

Circuits from the Lab™ Reference Circuits

Circuit from the Lab™实验室电路是经过测试的电路设计，用于解决常见的设计挑战，方便设计人员轻松快捷地实现系统集成。有关更多信息和技术支持，请访问：www.analog.com/zh/CN0196。

连接/参考器件

ADuM7234	隔离式精密半桥4 A驱动器
ADG787	2.5 Ω、CMOS、低功耗、双通道2:1开关
ADuC7061	基于ARM7的微控制器，内置双通道24位Σ-Δ型ADC
ADuM3100	数字隔离器
ADP1720	50 mA线性调节器
ADCMP350	内置0.6 V基准电压源的比较器

隔离全桥驱动电路

评估和设计支持

电路评估板

[CN-0196电路评估板\(EVAL-CN0196-EB1Z\)](#)

[ADuC7061迷你套件\(EVAL-ADuC7061MKZ\)](#)

设计和集成文件

[原理图、布局文件、物料清单](#)

电路功能与优势

本电路是一个由高功率开关MOSFET组成的H电桥，由低压逻辑信号控制，如图1所示。该电路为低电平逻辑信号和高功率电桥提供了一个方便的接口。H电桥的高端和低端均使用低成本N沟道功率MOSFET。该电路还在控制侧与电源侧之间提供隔离。本电路可以用于电机控制、带嵌入式控制接口的电源转换、照明、音频放大器和不间断电源(UPS)等应用中。

现代微处理器和微控制器一般为低功耗型，采用低电源电压工作。2.5 V CMOS逻辑输出的源电流和吸电流在μA到mA范围。为了驱动一个12 V切换、4 A峰值电流的H电桥，必须精心选择接口和电平转换器件，特别是要求低抖动时。

[ADG787](#)是一款低压CMOS器件，内置两个独立可选的单刀双掷(SPDT)开关。采用5 V直流电源时，有效的高电平输入逻辑电压可以低至2 V。因此，[ADG787](#)能够提供驱动半桥驱动器[ADuM7234](#)所需的2.5 V控制信号到5 V逻辑电平的转换。

[ADuM7234](#)是一款隔离式半桥栅极驱动器，采用ADI公司iCoupler®技术，提供独立且隔离的高端和低端输出，因而可以专门在H电桥中使用N沟道MOSFET。使用N沟道MOSFET有多种好处：N沟道MOSFET的导通电阻通常仅为P沟道MOSFET的1/3，最大电流更高；切换速度更快，功耗得以降低；上升时间与下降时间是对称的。

[ADuM7234](#)的4 A峰值驱动电流确保功率MOSFET可以高速接通和断开，使得H电桥级的功耗最小。本电路中，H电桥的最大驱动电流可以高达85 A，它受最大容许的MOSFET电流限制。

[ADuC7061](#)是一款低功耗、基于ARM7的精密模拟微控制器，集成脉宽调制(PWM)控制器，其输出经过适当的电平转换和调理后，可以用来驱动H电桥。

电路描述

2.5 V PWM控制信号电平转换为5 V

[EVAL-ADuC7061MKZ](#)提供2.5 V逻辑电平PWM信号，但[ADuM7234](#)在5 V电源下的最小逻辑高电平输入阈值为3.5 V。由于存在这种不兼容性，因此使用[ADG787](#)开关作为中间电平转换器。[ADG787](#)的最小输入逻辑高电平控制电压为2 V，与[ADuC7061](#)的2.5 V逻辑兼容。[ADG787](#)的输出在0 V与5 V之间切换，足以驱动3.5 V阈值的[ADuM7234](#)输入端。评估板提供两个跳线，便于配置控制PWM信号的极性。

Rev.0

Circuits from the Lab™ circuits from Analog Devices have been designed and built by Analog Devices engineers. Standard engineering practices have been employed in the design and construction of each circuit, and their function and performance have been tested and verified in a lab environment at room temperature. However, you are solely responsible for testing the circuit and determining its suitability and applicability for your use and application. Accordingly, in no event shall Analog Devices be liable for direct, indirect, special, incidental, consequential or punitive damages due to any cause whatsoever connected to the use of any Circuits from the Lab circuits. (Continued on last page)

