

简介

本课程讲义用于 [PI大学](#) 视频课程 — “电源效率测量方法”。本次课程将向大家介绍测量开关电源转换效率的两种不同方法。第一种方法使用一个瓦特表和两个万用表；第二种方法介绍在没有瓦特表的情况下如何进行测量，但不够精确。

请注意，本课程中所介绍的方法仅适用于内部快速评估，并未遵循符合能效标准所需的所有指定步骤。

所需设备

在本课程中，您将用到以下设备：

1. 一个可编程交流电源供应器或一个自耦变压器
2. 一个电子负载
3. 一个瓦特表和两个数字万用表（其中最好有一个高精度数字万用表，用来测量电流）
或者四个数字万用表（其中，一个为真有效值、高精度万用表，用来测量输入电流；一个为高精度万用表，用来测量输出电流）

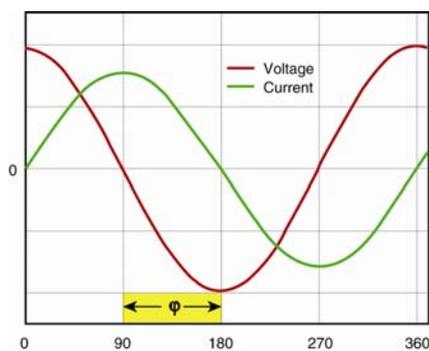
注释：在使用万用表时，您需要根据要测量的电压和电流值将万用表设置在合适的量程内，这一点非常重要。

效率与功率因数的影响

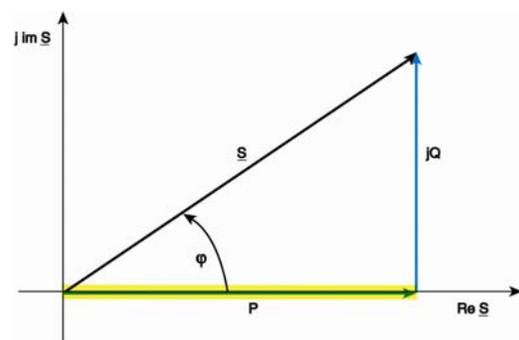
$$\text{电源效率} = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}}$$

直流输出功率仅等于电压与电流的乘积，只需两个万用表即可测量出大小。我们将用一个高精度万用表来测量输出到负载的电流，用一个标准万用表来测量电源的输出电压。

由于交流系统中电压与电流之间存在相位角，因此不能简单地将 **RMS** 输入电压与 **RMS** 输入电流相乘来计算输入功率。只有电源消耗的有功功率(**P**)才是必须考虑的。而返回到电源的无功功率 **Q** 则不应考虑进来。



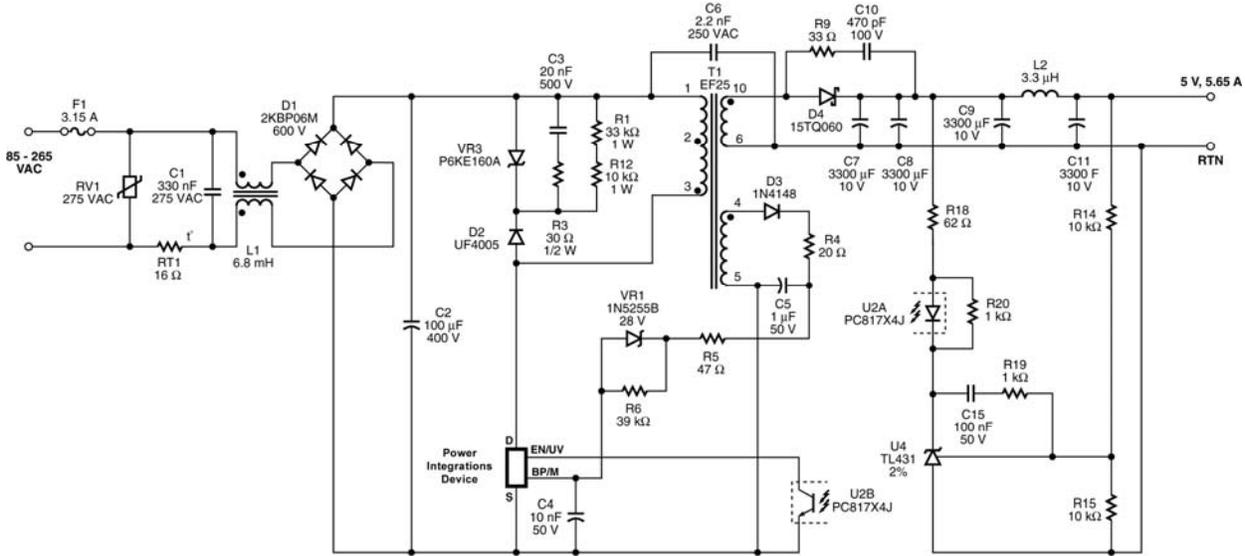
输入电压与电流之间的相位角



电源消耗的功率 = $S \times \sin \phi$

瓦特表的优点是可以准确测量输入功率，原因在于它能自动校正功率因数。如果没有瓦特表，则可使用两个万用表来测量输入电压和电流。但这种替代性方法与使用瓦特表相比，测量结果的准确性不高，并且还需要对待测电源进行断路。

