

# 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 LC 振荡器仿真

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：陈艺文

成绩/等级：

实验日期：2022 年 11 月 1 日

## 一、实验目的

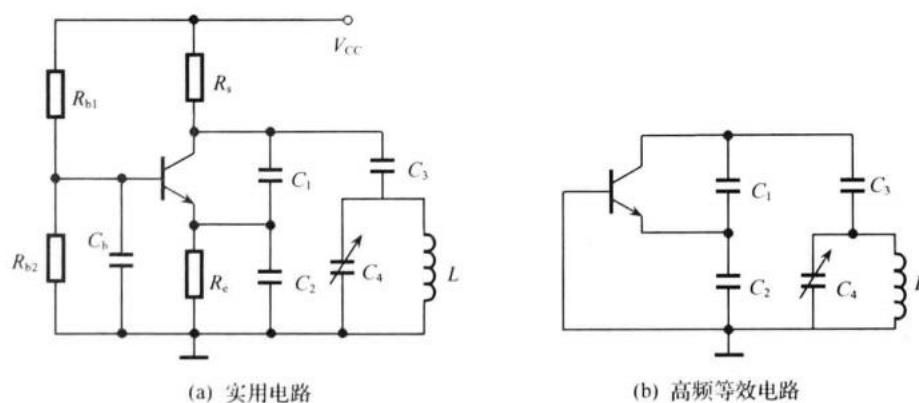
1. 进一步熟悉 Multisim 电路仿真软件;
2. 掌握高频振荡器的电路结构特点及工作原理;
3. 熟悉高频振荡器的起振过程与振荡波形;

## 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: 输出信号的电压波形; 测试反馈系数  $F$  对于起振的影响
2. 频域特性: 显示该电路主要关键点的频谱, 包括但不限于: 输出信号的频谱
3. 仿真电路包括 (2 种)
  - a.) 串联改进型电容三端 LC 振荡器 or 并联改进型电容三端 LC 振荡器  
输出信号电压波形、输出信号频谱  
测试反馈系数  $F$  对于起振的影响  
验证较小电容  $C_3$  使振荡频率和反馈系数基本互不影响
  - b.) 晶体振荡器 (串联型 or 并联型)  
输出信号电压波形、输出信号频谱
4. 振荡频率至少为 10MHz。

