

David Vaseliou and Luis Cordova

**摘要**

螺线管是一种电磁执行器，通过线圈将电流转换为线性或旋转运动。螺线管与其他电机的主要区别在于，螺线管在线圈内有一个滑动的铁柱塞。螺线管组件可称为螺线管、电磁阀、螺线管开关或“金属罐”继电器，越来越频繁地用于汽车和工业应用中的负载驱动和阀门，并可用作电磁开关。驱动螺线管与驱动电机类似。然而，螺线管的独特物理特性和不同配置为驱动螺线管的电子器件带来了新的挑战。本应用报告介绍了螺线管的关键参数、可用于驱动螺线管的功率级架构以及德州仪器 (TI) 电机驱动解决方案如何简化螺线管驱动系统。

**内容**

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| <b>1 引言</b>                   | 3  |
| 1.1 螺线管类型                     | 3  |
| <b>2 螺线管驱动拓扑</b>              | 4  |
| 2.1 低侧和高侧配置                   | 5  |
| 2.2 半桥和 H 桥驱动器配置              | 6  |
| <b>3 驱动螺线管负载的基础知识</b>         | 8  |
| 3.1 电流控制                      | 8  |
| 3.2 快速放电电路                    | 9  |
| <b>4 用于螺线管驱动的 DRV 电机驱动器特性</b> | 12 |
| 4.1 电流检测和调节解决方案               | 12 |
| 4.2 独立的低侧/高侧驱动                | 13 |
| 4.3 半桥驱动                      | 15 |
| 4.4 集成式及栅极驱动器 H 桥             | 17 |
| <b>5 总结</b>                   | 17 |
| <b>6 修订历史记录</b>               | 18 |

**插图清单**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 图 1-1. 推挽式螺线管的横截面图                 | 3  |
| 图 2-1. 驱动器的低侧、高侧和半桥基本配置            | 4  |
| 图 2-2. 低侧和高侧配置                     | 5  |
| 图 2-3. 用于驱动螺线管的功率 MOSFET 晶体管和续流二极管 | 5  |
| 图 2-4. H 桥驱动和再循环电流路径               | 6  |
| 图 2-5. 半桥驱动和再循环电流路径                | 6  |
| 图 2-6. 用于驱动螺线管的 H 桥配置              | 7  |
| 图 2-7. H 桥快速衰减                     | 7  |
| 图 3-1. 预期的峰值和保持电流波形                | 8  |
| 图 3-2. 使用 PWM 的螺线管电压和电流输出          | 9  |
| 图 3-3. 续流、驱动和钳位                    | 10 |
| 图 3-4. 钳位与续流过程中的预期电压和电流            | 10 |
| 图 3-5. 展现快速关断情况的波形                 | 11 |
| 图 3-6. 齐纳二极管快速放电电路                 | 12 |
| 图 4-1. 放大器简化版方框图                   | 12 |
| 图 4-2. 集成电流检测                      | 13 |
| 图 4-3. DRV8714-Q1 分离式高侧/低侧控制       | 13 |
| 图 4-4. 独立的 PWM 高侧和低侧驱动器            | 14 |
| 图 4-5. 半桥控制                        | 15 |
| 图 4-6. DRV824x 独立半桥低侧负载            | 16 |
| 图 4-7. DRV887x 驱动两个螺线管的应用原理图       | 16 |

|                     |    |
|---------------------|----|
| 图 4-8. 半桥控制.....    | 17 |
| 图 4-9. H 桥控制示例..... | 17 |

### 表格清单

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 表 4-1. 独立的 MOSFET 模式的真值表..... | 14 |
| 表 4-2. 独立半桥模式真值表.....         | 15 |
| 表 4-3. 独立半桥控制模式.....          | 16 |
| 表 4-4. 独立半桥模式真值表.....         | 17 |
| 表 5-1. 器件和特性.....             | 18 |

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

螺线管是一种线圈，其通过在线圈施加电流，可在机械系统中产生线性或旋转运动。螺线管有多种类型，但通常其主要用于移动物体或保持特定的状态或位置，就像传统的继电器一样。这些机电螺线管由缠绕在钢质或铁质电枢（有时称为“柱塞”）上的铜电感线圈组成。通电线圈的磁场拉动电枢，而电枢则将机械力传递给外部机构。

在每一种应用中，螺线管和继电器以不同的配置受到驱动。一些螺线管应用示例包括，家用电器、打印机、HVAC、灌溉系统、发动机和变速器控制。

本应用报告对几种螺线管类型进行了分类和说明，探讨了驱动器配置，着重介绍了能够简化螺线管驱动器解决方案的 TI 半导体解决方案。

### 1.1 螺线管类型

螺线管主要有三种类型：推挽、闭锁/双稳态，以及比例式。

第一种类型是推挽或单稳态类型，用于通过为线圈通电和断电来移动物体，或者在需要“进出”运动的情况下使用。推挽式螺线管由铁架、铁柱塞、铜线圈和复位弹簧组成。图 1-1 显示了拉式螺线管的横截面图。这类螺线管可以在电子门锁、阀门和机器人等应用中找到。

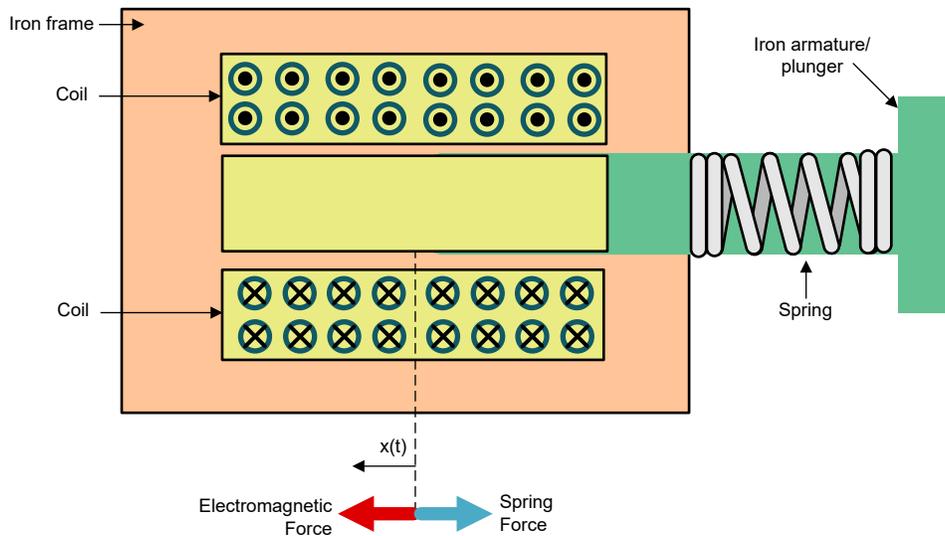


图 1-1. 推挽式螺线管的横截面图

第二类是闭锁/双稳态螺线管。闭锁/双稳态螺线管在使用上与推挽式类似，但闭锁螺线管可以在断电后保持其位置。断电后，闭锁螺线管通过永磁体保持位置，而推挽式螺线管则使用弹簧。使用电流脉冲为线圈通电时，将会改变螺线管的位置。

