

Gui He, Yang Wu, Daniel Li

## 摘要

Fly-Buck™ 转换器是一种多输出转换器拓扑，通过在初级侧使用同步降压转换器实现，可像在变压器次级侧的传统反激式转换器中一样产生额外的隔离式输出。由于它具有许多固有的优势，因而已广泛用于各种应用领域。

本文展示了一种具有成本效益的简单 Fly-Buck™ 解决方案，该解决方案采用德州仪器 (TI) 的 LMR38020 器件。同时介绍了工作原理和分步设计程序，以及实验结果和一些旨在优化设计的设计技巧。

## 内容

1 引言.....	2
2 Fly-Buck 转换器.....	2
3 Fly-Buck 基本操作.....	2
3.1 稳态运行的基本间隔.....	3
3.2 漏电感对 Fly-Buck 运行的影响.....	4
4 设计采用 LMR38020 的 Fly-Buck 转换器.....	4
4.1 IC 选择.....	6
4.2 所设置的开关频率.....	6
4.3 变压器设计.....	6
4.4 输出电容器选型.....	7
4.5 次级输出二极管.....	7
4.6 预载电阻器.....	7
5 基准测试结果.....	7
5.1 稳态下的典型开关波形.....	8
5.2 启动.....	9
5.3 效率.....	9
5.4 负载调整率.....	10
5.5 短路.....	11
5.6 热性能.....	11
6 设计注意事项.....	12
7 总结.....	12
8 参考文献.....	12

## 插图清单

图 2-1. 通用 Fly-Buck 转换器电路.....	2
图 3-1. Fly-Buck™ 稳态运行波形.....	3
图 3-2. 考虑寄生效应的 Fly-Buck 转换器电路.....	4
图 3-3. 受漏电感影响的电流波形.....	4
图 4-1. 采用 LMR38020 的 Fly-Buck 转换器.....	5
图 5-1. LMR38020 Fly-Buck 转换器原理图.....	8
图 5-2. LMR38020 Fly-Buck 演示板.....	8
图 5-3. 当 $V_{IN}=16V$ 、 $I_{OUT1}=0.4A$ 、 $I_{OUT2}=I_{OUT3}=0.1A$ 时的稳态.....	8
图 5-4. 当 $V_{IN}=60V$ 、 $I_{OUT1}=0.4A$ 、 $I_{OUT2}=I_{OUT3}=0.1A$ 时的稳态.....	8
图 5-5. 当 $V_{IN}=16V$ 、 $I_{OUT1}=0.4A$ 、 $I_{OUT2}=I_{OUT3}=0A$ 时的稳态.....	9
图 5-6. 当 $V_{IN}=60V$ 、 $I_{OUT1}=0.4A$ 、 $I_{OUT2}=I_{OUT3}=0A$ 时的稳态.....	9
图 5-7. 在 $V_{IN} = 16V$ 时启动，满载.....	9
图 5-8. 在 $V_{IN} = 60V$ 、满载时启动.....	9

图 5-9. 效率： $I_{OUT2}=I_{OUT3}=0.1A$ .....	10
图 5-10. 效率： $I_{OUT1}=0.4A$ .....	10
图 5-11. 负载调节与初级输出电流间的关系.....	10
图 5-12. 负载调节与次级输出电流间的关系.....	10
图 5-13. 初级输出端发生短路.....	11
图 5-14. 次级输出端发生短路.....	11
图 5-15. $V_{IN} = 48V$ 、满载时的热性能.....	11

## 表格清单

表 4-1. Fly-Buck 转换器设计参数.....	5
------------------------------	---

## 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

传统上，反激式转换器拓扑对于需要多个隔离式输出电压的应用一直是非常流行的解决方案。但是，反激式转换器设计必须使用光耦合器或辅助绕组作为输出调节的反馈电路。环路补偿变得很困难，有时甚至很棘手。而使用光耦合器不仅会增加解决方案成本，还会降低电路的可靠性。为了克服这些缺点，我们推出了 Fly-Buck™ 转换器拓扑，也称为隔离式降压。

Fly-Buck™ 转换器是工业自动化、通信电源、智能电表等领域中非常适合低功耗应用的选择之一。与传统反激式转换器相比，Fly-Buck™ 具有元件数量少、设计简单、效率高和瞬态响应良好的优点。

LMR38020 是一款采用 HSOIC-8 封装的 4.2V 至 80V、2A 同步降压转换器。其内部补偿可以节省外部元件并简化 IC 引脚排列，这使 LMR38020 非常适合 Fly-Buck™ 转换器应用。

本文通过对关键波形和设计公式进行分析，介绍了 Fly-Buck™ 转换器的基本工作原理。下文通过一个非隔离式输出和两个隔离式输出示例给出了分步设计过程。

## 2 Fly-Buck 转换器

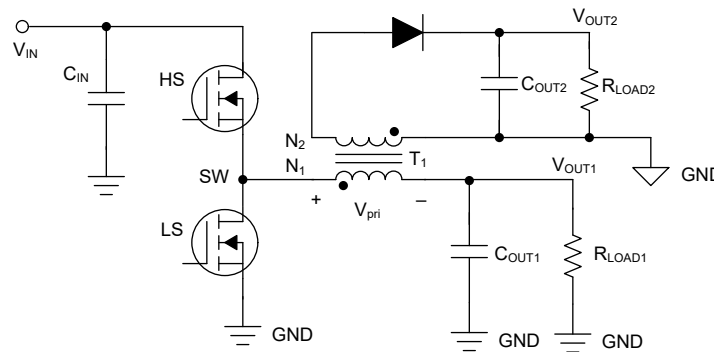


图 2-1. 通用 Fly-Buck 转换器电路

Fly-Buck™ 转换器基于标准降压转换器拓扑，其中常规电感器被耦合电感器或变压器取代，以便生成一个或多个隔离式次级输出。图 2-1 显示了具有一个非隔离式输出和一个隔离式输出的 Fly-Buck 转换器。通过耦合到变压器铁芯的更多次级绕组，可以轻松获得额外的隔离式输出。

