

## TI 参考设计

# 适用于三相逆变器的宽输入隔离式 IGBT 栅极驱动 Fly-Buck™ 电源



### TI 参考设计

TI 参考设计为您提供所需的原理、测试和设计文件，以便您快速评估和定制系统。TI 参考设计可帮助您缩短产品上市时间。

### 设计资源

[TIDA-00199](#)

[LM5160](#)

[ISO5500EVM](#)

[C2000 Piccolo](#)

[LaunchPAD™](#)

设计页面

产品文件夹

工具文件夹

工具文件夹



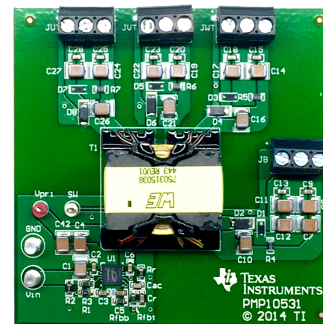
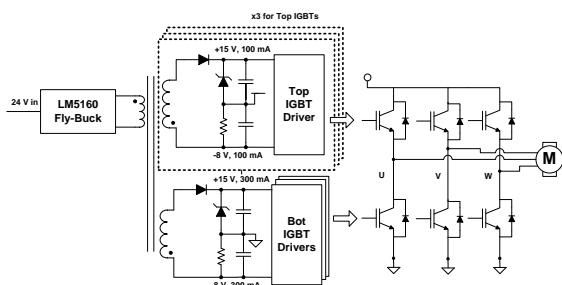
请咨询我们的 E2E 专家  
[WEBENCH® 计算器工具](#)

### 设计特性

- 适用于绝缘栅双极型晶体管 (IGBT) 栅极驱动的隔离式电源
- 支持六个适用于 3 相逆变器（每个桥臂采用半桥配置）的 IGBT 栅极驱动器
- 三相逆变器每个 IGBT 的正负低纹波 (< 200mV) 偏置输出：15V 和 -8V
- 输入电压范围 24V  $\pm$ 20%
- Fly-Buck 拓扑提供了带一次侧稳压功能且易于设计的多输出隔离式电源解决方案
- 输出功率：每个 IGBT 2.3W
- 平衡满载峰值效率达 82%
- 输出电容器额定支持高达 6A 的峰值栅极驱动电流
- 此项参考设计已通过验证，验证时利用 TI 隔离式栅极驱动器 ISO5500 驱动 IGBT

### 特色应用

- 交流和直流变速驱动器
- 工业逆变器和太阳能逆变器
- 不间断电源 (UPS) 系统
- 伺服驱动器
- 基于 IGBT 的高压 DC (HVDC) 系统



该 TI 参考设计末尾的重要声明表述了授权使用、知识产权问题和其他重要的免责声明和信息。

All trademarks are the property of their respective owners.

## 1 系统描述

TIDA-00199 参考设计为绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 栅极驱动器提供所需的正负电压轨。在变频驱动器的三相逆变器中, IGBT 用于控制交流电机的转速。此参考设计采用 Fly-Buck 拓扑, 额定输入工作电压为非稳压 24V DC。Fly-Buck 转换器电路可视为一次侧降压转换器与类似反激转换器的二次侧的组合。隔离式输出通过变压器的耦合绕组生成。Fly-Buck 具有一次侧稳压功能, 无需光电耦合器反馈或辅助绕组即可获得良好的交叉稳压效果。此参考设计通过宽输入恒定导通时间 (COT) 同步降压稳压器 LM5160 实现。此参考设计可在松散稳压的 24V DC 输入下工作, 并产生四对 15V 和 -8V 输出, 适合为六个 IGBT 栅极驱动器供电。

此参考设计由单个变压器产生用于三相逆变器全部三个桥臂的电源轨。所有顶部 IGBT 的电压轨彼此隔离, 而所有底部 IGBT 的电压轨则组合在一起。

三相逆变器相当于变频驱动器, 可控制交流电机的速度, 适合 HVDC 功率传输等大功率应用场合。图 1 所示为使用六个隔离栅极驱动器的三相逆变器的典型应用。请注意, 每一相均使用高侧和低侧 IGBT 开关, 以便在交替模式下将正负高压直流脉冲施加于电机线圈。高功率 IGBT 的运行需要由隔离栅极驱动器进行控制。每个 IGBT 由单一隔离栅极驱动器进行驱动, 驱动器将高压输出与低压控制输入加以电流隔离。顶部 IGBT 的发射极浮动, 因而必须使用隔离栅极驱动器。为将高压电路与低压控制电路隔离, 应使用隔离栅极驱动器来控制底部 IGBT。

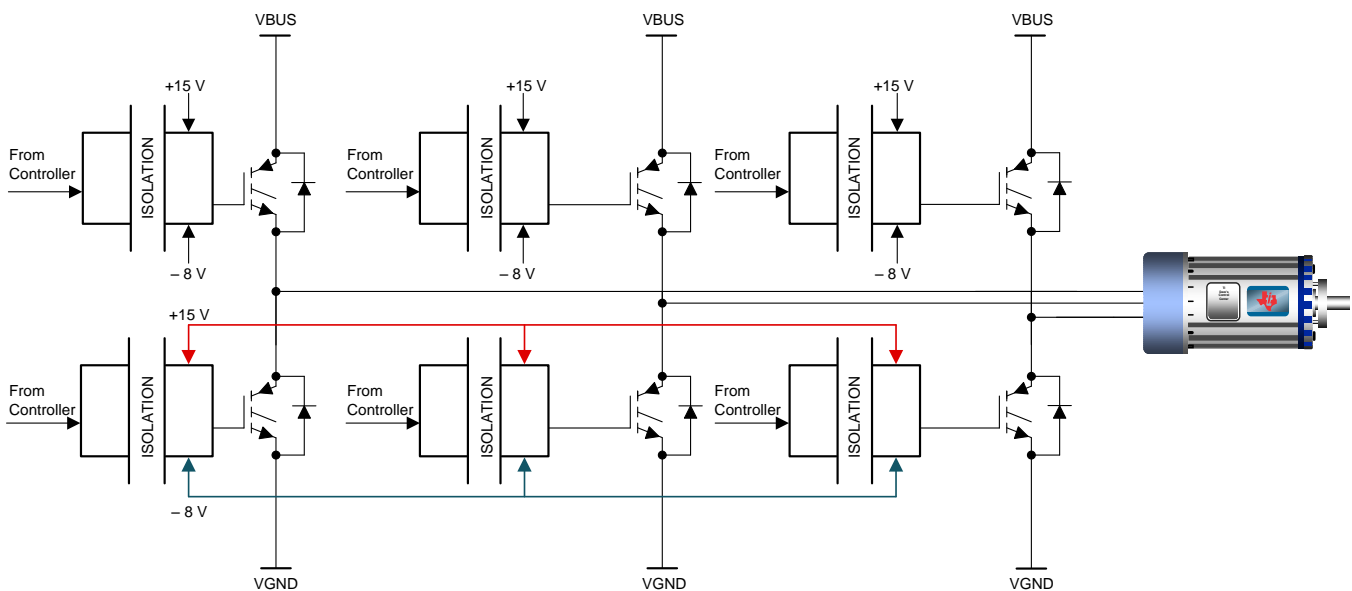


图 1. 采用隔离栅极驱动的 3 相逆变器

### 1.1 栅极驱动电源要求

为降低导通损耗, IGBT 栅极的供电电压应比实际栅极阈值电压高出许多。通常, 需在栅极施加 15V 至 18V 的电压, 以降低  $V_{CE(on)}$ 。

IGBT 是具有高输入阻抗及高双极载流能力的少数载流子器件。IGBT 的开关特性与功率 MOSFET 的开关特性非常相似。假设在完全相同的条件下, 当 IGBT 和 MOSFET 均导通且具有相似的流升与压降时间时, 两者功能完全相同。但两者在关断状态下具有不同的开关电流波形。

开关事件结束时, IGBT 会有尾电流, 而 MOSFET 则没有。尾电流由陷入 IGBT 双极输出部分基极的少数载流子引起, 这会导致器件保持导通状态。与双极晶体管不同, 由于不存在与基极的外部连接, 因而无法通过提取这些载流子来提高开关速度; 因此器件将保持导通状态, 直到载流子复合。

尾电流增加了关断损耗，而且需要增加半桥电路中两个器件导通点之间的死区时间。为缩短关断时间，可在栅极施加负电压（-5V 至 -10V）。

IGBT 处于导通状态时，由于栅极与发射极之间存在高  $dv/dt$  和寄生电容，因而在栅极引脚处会产生一些电压尖峰。电压尖峰可能触发底部 IGBT 的虚假导通。栅极的负电压有助于避免触发虚假导通。

确定驱动 IGBT 所需的功耗非常重要。公式 1 中详细说明了如何为不同额定功率的变速驱动器计算栅极驱动功率要求。

如上文所述，隔离栅极驱动器用于导通和关断 IGBT。在这一过程中，驱动器 IC、IGBT 栅极以及栅极驱动路径中的所有 RC 电路均有功耗。请参考图 2。

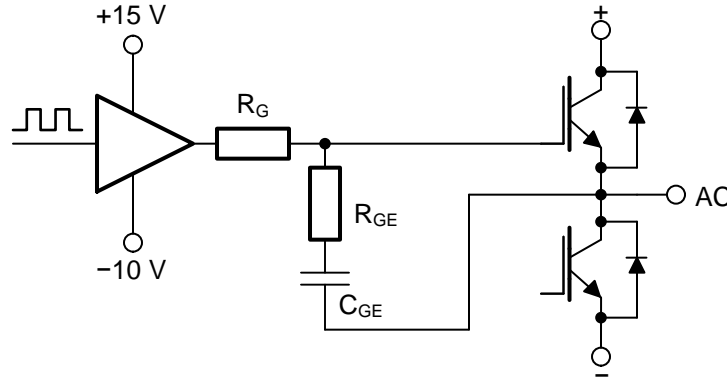


图 2. 栅极功率计算中所用的带栅极驱动电路的 IGBT

公式 1 用于计算总栅极功耗：

$$P_{\text{gate}} = P_{\text{driver}} + (Q_{\text{gate}} \times f_{\text{sw}} \times \Delta V_{\text{gate}}) + (C_{\text{ge}} \times f_{\text{sw}} \times \Delta V_{\text{gate}}^2) \quad (1)$$

其中

- $Q_{\text{gate}}$  = 总栅极电荷。
- $F_{\text{sw}}$  = 开关频率。
- $\Delta V_{\text{gate}}$  = 栅极驱动器输出电压摆幅。
- $C_{\text{ge}}$  = 外部栅极到发射极电容。
- $P_{\text{driver}}$  = 栅极驱动器总功耗。

请注意，公式 1 中的第二项代表 IGBT 栅极电容的功率要求，第三项则表示另一个外部电容（如图 2 所示）的功率要求。

考虑以下示例：

- 某个 IGBT 模块的各项参数为：1200V、200A（适用于 < 100kW 的器件）、 $Q_{\text{gate}} = 1.65 \mu\text{C}$
- 开关频率为 16kHz，位于典型高功率驱动器的高侧
- 栅极电压摆动范围为 -15V 至 +15V（这些值均为最差情况下的值，IGBT 通常使用 15V 和 -5V/-8V 电压驱动）
- $C_{\text{ge}} = 20 \text{ nF}$ （典型值介于 1nF 和 20nF 之间）
- $P_{\text{driver}} =$  约 600mW（使用隔离 IGBT 栅极驱动器的典型数据表估算所得）

使用上述值：

$$P_{\text{gate}} = 0.6\text{W} + 0.792\text{W} + 0.288\text{W} = 1.68\text{W} \quad (2)$$

考虑降额，公式 2 中的功率必须向上舍入为 2W/IGBT。

## 2 设计特性

此参考设计的主要目的是提供一种能在非稳压输入电源下工作的隔离电源。此参考设计提供四组隔离的 (15 V, -8 V) 偏置电压。此电路板设计用于为三相配置中的六个 IGBT 提供驱动器偏置电源：为三个顶部 IGBT 提供三组输出，输出电流为 100mA，并为所有底部 IGBT 提供一组 300mA 输出。每组正负输出均由齐纳二极管的分压电路和来自单个变压器绕组的电阻生成，输出电压为 23V。利用分压电路，可以最大限度减小变压器的尺寸和引脚数，获得紧凑的解决方案尺寸 (62 x 62mm)。受齐纳二极管钳制的正电源轨稳压容差很小，可确保 IGBT 快速导通。负电源轨则使栅极-发射极电压保持负电势，确保 IGBT 安全关断。负电源轨可防止高功率电机驱动中的高电压电流摆幅引起虚假导通。此项设计采用配置为 Fly-Buck 稳压器的 LM5160 同步降压转换器。一次侧稳压的优势使该电源可以在不使用光耦合器和其他变压器绕组的情况下获得稳压输出。LM5160 器件集成有高侧和低侧 MOSFET，具有 4.5V 至 65V 的宽  $V_{IN}$  范围及 1.5A 的输出电流能力。此设计可在松散稳压的输入电压下工作，并已在 20V 至 30V 的输入电压范围内通过测试。

