



华中科技大学

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

《通信电子线路》实验报告

实验名称：高频谐振功率放大器仿真

院（系）：电子信息与通信学院

专业班级：电信 2005 班

姓名：

孙梦茹

学号：U202014253

时间：2022.11.28

地点：南一楼东 205

实验成绩：

指导教师：黄佳庆

一. 实验目的

1. 进一步熟悉 Multisim 电路仿真软件
2. 掌握高频谐振功率放大器的电路结构特点及工作原理
3. 熟悉高频谐振功率放大器的调谐方法
4. 熟悉高频谐振功率放大器的三种工作状态和调整方法

二. 实验内容

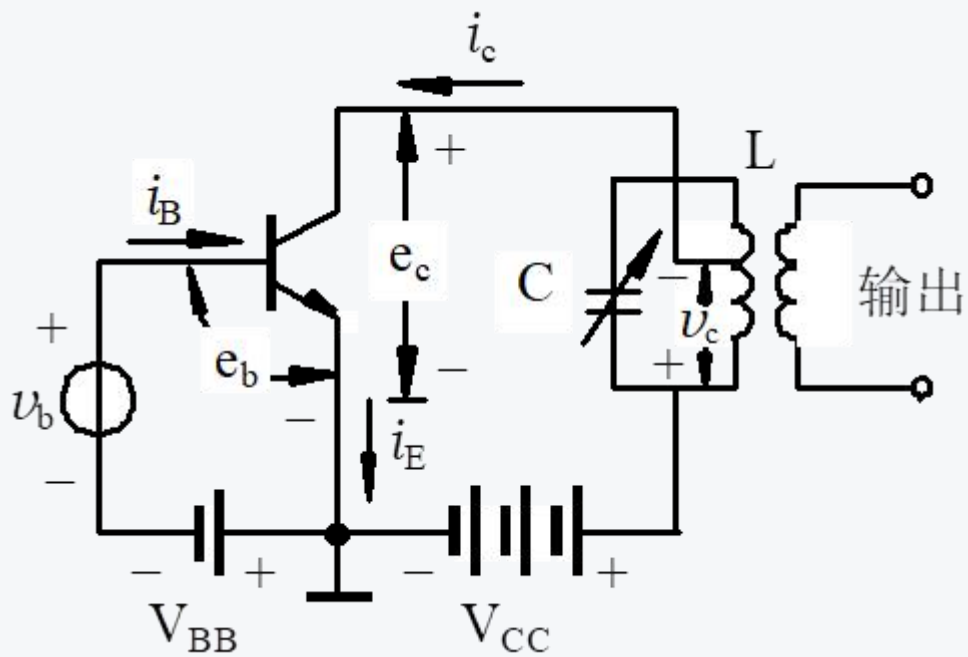
1. 设计电路，使用 Multisim 绘制仿真电路
2. 进行电路仿真：
 - (1) 时域特性：显示该电路主要关键点时域波形
 - (2) 频域特性：显示该电路主要关键点的频谱，包括但不限于：输入/输出的频谱；LC 并联谐振回路幅频特性（并标记 0.707 带宽）和相频特性曲线；
 - (3) 测试高频谐振功放中欠压和过压工作状态之间的不同；

