



Yang Wu, Gui He, and Daniel Li

摘要

太阳能微型逆变器能够协助太阳能光伏 (PV) 系统实现每个电池板级别的最大功率点跟踪 (MPPT)，以提高功率产额，即使在阴天、树荫、PV 面板上有鸟粪和灰尘等不理想条件下，也是如此。微型逆变器曾经是昂贵的专业产品，但由于近年来技术的发展，它们变得越来越经济实惠，并且是太阳能行业中发展最快的细分市场之一。微型逆变器通常安装在 PV 面板下方，需要具有高电源转换效率、良好的热性能、小尺寸和长使用寿命。

传统辅助电源通常采用反激式，可以是次级侧调节 (SSR)，也可以是初级侧调节 (PSR)。SSR 设计需要额外的 TL431 + 光耦合器，这意味着需要增加额外的成本。由于老化时会产生光衰减，光耦合器还会带来一些可靠性问题。PSR 设计电路更简单且成本更低，但传统 PSR 反激式的输出性能相对较差。此外，传统的 PSR 反激式拓扑还需要额外的辅助绕组，这通常会增加变压器尺寸，并且对于需要小尺寸的微型逆变器应用而言，这可能是另一个问题。

本文介绍了基于 LMR38020 Fly-Buck™ 的微型逆变器的新辅助电源设计，其优点是设计简单、元件数量少、成本低、变压器尺寸小，且效率、热性能和调节性能良好。

内容

1 引言	3
1.1 微型逆变器系统	3
1.2 典型电源树和设计要求	4
2 传统反激式设计挑战	6
2.1 SSR 设计挑战	6
2.2 PSR 设计挑战	8
3 全新 Fly-Buck 设计	9
3.1 LMR38020 概述	9
3.2 与传统反激式的比较	9
3.3 设计注意事项	10
3.4 LMR38020 Fly-Buck 设计示例	10
4 基准测试和结果	12
4.1 启动	13
4.2 稳态下的典型开关波形	13
4.3 效率	14
4.4 负载调节	15
4.5 短路	15
4.6 热性能	17
5 总结	17
6 参考文献	17

插图清单

图 1-1. 采用串式逆变器的 PV 系统部署	3
图 1-2. 采用微型逆变器的 PV 系统部署	3
图 1-3. 微型逆变器方框图	4
图 1-4. 微型逆变器辅助电源的典型电源树	4
图 2-1. 简化版 SSR 控制原理图	6

图 2-2. 基于 UCC28600 的 SSR 控制环路示例电路.....	7
图 2-3. 光耦合器随现场时间推移的预期 CTR 下降.....	7
图 2-4. 简化版 PSR 电路原理图.....	8
图 2-5. 基于 UCC28704 的 PSR 控制示例电路.....	8
图 3-1. 简化的 Fly-Buck™ 电路原理图.....	9
图 3-2. LMR38020 Fly-Buck 应用电路示例.....	11
图 4-1. 微型逆变器的 LMR38020 Fly-Buck 应用原理图.....	12
图 4-2. 微型逆变器的 LMR38020 Fly-Buck 演示板.....	12
图 4-3. 启动, 满载, $V_{IN}=16V$	13
图 4-4. 启动, 满载, $V_{IN}=60V$	13
图 4-5. 当 $V_{IN} = 16V$ 、 $I_{OUT1} = 0.4A$ 、 $I_{OUT2} = I_{OUT3} = 0.1A$ 时稳态.....	13
图 4-6. 当 $V_{IN} = 60V$ 、 $I_{OUT1} = 0.4A$ 、 $I_{OUT2} = I_{OUT3} = 0.1A$ 时稳态.....	13
图 4-7. 当 $V_{IN} = 16V$ 、 $I_{OUT1} = 0.4A$ 、 $I_{OUT2} = I_{OUT3} = 0A$ 时稳态.....	13
图 4-8. 当 $V_{IN} = 60V$ 、 $I_{OUT1} = 0.4A$ 、 $I_{OUT2} = I_{OUT3} = 0A$ 时稳态.....	13
图 4-9. 效率: $I_{OUT2} = I_{OUT3} = 0.1A$	14
图 4-10. 效率: $I_{OUT1} = 0.4A$	14
图 4-11. 负载调节与初级输出电流: $V_{IN}=48V$	15
图 4-12. 负载调节与次级输出电流: $V_{IN}=48V$	15
图 4-13. 短路 - 初级输出.....	16
图 4-14. 短路 - 次级输出.....	16
图 4-15. $V_{IN} = 48V$ 、满载时的热性能.....	17

表格清单

表 1-1. 辅助电源的设计要求示例.....	5
表 3-1. Fly-Buck 与反激式的比较.....	9
表 3-2. 详细设计参数.....	11

商标

Fly-Buck™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

从太阳能光伏 (PV) 电池的输出特性可以看出, 根据光辐射强度和环境温度, 能量收集可能会有很大的差异。PV 系统的一项基本要求就是使系统中的每个 PV 电池板输出最大可用功率。因此, 广泛使用最大功率点跟踪 (MPPT) 技术来尽可能提高能量收集, 从而获得更大投资回报。

当今广泛使用的传统 MPPT 操作是在 PV 串级进行的, 如图 1-1 所示。由于每个 PV 串通常由多个 PV 电池板组成, 每个 PV 模块由多个 PV 电池组成, 这些 PV 电池通常串行连接, 只能实现全局串式 MPPT 而非模块级 MPPT。因此, 每个 PV 模块可能无法在其自身的最大功率点工作, 从而导致无法实现最终的最大能量收集。为了解决这个问题, 在每个 PV 电池板下面部署了微型逆变器, 如图 1-2 所示, 以实现每个电池板级别的 MPPT, 从而提高了总体的功率产额。在这种配置中, 微型逆变器将每个 PV 电池板的直流电源输出转换为电网交流电源轨。

