INA310x-Q1 符合 AEC-Q100 标准、具有开漏比较器和基准的 –4V 至 110V、1.3MHz 超精密电流检测放大器

1 特性

- 符合面向汽车应用的 AEC-Q100 标准：
  - 温度等级 1：-40°C 至 +125°C，T_A
- 功能安全型
  - 可帮助进行功能安全系统设计的文档
- 宽共模电压：
  - 工作电压：–4V 至 +110V
  - 可承受电压：-20 V 至 +120 V
- 高信号带宽：1.3 MHz
- 压摆率：2.5 V/µs
- 出色的共模抑制比 (CMRR)：160 dB
- 精度
  - 增益误差（最大值）
    - 版本 A：0.15%，10ppm/°C 漂移
    - 版本 B：0.5%，20ppm/°C 漂移
  - 失调电压（最大值）
    - 版本 A：±20µV，±0.25µV/°C 温漂
    - 版本 B：±150µV，±1µV/°C 温漂
- 板载开漏比较器
- 内部比较器电压基准：0.6V
- 传播延迟时间：1 µs
- 比较器锁存功能
- 可用增益：
  - INA310A1-Q1、INA310B1-Q1：20V/V
  - INA310A2-Q1、INA310B2-Q1：50V/V
  - INA310A3-Q1、INA310B3-Q1：100V/V
  - INA310A4-Q1、INA310B4-Q1：200V/V
  - INA310A5-Q1、INA310B5-Q1：500V/V
- 封装选项：VSSOP-8

2 应用

- 电子涡轮/增压器
- 电动助力转向 (EPS)
- 起动机/发电机
- 再生制动
- 制动系统

3 说明

INA310x-Q1 是一款超精密电流检测放大器，可不依赖于电源电压和集成式比较器，在 -4V 至 110V 的宽共模范围内测量分流电阻上的压降。该器件在 20µV（最大值）的低失调电压、0.15%（最大值）的小增益误差和 160dB（典型值）的高直流 CMRR 等特性的综合作用下，可实现高精度电流测量。INA310x-Q1 具有 1.3MHz 的高信号带宽，专为高电压直流电流测量和快速过流保护等高速应用而设计。

INA310x-Q1 包含一个开漏比较器，并提供 0.6V 阈值的内部基准。一个外部电阻分压器设定电流跳变点。比较器具有锁存功能，可通过将 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚接地（或置于开路）进入透明状态。

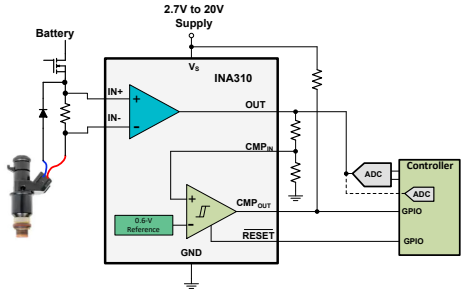
INA310x-Q1 由 2.7V 至 20V 的单电源供电，消耗 1.6mA 的电源电流。INA310x-Q1 有五个增益方案：20V/V、50V/V、100V/V、200V/V 和 500V/V。这些增益选项可以满足宽动态范围电流检测应用。

封装信息

器件型号	封装(1)	封装尺寸(2)
INA310A-Q1	VSSOP (8)	3.00mm × 4.90mm
INA310B-Q1		

(1) 如需了解所有可用封装，请参阅数据表末尾的可订购产品附录。

(2) 封装尺寸（长 × 宽）为标称值，并包括引脚（如适用）。



典型应用

内容

1 特性.....1
2 应用.....1
3 说明.....1
4 修订历史记录.....2
5 引脚配置和功能.....3
6 规格.....4
6.1 绝对最大额定值.....4
6.2 ESD 等级.....4
6.3 建议运行条件.....4
6.4 热性能信息.....4
6.5 电气特性.....5
6.6 典型特性.....7
7 详细说明.....14
7.1 概述.....14
7.2 功能方框图.....14
7.3 特性说明.....14
7.4 器件功能模式.....16
8 应用和实施.....20
8.1 应用信息.....20
8.2 典型应用.....21
8.3 电源相关建议.....24
8.4 布局.....25
9 器件和文档支持.....26
9.1 接收文档更新通知.....26
9.2 支持资源.....26
9.3 商标.....26
9.4 静电放电警告.....26
9.5 术语表.....26
10 机械、封装和可订购信息.....26

4 修订历史记录

日期	修订版本	说明
May 2023	*	初始发行版

5 引脚配置和功能

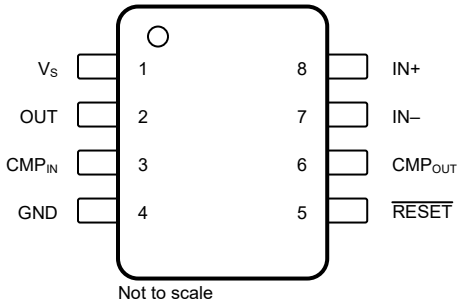


图 5-1. INA310x-Q1：DGK 封装 8 引脚 VSSOP 顶视图

表 5-1. 引脚功能

引脚		类型	说明
名称	编号		
V_S	1	电源	电源，2.7V 至 20V
OUT	2	输出	输出电压
CMP_{IN}	3	输入	比较器输入
GND	4	接地	接地
$\overline{RESET}$	5	输入	比较器复位引脚，低电平有效（低电平：透明模式，高电平：锁存模式）
CMP_{OUT}	6	输出	比较器输出（当 $\overline{RESET}$ = 高电平时锁存为高电平）
IN –	7	输入	分流电阻负检测输入。对于高侧应用，连接至检测电阻的负载侧。对于低侧应用，连接至检测电阻的接地侧。
IN+	8	输入	分流电阻正检测输入。对于高侧应用，连接至检测电阻的总线电压侧。对于低侧应用，连接至检测电阻的负载侧。

6 规格

6.1 绝对最大额定值

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）(1)

			最小值	最大值	单位
V_S	电源电压		–0.3	22	V
V_{IN+}、V_{IN-}	模拟输入	差分电压 (V_{IN+}) – (V_{IN-})(2)	–12	12	V
		V_{IN+}、V_{IN-}，相对于 GND(2)	-20	120	
V_{OUT}	模拟输出		GND – 0.3	(V_S) + 0.3	V
	比较器复位引脚		GND – 0.3	(V_S) + 0.3	V
	比较器模拟输入		GND – 0.3	最小值 5.5 或 V_S	V
	比较器输出		GND – 0.3	22	V
	进入任一引脚的输入电流			5	mA
T_A	工作温度		-55	150	°C
T_J	结温		-65	150	°C
T_{stg}	贮存温度		–65	150	°C

(1) 超出绝对最大额定值运行可能会对器件造成损坏。绝对最大额定值并不表示器件在这些条件下或在建议运行条件以外的任何其他条件下能够正常运行。如果超出建议工作条件但在绝对最大额定值范围内使用，器件可能不会完全正常运行，这可能影响器件的可靠性、功能和性能，并缩短器件寿命。

(2) V_{IN+} 和 V_{IN-} 分别为 IN+ 和 IN – 引脚上的电压。

6.2 ESD 等级

			值	单位
$V_{(ESD)}$	静电放电	人体放电模型 (HBM)，符合 AEC Q100-002(1)	±2000	V
		充电器件模型 (CDM)，符合 AEC Q100-011	±1000	

(1) AEC Q100-002 指示应当按照 ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 规范执行 HBM 应力测试。

6.3 建议运行条件

在自然通风条件下的工作温度范围内测得（除非另有说明）

		最小值	标称值	最大值	单位
V_{CM}	共模输入范围	-4	48	110	V
V_S	运行电源电压	2.7	5	20	V
V_{SENSE}	差分检测输入范围	0		V_S / G	V
T_A	自然通风工作温度	-40		125	°C

6.4 热性能信息

热指标(1)		INA310x-Q1 DGK (VSSOP) 8 引脚	单位
$R_{\theta JA}$	结至环境热阻	172.2	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	结至外壳（顶部）热阻	63.5	°C/W
$R_{\theta JB}$	结至电路板热阻	93.8	°C/W
Ψ_{JT}	结至顶部特征参数	9.8	°C/W
Ψ_{JB}	结至电路板特征参数	92.2	°C/W

(1) 有关新旧热指标的更多信息，请参阅半导体和 IC 封装热指标应用报告。

6.5 电气特性

T_A = 25°C、V_{SENSE} = V_{IN+} – V_{IN-} = 0.5V /增益、V_S = 5.0V、V_{CM} = V_{IN-} = 48V、R_{PULLUP}= 5.1kΩ，从 CMP_{out} 连接至 V_s（除非另有说明）

参数		条件	最小值	典型值	最大值	单位
输入						
V_{CM}	共模输入范围	T_A=-40°C 至 +125°C	-4		110	V
CMRR	共模抑制比	INA310Ax-Q1、V_{IN+} = –4V 至 110V、T_A = –40°C 至 +125°C	140	160		dB
		INA310Ax-Q1、f = 50kHz		85		
		INA310Bx-Q1、V_{IN+} = –4V 至 110V、T_A = –40°C 至 +125°C	120	140		
		INA310Bx-Q1、f = 50kHz		65		
V_{OS}	失调电压，RTI(1)	INA310A1-Q1		±30	±150	μV
		INA310B1-Q1		±100	±500	
		INA310A2-Q1		±15	±80	
		INA310B2-Q1		±55	±300	
		INA310A3-Q1		±10	±50	
		INA310B3-Q1		±30	±250	
		INA310A4-Q1		±5	±30	
		INA310B4-Q1		±30	±200	
		INA310A5-Q1		±2	±20	
		INA310B5-Q1		±15	±150	
dV_{OS}/dT	温漂，RTI	T_A = –40°C 至 +125°C、INA310A1-Q1、INA310A2-Q1、INA310A3-Q1		±0.05	±0.5	μV/°C
		T_A = –40°C 至 +125°C、INA310A4-Q1、INA310A5-Q1		±0.025	±0.25	
		T_A = –40°C 至 +125°C、INA310Bx-Q1		±0.1	±1	
PSRR	电源抑制比，RTI	INA310A1-Q1、2.7V ≤ V_S ≤ 20V、T_A = –40°C 至 +125°C		±1	±8	μV/V
		INA310A2-Q1、INA310A3-Q1、2.7V ≤ V_S ≤ 20V、T_A = –40°C 至 +125°C		±0.3	±3	
		INA310A4-Q1、INA310A5-Q1、2.7V ≤ V_S ≤ 20V、T_A = –40°C 至 +125°C		±0.1	±1	
		INA310Bx-Q1、2.7V ≤ V_S ≤ 20V、T_A = –40°C 至 +125°C		±1.5	±10	
I_B	输入偏置电流	I_{B+}、I_{B-}、V_{SENSE} = 0mV	10	20	30	μA
输出						
G	增益	INA310A1-Q1、INA310B1-Q1		20		V/V
		INA310A2-Q1、INA310B2-Q1		50		
		INA310A3-Q1、INA310B3-Q1		100		
		INA310A4-Q1、INA310B4-Q1		200		
		INA310A5-Q1、INA310B5-Q1		500		
G_{ERR}	增益误差	INA310Ax-Q1、GND + 50mV ≤ V_{OUT} ≤ V_S -200mV		±0.02%	±0.15%	
		INA310Bx-Q1、GND + 50mV ≤ V_{OUT} ≤ V_S -200mV		±0.07%	±0.5%	
		INA310Ax-Q1、T_A = –40°C 至 +125°C		1	10	ppm/°C
		INA310Bx-Q1、T_A = –40°C 至 +125°C		2	20	
NL_{ERR}	非线性误差	GND + 50mV ≤ V_{OUT} ≤ V_S – 200mV		±0.01		%
	最大容性负载	无持续振荡，无隔离电阻		500		pF
电压输出						
V_{SP}	相对于 V_S 电源轨的摆幅	R_{LOAD} = 10kΩ 至 GND、T_A = –40°C 至 +125°C		(V_S) – 70	(V_S) – 150	mV
V_{SN}	到 GND 的摆幅	R_{LOAD} = 10kΩ 至 GND、T_A = –40°C 至 +125°C、V_{SENSE} = 0mV		(V_{GND})5	(V_{GND})20	mV

T_A = 25°C、V_{SENSE} = V_{IN+} – V_{IN-} = 0.5V /增益、V_S = 5.0V、V_{CM} = V_{IN-} = 48V、R_{PULLUP}= 5.1kΩ，从 CMP_{out} 连接至 V_s（除非另有说明）