基本上，闭环运行仍然是降压转换器，它调节初级输出电压。次级输出电压也可通过绕组耦合的交叉调节进行调节。

所以，Fly-Buck 转换器能够产生经严格稳压的初级输出电压，以及一个或多个隔离式输出，而无需光耦合器。这意味着设计 Fly-Buck™ 转换器会相对简单，与设计典型的降压转换器相似，只需进行少量调整即可。

## 3 Fly-Buck 基本操作

### 3.1 稳态运行的基本间隔

图 3-1 显示了 Fly-Buck™ 转换器的典型稳态波形，其中  $V_{pri}$  是耦合电感器两端的初级电压， $i_m$  是磁化电流， $i_m$  和  $i_{sec}$  是初级侧电流和次级侧电流。

Fly-Buck™ 转换器基本上有两种运行模式：TON 和 TOFF。

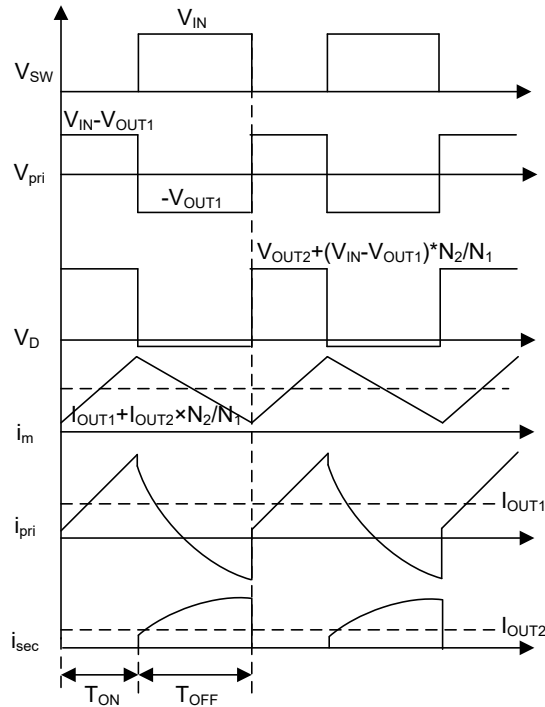


图 3-1. Fly-Buck™ 稳态运行波形

#### T<sub>ON</sub> 模式

当主开关 (HS) 导通时，该模式与传统同步降压转换器相同。低侧 (LS) 开关的电压应力为输入电压 ( $V_{IN}$ )。与在常规降压转换器中一样，磁化电感  $L_m$  由输入电压减去初级输出电压进行充电。二极管  $D_2$  根据绕组极性配置反向偏置，因而次级绕组电流保持为零， $D_2$  的电压应力为  $(N_2/N_1) \times (V_{IN} - V_{OUT1}) + V_{OUT2}$ 。隔离式输出电容器  $C_{OUT2}$  为负载电流供电。

#### T<sub>OFF</sub> 模式

在此模式下，LS 为 ON，HS 为 OFF。 $V_{pri}$  变为负值，正向偏置  $D_2$  以迫使次级电流流动，从而将耦合电感器中存储的部分能量传输到次级输出电容器  $C_{OUT2}$  和负载  $R_{Load2}$ 。

与降压转换器不同，由于向两个负载  $I_{OUT1}$  和  $I_{OUT2}$  提供电流，Fly-buck 中的  $i_{pri}$  会以更快的速率下降。

次级电流波形由负载、漏电感和输出电容决定。在一个开关周期结束时， $i_{pri}$  的电流方向（正或负）取决于包括  $I_{OUT2}$ 、 $I_{OUT1}$  的电流纹波在内的因素。

初级输出电压与降压转换器相同，可通过方程式 1 计算得出。

$$V_{OUT1} = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{FF}} V_{IN} = D \times V_{IN} \quad (1)$$

