

简介

本课程讲义用于 [PI大学](#) 视频课程 — “能效标准合规性测试”。在本课中，我们将向您讲解如何根据能效标准，来测量外部电源的带载模式效率和空载功耗。本课中所介绍的方法采纳能源之星、欧盟委员会行为准则和加州能源委员会推荐的方法，与其他众多能效测试方法类似。能效标准要求按照严格的准确度水平进行测试。本课程讲义中所讲的测试程序经过精心设计，可确保达到所要求的准确度水平。

外部电源也称为 EPS，是一种位于产品之外并对产品供电的电源，它通过可拆式电缆或硬连接电缆或连接器与产品相连。举例来说，笔记本电脑适配器就是一种外部电源，而平板电视电源则属于内部电源。即使您的产品不属于外部电源，本课仍可为您提供有用的知识，因为所介绍的测量方法与测试其他产品类型的方法类似。



所需设备

在本课程中，您将用到以下设备：

1. 一个瓦特表
2. 一个可编程交流电源供应器
3. 一个电子负载
4. 两个数字万用表（其中一个为高精度电流表）

电源的能效合规性测量是一种系统级测试，还要测量输入电缆和输出电缆中的功耗情况。因此，测试所用的电缆应与最终产品所用的电缆相同。注意，这些测试需要在输出负载和输入线电压变化期间保持长时间的温度稳定，因为测试将需要一到两个小时的时间。此外，每次修改设计后，都需要重复进行本测试。

确保测试准确度

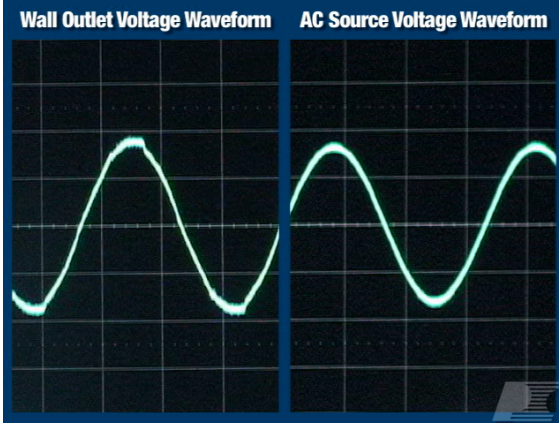
要测试是否符合本规范，我们需要同时测量外部电源的空载输入功率和带载模式效率。

要计算效率，需同时测量输入和输出功率。

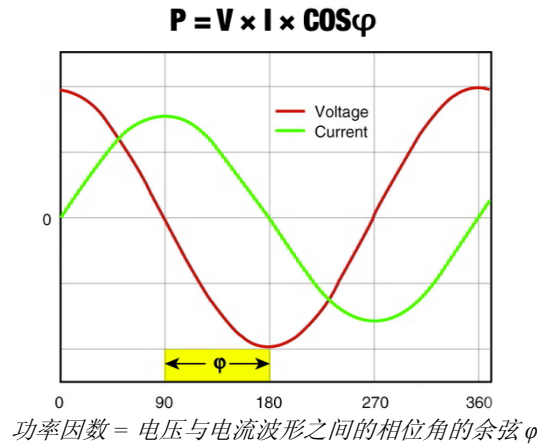
$$\text{效率} = \frac{\text{输出功率}}{\text{输入功率}}$$

测量输入功率时，使用可编程交流电源供应器，而不是墙壁电源插座和自耦变压器，可确保测量是在精确的输入电压下进行的，输入的波形是真正的正弦波，且频率为 50 或 60 Hz。

