



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

设计高保真隔离式功率逆变器接口



议题

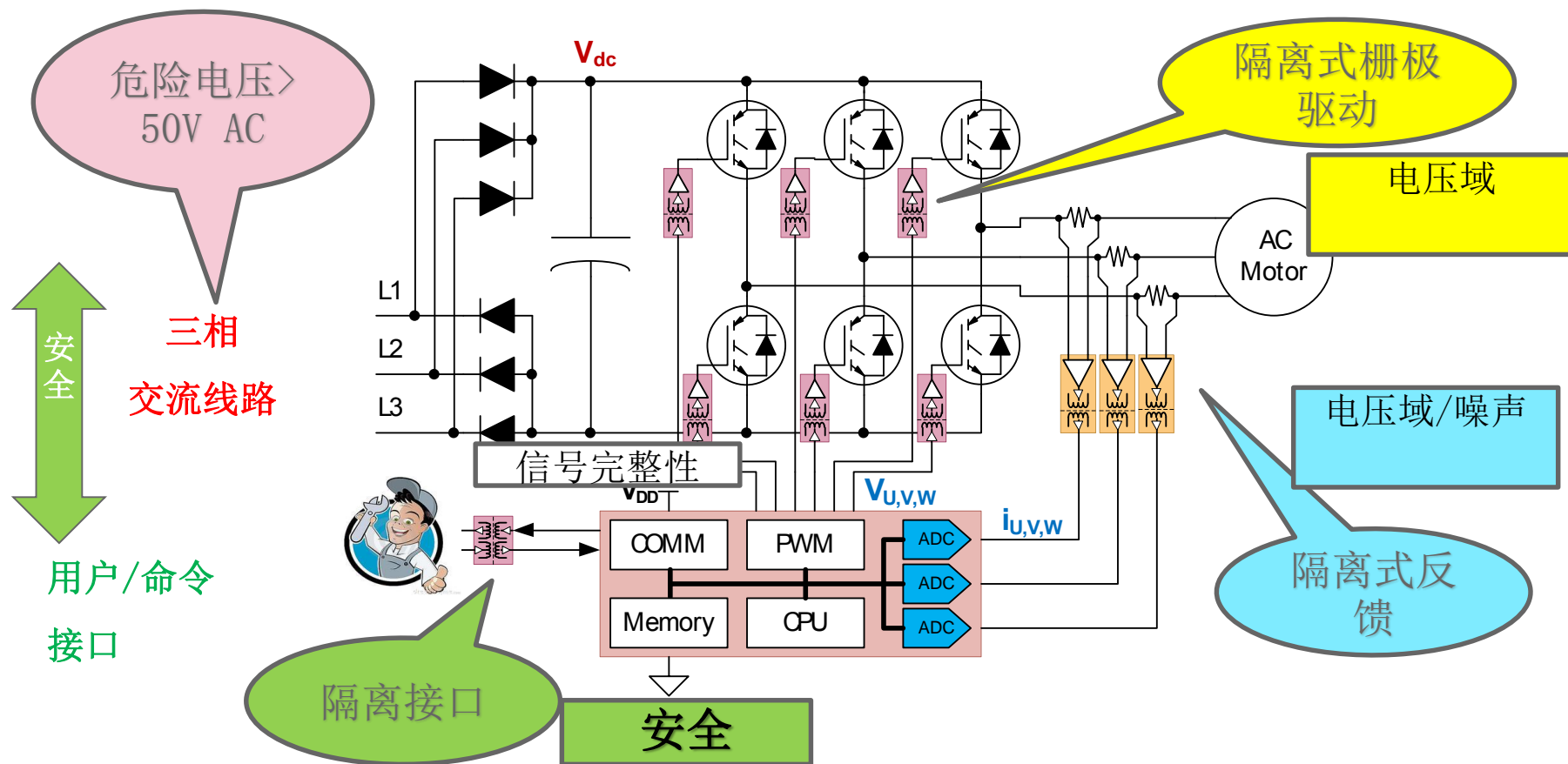
- ▶ 隔离需求
- ▶ 隔离电流检测、栅极驱动和信号
- ▶ 设计示例
- ▶ 系统设计考虑因素
- ▶ 评估平台



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

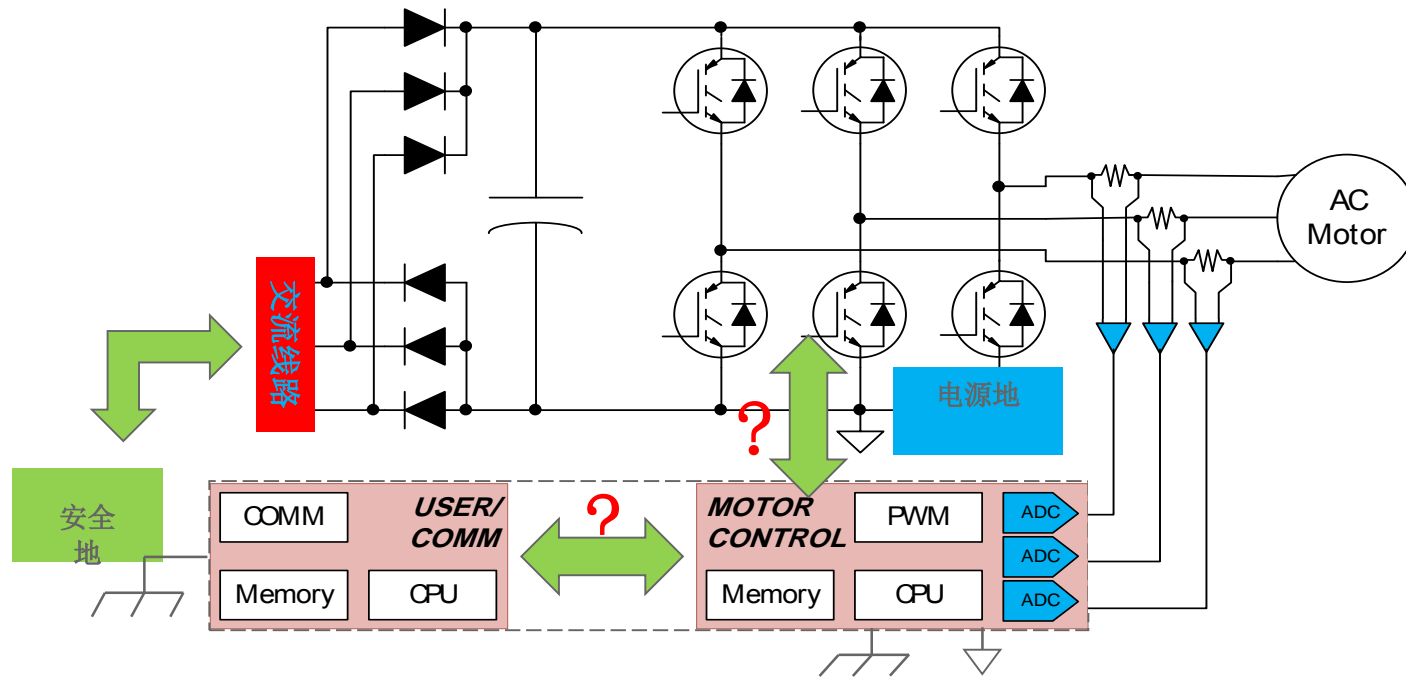
隔离需求

三相逆变器中的隔离要求



隔离选项

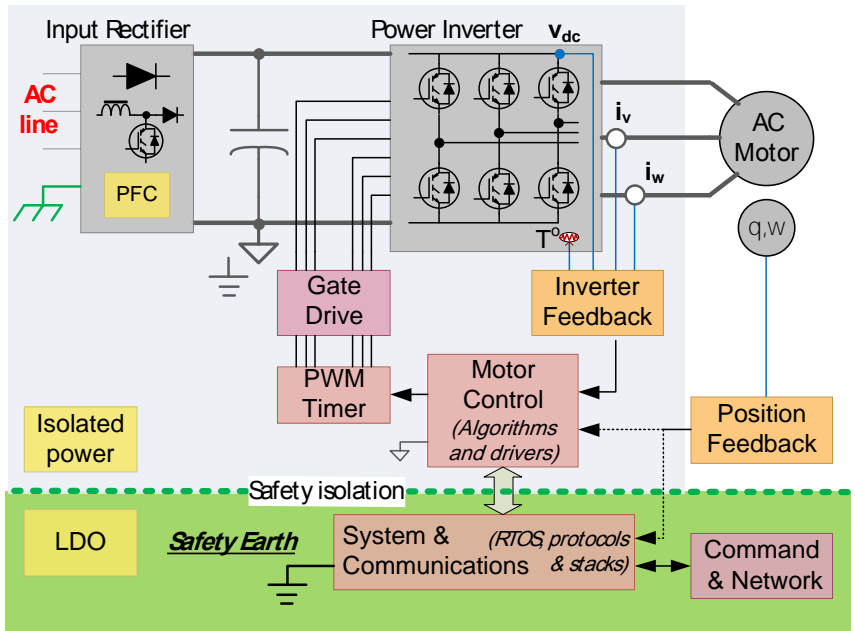
- ▶ 何处放置安全隔离栅？
 - ▣ 隔离式控制，为通信和反馈提供最大抗扰性能
 - ▣ 隔离式用户/通信，简化逆变器信号接口
 - ▣ 某些驱动架构能够同时隔离控制和通信电路



