

Application Note

A2L 制冷剂标准概述和面向设计人员的 TI 缓解控制板设计

Brian Dempsey

摘要

本技术文章深入探讨了适用于住宅和商业 HVAC 系统的新 A2L 标准，并说明了为满足此标准而需要进行的一些系统更改。A2L 制冷剂是全球变暖潜能值 (GWP) 较低的制冷剂。本文详细介绍了新 A2L 制冷剂 HVAC 系统的缓解任务要求 (因为 A2L 与 UL60335-2-40 标准相关)，并概述了基本缓解控制板及其他相关内容，以供设计人员参考。

内容

1 引言	2
2 缓解控制板设计示例	3
2.1 缓解控制板功能概述.....	6
2.2 声音和视觉检测警报.....	6
2.3 冰冻检测 (水基系统).....	6
2.4 制冷系统中的隔离和/或安全切断阀 (SSOV) 以限制可释放的制冷剂.....	7
2.5 配备 A2L 逻辑的电子控制系统，用于在发生泄漏时执行所需的操作，例如关闭压缩机和/或其他组件.....	8
2.6 箱体或步入式装置内的通风和/或循环风扇.....	9
3 总结	12
4 参考资料	12

商标

SimpleLink™ and LaunchPad™ are trademarks of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

A2L 制冷剂名称来源于 ASHRAE 安全分类，其特点是具有轻度易燃性、低毒性和低全球变暖潜能值 (GWP)。这些制冷剂也具有零臭氧消耗潜能值 (ODP)。就这些制冷剂的化学成分而言，A2L 制冷剂是氢氟烯烃 (HFO) 或 HFO 混合物。与以前在 HVAC 系统中使用的 HFC 和 HCFC 制冷剂 (即 R-410A 和 R-22 等) 相比，A2L 制冷剂更节能，同时也更符合全球绿色能源倡议。表 1-1 展示了一些常见的 HVAC 制冷剂以及相应的 GWP/ODP 值。

表 1-1. 常见制冷剂和 GWP/ODP 值

制冷剂	类型	GWP	ODP
R-22	HCFC	1820	0.055
R-410A	HFC	2088	0
R-134A	HFC	1430	0
R-1234YF	HFO	4	0
R-1234ZE	HFO	6	0
R-32	HFC	675	0
R-454B	HFC	466	0

A2L 制冷剂的缺点是与其化学成分相关的固有轻度可燃性，这意味着需要制定设备制造商法规，以减轻制冷剂在有点火源的情况下可能发生燃烧的危险情况。图 1-1 详细显示了这些制冷剂的不同类型以及点火和燃烧数据。

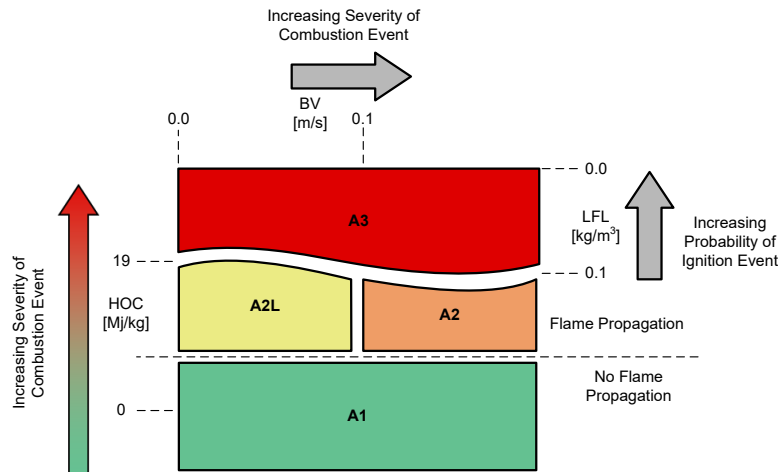


图 1-1. HVAC 制冷剂燃烧和传播图

基于 A2L 的系统以及符合 UL 60335-2-40 标准的其他必要电子元件。为了确保安全运行，空调设备可以采用特殊组件，例如符合安全标准 UL 60335-2-40 的制冷剂检测系统 (RDS)。RDS 可以检测具体制冷剂，在超过预定义阈值时会通过缓解控制板触发缓解措施，例如激活风扇以稀释制冷剂浓度。RDS 的要求包括：

- 泄漏气体不得超过 LFL 的 25%。
- 在 RDS 复位后的 5 分钟内，泄漏气体不得超过 LFL 的 15%。
- 制冷剂检测系统应在直接暴露于 25% LFL 后 30 秒内产生输出。

部署 RDS 和遵守安全标准是业界应对法规变化的重要举措。有关 A2L 传感器模块要求的更多信息，请参阅[采用 A2L 制冷剂：注意事项和要求](#)。

该标准的第二个关键组成部分是[缓解控制板](#)，它在达到上述制冷剂浓度阈值后处理所有必要的任务。这包括：

- 关闭压缩机，除非运行可以降低泄漏率或减少释放到室内空间的制冷剂总量
- 打开室内风机风扇
- 提供声音和视觉指示，表示检测到制冷剂泄漏 (或 A2L 传感器出现故障并需要更换)
- 水基系统的冰冻检测电路
- 完全打开分区控风板 (如果适用) 以排出系统内的气体
- 启用任何安全切断阀 (如果适用)

2 缓解控制板设计示例

图 2-1 展示了 HVAC 系统的缓解控制板实现示例。该板连接到传感器模块，并根据对制冷剂的检测结果（或缺乏检测），可以执行必要的缓解措施。有关传感器模块设计注意事项的更多信息，请参阅 [采用 A2L 制冷剂：注意事项和要求](#)。

在某些情况下，来自缓解控制板的控制信号会发送到现有的加热炉控制板，以便打开或关闭压缩机和室内风机风扇的继电器。这可以极大地简化缓解控制板的设计，允许使用现有的加热炉控制板执行缓解任务。

此示例设计包含本文后续部分中概述的所有缓解任务，以展示可供设计人员参考的完整设计。器件选择主要取决于可用的最低成本选项，从而在不影响缓解任务执行性能的情况下实现成本敏感型设计。

