

PGA309 电压输出可编程传感器调节器

User's Guide



Literature Number: ZHCUB80C
AUGUST 2004 - REVISED JULY 2023



使用前必读	9
关于本手册.....	9
德州仪器 (TI) 相关文档.....	9
如果您需要协助.....	9
注意事项和警告信息.....	9
FCC 警告.....	9
商标.....	10
1 引言	11
1.1 PGA309 功能说明.....	12
1.2 传感器误差调整范围.....	13
1.3 增益调节.....	13
1.4 失调电压量调整.....	13
1.5 电压基准.....	13
1.6 传感器激励和线性化.....	14
1.7 使用 ADC 进行温度检测.....	14
1.8 外部 EEPROM 和温度系数.....	14
1.9 故障监测.....	15
1.10 过量程和欠量程限制.....	15
1.11 上电和正常运行.....	15
1.12 数字接口.....	16
1.13 引脚配置.....	17
2 详细说明	19
2.1 增益调节.....	20
2.1.1 PGA309 传递函数.....	22
示例 2-1. 求解增益设置.....	22
2.2 失调电压调节.....	24
2.3 零 DAC 和增益 DAC 架构.....	25
2.4 输出放大器.....	25
2.5 基准电压.....	29
2.6 线性化函数.....	30
2.6.1 系统定义.....	33
2.6.2 关键线性化设计公式.....	34
2.6.3 关键理想设计公式.....	35
2.7 温度测量.....	38
2.7.1 温度 ADC 启动转换控制.....	42
2.7.2 通过励磁串联电阻进行外部温度检测.....	44
2.8 故障监测.....	46
2.9 过量程和欠量程.....	49
示例 2-4. 过量程和欠量程计算.....	50
2.10 噪声和粗略失调电压调整.....	53
2.11 一般 AC 注意事项.....	59
3 工作模式	61
3.1 上电序列和正常独立工作模式.....	62
3.2 EEPROM 内容和温度查找表计算.....	63
3.2.1 温度查找表计算.....	67
3.3 校验和错误事件.....	73

3.4 测试引脚.....	73
3.5 上电时的初始寄存器状态.....	73
示例 3-2. PGA309 上电状态.....	74
4 数字接口.....	75
4.1 说明.....	76
4.2 两线制接口.....	76
4.2.1 器件寻址.....	77
4.2.2 两线制访问 PGA309.....	77
4.3 一线制接口.....	79
4.4 单线制接口超时.....	82
4.5 单线制接口时序注意事项.....	82
4.6 两线制访问外部 EEPROM.....	83
4.7 单线制接口发起的两线制 EEPROM 事务.....	85
4.8 PGA309 独立模式和两线制事务.....	85
4.9 PGA309 在两线制总线上的主运行模式和总线共享注意事项.....	88
4.10 PRG 连接到 V _{OUT} 的单线制工作模式.....	90
4.11 四线制模块和单线制接口 (PRG).....	93
5 应用背景.....	99
5.1 桥式传感器.....	99
5.2 桥式传感器的系统调节选项.....	101
5.2.1 绝对调节.....	101
5.2.2 比例式调节.....	101
5.3 修整实际桥式传感器以支持线性度.....	102
5.4 PGA309 校准过程.....	104
6 寄存器说明.....	107
6.1 内部寄存器概览.....	107
6.2 内部寄存器映射.....	107
6.2.1 寄存器 0：温度 ADC 输出寄存器（只读，地址指针 = 00000）.....	107
6.2.2 寄存器 1：精细失调电压调整（零 DAC）寄存器（读取/写入，地址指针 = 00001）.....	109
6.2.3 寄存器 2：精细增益调整（增益 DAC）寄存器（读取/写入，地址指针 = 00010）.....	111
6.2.4 寄存器 3：基准控制和线性化寄存器（读取/写入，地址指针 = 00011）.....	112
6.2.5 寄存器 4：PGA 粗略失调电压调整和增益选择/输出放大器增益选择寄存器（读取/写入，地址指针 = 00100）.....	113
6.2.6 寄存器 5：PGA 配置和过量程/欠量程限制寄存器（读取/写入，地址指针 = 00101）.....	116
6.2.7 寄存器 6：温度 ADC 控制寄存器（读取/写入，地址指针 = 00110）.....	118
6.2.8 寄存器 7：输出使能计数器控制寄存器（读取/写入，地址指针 = 00111）.....	121
6.2.9 寄存器 8：警报状态寄存器（只读，地址指针 = 01000）.....	123
A 外部 EEPROM 示例.....	125
A.1 PGA309 外部 EEPROM 示例.....	126
示例 A-1. 外部 EEPROM 的增益和失调电压调节.....	127
B 详细方框图.....	131
B.1 详细方框图.....	132
C 术语表.....	133
修订历史记录.....	137

插图清单

图 1-1. PGA309 的简化图.....	12
图 1-2. PGA309 引脚分配.....	17
图 2-1. PGA309 的增益模块.....	20
图 2-2. 前端 PGA 增益 — 内部节点计算.....	21
图 2-3. PGA309 的精细增益调整.....	22
图 2-4. 粗略和精细失调电压调整.....	24
图 2-5. 常见三端传感器应用中的输出放大器.....	26
图 2-6. 使用外部反馈电阻 R _{FOEXT} 和 R _{GOEXT} 的输出放大器.....	27
图 2-7. 低压电源时的输出放大器最小增益.....	28
图 2-8. PGA309 基准电路.....	29
图 2-9. 电桥压力非线性校正.....	30

图 2-10. 电桥激励线性化电路.....	30
图 2-11. 线性化电路.....	31
图 2-12. 电桥输出与压力间的关系.....	32
图 2-13. 电桥非线性 (%FSR) 与压力间的关系.....	32
图 2-14. 更正了电桥抛物线非线性度与压力间的关系.....	36
图 2-15. 温度检测块.....	39
图 2-16. 温度 ADC 输入多路复用器选项.....	41
图 2-17. 使用 I _{TEMP} 进行外部温度测量.....	41
图 2-18. 温度 ADC 连续启动转换控制.....	43
图 2-19. 温度 ADC 单次启动转换控制.....	43
图 2-20. 使用顶部串联电阻时桥式传感器的外部温度检测.....	45
图 2-21. 使用底部串联电阻时桥式传感器的外部温度检测.....	45
图 2-22. PGA309 故障监测电路.....	46
图 2-23. 故障监测比较器逻辑.....	49
图 2-24. 过量程和欠量程限制电路.....	50
图 2-25. 绝对调节系统 — PGA309 连接到系统 ADC.....	52
图 2-26. 过量程、欠量程和线性输出的系统 ADC 范围预算.....	53
图 2-27. 电压噪声功率频谱以输入为基准 (RTI), 粗略失调电压调整 = 0mV, 增益 = 1152, CLK_CFG = “00” (默认值) ...	54
图 2-28. V _{OUT} 噪声, 0.1Hz 至 10Hz 峰峰值噪声.....	54
图 2-29. 未滤波的 V _{OUT} 时钟馈通, 粗略失调电压调整 = 0mV, 增益 = 1152, CLK_CFG = “00” (默认值)	55
图 2-30. 未滤波的 V _{OUT} 时钟馈通干扰, 粗略失调电压调整 = -59mV, 增益 = 1152, V _{IN} = +61mV, CLK_CFG = “00” (默认值)。V _{OUT} 干扰 (RTI) = 347μV _{PP}	55
图 2-31. 经滤波的 0.1Hz 至 10Hz V _{OUT} 峰峰值噪声, 粗略失调电压调整 = -59mV, 增益 = 1152, V _{IN} = +61mV, CLK_CFG = “00” (默认值)	56
图 2-32. 电压噪声频谱 (RTI), 粗略失调电压调整 = -59mV, 增益 = 1152, V _{IN} = +61mV, CLK_CFG = “00” (默认值) ...	56
图 2-33. 0.1Hz 至 10Hz V _{OUT} 峰峰值噪声, 粗略失调电压调整 = -56mV, 增益 = 1152, V _{IN} = +57mV, CLK_CFG = “01”, V _{NPP} (RTI) = 4.44V _{PP}	57
图 2-34. V _{OUT} 噪声频谱, 粗略失调电压调整 = -56mV, 增益 = 1152, V _{IN} = +57mV, CLK_CFG = “01”	57
图 2-35. 0.1Hz 至 10Hz V _{OUT} 峰峰值噪声, 粗略失调电压调整 = -56mV, 增益 = 1152, V _{IN} = +57mV, CLK_CFG = “10”, V _{NPP} (RTI) = 18.4μV _{PP}	57
图 2-36. V _{OUT} 噪声频谱, 粗略失调电压调整 = -56mV, 增益 = 1152, V _{IN} = +57mV, CLK_CFG = “10”	58
图 2-37. 0.1Hz 至 10Hz V _{OUT} 峰峰值噪声, 粗略失调电压调整 = -56mV, 增益 = 1152, V _{IN} = +57mV, CLK_CFG = “11”, V _{NPP} (RTI) = 42μV _{PP}	58
图 2-38. V _{OUT} 噪声频谱, 粗略失调电压调整 = -56mV, 增益 = 1152, V _{IN} = +57mV, CLK_CFG = “11”	58
图 2-39. 输入滤波.....	59
图 3-1. 状态机 — 上电序列和独立工作模式.....	63
图 3-2. PGA309 内部寄存器映射到外部 EEPROM 地址.....	64
图 3-3. 所需的增益 DAC 值.....	67
图 3-4. 所需的零 DAC 值.....	67
图 3-5. 上电时使用 Test = “1” 进行信号路径功能检查.....	74
图 4-1. 两线制时序图.....	76
图 4-2. 两线制启动和确认.....	77
图 4-3. 外部 EEPROM 和控制字节分配.....	77
图 4-4. 两线制访问 PGA309 的时序.....	78
图 4-5. PGA309 PRG 到控制器的典型连接.....	79
图 4-6. 单线制 (PRG) 访问 PGA309 和外部 EEPROM 时序.....	80
图 4-7. 单线制访问 PGA309 寄存器.....	81
图 4-8. 单线制访问外部 EEPROM.....	82
图 4-9. PGA309 单线制接口时序图.....	82
图 4-10. 两线制访问外部 EEPROM 的时序.....	84
图 4-11. 独立模式下外部 EEPROM 时序的第一部分.....	86
图 4-12. 独立模式下外部 EEPROM 时序的第二部分.....	87
图 4-13. PGA309 在主模式下放弃两线制总线.....	88
图 4-14. 两线制总线主器件算法.....	89
图 4-15. PRG 连接到 V _{OUT} 的单线制工作模式.....	90
图 4-16. 输出启用/禁用状态机.....	92

图 4-17. 四线制传感器模块应用.....	93
图 4-18. SCR ESD 单元.....	94
图 4-19. 严重的 EMI/RFI 干扰.....	95
图 4-20. PRG 电路保护逻辑电平.....	96
图 4-21. PRG 电路 EMI/RFI 滤波.....	97
图 5-1. 典型桥式传感器.....	99
图 5-2. 跨度和失调电压示例.....	99
图 5-3. 理想跨度和失调电压与温度间的关系.....	100
图 5-4. 在整个温度内非线性对桥式传感器跨度的影响.....	100
图 5-5. 在整个温度内非线性对桥式传感器失调电压的影响.....	100
图 5-6. 施加压力时正负非线性桥式传感器输出的非理想曲线.....	101
图 5-7. 绝对调节条件.....	101
图 5-8. 比例式配置, 5V.....	102
图 5-9. 比例式配置, 3V.....	102
图 5-10. 典型修整配置.....	103
图 5-11. PGA309 修整配置.....	103
图 6-1. 内部温度模式; 寄存器 6[9] = “1”.....	108
图 6-2. 外部信号模式; 寄存器 6 = “0000 0100 0011 0000”.....	108
图 6-3. 内部温度模式 (寄存器 6 [9] = “1”).....	119
图 6-4. 外部信号模式 (寄存器 6 [9], TEN = “0”).....	120
图 6-5. 温度 ADC 多路复用器配置.....	120
图 A-1. PGA309 外部 EEPROM 电路示例.....	126
图 A-2. 外部 EEPROM 的增益和失调电压调节示例.....	128
图 B-1. 详细方框图.....	132

表格清单

表 1-1. PGA309 调整功能.....	13
表 1-2. PGA309 引脚说明.....	17
表 2-1. 输出放大器典型增益电阻值 ⁽¹⁾	26
表 2-2. 输出放大器增益选择 — 寄存器 4.....	28
表 2-3. 寄存器 3 基准控制位.....	29
表 2-4. PGA309 建议运行条件.....	37
表 2-5. 范围 0 — 典型系统应用和最大非线性校正.....	38
表 2-6. 范围 1 — 典型系统应用和最大非线性校正 ^{(1) (2) (3)}	38
表 2-7. 内部温度模式配置 — 寄存器 6.....	39
表 2-8. 内部温度模式分辨率 — 寄存器 6.....	40
表 2-9. 内部温度模式数据 — 寄存器 0 ⁽¹⁾	40
表 2-10. 温度 ADC PGA 增益选择 — 寄存器 6.....	41
表 2-11. 温度 ADC 基准选择 — 寄存器 6.....	42
表 2-12. 温度 ADC ⁽¹⁾ 分辨率 (转换时间) — 寄存器 6.....	42
表 2-13. 温度 ADC 启动转换控制 — 寄存器 6.....	42
表 2-14. 外部温度模式下的温度 ADC ⁽¹⁾ 转换速度选项.....	44
表 2-15. 桥式传感器故障和故障比较器状态 — V_{IN1} 和 V_{IN2} 没有上拉或下拉电阻 ⁽¹⁾	47
表 2-16. 桥式传感器故障和故障比较器状态 — V_{IN1} 和 V_{IN2} 通过 $10M\Omega$ 上拉电阻连接至 V_{EXC} ⁽¹⁾	48
表 2-17. 桥式传感器故障和故障比较器状态 — V_{IN1} 和 V_{IN2} 通过 $10M\Omega$ 下拉电阻连接至 GND ⁽¹⁾	48
表 2-18. 过量程阈值选择 (寄存器 5 位 [5:3])。 $V_{REF} = +5V$	50
表 2-19. 欠量程阈值选择 (寄存器 5 位 [2:0])。 $V_{REF} = +5V$	50
表 2-20. 过量程和欠量程比较器以及 V_{REF} 的电气特性.....	52
表 2-21. 过量程和欠量程最小和最大跳闸点计算 ⁽¹⁾	52
表 2-22. 系统 ADC 范围预算的 PGA309 V_{OUT} 限制 ⁽¹⁾	53
表 2-23. PGA309 时钟方案.....	56
表 3-1. 1k 位外部 EEPROM 内容.....	65
表 3-2. 温度 ADC 温度与计数间的关系.....	68
表 3-3. 增益 DAC 温度系数计算.....	69
表 3-4. 零 DAC 温度系数计算.....	70
表 3-5. 查找表内容.....	70

表 3-6. 增益 DAC 与温度间的关系.....	72
表 3-7. 增益 DAC 查找表计算算法.....	72
表 3-8. 主要参数的 POR 状态.....	73
表 4-1. 两线制时序图定义.....	76
表 4-2. 单线制时序图定义.....	82
表 4-3. 温度 ADC — V_{OUT} 启用后的延迟 (寄存器 7)	90
表 4-4. 用于单线制接口/ V_{OUT} 多路复用模式的输出使能计数器 (寄存器 7)	91
表 5-1. 公式中的各个项.....	104
表 6-1. 内部寄存器概览.....	107
表 6-2. 内部温度模式 - 数据格式 (12 位分辨率)。TEN = 1 ; R1、R0 = “11” ⁽¹⁾	108
表 6-3. 外部信号模式 - 数据格式示例 (寄存器 6 = “0000 0100 0011 0011”) , 15 位 + 符号分辨率。REN = 1 , RS = 1	108
表 6-4. 零 DAC — 数据格式示例 ($V_{REF} = +5V$).....	109
表 6-5. 增益 DAC — 数据格式.....	111
表 6-6. 线性化 DAC — 数据格式示例 (范围 1 : $-0.166V_{FB} < \text{线性化 DAC 范围} < +0.166V_{FB}$)	112
表 6-7. 输出放大器 — 增益选择.....	113
表 6-8. 前端 PGA — 增益选择.....	113
表 6-9. 前端 PGA — 多路复用器选择.....	115
表 6-10. 前端 PGA 上的粗略失调电压调整 — 数据格式示例 ($V_{REF} = +5V$).....	115
表 6-11. 时钟配置 (前端 PGA 自动置零和粗略调整 DAC 斩波)	116
表 6-12. 过量程阈值选择 ($V_{REF} = +5V$).....	117
表 6-13. 欠量程阈值选择 ($V_{REF} = +5V$).....	117
表 6-14. 温度 ADC 基准选择.....	119
表 6-15. 温度 ADC 输入多路复用器选择.....	119
表 6-16. 温度 ADC PGA 增益选择.....	119
表 6-17. 温度 ADC — 分辨率 (转换时间) 选择.....	120
表 6-18. 温度 ADC — V_{OUT} 启用后的延迟.....	121
表 6-19. 用于单线制接口/ V_{OUT} 多路复用模式的输出使能计数器.....	121
表 A-1. PGA309 外部 EEPROM 配置示例.....	126
表 A-2. 外部 EEPROM 的最终值示例.....	128

This page intentionally left blank.



关于本手册

本用户指南介绍 PGA309 的功能和运行情况。

德州仪器 (TI) 相关文档

如需任何文档的最新版本，请访问 TI 网站 <https://www.ti.com/>，或致电 (800) 477-8924 联系德州仪器 (TI) 文献咨询中心或致电 (972) 644-5580 联系产品信息中心 (PIC)。订购时，可通过文档标题或文献编号（显示在括号中）识别文档。

数据表

[PGA309 产品文件夹 \(PGA309 数据表\)](#)

用户指南

[PGA309EVM 用户指南 \(SLOR087\)](#)

[Sensor-Emulator-EVM 参考指南 \(SBOA102\)](#)

[USB DAQ 平台用户指南 \(SBOU056\)](#)

[通用串行总线通用设备控制器 \(SLLS466\)](#)

工具

[PGA309EVM 软件 \(SLOR088\)](#)

[PGA309EVM 源代码 \(SBOC070\)](#)

[PGA309EVM 评估模块](#)

如果您需要协助

如果您对 PGA309 或 PGA309 评估模块有疑问，请在 TI E2E™ 论坛（网址为 e2e.ti.com）中加入线性放大器应用团队的讨论。请添加 **PGA309** 作为您帖子的主题标题。

注意事项和警告信息

本文档包含注意事项声明。

小心

这是注意事项声明示例。注意事项申明描述了一种可能对软件或者器件造成潜在损坏的情况。

注意事项或者警告中所提供的信息是为了保护您的安全。请仔细阅读每条注意事项和警告。

FCC 警告

本设备仅限于在实验室测试环境中使用。其会产生、使用并能够发出射频能量，且尚未经过测试，不确定是否符合 FCC 规则第 15 部分 J 子部分有关计算设备的限制，该限制可用于针对射频干扰提供合理的保护。在其他环境

中操作该设备可能会对无线电通讯造成干扰，在此情况下，用户必须自行承担为更正此干扰而需采取的任何相关措施的费用。

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。



本用户指南介绍 **PGA309** (专为桥式传感器设计的可编程模拟信号调节器) 的功能和运行情况。

1.1	PGA309 功能说明	12
1.2	传感器误差调整范围	13
1.3	增益调节	13
1.4	失调电压量调整	13
1.5	电压基准	13
1.6	传感器激励和线性化	14
1.7	使用 ADC 进行温度检测	14
1.8	外部 EEPROM 和温度系数	14
1.9	故障监测	15
1.10	过量程和欠量程限制	15
1.11	上电和正常运行	15
1.12	数字接口	16
1.13	引脚配置	17

1.1 PGA309 功能说明

PGA309 是一款专为电阻桥式传感器应用而设计的智能可编程模拟信号调节器。这是一款完整的信号调节器，具有电桥激励、初始跨度和失调电压调整、跨度和失调电压温度调整、内部/外部温度测量能力、输出过量程和欠量程限制、故障检测和数字校准等特性。PGA309 在经校准的传感器模块中可以将误差降低至近乎实现桥式传感器可重复性的水平。图 1-1 展示了 PGA309 的方框图。以下是每个主要功能的简要概述。