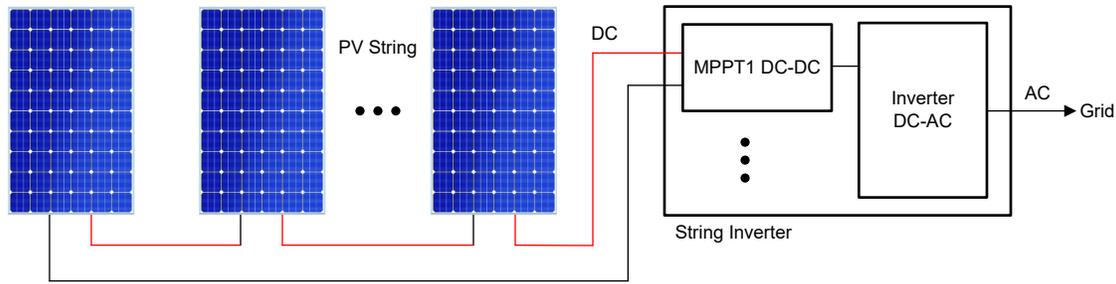


图 1-1. 采用串式逆变器的 PV 系统部署

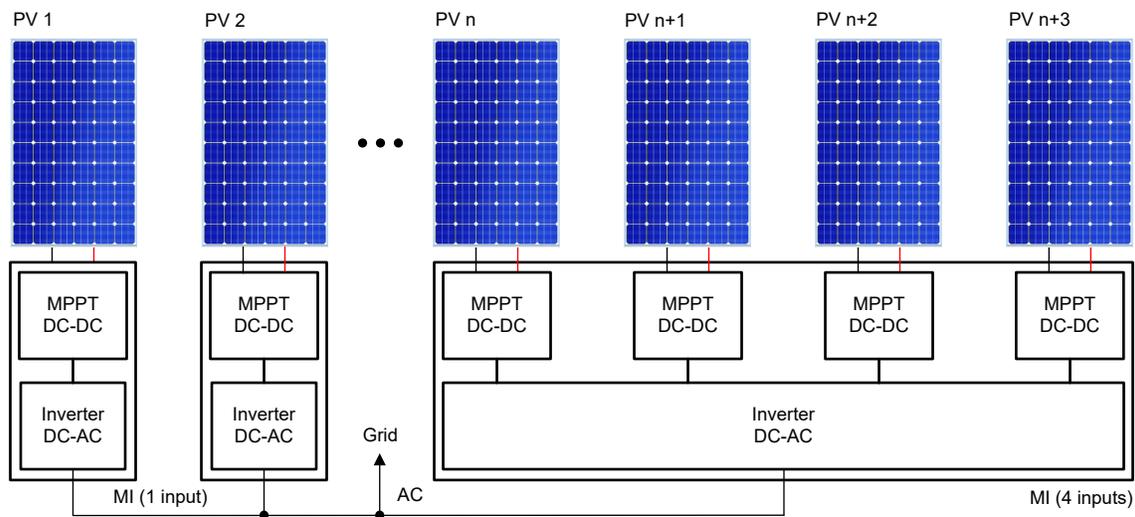


图 1-2. 采用微型逆变器的 PV 系统部署

1.1 微型逆变器系统

图 1-3 展示了微型逆变器的典型框图。微型逆变器中有两个功率级。第一个功率级是直流/直流转换器, 此转换器将可变 PV 电池板输出电压转换为一个适合直流/交流反相器级的经稳压高压直流链路, 而第一个功率级也可实现 MPPT 功能。通常, 微型逆变器具有 1、2 或 4 个直流/直流模块, 可相应连接到 1、2 或 4 个 PV 电池板。图 1-2 中的示例展示了带有直流/直流块的微型逆变器。第二个功率级是逆变器, 用于将高压直流链路转换为电网交流电压。它可以是单相或三相逆变器, 具体取决于目标系统配置。

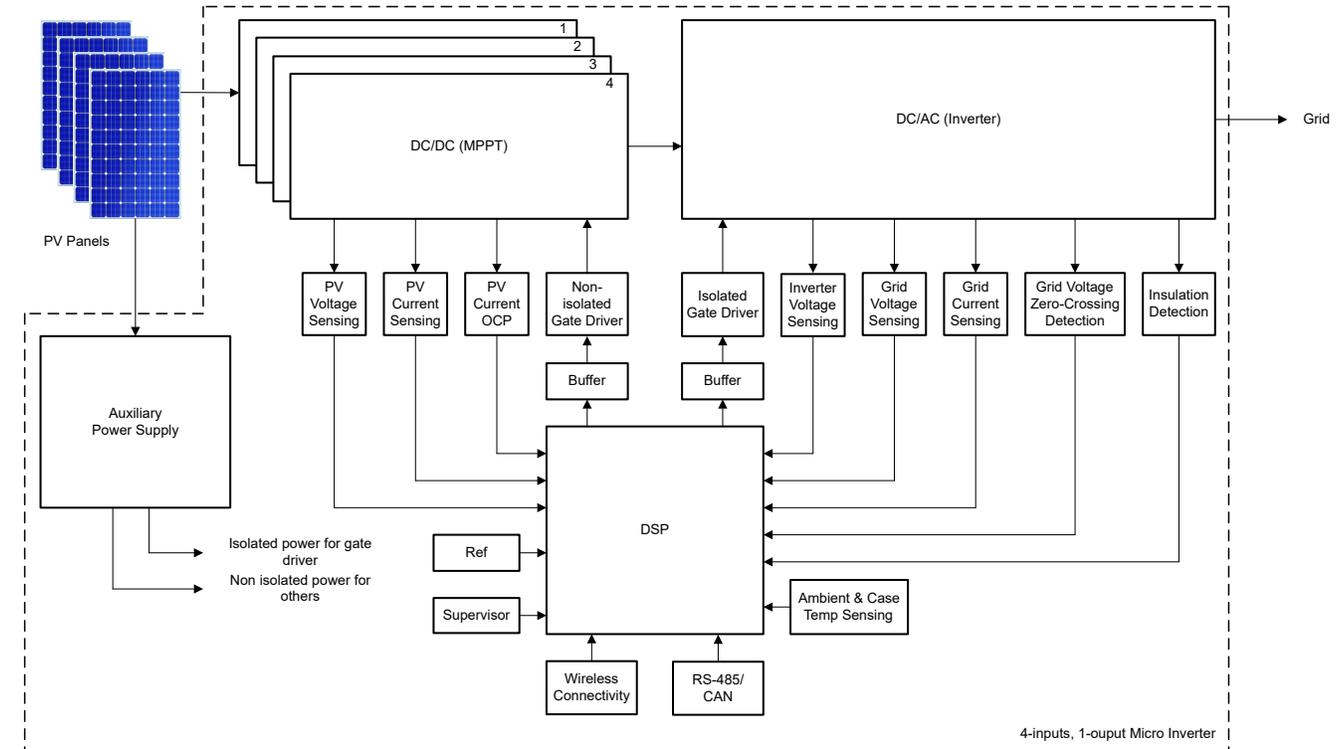


图 1-3. 微型逆变器方框图

除了两个功率级，还有其他功能块，例如 DSP 控制、栅极驱动器、PV 电压和电流检测、逆变器或电网电压和电流检测、PV 电流 OCP、电网电压过零和绝缘检测、有线/无线通信和温度检测，而重要的是辅助电源，这对使整个系统正常运行至关重要。

通常，DSP 控制系统和相关信号采集电路在以直流侧接地为基准的低电压下工作，直流侧接地也是 PV 电池板返回节点。因此，这些电路无需进行隔离。但是，直流/交流侧的电路（例如逆变器栅极驱动器）需要隔离。这需从 PV 电池板获取电源的辅助电源，才能够为 DSP 和信号采集电路产生非隔离式低压偏置电压，并为使用逆变器栅极驱动器隔离偏置电压。

1.2 典型电源树和设计要求

图 1-4 展示了微型逆变器的典型电源树。

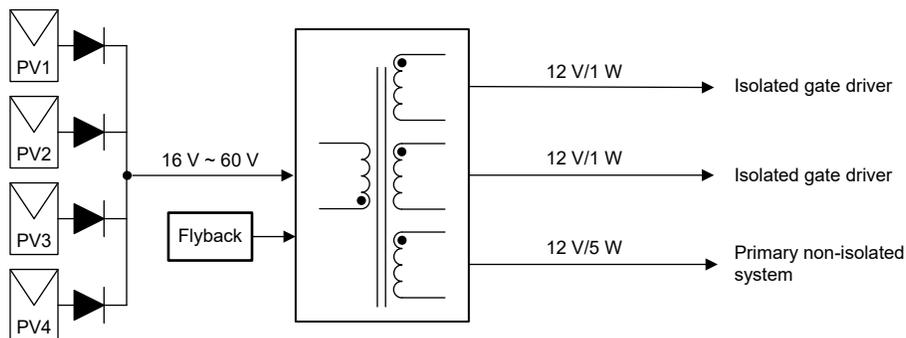


图 1-4. 微型逆变器辅助电源的典型电源树

所有 PV 电池板的输出通过 ORing 二极管连接在一起，作为辅助电源的输入源。根据 PV 电池板的电压特性，输入电压范围通常为 16 至 60 伏。

由于辅助电源需要为逆变器栅极驱动器提供多个隔离电压，因此经常使用反激式拓扑，这不仅是因为它可以轻松实现多个输出，而且还因为其外部元件数量可实现极具竞争力的物料清单 (BOM) 成本。对于单相逆变器栅极驱动

器，传统的反激式转换器通常具有一个初级绕组和三个次级绕组，其中两个绕组用于上下栅极驱动器，一个用于初级电路，包括 MPPT 直流/直流级的非隔离式驱动器、继电器和其他系统电路。

由于反激式转换器的交叉调节问题，其他系统电路不由反激式转换器供电。初级侧或次级侧上的额外直流/直流转换器或 LDO 用于为这些电路提供所需的严格调节辅助电源电压。通常，初级降压转换器用于为缓冲器、放大器、比较器和霍尔电路等生成 5V 电压。次级降压转换器用于为 DSP 生成 3.3V 和 1.2V 电压。此外，还使用 LDO 为无线通信模块（例如 Sub-1G）提供 3.3V 输出，而不产生开关噪声。

