

# 为何在双电池 mHEV 系统中使用 PSR 反激式隔离转换器

Timothy Hegarty  
Applications Engineer

## 引言

随着汽车系统对电源的需求不断增长、政府对温室气体排放的要求越来越严格，以及从机械部件转换到电气功能来缩减尺寸和重量，传统的 12V 汽车铅酸电池已达到可用功率限制。<sup>[1, 2]</sup>为了解决这一功率限制问题，汽车制造商正在开发一个双电压电气平台，该平台将较小的 12V 电池（用于与现有系统兼容）与运行高功率负载的 48V 锂离子电池包组合在一起，其中包括：

- 动力总成 — 超级充电和再生制动。
- 底盘/安全 — 主动式翻滚抑制系统和自动驾驶系统，例如雷达、摄像头、激光雷达和超声波传感器系统。

如图 1 中所示，这种双总线架构提供了一种途径，可提高传统汽油或柴油内燃机 (ICE) 车辆的性能，而安装全混合动力总成对成本和重量造成的不利影响更小。<sup>[3, 4]</sup>这种轻混合动力电动汽车 (mHEV) 架构涉及动力总成相对不显眼的电气化。此外，由于稳态电压低于 60V 时，该系统不被指定为“高电压系统”。

因此，mHEV 系统需要：

- 更少的绝缘保护工作。
- 尺寸较小且增量成本更少的电气元件。
- 设计更紧凑，因为与高压混合动力解决方案相比，各个元件之间的间隙更小。

如图 1 所示，一个集成带式起动发电机 (BISG) 向 48V 板网 (BN48) 和电池提供回收能量。这种配置还可以通过皮带耦合到发动机的前端附件驱动，从而实现一定程度的扭矩辅助。这称为 P0 配置。<sup>[5, 6]</sup>其他拓扑被指定为 P1、P2、P3 或 P4，其中的电机可能耦合到曲轴、变速系统或后轴驱动。

电流控制型降压/升压稳压器（加上安全开关）<sup>[2, 7]</sup>可在图 1 中的 BN12 (12V) 和 BN48 (48V) 端口之间提供双向电源传输能力，从而使两个电池能够在需要时同时供电。该稳压器的基本半桥开关单元可通过支持多个并联相位进行扩展，从而满足更高的电流需求。请注意，低压系统和高压系统有一个公共接地，并且接地端子通过物理上独立的接地螺栓/连接进行连接。<sup>[3, 4]</sup>

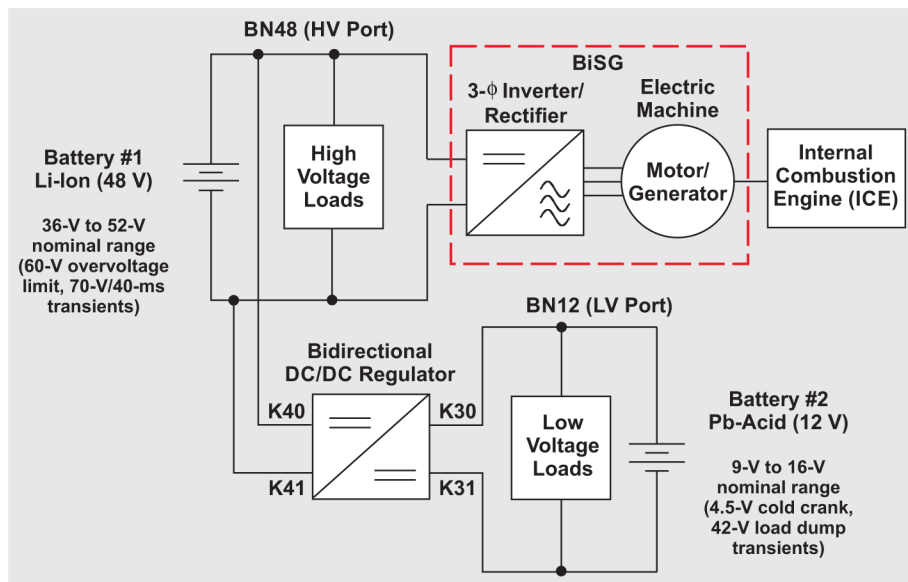


图 1. mHEV 双电池系统的简化示例

本文重点介绍为 48V 侧信号路径和控制电路供电的隔离式电源。所述的初级侧稳压 (PSR) 反激式转换器系列具有简单、多用途、解决方案尺寸小、噪声低、可靠性高且物料清单成本低等特性。