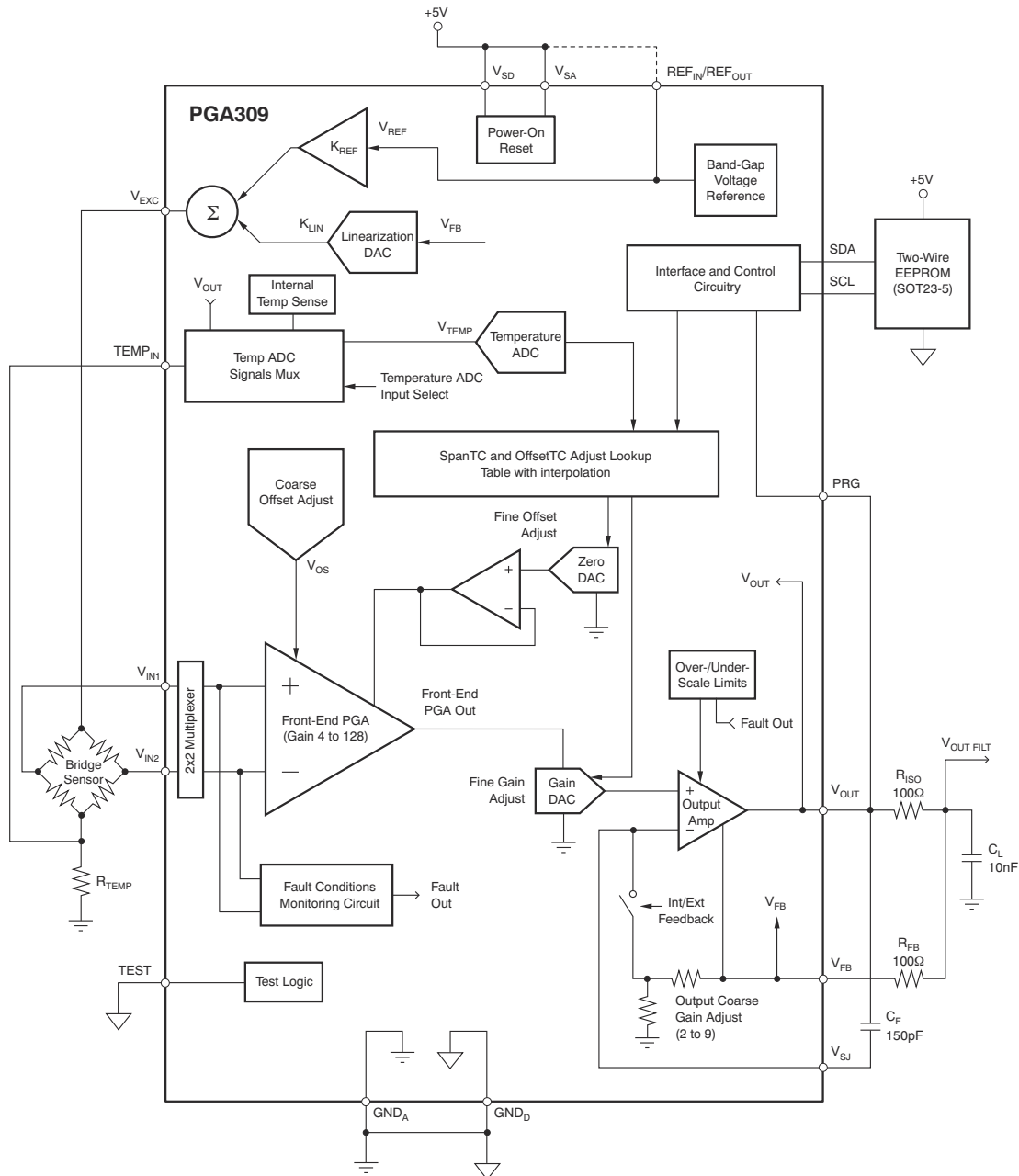


图 1-1. PGA309 的简化图

1.2 传感器误差调整范围

表 1-1 总结了 PGA309 的调整功能。

表 1-1. PGA309 调整功能

参数	值/范围
FSS (满量程电桥灵敏度)	1mV/V 至 245mV/V
跨度 TC	超过 $\pm 3300\text{ppmFS}/^\circ\text{C}^{(1)}$
跨度 TC 非线性	> 10%
零失调电压	$\pm 200\%\text{FS}^{(2)}$
零失调电压 TC	超过 $\pm 3000\text{ppmFS}/^\circ\text{C}^{(2)}$
零失调电压 TC 非线性	> 10%
传感器阻抗	低至 $200\Omega^{(3)}$

- (1) 取决于温度检测方案。
- (2) 混合粗略和精细失调电压调整。
- (3) 通过使用与电桥串联的降压电阻可以降低阻抗。

1.3 增益调节

PGA309 的核心是精密、低漂移、无 $1/f$ 噪声的前端可编程增益放大器 (前端 PGA)。前端 PGA + 输出放大器的总体增益可在 2.7V/V 至 1152V/V 范围内调整。输入的极性可以通过 2x2 输入多路复用器进行切换, 以适应极性输出未知的传感器。

前端 PGA 使用无 $1/f$ 噪声的自动置零仪表放大器提供初始粗略信号增益。精细增益调整由 16 位衰减增益数模转换器 (增益 DAC) 完成。增益 DAC 由温度模数转换器 (温度 ADC) 驱动的温度补偿查找表中的数据进行控制。为了补偿二阶和更高阶的非线性漂移, 在校准期间可以使用存储在外部非易失性 EEPROM 查找表中的系数将跨度漂移拟合到分段线性曲线。

在精细增益调整级之后是提供额外可编程增益的输出放大器。为实现应用灵活性, PGA309 上引出两条关键的输出放大器连接 (V_{FB} 和 V_{SJ})。这些连接可带来经过调节的精确信号电压, 同时还提供了一种应对 PGA309 输出过压和大容性负载的方法, 满足许多终端应用的 RFI/EMI 滤波要求。

1.4 失调电压量调整

传感器失调电压调整分两个阶段执行。当所选的 V_{REF} 为 5V 时, 以输入为基准的粗略失调电压调整 DAC 具有大约 $\pm 60\text{mV}$ 的失调电压调整范围。16 位零 DAC 会将信号与前端 PGA 的输出相加, 从而消除精细失调电压和温漂。与增益 DAC 类似, 零 DAC 的输入数字值由温度补偿查找表中的数据进行控制; 该查找表存储在外部 EEPROM 中, 由温度 ADC 驱动。零 DAC 的编程范围为 0 至 V_{REF} , 输出范围为 0.1V 至 $V_{SA} - 0.1\text{V}$ 。

1.5 电压基准

PGA309 包含一个精密低漂移电压基准 (2.5V 或 4.096V 可选)。此电压基准可通过 REF_{IN}/REF_{OUT} 引脚用于外部电路。该电压基准还通过 V_{EXC} 引脚用于粗略失调电压调整 DAC、零 DAC、过量程/欠量程限制以及传感器激励/线性化。当内部基准为禁用状态时, REF_{IN}/REF_{OUT} 引脚应连接至外部基准, 对于比例调节式系统, 则应连接至 V_{SA} 。

1.6 传感器激励和线性化

PGA309 上提供了一个带有 7 位 + 符号 DAC 的专用电路，用于传感器电压激励和线性化。该块可以调节基准电压并将其与 PGA309 输出的一部分相加，以补偿许多传感器在施加的压力范围内表现出的正或负弓形非线性。无需线性化的传感器可以直接连接到电源 (V_{SA})，或连接到 V_{EXC} 引脚（线性化 DAC (Lin DAC) 设置为零）。

1.7 使用 ADC 进行温度检测

传感器跨度和温漂的补偿由温度检测电路进行驱动。内部或外部温度检测均可。可以通过以下方式之一检测温度：

- 电桥阻抗变化（激励电流检测，位于电桥的正极或负极部分），适用于电阻温度系数较大 ($TCR > 0.1\%/^{\circ}C$) 的传感器。
- 片上 PGA309 温度（当芯片位置足够靠近传感器时）。
- 放置在传感器膜片上的外部二极管、热敏电阻或 RTD。可以通过寄存器启用内部 $7\mu A$ 电流源，以激励这些类型的温度传感器。

温度信号由板载温度 ADC 进行数字化。控制数字电路使用温度 ADC 的输出从外部 EEPROM 中的查找表读取数据，并在温度变化时将增益 DAC 和零 DAC 的输出设置为校准值。

通过温度 ADC 提供的一个附加功能是通过温度 ADC 输入多路复用器读回 V_{OUT} 引脚的功能。使用此功能可以灵活地通过单线制或两线制接口提供数字输出，并且使得外部微控制器可以执行 PGA309 的实时自定义校准。

1.8 外部 EEPROM 和温度系数

PGA309 使用业界通用的两线制外部 EEPROM（通常为 SOT23-5 封装）。使用全部 17 个温度系数时，需要一个 1k 位（最小）的 EEPROM。更大的 EEPROM 可用于为序列号、批次代码或其他数据提供用户空间。

外部 EEPROM 的第一部分包含 PGA309 的配置数据，包括以下设置：

- 寄存器 3 — 基准控制和线性化
- 寄存器 4 — PGA 粗略失调电压和增益/输出放大器增益
- 寄存器 5 — PGA 配置和过量程/欠量程限制
- 寄存器 6 — 温度 ADC 控制

EEPROM 的此部分包含其自己的校验和 (Checksum1)。

外部 EEPROM 的第二部分包含多达 17 个温度指数值以及用于根据测量温度进行零 DAC 和增益 DAC 调整的相应温度系数，并包含其自己的校验和 (Checksum2)。PGA309 查找逻辑包含一个线性插值算法，用于在存储的温度指数之间进行精确的 DAC 调整。这种方法允许对多达 17 个温度指数和相关温度系数进行分段线性温度补偿。

如果 Checksum1、Checksum2 之一或两者都不正确，PGA309 的输出将设置为高阻抗。

1.9 故障监测

为了检测传感器烧毁或短路，可将一组（四个）比较器连接到前端 PGA 的输入端。如果接收的任何输入与接地电压或 V_{EXC} 之间的偏差在 100mV 以内，或者超出前端 PGA 的输入 CMR 范围，则相应的比较器将设置一个传感器故障标志，此标志使得 PGA309 V_{OUT} 与 V_{SA} 或接地电压（具体取决于警报配置设置（寄存器 5 — PGA 配置和过量程/欠量程限制））之间的偏差进入 100mV 范围内。这将远高于设定的过量程限制水平或远低于设定的欠量程限制水平。可以在寄存器 8 — 警报状态寄存器中以数字形式读取故障情况的状态。如果禁用了过量程/欠量程限制，PGA309 输出电压与 V_{SA} 或接地电压（具体取决于警报配置设置）之间的偏差仍将进入 100mV 范围内。

另外还有五个故障检测比较器可帮助检测细微的 PGA309 前端违规情况，这些违规情况可能导致 V_{OUT} 处产生线性电压，而这会被解读为有效状态。这些比较器在工厂校准和设置期间特别有用，并通过寄存器 5 — PGA 配置和过量程/欠量程限制进行配置。此外，还可以通过寄存器 8 — 警报状态寄存器读回它们的状态。

1.10 过量程和欠量程限制

过量程和欠量程限制电路与故障监测电路相结合可提供一种系统诊断方法。在传感器正常工作范围内，典型的传感器调节输出可以调节为系统 ADC 范围的 10% 至 90%。如果调节后的压力传感器低于 4%，则视为欠压；如果超过 96%，则视为过压。

PGA309 过量程/欠量程限制电路可针对欠量程和过量程单独编程，从而削减或限制 PGA309 输出。从系统诊断的角度来看，ADC 的正常工作范围是 10% 至 90%，小于 4% 表示欠压，大于 96% 表示过压。如果使用了故障检测电路，则检测到的故障将导致 PGA309 输出被驱动至正饱和或负饱和状态。如果此故障标志被编程为高电平，则大于 97% 的 ADC 范围将视为故障；如果编程为低电平，则小于 3% 的 ADC 范围将视为故障。现在可以使用系统软件来区分过压或欠压情况（表示失控过程或传感器故障）。

1.11 上电和正常运行

PGA309 有一个电路可以检测 PGA309 的供电情况并将内部寄存器和电路复位至初始状态。当检测到电源无效时，也会发生这种复位，这样当电源再次变为有效时，PGA309 会处于已知状态。该电路的上升阈值通常为 2.2V，下降阈值通常为 1.7V。当电源变为有效后，PGA309 等待大约 33ms，然后尝试从外部 EEPROM 器件读取配置数据。

如果 EEPROM 在地址位置 0 和 1 中设置了正确的标志，则 PGA309 将继续读取 EEPROM；否则，PGA309 将等待 1.3 秒，然后重试。如果 PGA309 没有检测到来自 EEPROM 的响应，则 PGA309 会等待 1.3 秒，然后重试；否则，PGA309 会尝试释放总线并等待 33ms，然后尝试再次读取 EEPROM。如果成功（包括有效的校验和数据），则 PGA309 会触发温度 ADC 来测量温度。对于 16 位分辨率结果，转换器大约需要 125ms 来完成一次转换。一旦转换完成，PGA309 开始从 EEPROM 读取查找表信息，以便计算增益 DAC 和零 DAC 的设置。此过程的详细说明如图 3-1 中的流程图所示。

PGA309 读取整个查找表，以便能够确定查找表的校验和是否正确。从 EEPROM 读取查找表中的每个条目大约需要 500 μ s。一旦确定校验和有效，增益 DAC 和零 DAC 的计算值便会更新到各自的寄存器中，并启用输出放大器。然后，PGA309 开始循环执行整个过程，首先读取 EEPROM 配置寄存器，然后在温度 ADC 上开始新的转换，进而触发从 EEPROM 读取查找表数据的操作。此循环无限期持续下去。

1.12 数字接口

PGA309 上有两个数字接口。PRG 引脚使用与 UART 兼容的单线制接口，比特率范围为 4.8Kbits/s 至 38.4Kbits/s。SDA 和 SCL 引脚共同构成一个时钟速率为 1kHz 至 400kHz 的业界通用两线制接口。外部 EEPROM 会使用这个两线制接口。与 PGA309 内部寄存器以及外部 EEPROM 的通信（以便进行编程和回读）可通过任一数字接口进行。

还可以将单线制通信引脚 PRG 连接到真正三线制的传感器模块中的 V_{OUT} 引脚，并且仍然允许编程。在此模式下，PGA309 输出放大器可在设定的时间段内保持启用，然后再次禁用，以便与 V_{OUT} 连接共用 PRG 引脚。因此，可以在三线制传感器模块中的传感器校准期间进行数字校准和模拟回读。

两线制接口具有超时机制可以防止发生总线锁定。PGA309 中的两线制主控制器有一种模式会尝试通过发出 SCL 脉冲来释放“卡在零”的 SDA 线路，即使在超时期过后总线未被指示为空闲状态也是如此。仅当 PGA309 的主器件部分正在尝试初始化两线制通信时，这个超时才适用。

1.13 引脚配置

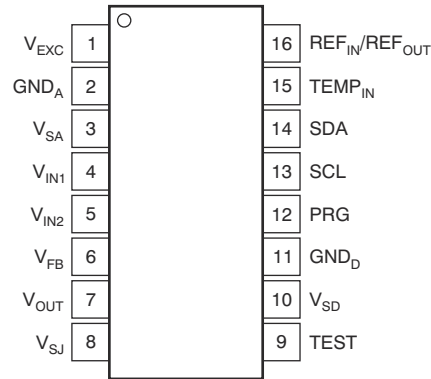


图 1-2. PGA309 引脚分配

表 1-2. PGA309 引脚说明

引脚	名称	说明
1	V _{EXC}	桥式传感器激励。如果要使用线性化和/或内部基准进行电桥激励，应连接到电桥。
2	GND _A	模拟接地。连接到 V _{SA} 的模拟接地回路。应与 GND _D 相同。
3	V _{SA}	模拟电压电源。连接到模拟电压电源。与 V _{SD} 的差值需要在 200mV 范围内。
4	V _{IN1}	信号输入电压 1。连接到传感器电桥的正极或负极输出端。内部多路复用器可以在内部更改与前端 PGA 的连接。
5	V _{IN2}	信号输入电压 2。连接到传感器电桥的正极或负极输出端。内部多路复用器可以在内部更改与前端 PGA 的连接。
6	V _{FB}	V _{OUT} 反馈引脚。过量程/欠量程限制电路的电压反馈检测点。当使用输出放大器的内部增益设置电阻时，这也是输出放大器的电压反馈检测点。 V _{FB} 与 V _{SJ} 组合使用可以在不降低 PGA309 V _{OUT} 精度的情况下简化外部滤波器电路和保护电路。如果使用外部保护，V _{FB} 必须始终连接到 V _{OUT} 或 V _{OUT} 的反馈点。
7	V _{OUT}	经调节的传感器的模拟输出电压。
8	V _{SJ}	输出放大器求和结。用于在驱动大型容性负载 (> 100pF) 时进行输出放大器的补偿和/或用于为输出放大器使用外部增益设置电阻。
9	TEST	测试/外部控制器模式引脚。在正常模式拉至 GND _D 。
10	V _{SD}	数字电压电源。连接到数字电压电源。与 V _{SA} 的差值需要在 200mV 范围内。
11	GND _D	数字接地。连接到 V _{SD} 的数字接地回路。应与 GND _A 相同。
12	PRG	单线制接口编程引脚。这是 UART 型接口，可以通过一条线对 PGA309 进行数字校准。可连接到一个三导联 (V _S 、GND、V _{OUT}) 数字可编程传感器组件的 V _{OUT} 。
13	SCL	业界通用两线制接口的时钟输入/输出，用于通过外部 EEPROM 读取和写入数字校准和配置。还可以通过业界通用两线制接口直接与 PGA309 中的寄存器进行通信。
14	SDA	业界通用两线制接口的数据输入/输出，用于通过外部 EEPROM 读取和写入数字校准和配置。还可以通过业界通用两线制接口直接与 PGA309 中的寄存器进行通信。
15	TEMP _{IN}	外部温度信号输入。PGA309 可配置为读取电桥电流检测电阻作为电桥温度的指示器，或者读取外部温度检测器件 (例如二极管结或 RTD/热敏电阻)。此输入可在内部放大 1、2、4 或 8 倍。另外，此输入可以相对于 V _{GND A} 、V _{EXC} 或内部 V _{REF} 进行差分读取。还有一个可由寄存器选择的 7μA 内部电流源 (I _{TEMP}) 可以作为 RTD、热敏电阻或二极管激励源连接到 TEMP _{IN} 。
16	REF _{IN} /REF _{OUT}	基准输入/输出引脚。作为输出，系统可以在此引脚上使用内部电压基准 (可选择为 2.5V 或 4.096V)。作为输入，可以禁用内部电压基准，然后可以应用一个外部电压基准作为 PGA309 的基准。

This page intentionally left blank.

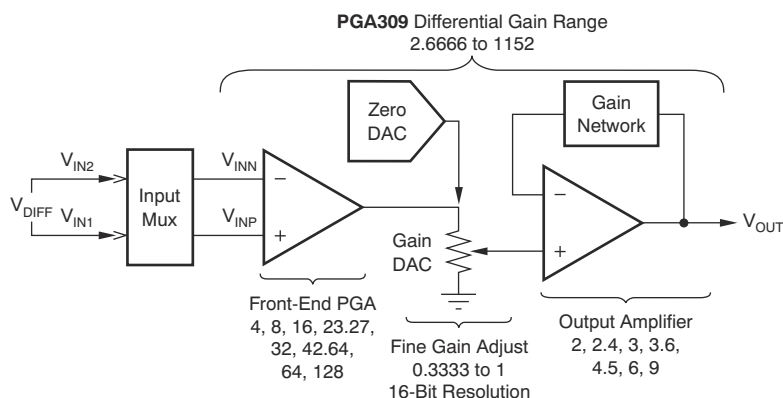


本章提供 PGA309 的详细说明。

2.1 增益调节	20
2.2 失调电压调节	24
2.3 零 DAC 和增益 DAC 架构	25
2.4 输出放大器	25
2.5 基准电压	29
2.6 线性化函数	30
2.7 温度测量	38
2.8 故障监测	46
2.9 过量程和欠量程	49
2.10 噪声和粗略失调电压调整	53
2.11 一般 AC 注意事项	59

2.1 增益调节

PGA309 有三个主要的增益模块用于调节差分输入桥式传感器信号，如图 2-1 所示。前端 PGA 包含最高增益选择功能，通过在信号链的前面应用最大增益之后再添加其他噪声源来实现最高信噪比。前端 PGA 增益选择功能有八个增益设置 (4、8、16、23.27、32、42.67、64 和 128)，由寄存器 4 位 (11:8) 进行设置。位 11 选择输入多路复用器的极性。



$$V_{OUT} = [(V_{DIFF} + V_{COARSE OFFSET}) (\text{前端 PGA 增益}) + V_{ZERO DAC}] [\text{增益 DAC}] [\text{输出放大器增益}]$$