表 1-1 列出了辅助电源的 7 瓦设计要求示例。

表 1-1. 辅助电源的设计要求示例

规格	要求
输入电压范围	16V 至 60V
输出 1	12V/5W (非隔离式)
输出 2	12V/1W (隔离式)
输出 3	12V/1W (隔离式)
热性能	允许最高温度超出 Ta 30°C (Ta max = 80°C)。
变压器内核	首选 EP10 或更小，最多接受 EP13。
频率	目标约为 300KHz (250KHz 至 400KHz)。
效率	> 85%
交叉稳压	< 10%
可靠性	太阳能产品需要高可靠性和长寿命

以下部分包括基于上述设计要求的传统反激式设计。

2 传统反激式设计挑战

传统反激式设计有两个控制方案：初级侧调节 (PSR) 和次级侧调节 (SSR)。每种方法都有其自身的优势，并且都已广泛使用。但是，PSR 和 SSR 反激在微型逆变器中都带来了一些设计挑战，将在以下各节中进行讨论。

2.1 SSR 设计挑战

图 2-1 展示了一个典型的简化 SSR 控制原理图。输出电压经过检测并通过光耦合器反馈回控制器。光耦合器可提供隔离式反馈路径，而不会断开初级侧和次级侧之间的隔离栅。SSR 的优势是调节性能良好、输出电压更准确，并且次级侧有多个输出。这种优势是因为各种次级绕组之间的交叉调节比初级和次级绕组之间的交叉调节好得多。

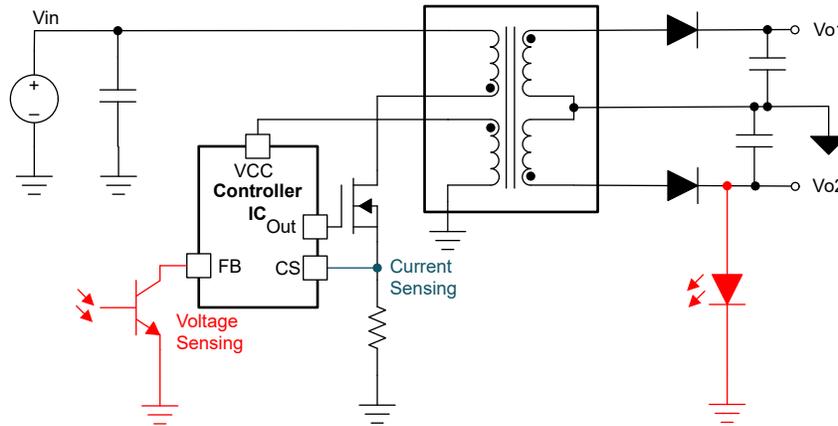


图 2-1. 简化版 SSR 控制原理图

然而，SSR 控制也具有一些在微型逆变器应用中不可忽略的缺点。如图 2-2 中所示，SSR 控制环路需要大量元件，包括一个光耦合器和一个 TL431 以及若干个电阻器和电容器，用以构成反馈环路和误差放大器补偿电路。在次级侧电压得到补偿后，发送到位于转换器初级侧的控制器。这会增加转换器的尺寸和 BoM 成本。

此外，由于老化时会产生光衰减，光耦合器存在可靠性问题。它可能会完全不起作用或随着老化时间降低性能。其电流传输比 (CTR) 会随着老化而降低，具体取决于工作条件。Würth Elektronik Group 的 [光耦合器寿命](#) 应用手册介绍了光耦合器寿命测试结果，如图 2-2 中所示。平均相对 CTR 以实线表示，平均 2σ 相对 CTR 以虚线表示。 2σ 曲线显示，相对 CTR 下降的最低预期值将在 25 年后低于 87%。

