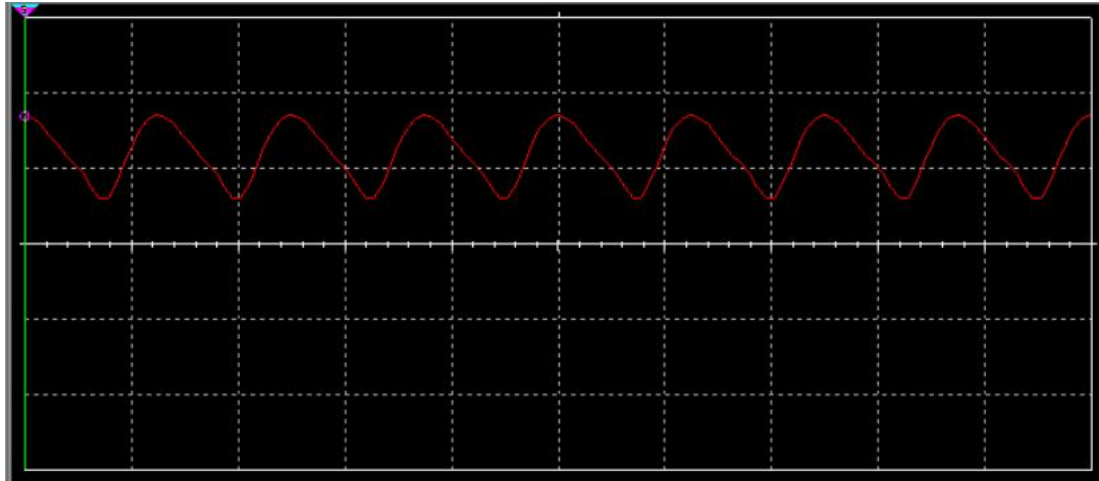
仿真电路图

改变回路的可变电容 C_1 ，（百分比由大到小变化），观察电流指示和示波器所测量的输入、输出信号波形。

0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13
6	6	7	5	7	4	3	2	7	8

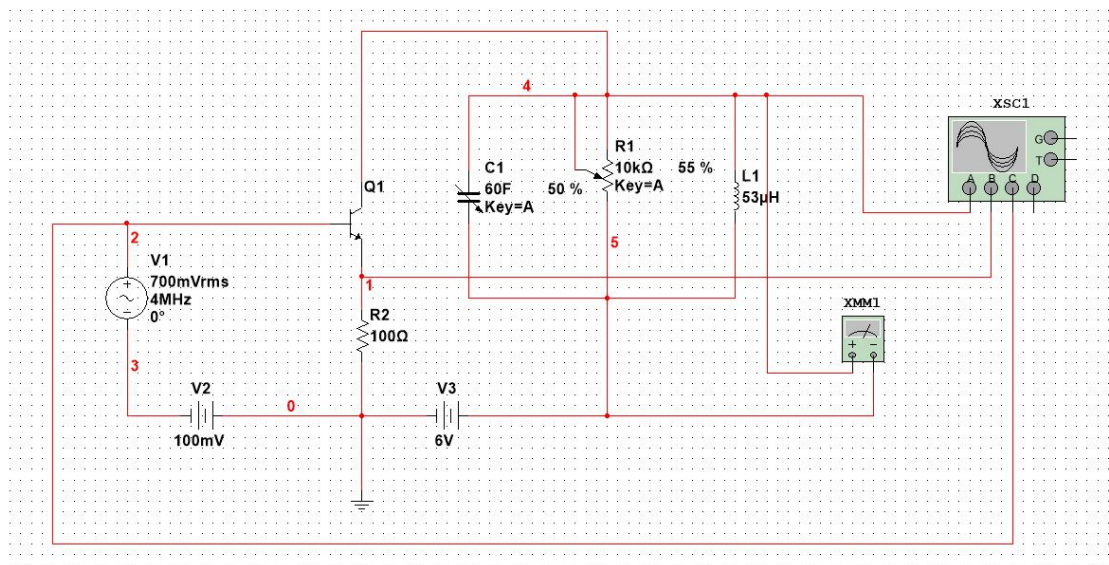
（第一行是可变电容的百分比，第二行是电流表的示数,单位是 mA）

答：可变电容为 48%时回路谐振，此时电流表示数为-0.933mA.随着 C_1 电容增大，电流表示数波动变化。



谐振时波形

4) 负载特性的仿真



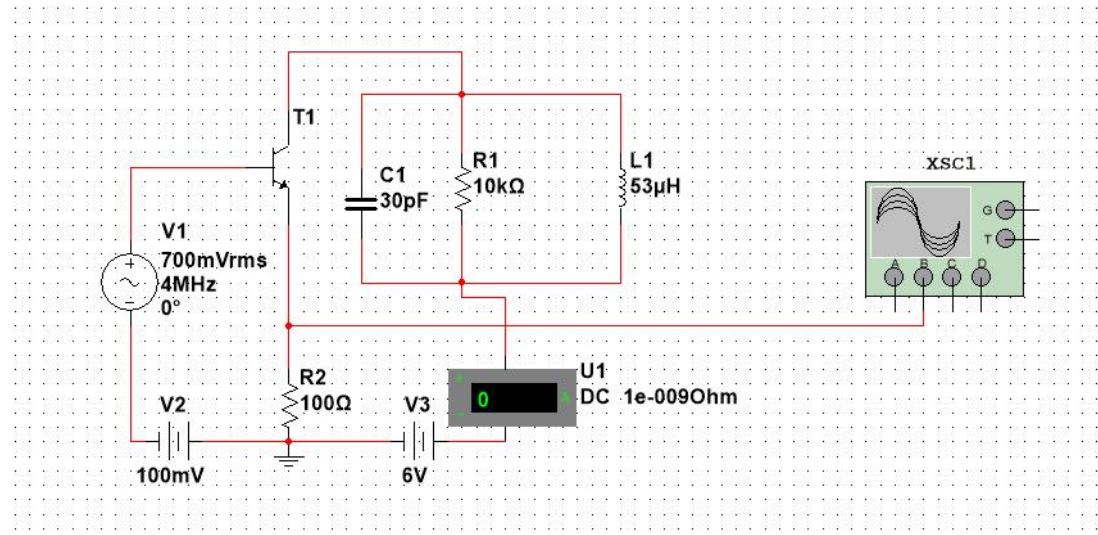
仿真电路图

改变回路的可变电阻，用万用表的电压档和示波器观察回路电压随 R_1 变化的情况。

答：当 R_1 从小变大时，回路两端的电压变大，输出波形幅度变大发射极电流波形幅度减小，出现凹陷，仿真结果显示，当可变电阻 R_1 的百分比为 100 即最大值时，回路两端的电压最大。

