

学子专区—2019年4月 ADALM1000 SMU培训 主题16：测量扬声器阻抗曲线

作者：Doug Mercer和Antoniu Miclaus

目标：

本实验活动的目的是测量永磁扬声器的阻抗曲线和谐振频率。

背景：

动态扬声器的主要电气特性是作为频率函数的电阻抗。通过绘图可以将其可视化，该图称为阻抗曲线。

最常见类型的扬声器是使用连接到振膜或纸盆的音圈的机电换能器。动圈式扬声器中的音圈悬挂在由永磁体提供的磁场中。当电流从音频放大器流过音圈时，由线圈中的电流产生的电磁场对永磁体的固定场作出反应并移动音圈和扬声器纸盆。交替电流将来回移动纸盆。这种运动使空气振动并产生声音。

扬声器的移动系统（包括纸盆、弹波、纸盆支片和音圈）具有一定的质量和特定的顺序。通常将这种情况模拟成由弹簧悬挂起来的简单质量块，其具有一定的谐振频率，系统在该共振频率下具有最大的振动自由度。

该频率被称为扬声器的自由空间谐振，表示为 F_s 。在该频率下，由于音圈以最大峰峰值幅度和速度振动，因此磁场中线圈运动产生的反电动势也处于其最大值。这会导致扬声器的有效电阻抗在 F_s 下达到最大值，称为 Z_{MAX} 。对于刚好低于谐振频率的频率，当频率接近 F_s 时，阻抗会迅速上升并且具有电感性质。在谐振频率下，阻抗具有纯阻性的特点；在谐振频率以外，随着阻抗下降，就会呈现容性的特点。阻抗在某个频率处达到最小值 Z_{MIN} ，在该频率下，其行为在某些频率范围内主要（但不是完全）具有阻性的特点。扬声器的额定或标称阻抗 Z_{NOM} 来自该 Z_{MIN} 值。

在为多个驱动器扬声器和用于安装扬声器的物理机箱设计交叉滤波器网络时，了解谐振频率以及最小阻抗和最大阻抗至关重要。

扬声器阻抗模型

为了帮助您理解将要进行的测量，图1中显示了一个简化的扬声器电气模型。

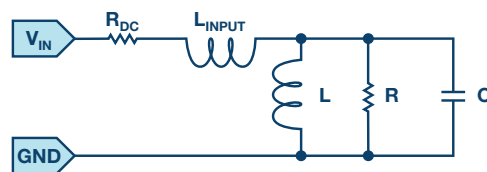


图1. 扬声器阻抗模型。

在图1所示电路中，一个直流电阻与由L、R和C构成的有损并联谐振电路串联，来模拟目标频率范围内扬声器的动态阻抗。

- R_{DC} 是用直流欧姆表测量的扬声器直流电阻。在扬声器/重低音喇叭数据手册中，该直流电阻通常称为DCR。直流电阻测量值通常小于驱动器的标称阻抗 Z_{NOM} 。 R_{DC} 通常小于扬声器额定阻抗，并且入门级扬声器发烧友可能担心驱动器放大器会过载。但是，由于扬声器的电感(L)会随着频率的增加而增加，因此驱动放大器不太可能将直流电阻视为其负载。
- L是通常以毫亨(mH)为单位测量的音圈电感。通常，业界标准是在频率为1000 Hz时测量音圈电感。随着频率增加到0Hz以上，阻抗会增加到 R_{DC} 以上。这是因为音圈就如一个电感。因此，扬声器的总阻抗并非恒定阻抗。如此一来，我们可以将其表示为随输入频率变化的动态曲线；我们将在进行测量时看到这一点。扬声器的最大阻抗 Z_{MAX} 出现在扬声器的谐振频率处。

► F_s 是扬声器的谐振频率。扬声器的阻抗在 F_s 达到最大值。谐振频率是指扬声器活动零件的总质量与运动时扬声器悬架的受力达到平衡的时候。谐振频率信息对于防止机箱鸣叫至关重要。一般而言，影响谐振频率的关键要素是活动零件的质量和扬声器悬架的刚度。我们将通风机箱（低音反射）调到 F_s ，使两者协同工作。通常， F_s 较低的扬声器在低频再现方面优于 F_s 较高的扬声器。

► R 表示驱动器悬架损耗的机械阻力。

材料：

- ADALM1000硬件模块
- 无焊实验板
- 两个100 Ω （或任何类似值）电阻
- 来自ADALP2000套件的一个扬声器（如果扬声器的纸盆直径大于4英寸，则其谐振频率相对较低）