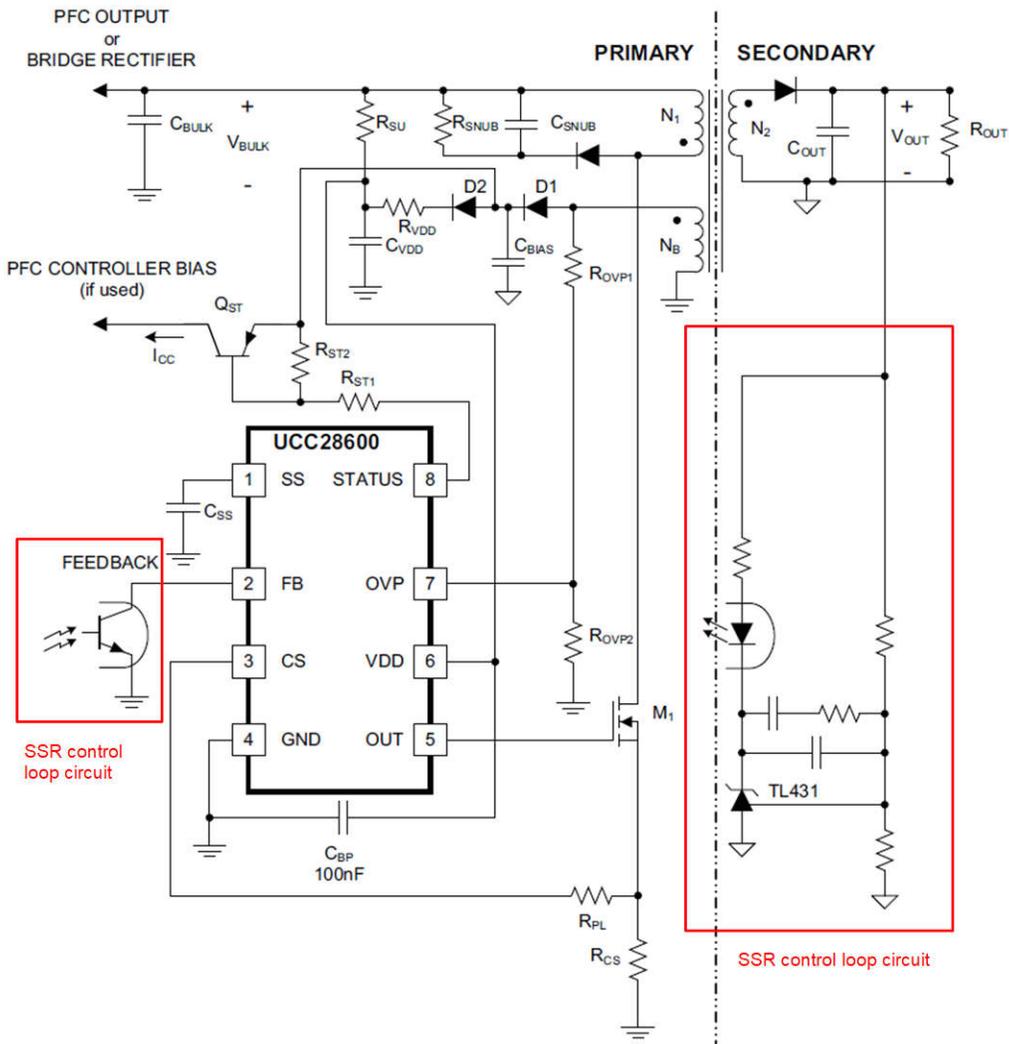


图 2-2. 基于 UCC28600 的 SSR 控制环路示例电路

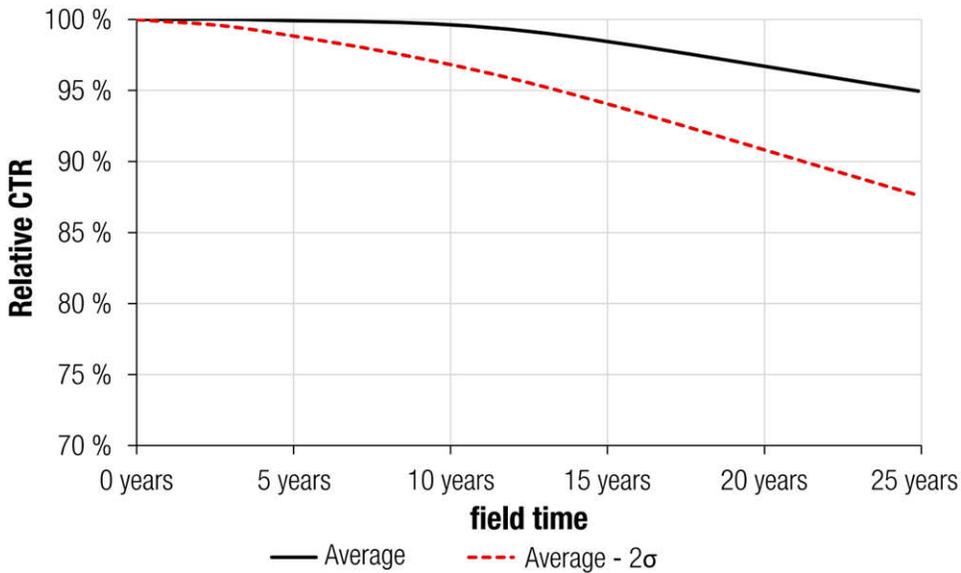


图 2-3. 光耦合器随现场时间推移的预期 CTR 下降

2.2 PSR 设计挑战

如图 2-4 所示，与 SSR 控制相比，PSR 控制方法更简单，可消除光耦合器、TL431 以及相关电阻和电容电路。

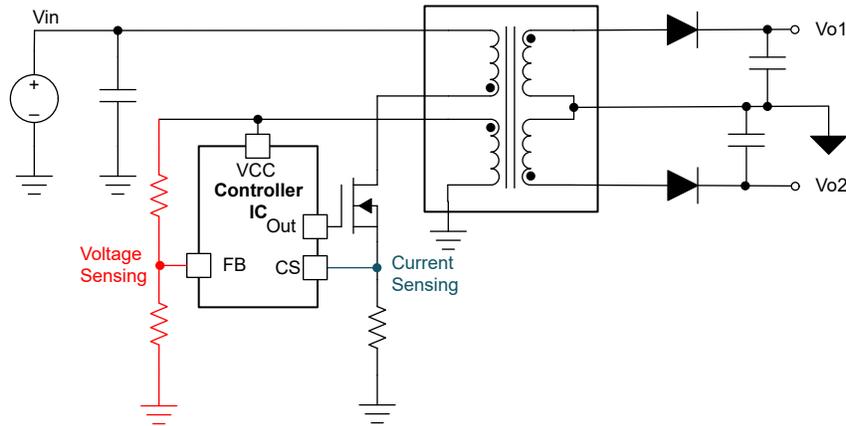


图 2-4. 简化版 PSR 电路原理图

如图 2-5 所示，它可节省 BOM 成本和减小 PCB 尺寸，并且元件数量较少，因此增加了故障间隔平均时间 (MTBF)。此外，对于具有高浪涌或隔离电压要求的应用，减少跨越隔离栅的元件数量可减少可能击穿的面积，同时降低元件的隔离电压要求，这也降低了总成本。

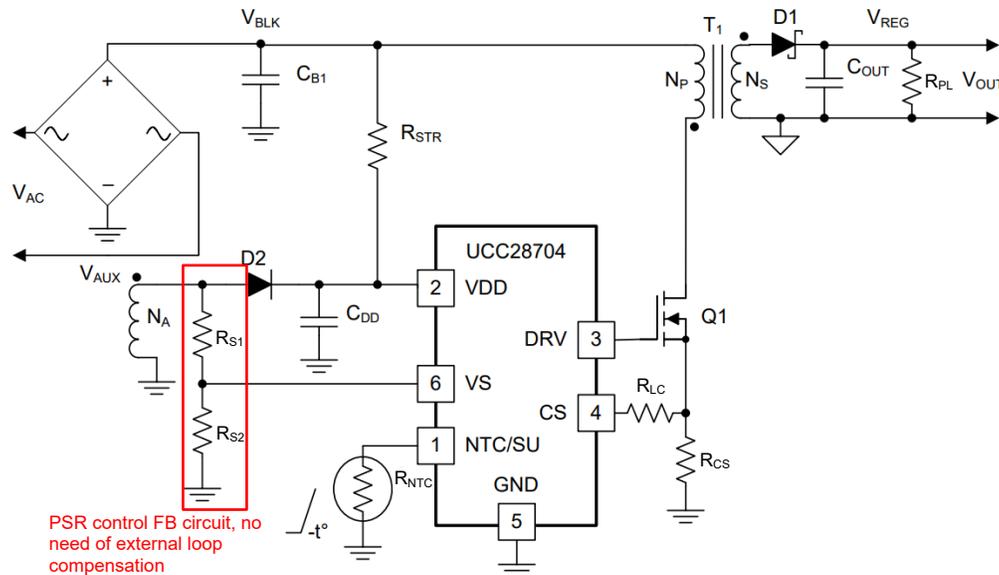


图 2-5. 基于 UCC28704 的 PSR 控制示例电路

但是，SSR 控制也有一些缺点。大多数 PSR 控制器使用拐点采样进行反馈，这是一种在电感器电流处于最低值时对电压进行采样的方法。因此，辅助绕组上的反射输出电压采样在每个 PWM 周期内只发生一次，在开关周期之间，不会监控电压值。因此，瞬态响应比 SSR 控制的瞬态响应慢，在该控制中，输出电压将受到持续监控。

此外，在多输出应用场景中，PSR 的交叉调节性能比 SSR 的交叉调节性能差，尤其是连接到每个绕组的负载差异很大。因为对于 PSR 控制器交叉调节，选择负载最重的输出通常是为了实现反馈并确定控制环路的响应。如果负载较轻，其他输出可能调节效果很差。

简而言之，传统的反激式设计（无论是 SSR 还是 PSR）可能为微型逆变器应用带来一些设计挑战。此外，对于其他常见问题，反激式控制器通常需要额外的辅助绕组来为控制器供电，并且开关频率通常低于 150kHz。因此，对于需要小尺寸的微型逆变器而言，大变压器尺寸可能具有挑战性。幸好，TI 有一种替代设计可以应对这些挑战，我们将在以下几节中讨论。

3 全新 Fly-Buck 设计

Fly-Buck™ 转换器是低功耗应用的理想设计选择之一。与传统的隔离式开关模式电源拓扑相比，Fly-Buck™ 具有元件数量少、设计简化、效率高和瞬态响应良好的优点。

Fly-Buck™ 转换器基于标准降压转换器拓扑，将常规电感器替换为耦合电感器或变压器，以产生一个或多个隔离式次级输出。图 3-1 展示了用以生成非隔离式输出 V_{OUT1} 和隔离式输出 V_{OUT2} 的简化 Fly-Buck™ 电路原理图。通过添加更多次级绕组，您可以获得额外的隔离式输出。

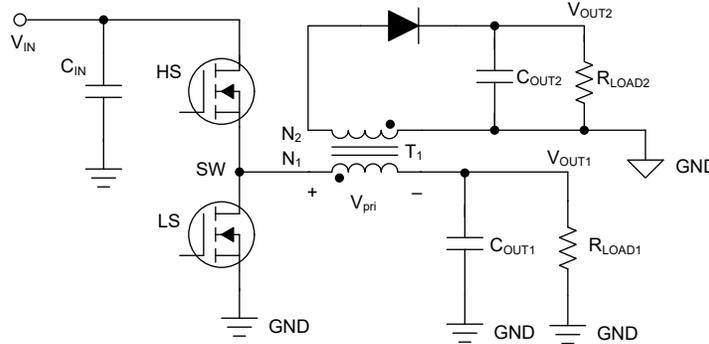


图 3-1. 简化的 Fly-Buck™ 电路原理图

Fly-Buck™ 闭环控制像在常规降压转换器中一样执行，以调节初级电压。次级输出电压也通过跟踪初级电压调节的变压器耦合进行调节。

Fly-Buck™ 会生成严格调节的初级输出，以及一个或多个电气隔离式次级输出，而无需使用光耦合器来调节次级。这意味着，Fly-Buck™ 转换器的设计相对简单，对典型降压转换器的设计做一些类似的微小变动即可。下面提供了使用 LMR38020 同步降压转换器的设计示例。