## 三、实验原理

### 1. 原理电路图



西勒振荡电路

图 3-1-1 并联改进型电容三端 LC 振荡器原理图

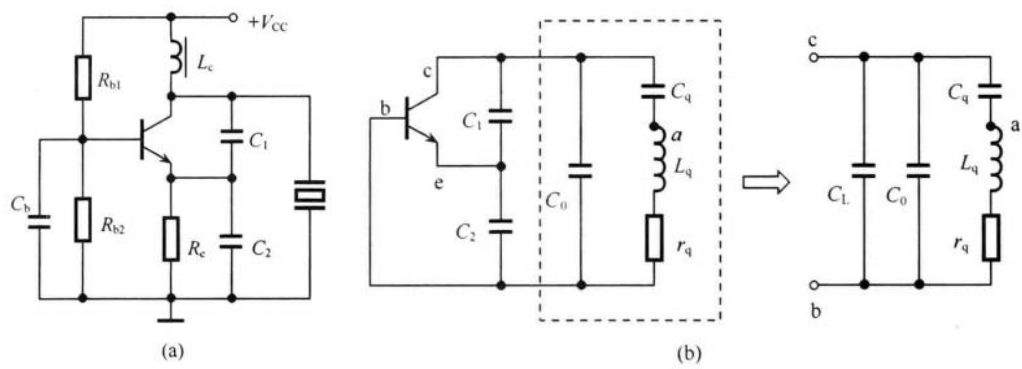


图 3-1-2 并联型晶体振荡器（皮尔斯振荡电路）原理图

## 2. 仿真电路图

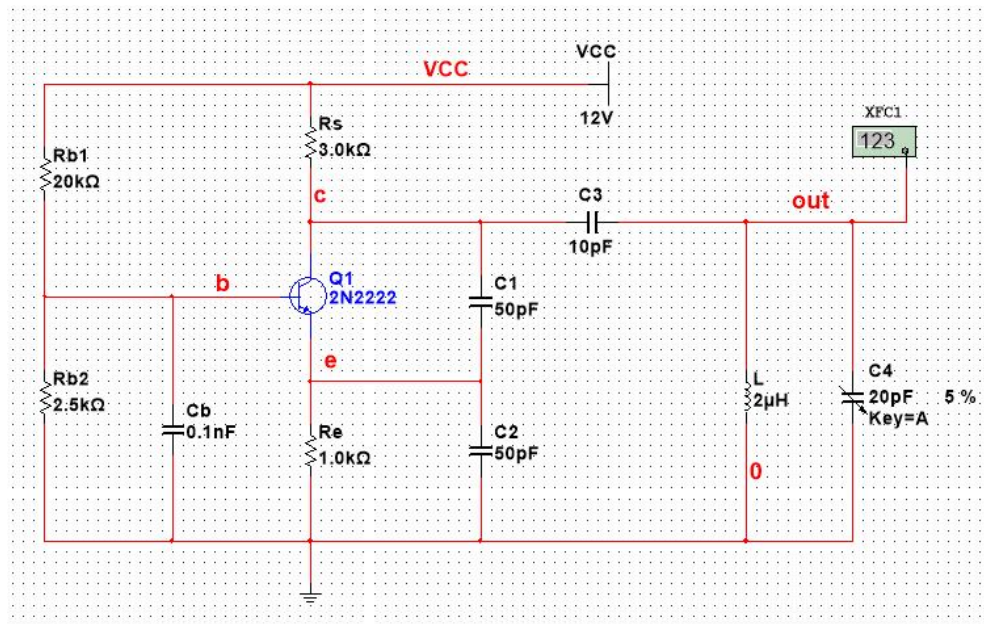


图 3-2-1 并联改进型电容三端 LC 振荡器仿真电路图

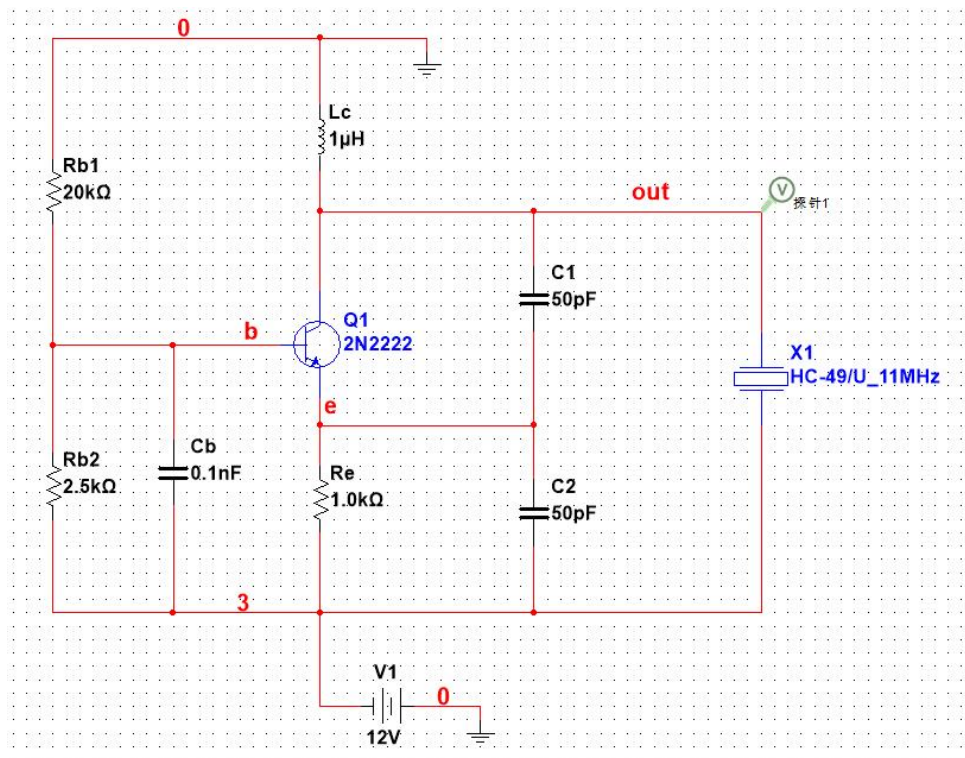


图 3-2-2 并联型晶体振荡器仿真电路图

晶体振荡电路，将石英晶体作为高  $Q$  值谐振回路元件接入正反馈电路中即可组成晶体振荡器。

并联型晶体振荡器的工作原理和电容三端式振荡器相同，只是将其中一个电感元件换成石英晶振，将其作为等效电感元件用在三端式电路中，工作在感性区间。

四、实验步骤、结果及分析

(一) 并联改进型电容三端 LC 振荡器

1. 电路参数

RefDes	电路图	值
C1	西勒振荡电路	50pF
C2	西勒振荡电路	50pF
C3	西勒振荡电路	10pF
C4	西勒振荡电路	20pF Key=A
