

高频谐振功率放大器仿真

- 一. 实验目的
- 二. 实验内容
- 三. 实验原理
- 四. 实验步骤
- 五. 实验结果及分析

高频谐振功率放大器仿真

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. 设计电路，使用Multisim绘制仿真电路图；
2. Multisim 的仿真结果（仿真结果需给出截屏）和分析，包括：
 - a) 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
 - b) 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；
 - a) 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
 - b) 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. 基本原理：

如图1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。

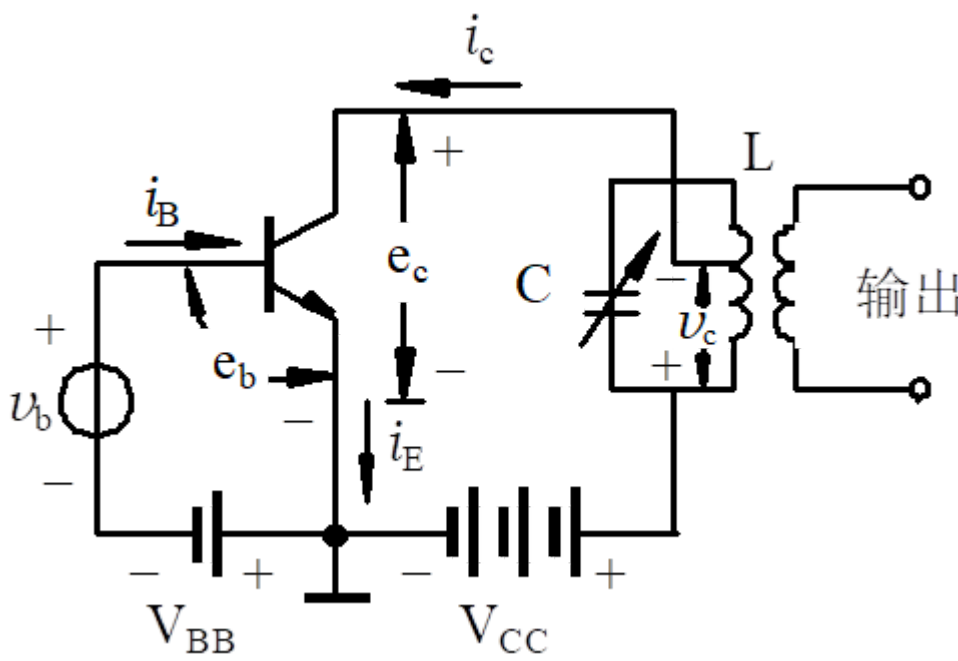


图1 高频功率放大器基本电路

图2为谐振功率放大器各级电压和电流波形。

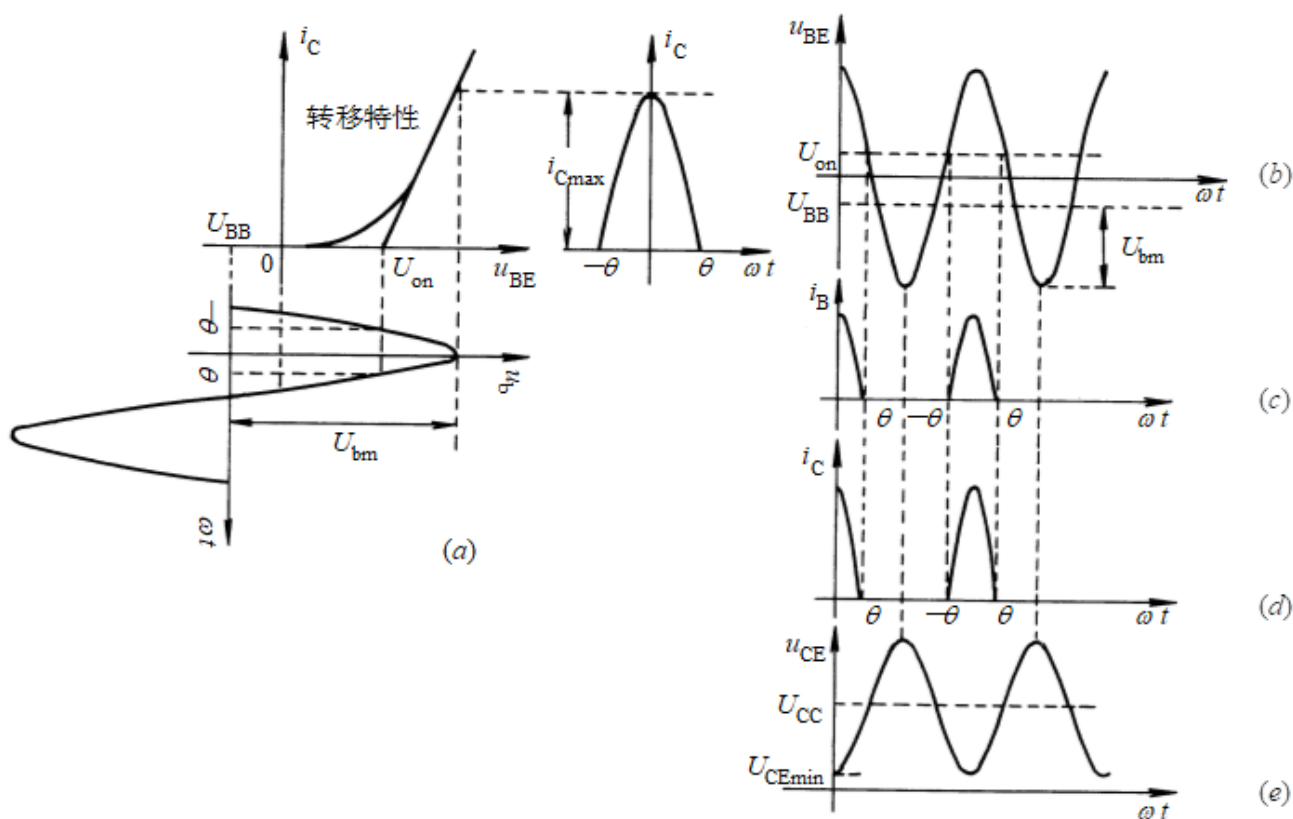


图2 谐振功率放大器各级电压和电流波形

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：

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

它的外部电路关系式：

$$e_b = -V_{BB} + V_{bm} \cos \omega t$$

$$e_c = V_{CC} - V_{cm} \cos \omega t$$

当 $\omega t = 0$ 时，

$$i_{Cmax} = g_c V_{bm} (1 - \cos \theta)$$

因此，

$$i_{Cmax} = g_c V_{bm} (1 - \cos \theta)$$

若将尖顶脉冲分解为傅里叶级数，得

$$i_C = I_{C0} + I_{C1} \cos \omega t + I_{C2} \cos 2\omega t + \dots + I_{Cn} \cos n\omega t + \dots$$

由傅里叶级数的求系数法得

$$I_{C0} = i_{C\max} \alpha_0(\theta_c)$$

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

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

其中

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

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

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

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，将放大区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：