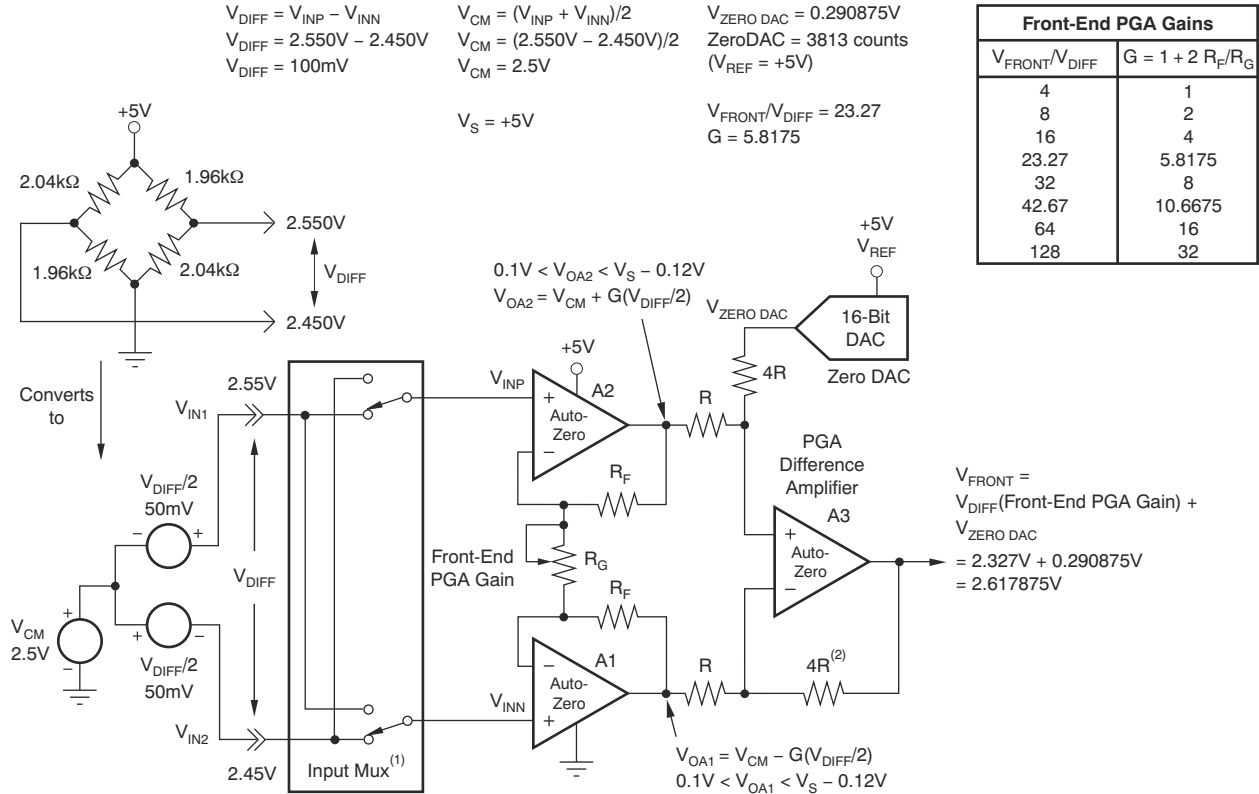
图 2-1. PGA309 的增益模块

前端 PGA 之后是增益 DAC。精细增益调整由 16 位增益 DAC 进行控制，可调范围为 0.3333 到 1。寄存器 2 仅用于增益 DAC 设置。

最终信号增益通过输出放大器来应用。该放大器内部有七个增益设置 (2、2.4、3、3.6、4.5、6、9) 可供选择。输出放大器有一个选项可禁用内部增益并允许使用用户提供的外部电阻来设置输出放大器增益。寄存器 4 位 (14:12) 可以选择内部输出放大器增益 (除非在禁用内部反馈后编程为“111”)。组合的增益模块支持 2.666 (400kHz 带宽) 至 1152 (60kHz 带宽) 的 V_{OUT}/V_{DIFF} 信号增益。

PGA309 的前端 PGA 是一款可优化共模电压抑制的三级运算放大器仪表放大器。此仪表放大器由具有自动置零前端的运算放大器构成，基本上消除了 1/f 噪声。

与任何仪表放大器一样，此仪表放大器的输出电压摆幅和输入共模电压范围也受到限制。图 2-2 中的电路代表了 PGA309 内部的前端 PGA，用于评估关键内部节点电压，以确保不会超出输出电压摆幅和共模电压的限制。虽然有可能超出了这些内部节点的限制，但是在 PGA309 的 V_{OUT} 上仍然具有明显有效的输出电压。可以设置内部比较器来监测这些内部节点，以便发现传感器校准期间的超限情况 (请参阅节 2.8: 故障监测)。



- A. 输入多路复用器允许传感器输出极性反转。
- B. PGA 差分放大器增益为 4 时，可实现零 DAC 的完整范围输出以及 A1 和 A2 的完整电压摆幅输出，且不会在 A3 输入端超出共模范围。

图 2-2. 前端 PGA 增益 — 内部节点计算

为 PGA309 增益模块选择适当的调节设置后，只需简单的手工分析即可检查是否存在超出内部节点限制的情况。请务必将 PGA309 输入电压 (V_{INP} 、 V_{INN}) 转换为共模和差分电压分量以实现最大传感器输出。该转换的模型如图 2-2 所示。前端 PGA 在差分放大器 A3 中的增益为 4。为了分析重要的内部节点 V_{OA1} 和 V_{OA2} ，有必要为运算放大器 A1 和 A2 分配适当的增益系数 (G)。图 2-2 详细说明了这一点，其中在相应节点处展示了对应的输出电压公式。对于传感器的最大 V_{DIFF} 输出， V_{OA1} 和 V_{OA2} 处于允许的以下电压摆幅范围内： $0.1V < (V_{OA1}\ 或\ V_{OA2}) < V_S - 0.12$ 。在本例中， $0.1V < (V_{OA1}\ 或\ V_{OA2}) < 4.88V$ 。

其他应用可能会产生不同的结果，需要不同的增益调节或传感器激励路径的正或负桥臂中的电阻来调整 PGA309 的共模输入电压。PGA309 的最大允许输入电压范围 (IVR) 规格为 $0.2V < IVR < V_{SA} - 1.5V$ ，所以在此应用中转换为 $0.2V < IVR < 3.5V$ 。在图 2-2 中，我们看到 $V_{INP} = 2.550V$ ， $V_{INN} = 2.450V$ ，这些数值在可接受的 IVR 规格范围内。

对于 A2 和 A1 的输出电压，差分放大器 A3 的输出 (V_{FRONT}) 具有增益值 4，但对于零 DAC 的输出电压，增益为 1。 V_{FRONT} 是通过 V_{DIFF} 乘以前端 PGA 增益加上零 DAC 输出电压得出。 V_{FRONT} 信号通过增益 DAC 和输出放大器增益模块接受进一步处理。

图 2-3 展示了 PGA309 内部的增益 DAC 和输出放大器增益模块。在本例中，增益 DAC 设置为 0.859475571，输出放大器的增益为 2。如图 2-3 所示，对于传感器的最大 V_{DIFF} 输出，净输出电压 V_{OUT} 为 4.5V。

对于 $V_{OUT\ MIN}$ ，传感器输出 0V：

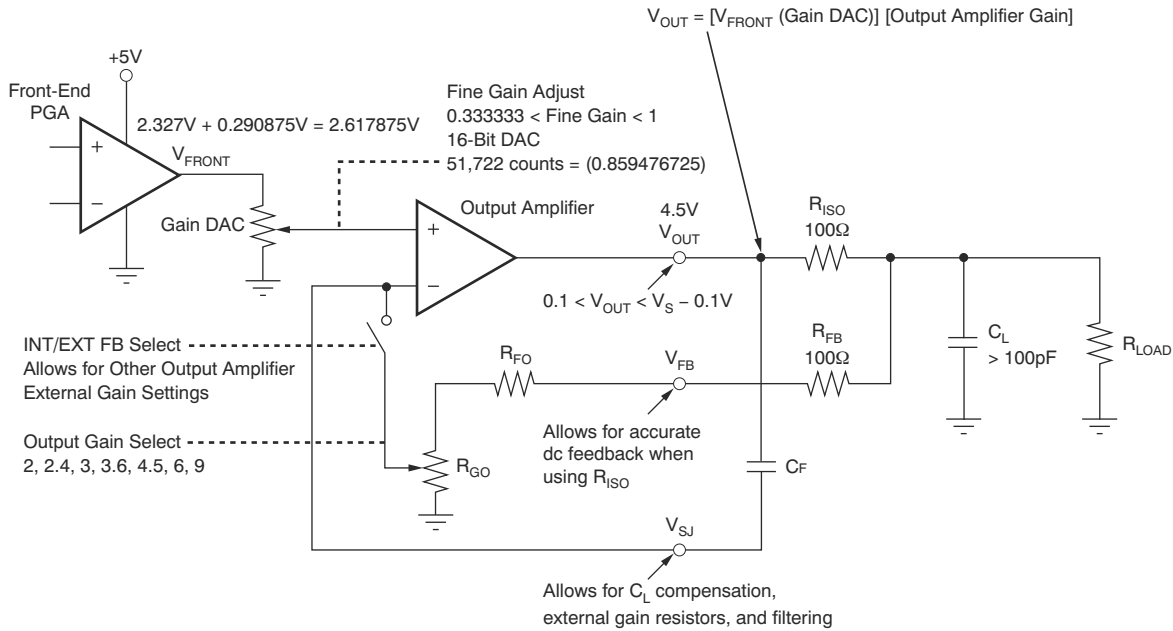
$$V_{OUT\ MIN} = V_{ZERO\ DAC} [(\text{增益 DAC}) (\text{输出放大器增益})]$$

在本例中：

$$V_{OUT\ MIN} = 0.290908813V [(0.859475571)(2)] = 0.5000V$$

输出放大器具有外部连接，这使得终端用户在针对多种应用的输出放大器配置中具有最大的灵活性。 V_{FB} 和 V_{SJ} 引脚的使用方法如节 2.4 - 输出放大器中所述。

示例 2-1 展示了求解增益设置的过程。



$$V_{OUT} = [(V_{DIFF} + V_{COARSE OFFSET}) (\text{前端 PGA 增益}) + V_{ZERO DAC}] [\text{增益 DAC}] [\text{输出放大器增益}]$$

图 2-3. PGA309 的精细增益调整

2.1.1 PGA309 传递函数

方程式 1 显示了用于计算输出电压 V_{OUT} 的数学表达式。该公式也可通过用代数方法重新整理后，求解不同的项。例如，在校准期间，该公式经过重新整理可以求解 V_{IN} 。

$$V_{OUT} = [(\text{mux_sign} \cdot V_{IN} + V_{Coarse_Offset}) \cdot GI + V_{Zero_DAC}] \cdot GD \cdot GO \quad (1)$$

其中：

mux_sign：该项会改变输入信号的极性；值为 ± 1 。

V_{IN} ：PGA309 的输入信号； $V_{IN1} = V_{INP}$ ， $V_{IN2} = V_{INN}$ 。

V_{Coarse_Offset} ：粗略失调电压调整 DAC 输出电压。

GI：输入级增益。

V_{Zero_DAC} ：零 DAC 输出电压。

GD：增益 DAC。

GO：输出级增益。

示例 2-1. 求解增益设置

此过程将使用一个示例桥式传感器应用来检查与增益块相关的 PGA309 内部节点（请参阅图 2-2 和图 2-3）。

假设：

满量程电桥灵敏度 (FSS) = 20mV/V (传感器跨度)

$V_{OS} = 0\text{mV}$ (传感器失调电压)

$V_{REF} = +5\text{V}$ (传感器激励)

$V_B = +5\text{V}$, $V_S = +5\text{V}$

$R_{BRG} = 2\text{k}\Omega$

$V_{OUT\ MIN} = +0.5\text{V}$

$V_{OUT\ MAX} = +4.5\text{V}$

查找：

前端 PGA 增益

增益 DAC 设置

零 DAC 设置

输出放大器增益

解决方案：

1. 最大传感器输出：

$$V_{BR\max} = (\text{FSS})(V_B)$$

$$V_{BR\max} = (20\text{mV/V})(5\text{V})$$

$$V_{BR\max} = 100\text{mV}$$

2. 总期望增益：

$$G_T = (V_{OUT\ MAX} - V_{OUT\ MIN})/V_{BR\max}$$

$$G_T = (4.5\text{V} - 0.5\text{V})/100\text{mV}$$

$$G_T = 40$$

3. 对增益进行分区；确定所需的增益 DAC 设置：

选择前端 PGA 增益 = 23.27

选择输出放大器增益 = 2

$$\text{增益 DAC} = 0.859475719$$

$$\text{增益 DAC} = G_T / [(\text{前端 PGA})(\text{输出放大器增益})]$$

$$\text{增益 DAC} = 40 / [(23.27)(2)]$$

$$\text{增益 DAC} = 0.859475719$$

4. 计算精确的可编程增益 DAC 值：

$$\text{十进制数字计数} = (\text{增益 DAC} - 1/3)(3/2)(65536)$$

$$\text{十进制数字计数} = (0.859475719 - 1/3)(3/2)(65536) = 51,721.90133$$

使用 51,722 个计数 → CA0Ah → 1100 1010 0000 1010 → 0.859476725

$$\text{增益 DAC} = (\text{数字计数}/65536)(2/3) + (1/3)$$

5. 计算零 DAC 值

$$V_{ZERO\ DAC} = V_{OUT\ MIN} / [(\text{增益 DAC})(\text{输出放大器增益})]$$

$$V_{ZERO\ DAC} = 0.5\text{V} / [(0.859475719)(2)] = 0.29087505\text{V}$$

$$\text{十进制数字计数} = V_{ZERO\ DAC} / (V_{REF}/65536)$$

$$\text{十进制数字计数} = 0.29087505 / (5/65536) = 3812.55746$$

使用 3813 个计数 → 0EE5h → 0000 1110 1110 0101 → 0.290908813V

$$V_{ZERO\ DAC} = (\text{数字计数}/65536)(V_{REF})$$

6. 计算最大传感器输出的 V_{CM} 和 V_{DIFF} (请参阅图 2-2)： $V_{DIFF} = V_{INP} - V_{INN}$

$$V_{DIFF} = 2.550 - 2.450$$

$$V_{DIFF} = 100\text{mV}; V_{DIFF}/2 = 50\text{mV}$$

$$V_{CM} = (V_{INP} + V_{INN})/2$$

$$V_{CM} = (2.550\text{V} + 2.450\text{V})/2$$

$$V_{CM} = 2.5\text{V}$$

7. 检查内部节点 V_{OA2} 和 V_{OA1} ：前端 PGA 增益 = 23.27

$$G = 5.8175 \text{ (请参阅图 2-2)}$$

$$V_{OA1} = V_{CM} - G(V_{DIFF}/2)$$

$$V_{OA1} = 2.5V - 5.8175(50mV)$$

$$V_{OA1} = 2.209125$$

$$V_{OA2} = V_{CM} + G(V_{DIFF}/2)$$

$$V_{OA2} = 2.5V + 5.8175(50mV)$$

$$V_{OA2} = 2.790875$$

$$0.1V \leq V_{OA1} \text{ and } V_{OA2} \leq V_S - 0.12V$$

$$0.1V \leq V_{OA1} \text{ and } V_{OA2} \leq 4.88V$$

因此, V_{OA1} 和 V_{OA2} 有效。

 8. 检查内部节点 V_{OA3} (V_{FRONT}):

$$V_{FRONT} = V_{DIFF} \text{ (前端 PGA 增益)} + V_{ZERO DAC}$$

$$V_{DIFF MIN} = 0V$$

$$V_{DIFF MAX} = 100mV$$

$$\text{前端 PGA 增益} = 23.27$$

$$V_{ZERO DAC} = 0.290908813V$$

$$V_{FRONT MIN} = (0)(23.27) + 0.290908813V = 0.290908813V$$

$$V_{FRONT MAX} = (100mV)(23.27) + 0.290908813V = 2.6179V$$

$$0.05V < V_{FRONT MIN} \text{ 且 } V_{FRONT MAX} < V_{SA} - 0.1V$$

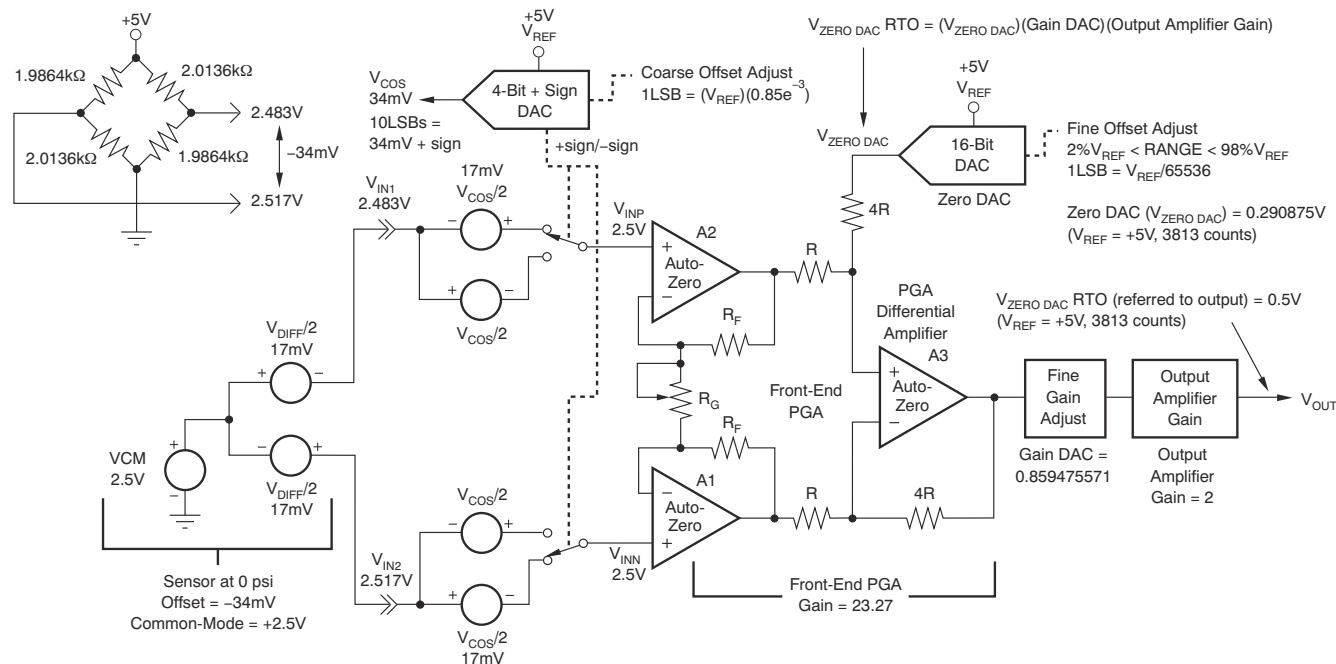
$$0.05V < 0.290908813V \text{ 且 } 2.6179V < V_{SA} - 0.1V$$

V_{FRONT} 正常!

2.2 失调电压调节

为获得最大动态范围, 可在前端 PGA 增益之前实现粗略失调电压调整。许多桥式传感器的初始失调电压与其最大量程输出相当。粗略失调电压调整可以是正值或负值。它以 4 位 DAC + 符号实现, 包含 14 个正选项、14 个负选项以及零。

正值范围和负值范围内的分辨率均为 $V_{REF}/1200$ 。对于 +5V 基准, 这相当于 4.2mV 阶跃。图 2-4 所示为 PGA309, 其增益设置适用于节 2.1 (增益调节) 中详述的示例桥式传感器应用。



$$V_{OUT} = [(V_{DIFF} + V_{COARSE OFFSET}) \text{ (前端 PGA 增益)} + V_{ZERO DAC}][\text{增益 DAC}][\text{输出放大器增益}]$$

图 2-4. 粗略和精细失调电压调整

对于 -34mV ($V_{\text{INP}} - V_{\text{INN}}$) 的初始桥式传感器失调电压，电桥初始差分失调电压加共模电压转换为差分加共模电压源模型如图 2-4 所示。从概念上讲，它分为两个 17mV 失调电压，其极性如图所示。如果粗略失调电压调整设置为 $+34\text{mV}$ 失调电压 ($V_{\text{INP}} - V_{\text{INN}}$)，则会精确消除初始电桥失调电压。未被粗略失调电压调整消除的任何残留初始电桥失调电压将由前端 PGA 增益增大，在使用零 DAC 设置精细失调电压调整时，需要考虑该失调电压。

粗略失调电压调整由寄存器 4 位 (4:0) 进行设置，其中位 4 在“1”时确定粗略失调电压极性为负，在“0”时确定为正。粗略失调电压调整的内部架构会为 $-7(V_{\text{REF}})(0.85e^{-3})$ 和 $+7(V_{\text{REF}})(0.85e^{-3})$ 产生重复的数字代码。请参阅节 6.2.5 (寄存器 4)，了解粗略失调电压调整设置的完整映射。

精细失调电压调整由零 DAC 进行设置。零 DAC 设置由增益 DAC 和输出放大器增益获取，并以输出为基准 (RTO)。零 DAC 是单极 16 位 DAC，其基准为 PGA309 的 V_{REF} 设置。对于 $V_{\text{REF}} = +5\text{V}$ 的情况，可以确保零 DAC 在 $2\%V_{\text{REF}}$ 至 $98\%V_{\text{REF}}$ 范围内呈线性 (对于 $V_{\text{REF}} < +5\text{V}$ 的情况，零 DAC 范围的上限可以扩展到 V_{REF})。零 DAC 模拟范围为 $0.1\text{V} \leq \text{零 DAC 模拟范围} \leq (V_{\text{SA}} - 0.1\text{V})$ 。零 DAC 编程范围为 $0\text{V} \leq \text{零 DAC 编程范围} \leq V_{\text{REF}}$ 。数据格式为 16 位无符号格式。寄存器 1 位 (15:0) 用于零 DAC 设置。

2.3 零 DAC 和增益 DAC 架构

PGA309 中包含两个可用于对零 DAC 和增益 DAC 进行精细调整的 16 位 DAC。这些 DAC 基于电阻串 (R-String) 架构，具有极低的积分和微分非线性。