5) 放大特性的仿真

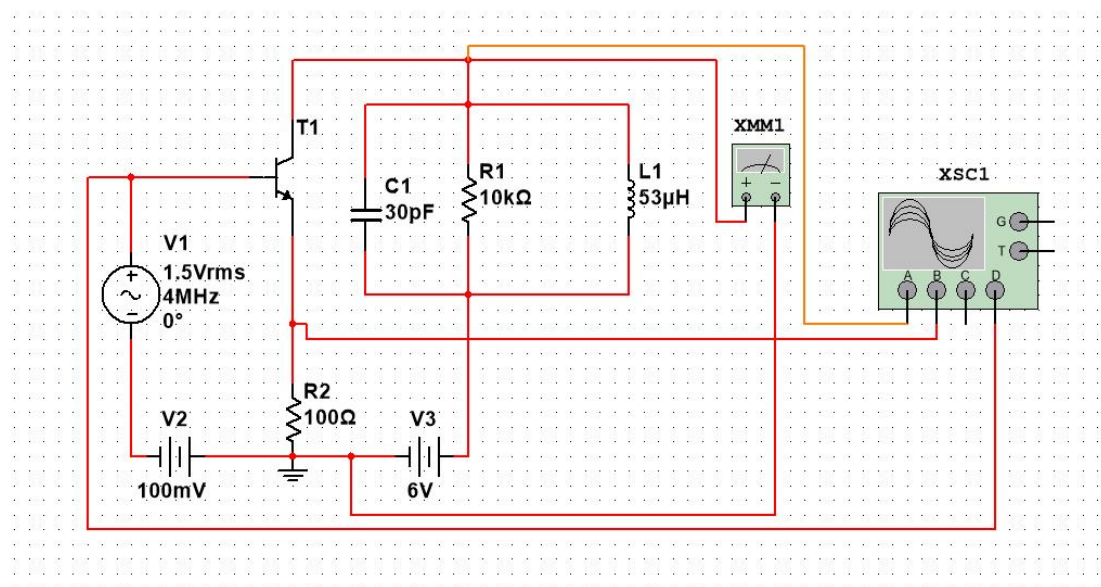
电路图如下：



V1/V	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
电 流 表 示 数/mA	-0.015	-0.134	-0.290	-0.315	-0.353

答：V1 从小到大，发射极电流波形幅度变大，凹陷加深，输入信号波形幅度变大，输出信号波形幅度变大，继续增加 V1 会出现失真

6) 调制特性的仿真



改变电源电压 V_{CC} （由小到大变化），用万用表的交流档和示波器观察电路两端电压 V_{cm} 及发射极电流对电源电压 V_{CC} 变化的情况。

VCC/ V	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电 压	0.59	1.15	1.71	2.33	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43
表 示	1	8	9	6	5	5	5	5	5	5
数/V										

答： V_{cm} 随 V_{CC} 增大而增大，到达一定数值时停止增大或者缓慢增大，发射极电流随着 V_{CC} 增大，凹陷消失，幅度增大

实验室操作部分

一、实验目的、实验仪器与实验原理

实验目的:

1. 了解丙类高频功率放大器的组成、特点。
2. 进一步理解高频谐振功率放大器的工作原理以及负载阻抗、输入激励电压、电源电压等对高频谐振功率放大器工作状态及性能的影响。
3. 掌握高频谐振功率放大器的调谐、调整方法以及主要质量指标的测量方法。
4. 掌握高频谐振功率放大器的设计方法。

实验仪器与设备:

数字双踪示波器、高频毫伏表、万用表、高频信号发生器和实验模块11-高频功率放大器。

实验原理:

高频功率放大器通常工作在丙类工作状态,负载为LC谐振回路,以实现选频滤波和阻抗匹配。

1). 谐振功率放大器的工作原理:

按照电流导通角 θ 的范围可分为甲类、乙类、丙类等不同类型的放大器。 θ 越小,功率放大器效率越高。

ic傅里叶级数展开式为:

$$i_c = I_{c0} + I_{c1m} \cos \omega t + I_{c2m} \cos 2\omega t + \dots$$

式中, I_{c0} , I_{c1m} , I_{c2m}, \dots, I_{cnm} 分别为集电极电流的直流分量、基波分量以及各高次谐波分量的振幅,与导通角 θ 之间的关系为分别为:

$$\begin{cases} I_{CO} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i_C d(\omega t) = i_{Cmax} d_0(\theta) \\ I_{C1m} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i_C \cos \omega t d(\omega t) = i_{Cmax} d_1(\theta) \\ \dots \\ I_{Cnm} = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i_C \cos n\omega t d(\omega t) = i_{Cmax} d_n(\theta) \end{cases}$$

当 $\theta = 120^\circ$ 时, I_{C1m} 达到最大值. θ 越小, $\frac{d_1(\theta)}{d_0(\theta)}$ 就越大, 效率就越高, 但 i_{CO} 小, 功率也小. 综合考虑, 最佳导通角 θ 应取 $70^\circ \sim 80^\circ$.

根据是否工作在饱和区, 分为欠压、过压和临界三种工作状态。

- ① 若在任何时刻都工作在放大区, 则称为欠压状态.
- ② 若刚刚进入饱和区的边缘, 则称为临界状态.
- ③ 若有部分时间进入饱和区, 则称为过压状态.

因欠压效率低, 过压失真严重, 谐波分量, 所以一般选在临界状态.

临界状态时,

集电极输出功率 $P_o = \frac{1}{2} I_{C1m} V_{cm} = \frac{1}{2} I_{C1m}^2 R_L$, 其中 R_L 为集电极等效负载电阻.