Cb	西勒振荡电路	0.1nF
L	西勒振荡电路	2μH
Q1	西勒振荡电路	2N2222
Rb1	西勒振荡电路	20kΩ
Rb2	西勒振荡电路	2.5kΩ
Re	西勒振荡电路	1.0kΩ
Rs	西勒振荡电路	3.0kΩ
VCC	西勒振荡电路	12V
XFC1	西勒振荡电路	
地线	西勒振荡电路	

图 4-1-1 电路元器件参数

2. 时域分析

使用 transient mode 进行瞬态分析得到输出信号的电压波形。

初始条件为“设为 0”，设置起始时间为 0，结束时间为 5μs，添加输出电压 Vout 为仿真输出，进行仿真，获得时域波形。

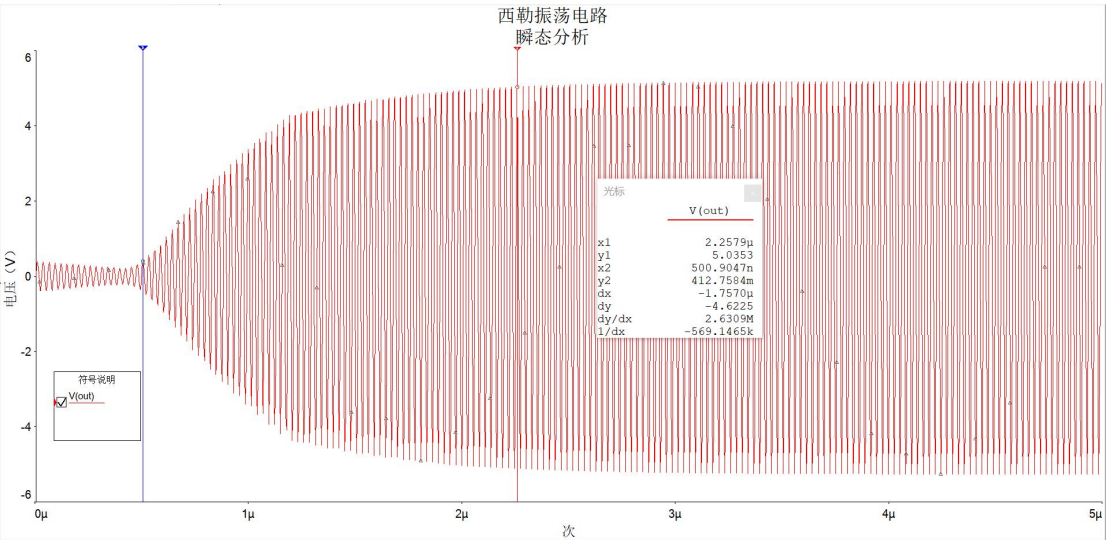


图 4-1-2 并联改进型电容三端 LC 振荡器时域分析

从图 4-1-2 中，利用光标可以看到输出电压大约在 500ns 时开始起振，输出电压振幅约为 5V。

### 3. 频域分析

通过计算可以得理论震荡的频率为：

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_3 + C_4)}} \approx 33.932MHz$$