参数		条件	最小值	典型值	最大值	单位
频率响应						
BW	带宽	INA310A1-Q1、INA310B1-Q1、C_{LOAD} = 5pF、V_{SENSE} = 200mV		1300		kHz
		INA310A2-Q1、INA310B2-Q1、C_{LOAD} = 5pF、V_{SENSE} = 80mV		1300		
		INA310A3-Q1、INA310B3-Q1、C_{LOAD} = 5pF、V_{SENSE} = 40mV		1000		
		INA310A4-Q1、INA310B4-Q1、C_{LOAD} = 5pF、V_{SENSE} = 20mV		900		
		INA310A5-Q1、INA310B5-Q1、C_{LOAD} = 5pF、V_{SENSE} = 8mV		900		
SR	压摆率	上升沿		2.5		V/µs
t_S	趋稳时间	V_{OUT} = 4V ± 0.1V 阶跃，输出稳定至 0.5%		10		µs
		V_{OUT} = 4V ± 0.1V 阶跃，输出稳定至 1%		5		µs
		V_{OUT} = 4V ± 0.1V 阶跃，输出稳定至 5%		1		µs
噪声						
V_{en}	电压噪声密度			50		nV/√Hz
比较器						
$V_{THRESHOLD}$	警报阈值	T_A = 25°C	585	600	615	mV
		T_A=-40°C 至 +125°C	580		620	mV
	Hysteresis	T_A = 25°C		8		mV
t_p	小信号传播延迟	比较器输入过驱 = 20mV		1		µs
	压摆率受限传播延迟	V_{OUT} 阶跃 = 0.5V 至 4.5V、V_{LIMIT} (3) = 4V		1.6		µs
I_{BCMPIN}	输入偏置电流、CMP_{in} 引脚	T_A = 25°C、V_{CMPIN} = 0.4V 至 1.2V	-20	1	20	nA
		T_A = –40°C 至 +125°C、V_{CMPIN} = 0.4V 至 1.2V			250	nA
I_{LKG}	高电平漏电流	V_{CMPout} = V_S			1	µA
V_{OL}	低电平输出电压	I_{OL} = 2.35mA			300	mV
		T_A = –40°C 至 +125°C、I_{OL} = 2.35mA			350	mV
V_{IH}	$\overline{RESET}$ 高电平输入电压阈值(2)	T_A = –40°C 至 +125°C	1.2			V
V_{IL}	$\overline{RESET}$ 低电平输入电压阈值(2)	T_A = -40°C 至 +125°C			0.4	V
	最小 $\overline{RESET}$ 脉冲宽度	T_A = -40°C 至 +125°C		100	200	ns
	$\overline{RESET}$ 传播延迟			250		ns
电源						
V_S	电源电压范围	T_A = –40°C 至 +125°C	2.7		20	V
I_Q	静态电流			1.6	2	mA
		T_A = –40°C 至 +125°C			2.25	mA

(1) RTI = 以输入为参考。
(2) $\overline{RESET}$ 输入具有一个内部 2MΩ（典型值）下拉电阻。$\overline{RESET}$ 开路，变为低电平状态，比较器透明模式运行。
(3) 处于外部电阻设置的过流阈值时，V_{LIMIT} 为 V_{OUT}。

6.6 典型特性

T_A = 25°C、V_S = 5V、V_{SENSE} = V_{IN+} – V_{IN-} = 0.5V/增益、V_{CM} = V_{IN-} = 48V、R_{PULLUP}= 5.1kΩ（除非另有说明）。

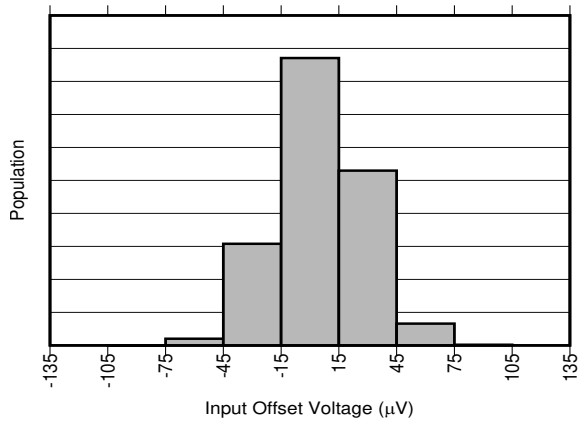


图 6-1. INA310A1-Q1 输入失调电压产生分布图

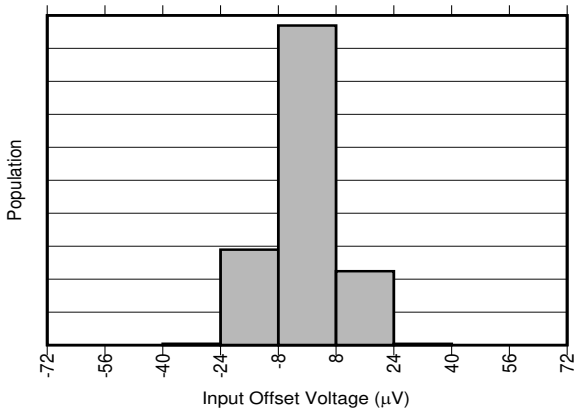


图 6-2. INA310A2-Q1 输入失调电压产生分布图

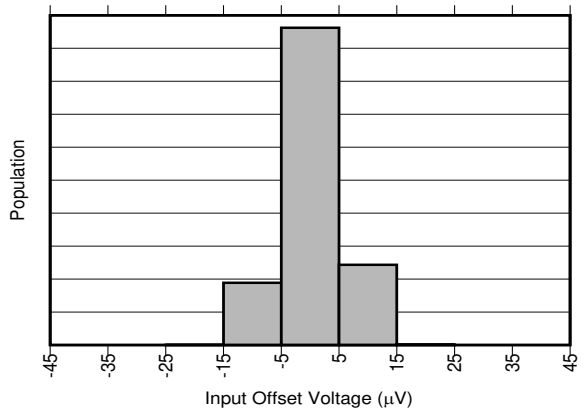


图 6-3. INA310A3-Q1 输入失调电压产生分布图

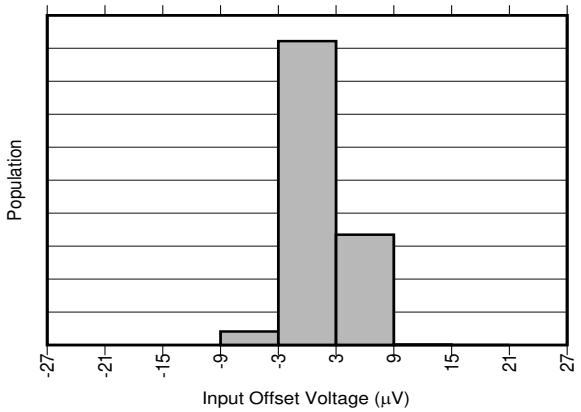


图 6-4. INA310A4-Q1 输入失调电压产生分布图

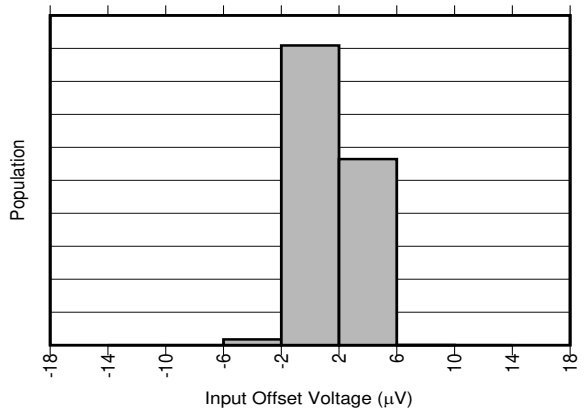


图 6-5. INA310A5-Q1 输入失调电压产生分布图

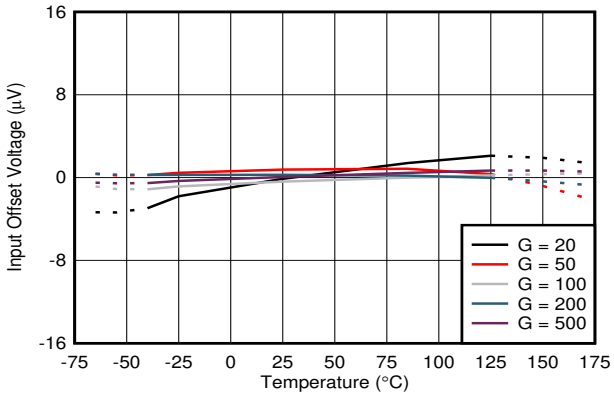


图 6-6. 输入失调电压与温度间的关系

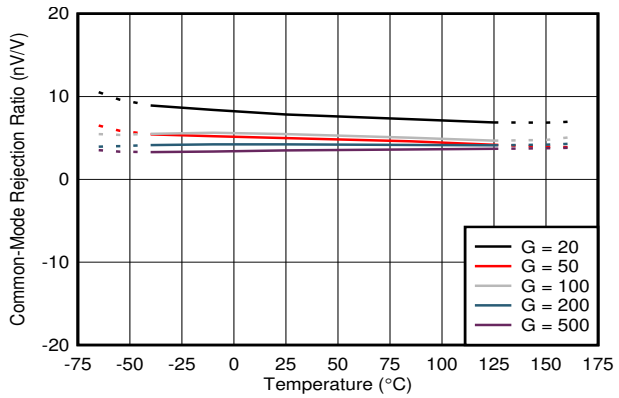


图 6-7. 共模抑制比与温度间的关系

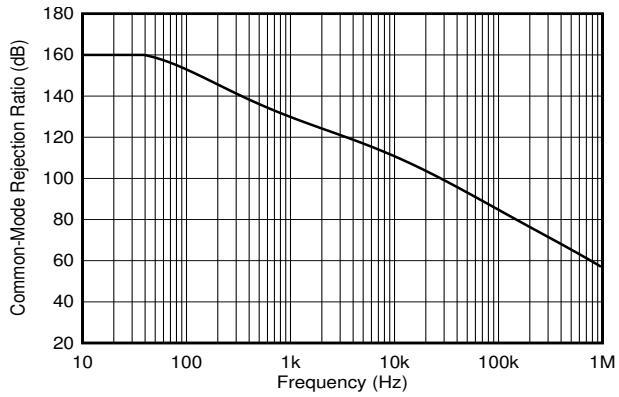


图 6-8. 共模抑制比与频率间的关系

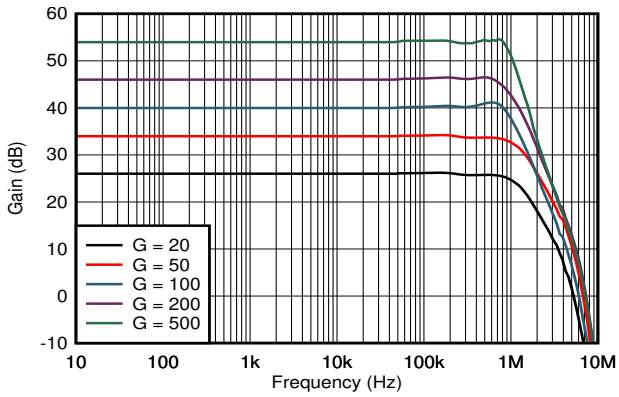


图 6-9. 增益与频率的关系

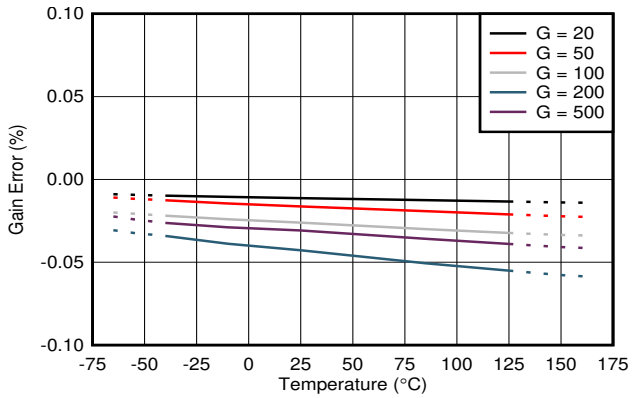


图 6-10. INA310A-Q1 增益误差与温度关系图

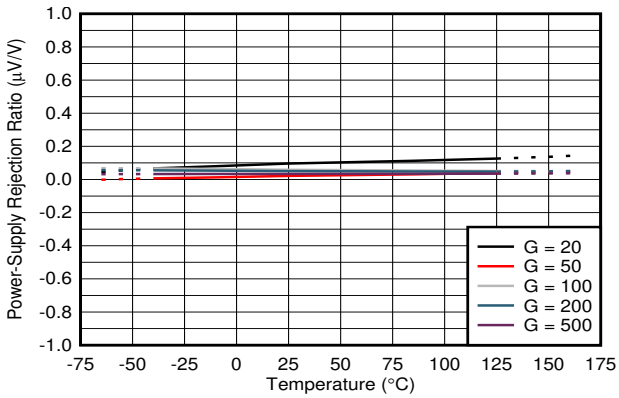


图 6-11. 电源抑制比与温度间的关系

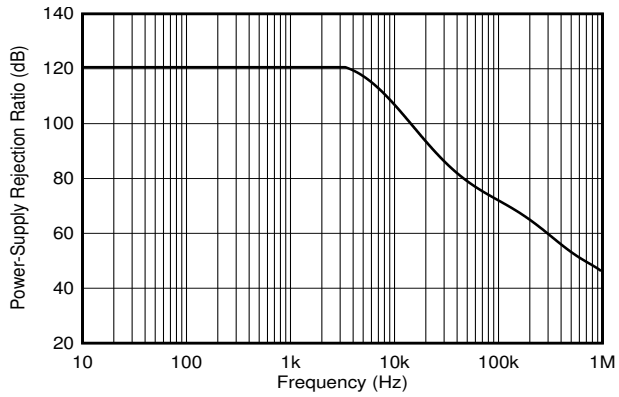
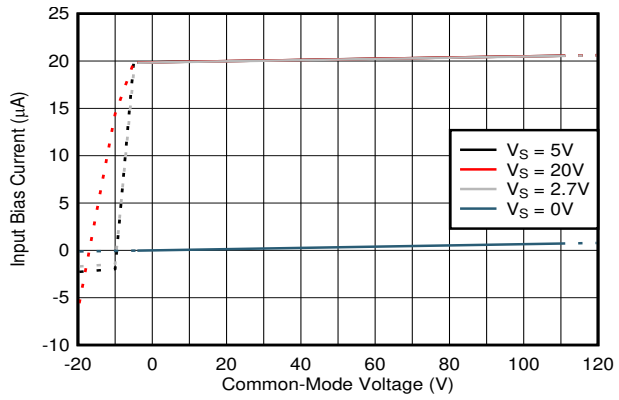