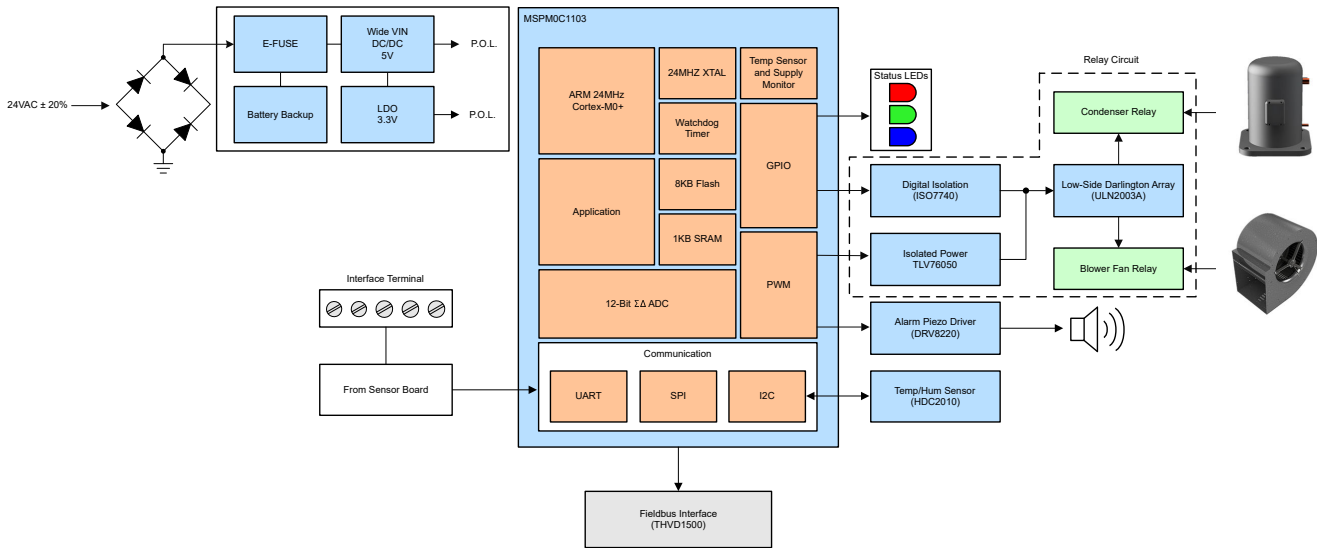


图 2-1. A2L 缓解控制板方框图

器件选择

MCU：由于对 MCU 的性能要求不高，因此选择了成本最低的 MSPM0（图 2-2）。此选项提供了与传感器模块和其他现场总线器件通信所需的外设，同时还为继电器、压电驱动器和指示 LED 提供了 PWM 和 GPIO 功能。

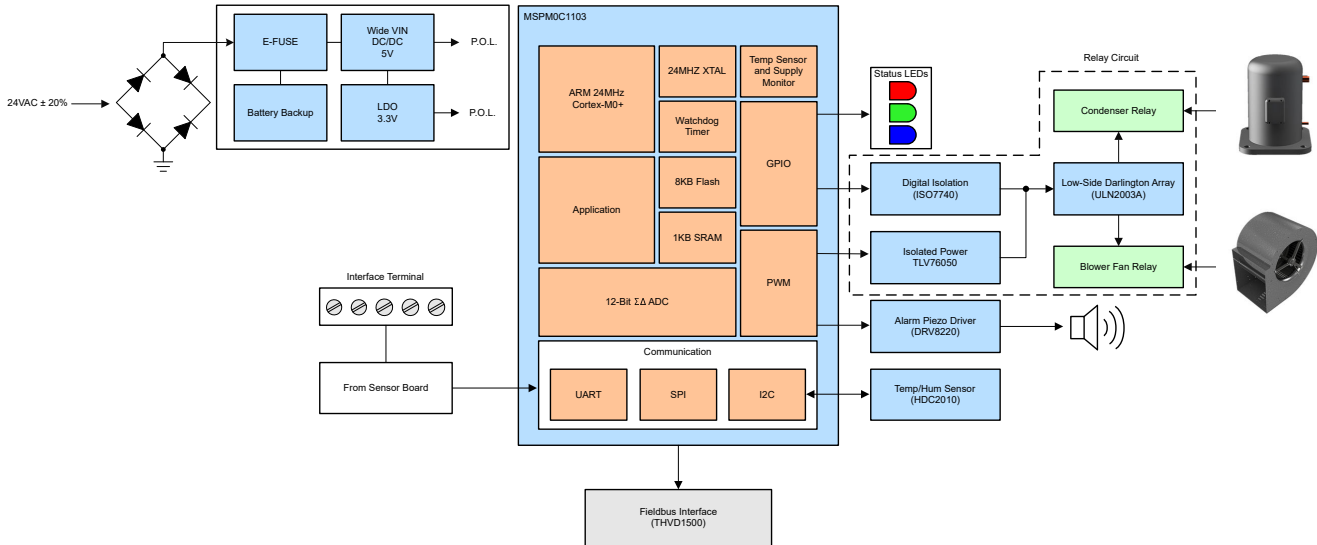


图 2-2. MSPM0C110 功能方框图

继电器控制：室内风机风扇和压缩机切断装置的继电器控制也由多个器件以及一些分立式元件组成。

- 图 2-3 用作 MCU 和场侧继电器控制信号之间的隔离栅。该器件是一款 4 通道数字隔离器，具有低成本设计和强大的保护功能。

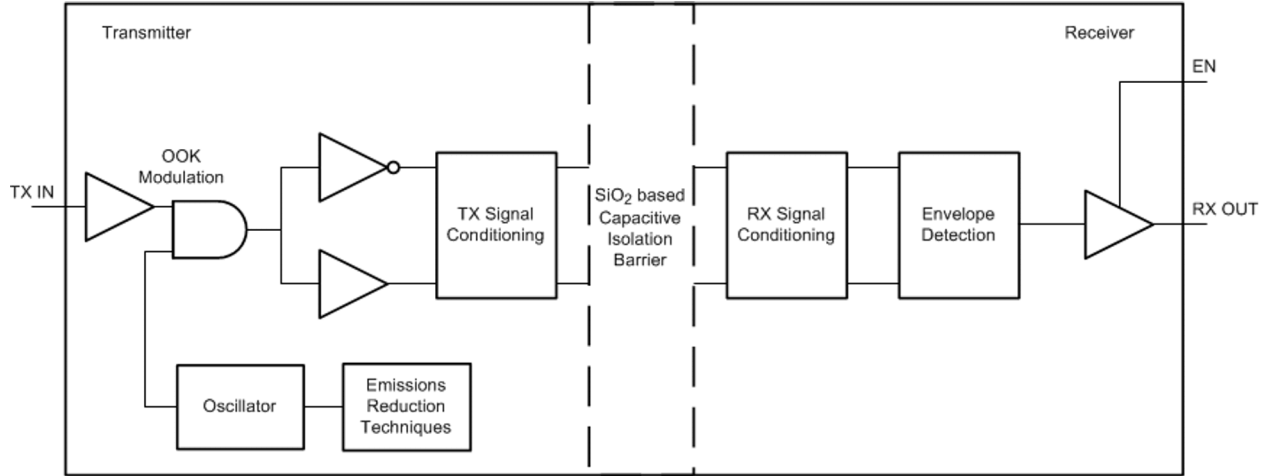


图 2-3. ISO7740 功能方框图

- 图 2-4 由 7 个 NPN 达林顿对组成，这些达林顿对具有高压输出，带有用于开关感性负载的共阴极钳位二极管。单个达林顿对的集电极电流额定值为 500mA。将达林顿对并联可以实现更大的电流。