隔离架构

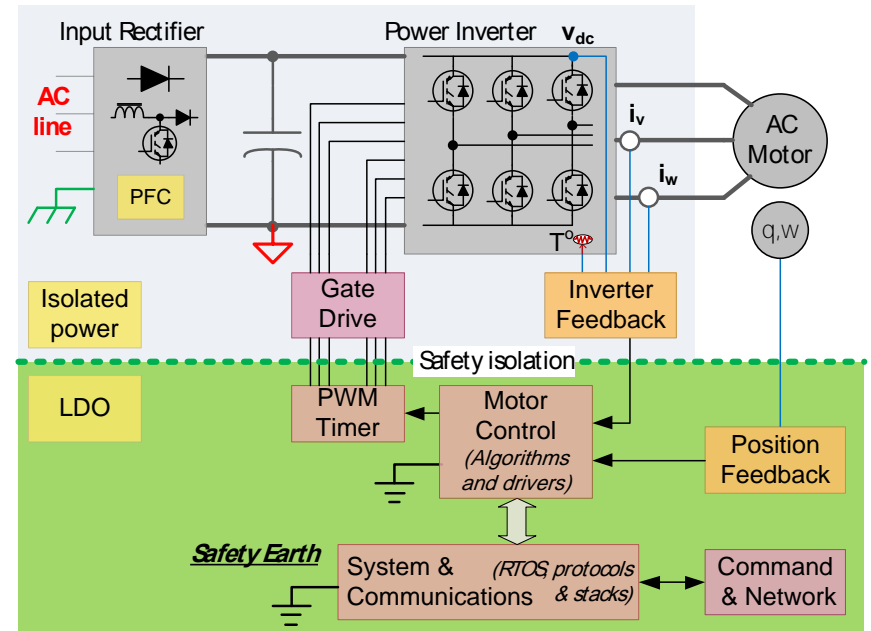
控制器连接到直流总线公共地

- ▶ 带简单用户界面的低端驱动
- ▶ 可使用电平转换栅极驱动器电路
- ▶ 功能性隔离电流检测



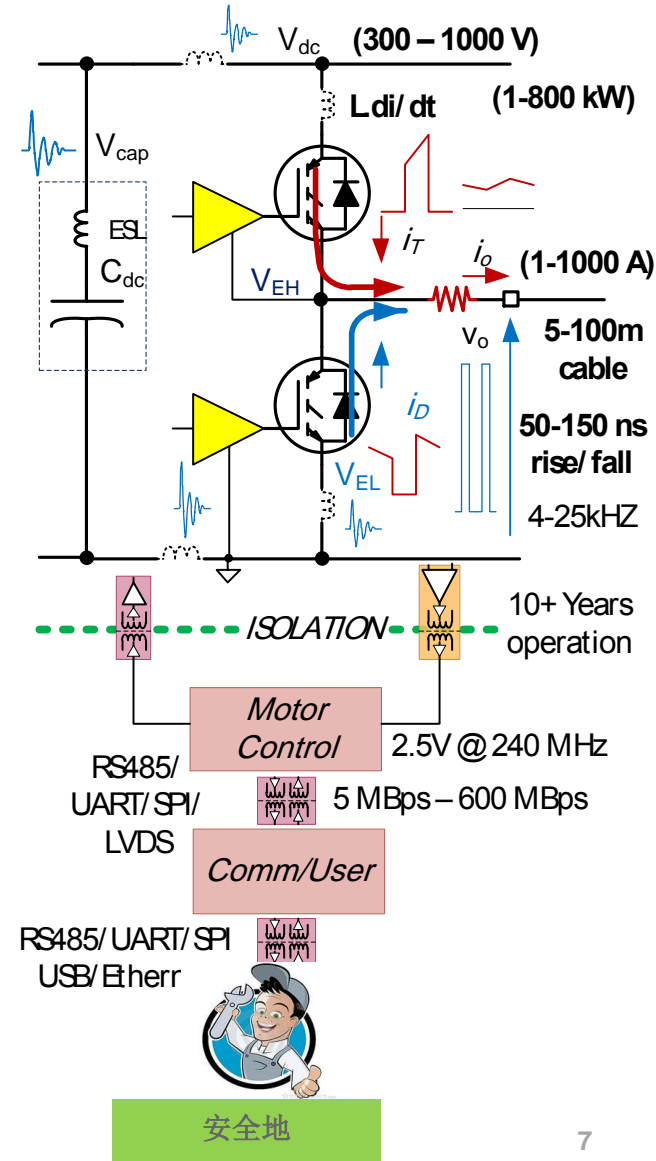
控制器连接至地

- ▶ 带复杂用户/通信界面的高端驱动
- ▶ 必须使用安全隔离栅极驱动器
- ▶ 必须使用安全隔离电流检测。

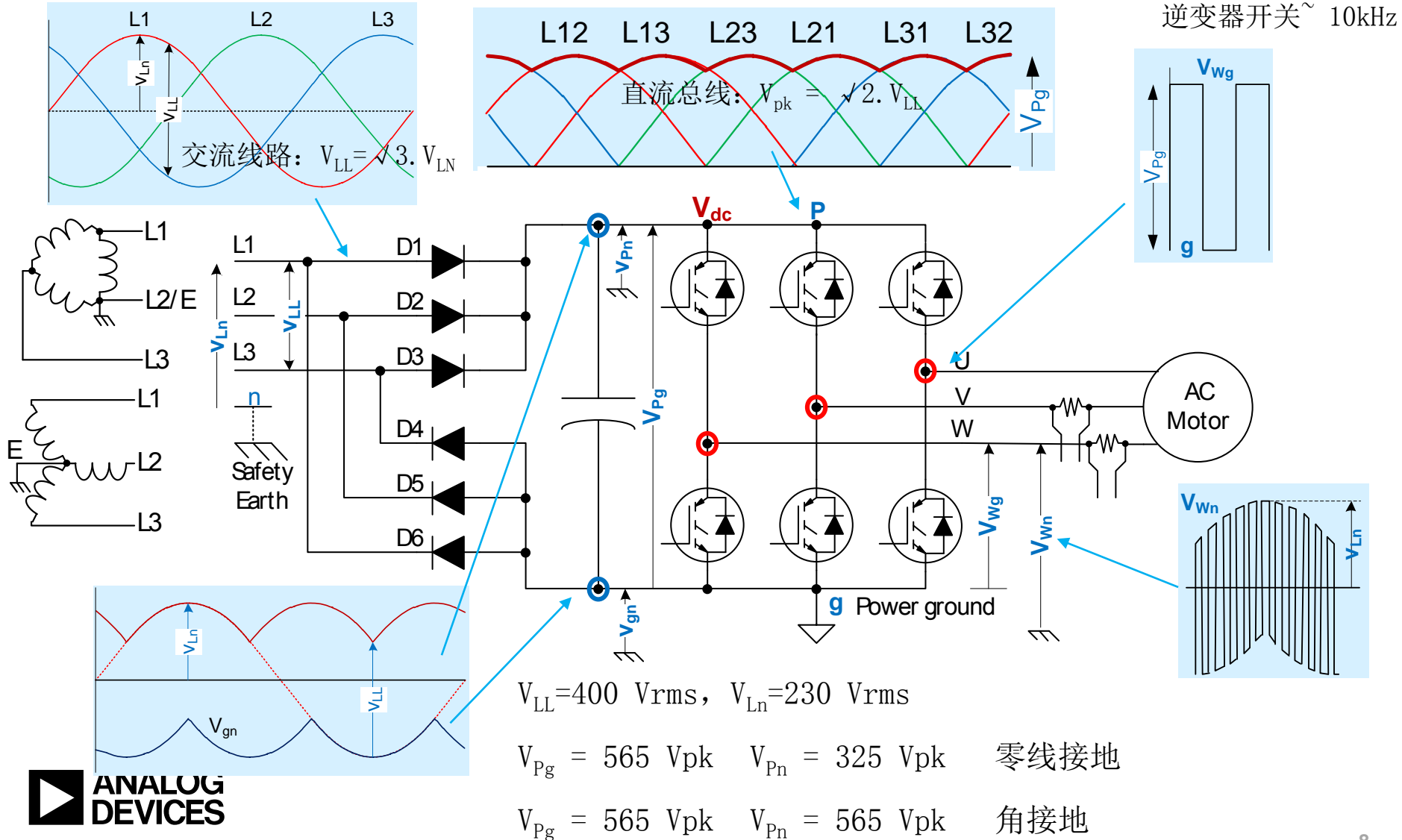


符合标准

- ▶ 电机驱动环境的恶劣表现在多个方面：
 - 极高电压、电流和功率水平加上快速切换边沿
 - 很高的安全绝缘水平
 - 会产生显著的电磁干扰(EMI)
 - 严重的电气和机械危害
 - 长电缆带来严峻的信号传输挑战
- ▶ 器件必须在高电气噪声下安全、高性能地工作
 - **隔离对这两个方面均至关重要**
- ▶ 电机驱动系统必须满足适用于终端市场的国际法规
 - 标准适用于完整系统（如 IEC 618000-5-1、-3）
 - 安全标准对隔离电路额定值提出了额外要求
 - 器件标准支持认证工作（如 IEC 60747-17）



隔离电压

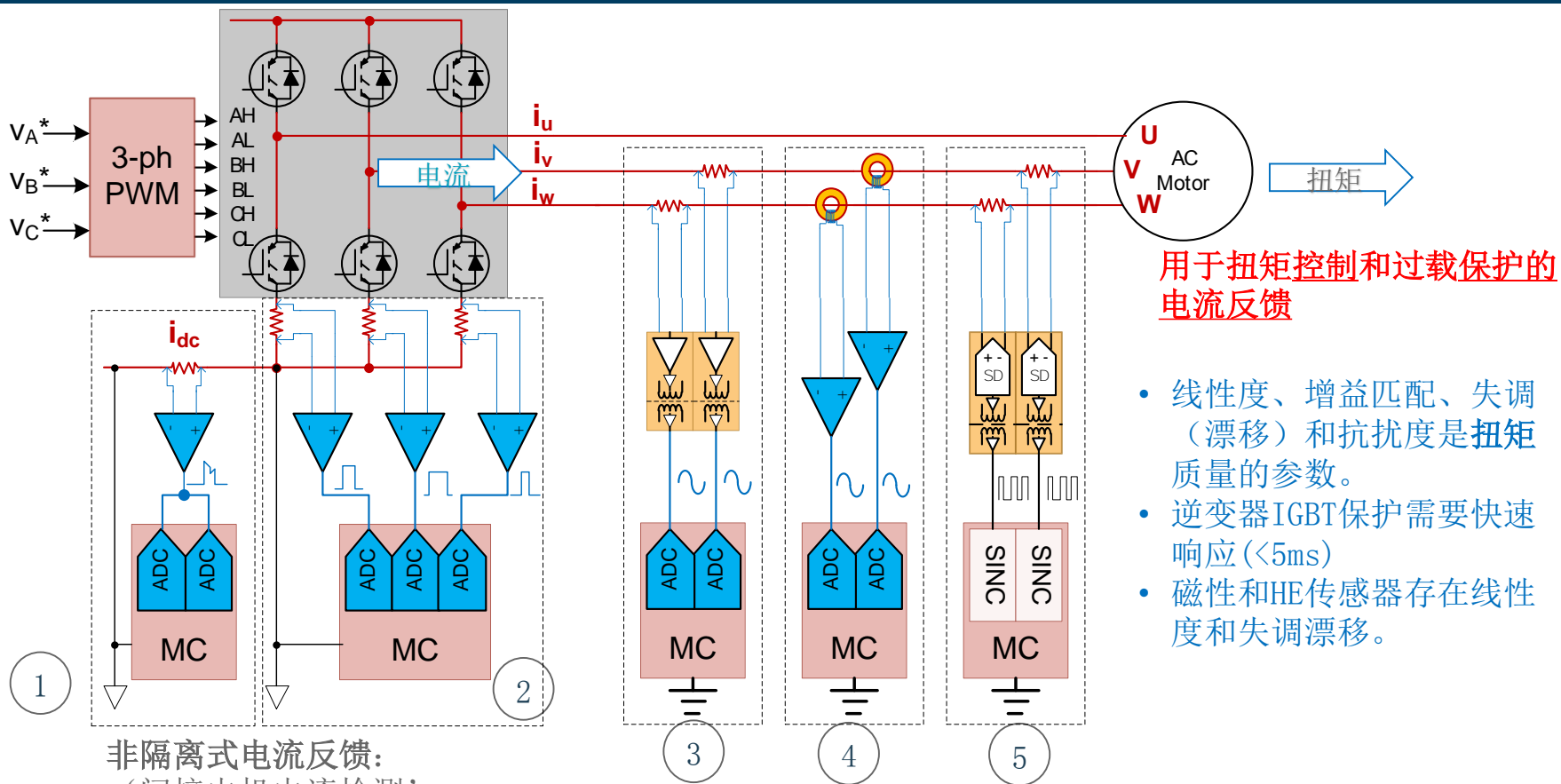




AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

隔离电流检测、栅极驱动和信号

电流反馈电路和架构



用于扭矩控制和过载保护的
电流反馈

- 线性度、增益匹配、失调（漂移）和抗扰度是扭矩质量的参数。
- 逆变器IGBT保护需要快速响应(<5ms)
- 磁性和HE传感器存在线性度和失调漂移。

非隔离式电流反馈：
‘间接电机电流检测’

