

说明

TIDA-020040 参考设计展示了一种针对汽车系统中常见的电压和电流瞬态事件的保护系统。该参考设计优化了功能、大小和保护能力，同时不会影响电力输送，从而打造出出色的音频放大器。

资源

TIDA-020040	设计文件夹
INA302-Q1	产品文件夹
LM7481-Q1	产品文件夹

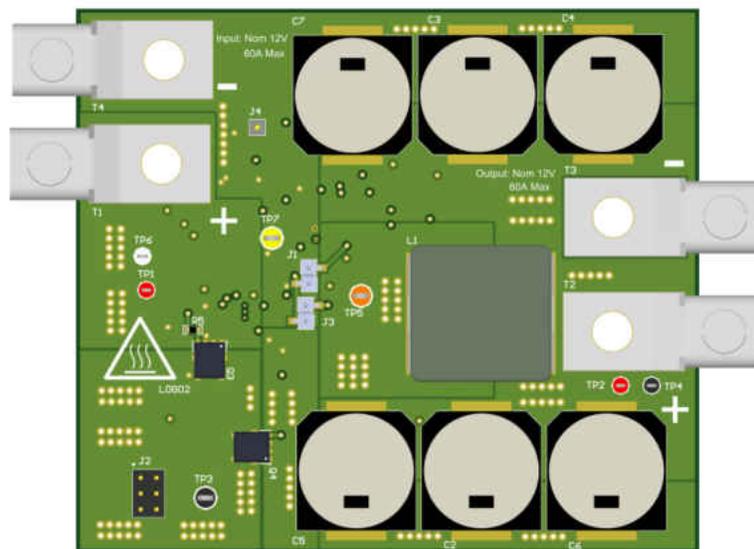


应用

- 汽车音响主机
- 汽车外部放大器
- 数字驾驶舱处理单元

特性

- LM74810-Q1 理想二极管控制器与外部背对背 N 沟道 MOSFET 搭配使用，用于过压保护和模拟理想二极管整流器
- INA302-Q1 提供过流保护和模拟电流监测
- 系统中的各元件确保在电池和为下游音频放大器馈电的 A 线滤波器之间安全运行。
- 采用 4 英寸 X 3.5 英寸电路板设计



1 系统说明

TIDA-020040 旨在为高端音频系统提供输入保护。此参考设计提供可自定义的功能，同时保持小巧的外形和理想散热性能。此滤波器可用于保护高端音频放大器免受汽车行业常见标准瞬态的影响。

此设计使用 LM74810-Q1 检测和响应过压事件，并使用 INA302 测量电流和响应过流事件。这两个 IC 都能实现高水平的定制以符合任何特定项目需求，其中包括用于警示灯或延迟瞬态响应的多级过流检测、选择钳位与关断过压响应以及双向检测电流的能力。

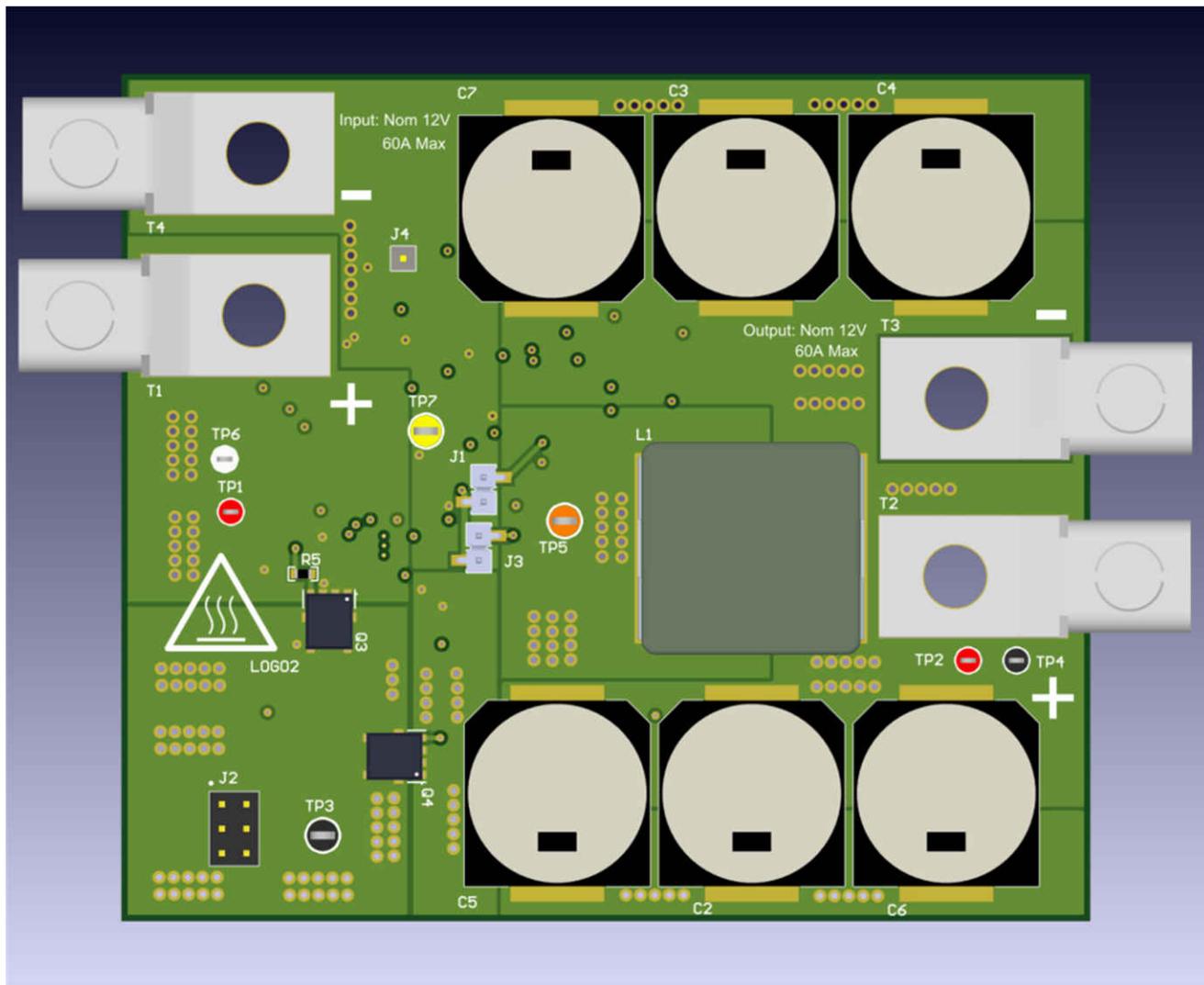


图 1-1. TIDA-020040 滤波器设计

1.1 关键系统规格

表 1-1. 关键系统规格

参数	备注	最小值	典型值	最大值	单位
V_{in}	输入电压	9	12	18	V
V_{limit}	过压限值		18		V
I_{max}	过流限值			60	A
t_{oc}	过流时间阈值		100		ms
f_{out}	输出滤波器截止频率		1		kHz

2 系统概述

2.1 方框图

图 2-1 显示了该设计的方框图。INA302-Q1 提供一个由微控制器进行读取的模拟电流测量输出，以及两个低电平有效的比较器输出，用于指示电流是否高于设置的阈值。可以相互独立地设置两个低电平有效的比较器阈值，并且可以通过外部电容器将其中一个比较器设置为具有延迟。这两个比较器输出用作或门的输入，用于驱动 LM74810 的使能信号。

