

基于OrCAD / PSpice的振荡器电路仿真

朱鸿斌

中国海洋大学信息科学与工程学院10级电科
青岛市崂山区松岭路238号

Abstract摘要

通过对电容三点式振荡器和石英晶体振荡器的计算分析和在OrCAD / PSpice电路仿真, 从中比较分析出理论计算和电路仿真之间的误差, 对这种误差进行了一定的分析。同时也对振荡电路的电路特性进行了分析。

Keywords 关键词

OrCAD / PSpice; 电容三点式振荡器; 石英晶体振荡器。

Future Distribution Permission 未来授权允许

本报告的作者将这个文件的使用权限授权给未来中国海洋大学选修这门课程的学生。

1. Introduction引言

PSpice软件具有强大的电路图绘制功能、电路模拟仿真功能、图形后处理功能和元器件符号制作功能, 以图形方式输入, 自动进行电路检查, 生成图表, 模拟和计算电路。它的用途非常广泛, 不仅可以用于电路分析和优化设计, 还可用于电子线路、电路和信号与系统等课程的计算机辅助教学。与印制版设计软件配合使用, 还可实现电子设计自动化。被公认是通用电路模拟程序中最优秀的软件, 具有广阔的应用前景。

2. Methods 方法

2.1. 电容三点式振荡器

图1所示为电容反馈三点电路, 也叫考毕兹振荡电路。图中 L , C_3 和 C_4 组成振荡器回路, 作为晶体管放大管的负载阻抗, 反馈信号从 C_4 两端取得, 送回放大器输入端, 反馈系数 $F=C_3/C_4$ 。为保证相位平

衡条件, 振荡器的振荡频率 f_0 基本上等于回路的谐振频率 (单位: MHz), 即:

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 11.63 \quad (1)$$

$$\text{式中 } C = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4} = 18.75 pF。$$

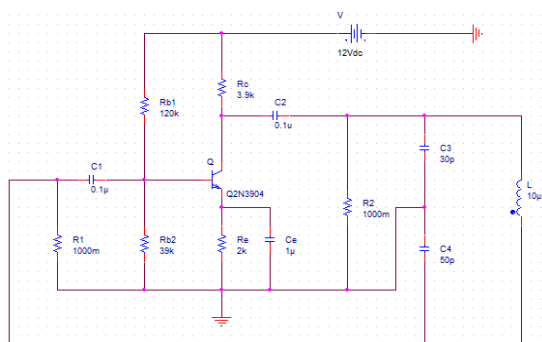


图1 电容三点式振荡器

振荡器闭合电源后, 各种电的扰动, 如晶体管电流的突然增长、电路的热噪声, 是振荡器起振的初始激励。突变的电流包含着许多谐波成分, 扰动噪声也包含各种频率分量, 它们通过 LC 谐振回路, 在它两端产生电压, 由于谐振回路的选频作用, 只有接近于 LC 回路的谐振频率的电压分量才能被选出来, 但是电压的幅度很微小, 不过由于电路中正反馈的存在, 经过反馈和放大的循环过程, 幅度逐渐增大, 这就建立了振荡。

2.2. 石英晶体振荡器

石英晶体振荡器是利用石英晶体压电效应制成的一种谐振器件, 图2 (a) 是其等效电路, 图2 (b) 是其符号。图2 (a) 中 L_q 为动态电感, C_q 为动态电容, r_q 为动态电阻, 此外还有切片和金属极板构成的静电电容 C_0 (即使石英晶片不振动, C_0 仍存在)。

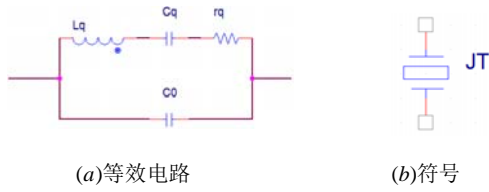


图2 石英晶体谐振器的等效电路和符号

在等效电路中， L_q ， C_q 组成并联谐振回路，串联谐振频率 f_s 为

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}} \quad (2)$$

如果将 C_0 也考虑进去，则 L_q ， C_q 与 C_0 组成并联谐振回路，并联谐振频率 f_p 为

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q \frac{C_0 C_q}{C_0 + C_q}}} = f_s \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_0}} \quad (3)$$

