

穿过隔离栅供电：认识隔离式直流/直流偏置电源



Ryan Manack

业务主管
德州仪器 (TI)

TI POWER

随着高压系统中功率等级的不断提高,设计人员需要确保通过隔离栅安全地传输信号和电力。

内容概览

本文探讨了通过隔离栅传输信号和电力的各种隔离式直流/直流偏置电源。

- 1 隔离式直流/直流电源要求**
偏置电源解决方案可提供许多选项,因此了解每种选项的要求非常重要。
- 2 隔离式偏置电源拓扑的类型**
隔离式偏置电源可使用多种拓扑,包括反激式、Fly-Buck™、推挽式、LLC 和电源模块。
- 3 下一代偏置解决方案**
设计人员现可将变压器和器件集成到一个 IC 中,从而提供更小巧的轻量级解决方案。

对于设计人员来说,在隔离栅内移动信号和电源是一项常见的挑战。为了提高安全性和抗噪性能,或产生较大的电势差,可能需要在不同的系统域之间进行隔离。例如,手机充电器通过内部隔离,可在连接器短路时防止用户触电。在工厂机器人等其他应用中,敏感控制电路单独接地,并与产生较大直流电流、噪声和

接地反弹的电机隔离。

通常在整个隔离栅中进行通信和感应。使用控制器局域网 (CAN) 或 CAN 灵活数据速率 (FD) 协议通信的汽车应用,通过集成了隔离组件和收发器组件的隔离式 CAN 收发器,可将这类信号与汽车的高压侧隔离。工业应用也可以使用 CAN 协议和 RS-485 协议实现长距离串行通信。与隔离 CAN 和 CAN FD 信号类似,设计人员可使用专为 RS-485 协议设计的隔离式收发器。保护继电器使用隔离式电流和电压传感器感应整个电网中的电力。牵引逆变器和电机驱动器接收电机控制器发出的脉宽调制 (PWM) 信号,然后信号经过隔离器向栅极驱动器发出开启或关闭绝缘栅双极晶体管的指令。

通过提供从隔离栅一侧到另一侧的偏置电源,隔离式偏置转换器可实现隔离通信和感应。电流和电压传感器、数字隔离器和栅极驱动器通常需要 15W 以下甚至低至几十毫瓦的电源。**图 1** 所示为上述每种应用的示例。