图2. ADALP2000零件套件中的小扬声器。

说明：

首先构建图3所示电路，最好使用无焊实验板。扬声器可以放置在机箱中或机箱外。这种配置允许我们使用通道B电压迹线测量扬声器两端的电压 V_L ，并用负载电流 I_L 作为通道A电流迹线。

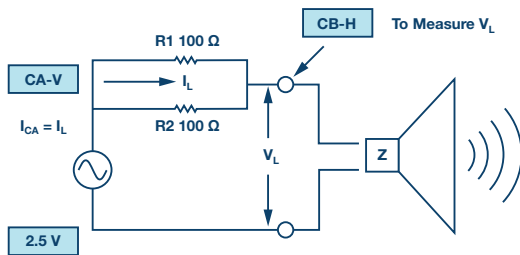


图3. V_L 和 I_L 的扬声器测量设置。

启动ALICE Desktop软件。在主“Scope”（示波器）屏幕中，ALICE软件计算并能显示电压和电流波形迹线的均方根值。在“CA Meas”下拉菜单下的电压部分中，选择“RMS”，然后在电流部分选择“RMS”。在“CB Meas”下拉菜单下的电压部分中，选择“RMS”。

我们可以将扬声器两端的均方根电压（通道B均方根电压）除以通过扬声器的均方根电流（通道A均方根电流），从而计算出单一频率下的扬声器阻抗 Z 。要显示此计算，我们可以使用“Channel B User”（通道B用户）测量显示。用到的两个变量是通道B均方根电压SV2和通道A均方根电流SI1。单击“CB Meas”下拉菜单下的“User”（用户）。输入“Z”作为标签。输入 $(SV2/SI1) \times 1000$ 作为公式。因为电流是用mA表示的，所以，我们需要将比率乘以1000，得到以欧姆为单位的結果。

尝试将通道A设置为几个不同的频率，并查看扬声器上的电压以及计算得到的 Z 如何变化。

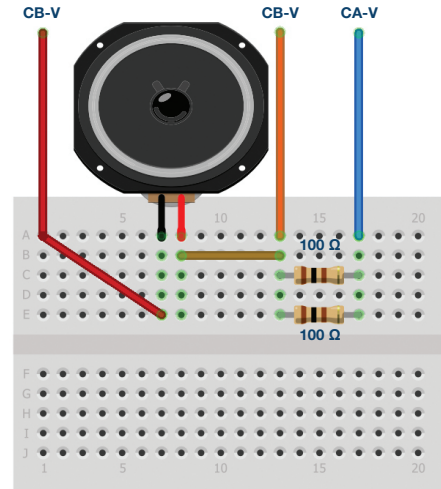


图4. 试验板连接。

使用ALICE Bode Plotter的步骤：

选择“Bode绘图”工具。在“曲线”菜单中选择“CA-dBV”、“CB-dBV”和“相位B-A”。

在“Options”（选项）下拉菜单下，单击“Cut-DC”选中（若尚未选择）。将“FFT零填充因子”更改为3。

将“Channel A Min”（通道A最小值）设为1.0 V，将最大值设为4.0 V。将“AWG A Mode（AWG A模式）”设为“SVMI”并将“Shape”（形状）设为“Sine”（正弦）。将“AWG Channel B Mode”（AWG通道B模式）设为“Hi-Z”。确保“Sync AWG”复选框已选中。

使用“Start Frequency”（开始频率）条目将频率扫描设为在50 Hz开始，并使用“Stop Frequency”（停止频率）条目将扫描设为在1000 Hz停止。选择“CHA”作为要扫描的源通道。同时使用“Sweep Steps”（扫描步骤）条目将频率步进设为150。选择“Single Sweep”（单扫描）。

现在以幅度而非dB为单位（以简化后面的数学计算）将数据导出为逗号分隔格式的值文件（“File”（文件）菜单——“Save Data”（保存数据））并将其加载到电子表格程序（如Excel）中。您将使用此文件中的50 Hz至1000 Hz通道B数据作为 V_L 值。

