

利用福禄克 ScopeMeter[®] 190 系列示波表测量功率

尽管许多电气测试工具都可用来测量电压，但是可测量电流的则较少，而能够直接测量功率的测试工具就更少了。不但如此，至于如何测量那些并非工作于市电频率的电子系统的功率也是个问题。而福禄克 ScopeMeter 190 系列示波表就是答案所在。

功率测量

所有电气系统规定的主要参数就是工作电压。但是如果不转换为功率（例如通过施力驱动机器或驱动照明系统），其本身的电压是毫无意义的。因此，精确地测量电功率对于一个系统的运行状态是非常关键的。

假设我们有一个电路，它由电压源 U_1 、开关 S_w 和负载电阻 R_L 组成（参见图 1）。通过闭合开关，电压源 U_1 就被连接到了负载 R_L ，从而产生电流 I 。一旦产生电流，负载电阻就会因为功率而发热，功率为：

$$P = U_1 \times I \quad (1)$$

进行这种基本的功率测量，也就是包括直流电源 U_1 和电阻负载 R_L 的情况，仅需要一部多用表即可，通常使用的是数字多用表（DMM）。利用数字多用表首先测量电压 U_1 ，然后再测量负载 R_L 上的电流。利用这些测量结果，根据公式(1)即可计算出加到负载上的功率。

一旦闭合开关，这个直流系统中的所有参数值就都是静态的，因此，如果愿意的话可以用一部多用表先后测量两次即可。

如果电压源是低频交流电源，也基本上适用相同的规则。我们可以测量所加的电压和电流的有效值（RMS），然后将两个测量结果相乘，即可得到负载上的功率。只要我们测量的是市电频率，那么大多数数字多用表就都可用来进行测量。

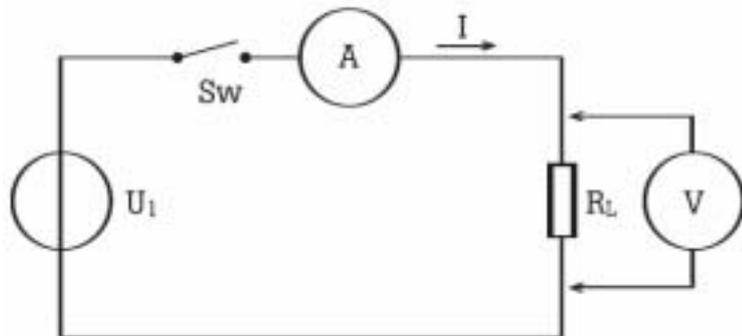


图 1. 进行电压和电流测量的基本电路。



如果负载不是纯粹的电阻，而是包括电感或电容器件，在确定功率时，就需要考虑所加的电压和电流之间的相位差。功率和电压、电流的关系即为：

$$P = U_1 \times I \times \cos \varphi \quad (2)$$

其中， φ 是电压和电流之间的相位角，单位为度。

多用表一般并不具备测量多个输入的能力，因此不能测量相位角。对于这类测量，需要更加专用的仪器，例如相位计或示波器。

如果需要很频繁地测量功率，则类似于 Fluke 43B 或者 Fluke 434 电能质量分析仪这样的仪器是最为合适的测试工具。这类仪器可同时测量电压和电流，并且自动将相位角考虑在内。但是，对于频率变化或者信号频率超出电网工频的设备进行功率测量时，普通的电能质量分析仪就不行了，而类似于示波表这样的通用工具则更可行。

福禄克 ScopeMeter 系列示波表的价值

所有的福禄克示波表都具有两路输入，并且能够同时测量电压和电流，同时还能测量并显示它们之间的相位角。更多的详细信息请参见本文末尾部分的“时基设置技巧”。

如果电压是非正弦的，或者如果负载不是纯粹的电阻，则利用数字多用表测量功率就太过于复杂。在这种条件下确定功率的最好方法就是在电源电压的每一周期内测量大量的电流和电压值。需要在两路信号上同时进行测量。每一组同时测量的数据相乘，得到一组数据点，利用这些数据点，则可以构建一条时间上连续的功率曲线。

