

## Application Note

## 在 ATE 电路板上使用高压模拟开关替换继电器的设计指南



## 摘要

在自动测试设备 (ATE) 电路板的使用场景中，模拟开关相较继电器具备诸多优势，但由于自动测试仪上的电源资源有限，因此一直未能得到充分利用。本文档讨论了 ATE 电路板上开关的供电方案，分享了示例布局和原理图，以及根据 ATE 电路板需求选择合适开关的主要注意事项。

## 内容

1 简介.....	2
2 如何为模拟开关供电.....	3
2.1 ATE 仪器.....	3
2.2 测试仪的电源轨.....	3
2.3 电源设计与注意事项.....	4
3 控制开关.....	9
3.1 CBIT.....	9
3.2 数字仪器.....	9
4 选择正确的开关.....	10
5 总结.....	11
6 参考资料.....	11

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

继电器在 ATE 电路板上很常见，但存在诸多缺点 — 尺寸大，功耗高，上升时间长和长期可靠性差。模拟开关可用于克服继电器的这些缺点，但由于 ATE 电路板上提供的电源选项有限，其应用往往被认为存在局限。继电器仅需 5V 电源即可传输高压信号，而模拟开关通常需要与通过开关的信号具有相同范围的电源，因此限制了其在 ATE 电路板高压应用中的使用。本文在阐述继电器与开关的核心差异后，详细介绍了在上述约束条件下为模拟开关供电的可行方案，同时可进一步缩减系统整体设计尺寸。

机械继电器、光继电器和模拟开关都具有类似的功能，但工作方式各不相同。机械继电器通常由一个电感线圈和一个物理开关组成。当电流激励线圈时，线圈会产生磁性，并将两块金属拉在一起。光继电器的运行方式类似，只不过使用 LED 代替线圈来驱动 MOSFET 的栅极开/关。模拟开关将多路驱动电路与 MOSFET 集成于同一芯片，并通过恒压源驱动栅极。因此，与光继电器和机械继电器相比，模拟开关可节省 PCB 空间。<sup>1</sup>

模拟开关相对于继电器的主要优势如下：

- 高通道密度
- 更低功耗
- 由于所需电流极低，可使用测试仪上任意现有电源进行控制
- 可由 SPI 控制，可省去 IO 扩展器
- 长期可靠性高
- 具有成本效益

有关何时以及为何使用开关代替继电器的更多详细信息,请参阅 [何时使用多路复用器替代继电器](#)。

## 2 如何为模拟开关供电

为 ATE 电路板上的模拟开关供电时，可以使用测试仪自带的、支持所需电压的任何电源。以下是 ATE 电路板上最常用的供电方案。

- 测试仪上的仪器（例如，模拟源和电源）
- 测试仪的电源轨

### 2.1 ATE 仪器

使用测试仪作为模拟开关的电源时，应考虑电源的电流范围。如果电流范围过低，则无法对开关上的过压事件进行正确钳位。信号线（源极或漏极）上的过高电压会使连接至开关电源引脚的内部 ESD 二极管正向偏置（请参阅图 2-1）。如果电源上的电流被钳位，则来自信号线的驱动电压可能会升高电源引脚上的电压，从而可能超过开关的绝对最大电压。为避免损坏，可以在开关的电源轨之间布设一个 TVS 二极管来钳位电源轨之间的电压并泄放过剩电流。请注意，一个 TVS 二极管可支持多个开关共用。TI 建议控制信号线路上的电流范围以避免损坏。