直流功率 $P_D = V_{CC} \cdot I_{CO}$

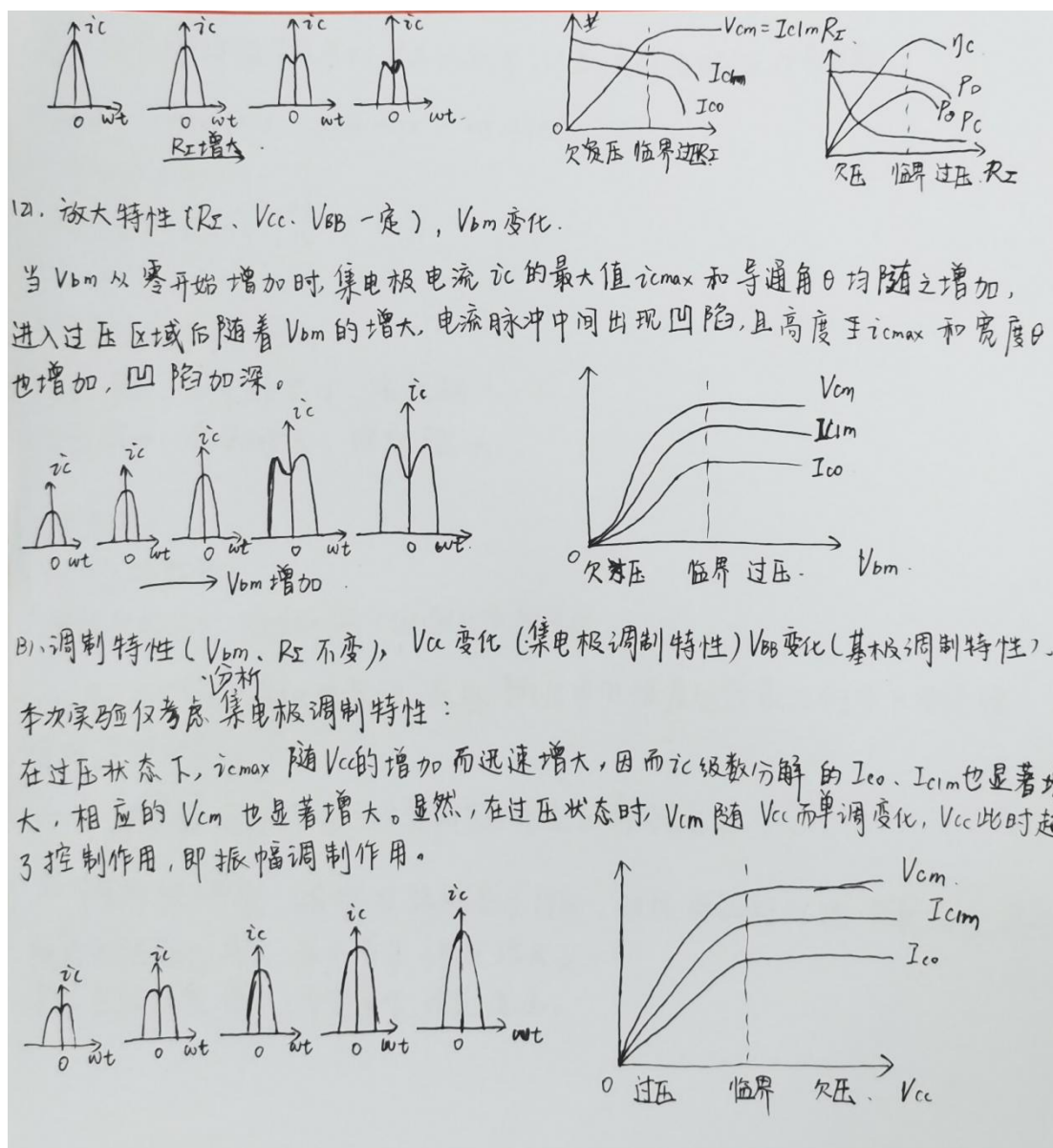
$$\text{效率为 } \eta_c = \frac{P_o}{P_D} = \frac{1}{2} \frac{V_{cm}}{V_{CC}} \frac{I_{C1m}}{I_{CO}} = \frac{1}{2} \xi g_1(\theta),$$

式中, $\xi = \frac{V_{cm}}{V_{CC}}$, 为集电极电源电压利用系数. $g_1(\theta) = \frac{I_{C1m}}{I_{CO}}$, 为波形系数.

2) 谐振功率放大器的外部特性:

(1) 负载特性 (V_{CC} , V_{bm} , V_{BB} 不变), R_L 变化.

从欠压到临界状态, i_{Cmax} 略微减小, θ 几乎不变, I_{C1m} 和 I_{CO} 也几乎不变; 从临界状态到过压状态, i_{Cmax} 迅速下降, 曲线出现凹陷, I_{C1m} 和 I_{CO} 也迅速下降.



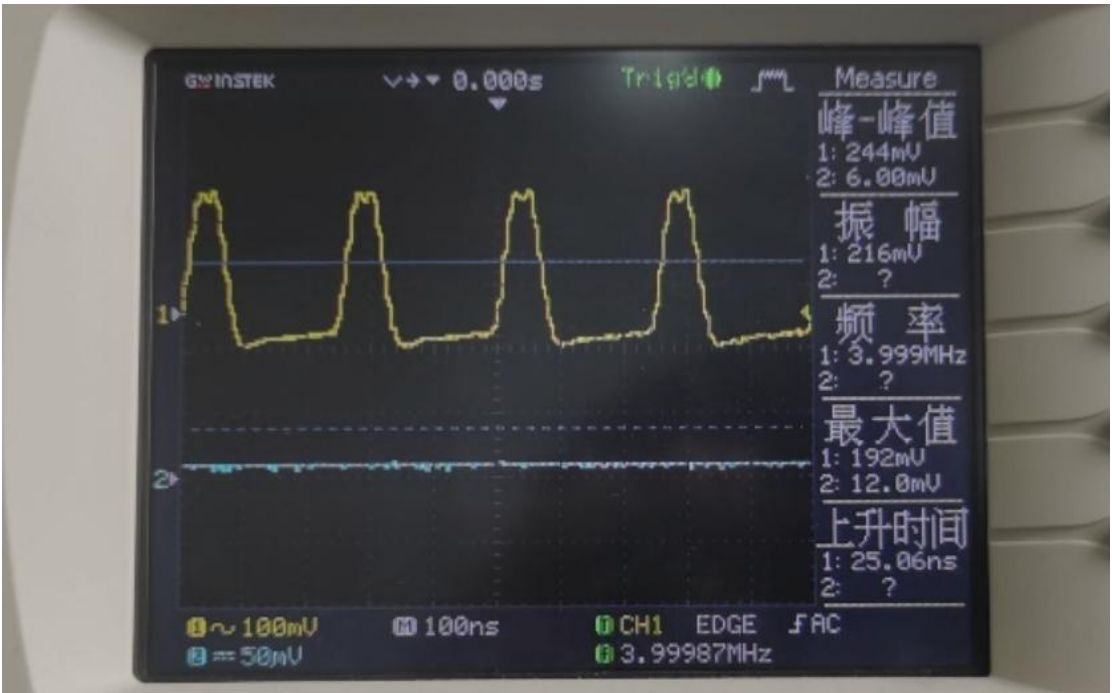
二、实验内容

2. 实验准备及对电路进行调谐

- (1) 11T01、11T02 插 4MHZ (或 10.7MHZ) 的中周
- (2) 打开稳压电源上电成功。
- (3) 调节 11W01 使 11TP07 处电压调至 5.5V 左右。输入 4MHZ (或 10.7MHZ), 140mVpp 的调频信号
- (4) 测试 11TP02, 调节 11T01 中周使输出幅度最大, 测试 11TP05, 调节 11T02