## mHEV 系统中的功能隔离

与需要增强型隔离以实现电击保护和安全的 HV HEV 系统不同，mHEV 中的功率级是非隔离式的，因此降低了总体系统和维护成本。但是，mHEV 系统中控制电路的功能级隔离通过提高抗噪性能来提高稳健性，尤其是在逆变器/整流器和直流/直流功率级中具有高压摆率开关电压和电流时。隔离还减少了各种子系统之间的接地回路，并减轻了静电放电和电快速瞬变。与电弧和熔断有关的具体关切领域也很重要。为了增加一些视角，图 2 详细介绍了起动机发电机系统的基本子系统。<sup>[6,7]</sup>

图 2 中有一条红色虚线，用于指示 12V 侧和 48V 侧之间的隔离边界。源自 12V 电池的隔离式电源通常作为反激式

转换器实现，用于为 48V 侧的辅助偏置电源轨提供冗余和容错备份，典型输出电压设定值为 12V。该辅助电源轨通常由 48V 电池使用降压转换器提供，用于为系统基础芯片供电，而该芯片又为嵌入式处理子系统以及各种监控和检测电路供电。根据每个电池的充电状态（例如，长期停车后）、启动注意事项、故障管理和其他因素，动力总成控制单元可能会根据需要启用或禁用反激式转换器。

隔离对于车辆通信网络也很有用，尤其是在处理 12V 或 48V 侧的接地电压偏移或接地失效故障时。<sup>[3]</sup>最后，随着 mHEV 系统中电机发电机的功率水平提高到 30kW，集成在电机发电机中的逆变器/整流器级高侧开关栅极驱动器也将受益于隔离。UCC20225A-Q1 是一个适用于 48V 应用的隔离式双通道栅极驱动器示例。在这里，反激式转换器的多输出功能非常有用，尤其是在需要浮动或双极栅极驱动电压时。