比例式螺线管一种是产生与流过它的电流成正比的力的螺线管，而不是在两个位置或状态之间变化的螺线管。通过添加弹簧，螺线管可以产生与电流成正比的位移。在液压等应用中，这类螺线管也可以构建一个空气间隙，这样，流体压力不会影响到螺线管的力特性。这样可以实现非常精细的力和位置控制。

## 2 螺线管驱动拓扑

当今的大多数系统使用电机驱动器驱动和停止驱动螺线管。驱动螺线管的关键是导通和关断哪些 FET，以及何时导通和关断。

驱动器有三种基本配置，即低侧、高侧和半桥/全桥，每一种都有利弊。选择哪一种配置取决于系统要求，如开关速度和故障保护。高侧驱动器可防止对地短路故障，而低侧驱动器可防范对电池短路故障。

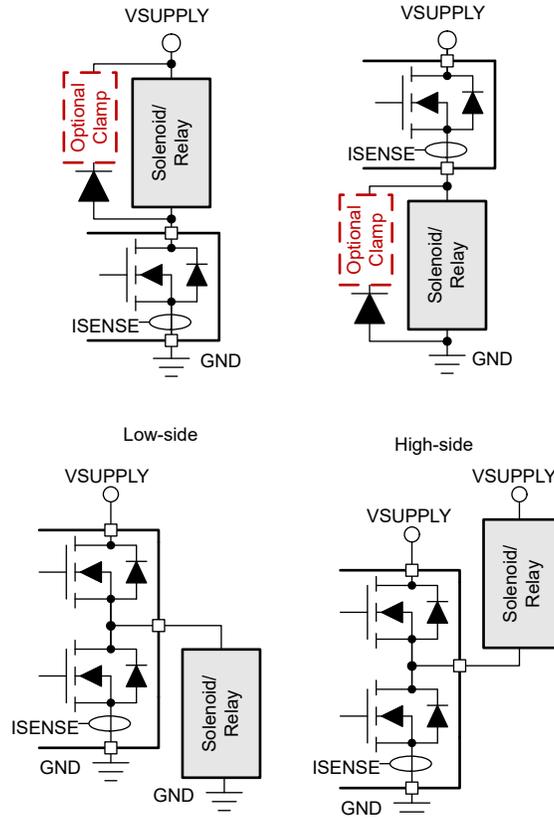


图 2-1. 驱动器的低侧、高侧和半桥基本配置

## 2.1 低侧和高侧配置

典型的低侧或高侧驱动器配置使用单个 MOSFET，该 MOSFET 具有足够的电流处理能力来驱动螺线管。对于带复位弹簧的推/拉式螺线管来说，高侧和低侧驱动器是不错的选择。图 2-2 显示了使用可选外部钳位的低侧/高侧配置。

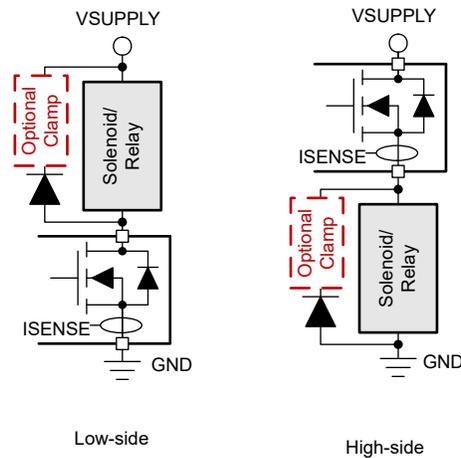


图 2-2. 低侧和高侧配置

当启用 MOSFET 时，它会传导螺线管通电所需的全部电流。当禁用 MOSFET 时，螺线管中的电流必须通过二极管续流，或允许其继续流动或衰减到零，否则 MOSFET 会出现较大的电压尖峰。螺线管上的续流二极管为螺线管电流流动提供了这种低阻抗路径。图 2-3 显示了一个低侧驱动器。

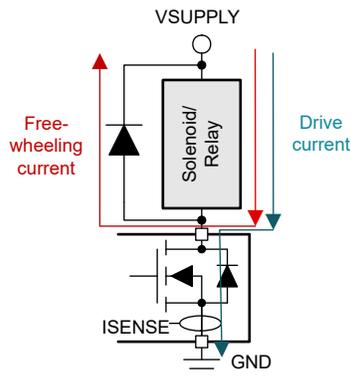


图 2-3. 用于驱动螺线管的功率 MOSFET 晶体管和续流二极管

## 2.2 半桥和 H 桥驱动器配置

半桥驱动器使用两个 MOSFET 来控制通过螺线管的电流；其中一个 MOSFET 用于正向驱动螺线管，另一个用于电流再循环。

H 桥驱动器使用四个 MOSFET ( 或通过一个一个负载连接的两个半桥 ) 来控制通过螺线管的电流。使用四个 MOSFET，可以实现双向电流控制。这使得 H 桥驱动器成为单线圈和闭锁或双线圈继电器的良好选择。