图 6-12. 电源抑制比与频率之间的关系



V_{SENSE} = 0V

图 6-13. 输入偏置电流与共模电压间的关系

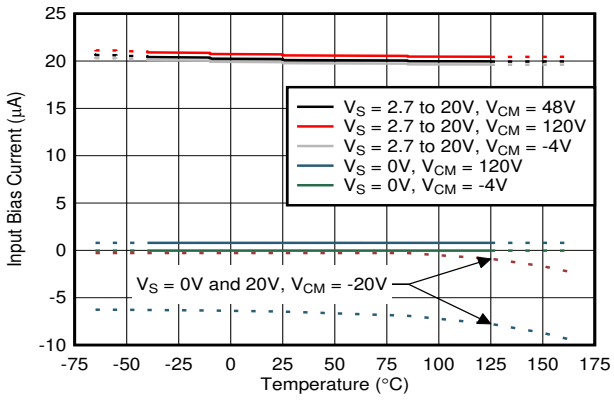


图 6-14. 输入偏置电流与温度间的关系

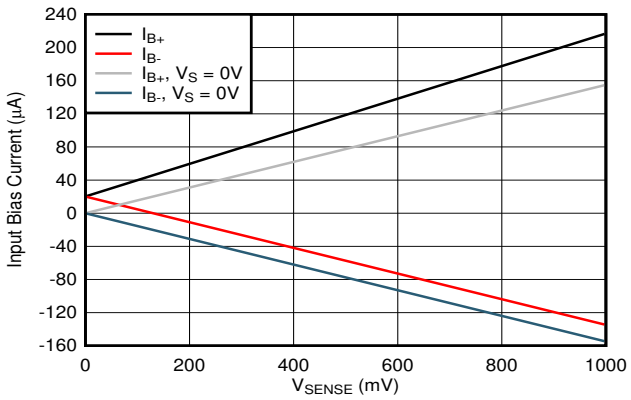


图 6-15. INA310x1-Q1 输入偏置电流与 V_{SENSE} 关系图

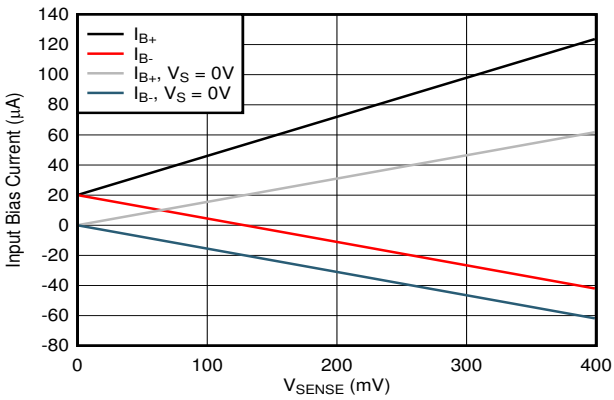


图 6-16. INA310x2-Q1、INA310x3-Q1 输入偏置电流与 V_{SENSE} 关系图

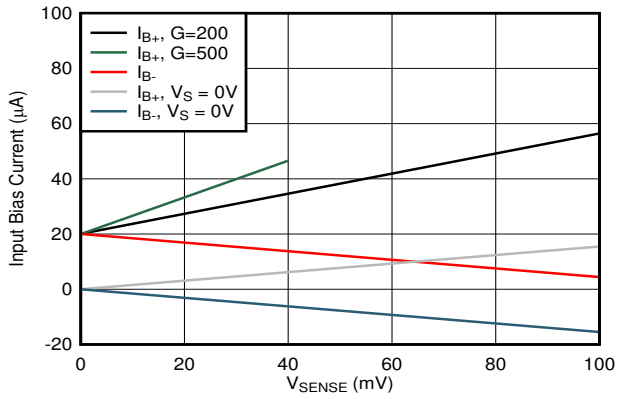
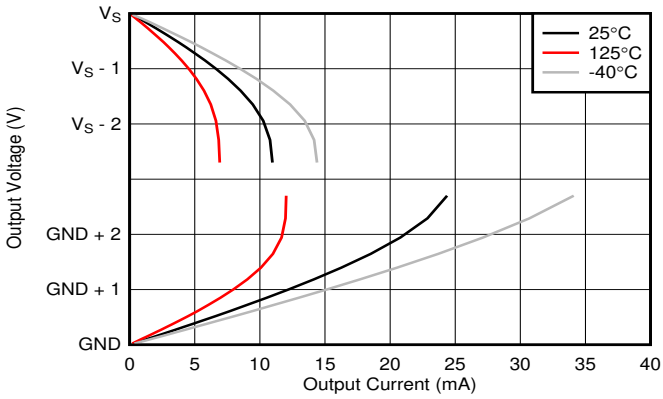
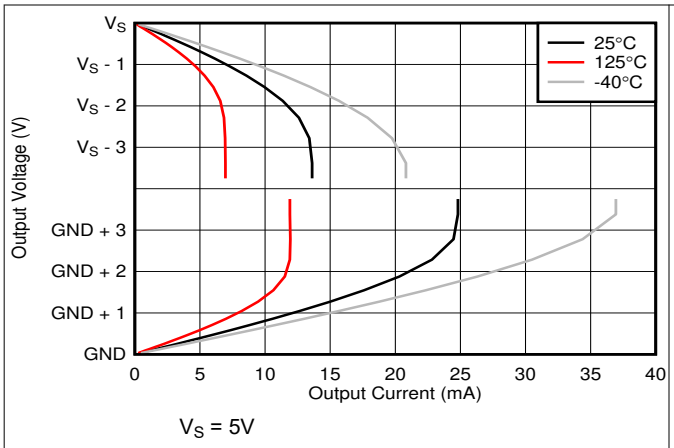


