

ADALM2000实验: 变压器

Antoniu Miclaus, 系统应用工程师

目标

本次实验旨在研究各种配置下的变压器特性。

背景知识

交流变压器

变压器只适用于交流电(AC)。例如, 变压器会通过将电压降低到更合适的电平来降低120 V壁式功率, 对于大多数消费电子产品, 降至仅几伏; 对于其他低功耗应用, 通常降至12 V。变压器还可以升高电压以实现长距离传输, 并降低电压以实现安全配电。如果没有变压器, 配电网络中已经很严重的电力浪费将大到惊人。也可以将直流(DC)电压升压或降压, 但这些技术比交流变压器更复杂, 而且在操作过程中涉及到将直流电压转换为某种形式的交流信号。此外, 这样的转换通常效率低下且/或成本高昂。交流电的优点在于能够驱动交流电机, 尤其在大功率应用中, 交流电机通常比直流电机更为优越。尽管变压器在电源应用中随处可见, 但是它们在音频和射频频率的许多其他通信相关信号路径中也发挥着不可或缺的作用。

变压器铁芯具有高磁导率, 也就是说, 由于原子偶极子的方向, 这种材料比在自由空间更容易形成磁场。在图1中, 铁芯由叠片软铁制成, 但在较高频率下, 铁氧体更常见。因此磁场集中在线圈内部, 几乎没有磁场线离开铁芯。

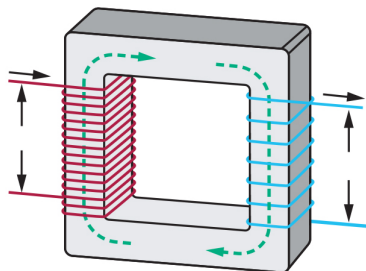


图1. 简单的变压器。

在某些条件或场景下, 变压器初级线圈中的磁通量 ϕ 大致等于次级线圈中的磁通量。根据法拉第定律, 无论是在初级线圈中还是次级线圈中, 每一匝的电动势(EMF)都是磁通量相对于时间的导数的负数, 即 $-d\phi/dt$ 。如果忽略变压器中的绕组电阻和其他损耗, 端电压将等于EMF。对于 N_p 匝的初级线圈, 方程为:

$$V_p = -N_p \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

对于 N_s 匝的次级线圈, 方程为:

$$V_s = -N_s \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

将这两个方程相除得出变压器方程:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} = r \quad (3)$$

其中 r 为匝数比。

电流是什么情况呢? 同样, 忽略变压器中的损耗, 如果初级和次级线圈中的电压和电流具有相似的相位关系, 那么根据能量守恒定律, 稳态下的方程如下:

输入功率=输出功率,

$$V_p I_p = V_s I_s \quad (4)$$

因此:

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{1}{r} \quad (5)$$

有得必有失。对于升压变压器, 如果增加电压, 则电流会(至少)按相同的系数或匝数比减少。请注意, 在图1中, 线圈匝数越多, 线越细, 因为与匝数更少的线圈相比, 其在设计上承载的电流更小。

阻抗匹配

在与通信相关的应用中, 变压器常用于电路各部分之间的阻抗匹配。如图所示, 变压器能够将初级侧具有一定电压幅度的交流信号转换为次级侧的不同电压幅度。初级侧的总输入功率和次级侧的总输出功率相同(不考虑内部损耗)。电压较低的一侧处于较低的阻抗(因为其线圈的匝数较少), 电压较高的一侧处于较高的阻抗(因为其线圈的匝数较多)。