隔离式直流/直流偏置电源要求

无论是具有外部电源开关的控制器、将一个控制器与多个电源开关集成的转换器,还是将多个控制器、电源开关和变压器集成为一体的电源模块,都有许多可

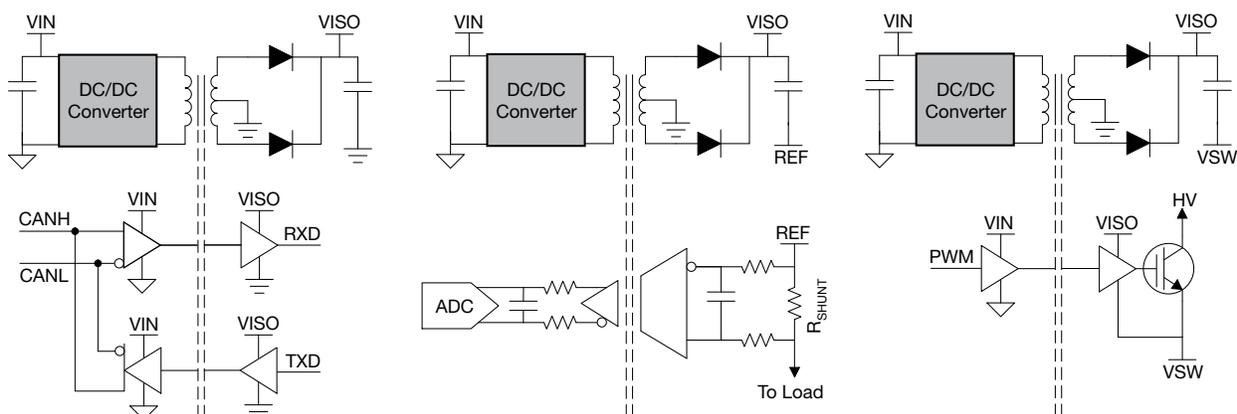


图 1. 隔离式偏置应用。

	牵引逆变器 SiC 栅极驱动器偏置	隔离式电流或电压感应	隔离式 CAN 通信	工业电机 IGBT 栅极驱动器偏置
输入电压	<u>12V + 10%</u>	5V	5V	<u>24V + 10%</u>
输出电压	+20V/-5V	5V	5V	+15V/-5V
输出功率	1.5W	100mW	350mW	1W
调节	+ 5%	+ 10%	+ 5%	+ 10%
隔离等级	基本	增强型	增强型	增强型
环境温度	高达 105°C	-55°C 至 125°C	-40°C 至 125°C	-40°C 至 85°C
电磁干扰 (EMI) 需求	国际无线电干扰特别委员会 (CISPR) 25 5 类	CISPR 32 B 类	CISPR 25 5 类	CISPR 32 B 类

表 1. 隔离式偏置转换器规范示例。

提供隔离式偏置电源的解决方案。由于偏置电源解决方案种类广泛,涉及的应用也是多种多样,为了以超低成本符合各类规范,全面了解各种应用要求是非常重要的。

设计人员至少应了解偏置电源输入电压范围、输出电压和输出功率要求。一些应用会需要多个偏置电压,因此确定每个输出的可接受调节范围至关重要。隔离等级、环境工作温度范围、EMI 和电磁兼容性 (EMC) 等系统要求会进一步驱动设计决策。表 1 从极为广泛的角度展示了隔离式偏置转换器的四种示例规范。下面我们来看隔离式偏置电源拓扑的部分示例。

反激式

反激式转换器是一种众所周知的拓扑结构,数十年来应用广泛。这种电源转换器具有灵活性和低成本等特点,可用于多种应用。凭借集成场效应晶体管 (FET) 和初级侧控制等增强功能,这种拓扑结构更加备受瞩目。

与正激、推挽和半桥等降压拓扑相比,反激拓扑仅需要一个初级开关、一个整流器和一个类似变压器的耦合电感器。图 2 所示为转换器的简化原理图。初级开关打开时,输入电压则施加在初级绕组上,在变压器空气间隙内储存能量。在这种情况下,仅输出电容器给输出负载供电。初级开关关闭时,储存在变压器中的能量则通过整流器输送到次级侧,为负载和输出电容器供电。

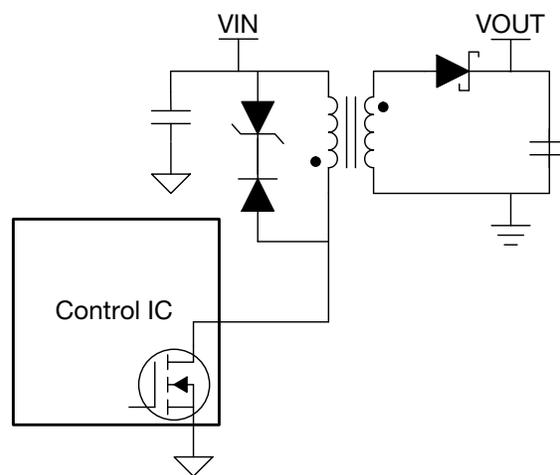


图 2.反激式转换器。

反激式转换器完全可用作偏置转换器,原因如下:反激式转换器能在一个转换级内实现调节和隔离,也可灵活用于多个输出。您可选择输出绕组数量,然后在变压器上缠绕线圈,来匹配您所选的配置。输出绕组电压是占空比与初级绕组和次级绕组匝数比的函数。也可以将每一输出端作为不同的接地基准点,从而满足系统隔离要求。反激式转换器的其他优势包括成本相对较低、具有宽的输入输出工作电压范围。

为了实现卓越性能,应对反激式变压器进行合理设计。变压器应良好耦合且漏电感低,从而提高效率、实现更优调节,尤其是在多输出的情况下。此外,还有必要限制初级侧与次级侧间的寄生电容,从而防止产生过多的 EMI。