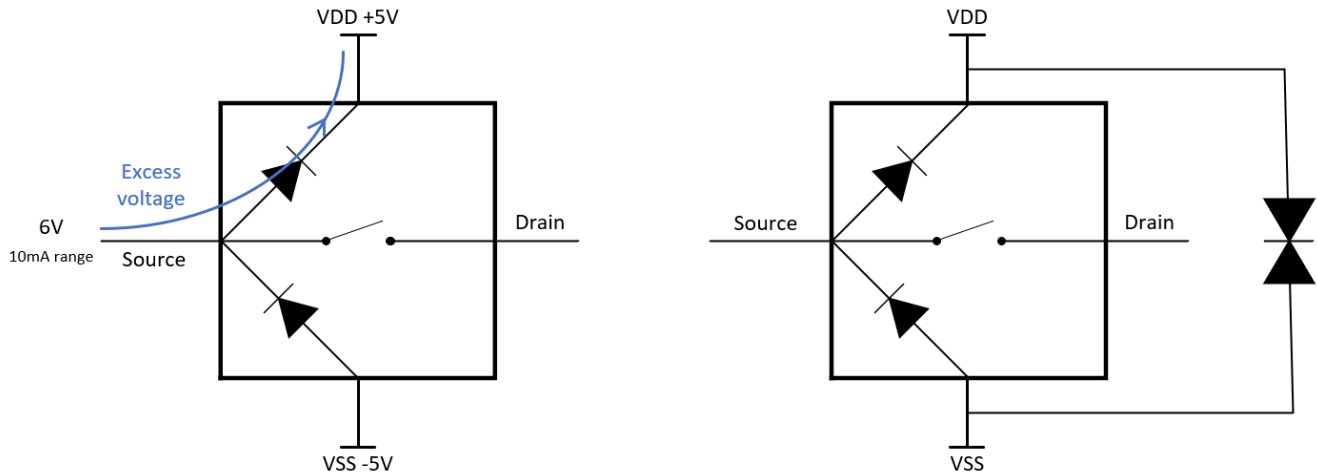


图 2-1. 防止 VDD 过压

### 2.2 测试仪的电源轨

测试仪中的直流电源可用于为开关供电，即使电压大于正在切换的信号亦是如此。5V 和 12V 直流电源常用于 ATE 电路板，通常用于为继电器的二极管和线圈供电。通常还有一些额外的电源，例如 15V 或 24V，它们可以有效地为模拟开关提供更宽的电压范围。使用此类电源时需考虑故障处理机制，因为这些电源通常可以驱动数安培级电流。在开关损坏或电气短路的情况下，产生的热量可能会导致进一步损坏。这可以通过适当规格的保险丝进行防控，如果电路板上使用了大量开关，可以通过测试站点或区域分路配置保险丝（请参阅图 2-2）。这样可以保护 PCB 和元件免受过流损坏，同时能将短路故障隔离至某一指定区域，便于调试排查。请注意，如果保险丝切断某一指定区域的电源，则该区域中开关承载的信号可能会使内部 ESD 二极管正向偏置，从而导致反灌供电情况。各区域电源轨间必须布设 TVS 二极管，并对信号线电流进行管控，以防开关损坏。