零 DAC 包含一个增益为 2V/V 的缓冲放大器。DAC 电阻串连接在 $\text{REF}_{\text{IN}}/\text{REF}_{\text{OUT}}$ (V_{REF} 电压) 引脚和 GND_A 之间。输入数字值在 $0 \times V_{\text{REF}}$ 至 $0.5 \times V_{\text{REF}}$ 范围内调整电阻串上的同相放大器输入连接点，从而在 0V 至 V_{REF} 范围内调整零 DAC 输出电压。由于缓冲放大器的器件输出饱和，在 $V_{\text{REF}} = V_{\text{SA}}$ 的情况下，零 DAC 的线性度规格为数字量程的 2% 至 98% 。但是，在 $V_{\text{REF}} < V_{\text{SA}}$ 的情况下 (例如，使用 PGA309 内部基准时)，零 DAC 可线性增加至满量程的 100% 。

增益 DAC 使用类似的 R-String 架构。但是，缓冲放大器的功能由输出放大器执行。DAC 的 R-String 连接在前端 PGA 的输出端 V_{FRONT} 和 GND_A 之间 (请参阅图 2-3)。输入数字值在 $1/3 \times V_{\text{FRONT}}$ 至 $1 \times V_{\text{FRONT}}$ 范围内调整同相放大器输入值，从而在 0.333V/V 至 1V/V 范围内设置增益 DAC 的衰减系数，精度为 16 位。

在每次温度 ADC 测量时都会根据存储在 EEPROM 中的查找表来计算和调整零 DAC 和增益 DAC 的输出 (请参阅节 3.2 - EEPROM 内容和查找表计算)。这样就会在出现微小的温度变化时进行 DAC 代码调整。与某些串式 DAC 不同，PGA309 零 DAC 和增益 DAC 的专有开关架构允许以极低的毛刺脉冲能量进行开关，并且基本上不依赖于代码变化。毛刺脉冲能量通常低于 PGA309 输出端的电压噪声水平。

2.4 输出放大器

PGA309 的输出放大器部分可以在终端应用中实现最高的灵活性和精度。图 2-5 展示了一个常见三端传感器应用中的输出放大器。在这个应用中，需要提供过压保护以防止 PGA309 输出端的接线错误，还需要在传感器模块输出端提供 10nF 电容器以用于 EMI/RFI 滤波。在此配置中， R_{ISO} 和 R_{FB} 可以将流入 V_{OUT} 和 V_{FB} 的电流限制到大约 150mA [$(16\text{V} - 0.7\text{V})/100\Omega$]，从而在 $V_{\text{OUT_FILT}}$ 上提供高达 16V 的过压保护。从内部 ESD 结构到 GND 或 V_{SA} 会产生 0.7V 压降。此外， R_{ISO} 还可以将 10nF RFI/EMI 容性负载与 V_{OUT} 隔离。 R_{FB} 会增加轻微的增益误差，但此误差经过 PGA309 + 传感器校准后可以校准掉。请注意，输出放大器周围的反馈点取自 $V_{\text{OUT_FILT}}$ ，因此，在 PGA309 + 传感器校准之后，输出放大器将精确调节 $V_{\text{OUT_FILT}}$ 以匹配所需的传感器调节电压。 C_{F} 在输出放大器周围提供第二条反馈路径以确保稳定性。根据所示配置，输出放大器在内部输出放大器增益从 2 (125kHz 带宽， 63° 环路增益相位裕度，典型值) 到 9 (64kHz 带宽， 86° 环路增益相位裕度，典型值) 的范围内可保持稳定。表 2-1 详细列明了 R_{FO} 和 R_{GO} 的典型输出放大器电阻值以及开环输出电阻。这些值与典型输出放大器开环增益曲线和标准运算放大器稳定性技术相结合，可以针对特定的传感器应用量身定制和配置输出放大器。

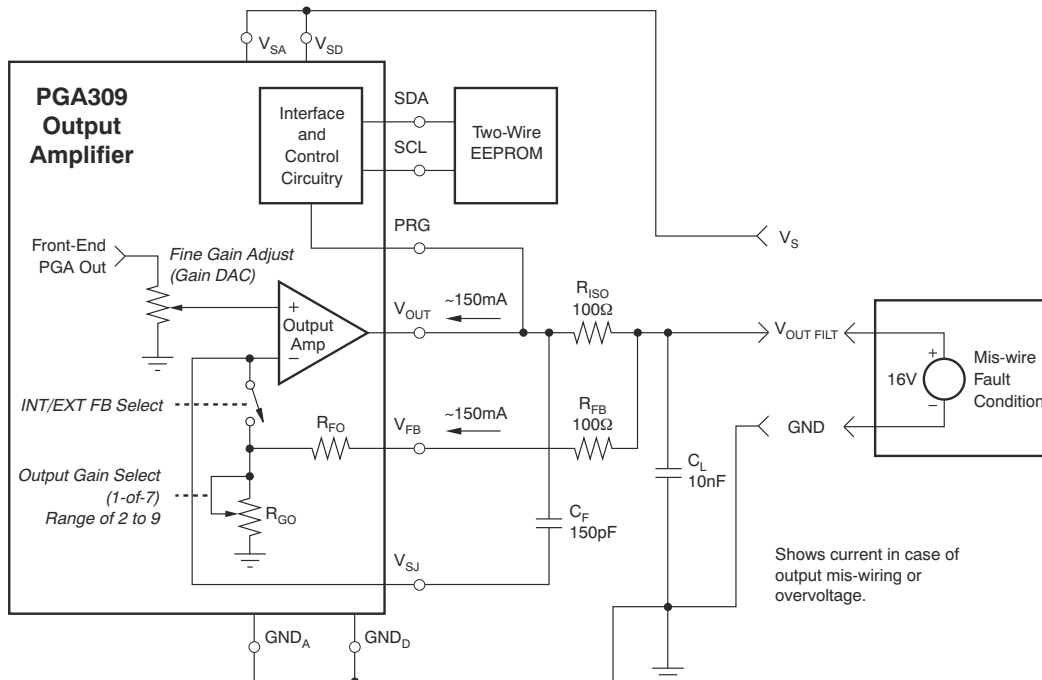


图 2-5. 常见三端传感器应用中的输出放大器

表 2-1. 输出放大器典型增益电阻值⁽¹⁾

增益	R _{FO} 典型值 (kΩ)	R _{GO} 典型值 (kΩ)
2	18	18
2.4	21	15
3	24	12
3.6	26	10
4.5	28	8
6	30	6
9	32	4

(1) R_O = 开环输出阻抗 = 675 Ω, f = 1MHz 时的典型值, I_{OUT} = 0。

除了使用自己的内部增益设置电阻 R_{FO} 和 R_{GO} 外，输出放大器还可以使用外部反馈电阻 R_{FOEXT} 和 R_{GOEXT}，如图 2-6 所示。表 2-2 详细列明了寄存器 4 中用于所需的输出放大器增益配置的位。要使用外部反馈电阻，请将 GO2、GO1 和 GO0 设置为全 1。除了允许使用外部反馈电阻之外，该配置还提供了一种方便的机制来测试输出放大器的稳定性，即使要使用内部增益设置也是如此。如图 2-6 所示，外部反馈电阻 R_{FOEXT} 和 R_{GOEXT} 均设置为 18kΩ，相当于用于内部增益设置 2 的典型电阻值。如果通过零 DAC 并设置 V_{DIFF} = 0V 来将 V_{OUT} 偏置到量程中点 (V_{SA} = +5V 时为 +2.5V)，则可以使用信号发生器将 200mV_{PP} 方波 (1kHz) 注入到 R_{GOEXT} 端，并在 V_{OUT} 处测量响应。这样可以为给定配置中的输出放大器提供瞬态响应。可以使用主要两极系统的标准稳定性瞬态响应标准，根据 V_{OUT} 上测得的过冲和振铃来确定合适的相位裕度。

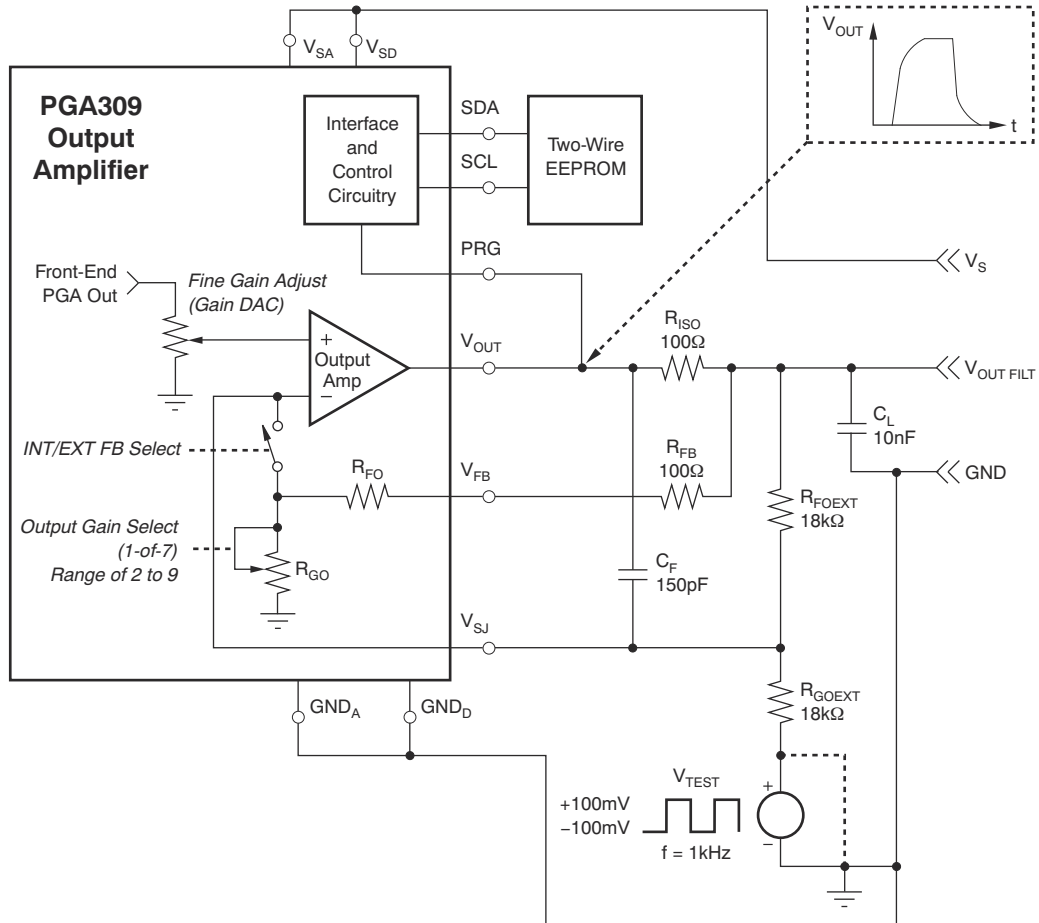
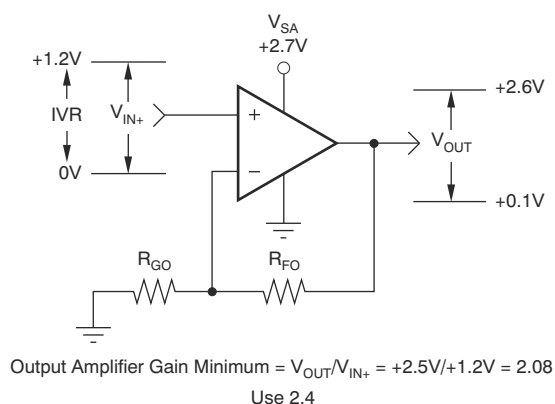


图 2-6. 使用外部反馈电阻 R_{FOEXT} 和 R_{GOEXT} 的输出放大器

表 2-2. 输出放大器增益选择 — 寄存器 4

GO2 [14]	GO1 [13]	GO0 [12]	输出放大器增益
0	0	0	2
0	0	1	2.4
0	1	0	3
0	1	1	3.6
1	0	0	4.5
1	0	1	6
1	1	0	9
1	1	1	禁用内部反馈

对于低压电源应用，输出放大器的最小增益与其 IVR 和输出电压摆幅有关。在图 2-7 中，电源电压降至 +2.7V。输出放大器的 IVR 测出值为 0V 至 $V_{SA}-1.5V$ ，如图 2-7 所示。对于 10k Ω 负载，测得的输出电压摆幅为 0.1V 至 +2.6V，如图所示。因此，计算得出的最小增益为 2.08。为了获得理想性能，应针对此应用调节输出放大器，使最小增益为 2.4。通常，这只是电压较低时的一个因素，但很容易针对每个单独的应用进行检查。


图 2-7. 低压电源时的输出放大器最小增益

2.5 基准电压

PGA309 可配置为与内部或外部电压基准一起使用。基准电压由零 DAC、过量程/欠量程限制、粗略失调电压调整 DAC、温度 ADC 和电桥激励线性化电路使用。图 2-8 显示了 PGA309 基准电路。如果选择内部基准，则可以选择 2.5V 或 4.096V。在此模式下，有一个初始精度通常优于 2% 的低漂移 $\pm 10\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 基准可供内部和外部使用。在内部基准模式下可通过 $\text{REF}_{\text{IN}}/\text{REF}_{\text{OUT}}$ 引脚提供高达 5mA 的电流。如果选择外部基准模式，则可以将 +2.0V 至 $+V_{\text{SA}}$ 的外部基准应用到 $\text{REF}_{\text{IN}}/\text{REF}_{\text{OUT}}$ 引脚。在上电期间选择外部基准模式。表 2-3 详细说明了用于选择基准模式的寄存器 3 位 (9:8)。

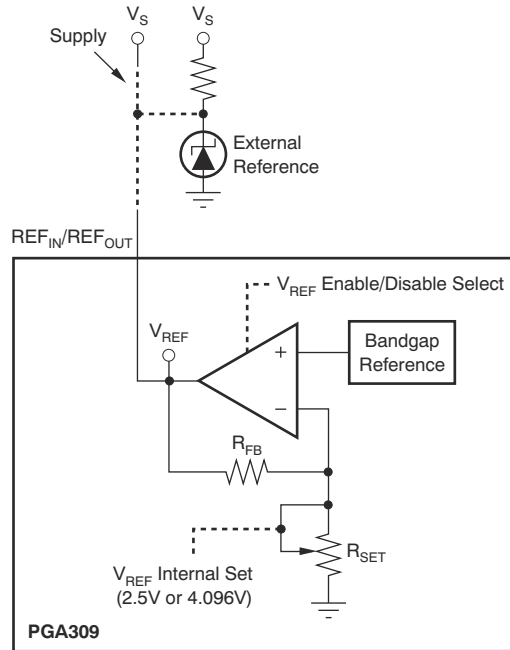


图 2-8. PGA309 基准电路

表 2-3. 寄存器 3 基准控制位

D9	D8	V_{REF}	基准配置
RS	REN		
X	0	$\text{REF}_{\text{IN}}/\text{REF}_{\text{OUT}}$	外部基准 (禁用内部基准)
0	1	4.096V	内部基准
1	1	2.5V	内部基准

2.6 线性化函数

许多桥式传感器都在施加压力时具有固有非线性输出。图 2-9 展示了使用 PGA309 线性化电路的典型非线性校正。

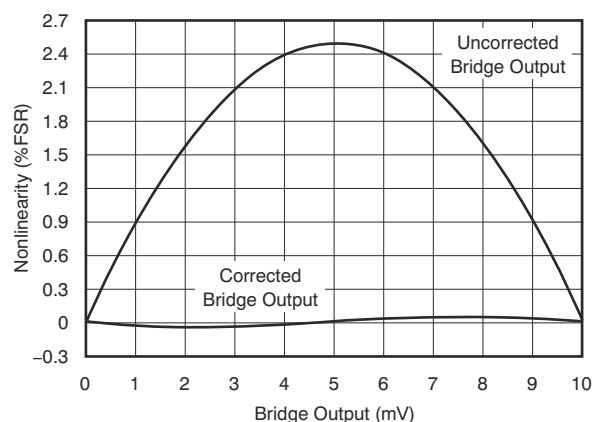
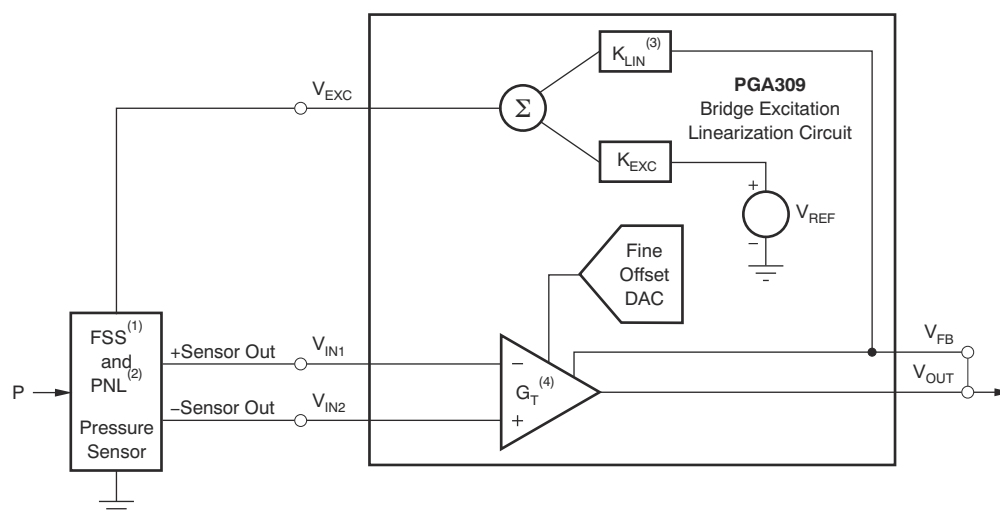


图 2-9. 电桥压力非线性校正

PGA309 包含一个用于传感器电压激励和线性化的专用电路，如图 2-10 所示。线性化电路会调节所选的 V_{REF} 并将其与通过反馈引脚 (V_{FB}) 的输出电压 (V_{OUT}) 的一部分相加，从而补偿桥式传感器输出与压力之间的弓形非线性问题。使用此技术可以对抛物线非线性进行补偿，从而相对于未补偿电桥输出实现高达 20:1 的改进，如图 2-9 所示。 K_{LIN} 是 Lin DAC 产生的 V_{OUT} 的双极比例因子。 K_{EXC} 是 V_{REF} 一个设定的衰减系数，可以根据需要增加或减少到 V_{EXC} 。线性化电路中有两个可用的范围，对于 K_{LIN} 具有不同的相应范围和不同的相应固定衰减。



1. FSS = 传感器的满量程电桥灵敏度。
2. PNL = 传感器的压力非线性。
3. K_{LIN} = 由 Lin DAC 设置的线性化系数。
4. G_T = (前端 PGA 增益) (增益 DAC) (输出放大器增益)。

图 2-10. 电桥激励线性化电路

如果不需要传感器电压激励线性化，有多种电桥激励选项。在比例式系统中，电桥应直接连接到 V_{SA} 。如果系统为 V_{REF} 提供外部基准，传感器应连接到该外部传感器。如果系统使用 PGA309 内部基准，建议将 V_{EXC} 用于传感器激励，并将 Lin DAC 设置为零。这样做的原因是为了尽量减少从 REF_{IN}/REF_{OUT} 引脚消耗的任何大电流，这些大电流可能会影响内部电路使用的内部 V_{REF} 值。

在不使用 V_{EXC} 的系统中，通过将相应的寄存器 3 位（10、7:0）设置为“0”，可以禁用 Lin DAC 和 V_{EXC} 。这将使总静态电流降低 $50 \mu A$ 至 $100 \mu A$ 。

从 V_{FB} 引脚到 V_{EXC} 的线性化电路的典型带宽为 35kHz。

电桥激励 (V_{EXC}) 的输出信号相关性 (V_{OUT} 相关性) 为整体系统传递函数 (PGA309 + 桥式传感器) 添加一个二阶项。图 2-11 所示的 Lin DAC 可调节 V_{OUT} 的一部分，然后与基准电压 V_{REF} 的调节结果相加。可以设置 Lin DAC 代码以补偿每个单独的桥式传感器非线性。如图 2-11 所示，PGA309 线性化电路中提供两个范围以适应各种传感器非线性和 V_{REF} 组合。