Fly-Buck 转换器

Fly-Buck 转换器是德州仪器 (TI) 用于搭建隔离式偏置电源的专用拓扑, 其工作输入电压可高达 100V。与反激式转换器一样, 金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 通常集成在集成电路 (IC) 中, 可轻松实现初级侧控制。图 3 所示为 Fly-Buck 转换器。

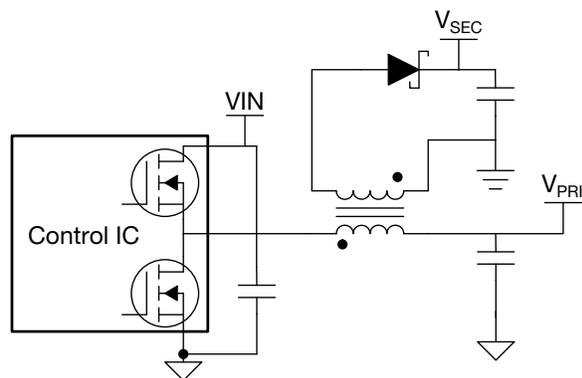


图 3. Fly-Buck™ 转换器。

此拓扑采用同步降压转换器与耦合电感器, 可产生一个或多个隔离式输出。高侧开关打开时, 初级侧作为降压转换器运行, 而次级绕组电流为零。高侧开关关闭且低侧开关打开时, 初级侧利用其储存的能量对次级侧供电。

同步降压转换器非常普遍, 因此 Fly-Buck 转换器拓扑备受青睐。由于反馈环路可在初级输出电压处闭合, 因此该转换器无需附加的辅助绕组或光耦合器进行控制。耦合电感结构灵活, 匝数比、隔离等级、次级绕组数和 PWM 占空比均可控, 因此适用于各种应用。

与反激式转换器一样, 耦合电感器也必须合理设计。一定要注意控制漏感和初级侧与次级侧间的寄生电容。对于需要 100V 以上输入的应用, 您可以使用具有外部 MOSFET 的 Fly-Buck 转换器。

推挽式变压器驱动器

推挽式变压器驱动器是适用于低噪声、小型隔离式电源的常用解决方案, 由具有严格电压调节功能的输入轨供电, 开环运行, 固定占空比 50%。MOSFET 集成到 IC 中, 可实现紧凑的磁解决方案。

图 4 所示为推挽式拓扑。推挽式拓扑是正激式双端拓扑, 有两个 MOSFET 作为接地基准, 因此无需外部

自举电路。与单端正激式转换器类似, FET 的电压应力是输入电压的两倍。两个 MOSFET 每隔半个周期切换一次, 占空比为 50%, 驱动变压器具有中间抽头的绕组。

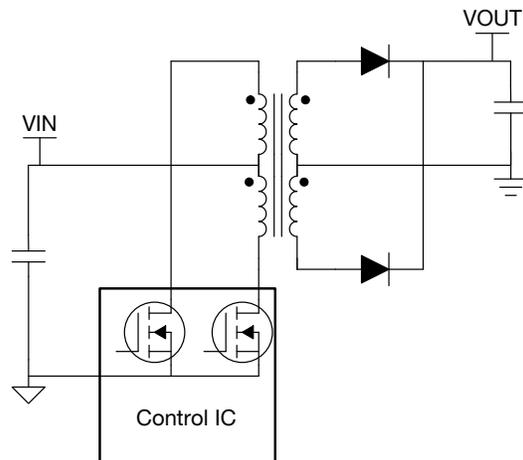


图 4. 推挽式变压器驱动器。

推挽式变压器驱动器是一种普遍的隔离式偏置电源解决方案, 原因如下: 它具有灵活性, 能支持多路输出; 其开环配置省去了反馈环路, 从而简化设计。推挽式变压器具有较低的初级-次级电容, 与反激式和 Fly-Buck 转换器相比, 能降低共模噪声。

