

学子专区——2018年8月 ADALM1000 SMU培训 主题8:并联LC谐振

作者: Doug Mercer和Antoniu Miclaus

共享 🥰 😚 🗯 in

在《模拟对话》2017年12月文章中介绍SMUADALM1000之后,我们 希望进行一些小的基本测量,这是ADALM1000系列的第八部分。如 需参阅之前的ADALM1000文章,请点击此处。



图1. ADALM1000原理图

目标:

本次活动的目的是考察并联LC谐振电路的振荡。此外还会考察实际电感的自谐振。

背景知识

谐振电路也称为调谐电路,由电感、电容以及电压或电流源组 成。它是电子产品中最重要的电路之一。例如,许多形式的谐 振电路可以随时从周围大量的信号中调谐到所需的无线电台或 电视台。

当网络输入端的电压和电流同相并且网络的输入阻抗为纯阻性 时,网络处于谐振状态。



图2.并联谐振电路

考虑图2所示的并联RLC电路。这个电路提供的稳态导纳为:

$$Y = \frac{1}{R} + j\left(\omega C - \frac{1}{(\omega L)}\right) \tag{1}$$

当输入端的电压和电流同相时,产生谐振。这相当于一个纯实导纳,必要条件由下式给出:

$$\omega C - \frac{1}{\omega} L = 0 \tag{2}$$

谐振条件可通过调节L、C或 ω 来实现。保持L和C恒定,谐振频率 ω_0 由下式给出:

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} (rad/s) \tag{3}$$

或

$$f_o = \frac{1}{(2 \pi \sqrt{LC})} \quad (Hz) \tag{4}$$

材料

- ▶ ADALM1000 硬件模块
- 无焊试验板和跳线
- ▶ 一个 4.7 mH 电感 (或更大)
- ▶ 一个 10 µF 电容
- 一个1 kΩ 电阻
- ▶ 一个小信号二极管 (1N914)

指导

首先稍微偏离一下主题,使用二极管作为开关进行考察。

在无焊试验板上设置图3所示的电路。配置AWG CH-A以输出频率为 100 Hz, Min (最小值)为0.5 V、Max (最大值)为4.5V (Vp-p = 4 V) 的正弦波。设置水平时间刻度以查看通道A上正弦波的两个完整周 期,使信号看起来尽可能大,但又不会跑到屏幕外边。将ChannelB (通道B)配置为Hi-Z Mode(高阻态模式),并将它连接到R₁连 接D₁的地方。



图3. 二极管测试电路



图4. 二极管测试电路试验板连接

手绘电路图,仔细标记从ALM1000到CH-A、2.5V和CH-B的连接,并 将其包括在实验报告中。在Curves(曲线)下拉菜单中,选择显 示CA-V、CA-I和CB-V迹线。在示波器屏幕的右侧,CA-V和CB-V失 调电压调整输入2.5。这是因为在本实验中,所有测量都是以2.5 V共模轨为基准。另外,CH-A和CH-B垂直位置设置(示波器屏幕 底部)输入0。现在,垂直刻度应该以0为中心,从-2.5到+2.5。

Adjust Gain/Offset			t
CA-V	1.0	2.5	Set CA-V and CB-V Offset to 2.5
CB-V	1.0	2.5	
CA-I	1.0	0.0	
CB-I	1.0	0.0	

单击Run(运行)。我不会在每一步都给出这样的指示。假设在 实验的各个步骤中,你知道需要启动和停止扫描。

使用Math(数学)下拉菜单并添加一条显示CH-A和CH-B之差的 迹线。对于本实验,应确保所显示的全部三个信号的垂直刻度 相同。

观察正弦波通过二极管时发生的情况,电流由通道A提供。用一句话描述波形。保存显示画面并将其复制粘贴到实验报告中。标记输入电压(由AWG源产生)、信号源提供的输入电流以及(电阻两端的)输出电压。还应显示各信号在关键点的幅度(不要假设读者可以从图上的刻度轻松看出幅度)。

1. 根据这一观察, 二极管的功能是什么?