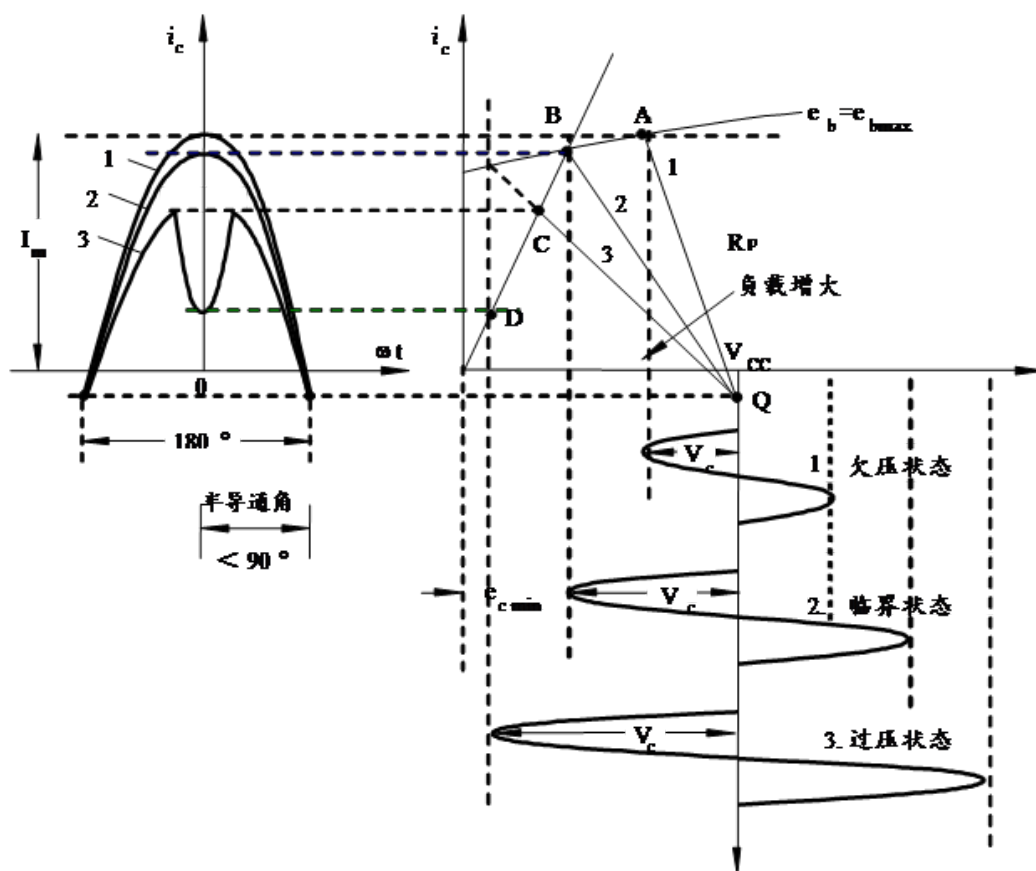


图3 电压、电流随负载变化波形

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. 根据实验原理，在Multisim软件环境中绘制出电路图4，注意元件标号和各个元件参数的设置：

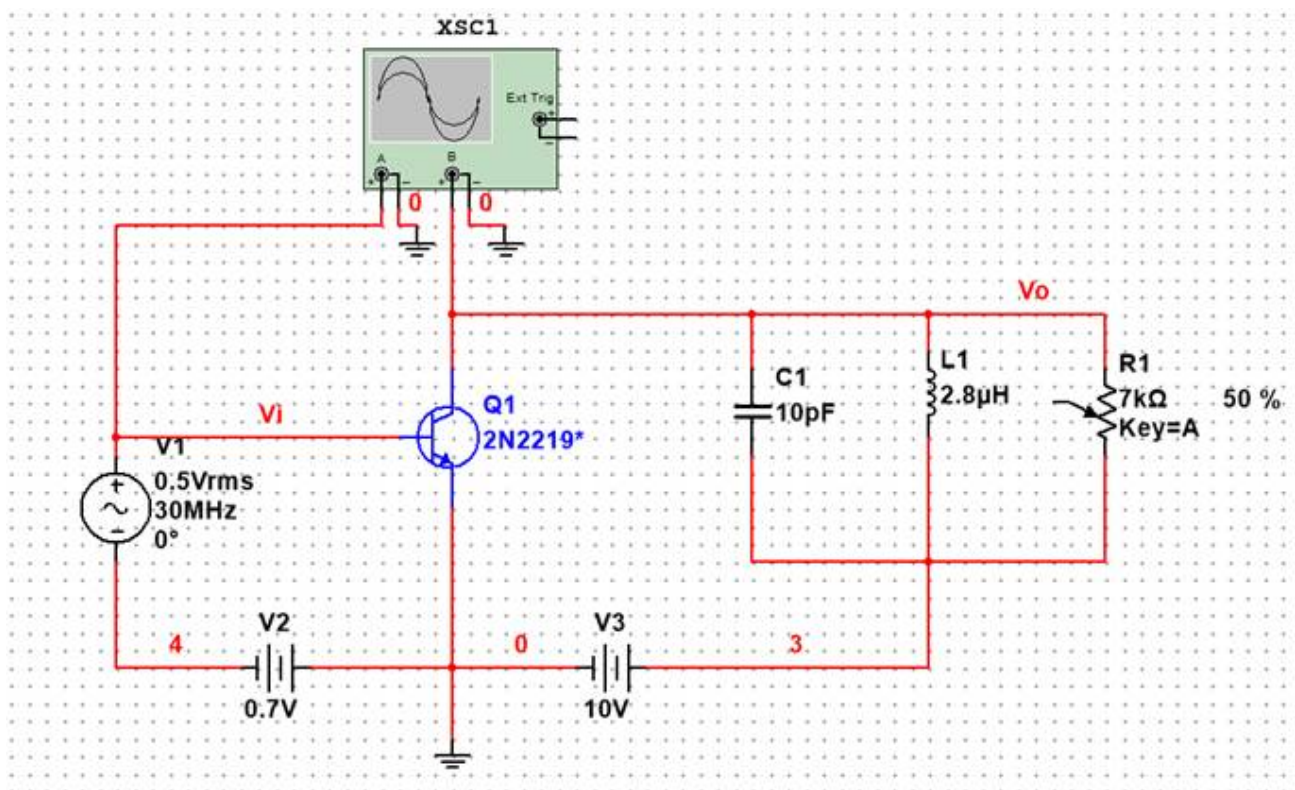


图4 仿真电路图

2. 直流偏置点分析:

执行Simulate Analyses 直流偏置点的仿真:

将电路当中Q1管的发射极电流、Q1管的集电极电流和Q1管的基极电流、以及Q1管的基极电压和它的集电极电压添加到输出选项卡，作为我们观察的目标，再执行Simulate，就可以看到直流偏置点的仿真结果。

如图5所示:

| | Variable | Operating point value |
|---|-----------|-----------------------|
| 1 | V(3) | 10.00000 |
| 2 | V(vi) | -700.00000 m |
| 3 | I(Q1[IB]) | -3.15478 n |
| 4 | I(Q1[IC]) | 131.06870 p |
| 5 | I(Q1[IE]) | 3.02371 n |

图5 直流工作点

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-700个毫伏，也就是-0.7伏，即三极管工作于截止区。

3. 时域特性:

输入电压Vi与输出电压Vo的波形如图6所示:

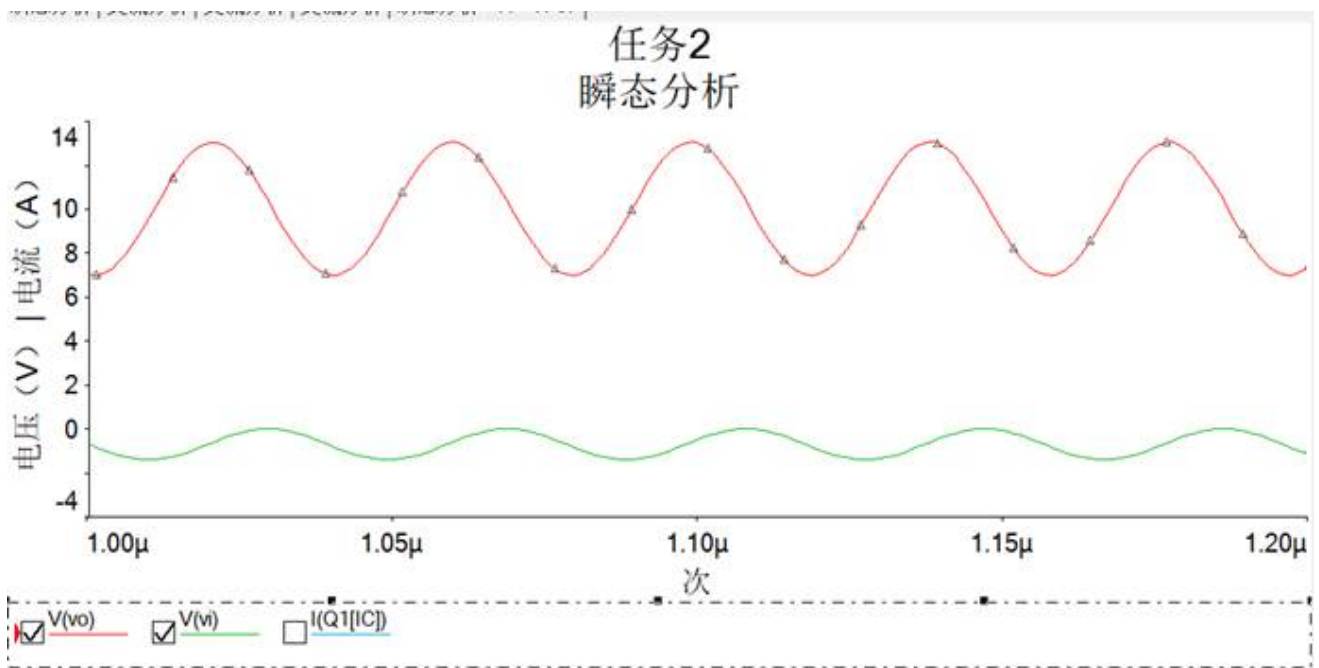
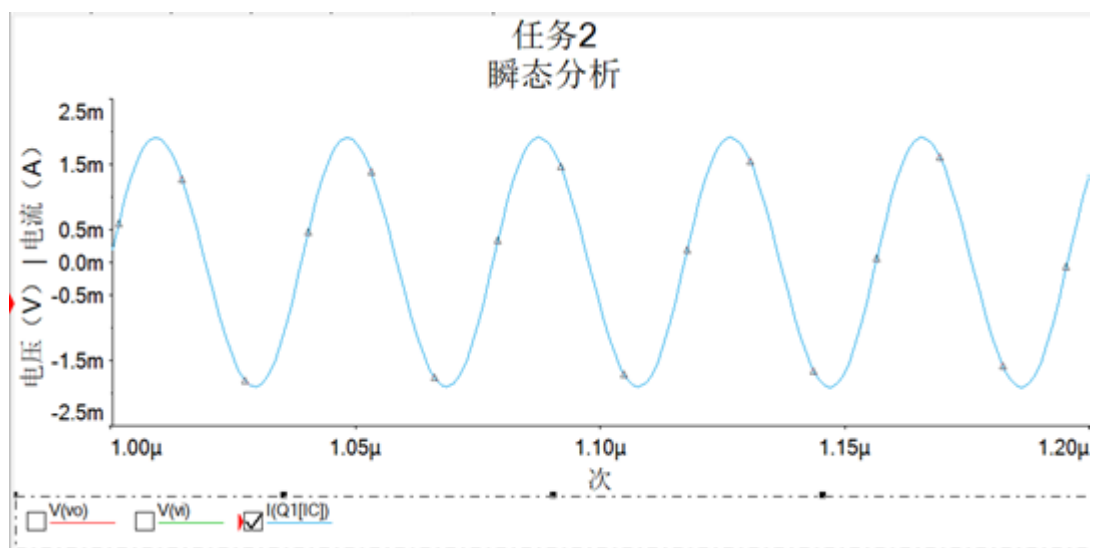


