

华中科技大学

实验报告

课程名称：通信电子线路

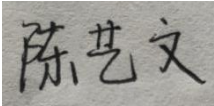
实验名称：高频谐振功率放大器仿真

指导教师：黄佳庆

学院：电子信息与通信学院

专业/班级：提高 2001 班

学生学号：U202013830

学生姓名：

成绩/等级：

实验日期：2022 年 10 月 25 日

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及调整方法.

二、实验内容

1. 时域特性：显示该电路主要关键点时域波形，包括但不限于：输入/输出信号的电压波形；体现基极回路反偏状态；
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/输出信号的频谱；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；
 - (3.1) 工作状态为欠压/临界时：

输出集电极电流 i_c 周期性尖顶脉冲波形（标记导通角）、频谱
输入信号电压波形、输入电压信号频谱
输出信号电压波形、输出电压信号频谱
 - (3.2) 工作状态为过压时：

输出集电极电流 i_c 周期性凹顶脉冲波形（标记导通角）、频谱
输入信号电压波形、输入电压信号频谱
输出信号电压波形、输出电压信号频谱
4. 输入信号频率至少为 10MHz。

三、实验原理

1. 原理电路图

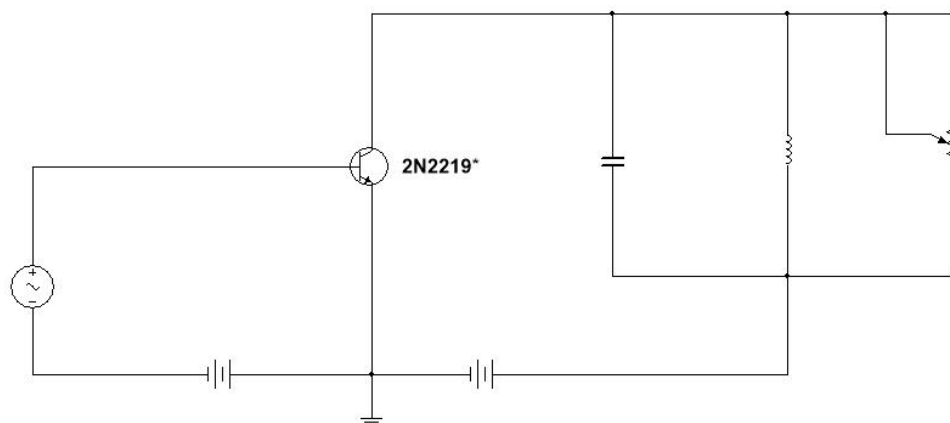


图 3-1 实验原理图

2. 仿真电路图

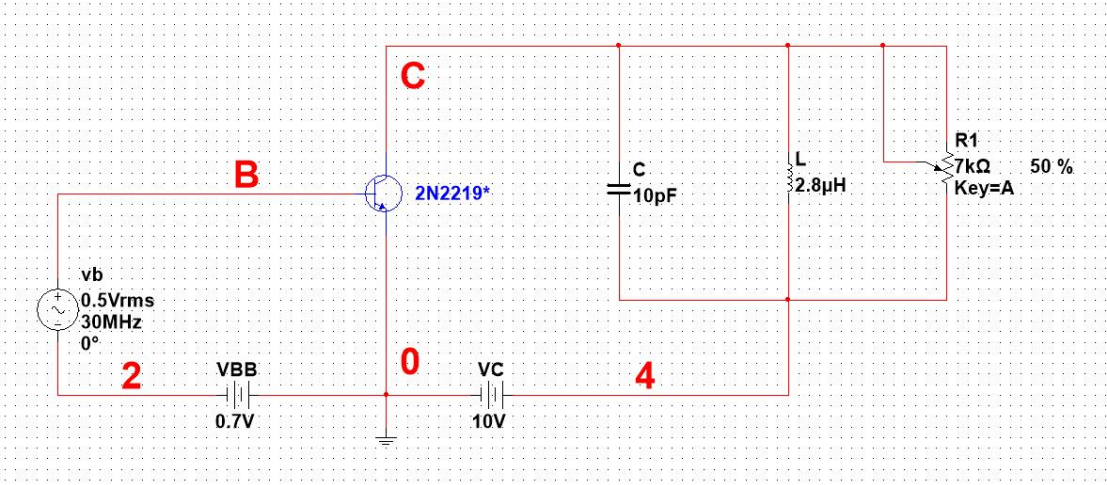


图 3-2 仿真电路图

3. 设计原理

该电路由晶体管，LC 谐振回路和直流供电电路组成。

晶体管：它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,其中设置晶体管最大正向放大倍数为 $\beta = 100$ 。

谐振回路 LC 是晶体管的负载，直流供电电路为各级提供适当工作状态和能源，VBB 是基极偏置，VC 是集电极电源。

四、实验步骤、结果及分析

1. 电路的搭建

RefDes	电路图	系列	值
C	高频谐振功率放大器	CAPACITOR	10pF
L	高频谐振功率放大器	INDUCTOR	2.8μH
Q1	高频谐振功率放大器	BJT_NPN	2N2219*
R1	高频谐振功率放大器	POTENTIOMETER	7kΩ Key=A
vb	高频谐振功率放大器	POWER_SOURCES	0.5Vrms 30MHz 0°
VBB	高频谐振功率放大器	POWER_SOURCES	0.7V
VC	高频谐振功率放大器	POWER_SOURCES	10V
地线	高频谐振功率放大器	POWER_SOURCES	

图 4-1 电路元器件各参数

2. 静态工作点

进行直流静态工作点的仿真分析

高频谐振功率放大器 直流工作点分析		
	Variable	Operating point value
1	V(b)	-700.00000 m
2	V(c)	10.00000
3	I(Q1 IB)	-3.15478 n
4	I(Q1 IC)	131.06870 p
5	I(Q1 IE)	3.02371 n

