

Application Brief

用于尾门、滑移门、天窗及类似应用的运动控制模块



汽车具有多种闭合应用，这些应用中的多个电机由单个电子控制单元 (ECU) 管理。示例包括电动尾门、电动后备箱升降、前备箱、电动滑移门和天窗。虽然这些应用分别具有其特定的功能和要求，但它们也有一些共同的特性。

德州仪器 (TI) 的此项设计为驱动这些应用中的多个电机提供了一种功能齐全、经济高效、灵活且稳健的设计方案。图 1 和图 2 展示了典型尾门方框图的两个版本。

第一个版本连接到 CAN-FD 网络，并实现了独立控制四个有刷直流电机双向运动的功能，用于用户按钮和防夹传感器的输入，以及用于 LED 照明和警告蜂鸣器的输出。

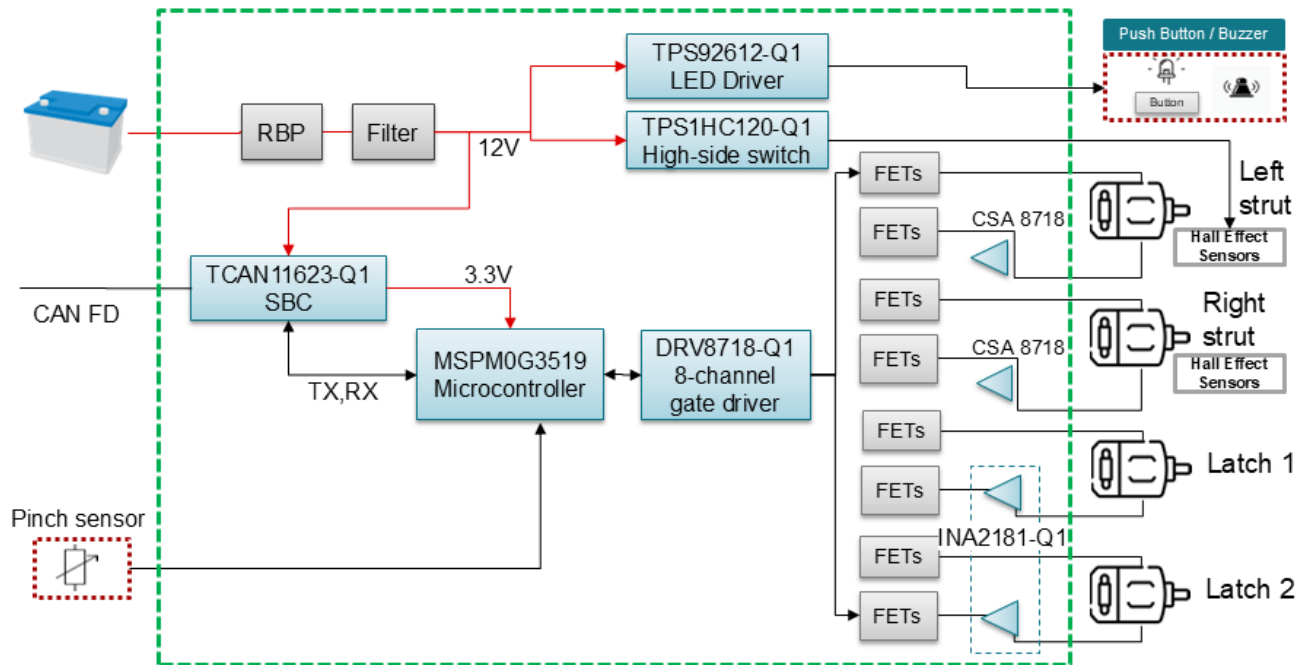


图 1. 采用 CAN-FD SBC 的典型尾门设计方框图

第二个版本具有类似功能，但使用以太网 10 Base-T1S 连接取代了 CAN-FD。这使得可以在整个车辆中使用以太网消息功能。

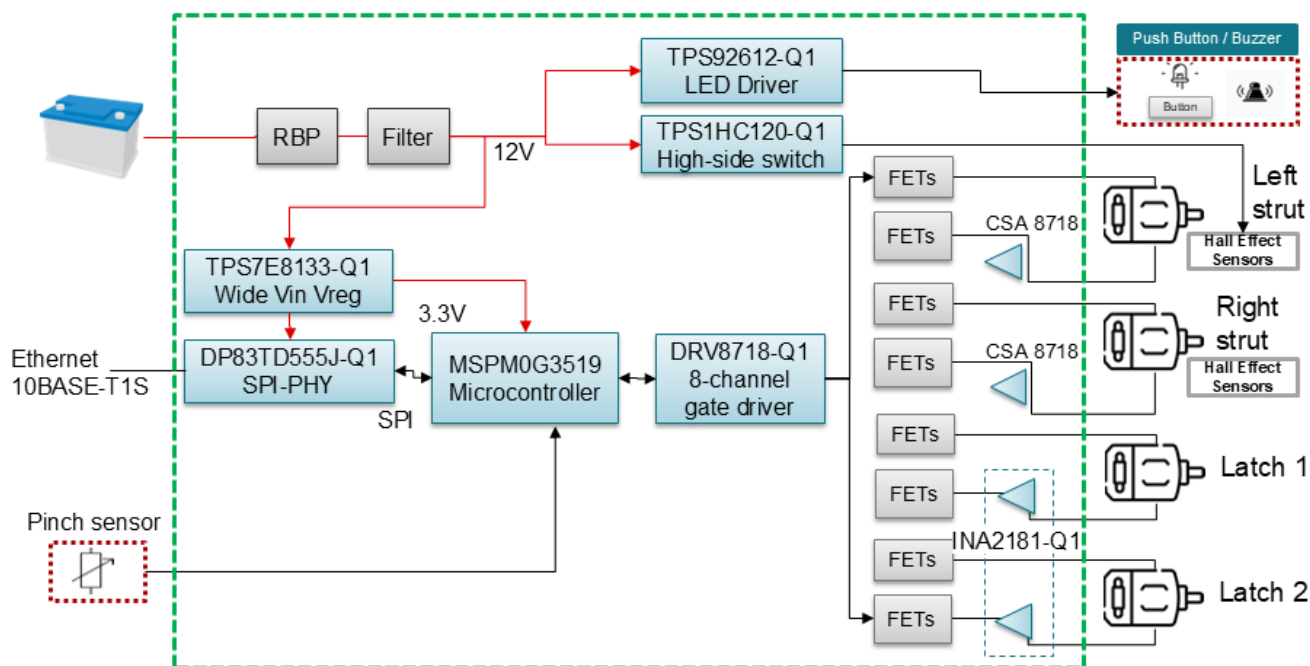


图 2. 采用以太网 10 Base-T1S PHY 的典型尾门设计方框图