### 2.1 设计要求

此设计的系统级要求包括：

- 可在松散稳压的直流输入电压下工作并有助于调节输出功率的脉宽调制 (PWM) 控制器和拓扑，可驱动高功率 IGBT
- 隔离式正负电源轨的电压必须为 15V 和 -8V，以便为隔离栅极驱动器和 IGBT 的栅极供电
- 至少 2W 的持续输出功率，用以驱动每个 IGBT
- 支持高达 6A 峰值电流，输出电压波纹小于 200mV

### 2.2 拓扑结构选择

栅极驱动偏置电源广泛采用传统的隔离开关电源拓扑结构（例如推挽、反激和正向转换器）。这些解决方案的输出稳压通常依靠开环、固定占空比开关或辅助绕组反馈的闭环控制。开环控制的劣势在于线路和负载瞬态响应较差，而且开环控制需要对输入直流电压进行严格稳压（或需要后置稳压、低压降电压 (LDO)）。对于辅助绕组反馈方式，多个输出之间的交叉稳压无法获得最佳效果；而 Fly-Buck 拓扑结构具备固有的一次侧稳压功能，可轻松实现隔离式输出稳压。整体来说，输出之间的交叉稳压性能更好。从成本的角度看，通过一个变压器产生所有隔离轨来为栅极驱动器馈电，这种方式也大有益处。节 2.2.1 和节 2.2.2 列出了 PWM 控制器和变压器的要求。

#### 2.2.1 PWM 控制器要求

PWM 控制器的要求如下：

- 支持 Fly-Buck 拓扑结构
- 支持一次侧稳压
- 在 24V 电源下工作

### 2.2.2 变压器技术规格（依据 IEC61800-5-1）

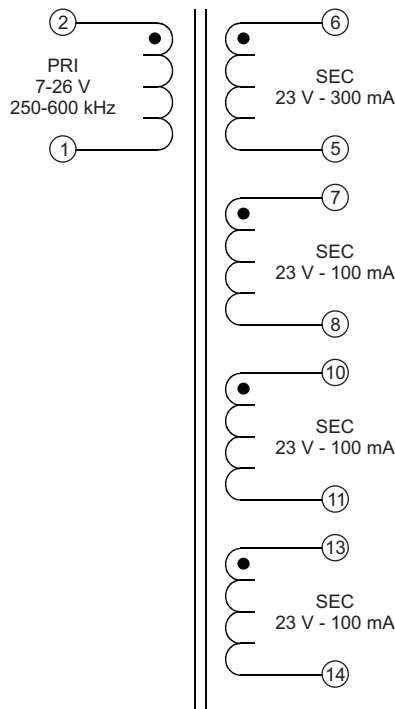


图 3. TIDA-00199 的 Fly-Buck 变压器符号

变压器的要求如下：

- 四个 23V 隔离式输出：其中一个输出为 300mA，另三个输出均为 100mA
- 开关频率 = 250 kHz
- 隔离电压：
  - 一次侧绕组与二次侧绕组，3600V AC，持续 5 秒
  - 二次侧绕组与二次侧绕组，1800V AC，持续 5 秒
- 电气间隙：
  - 一次侧绕组与二次侧绕组的电气间隙 = 8mm
  - 二次侧绕组与二次侧绕组的电气间隙 = 5 mm
  - 爬电距离 = 4 mm
- 绕组间基本绝缘

上述电气间隙、爬电距离和脉冲测试电压是在考虑基本隔离的情况下确定。如果驱动架构仅需功能性隔离，可重新设计变压器。较低的电气间隙和爬电距离值可显著缩小变压器的尺寸。

### 3 框图

此参考设计适用于电机控制、工业逆变器和许多其它应用。在这些应用中，采用 IGBT 驱动器，并希望通过该驱动器在满足所有设计要求的同时帮助显著缩短设计时间。设计文件包括原理图、物料清单 (BOM)、层图、Altium 文件、Gerber 文件和测试结果。图 4 所示为框图。

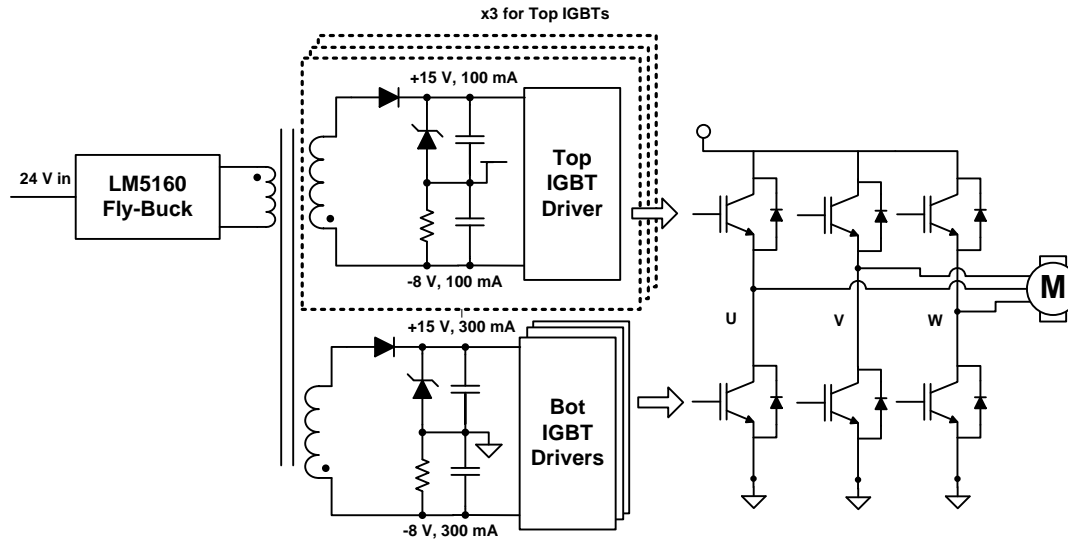


图 4. 系统框图

### 4 重点产品

此参考设计采用 LM5160 器件（宽输入 65V、1.5A 同步降压和 Fly-Buck 转换器），根据设计要求和器件规格进行选型。更多信息，请参见产品文件夹 [LM5160](#)。

#### 4.1 元器件选择

LM5160 是一款 65V，1.5A 同步降压转换器，集成有高侧和低侧 MOSFET。恒定导通时间控制方案无需环路补偿，并支持快速瞬态响应下的高降压比。内部反馈放大器保持着整体工作温度范围  $\pm 1\%$  的输出电压调节度。导通时间与输入电压成反比，从而使开关频率接近恒定。

## 4.2 Fly-Buck 转换器工作

此参考设计的主要目的是为 IGBT 栅极驱动偏置电源提供一个高性能、经济高效且易于设计的隔离式电源解决方案。从根本上说，Fly-Buck 是一款在电感上增加耦合绕组的降压稳压器。耦合绕组可以产生隔离式输出。Fly-Buck 在外观上类似于降压与反激转换器的组合，因此称为 Fly-Buck（图 5）。一次侧的工作原理与降压转换器类似，二次侧输出则受一次侧输出钳制。在一个开关周期内，Fly-Buck 的工作可分为导通时间和关断时间，如图 6 所示。

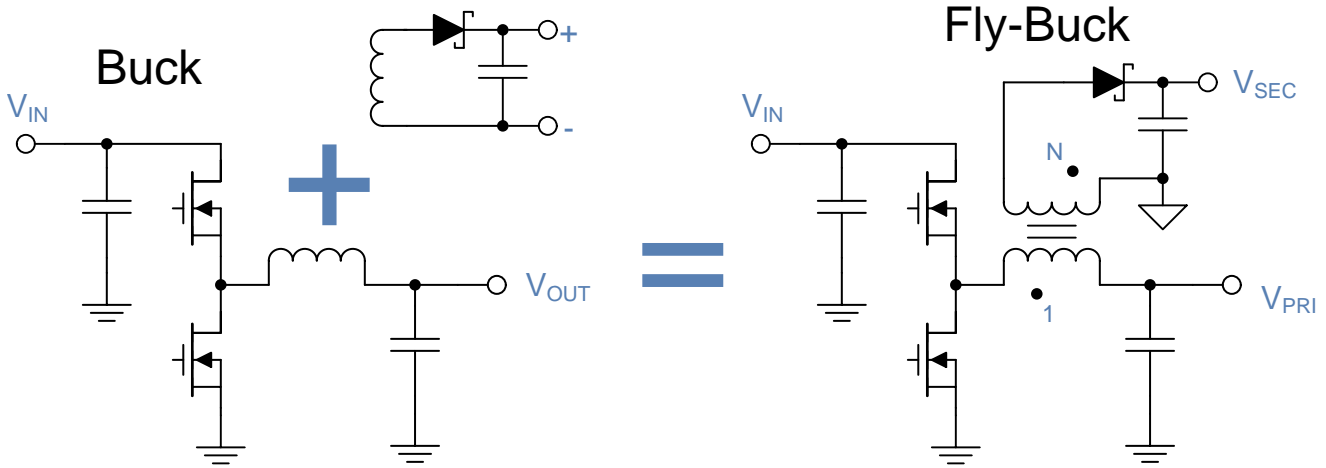


图 5. 从降压到 Fly-Buck

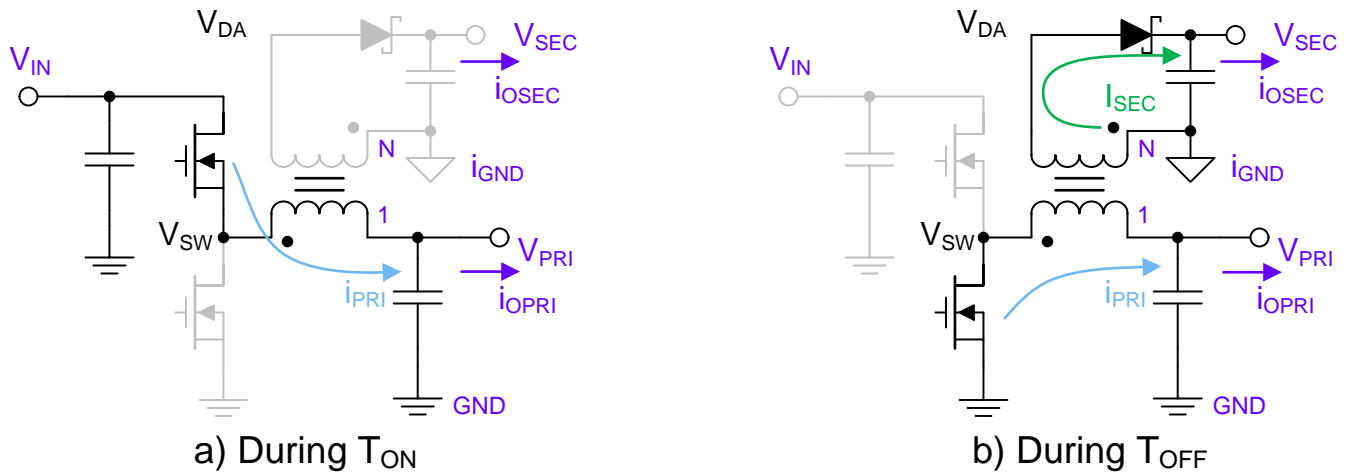


图 6. 导通时间和关断时间的 Fly-Buck

$T_{ON}$  期间，整流二极管处于反向偏置状态，因此二次侧与一次侧切断。一次侧的工作与降压稳压器类似；变压器一次侧电流线性上升。一次侧输出电压为  $V_{pri} = D \times V_{in}$ 。 $T_{OFF}$  期间，二极管处于正向偏置和导通状态。电流可以在一次侧和二次侧同时流动；但变压器中磁化电流的波形仍为三角波形，等于一次侧和二次侧绕组电流的组合，其计算公式见公式 3：

$$i_m = i_{pri} + N \times i_{sec} \quad (3)$$

一次侧输出将钳制二次侧输出电压， $V_{SEC} = N \times V_{PRI}$ 。Fly-Buck 的稳态工作波形参见图 7。

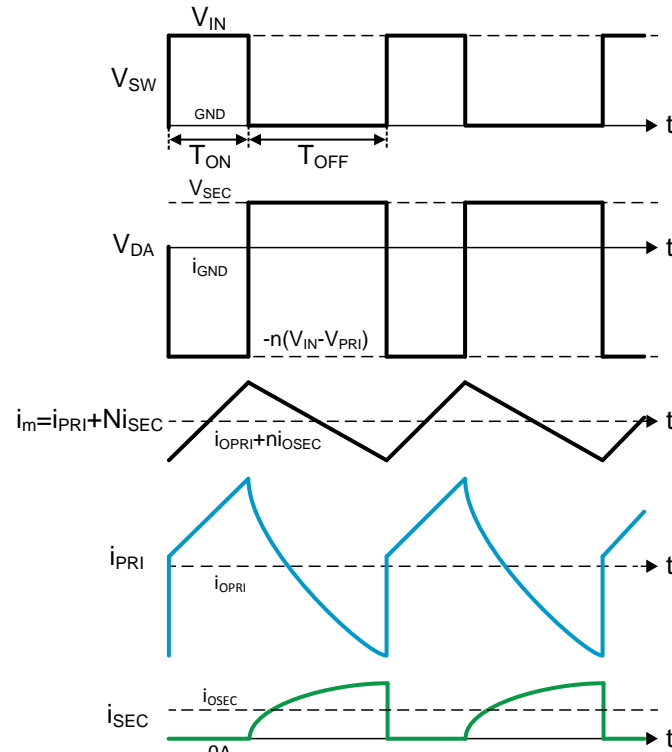


图 7. Fly-Buck 工作波形

基于上述分析，可根据公式 4 得出磁化电流纹波：

$$\Delta i_m = \frac{V_{pri}}{L_{pri}} \times \frac{1-D}{f_{sw}} \quad (4)$$

其中

- $L_{pri}$  = 一次侧电感。
- $D = T_{ON} / (T_{ON} + T_{OFF})$  = 占空比。
- $f_{sw}$  = 开关频率。