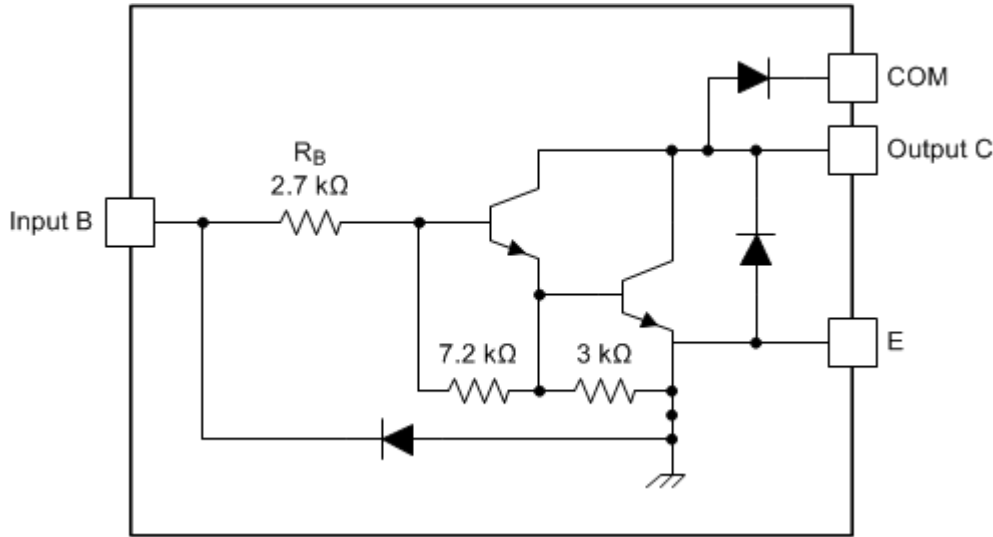


图 2-4. ULN2003A 达林顿阵列电路

- TLV76050 用作隔离式电源轨的 LDO，为场侧提供 5V 输出。该器件成本非常低，能够提供足够的电流来驱动来自 ISO7740 场侧的多个继电器通道。来自 MCU 的 PWM 用于生成隔离式电源轨，如图 2-5 所示。次级侧的输出由达林顿阵列使用，而 LDO 输出用于数字隔离器的场侧。有关 SSR 电路的更多信息，请参阅 [使用数字隔离器的 24VAC 多通道固态继电器参考设计](#)。

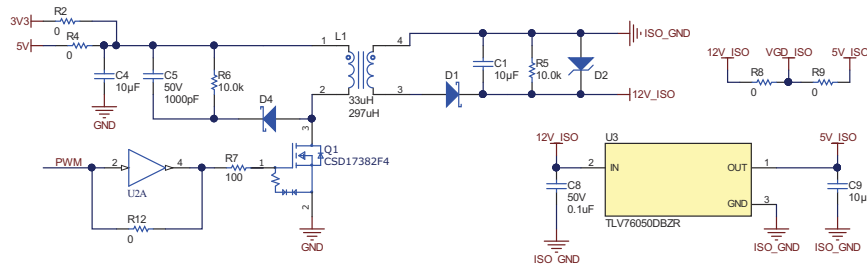


图 2-5. 适用于隔离式继电器控制的开环反激

冰冻检测：对于需要冰冻检测的水基系统，可以使用温度和湿度传感器来指示这一事件。此设计采用了 HDC2010，这是一款低成本数字温度和湿度传感器，可根据实际用例安装在缓解控制板上，甚至安装在控制板之外靠近热交换器的位置，如图 2-6 所示。HDC2010 是一款湿度和温度传感器，能够以超低功耗提供高精度测量。该传感器经过工厂校准，温度精度为 0.2°C，相对湿度精度为 2%，并配备了加热元件，可消除冷凝和湿气，从而增加可靠性。

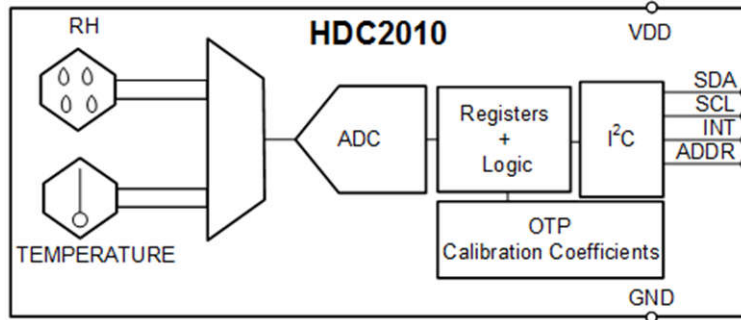


图 2-6. HDC2010 功能方框图

音频驱动器：对于音频警报，选择 DRV8220 作为低成本压电式驱动器。尽管该器件作为半桥电机驱动器销售，但也可以用作音频警报的压电式扬声器驱动器。DRV8220 支持多种控制接口模式，包括 PWM (IN1/IN2)、相位/使能 (PH/EN)、独立半桥和并行半桥。每个接口都支持低功耗睡眠模式，通过关断大部分内部电路来实现超低的静态电流消耗。该器件可以提供高达 1.76A 的输出电流，工作电源电压范围内为 4.5V 至 18V，如图 2-7 所示。