这种阻抗匹配的一个示例是电视巴伦 (balun, balanced-unbalanced (平衡-不平衡) 的缩写) 变压器。这种变压器将天线发送的平衡信号 (通过300 Ω双引线) 转换为不平衡信号 (75 Ω同轴电缆, 例如RG-6)。为了使天线的300 Ω源电阻(R_s)与75 Ω同轴负载电阻(R_L)相匹配, 需要使用4:1的阻抗比。可以使用匝数比为2:1的匹配变压器来实现此目的。本示例中变压器匝数比的计算公式为:

$$\text{Turns ratio } r = \sqrt{\frac{R_s}{R_L}} \quad (6)$$

频率范围

变压器可用频率范围的下限一般由相关电路的阻抗水平和变压器绕组的电感设定。假设以常见的50 Ω标准为起点, 根据制造商数据手册中公布的绕组电感, 便可计算频率下限。变压器可用频率范围的上限一般由寄生绕组间电容和自谐振设定。通常, 数据手册将提供有关元件可用频率范围的信息。一般的规则是, 在选择电抗分量 (例如电感) 时, 通常选择至少比电阻分量大四倍的值 (在本例中为50 Ω源电阻)。这个做法通常会考虑最低目标频率。

用于计算多绕组变压器的电气特性的公式

制造商数据手册列出了器件的某些电气特性。对我们来说, 重要的也许是绕组电感。对于功率转换应用, 还会指定直流电阻 (DCR)、最大rms电流(I_{rms})和饱和电流(I_{sat})。

绕组串联:

如需较高电感, 可将多个绕组(W_N)串联。电感提高时, 储能和 I_{rms} 保持不变, 但DCR提高, I_{sat} 降低。

$$\text{Inductance} = \text{Inductance}_{table} \times (W_N)^2 \quad (7)$$

注意: 仅当绕组之间的耦合系数恰好为 (或非常接近) 1时, 该 W_N^2 系数才有效。更一般的公式是 $L_t = L_1 + L_2 + 2M$

$$\begin{aligned} DCR &= DCR_{table} \times W_N \\ I_{sat} &= (I_{sat_{table}} \times 6) \div W_N \text{ (connected in series)} \\ I_{rms} &= I_{rmstable} \end{aligned} \quad (8)$$

其中, $\text{Inductance}_{table}$ 、 DCR_{table} 、 $I_{sat_{table}}$ 和 $I_{rmstable}$ 来自制造商的数据手册。

绕组并联:

若要提高电流额定值, 可将多个绕组(W_N)并联。DCR降低, 电流额定值提高, 电感保持不变。

$$\begin{aligned} \text{Inductance} &= \text{Inductance}_{table} \\ DCR &= 1 \div [W_N \times (1 \div DCR_{table})] \\ I_{sat} &= (I_{sat_{table}} \times 6) \div W_N \text{ (connected in parallel)} \\ I_{rms} &= I_{rmstable} \times W_N \end{aligned} \quad (9)$$

材料

- ▶ ADALM2000主动学习模块
- ▶ 无焊试验板和跳线套件
- ▶ 一台HPH1-1400L 6绕组变压器
- ▶ 一台HPH1-0190L 6绕组变压器
- ▶ 两个100 Ω电阻

说明

在无焊试验板上构建图2所示的电路。需要使用此设置来测量初级/次级匝数比为1:1的三种不同配置下, 两个变压器型号各自的频率响应。两个红色箭头表示在初级和次级使用同一个线圈的配置中连接源电阻和负载电阻的位置。蓝色箭头对应的是在初级和次级使用两个串联线圈的配置。绿色箭头对应的是在初级和次级使用三个串联线圈的配置。