公式 5 按如下方式计算一次侧峰值电流：

$$i_{m(peak)} = i_m + \frac{1}{2}\Delta i_m = i_{opri} + (N \times i_{osec}) + \frac{1}{2}\Delta i_m \quad (5)$$

其中

- $i_{opri}$  = 平均一次侧输出电流。
- $i_{osec}$  = 平均二次侧输出电流。

如果涉及多个输出，则必须通过乘以相应的匝数比，将每个二次侧输出转换为一次侧输出 - 公式 5 仍然适用。



### 4.3 电路设计

#### 4.3.1 设置一次侧输出电压

图 8 显示，在关断时间内，由于一次侧输出钳制二次侧输出，通过变压器的耦合绕组实现 Fly-Buck 拓扑的一次侧稳压 (PSR)。设置一次侧输出是 Fly-Buck 转换器设计的第一步。最理想的状态是占空比低于 50%，因为 Fly-Buck 二次侧输出会在关断时间中传递能量；而占空比过高会影响能量流动。根据  $V_{PRI} = D \times V_{IN}$ ，在开始时将一次侧输出电压设置为 10V，使得在最小  $V_{IN} = 20V$  时  $D$  为 50%。然后可以根据  $N = V_{SEC}/V_{PRI} = 2.3$  估算变压器二次侧与一次侧的匝数比，考虑总共六个 IGBT 驱动器，每个驱动器 100mA 偏置电流，一次侧满载平均电流大约为  $6 \times (N \times i_{osec}) = 1.38A$ 。确定这些初步参数是后续设计的基础，有助于为顺序完成各个设计步骤提供指导。在设计过程中，必须对这些参数进行调节和调整。根据图 8 所示，在最终的设计中，一次侧输出电压稳定在 10.5V。

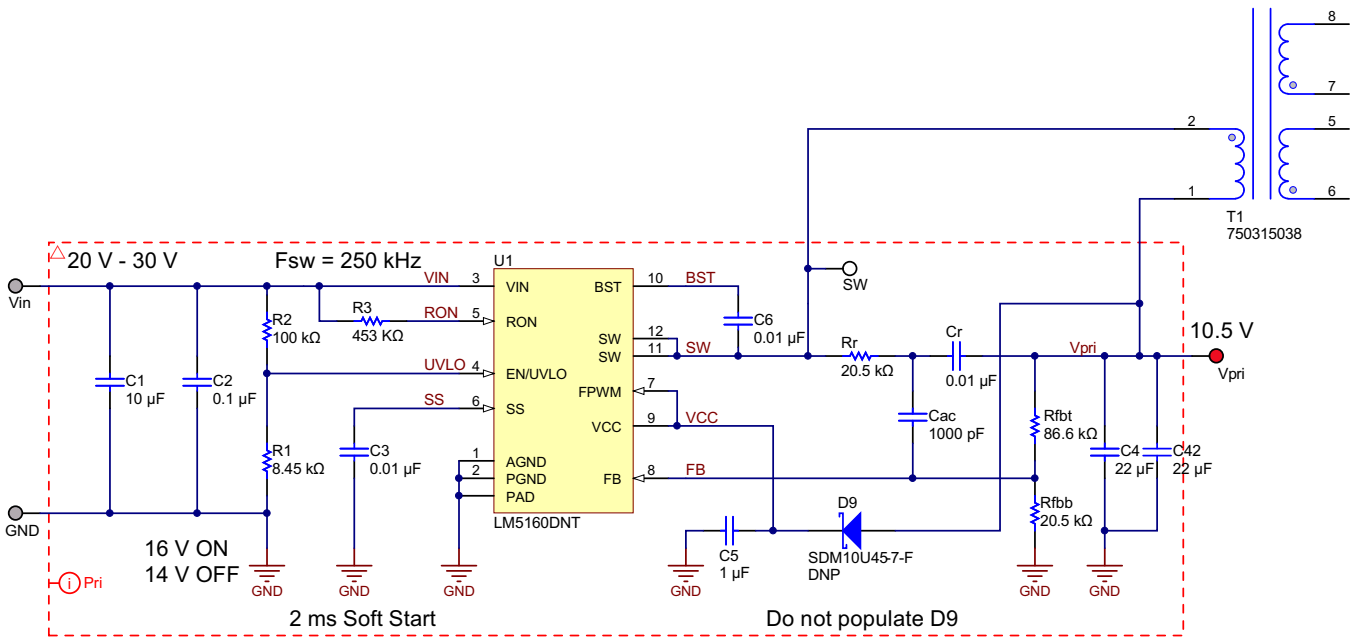


图 8. LM5160 原理图的一次侧部分

#### 4.3.2 变压器设计

理想的变压器匝数比可以根据二次侧与一次侧输出比进行计算，即为 2.3:1。必须考虑整流二极管正向电压和绕组数据采集记录 (DCR) 压降；因此，匝数比应略高于 2.3。匝数比也存在受实际绕组匝数影响的粒度限制。为考虑这种粒度限制，需相应调整一次侧输出电压。

一次侧电感决定着变压器中的电流纹波。LM5160 器件将峰值电流限定在约 2.1A，与估算出的 1.38A 平均电流水平相比，存在足够的纹波裕量。通常情况下，纹波必须限制在平均电流的 60% 以下。根据公式 4 计算在最大  $V_{IN}$  条件下所需的最小电感，得出  $L_{pri} > 32 \mu H$ 。

此设计中的变压器采用伍尔特电子 (Würth Elektronik) 提供的 PQ2020 磁芯通孔封装，部件编号为 750315038。根据变压器技术规格，二次侧绕组与一次侧绕组的匝数比为 2.33:1，全部四个二次侧绕组的匝数相同。一次侧电感为 36.5 $\mu H$ 。检查后，峰值电流约为 1.74A（根据公式 5），低于 2.1A 电流限值。

### 4.3.3 关断功能

LM5160 具有可实现低压关断的欠压闭锁 (UVLO) 引脚，可用作使能功能引脚。可使用外部电路将 UVLO 引脚拉至接地水平，以关断电源操作。

### 4.3.4 生成栅极驱动器的正负偏置电源

此设计中的单一变压器绕组可生成正负偏置电压轨。二次侧绕组的总输出电压为 23V，通过齐纳二极管和电阻分压电路可以获得 15V 和 -8V 电压。15V 齐纳二极管将正输出电压从 15V 钳制至公共地。电阻将通过齐纳二极管的电流限制为从地流向 -8V 电源轨。分压电路需要平衡负载电流流向两侧输出；否则，带有较重负载的输出将发生损坏。电阻中的静态电流是额外的预算电流，可为正输出供电，因为 15V 输出还需要几 mA 的电源电流来为驱动器 IC 供电。此参考设计采用 511Ω 电阻，使 15V 电压轨的电流容量比 -8V 电压轨高大约 15mA。

分压电路在权衡解决方案尺寸与稳压效果后得出的折衷方案。为每个输出使用单独的绕组可以获得最佳的稳压效果和最高的效率，但会增加解决方案尺寸和变压器的引脚数。对于集中式驱动器偏置电源设计，考虑到高压绝缘电气间隙的要求，为八个输出采用八个绕组非常不切实际。通过齐纳二极管，15V 电源轨可以获得稳定的输出以及很小的稳压容差，这对于确保高功率 IGBT 的导通速度而言非常重要。对于 -8V 电源轨，使用电阻可提供更大的变化裕量，但负偏置电源在确保精度等级方面的重要性不高。负偏置电源的目的是避免在电机驱动和高压逆变器应用中由高  $dv/dt$  引起的 IGBT 虚假导通。只要负偏置电源的电势足够低，就可以保持 IGBT 安全导通。分压方案的另一个优势在于，能够灵活设置正负电压电平。与单独绕组的方法不同，分压方案不会限制变压器匝数比。可以通过更改一次侧输出来调整总绕组电压，也可以使用齐纳二极管和电阻的不同组合。

图 9 所示为原理图的二次侧部分。

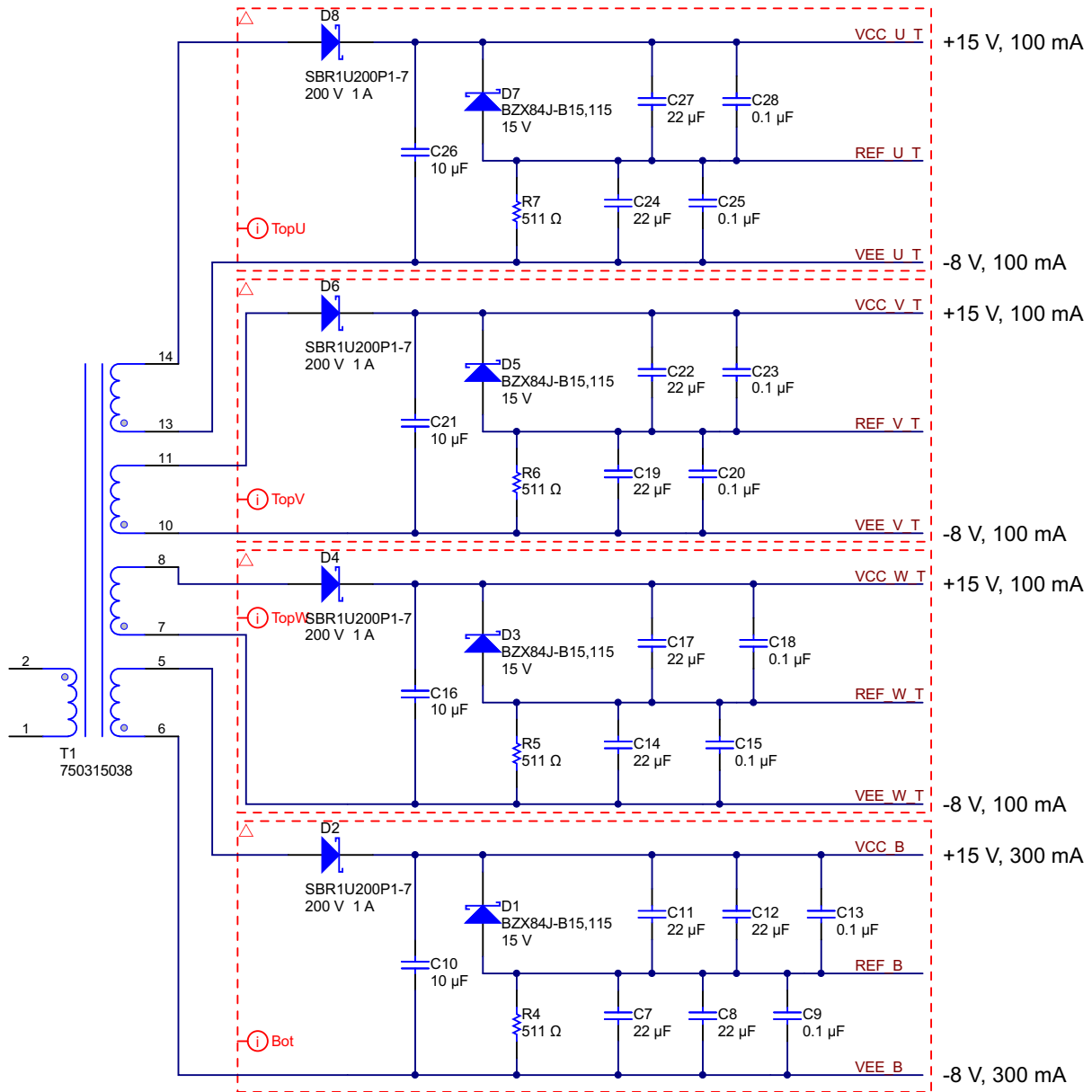


图 9. 原理图的二次侧部分

#### 4.3.5 单个变压器为全部三个 IGBT 桥臂供电

Fly-Buck 设计仅使用一个变压器为三相逆变器的全部三个桥臂供电（U、V 和 W）。每个顶部 IGBT 均需要一个驱动器隔离式偏置电源，而三个底部 IGBT 由于具有公共地电势，因此可以共用同一偏置电源。因此，需要四对正负电源轨（总共八个输出）为三相桥臂的六个 IGBT 供电。表 1 所示为输出配置。

表 1. 用于顶部和底部 IGBT 的输出（全部三个桥臂）

相位	用于顶部 IGBT	用于底部 IGBT
U	VCC_U_T	VCC_B
	VEE_U_T	VEE_B
	REF_U_T	REF_B
V	VCC_V_T	VCC_B
	VEE_V_T	VEE_B
	REF_V_T	REF_B
W	VCC_W_T	VCC_B
	VEE_W_T	VEE_B
	REF_W_T	REF_B