图 6-17. INA310x4-Q1、INA310x5-Q1 输入偏置电流与 V_{SENSE} 关系图



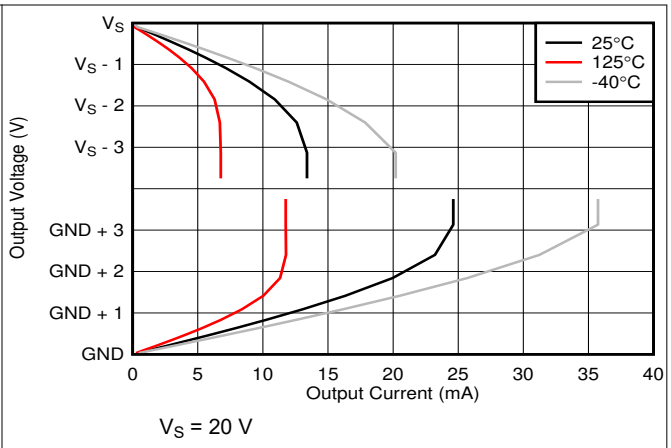
V_S = 2.7V

图 6-18. 输出电压与输出电流间的关系



V_S = 5V

图 6-19. 输出电压与输出电流间的关系



V_S = 20 V

图 6-20. 输出电压与输出电流间的关系

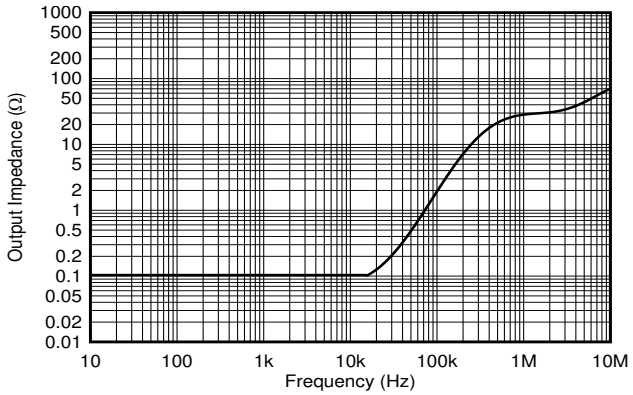


图 6-21. 输出阻抗与频率间的关系

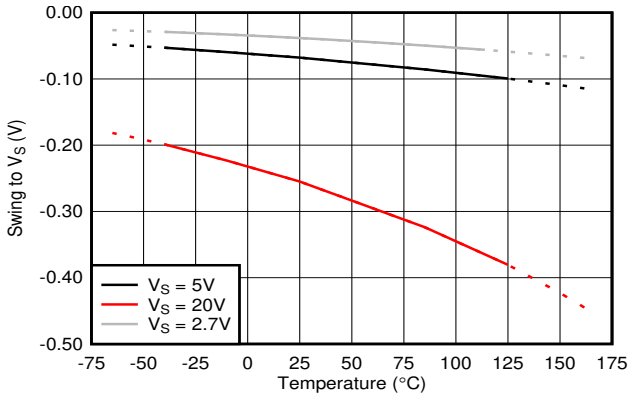


图 6-22. 电源摆幅与温度间的关系

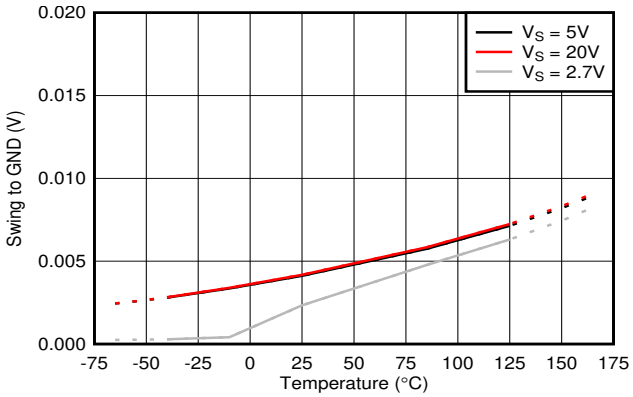


图 6-23. 相对于 GND 的摆幅与温度间的关系

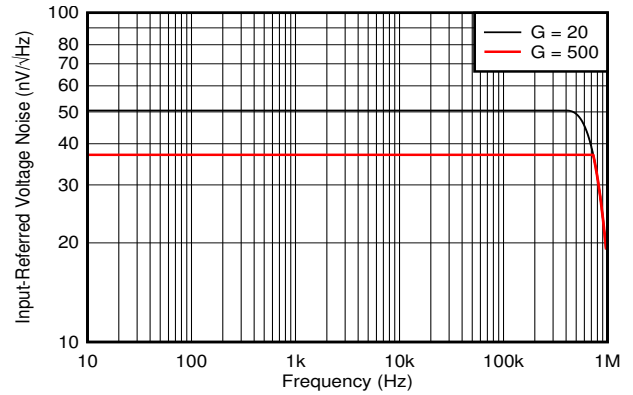


图 6-24. 输入参考噪声与频率间的关系

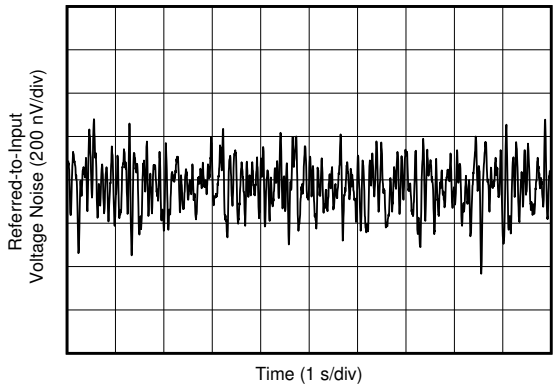


图 6-25. 输入参考噪声

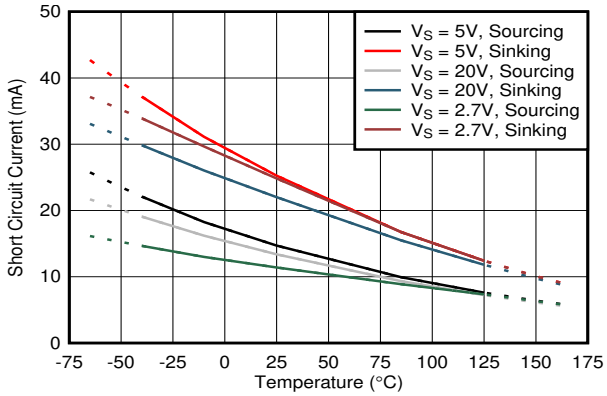


图 6-26. 短路电流与温度间的关系

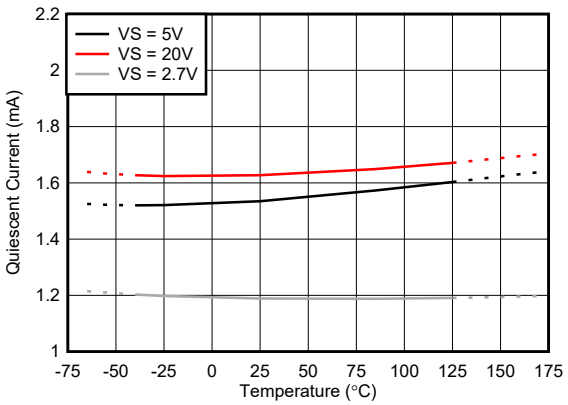


图 6-27. 静态电流与温度间的关系

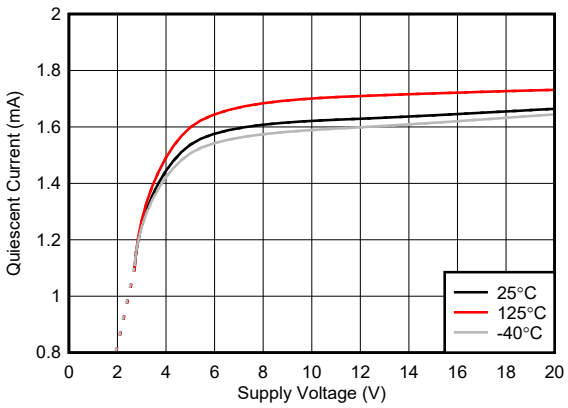


图 6-28. 静态电流与电源电压间的关系

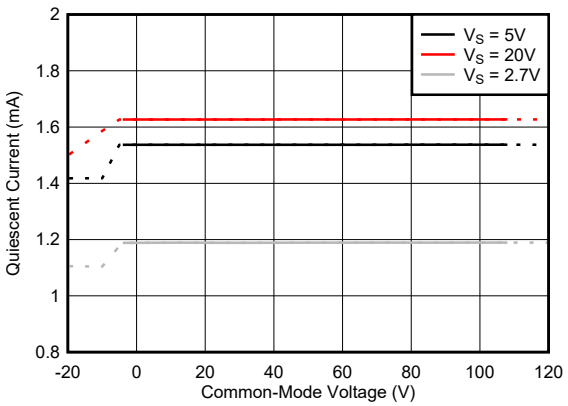


图 6-29. 静态电流与共模电压间的关系

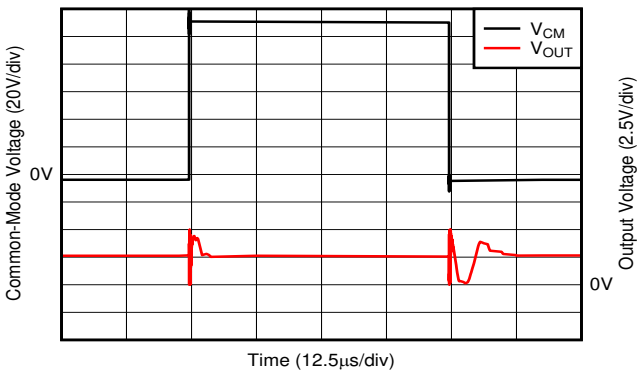


图 6-30. 共模电压快速瞬态脉冲

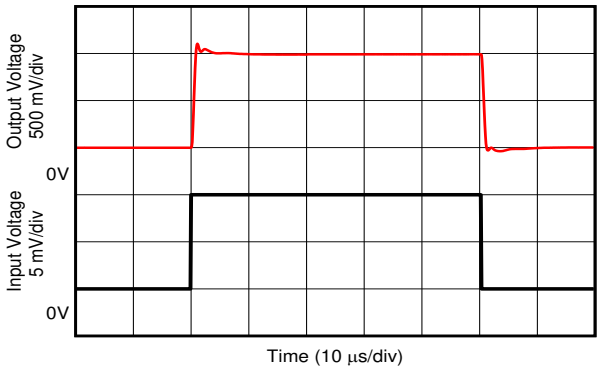


图 6-31. INA310x3-Q1 阶跃响应

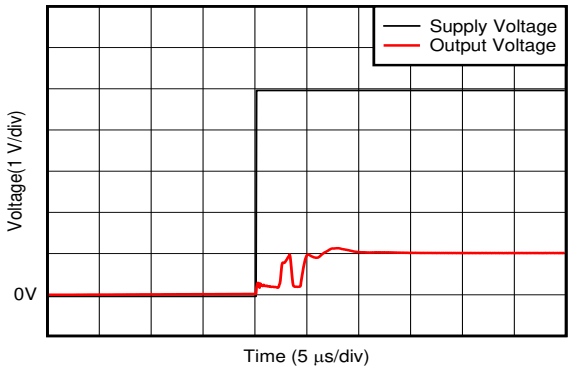


图 6-32. 启动响应

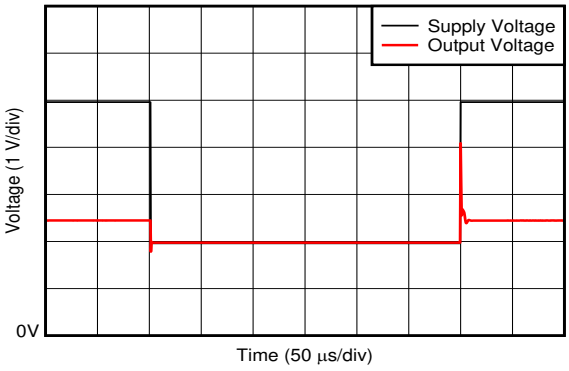


图 6-33. 电源瞬态响应

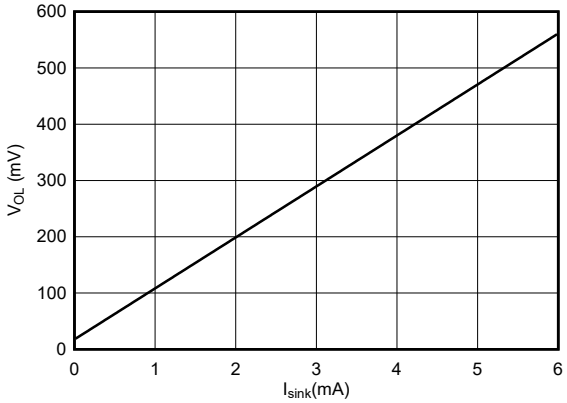


图 6-34. 比较器 V_{OL} 与 I_{SINK} 关系图

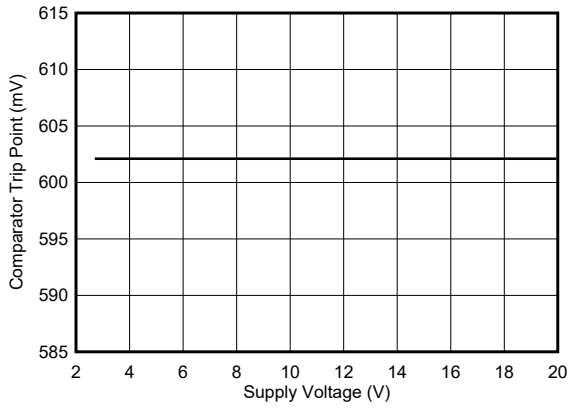


图 6-35. 比较器跳闸点与电源电压关系图

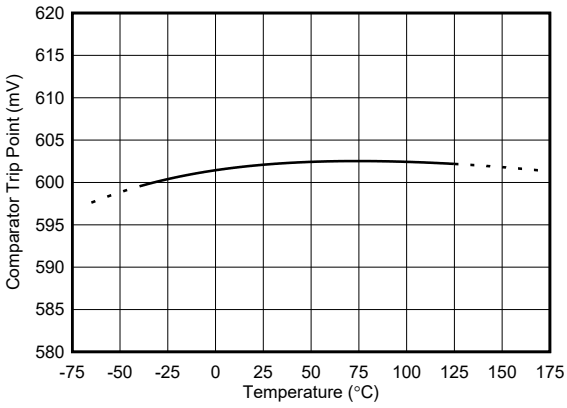


图 6-36. 比较器跳闸点与温度关系图

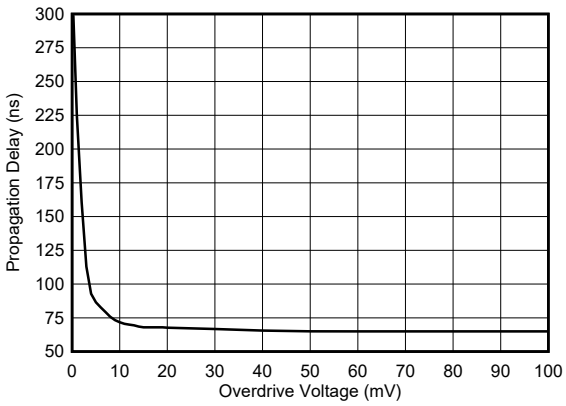


图 6-37. 比较器传播延迟与过驱电压关系图

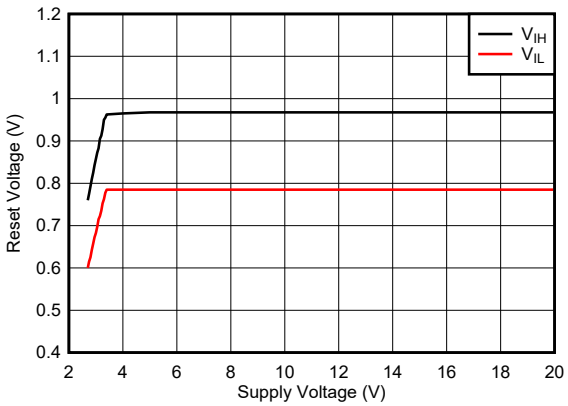


图 6-38. 比较器复位电压与电源电压关系图

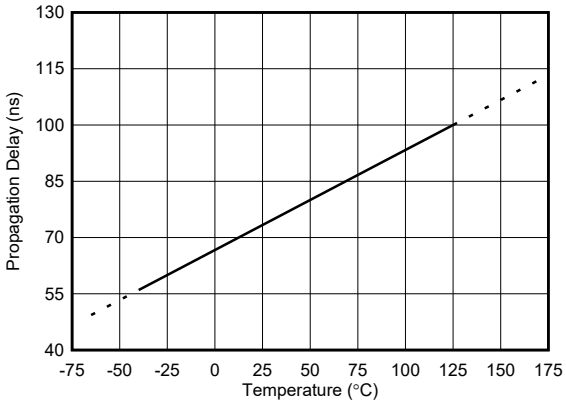


图 6-39. 比较器传播延迟与温度关系图

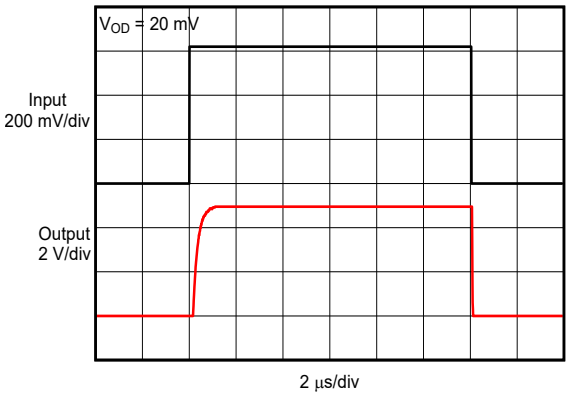


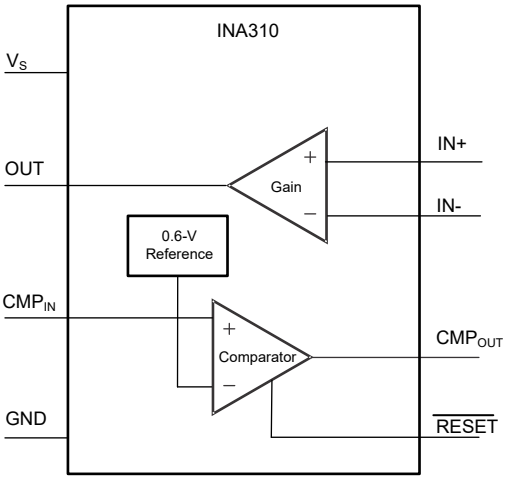
图 6-40. 比较器传播延迟

7 详细说明

7.1 概述

INA310x-Q1 是一款高侧或低侧高速电流检测放大器，具有宽共模范围、高精度、零漂移拓扑、出色的共模抑制比 (CMRR) 和快速压摆率。它有不同的增益版本，以便根据应用来优化输出动态范围。INA310x-Q1 使用特定的架构进行设计，可实现 20μA 的低输入偏置电流，额定共模电压范围为 -4V 至 110V，信号带宽高达 1.3MHz。INA310x-Q1 包含一个开漏比较器以及阈值为 0.6V 的内部基准。一个外部电阻分压器设定电流跳闸点。比较器具有锁存功能，可通过将 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚接地（或处于开路）进入透明状态（参阅 *$\overline{\text{RESET}}$ 功能* 部分）。

