

## 什么是负载开关，为什么需要负载开关？

集成负载开关是可用于开启和关闭系统中的电源轨的电子继电器。负载开关为系统带来许多其它优势，并且集成通常难以用分立元件实现的保护功能。负载开关可用于多种不同的应用，包括但不限于：

配电

上电排序和电源状态转换

减小待机模式下的漏电流

浪涌电流控制

断电控制

### 1. 什么是负载开关？

集成负载开关是可用于开启和关闭电源轨的集成电子继电器。大部分基本负载开关包含四个引脚：输入电压引脚、输出电压引脚、使能引脚和接地引脚。当通过 ON 引脚使能器件时，导通 FET 接通，从而使电流从输入引脚流向输出引脚，并且电能传递到下游电路。

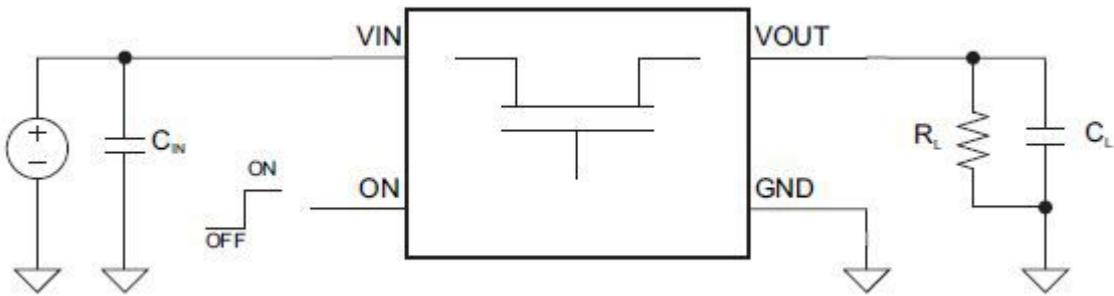
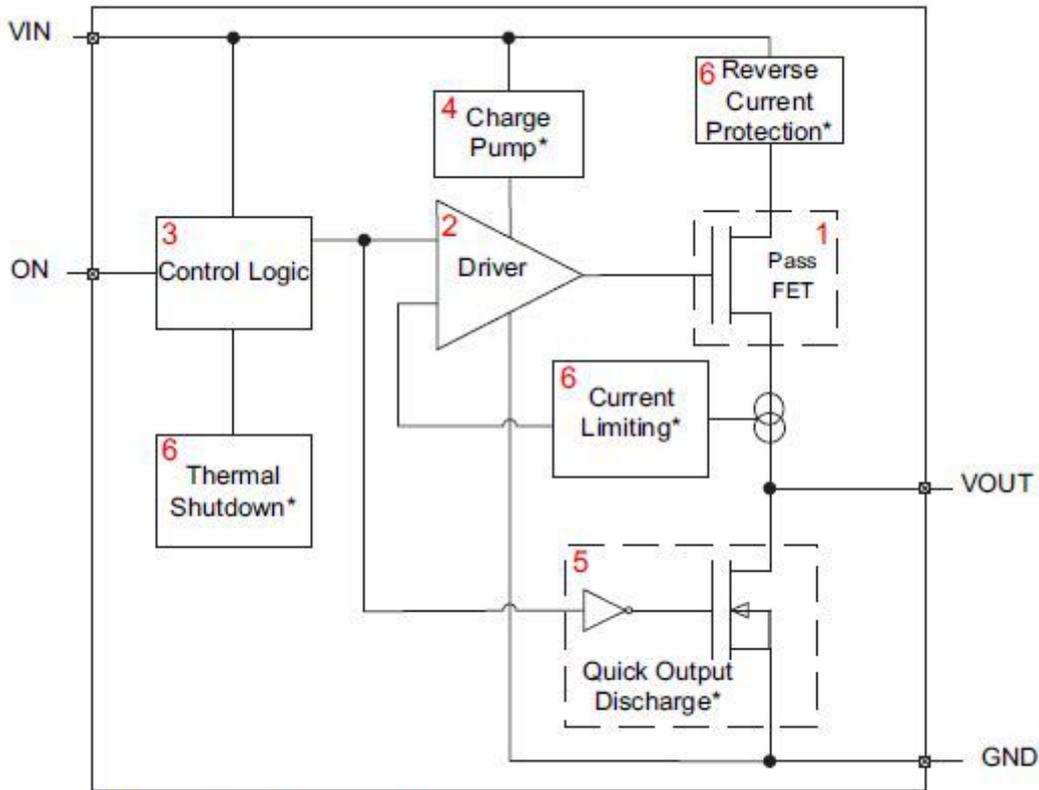