## 5 测试设置和测试结果

### 5.1 启动波形

在无负载和满载条件下，以 24V 输入测试该电路板。四组输出以相同的步调监测和斜升 - 因此，此处仅显示 VCC\_B 到 VEE\_B 以及 VCC\_U\_T 到 VEE\_U\_T 的波形。在图 10 中，以蓝色显示的通道 3 (C3) 代表从 VCC\_B 到 VEE\_B 的总电压，以绿色显示的通道 4 (C4) 代表从 VCC\_U\_T 到 VEE\_U\_T 的总电压。

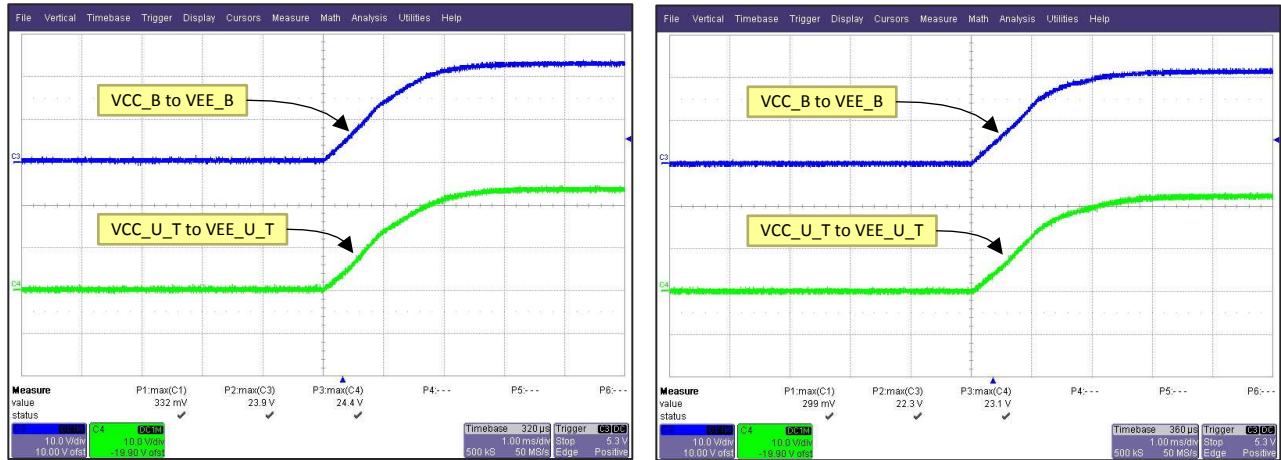


图 10. 24V<sub>IN</sub> 无负载启动（左图）与 24V<sub>IN</sub> 满载启动（右图）

图 11 中的波形展示了启动期间正负电源轨的斜升过程。C3（蓝色）为 VCC\_B（15V 电源轨），C4（绿色）为 VEE\_B（-8V 电源轨）。

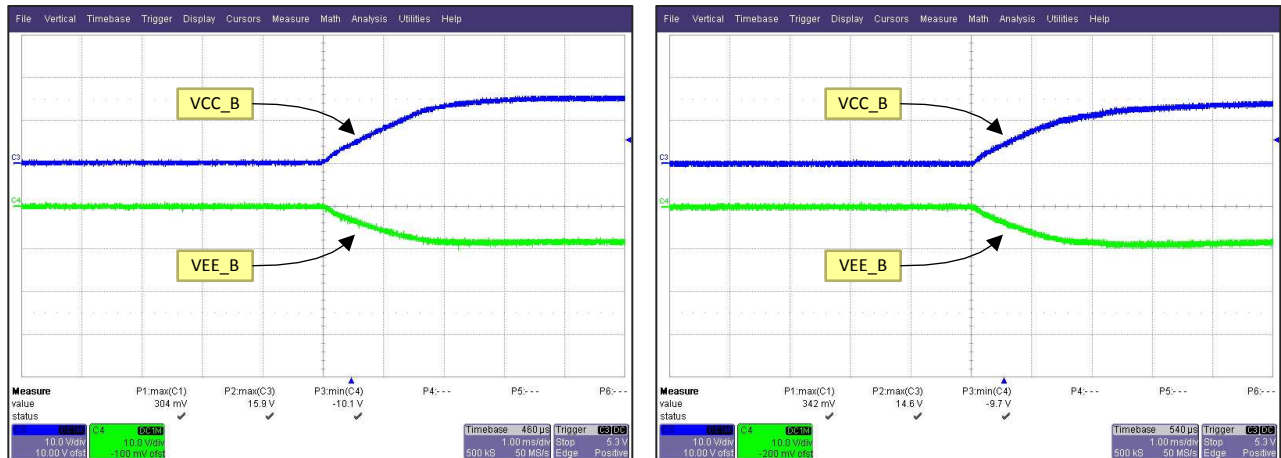


图 11. 24V<sub>IN</sub> 无负载启动（左图）与 24V<sub>IN</sub> 满载启动（右图）期间的 VCC\_B 和 VEE\_B

## 5.2 开关波形

在无负载和满载条件下，以 24V 输入测量一次侧的开关节点电压。图 12 展示了无负载和满载条件下的开关波形。



图 12. 24V<sub>IN</sub> 无负载（左图）和 24V<sub>IN</sub> 满载（右图）条件下的开关波形

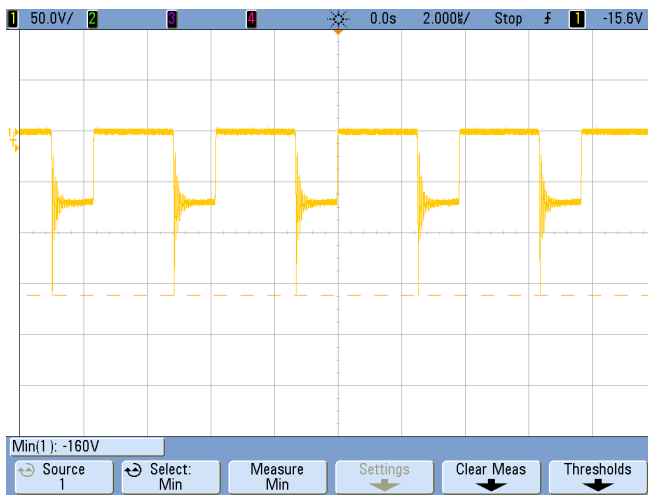


图 13. 30V<sub>IN</sub> 满载条件下的 U<sub>T</sub> 输出二极管电压

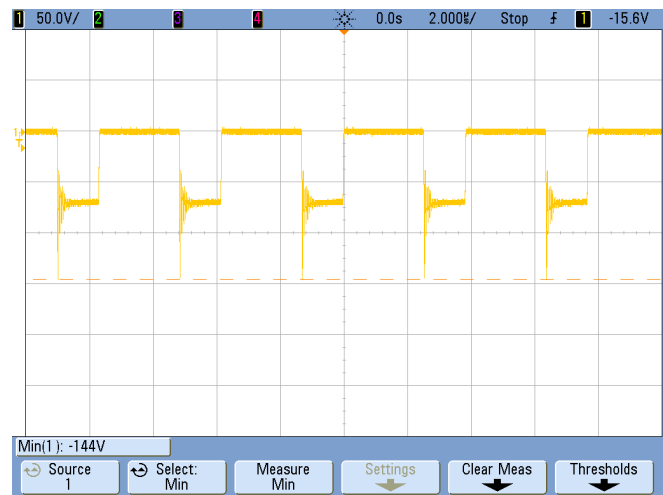


图 14. 30V<sub>IN</sub> 满载条件下的底部输出二极管电压

### 5.3 效率

在所有输出均负载且电流百分比相同（相对满载）的条件下，执行效率测量。如图 15 所示，满载时的峰值效率达到约 82%。

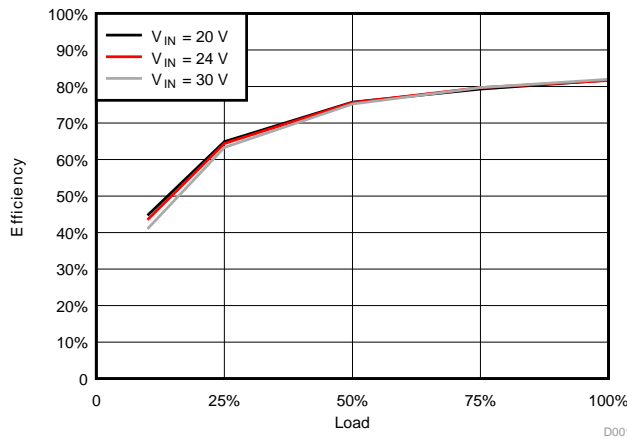


图 15. 平衡负载下的总效率

### 5.4 稳压与交叉稳压

在所有输出均负载且不同输入电压条件下电流百分比相同（相对于满载）时，测量平衡负载条件下的稳压状况。由于 U\_T、V\_T 和 W\_T 三组输出彼此对称，因此仅显示 U\_T 输出的稳压状况。

将  $V_{CC}$  与  $V_{EE}$  之间的电压作为 23V 输出来测量，因为这两个输出来自一个变压器绕组。如图 16 所示，当线路和负载变化时，23V 输出的最差情况变动低于  $\pm 4\%$ 。15V 齐纳二极管钳制  $V_{CC}$  (15V) 输出；因此，在所有条件下，电压电平均相当稳定。或者， $V_{EE}$  (-8V) 输出将承载全部 23V 输出的所有偏差，同时仍保持可接受的电平。

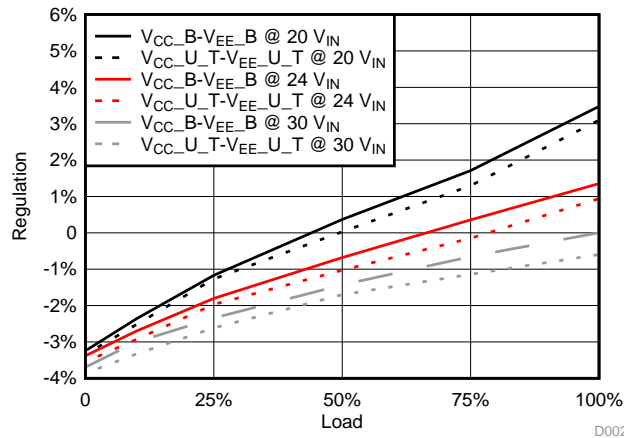


图 16. 平衡负载条件下的  $V_{CC}$  到  $V_{EE}$  输出稳压

## 5.5 输出电压纹波

当所有输出满载时，直接在输出电容上测量输出纹波。输入电压为 24V。由于 U<sub>T</sub>、V<sub>T</sub> 和 W<sub>T</sub> 为对称结构，因此这些输出具有一致的纹波，因此仅显示 U<sub>T</sub>。图 17、图 18、图 19 和图 20 中的示波器图形是交流模式下的相应输出纹波波形。