通过将过流信号连接至 LM74810 的使能引脚，可使理想二极管控制器在出现过流情况时关断。将 INA302 的两个比较器输出与或门结合使用，可以灵活地使用这些比较器输出。以不同阈值使用这两个比较器可在达到过流阈值之前针对持续高电流提供警告信号，并允许存在短时电流瞬态而不触发故障状况。LM74810 可驱动背靠背 N 沟道 MOSFET，从而实现反极性保护、反向电流阻断、浪涌电流控制和过压保护。TPS7B69 是一款提供 INA302 和或门的 LDO，通过电池电压提供 5V VCC。

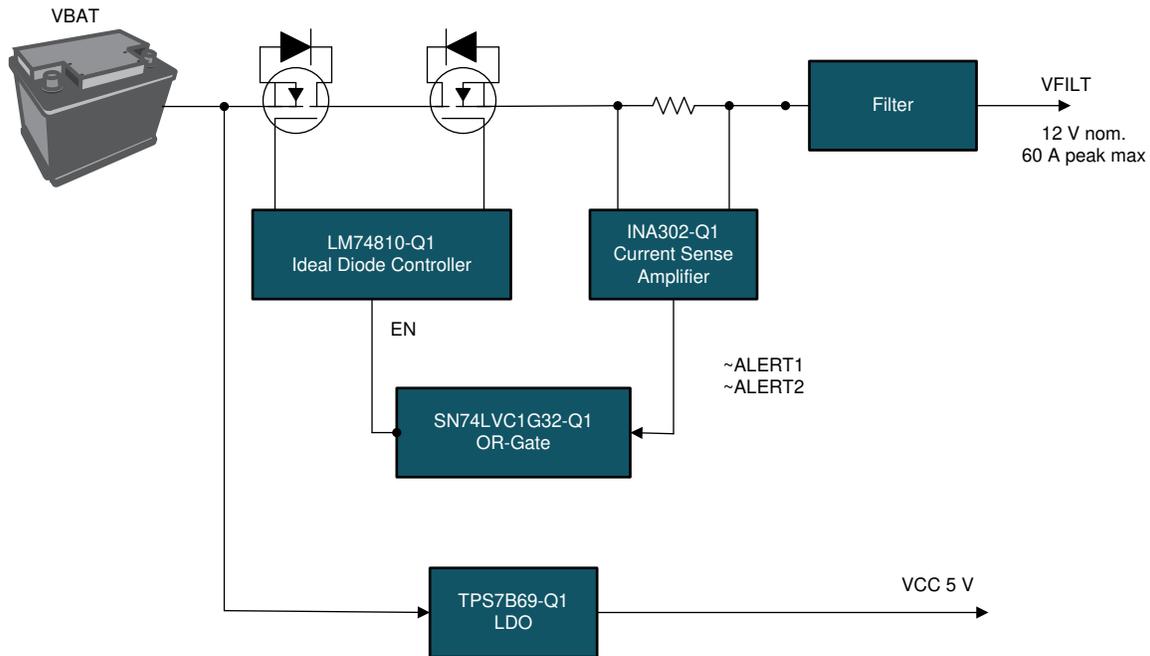


图 2-1. TIDA-020040 方框图

2.2 设计注意事项

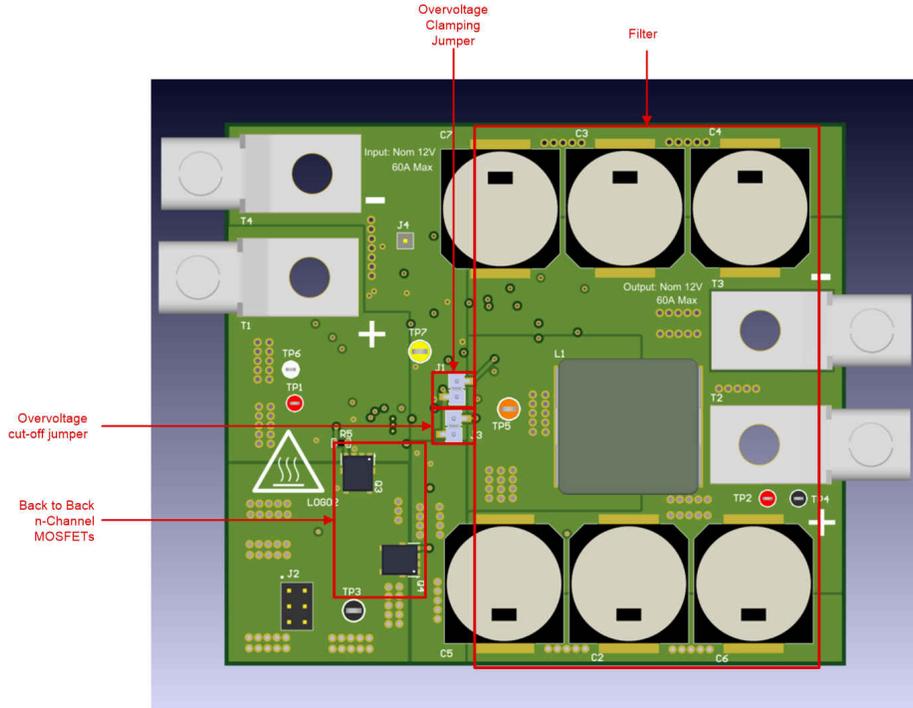


图 2-2. TIDA-020040 PCB 正面

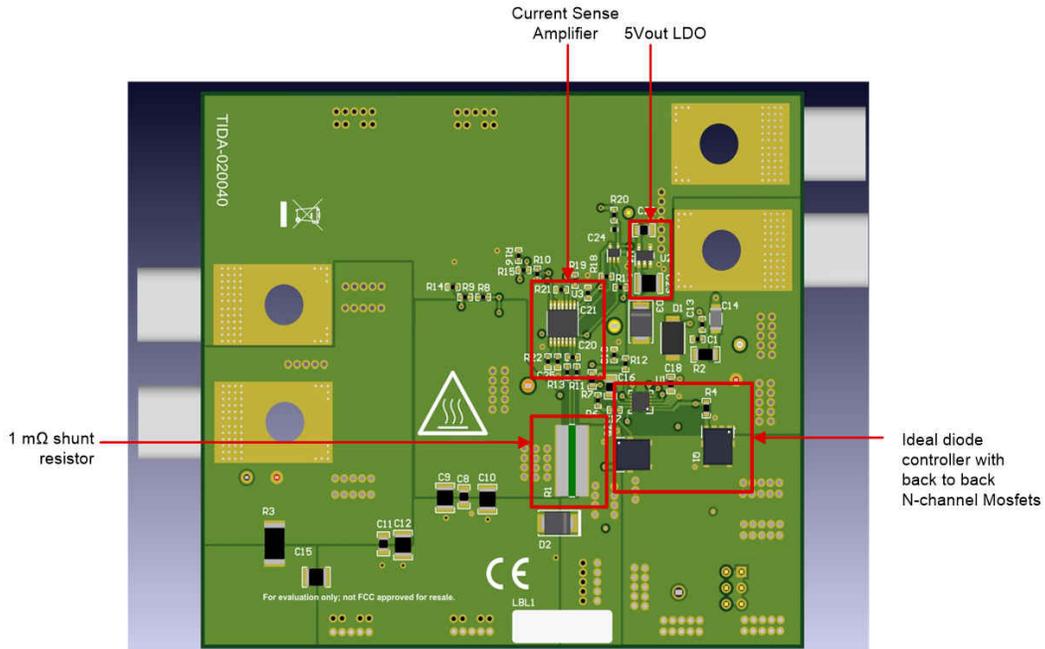


图 2-3. TIDA-020040 PCB 背面

2.2.1 理想二极管设计概述

LM74810-Q1 是一款理想二极管控制器，可驱动和控制外部背对背 N 沟道 MOSFET。第一个 MOSFET 用于替代肖特基二极管，第二个 MOSFET 用于实现负载断开开关控制。LM74810-Q1 具有 3V 至 65V 的宽输入电源电压，适用于保护和控制 12V 汽车电池系统。通过控制这些 MOSFET，LM74810-Q1 可提供反向输入保护、反向电流阻断、浪涌电流控制和可调节过压保护。