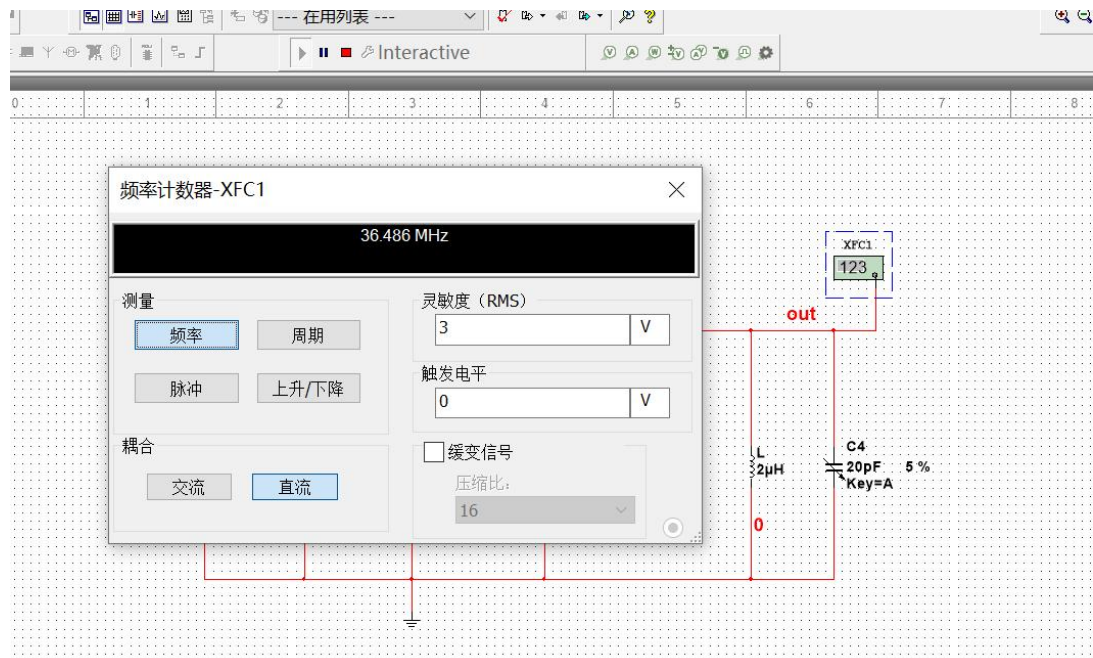


图 4-1-3a 频率计

通过 Interactive simulation 模式下观察图 4-1-3a 中的频率计可得实际振荡频率约为:

$$f \approx 36.486 \text{ MHz}$$

与理论计算基本吻合

使用 Fourier mode 进行傅里叶仿真对输出进行分析:

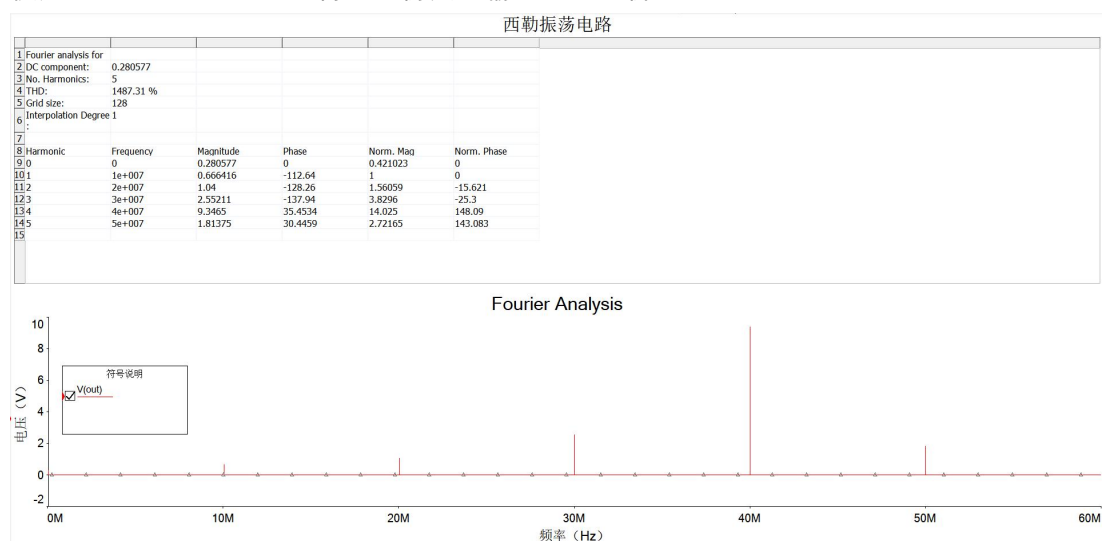


图 4-1-3b 傅里叶分析

从图 4-1-3b 中可以看到在频率 40MHz 左右处谱线最高

#### 4. 测试反馈系数 $F$ 对于起振的影响

$$\text{反馈系数 } F = \frac{C_1}{C_2}$$

使用参数扫描分析，选择扫描器件为电容，名称为  $C1$ 。扫描起始值为  $25\text{pF}$ ，结束值为  $100\text{pF}$ ，扫描点数为 4，待扫描的分析设定为瞬态分析，编辑瞬态分析，设置起始时间为 0，结束时间为  $5\mu\text{s}$ 。