在本设计中，可以通过在电路板上配置不同的元件来实现任一版本（CAN-FD 或以太网 10 Base-T1S）。

尽管最初是为尾门设计的，但类似的应用也使用大量这类元件并具有许多共同特性。

特性和规格

本设计包含尾门及类似多功能应用所共有的一些特性：

- 多个有刷直流电机协同运动
- 通过电流或开关反馈进行行程终点检测来进行电机控制
- 提供运动反馈的霍尔效应传感器
- 连接到车辆网络的 CAN 或以太网
- 用于手动控制的按钮输入
- 具有网络消息唤醒或按钮变化响应功能的低睡眠电流
- 高精度的模拟防夹传感器输入
- 控制用于用户按钮背光的 LED 电流
- 向用户提醒机械移动的蜂鸣器

表 1 列出了一些设计性能规格。

表 1. 性能规格

规格	标称值	限制
输入电压范围	8V 至 16V	反向电压保护，耐受瞬态电压高达 40V
电机	4 个具有独立双向运动功能的有刷直流电机	多达 7 个有刷直流电机，同时运动方向存在一定限制
电机电流	20A	受 MOSFET 和连接器选型限制
睡眠电流	< 50uA	< 100uA
防夹传感器精度	±1%	受电阻器容差限制
LED 电流	10mA	150mA
霍尔效应电源电流		总计 1.5A (受到热限制)