在图 2-4 和图 2-5 中可以看到 H 桥和半桥配置。

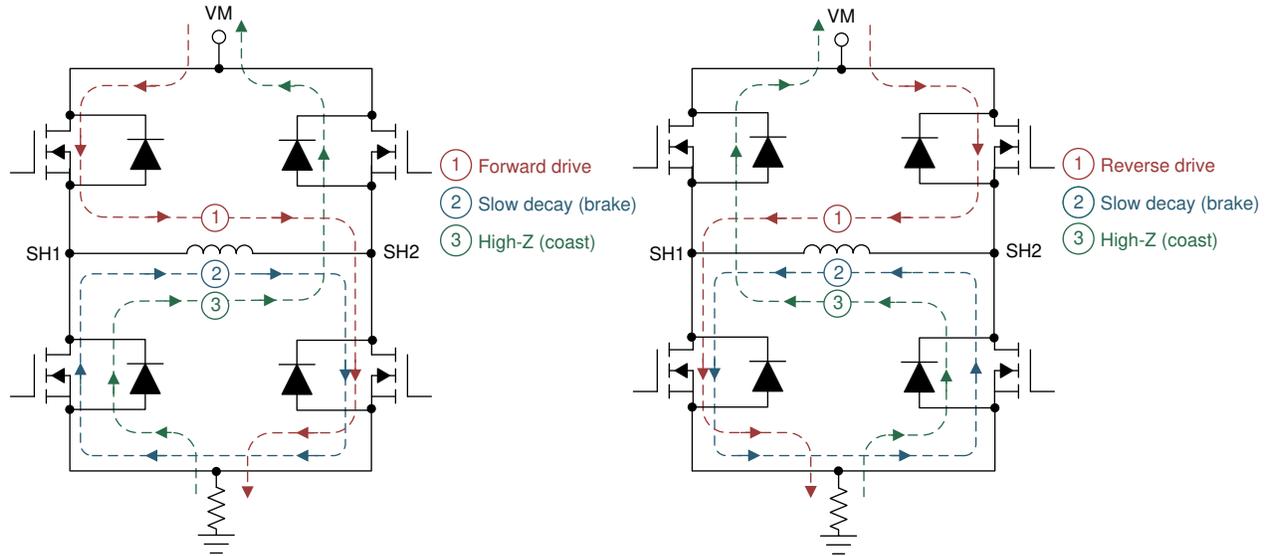


图 2-4. H 桥驱动和再循环电流路径

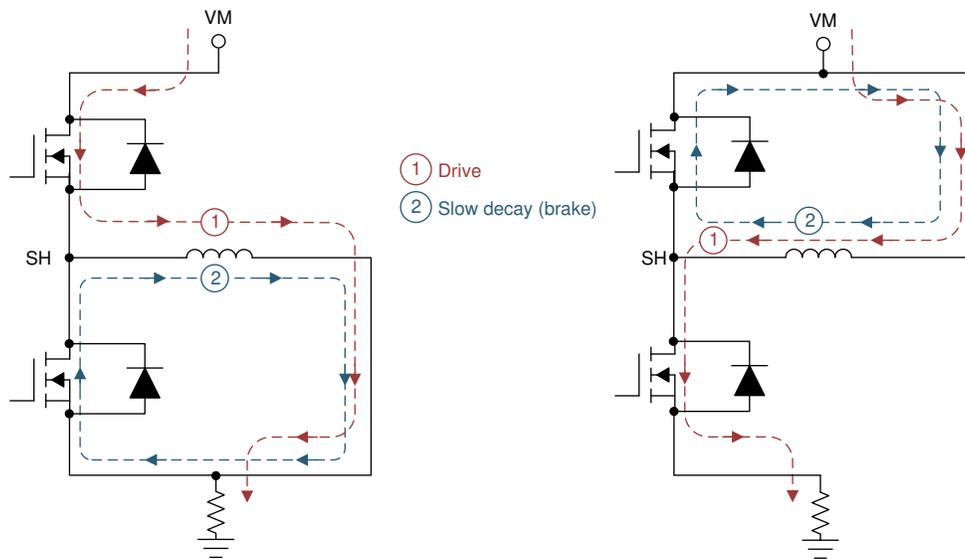


图 2-5. 半桥驱动和再循环电流路径

虽然半桥只能启用慢速衰减，但半桥集成了续流二极管，这通常是一个外部元件，因此进一步减小了解决方案尺寸。此外，使用半桥还可以灵活驱动高侧或低侧负载。

H 桥驱动器可以通过使用高侧或低侧 MOSFET 再循环电流来同时实现慢速衰减和快速衰减（滑行）。图 2-6 显示了如何使用 H 桥来驱动具有高侧再循环的传统螺线管。

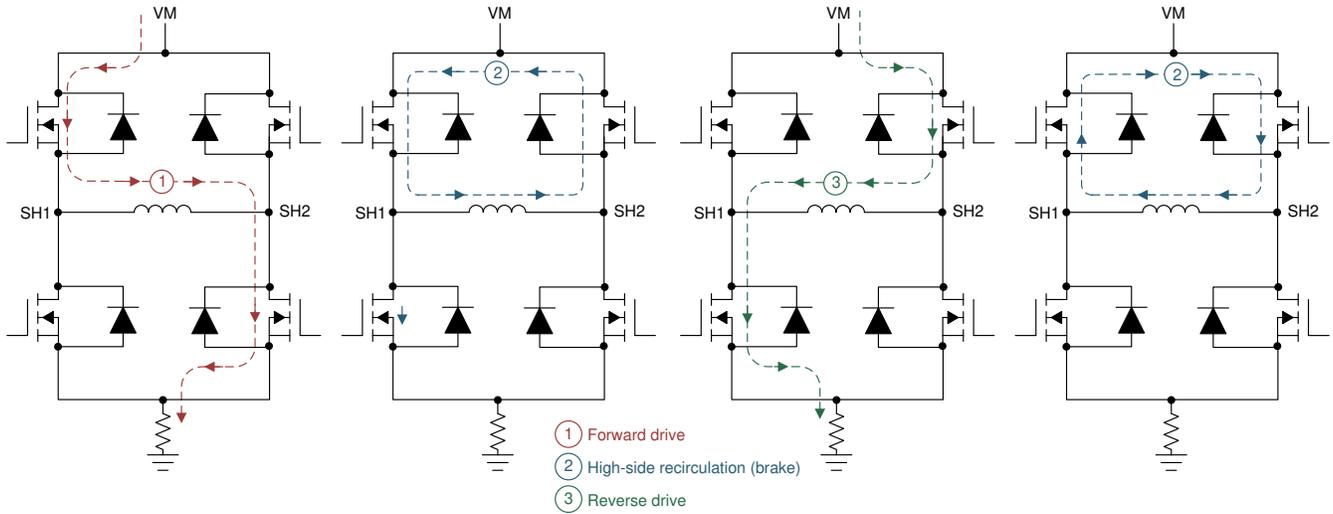


图 2-6. 用于驱动螺线管的 H 桥配置

H 桥还可以作为一个有效的快速放电电路使用。可以通过关断 MOSFET 并允许电流经过体二极管来实现快速衰减。这使得螺线管电流的反向电压等于 VM 加上两个体二极管的正向电压。图 2-7 显示了使用 H 桥时的快速衰减电流流动。

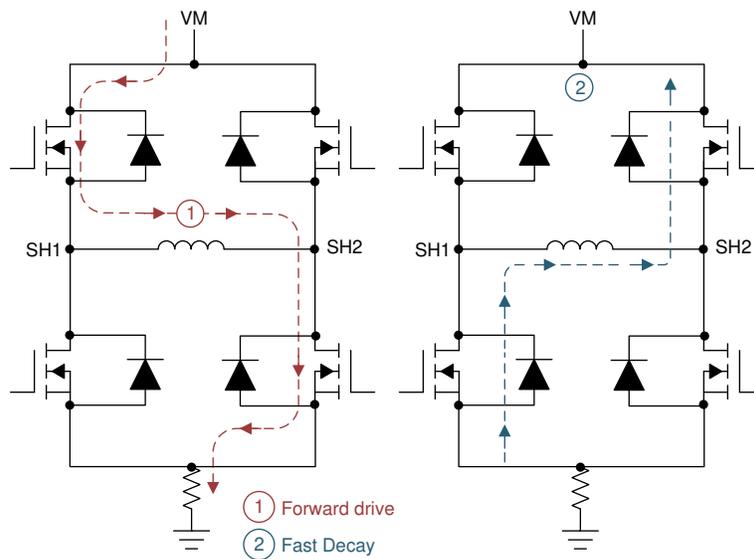


图 2-7. H 桥快速衰减

如果需要快速衰减和改进的系统热性能，H 桥配置可能是合适的选择。

### 3 驱动螺线管负载的基础知识

因为螺线管属于电感负载，因此当电流经过线圈时，螺线管会在磁场中储存能量。无论是禁用螺线管还是使用 PWM 来保持特定的电流水平，任何用于驱动螺线管的电路都不得突然停止电流流动。这样做会因能量离开螺线管，导致出现较大的电压尖峰。从定义电感器的电压特性的表达式中，可以清晰看出： $V = L \cdot di/dt$ 。

如前面几节中所述，当驱动 FET 停用时，续流二极管允许电流再循环。这样可以保持螺线管的端电压等于二极管的正向压降。当禁用螺线管时，电流将再循环，直到存储在电感器中的能量在二极管和螺线管的串联电阻中以热量的形式消散。电流下降速度缓慢，因此在使用 PWM 或电流调节方案实现峰值和保持节能控制时，应在系统中使用续流二极管。