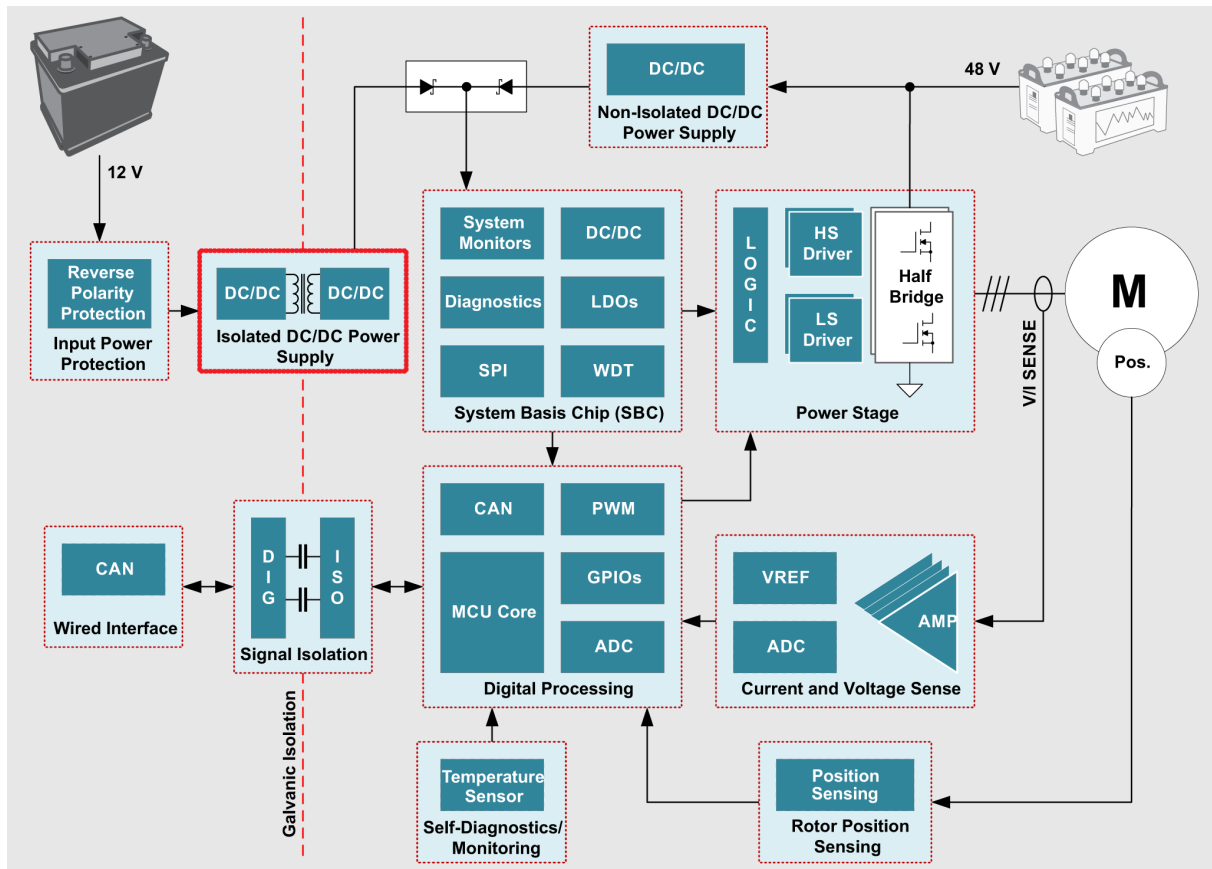


图2. 起动机发电机系统框图（以红色突出显示的隔离式直流/直流级）

## PSR 反激功能实现

图3a展示了使用LM25184-Q1的原理图，该电路适用于mHEV中的低功耗隔离式电源轨。其中，LM25184-Q1是一款具有集成电源开关和环路补偿的反激式转换器并使用PSR进行输出电压控制。根据负载电流的不同，PSR反激式转换器以边界导通模式(BCM)或不连续导通模式运行。初级绕组上的齐纳二极管电路支持变压器漏电感的钳位复位。图3b展示了一种实现方案<sup>[8,9]</sup>，其中使用了匝数比为1:1、磁化电感为 $7\mu\text{H}$ 且采用 $11\text{mm} \times 13\text{mm}$ 封装的反激式变压器。

PSR架构是一种使用初级绕组估算反激式转换器输出电压的基于观测器的方法。在开关电压拐点处特定时间点的采样能够合理地反映输出电压的情况，从而使输出在整个线路、负载和温度范围内具有非常严格的调节精度。由于不使用光耦合器进行反馈，因此无需使用元件穿过隔离栅，这提供了一种更具成本效益的解决方案。此外，无需使用辅助绕组进行输出检测，因此可以实现更简单的磁性结构和更低的漏电感<sup>[10]</sup>，并在包含Q级合规性的现成组件方面提供更多选择。

