

Application Note

执行精确的节能模式效率测量



Jatan Naik

PPM - Portable Power

摘要

使用脉冲频率调制 (PFM) 或任何省电模式在直流/直流转换器上执行测量时，必须注意确保测量的准确性。精确的 PFM 模式效率测量对于需要在低负载下高效的系统（例如智能家居系统、平板电脑、可穿戴设备和计量）至关重要。由于在 PFM 模式下运行的转换器的性质，获得正确测量值所需的测试设置与通常用于获取在 PWM 模式下运行的器件测量值的测试设置不同。测试设置不正确可能会导致效率测量数据不正确，而数据与数据表规格有很大差异。

本应用报告包含可帮助用户获得精确效率测量结果的指南。文中提供了在 TPS61020 上进行测量的示例。

内容

1 简介.....2

2 效率测量.....4

 2.1 PWM 效率测量.....4

 2.2 PFM 效率测量.....5

3 结语.....6

4 参考资料.....6

5 修订历史记录.....6

插图清单

图 1-1. PWM 效率.....2

图 1-2. 省电模式效率.....2

图 1-3. PWM 开关节点波形.....3

图 1-4. PFM 开关节点波形.....3

图 2-1. PWM 测量.....4

图 2-2. PFM 测量.....5

图 2-3. 输入电流波形.....5

图 2-4. 效率比较.....6

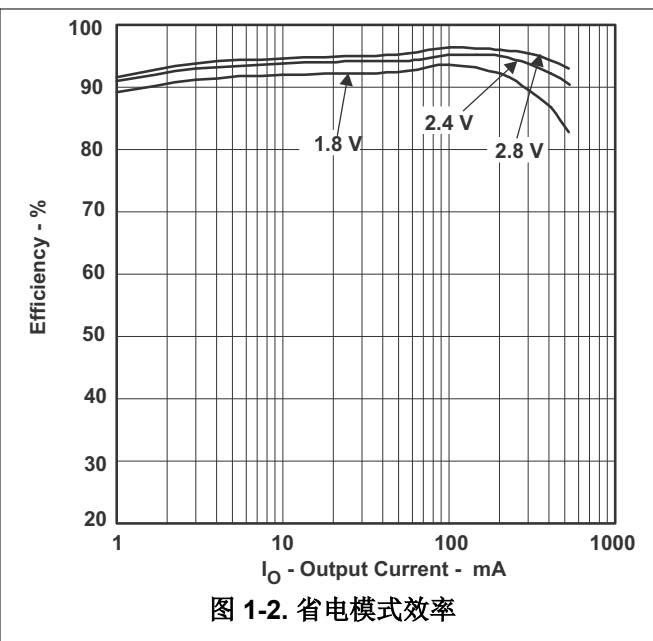
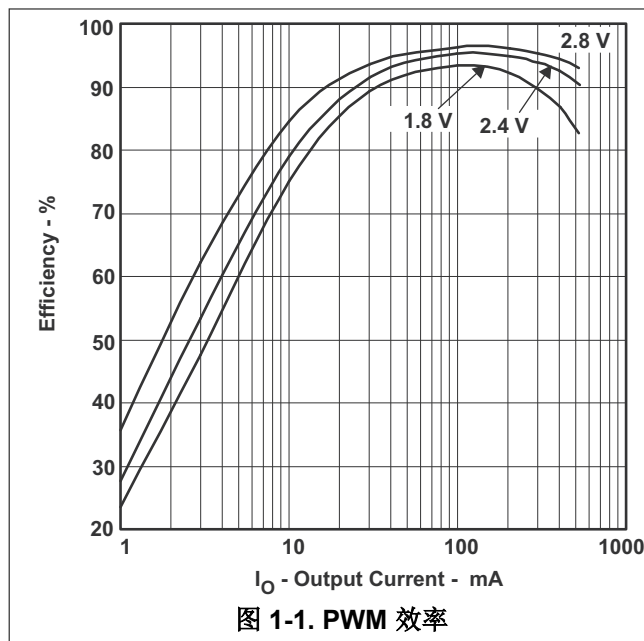
商标

E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

脉冲频率调制 (PFM) 是一种提高轻负载效率的开关方法，常用于许多直流/直流电压转换器。在 TI 数据表中，PFM 模式也称为节能模式。在省电模式下运行的转换器在轻负载电流下使用 PFM，在重负载电流下使用脉宽调制 (PWM)。这种类型的运行使转换器能够在宽输出电流范围内保持高效率。图 1-1 和图 1-2 显示了两个图表，比较了 TPS61020 在 PWM 和 PFM/省电模式下的效率。