3.1 LMR38020 概述

LMR38020 是一款采用 HSOIC-8 封装的 4.2V 至 80V、2A 同步降压转换器。LMR38020 的功率 MOSFET 和环路补偿网络都经过集成，可减少外部元件数量，可作为微型逆变器应用中的辅助电源来实现 Fly-Buck™ 转换器。

LMR38020 的 V_{IN} 至 PGND 绝对最大额定值为 85V，专为 PV 电池板具有最大 60V 输出电压的微型逆变器（裕度约为 30%，足以实现长期可靠性）而设计。建议的最大负载电流能力为 2A，这对于通常不超过 10W 功率需求的微型逆变器的辅助电源而言也已足够。

3.2 与传统反激式的比较

Fly-Buck™ 也称为隔离式降压转换器，通过在降压转换器的滤波电感器上添加耦合绕组来产生隔离式输出。次级侧的电路看起来与反激式类似，但初级侧是同步降压转换器。这使得 Fly-Buck™ 天然具有初级侧调节，并通过绕组耦合轻松实现隔离输出调节。与传统的 PSR 反激式相比，Fly-Buck™ 具有以下主要优势，表 3-1 中列出了 Fly-Buck™ 和反激式之间的详细区别。

- Fly-Buck™ 消除了辅助感应绕组并提供精确的初级输出。这使得 Fly-Buck™ 具有更少的元件数、更小的设计尺寸和更低的成本。与 PSR 反激相比，Fly-Buck™ 通常具有高效率。
- 由于同步降压配置，Fly-Buck™ 在初级侧电流流动连续，并且 MOSFET 漏源两端的最大电压等于输入电压。因此，无需缓冲电路。相反，反激式中的初级侧电流是不连续的，绕组会在 MOSFET 上产生过大的电压应力，缓冲器是必需电路。

表 3-1. Fly-Buck 与反激式的比较

规格	Fly-Buck	反激式
输入	最小输入电压必须大于初级输出电压，而次级输出电压可以高于或低于输入电压（隔离式降压拓扑）。	最小输入电压可以小于或大于输出电压（隔离式降压/升压拓扑）。
输出	初级侧输出为非隔离式输出，只能为正。 次级侧输出是隔离式输出，可以是正，也可以是负。	初级侧输出是非隔离式输出，用于为控制器供电以及 PSR 中的检测。 次级侧双路输出是隔离式输出，可以是正，也可以是负。

表 3-1. Fly-Buck 与反激式的比较 (continued)

规格	Fly-Buck	反激式
开关应力	MOSFET 的额定值为 $V_{in_{max}}$ 。	需要考虑初级低侧 MOSFET 上的反激电压，额定值为 $V_{in_{max}} + (V_{out} / N)$ (其中 $N = N_s / N_p$)，这意味着更高的开关应力。
变压器	3 绕组变压器，尺寸更小，漏电流更低。	4 绕组变压器，漏电流更大。
大小	设计尺寸更小、变压器尺寸更小 (通常情况)。	设计尺寸更大、变压器尺寸更大 (通常情况)。
成本	元件数量更少、成本更低。	元件数量更多、成本更高。
性能	初级和次级输出均可实现 $\pm 5\%$ 的良好调节。电力传输效率相对较高。	PSR 的交叉调节性能较差。如果将 SSR 与光耦合器配合使用，则可以实现高输出精度，但在轻负载条件下偏差较大。效率不如仅利用关断时间传输电力。

关于 Fly-Buck™ 的输入规格，需要注意最小输入电压必须高于目标初级输出电压。通常，当输入电压较低时，这会导致高占空比。这需要引起注意，因为高占空比会在电力传输到次级侧期间产生非常高的峰值电流。

例如，在微型逆变器应用中，在黎明和黄昏时分太阳光变暗时，或者在 PV 电池板有大量树荫遮挡时，PV 电池板的输出电压 (作为辅助电源的输入电压) 可能极低。因此，在选择开关 MOSFET 时需要考虑更多因素。

3.3 设计注意事项

以下提示有助于开始进行 Fly-Buck™ 转换器设计。

- 为了实现 Fly-Buck™ 转换器，需要选择具有强制脉宽调制 (FPWM) 的 IC 来确保器件可以处理负电感电流。因此，本例中选择 LMR38020FADDA。
- 大多数降压转换器器件会指定最大输出电流，如果要设计一个 n 次级输出 Fly-Buck™ 转换器，设计人员需要选择一个电流速率不小 ($I_{pri} + N_{ps1} \times I_{sec1} + N_{ps2} \times I_{sec2} + \dots + N_{psn} \times I_{secn}$) 的器件， N_{psn} 代表匝数比。
- 大多数降压转换器器件都有正负峰值电流限值。检查 Fly-Buck™ 转换器的正负 $i_{pri_{pk}}$ ，以免达到器件的峰值电流限值。
- 隔离式输出可能需要少量的预载，以防止输出电压在轻负载条件下上升过高。预载量在一定程度上取决于泄漏、频率和流经绕组的电流。通常，预载电阻器的量级为 $1k\Omega$ 至 $10k\Omega$ 。也可以使用基于齐纳二极管的钳位而非预载电阻器，这样可以避免负载条件下预载电路中的功率损耗。
- 经验法则是保持占空比 $D_{max} < 0.5$ ，因为较大的占空比可能会缩短将能量传输到次级侧的时间，这可能会导致次级侧的输出电压降低。但是，如果 D_{max} 必须大于 0.5，则监控 $V_{in_{min}}$ 和满载下的隔离式输出电压调节，并确保它能够满足设计要求 (更低的 L_{LK} 和更低的 f_{sw} 可能有助于实现更大的 D_{max} 上限)。
- 如果器件没有用于负过流保护的断续模式，请勿将次级输出长时间短接至地。

3.4 LMR38020 Fly-Buck 设计示例

图 3-2 展示了 LMR38020 Fly-Buck™ 的典型应用电路，具有一个非隔离式初级侧输出和双隔离式次级输出。

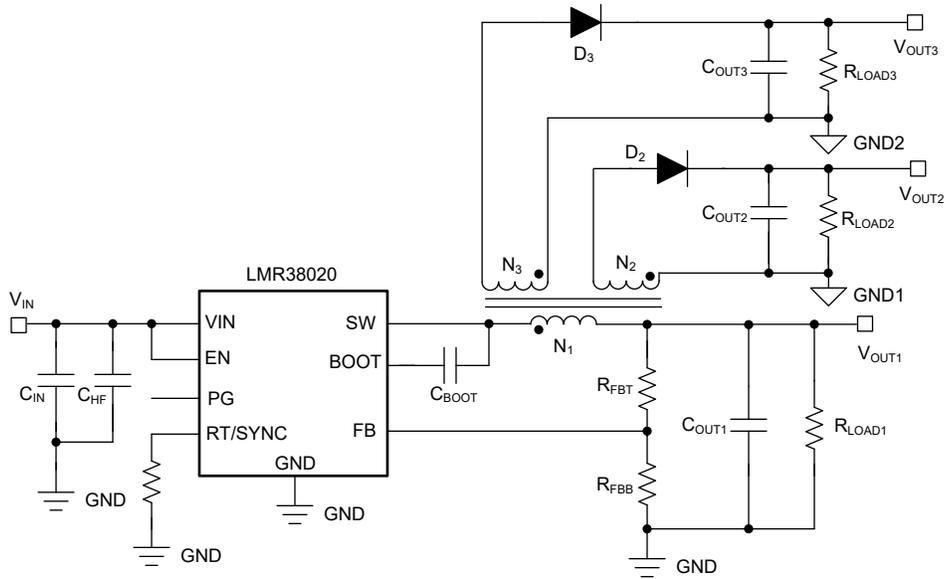


图 3-2. LMR38020 Fly-Buck 应用电路示例

参考表 1-1 中 7 瓦辅助电源示例的设计要求，表 3-2 中列出了用于微型逆变器应用的 LMR38020 Fly-Buck™ 的详细设计参数。本应用手册中未讨论详细设计过程，有关更多详细信息，请参阅 [使用 LMR38020 设计隔离式降压 \(Fly-Buck™\) 转换器](#)。