使输出幅度最大，不失真。

(5) 连接 11K02 的 2 位。测试 11TP03，微调 11T01、02 中周，使弱过压状态出现。



3、测试电路的工作点

(1) 当不加输入激励电压 时（11IN01 端输入为零），测量功放管 T2 的各 极直流电压 V_{CO} 、 V_{BO} 、 V_{EO} 及电流 I_{CO} 的值。

V_{CO}	V_{BO}	V_{EO}	I_{CO}
5.59V	0	0	0

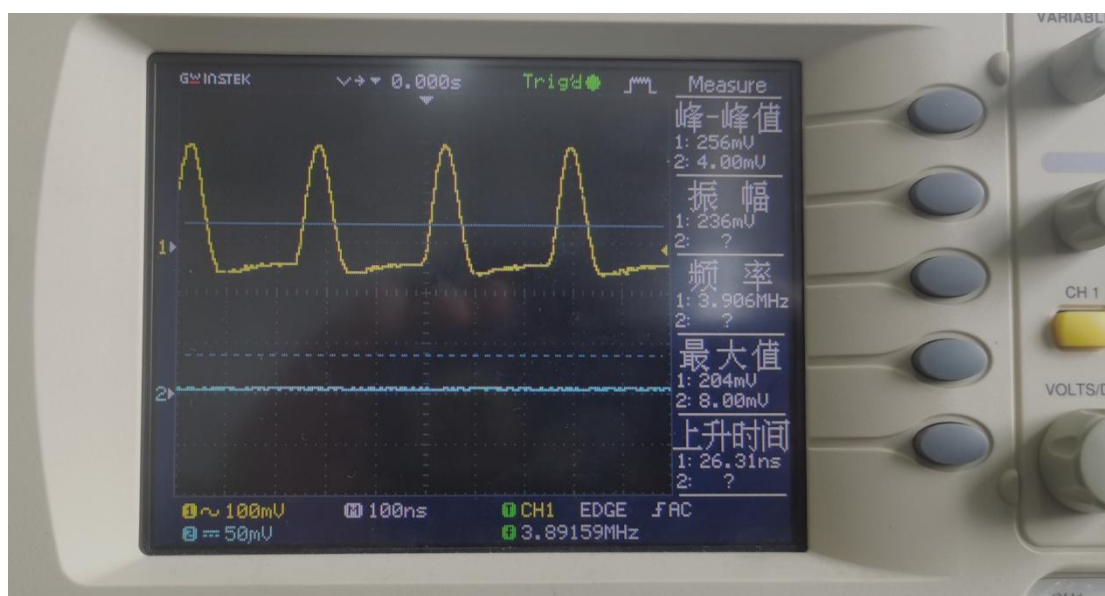
(2) 加上输入激励电压 v_i ，使 T2 管的基极输入电压 $V_{bm}=1V$ 左右时，记下 T2 的各极直流电压 V_{CO} 、 V_{BO} 、

VEO 及电流 ICO 的值。

V_{CO}	V_{BO}	V_{EO}	I_{CO}
5.34V	0	0.05V	5mA

4. 负载特性的测试

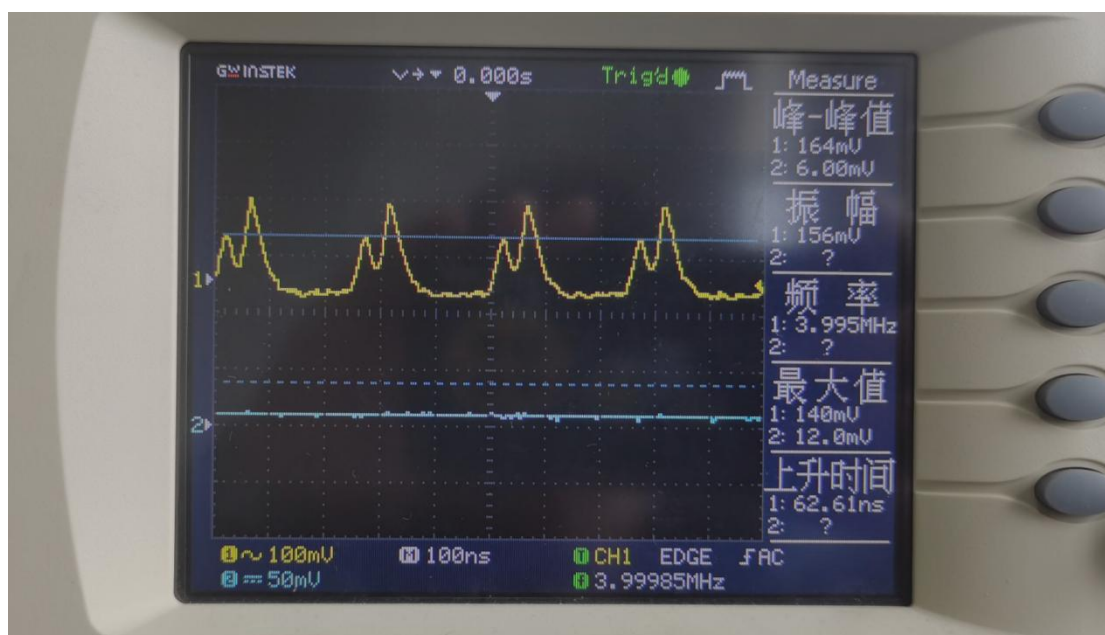
在上述实验的基础上，改变负载电阻（调整 11K02 电位器），观察 11TP03 点的电压波形（即发射极电流的波形）。可以观察如图所示的脉冲波形，但欠压时波形幅度比临界时大。并测量三种状态下电流（间接测量法：测量电阻 11R06 两端的直流电压值）和负载回路两端电压的值，填入自行设计的表格内。分析表格并得到相应的结论。根据欠压、临界、过压时负载电阻的大小，计算出临界状态下的功率 P_o ， P_D ， η_C 。负载接 11K02 的 1 位，电路工作在欠压状态；负载接 11K02 的 3 位，电路工作在过压状态；