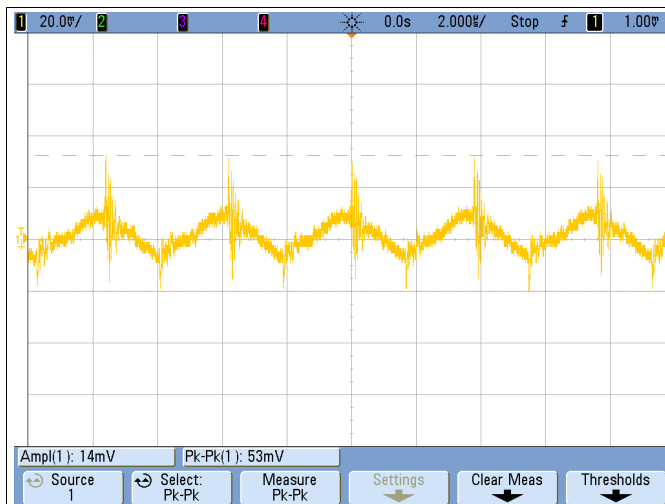


图 17. 24V<sub>IN</sub> 满载条件下的 VCC\_U\_T 输出纹波

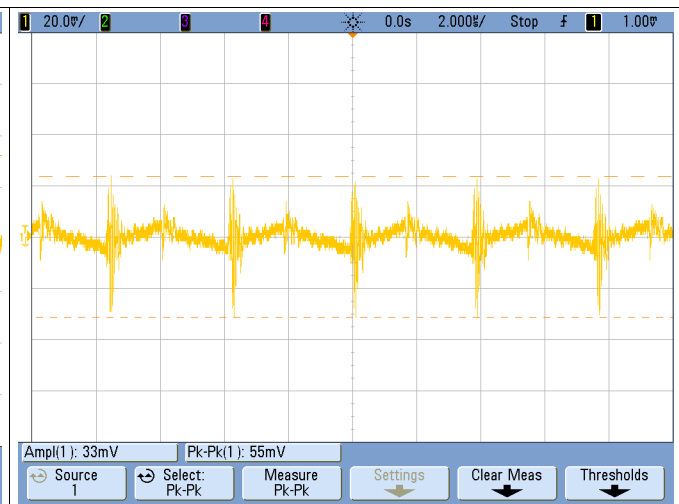


图 18. 24V<sub>IN</sub> 满载条件下的 VEE\_U\_T 输出纹波

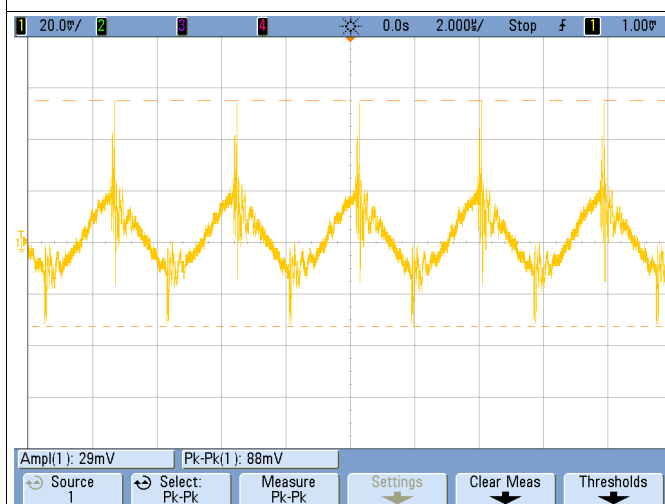


图 19. 24V<sub>IN</sub> 满载条件下的 VCC\_B 输出纹波

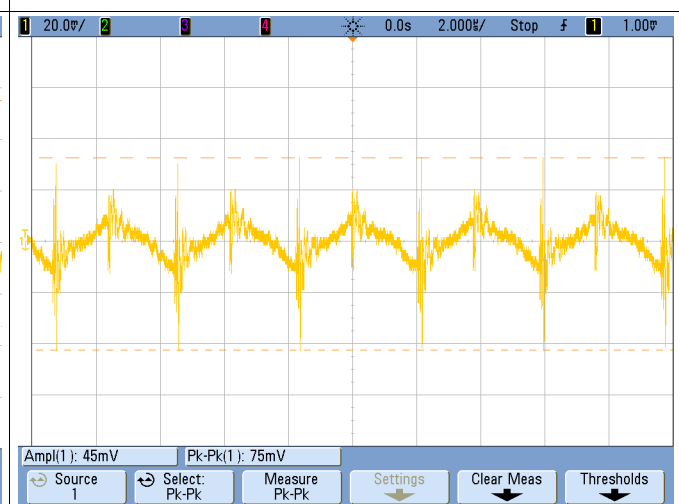


图 20. 24V<sub>IN</sub> 满载条件下的 VEE\_B 输出纹波



### 5.6 使用 ISO5500 和 IGBT 进行测试

为模拟实际的驱动测试，在对此参考设计进行测试时使用了 TI 的 ISO5500 评估模块 (EVM) 和 1200V IGBT。使用 TI 的 Piccolo LaunchPAD™ 生成驱动 IGBT 栅极的六个 16kHz 互补 PWM 信号。这些 PWM 信号馈送至六个 ISO5500（每个均与一个 1200V IGBT 相连接）。如图 21 所示，IGBT 以半桥形式连接，其输出端连接有 1kΩ 负载。图 22 展示了所有电路板的设置图片。

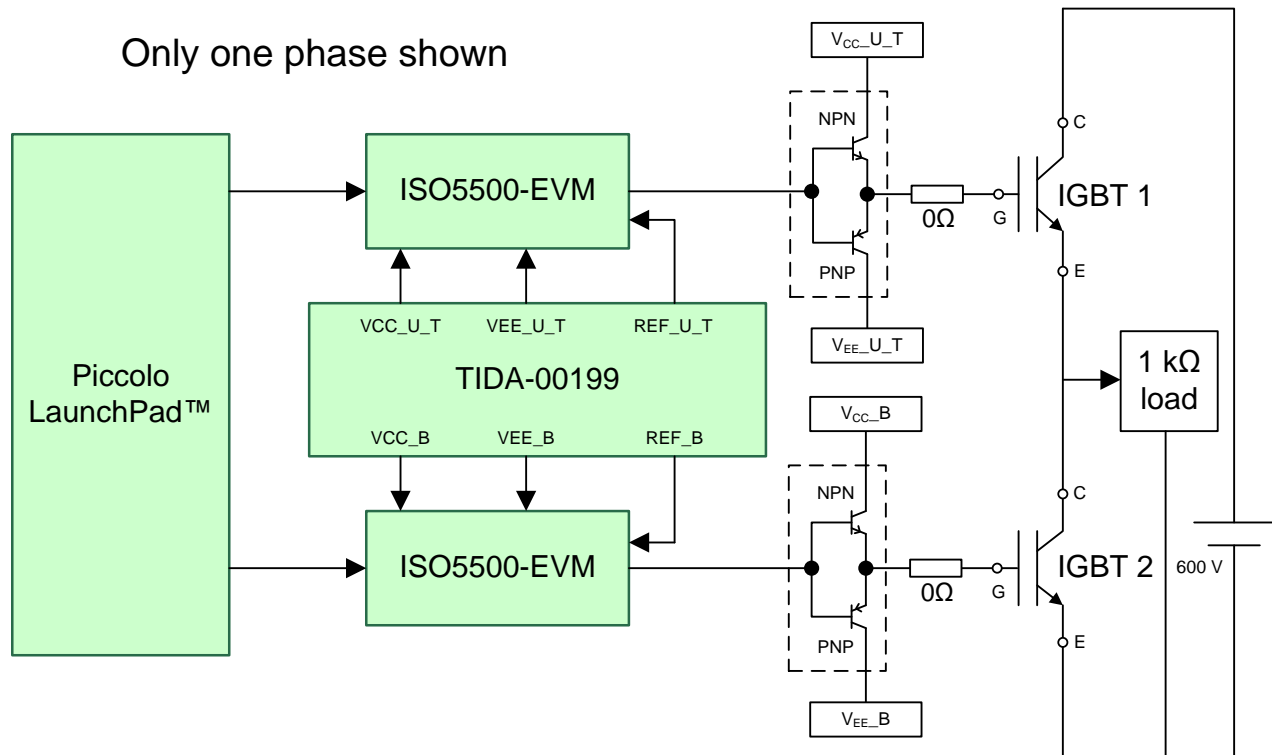


图 21. 利用 TI ISO5500 和 IGBT 进行 TIDA-00199 设计测试所用的设置

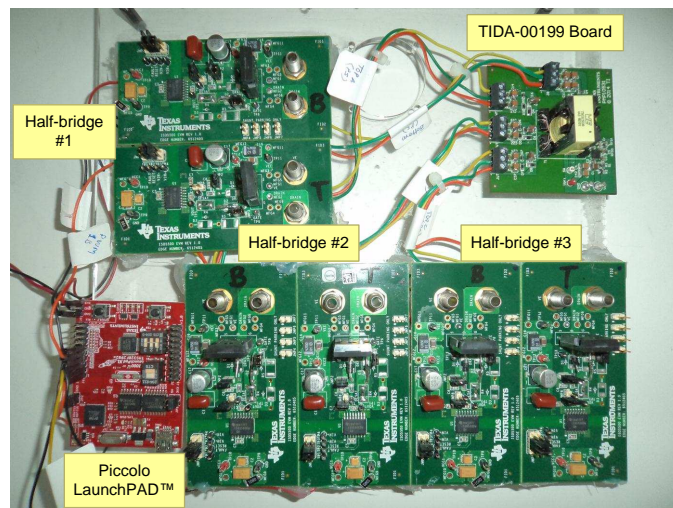


图 22. 电路板设置图片

对 IGBT 桥臂施加 600V 电压，并由此参考设计电路板为 ISO5500 电路板供电，同时测量电压纹波。图 23 和图 24 展示了符合此参考设计规范的输出电压纹波波形。

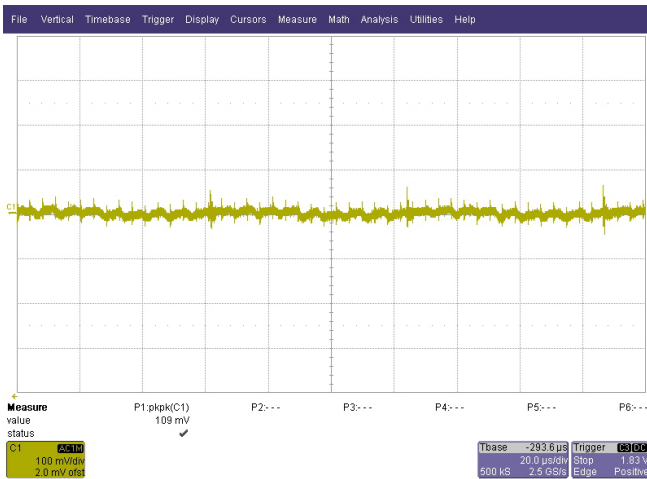


图 23. 15V 输出的纹波（在输出负载上  $dv/dt = 5.6 \times E9$  V/s）

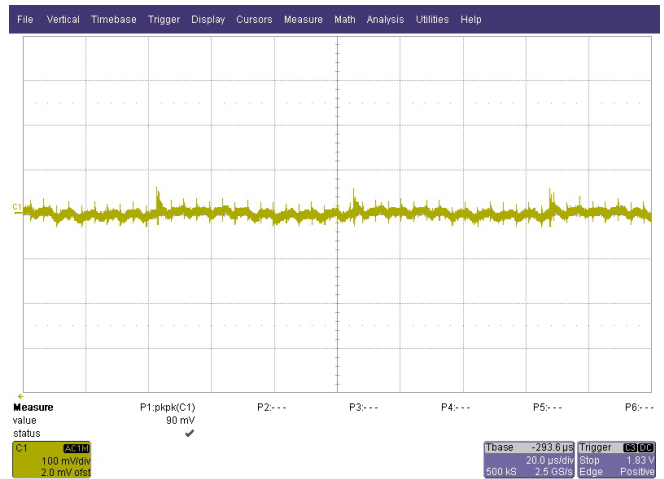


图 24. -8V 输出的纹波（在输出负载上  $dv/dt = 5.6 \times E9$  V/s）

使用电流升压晶体管（NPN 和 PNP）为 ISO5500 的输出电流升压，以驱动 IGBT。在为 IGBT 内部电容充电期间出现 6A 峰值电流时，也测量电源  $V_{CC}$  和  $V_{EE}$  输出的纹波。图 25 和图 26 展示了两个输出的相同纹波。

