



毕杰 EETOP创始人

+ 关注

277 人赞同了该回答

本文作者Robert 是阻抗匹配方面的专家，多年来经常为客户解决阻抗匹配问题。这段经历促使他更深入地研究这个主题，并撰写了这篇关于阻抗匹配基础知识的入门文章。

正文：

阿尔伯特·爱因斯坦声称：“科学的大多数基本思想本质上都很简单，并且通常可以用每个人都能理解的语言来表达。” 我不确定 21 世纪的物理学是否仍然如此（试着找一个能简单解释超弦理论的人）。尽管如此，这也是我对本专栏的信条。我尝试用简单的术语来呈现复杂的概念。本着这种精神，让我们解决一个棘手的问题。

在过去的 10 年中，我曾多次讨论阻抗匹配的主题。为什么？仅仅是因为它经常被误解——或者被认为是黑魔法。不过它并不是这样，阻抗匹配既简单又基本。此外，它不仅是射频或超高速设计人员关心的问题。它也可能在接近直流电 (DC) 的情况下发生。你要证据吗？就在一个月前，我们的一位客户向我们咨询了一个特定开关电源的效率问题。你猜怎么着？这是一个阻抗不匹配问题。我们在适当的位置添加了一个小电感器，成功提高了效率。

在本文中，我将介绍有关阻抗匹配的基础知识。除了音频之外，我不会介绍任何其他内容，因此你将能够轻松地复制和测试我的示例。

基础

让我们从最基本的例子开始：DC。假设你有一个电压为 U_0 的电池，例如 12 V。不幸的是，不存在完美的电源，因此该电池的内部寄生串联电阻 (R_{IN}) 为 $1\ \Omega$ 。这意味着空载时电池电压为 $U_0 = 12V$ ，当负载电流为 1A，它只有 11V 等。假设你将此电池用作电源并将其端子连接到外部电阻器 R 上（参见图 1）。欧姆定律的应用很简单。通过电路的电流为：

$$I = \frac{U_0}{R_{TOTAL}} = \frac{U_0}{R_{IN} + R}$$

外部电阻器消耗的功率 P 很容易计算：

$$P = RI^2 = R \left(\frac{U_0}{R_{IN} + R} \right)^2 = \frac{R}{(R_{IN} + R)^2} \times U_0^2$$

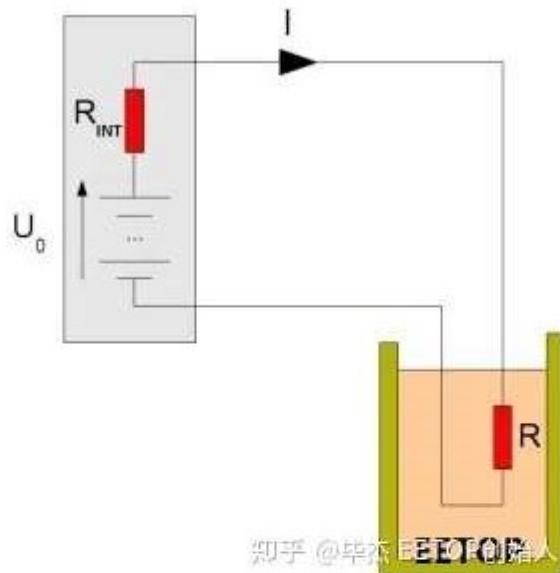


图1 这是最简单的直流电源阻抗匹配示例。该负载中最大耗散功率的负载 R 值是多少？

现在想象一下，你无法更改源内阻 R_{INT} ，但希望在电阻器 R 上消耗尽可能多的功率。这意味着你希望将尽可能多的能量从源传输到负载。你有什么选择？如果你使用较高的 R 值，则通过它的电流会很小，因此耗散功率会很低。相反，如果你使用非常低值的电阻器（接近短路），则通过电路的电流会非常高，但电阻器中消耗的功率也会非常低。事实上，在后一种情况下，会消耗大量功率，但仅消耗在电池的内部电阻上，而不会消耗在外部电阻上。在等式 2 中， P 为零， $R = 0$ 或 $R = \infty$ 。因此， R 必须有一个中间值，它给出了外部电阻器的最大功耗，意味着从电池到负载的最佳功率传输。这就是阻抗匹配，最佳值为 $R = R_{INT}$ 。你可以自己检查它，通过绘制函数 $P = I^2 R = \left(\frac{U_0}{R_{INT} + R} \right)^2 R$ ，当 $R_{INT} = 1$ 时，或者检查 $R = R_{INT}$ 时，它的导数是否为零？

简而言之，从直流电源提取尽可能多的功率的最佳负载是与该电源的内部电阻具有相同值的电阻。在我的示例中，对于具有 $1\text{-}\Omega$ 串联电阻的 12-V 电池，你必须使用 $1\text{-}\Omega$ 负载。通过电路的电流将为 6 A （即 $I = 12\text{V}/(1 + 1\text{ }\Omega)$ ）。负载中消耗的功率为 36 W （即 $P = R \times I^2 = 1 \times 6^2$ ）。任何其他负载值都将提供较低的传输功率。

这个基本结果适用于任何必须优化功率传输的情况。这并不意味着你必须始终匹配源和负载的阻抗，但如果你的目标是从源获得尽可能多的功率，则应该这样做。当然，如果可以降低源的内阻，可以获得更大的功率，但这里假设是不可能的。

从直流到 1 kHz

如果我们从直流换到交流，情况完全一样，用阻抗代替电阻。如果你有一个具有给定阻抗 Z_S 的源并将其连接到具有给定阻抗 Z_L 的负载，则如果两个阻抗匹配，则功率传输将最大。

它几乎与DC相同，你知道阻抗 Z 是电阻 R 和可能的电抗 X 的总和（容性阻抗为负，感性阻抗为正）。我们通常使用复数来简化符号并写成：

$$Z_S = R_S + jX_S \text{ and } Z_L = R_L + jX_L$$

不要害怕 j 变量。只需将其视为使用单个表达式管理一对两个独立值（在本例中为 R 和 X ）的简单方法。

对于 DC，我们看到当源电阻和负载电阻相等时阻抗匹配。在交流电中，当源阻抗和负载阻抗是所谓的复共轭时，阻抗是匹配的。这仅仅意味着两个电阻应该相等，就像在 DC 中一样，并且两个电抗的值应该相等但符号相反。换句话说，一个轻微的容性源必须与一个轻微的感性负载相匹配，反之亦然。

$$Z_L = \overline{Z_S} \Rightarrow R_L = R_S \text{ and } X_L = -X_S$$

现在举个例子，假设你有一个幅度为 $\pm 10\text{-V}$ 且串行阻抗为 $1\text{-k}\Omega$ 的 1-kHz 正弦信号源。如果要从其中提取尽可能多的功率，则必须使用电抗为 0 的 $1\text{k}\Omega$ 负载。我使用免费的 QUCS 电路模拟器为你做了一个小型模拟（见图 2）。示波器通过两个虚拟仪表向你显示施加在负载电阻上的电压和电流波形。此处的电压为 $\pm 5\text{ V}$ （因为源电阻和负载电阻均为 $1\text{ k}\Omega$ ，分压器为 2），电流为 $\pm 5\text{ mA}$ 。我添加了一个小方程来计算负载中消耗的 RMS 功率（在本例中为 12.4 mW ）。这是你可以从该来源获得的最大值。