欠压



临界状态



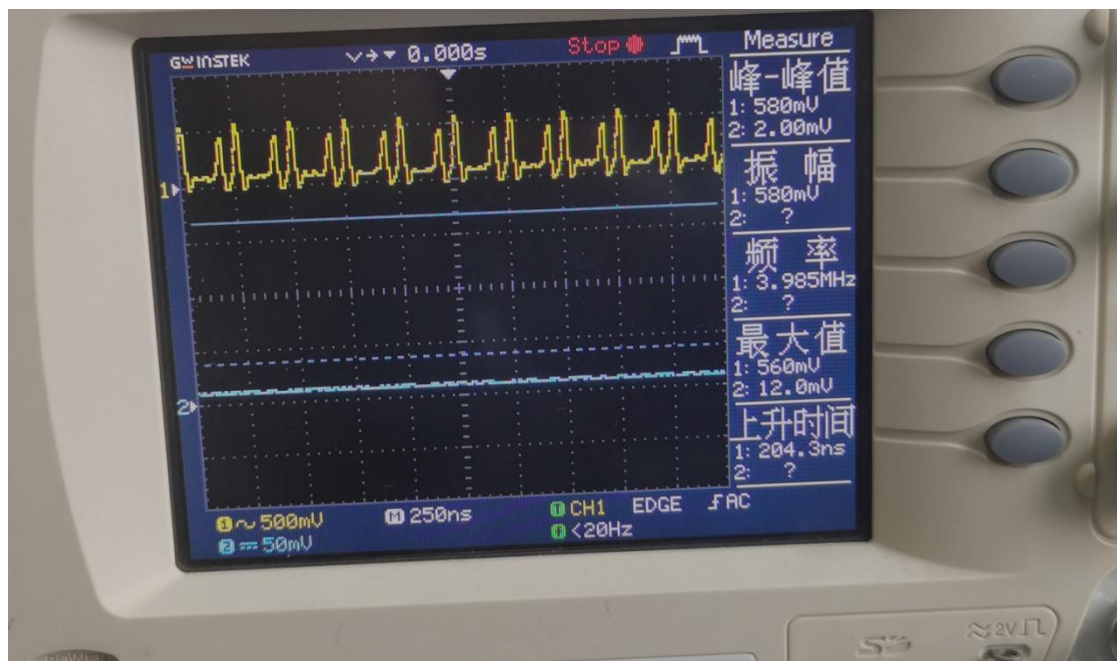
过压状态

	I_{CO}	V
欠压状态	4mA	1.02V
临界状态	5mA	1.52V
过压状态	3mA	1.70V

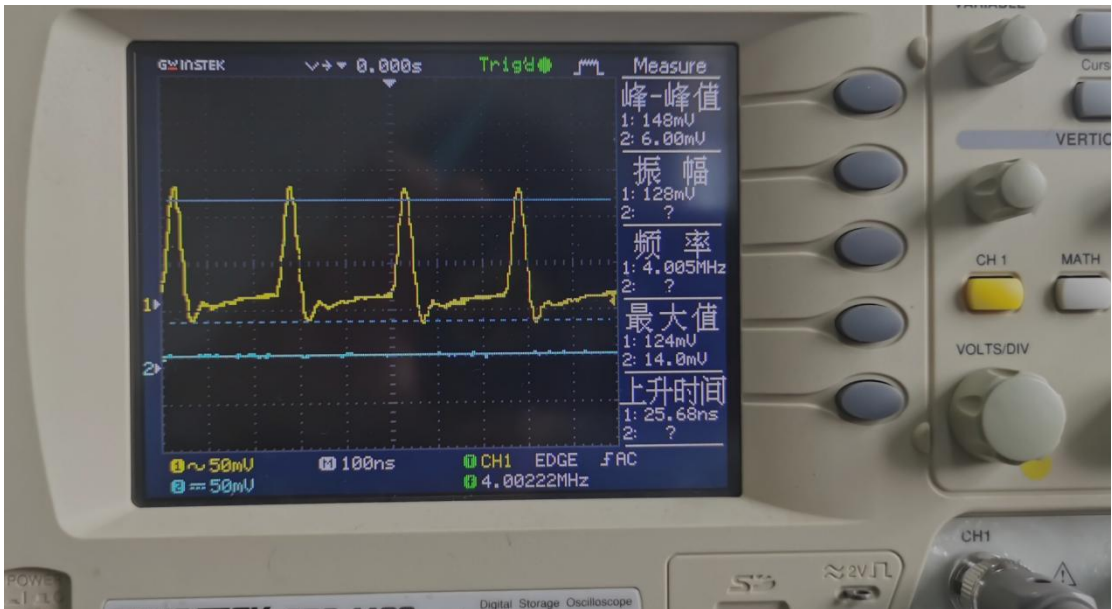
5、放大特性的测试

调整负载电阻使工作在临界状态，保持 V_{CC} 、 V_{BB} 不变，改变信号源幅度，即改变激励信号电压 V_{bm} ，观察 11TP03 电压波形。信号源幅度变化时，应观察到欠压、临界、过压脉冲波形。