在 PFM 模式下，转换器仅在输出电压低于标称输出电压时工作。发生这种情况时，转换器开始开关，直到输出电压调节至介于标称输出电压和高于标称输出电压 0.8% 之间的典型值。在转换器断电期间，所有不必要的内部电路均关闭，以降低 IC 的静态电流。这种控制方法将静态电流显著降低到 20 μ A 的典型值，从而在轻负载下实现更高的效率。

与 PWM 模式 (其中转换器连续开关) 相比，PFM 模式允许转换器在短时间突发中开关。图 1-3 和图 1-4 分别显示了转换器在 PWM 和 PFM 模式下运行时的开关节点波形。

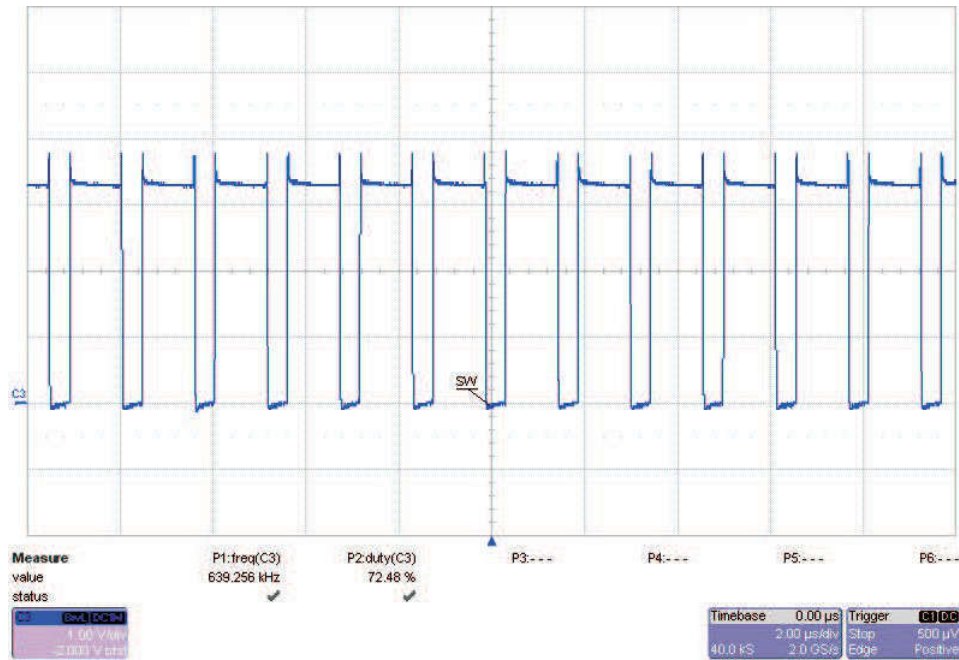


图 1-3. PWM 开关节点波形

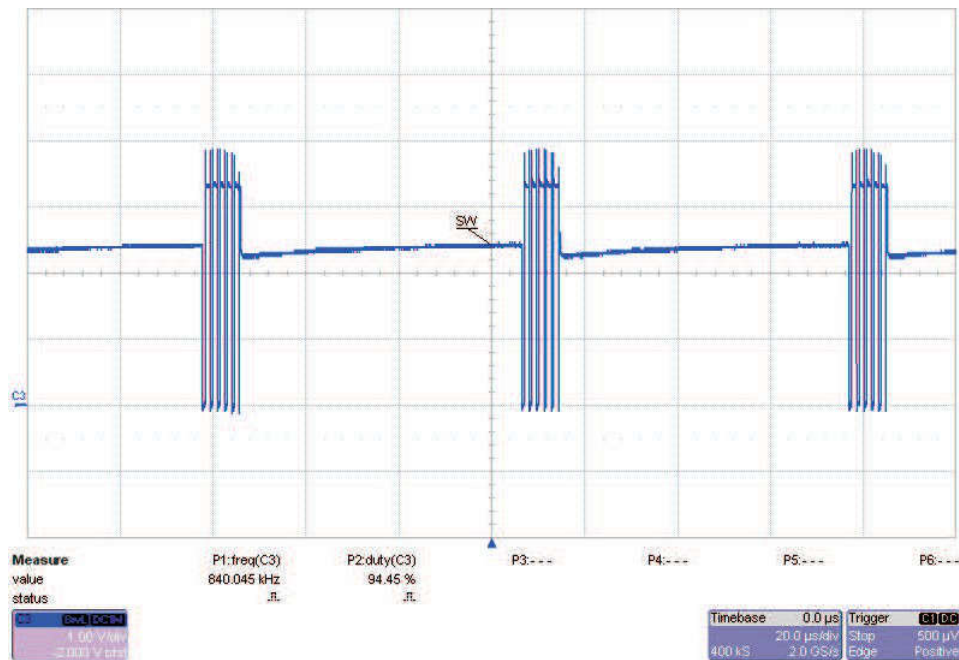


图 1-4. PFM 开关节点波形

备注

图 1-3 中的时间刻度为 $2\mu\text{s}/\text{div}$ ，图 1-4 中的时间刻度为 $20\mu\text{s}/\text{div}$ 。