Fluke 190 系列示波表完全可以为您完成这一特殊功能！

在 Fluke ScopeMeter 190 系列多用表的众多功能中，有一项功能就是可以将曲线（波形）相乘得到一条合成曲线。利用这项功能，即可将来自通道 A 和通道 B 的样本点进行相乘，产生一条被标以 M 的合成曲线。换句话说，当每次采集并在屏幕上显示通道 A 和通道 B 的一个数据点时，也会将其相乘，在屏幕上显示合成的波形 M。从该波形上即可读出每一时间点的（瞬时）功率，可以使用 Fluke 190 系列的光标读取结果。

调光器的例子

我们拿所谓的“调光器”做为例子，给其施加电网电压。这是基于晶闸管的功率控制器件，在这类器件中，只有在电源周期的被选中部分才允许电流通过。对负载（照明灯）的有效输出电压可通过改变相位角进行控制。测得的电压（参见图 2 中的轨迹 A）显示输出在大约三分之二的时间内是有效的，或者说是在每个半周期中的 120 度是有效的。在三分之一的时间内，调光器是“关闭”的，在照明灯上没有电压。如果我们改变这一相位角，照明灯则会变亮或变暗。

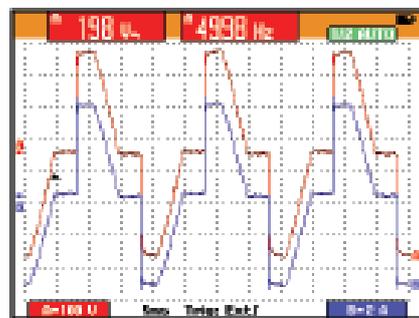


图 2. 驱动一串照明灯的调光器的输出电压和电流。

从图 2 中，我们还可以看到流经照明灯的电流（通道 B，蓝色曲线）。现在，我们即可以将示波表设置为计算机加到照明灯上的功率（参见图 3 和图 4）。

请选择：

SCOPE（示波器），

然后选择 F4（= Waveform Options，波形选项），

接着选择 Mathematics（计算），

然后按 Enter 键

接着选择 A*B，然后按 Enter 键。

接下来，选择相应的缩放比例，使功率曲线保持被显示在屏幕上；也可以随后修改缩放比例。现在，在屏幕上即可看到两路输入波形和合成波形（M）。如果合成波形太小或太大，则可以修改缩放比例。在按下 F3 软键之后，我们还可以改变合成轨迹 M 的垂直位置。

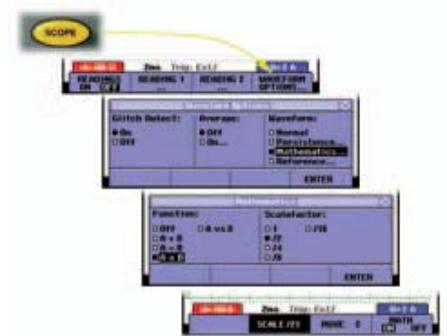


图 3. 设置波形乘积的菜单结构。

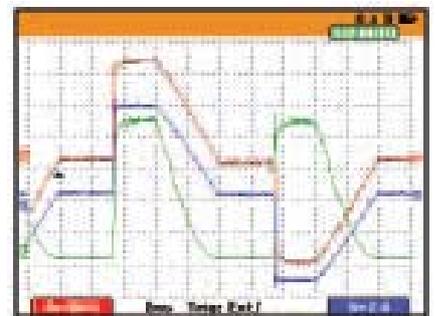


图 4. Fluke 190 系列示波表上显示的电压、电流和功率曲线。

图 4 所示是电压（波形 A，红色曲线）、电流（波形 B，蓝色曲线）和乘积曲线（波形 M，绿色曲线），表示加到照明灯上的功率。

在福禄克 190 系列示波表上，可以利用光标测量任意时间点的功率，如图 5 所示。

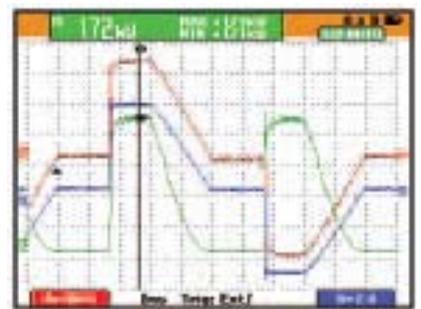


图 5. 利用示波表的光标测量特定时间点的功率。

这里，光标被定位在功率曲线的最大峰值附近，读数显示照明灯在该时刻的峰值功率大约为 1.7 kW。

测量开关电源 (SMPS) 的功率

在电子系统中，信号的频率往往较高，波形与以上的例子相比也更具多样性。

拿开关电源的波形 (图 6 所示) 举例说明。在这种系统中，电源电压是经过整流和滤波的，然后产生一个大约 350 V 的直流电压。然后该电压被加到一个开关晶体管，来驱动一个步降变压器。