图 4-2 电路静态工作点

参数说明：IC：集电极电流、IB：基极电流、IE：发射极电流

Vb：基极电压、Vc：集电极电压

从图 4-2 可知，基极电压 Vb 约为-700mV，可知晶体管工作于截止区。

3. 时域特性分析

设置仿真的起始时间(Start time)为 1μs， 结束时间(End time)为 1.2μs,再进行瞬态分析。

1) 输入输出信号的电压波形：输入 V(i)（红）、V(o)（绿）

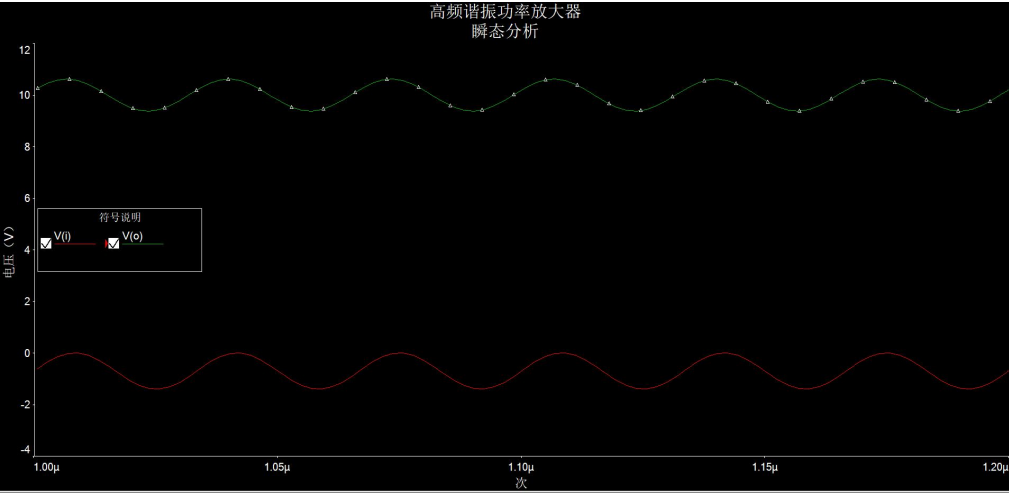


图 4-3-1a 输入输出信号时域图

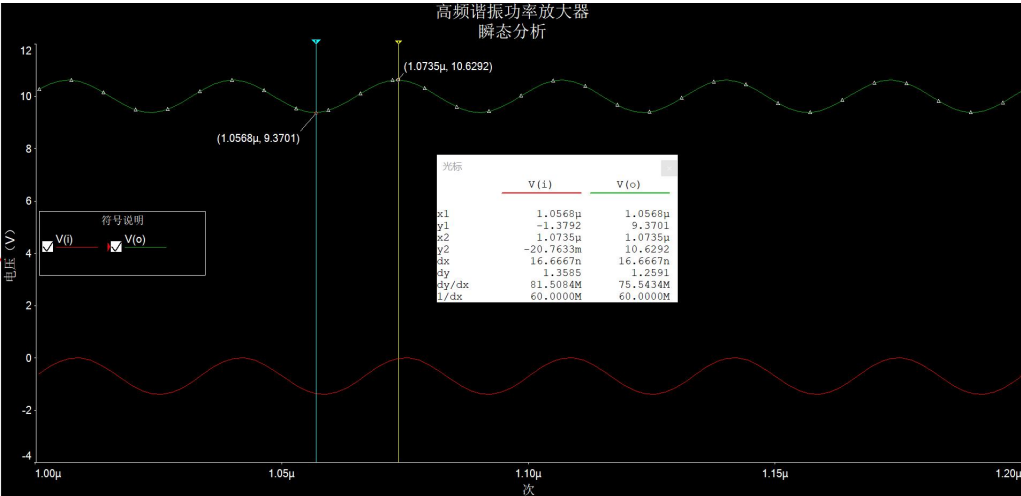


图 4-3-1b 输出信号峰值

如图 4-3-1b 的光标所示，可以得到输出信号的峰峰值约为 1.2595V.