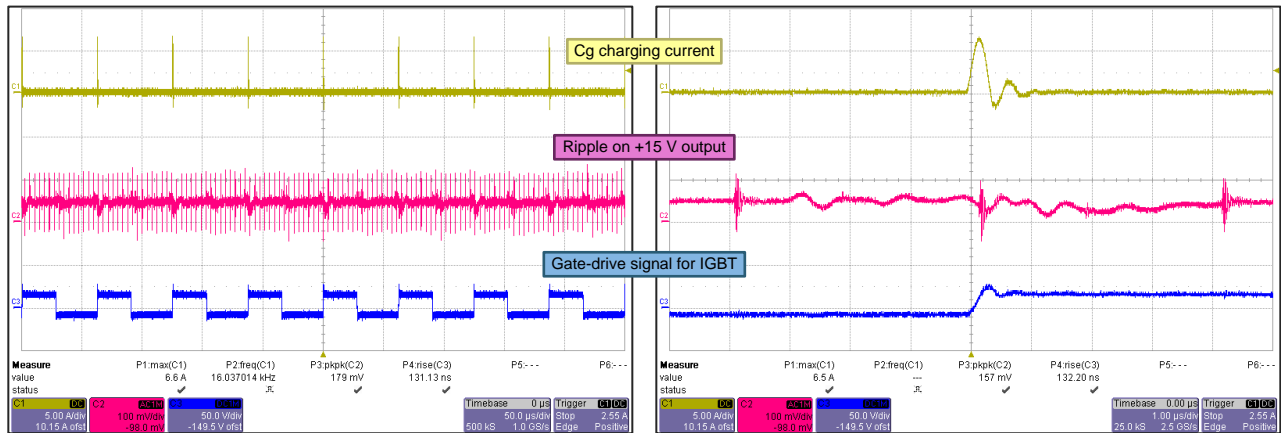


图 25. (A) IGBT 6A 峰值负载电流条件下 15V 输出上的纹波 (B) 放大的波形

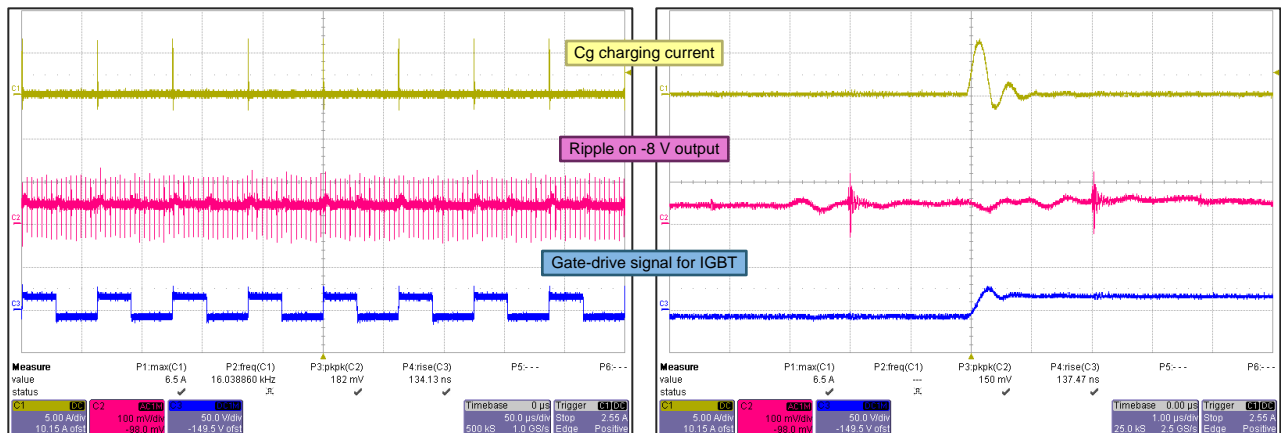


图 26. (A) IGBT 6A 峰值负载电流条件下 -8V 输出上的纹波 (B) 放大的波形

## 6 设计文件

### 6.1 电路原理图

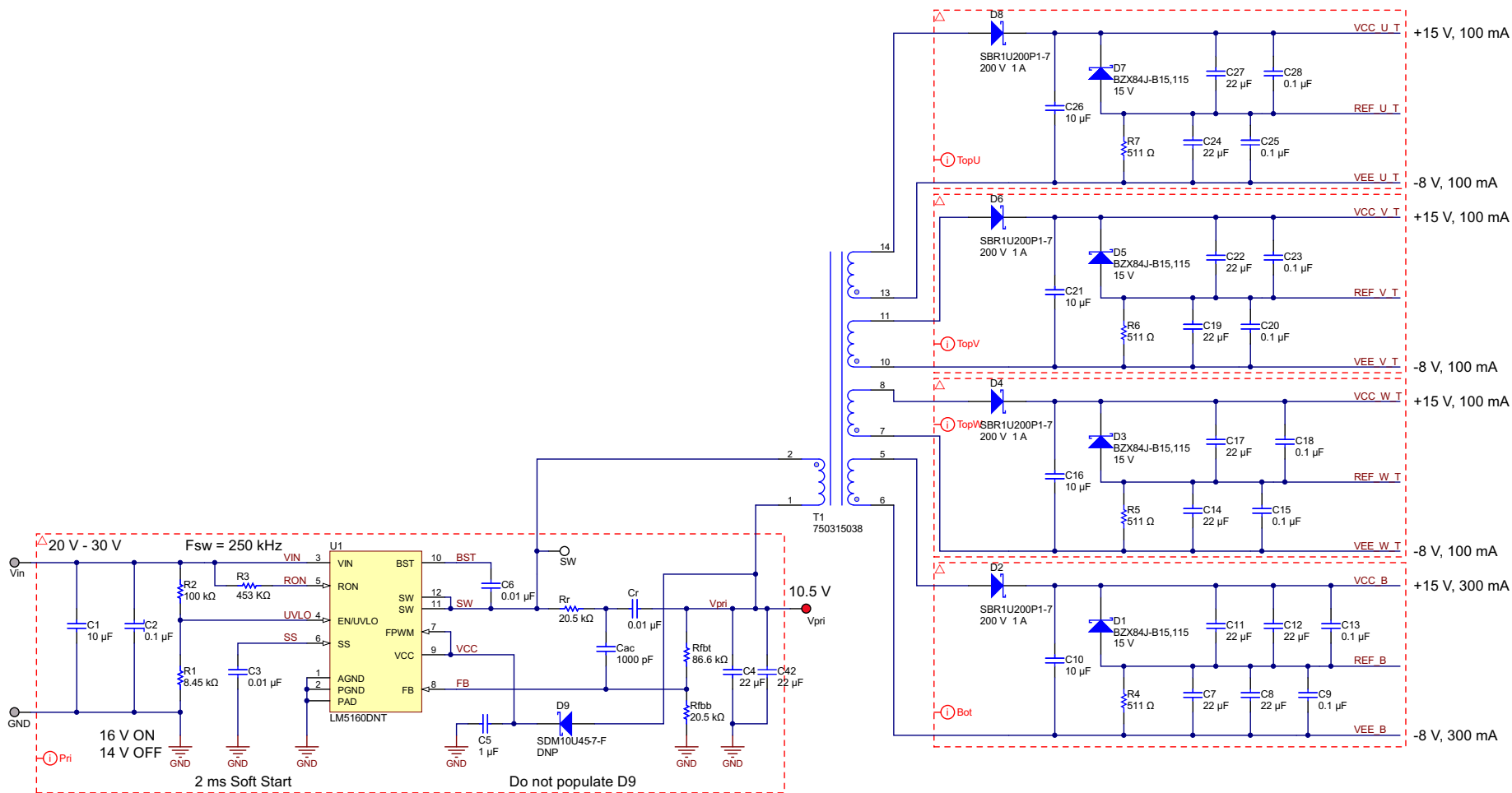


图 27. TIDA-00199 原理图

## 6.2 物料清单

要下载物料清单 (BOM)，请参见 [TIDA-00199](#) 的设计文件。

表 2. BOM

数量	基准	器件描述	制造商	制造商器件型号	PCB 封装	备注
1	IPCB1	印刷电路板	任何一家制造商	TIDA-00199		已安装
5	C1, C10, C16, C21, C26	电容, 陶瓷, 10 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 1210	村田 (Murata)	GRM32ER71H106KA12L	1210	已安装
9	C2, C9, C13, C15, C18, C20, C23, C25, C28	电容器, 陶瓷, 0.1 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 0603	TDK	C1608X7R1H104K	0603	已安装
2	C3, C6	电容, 陶瓷, 0.01 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 0603	TDK	C1608X7R1H103K	0603	已安装
12	C4, C7, C8, C11, C12, C14, C17, C19, C22, C24, C27, C42	电容, 陶瓷, 22 $\mu$ F, 25V, $\pm$ 10%, X7R, 1210	村田 (Murata)	GRM32ER71E226KE15L	1210	已安装
1	C5	电容, 陶瓷, 1 $\mu$ F, 25V, $\pm$ 10%, X7R, 0603	TDK	C1608X7R1E105K080AB	0603	已安装
1	Cac	电容, 陶瓷, 1000pF, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 0603	TDK	C1608X7R1H102K	0603	已安装
1	Cr	电容, 陶瓷, 0.01 $\mu$ F, 50V, $\pm$ 10%, X7R, 0603	村田 (Murata)	GRM188R71H103KA01D	0603	已安装
4	D1, D3, D5, D7	齐纳二极管, 15V 550mW SOD323F	恩智浦半导体 (NXP Semiconductors)	BZX84J-B15,115	SOD-323F	已安装
4	D2, D4, D6, D8	二极管 SBR 200V 1A POWERDI123	Diodes Incorporated	SBR1U200P1-7	powerDI123	已安装
1	D9	二极管, 肖特基, 45V, 0.1A, SOD-523	Diodes Inc.	SDM10U45-7-F	SOD-523	已安装
2	GND2, Vin	引脚, 双转塔, TH	启斯东 (Keystone)	1502-2	Keystone1502-2	已安装
4	JB, JUT, JVT, JWT	引脚块, 6A, 3.5mm 间距, 3-Pos, TH	岸上科技 (On-Shore Technology)	ED555/3DS	TERM_BLK_ED555-3DS	已安装
1	R1	电阻, 8.45k $\Omega$ , 1%, 0.1W, 0603	威世达勒	CRCW06038K45FKEA	0603	已安装

表 2. BOM (continued)

数量	基准	器件描述	制造商	制造商器件型号	PCB 封装	备注
1	R2	电阻 ， 100kΩ, 1%, 0.1W, 0603	威世达勒 (Vishay-Dale)	CRCW0603100KFKEA	0603	已安装
1	R3	电阻 ， 453kΩ, 1/10W, 1%, 0603 SMD	松下电子元件公司 (Panasonic Electronic Components)	ERJ-3EKF4533V	0603	已安装
4	R4, R5, R6, R7	电阻 ， 511Ω, 1%, 0.125W, 0805	威世达勒 (Vishay-Dale)	CRCW0805511RFKEA	0805_HV	已安装
2	Rfbb, Rr	电阻 ， 20.5kΩ, 1%, 0.1W, 0603	威世达勒 (Vishay-Dale)	CRCW060320K5FKEA	0603	已安装
1	Rfbt	电阻 ， 86.6kΩ, 1%, 0.1W, 0603	威世达勒 (Vishay-Dale)	CRCW060386K6FKEA	0603	已安装
1	SW	测试点, 微型, 红色, TH	启斯东 (Keystone)	5002	Keystone5002	已安装
1	T1	变压器, 通孔 ， 36.5μH, 1:2.33:2.33:2.33:2.33	Würth Electronics Midcom	750315038	WURTH_750315038	已安装
1	U1	65V 宽输入电压, 1.5A 同步降压直流-直流转换器, DNT0012B	德州仪器 (TI)	LM5160DNT	DNT0012B	已安装
1	Vpri	测试点, TH, 微型, 红色	梯形失真矫正	5000	Keystone5000	已安装
0	FID1, FID2, FID3	基准标记。没有需要购买或安装的元件。	不可用	不可用	Fiducial10-20	未安装

### 6.3 LM5160 布局指南

合理的布局是电路发挥最佳性能的关键。尤其是必须遵循以下准则：

- 由输入电容、 $V_{IN}$  引脚和  $P_{GND}$  引脚组成的环路将承载开关电流。因此，输入电容必须靠近 IC 放置，直接跨接在  $V_{IN}$  和  $P_{GND}$  引脚的两端。两个引脚必须直接连接，以最大限度减小回路面积。通常情况下，不可能将所有输入电容都靠近 IC 放置。可取的做法是，使用  $0.1\mu F$  到  $0.47\mu F$  电容直接跨接在  $V_{IN}$  和  $P_{GND}$  引脚两端，尽可能靠近连有另一个大容量电容的 IC。
- $V_{CC}$  和自举 (BST) 旁路电容为高侧和低侧栅极驱动器提供开关电流。这两个电容也必须尽可能靠近 IC 放置，且必须最大程度减小连接走线长度和回路面积。
- 反馈走线承载着输出电压信息及 LM5160 器件正常运行所需要的小纹波分量。因此，进行反馈走线时需要特别注意，应避免在反馈 (FB) 引脚上引入噪声。尤其是，反馈走线不得靠近磁性元件，也不得与其他开关走线并行。
- SW 走线：SW 节点每个周期会在  $V_{IN}$  与 GND 之间迅速切换，因此成为噪声源。必须最大程度缩小 SW 节点区域。尤其是，不要误将 SW 节点连接至敷铜层。