注意相位处于正最大值、零点和负最小值时的频率点。屏幕上的数据以dB为单位绘制，因此垂直刻度单位不是伏特。您的扬声器可能与此示例有所不同。

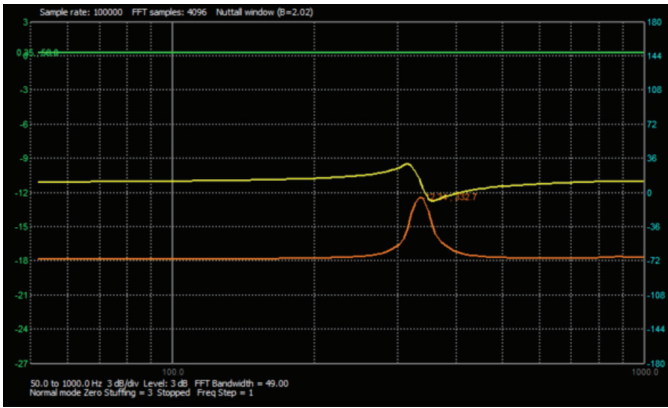


图5. 频率扫描示例。

将数据保存为幅度，就能将信号发生器幅度（以伏特rms为单位）保存到文件中。您可以将扬声器两端的电压 V_L 除以电流 I_L ，由此计算扬声器阻抗 Z 的大小。 I_L 是电阻两端的电压除以电阻得到的商。

$$Z = \frac{V_L}{I_L}$$

$$V_L = CB_{MAG}$$

$$I_L = \frac{(CA_{MAG} - CB_{MAG})}{50}$$

从通道A电压幅度值中减去通道B电压幅度值并除以50Ω电阻，即可计算电流幅度 I_L 。阻抗 Z 为通道B电压幅度除以电流幅度 I_L 得到的商。

现在即可绘制计算得到的阻抗 Z 与频率的关系曲线。曲线图如图6所示。您的扬声器可能与此例有所不同。

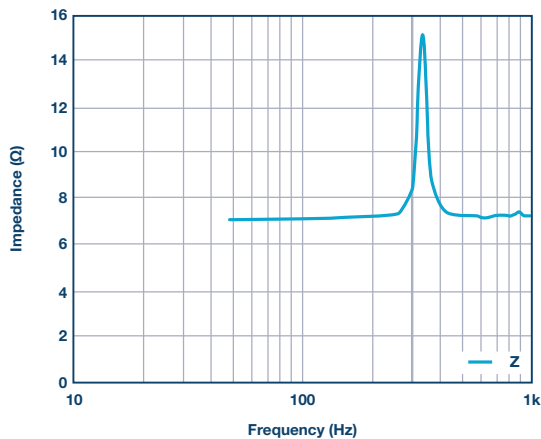


图6. 计算所得阻抗示例图。

扬声器阻抗小——约等于线性区域中的直流电阻——但在谐振频率 F_s 处要高得多。

问题：

根据您的测量数据，为您使用的扬声器提取图1所示扬声器电气模型的L、C和R。您可以使用直流欧姆表工具测量 R_{DC} 。忽略 L_{INPUT} ，因为它相比L较小。将这些值输入到模型的电路仿真示意图中，生成50 Hz至1000 Hz的频率响应扫描，并将您的模型与您在实验室中测量的数据进行比较。

您可以在[学子专区博客](#)上找到答案。

使用ALICE阻抗分析仪测量扬声器阻抗的步骤：

通道B再次测量扬声器两端的电压 V_L 。阻抗分析仪软件使用通道A电压与通道B电压的差值以及通道之间的相对相位，基于 R_1 和 R_2 组合的值计算阻抗。

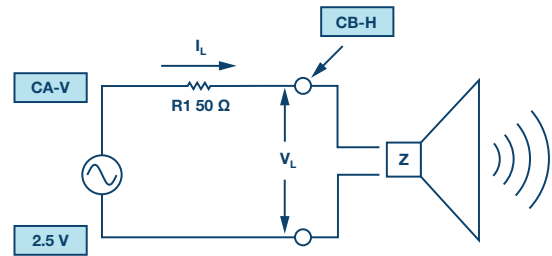


图7. 扬声器阻抗测量设置。

打开ALICE阻抗分析仪软件工具。

使Ext Res = 50，将“Channel A Freq”（通常A频率）设为远低于扬声器谐振频率的值。在这个作为第一次测量的示例中，所用频率为100Hz。将“Ohms / div”设为10。从图8可以看出，相位角应该是正值。扬声器的串联电阻约为7Ω，电抗具有感性性质。