次级输出电压可由方程式 2 计算得出。

$$V_{OUT2} = V_{OUT1} \times \left( \frac{N_2}{N_1} \right) - V_F \quad (2)$$

其中

- $N_1$  和  $N_2$  是初级绕组和次级绕组的匝数
- $V_F$  是次级整流二极管的正向压降

### 3.2 漏电感对 Fly-Buck 运行的影响

在实际电路中，变压器具有漏电感和其他寄生电感或电容（如图 3-2 所示），这会影响次级电流波形。

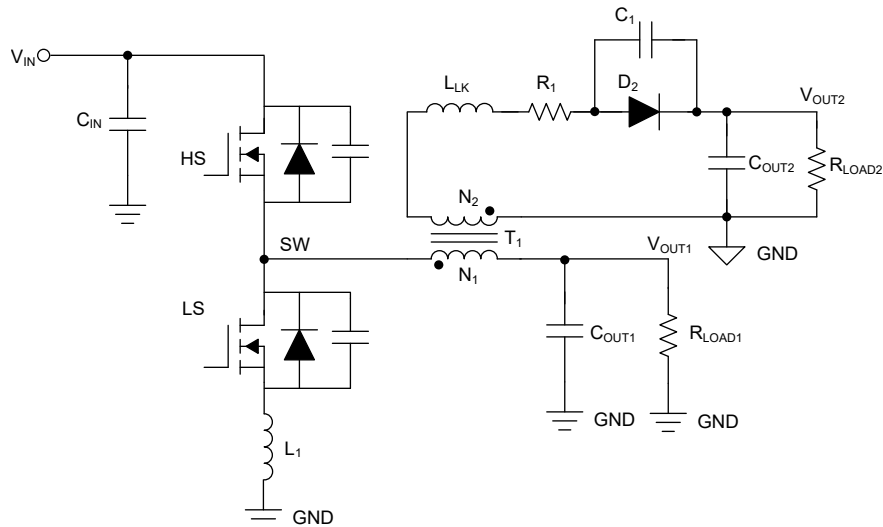


图 3-2. 考虑寄生效应的 Fly-Buck 转换器电路

图 3-3 展示了不同级别漏电感 ( $L_{LK}$ ) 下的典型电流波形。

当  $L_{LK}$  较低时， $i_{sec}$  会迅速斜升以便为  $C_{OUT2}$  充电。当  $L_{LK}$  增大时， $i_{sec}$  以线性方式上升，导致  $i_{pri}$  的负峰值电流增大。如果  $i_{pri}$  的负峰值电流达到器件的负电流限值，则 LS 将关断，对  $C_{OUT2}$  的充电将终止。因此，这将导致传输到输出的能量减少并产生较低的输出电压。

因此，漏电感应尽可能小，并且必须仔细选择最大占空比，以缓解这些问题。当次级输出没有负载时，LS 的导通可以迫使次级侧产生小电流，并且它将逐渐对  $C_{OUT2}$  充电。由于没有负载使  $C_{OUT2}$  放电，因此  $C_{OUT2}$  累积净电荷，这会显著提高  $V_{OUT2}$ 。为防止这种情况发生，必须向次级输出端添加一个预载，以帮助去除  $C_{OUT2}$  上的净电荷，从而将输出电压保持在设置点。

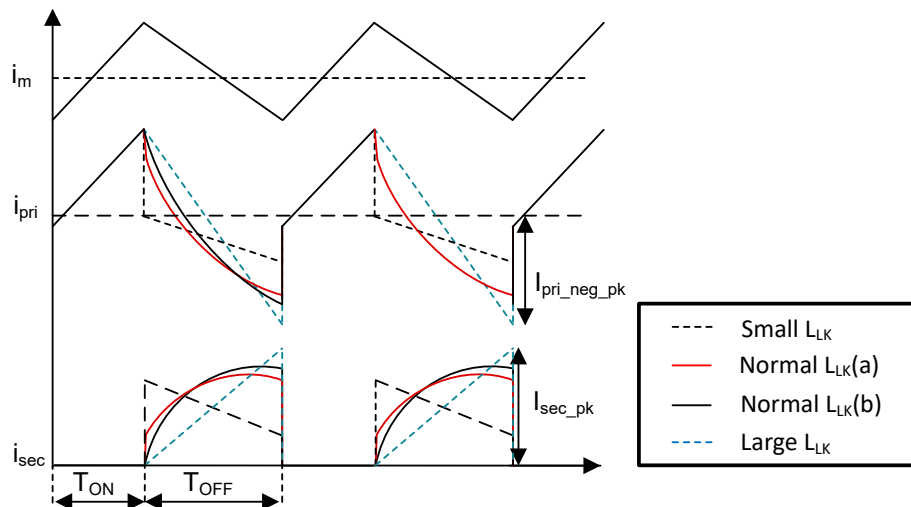


图 3-3. 受漏电感影响的电流波形

## 4 设计采用 LMR38020 的 Fly-Buck 转换器

图 4-1 显示了具有两个 12V 隔离式输出的 12V 输出 Fly-Buck™ 稳压器的原理图。

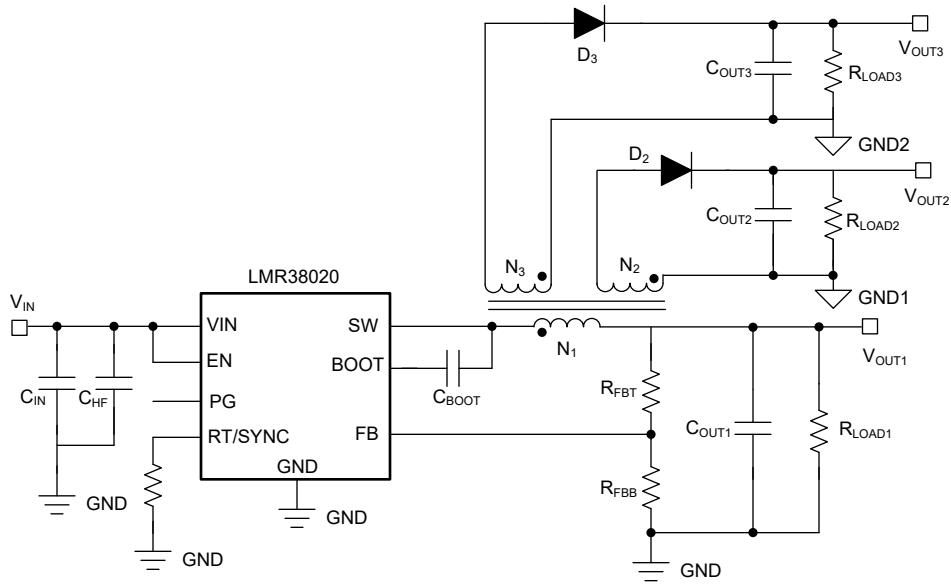


图 4-1. 采用 LMR38020 的 Fly-Buck 转换器

表 4-1. Fly-Buck 转换器设计参数

设计参数	示例值
输入电压范围 ( $V_{IN}$ )	16 V 至 60 V
初级输出电压 ( $V_{OUT1}$ )	12.6 V
初级负载电流 ( $I_{OUT1}$ )	0.4 A
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