多个有刷直流电机协同运动

尾门可使用一个或两个支柱电机来升降后舱门。这些电机的运动必须同步，以避免因运动不均匀而可能对机械部件造成压力。锁扣在关闭时将舱门固定到位；这也需要支柱电机和锁扣电机协同运动。天窗或滑移门等其他多电机应用也可能对电机协同控制有类似的要求。

DRV8718-Q1 控制八个半桥，以驱动多达七个双向有刷直流电机。通过正确选择外部 MOSFET，电机电流可以达到所需的任何水平。若要完全独立控制四个电机，可以将每对半桥分配给一个电机。如果所需电机数量较少，DRV8714-Q1 是一款具有四个半桥栅极驱动器的类似器件。

表 2 列出了各种应用的典型电机电流电平（假设在 12V 系统下）。

表 2. 典型电机电流

尾门支柱	尾门锁扣	滑移门	天窗
高达 20A	高达 10A	高达 30A	高达 20A

MSPM0G3519-Q1 微控制器与栅极驱动器和位置反馈配合工作，以保持各电机协同运动。该微控制器负责解析来自车载网络的消息，控制电机，并监测整体运行情况以诊断故障状况。

该微控制器可以使用标准的 10 引脚 JTAG 连接器进行编程，以便针对各种应用定制设计。

通过电流或开关反馈进行行程终点检测来进行电机控制

为避免机械卡滞，在机械到达行程终点时停止驱动非常重要。本设计在达到极限时能立即检测到相应状况。一种方法是监测与扭矩成比例的电机电流。DRV8718-Q1 中集成的电流检测放大器 (CSA) 元件通过直列式分流电阻器为其中两台电机提供电机电流反馈，INA2181-Q1 则为另外两台电机提供相同的反馈。

图 3 展示了上升操作期间电机电流测量的示例。上升运动期间的电流约为 5A，且具有明显的纹波，然后当机械遇到障碍物（彩色轨迹）或行程终点（灰色轨迹）时，电流会增加到 10A 以上。

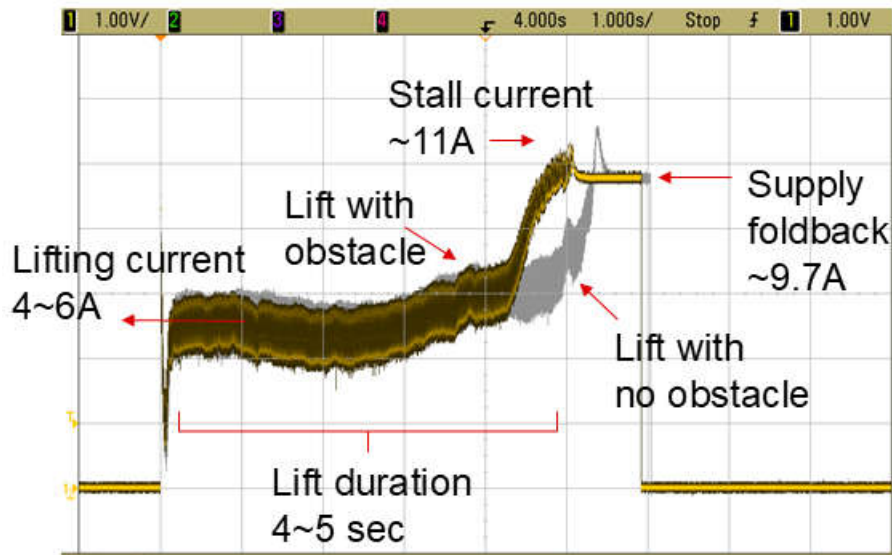


图 3. 电机电流曲线 — 有障碍物上升与无障碍物上升对比

除通过监测电机电流来检测失速扭矩状况外，本设计还可利用霍尔效应传感器的位置反馈，通过检测信号跳变速率的减慢来判断是否到达行程终点。本设计还设有用于限位开关的输入端，作为检测机械是否到达停止点的另一种方法。