2 效率测量

2.1 PWM 效率测量

测量直流/直流转换器的效率时，电压表和电流表应在正确的位置检测其值，这一点非常重要。例如，图 2-1 中所示的设置可用于对在 PWM 模式下运行的升压转换器执行效率测量。

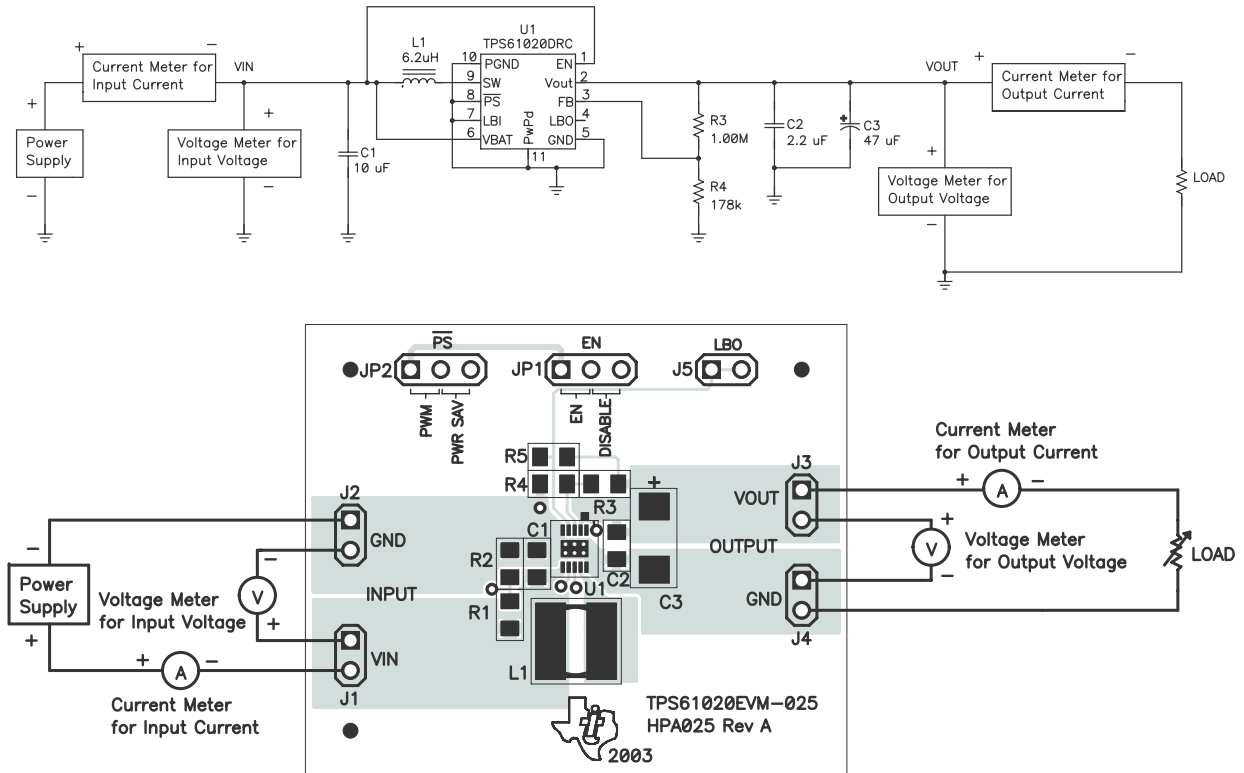


图 2-1. PWM 测量

大多数实验室电源都显示其电压输出设置，但重要的是电源上显示的电压不用于效率计算。相反，应将单独的电压表直接连接到转换器的输入端，如图 2-1 中所示。这可确保测得的电压是转换器输入端的真实电压，并且不包括电流表或任何电缆上的额外压降。同样，应在转换器的输出端直接连接单独的电压表以获取输出电压值。