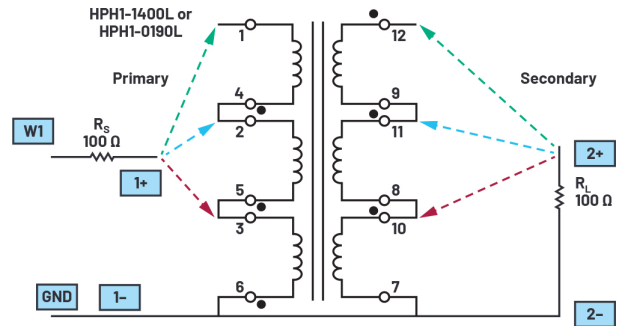


图2 变压器测试电路。

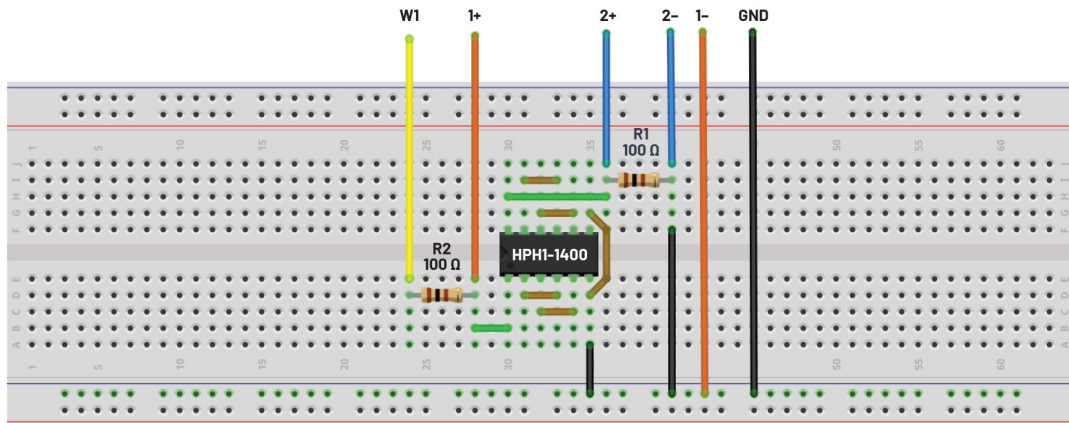


图3 变压器测试电路试验板连接。

硬件设置

打开网络分析仪工具，设置扫描起始频率为10 kHz，停止频率为10 MHz。最大增益应设置为1k。将振幅设置为1V，偏置设置为0 V。使用波特图显示，将可显示的最大幅度设置为10 dB，显示范围设置为80 dB。将可显示的最大相位设置为180°，显示范围设置为360°。在示波器通道下，点击“使用通道1”，将其作为参考通道。将步数设为200。

程序步骤

对部件套件中两个变压器的每个1:1绕组配置运行单次扫描。您应该会看到，幅度和相位与频率的关系曲线和仿真结果非常相似。将数据导出到.csv文件，以便采用Excel或MATLAB®进行深入分析。

