

学子专区——2018年6月 ADALM1000 SMU培训 主题6:什么是相位,我们为何要关心相位?

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系列的第六部分。如 需参阅第一篇ADALM1000文章,请点击此处。



图1. ADALM1000原理图

目标:

本实验活动的目标是了解何谓信号之间的相位关系,以及理论在何种程度上与实践吻合。

背景:

我们将通过正弦波研究相位的概念,并利用无源器件来观察实际 信号的相移。首先,我们将看看正弦波和参数中的相位项。大家 应该熟悉以下等式:

$$f(t) = \sin(\omega t + \theta) \tag{1}$$

随着t前进,ω设定正弦波的频率,而θ定义一个时间偏移,其决 定该函数中的相移。

该正弦函数的值域是+1到-1。首先设定t等于一个常数,假设为1。参数 ω t现在不再是时间的函数。 ω 以弧度表示,sin(π /4)约为0.7071。2 π 弧度等于360°,所以 π /4弧度对应于45°。以度为单位,sin45°也是0.7071。

现在让t像平时那样随时间变化。当ωt的值随时间而线性变化时, 它将产生一个正弦波函数,如图1所示。当ωt从0变到2π时,正弦 波从0上升到1,再下降到-1,最后回到0。这是正弦波的一个周期 T。x轴是时变参数/角度ωt,其从0变化到2π。

在图2所示的函数中, θ 值为0。由于sine(0) = 0,所以曲线从0开始。这是一个简单的正弦波,没有时间偏移,这意味着没有相位偏移。请注意,如果我们使用度数, ω t将从0变化到2 π 或从0变化到360°,产生图2所示的正弦波。



图2. Sine(t)的两个周期

如果我们在图2中用相同的值ω绘制第二个正弦波函数,θ也是0, 结果会如何?第二个正弦波将落在第一个正弦波之上。由于θ 为0,两个正弦波之间没有相位差,二者在时间上看起来相同。

现在将第二个波形的θ变为π/2(弧度)或90°。我们看到原始正 弦波和在时间上左移的正弦波。图3显示了原始正弦波(绿色) 和时间发生偏移的第二个正弦波(橙色)。偏移量是一个常数, 因此我们看到原始正弦波在时间上偏移了θ值,在本例中它是波 周期的1/4。



图3. 绿色: Sine(t); 橙色: Sine(t + π/4)

模拟对话52-06, 2018年6月

θ是式1的时间偏移或相位部分。相位角定义时间偏移量,反之亦 然。式2表达了该关系。我们碰巧选择了90°这一特别常见的偏移 量。正弦波和余弦波之间的相位偏移就是90°。

当显示了两个正弦波时(例如在示波器上),相位角可通过测量 两个波形之间的时间来计算(负到正过零或上升沿可用作波形中 的时间测量基准点)。正弦波的一个完整周期时间与360°相同。 根据两个波形之间的时间差dt和一个完整正弦波的一个周期时间 T的比值,可以确定它们之间的角度。式2显示了该精确关系。

相位:

$$\theta = \frac{dt}{T} 360^\circ = \frac{dt}{T} 2 \pi (rads) = dt f 2 \pi (rads)$$
(2)

其中T为正弦波周期。

正弦波中自然发生的时间偏移

一些无源元件会让其上的电压与流过其中的电流之间产生时间偏移。电阻两端的电压与流过其中的电流具有简单的与时间无关的关系,VI = R,其中R为实数,单位为 Ω 。因此,电阻两端的电压与流过其中的电流始终同相。

对于电容和电感,V与I的关系式类似。V/I = Z,其中Z为阻抗,具 有实部和虚部。本练习仅研究电容。

电容的基本规则是电容两端的电压不会改变,除非有电流流入电容。电压的变化率(dv/dt)取决于电流的幅度。对于理想电容,电流 i(t)与电压的关系式如下:

$$i(t) = C \, \frac{dv(t)}{dt} \tag{3}$$

电容的阻抗是频率的函数。阻抗随频率提高而降低,反过来说, 频率越低,阻抗越高。

$$Zc = \frac{1}{(j \ \omega C)} \tag{4}$$

ω被定义为角速度:

$$\omega = 2 \pi f \tag{5}$$

式4的一个微妙部分是虚算子j。例如,电阻的阻抗公式中没有虚 算子。流过电阻的正弦电流和电阻两端的电压之间没有时间偏 移,因为它们之间的关系完全是实数关系。唯一区别是幅度。电 压为正弦波,与电流正弦波同相。

电容则不是这样。当我们查看电容两端的正弦电压波形时,它与 通过电容的电流相比有时间偏移。虚算子j负责这一点。参见图 4,我们可以看到,当电压波形的斜率(时间变化率dv/dt)最高 时,电流波形处于峰值(最大值)。 时间差可以表示为两个波形之间的相位角,如式2所定义。



图4. 确定电压和电流之间的相位角

请注意,电容的阻抗是纯虚数。电阻具有实阻抗,因此同时包含 电阻和电容的电路将具有复阻抗。

要计算RC电路中电压和电流之间的理论相位角:

$$i(t) = \frac{V(t)}{Z_{circuit}}$$
(6)