1. 直流链路分流
2. 逆变器分支分流

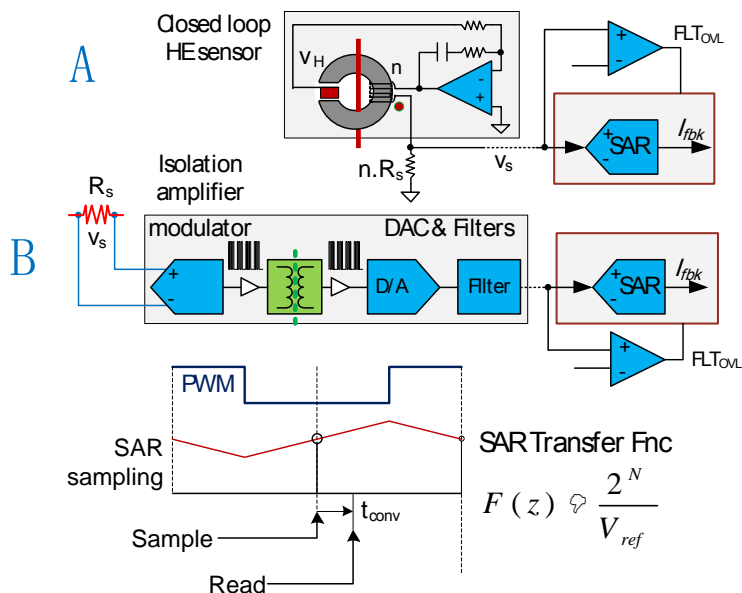
隔离式通信架构

隔离式相电流反馈：

3. 利用隔离放大器实现分流
4. 隔离磁性/HE电流传感器
5. 利用隔离sigma-delta调制器实现分流

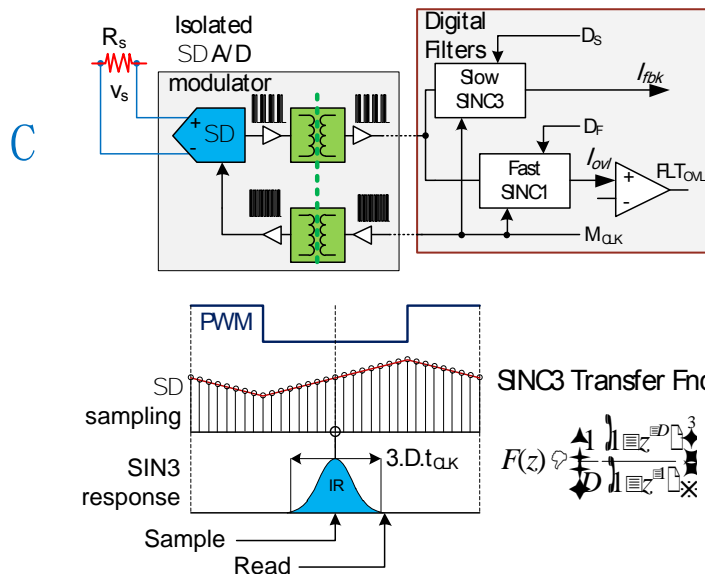
隔离式控制架构

模拟与数字反馈隔离



▶ 隔离式模拟反馈 (A和B)

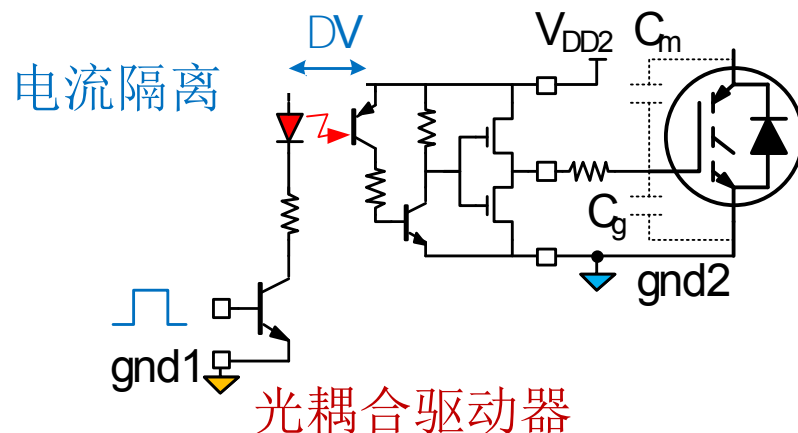
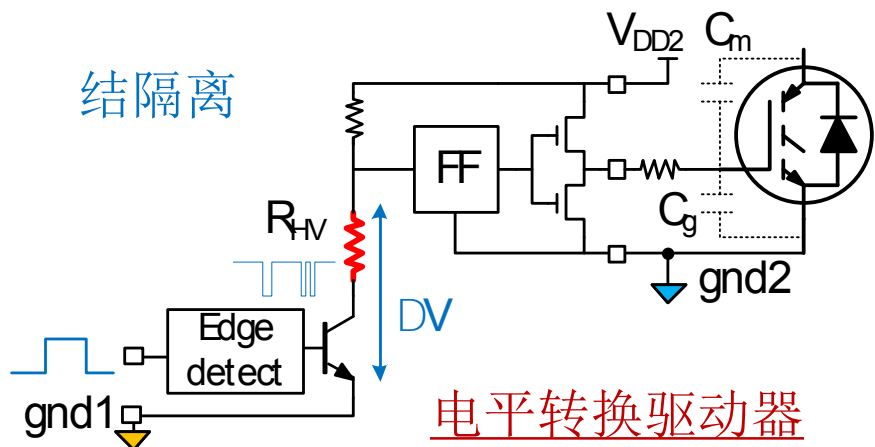
- 可追溯到模拟电路控制驱动器的传统方法
- 通常配合嵌入式ADC使用
- 易于理解和管理
- 为提供高性能，需要复杂的模拟隔离电路



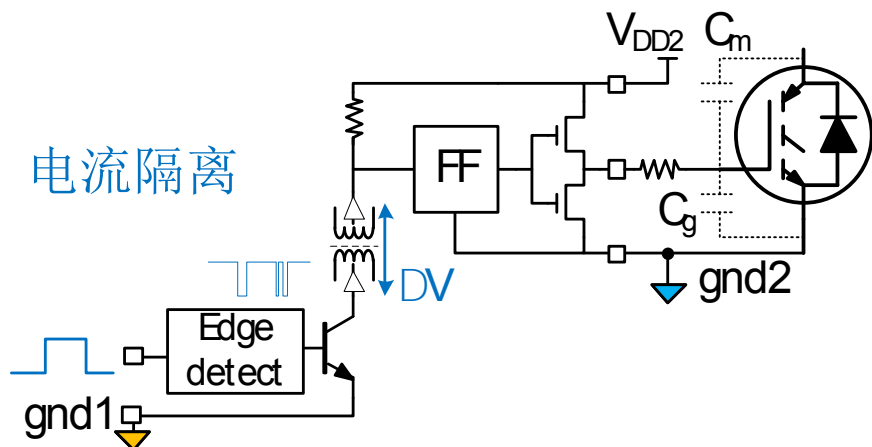
▶ 基于隔离式Sigma-delta的反馈(C)

- 模拟电路更简单
- ASIC或FPGA上的复杂数字滤波器
 - 额外滤波器通道用于过流保护
- 更好的线性度和抗扰度
- 等效于SAR采样，虽然更难理解

栅极驱动隔离



开启/关闭浮空高端IGBT



- ▶ 结隔离 (HVIC) 支持相对较高的集成度，但不支持电流（安全）隔离。
- ▶ 光隔离支持电流隔离，但集成度低
- ▶ 磁隔离 (iCoupler) 支持高集成度和电流隔离。

栅极驱动器 – 基本功能

- 控制信号基准
- 驱动电流
- 驱动电压电平
- 隔离（基本或增强）
- 耐受大共模电压摆幅

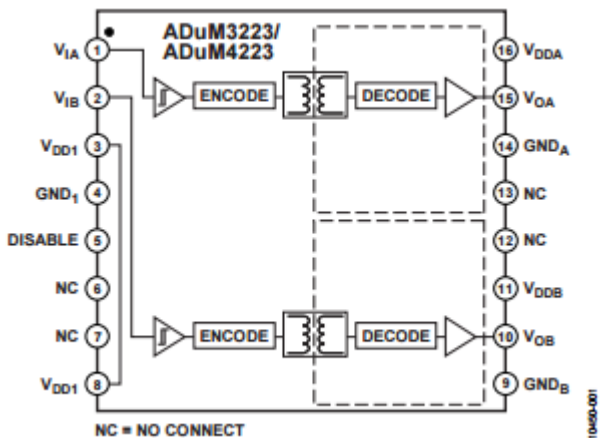
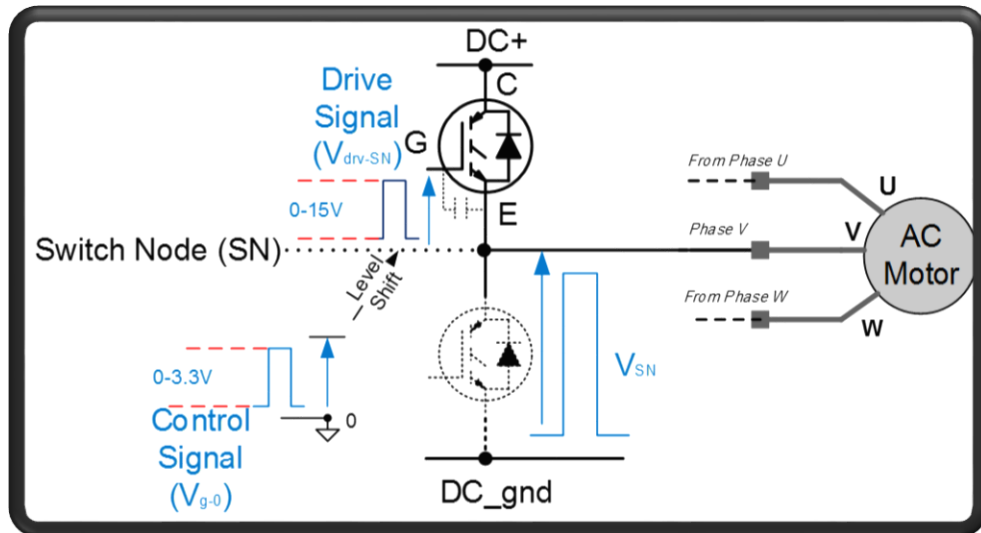


Table 12. Maximum Continuous Working Voltage¹

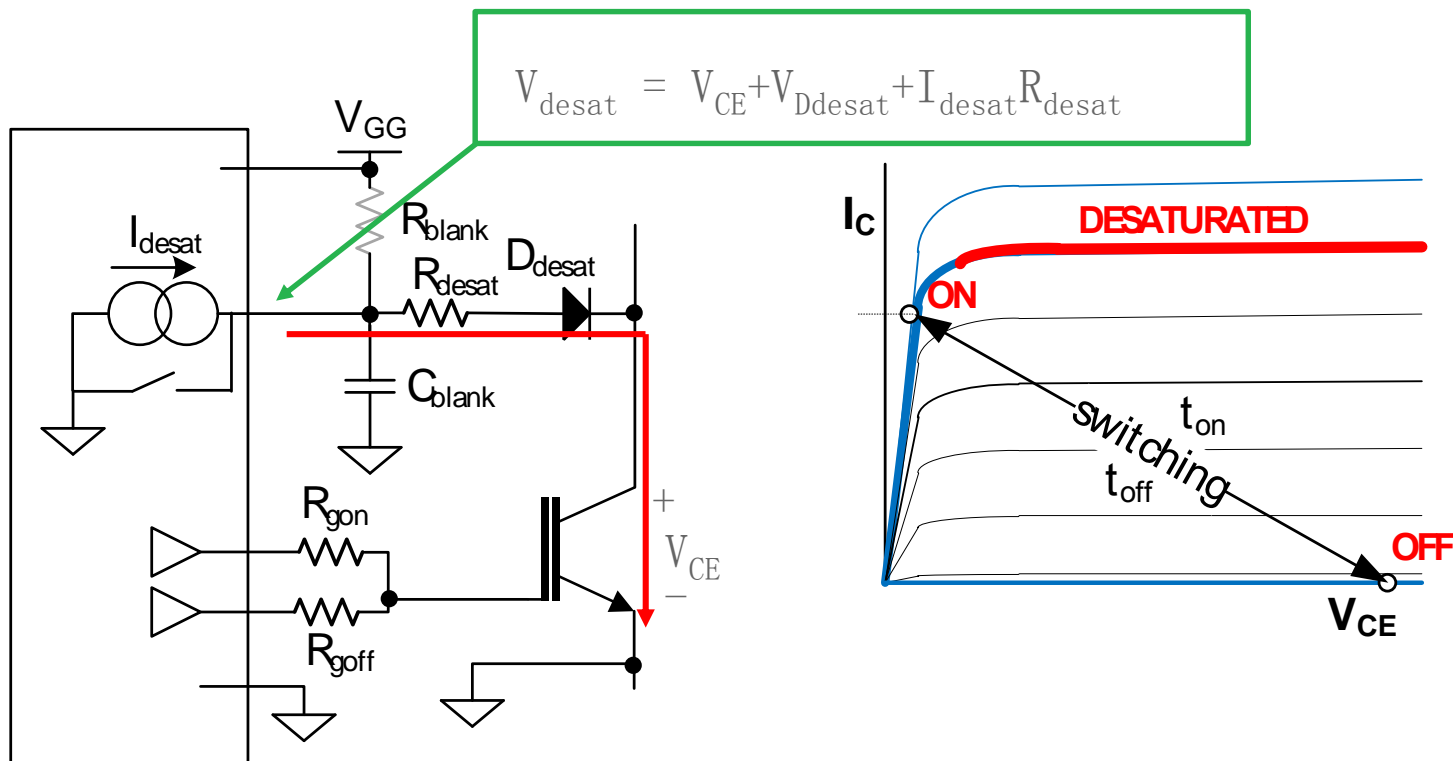
Parameter	Max	Unit	Constraint
AC Voltage, Bipolar Waveform	1131	V peak	50-year minimum lifetime
AC Voltage, Unipolar Waveform	1131	V peak	50-year minimum lifetime
		V peak	50-year minimum lifetime

