

隔离式栅极驱动器的共模瞬变抗扰度

作者: Shailendra Baranwal,
高级设计工程师, 隔离式产品团队

引言

隔离式栅极驱动器广泛地用于在各种不同的应用中驱动绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 和 MOSFET, 如电机驱动器、太阳能逆变器和汽车等。除了接通和关断 IGBT 或 MOSFET 之外, 这些驱动器还可提供电流隔离。器件的开关速率取决于应用和所用器件的类型。10 kHz 至 20 kHz 的开关频率在 IGBT 中是常见的, 然而, 基于碳化硅 (SiC) 和氮化镓 (即 GaN) 的系统则能工作在 50 kHz 至 200 kHz。采用较高开关频率的部分优势是较小的滤波器尺寸、快速控制和较低的失真。不过, 这些优势伴随着转换期间功率损耗的增加。当在较高的开关频率上运作栅极驱动器时, 共模瞬变抗扰度 (CMTI) 是栅极驱动器的一个需要考虑的重要参数。本文介绍了通用脉宽调制 (PWM) 方案的背景、与高开关频率相关联的转换损耗、以及用于缩短转换时间的隔离式栅极驱动器解决方案。

典型逆变器操作

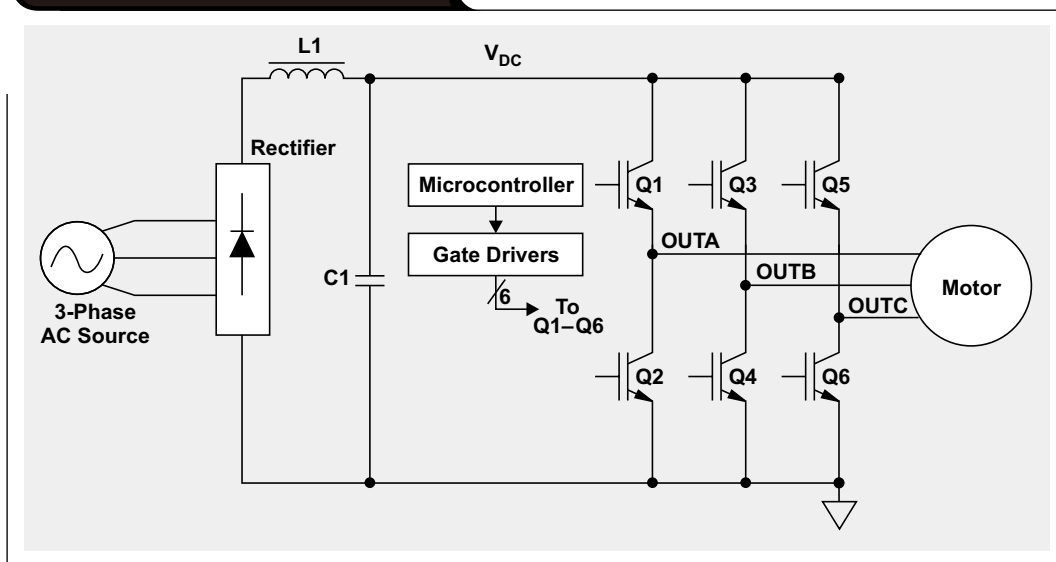
一种逆变器配置用于一种 DC-AC 转换。这些电压源逆变器 (VSI) 可用于一般的 AC 电压输出生成或电机控制。

AC 电压输出应用的例子包括太阳能逆变器、不间断电源 (UPS) 或采用汽车中的电池来供电的 AC 应用。相同的逆变器配置可提供输出电压幅度和频率控制, 这对于电机控制是更加有用的。感应电机控制是把逆变器用于电机控制的常见示例。

图 1 包含一个高级示意图, 其示出了 AC-DC 转换和随后的 DC-AC 转换。该系统具有一个三相输入和可控制的三相 AC 输出。整流器模块负责把 AC 转换成 DC, 而一个采用 L1 和 C1 的滤波器则用于滤除残留的纹波。该整流器的一个关键参数是其功率因数。整流器的最简单形式是使用二极管。基于二极管的整流器具有非常差的功率因数, 而且不适合高功率应用。作为替代, 采用有源功率因数校正 (PFC) 的整流器是高功率解决方案的首选。^[1]