三. 实验原理

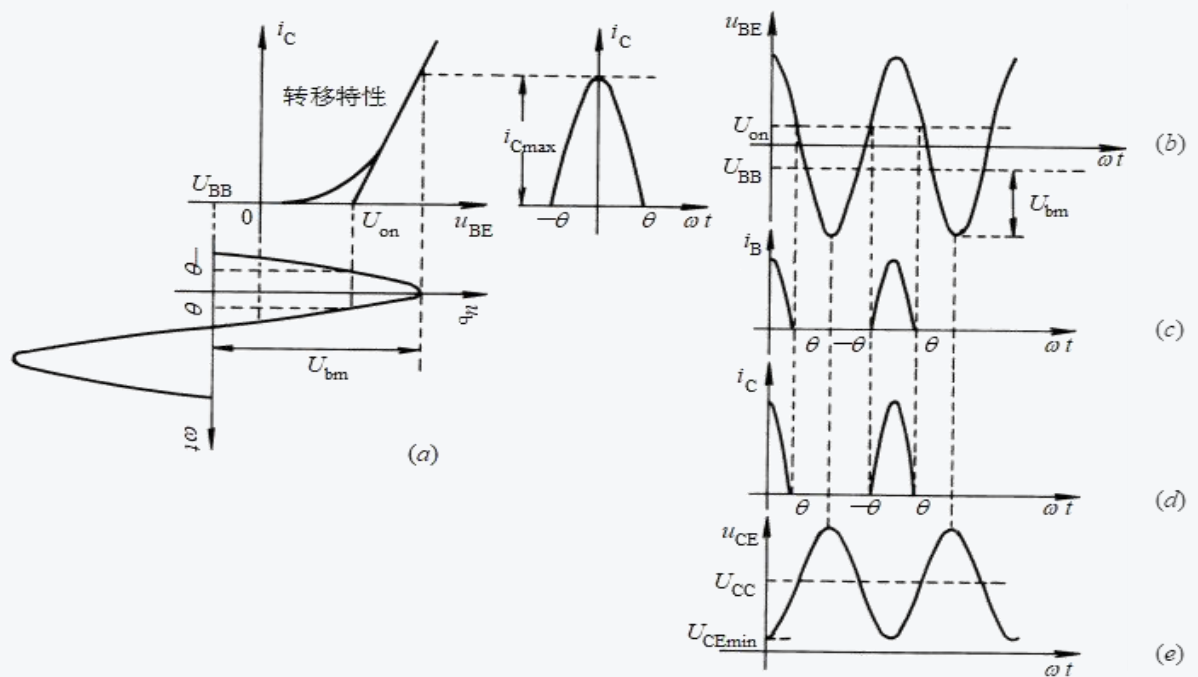
1. 基本原理：

如图所示为高频功率放大器的基本电路。为了使高频功率放大器有高效率地输出大功率，常常选择工作在丙类状态下工作。我们知道，在一元件（呈电阻性）的耗散功率等于流过该元件的电流和元件两端电压的乘积。由图可知基极直流偏压 V_{BB} 使基极处于反向偏压的状态，对于 NPN 型管来说，只有在激励信号为正值的一段时间内才有集电极电流产生，所以耗散功率很小。

晶体管的作用是在将供电电源的直流能量转变为交流能量的过程中起开关控制作用，谐振回路中 LC 是晶体管的负载，电路工作在丙类工作状态。



下图为谐振功率放大器各级电压和电流波形。



2. 集电极电流余弦脉冲分解

当晶体管特性曲线理想化后，丙类工作状态的集电极电流脉冲是尖顶余弦脉冲。这适用于欠压或临界状态。

晶体管的内部特性为：

$$i_c = g_c (e_b - V_{BZ})$$

$$i_{c \max} = g_c V_{bm}(1 - \cos \varphi_c)$$

若将尖顶脉冲分解为傅里叶级数，得

$$i_c = I_{c0} + I_{cm1} \cos \omega t + I_{cm2} \cos 2\omega t + \dots + I_{cmn} \cos n\omega t + \dots$$

由傅里叶级数的求系数法得

$$I_{c0} = i_{c \max} \alpha_0(\theta_c)$$

$$I_{cm1} = i_{c \max} \alpha_1(\theta_c)$$

$$I_{cmn} = i_{c \max} \alpha_n(\theta_c)$$

$$\alpha_0(\theta_c) = \frac{\sin \theta_c - \theta_c \cos \theta_c}{\pi (1 - \cos \theta_c)}$$

$$\alpha_1(\theta_c) = \frac{\theta_c - \cos \theta_c \sin \theta_c}{\pi (1 - \cos \theta_c)}$$

$$\alpha_n(\theta_c) = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\sin n\theta_c \cos \theta_c - n \cos n\theta_c \sin \theta_c}{n(n^2 - 1)(1 - \cos \theta_c)}$$