TIDA-020040 并行控制两组 MOSFET，帮助降低高电流下 MOSFET R_{dson} 的功耗。

可调节过压保护通过电阻分压器以及与 LM74810-Q1 的 OV 引脚的连接进行控制，该引脚连接至具有 1.23V 设定基准电压的内部比较器。当施加到 OV 的电压高于 1.23V 基准电压时，就会触发过压。

此设计允许将 J1 连接器短路以实现过压钳位，或将 J3 连接器短路以实现过压切断。对于这两种连接，电阻分压器是相同的，以便在 18.2V 下触发过压。

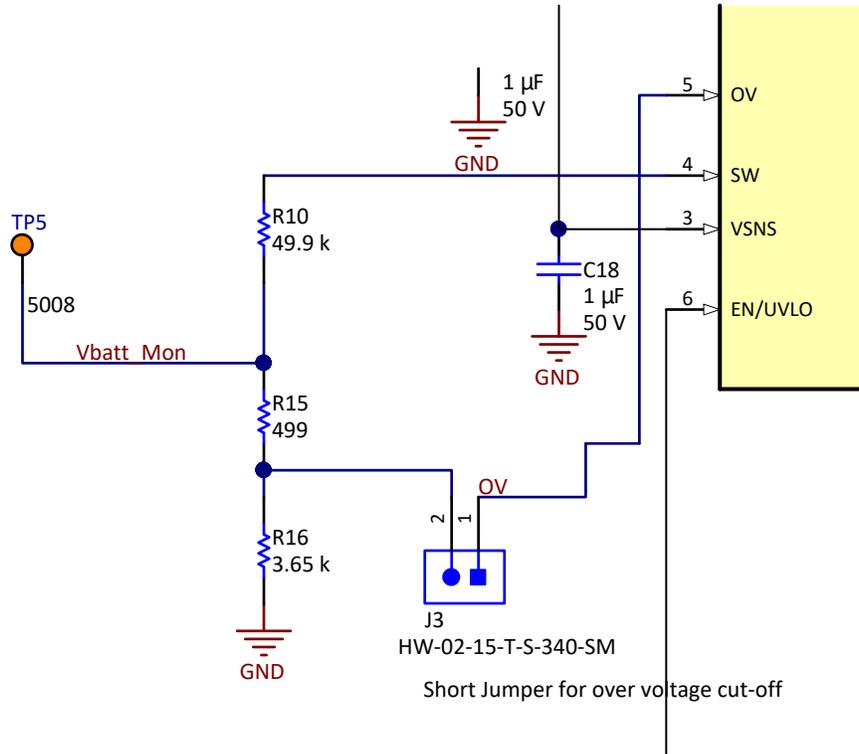


图 2-4. 过压电阻分压器原理图

2.2.2 电流感测放大器设计概述

INA302-Q1 采用一个高共模电流感测放大器和两个高速比较器。这两个高速比较器具有可调的过流阈值，它们彼此独立，从而能够检测超出范围的电流。比较器 1 的响应时间小于 1 μs，而比较器 2 的警报响应时间通过延迟引脚上的外部电容器进行设置，范围介于 2 μs 至 10s 之间。方程式 1 为基于所选电容值确定比较器 2 的延迟响应提供了一种方法。典型值分别为 1.22V 和 5 μA。

本设计的默认值为 470 pF，得到的响应时间大约为 117 μs。根据 LATCH 引脚是被拉高还是拉低，INA302 有两种模式可用于比较器。当 LATCH 引脚为低电平时，INA302 处于透明模式，在这种模式下，ALERT 引脚将跟踪在输入端感测到的电流。因此，如果电流降至过流阈值以下，ALERT 引脚将恢复正常。当 LATCH 引脚被拉高时，INA302 处于锁存模式，一旦检测到过流，ALERT 引脚将发出过流信号，直到切换 LATCH 引脚以重置 ALERT 引脚。锁存模式适用于可以将 LATCH 引脚切换至低电平至少 100 ns 的 MCU。

$$t_{\text{DELAY}} = \begin{cases} \frac{C_{\text{DELAY}} \times V_{\text{TH}}}{I_{\text{D}}} + 2.5\mu\text{s} \\ 1.5\mu\text{s} \end{cases} \quad (1)$$

方程式 2 提供了一种方法，若要获得所需的电流阈值，可使用此方法来确定 LIMIT 引脚所需的电阻值。使用的 INA302A2 器件的增益值为 50 V/V，典型值为 80 μA。本设计具有一个默认为 1 mΩ 的电流感测电阻，LIMIT1 和 LIMIT2 引脚的值均为 37.4 KΩ，可以得到大约 60A 的电流。

$$R_{\text{LIMIT}} = \frac{(I_{\text{TRIP}} \times R_{\text{SENSE}} \times \text{GAIN}) + V_{\text{REF}}}{I_{\text{LIMIT}}} \quad (2)$$