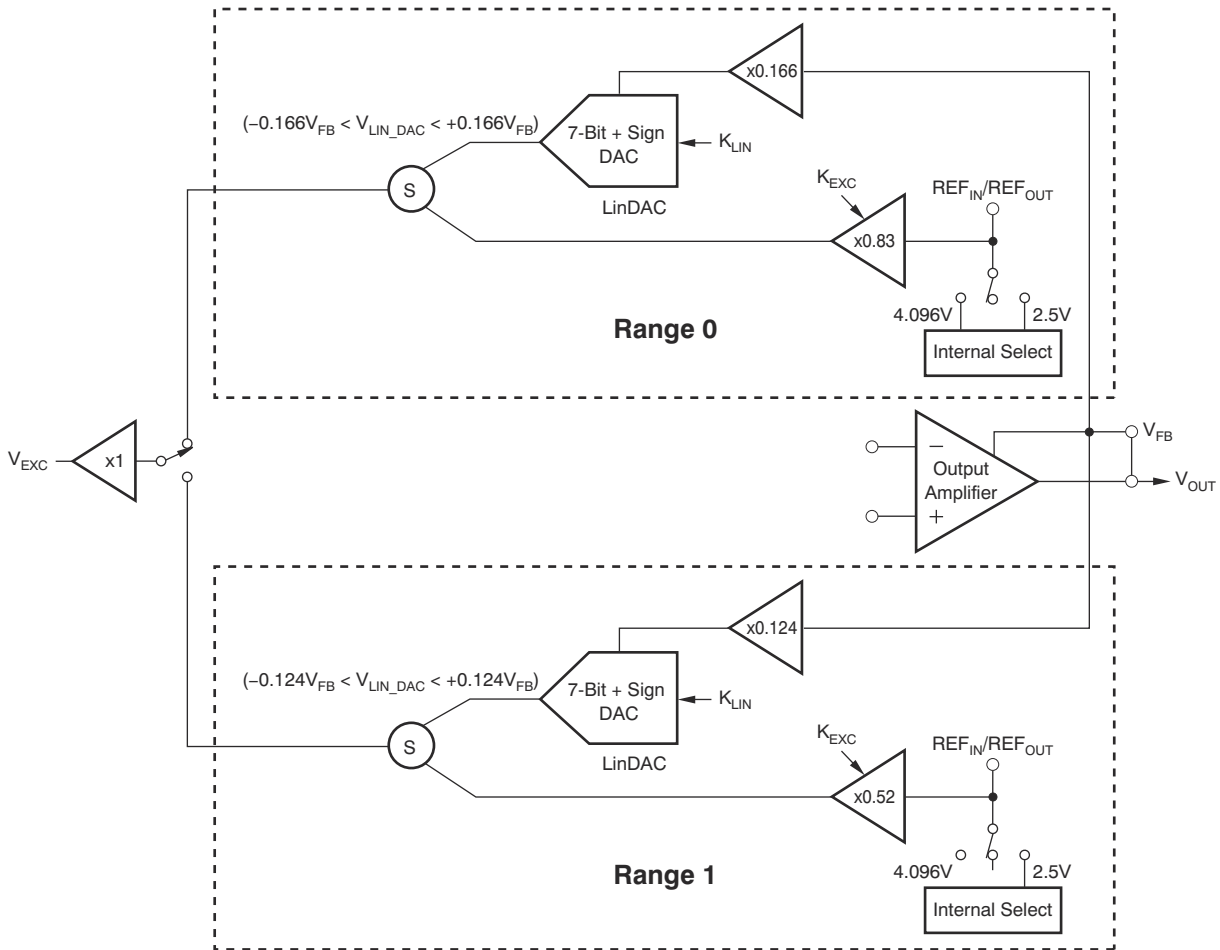


图 2-11. 线性化电路

为了确定 Lin DAC 的值（也称为线性化系数 K_{LIN} ），必须知道桥式传感器在恒定激励电压下的非线性度。PGA309 线性化电路只能补偿传感器在施加压力下的非线性的抛物线形状部分。这种非线性在整个温度范围内应该是恒定的，或者温度变化对系统误差预算的影响应该是微不足道的。对于典型的 PGA309 应用， K_{LIN} 因子不随温度的变化而调整。如图 2-12 和图 2-13 所示，当线性输出的最大偏差出现在量程中点时，即可实现理想校正。非线性曲线与图 2-12 相似但不会恰好在量程中点达到峰值的传感器仍然可以获得大幅改进。具有 S 形非线性曲线（正负非线性相等）的传感器无法通过使用 PGA309 线性化电路来实现改进。

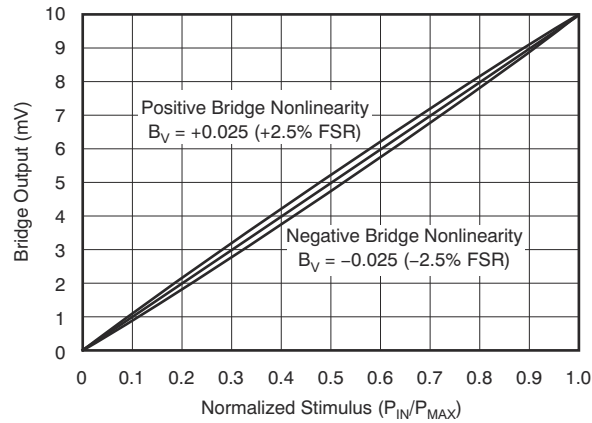


图 2-12. 电桥输出与压力间的关系

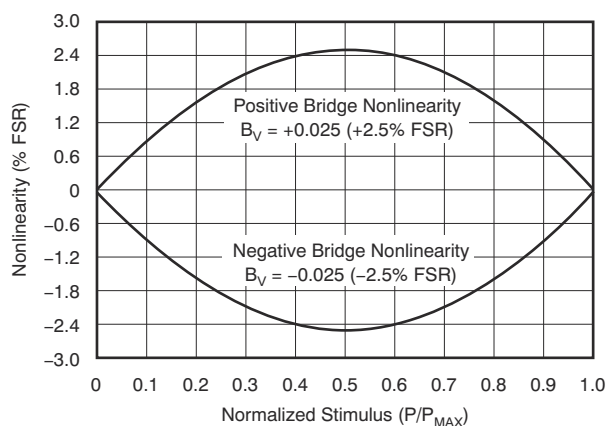


图 2-13. 电桥非线性 (%FSR) 与压力间的关系

正确设置 Lin DAC 极性可以补偿正电桥或负电桥的非线性。要校正正电桥非线性（向上弯曲，如图 2-13 所示），Lin DAC 值应设置为正值。对于负电桥非线性（向下弯曲，如图 2-13 所示），应将 Lin DAC 值设置为负值。

激励电压 (V_{EXC}) 可直接调节桥式传感器输出，因此，使用线性化电路时，必须在 PGA309 的增益和失调电压设置中考虑该电压。

以下几节提供了线性化电路的关键定义和设计公式。

2.6.1 系统定义

B_V : 施加压力时的电桥非线性。量程中点输入范围的最大误差以满标量程百分比 (%FSR) 的十进制等效值表示。

例如, %FS : +2.5% FS = 0.025, -2.5% = -0.025

FSS : 传感器在 P_{MAX} (5mV/V) 时的满量程电桥灵敏度

G_L : 使用线性化电路时, PGA309 的总 V_{OUT}/V_{IN} 增益

G_T : PGA309 的总 V_{OUT}/V_{IN} 增益

G_T = (前端 PGA 增益)(增益 DAC)(输出放大器增益)

K_{EXC} : PGA 激励系数。V_{REF} 上的比例因子

K_{LIN} : PGA309 线性化系数

K_P : 压力常量。将线性输入压力转换为传感器检测到的非线性压力。以满量程输入压力为基准

P : 传感器的压力输入

P_{MIN} : 最小传感器输入压力

P_{MAX} : 最大传感器输入压力

PNL : 具有线性压力输入 P 的电桥的非线性压力输出

V_{EXC} : 电桥电压激励 (由 PGA309 基于 V_{REF}、K_{LIN}、K_{EXC}、V_{OUT} 生成)

V_{OUT MIN} : P_{MIN} 桥式传感器输入的最小 PGA309 V_{OUT} 电压

V_{OUT MAX} : P_{MAX} 桥式传感器输入的最大 PGA309 V_{OUT} 电压

V_{REF} : PGA309 基准电压

2.6.2 关键线性化设计公式

本节的重点是定义在使用线性化电路时用于调节 PGA309 的设计等式。

桥式传感器抛物线非线性的非线性压力转换：

$$PNL = P + 4(B_V) \cdot P_{MAX} \cdot \left[\left(\frac{P}{P_{MAX}} \right) - \left(\frac{P}{P_{MAX}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

对于正抛物线非线性， $B_V =$ 正

对于负抛物线非线性， $B_V =$ 负（请参阅图 2-13）

压力常量（PNL 以满量程输入压力为基准）：

$$K_P = \frac{PNL}{P_{MAX}}$$

$$K_P = \frac{\left(P + 4(B_V) \cdot P_{MAX} \cdot \left[\left(\frac{P}{P_{MAX}} \right) - \left(\frac{P}{P_{MAX}} \right)^2 \right] \right)}{P_{MAX}} \quad (3)$$

线性化系数：

$$K_{LIN} = \frac{4 \cdot B_V \cdot V_{REF} \cdot K_{EXC}}{(V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}) - 2 \cdot B_V \cdot (V_{OUT_MAX} + V_{OUT_MIN})} \quad (4)$$

使用线性化电路时所需的 PGA309 总增益：

$$G_L = \frac{(V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN})}{(V_{REF} \cdot K_{EXC} \cdot FSS) + (K_{LIN} \cdot V_{OUT_MAX} \cdot FSS)} \quad (5)$$

PGA309 V_{OUT} ：

$$V_{OUT} = \frac{(FSS \cdot G_L \cdot K_P \cdot V_{REF} \cdot K_{EXC}) + V_{OUT_MIN}}{1 - (FSS \cdot G_L \cdot K_P \cdot K_{LIN})} \quad (6)$$

PGA309 V_{EXC} ：

$$V_{EXC} = V_{REF} \cdot K_{EXC} + K_{LIN} \cdot V_{OUT} \quad (7)$$

Lin DAC 计数转换：

$$\text{Decimal \# Counts} = \frac{|K_{LIN}|}{(\text{Full-Scale Ratio} / 127)} \quad (8)$$

其中 Full-Scale Ratio = 0.166（范围 0）或 0.124（范围 1）

示例 2-2. Lin DAC 计数转换

假设：

范围 0： $-0.166V_{FB} < \text{Lin DAC} < +0.166V_{FB}$

查找：

$K_{LIN} = -0.082$ 的 Lin DAC 值

解决方案：

1. K_{LIN} 的绝对值 = $|-0.082| = 0.082$
2. 十进制计数数量 = $0.082 / (0.166/127) = 62.7349$
3. 使用 63 个计数 → 3Fh → 0011 1111
4. 但是，需要 -0.082 。在符号位 (MSB, 位 7) 中为负比率添加 1
5. 最终 Lin DAC 设置：1011 1111 → BFh

2.6.3 关键理想设计公式

$$\text{理想增益 } G_{\text{IDEAL}} = \frac{V_{\text{OUT_MAX}} - V_{\text{OUT_MIN}}}{V_{\text{REF}} \cdot \text{FSS}} \quad (9)$$

$$V_{\text{OUT}} \text{ 理想值是压力 } P \text{ 的函数 } V_{\text{OUT_IDEAL}} = \text{FSS} \cdot G_{\text{IDEAL}} \cdot \left(\frac{P}{P_{\text{MAX}}}\right) \cdot V_{\text{REF}} + V_{\text{OUT_MIN}} \quad (10)$$

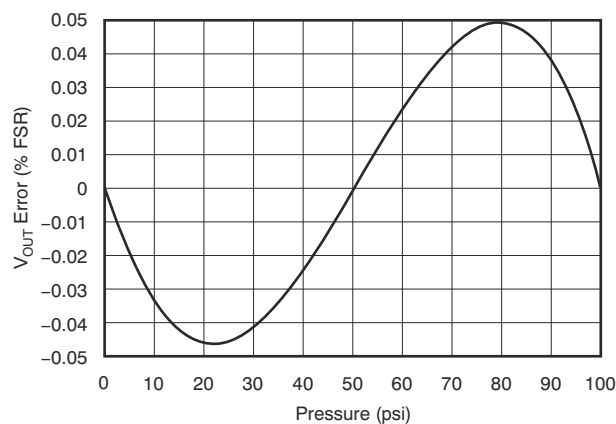
$$\text{满标量程输出 } \text{FSR} = V_{\text{OUT_MAX}} - V_{\text{OUT_MIN}} \quad (11)$$

$$V_{\text{OUT}} \text{ 误差 } (\% \text{FSR}) = \left(\frac{V_{\text{OUT}} - V_{\text{OUT_IDEAL}}}{\text{FSR}}\right) \cdot 100 \quad (12)$$

示例 2-3. 线性化设计

系统输入	值	单位
P _{MIN}	0	psi
P _{MAX}	100	psi
FSS	0.005	V/V
B _V	+0.025 (+0.025 = +2.5%)	%FSR
V _{OUT MAX}	4.5	V
V _{OUT MIN}	0.5	V
V _{REF}	5	V
K _{EXC}	0.83	
使用线性化电路的 PGA309 计算		
K _{LIN}	+0.110667	V/V
G _L	172.117	V/V
V _{OUT IDEAL}		
G _{IDEAL}	160	V/V
FSR	4	V

P (psi)	K _P	V _{OUT} (V)	V _{EXC} (V)	V _{OUT IDEAL} (V)	V _{OUT} 误差 (%FSR)
0	0.0000	0.5000	4.2053	0.5000	0
10	0.1090	0.8986	4.2494	0.9000	-0.03464537
20	0.2160	1.2981	4.2937	1.3000	-0.04667445
30	0.3210	1.6983	4.3380	1.7000	-0.04126142
40	0.4240	2.0990	4.3823	2.1000	-0.02381898
50	0.5250	2.5000	4.4267	2.5000	1.1102E-14
60	0.6240	2.9010	4.4710	2.9000	0.02430134
70	0.7210	3.3017	4.5154	3.3000	0.04294918
80	0.8160	3.7020	4.5597	3.7000	0.04956629
90	0.9090	4.1015	4.6039	4.1000	0.03753519
100	1.0000	4.5000	4.6480	4.5000	2.2204E-14


图 2-14. 更正了电桥抛物线非线性度与压力间的关系

在每个终端应用中，应检查线性化电路限制，以确保在允许的范围内运行。

表 2-5 和表 2-6 说明了几个典型系统应用的线性化范围。这些表考虑了 PGA309 线性化电路的内部限制，并假设通过 V_{OUT} 调节来处理过量程和欠量程限制以及故障检测。对于未列出的特定终端应用，一旦为系统设计选择了 V_{REF} 、 V_{OUTMAX} 、 V_{OUTMIN} 和线性化范围，可使用以下公式来计算关键设计值：

1. $V_{EXC MAX}$ ：在 $V_{OUT MAX}$ 时使用 [方程式 7](#)
2. $V_{EXC MIN}$ ：在 $V_{OUT MIN}$ 时使用 [方程式 7](#)
3. B_{VMAX} (可补偿的最大非线性)：使用 $K_{LIN+MAX}$ 计算 $+B_{VMAX}$ 并使用 $K_{LIN-MAX}$ 计算 $-B_{VMAX}$ ，按照 [方程式 4](#) 求解 B_V 的结果如下：

$$B_V = \frac{V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}}{\left(\frac{4 \cdot V_{REF} \cdot K_{EXC}}{K_{LIN}}\right) + 4 \cdot (V_{OUT_MAX} + V_{OUT_MIN})}$$

- 对于范围 0：

$$K_{LIN-MAX} = -0.166$$

$$K_{LIN+MAX} = +0.166$$

- 对于范围 1：

$$K_{LIN-MAX} = -0.124$$

$$K_{LIN+MAX} = +0.124$$

4. $V_{Lin DAC MAX} = ((V_{REF}/4) - V_{OUT MAX}/10) \geq 300mV$
5. $V_{EXC MAX} \leq V_{SA} - 0.5V$
6. $K_{LIN-MAX} \leq K_{LIN} \leq K_{LIN+MAX}$

当使用线性化电路时，为了确保桥式传感器输出共模电压保持在 PGA309 输入规格范围内，可以使用 [方程式 7](#) 来计算满量程信号 ($V_{OUT MAX}$) 时的 V_{EXC} 。如果未使用共模或温度检测附加电阻与桥式传感器进行串联，则桥式传感器输出的共模电压 (V_{CM}) 为 V_{EXC} 的一半。

在使用 PGA309 进行传感器校准的过程中，可采用两个步骤。首先，使用初始增益和失调电压以及 $K_{LIN} = 0$ (Lin DAC 设置为零) 来测量传感器电桥的非线性。使用得到的传感器非线性 (B_V)，计算 K_{LIN} 、增益和失调电压的值。然后，可进行第二次校准测量来调整 K_{LIN} ，以考虑线性化电路中的失调电压和失配。这个校准过程最容易通过 PGA309 设计人员套件及相关软件和校准电子表格来执行，这些软件和校准电子表格可从 www.ti.com 下载。

表 2-4. PGA309 建议运行条件

情况 1	情况 2	情况 3	情况 4	
0.057	0.075	0.112	0.075	$K_{LIN+MAX}$
范围 0				
K_{EXC}	0.83		FSS	0.005
$K_{LIN+MAX}$	-0.166			
$K_{LIN-MAX}$	0.166			

表 2-5. 范围 0 — 典型系统应用和最大非线性校正

V _{SA} MIN (V)	V _{SA} MAX (V)	V _{REF} (V)	ADC REF (V)	V _{OUT} MIN (V)	V _{OUT} MAX (V)	范围 0 +B _V MAX				范围 0 -B _V MAX				范围 0 LinDAC MAX > 0.3V ? (V)
						+B _V (0.025=2.5%)	V _{EXC} MAX (V) ⁽¹⁾	V _{EXC} MIN (V)	G	-B _V (-0.025=-2.5%)	V _{EXC} MAX (V)	V _{EXC} MIN (V)	G	
2.7	5.5	2.5	2.5	0.175	2.225	0.0136	2.202	2.104	167.73	-0.0454	2.046	1.706	240.38	0.4025
2.7	5.5	2.5	2.048	0.123	1.761	0.0143	2.207	2.095	138.38	-0.0354	2.055	1.783	183.77	0.4489
4.5	5.5	4.096	2.5	0.175	2.175	0.0231	3.761	3.429	106.36	-0.0259	3.371	3.039	131.64	0.8065
4.5	5.5	4.096	4.096	0.246	3.564	0.0371	3.991	3.441	166.26	-0.0447	3.359	2.808	236.32	0.6676
4.5	5.5	4.096	2.048	0.143	1.782	0.0191	3.695	3.423	88.70	-0.0210	3.376	3.104	105.61	0.8458
4.7	5.5	4.5	4.5	0.27	4.185	0.0275	4.204	3.780	176.76	-0.0483	3.690	3.040	257.54	0.7065
5	5.5	5	5	0.3	4.65	0.0188	4.499	4.200	176.76	-0.0483	4.100	3.378	257.54	0.785

(1) 受 0.5V V_{EXC} 饱和电压的限制。

表 2-6. 范围 1 — 典型系统应用和最大非线性校正^{(1) (2) (3)}

PGA309 V _{SA} 工作范围		PGA309 V _{REF}	系统 ADC REF	PGA309 V _{OUT} 线性范围		PGA309 +B _V MAX	PGA309 V _{EXC} 范围 适用于 +B _V MAX			PGA309 增益 V _{OUT} / V _{DIFF IN} 适用于 +B _V MAX	PGA309 -B _V MAX	PGA309 V _{EXC} 范围 适用于 -B _V MAX			PGA309 增益 V _{OUT} / V _{DIFF IN} 适用于 -B _V MAX	PGA309 LinDAC 最大值校验
V _{SA} MIN (V)	V _{SA} MAX (V)	V _{REF} (V)	ADC REF (V)	V _{OUT} MIN (V)	V _{OUT} MAX (V)	范围 0 +B _V MAX				PGA309 -B _V MAX	范围 0 -B _V MAX				范围 0 LinDAC MAX > 0.3V ? (V)	
						+B _V (0.025=2.5%)	V _{EXC} MAX (V)	V _{EXC} MIN (V)	G _T		-B _V (-0.025=-2.5%)	V _{EXC} MAX (V)	V _{EXC} MIN (V)	G _T		
2.7	5.5	2.5	2.5	0.175	2.225	0.0439	1.576	1.322	260.17	-0.0552	1.278	1.024	400.35	0.4025		
2.7	5.5	2.5	2.048	0.123	1.761	0.0358	1.518	1.315	215.76	-0.0429	1.285	1.082	302.87	0.4489		
4.5	5.5	4.096	2.5	0.175	2.175	0.0272	2.400	2.152	166.69	-0.0312	2.108	1.860	215.03	0.8065		
4.5	5.5	4.096	4.096	0.246	3.564	0.0435	2.572	2.160	258.02	-0.0543	2.099	1.688	393.13	0.6676		
4.5	5.5	4.096	2.048	0.143	1.782	0.0226	2.351	2.148	139.44	-0.0253	2.112	1.909	171.72	0.8458		
4.7	5.5	4.5	4.5	0.27	4.185	0.0464	2.859	2.373	273.88	-0.0588	2.307	1.821	429.97	0.7065		
5	5.5	5	5	0.3	4.65	0.0464	3.177	2.637	273.88	-0.0588	2.563	2.023	429.97	0.785		

(1) 需要过量程和欠量程限制以及故障检测。

(2) 使用 FSS 来计算一个代表性增益值 (G_T) 以确保完整性。

(3) 范围 1, K_{EXC} = 0.52, K_{LIN -MAX} = -0.124, K_{LIN +MAX} = 0.124, FSS = 0.005V/V

2.7 温度测量

PGA309 温度测量电路的核心是温度 ADC。温度 ADC 及其关联的 PGA、输入多路复用器和 REF 多路复用器提供了灵活且可配置的温度检测块，用于读取片上温度或外部温度。图 2-15 展示了 PGA309 温度检测块。