### 6.4 PCB 布局

请注意，此电路板的总尺寸为 62mm x 55mm。

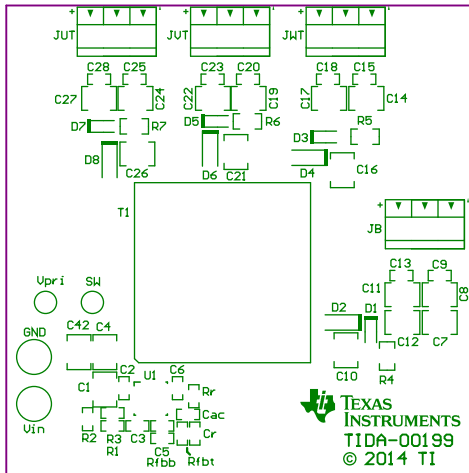


图 28. 顶部覆盖层

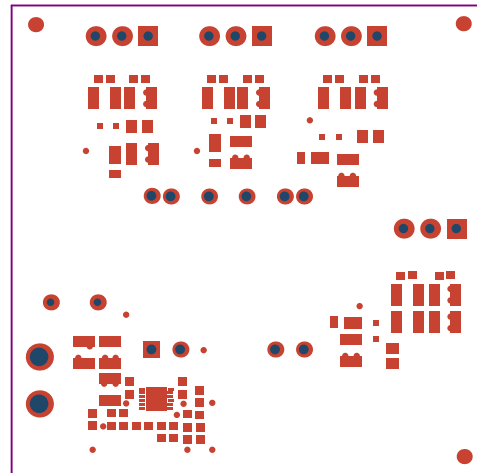


图 29. 顶部焊接掩模

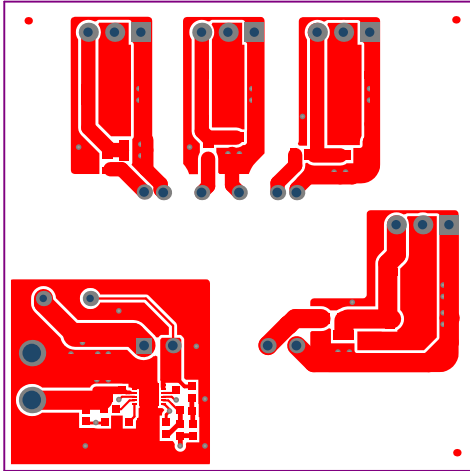


图 30. 顶层

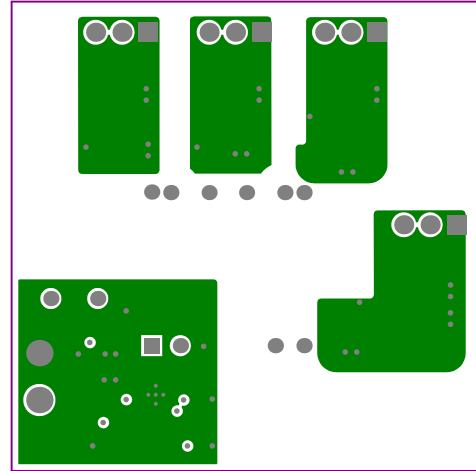


图 31. 中间层 1

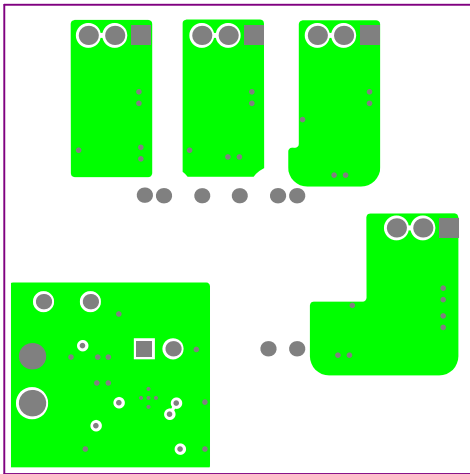


图 32. 中间层 2

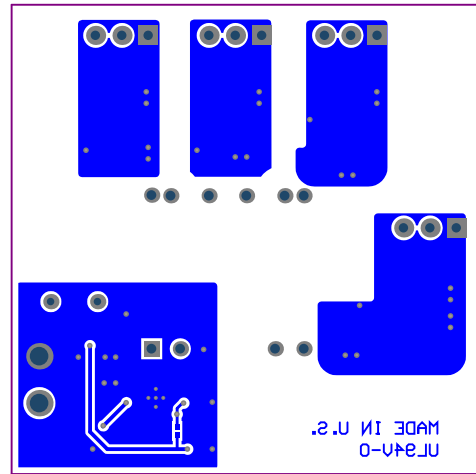


图 33. 底层

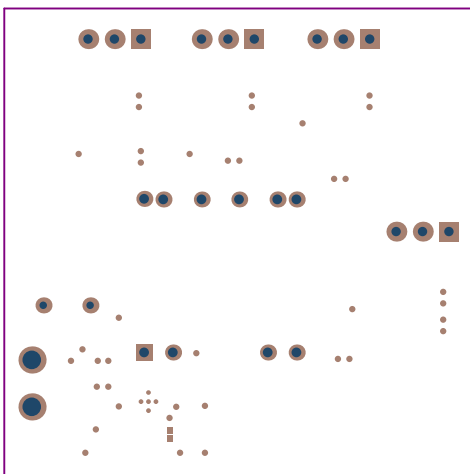


图 34. 底部焊接掩模

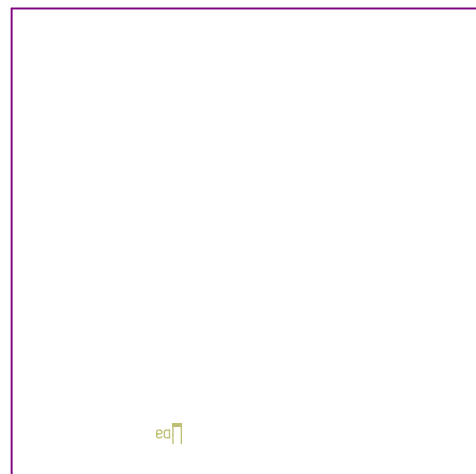


图 35. 底部覆盖层



## 6.5 Altium 项目文件

要下载 Altium 项目文件，请参见 [TIDA-00199](#) 的设计文件。

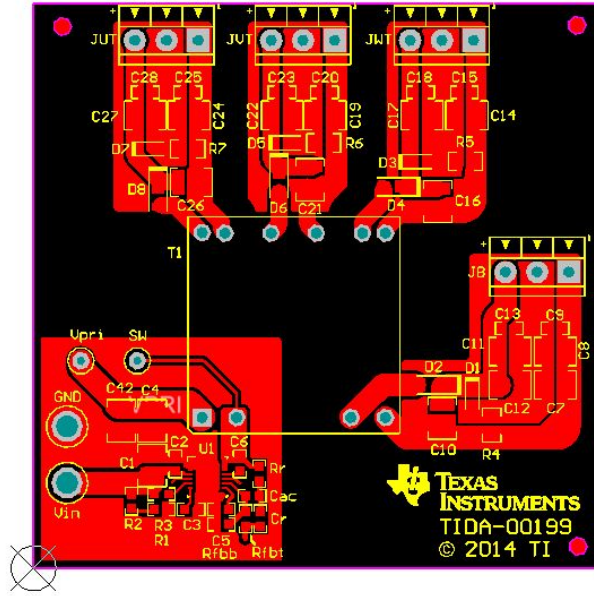


图 36. 顶层

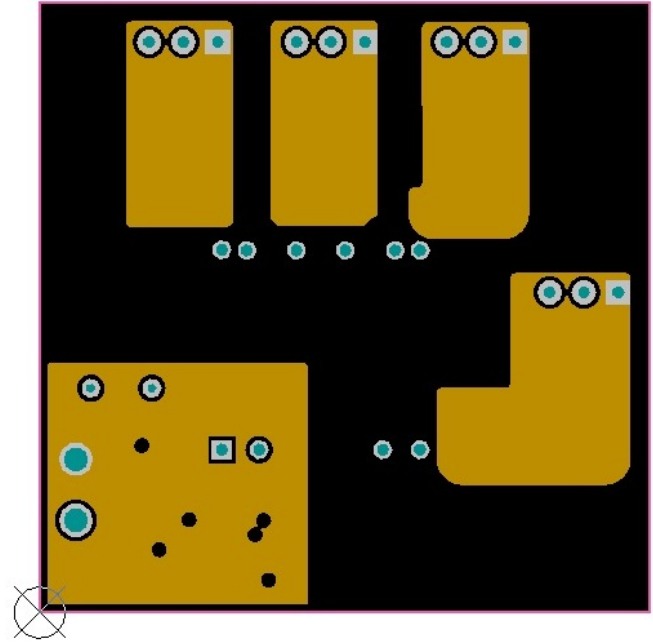


图 37. 中间层 1

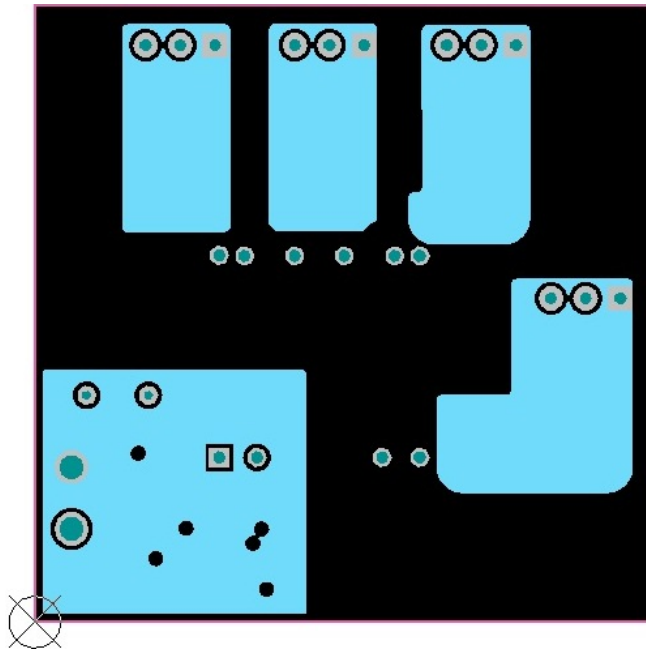


图 38. 中间层 2

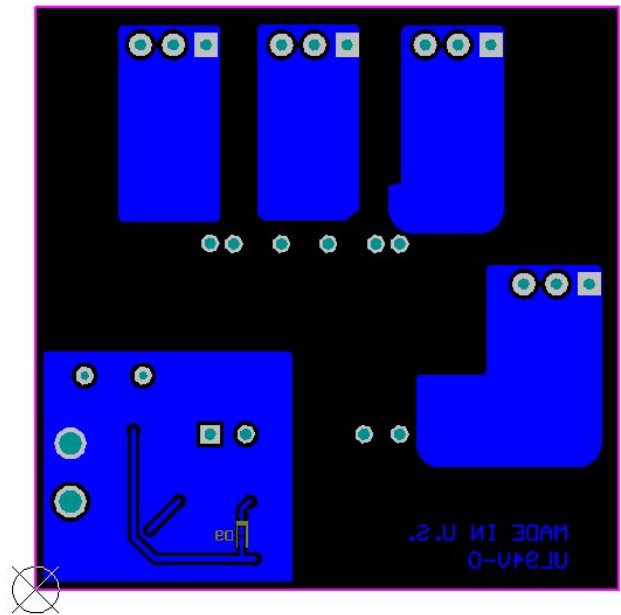


图 39. 底层

## 6.6 光绘文件

要下载光绘文件，请参见 [TIDA-00199](#) 的设计文件

Layer	Material	Thickness	Notes
Top Solder Mask	FR-4	1.4mil	Solder Resist
Top Layer	FR-4	0.7mil	FR-4
Mid.Layer1	FR-4	0.7mil	FR-4
Mid.Layer2	FR-4	0.7mil	FR-4
Bottom Layer	FR-4	1.4mil	FR-4
Bottom Solder Mask	FR-4	1.4mil	Solder Resist

DESIGN INFORMATION	
MIN. TRACK WIDTH:	8 MIL
MIN. CLEARANCE:	0.2 mm
MIN. VIA PAD SIZE:	24 MIL
MINIMUM ANNULAR RING 0.05mm (2ML) EXTERNAL	
PER IPC-D-275 CLASS 2 LEVEL C	
REGISTRATION TOLERANCES: METAL +/- 5 MIL HOLES +/- 3 MIL	
MATERIAL:	
<input type="checkbox"/> FR-408	<input type="checkbox"/> FR-4 High Tg <input checked="" type="checkbox"/> OTHER FR4
THICKNESS:	<input checked="" type="checkbox"/> 62 ML (1.6mm) +/-10% <input type="checkbox"/> OTHER
TOLERANCE:	<input checked="" type="checkbox"/> ANSI IPC-6012 TYPE 3 CLASS 2
	<input type="checkbox"/> OTHER +/-
BOW & TWIST:	<input checked="" type="checkbox"/> ANSI IPC-6012 TYPE 3 CLASS 2
	<input type="checkbox"/> OTHER +/-
DRILLING:	
REFERENCE:	<input checked="" type="checkbox"/> AS SHOWN <input type="checkbox"/> NC DRILL FILES
PTH MIN COPPER THICKNESS:	<input checked="" type="checkbox"/> 1ML <input type="checkbox"/> OTHER
BOARD FINISH:	
SILKSCREEN:	<input checked="" type="checkbox"/> TOP <input type="checkbox"/> BOTTOM
SILKSCREEN COLOR:	<input checked="" type="checkbox"/> WHITE <input type="checkbox"/> OTHER
SOLDER RESIST COLOR:	<input checked="" type="checkbox"/> GREEN <input type="checkbox"/> BLUE <input type="checkbox"/> OTHER HASL
SURFACE FINISH:	<input type="checkbox"/> IMMERSION GOLD (ENIG) <input type="checkbox"/> ENEPG
	<input type="checkbox"/> IMM. TN/SILVER OR EQUIV <input checked="" type="checkbox"/> OTHER
ARRAY/PANEL:	<input checked="" type="checkbox"/> CUT AND TRIM PER MECH LAYER 1
	<input type="checkbox"/> N.C. ROUTE <input type="checkbox"/> V. SCORE
CERTIFICATION: MATERIALS AND WORKMANSHIP FOR ALL PCBs TO MEET OR EXCEED THE REQUIREMENTS OF:	
<input type="checkbox"/> ANSI IPC-A-600F CLASS ->	<input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3
<input checked="" type="checkbox"/> UL 94V-0	<input checked="" type="checkbox"/> RoHS <input type="checkbox"/> OTHER PER ORDER
ADDITIONAL REQUIREMENTS:	
MICROSECTION:	<input type="checkbox"/> YES
BARE BOARD ELEC. TEST:	<input type="checkbox"/> NONE <input checked="" type="checkbox"/> REQUIRED <input type="checkbox"/> PER ORDER
MANUFACTURER'S UL:	<input type="checkbox"/> RAL <input type="checkbox"/> METAL <input checked="" type="checkbox"/> SILK

Symbol	Hit Count	Tool Size	Plated	Hole Type
B	5	10mil (0.254mm)	PTH	Round
A	38	15mil (0.381mm)	PTH	Round
D	2	40mil (1.016mm)	PTH	Round
E	12	50mil (1.27mm)	PTH	Round
F	10	52mil (1.321mm)	PTH	Round
G	2	98.425mil (2.5mm)	PTH	Round
	69 Total			

Drill Table

ALL ARTWORK VIEWED FROM TOP SIDE	BOARD #: TIDA-00199	REV: B	SUN REV: Not In VersionControl	TEXAS INSTRUMENTS (TI) and/or its licensors do not warrant the accuracy or completeness of this specification or any information contained therein. TI and/or its licensors do not warrant that this design will meet the specifications, will be suitable for your application or fit for any particular purpose, or will operate in an implementation. TI and/or its licensors do not warrant that the design is production worthy. You should completely validate and test your design implementation to confirm the system functionality for your application.
LAYER NAME = Drill Drawing				ENGINEER: X. Fang
PLOT NAME = Fabrication Drawing	GENERATED : 11/25/2014 11:12:42 AM	TEXAS INSTRUMENTS	LAYOUT BY: X. Fang	SCALE: 1.12
				ALTIM DESIGNER VERSION: 10.0.0.22084