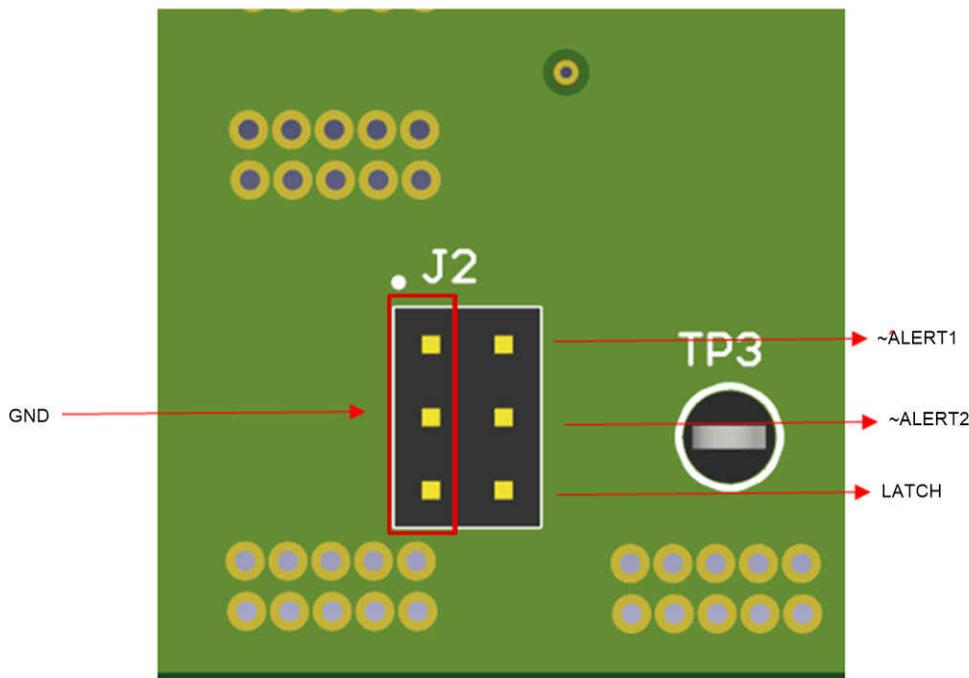


图 2-5. TIDA-020040 设计 J2 连接器

2.2.3 或门设计概述

SN74LVC1G32-Q2 是一款专为 1.65V 至 5.5V VCC 运行而设计的 2 输入正或门。它用于在 ALERT1 和 ALERT2 引脚上执行布尔或函数。该或门连接至 LM74810 的使能引脚，当通过比较器检测到过流状况而将 ALERT1 和 ALERT2 拉至低电平时，可以使该器件关断。这种配置使用 ALERT1 和 ALERT2 比较器输出引脚，它们具有独立的过流触发电平和独立的响应时间（如“电流感测放大器设计概述”一节所示），因此可以实现灵活操作。可以

将比较器 2 设置为在相对于比较器 1 较低的电平下触发，从而让 MCU 读取 ALERT1 作为持续高电流警告。可以将比较器 1 设置为较高触发电平，在过流状况期间拉至低电平。

2.2.4 MOSFET 选型

2.2.4.1 阻断 MOSFET

选择阻断 MOSFET 时需要考虑电气参数，包括流过体二极管的最大源电流和器件的 $R_{ds(on)}$ 。

选择 MOSFET 以及 TVS 二极管时应考虑以下事项：确保在汽车瞬态事件以及任何预期故障状况下不会超越 MOSFET 的阈值。对于本设计，搭配使用了 60V MOSFET 和单个双向 TVS 器件。所选的 MOSFET 具有 $\pm 20V$ 的电压范围以实现安全运行，当施加 LM74810-Q1 提供的最大 14V 电压时，该 MOSFET 可在导通损耗情况下发挥作用，并通过理想二极管控制器提供反向电流保护。因此，LM74810 数据表给出了基于标称工作电流的 MOSFET 选择范围指南。

$$8 \text{ mV} / I_{\text{LOAD(NOMINAL)}} \leq R_{\text{DS(ON)}} \leq 50 \text{ mV} / I_{\text{LOAD(NOMINAL)}} \quad (3)$$

上面提供的范围起到指导作用，同时要牢记基于预期功耗的 MOSFET 耐热性。

2.2.4.2 热插拔 MOSFET

与阻断 MOSFET 的选择相似，额定值应足以应对最大系统电压和瞬态电压事件。此外，额定值应高于 15V 最大 HGATE-OUT 电压。浪涌期间的功耗应在 MOSFET 的安全工作区范围内。

2.2.5 TVS 输入二极管选择

12V 电池系统的 TVS 的击穿电压应高于 24V 快速启动电压和 35V 抑制负载突降电压，同时低于 LM74810-Q1 器件的 65V 最大额定电压。出现负电压时，TVS 二极管击穿电压应高于电池反向连接时的电压，并且负钳位电压不应超过 Q1 MOSFET 两端的电压。本设计使用 SMBJ36CA 提供所需的击穿电压和钳位电压以提供适当保护，并且足以适用于 ISO 7637-2 脉冲 1。

2.2.6 浪涌电流

使用 LM74810-Q1，通过放置一个电容器，在加电期间减慢 HGATE 电压的斜升速度来实现浪涌限制。所需的电容值取决于所需的浪涌电流值以及输出电容的大小。方程式 4 显示了如何计算所需的电容值。在等式中，电流通常为 53 μ A。

$$C_{\text{dvdT}} = \frac{I_{\text{HGATE_DRV}}}{I_{\text{INRUSH}}} \times C_{\text{OUT}} \quad (4)$$

可以通过方程式 5 来计算浪涌电流的持续时间。

$$dT_{\text{INRUSH}} = \frac{12}{I_{\text{INRUSH}}} \times C_{\text{OUT}} \quad (5)$$

2.3 主要产品

2.3.1 LM74810-Q1

LM74810-Q1 理想二极管控制器可驱动和控制外部背对背 N 沟道 MOSFET，从而模拟具有电源路径开/关控制和过压保护功能的理想二极管整流器。3V 至 65V 的宽输入电源电压可保护和控制 12V 和 24V 汽车类电池供电的 ECU。该器件可以承受并保护负载免受低至 -65V 的负电源电压的影响。集成的理想二极管控制器 (DGATE) 可驱动第一个 MOSFET 来代替肖特基二极管，以实现反向输入保护和输出电压保持功能。具有 50 mA 峰值栅极拉电流驱动器级以及短导通和关断延迟时间的 3 mA 强电荷泵可确保快速的瞬态响应，从而确保在汽车测试 (如 ISO16750 或 LV124) 期间实现稳健、高效的 MOSFET 开关性能，在汽车测试中 ECU 会经受输入短时中断以及频率高达 200 KHz 的交流叠加输入信号。在电源路径中使用了第二个 MOSFET 的情况下，该器件允许负载断开 (开/关控制) 并使用 HGATE 控制功能提供过压保护。该器件具有可调节过压切断保护功能，以提供负载突降保护。

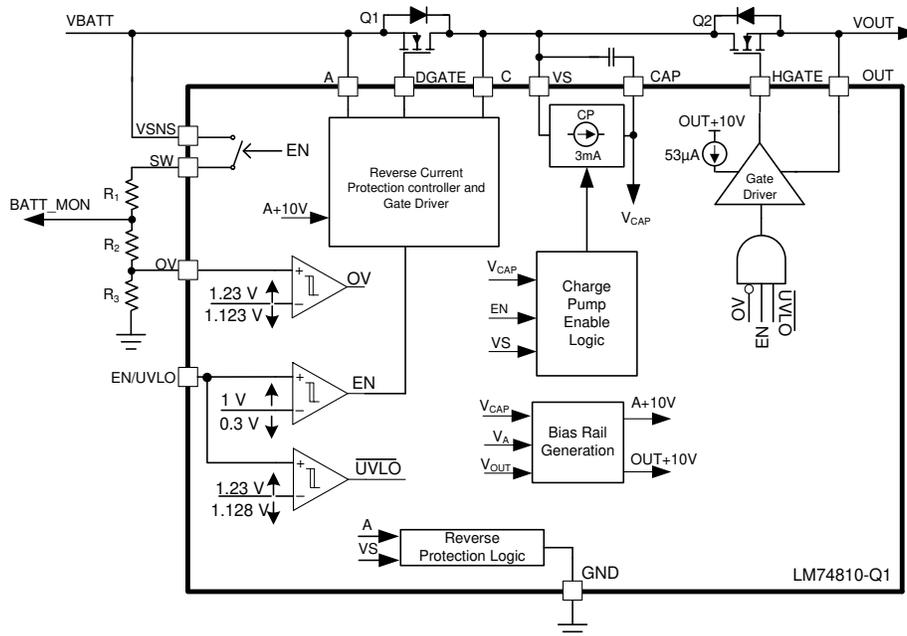


图 2-6. LM74810-Q1 方框图

2.3.2 INA302-Q1

INA302-Q1 和 INA303-Q1 (INA30x-Q1) 器件具有一个高共模、双向、电流感测放大器和两个高速比较器，用于检测超出范围的电流状况。将 INA302-Q1 比较器配置为检测和响应过流状况。INA303-Q1 比较器在窗口配置中被配置为响应过流和欠流状况。这些器件使用外部限位设置电阻器，使每个比较器设置都具有可调限位阈值范围。这些电流分流监控器可在独立于电源的 -0.1V 至 $+36\text{V}$ 共模电压范围内测量差动电压信号。此外，这些器件还将承受高达 40V 的共模电压。