如左侧所示，来自墙壁电源插座和自耦变压器的原始交流电发生了失真，这会导致测量结果不准确和不确定。相比之下，如右侧所示，可编程交流电源供应器的输出呈现为纯正弦波。



原始市电交流与可编程交流电源供应器的电压波形对比



功率因数 = 电压与电流波形之间的相位角的余弦 φ

我们将使用一个瓦特表来测量输入功率，因为它可测量功率因数，也即电压波形与电流波形之间相位角（phi）的余弦值，并考虑该因素的影响。

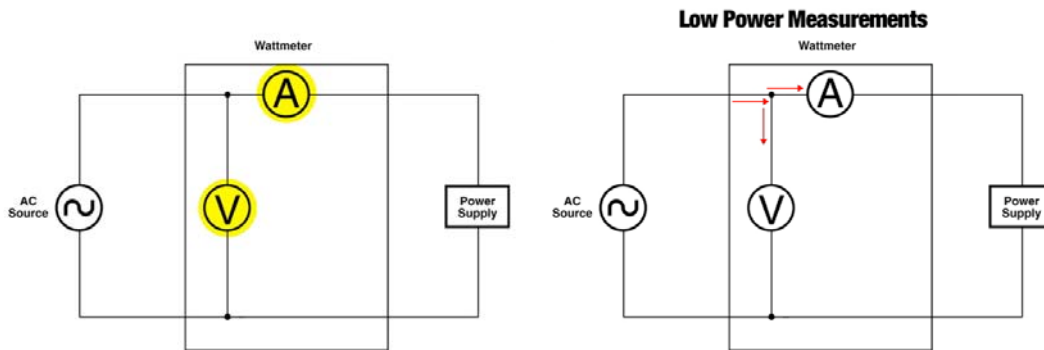
能效标准要求测量 0.5 W 或更大的功率时，输入功率测量的不确定性应小于 2%；测量 0.5 W 以下的功率时，其不确定性应为 10 mW。

能效标准对功率测量不确定性的要求

- 不确定性 < 2%（对于功率 ≥ 0.5 W 的测量）
- 不确定性 < 10 mW（对于功率 < 0.5 W 的测量）

横河 WT210 与其他多种产品配合使用，只要正确配置，就可以满足这些要求。

瓦特表同时包含电流检测元件和电压检测元件。电压检测元件可以在输入电流检测元件之前配置，也可以在其后配置。有关如何在瓦特表上设置和更改此配置的信息，请参见相关的用户手册。进行低负载或空载功率测量时，如果在电流检测元件之前连接电压检测元件，可以获得更精确的测量结果。



瓦特表可检测电流和电压

在低负载或空载测量中，在连接电流检测元件之前先连接电压检测元件

这样可以防止流经电压检测元件的电流被电流检测元件测量。在测量空载输入功率时，这样做对于满足不确定性要求非常必要，因为电压检测元件的功耗通常大于 230 VAC 时所允许的 10 mW 功率。

为了测量本瓦特表中电压元件的功耗，应在电流元件之后放置电压元件，将所有负载从瓦特表输出端断开，并用可编程交流电源供应器施加 230 VAC 的电压。

在本例中，瓦特表测出的输入功率为 26.7 mW。这是电压检测元件在 230 VAC 时的功耗，符合 WT210 中为电压检测元件规定的 2 MΩ 输入阻抗。

高功率设计

在高功率设计中，电压检测元件中的功耗可忽略不计，但应在电流检测元件之后，在最接近电源输入端的位置连接电压检测元件。这样可以防止电流检测元件上出现压降、瓦特表的内部线路被错误地纳入功率测量，从而导致所计算出的效率值偏低。

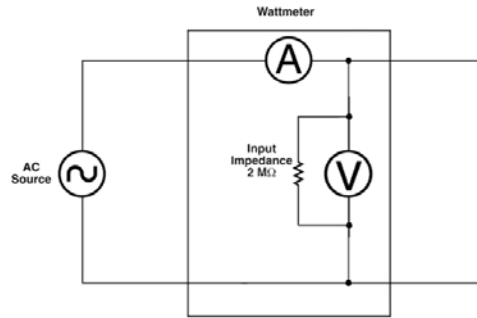
为了获得更稳定的计算结果，请将瓦特表设置为 32 次采样的平均值。

测量输出功率时需要使用两个万用表：一个用来测量输出电压，另一个用来测量输出电流，将它们连接到输出电缆的末端。用精度最高的万用表来测量电流。由于输出功率是纯粹的直流电功率，因此可直接用输出电压乘以输出电流来计算。