图6 输入输出电压波形

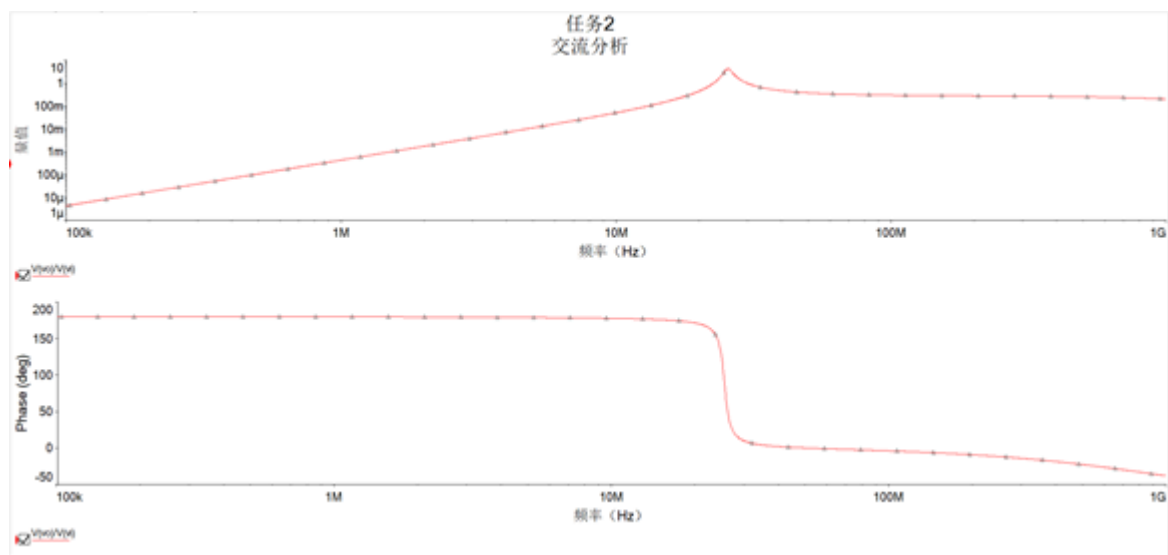
集电极电流ic如图7所示：



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。

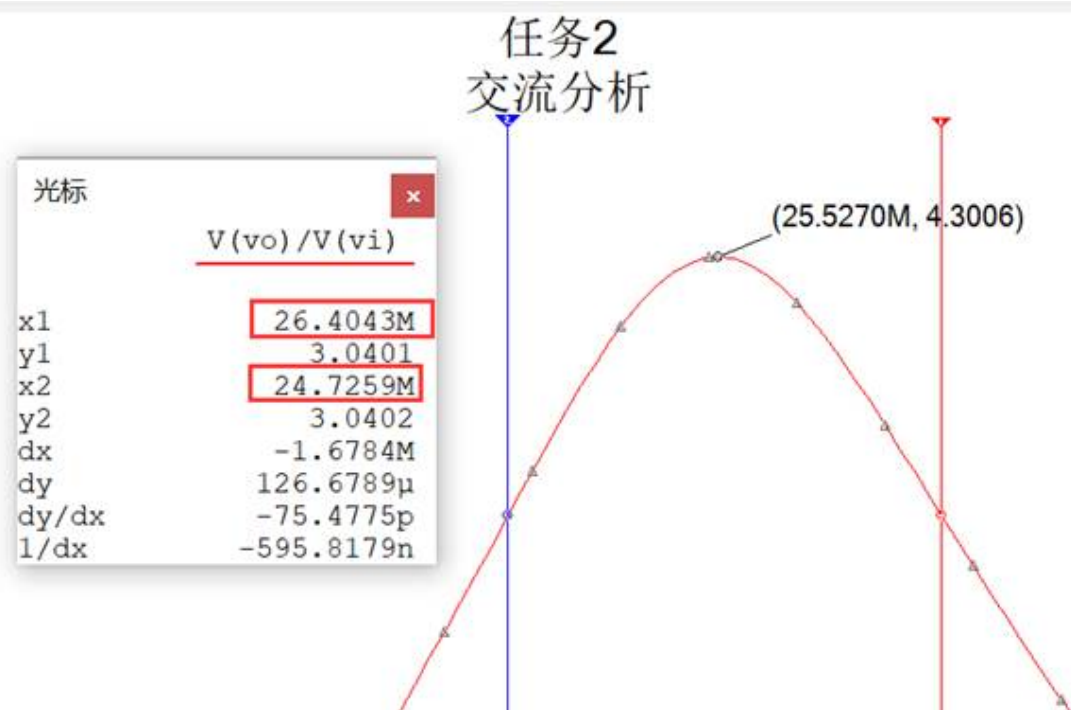
4. 频域特性：

输入/输出信号的响应，如图8所示，其中上面的图为幅频特性，下面的图为相频特性曲线：



图**8** 增益交流扫描