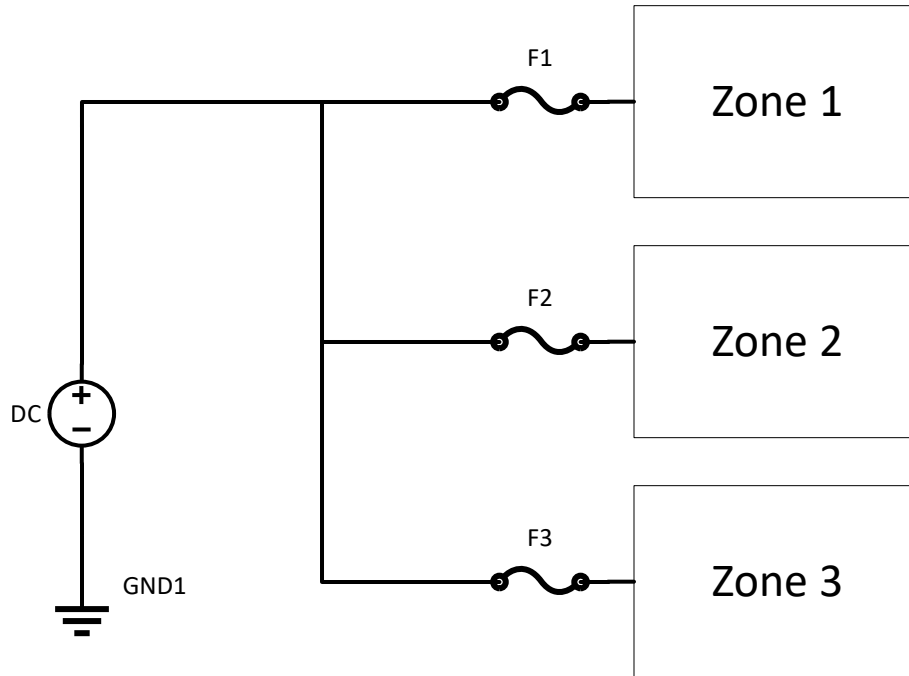


图 2-2. 保险丝馈送方框图

### 2.3 电源设计与注意事项

大多数模拟开关所需的电源电压需不低于要通过的信号。因此，高压信号还需要高压电源。尽管大多数自动化测试仪并未配备高压电源，TI 仍在下文中提供了电源设计参考方案，以便简化用户设计。本节包含  $\pm 35\text{V}$ 、 $\pm 50\text{V}$  和  $100\text{V}$  电源的原理图和布局设计。