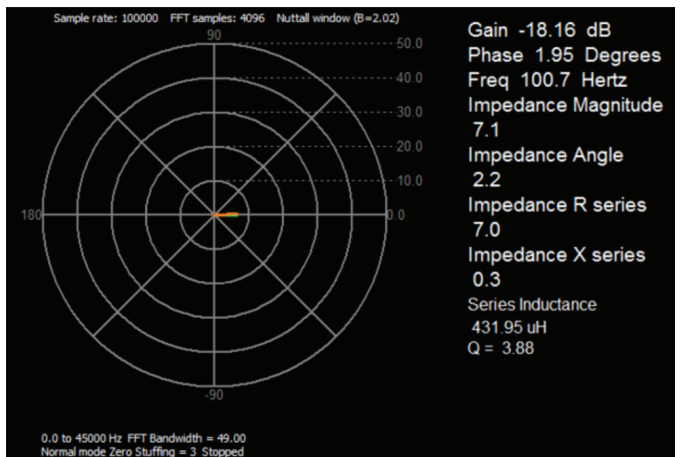


图8. 频率低于谐振频率时的阻抗测量。

现在将频率设为从频率扫描得到的谐振值。您可能需要精确调整该值，找到电抗为零的确切点，如图9所示。

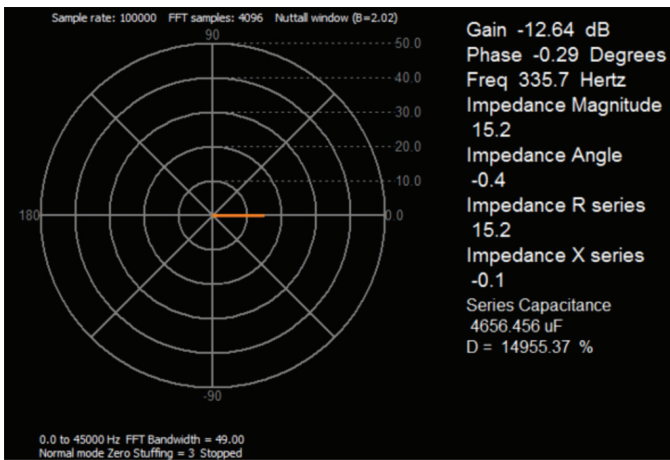


图9. 谐振频率下的阻抗测量。

该结果应与频率扫描的结果一致。相位角应该很小，串联电阻现在大约是15Ω。

现在将频率设为高于谐振频率的点，其中，相位接近其负峰值，如图10所示。这里使用的是500 Hz。

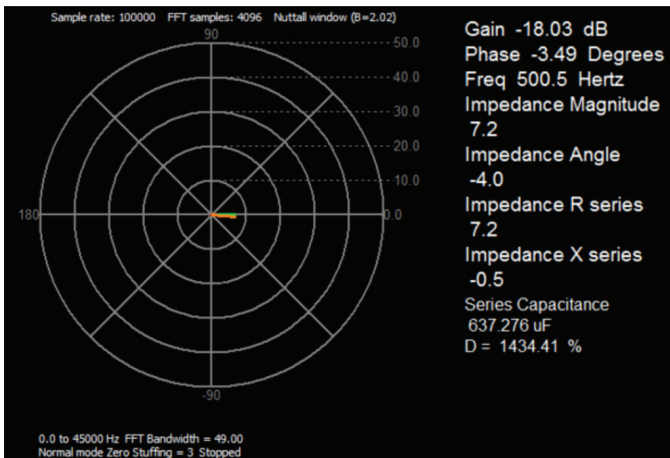


图10. 频率高于谐振频率时的阻抗测量。

Doug Mercer [doug.mercer@analog.com]于1977年毕业于伦斯勒理工学院(RPI)，获电子工程学士学位。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。



Doug Mercer

该作者的其他文章

[ADALM1000 SMU培训](#)
主题15:
[阻抗测量/频率效应](#)

学子专区——
2019年3月

Antoniu Miclaus [antoniu.miclaus@analog.com]现为ADI公司的系统应用工程师，从事ADI教学项目工作，同时为实验室电路®和QA流程管理开发嵌入式软件。他于2017年2月在罗马尼亚Cluj-Napoca加盟ADI公司。

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。



Antoniu Miclaus

该作者的其他文章

[ADALM1000 SMU培训](#)
主题15:
[阻抗测量/频率效应](#)

学子专区——
2019年3月

从数据可以看出，相位角应该是负值。扬声器的串联电阻仍然约为7Ω，但电抗具有容性性质。

注释：

与所有ALM实验室一样，我们在引述ADALM1000连接器的连接和配置硬件时，会使用以下术语。绿色阴影矩形表示接入ADALM1000模拟I/O连接器的连接。模拟I/O通道引脚称为CA和CB。当硬件配置为驱动电压/测量电流时，添加-V，例如CA-V；当硬件配置为驱动电流/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。

类似地，示波器迹线也是通过通道和电压/电流表示的，例如，用CA-V、CB-V表示电压波形，用CA-I、CB-I表示电流波形。