一些电路要求螺线管快速停用，以最大程度地减少阀门或执行器系统中的延迟。钳位电路可以集成到驱动器中或者在外部添加钳位电路，以帮助消耗能量。例如，在续流二极管上串联齐纳二极管，将有助于快速消耗螺线管的能量。在这种情况下，当驱动 FET 被禁用时，螺线管上的压降将会等于齐纳钳位电压加二极管压降。由于该电压远高于单独的续流二极管电压，因此会很快消耗所储存的感应能量。

#### 3.1 电流控制

利用电流控制来驱动螺线管需要两点：电流传感和电流调节。电流控制的优势在于能够提高整个温度范围内的效率和可靠性。当螺线管或继电器线圈因  $I^2R$  损耗而变热或被其环境加热时，线圈电阻会增加。借助电流传感反馈，即使电阻发生变化，也可以监测和调整电流以产生恒定的力。

第二个优势在于，它可以针对高于额定电源电压的情况，提供一些保护措施。螺线管具有额定电压，因为螺线管可能会被流过线圈的过量电流毁坏，在以较高电压驱动时会发生这种情况。该问题可以通过电流传感反馈来解决，无论电源电压高低，均控制流过螺线管的电流。这样一来，便可以在多个产品上重复使用一种螺线管驱动器设计。

有两种方法可以从电机驱动器 IC 向微控制器提供负载电流反馈。一种方法是使用与负载直线连接的外部检测电阻，或者安装在高侧或低侧的检测电阻，从电流分流放大器提供。另一种方法是电流镜，其为引脚输出提供与负载电流成正比的电流，无需外部检测电阻。这种比例电流输出方法适用于具有集成 MOSFET 的电机驱动器 IC。此处通常存在一个限制，对于给定的集成电机驱动器 IC，高侧和低侧检测输出可能并不总是可用。

为了调节电流以及为大多数螺线管通电和断电，需要峰值-保持驱动。下述图 3-1 显示了该预期峰值-保持电流的示例。

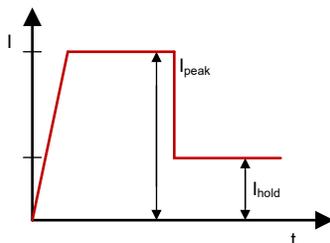


图 3-1. 预期的峰值和保持电流波形

充电电流会被吸入或驱动进入螺线管内，称为峰值电流。螺线管中的电流将会爬升至峰值，此时磁场会将柱塞压入弹簧。为了将螺线管保持在该位置，电流仍必须被吸入或驱动进入螺线管中。这称为保持电流。然而，该电流远远低于峰值电流。为了进一步最大程度地减少在保持阶段通过螺线管的功率损耗，可以调节保持电流。

正如脉宽调制 (PWM) 用于驱动其他类型的电机一样，该电流也可用于驱动螺线管。通过改变占空比，PWM 可用于在不同时间将螺线管的电流调节到不同水平。这使用户能够驱动更长或最大的占空比，以便在螺线管内拉入，然后用较短的占空比将其保持原位，从而优化功耗。图 3-2 显示了 PWM 实现的电流和电压驱动输出。

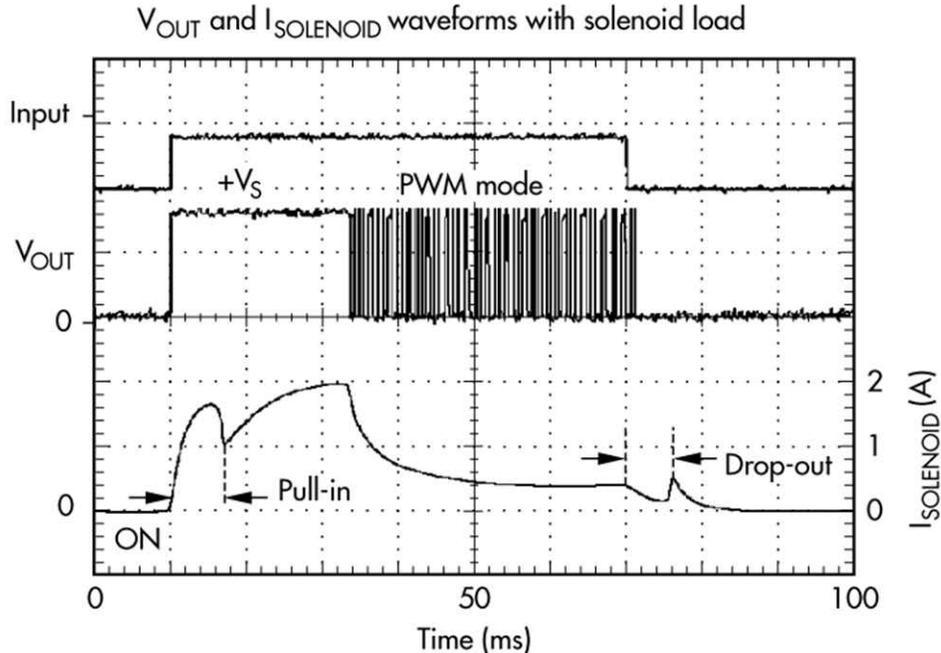


图 3-2. 使用 PWM 的螺线管电压和电流输出

由于线圈中的电流较低，这可以降低螺线管解决方案的功耗。如果不降低驱动电流，功率耗散将会使螺线管进一步升温。随着温度的升高，螺线管的初始电阻也将增加，它们都可能会导致意外停止驱动或无法驱动螺线管。请注意，在上面的屏幕截图中，释放或停止驱动时间大约为 10ms。

### 3.2 快速放电电路

一些应用要求螺线管具有快速的开启/关闭速率。对反相向 MOSFET 中的负载电流再循环可能不足以快速衰减电流，这可能会导致柱塞延迟释放。

为了实现快速放电电路，驱动器电路必须产生一个与螺线管相反的大电压，可以迅速将再循环电流衰减为零。相反电压越高，电流衰减越快。这些快速放电电路可以使用 H 桥、齐纳二极管或瞬态电压抑制 (TVS) 二极管、压敏电阻 (变阻器) 制作而成。

### 3.2.1 续流和钳位

当 FET 关闭时，续流和钳位都是消耗螺线管电感中储存的能量的策略。关键差别在于电流衰减速度。钳位通过产生与螺线管电流极性相反的大电压尖峰，使螺线管电流很快衰减，该电压比反向 MOSFET 再循环时更大，如快速衰减。续流通过一个并联二极管使电流再循环，使电流缓慢衰减，从而缓慢衰减螺线管电流。图 3-3 显示了续流和钳位两种实现方案。