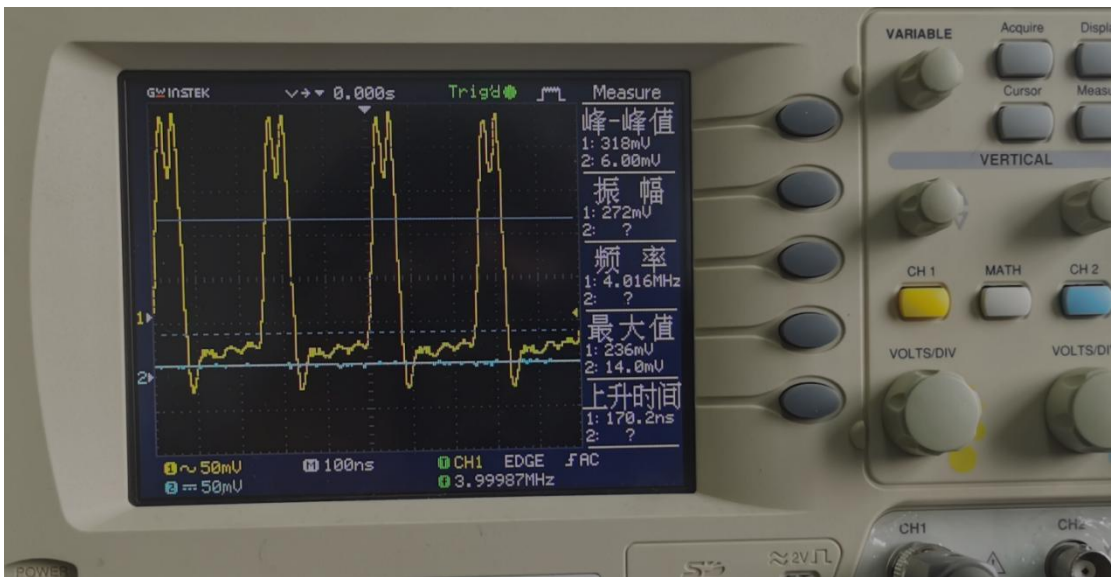
(1) 在弱过压状态基础上，逐渐增加输入信号的幅度至 175mVpp 左右，观察过压状态，并绘图。



(2) 恢复弱过压状态，逐渐减小输入信号的幅度至 125mVpp 左右，观察欠压状态，并绘图。



(3) 恢复弱过压状态，信号调至 133mVpp 左右，观察临界状态，并绘图。测量激励信号电压 V_{bm} 变化引起的电流和负载回路两端电压值的变化，填入自行设计的表格内。