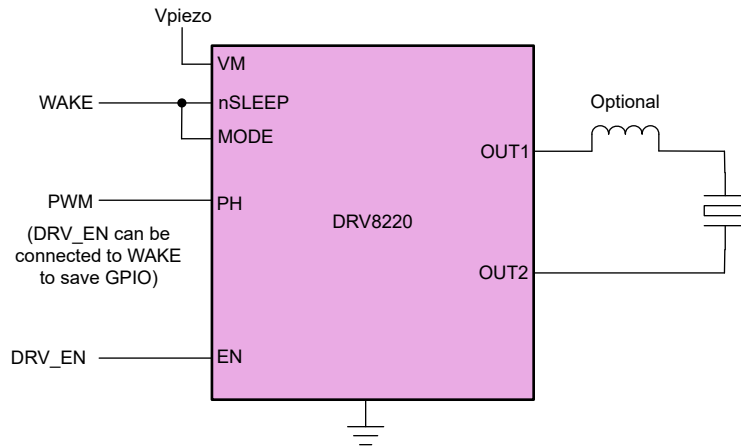


图 2-7. DRV8220 压电式扬声器驱动器方框图

现场总线接口：在现场总线通信方面，可以根据目标通信协议从多种通信接口中进行选择。目前，市场上的许多传感器模块都使用 RS-485 作为传感器模块与缓解控制板之间的主要通信协议。因此，示例缓解控制板中选择了 THVD1500 作为通信接口，如图 2-8 所示。THVD1500 是一款低成本、低功耗、半双工 RS-485 收发器，设计用于实现高达 500kbps 的数据传输。

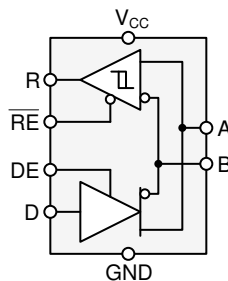


图 2-8. THVD1500 功能方框图

2.1 缓解控制板功能概述

以下部分更加详细地介绍了上述部分中提到的 UL60335-2-40 标准中概述的特定缓解任务。除了任务要求外，这里还提供了适用的 TI 参考设计（原理图、PCB 布局和软件），为设计人员提供了一个起点。

2.2 声音和视觉检测警报

符合 UL60335-2-40 标准的新 HVAC 系统的另一项要求是提供声音和视觉指示，以便在检测到制冷剂泄漏时发出警报。通常，这些指示可能位于室内空气处理单元上或其附近，因为该位置最有可能存在火灾风险。

根据标准，针对一般居住环境的制冷剂泄漏报警器（依据 GG.13.2.2）应同时发出声音和视觉警报，例如在以下情况下安装一个声音强度比背景音高 15dBA 的蜂鸣器和一个闪烁指示灯：

- 睡觉设施
- 行动不便的人士
- 有大量人员在场且无法控制
- 允许任何人在没有亲自了解必要的安全预防措施的情况下就能进入的空间

TI 面向设计人员的配套资料： [具有 LED 和音频反馈的状态指示参考设计。](#)

设计概述： TIDA-03026 参考设计能够模拟各种终端设备中的状态指示子系统，并可用于这些 A2L 检测系统。该设计还集成了音频反馈，以实现 LED 和音频结合的状态指示。

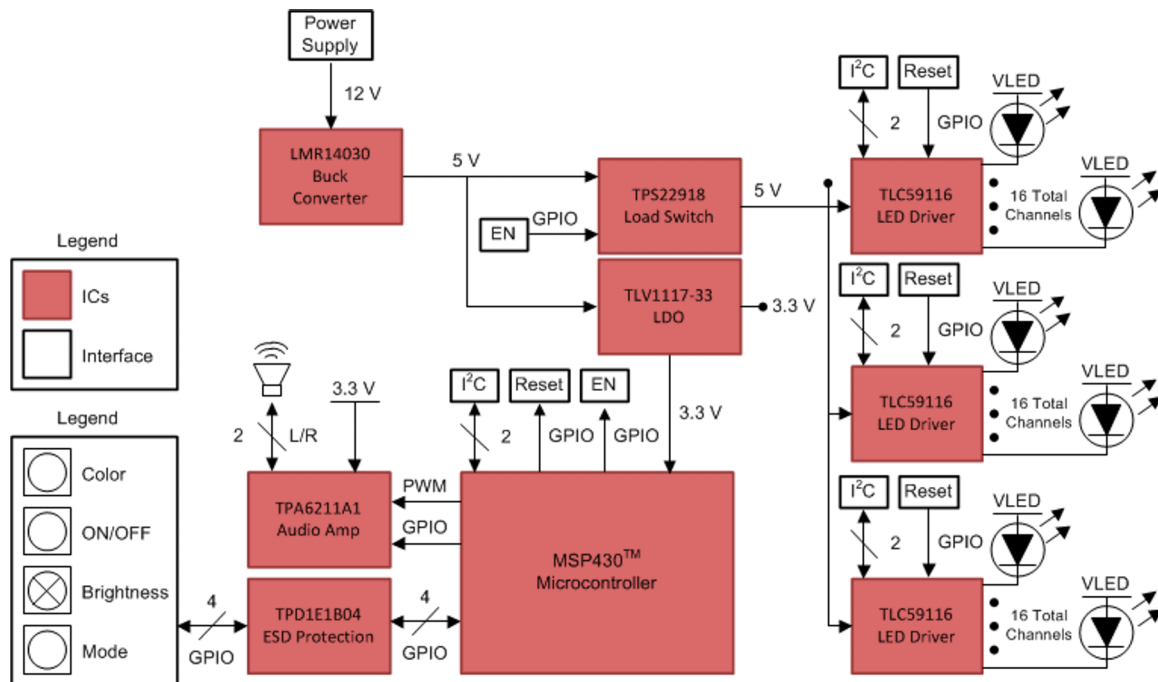


图 2-9. TIDA-03026 参考设计方框图

特性：

- 使用可变的 PWM 同步多个 LED 驱动器，从而凭借 TLC59116 创建独特的脉冲、闪烁和呼吸灯光效果
- TLC59116 I2C 控制通过实现跨多个平台定制用户体验，使增加额外的 LED 变得简单可行
- 易用的 TPA6211A1 音频放大器简化了音频设计，可以更快将产品推向市场
- TPS22918 负载开关将 LED 驱动器待机电流降至 0.5 μ A，节约了电能，从而实现高效的系统设计

2.3 冰冻检测（水基系统）

对于配备二次热交换器的系统（空气对水、水对水、制冷机），热交换器应采取以下一种或多种措施，以防止制冷剂泄露到二次热交换器流体所服务的区域：

- 双层热交换器

- 在接触区域内，二次回路的压力始终大于主回路压力的制冷剂系统
- 实施防冻保护装置，其中：
 - 关闭循环泵
 - 防冻保护功能会关闭压缩机
 - 根据具体应用，配备弹簧复位功能的安全切断阀，以确保电源故障安全