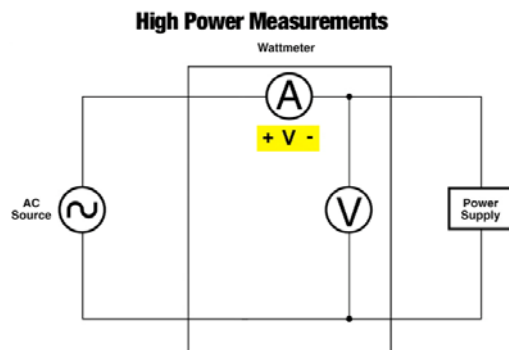
$$\begin{aligned} \text{直流功率} &= \text{电压} \times \text{电流} \\ \text{输出功率} &= \text{输出电压} \times \text{输出电流} \end{aligned}$$

使用 PI 的能效合规性计算器

空载和带载模式效率的目标值可从电源的标称额定值计算出。将标称额定功率输入 Power Integrations 的 [能效合规性计算器](#)，可得出特定应用的目标值。



测量瓦特表电压检测元件所消耗的功率



在高功率测量中，在连接电流检测元件之后再连接电压检测元件

Enter Power Supply Specification:

Output Voltage (V): 5 Output Current (A): 1 Input Voltage (VAC): 115

External Power Supply Efficiency Compliance Calculator by... **POWER INTEGRATIONS**

Nameplate Power (W): 5.00

Enter the specifications, no-load input power, and measured active mode efficiency data for your power supply to see if it complies with current worldwide energy efficiency regulations.

	No Load		Active Mode	
	Req.	Actual	Req.	Actual
ENERGY STAR (v2)	0.3	0	0.68	0.7
EISA 2007	0.5	0	0.64	0.7
EC Code of Conduct (v4)*	0.3	0	0.68	0.7
EC Ecodesign (EuP Tier 1)	0.5	0	0.64	0.7
EC Ecodesign (EuP Tier 2)	0.3	0	0.68	0.7
China USB Charger Spec (YD/T 1591-2006)	0.3	0	0.5	0.7

*For mobile phone chargers <8 W, no-load power \leq 0.25

EC Integrated Product Policy (IPP) **★★★★★**
Five Stars (under 0.03 W)

Note: This calculator is for power supplies of <250 W only. While every effort will be made to keep source data current, Power Integrations is not liable for inaccuracies. To obtain most recent data, please refer to published standards of specific agency.

Copyright © 2009, Power Integrations, Inc.

Power Integrations 的外部电源能效合规性计算器

完成测量后，将结果输入计算器，即可检验我们的 EPS 是否符合现行的全球能效规范。标称额定值只是电源外壳上指明的额定输出值。该值是电源在室温和额定输入电压下的最小额定输出功率。

例如，标称额定值为 5 V、350 mA 的恒压恒流充电器最小可提供 5 V、350 mA 的电量。

将设计电源的标称输出功率额定值输入能效合规性计算器，检验计算结果是否符合能效标准的目标值。对于接受通用输入电压的设计，需要同时在 115 VAC、60 Hz 和 230 VAC、50 Hz 下进行测量。对于单输入电压设计，则应在 115 或 230 VAC 的额定输入电压下进行测量。

现在，我们将测试额定值为通用输入范围的 5 V、350 mA 手机充电器。首先，我们将进行一系列测量，获得该电源在 115 VAC、60 Hz 下的带载模式效率。带载模式效率是在额定输入线电压和额定线电压频率下，在标称额定值的 25%、50%、75%和 100%负载水平下测得的效率的平均值。