图 1. 常规负载开关电路图

#### 1.1 常规负载开关框图

了解负载开关的架构对于确定负载开关的规范很有帮助。图 2 所示为基本负载开关的框图，该负载开关包括五个基本模块。可以包含更多模块以向负载开关添加功能。



\*Not present on all load switches

图 2. 常规负载开关框图

1. 导通 FET 是负载开关的主要元件，它决定了负载开关可处理的最大输入电压和最大负载电流。负载开关的导通电阻是导通 FET 的特性，将用于计算负载开关的功耗。导通 FET 既可以是 N 沟道 FET，也可以是 P 沟道 FET，这将决定负载开关的架构。

2. 栅极驱动器以控制方式对 FET 的栅极进行充放电，从而控制器件的上升时间。

3. 控制逻辑由外部逻辑信号驱动。它控制了导通 FET 和其它模块（如快速输出放电模块、充电泵和带保护功能的模块）的接通和关断。

4. 并非所有负载开关中均包含电荷泵。电荷泵用于带有 N 沟道 FET 的负载开关，因为栅极和源极（VOUT）间需要有正差分电压才能正确接通 FET。

5. 快速输出放电模块是一个连接 VOUT 到 GND 的片上电阻，当通过 ON 引脚禁用器件时，该电阻导通。这将对输出节点进行放电，从而防止输出浮空。对于带有快速输出放电模块的器件，仅当 VIN 和 VBIAS 处于工作范围内时，此功能才有效。

6. 不同的负载开关中还包括其它功能。这些功能包括但不限于热关断、限流和反向电流保护。

## 1.2 负载开关的常见数据表参数和定义

输入电压范围（VIN） - 这是负载开关可支持的输入电压范围。

偏置电压范围（VBIAS） - 这是负载开关可支持的偏置电压范围。为负载开关的内部模块供电可能需要此参数，具体取决于负载开关的架构。

最大连续电流 (IMAX) - 这是负载开关可支持的最大连续直流电流。

导通状态电阻 (RON) - 这是在 VIN 引脚与 VOUT 引脚间测得的电阻, 其中考虑了封装和内部导通 FET 的电阻。

静态电流 (IQ) - 这是为器件的内部模块供电所需的电流量, 以 VOUT 上没有任何负载时流入 VIN 引脚的电流为测量值。

关断电流 (ISD) - 这是禁用器件时流入 VIN 的电流量。

ON 引脚输入漏电流 (ION) - 这是 ON 引脚上施加高电压时流向 ON 引脚的电流量。

下拉电阻 (RPD) - 这是禁用器件时从 VOUT 到 GND 的下拉电阻值。

下面将概述一些可以通过使用负载开关获得好处的应用。

## 2. 为什么需要负载开关

本部分将概述一些可以通过使用负载开关获得好处的应用。

### 2.1 配电

许多系统对子系统配电的控制有限。如图 3 所示, 可使用负载开关来接通和关断输入电压相同的子系统, 而不使用多个 DC/DC 转换器或 LDO。使用负载开关后, 可通过对各个负载的控制不同负载间进行配电。

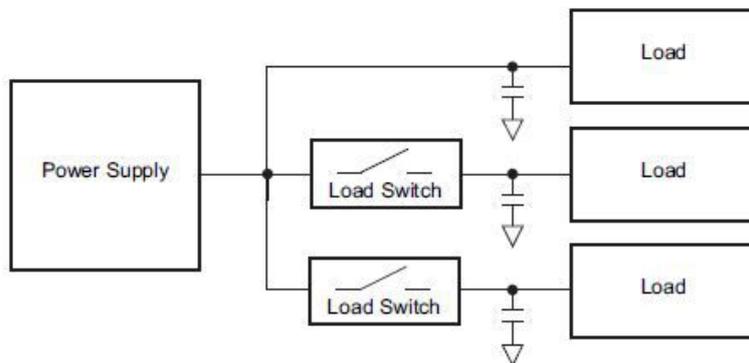


图 3. 配电框图

### 2.2 上电排序和电源状态转换

在某些系统 (尤其是带有处理器的系统) 中, 必须遵循严格的上电时序。通过使用 GPIO 或 I2C 接口, 负载开关成为可实现满足上电要求的上电排序的简单解决方案。负载开关可提供每个电源路径的独立控制, 从而简化上电排序的负载点控制, 如图 4 所示。