内部温度检测是通过使用片上二极管结来实现的。配置内部温度模式的方法是将寄存器 6 中的位设置为表 2-7 和表 2-8 所示的值。温度 ADC 输出在寄存器 0 中为 12 位 + 符号扩展、右对齐的二进制补码数据格式 (请参阅表 2-9)。处于内部温度模式的温度 ADC 的分辨率为每次计数 0.0625°C，精度为 ±2°C。温度精度是一个相对误差，此误差通过 PGA309 + 传感器校准过程校准掉，校准精度与校准温度测量设备的相同。

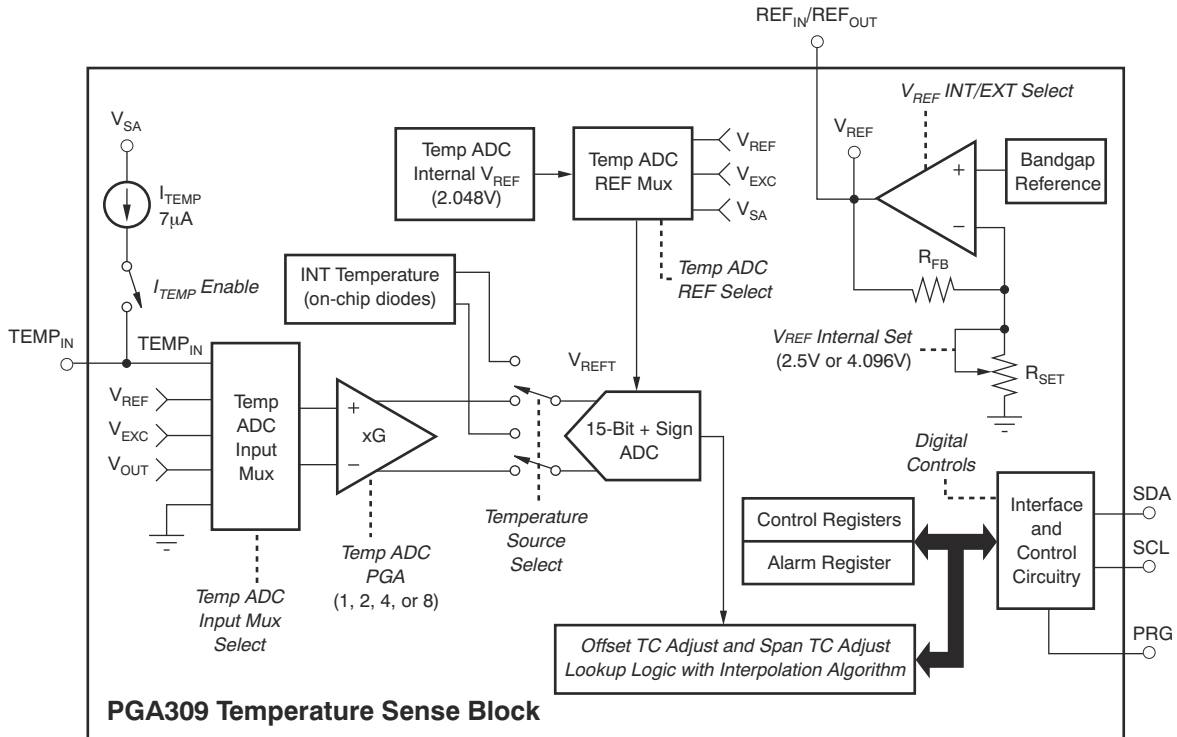


图 2-15. 温度检测块

表 2-7. 内部温度模式配置 — 寄存器 6

位	位名	位状态	配置
15	RFB	0	保留出厂位 — 设置为 0 以确保正常运行
14	RFB	0	保留出厂位 — 设置为 0 以确保正常运行
13	ADC2X	0	在内部温度模式下未使用；设置为零。
12	ADCS	0	
11	ISEN	0	
10	CEN	1	
9	TEN	1	选择内部温度模式
8	AREN	0	在内部温度模式下未使用；设置为零。
7	RV1	0	
6	RV0	0	
5	M1	0	
4	M0	0	
3	G1	0	
2	G0	0	
1	R1	1	请参阅表 2-8。
0	R0	1	请参阅表 2-8。

表 2-8. 内部温度模式分辨率 — 寄存器 6

R1	R0	温度 ADC 分辨率 (转换时间) 选择 TEN = “1”
0	0	9 位 + 符号, 右对齐, 符号扩展, 二进制补码, 0.5°C (3ms)
0	1	10 位 + 符号, 右对齐, 二进制补码, 符号扩展, 0.25°C (6ms)
1	0	11 位 + 符号, 右对齐, 二进制补码, 符号扩展, 0.125°C (12ms)
1	1	12 位 + 符号, 右对齐, 二进制补码, 符号扩展, 0.0625°C (24ms)

表 2-9. 内部温度模式数据 — 寄存器 0⁽¹⁾

温度 (°C)	数字输出 (二进制) AD15.....AD0	数字输出 (十六进制)
128	0000 1000 0000 0000	0800
127.9375	0000 0111 1111 1111	07FF
100	0000 0110 0100 0000	0640
80	0000 0101 0000 0000	0500
75	0000 0100 1011 0000	04B0
50	0000 0011 0010 0000	0320
25	0000 0001 1001 0000	0190
0.25	0000 0000 0000 0100	0004
0.0	0000 0000 0000 0000	0000
-0.25	1111 1111 1111 1100	FFFC
-25	1111 1110 0111 0000	FE70
-55	1111 1100 1001 0000	FC90
-128	1111 1000 0000 0000	F800

- (1) 处于内部温度模式的温度 ADC 的分辨率为每次计数 0.0625°C。
- 对于正温度值 (例如, +50°C) :
- 对正数不执行二进制补码。因此, 只是将数字转换为 16 位、右对齐格式的二进制代码, 并以 MSB = 0 表示正号。将该符号扩展到高 4 位。
- 示例: $(50^{\circ}\text{C}) / (0.0625^{\circ}\text{C}/\text{count}) = 800 = 320\text{h} = 0011\ 0010\ 0000$ 二进制补码 16 位、右对齐、符号扩展格式 = 0000 0011 0010 0000 = 0320h。
- 对于负温度值 (例如, -25°C) :
- 通过对绝对值二进制数进行补数操作并加 1 来生成一个负数的二进制补码。扩展符号, 用 MSB = 1 表示负数。将符号扩展到高 4 位以形成 16 位字。
- 示例: $(|-25^{\circ}\text{C}|) / (0.0625^{\circ}\text{C}/\text{count}) = 400 = 190\text{h} = 0001\ 1001\ 0000$ 二进制补码格式: 1110 0111 0000 扩展符号并创建 16 位字: 1111 1110 0111 0000 = FE70h

选择外部温度模式时, 温度 ADC 有多种可能的配置。在此模式下将读取 TEMP_{IN} 引脚以确定温度。 TEMP_{IN} 可能以 GND、 V_{EXC} 或 V_{REF} 为基准。还可以选择通过温度 ADC 读取相对于 GND 的 V_{OUT} 。图 2-16 显示了允许的溫度 ADC 输入多路复用器配置。

备注

在配置 3 中, 读取的是 V_{OUT} 引脚, 而不是 V_{FB} 引脚。因此, 该值可能与 $V_{\text{OUT FILT}}$ 不同。请参阅图 1-1 和图 2-5。

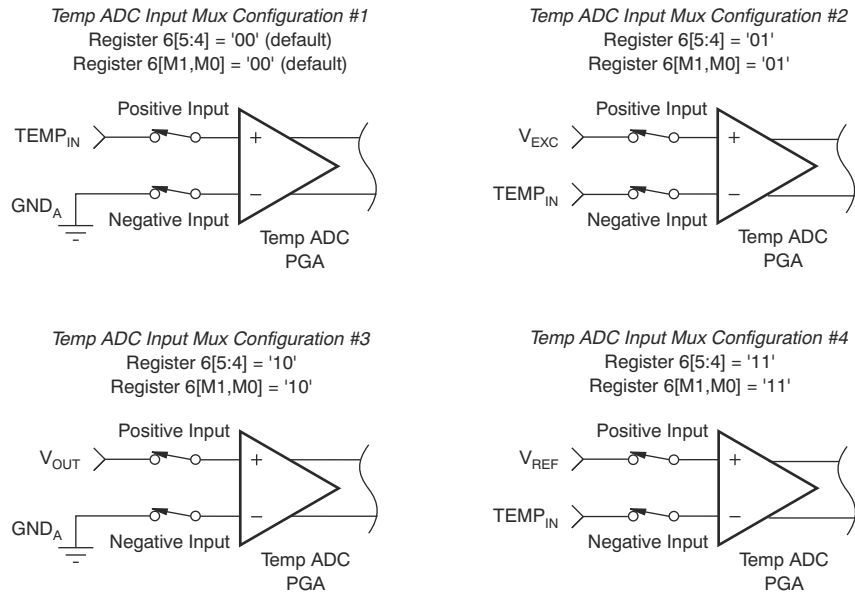


图 2-16. 温度 ADC 输入多路复用器选项

表 2-10. 温度 ADC PGA 增益选择 — 寄存器 6

G1 [3]	G0 [2]	温度 ADC PGA 增益
0	0	1
0	1	2
1	0	4
1	1	8

温度检测块还包含一个 $7\ \mu\text{A}$ (典型值) 电流源 I_{TEMP} 。通过向寄存器 6 位 11 ISEN 写入逻辑“1”即可启用这个电流源。逻辑“0”会禁用 TEMP_{IN} 引脚上的 I_{TEMP} 。这个电流源可用于激励外部电阻式温度器件或二极管以进行桥式传感器温度测量，如图 2-17 所示。

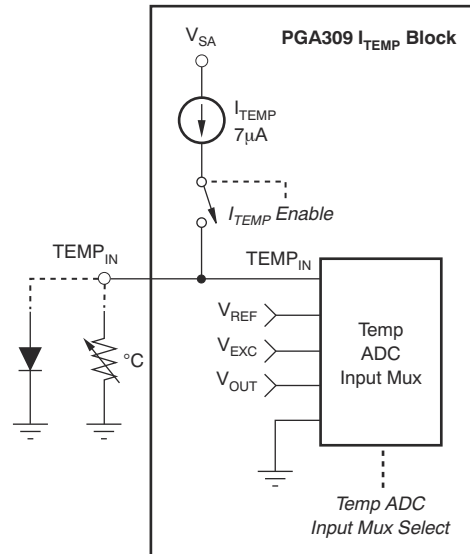


图 2-17. 使用 I_{TEMP} 进行外部温度测量

在外部温度模式下使用时，温度 ADC 用于模数转换的基准电压有多种选择，如表 2-11 和图 2-15 所示。在外部温度模式下使用时，温度 ADC 的分辨率也可通过寄存器进行选择（请参阅表 2-12）。

表 2-11. 温度 ADC 基准选择 — 寄存器 6

AREN [8]	RV1 [7]	RV0 [6]	温度 ADC 基准 (V _{REFT})
0	0	0	V _{REF}
0	0	1	V _{EXC}
0	1	0	V _{SA}
0	1	1	出厂保留
1	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	温度 ADC 内部基准 (2.048V)

(1) “X” = 不用考虑。

表 2-12. 温度 ADC⁽¹⁾ 分辨率 (转换时间) — 寄存器 6

R1 [1]	R0 [0]	外部信号模式 [TEN=0]， 外部基准 [AREN=0]	外部信号模式 [TEN=0]， 内部基准 [2.048V, AREN=1]
0	0	11 位 + 符号，右对齐，符号扩展 (6ms)	11 位 + 符号，右对齐，符号扩展 (8ms)
0	1	13 位 + 符号，右对齐，符号扩展 (24ms)	13 位 + 符号，右对齐，符号扩展 (32ms)
1	0	14 位 + 符号，右对齐，符号扩展 (50ms)	14 位 + 符号，右对齐，符号扩展 (64ms)
1	1	15 位 + 符号，右对齐，符号扩展 (100ms)	15 位 + 符号，右对齐，符号扩展 (128ms)

(1) 温度 ADC 使用二进制补码数据格式。

2.7.1 温度 ADC 启动转换控制

温度 ADC 具有两种转换模式：单次和连续。在连续转换模式 (CEN = “1”) 下，温度 ADC 会在转换完成后立即启动下一个转换周期。在单次转换模式 (CEN = “0”) 下，温度 ADC 启动转换位 (ADCS) 用作启动转换/繁忙位，必须在启动转换前设置为 “1”。当 EEPROM 的寄存器配置部分 (第一部分) 包含 ADCS = “1” 并且读取 EEPROM 时，便会将 ADCS 设置为 “1”。此外，对于每次后续的 EEPROM 读取，ADC 都会复位为 “1”。ADCS 设置为 “1” 后，如果立即读取，值将是 “1”，并且可进行轮询，直到恢复为 “0”，表示转换完成。启动转换模式如表 2-13 所示。

表 2-13. 温度 ADC 启动转换控制 — 寄存器 6

CEN [10]	ADCS [12]	转换 模式	说明
0	0	单次	温度 ADC 模式 — 无转换。
0	1	单次	温度 ADC 开始转换，ADCS 用作繁忙位，并在转换结束时变为 “0”。
1	X	持续	ADCS 位不进行控制 — 通常情况下由于是连续转换，因此 ADCS = “1”

图 2-18 中选择了连续启动转换控制。在通常为 33ms 的初始上电复位超时后，会读取 EEPROM 的寄存器配置部分 (第一部分)。此后会立即启动温度 ADC 转换。首次转换结束时读取 EEPROM 的温度系数部分 (第二部分)，并调整零 DAC 和增益 DAC 设置。由于 CEN = “1”，每次转换结束都会启动下一次转换。读取 EEPROM 的温度系数部分 (第二部分) 后，会读取寄存器配置值。请注意，只有从 EEPROM 读取到有效的寄存器配置才会触发 EEPROM 后半部分 (温度系数) 的读取。此操作在给定时间段内产生的温度更新最多。

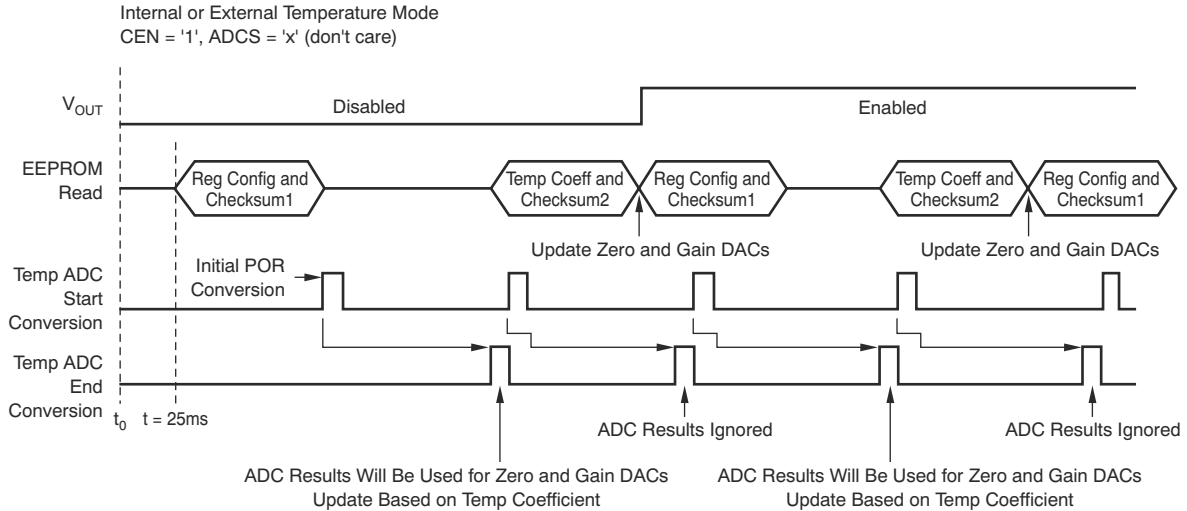


图 2-18. 温度 ADC 连续启动转换控制

图 2-19 中选择了单次转换模式 (CEN = “0”)。在通常为 33ms 的初始上电复位超时后，会读取 EEPROM 的寄存器配置 (第一部分)。在此之后，如果 CEN = “0” 且 ADCS = “1”，则会立即启动温度 ADC 转换。首次转换结束时读取 EEPROM 的温度系数 (第二部分)，并调整零 DAC 和增益 DAC 设置。当 CEN = “0” 且 ADCS = “1” 时，仅在读取 EEPROM 的寄存器配置部分之后才会发生新的启动转换。此次转换结束后会读取 EEPROM 的第二部分 (温度系数)，执行增益 DAC 和零 DAC 温度计算，并更新每个相应的 DAC。请注意，在单次启动转换模式下，如果 CEN = “0” 且 ADCS = “0” (无温度 ADC 转换)，则 PGA309 将在上电后等待 33ms，读取 EEPROM 的寄存器配置部分，并且在不进行任何 ADC 转换的情况下读取查找表并计算增益 DAC 和零 DAC 值。这些值基于当前 ADC 输出寄存器 (上电时为全零)。然后，PGA309 输出将被启用并等待大约 25ms，再读取 EEPROM 的寄存器配置部分。在以下连续循环期间，输出保持启用状态：读取 EEPROM 的寄存器配置部分，等待 33ms，然后再次读取。

外部温度模式的最后一个控制选项是 ADC2X 位，即寄存器 6 位 [13]。该位允许仅针对外部温度读数提高温度 ADC 的转换速度。

表 2-14 显示了典型设置以及 ADC2X 位的作用。

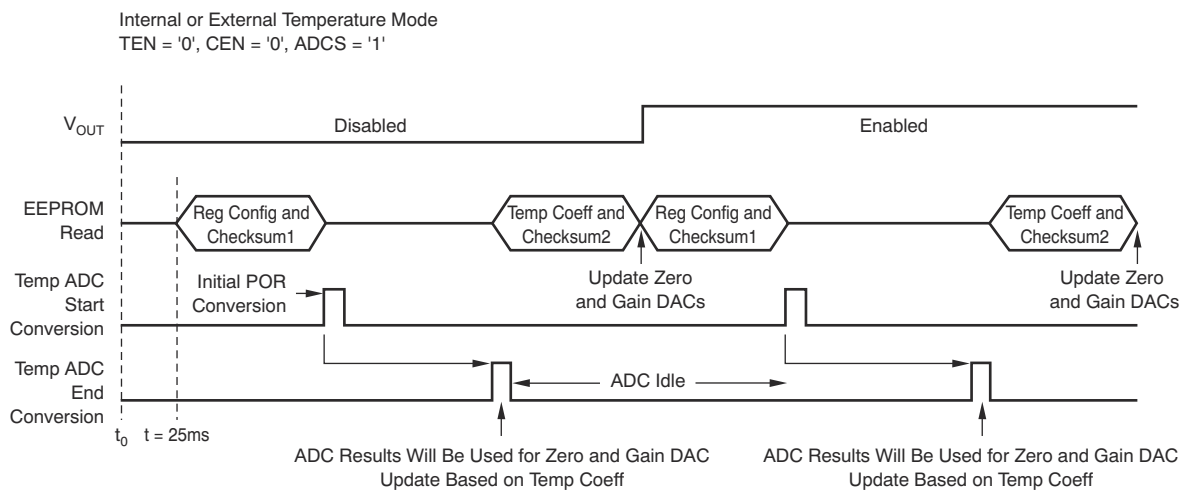


图 2-19. 温度 ADC 单次启动转换控制

表 2-14. 外部温度模式下的温度 ADC⁽¹⁾ 转换速度选项

R1 [1]	R0 [0]	[TEN=0], [AREN=0], [ADC2X=0]	[TEN=0], [AREN=0], [ADC2X=1]	[TEN=0], [2.048V, AREN=1], [ADC2X=0]	[TEN=0], [2.048V, AREN=1], [ADC2X=1]
0	0	11 位 + 符号 (6ms)	11 位 + 符号 (3ms)	11 位 + 符号 (8ms)	11 位 + 符号 (4ms)
0	1	13 位 + 符号 (24ms)	13 位 + 符号 (12ms)	13 位 + 符号 (32ms)	13 位 + 符号 (16ms)
1	0	14 位 + 符号 (50ms)	14 位 + 符号 (25ms)	14 位 + 符号 (64ms)	14 位 + 符号 (32ms)
1	1	15 位 + 符号 (100ms)	15 位 + 符号 (50ms)	15 位 + 符号 (128ms)	15 位 + 符号 (64ms)

(1) 温度 ADC 数据使用 16 位、符号扩展、右对齐的二进制补码数据格式。

2.7.2 通过励磁串联电阻进行外部温度检测

一些桥式传感器应用通过电桥电阻的变化来测量桥式传感器的温度。实现这一目标的方法是在电桥激励连接的顶部或底部添加一个串联电阻。完成此操作后，必须在应用的工作温度范围内观察 PGA309 输入的共模电压范围。