逆变器主要包括 Q1~Q6 IGBT 和栅极驱动器电路。逆变器的输入是由整流器产生的 DC 电源 (V_{DC})。逆变器的用途是把 DC 电压转换成 AC 电压。逆变器输出的频率和幅度由 IGBT 的开关方式来控制。在诸如 UPS 或太阳能逆变器等应用中, 由电池向逆变器供电。负载可以是任何通用的 AC 负载, 也可连接至电网。逆变器的基本结构对于许多应用保持不变。

图 1: 电机控制示意图



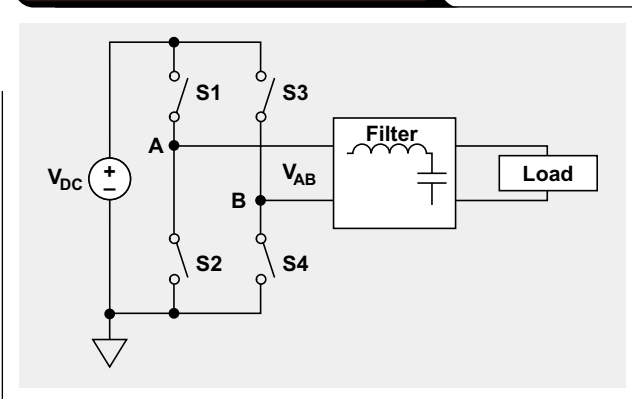
电池供电式逆变器在电动汽车中十分常见。一个微控制器用于产生 PWM 波形，以驱动 IGBT 及介于 0 V 和 V_{DC} 之间的输出（OUTA、OUTB 和 OUTC）开关。感应电机需要控制电压和频率以控制其转矩和速度。微控制器负责监视速度和电机中的电流，并根据用户输入来提供正确的 PWM 模式。IGBT 通常需要具有隔离式输出的栅极驱动器，因为输出侧在 0 V 和 V_{DC} 之间切换。基于 IGBT 的逆变器的开关频率一般在 8 kHz 至 16 kHz 的范围内，而 SiC 或 GaN IGBT 则可采用更高的开关频率。^[2, 3] 在此方案中，栅极驱动器还需要支持更快的开关速度。逆变器可配置为一个只具有两条支路和四个开关的单相输出。三相系统通常用于获得更大的功率。

脉宽调制

PWM（即脉宽调制）是一种通过改变占空比来实现幅度控制的方法。

图 2 示出了单相逆变器的一种简单形式。逆变器的输入是一个 DC 电压 (V_{DC})，而负载两端的电压为 $V_{AB} = V_A - V_B$ 。节点 A 上的电压通过开关 S1 和 S2 在 V_{DC} 和 0 V 之间切换。类似地，节点 B 上的电压通过开关 S3 和 S4 在 V_{DC} 和 0 V 之间切换。开关 S1 和 S2 是互补的，与开关 S3 和 S4 相同。采用该系统所能实现的最大输出电压为 V_{DC} 。图 3 给出了未进行滤波时节点 A 和 B 上的开关波形示例。开关速率的范围可从 10 kHz 至 200 kHz，这取决于应用和开关的类型。在图 3a 中，节点 A 上的占

图 2：单相逆变器的高级示意图



空比大于 50%，而在图 3b 中，节点 B 上的占空比小于 50%。这在负载的两端产生了一个正电压，如图 3c 所示。

在图 3d 中，节点 A 上的占空比小于 50%，而在节点 B 上的占空比则大于 50%（图 3e），这在负载的两端产生了一个正电压（图 3f）。

负载 / 滤波器两端的平均电压 V_{AB} 可写作：

$$V_{AB} = V_{DC} \times D_A - V_{DC} \times D_B \text{ 或 } V_{AB} = V_{DC} \times (D_A - D_B) \quad (1)$$