Common-Mode Transient Immunity, Static ²	CMTI	-50	+50	kV/μs				
Common-Mode Transient Immunity, Dynamic ³		-25	+25	kV/μs				
Positive Going Threshold				V _{DD2UV+}	UVLO	10.5	11.1	V
Negative Going Threshold				V _{DD2UV-}		9.6		V
Hysteresis				V _{DD2HYS}		0.9		V
Output Short-Circuit Pulsed Current ¹	I _{OA(SQ)} , I _{OB(SQ)}	2.0	4.0					A
Output Pulsed Source Resistance ¹	R _{OA} , R _{OB}	0.3	1.1	3.0				Ω

去饱和检测

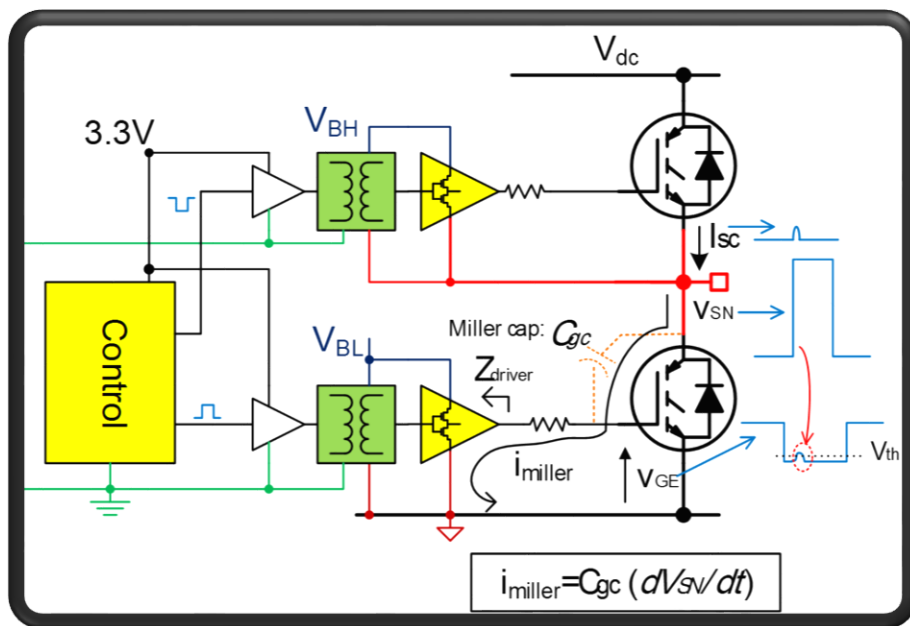
去饱和

短路、栅极驱动故障、处理器故障、电源压降引起

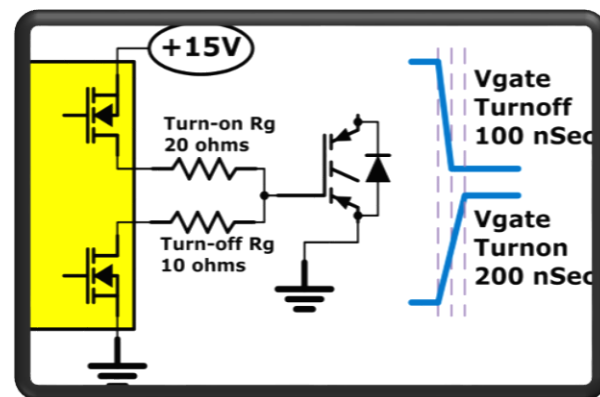


其他特性

防止杂散开启



不对称开关

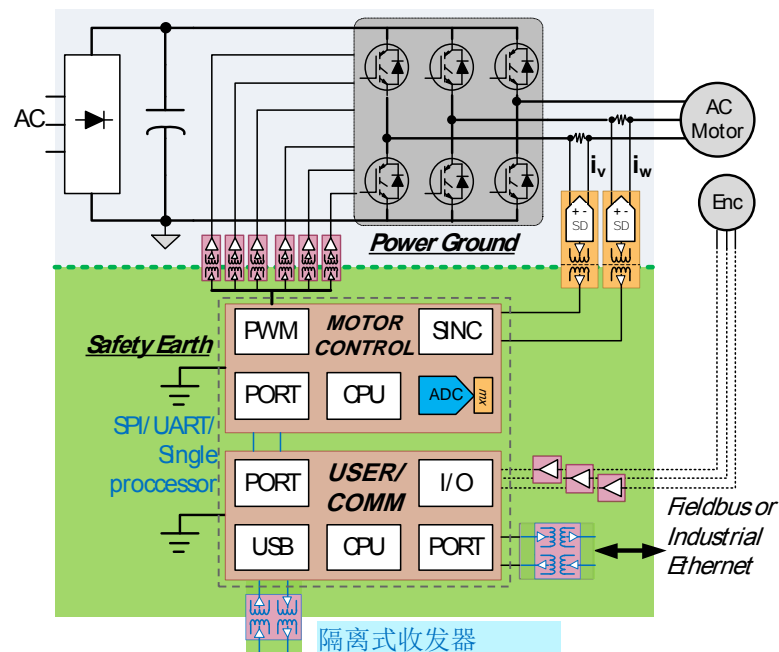
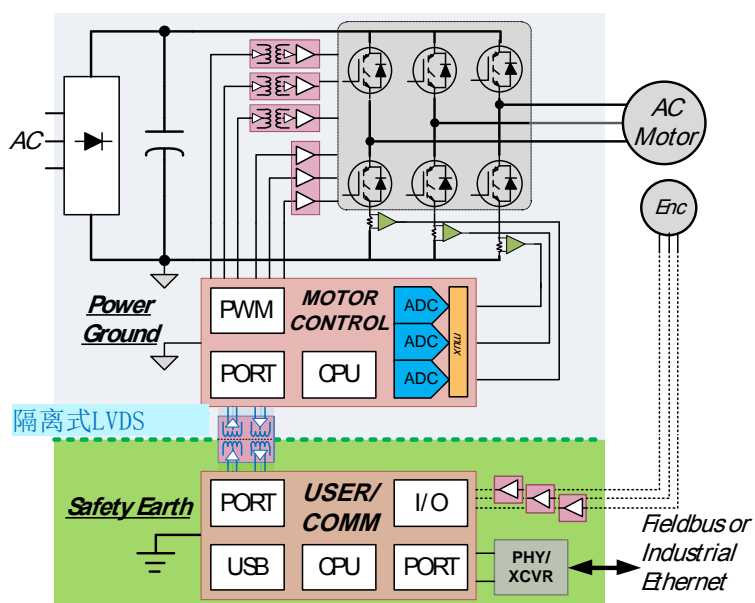


- ▶ 增强可靠性
- ▶ 性能优化

信号隔离

- ▶ 电平转换驱动器或IPM
 - ▣ 功率和控制级之间仍需隔离
 - ▣ 相位分支上的高端和低端信号之间必须匹配
- ▶ 隔离式控制器
 - ▣ 跳变信号
 - ▣ 从控制器到功率电路的标准GPIO
- ▶ 功率电路上的分立ADC
 - ▣ 电流检测等串行输出
- ▶ 高端控制器或不同板上的多个控制器
 - ▣ 隔离式LVDS
- ▶ 隔离通信
 - ▣ 隔离式USB、CAN、RS232

用于系统分割的数字隔离器

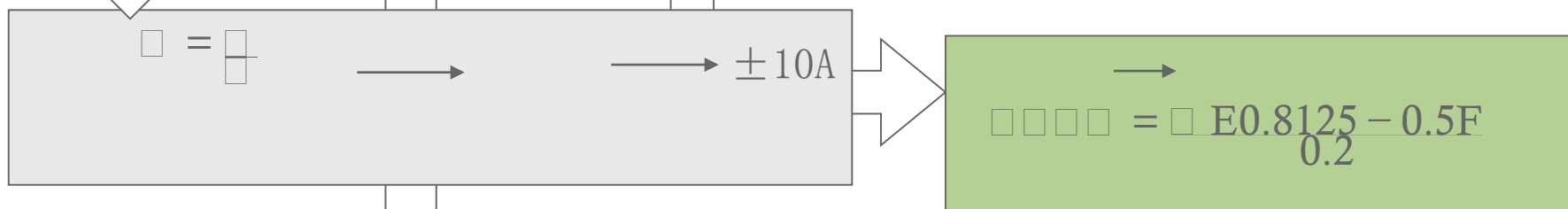
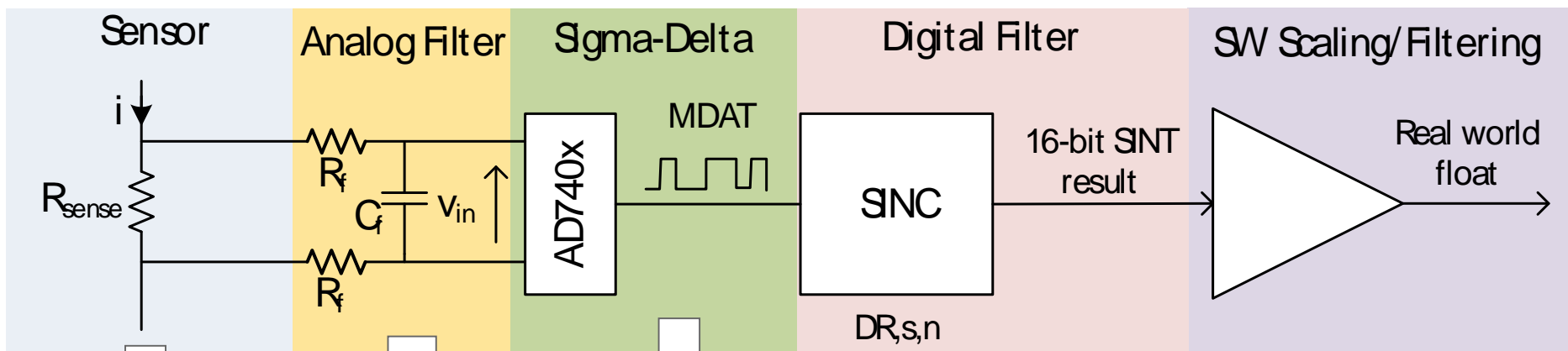


- ▶ 隔离式用户/通信
 - 控制和通信之间的接口需要安全隔离
 - 隔离式LVDS开始取代标准数字隔离
- ▶ 隔离式控制
 - 功率和控制之间的安全隔离允许使用一个处理器
 - 在功率和控制之间使用功能隔离并在通信接口上使用安全隔离已成趋势