获得输出信号电压的波形

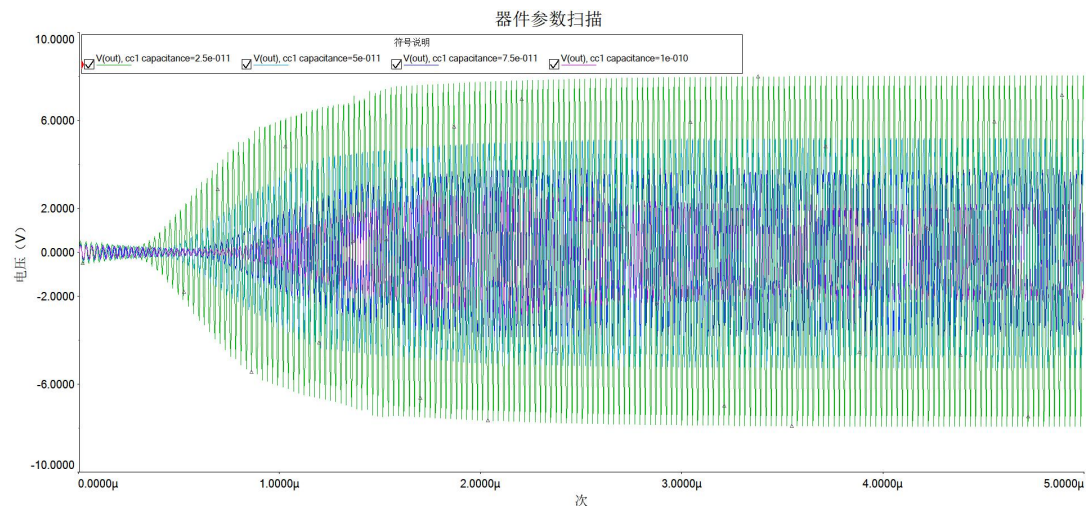


图 4-1-4 电容  $C1$  从  $25\text{pF}$ 、 $50\text{pF}$ 、 $75\text{pF}$ 、 $100\text{pF}$  依次变化时  $V_{out}$  的瞬态分析

从图 4-1-4 可以看出，（电容依次变化，依次对应绿色、浅蓝色、深蓝色、紫色的曲线）随着  $C1$  的增大，反馈系数  $F$  依次增大，电路起振时间依次变长，而且振幅依次下降。