其中

3. 谐振功放的三种工作状态

在非线性谐振功率放大器中，常常根据集电极是否进入饱和区，将放大器的工作状态分为三种：

①欠压工作状态：

集电极最大点电流在临界线的右方

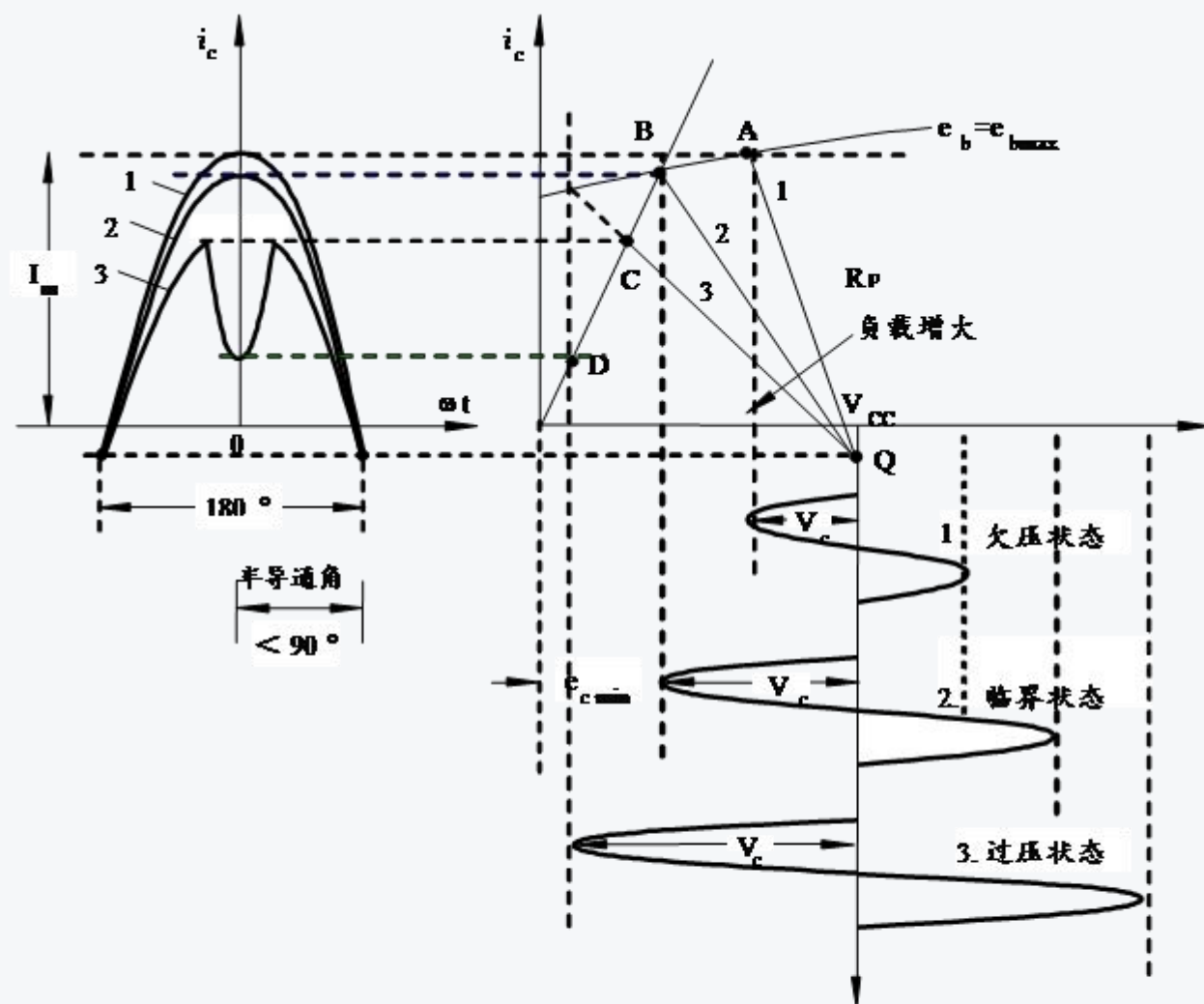
②过压工作状态：

集电极最大点电流进入临界线之左的饱和区

③临界工作状态：

是欠压和过压状态的分界点，

集电极最大点电流正好落在临界线上。如图 3 为电压、电流随负载变化的波形图：



高频放大器的工作状态是由负载阻抗 R_p 、激励电压 V_b 、供电电压 V_{CC} 、 V_{BB} 等 4 个参量决定的。为了阐明各种工作状态的特点和正确调节放大器，就应该了解这几个参量的变化会使放大器的工作状态发生怎样的变化。