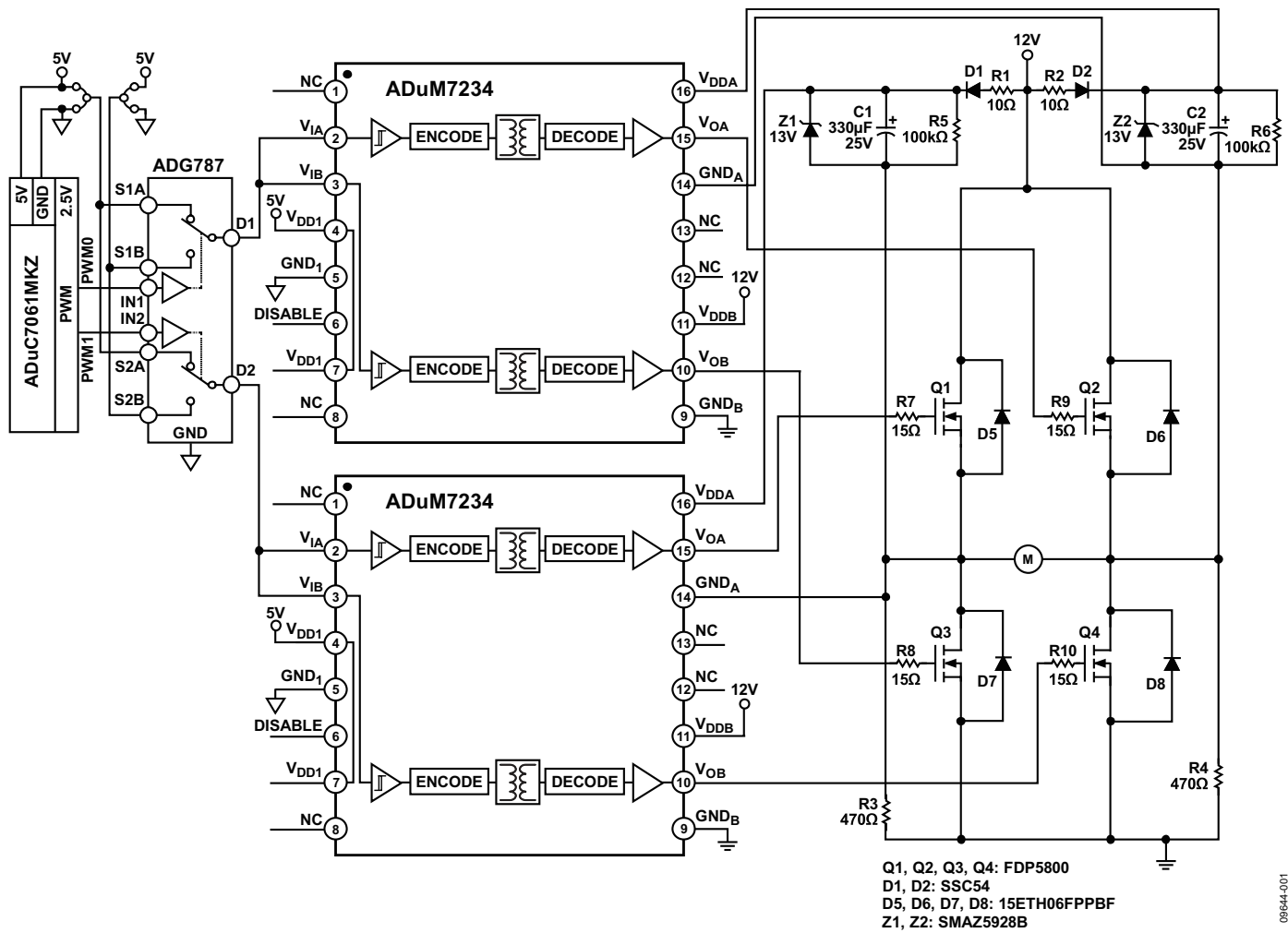


图1. 使用ADuM7234隔离式半桥驱动器的H电桥 (原理示意图: 未显示去耦和所有连接)

H电桥简介

图1所示的H电桥具有4个开关元件 (Q1、Q2、Q3、Q4)。这些开关成对导通，左上侧(Q1)和右下侧(Q4)为一对，左下侧(Q3)和右上侧(Q2)为一对。注意，电桥同一侧的开关不会同时导通。开关可以利用MOSFET或IGBT (绝缘栅极双极性晶体管) 实现，使用脉宽调制(PWM)信号或控制器的其它控制信号接通和断开开关，从而改变负载电压的极性。