7.2 功能方框图



7.3 特性说明

7.3.1 放大器输入共模信号

INA310x-Q1 支持从 -4V 至 +110V 的宽输入共模电压。INA310x-Q1 的内部拓扑支持共模范围超过电源电压 (V_S)。因此，INA310x-Q1 可用于超出 2.7V 至 20V 电源电压范围的低侧和高侧电流检测应用。

7.3.2 输入信号带宽

INA310x-Q1 提供多种增益方案，包括 20V/V、50V/V、100V/V、200V/V 和 500V/V。独特的多级设计使放大器能够在所有增益下实现高带宽。高带宽可实现快速检测和处理过流事件所需的吞吐量和快速响应。

7.3.3 低输入偏置电流

在共模电压高达 110V 时，INA310x-Q1 每个输入引脚消耗 20μA 偏置电流，可在需要较低电流泄漏的应用中实现精密的电流检测。和许多输入偏置电流与共模电压成正比的高电压电流检测放大器不一样，INA310x-Q1 的输入偏置电流在整个共模电压范围内保持扁平。

7.3.4 低 V_{SENSE} 运行

INA310x-Q1 在整个有效的 V_{SENSE} 范围内实现高性能运行。由于采用了零漂移输入架构，INA310x-Q1 能够提供低失调电压和低温漂，确保在 -40°C 至 +125°C 的宽工作温度范围内准确测量低 V_{SENSE} 电平。在使用低欧姆值分流器进行高电流测量时，由于分流器上的功率损耗显著降低，所以低 V_{SENSE} 运行尤其有利。V_{SENSE} 低电平仅受输出摆幅至 GND (V_{SN}) 的限制。最小 V_{SENSE} 等于 V_{SN} 除以增益。

7.3.5 宽固定增益输出

在室温下，INA310x-Q1 最大增益误差为 0.15%；在 -40°C 至 +125°C 的全温度范围内，最大温漂为 10ppm/°C。INA310x-Q1 提供了多种增益方案：20V/V、50V/V、100V/V、200V/V 和 500V/V，系统设计人员应根据自己需要的信噪比和其他系统要求（例如，动态电流范围和满标度输出电压目标）进行选择。

INA310x-Q1 闭环增益由精密、低漂移的内部电阻网络设置。这些电阻的比率非常匹配，而绝对值可能会有很大差异。由于这种变化，TI 不建议在 INA310x-Q1 周围添加额外的电阻来更改有效增益。

7.3.6 宽电源电压

INA310x-Q1 在 2.7V 至 20V 的宽电源电压范围内工作。虽然 INA310x-Q1 的输入电压范围与电源电压无关，但输出电压受施加到器件的电源电压的约束。输出电压可以从低至 20mV 到高至 200mV 不等，但要低于电源电压。

7.3.7 集成比较器

INA310x-Q1 包含一个开漏比较器和一个具有 0.6V 阈值的内部基准。比较器输入 (CMP_{IN}) 可接受 0V 至 5.5V 的电压或者电源电压（如果低于 5.5V）。比较器具有典型值 8mV 的内置迟滞。图 7-1 显示了迟滞，即上升沿阈值和下降沿阈值之间的差值。迟滞通过在比较器输入端提供抗噪性，使比较器输出端的开关稳定。

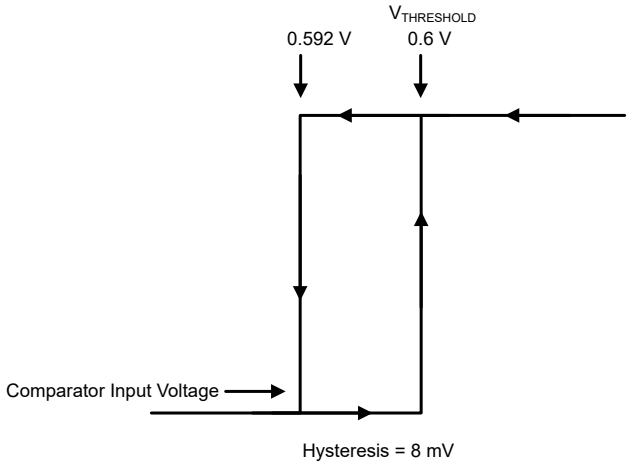


图 7-1. 比较器阈值和迟滞

比较器的开漏输出可通过一个上拉电阻器实现 0V 至 20V 的电压范围（独立于电源）。比较器输入端 (CMP_{IN}) 的电压超过 0.6V 时，比较器的输出变为高电平。比较器输入端的电压降至低于下降阈值（0.6V – 迟滞）时，比较器的输出被内部开漏晶体管拉低。

7.3.8 $\overline{\text{RESET}}$ 功能

$\overline{\text{RESET}}$ 功能允许比较器在透明模式或锁存模式下工作。图 7-2 显示了 $\overline{\text{RESET}}$ 功能的两种模式。当 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚开路或连接到 GND 时，比较器在透明模式下运行。在透明模式下，比较器输出 (CMP_{OUT}) 作为普通比较器作出响应。当 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚连接至电源电压时，此引脚在锁存模式下运行。在锁存模式下，当比较器输入高于 0.6V 时，比较器触发，不论之后的比较器输入高低，比较器输出始终保持高电平。要将比较器从锁存模式中释放，必须将 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚拉至 GND，或者将其释放变为开路。$\overline{\text{RESET}}$ 引脚可以接受的电压范围为 0V 至电源电压。

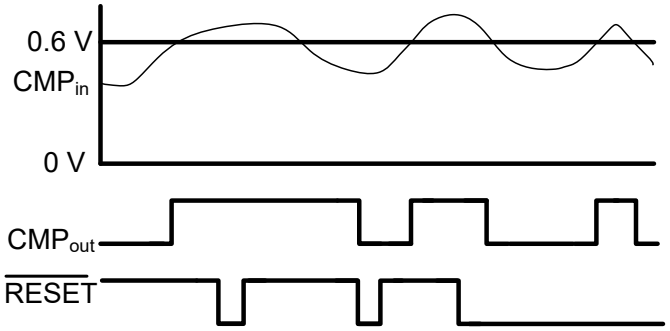


图 7-2. 比较器 $\overline{\text{RESET}}$ 功能

7.3.9 短传播延迟

高速电流检测放大器和快速比较器组合使用，会实现短至 1 µs 的总传播延迟。通过分流电阻的检测电压，通过输出传播，在输出端被电阻分压器分压到比较器输入，然后再传播到比较器输出。V_{OUT} 处的外部电阻分压器设置过流阈值。总传播延迟指经过分流电阻的检测电压超过过流阈值到比较器输出驱动为高电平所用的时间。INA310x-Q1 由于具备短传播延迟特性，非常适合在对过流事件敏感的系统中提供过流保护。

7.3.10 比较器输入偏置电流

INA310x-Q1 比较器输入具有内置电路，可在输入差分电压较大时保护输入器件。此电路根据输入电压 (V_{CMPIN}) 得出输入偏置电流 (I_{BCMPIN}) 曲线，如图 7-3 所示。I_{BCMPIN} 在 V_{CMPIN} 从 0V 降至 0.4V 时降低，在 V_{CMPIN} 处于 0.4V 至 1.2V 范围内，温度为 25°C 时，为 20nA 以下，在 V_{CMPIN} 从 1.8V 升至 5.5V 时升高。I_{BCMPIN} 在比较器警报阈值电压 ($V_{THRESHOLD}$) 接近阈值 (0.6V) 时会降至 20nA 以下，因此不会对电压产生有效影响。请勿为了提高 $V_{THRESHOLD}$ 的精度在分压器网络中使用高阻值电阻。建议参照 *过流阈值连接* 确定分压器网络中两个电阻的总电阻值，保持低于 100kΩ。

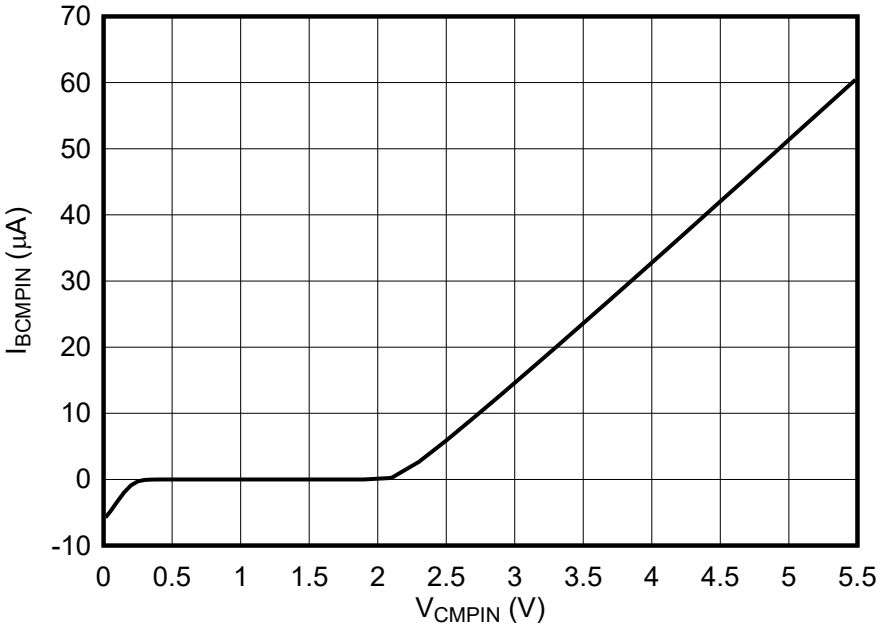


图 7-3. 比较器 I_{BCMPIN} 与 V_{CMPIN} 关系图

7.4 器件功能模式

7.4.1 基本连接

图 7-4 显示了 INA310x-Q1 的基本电路连接。INA310x-Q1 可配置为支持单向高侧或低侧电流检测操作。输入引脚 IN+ 和 IN- 必须尽可能靠近开尔文连接，从而尽可能地减小与分流电阻串联的任何电阻。*布局* 部分提供了布局指南和布局示例。

需要电源旁路电容器来实现稳定性。带有嘈杂或者高阻抗电源的应用也许需要额外的去耦合电容器来抑制电源噪声。将旁路电容器连接到接近器件 V_S 引脚的位置。建议使用 0.01 µF 的旁路电容器。

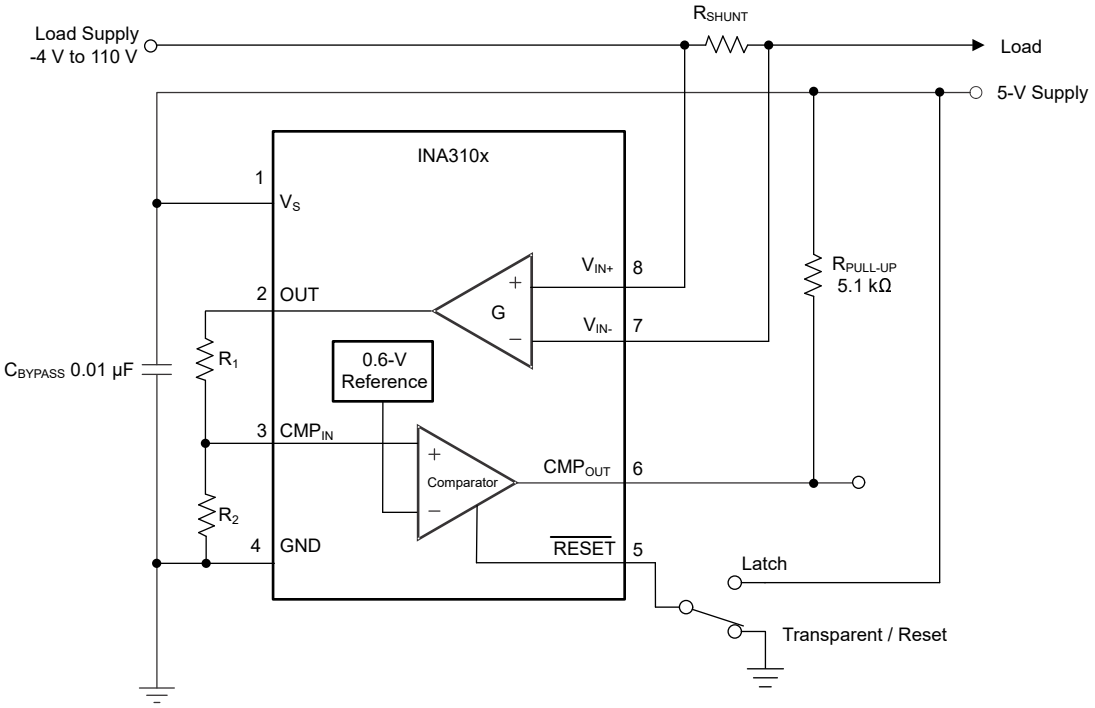


图 7-4. INA310x-Q1 基本连接

7.4.1.1 过流阈值连接

图 7-4 中的 INA310x-Q1 比较器经过配置，当流经 R_{SHUNT} 的电流超过过流阈值时，能提供过流警报信号。OUT 电压乘以 R_2 除以 R_1 加 R_2，与内部基准电压 (0.6V) 相比较，设置过流阈值。方程式 1 显示了过流阈值与增益、R_{SHUNT}、R_1 和 R_2 之间的关系。

$$I_{Sense_Alert_Threshold} = \frac{0.6 \times (R_1 + R_2)}{R_2 \times G \times R_{shunt}} \quad (1)$$