式中的 D_A 为节点 A 上的占空比，而 D_B 是节点 B 上的占空比。

图 3：简化的 PWM 操作（具有正和负输出电压）

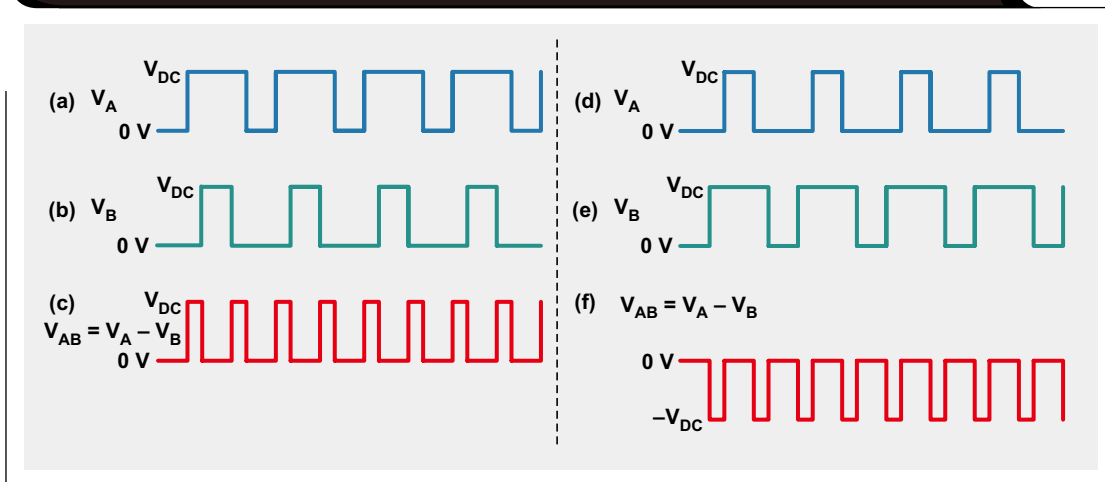
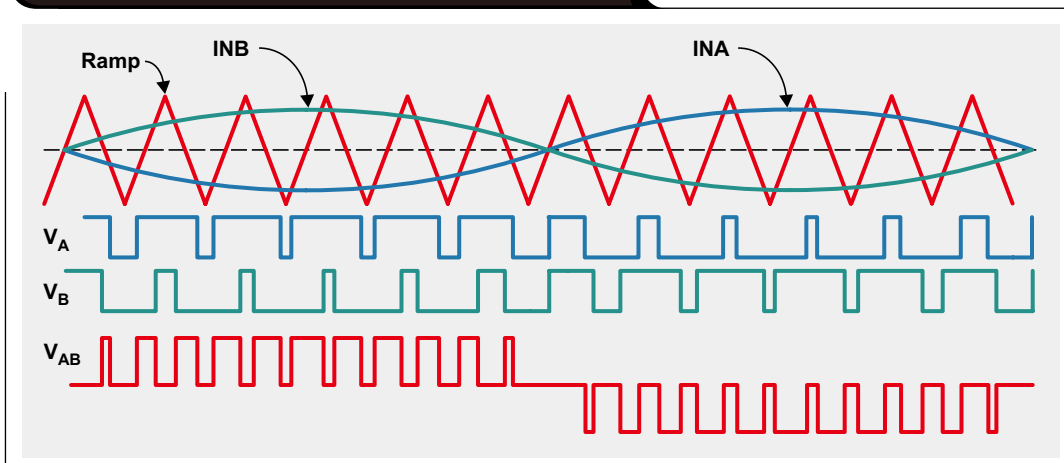


图 4: 单相 PWM 输出波形



控制占空比 D_A 和 D_B 可实现对输出电压 V_{AB} 的控制。通过把一个基准正弦波 INA 和 INB 与一个高频三角信号进行比较, 获得了一个正弦单相 PWM 波形 (如图 4 所示)。