图 2-20 展示了使用顶部串联电阻 (R_{T+}) 来监测电桥电阻随温度变化的情况。为了简化分析，可将有效电桥电阻转换为一个电阻 (R_{BT})，如图所示。对于给定的温度， R_{BT} 将是固定值；在此示例中，70°C 时为 1.8k Ω 。与 R_{BT} 的温度变化 (3500ppm/°C) 相比， R_T 的温度变化可以忽略不计 (50ppm/°C)，因此使用 R_T 来检测 R_{BT} 的变化。对于此应用，温度 PGA 在正极输入端配置为 V_{EXC} ，在负极输入端配置为 $TEMP_{IN}$ 。温度 ADC 使用 V_{EXC} 作为其基准 (V_{REFT})。温度 PGA 的增益设置为 8。请注意，由于线性化模块会调整 V_{EXC} 以尽可能减少施加压力时桥式传感器输出端的误差，因此会对 V_{EXC} 的两个不同值进行分析，以便模拟 V_{EXC} 上不断变化的电压。方框中的值显示的是 $V_{EXC} = 2.9V$ 时的数值结果，椭圆形中的值显示的是 $V_{EXC} = 2.4V$ 时的数值结果。不管线性化模块使用的 V_{EXC} 值是多少，最终的温度 ADC 读数都将是相同的值。

图 2-21 展示了使用底部串联电阻 (R_{T-}) 来监测电桥电阻随温度变化的情况。同样，为了简化分析，可将有效电桥电阻转换为一个电阻 (R_{BT})，如图所示。在此示例中，70°C 时 R_{BT} 为 1.8k Ω 。 R_T 用于测量 R_{BT} 的变化。温度 PGA 在正极输入端配置为 $TEMP_{IN}$ ，在负极输入端配置为 GND 。选择 V_{EXC} 作为温度 ADC 基准 (V_{REFT})。PGA 增益为 8。方框中的值为 $V_{EXC} = 2.9V$ 时的结果，椭圆形中的值为 $V_{EXC} = 2.4V$ 时的结果。结果表明，无论 V_{EXC} 值如何，最终的温度 ADC 读数都相同。

如果应用中没有使用线性化模块，则桥式传感器顶部激励连接到 V_{SA} 或 V_{REF} ，而不是 V_{EXC} 。在顶部 (图 2-20) 或底部 (图 2-21) 任何一种情况下，都可以通过添加串联电阻 R_T 来进行外部温度检测。对于特定应用，应将温度 ADC 基准 (V_{REFT}) 更改为电桥激励电压 (V_{SA} 或 V_{REF})。无论电桥激励电压变化如何，都能在给定温度下产生恒定温度 ADC 输出。

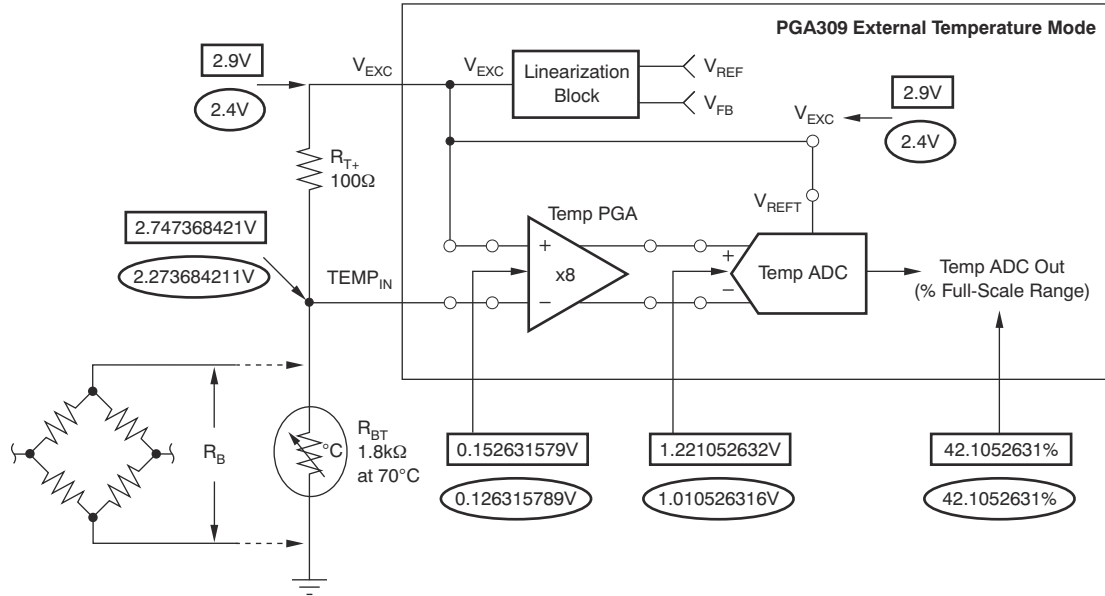


图 2-20. 使用顶部串联电阻时桥式传感器的外部温度检测

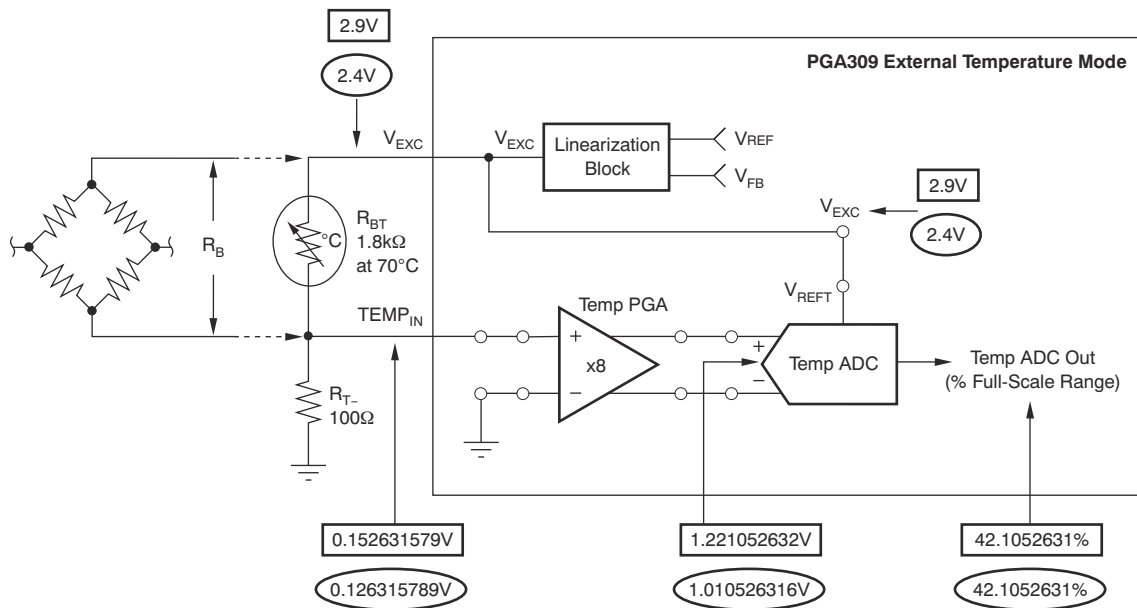
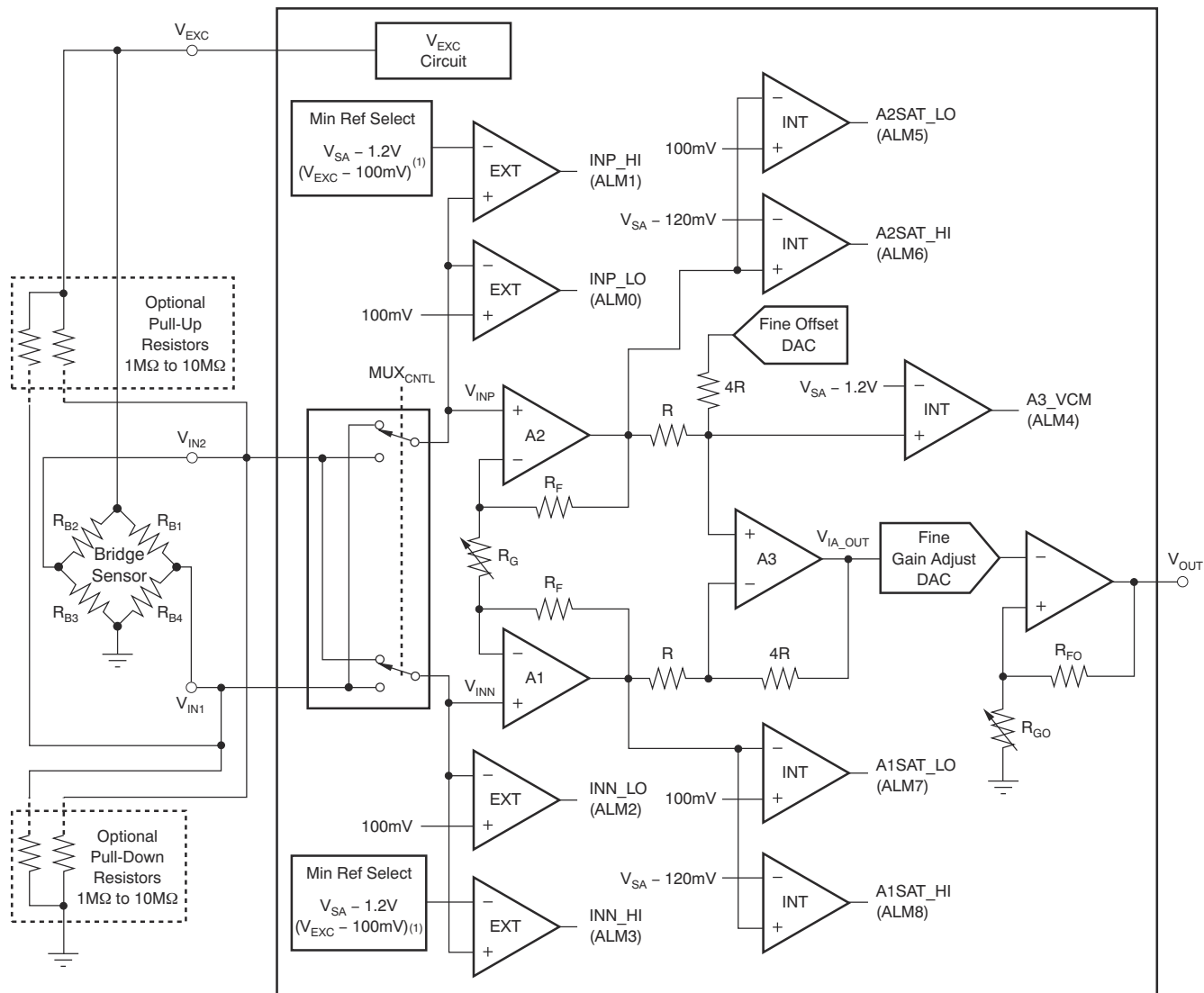


图 2-21. 使用底部串联电阻时桥式传感器的外部温度检测

2.8 故障监测

PGA309 通过九个内部比较器提供外部桥式传感器的故障检测。请参阅图 2-22。这些比较器分为两组：内部故障比较器和外部故障比较器。在图 2-22 中，外部故障比较器组中的比较器表示为 EXT，内部故障比较器组中的比较器表示为 INT。



1. 启用 V_{EXC} 后，最小基准选择器电路成为 INN_{HI} 和 INP_{HI} 比较器阈值的基准。此最小基准选择器电路使用 $V_{EXC} - 100mV$ 和 $V_{SA} - 1.2V$ ，并将 V_{INX} 引脚与两个基准中的较低者进行比较。这样可以确保在 V_{EXC} 可能高于或低于前端 PGA 放大器相对于 V_{SA} 的输入电压范围的情况下进行精确的故障监测。
2. 在故障情况下，所有比较器输出都为高电平。

图 2-22. PGA309 故障监测电路

外部故障比较器用于监测桥式传感器是否正常运行并报告输入故障情况。表 2-15 列举了桥式传感器可能的故障情况以及每种故障情况下的相关故障比较器输出。由于 PGA309 的输入偏置电流超低，如果需要准确报告对悬空输入（传感器与一个或全部两个 PGA309 输入端完全断开）的故障检测，则有必要为这些输入中（ V_{IN1} 和 V_{IN2} ）的每一个都添加一个上拉或下拉电阻（在图 2-22 中显示为可选）。为了尽可能降低桥式传感器输出端的信号负载，这些电阻值可以在 $1M\Omega$ 到 $10M\Omega$ 之间。这些可选电阻产生的失调电压和其他误差将在 PGA309 + 传感器校准期

间被消除。表 2-16 列出了使用上拉电阻时 PGA309 上的悬空输入的特殊情况。表 2-17 列出了使用下拉电阻时 PGA309 上的悬空输入的特殊情况。未列为特殊情况的所有其他故障情况与表 2-15 中详述的故障情况相同。

表 2-15. 桥式传感器故障和故障比较器状态 — V_{IN1} 和 V_{IN2} 没有上拉或下拉电阻⁽¹⁾

用例	V_{IN2} (V_{INN}) (V)	V_{IN1} (V_{INP}) (V)	VIA_OUT (V)	逻辑电平输出				注释
				INN_HI (ALM3)	INN_LO (ALM2)	INP_HI (ALM1)	INP_LO (ALM0)	
正常	1.7	1.7	线性	0	0	0	0	
R_{B1} 开路	1.7	0	~ 0	0	0	0	1	
R_{B2} 开路	0	1.7	$\sim V_{SA}$	0	1	0	0	
R_{B3} 开路	3.4	1.7	~ 0	1	0	0	0	
R_{B4} 开路	1.7	3.4	$\sim V_{SA}$	0	0	1	0	
R_{B1} 短路	1.7	3.4	$\sim V_{SA}$	0	0	1	0	
R_{B2} 短路	3.4	1.7	~ 0	1	0	0	0	
R_{B3} 短路	0	1.7	?	0	1	0	0	
R_{B4} 短路	1.7	0	~ 0	0	0	0	1	
传感器 GND 开路	3.4	3.4	~ 0	1	0	1	0	
传感器 V_{EXC} 开路	0	0	~ 0	0	1	0	1	
V_{EXC} 端接 GND	0	0	~ 0	1 ⁽²⁾	1	1 ⁽²⁾	1	
V_{IN1} (V_{INP}) 开路 ⁽³⁾	1.7	$\sim V_{SA}-0.7$	$\sim V_{SA}$	0	0	0	0	V_{OUT} 上的欠量程限制， 无故障检测 — 内部或外部
V_{IN2} (V_{INN}) 开路 ⁽³⁾	$\sim V_{SA}-0.7$	1.7	~ 0	0	0	0	0	V_{OUT} 上的过量程限制， 无故障检测 — 内部或外部
V_{IN1} (V_{INP}) 端接 GND	1.7	0	~ 0	0	0	0	1	
V_{IN2} (V_{INN}) 端接 GND	0	1.7	$\sim V_{SA}$	0	1	0	0	
V_{IN1} (V_{INP}) 端接 V_{EXC}	1.7	3.4	$\sim V_{SA}$	0	0	1	0	
V_{IN2} (V_{INN}) 端接 V_{EXC}	3.4	1.7	~ 0	1	0	0	0	
V_{IN1} (V_{INP})、 V_{IN2} (V_{INN}) 开路 ⁽³⁾	$\sim V_{SA}-0.7$	$\sim V_{SA}-0.7$	线性?	0	0	0	0	通常会缓慢漂移至过量程 限制；无外部故障检测 (ALM7)，内部故障设置 = A1 饱和和低电平
V_{IN1} (V_{INP})、 V_{IN2} (V_{INN}) 短接 GND	0	0	$\sim V_{SA}$	0	1	0	1	
V_{IN1} (V_{INP})、 V_{IN2} (V_{INN}) 短接 V_{EXC}	3.4	3.4	~ 0	1	0	1	0	

(1) $V_{SA} = +5V$ 、 $V_{REF} = +4.096V$ 、 $K_{EXC} = 0.83$ 、 $K_{LIN} = 0$ 且 $V_{EXC} = 3.4V$ 。

(2) 通常为逻辑 1，但无法通过设计和故障性质保证。

(3) 要准确检测这些故障，需要在每个输入端 (V_{IN1} 和 V_{IN2}) 上连接一个上拉或下拉电阻。

表 2-16. 桥式传感器故障和故障比较器状态 — V_{IN1} 和 V_{IN2} 通过 $10M\Omega$ 上拉电阻连接至 V_{EXC} ⁽¹⁾

特殊情况 ⁽²⁾	V_{IN2} (V_{INN}) (V)	V_{IN1} (V_{INP}) (V)	V_{IA_OUT} (V)	逻辑电平输出			
				INN_HI (ALM3)	INN_LO (ALM2)	INP_HI (ALM1)	INP_LO (ALM0)
V_{IN1} (V_{INP}) 开路	1.7	V_{EXC}	$\sim V_{SA}$	0	0	1	0
V_{IN2} (V_{INN}) 开路	V_{EXC}	1.7	~ 0	1	0	0	0
V_{IN1} (V_{INP})、 V_{IN2} (V_{INN}) 开路	V_{EXC}	V_{EXC}	~ 0	1	0	1	0

(1) $V_{SA} = +5V$ 、 $V_{REF} = +4.096V$ 、 $K_{EXC} = 0.83$ 、 $K_{LIN} = 0$ 且 $V_{EXC} = 3.4V$ 。

(2) 未列出的所有其他情况与表 2-15 中的情况相同。

表 2-17. 桥式传感器故障和故障比较器状态 — V_{IN1} 和 V_{IN2} 通过 $10M\Omega$ 下拉电阻连接至 GND ⁽¹⁾

特殊情况 ⁽²⁾	V_{IN2} (V_{INN}) (V)	V_{IN1} (V_{INP}) (V)	V_{IA_OUT} (V)	逻辑电平输出			
				INN_HI (ALM3)	INN_LO (ALM2)	INP_HI (ALM1)	INP_LO (ALM0)
V_{IN1} (V_{INP}) 开路	1.7	~ 0	$\sim V_{SA}$	0	0	0	1
V_{IN2} (V_{INN}) 开路	~ 0	1.7	~ 0	0	1	0	0
V_{IN1} (V_{INP})、 V_{IN2} (V_{INN}) 开路	~ 0	~ 0	~ 0	0	1	0	1

(1) $V_{SA} = +5V$ 、 $V_{REF} = +4.096V$ 、 $K_{EXC} = 0.83$ 、 $K_{LIN} = 0$ 且 $V_{EXC} = 3.4V$ 。

(2) 未列出的所有其他情况与表 2-15 中的情况相同。

启用 V_{EXC} 后，外部故障比较器 INP_HI 和 INP_LO 有一个最小基准选择器电路会在 $V_{EXC} - 100mV$ 或 $V_{SA} - 1.2V$ 的典型跳闸点之间进行选择。这样可以确保即使线性化电路增加 V_{EXC} ，而桥式传感器存在违反 PGA309 前端 PGA 相对于 V_{SA} 的 IVR 的故障情况，仍能进行精确的故障监测。如果禁用了 V_{EXC} ，这些比较器将默认为 $V_{SA} - 1.2V$ 阈值。

内部故障比较器用于监测 PGA309 的前端 PGA 内部节点（请参阅图 2-22）。当 PGA309 + 传感器校准正在进行时，启用内部比较器组至关重要，因为它可以提醒用户存在内部节点违规情况。这种违规的情况仍可能会产生处于预期线性范围内的输出电压，但这个输出电压并不准确。前端 PGA 每个前端放大器（A1 和 A2）的输出均受到监测，以了解是否存在对正电源或对地饱和。如果这些比较器中的任何一个在校准期间跳闸，则表明由于错误的前端 PGA 增益选择或粗略失调电压调整导致了超出范围的调节情况。此外，还会监测前端 PGA 中的 A3 放大器是否存在共模违规情况：如果零 DAC 与前端 PGA 增益选择的组合不正确，则可能会发生这种情况。

每个单独的内部和外部故障比较器都可以通过以下数字接口之一读取：两线制或单线制接口。当前结果存储在寄存器 8 — 警报状态寄存器中。启用 PGA309 输出后，警报状态寄存器的值将反映故障比较器的当前状态。禁用 V_{OUT} 后，寄存器中的值就是输出被禁用前的最新比较器状态。这样可以更轻松地区分和调试三端传感器模块（PRG 短接至 V_{OUT} ）。有关详细信息，请参阅节 4.10（PRG 连接到 V_{OUT} 的单线制工作模式）。此外，每组比较器（内部故障比较器和外部故障比较器）均可以进行编程，以便在各自组中的任一比较器为逻辑高电平（表示有故障）时，PGA309 输出（ V_{OUT} ）将被迫出现故障，指明正的电压电平（当负载为 $10k\Omega$ 时，最大值为 $V_{SA} - 0.1V$ ）或负的电压电平（当负载为 $10k\Omega$ 时，最大值为 $0.1V$ ）。图 2-23 展示了与此相关的逻辑。