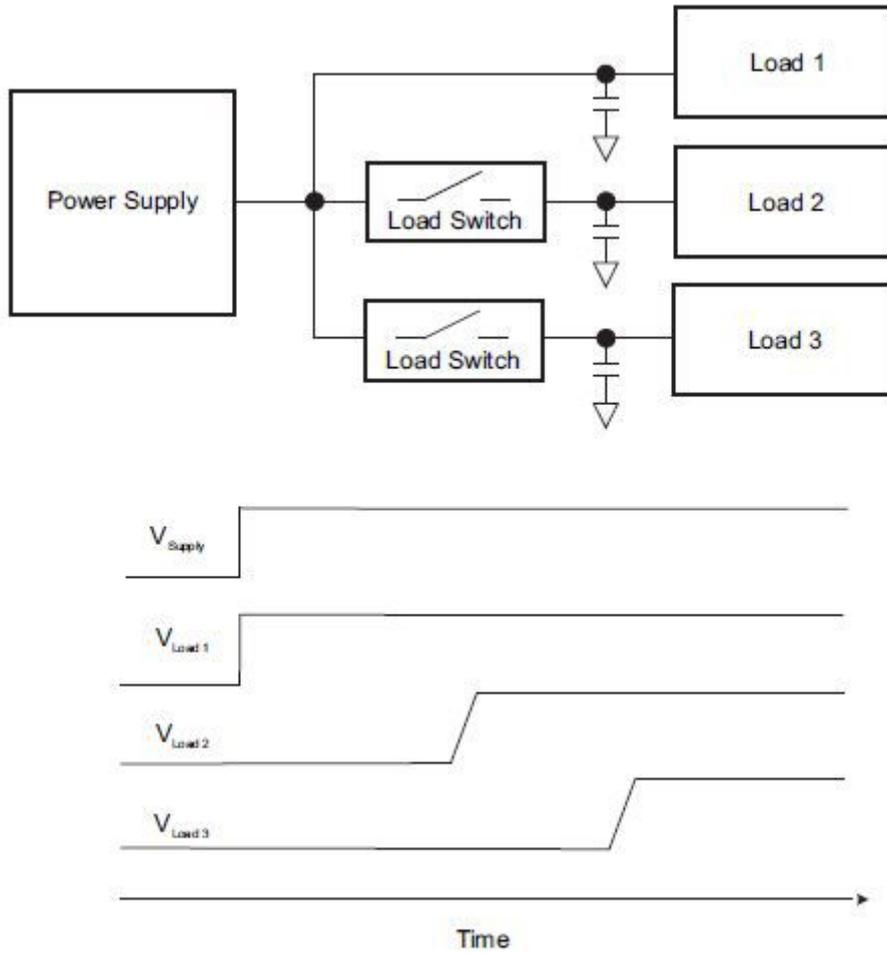


图 4. 使用负载开关的上电排序

### 2.3 降低漏电流

在许多设计中，存在只在特定工作模式期间使用的子系统。可以使用负载开关关闭这些子系统的电源来限制漏电流量和功耗。图 5 显示了使用和不使用负载开关时的漏电流对比情况。有关详细信息，请参见输入和输出电容部分。