输出的基波分量具有一个与差分基准输入 ($V_{INA} - V_{INB}$) 成正比的幅度, 而且频率与基准频率相同。这使得电压和频率能够由基准信号来控制。高频音调位于频率 $2nf_{SW} \pm mf_{IN}$, 其中的 f_{SW} 是三角信号频率, f_{IN} 是基准输入频率, 而乘数 n 和 m 可以为 1、2、3, 等等。高频分量利用 LC 滤波器 (或者在电机控制中则是电机电感) 来滤除。

输入信号幅度与三角信号幅度之间的比值被称为幅度调变比, 或 m_A 。

$$m_A = \frac{V_{IN}}{V_{RAMP}} \quad (2)$$

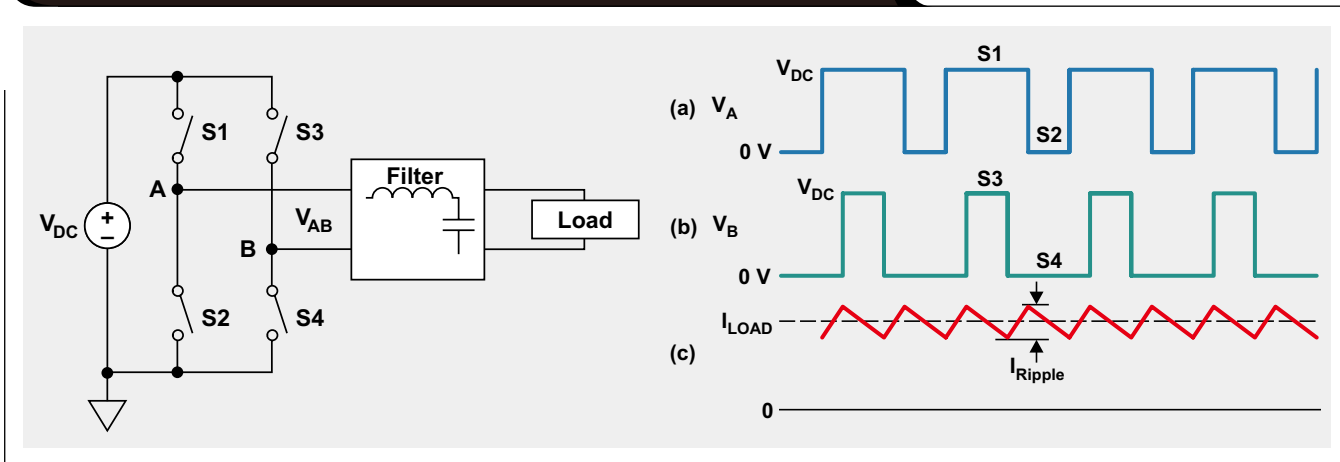
式中的 V_{IN} 为基准输入信号的幅度, V_{RAMP} 为三角波信号的幅度。基本输出电压为 $m_A \times V_{DC} \times \text{sine}(\omega t)$; 其中的 ω 为基准输入信号的频率。基本信号的均方根 (rms) 可被写作:

$$V_{RMS} = \frac{m_A \times V_{DC}}{\sqrt{2}} \quad (3)$$

逆变器中的转换损耗

逆变器输出以 PWM 频率在地电位与 V_{DC} 之间切换, 然而, 输出电流则由 LC 滤波器或电机电感进行滤波。图 5 示出了 PWM 开关输出中的电压和电流波形。图 5c 示出了一个具有非常小纹波分量的 DC 电流。纹波幅度取决于滤波器尺寸。虽然该例示出的是一个 DC 输出, 但相同的概念可针对一个正弦波输出进行扩展。不过, 该电流是一个其上“骑”有小纹波的正弦波。

图 5: 逆变器的电压和电流波形 (采用一个 LC 滤波器时)



瞬时输出功率为 $V_{AB} \times I_{LOAD}$ ，其中的 V_{AB} 为平均 DC 输出，它取决于节点 A 和 B 上的占空比。假设在电压和电流之间没有相位差，则一个正弦输出的输出功率为：

$$P_{OUT} = V_{RMS} \times I_{RMS} = \frac{m_A \times V_{DC} \times I_{RMS}}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