其中,Z_{circuit}为电路总阻抗

整理该式,使其看起来具有如下形式:

$$Z_{circuit} = A + j B \tag{7}$$

其中, A和B为实数。

因此, 电流与电压的相位关系即为:

$$\theta = tan^{-1} \left(\frac{B}{A}\right) \tag{8}$$

材料:

- ▶ ADALM1000 硬件模块
- ▶ 两个 470 Ω 电阻

▶ 一个1µF 电容

步骤:

1. 利用ALICE桌面工具设置快速测量:

- ▶ 确保将 ALM1000 插入 USB 端口并启动 ALICE 桌面应用程序。
- 主屏幕看起来应该像一个示波器显示屏,具有可调范围、位置 和测量参数。
- ▶ 检查屏幕底部,确保 CA V/Div 和 CB V/Div 均设置为 0.5。
- ▶ 检查 CA V Pos 和 CB V Pos 是否设置为 2.5。
- ▶ CAImA/Div 应设置为 2.0, CAIPos 应设置为 5.0。
- 在 AWG 控制窗口中,将 CHA 和 CHB 的 Frequency (频率) 设置 为 1000 Hz,相位为 90°,最小值为 0 V,最大值为 5 V (5.000 V 峰峰值输出)。选择 SVMI 模式和正弦波形。



- ▶ 在 Meas (测量) 下拉菜单中, 为 CA-V、 CA-I 和 CB-V 选择 P-P。
- ▶ 将 Time/Div 设置为 0.5 ms, 并在 Curves (曲线) 下拉菜单中选择 CA-V、CA-I和 CB-V。
- 在无焊试验板上,将 CHA 输出连接到 470Ω 电阻的一端。
- ▶ 将该电阻的另一端连接到 GND。
- ▶ 点击示波器 Start (开始) 按钮。

如果电路板已经正确校准,则应看到一个正弦波在另一个的上 方,CHA和CHB均等于5.00 V p-p。如果校准不正确,则可能看到 两个正弦波同相,CHA的幅度与CHB的幅度不同。如果电压差很 显著,应重新校准。

2. 测量两个已生成波形之间的相位角:

- 确保 CA V/Div 和 CB V/Div 仍设置为 0.5, 并且 CA V Pos 和 CB V Pos 设置为 2.5。
- ▶ CAImA/Div 应设置为 2.0, CAIPos 应设置为 5.0。
- 将 CHA 和 CHB 的 Frequency (频率) 设置为 1000 Hz, 相位为 90°, 最小值为 0 V, 最大值为 5 V (5.0 V 峰峰值输出)。选择 SVMI 模式和正弦波形。
- 在 AWG 控制窗口中,将 CHB 的相位 θ 改为 135° (90 + 45)。

CHB信号看起来应该像是超前于CHA信号。CHB信号从下方穿过2.5 V轴到CHA信号之上。结果为正θ,称之为相位超前。从低到高的穿 越时间基准点是任意的。也可以使用从高到低的穿越。

▶ 将 CHB 的相位偏移更改为 45°(90 - 45)。

现在看起来应该像是CHB信号滞后于CHA信号。

- ▶ 将 CA 的 Meas (测量) 显示屏设置为 Frequency (频率) 和 A-B Phase (A-B 相位)。将 CB 显示屏设置为 B-A Delay (B-A 延迟)。
- 将 Time/Div 设置为 0.2 ms。
- ▶ 按红色 **Stop** (停止) 按钮暂停程序。使用鼠标左键可以在显示 屏上添加标记点。

利用标记测量CHA和CHB信号过零点之间的时间差(dt)。

使用测得的 dt 和式 2 计算相位偏移 θ(°)。

请注意,无法测量屏幕上未显示至少一个完整周期的信号的频 率。通常需要两个以上的周期来获得一致的结果。你正在产生 频率,所以你已经知道频率是多少。你无需在本部分实验中测 量频率。

3. 使用实际的轨到轨电路测量幅度。



图5. 轨到轨电路

▶ 使用两个 470Ω 电阻在无焊试验板上构建图 5 所示的电路。



图6. 轨到轨试验板连接

- 在 AWG 控制窗口中,将 CHA 的 Frequency (频率) 设置为 200 Hz,相位为 90°,最小值为 0 V,最大值为 5 V(5.0 V 峰峰值输出)。 选择 SVMI 模式和正弦波形。
- ▶ 为 CHB 选择 Hi-Z 模式。CHB 的其余设置无关紧要,因为它现在 用作输入。
- ▶ 如彩色测试点所示,用导线将 CHA 输出连接到 CHB 输入和 GND。
- 将 Horizontal Time Scale (水平时间刻度) 设置为 1.0 ms/div, 以 显示波形的两个周期。
- ▶ 如果示波器尚未运行,请单击其 Start (开始) 按钮。

CHA中显示的电压波形是两个电阻上的电压(V_{R1} + V_{R2})。CHB中显示 的电压波形是仅R2上的电压(V_{R2})。要显示R1上的电压,我们使用 Math波形显示选项。在Math下拉菜单中,选择CAV-CBV方程。现 在应该可以看到第三个波形,它就是R1上的电压(V_{R1})。要查看两 条迹线,你可以调整通道的垂直位置以将它们分开。确保将垂直 位置设置回原值以重新对齐信号。