在使用 TI 提供的任一电源参考设计时，需考虑以下要点：

- 电源元件与模拟元件应分区布局
- 降压或升压转换器的反馈和补偿引脚很敏感
  - 确保这些引脚的布线较短
  - 应使这些引脚远离任何功率元件或布线

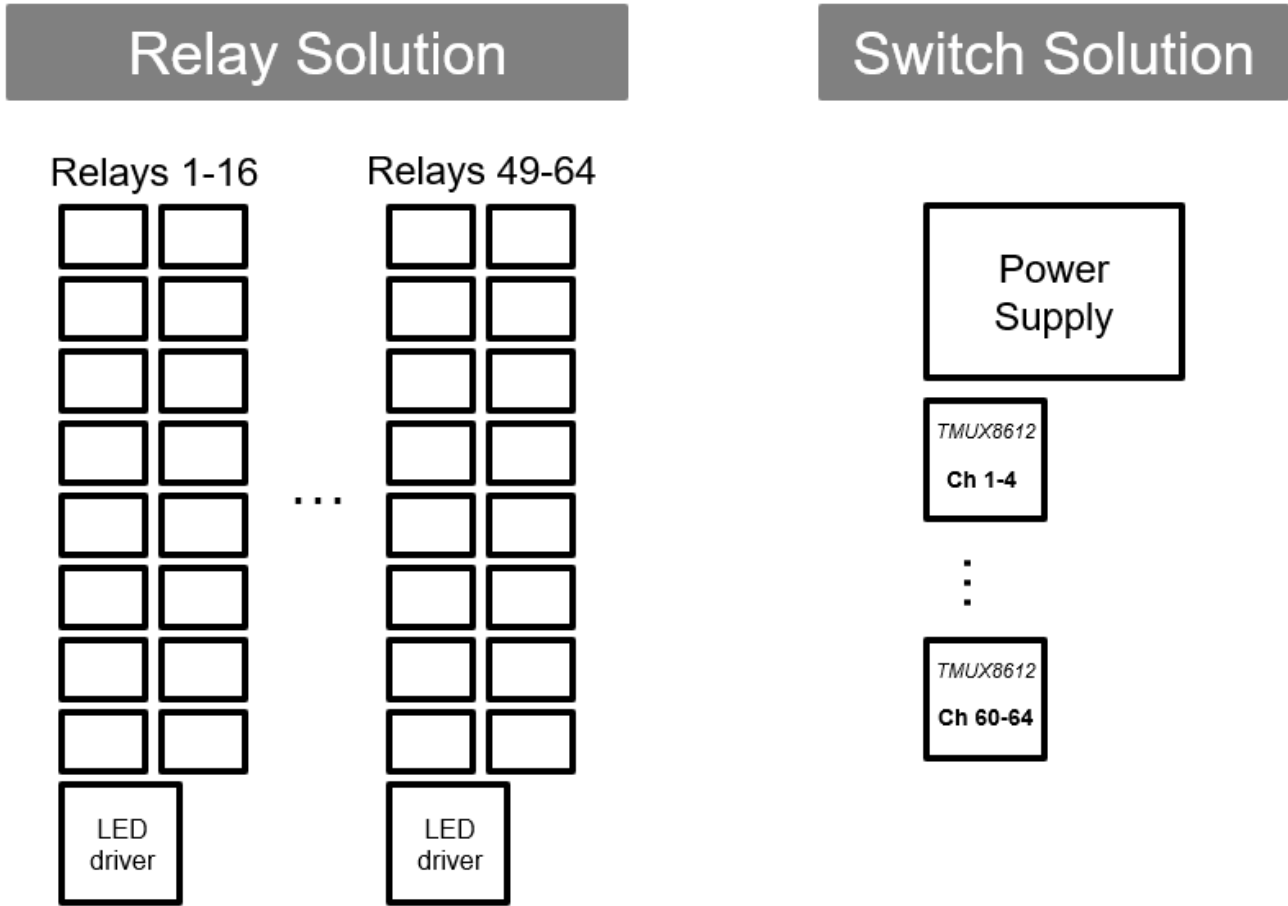


图 2-3. 继电器与 TMUX8612 64 通道解决方案对比方框图

虽然为高压模拟开关供电时需要额外的电路，但图 2-3 显示，这种 64 通道设计比大多数基于继电器的替代方案更小。

表 2-1. TMUX8612 与继电器 64 通道总体设计尺寸对比

	±35V	±50V	100V
TMUX8612	1065mm <sup>2</sup>	1318mm <sup>2</sup>	995mm <sup>2</sup>
光继电器	1508mm <sup>2</sup>	1508mm <sup>2</sup>	1508mm <sup>2</sup>
模拟开关尺寸节省	443mm <sup>2</sup>	190mm <sup>2</sup>	513mm <sup>2</sup>