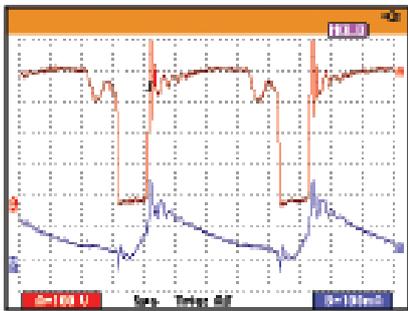


图 6. 一个开关电源 (SMPS) 中开关器件承受的电压和电流。

从图 6 我们可以看到开关晶体管两端的电压 (曲线 A, 红色) 以及通过晶体管的电流 (曲线 B, 蓝色)。电压会达到超过 400 V 的峰值 (在 100 V/div 的设置下, 幅值占了 4 个栅格), 而电流可达到超过 200 mA 的峰值。该变换器信号的一个周期占了大约 26 μ s, 这意味着工作频率大约为 36 kHz。但是请注意, 对于给定的 SMPS, 频率会随电源电压和负载而变化。

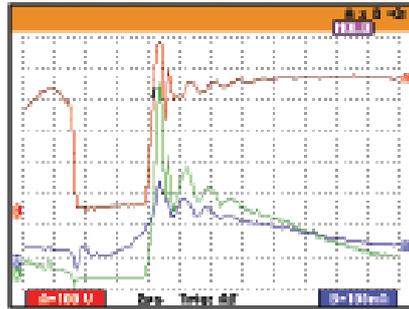


图 7. 用来产生功率曲线的电压和电流波形。

从图 6 中的曲线, 通过将两个曲线相乘, 我们可以计算出晶体管处理的功率, 如图 7 所示。在这里, 为了更加详细的观察感兴趣的波形部分, 改变了时基设置。

在这些曲线上, 我们可以利用 Fluke 190 系列的光标来测量功率容量的峰值, 如图 8 所示。

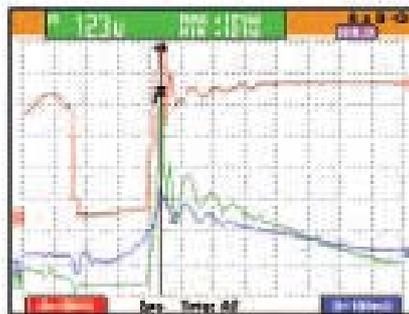


图 8. 利用光标测量晶体管处理的功率的峰值。

从这里我们可以看出, 开关晶体管正在处理 123 W 的峰值功率。在 SMPS 的设计期间, 设计人员必须要考虑到会发生这么大的功率峰值, 必须据此选择器件。

仪器设置

示波表的一个独特之处就是其输入是完全相互隔离的, 即使是在电源电势下, 也可以直接连接电线。大多数标准的示波器在输入处连接有一个公共“地”, 必须将其做为所有输入信号的公共参考点 (该公共地被连接到电源的安全地)。与之不同, ScopeMeter 190 系列示波表具有独立的浮地输入。这就能够在电压测试点测量电压, 也可以在电流敏感电阻两端测量电压, 而该处可能具有不同的电压电平。关于详细的信息请参见示波表的技术指标参数。

当配合以电流钳或电流敏感电阻使用时, 则可以将示波表的输入设置为直接以安培为单位读取幅度值。

在设置过程中, 请选择输入通道按键 (比如说 “B”), 然后按软键 F3 (“Probe channel B”)。如果输入信号表示一个电压或电流, 或者是表示温度, 则可以进行选择。不仅如此, 从选项表中还可选择电流钳或电路的敏感电阻的灵敏度, 以 mV/mA (相当于 V/A 或仅仅是 Ω) 表示。

如果我们在网络中连接了一个 1 Ω 的电流敏感电阻, 并且希望测量它两端的电压, 则应该将电流灵敏度设置为 1 V/A; 如果在网络中有一个 0.1 Ω 的电阻来感应电流, 则灵敏度应该设置为 100 mV/A; 如果利用标准的 (10:1) 电压探头来测量电阻两端的电压, 总体灵敏度将为 10 mV/A。通过从菜单中选择灵敏度, 我们从示波表屏幕上读取的电流值将直接表示真值。