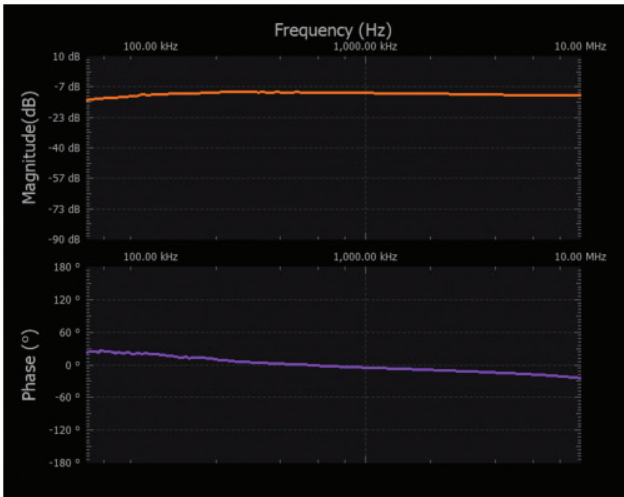


图4. Scopy图中串联配置的三个线圈。

硬件设置

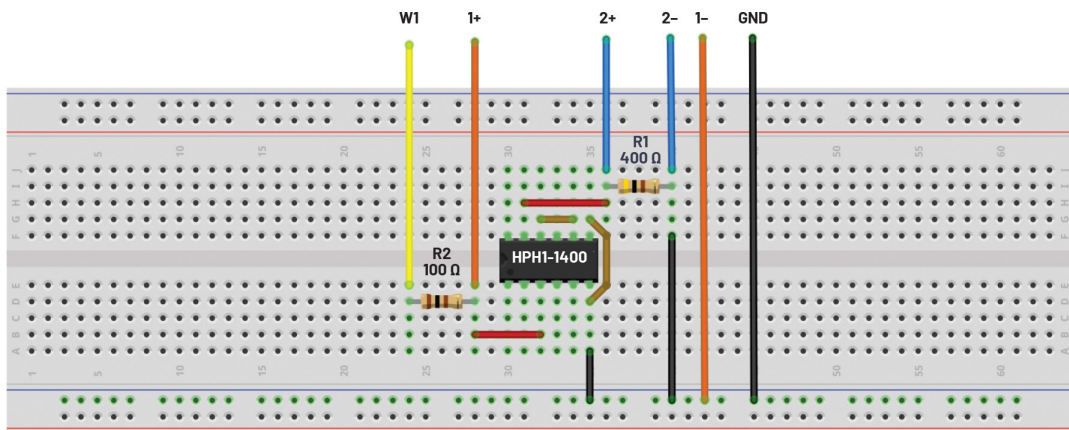


图6. 升压试验板连接。

升压和降压配置

连接到变压器以实现1:2升压配置（红色箭头）和2:1降压配置，如图5所示。

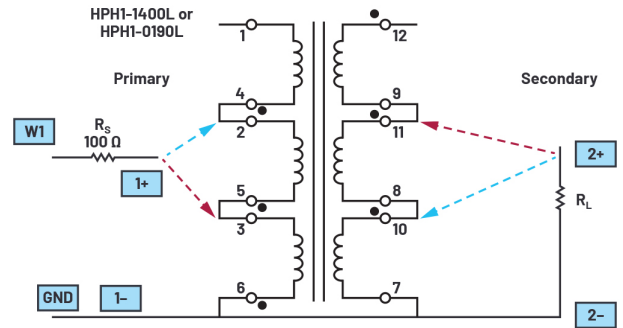


图5. 升压（红色）和降压（蓝色）连接。

使用阻抗匹配公式计算两种情况下 R_L 的适当值。

程序步骤

使用网络分析仪工具重复相同的频率扫描。请务必将数据导出到.csv文件，以便采用Excel或MATLAB进行深入分析。将测得的低频滚降点与图2中在1:1配置下测得的低频滚降点进行比较。

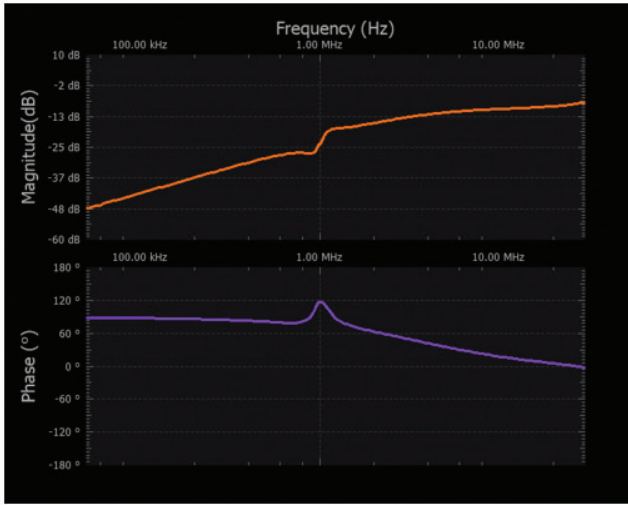


图7. 升压Scopy图。



作者简介

Antoni Miclaus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Circuits from the Lab®、QA自动化和流程管理开发嵌入式软件。他于2017年2月在罗马尼亚克卢日-纳波卡加盟ADI公司。他目前拥有贝碧思鲍耶大学软件工程硕士学位，并拥有克卢日-纳波卡科技大学电子与电信工程学士学位。

问题：

1. 在变压器环境中，阻抗匹配的目的是什么，它是如何实现的？

您可以在[学子专区论坛](#)上找到答案。