开漏极警报输出可配置为在透明模式（输出状态与输入状态保持一致）或锁存模式（警报输出在锁存复位时清除）下运行。比较器 1 的警报响应时间小于 $1\ \mu\text{s}$ ，而比较器 2 的警报响应时间通过外部电容器进行设置，范围介于 $2\ \mu\text{s}$ 至 10s 之间。

这些器件由单个 2.7V 至 5.5V 电源供电，消耗的最大电源电流为 $950\ \mu\text{A}$ 。这些器件具有 -40°C 至 $+125^\circ\text{C}$ 的扩展级额定工作温度范围，并且采用 14 引脚 TSSOP 封装。

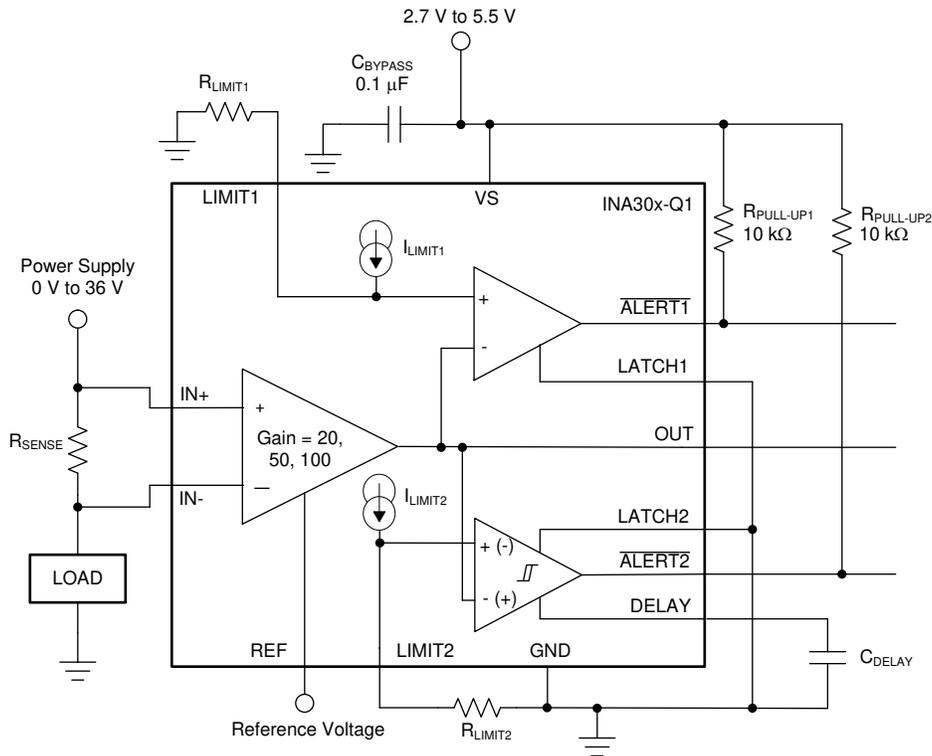


图 2-7. INA302-Q1 方框图

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

3.1.1 入门

1. 让跳线 J1 短路以实现过压钳位，或让跳线 J3 短路以实现过压切断。
2. 将 J2 中的锁存接头连接至 VCC (TP6) 以激活锁存模式。
3. 锁存模式需要将 J2 拉至低电平并持续至少 $100\ \text{ns}$ ，从而切换 INA302 器件的 LATCH 引脚以清除警报并使 LM74810 处于启用状态。
4. 将 J4 连接至电压表以便能够读取 INA302 感测到的电流。
5. 将电源连接至输入接线片连接器。标称电压为 12V 。电源必须能够提供高达 60A 的电流以便触发该设计的默认过流条件。
6. 将电子负载连接至输出接线片。电子负载必须能够吸收高达 60A 的电流并具有相应的额定功率。

3.1.2 测试和结果

3.1.2.1 过压保护切断模式

过压切断模式通过将 J3 连接器短接在一起而实现。这样做会使 OV 引脚连接至电阻分压器，而后者连接至背对背 N 沟道 MOSFET 之间的电压。

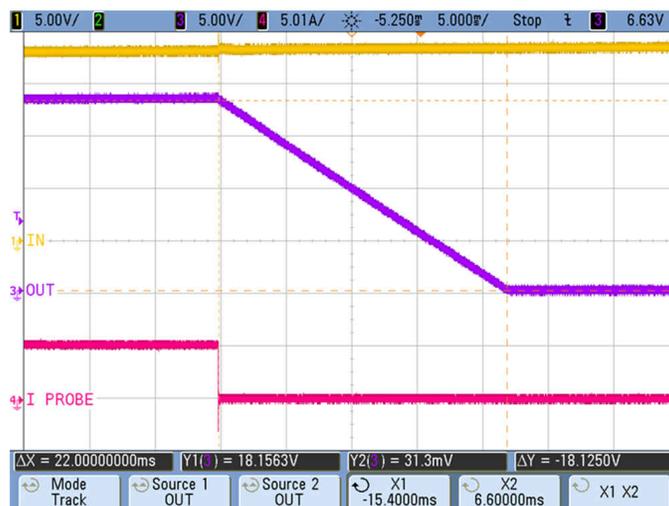


图 3-1. 过压保护切断模式

图 3-1 显示了输入电压达到约 18.2V (对应于由电阻分压器设置的阈值) 时输出关闭。当 OV 比较器检测到过压时, HGATE 将关闭, 将输入与输出断开。输出电压将保持在低电平, 直到该比较器检测到输入电压低于所选阈值。

3.1.2.2 过压保护钳位模式

过压钳位模式通过将 J1 连接器短接在一起而实现。这样做会使 OV 引脚连接至电阻分压器, 而后者连接至由 HGATE 驱动的 MOSFET 源。

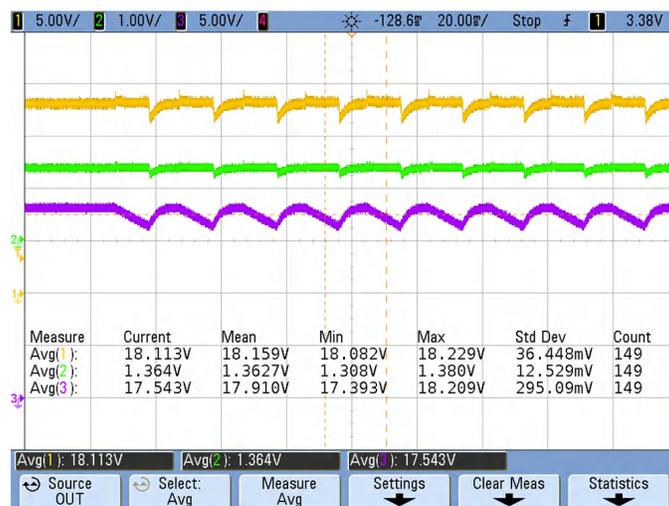


图 3-2. 过压保护钳位模式

图 3-2 显示了通过 HGATE MOSFET 开关来调节输出的过压钳位。通过将 OV 引脚连接至由 HGATE 驱动的 MOSFET 源端的电阻分压器, MOSFET 将会接通和断开, 将电压钳位在输出电平。