设计示例：

Sigma-Delta隔离相电流隔离式栅极驱动去饱和

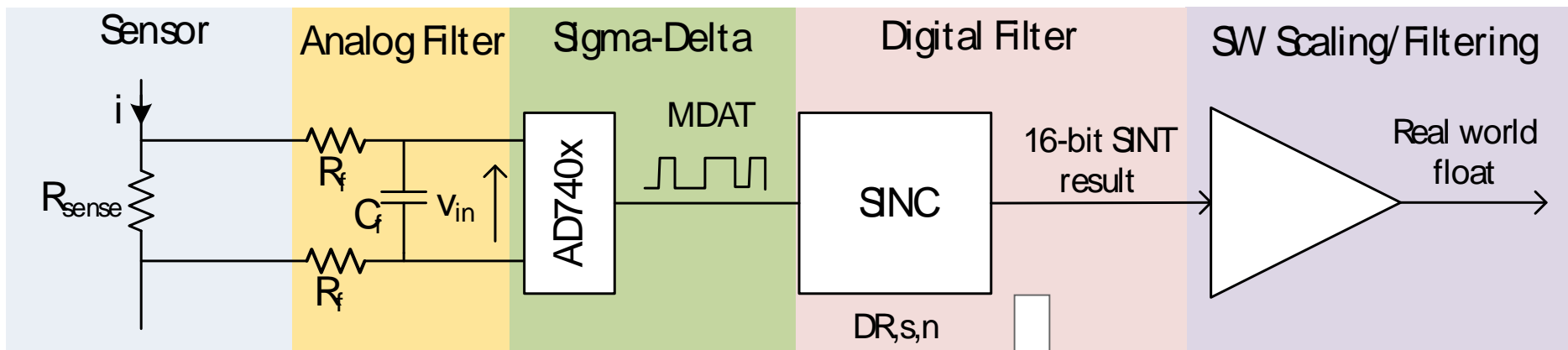
采用AD740x的隔离电流检测



抗混叠滤波器的截止频率应小于 $f_{clock}/2$

$\square = \frac{1}{2\square\square\square}$ \longrightarrow 10MHz \longrightarrow 10 Ω

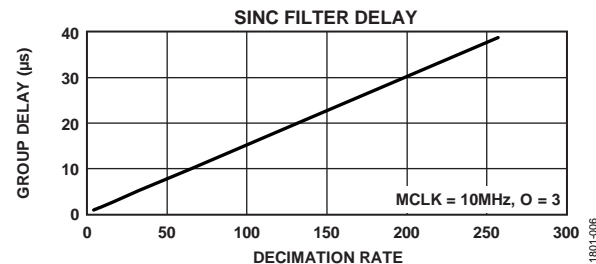
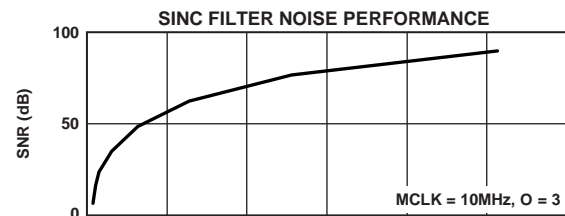
采用AD740x的隔离电流检测



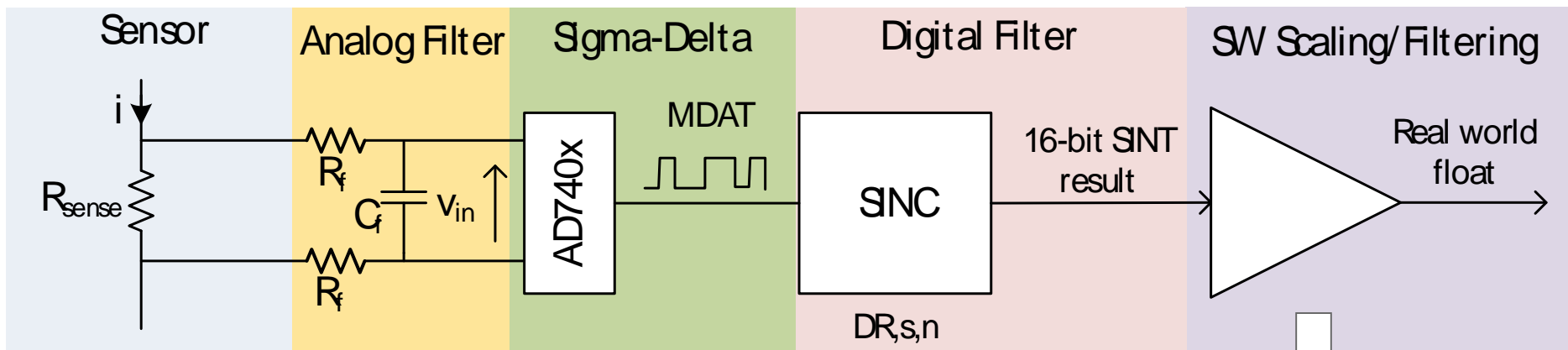
滤波器增益
滤波器偏置
滤波器尺度

N	=3 for AD740x
DR	Resolution/Group Delay
s	$\frac{\square\square}{2} < 1$

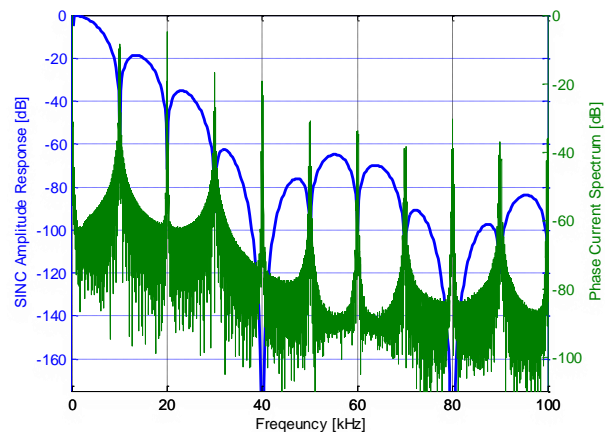
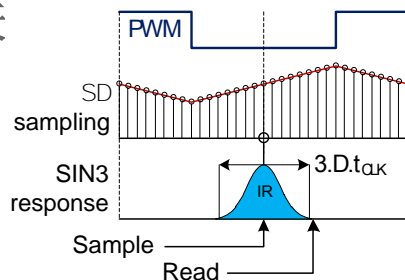
$\square = \square \frac{\square\square\square\square}{2} = 0.32 \frac{\square\square\square\square}{2}$



采用AD740x的隔离电流检测

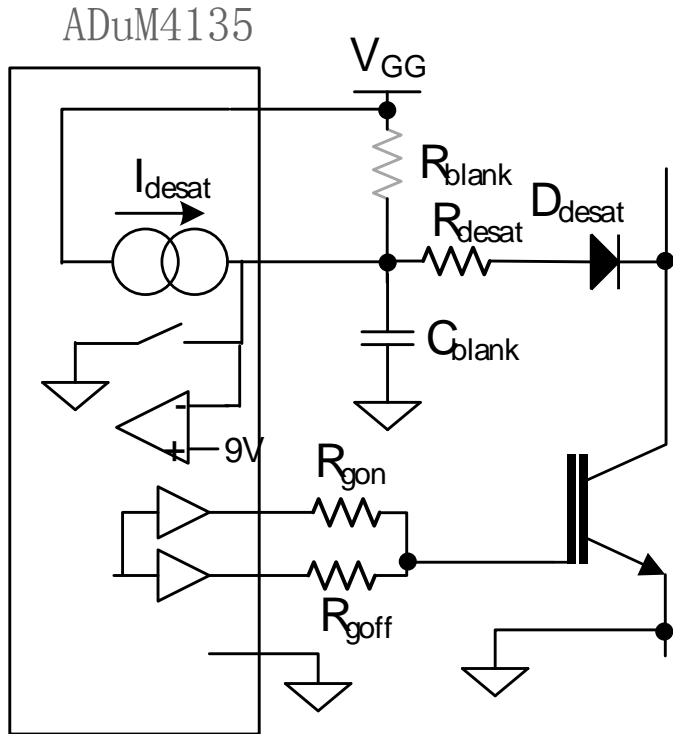


- ▶ 软件缩放以转换为实际电流值
- ▶ 移动平均软件滤波器移除开关成分
 - ▣ 减少群延迟



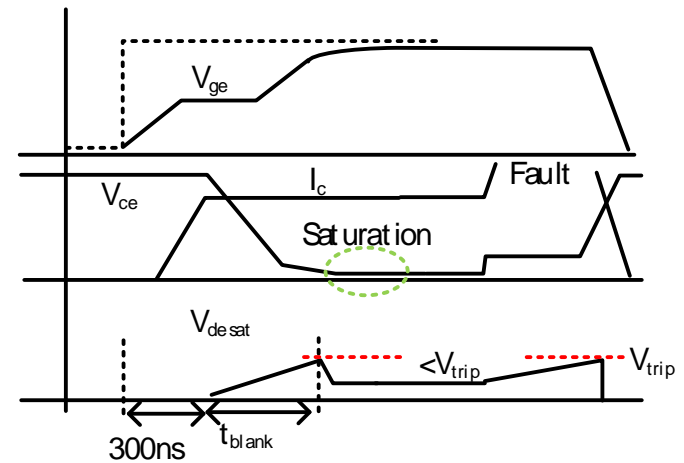
陷波频率为 nP

消隐电路

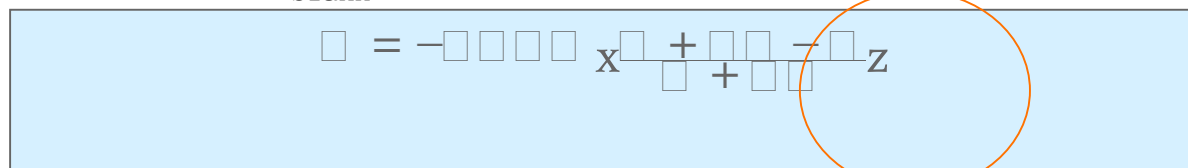
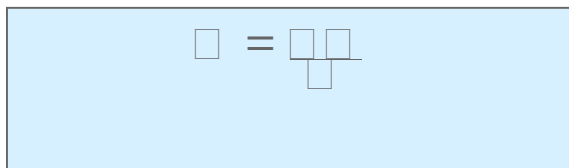


▶ 消隐时间应当

- ▣ 大于最大总开启时间(-300ns)
- ▣ 小于所需短路cct耐受时间(-200ns)



无 R_{blank}

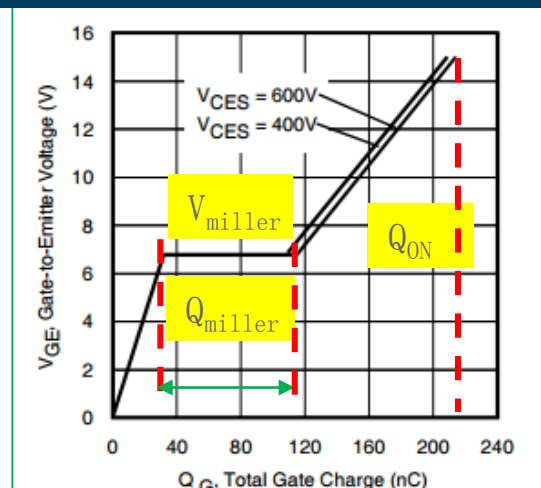


设计示例 – IRG7PH46UD-EP

$$\square \approx \square + \square + \square$$

$$R_{gon} = 5 \Omega \quad V_{gg} = 15V \quad \longrightarrow \quad t_{on} = 270ns$$

t_{blank} 由短路耐受时间决定



	$T_{blank}(min)$	$T_{blank}(typ)$	$T_{blank}(max)$
无 R_{blank}	1.3ms	1.51ms	1.76ms
$R_{blank} = 1k\Omega$	1.23ms	1.35ms	1.45ms