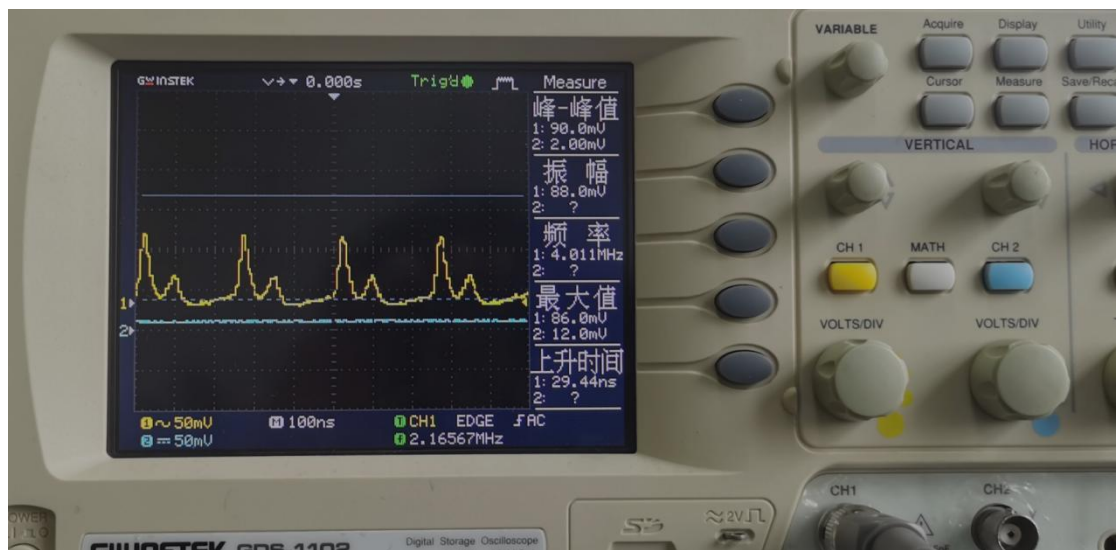
当 V_{bm} 增大时，表格如下：

V_i	I_{CQ}	V_{cm}
125	3mA	0.90V
133	5mA	1.52V
175	9mA	1.74V

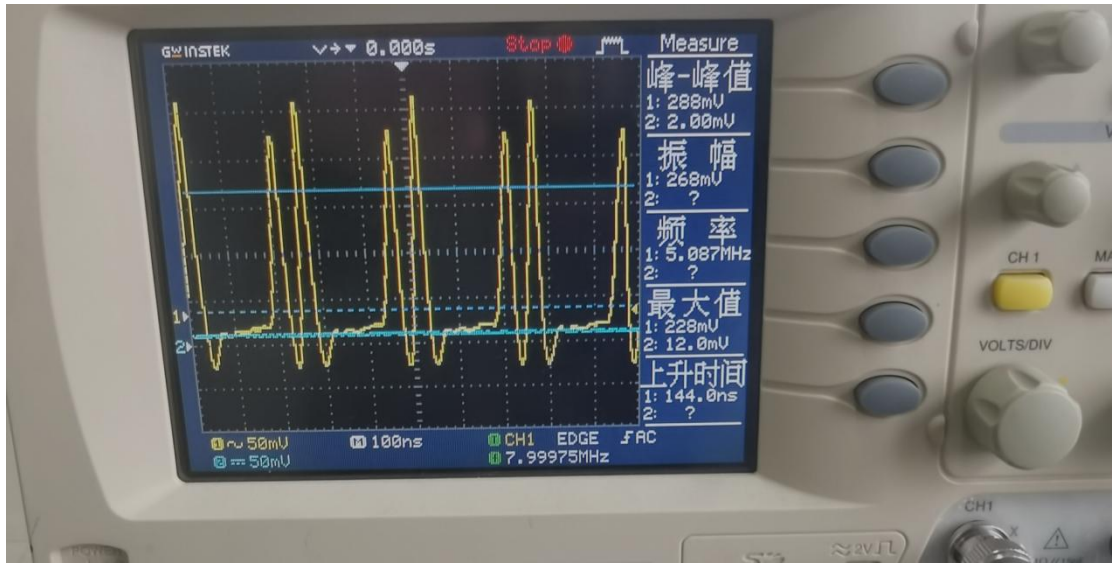
6、集电极调制特性的测试

(1) 恢复 140mVpp 左右的弱过压状态，改变电源电压 VCC，观察对放大器 工作状态的影响；

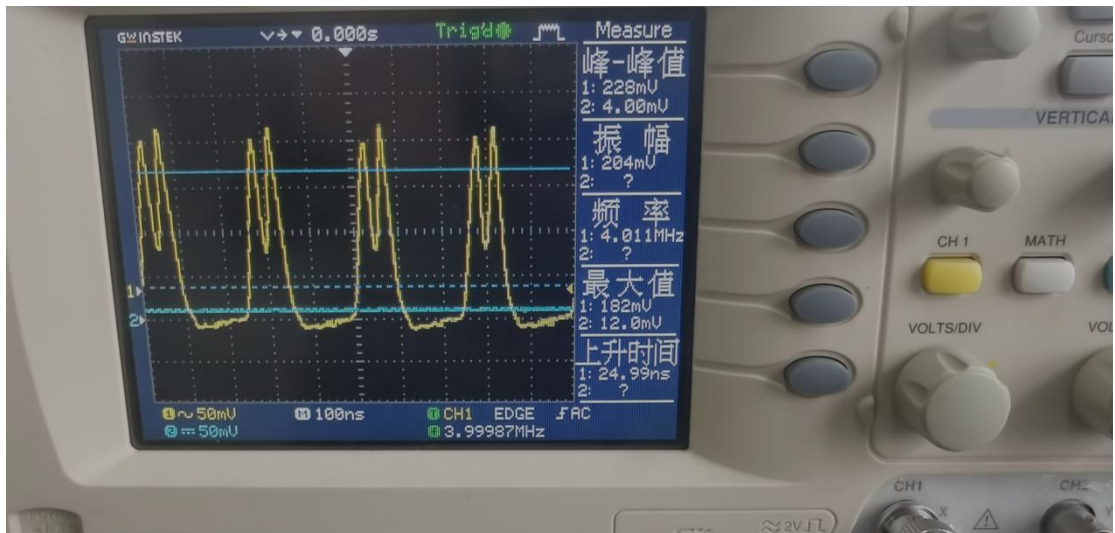
VCC 很小时放大器的工作状态：



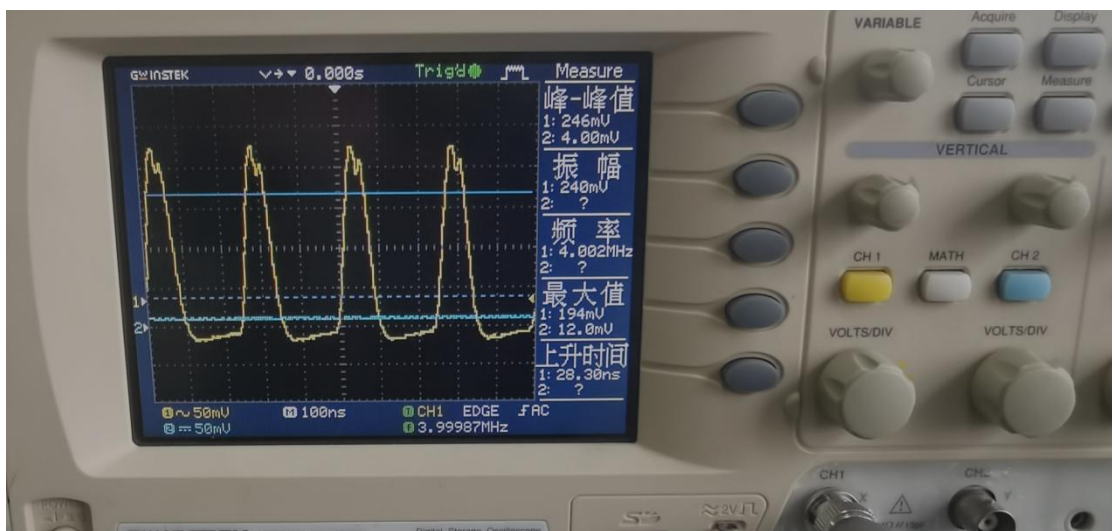
VCC 增加时



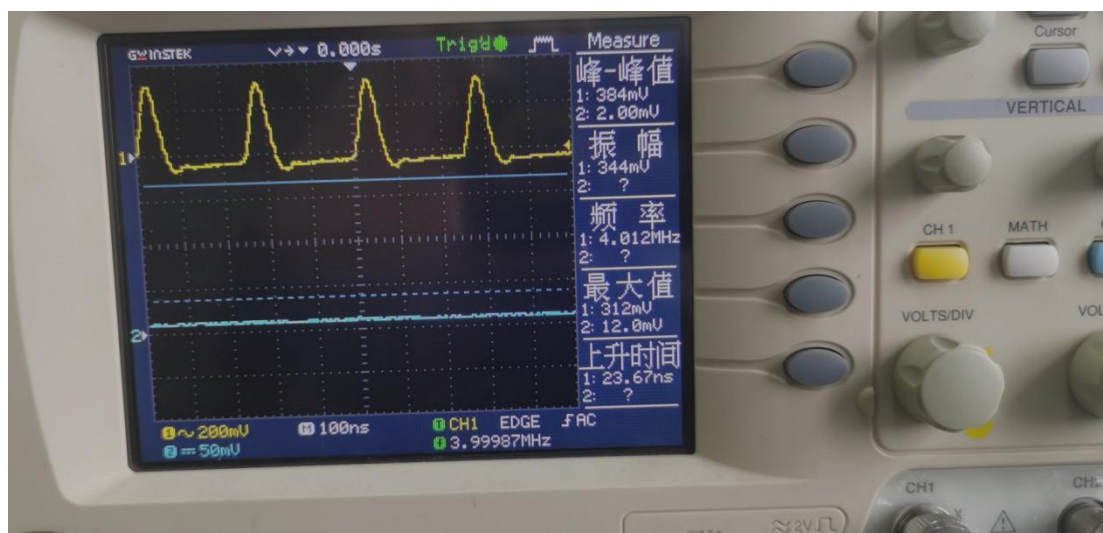
VCC 继续放大时



VCC 最大值时



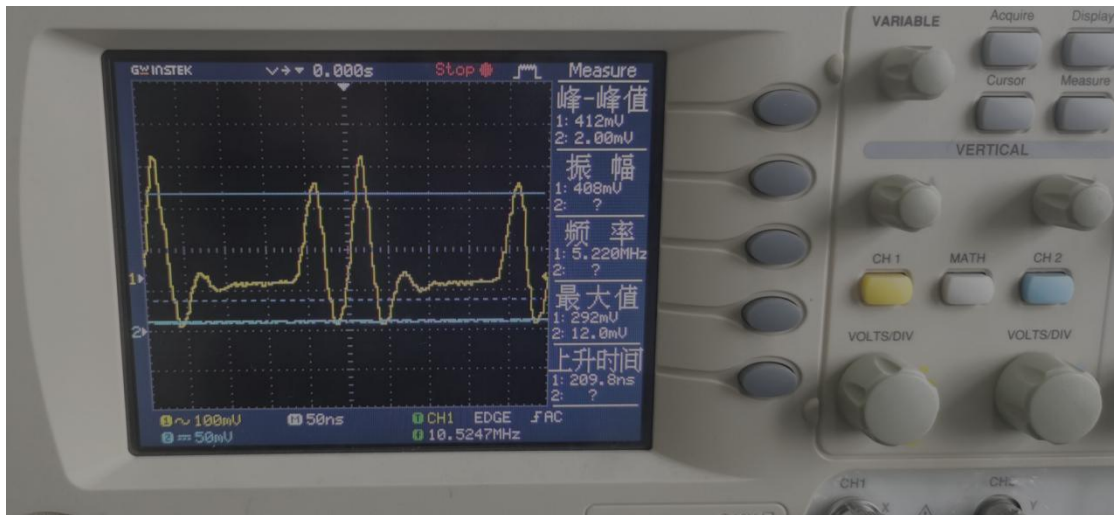
(2) 调节 11W01, 使 11TP07 处电压为 8.5V, 观察欠压状态波形并绘图。



调节 11W01, 使 11TP07 处电压为 4.5V, 观察过压状态并绘图;



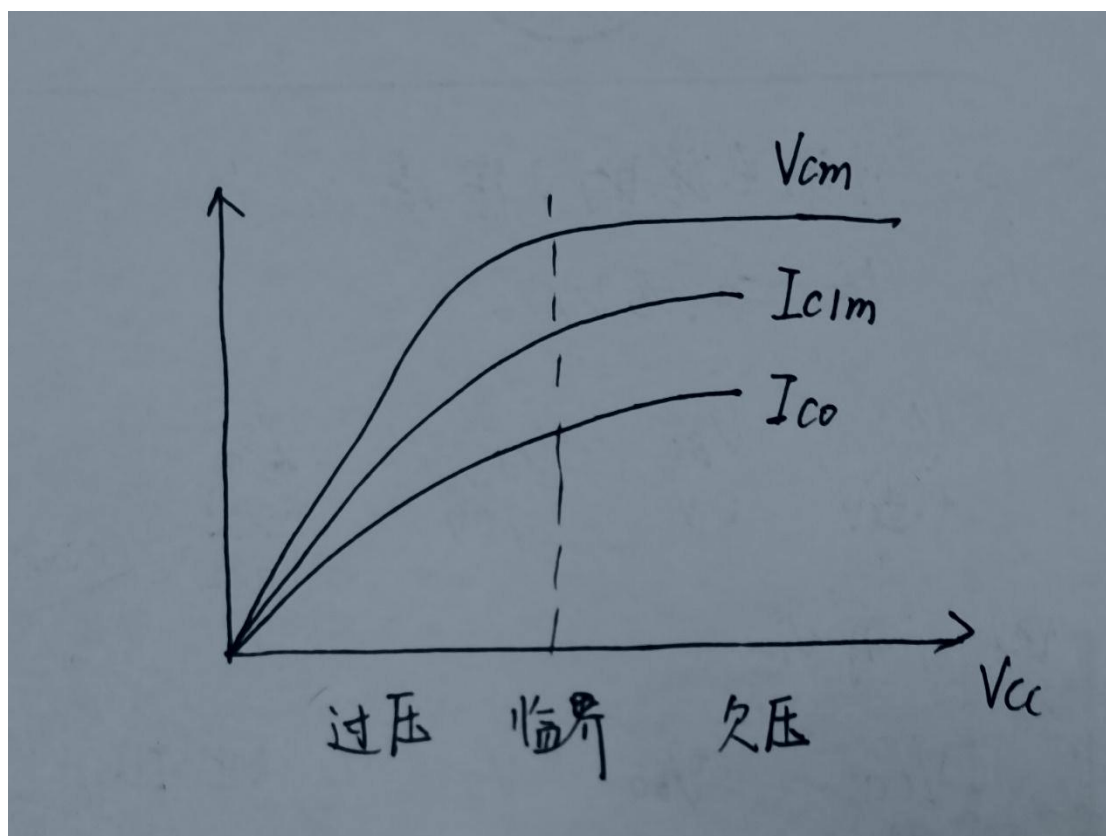
(3) 调节 11W01 测量电源电压 VCC 变化引起的电流和负载回路两端电压值 的变化, 填入自行设计的表格内。



VCC/V	3	4	5	6	7	8	9	10
I_{C0}/mA	2	4	5	6	6	6	6	6
V_{cm}/V	0.92	1.16	1.40	1.64	1.80	1.82	1.86	1.90

分析表格并得到相应的结论，画出集电极调制特性曲线。 注意：VCC 变化间隔为 1V