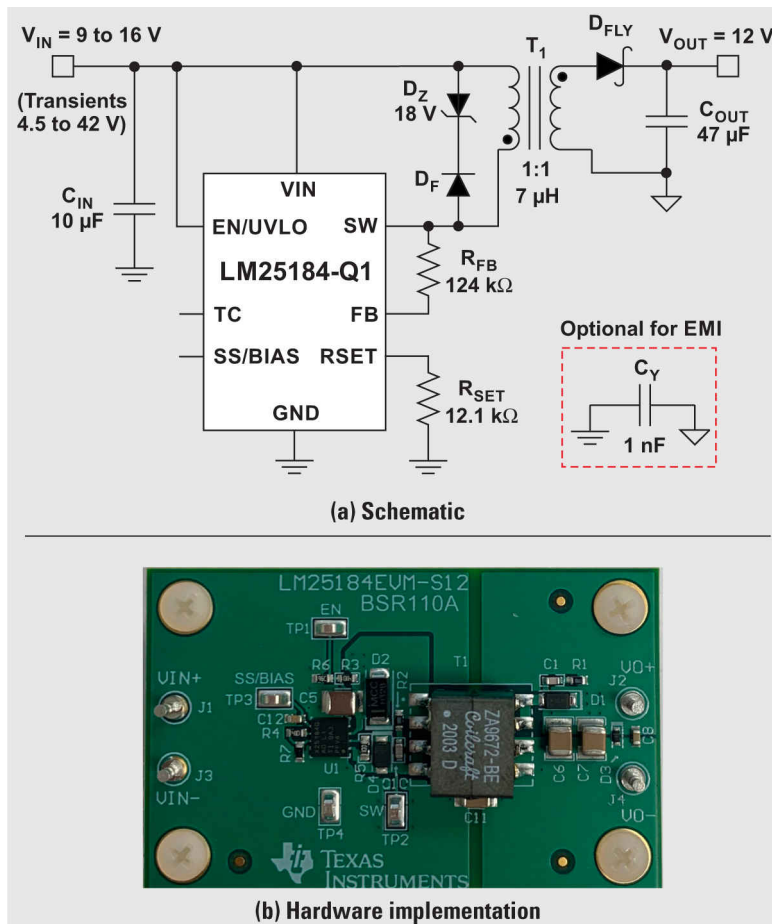


图3. 具有 12V 输出的无辅助 PSR 反激式转换器

凭借标称设计工作，稳压性能可以与传统的光隔离解决方案相媲美，而又不会增加解决方案尺寸、成本和可靠性问题。因此，此 PSR 技术支持改进的转换器性能、更高的工作温度、更高的可制造性和针对故障情况的强大保护，这些都是 mHEV 应用所需的重要属性。图 4 展示了多个输入电压和 12V 标称输出的负载调节和效率曲线。

在电磁干扰 (EMI) 方面，初级侧开关始终在零电流时导通，从而避免反激式整流二极管出现不良的反向恢复。此

外，BCM 中的开关关断是准谐振软转换。这有助于降低总开关损耗并减少传导和辐射噪声特征。图 5 展示了反激式转换器的国际无线电干扰特别委员会 (CISPR) 25 5 类传导 EMI 结果，其中初级和次级接地之间安装了可选的 Y 电容器（如图 3a 中所示）以减少公共节点噪声特征。