将AWGA形状切换为square wave output (方波输出),并确保示波器显示信号的若干周期。保存此波形并将其包括在报告中。同样要对曲线予以详细注释。

用二极管、电感和电容重新配置试验板电路,如图5所示。前面提到 过,将通道A连接到二极管,将通道B连接在电容和电感上。



图5. LC谐振器测试电路





2. 计算电路振荡的频率。

现在使用示波器测量电路实际振荡的频率。当应用100 Hz方波时,LC电路将在方波下降沿之后立即振荡。更改水平位置或迟缓时间以将振荡置于网格左侧(这样就可以看到尽可能多的振荡)。

更改Horizontal Time/Div (水平时间/格),以便轻松观察并测量振荡 周期。扫描停止后 (红色停止按钮),左键单击显示网格将向显示画 面添加标记点。最后两个标记的电压和时间变化量也会显示。利用 振荡的相邻波峰或波谷之间的时间变化量来获得周期。保存显示画 面并将其包括在报告中 (予以详细注释)。

3. 从周期确定电路振荡的频率。

该频率应近似等于计算得到的频率。如果不是,请检查电路中的 元件值和计算。如果测得的频率略小于或略大于由公式得出的频 率,请在报告中注明。 你是否明白为什么使用二极管? 二极管仅让某个方向的电流通过。 在高于2.5 V电压轨的方波半周期, 二极管导通并给LC谐振器供电。 在低于2.5 V电压轨的方波半周期, 二极管不导通, 因此LC谐振器事 实上与AWG源隔离, 可以自由振荡。

4. 波形的幅度是恒定的, 还是增大或衰减?

用文字描述波形,并讨论它与朴素理论的不同之处。检查电感的 规格表,看看你是否能找到导致其增大或衰减的特性(此时通篇 阅读会对你有帮助)。

现在调整方波,使其Min值为0.5 V, Max值为3.5 V (Vp-p=3 V)。

重复刚刚进行的测量,再次保存数据图形并加上注释。探索方波Min 值和Max值的其他组合。

5. 测得的电压有何不同? 与之前的图形相比。

储能

并联电容/电感两端的电压应为逐渐衰减的正弦波(也称为阻尼正 弦波)。电感的实际模型包含一个串联电阻。当电流流过该电阻 时,谐振器中的一些能量转换成热量。这种能量损失导致振荡幅 度随时间衰减。

除了谐振器电压,我们还想测量电容和电感电流。首先,为了获得电容中的电流,我们可以使用以下公式:

$$I_{\rm C} = C \ \frac{dv}{dT} \tag{5}$$

为了计算电容电压的离散时间导数,我们可以将两个连续时间 样本相减并除以样本之间的时间变化。样本之间的时间就是1/采 样速率。对于ALM1000,采样速率为100 kSPS或每样本10 μs。C1 的值为10 μF,除以10 μs时恰好相消。该公式给出的电流单位为 A (安培)。要以mA为单位绘图,只需乘以1000即可。将Math轴 设置为I-A, Math公式输入以下内容:

 $(V_{BUFF}B[t] - V_{BUFF}B[t-1]) \times 1000$

观察图5中的原理图,我们再次注意到,当二极管关闭且谐振器振 荡时,电容中的电流唯一可去的地方是电感。因此:

$$I_L = I_C \tag{6}$$

根据电感电流波形和电容电压波形,我们可以计算出各元件的 瞬时能量。使用Math公式功能,将这两个能量波形绘制为时间 的函数。

第一个是电感中的能量。对于电感,单位是焦耳/平方安培。故能 量(单位为焦耳)为:

$$E_L = \frac{1}{2} L I^2 \tag{7}$$

4.7 mH电感值的一半为0.00235 H。40 mA电流流过4.7 mH电感时, 其储存0.00000376焦耳或3.76μJ(微焦耳)的能量。这是一个非常 小的数字,所以我们把它放大10⁶倍。要绘制电感中的能量图(以 微焦耳为单位), **Math**公式输入以下内容:

$$E_{t} = 2350 \times (V_{BUFF}[t] - V_{BUFF}B[t-1])^{2}$$

第二个是电容中的能量。对于电容,单位是平方库仑/焦耳。电 容储存的库仑数等于电容乘以电压。故能量(单位为焦耳)为:

$$E_C = \frac{1}{2} CV^2 \tag{8}$$

10μF电感值的一半为0.000005F。充电至1V的10μF电容具有0.000005 焦耳或5μJ(微焦耳)的能量。这是一个非常小的数字,所以我们 把它放大10⁶倍。要绘制电容中的能量图(以微焦耳为单位), Math公式输入以下内容:

$$5 \times (V_{BUFF}B[t])^2$$

在报告中保存这些图形并予以详细注释。

讨论这两个能量值,它们如何随时间变化,以及它们之间的关 系。例如,什么时候能量大部分或完全包含在电感中?什么时 候能量大部分或完全包含在电容中?随着时间变化,从一个周 期到另一个周期,你观察到什么趋势?尽可能加以量化,但主 要是针对整体情况。