2.2 PFM 效率测量

为了准确测量在 PFM 模式下运行的转换器的效率，必须将图 2-1 中所示的测试设置略微修改为图 2-2 中所示的设置。

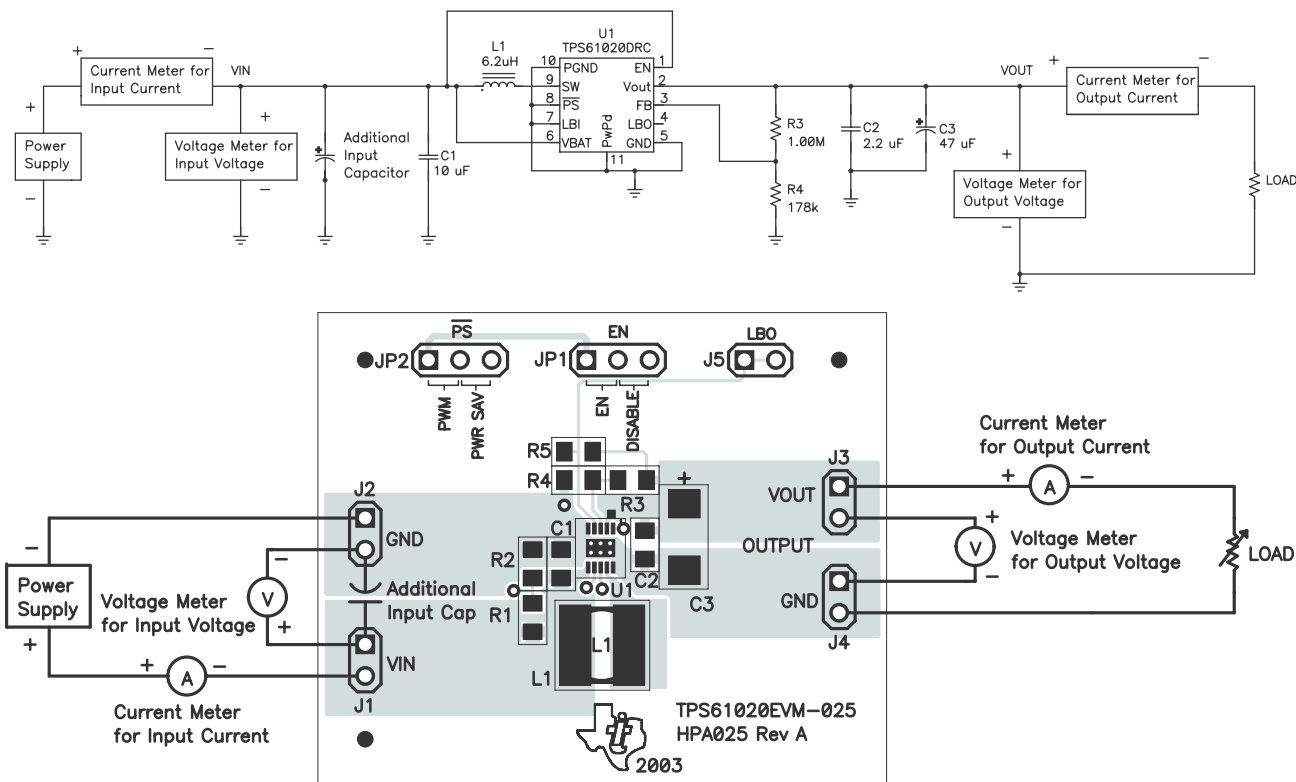


图 2-2. PFM 测量

图 2-2 与图 2-1 完全相同，只是在输入端添加了一个电容器。必须添加该电容器，以确保效率测量正确。通常，所添加输入电容器的电容应远大于 C1 的电容。要了解为什么需要额外的电容器，请考虑图 2-3 中所示的波形。