低端MOSFET (Q3、Q4) 的源极接地，因此其栅极驱动信号也以地为参考。而高端MOSFET (Q1、Q2) 的源极电压会随着MOSFET成对地接通和断开而切换，因此，该栅极驱动信号应参考或“自举”到该浮动电压。

ADuM7234的栅极驱动信号支持在输入与各输出之间实现真正的电流隔离。相对于输入，各路输出的工作电压最高可达 $\pm 350 V_{PEAK}$ ，因而支持低端切换至负电压。因此，ADuM7234可以在很宽的正或负切换电压范围内，可靠地控制各种MOSFET配置的开关特性。为了确保安全和简化测试，选择12V直流电源作为本设计的电源。

自举栅极驱动电路

高端和底端的栅极驱动器电源是不同的。低端栅极驱动电压以地为参考，因此该驱动由直流电源直接供电。然而，高端是悬空的，因此需要使用自举驱动电路，其工作原理如下所述。

观察图1所示H桥电路的左侧，自举驱动电路利用电容C1、电阻R1和R3、二极管D1实现。上电后，PWM不会立即发生，所有MOSFET都处于高阻态，直到所有直流电压完成建立。在此期间，电容C1由直流电源通过路径R1、D1、C1和R3充电。充电后的电容C1提供高端栅极驱动电压。C1充电的时间常数为 $\tau = (R1 + R3) C1$ 。

当MOSFET在PWM信号的控制下切换时，低端开关Q3接通，高端开关Q1断开。高端的GNDA下拉至地，电容C1充电。当Q1接通时，Q3断开，GNDA上拉至直流电源电压。二极管D1反向偏置，C1电压将ADuM7234的VDDA电压驱动到约24 V。因此，电容C1在ADuM7234的VDDA和GNDA引脚之间保持约12 V的电压。这样，高端MOSFET Q1的栅极驱动电压始终参考Q1的悬空源极电压。

高端MOSFET源极上的电压尖峰

当Q1和Q4接通时，负载电流从Q1经过负载流到Q4和地。当Q1和Q4断开时，电流仍然沿同一方向流动，经过续流二极管D6和D7，在Q1的源极上产生负电压尖峰。这可能会损害某些采用其它拓扑结构的栅极驱动器，但对ADuM7234无影响，ADuM7234支持低端切换到负电压。

自举电容 (C1、C2)

每次低端驱动器接通时，自举电容就会充电，但它仅在高端开关接通时才放电。因此，选择自举电容值时需要考虑的第一个参数，就是高端开关接通并且电容用作栅极驱动器ADuM7234的高端直流电源时的最大容许压降。当高端开关接通时，ADuM7234的直流电源电流典型值为22 mA。假设高端开关的导通时间为10 ms (50 Hz、50%占空比)，使用公式 $C = I \times \Delta T / \Delta V$ ，如果容许的压降 $\Delta V = 1 \text{ V}$ ， $I = 22 \text{ mA}$ ， $\Delta T = 10 \text{ ms}$ ，则电容应大于220 μF 。本设计选择330 μF 的容值。电路断电后，电阻R5将自举电容放电；当电路切换时，R5不起作用。

自举限流电阻 (R1、R2)

对自举电容充电时，串联电阻R1起到限流作用。如果R1过高，来自ADuM7234高端驱动电源的直流静态电流会在R1上引起过大的压降，ADuM7234可能会欠压闭锁。ADuM7234的最大直流电源电流 $I_{\text{MAX}} = 30 \text{ mA}$ 。如果该电流引起的R1压降以 $V_{\text{DROP}} = 1 \text{ V}$ 为限，则R1应小于 $V_{\text{DROP}} / I_{\text{MAX}}$ ，或33 Ω 。因此，本设计选择10 Ω 的电阻作为自举电阻。

自举启动电阻 (R3、R4)