另外, 推挽式拓扑能更有效地利用变压器铁芯的磁化电流, 从而实现比反激式和 Fly-Buck 转换器更小的磁解决方案。

尽管变压器驱动器具有许多优点, 但也应注意权衡利弊。与反激式和 Fly-Buck 转换器不同, 变压器驱动器不支持宽输入电压范围, 因此需要严格调节输入电压。由于没有闭合环路, 因此不容易满足输出电压反馈调节要求, 可能需要低压降后置稳压器 (LDO)。

LLC 转换器

大多数变压器驱动器都从推挽式变压器驱动器发展为谐振转换器, 例如半桥配置中的电感器-电感器-电容器 (LLC) 拓扑。尽管 MOSFET 开关控制是相同的, 即每个 MOSFET 以 50% 的占空比交替开启, 并且转换器处于开环运行状态, 但 LLC 拓扑为系统带来了更多好处。

图 5 所示为 LLC 半桥拓扑。和推挽式拓扑一样, LLC 拓扑也是双端的。变压器由在具有外部串行谐振电容

的半桥中配置的 MOSFET 驱动。变压器中的电容和漏电感可提供串行谐振电路。能量通过谐振电路中的电流从初级负载传递到次级负载。在这种拓扑中，通过串联谐振电路的作用，初级和次级电流均为正弦电流。

LLC 拓扑的主要优点包括在隔离栅上实现更高的效率、更低的 EMI 和更低的电容（这有助于提高共模瞬变抗扰度 [CMTI] 可靠性）。变压器漏电感不再是噪声或能量损失的考虑因素。实际上，它已成为串行谐振电路的一部分。

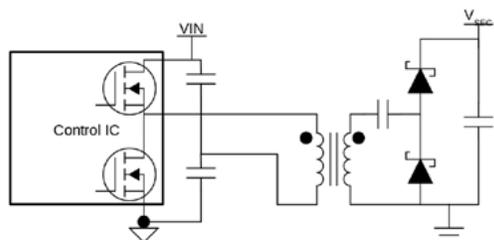


图 5.LLC 转换器。

推挽式变压器需要四个绕组，这些绕组必须紧密耦合以减少漏电感。LLC 转换器仅需要两个绕组，从而降低了成本。通过特意将两个绕组分隔在一个分体式线轴中，无需使用粗线绝缘或绝缘胶带，从而进一步降低了成本。从设计上讲，漏电感较高，并且变压器的初级到次级电容可以比反激式和推挽式变压器低一个数量级，这是 EMI 和 CMTI 的主要优点。

过去，LLC 拓扑在电压和功率更高的系统中占主导地位，目的是提高开关频率、减少开关损耗、提高效率、减小磁性元件尺寸并简化变压器结构。15W 以下的偏置电源现在也具备同样的优势；开关频率可以增加到 1MHz 以上，以进一步减小转换器尺寸和削减成本，同时提高转换器性能。越来越多的设计人员正在改用 LLC 拓扑，以更低的系统成本进一步实现更高的性能和更高的可靠性。

电源模块

电压模块具有数十年的发展历史。这类解决方案非常普遍，与分立式实施方式相比，可显著提高集成度。电源模块种类繁多，可提供输入电压、输出电压、输出功率、输出数量、隔离等级和调节等选项。

图 6 所示为某电源模块内部运行的方框图。其拓扑包

括变压器驱动器，与分立式拓扑相似。某些器件可能集成一个输出 LDO 用于调节。

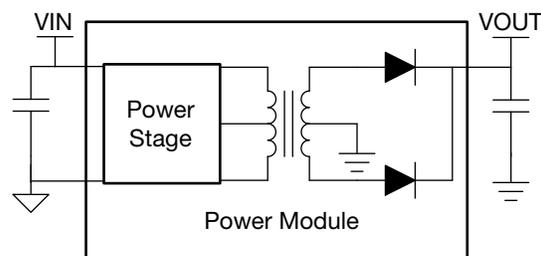


图 6.电源模块。

电源模块提供多种选项，可用于大部分隔离式偏置转换器应用。由于您无需规定、设计或选择变压器，因此可大大简化设计过程；只需加入输入和输出去耦电容器即可开始设计。同样，也提供同步、输出电压选择、使能和错误信令等其他选项。