由以上分析可得：石英晶体工作在略高于呈感性的频段内，用来作为三点式电路中的回路电感，构成并联晶体振荡器；工作在 f_s 上，等效为串联谐振电路，构成串联晶体振荡器。将图1中的 L 中用石英晶体代替，设计并联型石英晶体振荡器如图3所示。

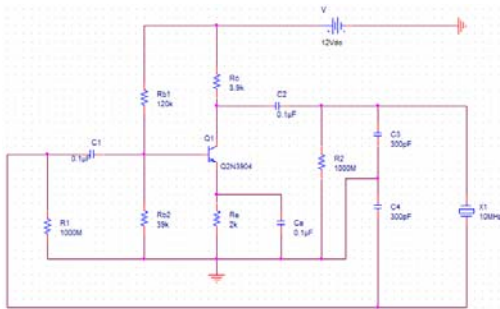


图3 并联型石英晶体谐振器

振荡器的选频网络由石英晶体、 C_3 和 C_4 组成。振荡频率可以表示为

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q \frac{C_q (C_0 + C')}{C_q + C_0 + C'}}} \quad (4)$$

式中 $C' = \frac{C_3 C_4}{C_3 + C_4}$ 。由式 (4) 可知， f_0 处于 f_p

和 f_s 之间，晶体阻抗成感性，实际上 $C_q \ll C_0 + C'$ ，回路中起决定作用的是 C_q ，故谐振频率近似为：

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}} \quad (5)$$

2.3. 改进型石英晶体振荡器

为增加石英晶体振荡电路的实用性，外接一可调小电容 C_s 作为微调电容，用于校正振荡频率， C_s 应比 C_q 大。接入 C_s 得到新的串联谐振频率：

$$f_s' = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_q C_q}} \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_0 + C_s}} = f_s \sqrt{1 + \frac{C_q}{C_0 + C_s}} \quad (6)$$

因为 $C_q \ll C_0 + C_s$ ，可近似得到：

$$f_s' = f_s \left[1 + \frac{C_q}{2(C_0 + C_s)} \right] \quad (7)$$

串入 C_s 后并不影响并联谐振电路，当 $C_s \rightarrow 0$ 时， $f_s' = f_p$ ；当 $C_s \rightarrow \infty$ 时， $f_s' = f_s$ ；实际使用中用 C_s 作为微调电容，可使 f_s' 在 f_s 和 f_p 之间的小范围内调整。在仿真调试中发现 $C_s = 8pF$ 时可输出良好的波形，电路如图4所示。

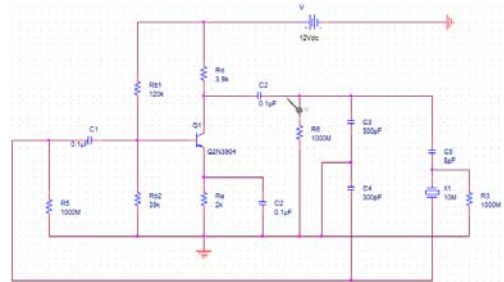


图4 改进后的石英晶体谐振器

3. Results and Discussion 结果与讨论

3.1. 电容三点式振荡器

在OrCAD CIS中绘制原理图时，各元件参数如图1所示，对该电路进行时域分析，在Time Domain

(Transient)选择仿真时间为 $5\mu s$,设置Maximum step为 $10ns$,进行仿真,在SCHEMATIC中可以看到输出的波形,如图5所示,起振时间约为 $1\mu s$ 。