电阻R3启动自举电路。上电之后，直流电压不会立即建立起来，MOSFET处于断开状态。在这些条件下，C1通过路径R1、R3、D1、 V_S 充电，其过程如下式所述：

$$v_c(t) = (V_S - V_D)(1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

其中， $v_c(t)$ 为电容电压， V_S 为电源电压， V_D 为二极管压降， τ 为时间常数， $\tau = (R1 + R3) C1$ 。电路值如下： $R1 = 10 \Omega$ ， $C1 = 330 \mu\text{F}$ ， $V_D = 0.5 \text{ V}$ ， $V_S = 12 \text{ V}$ 。由以上方程式可知，当 $R3 = 470 \Omega$ 时，电容充电到最终值的67%需要一个时间常数的时间(158 ms)。电阻值越大，则电容的充电时间越长。然而，当高端MOSFET Q1接通时，电阻R1上将有12 V电压，因此，如果电阻值过低，它可能会消耗相当大的功率。对于 $R3 = 470 \Omega$ ，12 V时该电阻的功耗为306 mW。

自举电容的过压保护 (Z1、Z2)

如上所述，对于感性负载，当高端MOSFET断开时，电流会流经续流二极管。由于电感和寄生电容之间的谐振，自举电容的充电能量可能高于ADuM7234消耗的能量，电容上的电压可能上升到过压状态。13 V齐纳二极管对电容上的电压进行箝位，从而避免过压状况。

栅极驱动电阻 (R7、R8、R9、R10)

栅极电阻 (R7、R8、R9、R10) 根据所需的开关时间 t_{SW} 选择。开关时间是指将 C_{gd} 、 C_{gs} 和开关MOSFET充电到要求的电荷 Q_{gd} 和 Q_{gs} 所需的时间。

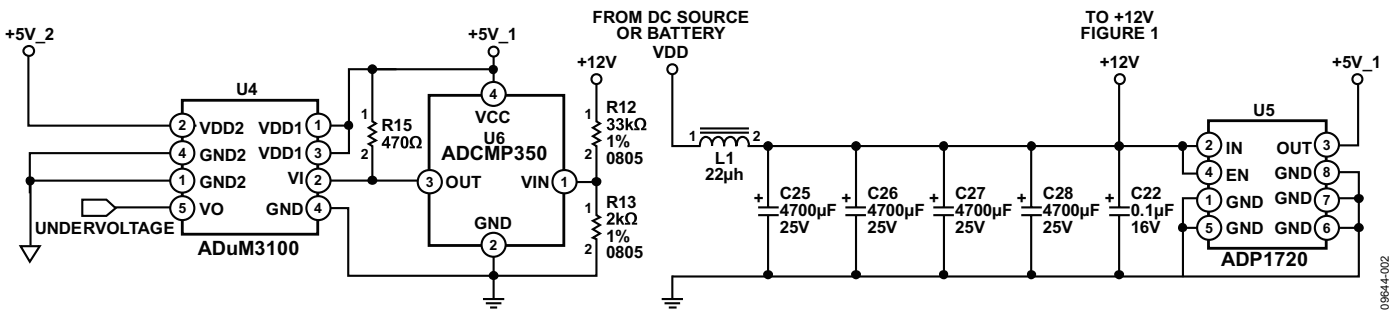


图2. ADuM7234的电源轨滤波和欠压锁闭保护

描述栅极驱动电流 I_g 的方程式如下：

$$I_g = \frac{Q_{gd} + Q_{gs}}{t_{sw}} = \frac{V_{DD} - V_{gs(th)}}{R_g + R_{DRV}} \quad (2)$$

其中， V_{DD} 为电源电压， R_{DRV} 为栅极驱动器ADuM7234的等效电阻， $V_{gs(th)}$ 为阈值电压， R_g 为外部栅极驱动电阻， Q_{gd} 和 Q_{gs} 为要求的MOSFET电荷， t_{sw} 为要求的开关时间。

ADuM7234栅极驱动器的等效电阻通过下式计算：

$$R_{DRV} = \frac{V_{DDA}}{I_{OA(SC)}} \quad (3)$$

根据ADuM7234数据手册，对于 $V_{DDA} = 15\text{ V}$ 且输出短路脉冲电流 $I_{OA(SC)} = 4\text{ A}$ ，通过方程式3计算可知， R_{DRV} 约为 $4\ \Omega$ 。

根据FDP5800 MOSFET数据手册， $Q_{gd} = 18\text{ nC}$ ， $Q_{gs} = 23\text{ nC}$ ， $V_{gs(th)} = 1\text{ V}$ 。