利用霍尔效应传感器或无传感器方案进行运动反馈

为了精确反馈机械位置，本设计采用了霍尔效应传感器，用于检测安装在电机轴上的磁体的旋转。凭借此类应用中常见的高齿轮比，可以精确的分辨率和准确度确定位置，从而实现软闭合尾门和为其设置个性化最大高度等功能。

纹波计数是另一种检测电机运动的方法，通过测量电机电流变化来检测旋转。所有四个电机的电流均受到独立感测并提供给 MSPM0 的 ADC 输入端，因此设计人员可以对电流进行采样，并使用自己的算法进行纹波计数以实现运动反馈。有关纹波计数的更多信息，请参阅 [使用纹波计数实现无传感器有刷直流电机速度和位置控制](#) 应用手册。

连接车辆网络

尾门模块及类似的闭合应用需要与车内其他组件（如安全系统和控制台）进行通信。CAN 串行总线是与车辆其余部分进行通信的常用方式。本设计采用 TCAN11623-Q1 系统基础芯片 (SBC)，该芯片不仅包含 CAN 收发器和稳压器，还支持通过总线线路上的模式进行远程唤醒，以及支持在模块不工作时进入低功耗状态的本地唤醒输入。

以太网 10BASE-T1S 是一种在新型设计中日益普及的车辆网络。随着高比特率以太网在汽车领域的应用日益广泛，使用 10BASE-T1S 可将以太网协议扩展至边缘节点，从而减少重新格式化数据包的需求。

本设计可选择使用集成 MAC 的 DP83TD555-Q1 以太网 SPI-PHY 来连接到 T1S 网络。对于此配置，不安装 CAN SBC，而使用宽输入电压线性稳压器 TPS7E8133-Q1 为逻辑电路提供所需的 3.3V 电源。所有以太网数据包均由 SPI-PHY 转换为 SPI 消息。

用于手动控制的按钮输入

通常，这些应用既可以通过车辆网络远程控制，也可以在本地通过按钮控制。本设计包含用于多个按钮输入的电路，每个信号上都配有电平位移和滤波功能。除了用于用户输入外，这些按钮输入还可在开发阶段用于测试和诊断功能。

具有 CAN 或按钮变化唤醒功能的低睡眠电流

长时间停放时，ECU 必须从电池汲取极低的电流。TCAN11623-Q1 系统基础芯片 (SBC) 支持超低功耗待机模式；在该模式下，高速发送器和普通接收器均关闭，而低功耗唤醒接收器会通过 ISO 11898-2:2016 定义的唤醒模式 (WUP) 来实现远程唤醒。单独的 WAKE 输入引脚实现本地唤醒以响应用户按钮信号。

对于以太网版本，DP83TD555-Q1 具有类似的低功耗模式和远程唤醒功能，利用该功能，可通过以太网数据线上的远程唤醒事件唤醒 ECU。

在 MCU 的控制下，在模块处于低功耗睡眠模式时，TPS1HC120C-Q1 高侧开关可切断霍尔效应传感器和部分板载元件的电池电压。

图 4 显示了电路板从低电流睡眠状态切换到工作状态，然后再回到睡眠状态时，12V 电源供电电流的示波器测量结果。睡眠状态下的电流小于 1mA，而在没有高电流负载（电机、蜂鸣器等）活动时，工作状态下的电流约为 28.5mA。