R_1 和 R_2 负载 OUT，因此 TI 建议将这些电阻的总和设置为高于 10kΩ。这有助于在 OUT 处保持高摆幅范围并降低总电源电流。电阻值高会导致 *比较器输入偏置电流* 中提到的比较器警报阈值电压 ($V_{THRESHOLD}$) 不准。*设计要求* 部分显示了用于设置过流阈值的电阻值示例。

7.4.2 高侧开关过流关断

INA310x-Q1 可测量电流流经分流电阻产生的电压差。图 7-5 展示了 INA310x-Q1 用于在出现过流时关断高侧开关的电路。当电流超过过流阈值时，比较器输出 (CMP_{OUT}) 信号变为高电平。来自比较器的信号通过 Q1 晶体管驱动至高侧开关的栅极，使开关关断。Q1 晶体管有助于将 CMP_{OUT} 与电源的高电压隔离。可在三个位置上放置分流电阻来测量单向电流。方案 1 和方案 2 用于高侧电流检测，方案 3 用于低侧电流检测。虽然都是用于高侧电流检测，但是方案 1 考虑了流经 Q1 晶体管的电流，而方案 2 没有考虑。高侧电流检测的优势在于，高侧检测方案不会造成接地干扰，而且可以检测负载短路。在高侧电流检测中，输入共模靠近电源，因此需要具有高 CMRR 和高共模的电流检测放大器来实现高精度测量。在低侧电流检测中，由于共模仍然非常接近于接地，因此不需要高电压电流检测放大器。低侧电流检测的缺点是低侧检测方案会造成接地干扰，且无法检测负载短路。

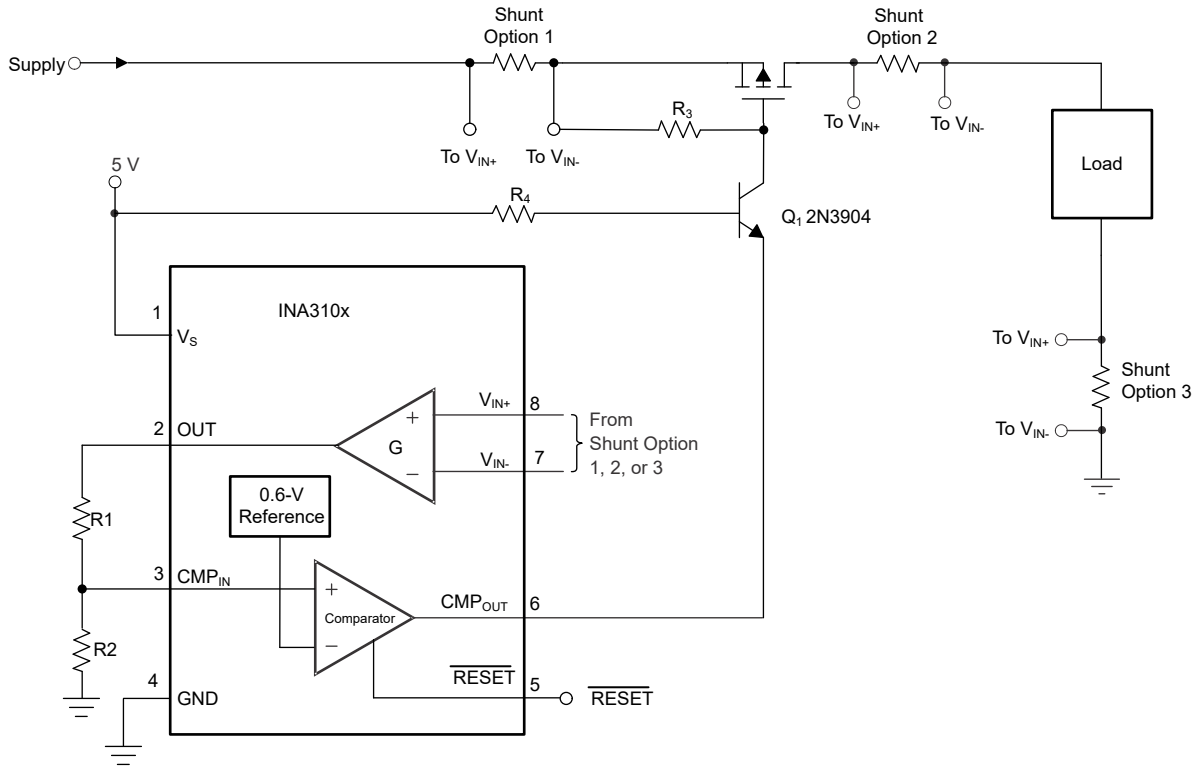


图 7-5. 用于过流关断的高侧开关

7.4.3 双向过流比较器

INA310x-Q1 只能在单向模式下运行，但图 7-6 显示可以配置两个 INA310x-Q1 来提供双向过流警报信号。如果使用一个电流检测放大器，可发现在分流电阻上测量的电压差的极性是相反的。而两个 INA310x-Q1 可以覆盖相反的电流方向，因此可提供双向过流监控功能。

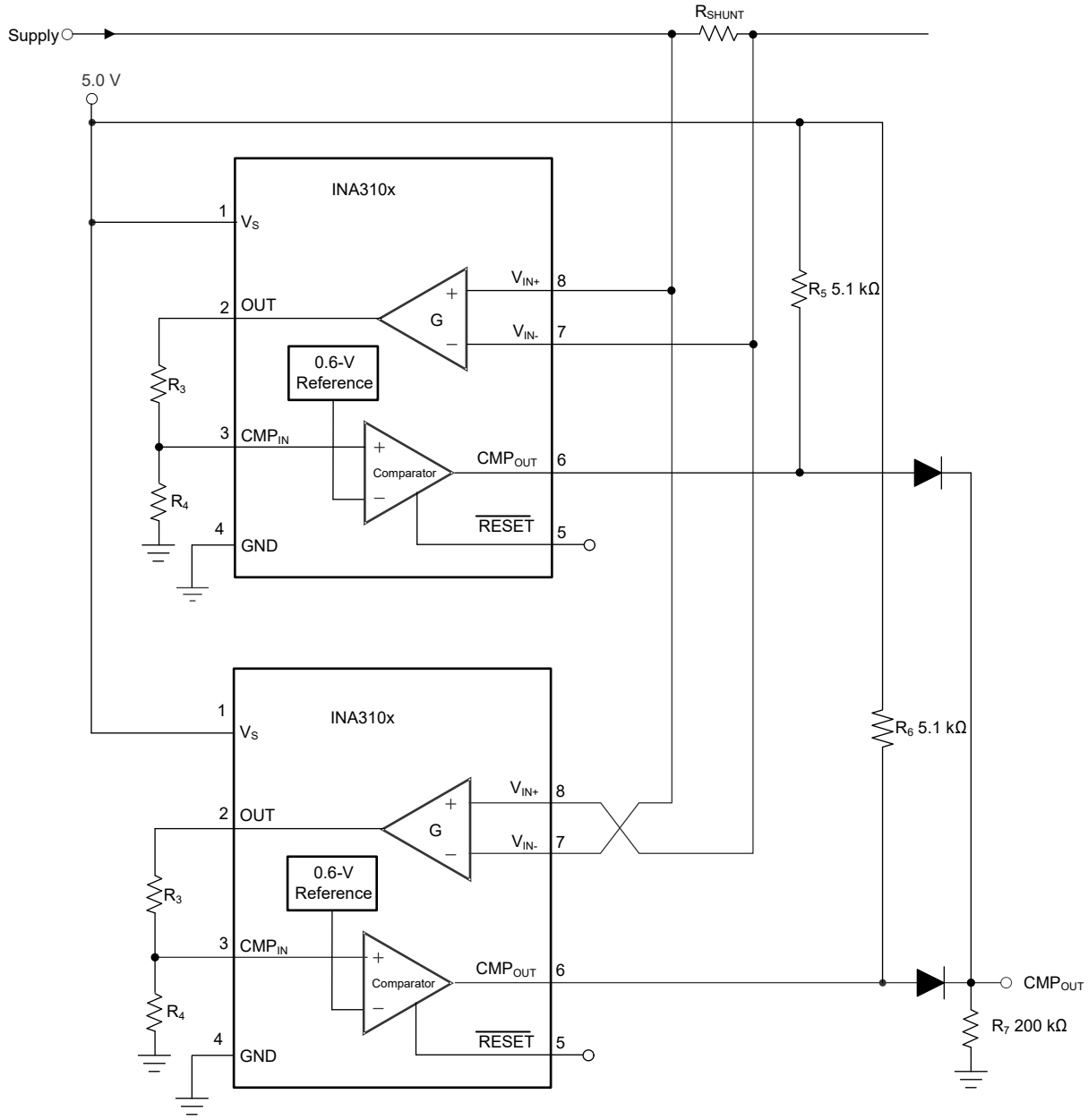


图 7-6. 以接地为基准的输出

8 应用和实施

备注

以下应用部分中的信息不属于 TI 器件规格的范围，TI 不担保其准确性和完整性。TI 的客 户应负责确定器件是否适用于其应用。客户应验证并测试其设计，以确保系统功能。

8.1 应用信息

当电流经电阻流向负载时，INA310x-Q1 会将在电流检测电阻器两端产生的电压放大。INA310x-Q1 具有宽输入共模电压范围和高共模抑制比，因此可使用各种电压轨，同时仍能维持精确的电流测量。

8.1.1 R_{SENSE} 和器件增益选择

为了最大限度地提高电流检测放大器的精度，TI 建议在应用中尽可能选用最大的电流检测电阻值。较大的检测电阻值可在给定电流量下使差分输入信号达到最大，并减小失调电压的误差贡献。但是，由于电阻的物理尺寸、封装结构和最大功耗不同，在给定的应用中，可行的最大电流检测电阻值存在实际限制。方程式 2 给出了电流检测电阻在给定功率损耗预算下的最大阻值。

$$R_{SENSE} < \frac{PD_{MAX}}{I_{MAX}^2} \tag{2}$$

其中：

- PD_{MAX} 是 R_{SENSE} 中的最大允许功率损耗。
- I_{MAX} 是将流过 R_{SENSE} 的最大电流。

电流检测电阻的大小和器件增益的其他限制取决于电源电压 V_S 和器件摆幅至轨限制。为了确保电流检测信号适当地传递到输出，必须检查正和负输出摆幅限制。方程式 3 提供了 R_{SENSE} 和 GAIN 的最大值，以便防止器件超过正摆幅限制。

$$I_{MAX} \times R_{SENSE} \times GAIN < V_{SP} \tag{3}$$

其中：

- I_{MAX} 是将流过 R_{SENSE} 的最大电流。
- GAIN 是电流检测放大器的增益。
- V_{SP} 是数据表中指定的正输出摆幅。

为了避免在选择 R_{SENSE} 的值时出现正输出摆幅限制，在检测电阻的值与所考虑的器件增益之间总是存在权衡。如果按最大功率损耗选择的检测电阻太大，则可以选择较低的增益器件来避免正摆幅限制。

负摆幅限制对给定应用的检测电阻值可以小到何种程度施加了限制。方程式 4 提供了对检测电阻最小值的限制。

$$I_{MIN} \times R_{SENSE} \times GAIN > V_{SN} \tag{4}$$

其中：

- I_{MIN} 是将流过 R_{SENSE} 的最小电流。
- GAIN 是电流检测放大器的增益。
- V_{SN} 是器件的负输出摆幅。

表 8-1 显示了使用 INA310x-Q1 的五个不同增益版本所获得的不同结果示例。从表格数据中可以看出，最高增益的器件支持使用较小的分流电阻器并降低元件中的功率损耗。