节点 A 上的电压的 0 V 至 V_{DC} 和 V_{DC} 至 0 V 转换时间是有限的。开关的 ON 阻抗在完全导通时是非常低的，但在转换时间里则较高。这导致了转换开关损耗。此损耗在每个 PWM 周期出现两次。在转换期间通过开关的电流与负载电流相同，因为它是经过滤波的。单一过程的转换损耗为 $V_{DC} \times I_{LOAD} \times t_{RF} / 2$ 。

单相逆变器的总转换损耗为

$$P_{LOSS} = 2 \times 2 \times f_{SW} \times I_{LOAD} \times V_{DC} \times t_{RF} / 2 \\ = 2 \times V_{DC} \times I_{LOAD} \times t_{RF} \times f_{SW}$$

式中的 t_{RF} 为电压的上升 / 下降时间。如果是一个正弦电流输出，那么穿过开关的电流是负载电流的一个平均值：

$$|I_{LOAD}| = \frac{2\sqrt{2} \times I_{RMS}}{\pi} \quad (5)$$

而功率损耗为：

$$P_{LOSS} = \frac{4\sqrt{2} \times V_{DC} \times I_{RMS} \times t_{RF} \times f_{SW}}{\pi} \quad (6)$$

该损耗与输出功率的比值为：

$$\frac{P_{LOSS}}{P_{OUT}} = \frac{8 \times t_{RF} \times f_{SW}}{\pi \times m_A} \quad (7)$$

(6) 式表明该损耗与开关频率成正比。具有 16 kHz 开关频率和 200 ns 上升 / 下降时间的逆变器将产生 1% 的转换损耗（假设 $m_A = 0.8$ ）。若想降低转换损耗，则对于

较高的开关频率，上升 / 下降时间必须较低。例如：为了保持 1% 的转换损耗，基于 SiC 且开关频率为 64 kHz 的逆变器需要一个 50 ns 的上升 / 下降时间。

用于逆变器的栅极驱动器

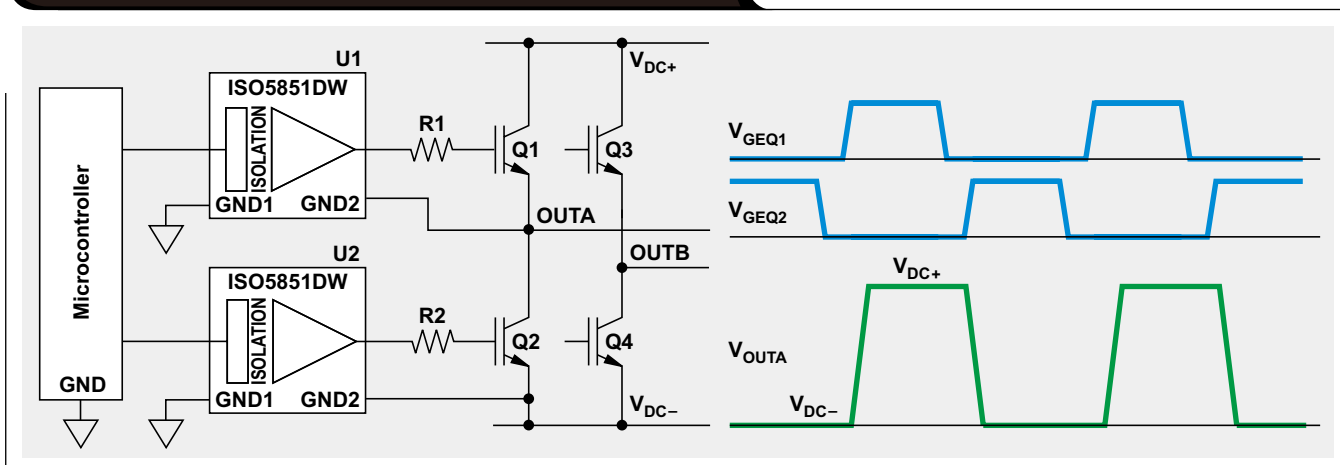
基于 IGBT 的电压源逆变器的典型驱动器示于图 6。该图示出了一款单相逆变器，但通过增设一个电桥支路可将其扩展至一个三相逆变器。输出 OUTA 或 OUTB 上的电压从 V_{DC-} 切换至 V_{DC+} 。IGBT 栅极驱动器是隔离式的，因为驱动器的输出侧地与逆变器输出一起切换，而输入侧地则是固定的并连接至一个底盘。