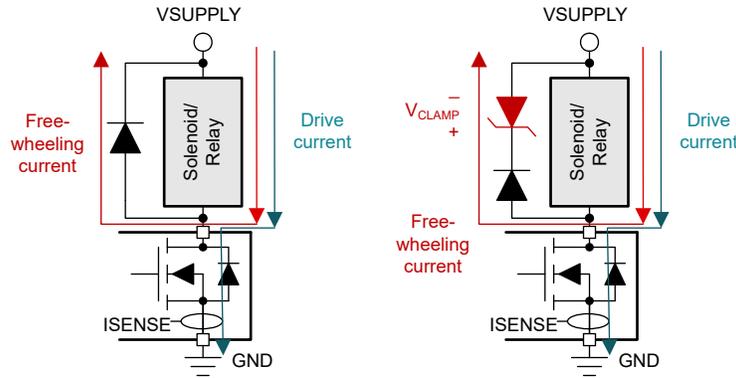


图 3-3. 续流、驱动和钳位

钳位涉及到使用齐纳二极管或瞬态电压抑制二极管以快速衰减通过电感负载（如螺线管）的电流。这对于不能容忍停止驱动延迟的控制系统是必需的。钳位电路会产生一个与螺线管驱动电流相反的极大电压，使电流迅速地衰减。图 3-4 显示了与续流相比，使用有源钳位禁用螺线管时的预期波形。

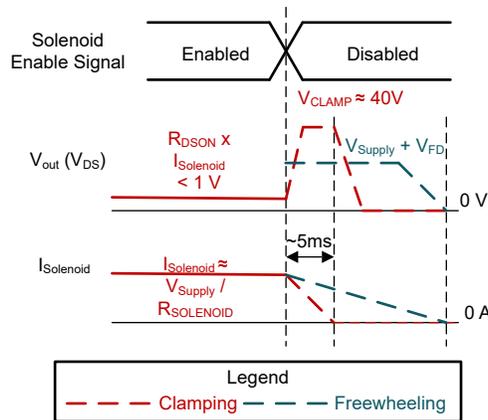


图 3-4. 钳位与续流过程中的预期电压和电流

启用螺线管时， $V_{out}$  较低，低于 1V，而螺线管处于保持阶段。禁用螺线管时， $V_{out}$  快速跃升到 40V 左右（或电源电压的 3-4 倍），并且螺线管电流快速下降到 0A。上图还显示了续流电压和电流波形的大致情况。图中未显示电枢在状态改变时产生的反电动势。图 3-5 显示了一个示波器屏幕截图，其中展示了螺线管在快速关断期间的实际电压和电流波形。

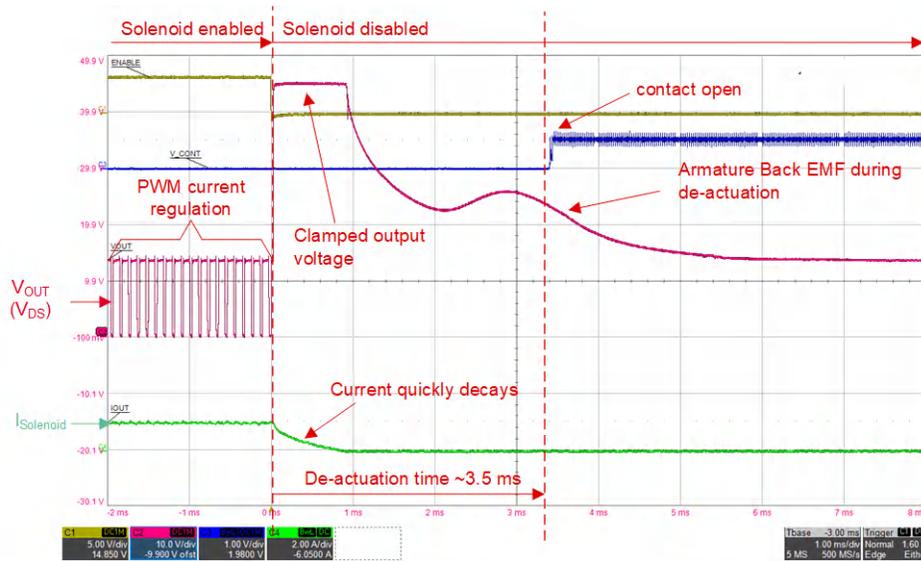


图 3-5. 展现快速关断情况的波形

在示波器拍摄开始时，螺线管处于保持阶段。请注意， $V_{OUT}$  波形显示了在  $V_{SUPPLY}$  大约为 13V，且螺线管电流稳定，一直到螺线管停用情况下的 PWM 电流调节。螺线管停用后， $V_{OUT}$  被钳位在大约 45V，而螺线管电流在 1 毫秒内衰减到零电流衰减到零后，电枢在停止驱动期间产生一个反电动势。从螺线管停用到停止驱动的总用时大约为 3.5 毫秒。回顾上一节内容，续流的停止驱动时间大约为 10 毫秒。

### 3.2.2 无源电压钳位

用于电感负载电压钳位的常见无源器件是齐纳二极管或 TVS 二极管。电感负载的端电压可以用方程式 1 来说明。在再循环期间，电感器的端电压主要取决于电流的变化，减去因负载电流通过螺线管内阻而引起的压降。

$$V = L \frac{\Delta i}{\Delta t} - i \times R \quad (1)$$

为了进一步简化，螺线管的内阻忽略不计，衰减时间可以通过方程式 2 进行估算。

$$\Delta t = L \times \frac{\Delta i}{V} \quad (2)$$

假设再循环期间电感和电流恒定，这表明衰减时间与电感负载的端电压呈反比；电压越大，衰减时间越短。对于续流或慢速衰减，此电压只是二极管的正向电压。同样，对于全桥快速衰减，此电压将是  $V_{SUPPLY}$  加两个二极管的正向电压。对于使用齐纳二极管的快速关断或钳位，此电压将是二极管的正向电压加  $V_{ZENER}$ ，其中  $V_{ZENER}$  可以远远大于  $V_{SUPPLY}$ 。

图 3-6 显示了使用齐纳二极管进行快速放电时的再循环路径。请注意，螺线管一个节点上的电压为  $V_M$ ，另一个节点为  $V_{DIODE} + V_{ZENER} + V_M$ ，使得螺线管总端电压等于  $V_{DIODE} + V_{ZENER}$ 。

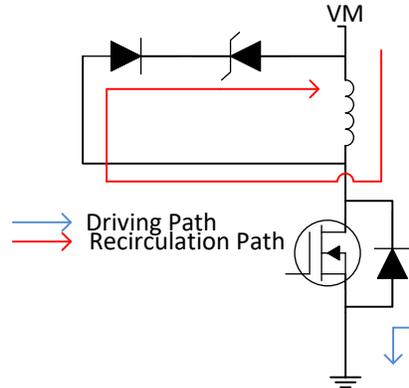


图 3-6. 齐纳二极管快速放电电路

## 4 用于螺线管驱动的 DRV 电机驱动器特性

尽管德州仪器 (TI) 拥有庞大的电机驱动器产品组合，但本节着重强调与本应用报告中提到的主题相关的几种器件及其特性。

### 4.1 电流检测和调节解决方案

德州仪器 (TI) 的大多数电机驱动器都支持电流检测。首先，电机栅极驱动器 (如 DRV8714-Q1 多通道栅极驱动器或 DRV8343-Q1 三相栅极驱动器) 集成了电流分流放大器，即使在再循环过程中，也提供在线电流检测功能，以便连续测量电机电流。图 4-1 显示了电流分流放大器电路的简化版示例。