#### 5. 验证较小电容 $C3$ 使振荡频率和反馈系数基本互不影响

在电路中， $C3=10\text{pF}$ ， $C1=25\text{pF}$ ， $C2=50\text{pF}$  时， $F=0.5$ ，

电路振荡频率为： $f = \frac{1}{x_2 - x_1} \approx 38.314\text{MHz}$

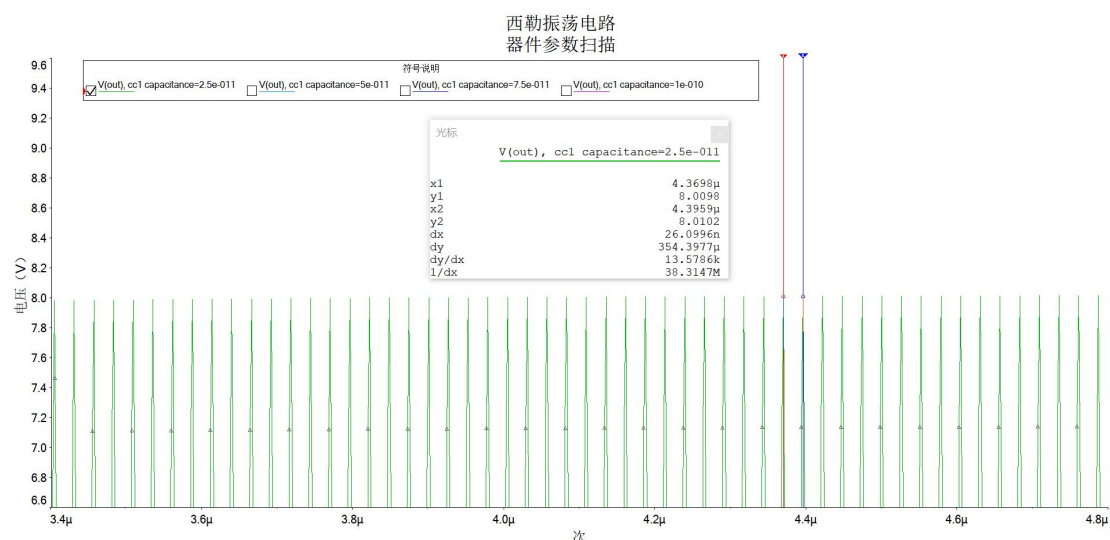


图 4-1-5a  $F=0.5$  时， $V_{out}$  的瞬态分析

在电路中，C3=10pF，C1=50pF，C2=50pF 时，F=1，

电路振荡频率为： $f = \frac{1}{x_2-x_1} \approx 36.496MHz$

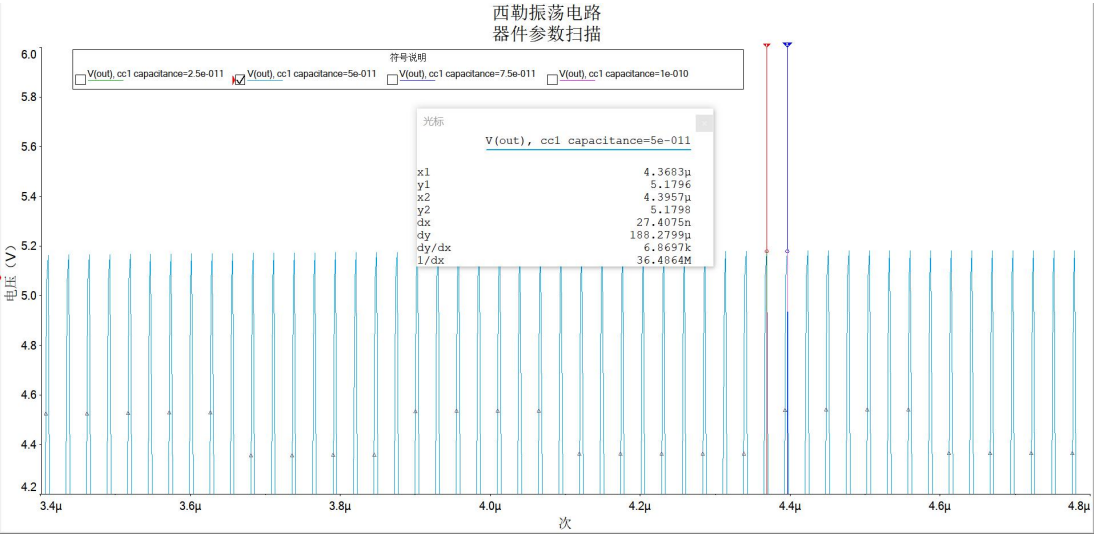


图 4-1-5b F=1 时，Vout 的瞬态分析

在电路中，C3=10pF，C1=75pF，C2=50pF 时，F=1.5，

电路振荡频率为： $f = \frac{1}{x_2-x_1} \approx 35.211MHz$