答:可以得出结论：随着 VCC 增加， I_{C0} 和 V_{cm} 都呈上升趋势



7.思考题：

(1) 对电路进行调制时，用示波器观察输出端的电压波形或用电流表观察集电极电流的大小，输出端的电压波形或电流表读数为何种状态时，才意味着电路谐振？

答：当输出端的电压波形达到最大且不失真或者电流表读数达到最大值，电路谐振。

(2) 为何调谐前应将电源电压 V_{CC} 设定为额定值的 $1/3 \sim 1/2$ ？

答：为了保护电路，电路未调谐时，功率主要在功放管的直流功率上，容易使功放管烧坏

(3) 电路出现自激现象时，用示波器将观察到何种现象？

答：输出信号会出现震荡，使输出波形失真

(4) 在不改变电路结构的情况下，如何测量直流电流 I_{C0} ？

答：测量电阻 11R06 两端的直流电压值再计算电流

(5) 分析电路在不加输入激励电压 v_1 和加输入激励电压 v_1 两种情况下，晶体管 11Q02 的各级直流电压 V_{C0} 、 V_{B0} 、 V_{E0} 及直流电流 I_{C0} 的值将产生怎样的变化？

答：在不加激励电压时，只有直流电和而其他值均为 0，但是当加上激励电压后，除 V_{B0} 仍为 0， V_{C0} 和 V_{E0} 及直流电流 I_{C0} 的值均变大

(6) 有几种测量发射极电流 i_e 的方法？

答：1.测量发射极电阻电压，计算电流。2.将电流表串联在发射极上测量。

8. 实验心得

本次实验，让我从实践角度理解了高频功率放大器的电路结构。学会了如何对高频功率放大器进行调谐。深入了解到丙类高频功率放大器的组成，特点。并且通过实验更深入了解了高频功率放大器的放大特性，负载特性以及集电极调制特性。