TI 面向设计人员的配套资料： [支持 Sub-1GHz 技术并可实现 10 年纽扣电池寿命的低功耗水灾和冰冻探测器参考设计](#)。

设计概述：此参考设计使用德州仪器 (TI) 的低功耗数字温湿度双重传感器和 SimpleLink™ Sub-1GHz 的超低功耗无线微控制器 (MCU) 平台，展示了一款可极大地延长电池寿命且无需接线的水灾和冰冻探测器。

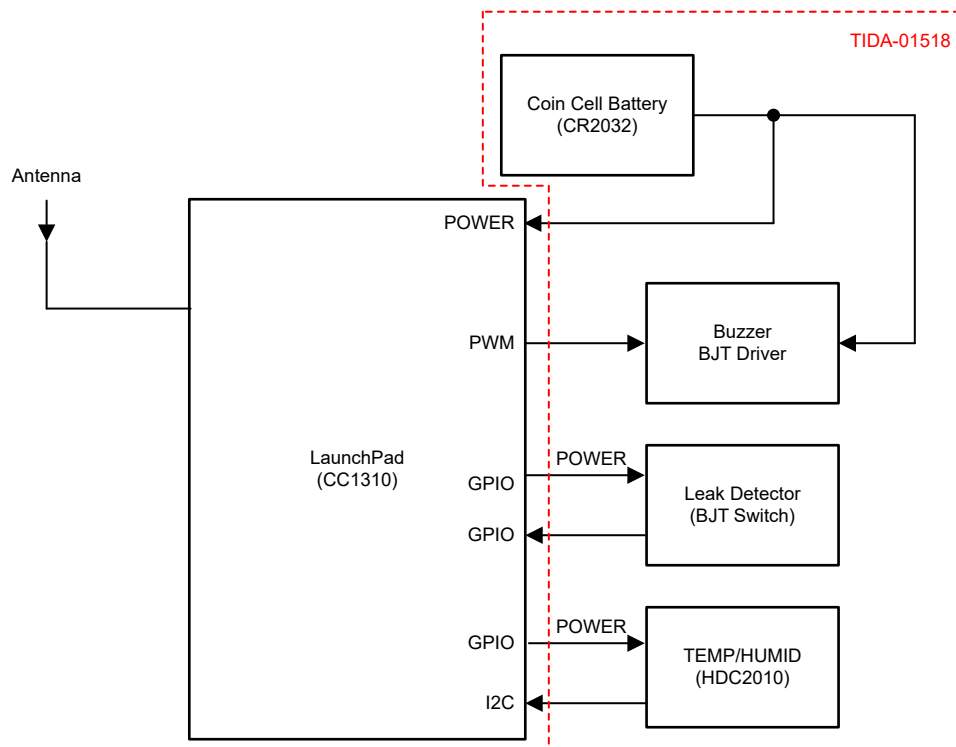


图 2-10. TIDA-01518 参考设计方框图

特性：

- 超低功耗设计能够使单个 CR2032 纽扣电池拥有长达 10 年的电池寿命
- 水导电传感始终处于通电状态，可实现持续监控
- 专为 SimpleLink™ Sub-1GHz 的 CC1310 无线微控制器 (MCU) LaunchPad™ 开发套件 (LAUNCHXL-CC1310) 而设计
- 能够采用高分辨率温湿度数据
- 设计简单，降低了成本

2.4 制冷系统中的隔离和/或安全切断阀 (SSOV) 以限制可释放的制冷剂量

根据 UL 标准的 101.DVN.9 条款，视为部分单元的 HVAC 系统（例如分体式系统、室外冷凝器）必须在工厂或现场安装安全切断阀，并且能够根据压缩机控制板发出的信号进行控制。这些安全阀应不能自复位，需要手动复位操作，并且不能进行远程复位。

TI 面向设计人员的配套资料： [具有功率调节和霍尔效应位置检测功能的风门和 EEV 控制器参考设计](#)

设计概述：此参考设计展示了用于风门传动器和电子膨胀阀的双电机驱动设计。多个电机驱动器包括一个双极步进电机驱动器和一个无刷直流电机驱动器，均由 15VDC 电源供电。此设计具有精确的功率限制，这有助于轻松实

现 IEC 60335-1 所定义的低功耗电路规格。此参考设计包含用于控制阀门或风门位置的 0V 至 10V 和 4mA 至 20mA 控制接口，以及用于实现精确位置检测的 TMAG5273。