### 2.3.1 ±35V 原理图与布局示例

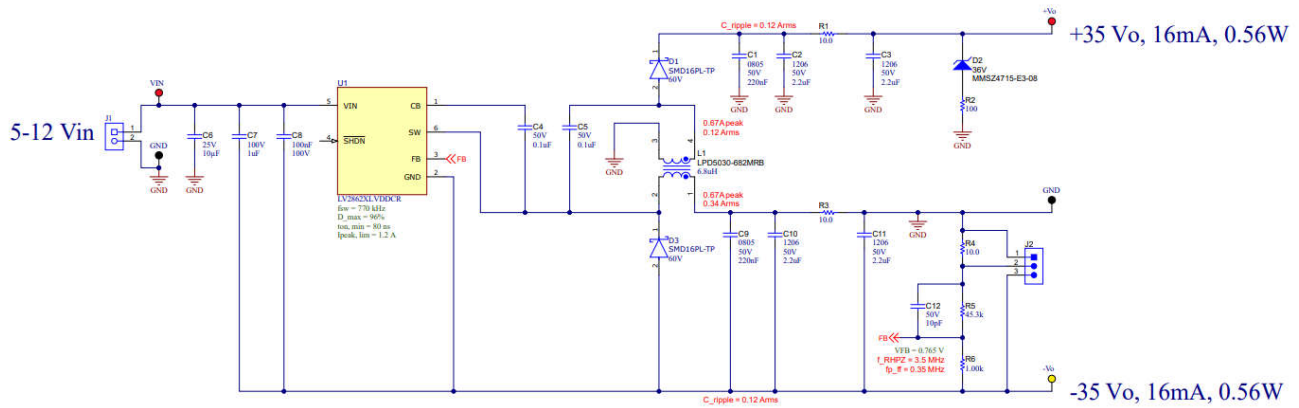


图 2-4. ±35V 电源原理图

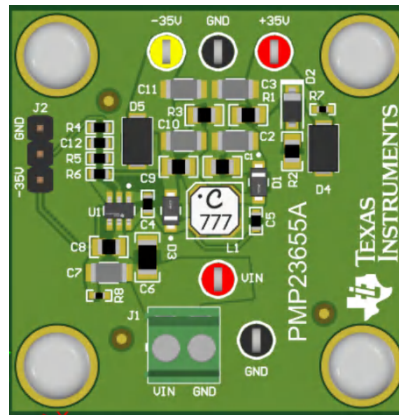


图 2-5. ±35V 电源布局

2.3.2 ±50V 原理图与布局示例

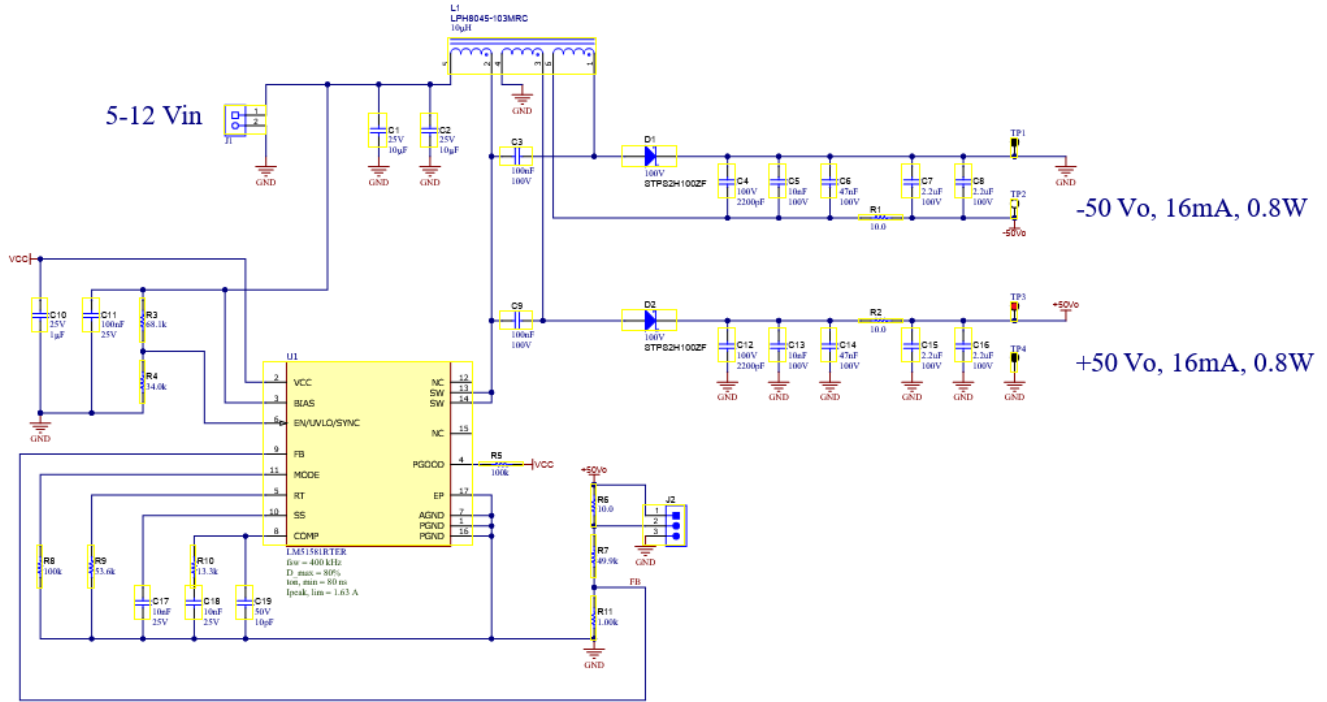


图 2-6. ±50V 电源原理图

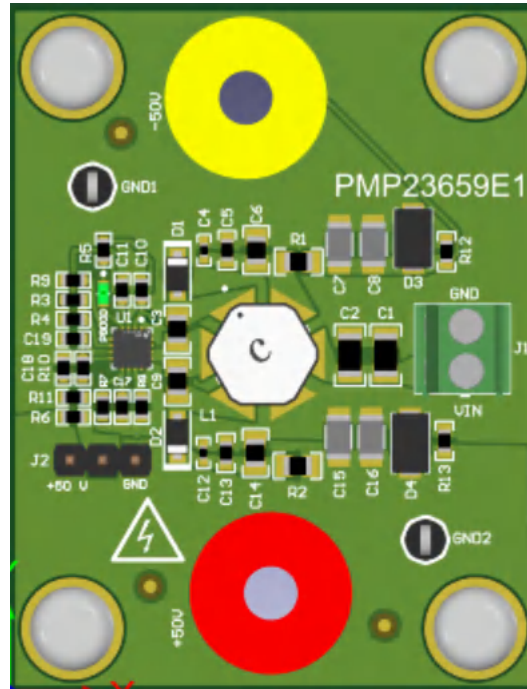


图 2-7. ±50V 电源布局

### 2.3.3 100V 原理图与布局示例

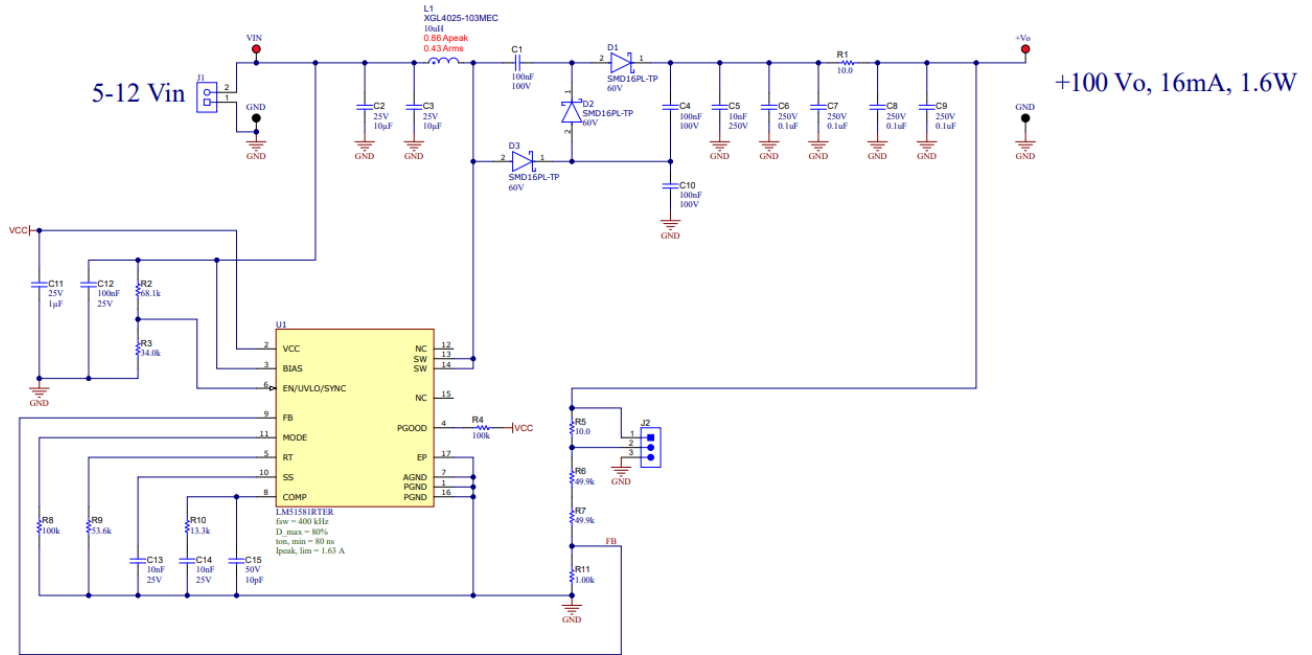


图 2-8. 100V 电源原理图

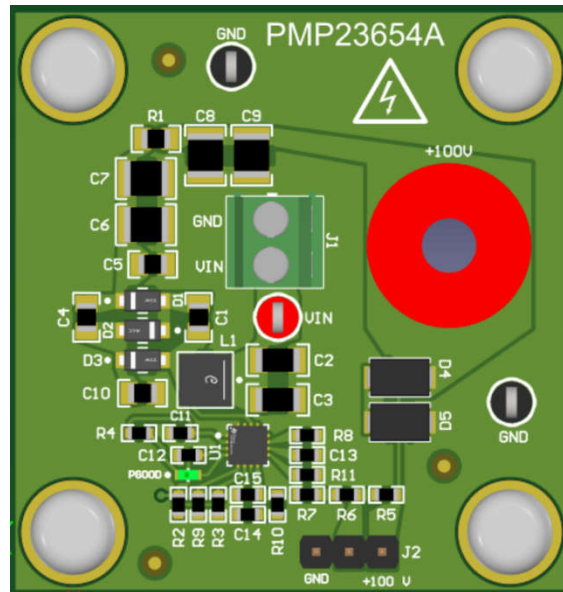


图 2-9. 100V 电源布局

## 3 控制开关

### 3.1 CBIT

与继电器不同，模拟开关需要极小的电流来控制，因此可以选择使用 CBIT 通过直接连接来控制开关。如果选择通过 CBIT 来控制模拟开关，建议选用与 CBIT 逻辑匹配的开关。CBIT 使用漏极开路（请参阅图 3-1），CBIT 在导通时为低电平，在关断时为高电平。为避免在测试程序开发过程中产生混淆，应选用低电平有效型开关，确保 CBIT 导通时开关同步导通。