## 4.1 IC 选择

为了实现 Fly-Buck™ 转换器，必须选择可提供强制脉宽调制 (FPWM) 的 IC，以确保器件可以处理负电感电流。在本例中，选择了 LMR38020FADDA，这是一款通过峰值电流模式控制来运行的 80V、2A 同步降压转换器。

## 4.2 所设置的开关频率

LMR38020 的开关频率 ( $f_{sw}$ ) 可通过位于 RT/SYNC 引脚和 GND 引脚之间的电阻 RT 进行编程。方程式 3 确定目标开关频率的  $R_T$  值。

$$R_T(k\Omega) = 30970 \times f_{sw}(kHz)^{-1.027} \quad (3)$$

当  $f_{sw}$  较高时，可选择较小尺寸的变压器。但是，当  $f_{sw}$  较高 (这意味着  $T_s$  较小) 时，如果 D 很大，则在较小  $t_{off}$  期间，可能没有足够的能量传输到隔离侧。

在本应用中，当  $V_{IN}=V_{INMIN}=16V$  时，考虑到  $D > 0.5$ ，应选择 250kHz。如果  $D_{max}$  不大于 0.5，则可以选择更高的  $f_{sw}$ 。

在 Fly-Buck 设计中，通常建议  $D_{MAX} < 0.5$ 。较大的占空比可能导致次级  $V_{out}$  低于设定点。最坏的情况发生在  $V_{IN} = V_{IN\_MIN}$ 、 $I_{OUT1} = 0$ 、 $I_{OUT2} = I_{OUT1\_MAX}$  时。有关此主题的详细讨论，请参阅本文[为 Fly-Buck™ 转换器选择正确的匝数比](#)。

## 4.3 变压器设计

Fly-Buck™ 变压器具有与反激式转换器<sup>[1]</sup> 相同的机制。因此，它们在设计上采用相同的原理。为了获得更佳性能，尽可能地减少变压器漏电感和寄生电容非常重要。反激式和 Fly-Buck 拓扑都容易受到这些寄生效应造成的振铃问题的影响。

### 4.3.1 匝数比

在此 Fly-Buck 设计示例中，需要使用绕组来产生一个初级输出电压和两个次级输出电压。

由于绕组耦合，三个输出之间建立了以下电压关系：

$$V_{OUT2} = V_{OUT1} \times \left(\frac{N_2}{N_1}\right) - V_F \quad (4)$$

$$V_{OUT3} = V_{OUT1} \times \left(\frac{N_3}{N_1}\right) - V_F \quad (5)$$

$V_F$  是  $D_2$  和  $D_3$  的二极管正向压降。根据此公式，假设两个二极管的正向压降  $V_f$  为 0.6V，则匝数比选择为 1:1:1。

### 4.3.2 励磁电感

$L_{PRI}$  的计算可以与根据所需初级纹波电流计算普通降压稳压器的电感相同。

通常，使用的纹波电流介于初级电流的 20% 至 40% 之间。方程式 6 确定了 Fly-Buck 转换器中的初级电流，而方程式 7 确定了所需的初级电感。

$$I_{PRI} = I_{OUT1} + I_{OUT2} \times \frac{N_2}{N_1} + I_{OUT3} \times \frac{N_3}{N_1} \quad (6)$$

$$L_{PRI} = \frac{(V_{IN} - V_{OUT1})}{K \times I_{PRI} \times f_{SW}} \times \frac{V_{OUT1}}{V_{IN}} \quad (7)$$

其中

$K$  = 纹波电流系数 = 20% 至 40%。

### 4.3.3 检查 $I_{pk}$

通过初级绕组的正负峰值均不得超过 LMR38020 的电流限制。

此峰峰值磁化电流纹波为：

$$\Delta i_m = \frac{(V_{IN} - V_{OUT1}) \times D}{L_{PRI} \times f_{SW}} \quad (8)$$

$I_{PRI}$  的正峰值电流由 [方程式 9](#) 计算得出：

$$I_{PRI\_PK\_POS} = (I_{OUT1} + I_{OUT2} \times \frac{N_2}{N_1} + I_{OUT3} \times \frac{N_3}{N_1}) + \left(\frac{\Delta i_m}{2}\right) \quad (9)$$

$I_{PRI}$  的负峰值电流取决于不同的漏电感和寄生参数，很难找到明确的表达式。通常，可以使用经验和保守的线性近似，其中次级电流表示为线性函数，并在  $T_{off}$  时间开始时从零开始上升<sup>[1]</sup>。

$$I_{PRI\_PK\_NEG} = I_{OUT1} - \left(\frac{\Delta i_m}{2}\right) - (I_{OUT2} \times \frac{N_2}{N_1} + I_{OUT3} \times \frac{N_3}{N_1}) \times \frac{(1+D)}{(1-D)} \quad (10)$$