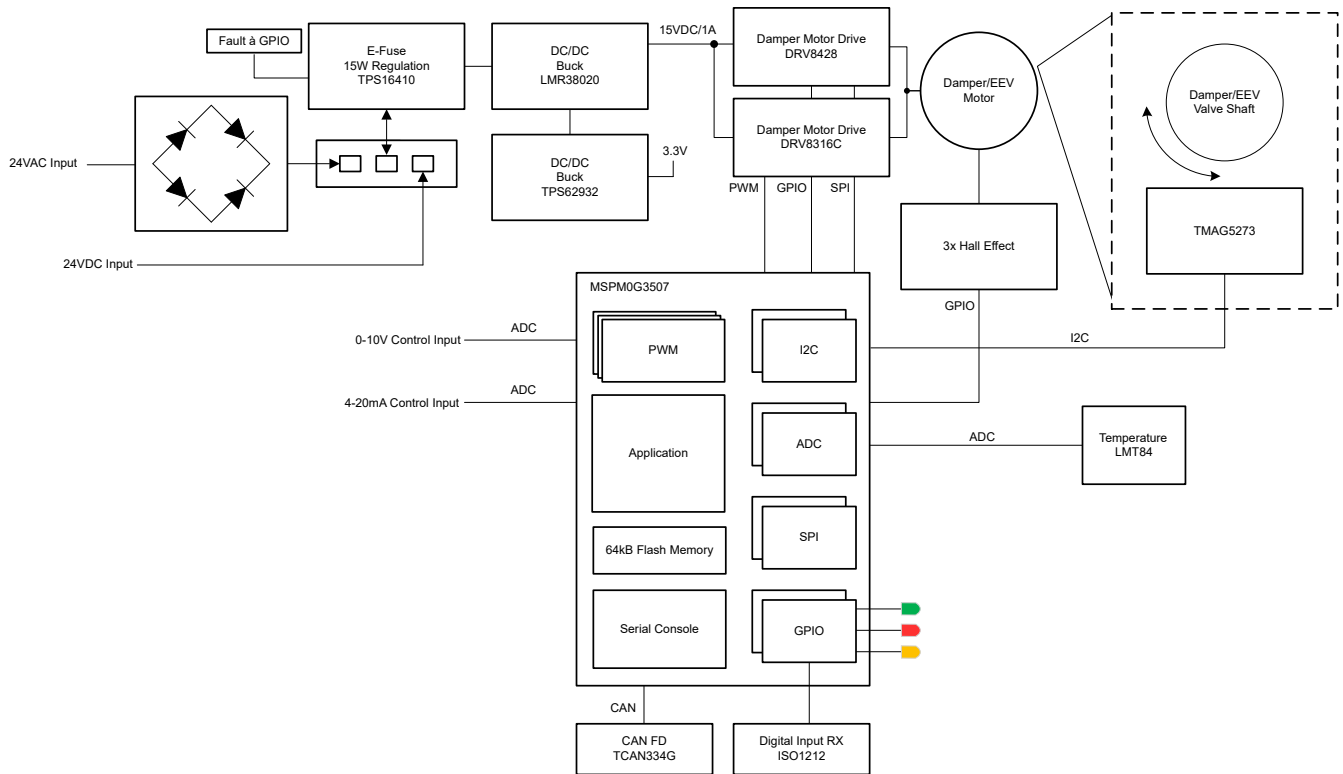


图 2-11. TIDA-010950 参考设计方框图

特性：

- 工作电压范围为 24V 至 40V
- 用于电子扩展器件控制的无刷直流驱动器
- 双极步进驱动 DRV8428 效率大于 95 %
- 单 MCU 控制，通过 I2C 和 SPI 实现多外设运行
- 15W 功率调节，可帮助轻松实现 IEC 60335-1 定义的低功耗电路规格
- 0V 至 10V 和 4mA 至 20mA 控制前端

2.5 配备 A2L 逻辑的电子控制系统，用于在发生泄漏时执行所需的操作，例如关闭压缩机和/或其他组件

如果检测到泄漏，则必须在制冷剂检测系统重置后采取以下措施并持续至少 5 分钟：

- 打开室内风机风扇
- 完全打开电器上的所有分区控风板，并在适用的情况下为外部分区控风板的控制信号通电
- 停止运行压缩机，除非压缩机运行能够降低泄漏率或减少释放到室内空间的制冷剂总量

TI 面向设计人员的配套资料： [使用数字隔离器的 24VAC 多通道固态继电器参考设计。](#)

设计概述： 此参考设计采用单隔离的多通道固态继电器 (SSR)。它使用多通道数字隔离器以及公共接地栅极驱动电路和单一隔离式电源来独立控制多个 SSR。该设计支持电流高达 2A 的 24VAC 继电器，并可扩展至 240VAC 和更高的电流。每个 SSR 通道都非常紧凑，尺寸小于 75mm²，最大元件高度为 3mm。与机电继电器相比，该单一隔离式电源可更大限度地减少布板空间并降低 BOM 成本。

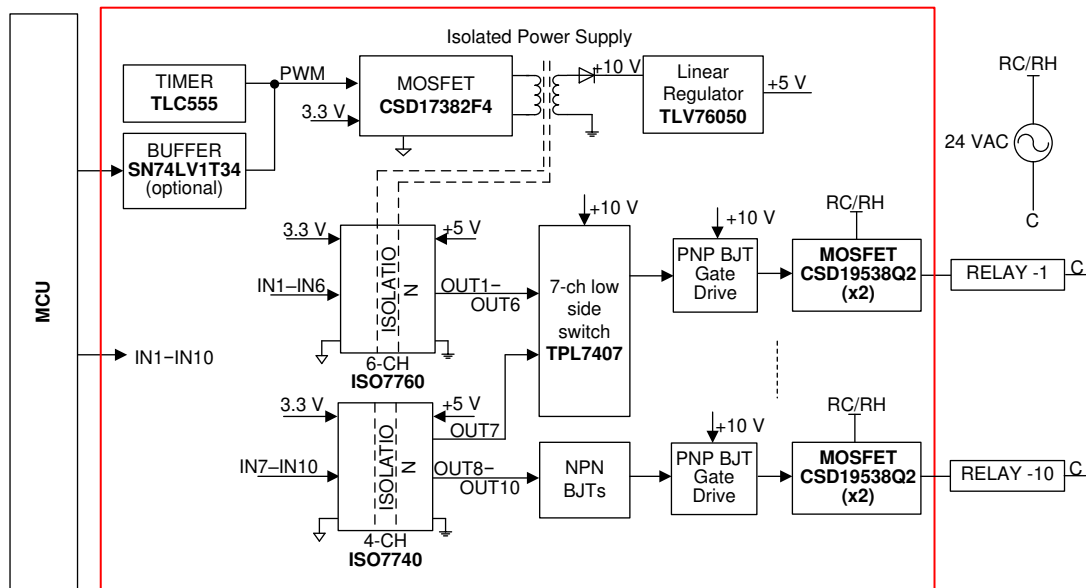


图 2-12. TIDA-010085 参考设计方框图

特性：

- 多个固态继电器将单隔离与多通道数字隔离器结合使用，可通过极低的额外成本轻松扩展到任意数量的 SSR 通道
- SSR 驱动电压 24VAC ±20%，驱动电流 2A RMS (电压和电流额定值，可通过使用具有适当额定值的元件来扩展)
- SSR 导通和关断时间：15µs 至 300µs (可调节)，每个 SSR 驱动的平均电流消耗 (初级) 小于 4mA (可调低至每通道 20µA)
- 每通道的 SSR 尺寸小于 75mm²。高度约为 3mm。
- 在功能上隔离的开环反激式电源，无需 MCU
- 浪涌和开关过压保护

2.6 箱体或步入式装置内的通风和/或循环风扇

对于 H0 <1.8m 的室内装置，以及通过管道连接到一个或多个高度 <1.8m 的空间来送排风的室内装置，必须提供循环气流，以便混合室内空气。此循环需要持续运行，或者由制冷剂检测系统打开，并同时关闭压缩机，除非压缩机运行能够降低泄漏率或释放到室内空间的制冷剂总量。

TI 面向设计人员的配套资料：[TIDA-010265 采用 C2000™ 和 MSPM0 的 750W 电机逆变器参考设计](#)