两个栅极驱动器的 GND1 和 GND2 之间的电位差要求对驱动器实施隔离。栅极驱动器支持跨两个地的高电压隔离以及 GND2 上的电压转换速率。另外，栅极驱动器还是根据其隔离额定值及其对 GND2 上的转换的抗扰度（即共模瞬变抗扰度 (CMTI)）来选择的。例如：倘若 DC 总线为 1500 V 且 OUTA 的转换时间为 100 ns，则栅极驱动器所要求的抗扰度为 15 V/ns。如果上升 / 下降时间较低，则对驱动器的抗扰度要求增加。具较高开关频率的电压源逆变器 (VSI) 将有着较高的 CMTI 要求。一个以 64 kHz 频率运行且上升 / 下降时间为 50 ns 的 1500 V VSI 要求至少 30 V/ns 的 CMTI。如果转换损耗将较低，则增加对 CMTI 要求。

栅极驱动器在其数据表中针对 CMTI 拟定了规格。例如：ISO5851 和 ISO5852S 均具有一个 100 kV/ μ s 的最小 CMTI。针对栅极驱动器的较高 CMTI 可确保不会由于瞬态噪声而引起伪故障或错误的输出切换。

另外，组件布局或电路板设计对于实现抗瞬态噪声能力也是至关重要的。应最大限度地减小驱动器一侧至驱动器另一侧之间的寄生电容。[接下页]

图 6：具有栅极驱动器的单相逆变器



[续上页] 通过采用 ISO5851 数据表提供的示意图，图 7 给出了一幅典型应用示意图。就绪 (RDY) 和故障 (FLT) 引脚利用 10 kΩ 电阻器上拉。这些电阻器的阻值可能必须较低以拥有抗噪声能力。瞬态噪声会产生伪故障或低的欠压闭锁 (UVLO) 信号。这个问题可通过减小电阻器阻值或增大 C1 和 C2 的电容予以解决。