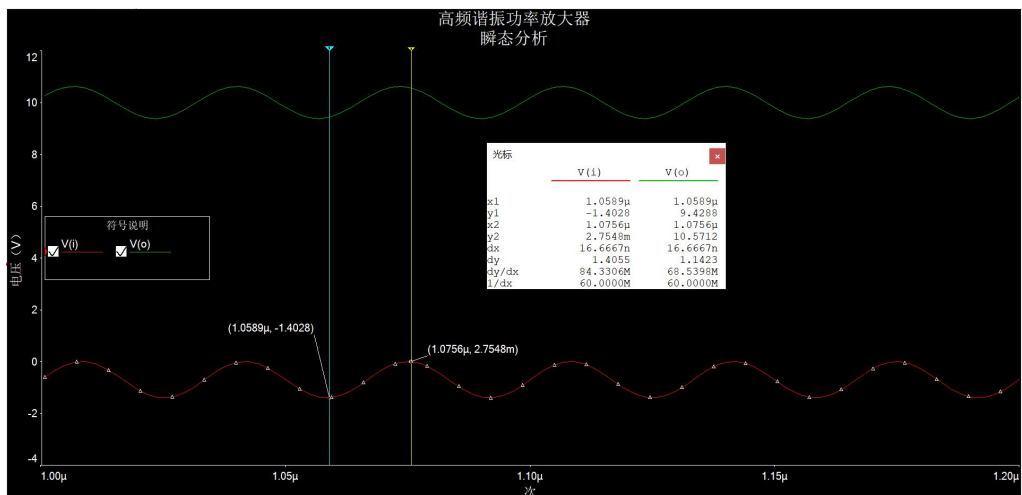


图 4-3-1c 输入信号峰值

如图 4-3-1c 的光标所示，可以得到输入信号的峰峰值约为 1.4056V。

2) 集电极电流波形

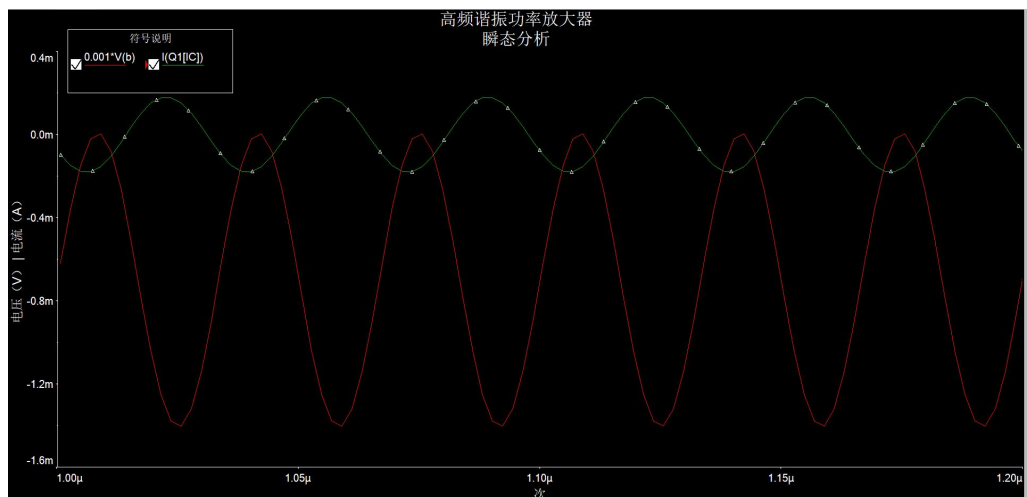


图 4-3-2 集电极电流波形

从图 4-3-2 可以看出，（为了让电流的变化可见，设置对输入电压的仿真参量为 $0.001 \times V_b$ ）基极电压(Vb)小于 0，说明基极回路处于反偏态（图中红色曲线）