表 3-2. 详细设计参数

设计参数	示例值
输入电压范围 (V_{IN})	16V 至 60V
初级输出电压 (V_{OUT1})	12.6V
初级负载电流 (I_{OUT1})	0.4A
隔离式输出电压 (V_{OUT2})	12V
隔离式负载电流 (I_{OUT2})	0.1A
隔离式输出电压 (V_{OUT3})	12V
隔离式负载电流 (I_{OUT3})	0.1A
开关频率 (f_{sw})	250kHz

4 基准测试和结果

图 4-1 所示为微型逆变器的 LMR38020 Fly-Buck™ 应用原理图，图 4-2 所示为演示板顶视图。

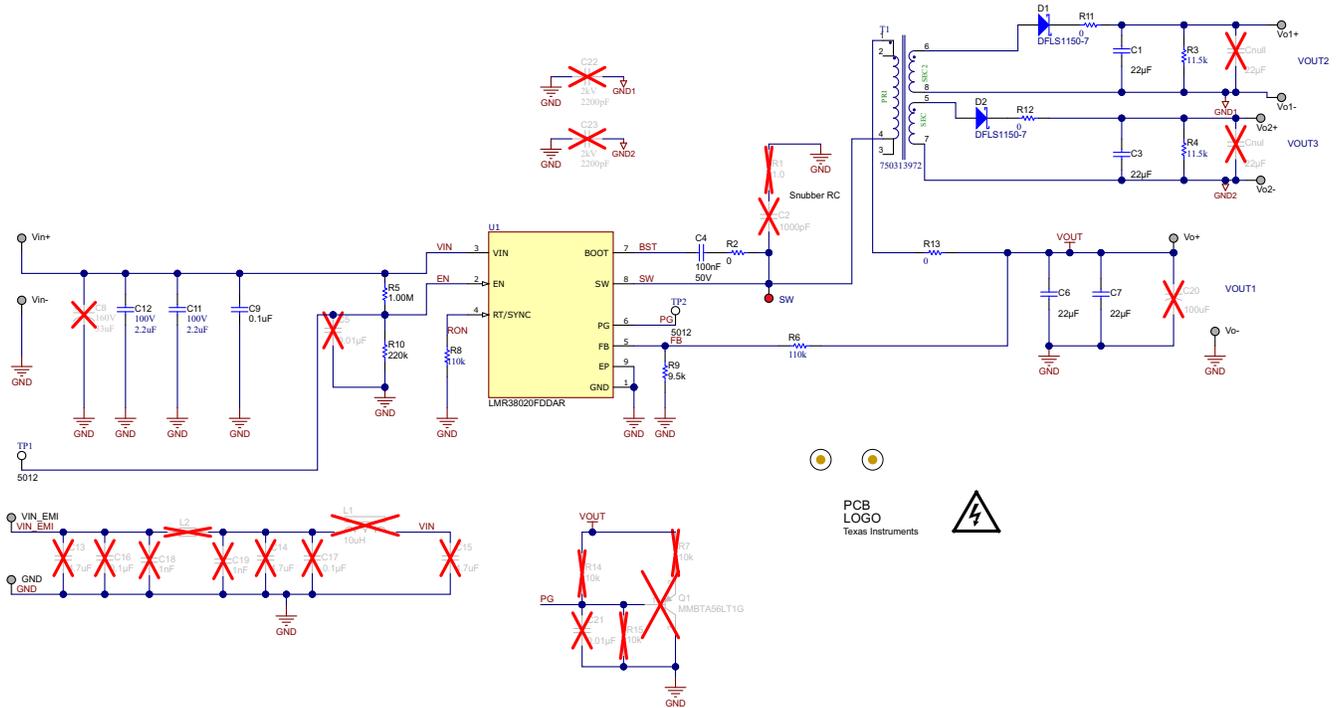


图 4-1. 微型逆变器的 LMR38020 Fly-Buck 应用原理图

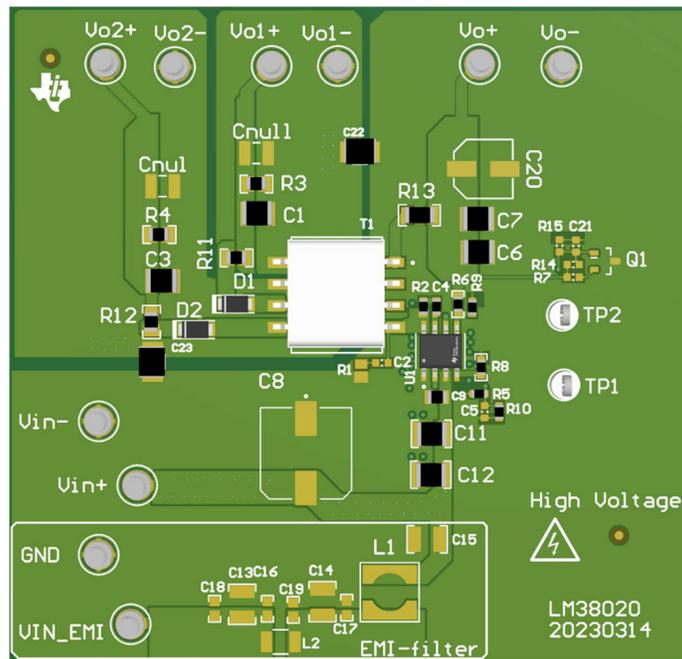


图 4-2. 微型逆变器的 LMR38020 Fly-Buck 演示板

该演示板几乎在整个线路和负载变化范围内进行了测试。简而言之，在 $V_{IN}=24V$ 和满载时效率最高可达 96%，如图 4-9 和图 4-10 所示。如图 4-11 和图 4-12 所示，初级 V_{out} 的调节容差约为 1%，次级 V_{out} 的调节容差小于 10%。

4.1 启动

典型启动行为显示了次级输出电压在软启动序列期间跟踪初级输出电压。

在 OCP 消隐时间 (数据表中规定为 18ms)，由于器件在此期间以 PFM 模式运行，因此次级输出电压会下降。较重的次级负载或较轻的初级负载会产生更大的压降。该过程是在初级侧添加少量预载，如节 3.3 中所示