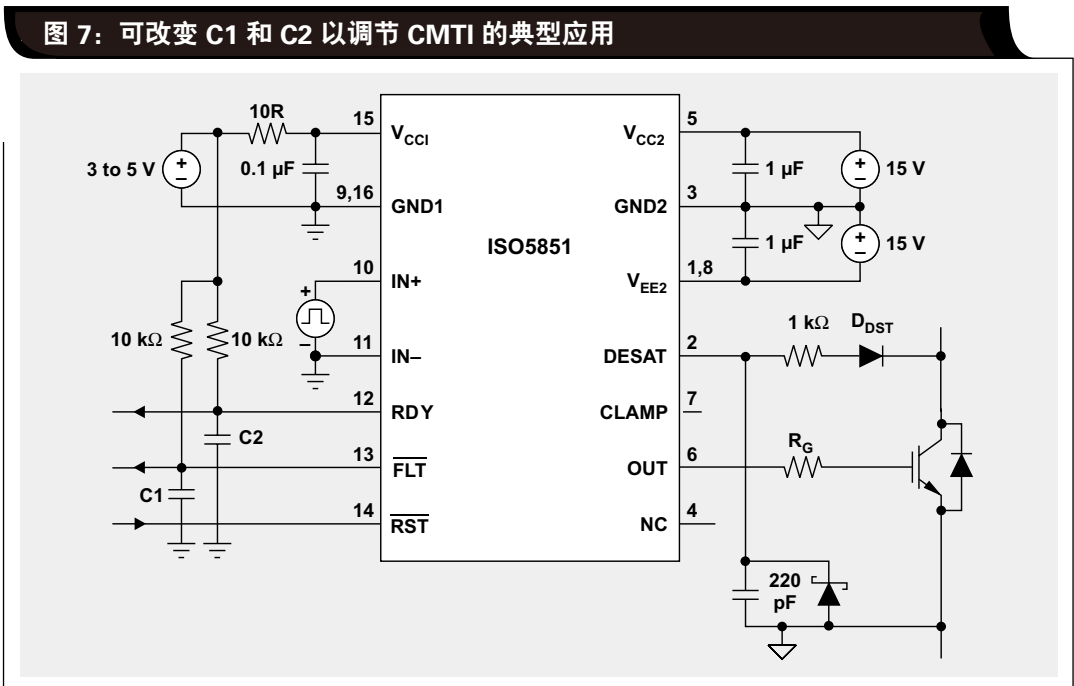
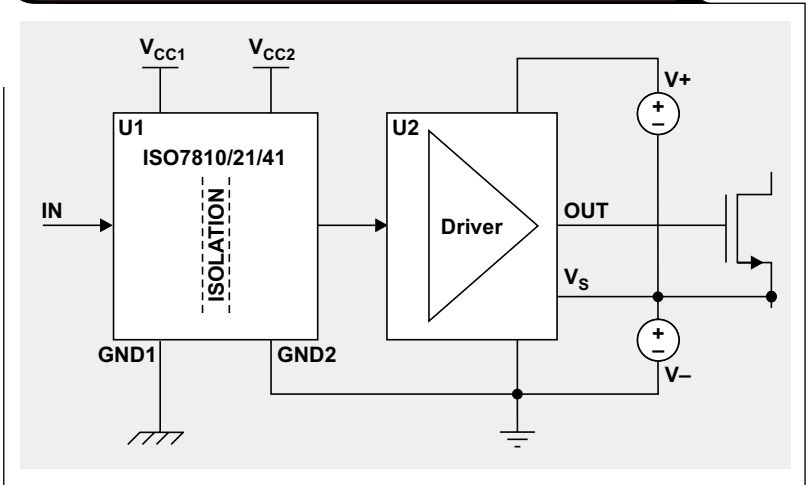


图 7: 可改变 C1 和 C2 以调节 CMTI 的典型应用

另外，诸如 ISO7810、ISO7821 或 ISO7841 等数字隔离器也可与 SiC、GaN 或 IGBT 驱动器一起使用。数字隔离器提供了强化的隔离性能和最小值为 100 kV/μs 的最小 CMTI。图 8 示出了一款采用了数字隔离器的隔离式驱动器解决方案。视具体应用的不同，数字隔离器可以从单通道至高达 4 通道。数字隔离器具有低传播延迟、低时钟偏移和低抖动等附加优势，这些优势在高频设计中是有用处的。

图 8: 采用数字隔离器的栅极驱动器解决方案



结论

采用 PWM 拓扑的电压源逆变器 (VSI) 是电机控制的上佳选择，因为输出幅度和频率控制具有很大的灵活性。较高的 PWM VSI 开关频率允许减小滤波器尺寸。采用高开关频率时上升 / 下降时间应较低，以保持较低的转换损耗。具有良好 CMTI 的栅极驱动器支持较快的开关速度。由德州仪器提供的栅极驱动器解决方案能够支持最小值为 100 kV/μs 的 CMTI。

参考文献

1. 作者: A. R. Prasad、P. D. Ziogas 和 S. Manias, 《用于三相二极管整流器的一种有源功率因数校正方法》, IEEE Trans. Power Electronics, 1991 年, pp. 83~92.
2. 作者: Scott Allen 博士, 《用于高功率模块的碳化硅 MOSFET》, CREE Inc., 2013 年 3 月 19 日.
3. 作者: Jang-Kwon Lim、D. Pefitsis、J. Rabkowski、

M. Bakowski、H.-P. Nee, 《制造工艺容差和电路寄生效应对并联连接 SiC JFET 瞬态均流之影响的分析和实验验证》, Power Electronics, IEEE Transactions on, Volume: 29, Issue: 5, 2014 年 5 月, pp. 2180~2191.