需注意所用模拟开关的  $I_{IL}$  和  $I_{IH}$ ，因为同时控制多个开关时，可能需要更大的电流。在这种情况下，TI 建议在 CBIT 线路上添加一个额外的上拉电阻。此举可增强 CBIT 电路的高电平驱动能力，支持更多控制引脚并缩短开关时间。如果不使用额外的上拉电阻，控制信号可能会太慢或者电压可能不足，导致无法可靠地触发开关。

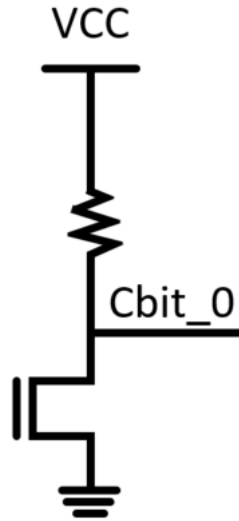


图 3-1. CBIT 架构

### 3.2 数字仪器

数字仪器通过发送数字高电平或低电平信号也可用于控制开关。请注意，开关的  $I_{IH}$  和  $I_{IL}$  电流决定了可由单个仪器控制的开关数量。

## 4 选择正确的开关

为 ATE 电路板选择正确的开关时，存在诸多考虑事项。与继电器选型一致，开关选型需重点关注导通电阻与漏电流。表 4-1 列出了 TI 的一些具有低漏电流和低 RON 的高压开关。

**表 4-1. 高压模拟开关**

	<b>TMUX7612</b>	<b>TMUXS7614D</b>	<b>TMUX8612</b>
配置	4 通道, 1:1	8 通道, 1:1	4 通道, 1:1
电源电压	5V 至 50V ±4.5V 至 ±25V	4.5V 至 42V ±4.5V 至 ±25V	10V 至 100V ±10V 至 ±50V
电源电流 (ON)	435µA	840µA	65µA
RON	1.1Ω	1Ω	14Ω
COFF	24pF	24pF	7pF