如果要求的开关时间 t_{sw} 为 100 ns ，则通过方程式2求解 R_g 可知， R_g 约为 $22\ \Omega$ 。实际设计选择 $15\ \Omega$ 电阻以提供一定的裕量。

电源轨滤波和欠压保护

由于峰值负载电流很高，因此必须对直流电源电压(VDD)进行适当的滤波，以防ADuM7234进入欠压闭锁状态，同时防止电源可能受到损害。所选的滤波器由4个并联 $4700\ \mu\text{F}$ 、 25 V 电容与一个 $22\ \mu\text{H}$ 功率电感串联而成，如图2所示。100 kHz时，电容的额定最大均方根纹波电流为 3.68 A 。由于4个电容并联，因此允许的最大均方根纹波为 14.72 A 。所以， $I_{PEAK} = 2\sqrt{2} \times I_{RMS} = 41.63\text{ A}$ 。

经过滤波的+12 V电压还驱动图1所示的电路。

当电源电压低于 10 V 时，图2所示电路便会禁用ADuM7234的输入端，从而防止ADuM7234欠压闭锁。将一个逻辑高电平信号施加于ADuM7234的DISABLE引脚可禁用该电路。

开漏式低电平有效比较器ADCMP350用于监视直流电源电压。电阻分压器(R12、R13)的比值经过适当选择，当电源电压为 10.5 V 时，分压器输出为 0.6 V ，与比较器的片内基准电压 0.6 V 相等。当电源电压降至 10.5 V 以下时，比较器的输出变为高电平。由于ADuM7234的输入端与输出端之间存在电流隔离，因此输出端的DISABLE信号必须通过隔离器传输到输入端。ADuM3100是基于iCoupler技术的数字隔离器。ADuM3100兼容 3.3 V 和 5 V 工作电压。经过滤波的 12 V 电源电压驱动线性调节器ADP1720，为ADuM3100的右侧隔离端提供 5 V (+5V_1)电压，如图2所示。

负载和PWM信号

如果使用电感作为负载，当施加恒定电压时，流经电感的电流将线性变化。电压 U 为 12 V ，如果忽略导通电阻引起的MOSFET压降，则以下方程式成立：

$$U = L \frac{di}{dt} \quad (4)$$

对于 50 kHz 、 8% 占空比PWM信号，使用 $4\ \mu\text{H}$ Coilcraft功率电感(SER2014-402)作为负载时，负载电流波形如图3所示。利用电流探头测量电感电流。

对于 12 V 电源电压和 $4\ \mu\text{H}$ 电感，方程式4预测斜率为 $3\text{ A}/\mu\text{s}$ 。而实测斜率为 $2.8\text{ A}/\mu\text{s}$ ，斜率下降的原因在于MOSFET导通电阻引起的压降。