集电极电流波形为正弦波，说明在输入电压有效值为 0.5V 的情况下，波形不发生失真，工作于欠压区（图中绿色曲线）

4. 频域特性分析

1) 输入信号的频谱

傅里叶仿真分析，使用 Fourier 模式进行仿真分析，设置 30Mhz 为 fundamental frequency，进行仿真分析，输入信号 V_i 频谱：

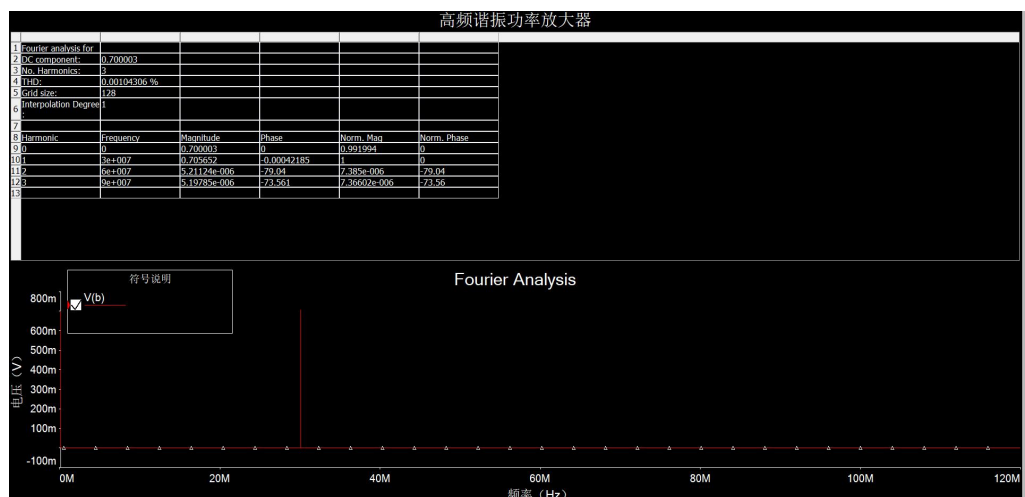


图 4-4-1 输入信号频谱分析

如图 4-4-1 中所示，基频频率分量最高，还存在直流分量，这也与分析相符合

2) 输出信号的频谱

傅里叶仿真分析，输出信号 V_0 频谱：

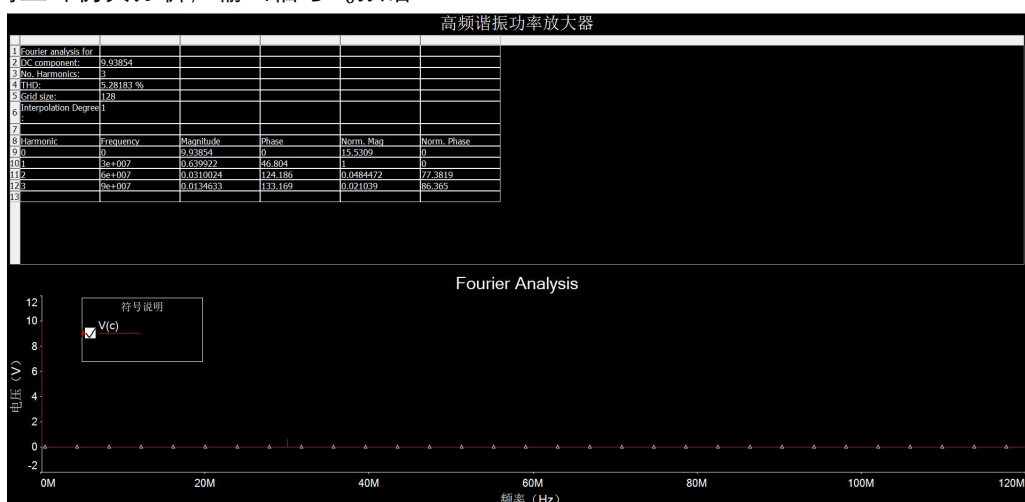


图 4-4-2 输出信号频谱分析

由图 4-4-2 的输出信号频谱图可知，输出信号存在基波频率分量和直流分量,这与 V_0 输出波形相符

3) LC 并联谐振回路幅频特性和相频特性

通过交流分析（100kHz --> 1GHz ）得到 LC 并联谐振回路的幅频响应和相位响应

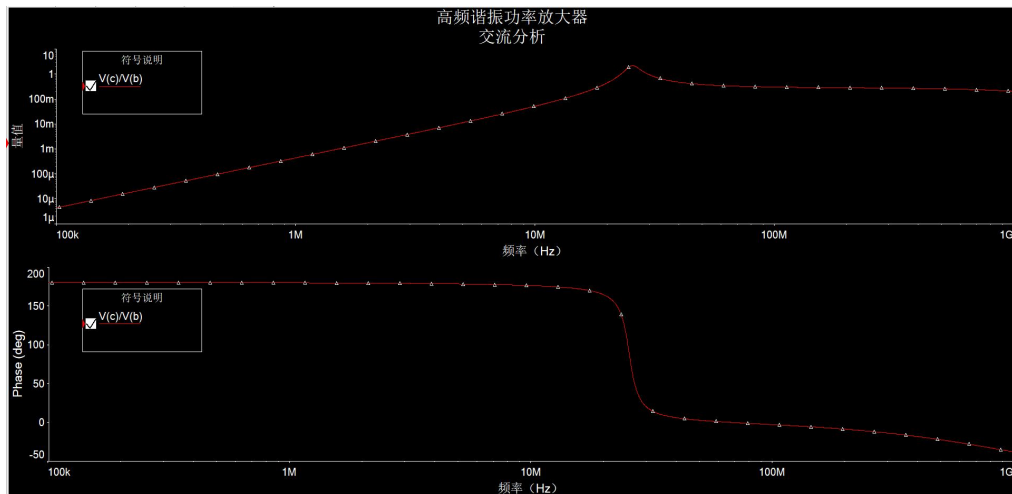


图 4-4-3a 频率响应

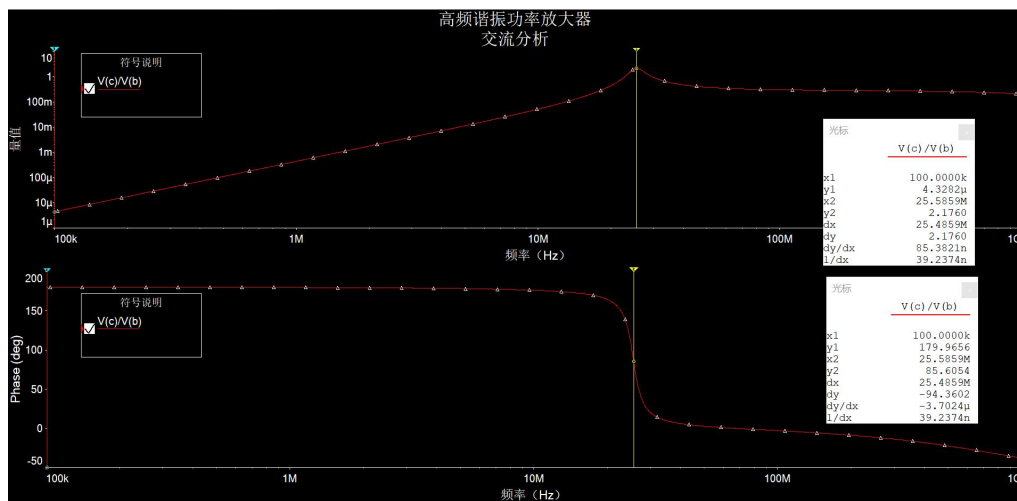


图 4-4-3b 谐振频率

由图 4-4-3b 可得到：谐振频率 $f = 25.5859 \text{ MHz}$ 处，最大增益为 2.1760 左右。