开启时误跳变

SC耐受

$$C_{blank} = 88pF$$

$$C_{blank} = 1.5nF$$

D_{desat} 应使 $V_R > V_{DC}$ 并能快速恢复

R_{desat} 应为 $100-2k \Omega$ 以便抑制瞬变和限流



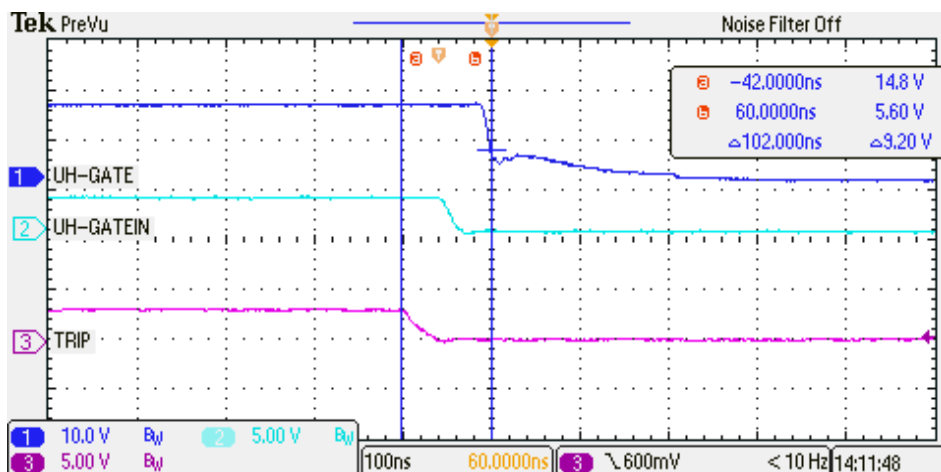
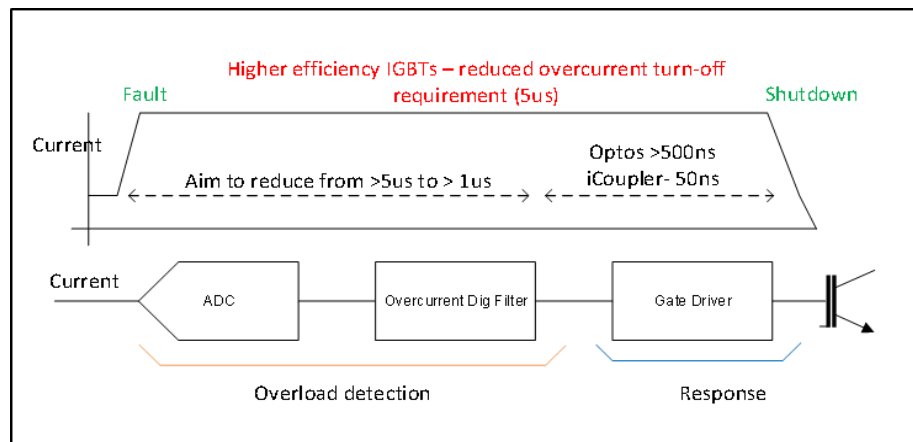


AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

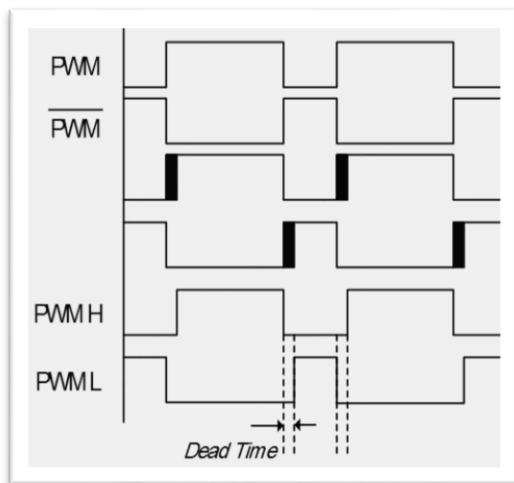
系统设计考虑因素

栅极驱动器时序 – 过流关断

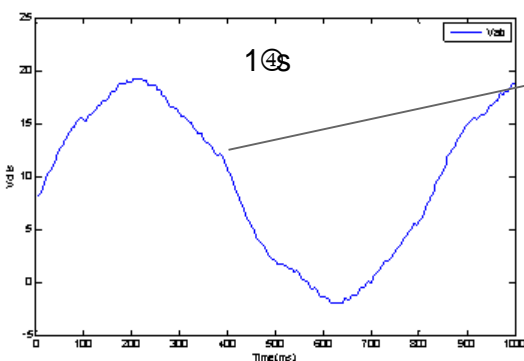
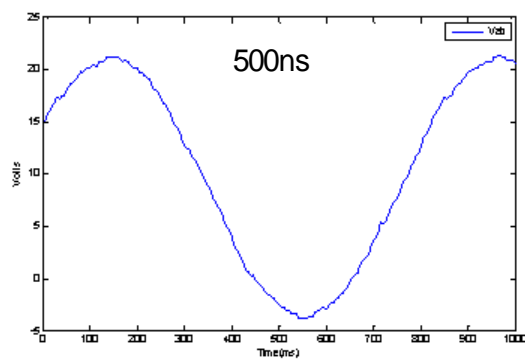
- ▶ IGBT的短路耐受时间减少
- ▶ 过流/错误状态和随后响应的信号传输延迟必须减少
- ▶ ADum4135延迟时间为50nS，约为类似光耦合器延迟时间(>500nS)的10%
- ▶ IGBT尺寸更小，节约系统板空间和成本



栅极驱动器时序 – 死区时间

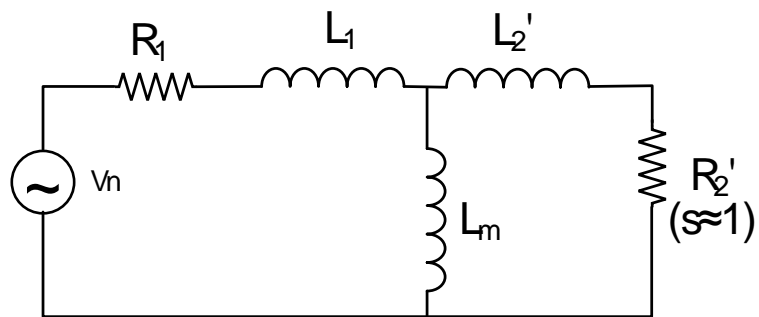


- ▶ 必须将“死区时间”插入PWM中，防止二者意外地同时开启
- ▶ ADUM4135的15nS传播延迟一致性好，允许使用最少死区时间
- ▶ 降低电机电流失真和扭矩纹波
 - ▣ 使电机运行更平稳
 - ▣ 减少轴承/联轴器磨损

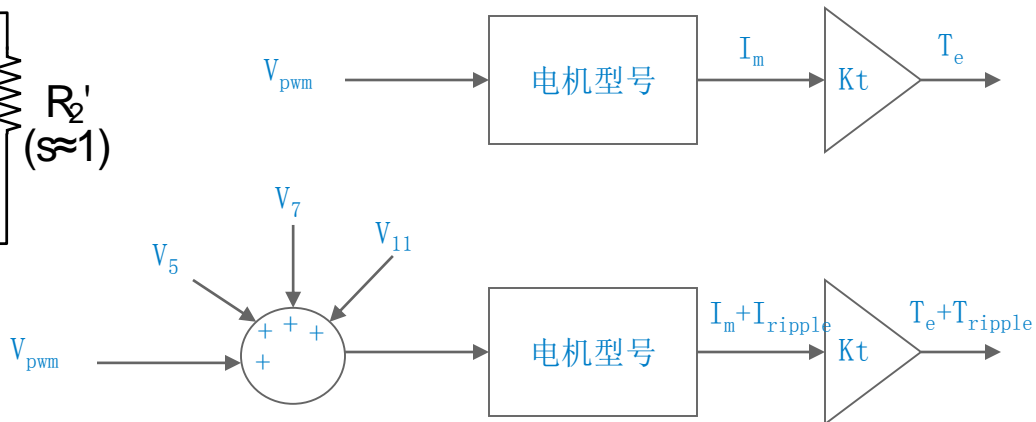


额外的谐波成分使电机线路电压明显失真

死区时间产生的扭矩纹波 - 开环



$$\square = 3 \begin{matrix} \square & \square \\ \square & \square \end{matrix}$$



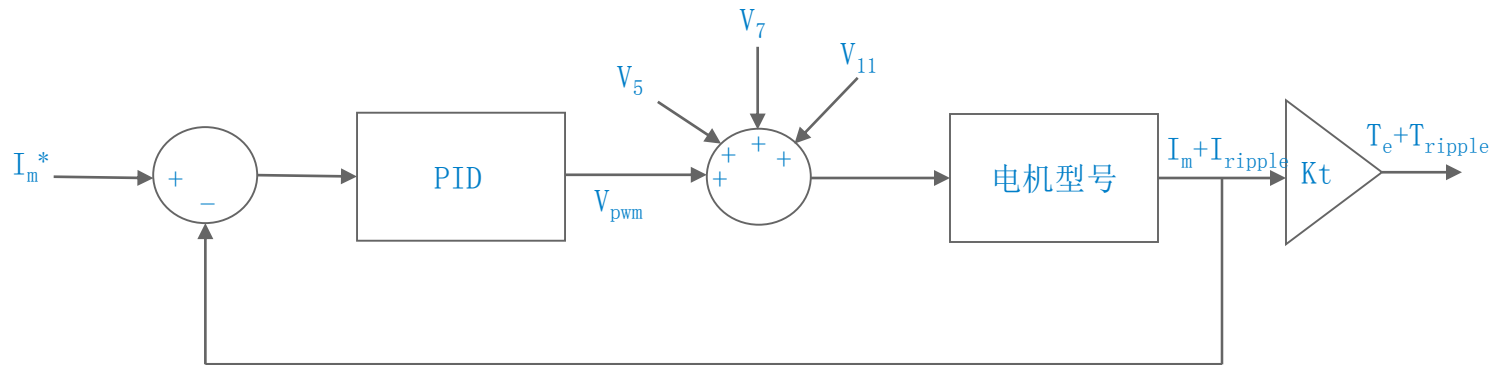
7.5kW IM

		T5	T7	T11
10kHz	500ns	0.14%	0.05%	0.01%
	1300ns	0.91%	0.33%	0.09%
15kHz	500ns	0.30%	0.11%	0.03%
	1300ns	2.06%	0.75%	0.19%

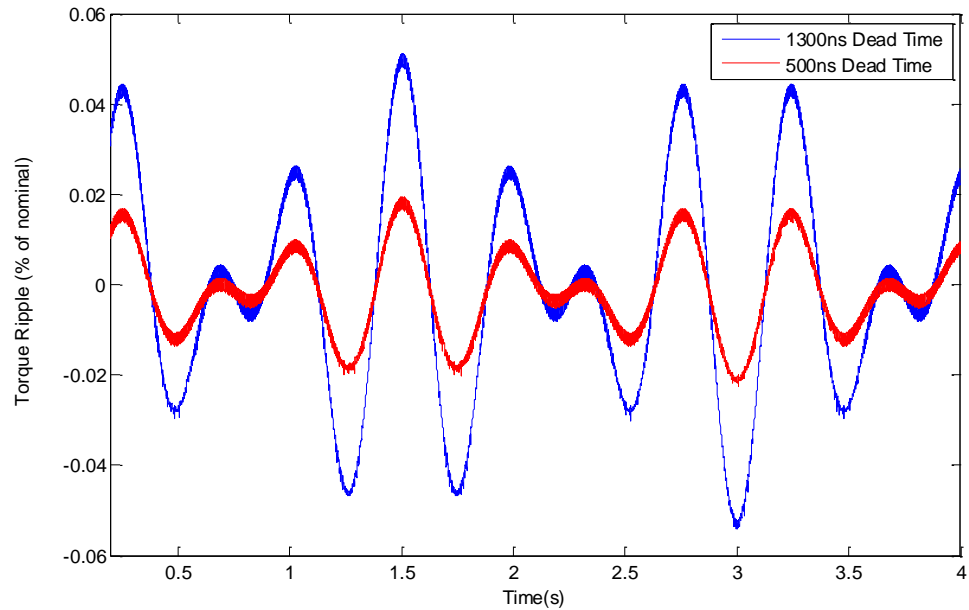
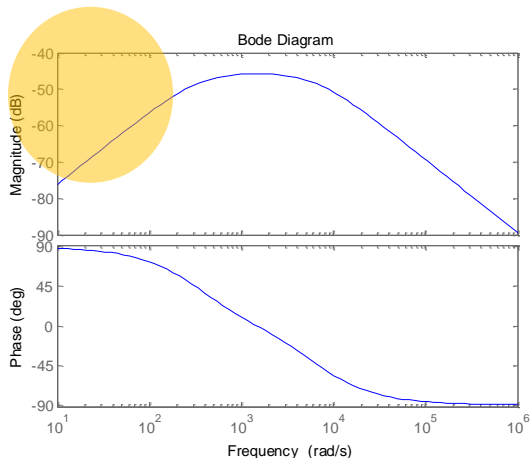
37kW IM