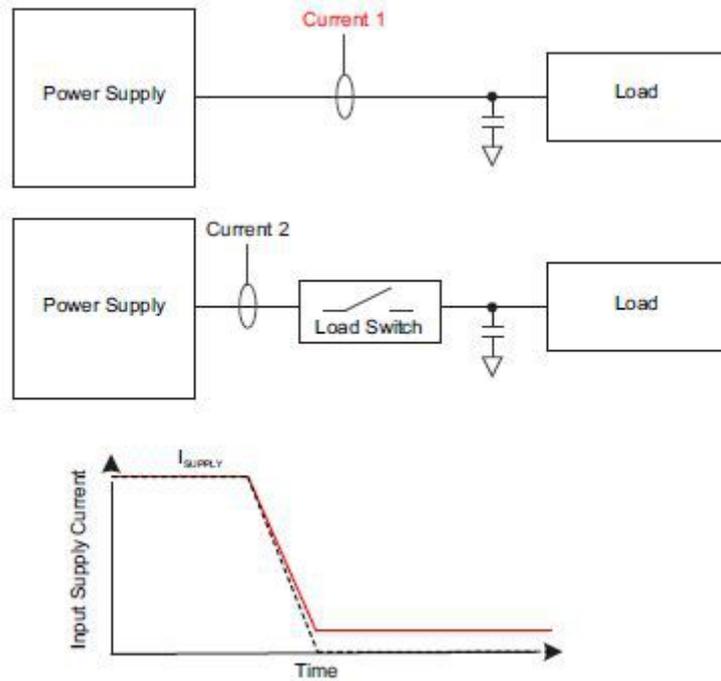


图 5. 使用和不使用负载开关时的漏电流对比情况

在一些应用中，可禁用电路（如 DC/DC 转换器、LDO 和模块）并将其置于待机模式。但即使是处于关断状态，这些模块的漏电流也相对较高。如上图所示，在负载前面放置一个负载开关可显著减小漏电流。因此，在电源路径中放置一个负载开关可大幅降低功耗。

#### 2.4 浪涌电流控制

在没有任何转换率控制的情况下开启子系统时，可能会由于负载电容快速充电产生浪涌电流而导致输入轨下陷。由于此输入轨可能正在为其它子系统供电，因此这会引发问题（图 6）。负载开关可以通过控制输出电压的上升时间来消除输入电压的下陷，从而解决此问题（图 7）。

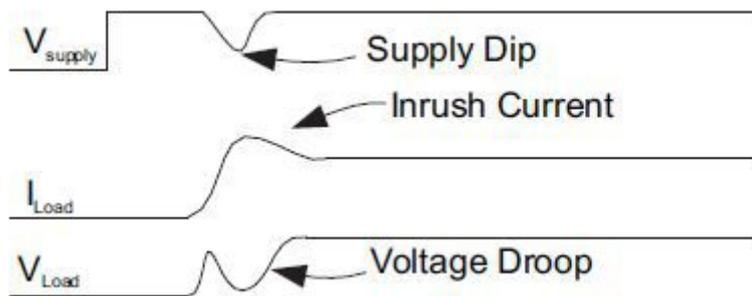


图 6. 导致电源电压突降的浪涌电流

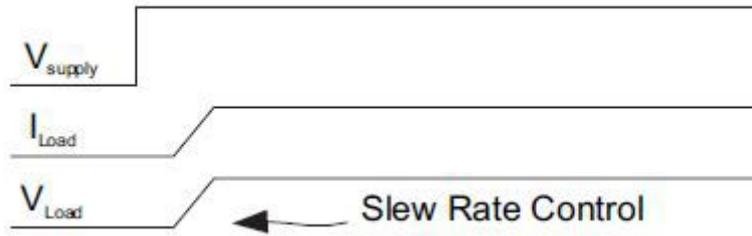


图 7. 使用负载开关的转换率控制

### 2.5 断电控制

当不带快速输出放电功能的 DC/DC 转换器或 LDO 关闭时，负载电压保持浮空，断电取决于负载，如图 8 所示。这可能导致出现预想外的动作，因为下游模块并未在断电后到达指定状态。

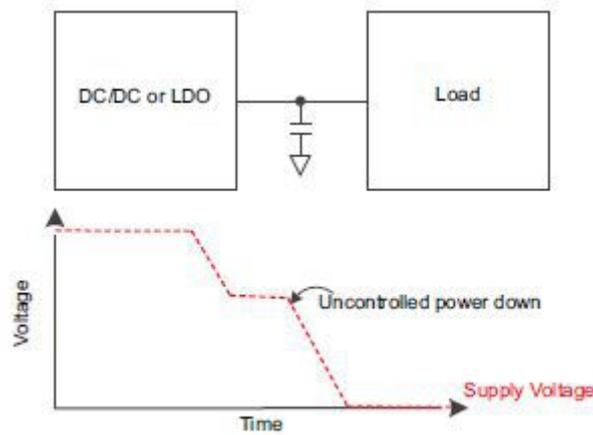


图 8. 未使用负载开关时的不受控断电

使用带快速输出放电功能的负载开关可缓解这些问题。负载将以受控方式快速断电，并将复位为已知的良好状态以备下次上电，如图 9 所示。这将消除负载上的任何浮空电压并确保其始终处于定义电源状态。