断开电感与固定2.5 V电源轨的连接,将其连接到AWG通道B的输出,可以直接测量电感中的电流,如图7所示。将AWG CH-B设置为SVMI Mode (SVMI模式),Shape (形状)设置为直流,Max值设置为2.5 V。从Curves菜单中选择CB-I trace (CB-I迹线)。

将你获得的迹线与计算出的电容电流(同理还有电感电流)进行 比较。注意有何差异并解释原因。

如何使用这种测量技术来直接测量电容中的电流?



图7.直接测量电感电流



图8. 直接测量电感电流试验板连接

自谐振

所有实际电感都有内置电容,称为寄生电容。电感就好像是有一 个与之并联的电容。有时称其为绕组电容。

从试验板上取下电容,测量电感振荡的频率。根据需要调整水平时间刻度,以便清楚地看到振荡。测量电感自谐振的高频率时,你可能要开启Waveform Smoothing(波形平滑,在选项菜单下)功能。

自谐振示例

图8是4.7 mH电感的自谐振波形的代表性示例。





问题:

- 1. 计算寄生电容值。
- ▶ 2. 电感也有内部串联电阻, 建模时不应忽略。你测量的 LC 电路振荡信号的哪个方面是由电阻引起的?

附录:



图10. 步骤5截图, Time/Div设置为0.5 ms

你可以在学子专区博客上找到问题答案。

注释

与所有ALM实验室一样,当涉及与ALM1000连接器的连接和配置 硬件时,我们使用以下术语。绿色阴影矩形表示与ADALM1000模 拟I/0连接器的连接。模拟I/0通道引脚被称为CA和CB。当配置为 驱动电压/测量电流时,添加-V,例如CA-V;当配置为驱动电流/测 量电压时,添加-I,例如CA-I。当通道配置为高阻态模式以仅测量 电压时,添加-H,例如CA-H。

示波器迹线同样按照通道和电压 / 电流来指称, 例如: CA-V 和 CB-V 指电压波形, CA-I 和 CB-I 指电流波形。

对于本文示例,我们使用的是 ALICE 1.1 版软件。

文件: alice-desktop-1.1-setup.zip。请点击此处下载。

ALICE 桌面软件提供如下功能:

- ▶ 双通道示波器,用于时域显示和电压/电流波形分析。
- ▶ 双通道任意波形发生器 (AWG) 控制。
- ▶ X和Y显示,用于绘制捕捉的电压/电流与电压/电流数据,以 及电压波形直方图。
- ▶ 双通道频谱分析仪,用于频域显示和电压波形分析。
- ▶ 波特图绘图仪和内置扫描发生器的网络分析仪。
- ▶ 阻抗分析仪,用于分析复杂 RLC 网络,以及用作 RLC 仪和矢量 电压表。
- 一个直流欧姆表相对于已知外部电阻或已知内部 50 Ω 电阻测 量未知电阻。
- ▶ 使用 ADALP2000 模拟器件套件中的 AD584 精密 2.5 V 基准电 压源进行电路板自校准。
- ▶ ALICE M1K 电压表。
- ▶ ALICE M1K 表源。
- ALICE M1K 桌面工具。

欲了解更多信息,请点击此处。

注: 需要将 ADALM1000 连接到你的 PC 才能使用该软件。



Channels A, B Voltage/Current Range and Position Controls

图11. ALICE桌面1.1菜单

Doug Mercer [doug.mercer@analog.com]于1977年获得伦斯勒理工学院(RPI)电 气工程学士学位。自1977年加入ADI公司以来,他直接或间接贡献了30多款数 据转换器产品,并拥有13项专利。他于1995年被任命为ADI研究员。2009年, 他从全职工作转型,并继续以名誉研究员身份担任ADI顾问,为"主动学习计 划"撰稿。2016年,他被任命为RPI ECSE系的驻校工程师。



他目前是贝碧思鲍耶大学软件工程硕士项目的理学硕士生,拥有克卢日-纳波 卡科技大学电子与电信工程学士学位。 Doug Mercer

该作者的其它文章: ADALM1000 SMU培训 主题7: RLC电路中的谐振

学子专区——2018年7月

Antoniu Miclaus

该作者的其它文章: ADALM1000 SMU培训 主题7: RLC电路中的谐振 学子专区——2018年7月