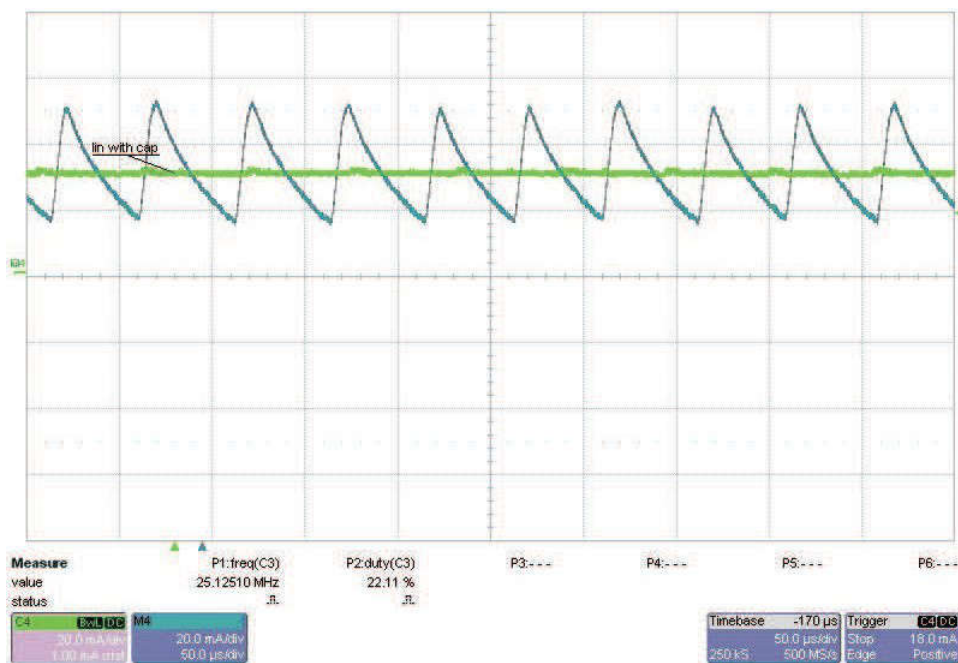


图 2-3. 输入电流波形

在图 2-3 中，三角波形表示在没有额外输入电容的情况下（即当测试设置如图 2-1 所示时）在 PFM 模式下运行的转换器的输入电流。直波形表示在输入端添加电容器时的输入电流（即测试设置如图 2-2 所示时）。如果未添加电容器，则输入电流表无法准确确定输入电流的值，因为输入电流具有较大的正弦分量。相比之下，在输入端添加大电容会产生稳定的电流波形，从而使输入电流表能够准确地检测输入电流的电流消耗。尽管仪表检测到的电流是纯直流电流，但由添加的电容器提供的电流将与图 2-3 中的锯齿波形类似，只是不会有直流失调电压。因此，可以将电容器的作用视为将输入电流分为直流电流和交流电流。监测由添加的电容器提供的电流的电流表将检测没有直流偏移的锯齿波形。

使用图 2-1 中所示的测试设置来测量 PFM 效率可能会导致错误数据，并且数据与实际效率相差高达 15%。这种差异在低输入电压及电流负载下非常明显。图 2-4 显示了在不同输入电压下使用及不使用额外输入电容器的情况下进行的效率测量。在输出电流约为 65mA 时，所有三条曲线收敛。这是因为转换器在 65mA 输出电流下从 PFM 切换至 PWM 模式。此外，添加额外的输入电容器对 PWM 测量没有影响；无论是否添加该电容器，测量的效率都相同。

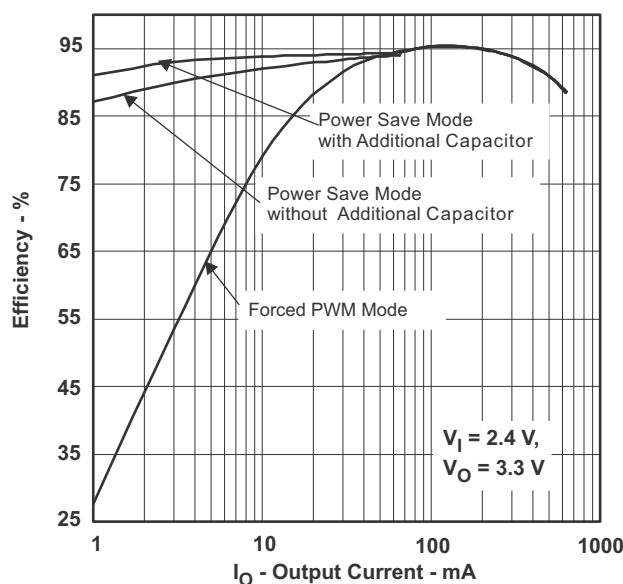


图 2-4. 效率比较

3 结语

测量直流/直流电压转换器的效率时必须小心。无论在 PFM 模式还是 PWM 模式下运行，所使用的电压表都应直接连接在转换器的输入和输出之间。此外，应在转换器的输入端添加一个大电容器，以确保正确进行 PFM 模式效率测量。

4 参考资料

- 精确测量超低 IQ 器件的效率，2014 年第 1 季度，模拟应用期刊
- EVM 输入端的那一个巨大钽电容是什么？，2015 年 5 月 20 日，Full Charged 博客，TI E2E™ 社区

5 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision A (December 2018) to Revision B (October, 2026)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	1

Changes from Revision * (April 2006) to Revision A (December 2018)	Page
• 将标题从执行精确的 PFM 模式效率测量更改成执行精确的节能模式效率测量.....	1

• 更改了摘要部分.....	1
• 添加了参考资料 部分.....	6

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月