在本课中，我们将使用基于以下电路图设计的电源进行演示。



反激式电源

连接输出万用表

直接将电压表跨接到电路板输出端，并与电子负载连接。测量输出端电压时，会不计与负载相连的电缆上的压降。在有些应用中，比如手机充电器或笔记本电脑适配器中，必须计算电缆中的损耗，此时需要从负载测量输出电压。然后将高精度电流表与负载串联，测量输出电流。

交流接通注意事项

如果使用的器件采用开/关控制方案，在检测输入电压下快速装上电源，使输出达到满载，这时就可以测量出最差情况下的效率。不过，在大容量电容充电时，装上电源会产生非常大的浪涌电流。如果输入电流表设置为低量程，这会导致其中的保险丝熔断。

控制方案	交流接通	万用表电流量程
开/关	快速装上	高(~ 10 A)
其它(PWM)	斜升	Pout < 300 W: 低(~ 300 mA)
		Pout > 300 W: 高(~ 10 A)

针对不同 SMPS 控制方案的建议交流接通程序

如果采用四个万用表的方法，在低输入电压和最高负载下快速装上电源后，首先应测量电源的浪涌电流。然后查阅万用表的数据手册，确认它是否能够在高输入电压下承载如此高的峰值电流。

注释：使用瓦特表时无需考虑这一事项。

对于所有其它控制方案，接通方法将不会影响效率的测量，建议在检测时缓慢调高交流电压，以便限制浪涌电流。

瓦特表方法

将瓦特表连接到电源输入端，将显示屏设置为平均模式，以便获得较稳定的读数。接通交流输入电压，将它缓慢调高到所需的检测电压。将您电源的负载增加到满载。然后关断电源，将它重新快速装回，继续完成测量。

在本演示中，电源输出端仪表的测量结果为 4.97 伏和 4.005 安。电子负载的电压读数为 4.48 伏。这是由于输出电缆和万用表电压检测元件上出现了 490 mV 的压降，从而突现了测量电源输出端电压的重要性。

因此，输出功率 = 4.97 V 4.005 A = 19.90 瓦。瓦特表读数显示输入功率为 25.76 瓦。因此，电源效率 = 19.90 瓦/25.76 瓦 = 77.3%。

万用表方法

使用万用表时，可以在二极管整流器级将交流电转换为直流电之后来测量输入功率，从而避开功率因数的影响。为提高测量准确性，必须将直流总线级之前的元件中的损耗计算在内。

二极管整流桥通常是输入级中损耗最大的元件，因为在最差情况下每个二极管中的压降可达到 0.9 伏。对于阻抗或压降非常大且可测量的其它元件，使用这种方法也可以计算出其损耗大小。

连接万用表

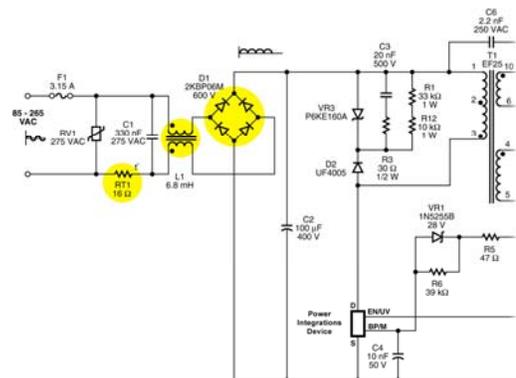
断开整流桥与大容量电容 C2 之间的直流总线。断开大容量电容后面的直流总线后，需要用万用表来测量电源的高频开关电流，而万用表无法对此进行准确测量。

然后，焊接两条可用来连接万用表和电路的导线。连接一个真有效值、高精度万用表组，测量断路上的电流。使用另一个万用表组测量电压，将它分别连接到直流正极和大容量电容的负极。

测试程序

打开交流电源供应器，缓慢将电压调高到所需的检测电压。将电源的负载增加到满载。将输入电流表设置到最高电流量程。然后切断交流输入电压，重新快速装上电源。

在本演示中，电源仍提供 4.97 伏电压，4.008 安电流和 19.92 瓦输出功率。在输入端，直流总线电压为 151.6 伏，输入电流为 0.166 安。输入功率计算如下：