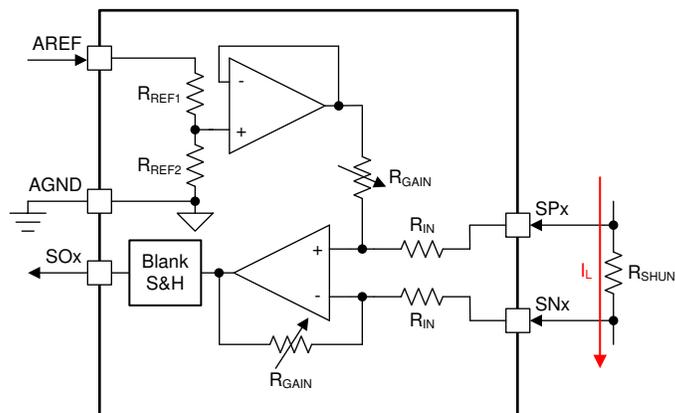
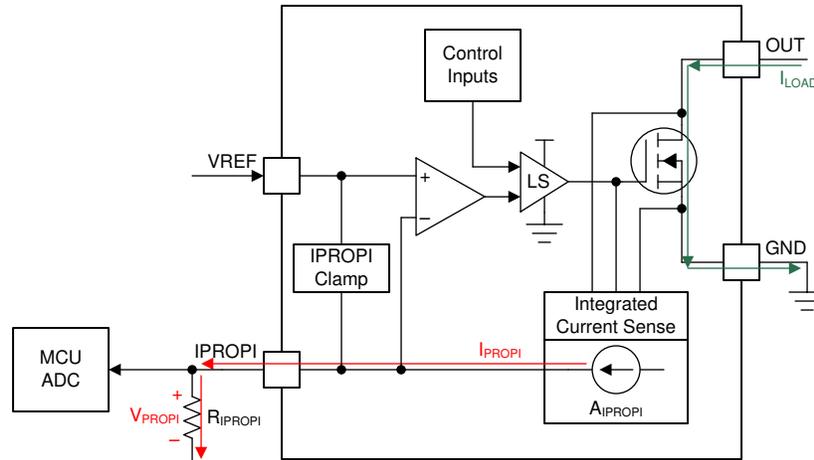


图 4-1. 放大器简化版方框图

集成 MOSFET 电机驱动器 (如 DRV8243-Q1 和 DRV8873-Q1) 具有电流镜架构，可在 IPROPI 引脚上提供与负载电流成比例的电流。电流可以通过外部电阻转换为电压。该电压可供微控制器使用。

图 4-2 显示了 IPROPI 实现的通用图。需要注意的是，DRV8243-Q1 和 DRV8873-Q1 都具有高侧检测功能，并且 DRV8243-Q1 没有引脚作为外部电压基准。



Copyright © 2017, Texas Instruments Incorporated

图 4-2. 集成电流检测

一些电机驱动器的另一项特性是集成电流调节，可用于控制经过螺线管的电流。集成式全桥驱动器 DRV824x-Q1 和 DRV887x-Q1 具备此特性。当电流达到所配置的电流限制值时，电桥会进入制动模式，直到 toff 时间到期或下一个控制输入沿。

可以使用 VREF/ITRIP 和 IPROPI 引脚来设置 DRV887x-Q1 和 DRV824x-Q1 上的集成电流调节。对于 DRV8873-Q1，集成电流调节既可以设置为使用固定的关闭时间，也可以设置为周期 PWM 电流斩波方案。DRV8243-Q1 仅支持固定关断时间。

有关如何配置电流限制的详细信息，请参阅器件特定数据表。

## 4.2 独立的低侧/高侧驱动

对于高侧和/或低侧驱动，一些器件具有独立的 FET 模式，可以驱动独立的高侧负载和低侧负载。DRV8714-Q1 和 DRV8343-Q1 栅极驱动器都支持多种驱动配置。

DRV8714-Q1 具有分离式高侧和低侧控制特性，能够实现在高侧和低侧 FET 之间连接浮动负载。下图显示了 DRV8714-Q1 在此配置下驱动螺线管负载。

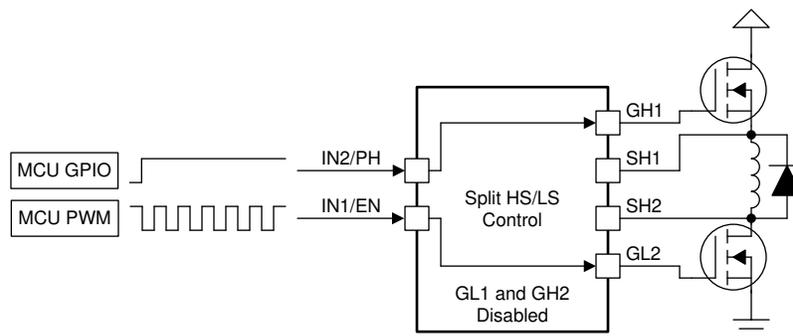


图 4-3. DRV8714-Q1 分离式高侧/低侧控制

在此模式下，高侧 FET 可以作为开关控制，而低侧 FET 可以由 PWM 控制。

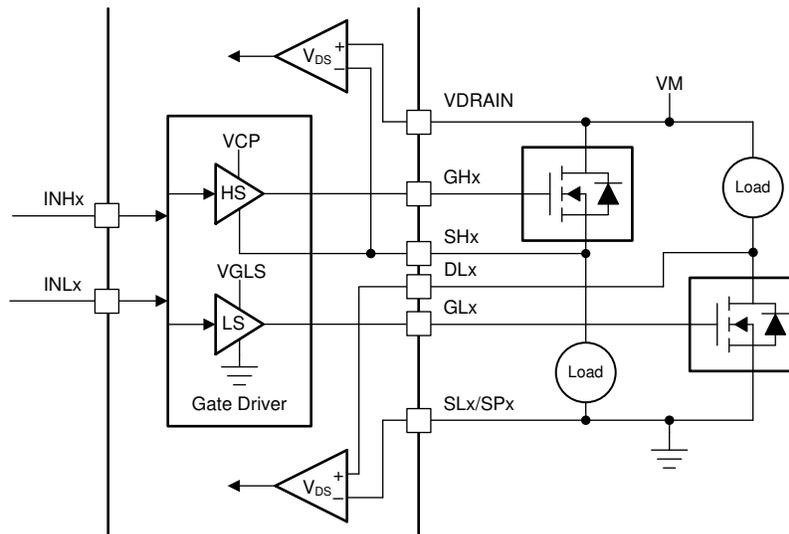
高度可配置的 DRV8343-Q1 可以支持多种相位配置，例如，三个相位中的一个可以是半桥，其他相位是独立的 FET，一个是 PH/EN，其他是 PWM 等等。

对于独立的 MOSFET 驱动模式，INHx 引脚和 INLx 引脚分别控制输出 GHx 和 GLx。这样，可以控制模式。在此模式下，可以在给定半桥栅极驱动器中，同时打开高侧和低侧 MOSFET。在此模式下，会绕过集成死区时间。

**表 4-1. 独立的 MOSFET 模式的真值表**

| INLx | INHx | GLx | GHx |
|------|------|-----|-----|
| 0    | 0    | L   | L   |
| 0    | 1    | L   | H   |
| 1    | 0    | H   | L   |
| 1    | 1    | H   | H   |