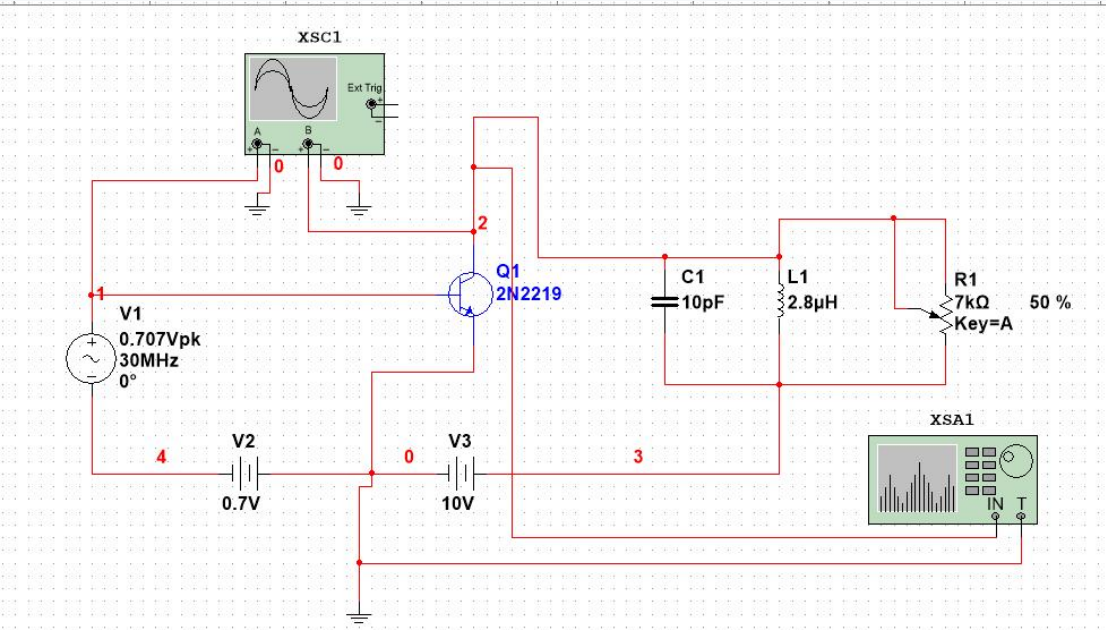
四. 实验步骤

1. 根据电路原理图与相关计算，使用 Multisim 仿真软件绘制出仿真电路图；

- 2. 利用直流工作点仿真，对电路的直流偏置点进行分析，并判断晶体管的工作状态，若工作状态不对，则对电路进行分析与调整；
- 3. 利用瞬态分析，观察电路关键点的时域波形；
- 4. 利用交流扫描分析，观察电路的关键点的频谱；
- 5. 测试高频谐振功放中欠压和过压工作状态之间的不同

五. 实验结果及分析

1. 实验电路图



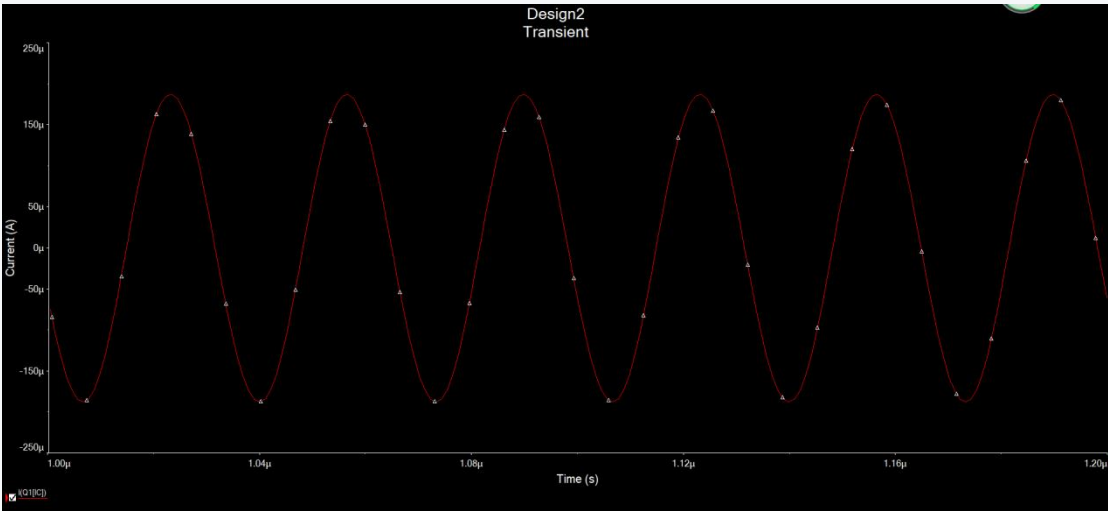
2. 直流偏置点仿真分析

| | Variable | Operating point value |
|---|-----------|-----------------------|
| 1 | V(1) | -700.00000 m |
| 2 | V(2) | 10.00000 |
| 3 | I(Q1[IB]) | -3.15477 n |
| 4 | I(Q1[IC]) | 131.06870 p |
| 5 | I(Q1[IE]) | 3.02370 n |

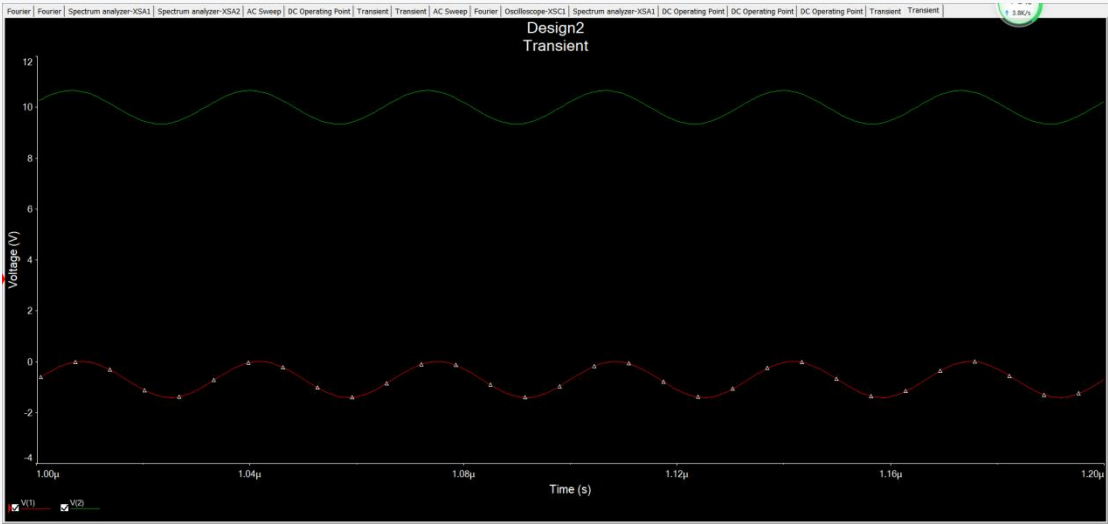
从这里可以看到，由于有负向偏置电压的存在，三极管的基极电压为-0.7 伏，即三极管工作于截止区。