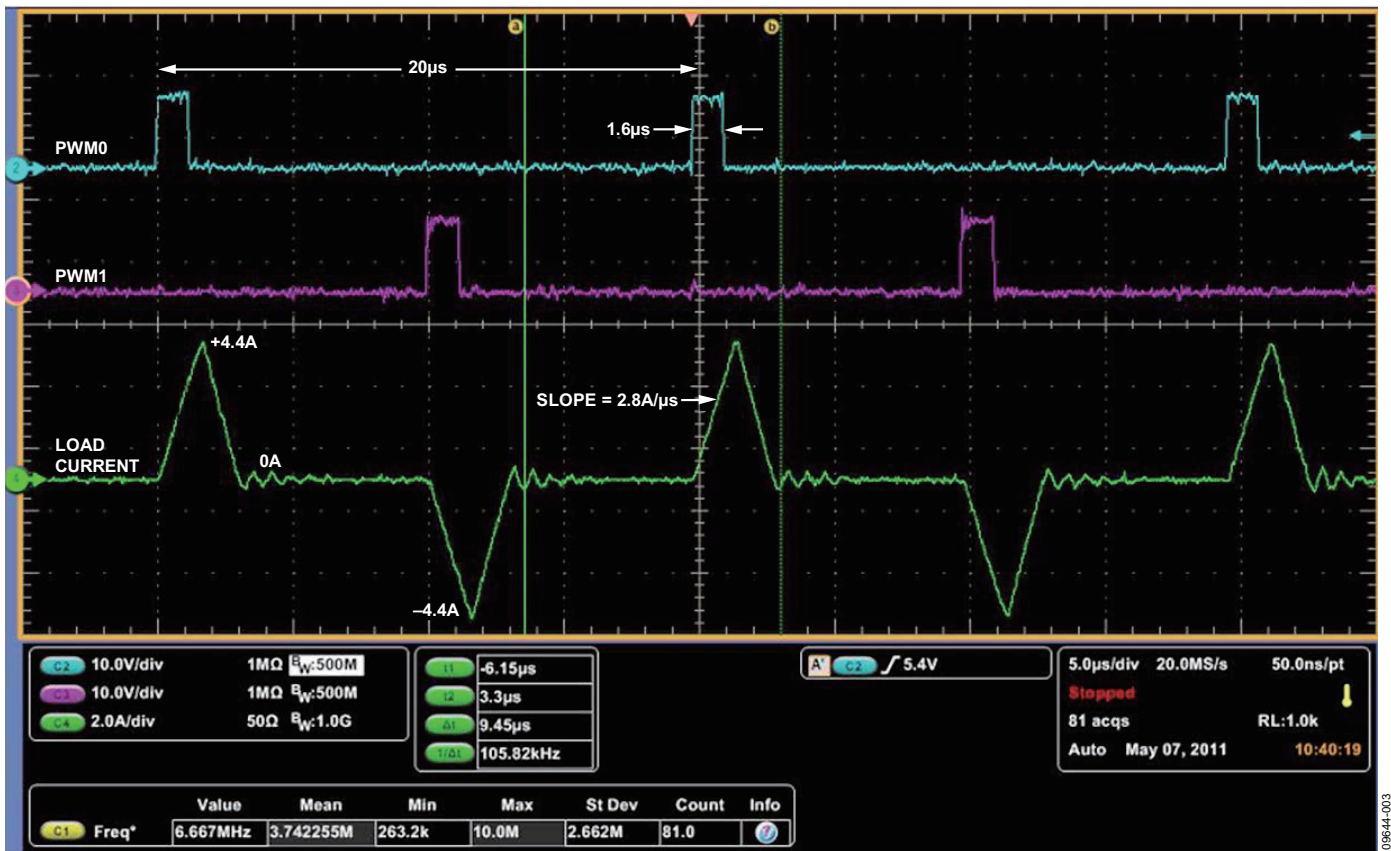


图3. 4 μH负载下负载电流与PWM脉冲的关系

注意，电流断开后的短时间内，波形上会出现少量响铃振荡，其原因是电感负载与续流二极管和MOSFET的寄生电容之间发生谐振。

必须注意，电路中的电感电流不得超过其额定最大值。如果超过，电感就会饱和，电流将迅速提高，可能损坏电路和电源。本电路中使用的Coilcraft SER2014-402电感负载的额定饱和电流为25 A。

常见变化

只需添加一些元件，就可以将本电路轻松扩展到三相控制应用。本电路还可以用于要求更高电源电压的应用中，但应注意不要超过MOSFET和滤波器电容的额定值。

设备要求

- 带USB端口和Windows XP、Windows Vista（32位）或Windows 7（32位）PC

- EVAL-CN0196-EB1Z电路评估板
- EVAL-ADuC7061MKZ评估板
- 直流电源或电池：+12 V、10 A
- 负载，如Coilcraft SER2014-402功率电感等
- 带电流探头的示波器

开始使用

将CN0196评估软件光盘放进PC的光盘驱动器，加载评估软件。找到包含评估软件光盘的驱动器，打开Readme文件。按照Readme文件中的说明安装和使用评估软件。

设置与测试

将固件代码下载到EVAL-ADuC7061-MKZ，安装CN-0196评估软件，并且按照Readme文件中的跳线配置连接EVAL-ADuC7061-MKZ和EVAL-CN0196-EB1Z的控制信号。