这样，就可以简单地估算最坏情况下的负峰值电流。然而，保守估计可能会导致对变压器进行不必要的过度设计。事实上，次级电流通常是一条凸曲线，如 [图 3-3](#) 所示，因此，实际  $I_{PRI\_PK\_NEG}$  事实上小于计算值。

当漏电感非常大时，以及当  $I_{OUT1}=0$ 、 $V_{IN}=V_{INMIN}$  时，[方程式 10](#) 更接近实际情况。

## 4.4 输出电容器选型

### 4.4.1 初级输出电容器

与在常规降压转换器中一样，Fly-Buck 初级输出电容器  $C_{OUT1}$  必须满足 [方程式 11](#) 的要求。在 Fly-Buck™ 中，反射的次级绕组电流与初级绕组电流相加，而导致出现  $C_{OUT1}$  必须满足 [方程式 12](#) 的条件。

$$C_{OUT1} > \frac{\Delta i_m}{8 \times f_{SW} \times \Delta V_{OUT1}} \quad (11)$$

$$C_{OUT1} > \frac{\left(I_{OUT2} \times \frac{N_2}{N_1} + I_{OUT3} \times \frac{N_3}{N_1}\right) \times T_{ON(max)}}{\Delta V_{OUT1}} \quad (12)$$

可以使用更多的输出电容来改善负载瞬态响应。可通过实验轻松实现在整个线路和负载范围内优化输出电容器。

### 4.4.2 次级输出电容器

次级输出电流 ( $I_{OUT2}$ ) 由  $C_{OUT2}$  在导通时间  $T_{ON}$  期间内提供。可以使用 [方程式 13](#) 来计算次级输出电容器纹波电压。类似的条件适用于该设计示例的另一个次级输出的  $C_{OUT3}$ 。

$$C_{OUT2} > \frac{I_{OUT2} \times T_{ON(max)}}{\Delta V_{OUT2}} \quad (13)$$

## 4.5 次级输出二极管

次级输出二极管必须阻止反射到变压器次级侧的最大输入电压。选择一个额定电压符合 [方程式 14](#) 的二极管。此二极管的额定电流必须大于次级输出电流。肖特基二极管是更佳的选择。也可以使用超快恢复二极管。还务必要考虑该二极管的正向压降，因为它会限制最大次级输出电压。

$$V_R > 1.3 \times \left(V_{IN} \times \frac{N_2}{N_1} + V_{OUT2}\right) \quad (14)$$

## 4.6 预载电阻器

次级输出端必须始终连接预载，以防止在空载条件下输出电压上升过高。在此示例中，使用 10kΩ 电阻器作为次级输出端的预载。另一种选择是使用齐纳二极管来钳制次级输出电压。