3. 时域仿真分析

集电极电流：

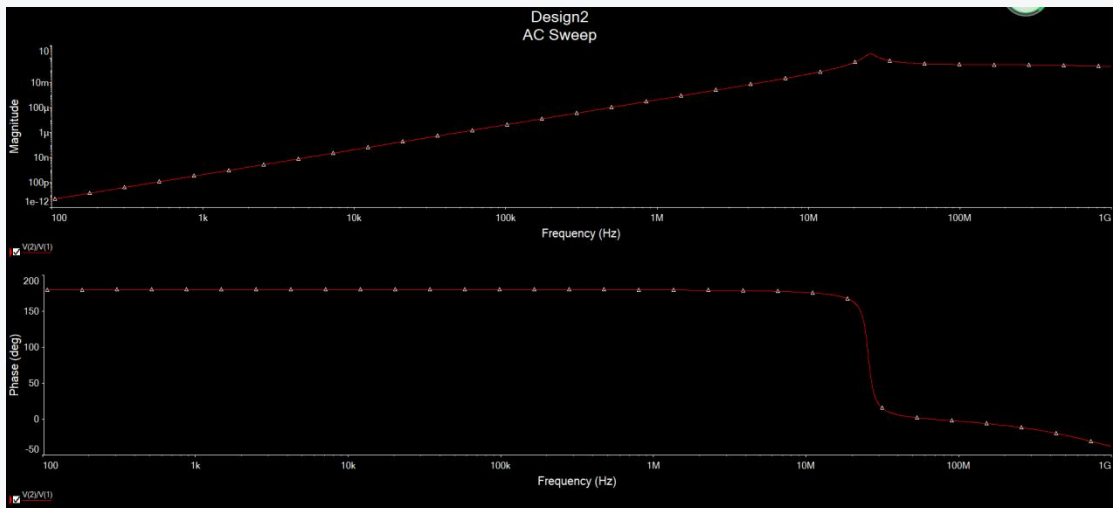


输入和输出电压：

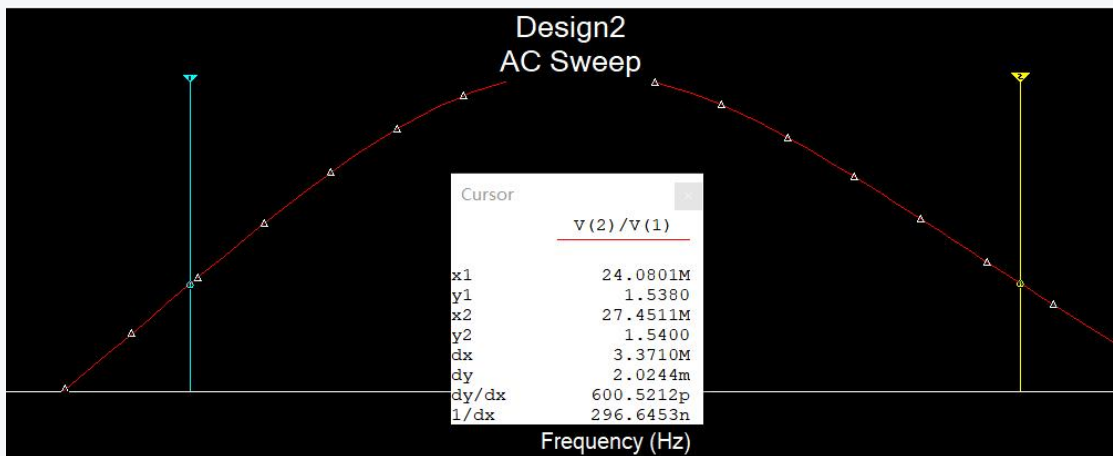


可以看到当输入的交流信号的有效值为 0.5V 的时候，Vo 输出波形为正弦波，表示输出此时不失真，电路工作于欠压区。

4. 频域仿真分析

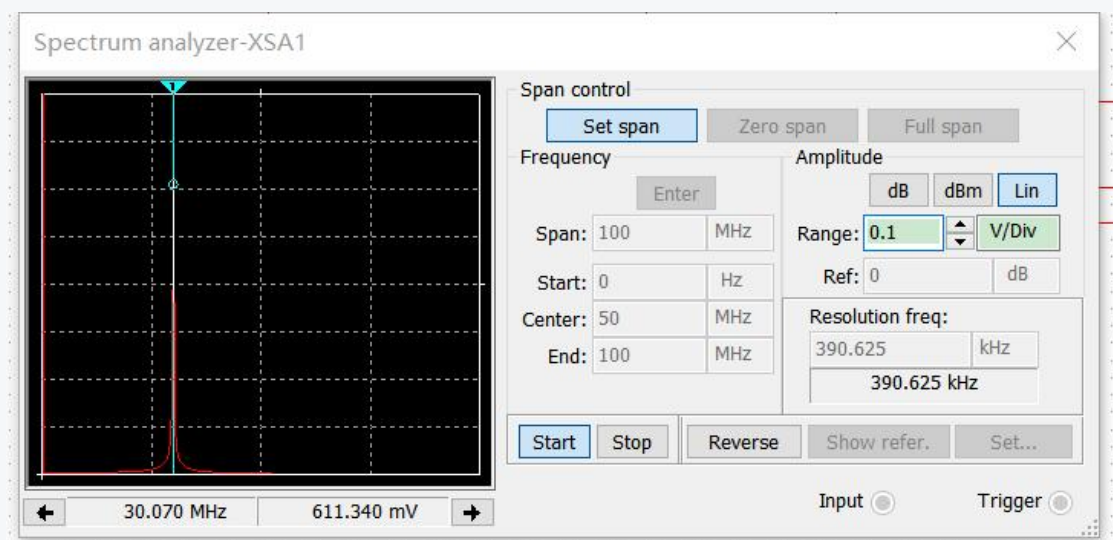