3.1.2.3 ISO7637-2 脉冲 1

在 ISO7637-2 脉冲 1 测试过程中会将电池连接断开, 其中, 电压将降至零伏, 然后降至 -100V。图 3-3 显示了所执行测试的典型波形及参数。LM74810 应避免反向电流, 并避免输出电压变为负值, 从而保护电路的其余部分。

适当选择 TVS 对于测试非常重要，可确保负电压钳位在 LM74810 阴极到阳极的 85V 最大工作电压范围内，并且不超过 MOSFET 的 60V。

- U_s : 100 V
- 上升时间 t_r : 1 μ s
- 输出电阻 : 10 Ω
- 脉冲宽度 t_d : 2 ms
- T_2 : 200 ms

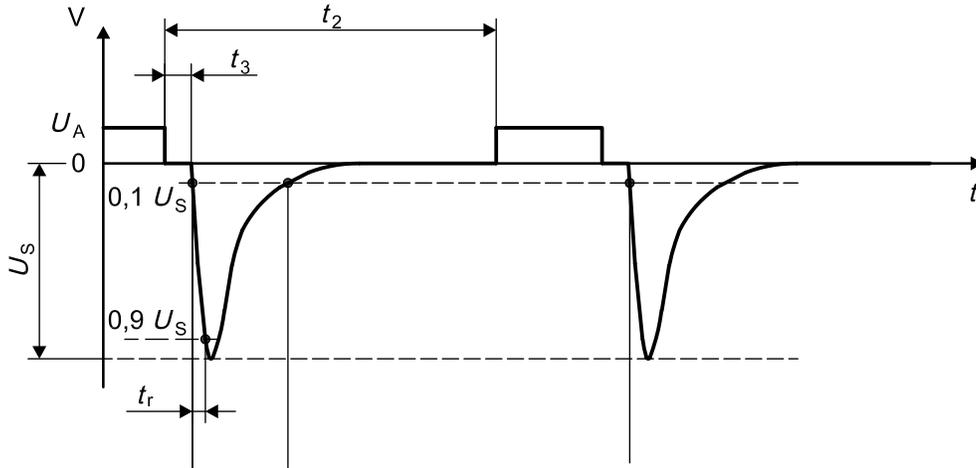


图 3-3. ISO7637-2 脉冲 1

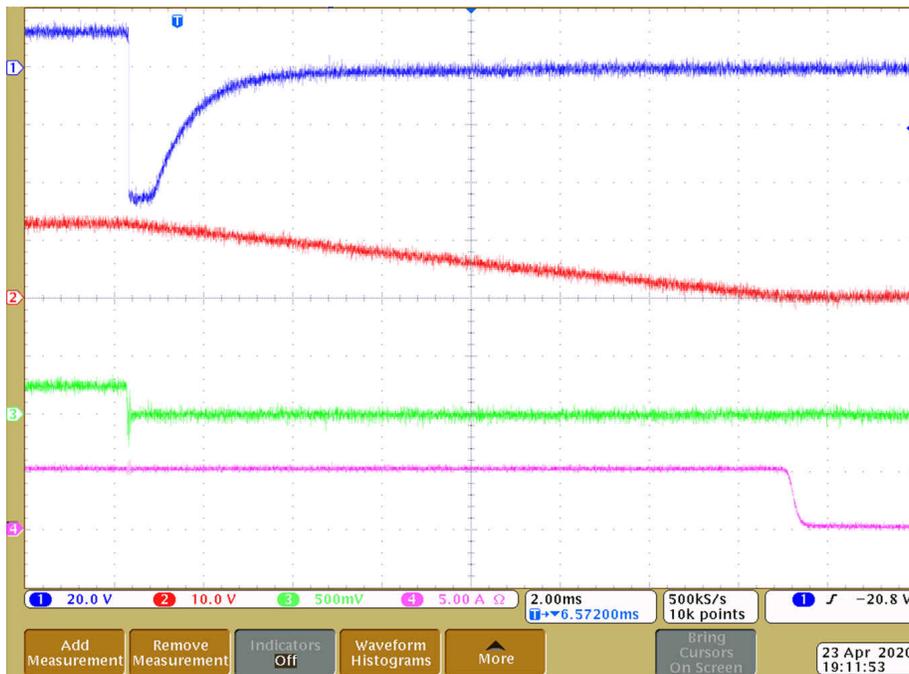


图 3-4. ISO7637-2 脉冲 1 测试

如 图 3-4 所示，黄色迹线表示输入电压，它变为负值，TVS 二极管将输入钳位在大约 -45V。蓝色迹线表示输出，它将降低；绿色迹线表示传输到电子负载的输出电流，它会继续吸收电流，直到输出变为 0V。粉色迹线表示 INA302 输出。

3.1.2.4 过流保护

过流保护测试主要包括确保 INA302 对电流的增加做出适当响应，并在发生过流事件时使电流感测放大器关断 LM74810。如 2.1.1 节所述，INA302 可在锁存模式或透明模式下运行。在锁存模式下执行了图 3-5 和图 3-6 中所示的测试。



图 3-5. 正常瞬态电流

如图 3-5 所示，红色迹线表示电流输出，它显示了电流从 15A 提高到 50A 并持续了 100 ms。过流阈值设置为 60A，因此 EN 引脚在正常瞬态运行中保持在高电平。

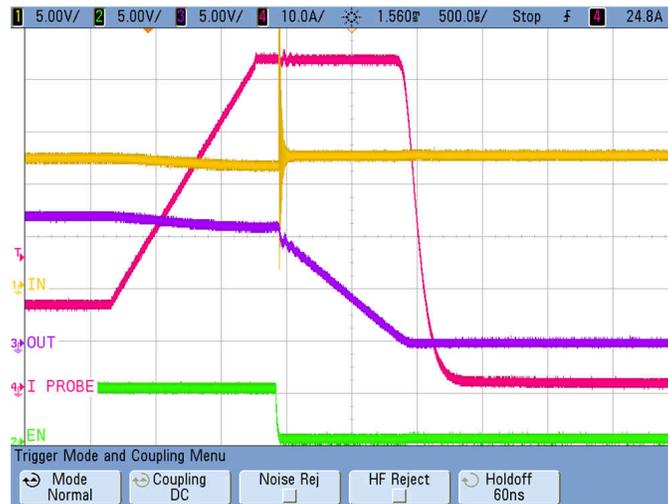


图 3-6. 锁存模式过流保护

如图 3-6 所示，红色迹线表示传输到电子负载的电流输出，该输出发生了 62A 的瞬态并持续了 100ms。如果瞬态持续时间超过约 100 μ s，62A 瞬态将触发过流保护。绿色迹线（即使能信号）在故障状况期间拉至低电平，并将保持低电平，直到切换 INA302 LATCH 引脚以清除该故障。将使能信号拉至低电平将会关断 MOSFET，使输出与输入断开，导致输出电压降低。