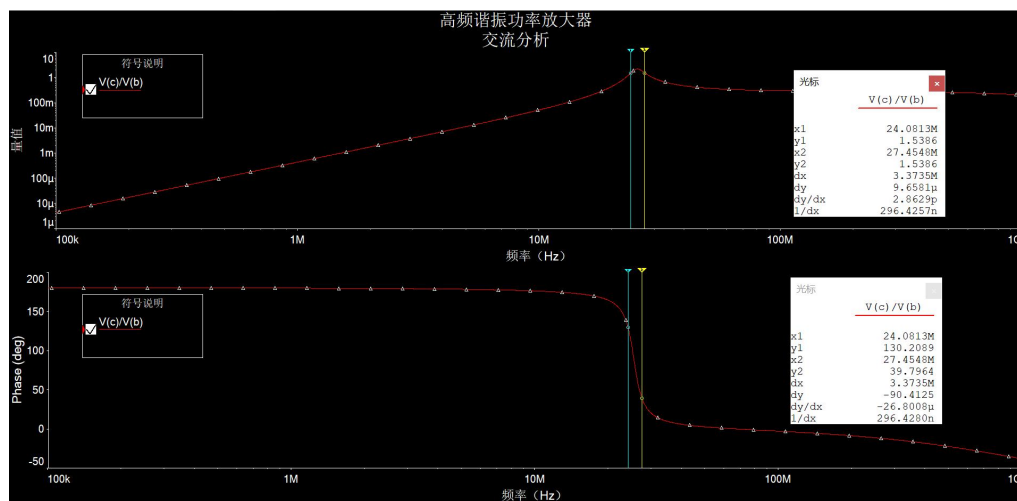


图 4-4-3c 带宽

由图 4-4-3c 可知：增益的-3dB 带宽约为 3.3735 MHz。

5. 过压和欠压工作状态的分析

(1) 过压工作状态：

保持 V_{BB} 偏置为 $0.7V$ ，将输入电压 v_b 的有效值从 $0.5V$ 调至 $1V$ ，再进行分析

输入输出信号时域分析：输入 $V(i)$ （红）、 $V(o)$ （绿）

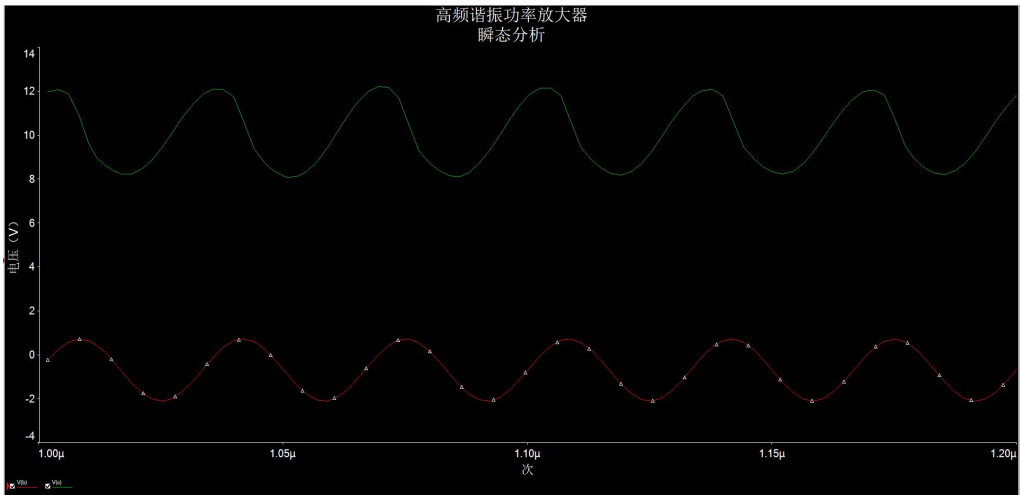


图 4-5-1a 过压状态下输入输出信号时域波形（输出稍有失真）

输出集电极电流波形：

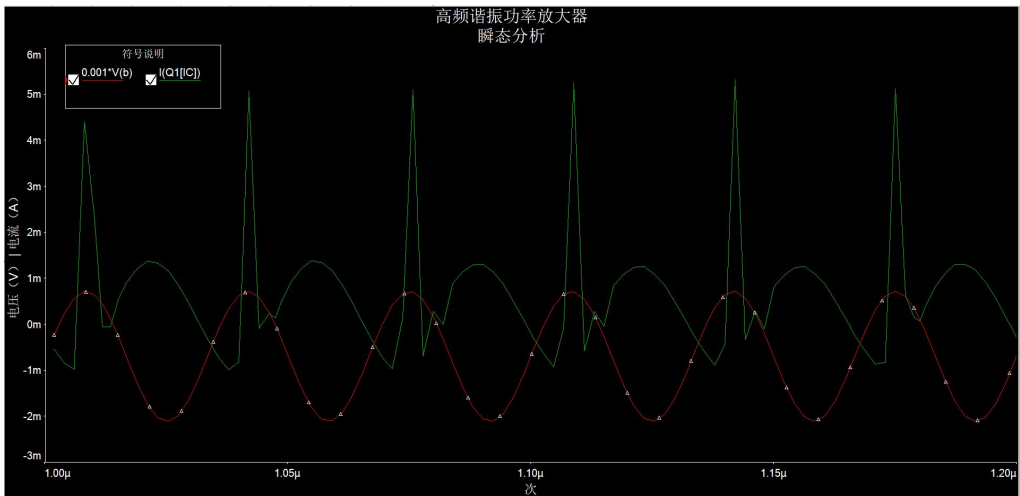


图 4-5-1b 过压状态下集电极电流波形

由图 4-5-1b 可知，晶体管的集电极电流变成余弦脉冲信号，表示此时晶体管工作于过压区

输出集电极电流频谱:

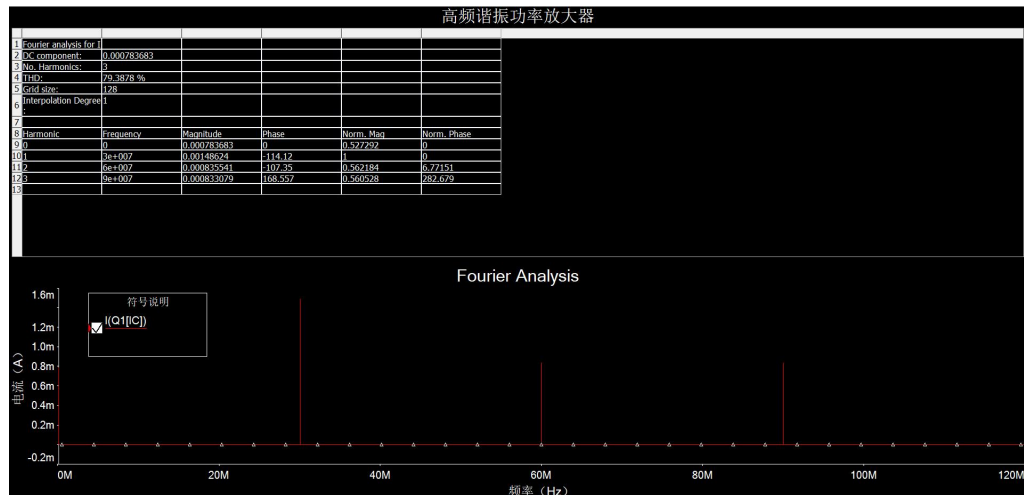


图 4-5-1c 过压状态下集电极电流频谱

输入信号频谱:

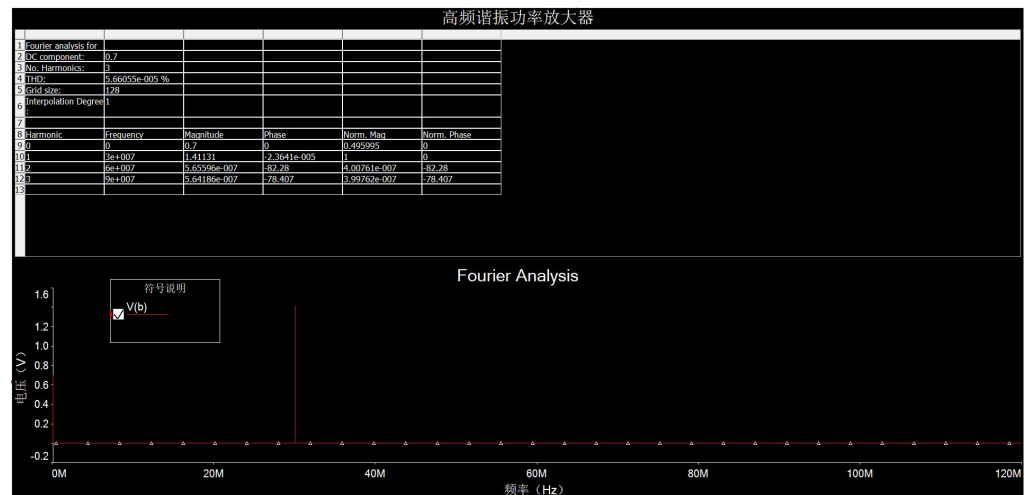


图 4-5-1d 过压状态下输入信号频谱

由图 4-5-1d 可知，晶体管的集电极电流近似为不失真的正弦信号，表示此时晶体管工作于欠压区。

输出信号频谱:

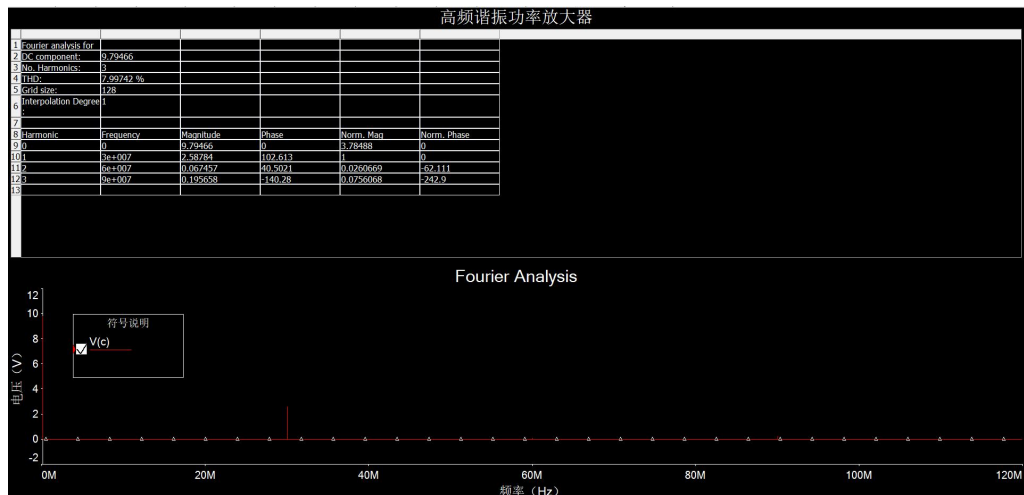


图 4-5-1e 过压状态下输出电压频谱

导通角：

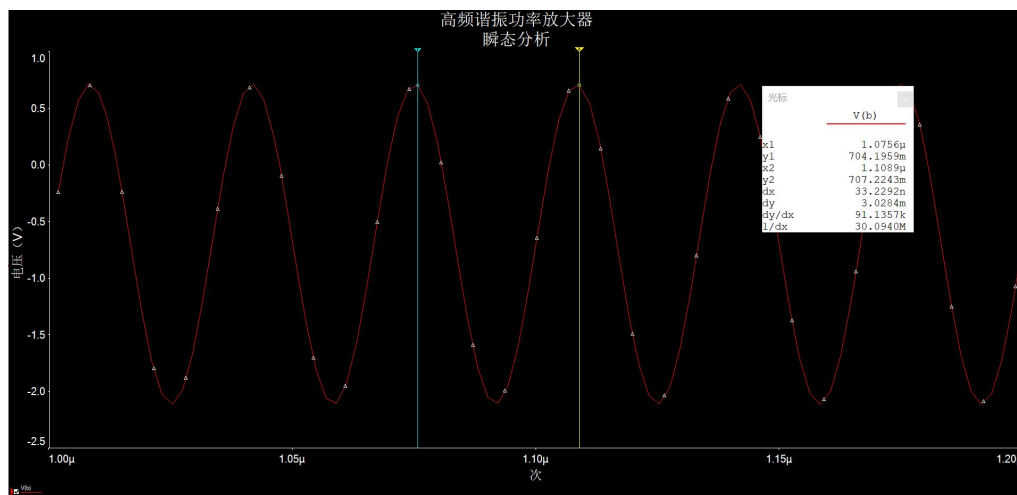


图 4-5-1f 过压状态下导通角计算 1

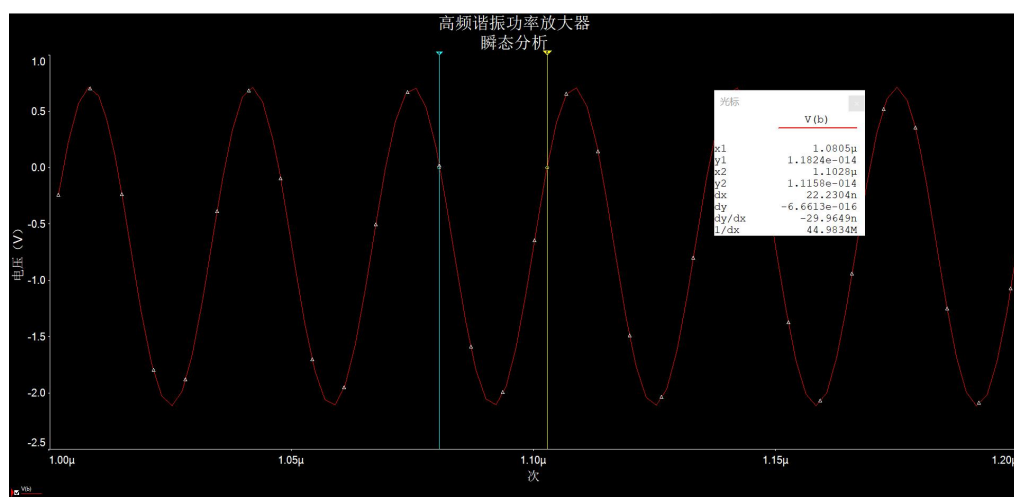


图 4-5-1g 过压状态下导通角计算 2

360°的角占 0.0333us，2 倍导通角占 (0.0333-0.0223=) 0.0110us，因此可计算的导通角为 59.46°。

(2) 欠压工作状态：

将 VBB 偏置从 0.7V 调至 1V，保持输入电压 vb 有效值为 1V，再进行分析

输入输出信号时域分析：

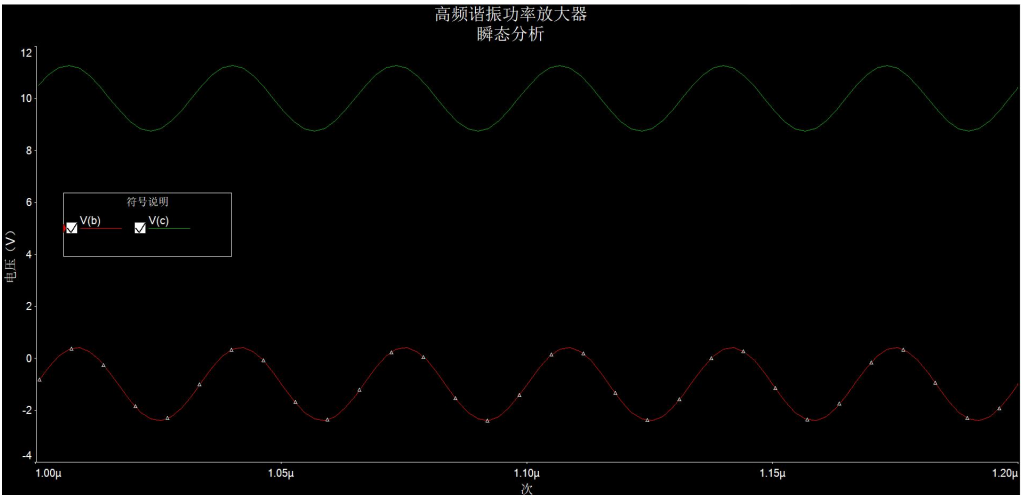