## 5 基准测试结果

[图 5-1](#) 显示了 LMR38020 Fly-Buck™ 转换器原理图。[图 5-2](#) 是 PCB 的顶视图。

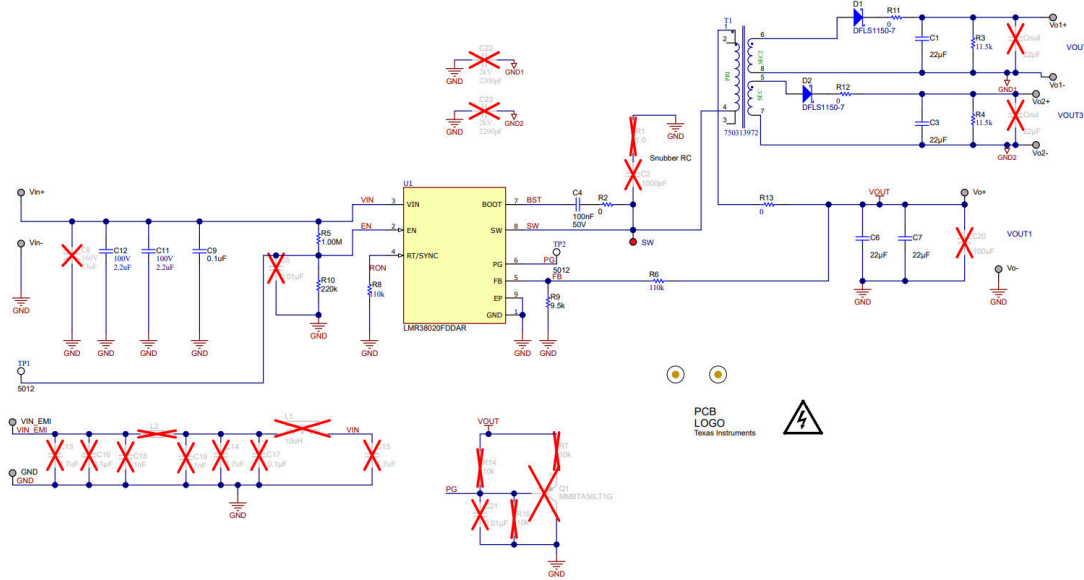


图 5-1. LMR38020 Fly-Buck 转换器原理图

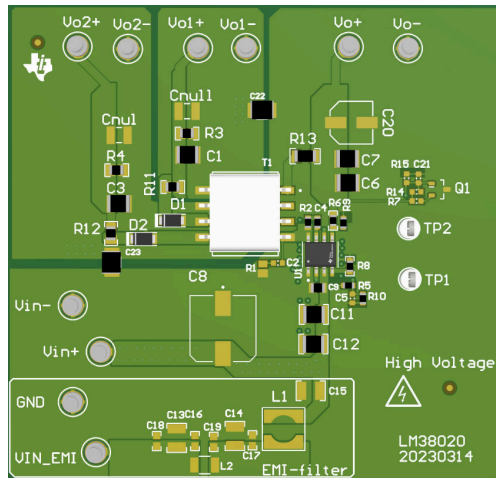


图 5-2. LMR38020 Fly-Buck 演示板

### 5.1 稳态下的典型开关波形

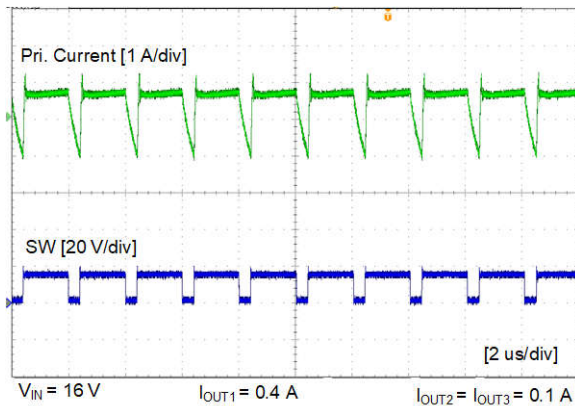


图 5-3. 当  $V_{IN}=16V$ 、 $I_{OUT1}=0.4A$ 、 $I_{OUT2}=I_{OUT3}=0.1A$  时的稳态

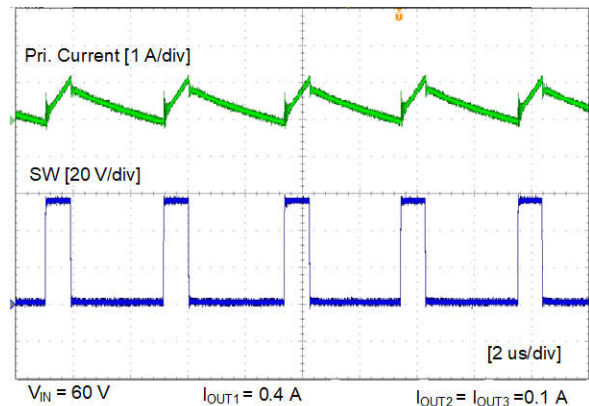


图 5-4. 当  $V_{IN}=60V$ 、 $I_{OUT1}=0.4A$ 、 $I_{OUT2}=I_{OUT3}=0.1A$  时的稳态



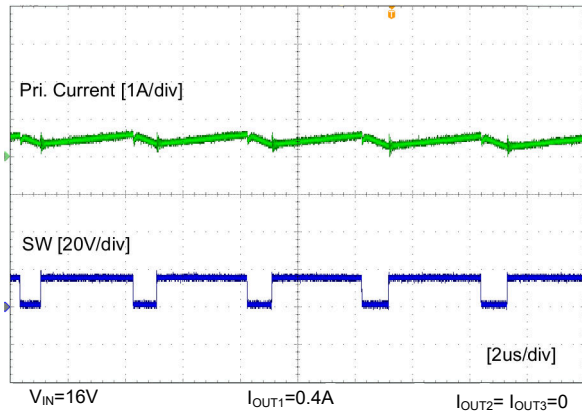


图 5-5. 当  $V_{IN}=16V$ 、 $I_{OUT1}=0.4A$ 、 $I_{OUT2}=I_{OUT3}=0A$  时的稳态

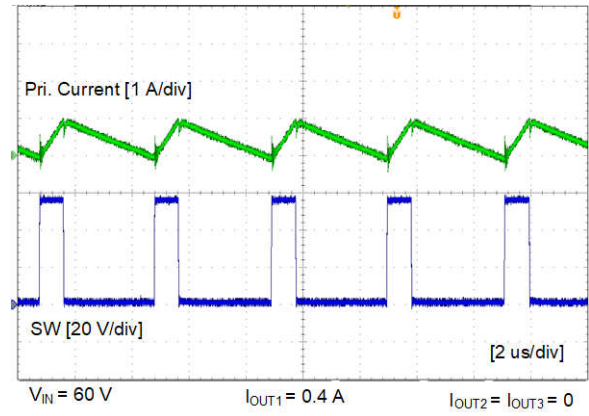


图 5-6. 当  $V_{IN}=60V$ 、 $I_{OUT1}=0.4A$ 、 $I_{OUT2}=I_{OUT3}=0A$  时的稳态

在图 5-5 中，开关频率  $f_{sw}$  变为更高。这种情况通常发生在  $V_{IN}=V_{IN\_MIN}$  和  $D>0.5$  时， $t_{off}$  变小，因此初级电流达到负峰值电流限制。所以，LMR38020 关断 LS 并在较早的时间开始新的周期，从而导致开关频率增加。