交流输入损耗

$$V_{IN} I_{IN} = 151.6 \times 0.166 = 25.1656 \text{ W}$$

现在，必须将整流桥的功率损耗计算在内：

$$\begin{aligned} \text{功率损耗估计值} &= \text{最差情况下的二极管总压降} \times \text{输入电流} \\ &= 1.8 \text{ V} \times 0.166 \text{ A} \\ &= 0.299 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{因此，总输入功率} &= 25.1656 \text{ W} + 0.299 \text{ W} \\ &= 25.46 \text{ W} \end{aligned}$$

采用这种测量方法，可计算得出电源效率：

$$\begin{aligned} &\frac{19.92 \text{ W}}{25.46 \text{ W}} \\ &= 78.2\% \end{aligned}$$

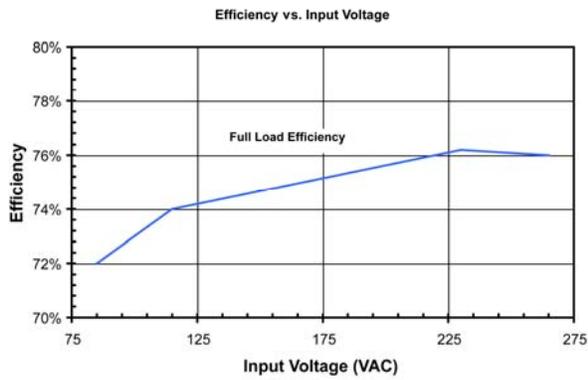
与使用瓦特表测量计算得出的 77.3% 相比，我们可以看出，用四个万用表进行测量，最后的误差为 0.9%。

提高准确度

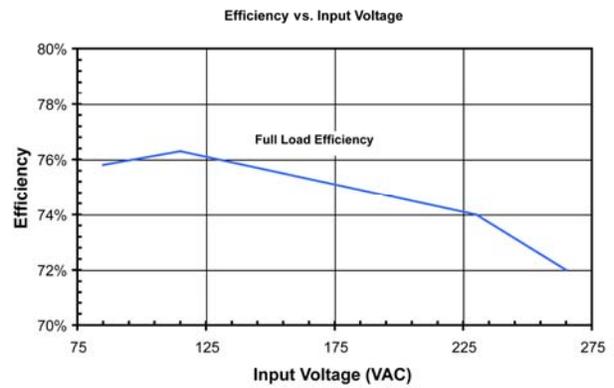
我们可以通过调整输入功率来提高这种测量方法的准确度，在计算时，除二极管整流桥的损耗外，还应将其他输入级元件，如浪涌限制器、共模扼流圈和数字万用表的电流检测元件的损耗包括在内。要计算这些损耗，需要测量各元件在正常工作情况下的压降，然后用该压降值乘以测得的输入电流。将这些损耗计算在内，将会增大总输入功率并降低计算得出的效率。不过，用这种方法测得的结果始终不会像用瓦特表测量输入功率一样准确。

测量一系列输入及输出值，确定损耗原因

电源效率与输入电压和输出负载有关。评估电源时，通常需要在几个不同的输入电压水平下测量效率，以便更好地判断出电路中的损耗究竟在何处。把得出的结果绘制在图表中，说明满载条件下效率与输入电压的关系。

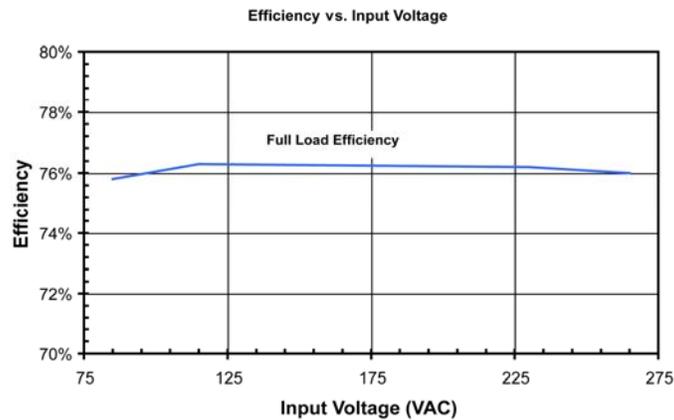


导通损耗对效率的影响



开关损耗对效率的影响

低输入电压下效率下降，这通常是由于电路中的阻性元件产生的导通损耗造成的。这些损耗之所以会在低输入电压下增加，是因为需要较高的电流来维持相同的输出功率。而高输入电压下的效率下降，通常是由于开关损耗造成的。这些损耗来自寄生电容。在高输入电压下损耗增加，是因为寄生电容会在更高的电压下充放电。确定损耗原因并采取纠正措施后，将会得到以下曲线图。



设计良好的电源的效率与输入电压的关系

有关详情

如果您对本课所提供的信息有任何疑问或看法，请发送电子邮件至：

PIUniversity@powerint.com。