图 4-5-2a 欠压状态下输入输出信号时域波形

输出集电极电流波形：

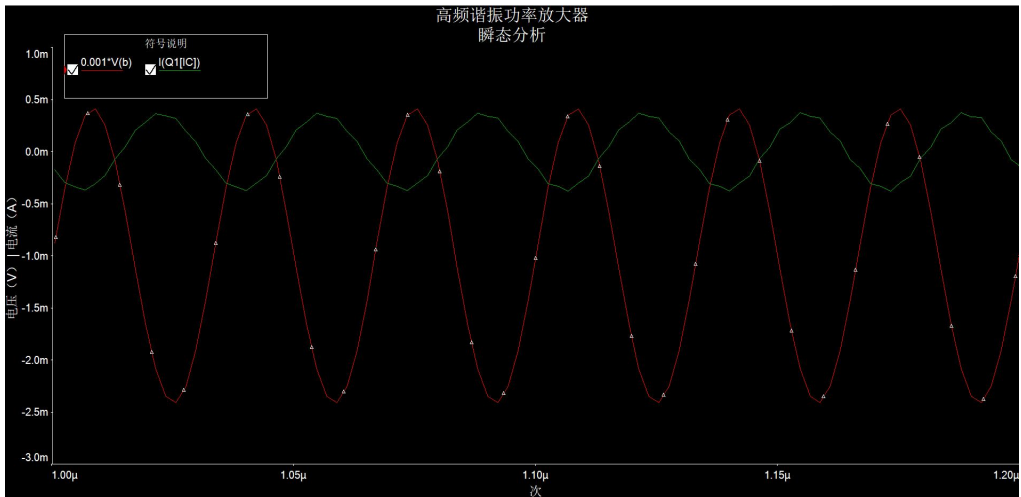


图 4-5-2b 欠压状态下集电极电流波形

输出集电极电流频谱：

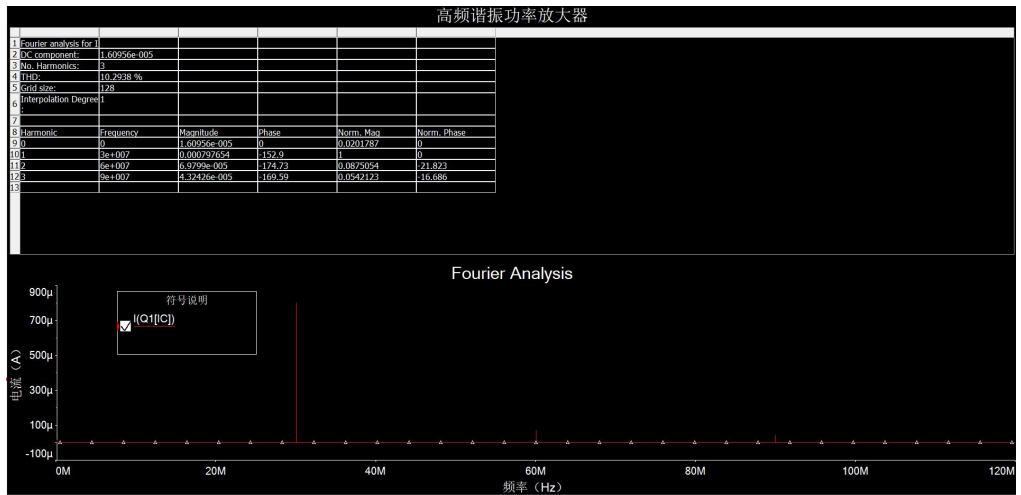


图 4-5-2c 欠压状态下集电极电流频谱

输入信号频谱：

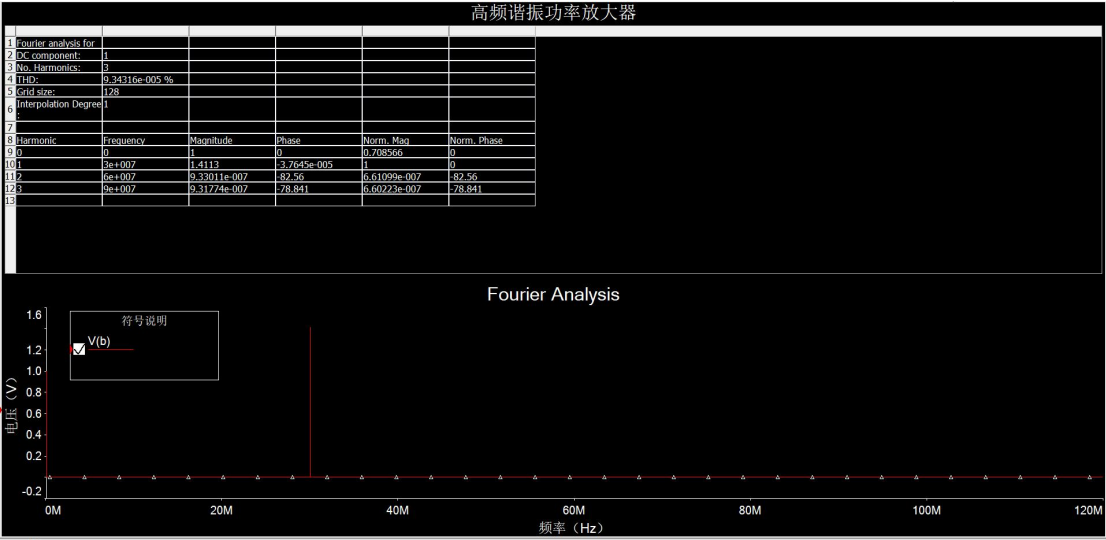


图 4-5-2d 欠压状态下输入信号频谱

输出信号频谱：

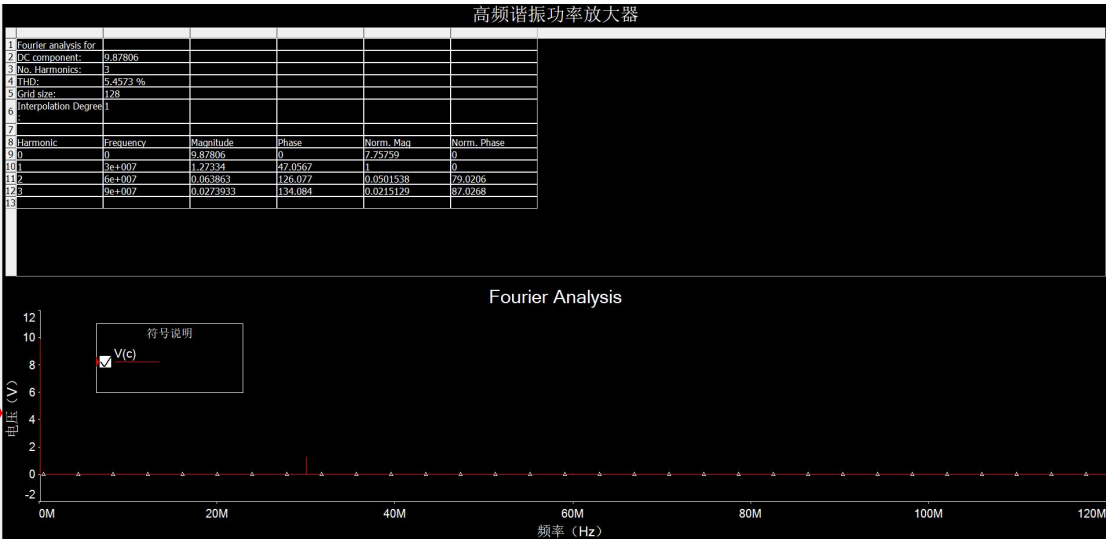


图 4-5-2e 欠压状态下输出电压频谱

导通角：

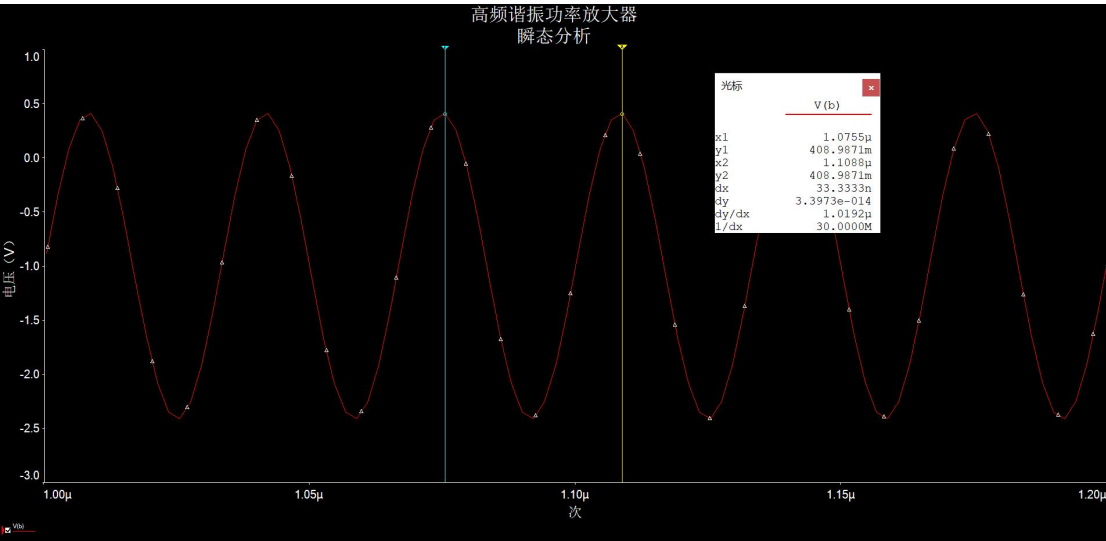