## 5.2 启动

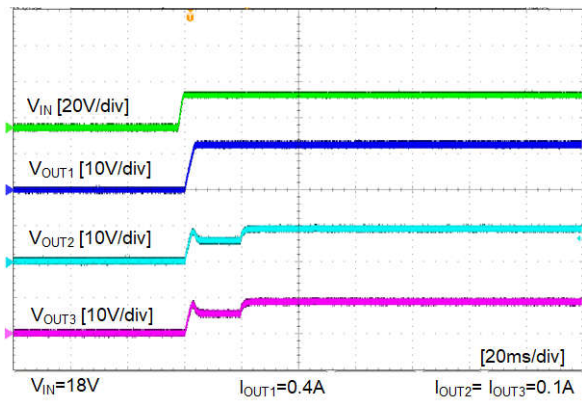


图 5-7. 在  $V_{IN} = 16V$  时启动，满载

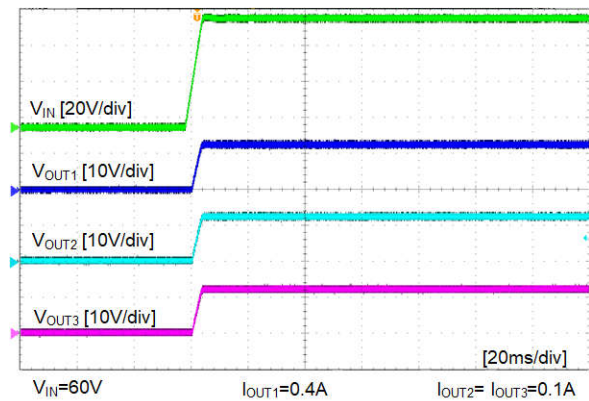


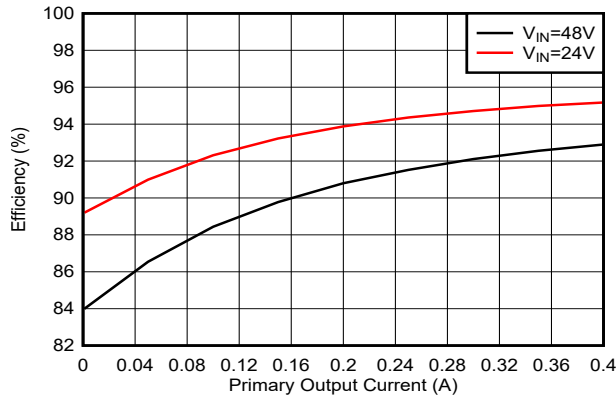
图 5-8. 在  $V_{IN} = 60V$ 、满载时启动

图 5-7 和图 5-8 显示了典型的启动行为。在软启动序列期间，次级输出电压跟踪初级输出电压。

启动期间约 18ms 的次级压降可以通过 IC OCP 消隐时间来解释（请参阅数据表）。在此期间，次级负载越重，初级负载越轻，而这会产生更多的次级压降。在初级侧添加少量的预载有助于减少启动期间的次级压降。

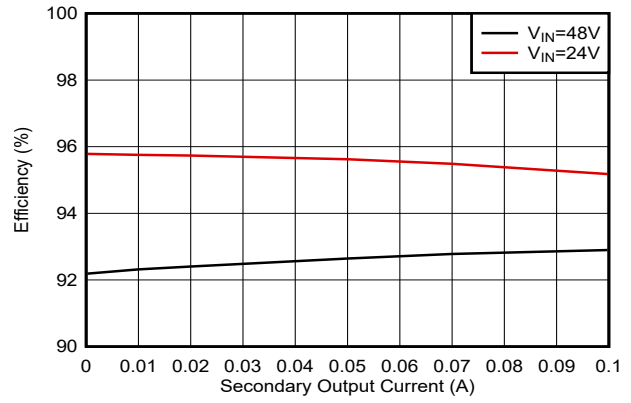
## 5.3 效率

$V_{IN}=24V$  和  $V_{IN}=48V$  时的效率与负载条件间的关系如图 5-9 和图 5-10 所示。



$I_{OUT2}=I_{OUT3}=0.1A$

图 5-9. 效率 :  $I_{OUT2}=I_{OUT3}=0.1A$



$I_{OUT1}=0.4A$

图 5-10. 效率 :  $I_{OUT1}=0.4A$

## 5.4 负载调整率

负载调节如图 5-11 和图 5-12 所示，在整个负载范围内，初级  $V_{out}$  的调节容差可达到 1%，次级  $V_{out}$  可达到 <10%。在次级输出端添加一些预载可以改善负载调节性能。