		T5	T7	T11
10kHz	500ns	0.23%	0.08%	0.02%
	1300ns	1.55%	0.57%	0.15%
15kHz	500ns	0.52%	0.19%	0.05%
	1300ns	3.49%	1.27%	0.33%

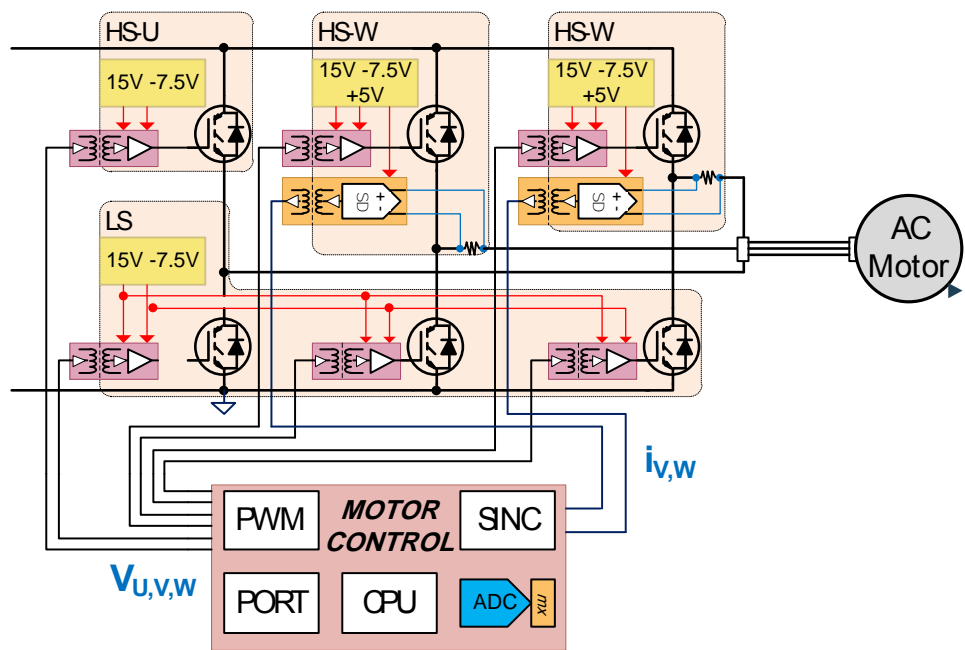
死区时间产生的扭矩纹波 - 闭环



干扰谐波的衰减



隔离式偏置电源要求



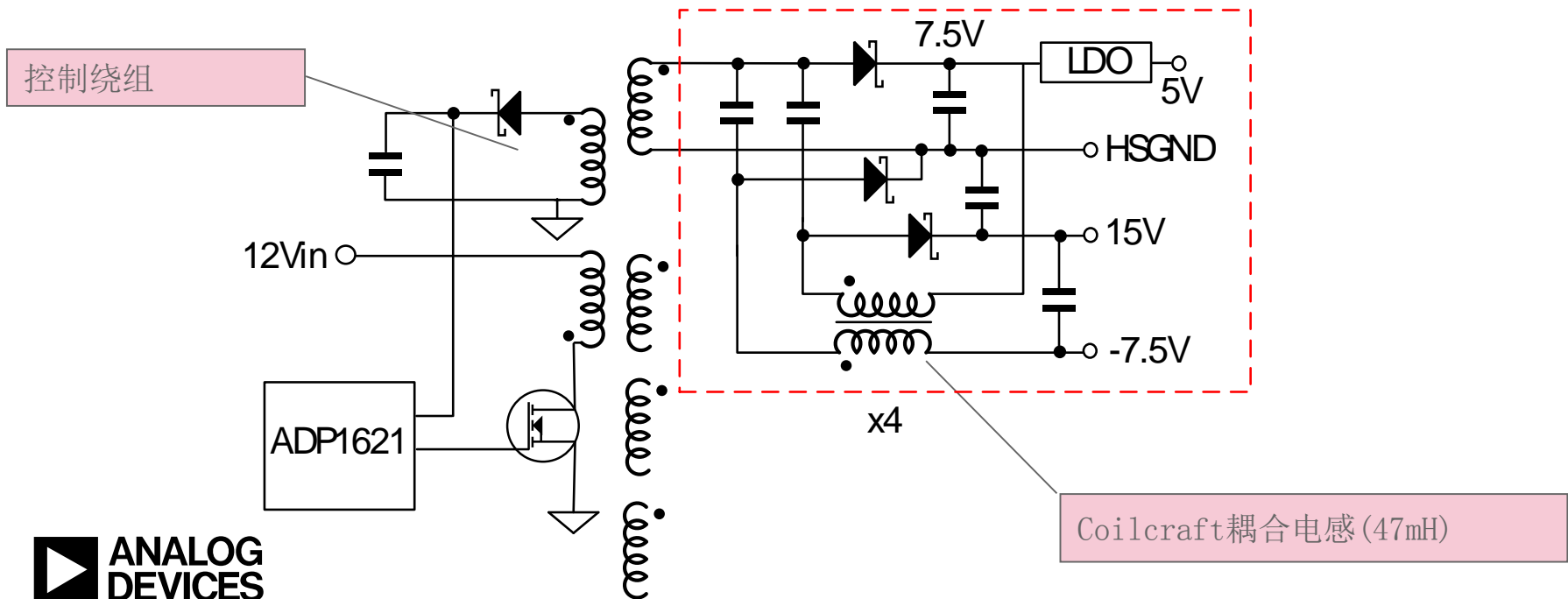
- ▶ 电机驱动功率逆变器有4个不同的电源域，每个域有多个供电轨
 - ▣ 用于IGBT栅极驱动器的双极性输出（+15V、-7.5V）。每通道约100mW
 - ▣ 用于高压侧隔离ADC的电源(+5V)。每通道约200mW

选项

- ▣ 自举 + LDO
- ▣ 电荷泵 + LDO
- ▣ isoPower（仅ADC）
- ▣ 多路输出变压器隔离式开关 + LDO

多路输出反激转换器加上Sepic/Cuk输出

- ▶ 出色的解决方案，从2个绕组提供3种输出电平
- ▶ 变压器尺寸是下列因素平衡的结果：
 - ▣ 较高 F_S 可缩小尺寸
 - ▣ 较高 F_S 会增加损耗
 - ▣ 爬电距离和电气间隙要求pri-sec





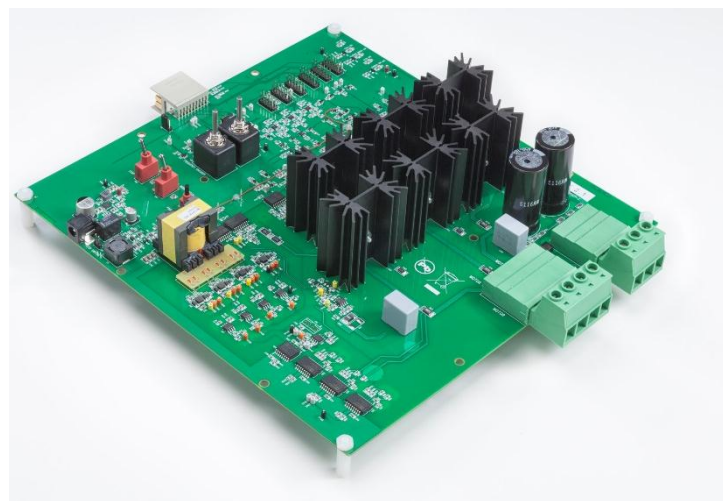
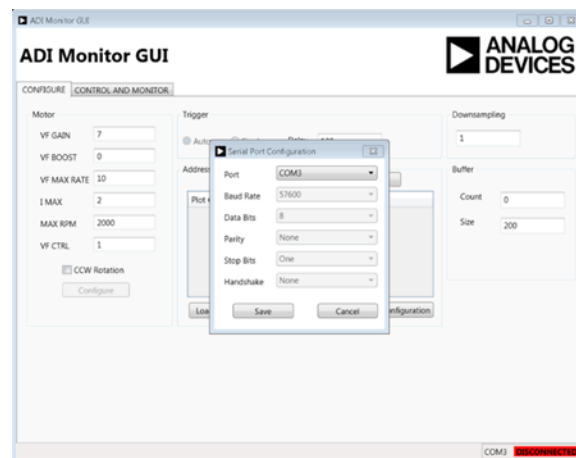
AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