表 8-1. R_{SENSE} 选择和功率耗散(1)

参数		等式	V_S = 5V 时的结果				
			A1、B1 器件	A2、B2 器件	A3、B3 器件	A4、B4 器件	A5、B5 器件
G	增益		20V/V	50V/V	100V/V	200V/V	500V/V
V_{DIFF}	理想的差分输入电压	$V_{DIFF} = V_{OUT} / G$	250mV	100mV	50mV	25mV	10mV
R_{SENSE}	电流检测电阻值	$R_{SENSE} = V_{DIFF}/I_{MAX}$	25mΩ	10mΩ	5mΩ	2.5mΩ	1mΩ
P_{SENSE}	电流检测电阻功率损耗	$R_{SENSE} \times I_{MAX}2$	2.5W	1W	0.5W	0.25W	0.1W

(1) 设计示例，满量程电流为 10A，最大输出电压设置为 5V。

8.2 典型应用

INA310x-Q1 是一款单向电流检测放大器，能够通过分流共模电压为 -4V 至 +110V 的电阻分流器来测量电流。

8.2.1 螺线管应用中的电流检测

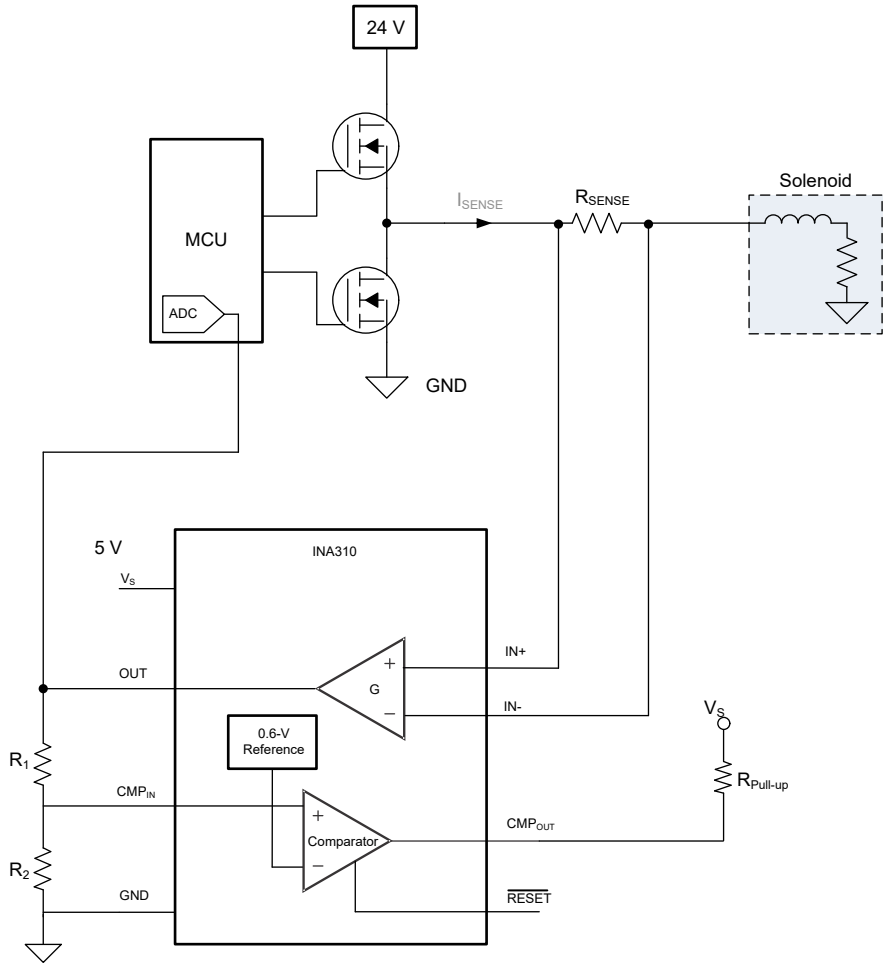


图 8-1. 螺线管应用中的电流检测

8.2.1.1 设计要求

在本示例应用中，共模电压范围为 0V 至 24V。最大检测电流为 1.5A。如果电流超过 1.9A，则必须指示警报，并可为 INA310x-Q1 提供 5V 电源。按照 *R_{SENSE} 和器件增益选择* 中的设计指南，选定 50mΩ 的 R_{SENSE} 和 50V/V 的增益，以便提供良好的输出动态范围。表 8-2 列出了此应用的设计设置。

表 8-2. 设计参数

设计参数	示例值
电源电压	5V
共模电压范围	0 V 至 24 V
最大感应电流	1.5A
R_{SENSE} 电阻器	50mΩ
增益选项	50V/V
过流阈值	1.9A
R_1	69.15kΩ
R_2	10kΩ

8.2.1.2 详细设计过程

INA310x-Q1 设计为测量典型螺线管应用中的电流。INA310x-Q1 测量放置在半桥输出端的 50mΩ 分流器上的电流。INA310x-Q1 测量分流电阻器的电压差，信号以 50V/V 的增益在内部放大。INA310x-Q1 的输出连接到 MCU 的模数转换器 (ADC)，以使电流测量数字化。

R_2 根据*过流阈值连接*的建议，使用固定电阻值为 10kΩ 的电阻，避免 OUT 负载过大。R_1 的电阻值根据方程式 1 计算得出等于 69.15kΩ。

$$1.9\text{A} = \frac{0.6\text{V} \times (R_1 + 10\text{k}\Omega)}{10\text{k}\Omega \times 50 \times 50\text{m}\Omega}$$

R_1 (69.15kΩ) 和 R_2 (10kΩ) 将输出分压，输入比较器。过流警报阈值因此即被设为 1.9A。

螺线管负载具有很高的电感，通常容易发生故障。螺线管通常用于位置控制、精确的流体控制和流体调节。连续测量螺线管上的实时电流可以指示螺线管的过早失效，这种过早失效会导致系统中的控制回路出现故障。测量高侧电流还可指示可能在应用中损坏的螺线管或 FET 上是否存在任何接地故障。具有高带宽和压摆率的 INA310x-Q1 可用于检测快速过流情况，以便防止接地短路故障造成螺线管损坏。

8.2.1.3 具有负 V_{SENSE} 的过载恢复

INA310x-Q1 是一款单向电流检测放大器，即在正差分输入电压 (V_{SENSE}) 下运行。如果施加负 V_{SENSE}，器件将处于过载或饱和状态，在 V_{SENSE} 返回正数后需要一段时间才能恢复。负 V_{SENSE} 越多，所需的过载恢复时间越多。

8.2.1.4 应用曲线

图 8-2 显示了螺线管的输出响应。

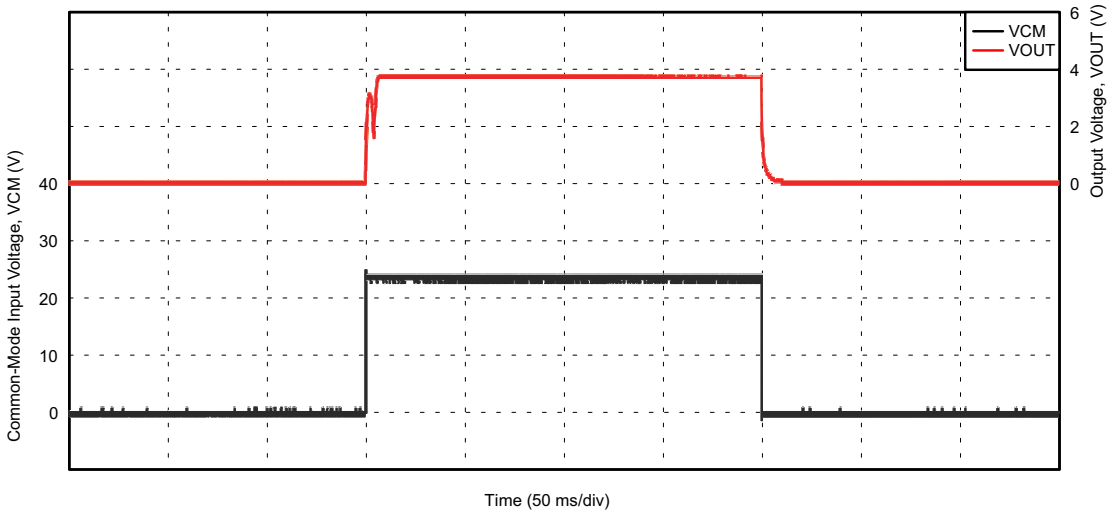


图 8-2. 螺线管控制电流响应

8.2.2 低侧开关过流关断

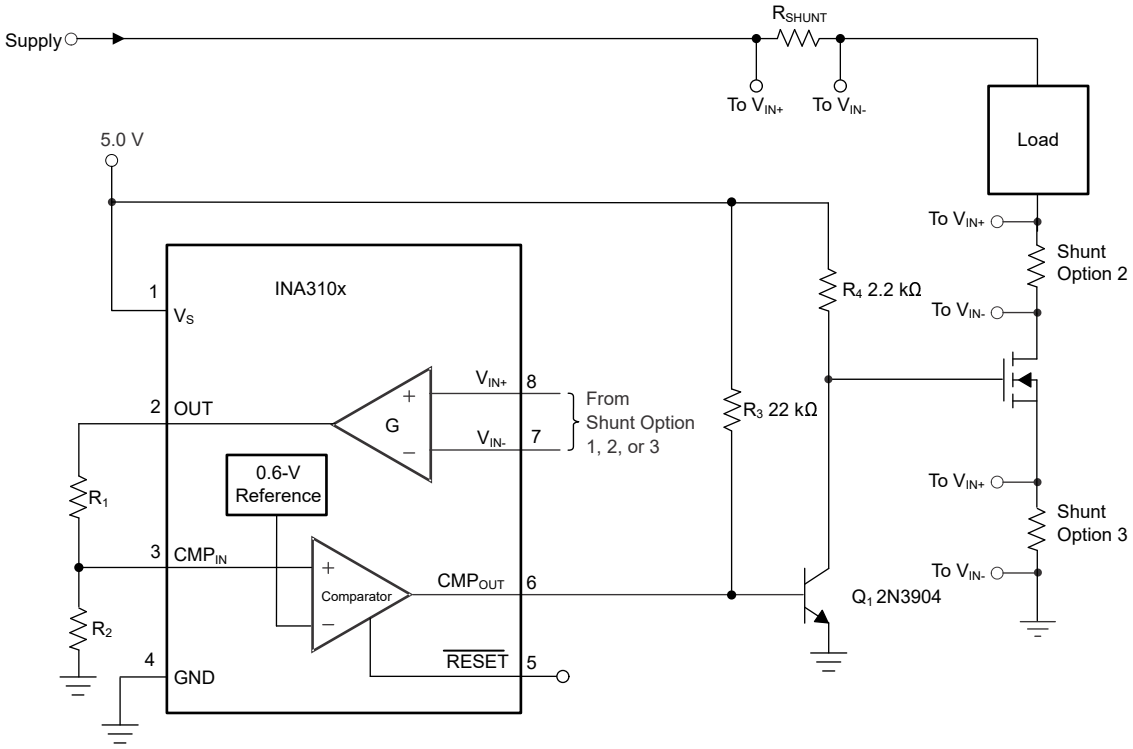


图 8-3. 低侧开关过流关断

8.2.2.1 设计要求

INA310x-Q1 测量单向流经电阻分流器的电流，仅在差分输入电压超过阈值限值时才能检测到过流事件。当电流达到 R_1 和 R_2 分压器的设定限值时，比较器输出 (CMP_{OUT}) 转换为高电平，打开 Q_1，将传输 FET 的栅极拉低，并关闭电流。在本示例应用中，共模电压范围设为 5V。最大检测电流为 1A。如果电流超过 1.2A，则必须指示警

报，并可为 INA310x-Q1 提供 5V 电源。按照 *R_{SENSE} 和器件增益选择* 中的设计指南，选定 100mΩ 的 R_{SHUNT} 和 20V/V 的增益，来优化输出动态范围。表 8-3 列出了此应用的设计设置。

表 8-3. 设计参数

设计参数	示例值
电源电压	5V
共模电压范围	5V
最大感应电流	1A
R_{SENSE} 电阻器	100mΩ
增益选项	20V/V
过流阈值	1.2 A
R_1	10.2kΩ
R_2	3.4kΩ

8.2.2.2 详细设计过程

图 8-3 显示了 INA310x-Q1 的基本连接。输入端子 IN+和 IN- 必须尽可能靠近电流检测电阻连接，从而尽可能地减小与分流电阻串联的任何电阻。INA310x-Q1 测量与负载串联放置的 100mΩ 分流器上的电流。INA310x-Q1 测量分流电阻器的电压差，信号以 20V/V 的增益在内部放大。