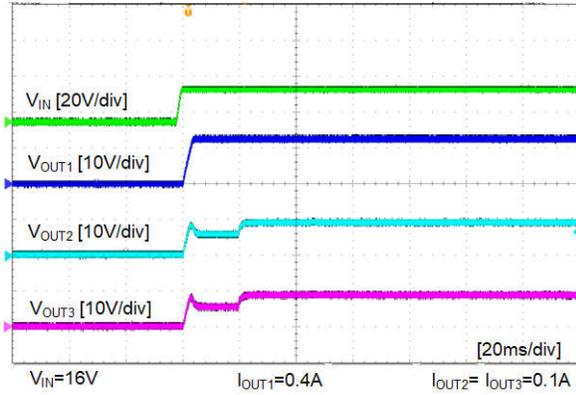


图 4-3. 启动，满载， $V_{IN}=16V$

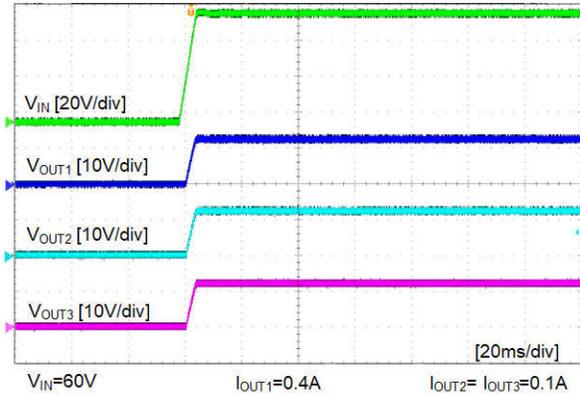


图 4-4. 启动，满载， $V_{IN}=60V$

4.2 稳态下的典型开关波形

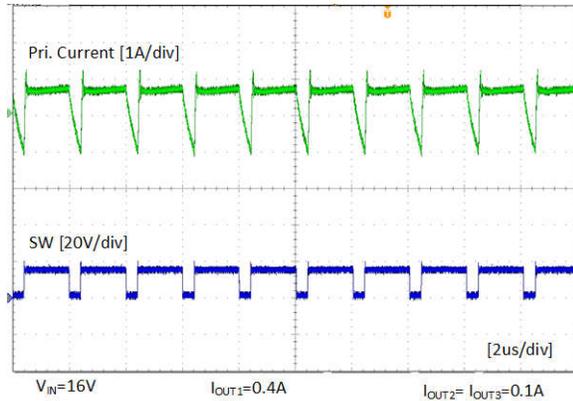


图 4-5. 当 $V_{IN} = 16V$ 、 $I_{OUT1} = 0.4A$ 、 $I_{OUT2} = I_{OUT3} = 0.1A$ 时稳态

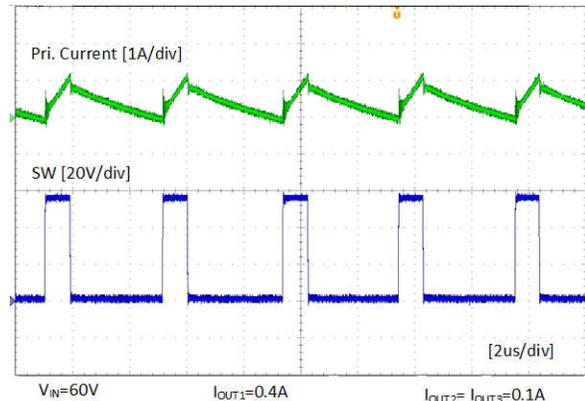


图 4-6. 当 $V_{IN} = 60V$ 、 $I_{OUT1} = 0.4A$ 、 $I_{OUT2} = I_{OUT3} = 0.1A$ 时稳态

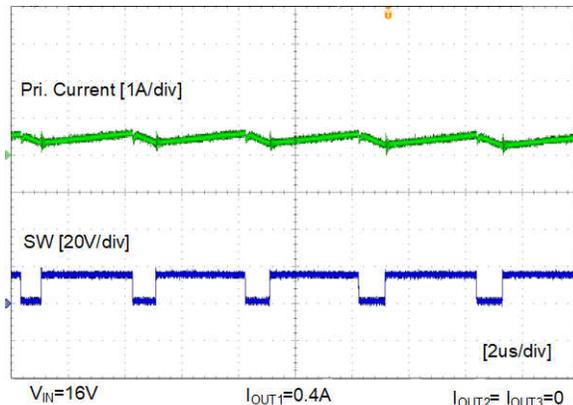


图 4-7. 当 $V_{IN} = 16V$ 、 $I_{OUT1} = 0.4A$ 、 $I_{OUT2} = I_{OUT3} = 0A$ 时稳态

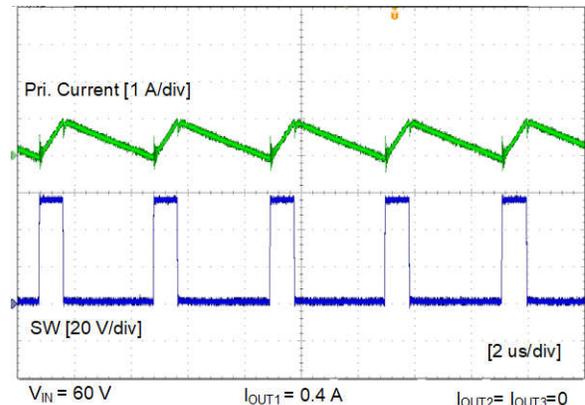


图 4-8. 当 $V_{IN} = 60V$ 、 $I_{OUT1} = 0.4A$ 、 $I_{OUT2} = I_{OUT3} = 0A$ 时稳态

图 4-7 中的 f_{sw} 高于典型工作中的值。这通常在 $V_{IN} = V_{IN_MIN}$ 且 $D > 0.5$ 时发生，此时 t_{off} 很小，初级电流将达到负峰值电流限值。LMR38020 关闭 LS 并开始一个新周期。在这种情况下，需要检查 $V_{IN} = V_{IN_MIN}$ 时的输出调节，以确保满足系统要求。在此应用下， $V_{OUT2} = V_{OUT3} = 10V$ 。