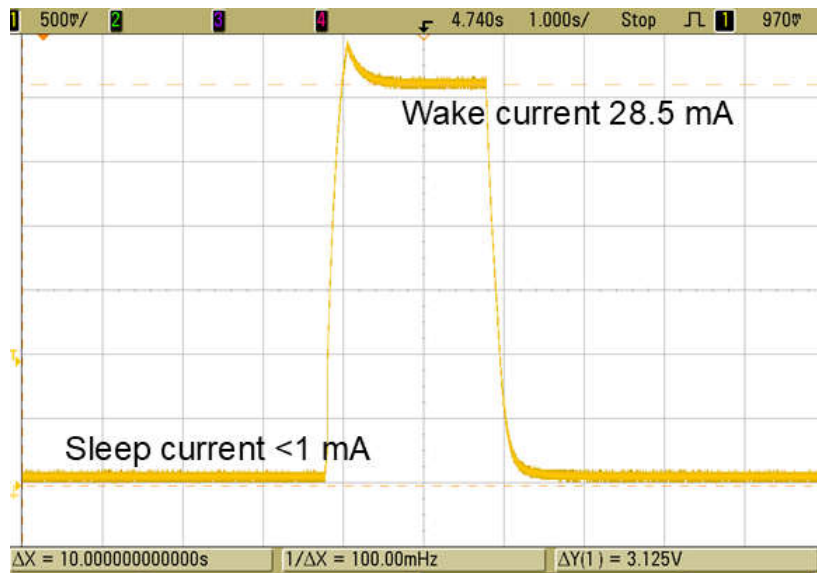


图 4. 睡眠和唤醒状态下的电流曲线跳变

高精度的模拟防夹传感器输入

为了感应夹伤事件，许多闭合应用会在闭合表面边缘包含一条压力敏感条。本设计使用 MSPM0 微控制器中集成的模数转换器 (ADC) 以及偏置电路，对此类压力敏感传感器的电阻变化进行检测。

这种方法在设置夹伤事件检测阈值方面提供了灵活性，允许进行下线校准，并能根据传感器磨损或环境变化对阈值进行调整。

图 5 显示了针对不同防夹检测传感器电阻值的 ADC 读数，其与理想理论读数相比具有极高的精度。

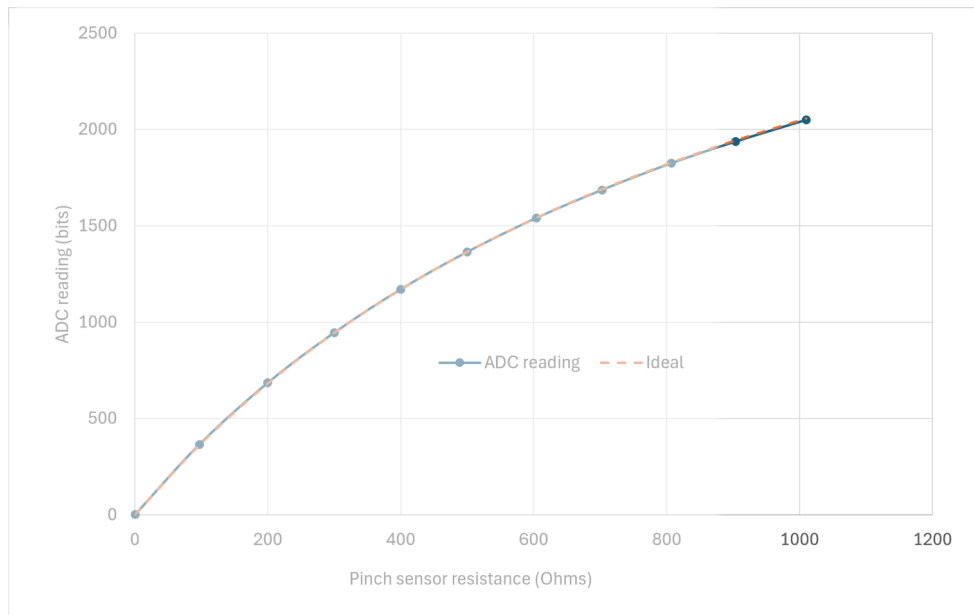


图 5. 防夹传感器精度测量

控制用于用户按钮背光的 LED 电流

用户按钮上的 LED 背光由 TPS92612-Q1 恒流 LED 驱动器驱动，可在黑暗环境中照亮按钮以便操作。如果遇到故障状况，它还可通过闪烁来发出警告。可利用不同的闪烁顺序指示不同的故障状况，例如遇到障碍物或过热。