R_1 根据*过流阈值连接*的建议，使用固定电阻值为 10.2kΩ 的电阻，避免 OUT 负载过大。R_2 的电阻值根据方程式 1 计算得出等于 3.4kΩ。R_1 (10.2kΩ) 和 R_2 (3.4kΩ) 将输出分压，输入比较器。过流警报阈值因此即被设为 1.2A。

8.2.2.3 应用曲线

图 8-4 显示了过流情况下电流检测放大器和比较器的输出响应。

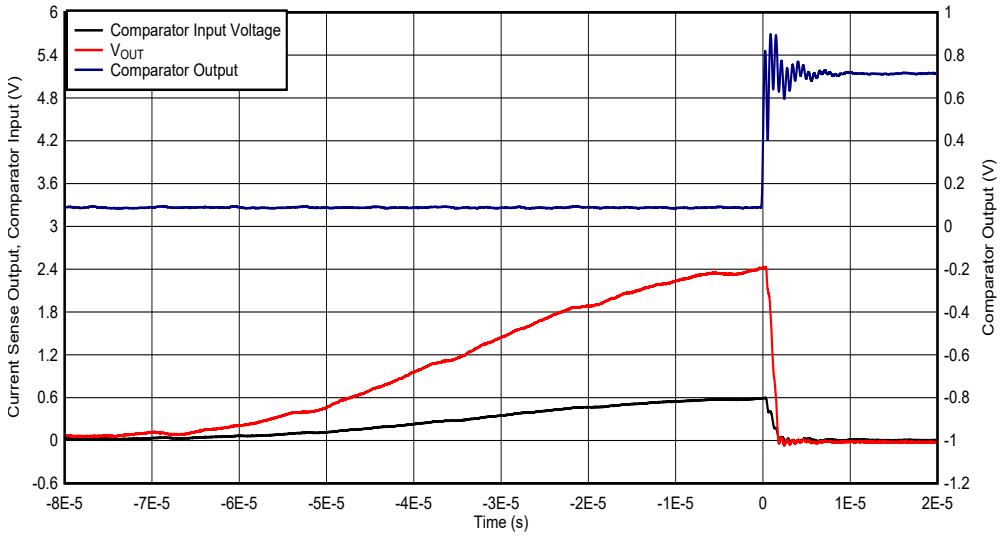


图 8-4. 低侧开关过流关断响应

8.3 电源相关建议

因为输入端（IN+ 和 IN－）可使用 -4 V 和 110 V 之间的任何电压（与 V_S 无关），所以 INA310x-Q1 可以在连接的电源电压 (V_S) 之外进行精确测量。例如，在 V_S 电源等于 5V 时，被测分流器的共模电压可高达 110 V。

8.3.1 电源去耦

电源旁路电容器的位置应尽可能靠近电源引脚和接地引脚。TI 建议使用 0.1μF 的旁路电容值。可以添加额外的去耦电容以补偿噪声或高阻抗电源。

8.4 布局

8.4.1 布局指南

建议用户采用优秀的布局规范。

- 使用开尔文连接或 4 线制连接将输入引脚连接到检测电阻器。这种连接技术可确保在输入引脚之间仅检测电流检测电阻的阻抗。电流检测电阻布线不良通常会导致在输入引脚之间存在额外的电阻。 鉴于电流电阻的欧姆值非常低，任何额外的高载流阻抗都会导致严重的测量误差。
- 电源旁路电容器的位置应尽可能靠近器件电源引脚和接地引脚。建议使用 0.1µF 的旁路电容器。可以添加额外的去耦电容以补偿噪声或高阻抗电源。

8.4.2 布局示例

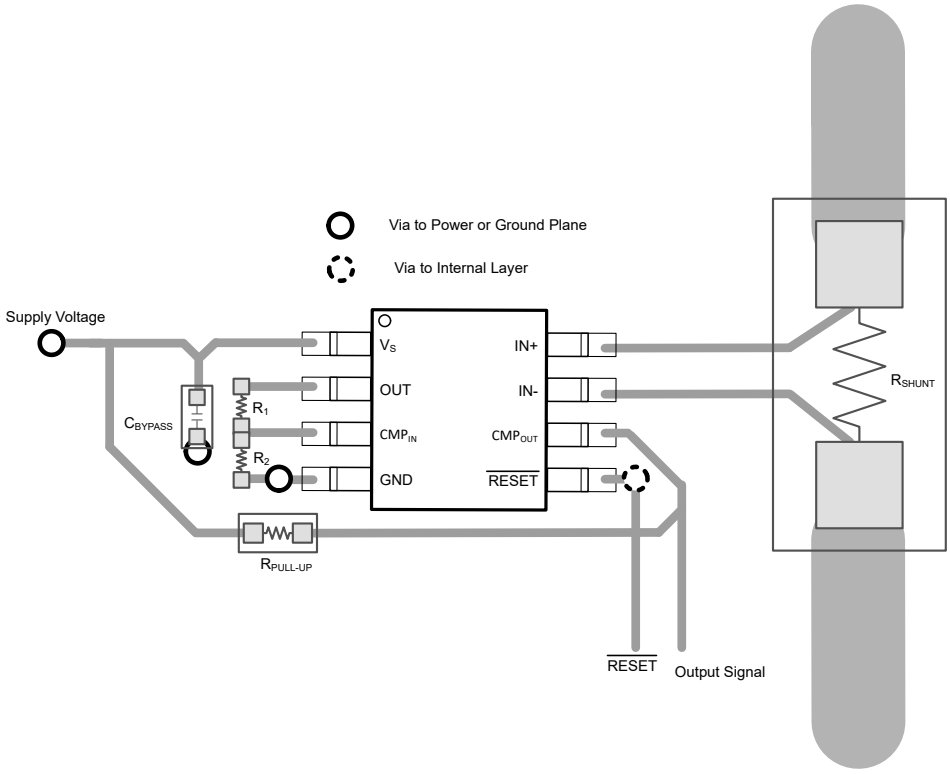


图 8-5. INA310x-Q1 建议布局

9 器件和文档支持

9.1 接收文档更新通知

若要接收文档更新通知，请导航至 ti.com.cn 上的器件产品文件夹。点击右上角的*提醒我* 进行注册，即可每周接收产品信息更改摘要。有关更改的详细信息，请查看任何已修订文档中包含的修订历史记录。

9.2 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》。

9.3 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。

9.4 静电放电警告



静电放电 (ESD) 会损坏这个集成电路。德州仪器 (TI) 建议通过适当的预防措施处理所有集成电路。如果不遵守正确的处理和安装程序，可能会损坏集成电路。

ESD 的损坏小至导致微小的性能降级，大至整个器件故障。精密的集成电路可能更容易受到损坏，这是因为非常细微的参数更改都可能会导致器件与其发布的规格不相符。

9.5 术语表

TI 术语表　　本术语表列出并解释了术语、首字母缩略词和定义。

10 机械、封装和可订购信息

下述页面包含机械、封装和订购信息。这些信息是指定器件可用的最新数据。数据如有变更，恕不另行通知，且不会对此文档进行修订。有关此数据表的浏览器版本，请查阅左侧的导航栏。

PACKAGING INFORMATION

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead finish/ Ball material (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
INA310A1QDGKRQ1	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	RoHS & Green	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	2OOB	Samples
INA310A2QDGKRQ1	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	RoHS & Green	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	2OPB	Samples
INA310A3QDGKRQ1	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	RoHS & Green	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	2OQB	Samples
INA310A4QDGKRQ1	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	RoHS & Green	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	2ORB	Samples
INA310A5QDGKRQ1	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	RoHS & Green	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	2OSB	Samples
INA310B1QDGKRQ1	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	RoHS & Green	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	2OTB	Samples
INA310B2QDGKRQ1	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	RoHS & Green	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	2OUB	Samples
INA310B3QDGKRQ1	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	RoHS & Green	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	2OVB	Samples
INA310B4QDGKRQ1	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	RoHS & Green	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	2OWB	Samples
INA310B5QDGKRQ1	ACTIVE	VSSOP	DGK	8	2500	RoHS & Green	NIPDAU	Level-2-260C-1 YEAR	-40 to 125	2OXB	Samples

(1) The marketing status values are defined as follows:
ACTIVE: Product device recommended for new designs.
LIFEBUY: TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.
NRND: Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.
PREVIEW: Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.
OBSOLETE: TI has discontinued the production of the device.

(2) **RoHS:** TI defines "RoHS" to mean semiconductor products that are compliant with the current EU RoHS requirements for all 10 RoHS substances, including the requirement that RoHS substance do not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, "RoHS" products are suitable for use in specified lead-free processes. TI may reference these types of products as "Pb-Free".
RoHS Exempt: TI defines "RoHS Exempt" to mean products that contain lead but are compliant with EU RoHS pursuant to a specific EU RoHS exemption.
Green: TI defines "Green" to mean the content of Chlorine (Cl) and Bromine (Br) based flame retardants meet JS709B low halogen requirements of <=1000ppm threshold. Antimony trioxide based flame retardants must also meet the <=1000ppm threshold requirement.

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

(6) Lead finish/Ball material - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead finish/Ball material values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

Important Information and Disclaimer: The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.

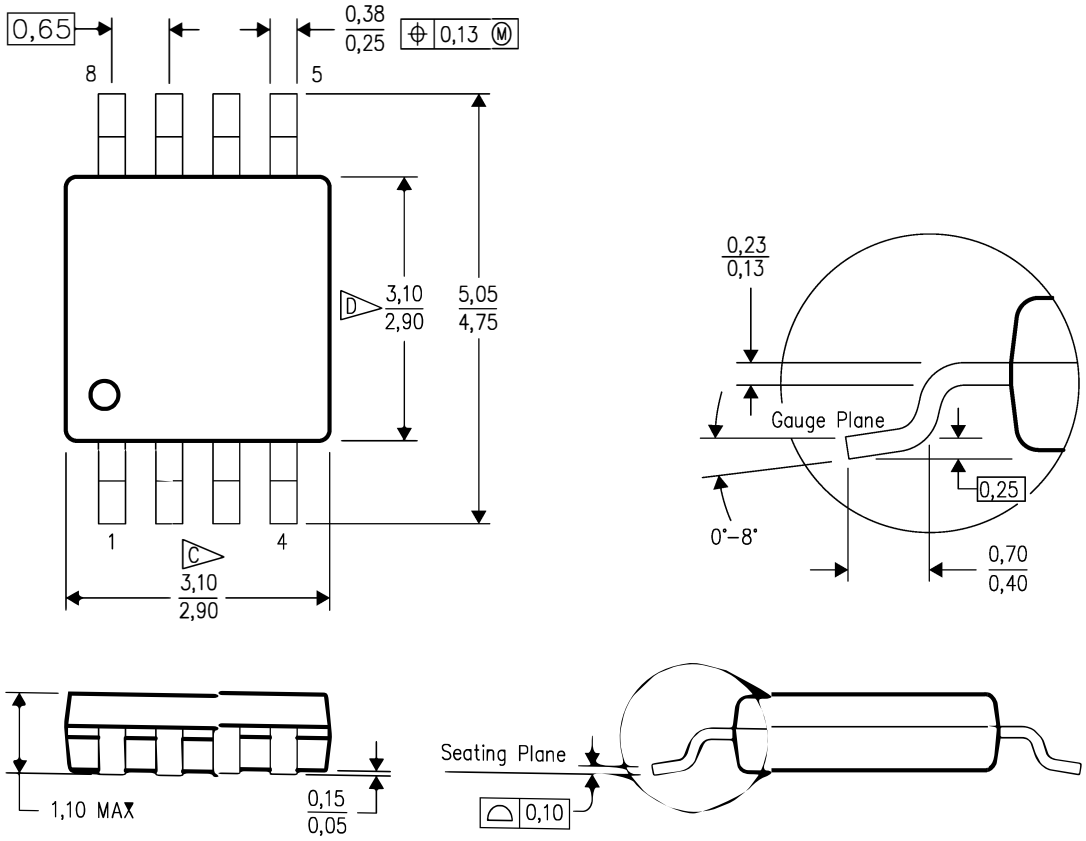
OTHER QUALIFIED VERSIONS OF INA310A-Q1, INA310B-Q1 :

- Catalog : INA310A, INA310B

NOTE: Qualified Version Definitions:

- Catalog - TI's standard catalog product

DGK (S–PDSO–G8) PLASTIC SMALL–OUTLINE PACKAGE



4073329/E 05/06

NOTES:
A. All linear dimensions are in millimeters.
B. This drawing is subject to change without notice.
C. Body length does not include mold flash, protrusions, or gate burrs. Mold flash, protrusions, or gate burrs shall not exceed 0.15 per end.
D. Body width does not include interlead flash. Interlead flash shall not exceed 0.50 per side.
E. Falls within JEDEC MO–187 variation AA, except interlead flash.