设计概述：该参考设计是一种适用于洗衣机或类似设备的 750W 电机驱动器，使用 FAST 软件或增强型滑模观测器 (eSMO) 展示了三相 PMSM 的无传感器磁场定向控制 (FOC)。它采用模块化设计并支持 C2000™ 和 MSPM0 MCU。现成的硬件和软件可缩短产品上市时间。该设计指南包含硬件详细信息和测试结果。基于 MathWorks 模型的方法有助于加快开发速度，需要的资源更少，并且可在 C2000 微控制器系列之间移植，从而支持离线开发、调优和验证。

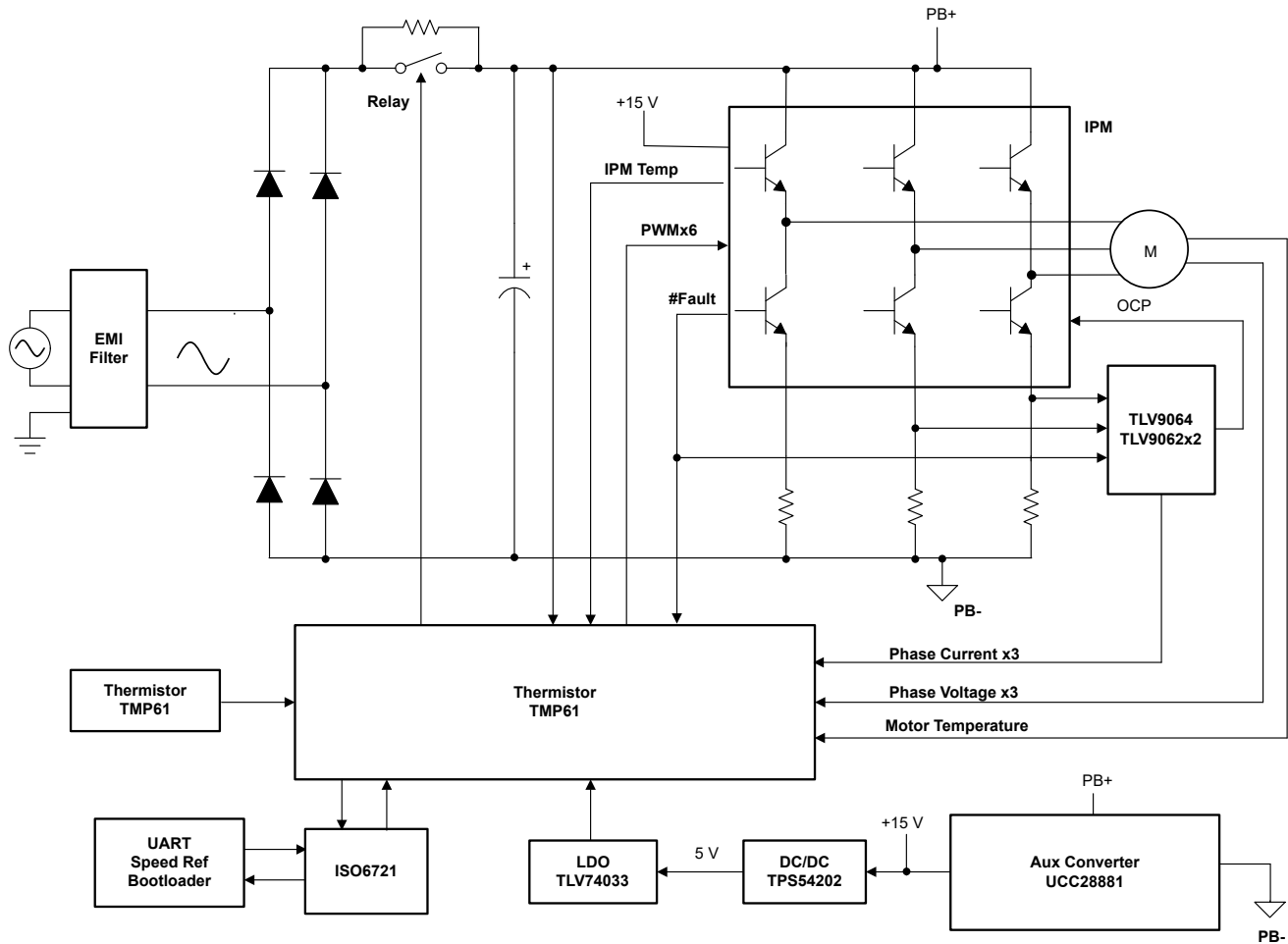


图 2-13. TIDA-010265 参考设计方框图

特性：

- 165V 至 265VAC 的宽工作电压输入范围，频率为 50Hz 或 60Hz
- 具有高达 750W 的逆变器级、15kHz 开关频率、扭矩补偿和自动弱磁控制
- C2000 MCU 或 MSPM0 控制器子板位于同一电源主板上的模块化设计
- FOC 电机控制，支持 FAST 和 eSMO
- 用户友好型图形用户界面，用于控制、识别和监控电机
- C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK 版本 5_01 及更高版本中提供了 C2000™ 微控制器 (MCU) 电机控制软件和随附 GUI。
- C2000WARE-MOTORCONTROL-SDK 版本 5_02 及更高版本中提供了使用 MathWorks MATLAB 和 Simulink 的基于模型的设计。该设计演示了支持各种无传感器观测器和电流检测方法的基于模型的电机控制。

TI 面向设计人员的配套资料：[采用 GaN IPM DRV7308 的 250W 电机逆变器参考设计](#)

设计概述：此参考设计是一种适用于大型电器的 250W 电机驱动器，具有基于 GaN IPM DRV7308 的高效率且不带散热器的电机逆变器，并包含采用 UCC28911 的低待机功耗设计。该设计演示了使用 FAST™ 软件或 eSMO 实现三相 PMSM 的无传感器 FOC 控制。该模块化设计支持 C2000™ 和 MSPM0 微控制器位于同一主板上。经过测试的现成硬件和软件有助于加快开发速度。该设计指南提供了设计详细信息和测试结果。