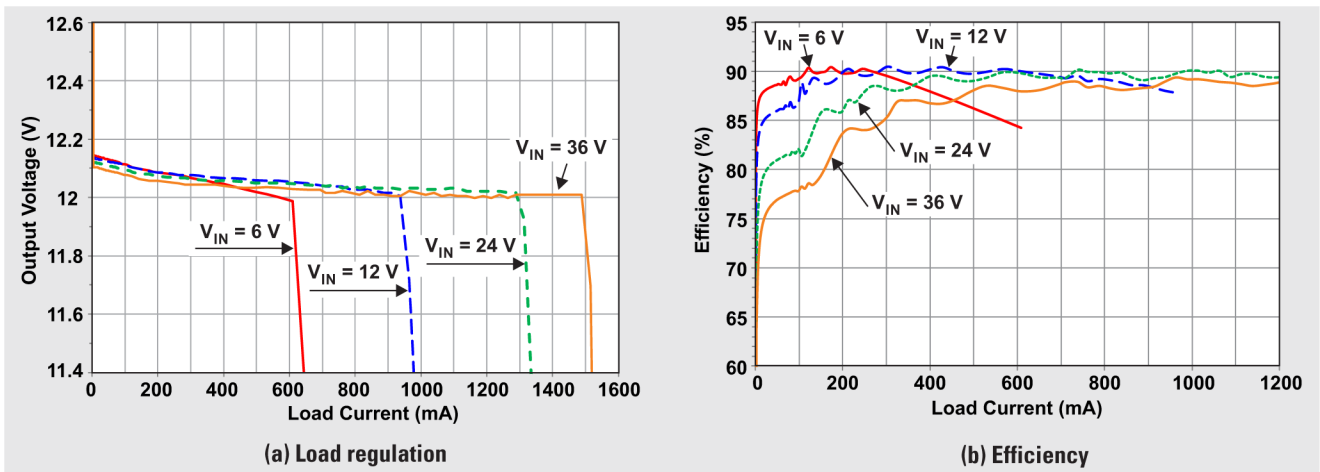


图 4. 具有 12V 输出的 PSR 反激式转换器性能

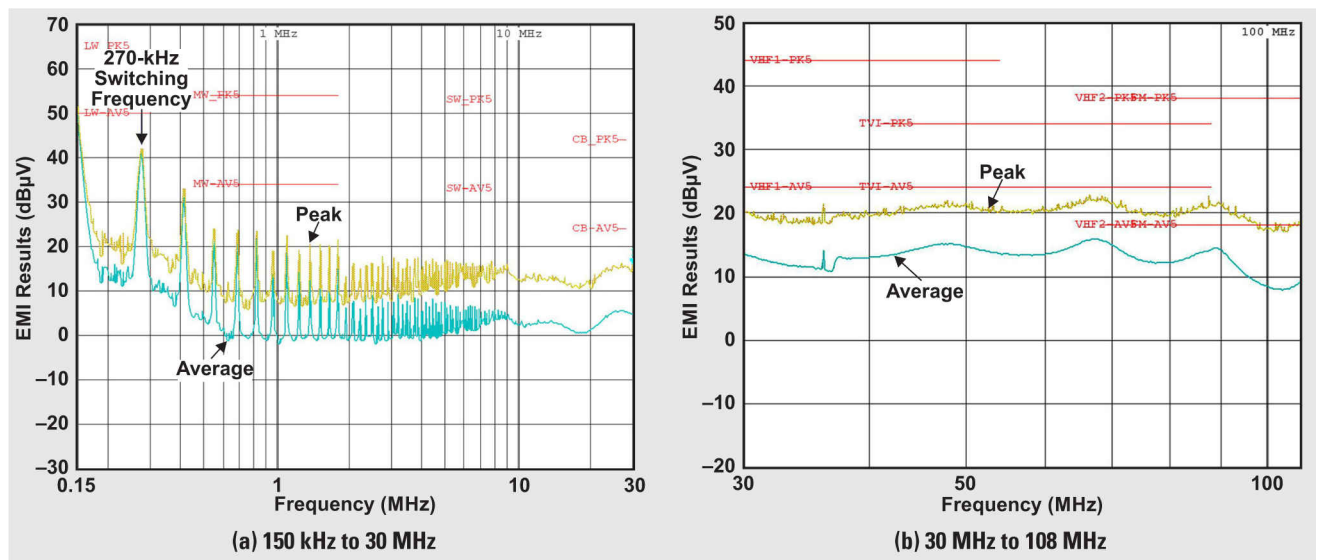


图 5. PSR 反激式转换器的 CISPR 25 5 类 EMI 测量 ( $V_{IN} = 13.5V$ ,  $I_{OUT} = 700mA$ )

PSR 反激式转换器	输入电压范围	峰值开关电流 (典型值)	最大负载电流 (1)	
			$V_{IN} = 4.5V$	$V_{IN} = 13.5V$
LM5181-Q1	4.5V 至 65V	0.75A	90mA	180mA
LM5180-Q1	4.5V 至 65V	1.5A	180mA	360mA
LM25180-Q1	4.5V 至 42V	1.5A	180mA	360mA
LM25183-Q1	4.5V 至 42V	2.5A	300mA	600mA
LM25184-Q1	4.5V 至 42V	4.1A	500mA	1A