使用光标，标出最大增益与0.707带宽如图9所示：



图**9** 标注带宽

输出信号频谱如图10所示：

可见为输出信号为一个余弦函数。



图**10** 输出电压的频谱

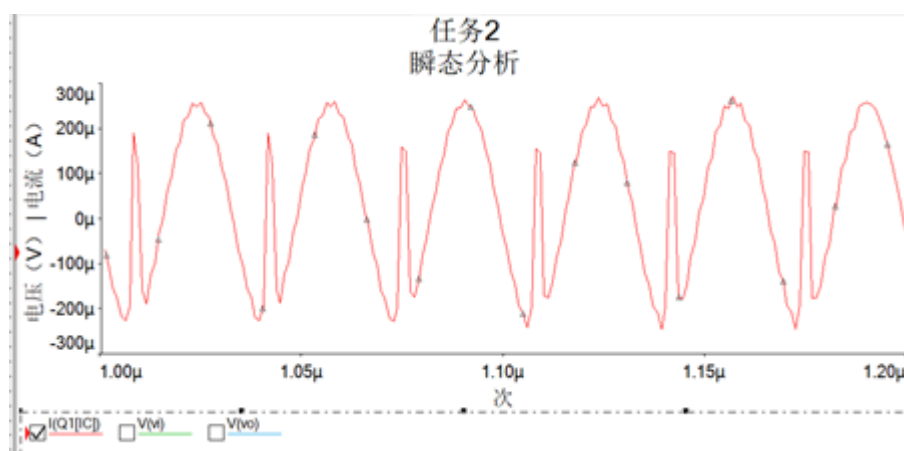
\5. 测试高频谐振功放中欠压和过压工作状态之间的不同:

a) 欠压状态:

如上所示。

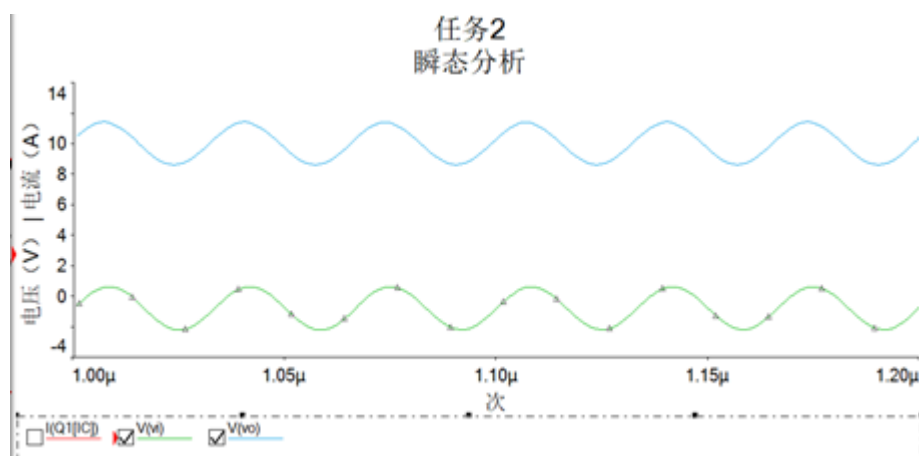
b) 临界状态:

ic波形如图11所示:



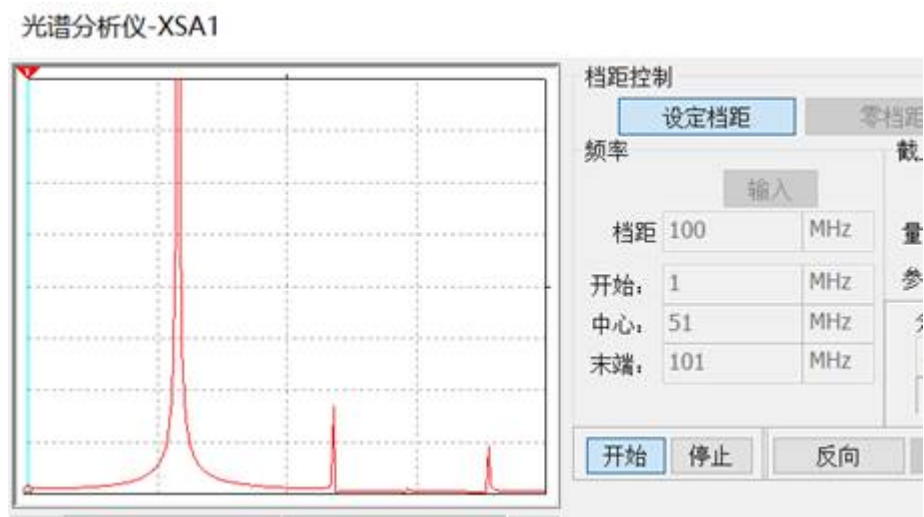
图**11** 临界状态**ic波形**

Vi与Vo波形如图12所示:



图**12** 临界状态**Vi与Vo波形**

Vo的频谱如图13所示:

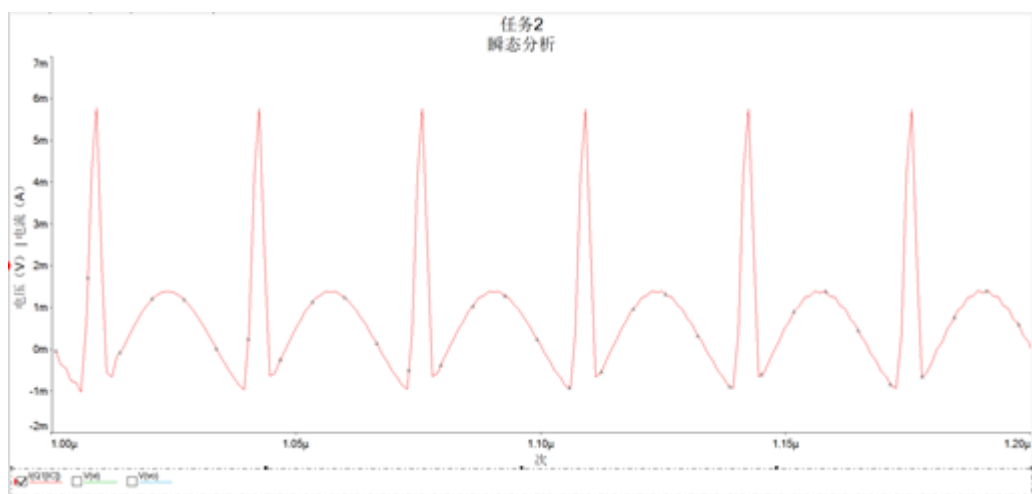


图**13** 临界状态**Vo频谱**

可见存在一些谐波分量。

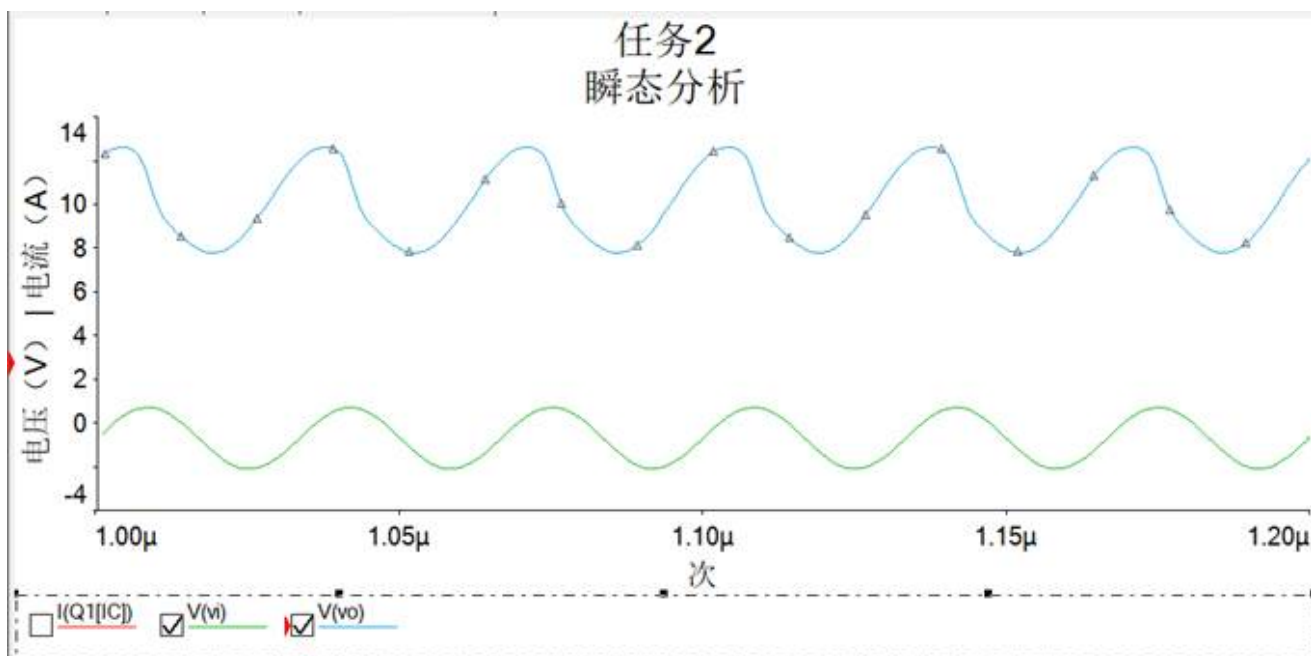
c) 过压状态:

ic波形如图14所示:



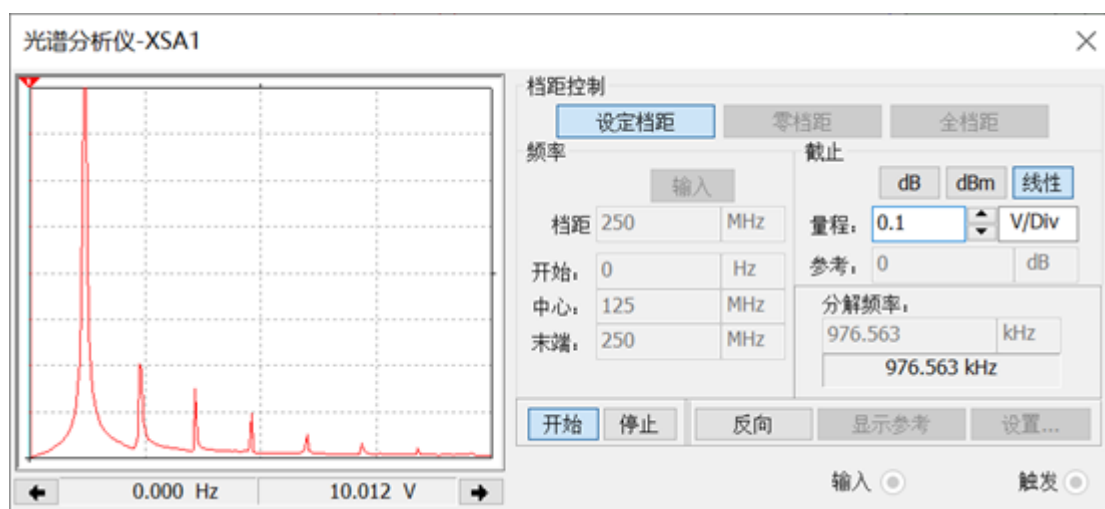
图**14** 过压状态**ic波形**

V_i 与 V_o 的波形如图15所示:



图**15** 过压状态**Vi与Vo波形**

V_o 的频谱如图16所示：



图**16** 过压状态**Vo频谱**

可见，存在较大的谐波分量，有一定失真。