图 4-4 显示了如何使用 DRV8343-Q1 器件通过一个半桥同时连接高侧负载和低侧负载，并独立驱动这些负载。在此模式下，两个 MOSFET 的 VDS 监视器都处于运行状态，防止出现过流情况。对于总共 6 个不同螺线管，3 个相位中的每一个都可以做到这一点。请注意，如果半桥仅用于实现高侧或低侧驱动器，则无需连接未使用的负载。VDS 监视器仍可以监测过流情况。



**图 4-4. 独立的 PWM 高侧和低侧驱动器**

### 4.3 半桥驱动

半桥驱动可以非常有用，因为其在负载配置中带来灵活性，而且 H 桥解决方案可以配置为多个半桥来驱动多个螺线管。如前所述，DRV8714-Q1 和 DRV8718-Q1 栅极驱动器支持此配置以及 PWM 映射特性，如图 4-5 中所示

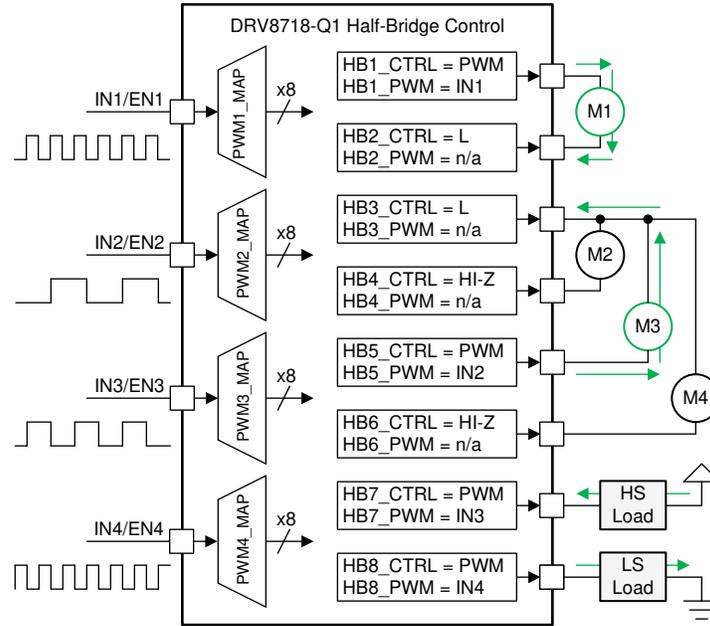


图 4-5. 半桥控制

DRV8343-Q1 可以在高侧 PWM 和低侧截止配置中控制多达三个不同的螺线管。在此模式下，DRV8343-Q1 将在开关时自动插入死区时间，并处理过流保护 (OCP)、电池短路保护和地对地短路故障保护。在独立半桥 PWM 模式下，INHx 引脚会独立控制每个半桥并支持两种输出状态：低或高。相应的 INHx 和 INLx 信号控制输出状态，如图 4-5 所示。INLx 引脚用于将半桥更改为高阻抗。如果不需要高阻抗状态（高阻态），请将所有 INLx 引脚设置为逻辑高电平。

表 4-2. 独立半桥模式真值表

| INLx | INHx | GLx | GHx |
|------|------|-----|-----|
| 0    | x    | L   | L   |
| 1    | 0    | H   | L   |
| 1    | 1    | L   | H   |

可以使用半桥和独立 MOSFET 驱动模式组合，此时两个相位处于独立半桥模式，最后一个相位处于独立 MOSFET 模式。这样可以同时分别驱动总共四个螺线管，其中两个在推挽配置，一个在高侧配置，一个在低侧配置。在这些模式下，处于独立半桥模式的两个相位控制独立的故障处理，而死区时间执行由器件完成。对于独立 MOSFET 模式下的相位，会绕过器件死区时间插入。

对于低电流应用，DRV824x-Q1 和 DRV887x-Q1 是集成式 H 半桥驱动器的系列器件，可按照  $R_{DS(ON)}$  进行调整。这些驱动器还可以配置为在独立半桥模式下驱动两个螺线管。MOSFET 内置在器件中，以简化设计并减少 PCB 空间。