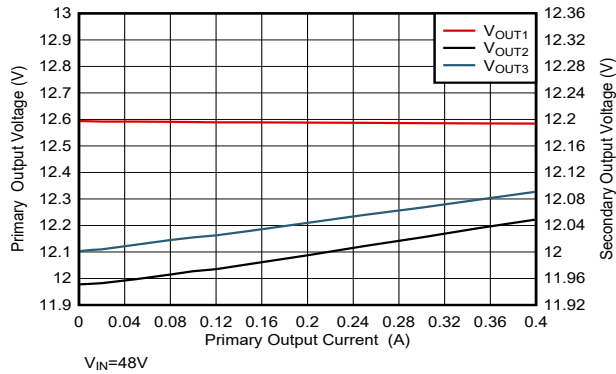


图 5-11. 负载调节与初级输出电流间的关系

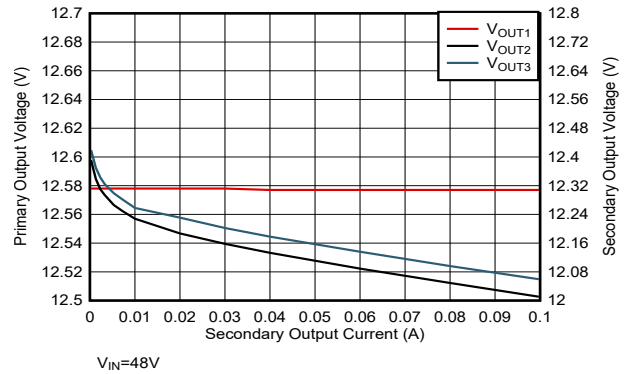


图 5-12. 负载调节与次级输出电流间的关系

## 5.5 短路

当初级侧输出短路时，LMR38020 进入断续保护模式，如图 5-13 所示。一旦消除了短路情况，转换器就会自动恢复。

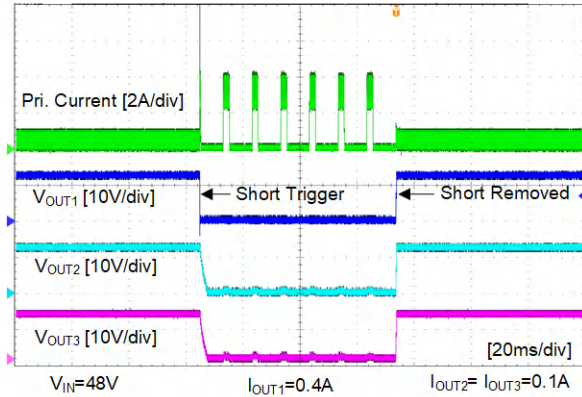


图 5-13. 初级输出端发生短路

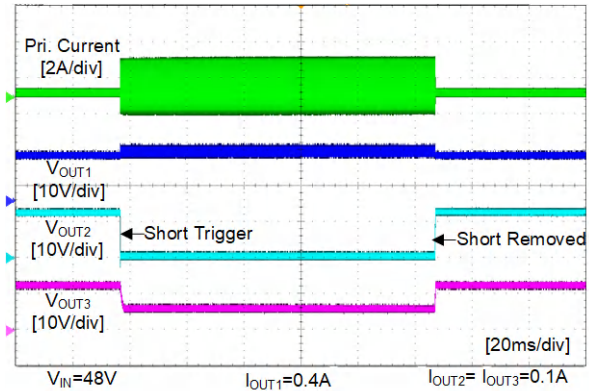


图 5-14. 次级输出端发生短路

## 5.6 热性能

图 5-15 是示例 Fly-Buck PCB 板在  $V_{IN}=48V$  和满载 (7.2W) 下的热图像。环境温度  $T_a$  为  $26^{\circ}C$ 。最高温升  $T_{rise}$  为  $<15^{\circ}C$ 。

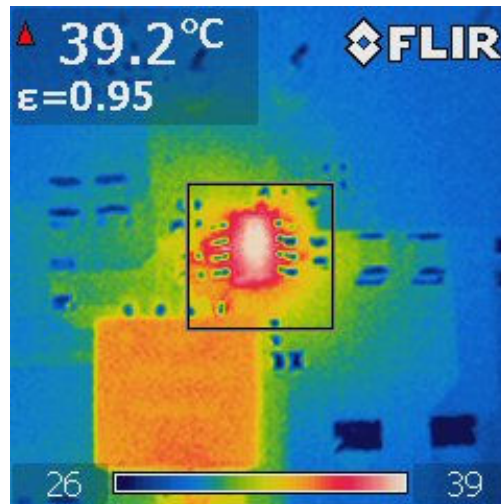


图 5-15.  $V_{IN} = 48V$ 、满载时的热性能

## 6 设计注意事项

以下是有关选择合适的 IC 以及设计 Fly-Buck™ 转换器的一些提示。

- 需要选择可提供强制脉宽调制 (FPWM) 的 IC，并确保器件可以处理负电感器电流。LMR38020FADDA 就是一个不错的示例。
- 为了设计 (1+n) 输出 Fly-Buck 转换器，其中 n 是次级输出的数量，设计人员需要选择其等效额定负载电流不小于  $(i_{pri} + N_{ps1} * I_{sec1} + N_{ps2} * I_{sec2} + \dots + N_{psn} * I_{secn})$  的降压转换器 IC，其中  $N_{psn}$  是匝数比。
- 确保 Fly-Buck 设计的  $i_{pri\_pk}$  均不超过 IC 的正或负峰值电流限值。
- 次级输出可能需要少量的预载，以防止输出电压在该输出端空载时上升过高。通常，预载电阻器的大小为  $1k\Omega - 10k\Omega$ 。也可以使用基于齐纳二极管的钳位而非预载电阻器。这样就避免了正常运行时齐纳二极管的功率损耗。
- 对于  $D_{max} < 0.5$  ( $V_{INMIN} > 2 * V_{pri}$ )，优先选择初级输出电压  $V_{pri}$ 。如果  $D_{max} > 0.5$ ，请注意检查  $V_{INMIN}$  下的隔离式输出电压调节，并确保其符合设计要求。（请注意，较低的  $L_{LK}$  和较低的  $f_{sw}$  有助于实现更大的占空比）。
- 如果器件没有用于负过流保护的断续模式，请勿将次级  $V_{OUT}$  长时间短接至地。

## 7 总结

LMR38020 降压转换器可以轻松地配置为实现简单且具有成本效益的 Fly-Buck™ 转换器，以生成一个或多个隔离式次级输出。LMR38020 Fly-Buck™ 转换器具有调节精度高、效率高、器件数量少、解决方案尺寸小和成本低等优点。

## 8 参考文献

- 德州仪器 (TI)，[使用 TPS54308 设计简单的低成本 Flybuck 转换器解决方案](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[使用 LMR36520 设计隔离式降压 \(Fly-Buck™\) 转换器](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[LMR38020 具有 40  \$\mu A\$  IQ 的 SIMPLE SWITCHER® 4.2V 至 80V、2A 同步电源转换器](#) 数据表。
- 德州仪器 (TI)，[为 Fly-Buck™ 转换器选择正确的匝数比](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[使用 Fly-Buck 转换器设计隔离式动态轨](#) 应用手册。

## 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