图 40. 制造图纸

## 6.7 装配图

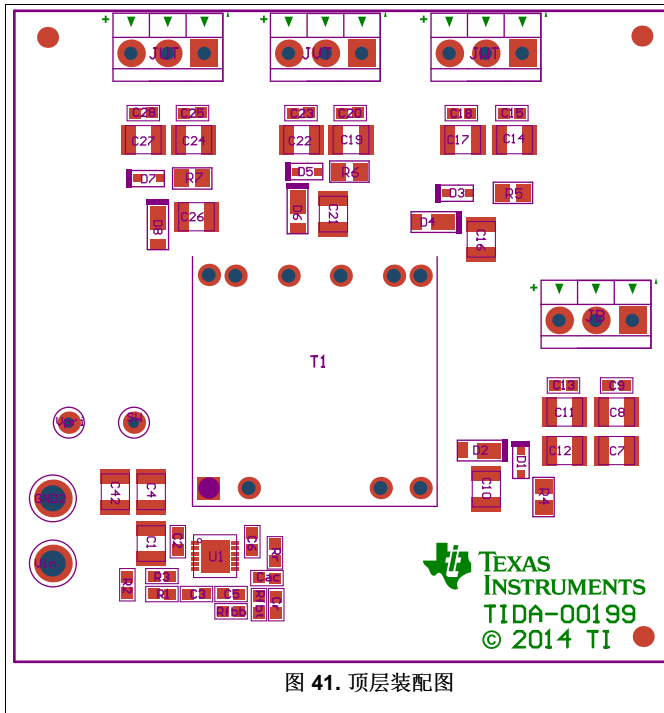


图 41. 顶层装配图

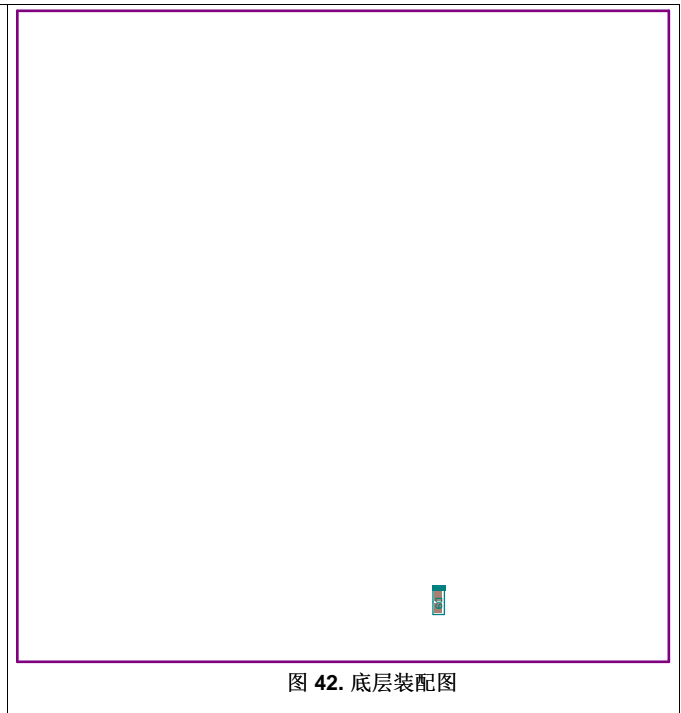


图 42. 底层装配图

## 7 参考文献

1. EE Times, 电源提示 #6: 准确测量电源纹波, [http://www.eetimes.com/document.asp?doc\\_id=1273282](http://www.eetimes.com/document.asp?doc_id=1273282)。
2. 德州仪器 (TI), 《LM5160 降压 EVM 用户指南》(文献编号: [SNVU441](#))。
3. 德州仪器 (TI), 《ISO5500EVM 用户指南》(文献编号: [SLLU136](#))。
4. 德州仪器 (TI), 《C2000 Piccolo LaunchPad》(工具文件夹)。
5. 德州仪器 (TI), 《具有 4 输出的隔离型 IGBT 栅极驱动 Fly-Buck™ 电源参考指南》(文献编号: [TIDU478](#))。
6. 德州仪器 (TI), 《具有八输出的增强型隔离式 IGBT 栅极驱动 Flyback 电源参考指南》(文献编号: [TIDU411](#))。

## 8 关于作者

**XIANG FANG** 是德州仪器 (TI) 应用工程师, 负责开发电源解决方案和参考设计。Xiang 自 2012 年起在 TI 工作, 参与设计工业和自动化应用产品。Xiang 于 2012 年获得了中佛罗里达大学的电力电子博士学位。

**SANJAY PITHADIA** 是德州仪器的系统工程师, 负责开发面向工业电机驱动领域的子系统设计解决方案。Sanjay 自 2008 年起在 TI 工作, 参与设计能源和智能电网的相关产品。Sanjay 在模拟设计、混合信号设计、工业接口和电源领域拥有丰富经验。Sanjay 拥有孟买 VJTI 电子工程学士学位。

## 修订历史记录

Changes from Original (December 2014) to A Revision	Page
• 已更改 对公式 1 的引用.....	9
• 已更改 计算公式 2 的引用.....	9

注：之前版本的页码可能与当前版本有所不同。

## 针对 TI 参考设计的重要声明

德州仪器公司 ("TI") 参考设计只用于帮助设计人员 ("客户") 开发包含 TI 半导体产品的系统 (在这里也指"组件")。客户理解并同意他们对设计客户系统和产品中的独立分析、评估和判断负责。

TI 参考设计已经使用标准实验室条件和工程实践创建。TI 未采取任何测试, 除非那些在已发布文档中针对一个特定参考设计所专门描述的测试。TI 也许会对它的参考设计进行修正、提高、改进和其它改变。

客户被授权使用具有每个特定参考设计中确认的 TI 组件的 TI 参考设计, 并且在他们的终端产品开发中修改参考设计。然而, 在这里不授予任何其它 TI 知识产权的直接或隐含, 默许或其它方式的许可, 和任何第三方技术或知识产权的许可, 其中包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权、或者与采用了 TI 产品或服务的任何集成、机器或工艺相关的知识产权。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息不能构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

TI 参考设计按"原样"提供。对于参考设计或者包括精度和完整性在内的直接、隐含或者法律规定的参考设计的使用, TI 不作出任何保证或声明。TI 不对任何隐含的适销性、针对特定用途的适用性、平静受益权、无干扰享有权, 以及与 TI 参考设计或其使用相关的任何第三方知识产权的非侵权作出任何保证。TI 不对任何与 TI 参考设计中提供的产品组合相关的或基于这些产品组合的第三方侵权声明负责, 并且不应为客户提供辩护或赔偿。不论是何原因造成任何实际的、特殊的、意外的、相应发生的或间接的损坏, 并且不论 TI 是否已经告知了 TI 参考设计的任何使用或 TI 参考设计的客户使用所造成的此类损坏的可能性, TI 都不应对此负责。

TI 保留根据 JESD46 最新标准, 对所提供的半导体产品和服务进行更正、增强、改进或其它更改的权限, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的 TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种产品的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

对于 TI 数据手册、数据表或参考设计中的 TI 信息, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任。第三方信息可能受到其它限制条件的制约。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独力负责满足与其产品及其应用中使用的 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在客户的安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。借助于这样的组件, TI 的目标是帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或"增强型塑料"的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的组件。客户认可并同意, 对还未指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独力负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的组件, 这些组件主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 将不承担任何责任。

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2015, Texas Instruments Incorporated

## 重要声明

德州仪器(TI) 及其下属子公司有权根据 JESD46 最新标准, 对所提供的产品和服务进行更正、修改、增强、改进或其它更改, 并有权根据 JESD48 最新标准中止提供任何产品和服务。客户在下订单前应获取最新的相关信息, 并验证这些信息是否完整且是最新的。所有产品的销售都遵循在订单确认时所提供的TI 销售条款与条件。

TI 保证其所销售的组件的性能符合产品销售时 TI 半导体产品销售条件与条款的适用规范。仅在 TI 保证的范围内, 且 TI 认为有必要时才会使用测试或其它质量控制技术。除非适用法律做出了硬性规定, 否则没有必要对每种组件的所有参数进行测试。

TI 对应用帮助或客户产品设计不承担任何义务。客户应对其使用 TI 组件的产品和应用自行负责。为尽量减小与客户产品和应用相关的风险, 客户应提供充分的设计与操作安全措施。

TI 不对任何 TI 专利权、版权、屏蔽作品权或其它与使用了 TI 组件或服务的组合设备、机器或流程相关的 TI 知识产权中授予的直接或间接权限制作出任何保证或解释。TI 所发布的与第三方产品或服务有关的信息, 不能构成从 TI 获得使用这些产品或服务的许可、授权、或认可。使用此类信息可能需要获得第三方的专利权或其它知识产权方面的许可, 或是 TI 的专利权或其它知识产权方面的许可。

对于 TI 的产品手册或数据表中 TI 信息的重要部分, 仅在没有对内容进行任何篡改且带有相关授权、条件、限制和声明的情况下才允许进行复制。TI 对此类篡改过的文件不承担任何责任或义务。复制第三方的信息可能需要服从额外的限制条件。

在转售 TI 组件或服务时, 如果对该组件或服务参数的陈述与 TI 标明的参数相比存在差异或虚假成分, 则会失去相关 TI 组件或服务的所有明示或暗示授权, 且这是不正当的、欺诈性商业行为。TI 对任何此类虚假陈述均不承担任何责任或义务。

客户认可并同意, 尽管任何应用相关信息或支持仍可能由 TI 提供, 但他们将独自负责满足与其产品及其应用中使用 TI 产品相关的所有法律、法规和安全相关要求。客户声明并同意, 他们具备制定与实施安全措施所需的全部专业技术和知识, 可预见故障的危险后果、监测故障及其后果、降低有可能造成人身伤害的故障的发生机率并采取适当的补救措施。客户将全额赔偿因在此类安全关键应用中使用任何 TI 组件而对 TI 及其代理造成的任何损失。

在某些场合中, 为了推进安全相关应用有可能对 TI 组件进行特别的促销。TI 的目标是利用此类组件帮助客户设计和创立其特有的可满足适用的功能安全性标准和要求的终端产品解决方案。尽管如此, 此类组件仍然服从这些条款。

TI 组件未获得用于 FDA Class III (或类似的生命攸关医疗设备) 的授权许可, 除非各方授权官员已经达成了专门管控此类使用的特别协议。

只有那些 TI 特别注明属于军用等级或“增强型塑料”的 TI 组件才是设计或专门用于军事/航空应用或环境的。购买者认可并同意, 对并非指定面向军事或航空航天用途的 TI 组件进行军事或航空航天方面的应用, 其风险由客户单独承担, 并且由客户独自负责满足与此类使用相关的所有法律和法规要求。

TI 已明确指定符合 ISO/TS16949 要求的产品, 这些产品主要用于汽车。在任何情况下, 因使用非指定产品而无法达到 ISO/TS16949 要求, TI 不承担任何责任。

	产品		应用
数字音频	<a href="http://www.ti.com.cn/audio">www.ti.com.cn/audio</a>	通信与电信	<a href="http://www.ti.com.cn/telecom">www.ti.com.cn/telecom</a>
放大器和线性器件	<a href="http://www.ti.com.cn/amplifiers">www.ti.com.cn/amplifiers</a>	计算机及周边	<a href="http://www.ti.com.cn/computer">www.ti.com.cn/computer</a>
数据转换器	<a href="http://www.ti.com.cn/dataconverters">www.ti.com.cn/dataconverters</a>	消费电子	<a href="http://www.ti.com.cn/consumer-apps">www.ti.com.cn/consumer-apps</a>
DLP® 产品	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>	能源	<a href="http://www.ti.com.cn/energy">www.ti.com.cn/energy</a>
DSP - 数字信号处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/dsp">www.ti.com.cn/dsp</a>	工业应用	<a href="http://www.ti.com.cn/industrial">www.ti.com.cn/industrial</a>
时钟和计时器	<a href="http://www.ti.com.cn/clockandtimers">www.ti.com.cn/clockandtimers</a>	医疗电子	<a href="http://www.ti.com.cn/medical">www.ti.com.cn/medical</a>
接口	<a href="http://www.ti.com.cn/interface">www.ti.com.cn/interface</a>	安防应用	<a href="http://www.ti.com.cn/security">www.ti.com.cn/security</a>
逻辑	<a href="http://www.ti.com.cn/logic">www.ti.com.cn/logic</a>	汽车电子	<a href="http://www.ti.com.cn/automotive">www.ti.com.cn/automotive</a>
电源管理	<a href="http://www.ti.com.cn/power">www.ti.com.cn/power</a>	视频和影像	<a href="http://www.ti.com.cn/video">www.ti.com.cn/video</a>
微控制器 (MCU)	<a href="http://www.ti.com.cn/microcontrollers">www.ti.com.cn/microcontrollers</a>		
RFID 系统	<a href="http://www.ti.com.cn/rfidsys">www.ti.com.cn/rfidsys</a>		
OMAP应用处理器	<a href="http://www.ti.com.cn/omap">www.ti.com.cn/omap</a>		
无线连通性	<a href="http://www.ti.com.cn/wirelessconnectivity">www.ti.com.cn/wirelessconnectivity</a>	德州仪器在线技术支持社区	<a href="http://www.deyisupport.com">www.deyisupport.com</a>

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2016, Texas Instruments Incorporated