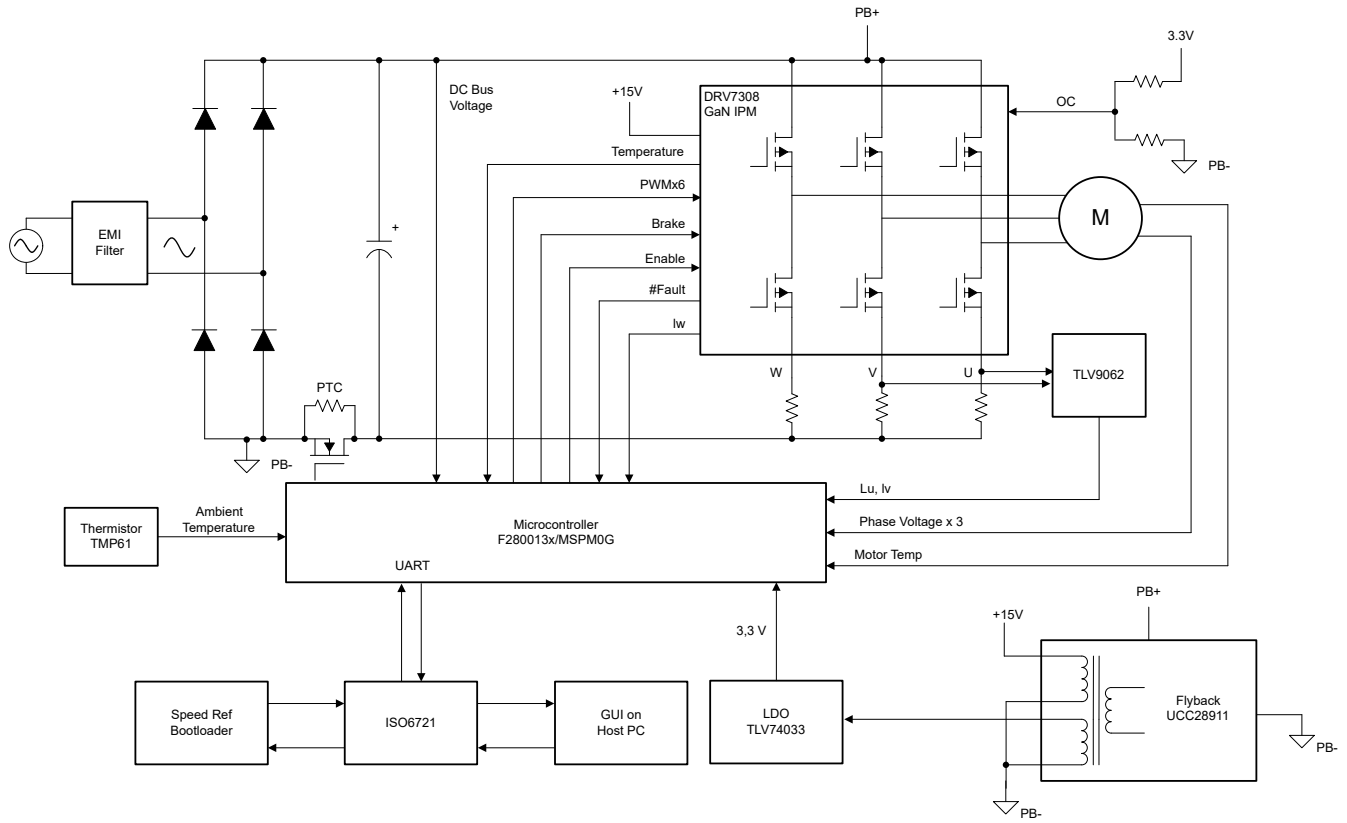


图 2-14. TIDA-010273 参考设计方框图

特性

- 峰值效率 > 99%
- 无需散热器，支持高达 250W 的逆变器级和 15kHz 的开关频率
- 80mm x 55mm 紧凑型电路板尺寸
- 低待机功耗设计
- C2000 或 MSPM0 控制器子板位于同一电源主板上的模块化设计
- 无传感器磁场定向控制 (FOC) 电机控制，支持 FAST 和 eSMO
- 用户友好型图形用户界面 (GUI)，用于控制、识别和监控电机

3 总结

总之，A2L 制冷剂在环境方面具有显著优势，包括低全球变暖潜能值和零臭氧消耗潜能值 (ODP)，并且与 R-410A 和 R-22 等旧制冷剂相比，能效更高。然而，因为其轻微的可燃性，需要严格的安全措施，包括采用制冷剂检测系统 (RDS) 和缓解控制板，以防止燃烧风险。遵循 UL 60335-2-40 等安全标准对于确保 HVAC 系统安全运行至关重要，这样才能既享受 A2L 制冷剂的环境优势，又遵守严格的安全协议。TI 提供了大量器件和参考设计，有助于加快缓解控制板的设计过程，从而为设计人员提供更低成本和更佳的性能。

4 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [采用 A2L 制冷剂：注意事项和要求](#), 应用简报。
2. 德州仪器 (TI), [使用数字隔离器的 24VAC 多通道固态继电器参考设计](#)。
3. 德州仪器 (TI), [具有 LED 和音频反馈的状态指示参考设计](#)。
4. 德州仪器 (TI), [支持 Sub-1GHz 技术并可实现 10 年纽扣电池寿命的低功耗水灾和冰冻探测器参考设计](#)。
5. 德州仪器 (TI), [具有功率调节和霍尔效应位置检测功能的风门和 EEV 控制器参考设计](#)。
6. 德州仪器 (TI), [采用 C2000™ 和 MSPM0 的 750W 电机逆变器参考设计](#)。
7. 德州仪器 (TI), [采用 GaN IPM DRV7308 的 250W 电机逆变器参考设计](#)。
8. 德州仪器 (TI), [MSPM0G3507 具有 128KB 闪存、32KB SRAM、2 个 4Msps ADC、DAC、3 个 COMP、2 个运算放大器、CAN-FD、MATHA 的 80MHz Arm® Cortex®-M0+ MCU](#), 产品页面。
9. 德州仪器 (TI), [ISO7740 EMC 性能优异的四通道、4/0、增强型数字隔离器](#), 产品页面。
10. 德州仪器 (TI), [ULN2003A 50V 7 通道达林顿晶体管阵列](#), 产品页面。
11. 德州仪器 (TI), [TLV76050 100mA、30V 低压降稳压器](#), 产品页面。
12. 德州仪器 (TI), [HDC2010 2% RH 超小型、低功耗数字相对湿度传感器](#), 产品页面。
13. 德州仪器 (TI), [DRV8220 具有自动睡眠模式的 20V、1.76A H 桥电机驱动器](#), 产品页面。
14. 德州仪器 (TI), [THVD1500 具有 ±8-kV IEC ESD 保护功能且速率高达 500Kbps 的 5V RS-485 收发器](#), 产品页面。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司