3.1.2.5 负载突降

使用 35V 最大瞬态脉冲进行了抑制负载突降测试。图 3-7 中的黄色迹线显示了负载突降瞬态。

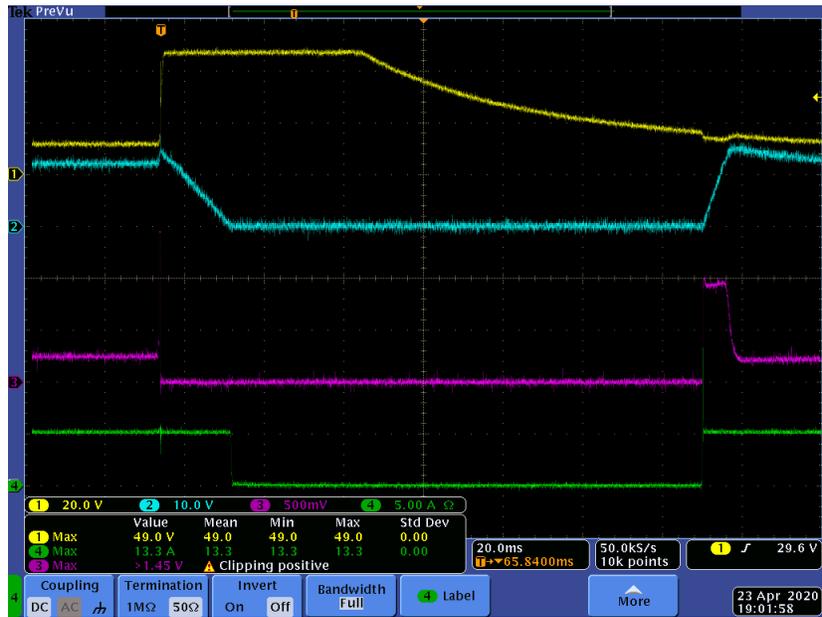


图 3-7. 抑制负载突降测试

当输入电压高于设置的 18.2V 阈值时，LM74810 器件将触发过压保护。蓝色迹线显示了输出电压，当由 HGATE 驱动的 MOSFET 关断时，该输出电压将会降低，以保护所有下游元件不受输入端高电压的影响。高电压瞬态结束后，MOSFET 将重新开启，如 图 3-7 所示。负载突降测试证明了 LM74810 器件具有浪涌限制功能，因为浪涌电流被限制在约 15A。绿色迹线显示了传输给电子负载的输出电流。

3.1.2.6 冷开机、热启动和冷启动

使用德州仪器 (TI) 用于汽车应用测试报告的启动仿真器作为汽车启动仿真器进行了启动脉冲测试。可用的测试波形如下所示。进行测试的目的是确保电池电压下降时 (如不同波形所示) ，该设计能正常运行。

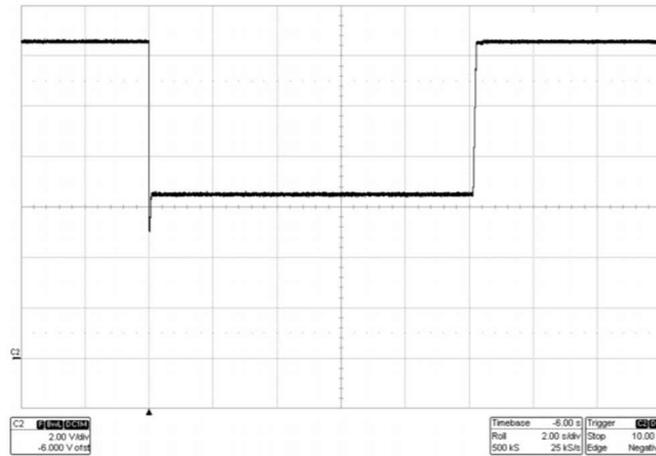


图 3-8. 2s/div 戴姆勒克莱斯勒发动机启动脉冲，DC-10615

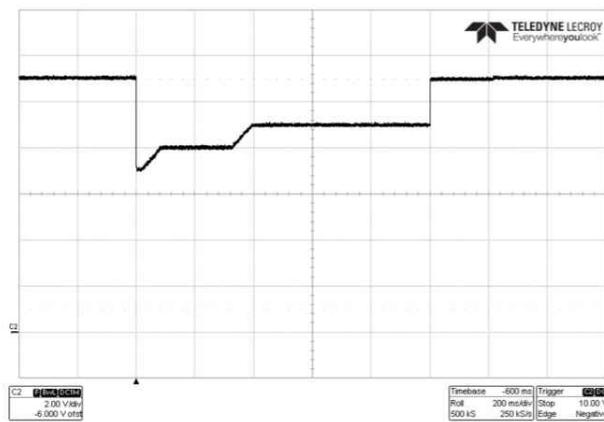


图 3-9. 200ms/div 大众热启动测试脉冲，VM80000

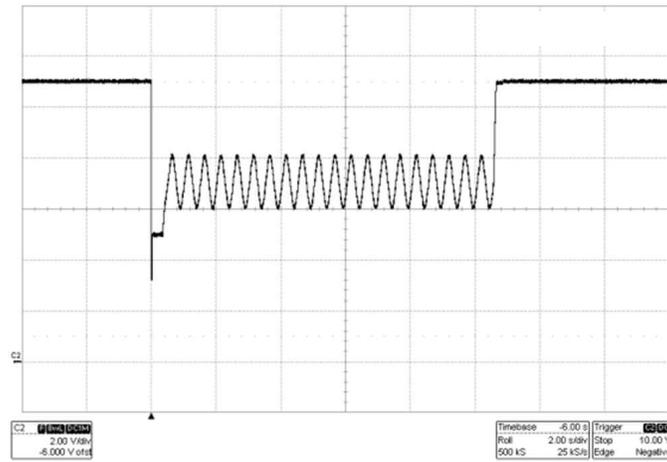


图 3-10. 2s/div 大众冷启动测试脉冲，VW80000

3.1.2.6.1 冷开机

执行冷开机测试是为了确保当输入低于输出时，该设计可避免反向电流。

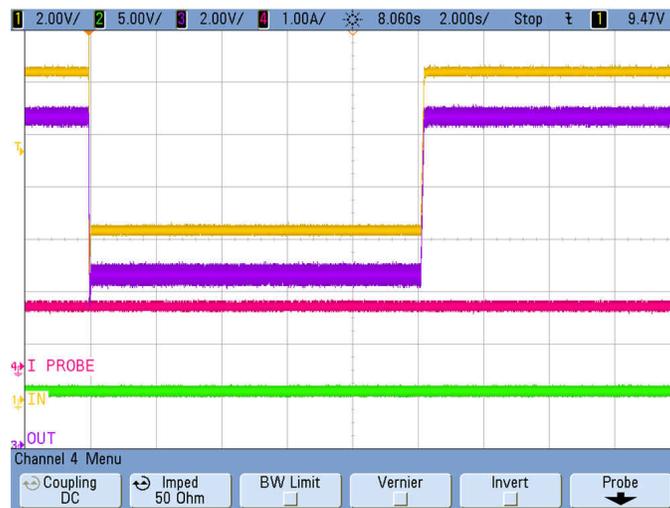


图 3-11. 冷开机波形

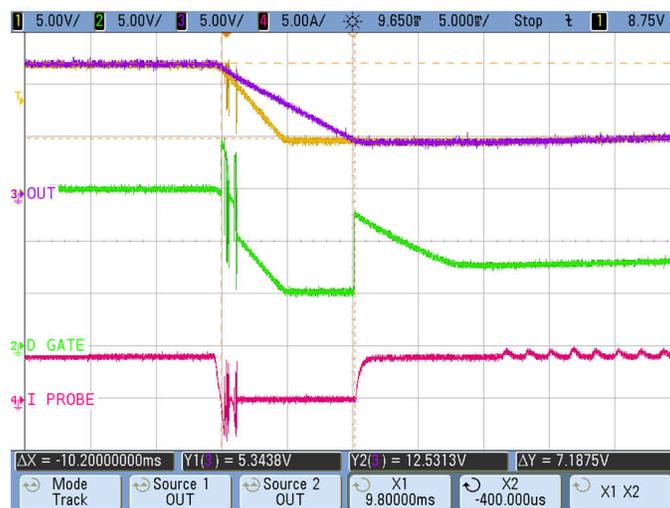


图 3-12. 冷开机反向电流测试

如 图 3-11 所示，输入电压下降至低于输出电压并持续了一段时间，最终恢复到了正常电压电平。在这些冷开机事件中，LM74810 通过使用由 DGATE 驱动 MOSFET，提供反向电流阻断功能。如 图 3-12 所示，绿色迹线是 DGATE 电压，在输入电压下降时关断，从而避免反向电流流回电池。对于 图 3-12 所示的测试，电流负载设为 4A 负载。