进行带宽测量：



测得带宽为：3.37M

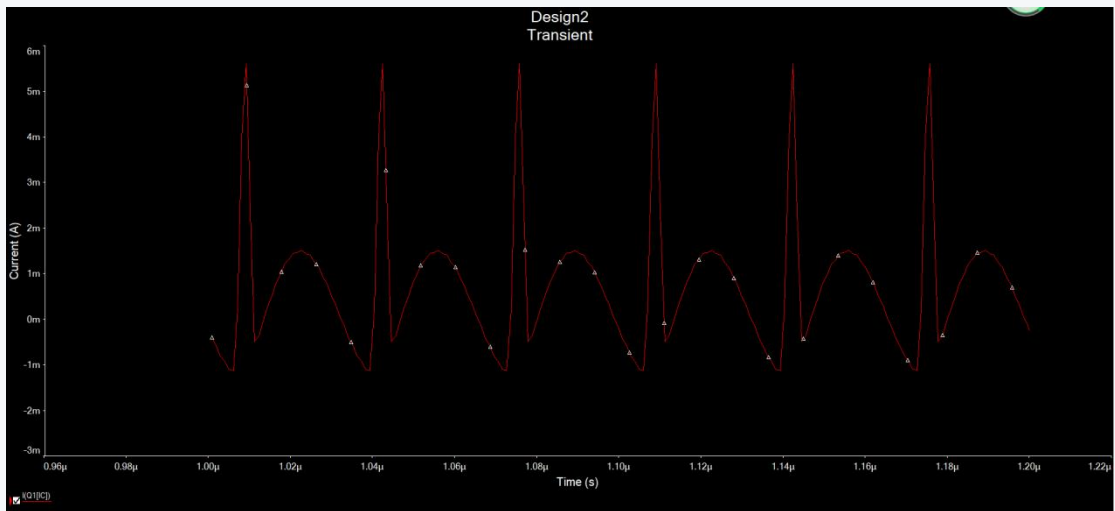
5. 输出信号频谱



可以看到输出电压的频谱为单根频率分量。

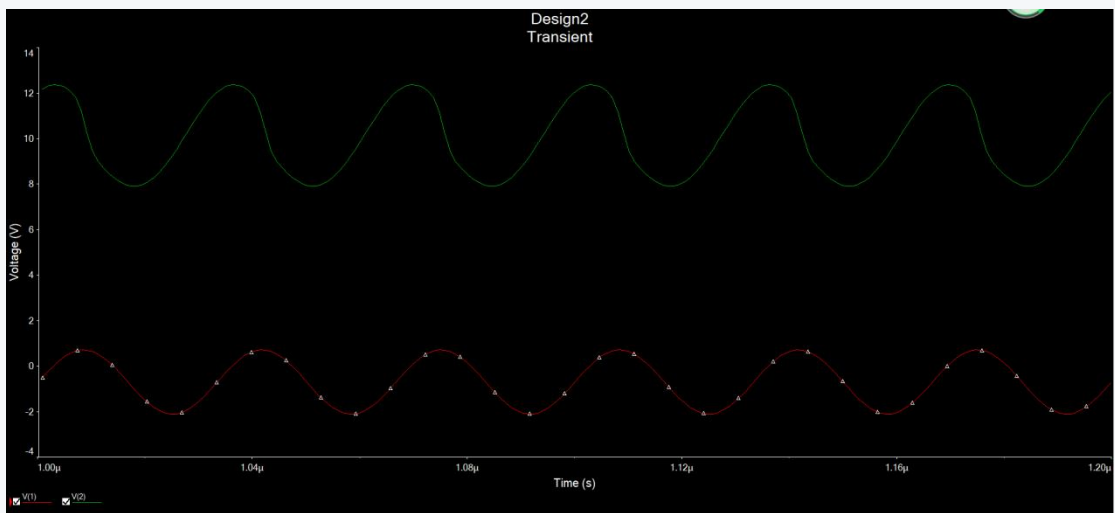
6. 过压状态（调整电压源的有效值为 1v）

集电极电流：