相关网站

产品信息:

ISO5851、ISO5852S、ISO7810、ISO7821、ISO7841

订阅 AAJ:

www.ti.com/subscribe-aaaj

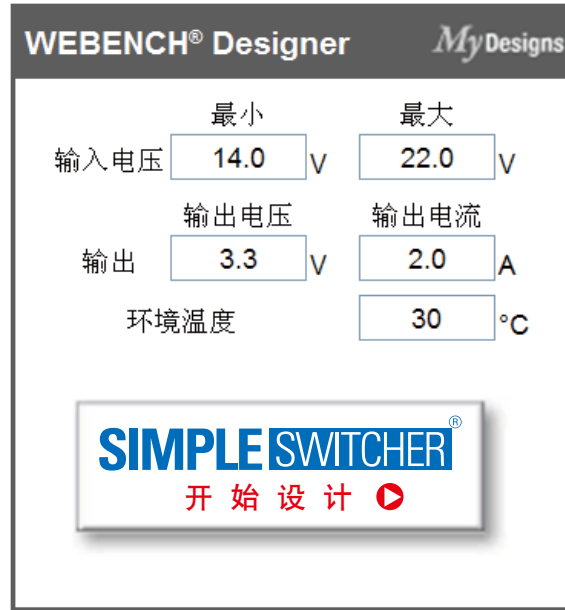
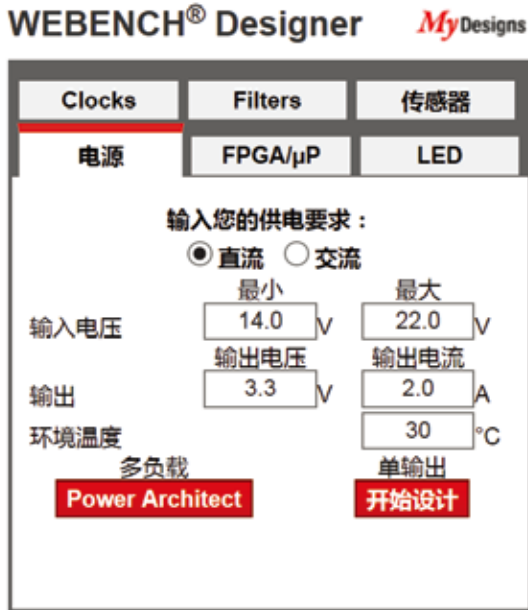
TI Designs 参考设计库提供完整的设计方案，由资深工程师团队精心创建，支持汽车、工业、医疗、消费等广泛应用的设计。在这里，您能找到包括原理图、物料清单、设计文件及测试报告的全面设计方案。登陆TI Designs，找寻更多适合您的参考设计！简单设计，从TI起步。

马上登录 ti.com.cn/tidesigns 查询最适合您的设计文档。



WEBENCH® 设计中心: 易于使用且可提供定制结果的设计工具。
PowerLab™ 参考设计库, 包含了近千个适用于所有应用的参考设计。
电源在线培训课程

www.ti.com.cn/webench
www.ti.com.cn/powerlab
www.ti.com.cn/powertraining



德州仪器在线技术支持社区

www.deyisupport.com

中国产品信息中心 免费热线:

800-820-8682

TI新浪微博



weibo.com/tisemi

热门产品

DAC8760	用于 4-20mA 电流回路应用的单通道、16 位、可编程电流/电压输出 DAC
DAC7760	单通道、12 位可编程电流输出和电压输出 DAC
ADS1247	极低噪声、精密 24 位 模数转换器
ADS1120	具有串行外设接口的低功耗、低噪声、16 位 ADC
ISO7242	四通道 2/2 25Mbps 数字隔离器
ISO7631FM	4kV _{PK} 低功耗三通道、150Mbps 数字隔离器
TPS54062	4.7V 至 60V 输入、50mA 同步降压转换器
TLK105L	工业温度、单端口 10/100Mbps 以太网物理层
SN65HVD255	CAN 收发器具有快速循环次数, 可用于高度已加载网络

了解更多, 请搜索以下产品型号:

DAC8760



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

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