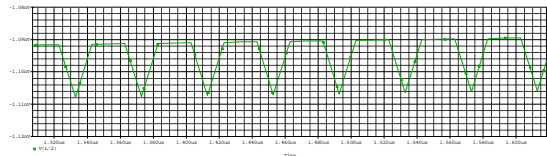


图5 电容三点式振荡波形

由图可得, $T = 1.3728 - 1.3328 = 0.0400\mu s$, $f_0 = 1/T = 25MHz$ 。同理论计算值相比误差较大,引起频率不稳定的因素主要有 LC 回路参数的不稳定,晶体管参数的不稳定等。

3.2. 石英晶体振荡器

振荡器的振荡频率基本上由晶体的固有振荡频率决定,振荡频率稳定度很高。在OrCAD / PSpice中对电路进行瞬态分析,在SCHEMATIC中可清晰地看到晶体振荡发生电路的稳幅波形,如图6所示。

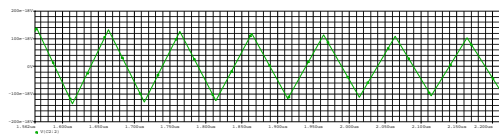


图6 晶体振荡器的稳幅波形

由上图分析可得:

振荡波形稳定, $T=0.100\mu s$, $f_0 = 1/T = 10MHz$,和理论值一致。

3.3改进型石英晶体振荡器

在OrCAD / PSpice中对图4进行仿真得到如下波形:

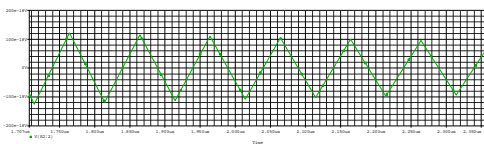


图7 改进后的稳幅波形

由上图分析可得:

振荡波形稳定, $T=0.100\mu s$, $f_0 = 1/T = 10MHz$,和理论值一致。

4. Conclusion 结论

本文通过2R&S' / 360E~仿真分析,以图像可视化方式显示了电路起振过程及输出波形,并通过仿真验

证,电路输出波形好,谐波分量小。基于360E~电路仿真设计快捷、直观,避免了传统设计方法为确定元件参数进行的复杂运算。

5. Acquisition and Experience 收获与体会

5.1高起点

一开始选择课程项目题目的时候选择的题目的参考文献最好能够来自比较正规,规范的期刊出处。有时候起点决定了你的高度。还有关于仿真软件的选择最好选择比较有“生命力”的那些。

5.2学会团队合作

一个人做项目好处是自己永远知道自己的想法,不会被误解,但有时候当你遇到困难时会花费更多的时间去解决甚至解决不了从而导致放弃。比如我这篇论文中的振荡波形由于参数的设置问题其实还是存在问题的,我最终没有解决它。其一是由于参考文献的选择问题,其二是自己没有花费更多的时间去解决。如果有个团队我想结果肯定不会止这样。

5.3网络化生存

在项目过程中,会遇到多种问题,此时的第一选择更多的应该是网络而不是课本,课本中的知识是有限的。我觉得对于电子系的学生而言,捧着本书上课,自习这种传统的方式可能并不是最好的,我们更多的需要的是在网上学习,和电脑接触,当然这样子无论主客观难度都比较大,现状很难去改变。

6. Acknowledgement 致谢

感谢郑海永老师对我的课程项目提出的建议以及他本学期对我们的指导,我从中收获了很多。感谢鲁国同学在课程项目过程中所提供的帮助。感谢piazza平台上提问和回答的各位同学,你们的问题和回答让我有了更多地思考。

Reference 参考文献

- 1.华成英,童诗白.模拟电子技术基础【M】(第四版).高等教育出版社,2006.
- 2.于洪珍.通信电子电路【M】.清华大学出版社,2005.
- 3.邓志鹏,陈向东.基于OrCAD / PSpice的晶体振荡电路设计仿真【A】.现代电子技术,2012,35(14):166-168.