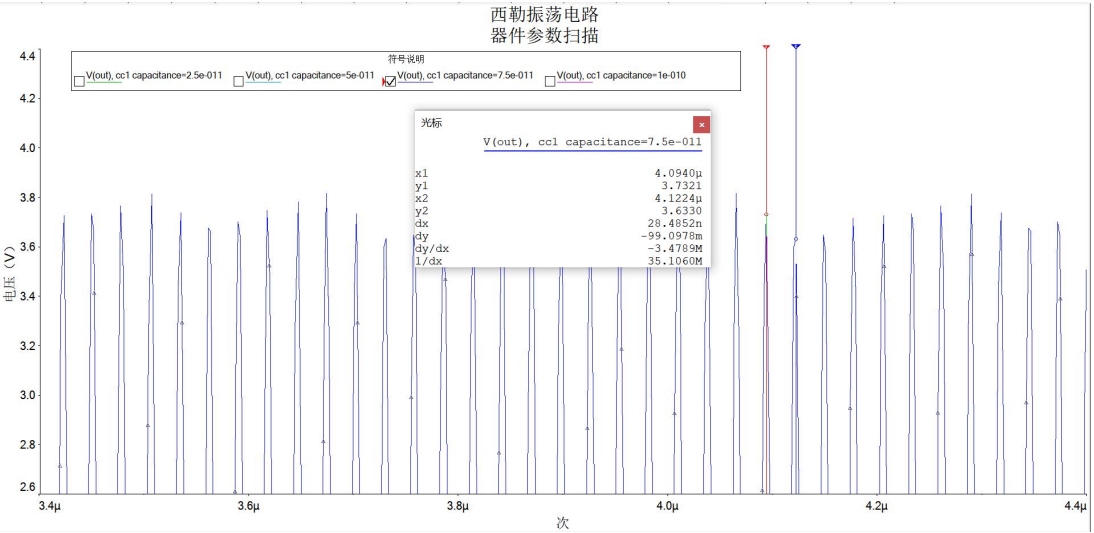


图 4-1-5c F=1.5 时，Vout 的瞬态分析



在电路中，C3=10pF，C1=100pF，C2=50pF 时，F=2，

电路振荡频率为： $f = \frac{1}{x_2-x_1} \approx 35.088MHz$

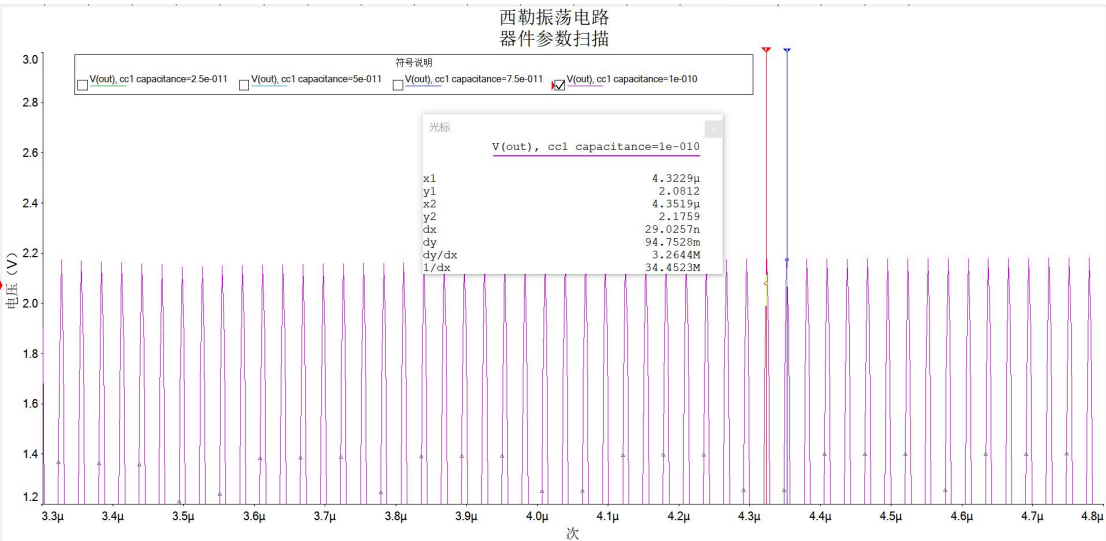


图 4-1-5d F=2 时，Vout 的瞬态分析

从图 4-1-5a ---- 4-1-5d 可知，更改 F，对震荡频率的影响基本可忽略不计，所以验证了当电路图中的C<sub>3</sub>较小时，震荡频率与反馈系数基本不影响

(二) 并联型晶体振荡器

1. 电路参数

RefDes	电路图	值
C1	皮尔斯电路	50pF
C2	皮尔斯电路	50pF
Cb	皮尔斯电路	0.1nF
Lc	皮尔斯电路	1μH
Q1	皮尔斯电路	2N2222
Rb1	皮尔斯电路	20kΩ
Rb2	皮尔斯电路	2.5kΩ
Re	皮尔斯电路	1.0kΩ
V1	皮尔斯电路	12V
X1	皮尔斯电路	HC-49/U_11MHz
地线	皮尔斯电路	
地线	皮尔斯电路	
探针1	皮尔斯电路	