表 1. TI 的 PSR 反激式转换器系列支持多种电流电平

(1)  $V_{OUT} = 12V$ ,  $N_{PS} = 1$

表 1 确定了符合汽车标准的封装兼容型 PSR 反激式转换器系列的细节，该系列适用于多种 mHEV 隔离式电源应用。假设输出电压为 12V 且变压器匝数比为 1:1，则该表分别

指定了输入电压为 4.5V 和 13.5V (分别对应于低电压电池瞬态冷启动和稳态运行条件) 时的最大负载电流。

**公式 1** 给出了反激式转换器在 BCM 模式下的最大负载电流：

$$I_{OUT(max)} = \frac{\eta}{2} \times \frac{I_{SW(pk)}}{\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} + \frac{1}{N_{PS}}} \quad (1)$$

其中， $N_{PS}$  是变压器匝数比， $\eta$  是效率，而  $I_{SW(pk)}$  是开关峰值电流额定值。

PSR 反激式解决方案可通过调整变压器<sup>[10]</sup>和次级侧组件轻松进行扩展；初级侧设计在很大程度上保持不变。通过连接输入钳位电路<sup>[11]</sup>可使输入电压摆幅高于 65V，从而在 40ms 内管理 48V 汽车技术规格<sup>[3,4]</sup>中定义的 70V 瞬态过压等。

## 总结

轻混系统设计的实惠价格及其改装现有 ICE 传动系统的能力正在加速电动汽车应用中对电力电子产品的需求。mHEV 动力总成应用中的低压侧到高压侧隔离电源可提高性能、稳健性、冗余性和容错能力。无辅助 PSR 反激式转换器具有出色的稳压能力、多输出能力、EMI 合规性、小巧的外形和组件数量少等特性，因此在 mHEV 电动动力总成架构中越来越重要。通过对输出电压进行磁感应消除了光耦合器，因此无需使用穿过隔离栅的元件，即可实现具有更高可靠性的高性价比解决方案。

## 参考文献

1. Karl-Heinz Steinmetz, 《推动交通运输领域的绿色革命》，德州仪器 (TI) 白皮书 (SSZY026)，2016 年 9 月。
2. Jiri Panacek, 《在双电池汽车系统中桥接 12V 和 48V 电源轨》，TI 白皮书 (SLPY009)，2018 年 11 月。
3. 国际标准化组织/国际标准草案 21780:2019, 《道路车辆 - 48V 电源电压 - 电气要求和测试》，2019 年。
4. 《VDA 320 - 机动车辆 48V 车载电源中的电气和电子元件》，2014 年版。
5. Anuj Narain, 《48V 起动机/发电机系统的发展》，TI E2E™ 支持论坛技术文章，2019 年 9 月 23 日
6. 起动机/发电机子系统应用，TI 参考设计和产品。
7. 适用于 12V/48V 汽车系统的双向直流/直流转换器参考设计 (TIDA-01168)。
8. Sam Jaffe, 《在双电池 12V/48V mHEV 电源中优化解决方案尺寸并降低复杂性》，TI 培训视频。
9. LM25183/4-Q1 PSR 反激式转换器设计工具（可下载的 Excel 文件）。
10. Timothy Hegarty, 《适用于 mHEV 应用的 PSR 反激式直流/直流转换器变压器设计》，TI 技术手册 (SNVA805)，2019 年 4 月。
11. Jiri Panacek, 《为 VDA 320 扩展 LM5180-Q1 PSR 反激式的输入电压范围 (LV 148)》，TI 应用报告 (SNVA900)，2020 年 1 月。



## 相关网站

[LM5180-Q1](#)

[LM5181-Q1](#)

[LM25180-Q1](#)

[LM25183-Q1](#)

[LM25184-Q1](#)

[LM5170-Q1](#)

[UCC20225A-Q1](#)

**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。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司