导通时间	2.1µS	2.1µS	28µS
I <sub>OFF</sub>	21pA	21pA	30pA
SPI 控制	不适用	是	不适用
单通道尺寸	4.0mm <sup>2</sup>	2.5mm <sup>2</sup>	4.0mm <sup>2</sup>

## 5 总结

在测试板上用模拟开关替代继电器是一种具有成本效益且节省空间的理想选择。开关所需的功耗更低，且采用 SPI 控制时可省去 IO 扩展器。通过使用本应用手册中提供的示例，用户可采用模拟开关替代继电器，处理从低压到高压的各类信号，从而充分发挥上述优势。

## 6 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [《何时使用多路复用器替代继电器》](#) 应用手册。
2. 德州仪器 (TI), [TMUX7612 具有 1.8V 逻辑电平的 50V、低 RON、1:1 \(SPST\)、4 通道精密开关](#) 数据表。
3. 德州仪器 (TI), [TMUXS7614D 具有 1.8V 逻辑电平的 50V、SPI 控制型、低 RON、高密度、1:1 \(SPST\)、8 通道精密开关](#) 数据表。
4. 德州仪器 (TI) [TMUX861x 具有闩锁效应抑制与 1.8V 逻辑电平的 100V 平缓 Ron 1:1 \(SPST\) 四通道开关](#) 数据表。

## 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