图 4-2-1 电路元器件各参数

## 2. 时域分析

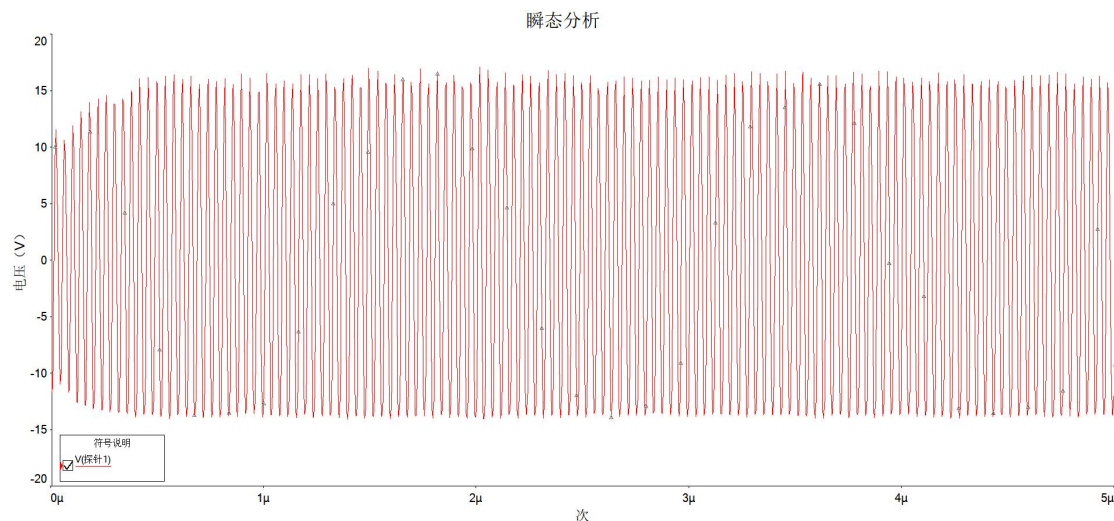


图 4-2-2 并联型晶体振荡器时域分析

## 3. 频域分析

在 Interactive simulation 模式下，测量输出电压的频率为 25.0MHz

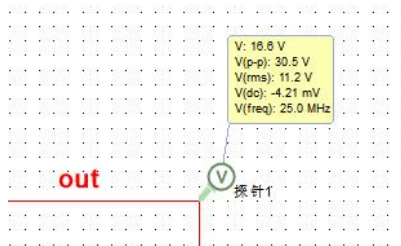


图 4-2-3a 探针测量频率

使用傅里叶分析，设置基本频率为 5MHz，添加输出电压为仿真输出，进行仿真，获得电压波形的频谱分析

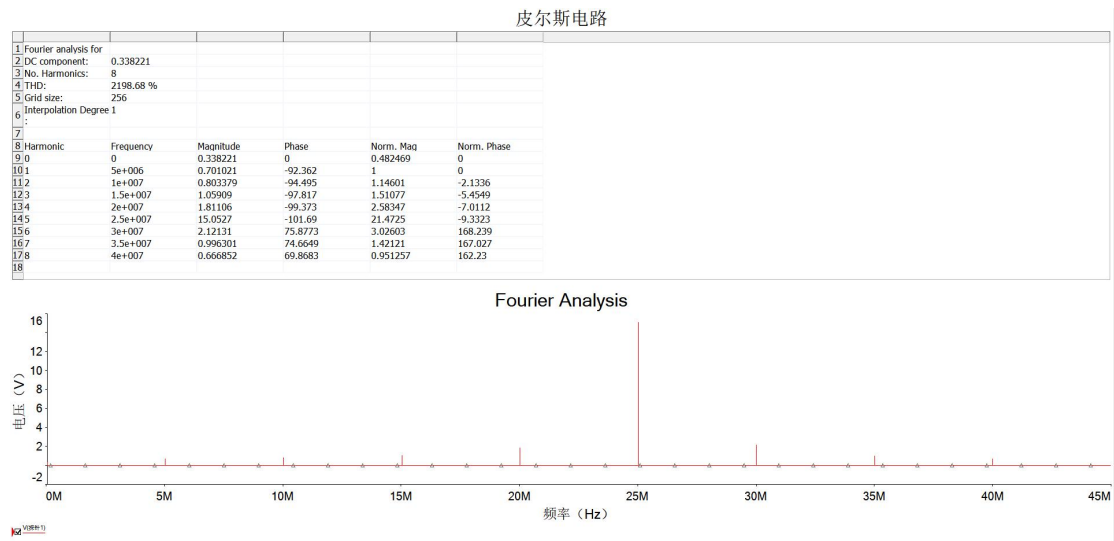


图 4-2-3 并联型晶体振荡器频域分析

可以看到 25MHz 处谱线最高，其他谐波谱线较低，符合测量结果。

## 五、小结

通过本次实验使我进一步熟悉 Multisim 电路仿真软件，对电容三端振荡器电路和晶体振荡器电路的结构特点及工作原理也有了更加深刻的认识，对高频振荡器的起振过程与振荡波形也有了更加清晰的认知。

在这次实验中，我一开始我纠结于选并联还是串联的电路，于是我便将电容三端的串联改进和并联改进以及晶体的串联型和并联型都进行了调试和分析，最终选择了电路比较简单的并联型写入报告，所有本次实验对我来说收获还是挺丰富的，对于数据方面，我则是多方面参考课本，习题，MOOC 等，才得到了相对合适的数据进行仿真分析。经过这次实验，我对理论和实际两方面的原理和电路都有了很深的进步和学习。