4.3 效率

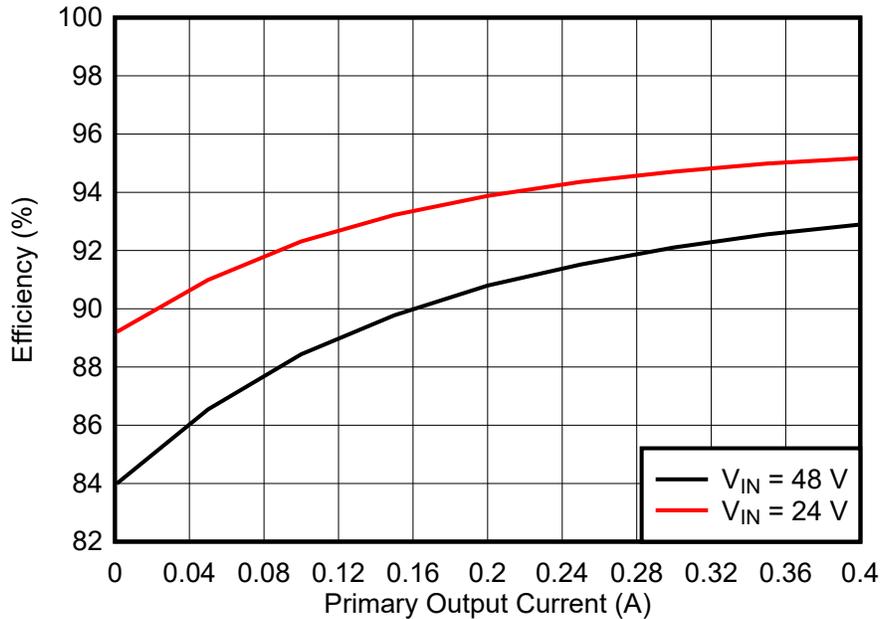


图 4-9. 效率 : $I_{OUT2} = I_{OUT3} = 0.1A$

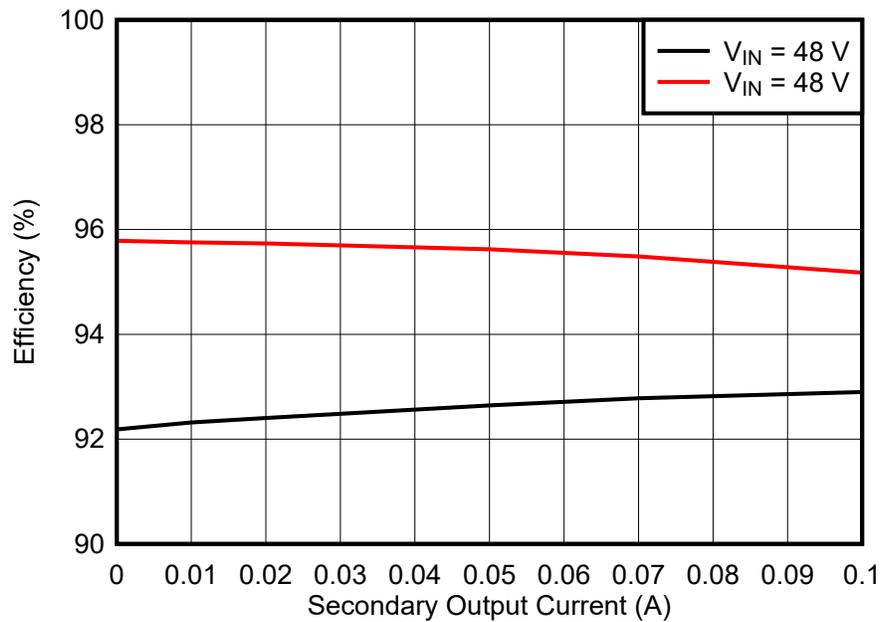


图 4-10. 效率 : $I_{OUT1} = 0.4A$

4.4 负载调节

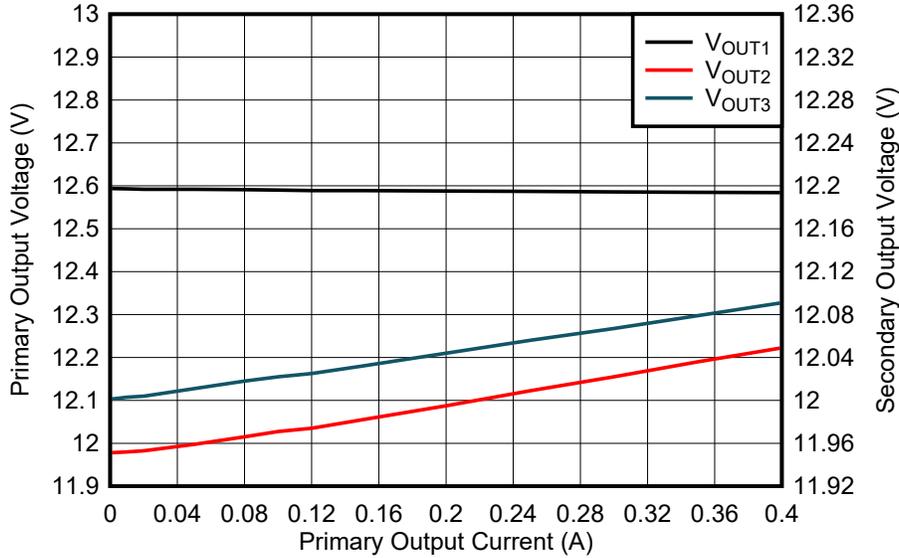


图 4-11. 负载调节与初级输出电流 : $V_{IN}=48V$

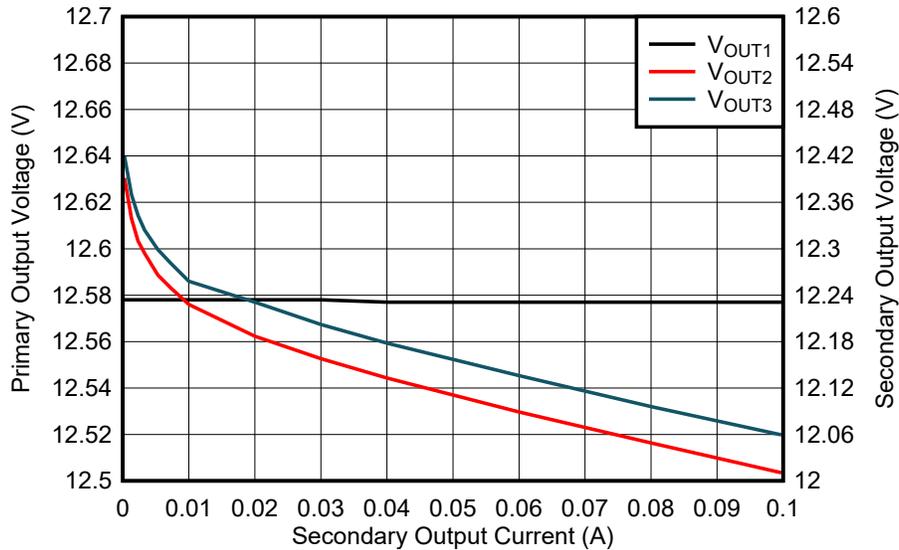


图 4-12. 负载调节与次级输出电流 : $V_{IN}=48V$

4.5 短路

如图 4-13 中所示的波形，当初级侧输出对地短路时，LMR38020 进入间断保护模式。当短路条件消除后，转换器自动恢复。

但是，当次级侧输出地短路时，器件不会关断或进入断续模式。由于负峰值电流保护模式（当达到 I_{L_NEG} 时开始新的周期），LMR38020 在非常高的 f_{sw} 下工作，电感器和器件可能很热。在正常运行期间需要避免这种情况，如节 3.3 中所示。

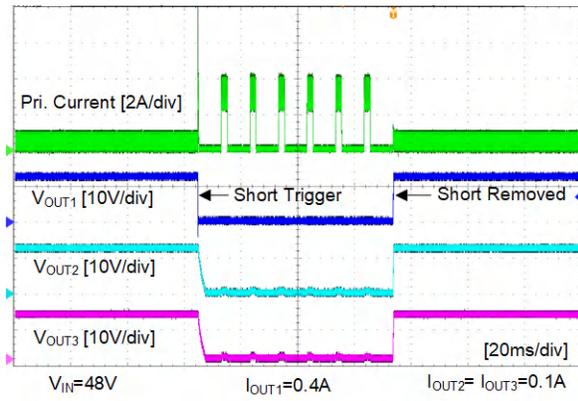


图 4-13. 短路 - 初级输出

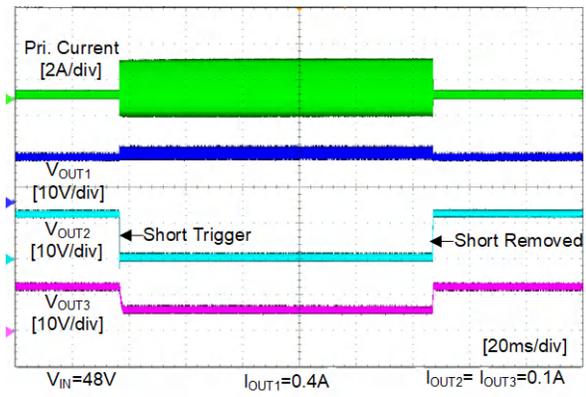


图 4-14. 短路 - 次级输出

4.6 热性能

图 4-15 是 $V_{IN} = 48V$ 、满载 (7.2 瓦) 时的热性能。 $T_a = 26^\circ C$ 。 $Trise < 15^\circ C$ 。

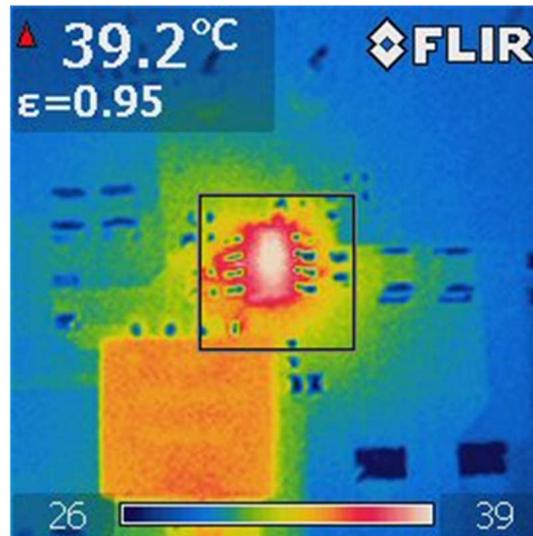


图 4-15. $V_{IN} = 48V$ 、满载时的热性能

5 总结

Fly-Buck™ 转换器是一种多用途的隔离式电源设计。该转换器为生成多个隔离式输出提供了一种简单且具有成本效益的方法。对于低功耗应用，它是替代经典反激式器件的理想选择。本应用手册提出了一种基于 LMR38020 Fly-Buck™ 的新辅助电源解决方案，该解决方案用于需要高电源转换效率、良好热性能、小尺寸和长寿命的微型逆变器应用的经典反激式设计。测试结果表明，该设计具有以下优势：易于设计、使用少量元件、成本低、变压器尺寸小以及效率、热性能和调节性能好。

6 参考文献

- 德州仪器 (TI), [LMR38020 具有 40 \$\mu A\$ IQ 的 SIMPLE SWITCHER® 4.2V 至 80V、2A 同步降压转换器](#) 数据表
- 德州仪器 (TI), [使用 LMR38020 设计隔离式降压 \(Fly-Buck™\) 转换器](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [UCC28600 8 引脚准谐振绿色环保模式反激式控制器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI), [具有初级侧调节 \(PSR\) 功能的高效离线 CV 和 CC 反激控制器](#) 数据表。
- Würth Elektronik, [光电耦合器的寿命](#)
- E2E, [PSR 和 SSR 在辅助电源设计上的区别](#)
- IEEE, [采用 Fly-Buck 转换器且适用于 IGBT 栅极驱动器的 IEEE 隔离式辅助电源](#)

重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司