图 4-5-2f 欠压状态下导通角计算 1

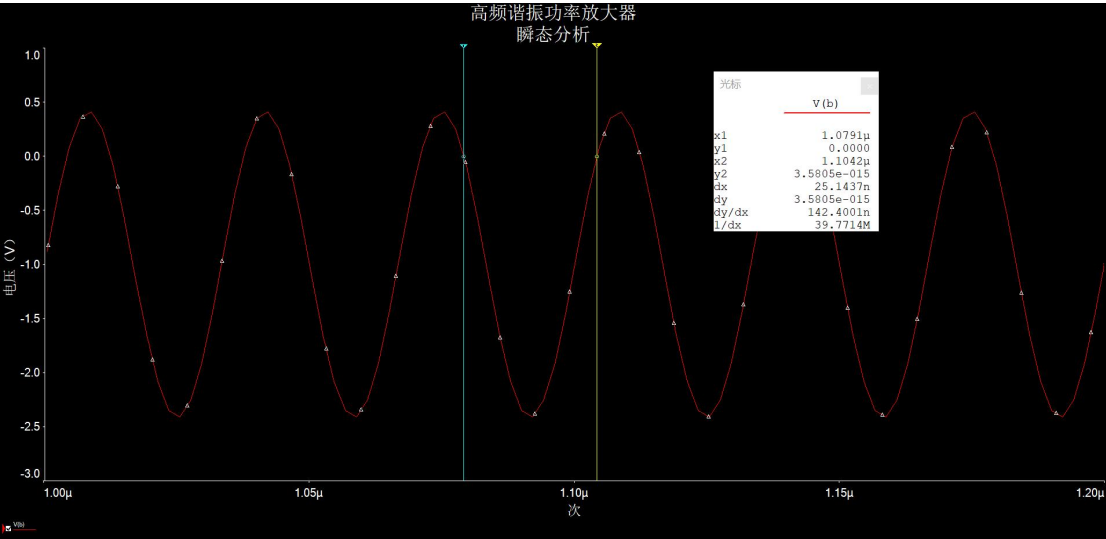


图 4-5-2g 欠压状态下导通角计算 2

360°的角占 0.0333us，2 倍导通角占 (0.0333-0.0251=) 0.0082us，因此可计算的导通角为 44.32°。

五、小结

总的来说，此次实验中，最大的特点就是电路的结构比较简单，但是仍然有很多东西的细节不容忽视，特别是各元器件的参数，偏置电源的电压值差一点点可能会导致结果完全不同，晶体管的工作区就在这一点点的变化中工作在不同的区。另外，对过压和欠压这两个工作状态的分析，让我加深了对他们的细节的认识，其他导通角的计算也让我进一步巩固了我的通信电子线路的知识，我也更加明白了理论课对实验课的重要性。