总能量

在一段时间内处理的总能量可以通过将连续功率与系统活动的时间值相乘计算得到:

$$W = P \times t \quad (3)$$

所得的结果以瓦特·秒 (Ws) 表示, 也就是焦耳 (J)。以焦耳为单位的值可以被转换为 kWh,

即

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh} = 1000 \times 3600 \text{ Ws} = 3.6 \times 10^6 \text{ Ws}$$

一些型号的示波表还具有计算一定时间周期内总功率的功能，可以利用光标选择时间周期。功率乘以时间等于能量，我们能够以瓦特·秒为单位直接在示波表上读取结果。

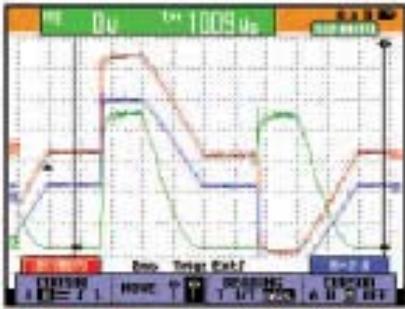


图 9. 功率曲线和能量测量。

请参见图 9，我们可以看到在两个光标之间，也就是在电源电压的一个周期内，向照明灯提供了 10.09 Ws 的能量。在本例中，电源的一个周期为 20 ms。

每秒钟的功耗为：

$$10.09 \text{ Ws} / 20\text{ms} = 10.09 \times 50 \text{ W} \cdot \text{s/s} = 505 \text{ W}$$

在一个小时的时间跨度内，总功耗为：

$$505 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 505 \text{ Wh} = 0.505 \text{ kWh} = 1.8 \text{ MWh}$$

实用的设置技巧

测量电路中电流的最好方法是使用电流钳。市场上有用于交流和交/直流测量，以及不同电流范围的电流钳。例如，Fluke 80i-100s 即可测量 0.1 到 100 A 的直流和交流电流；Fluke i1010 则可用来进行高达 1000 A 的交流和/或直流测量。

利用这些电流钳，在进行测量时无需断开回路，并在“带电”电线和测试仪器之间提供了良好的隔离。当在电网上进行测量时，这无疑为测量电流的安全方式。

如果使用电流钳测量小电流，并且电流钳的灵敏度不足，则可以使多匝的电线通过电流钳，从而提高有效灵敏度。测得的电流值除以电线的匝数即为实际的电流值。

但是，有时候并不是非常简单就可以将现有的电路断开，连接进一个电流表，例如当所有的电线都是印制板的一部分时就非常困难。将电流表连接进低功率电路的一个可行办法是将数字多用表设置为测量电流，然后选择最大的电流量程。将多用表连接到开关的接触器上，如果开关为打开的，则多用表就可以闭合回路并读取电流值，而无需再截断或修改线路。

如果电路中没有开关可用，或者如果数字多用表没有电流测量功能，我们也可以在电路中增加一个已知阻值 R_s 的电流敏感电阻，电阻值与负载电阻 R_L 相比要足够小（参见图 10）。我们即可以测量敏感电阻两端的电压，然后利用欧姆定律计算电流值。增加电阻的方法只需进行一次修改，比重复性地断开电路回路更加方便。

如果 R_s 小于 10 倍的负载电阻 R_L ，则串联电阻处理的能量百分比就很小，因此由于增加电阻而产生的功率测量误差将小于 1%。

结论

利用数字多用表可对低频线性系统进行功率测量。而对于波形更加复杂、频率往往比市电频率高的电子系统，进行功率测量时则需要更加高级的工具。Fluke 190 系列示波表能够很好地进行这类测量，甚至可以进行快速地峰值功率测量，以确定快速电子器件处理的功率，例如开关电源。

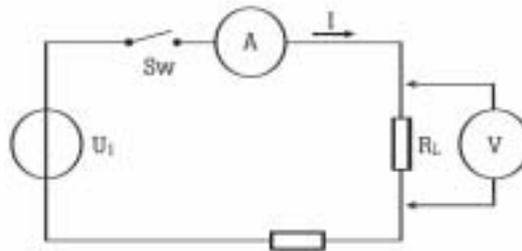


图 10. 给电路增加一个电流敏感电阻来测量电流。