3.1.2.6.2 热启动

执行热启动测试的目的是确保该设计在热启动过程中正常运行。在热启动过程中，电池电压将会降低，因此需要确保反向电流阻断功能正常运行。如 图 3-14 所示，当输出电压高于输入电压时，DGATE 会拉至低电平，以确保反向电流阻断功能起作用。

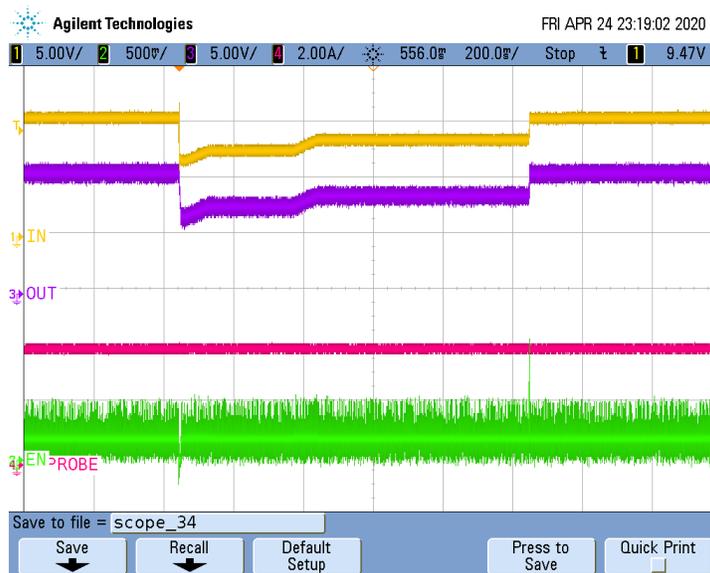


图 3-13. 热启动/启停波形



图 3-14. 热启动测试

3.1.2.6.3 冷启动

冷启动的执行方式与前面所示的启动脉冲测试相似。图 3-15 显示了输入波形。图 3-16 显示了阻断 MOSFET 关断时的电流下降，以防反向电流流动。

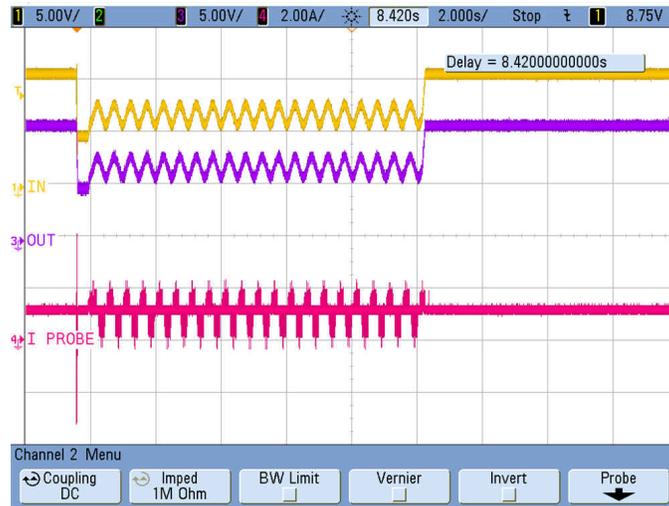


图 3-15. 冷启动波形

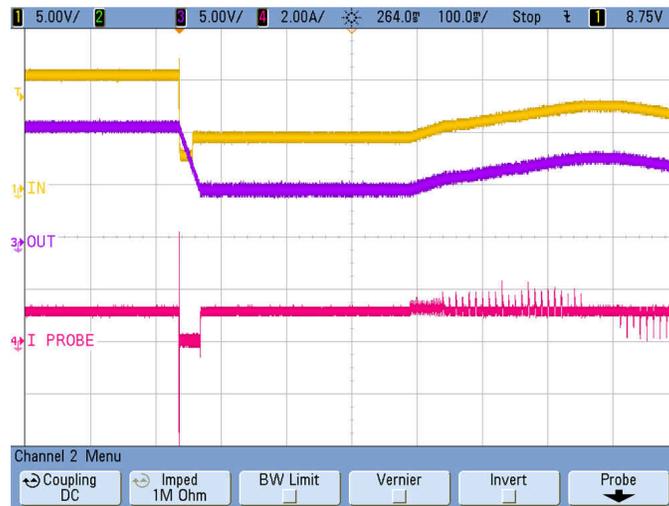


图 3-16. 冷启动测试

3.1.2.7 待机电流

本设计的待机电流测试需要移除或门以便将使能引脚设置为低电平并将 LM74810 器件置于关断模式。移除或门并将 LM74810 置于关断模式后，待机期间测得的电流约为 900 μA 。很大一部分电流归因于 INA302 器件的典型静态电流。从电路板上取下 INA302 器件后，待机电流约为 17 μA 。

若要获得所需的待机电流值，建议使用具有使能功能的 LDO 以轻松关闭 INA302 的电源。

3.1.2.8 电流感测精度

对该设计进行了电流感测精度测试，从低电流电平开始，然后将电流增加到最大 24A。该设计采用的分流电阻器为 1m Ω 电阻器，并且 IN302 的增益为 50V/V。与电子负载消耗的电流相比，表 3-1 包括由 INA302 测得的电流。

表 3-1. 电流感测精度测试数据

电子负载电流	INA OUT (V)	INA OUT (A) 输出 / (Rs*增益)
0.53	0.02595	0.519
1.03	0.05092	1.0184
2.03	0.10082	2.0164

表 3-1. 电流感测精度测试数据 (continued)

电子负载电流	INA OUT (V)	INA OUT (A) 输出/ (Rs*增益)
3.04	0.15157	3.0314
5.04	0.2513	5.026
10.05	0.50196	10.0392
15.03	0.7514	15.028
20.02	1.0016	20.032
24.03	1.202	24.04

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

若要下载原理图，请参阅 [TIDA-020040](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

若要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-020040](#) 中的设计文件。

4.2 文档支持

- 德州仪器 (TI)，[具有有源整流功能、用于驱动 B2B NFET 的汽车类理想二极管控制器数据表](#)
- 德州仪器 (TI)，[具有双比较器的 36V、双向、550 kHz、4 V/μs 高精度电流感测放大器数据表](#)

4.3 支持资源

[TI E2E™ 支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题可获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的《[使用条款](#)》。

4.4 商标

TI E2E™ is a trademark of Texas Instruments.

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司