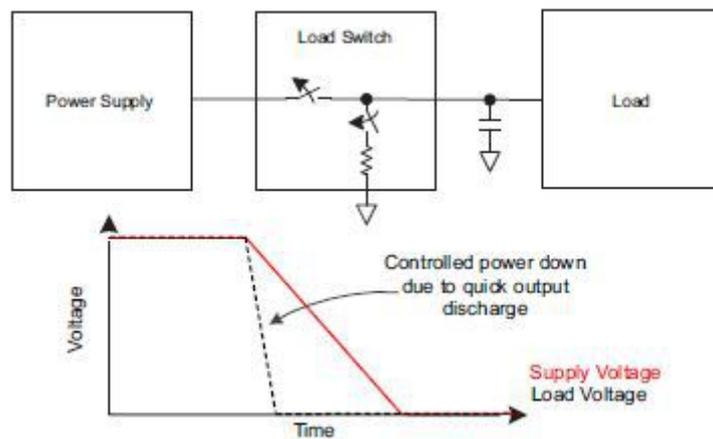


图 9. 使用负载开关时的受控断电

## 2.6 保护特性

某些应用可能需要负载开关中集成故障保护功能。一些负载开关包括反向电流保护、ON 引脚滞后、限流、欠压锁定和过热保护等集成功能。与通过离散元件实现这些复杂电路不同，使用集成负载开关可减少物料清单数量、减小解决方案尺寸并缩短开发时间。下面简要介绍了其中一些功能：

反向电流保护功能将阻止电流从 VOUT 引脚流向 VIN 引脚。如果没有此功能，当二极管压降导致 VOUT 上的电压高于 VIN 上的电压时，电流可能从 VOUT 引脚流向 VIN 引脚。因此，反向电流阻断可使某些应用获益，如电流不应从 VOUT 流向 VIN 的电源多路复用器应用。有许多不同的方法可实现反向电流保护。在某些情况下，器件（如 TPS22912）将监视 VIN 引脚和 VOUT 引脚上的电压。当此差分电压超出特定阈值时，开关将被禁用，同时体二极管断开以防止出现流向 VIN 的反向电流。某些器件（如 TPS22963C）只有在被禁用时才具有反向电流保护功能。

ON 引脚滞后功能可使 GPIO 使能更稳定。由于 ON 引脚上存在逻辑高电平与逻辑低电平的电压差，即使 GPIO 线上出现噪声，控制电路也将按预期工作。图 10 说明了 ON 引脚滞后后如何为 GPIO 使能线提供稳定性。

限流功能将限制负载开关输出的电流量。这将确保外部电路不会拉过量的电流。如果电流不受限制，外部电路可能会使主系统停止工作。在限流模式下，负载开关提供连续电流，直至开关电流降至电流限值以下。

欠压锁定 (UVLO) 用于在 VIN 电压降至阈值以下时关闭器件，以确保下游电路不会因为供电电压低于预期值而损坏。

过热保护功能可在器件温度超出阈值温度时禁用开关。凭借此功能，器件可用作在检测到高温时关断的安全开关。

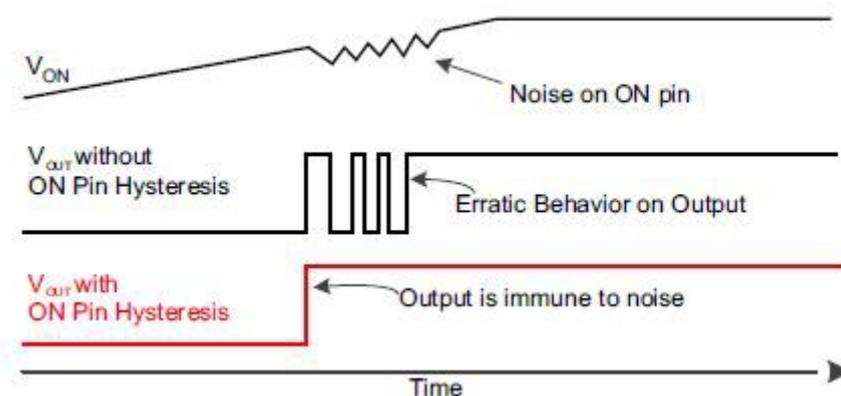


图 10. ON 引脚滞后

## 2.7 减少 BOM 数量和 PCB 面积

使用集成负载开关可减少系统的 BOM 数量。如果有离散 FET 与其它元件配合使用，则可以考虑使用负载开关来减少系统中的元件总数。分离创建负载开关时，将需要多个电阻、电

容和晶体管来实现栅极驱动器、控制逻辑、输出放电和保护功能。而采用集成负载开关，只需单个器件便可实现全部功能，从而显著降低 BOM 数量。