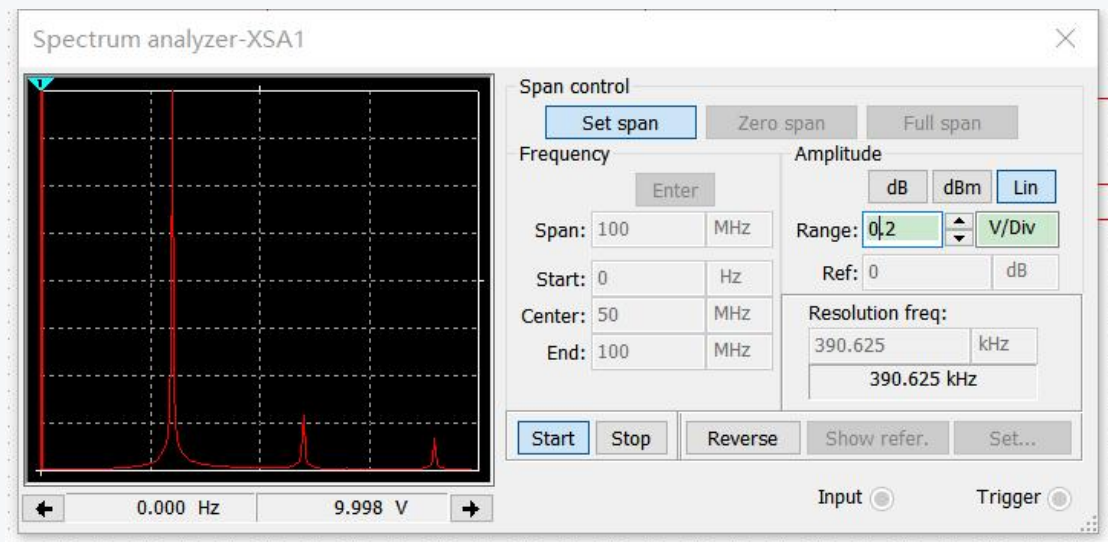


可以看到在过压的时候集电极电流有尖顶脉冲出现

输入输出电压：



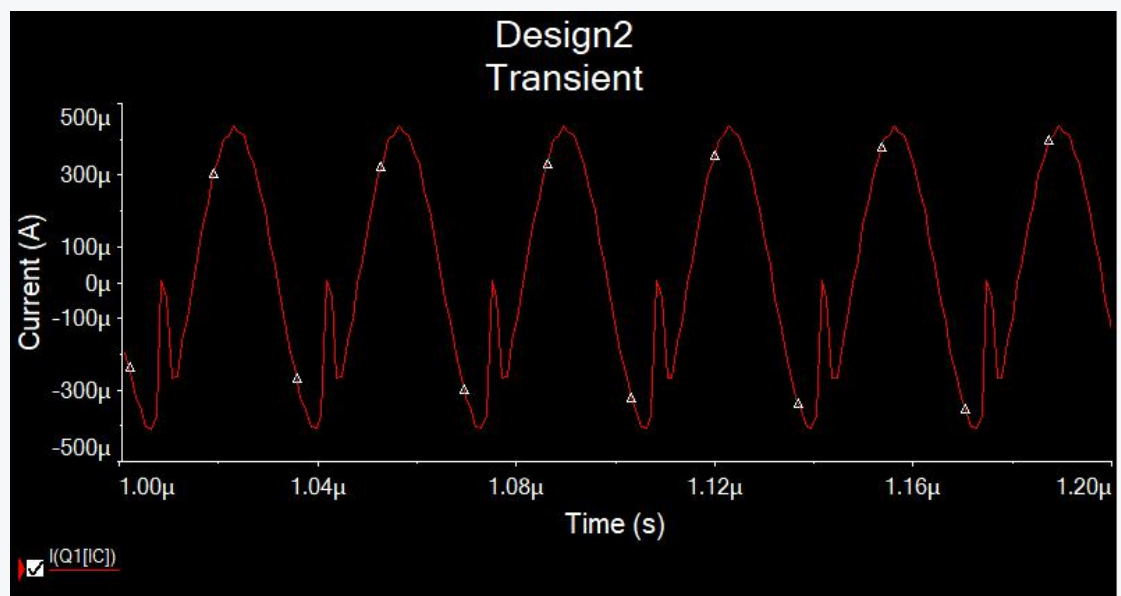
频谱仿真分析：



可以看到在过压状态下存在谐波分量所以输出电压不是完美的正弦波。

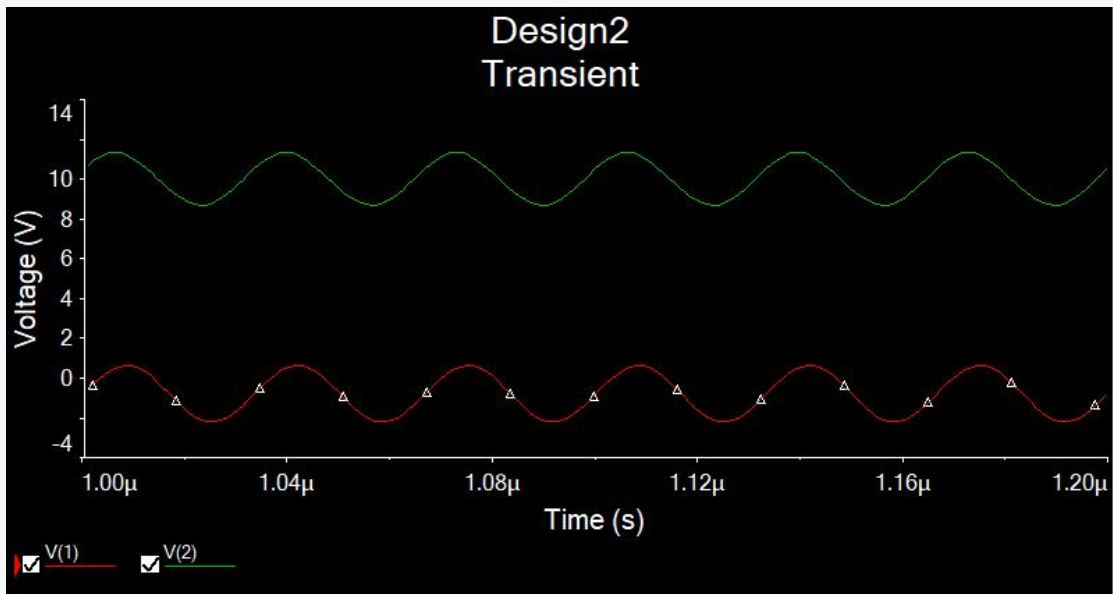
7. 临界状态（调整输入电压的有效值为 1V，并且反偏电压为 0.8v）