您在使用专门配置输出数量和变压器匝数比的模块时，灵活性可能会有所降低。与额定环境温度为 125°C 的模块相比，55°C 和 85°C 选项的模块更受青睐。同样地，采用完全增强型隔离的模块数量也不及采用功能型或基本隔离的模块。

下一代偏置解决方案

变压器设计创新和更高频率的拓扑允许 IC 设计人员将变压器和硅芯片集成到一个 IC 中。终端用户无需设计变压器或降低系统性能，即可获得小型轻量级的隔离式直流/直流偏置电源。

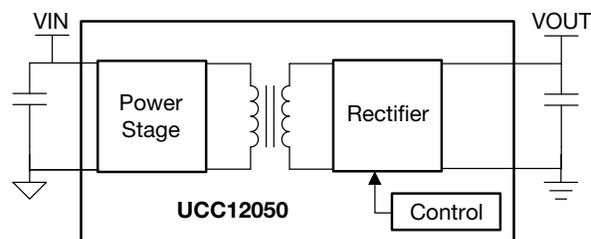


图 7.UCC12050 隔离式直流/直流偏置电源。

图 7 所示为德州仪器 (TI) UCC12050 的方框图。尽管 UCC12050 看起来与具有集成功率级和整流器的电源模块类似，但研究 UCC12050 的运行后发现，其开关频率比电源模块高很多。与开关频率较低的其他电

源相比, UCC12050 的高度和重量都显著降低。使用内部拓扑控制方案, 无需 LDO 或外部反馈组件即可实现闭环运行。

UCC12050 为各种隔离式直流/直流偏置电源应用带来很多优势。其设计使用 EMI 优化型变压器, 初级侧与次级侧之间的电容仅为 3.5pF, 采用噪声控制方案。无需铁氧体磁珠或 LDO, 双层印刷电路板解决方案本身即符合 CISPR32 B 类标准。该器件性能强劲, 增强型隔离额定值为 5kVrms, 额定工作电压为 1.2kVrms, 可在 125°C 环境温度下运行。该器件系列还包括 UCC12040, 其基本隔离额定值为 3kVrms, 额定工作电压为 800Vrms。

UCC12050 专用于 5V 输入、3.3V 至 5.4V 输出、功率为 500mW 的应用。要求更高输入或输出电压的应用

将需要前置或后置转换功能。此外, 对于要求功率在 UCC12050 降额曲线以上的设计, 应了解替代拓扑。

表 2 对上述各种拓扑进行了比较。很明显, 具有外部变压器的拓扑能带来更大的灵活性, 而电源模块和 UCC12050 简便易用。

结论

您身边有许多隔离式电源可以选择, 但需要了解输出数量、调节要求、输出功率、隔离等级、工作温度和输入电压范围等系统级规格。为此, 您可以选择这种成本更低、可满足所有系统要求的解决方案。

	输出数量	调节	输出功率	隔离等级	工作温度
反激式转换器	灵活 - 取决于 XFMR	PSR 或光耦合器, 仅调节一个绕组	高达 15W	灵活 - 取决于 XFMR	灵活 - 取决于 XFMR
Fly-buck™ 转换器	灵活 - 取决于 XFMR	PSR 或光耦合器	5 至 10W	灵活 - 取决于 XFMR	灵活 - 取决于 XFMR
变压器驱动器	灵活 - 取决于 XFMR	无调节	1 至 5W	灵活 - 取决于 XFMR	灵活 - 取决于 XFMR
LLC 转换器	灵活 - 取决于 XFMR	调节或无调节	高达 10W	灵活 - 取决于 XFMR	灵活 - 取决于 XFMR
电源模块	1 至 2 个输出	调节或无调节	1 至 3W	主要是基本或功能隔离	通常 85°C
UCC12050	1 个输出	调节	0.5W	增强型	125°C

表 2. 隔离式偏置电源拓扑对比。

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅全面的全新产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

平台标识和 Fly-Buck 是德州仪器 (TI) 的商标。所有其他商标均属于其各自所有者。

重要声明和免责声明

TI 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安全、安保或其他要求。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 (<https://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 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。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司