变压器标称额定值

带载模式效率

$$\eta_{\text{avg}} = \frac{\text{eff}_{25} + \text{eff}_{50} + \text{eff}_{75} + \text{eff}_{100}}{4}$$

η = 效率

充电器的标称负载额定值为 350 mA。因此，必须测量以下电流下的效率：

- 满载：350 mA
- 75%负载：262 mA
- 50%负载：175 mA
- 25%负载：88 mA

第一个测量应在 100%负载下进行，但需要先经过 30 分钟的预热时间。将电源连接到交流电源供应器，然后施加 60 Hz、115 VAC 的输入。将电源的负载增大至满载，至少预留 30 分钟的时间让电路达到热平衡，并使输入功率读数稳定。在记录测量结果之前，确保没有示波器探头或其他仪表与电路相连。

此时以及在整个测试过程中，可能需要手动设置瓦特表的电压和/或电流量程，以免它自动更换量程，从而造成结果不稳。请参见操作手册，确定可实现最高精度的量程。

接下来，记下瓦特表的初始功率读数。等待五分钟，记下第二个读数。如果发现两个读数之间的差异小于 5%，请记录第二个测量结果。如果发现差异大于 5%，则需要计算输入功率的积分，然后用这个结果除以间隔时间。

积分输入功率的计算程序

对于输入功率随时间变化的设计（例如，负载在正常工作条件下会拉出不同的电流），在测量其输入功率时，需要按照下列步骤对输入功率进行积分计算：

1. 将瓦特表设置为积分模式。
2. 为瓦特表设置积分间隔，以捕获可变输入功率大约的一个完整周期。（持续时间越长，测量结果就越准确。Power Integrations 建议在大部分应用中都进行一分钟的积分计算。）
3. 读取瓦特表输入功率读数，单位为 W-hr。
4. 用此数字除以积分间隔，确保调整时间单位以便彼此消除。例如：

$$\frac{\text{Ein (W-hr)}}{\text{间隔 (1 分钟)}} * \frac{60 \text{ 分钟}}{1 \text{ 小时}} = \text{Pin (W)}$$

请注意，对于使用 Power Integrations 器件设计的电源来说，输入功率发生变化的情况非常少见，否则可能表示设计存在问题。

在本例中，根据万用表读数，我们将输出电流记录为 0.35 A，将输出电压记录为 6.124 V，从而得出输出功率为 2.14 W。

然后，效率计算如下：

$$\begin{aligned}\text{满载效率} &= \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \\ &= \frac{2.14 \text{ W}}{3.14 \text{ W}} \\ &= 68.2\%\end{aligned}$$

接下来，将负载水平调整到 75%，或为 262 mA。使用瓦特表计算平均值时，至少需要等待一分钟，使新读数稳定，然后从瓦特表记录输入功率。等待五分钟，再次记录。如果发现差异小于 5%，需使用第二个输入功率测量值进行计算。如果差异大于 5%，请以五分钟的间隔继续对输入功率进行采样，直到读数稳定为止。

在本例中，根据万用表读数，我们将输出电流记录为 0.262 A，将输出电压记录为 6.502 V，从而得出输出功率为 1.704 W。

然后，效率计算如下：

$$\begin{aligned}\text{75\%负载下的效率} &= \frac{1.704 \text{ W}}{2.42 \text{ W}} \\ &= 70.4\%\end{aligned}$$

对 50%和 25%的负载水平重复以上过程。

测量空载输入功率

最后，我们将测量电源设计的空载输入功率。断开输出负载和所有输出万用表与电源的连接。如果您没有将瓦特表配置为电压检测元件位于电流检测元件之前，请关闭交流输入，立即进行配置。

记下瓦特表的初始功率读数。然后等待五分钟，记下第二个读数。如果这两个读数之间的差异小于 5%，请记录第二个测量结果。如果差异大于 5%，则需要再次计算输入功率的积分，然后用这个结果除以积分间隔时间。有关如何执行此测量的方法，请参见前述程序。