评估平台

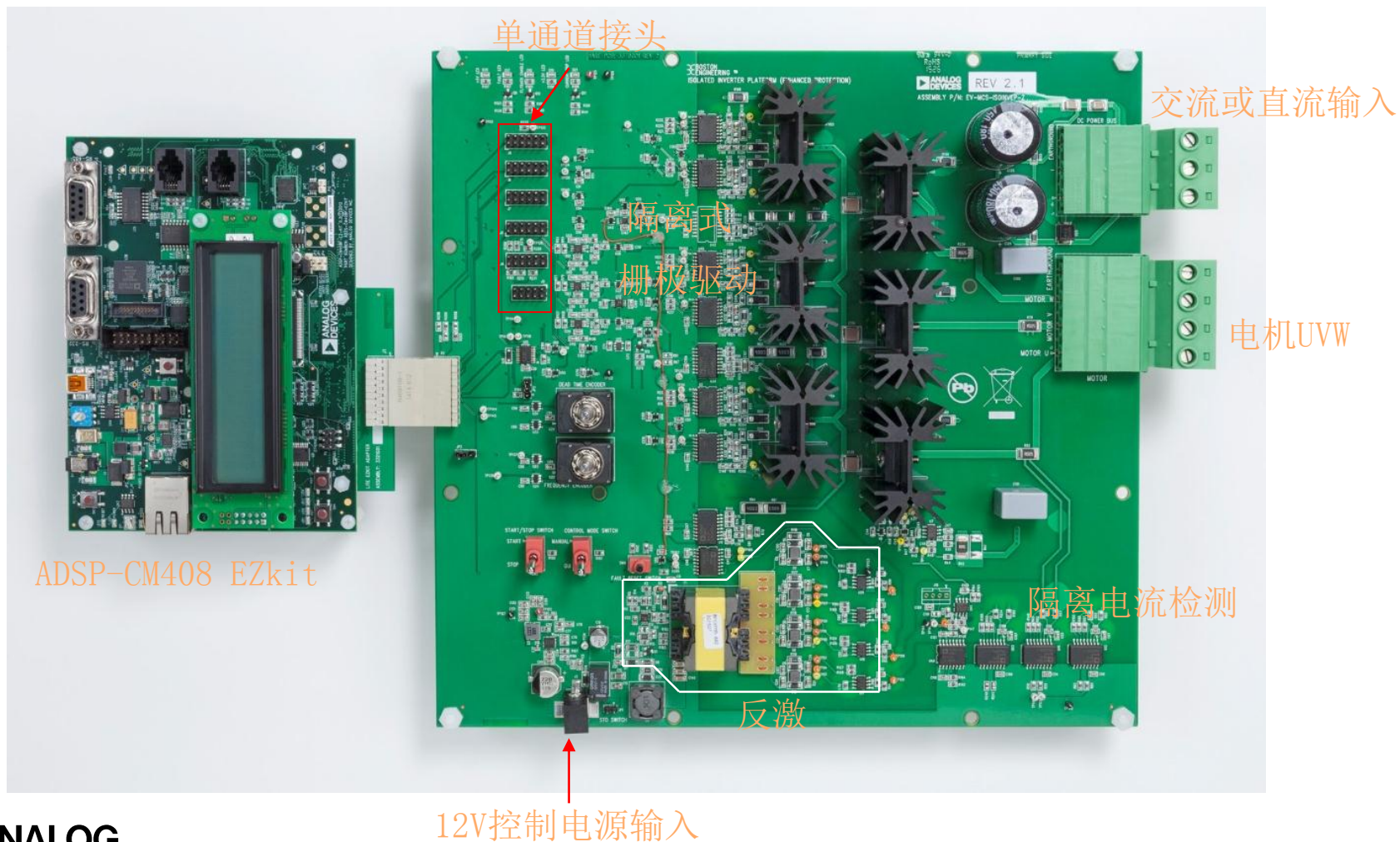
平台概述

► 隔离式逆变器平台

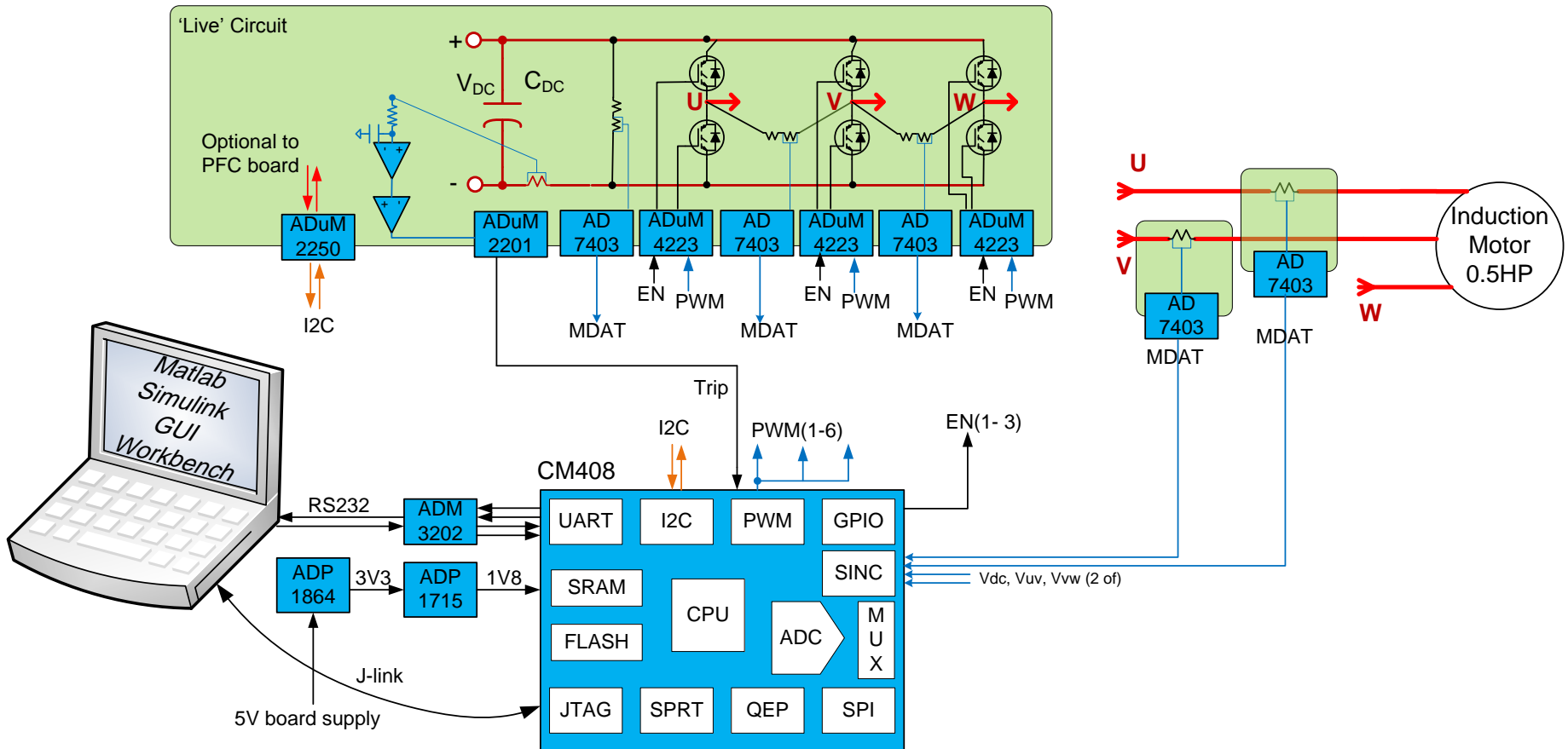
- ▣ 具有重要的连接和评估功能的灵活子系统平台
- ▣ 使用 Σ - Δ 调制器实现隔离式电流和电压测量和反馈
- ▣ 以接地为基准的控制器和通信设备
- ▣ 开环或无传感器电机控制开发
- ▣ 隔离式IGBT栅极驱动器 – ADuM4223 (-ISOINV) 和ADuM4135 (-ISOINVEP)
- ▣ 栅极驱动器电源参考设计
- ▣ 仅通过数字接口连接ADSP-CM408F
- ▣ 灵活的系统评估
 - ▣ 客户处理器I/O或FPGA接口通过0.1"接头提供
 - ▣ 多个测试点
 - ▣ 支持直流输入以便灵活地开发原型 - 额定24V-800Vdc
- ▣ 也可以连接到交流输入，或使用ADP1047评估板以连接功率因数校正的交流输入



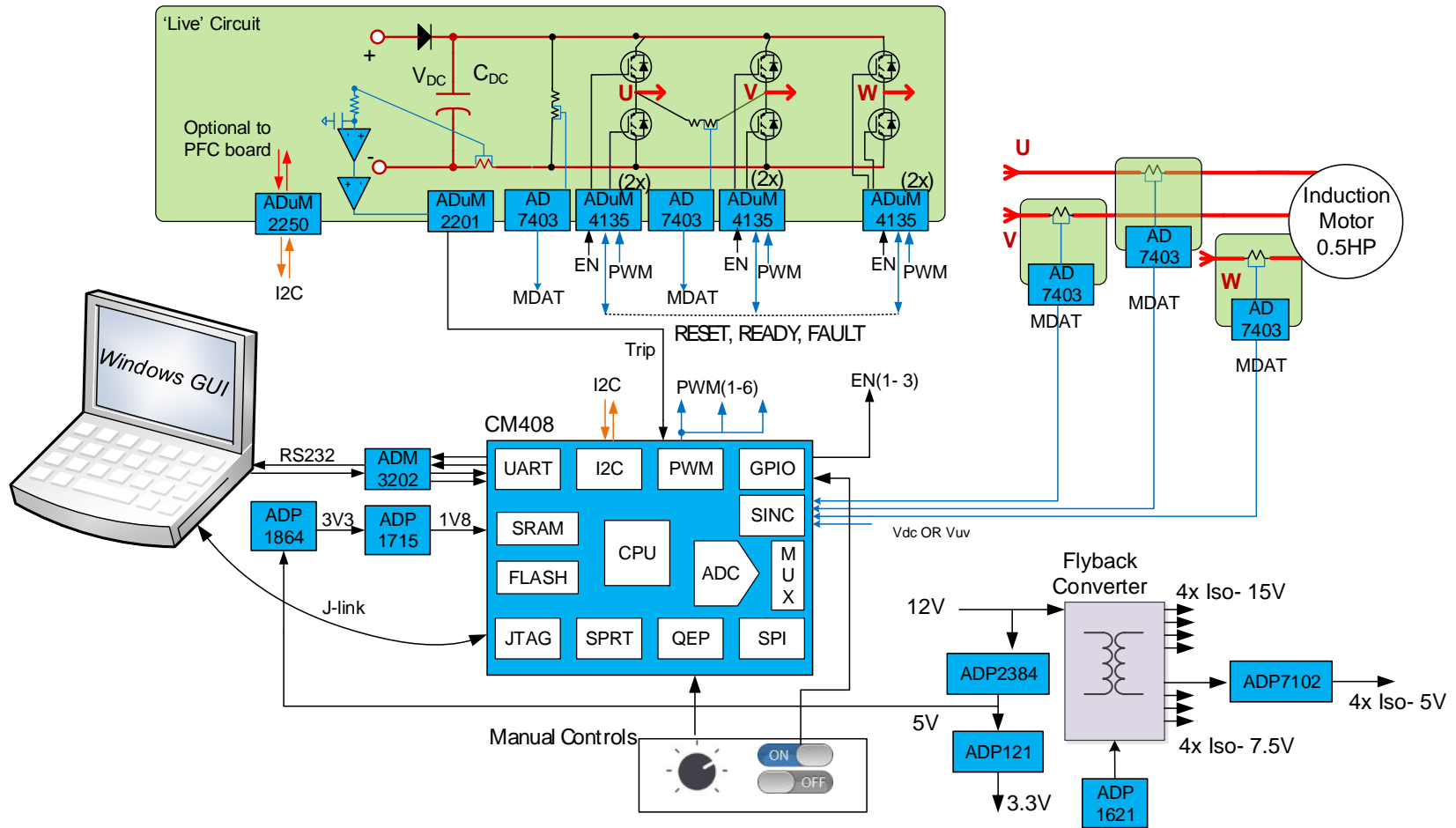
电路和连接



逆变器电路(ADuM4223)

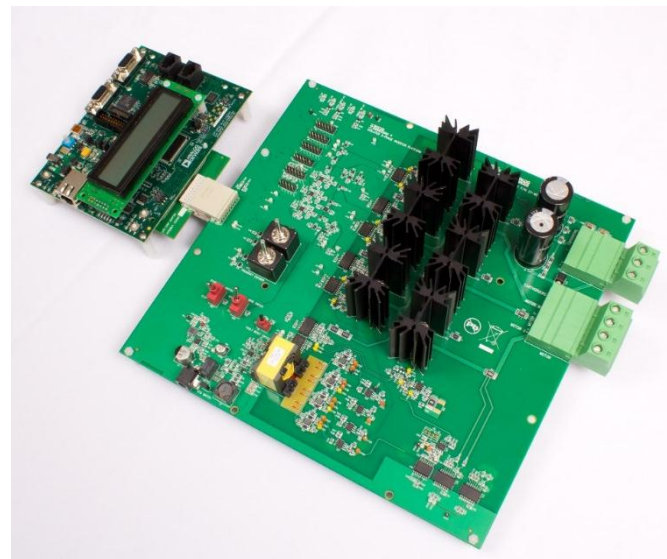


逆变器电路(ADuM4135) – 包括偏置电源



更多信息

- ▶ [在线技术论坛页面](#)
 - ▣ 入门指南
 - ▣ 示例代码和可执行文件
 - ▣ Windows GUI
- ▶ [平台网页](#)
 - ▣ 概要信息
 - ▣ 原理图和gerber文件
 - ▣ 订购
- ▶ 视频
 - ▣ [隔离式逆变器平台概述](#)
 - ▣ [电机控制用ADuM4135的系统优势](#)



订购信息

直接通过[网站](#)/SAP订购

- EV-MCS-ISOINV-Z
- EV-MCS-ISOINVEP-Z



谢谢观看！

- ▶ ADI中国地区技术支持热线：4006 100 006
- ▶ ADI中国地区技术支持信箱：
china.support@analog.com
- ▶ ADI样片申请网址：
<http://www.analog.com/zh/sample>