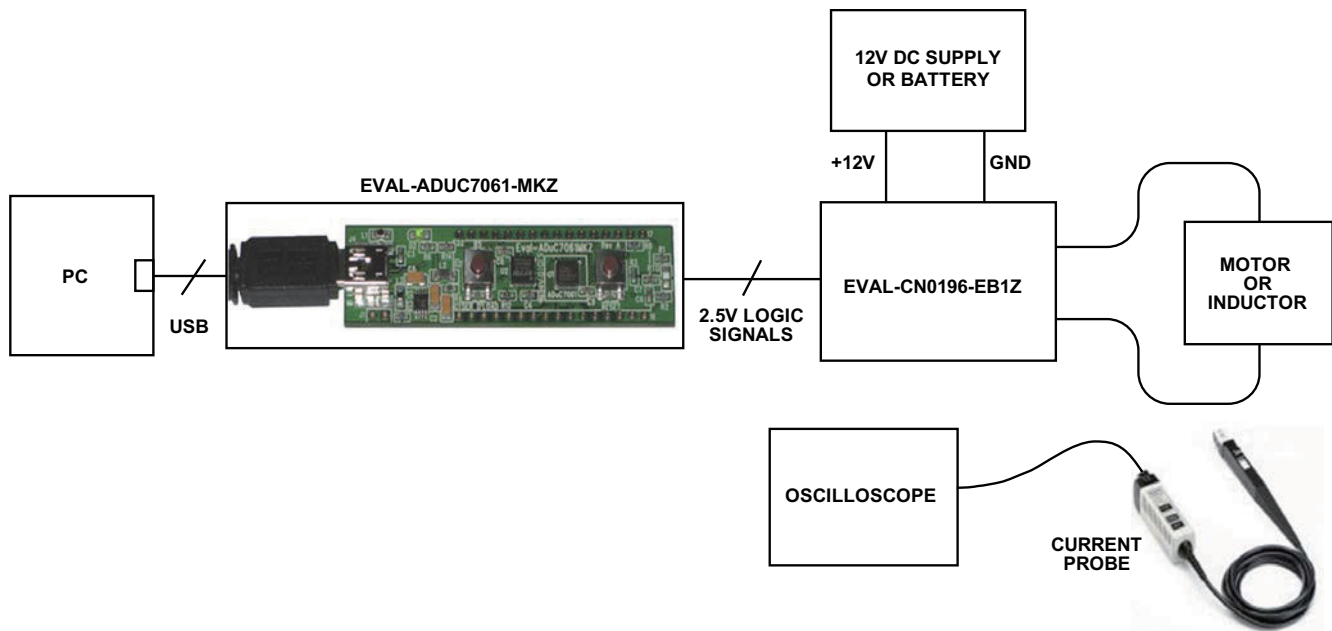


图4. 测试设置功能框图

连接跳线LK1，将+12 V电源施加到CN2，启动软件，并通过USB电缆将PC连接到EVAL-ADuC7061-MKZ板上的微型USB连接器。使用电感作为负载，运行软件，然后使用电流探头测量电感的电流。

有关如何使用评估软件来获得适当PWM信号的详细信息，请参阅CN0196评估软件Readme文件。

进一步阅读

CN-0196 Design Support Package:

www.analog.com/CN0196-DesignSupport

Arduzoni, John. "A Practical Guide to High-Speed Printed-Circuit-Board Layout." *Analog Dialogue*. 39-09, September 2005.

MT-101 Tutorial, Decoupling Techniques, Analog Devices.

数据手册和评估板

[CN-0196 Circuit Evaluation Board \(EVAL-CN0196-EB1Z\)](#)

[ADuM7234 Data Sheet](#)

[ADuM7234 Evaluation Board](#)

[ADuC7061 Data Sheet](#)

[ADuC7061 Evaluation Board](#)

[ADG787 Data Sheet](#)

[ADuM3100 Data Sheet](#)

[ADP1720 Data Sheet](#)

[ADCMP350 Data Sheet](#)

修订历史

9/11—Revision 0: Initial Version

(Continued from first page) Circuits from the Lab circuits are intended only for use with Analog Devices products and are the intellectual property of Analog Devices or its licensors. While you may use the Circuits from the Lab circuits in the design of your product, no other license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of the Circuits from the Lab circuits. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, "Circuits from the Lab" are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability, noninfringement or fitness for a particular purpose and no responsibility is assumed by Analog Devices for their use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from their use. Analog Devices reserves the right to change any Circuits from the Lab circuits at any time without notice but is under no obligation to do so.