集电极电流：

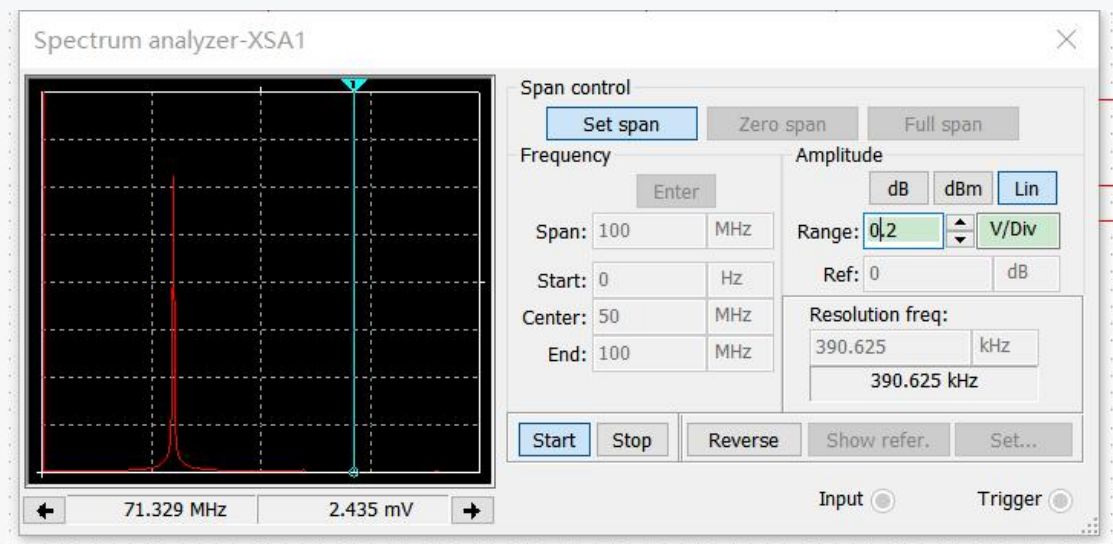


可以看到此时集电极电流为双峰凹顶信号

输入输出电压



临界状态的频谱仿真为：



六、实验总结

在这次实验中我复习了高频小信号功率放大器的电路原理，直观的感受到了三极管工作在不同状态下的集电极电流形状，并且验证了上课学到的原理改变输入电压和偏置电压的大小都可以改变电路的工作状态。