DRV824x-Q1 系列可以支持独立半桥模式，以便驱动多种负载配置。低侧配置示例如图 4-6 中所示。

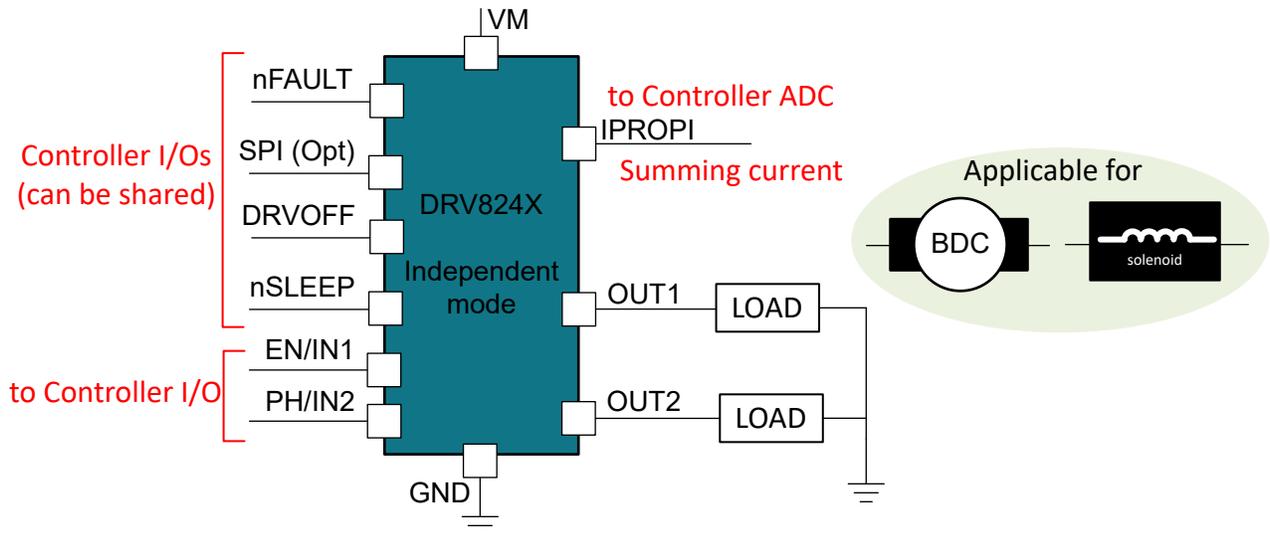


图 4-6. DRV824x 独立半桥低侧负载

图 4-7 显示了配置为在独立半桥模式下驱动两个螺线管的应用原理图。

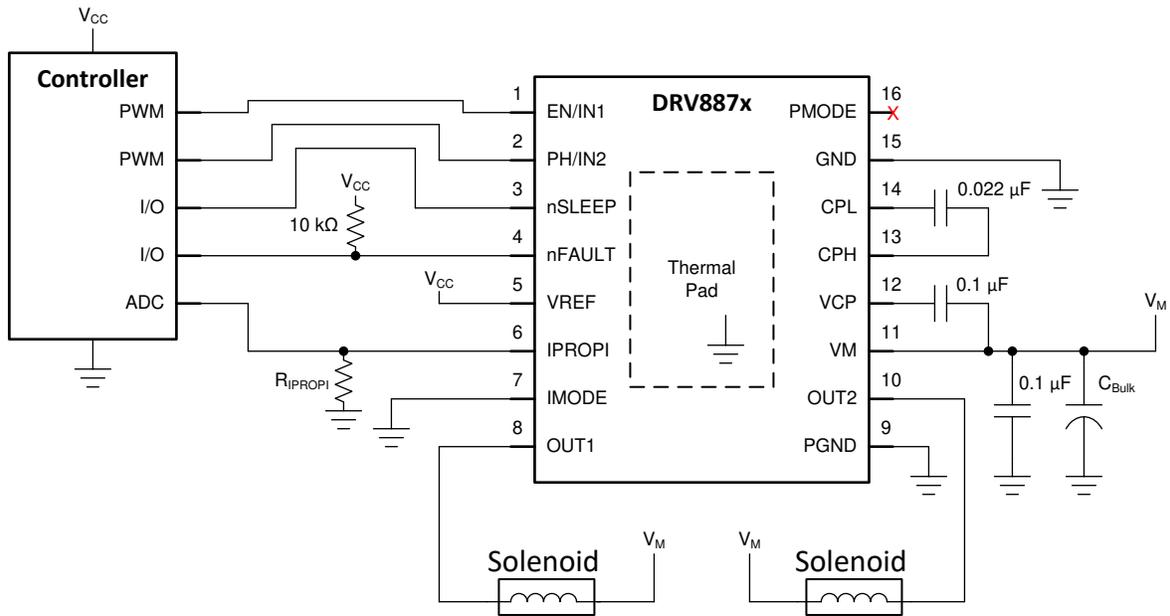


图 4-7. DRV887x 驱动两个螺线管的应用原理图

表 4-3 显示了独立半桥模式的真值表。

表 4-3. 独立半桥控制模式

| nSleep | INx | OUTx | 说明          |
|--------|-----|------|-------------|
| 0      | X   | 高阻态  | 睡眠 (H 桥高阻抗) |
| 1      | 0   | L    | OUTx 低侧导通   |
| 1      | 1   | H    | OUTx 高侧导通   |

DRV8706-Q1 是一款小型单 H 桥栅极驱动器，使用四个外部 N 沟道 MOSFET，可独立控制多达两个螺线管或继电器。图 4-8 显示了对独立半桥模式的控制。表 4-4 显示了独立半桥模式下 DRV8706-Q1 的控制表。在此模式下，器件不进行 PWM 电流调节或电流斩波。

表 4-4. 独立半桥模式真值表

| nHIZx | IN1x | GHx | GLx | SHx |
|-------|------|-----|-----|-----|
| 0     | x    | L   | L   | Z   |
| 1     | 0    | L   | H   | L   |
| 1     | 1    | H   | L   | H   |

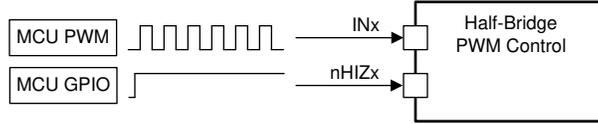


图 4-8. 半桥控制

#### 4.4 集成式及栅极驱动器 H 桥

TI 电机驱动器还可以支持 H 桥驱动以及集成式栅极驱动器或栅极驱动解决方案。一些驱动器（如 DRV8714-Q1 和 DRV8718-Q1 栅极驱动器）具有 H 桥控制模式，可以驱动两到四个 H 桥。如果不需要 PWM 控制，甚至可以通过 SPI 控制寄存器直接控制两个 H 桥栅极驱动器。在此模式下，可在 SPI 寄存器中配置有源续流再循环路径（低侧或高侧）。

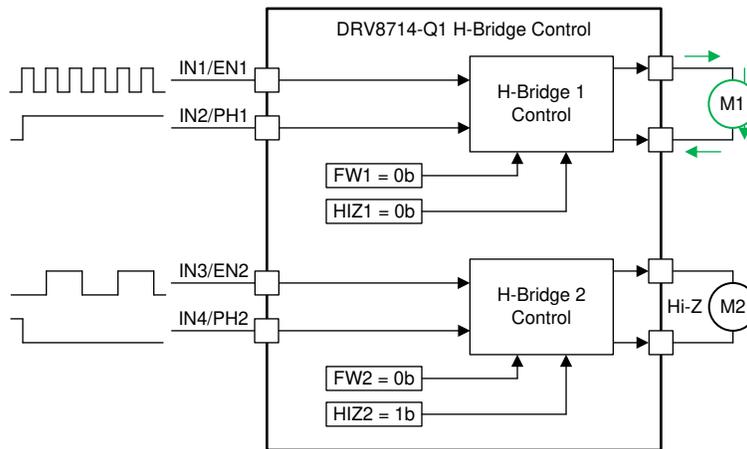


图 4-9. H 桥控制示例

对于空间受限的螺线管应用，可以将 DRV8243-Q1 集成式 H 桥驱动器配置为单 H 桥驱动器，或两个独立的半桥驱动器。此器件还可以通过 SPI 特定寄存器位控制桥。此外，用户可以在每个外部输入与其等效的寄存器位的与或逻辑组合之间进行配置。例如，对于某些配置位，可以将引脚输入与 SPI\_IN 寄存器位进行与运算。

DRV8243-Q1 器件是器件系列的一部分，具备引脚对引脚兼容性、可调整的  $R_{DS(on)}$  以支持不同的负载，还包括 DRV814x-Q1 集成式半桥驱动器（其  $R_{DS(on)}$  是 DRV824x-Q1 器件的一半）。

DRV887x-Q1 集成式 H 桥驱动器系列（其中包括 DRV8873-Q1）包含支持高达 10A 的 H 桥。

## 5 总结

表 5-1 总结了所讨论的器件和特性。

**表 5-1. 器件和特性**

| 器件                         | 说明       | 电流感测      | 模式支持               |
|----------------------------|----------|-----------|--------------------|
| <a href="#">DRV8243-Q1</a> | 集成全桥     | 高侧；IPROPI | 独立和全桥              |
| <a href="#">DRV8873-Q1</a> | 集成全桥     | 高侧；IPROPI | 独立和全桥              |
| <a href="#">DRV8714-Q1</a> | 多通道栅极驱动器 | 2xCSA     | 独立半桥、独立 MOSFET 和全桥 |
| <a href="#">DRV8706-Q1</a> | H 桥栅极驱动器 | CSA       | 独立半桥和全桥            |
| <a href="#">DRV8343-Q1</a> | 三相栅极驱动器  | 3xCSA     | 独立半桥和独立 MOSFET     |

虽然螺线管类型多样，而且具有多种配置，但德州仪器 (TI) 的 DRV 电机驱动器 IC 简化了驱动螺线管的解决方案，不仅减小尺寸，还集成了更多的控制和诊断特性。利用所有集成特性和引脚对引脚封装，可以使用一个或少量 DRV 电机驱动器通过单一器件驱动一个或多个螺线管，并利用单一设计来处理不同的螺线管负载。

## 6 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

| Changes from Revision * (February 2019) to Revision A (April 2022) | Page |
|--|------|
| • 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....                                     | 3    |

## 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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司