记录 V_{R1}、V_{R2} 和 V_{R1} + V_{R2} 的峰峰值。

你能看到V_{R1}和V_{R2}的过零点之间有什么区别吗?你能看到两个不同的正弦波吗?大概不会。应该没有可观察到的时间偏移,因此没有相移。

4. 测量实际RC电路的幅度和相位。

▶ 用 1µF 电容 C1 替换 R2。



图7. RC电路



图8. RC试验板连接

- 在 AWG 控制窗口中,将 CHA 的 Frequency (频率)设置为 500 Hz,相位为 90°,最小值为 0 V,最大值为 5 V(5.0 V 峰峰值输出)。
 选择 SVMI 模式和 Sin 波形。
- ▶ 为 CHB 选择 **Hi-Z** 模式。
- ▶ 将 Horizontal Time Scale (水平时间刻度) 设置为 0.5 ms/div, 以 显示波形的两个周期。

电容中没有电流直接通过,所以我们必须以不同方式处理波形 的平均(dc)值。

▶ 主屏幕右侧有一些地方可输入通道A和通道B的直流偏移。 按照图9所示设置偏移值。

Adjust Gain / Offset		
CA-V	1.0	2.5
CB-V	1.0	2.5
CA-I	1.0	0.0
CB-I	1.0	0.0

图9. "调整增益/偏移" 菜单

- ▶ 现在已经移除了输入的偏移量,我们需要改变波形的垂直位置 以使其重新定位在网格的中心将 CA V Pos 和 CB V Pos 设置为 0.0。
- ▶ 如果示波器尚未运行,请单击其 Start (开始) 按钮。
- ▶ 测量 CA-V、CA-I、CB-V 和 Math (CAV CBV) 峰峰值。

Math波形是什么信号?

▶ 记录 V_{R1}、V_{C1}、I_{R1}和 V_{R1} + V_{C1}。

现在对相位做一些处理。希望你会看到几个有时间偏移或相位差的正弦波显示在网格上。我们测量时间偏移量并计算相位差。

- ▶ 测量 V_{R1}、I_{R1} 和 V_{C1} 之间的时间差并计算相位偏移。
- 利用式 2 和测得的 dt 计算相位角 θ。

标记对确定dt很有用。做法如下。

- ▶ 显示正弦波的至少2个周期。
- 将 Horizontal Time/Div (水平时间 / 格) 设置为 0.5µs。在网格上 放置标记之前,务必点击红色 Stop (停止) 按钮。

请注意, Marker Delta (标记增量)显示屏会记录差值的符号。

你可以使用测量显示屏查看频率。你已设置信号源的频率,所以 不需要依赖测量窗口来获得此值。

如果你看不到屏幕上正弦波的一个或两个周期有任何差异,则假 设 dt 为 0。

> 将第一个标记置于 CA-V (V_{R1} + V_{C1}) 信号的负到正过零位置。将 第二个标记置于 Math (V_{R1}) 信号的最近负到正过零位置。记录 时间差 (dt) 并计算相位角 (θ)。请注意, dt 可能是负数。这是否 意味着相位角超前或滞后?

要删除标记以进行下一次测量,请单击红色Stop(停止)按钮。

- 将第一个标记置于 CA-V (V_{R1} + V_{C1}) 信号的负到正过零位置。将 第二个标记置于 CB-V (V_{C1}) 信号的最近负到正过零位置。记录 时间差 (dt) 并计算相位角 (θ)。
- 将第一个标记置于 Math (V_{R1}) 信号的负到正过零位置。将第二 个标记置于 CB-V (V_{C1}) 信号的最近负到正过零位置。记录时间 差 (dt) 并计算相位角 (θ)。

Math (V_{Rt})信号和显示的CA-I电流波形之间是否存在可测量的时间差 (相移)?由于这是一个串联电路,因此AWG通道A产生的电流等 于R1和C1中的电流。

问题:

- 使用式 5 和式 6, 用适当的值替换变量 A 和 B, 确定 RC 电路的 阻抗 (Z_{circut}) 和电流相对于电压的相位 (θ) 关系。
- 对于图 7 中的 RC 电路, 测量时间差并计算 1000 Hz 频率下的 相位 θ 偏移。

你可以在学子专区博客上找到问题答案。

附录:



图10. 步骤5, Time/Div设置为0.5 ms。

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/O连接器的连接。模拟I/O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-desk-top-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。



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。

Antoniu Miclaus [antoniu.miclaus@analog.com]是ADI公司的系统应用工程师, 从事ADI学术项目、Circuits from the Lab[®]嵌入式软件和QA过程管理工作。他 于2017年2月在罗马尼亚克卢日-纳波卡开始在ADI公司工作。

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5: RL电路的瞬态响应 学子专区——2018年5月

Antoniu Miclaus

该作者的其它文章: ADALM1000 SMU培训主 题5: RL电路的瞬态响应 学子专区——2018年5月