向用户提醒机械移动的蜂鸣器

为了提醒用户机械即将启动，MCU 控制会控制一个板载蜂鸣器，并在机械开始运动前发出声音。虽然并非所有闭合应用都需要，但提供了蜂鸣器作为一种选择。与按钮照明一样，该蜂鸣器也可用于指示故障状况，或通过编码的蜂鸣序列传达诊断信息。

结语

如图 6 所示，本设计实现了尾门、滑移门、天窗和类似应用模块中的常见功能，其中包括连接至车辆网络的 CAN 或以太网连接选项。设计人员可以本设计作为起点，加快新产品的开发。

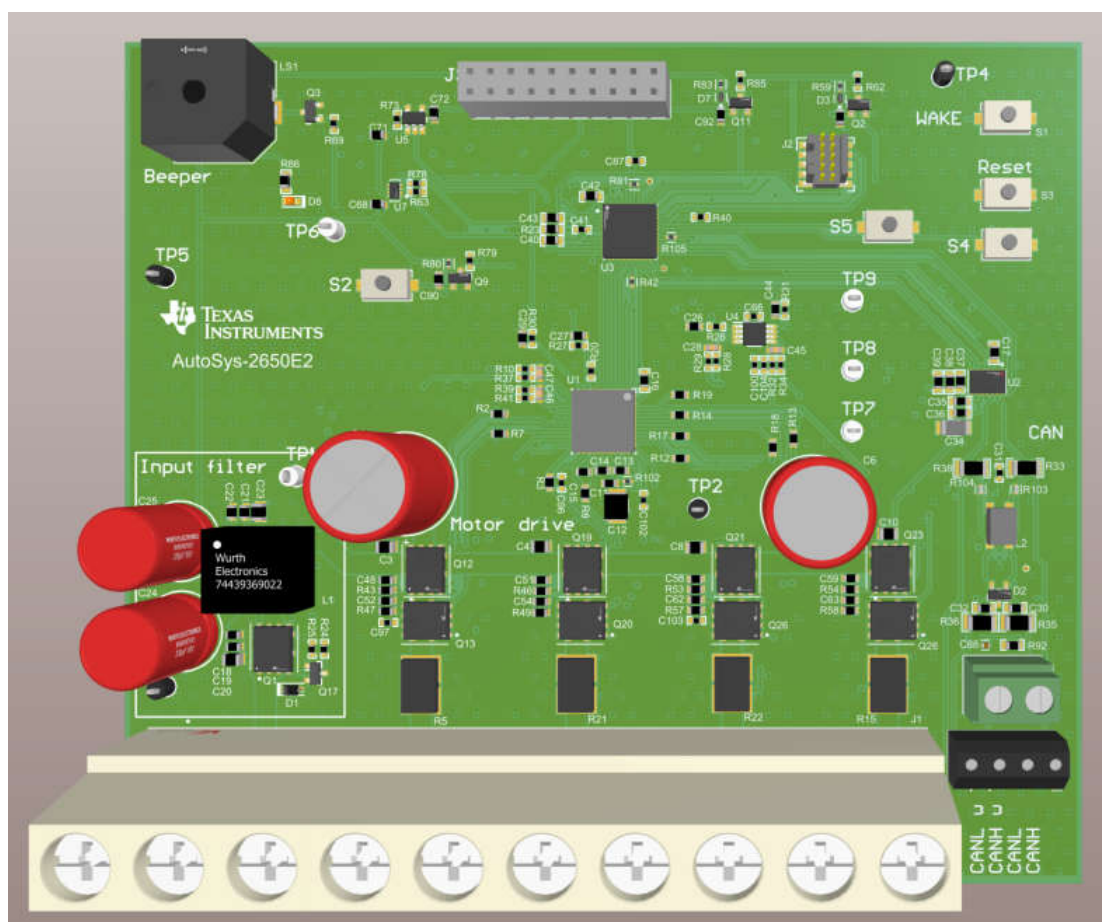


图 6. 电路板布局

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月