在 230 VAC 下测试

现在，已经完成了 115 VAC 下的所有测试。重新连接负载和输出万用表，将输入电压升高到 230 VAC。在新的输入电压下，重复前面执行的所有测试。继续测量前，记得先将瓦特表设置为相应的功率量程。本例完整的一组数据如右所示。

将结果输入 PI 能效合规性计算器

收集完所有相关数据后，可将它们输入能效合规性计算器中。在最上方的输入字段中输入标称规格后，可在窗口左侧的列内输入我们的测试数据。

	115 VAC	230 VAC
25%	70.5%	63.6%
50%	71.7%	67.5%
75%	70.4%	68.8%
100%	68.2%	68.7%

填写数据表



输入 PI 能效合规性计算器的结果

标准的空载要求和带载模式效率已四舍五入为两位数。

下表是利用能源之星公式对 12 V、1.1 A 电源进行最小效率计算的范例：

$$\begin{aligned}
 \text{标称功率} &= 12 \text{ V} \times 1.1 \text{ A} = 13.2 \text{ W} \\
 \eta_{\min} &\geq [0.0626 \times \ln(13.2)] + 0.622 \\
 &\geq 0.784 \text{ 或 } 78.4\% \\
 &\geq 0.78 \text{ 或 } 78\%, \text{ 四舍五入为两位小数}
 \end{aligned}$$

测量值将会被四舍五入。下表所示为使用 12 V、1.1 A 电源的测量结果进行四舍五入的效果：

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{avg}} &= \frac{\text{eff}_{25} + \text{eff}_{50} + \text{eff}_{75} + \text{eff}_{100}}{4} \\
 &= \frac{79.2 + 78.4 + 75.9 + 80.5}{4} \\
 &= 0.785 \text{ 或 } 78.5\% \\
 &= 0.79 \text{ 或 } 79\%, \text{ 四舍五入为两位小数}
 \end{aligned}$$

然后，计算器将计算带载模式效率，即在所有负载水平下效率的等加权平均值。在窗口右侧的字段中，可以看到许多行不同的能效标准，以及计算出的带载模式效率和空载输入功率的合规要求。计算器会将我们的测量结果与这些要求进行比较，比较结果以红色或绿色表示，具体取决于是否符合要求。

手工计算和舍入

手工计算这些值时请注意，这些标

因此，如果计算出带载模式效率为 78.5%，该值将被四舍五入为 79%，以此与能效标准要求进行比较。在本例中，电源效率将不能达到标准要求。

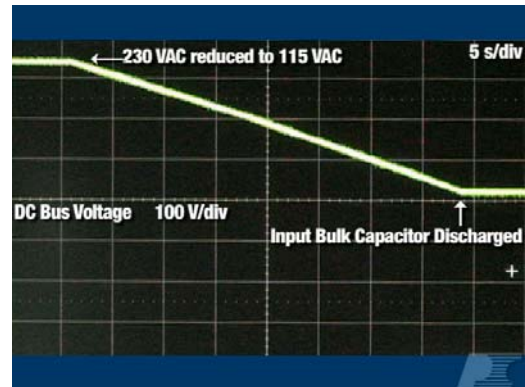
更改输入电压时应采用的技巧

测量空载时，如在测试期间更改输入电压，应始终对输出施加满载。例如，如果输入电压从高压降到低压后，输出没有负载连接，则输入大容量电容在从交流输入吸取功率之前，将对直流总线电压提供长时间支持。

这会造成电源的空载输入功率在很长一段时间内为 0 W。因此，最好在开始时让电源满载，然后再断开所有输出负载，从而顺利完成本测量。

有关详情

有关能效标准的详细信息和相关认证机构的链接，请参见[绿色空间](#)。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。



在空载模式下，输入大容量电容需要大量时间进行放电