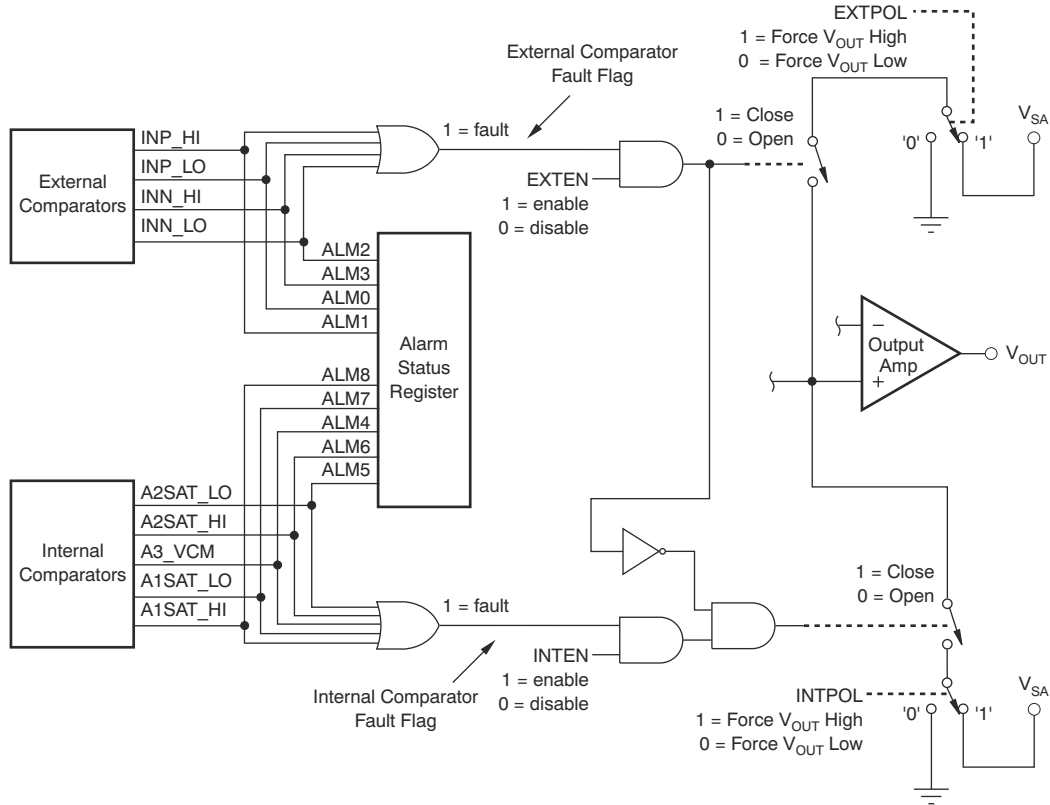


图 2-23. 故障监测比较器逻辑

寄存器 5 — PGA 配置和过量程/欠量程限制中提供了故障监测比较器逻辑的配置。每个比较器组中的各比较器输出组合在一起可产生一个内部比较器故障标志和一个外部比较器故障标志。对于外部比较器组 **EXTEN**，寄存器 5（位 11）会启用或禁用是否向前发送外部比较器故障标志以强制 V_{OUT} 进入故障指示状态。对于内部比较器组，**INTEN** - 寄存器 5（位 10）会启用或禁用是否向前发送内部比较器故障标志以强制 V_{OUT} 进入故障指示状态。对于每个比较器组，可对 V_{OUT} (V_{SA} 或 GND) 的故障指示状态进行编程。**INTPOL** - 寄存器 5（位 8）为内部比较器组选择此状态，**EXTPOL** - 寄存器 5（位 9）为外部比较器组选择此状态。外部比较器故障标志的优先级高于内部比较器。

故障标志如图 2-23 所示。例如，如果内部故障比较器组设置为强制 V_{OUT} 为低电平，而外部故障比较器组设置为强制 V_{OUT} 为高电平，并且两组都检测到故障（如果两组都启用，有可能发生这种情况），则外部故障比较器组具有更高优先级，因此 V_{OUT} 被强制为高电平。这是为了确保严重的传感器故障将优先于内部节点违规进行报告，在大多数实际应用中都是如此。如果在检测到故障时 V_{OUT} 存在有效线性输出，则故障逻辑将始终具有更高优先级（如果启用），并会覆盖线性输出以将 V_{OUT} 的故障指示为正或负 V_{OUT} 饱和。

2.9 过量程和欠量程

过量程和欠量程限制电路为 PGA309 输出电压提供了可编程的上限和下限。可以通过将寄存器 5 的 D6 位设置为“1”来启用该电路。与故障监测电路配合使用时，可以执行系统诊断以确定调节后的传感器是否有缺陷或传感器监测的过程是否超出范围。图 2-24 详细展示了过量程和欠量程限制电路的关键部分。所选的 PGA309 V_{REF} 由一个精密电阻串进行分压以形成过量程和欠量程阈值，如表 2-18 和表 2-19 所示。寄存器 5 位 [5:0] 可设置所需的阈值。这些电阻比率非常精确，不会产生明显的初始误差或温度误差。如图 2-24 所示，有两个单独的比较器：过量程比较器和欠量程比较器，它们分别使用过量程或欠量程阈值，并确定 PGA309 输出 (V_{OUT}) 的削减位置。过量程和欠量程限制电路中的主要误差是由比较器的失调电压和温漂导致的。

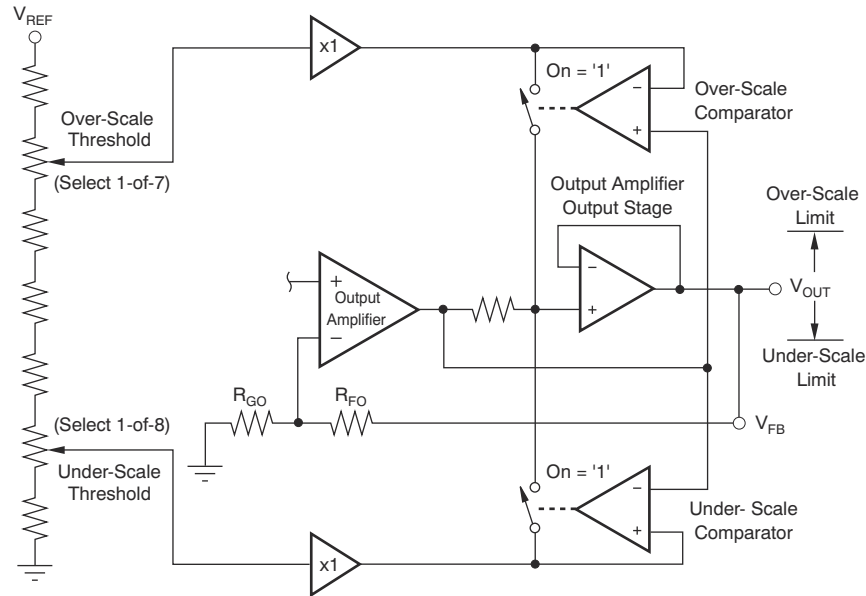


图 2-24. 过量程和欠量程限制电路

表 2-18. 过量程阈值选择 (寄存器 5 位 [5:3])。V_{REF} = +5V

HL2 [5]	HL1 [4]	HLO [3]	过量程阈值 (V)	过量程阈值
0	0	0	4.854	0.9708 V _{REF}
0	0	1	4.805	0.9610 V _{REF}
0	1	0	4.698	0.9394V _{REF}
0	1	1	4.580	0.9160 V _{REF}
1	0	0	4.551	0.9102 V _{REF}
1	0	1	3.662	0.7324V _{REF}
1	1	0	2.764	0.5528 V _{REF}
1	1	1	保留	—

表 2-19. 欠量程阈值选择 (寄存器 5 位 [2:0])。V_{REF} = +5V

LL2 [2]	LL1 [1]	LL0 [0]	欠量程阈值 (V)	欠量程阈值
0	0	0	0.127	0.02540 V _{REF}
0	0	1	0.147	0.02930 V _{REF}
0	1	0	0.176	0.03516 V _{REF}
0	1	1	0.196	0.03906 V _{REF}
1	0	0	0.225	0.04492 V _{REF}
1	0	1	0.254	0.05078 V _{REF}
1	1	0	0.274	0.05468 V _{REF}
1	1	1	0.303	0.06054V _{REF}

通过示例 2-4 所示的示例定义，可以很好地理解使用过量程和欠量程限制电路时的设计注意事项。

示例 2-4. 过量程和欠量程计算

假设：

绝对调节系统 — PGA309 连接到系统 ADC (请参阅图 2-25)

系统 ADC 基准 : $V_{REF\ ADC} = 4.096V$

PGA309 基准 : $V_{REF} = 4.096V$ (使用 PGA309 内部基准)

工作温度范围 : $-40^{\circ}C$ 至 $+125^{\circ}C$

PGA309 V_{SA} 、 $V_{SD} = +5V$

外部故障监测 ; 检测到故障时跳闸高电平

查找 :

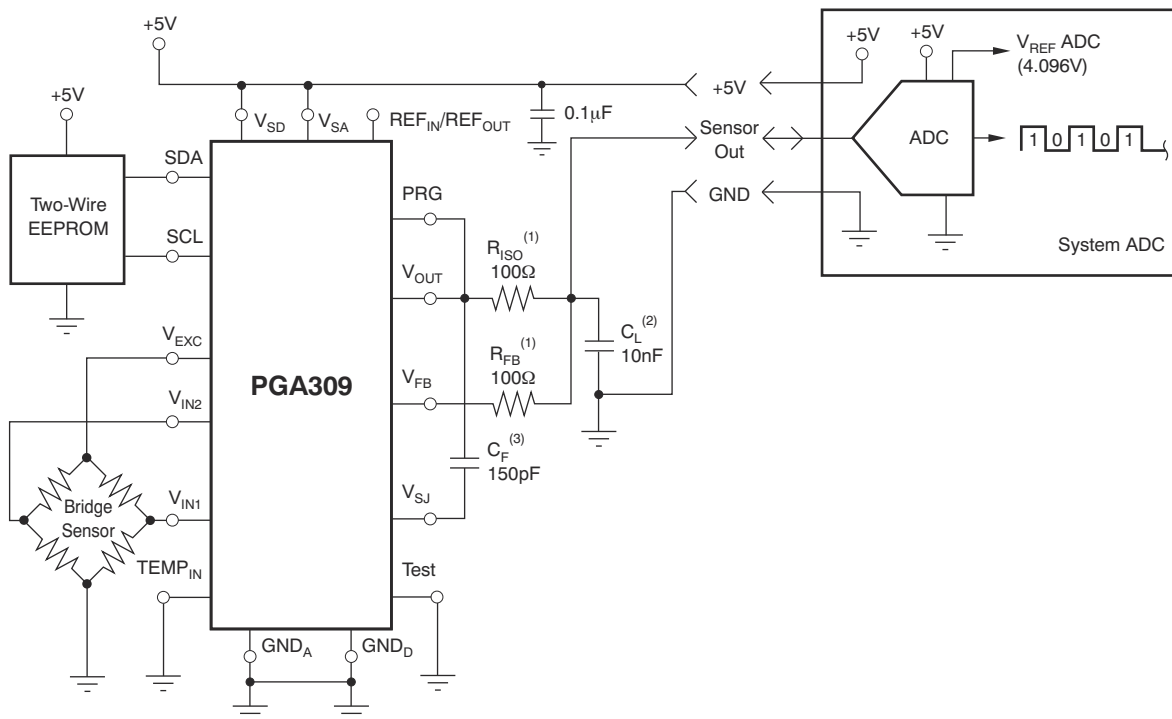
建议用于实现过量程/欠量程限制以及故障检测的电平。

1. 过量程限制
2. 欠量程限制
3. 可用的线性 PGA309 输出范围
4. 系统 ADC 跳闸点 : 过量程、欠量程、故障检测

解决方案 :

1. 分析工作温度范围内过量程和欠量程比较器上最坏情况下的失调电压误差。表 2-20 包含该计算所需的关键电气特性。
过量程比较器失调电压计算 :
过量程温漂 :
 $-40^{\circ}C$ 至 $25^{\circ}C$: $-24.05mV = (+0.37mV/^{\circ}C)(-40^{\circ}C - 25^{\circ}C)$
 $25^{\circ}C$ 至 $+125^{\circ}C$: $+37.00mV = (+0.37mV/^{\circ}C)(+125^{\circ}C - 25^{\circ}C)$
过量程失调电压最小值和最大值 :
 $V_{OS\ min} = +6mV - 24.05mV = -18.05mV$
 $V_{OS\ max} = +114mV + 37.00mV = +151.00mV$
欠量程比较器失调电压计算 :
欠量程温漂 :
 $-40^{\circ}C$ 至 $25^{\circ}C$: $+9.75mV = (-0.15mV/^{\circ}C)(-40^{\circ}C - 25^{\circ}C)$
 $25^{\circ}C$ 至 $+125^{\circ}C$: $-15.00mV = (-0.15mV/^{\circ}C)(+125^{\circ}C - 25^{\circ}C)$
欠量程失调电压最小值和最大值 :
 $V_{US\ min} = -7mV + 9.75mV = -2.75mV$
 $V_{US\ max} = -93mV - 15.00mV = -108mV$
2. 分析工作温度范围内最坏情况下的 V_{REF} 变化。
 V_{REF} 温漂 :
 $-40^{\circ}C$ 至 $+125^{\circ}C$: $[(+10ppm/^{\circ}C)/(1e6)][+125^{\circ}C - (-40^{\circ}C)]V_{REF} = +0.00165V_{REF}$
 V_{REF} 最小值和最大值 :
 $V_{REF\ min} = 4.00V - (0.00165)(4.00V) = 3.9934V$
 $V_{REF\ max} = 4.14V + (0.00165)(4.00V) = 4.1466V$
3. 针对每个过量程和欠量程阈值计算工作温度范围内的过量程和欠量程最小和最大跳闸点 (请参阅表 2-21) 。
过量程 (OS) 最小和最大跳闸点 :
 $OS\ min = V_{REF\ min} (OS\ ratio) + V_{OS\ min}$
 $OS\ max = V_{REF\ max} (OS\ ratio) + V_{OS\ max}$
欠量程 (US) 最小和最大跳闸点 :
 $US\ min = V_{REF\ min} (US\ ratio) + V_{US\ max}$
 $US\ max = V_{REF\ max} (US\ ratio) + V_{US\ min}$
4. 根据过量程和欠量程最小和最大跳闸点计算结果, 选择可实现理想系统 ADC 范围预算的理想选项 (请参阅图 2-26)。在本例中, PGA309 可扩展以实现系统 ADC 基准的 8% 至 80.8% 线性输出。此外, 我们还可以设置合理的跳闸点来检测过量程限制、欠量程限制和故障检测。
5. 确认 PGA309 V_{OUT} 可以支持系统 ADC 范围预算中定义的电压摆幅。表 2-22 显示, 对于我们的示例, PGA309 V_{OUT} 可以满足实现所需调节的限制条件。

由于 PGA309 + 传感器通常作为一个系统一起校准，因此可以在极端工作温度下测量每个器件的过量程和欠量程限制，并根据需要调整最终限制以实现理想调节。在按比例调节的系统中，基准误差不需要纳入到过量程和欠量程跳闸点计算中。



(尽管并非在所有应用中都需要) :

1. R_{ISO} 和 R_{FB} 为 PGA309 提供传感器输出端的过压保护。
2. C_L 提供 EMI/RFI 滤波。
3. C_F 为 PGA309 提供针对 C_L 容性负载的稳定性。

图 2-25. 绝对调节系统 — PGA309 连接到系统 ADC

表 2-20. 过量程和欠量程比较器以及 V_{REF} 的电气特性

参数	最小值	典型值	最大值	单位
过量程比较器失调电压	+6	+60	+114	mV
过量程比较器温漂		+0.37		mV/°C
欠量程比较器失调电压	-7	-50	-93	mV
欠量程比较器温漂		-0.15		mV/°C
V_{REF2}	4.00	4.096	4.14	V
V_{REF2} 漂移		+10		ppm/°C

表 2-21. 过量程和欠量程最小和最大跳闸点计算⁽¹⁾

阈值 U = 欠量程 O = 过量程	阈值 与 V_{REF} 的比率	最小跳闸点 (V)	最小跳闸点 (% V_{REF} ADC)	最大跳闸点 (V)	最大跳闸点 (% V_{REF} ADC)	典型跳闸点 (V)	典型跳闸点 (% V_{REF} ADC)
U7	0.0605	0.1338	3.2656	0.2483	6.0616	0.1910	4.6636
U6	0.0547	0.1104	2.6943	0.2240	5.4684	0.1672	4.0814
U5	0.0508	0.0948	2.3141	0.2078	5.0736	0.1513	3.6938
U4	0.0449	0.0714	1.7428	0.1835	4.4804	0.1274	3.1116
U3	0.0391	0.0480	1.1714	0.1592	3.8871	0.1036	2.5293

表 2-21. 过量程和欠量程最小和最大跳闸点计算⁽¹⁾ (续)

阈值 U = 欠量程 O = 过量程	阈值 与 V _{REF} 的比率	最小跳闸点 (V)	最小跳闸点 (%V _{REF} ADC)	最大跳闸点 (V)	最大跳闸点 (%V _{REF} ADC)	典型跳闸点 (V)	典型跳闸点 (%V _{REF} ADC)
U2	0.0352	0.0324	0.7912	0.1430	3.4923	0.0877	2.1418
U1	0.0293	0.0090	0.2199	0.1187	2.8991	0.0639	1.5595
U0	0.0254	-0.0066	-0.1603	0.1026	2.5042	0.0480	1.1719
O6	0.5528	2.1895	53.4546	2.4432	59.6494	2.3164	56.5520
O5	0.7324	2.9067	70.9648	3.1880	77.8313	3.0473	74.3980
O4	0.9102	3.6167	88.2994	3.9252	95.8309	3.7710	92.0652
O3	0.9160	3.6399	88.8649	3.9493	96.4181	3.7946	92.6415
O2	0.9394	3.7333	91.1462	4.0463	98.7870	3.8898	94.9666
O1	0.9610	3.8196	93.2521	4.1359	100.9737	3.9777	97.1129
O0	0.9708	3.8587	94.2076	4.1765	101.9658	4.0176	98.0867

(1) V_{REF} MIN = 3.9934V, V_{REF} MAX = 4.1466V, V_{REF} ADC = 4.096V, V_{OS} min = -0.01805V, V_{OS} max = 0.151V, V_{US} min = -0.00275V, V_{US} max = -0.108V。粗斜体表示示例 2-4 的最终选择。

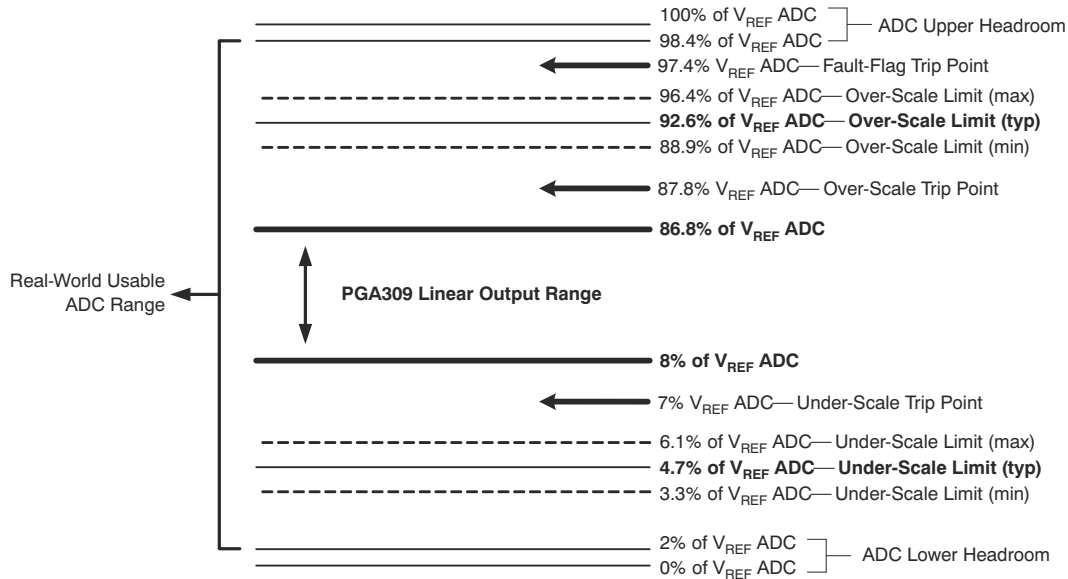


图 2-26. 过量程、欠量程和线性输出的系统 ADC 范围预算

表 2-22. 系统 ADC 范围预算的 PGA309 V_{OUT} 限制⁽¹⁾

限制条件	PGA309 V _{OUT} (V)	PGA309 V _{OUT} 限制 (V)
96.4% V _{REF} ADC — 过量程限制 (最大值)	3.9493	4.9
3.3% V _{REF} ADC — 欠量程限制 (最小值)	0.1338	0.1

(1) V_{REF} ADC = 4.096V, V_{SA} = 5V。

2.10 噪声和粗略失调电压调整

PGA309 前端 PGA 包含自动置零运算放大器，可实现精密低噪声测量，而不会产生常规低压 CMOS 运算放大器中通常出现的闪烁噪声或 1/f 噪声。

这种自动置零拓扑可以消除内部振荡器每个时钟周期内的放大器低频噪声和失调电压。因此，PGA309 的低频噪声电压频谱将变得平坦，仅在大约 7kHz 及其倍数频率下出现小的残留时钟馈通分量。图 2-27 详细说明了粗略失调电压调整为 0mV 时的 PGA309 电压噪声频谱。这种自动置零方法通过按比例对 PGA309 的输出进行滤波来实

现更高精度的测量。使用均值计算方法的传统 CMOS 运算放大器不会改善 $1/f$ 噪声区域中的信噪比。此外，自动置零技术使得 PGA309 输入失调电压能够实现非常好的温度和时间稳定性。

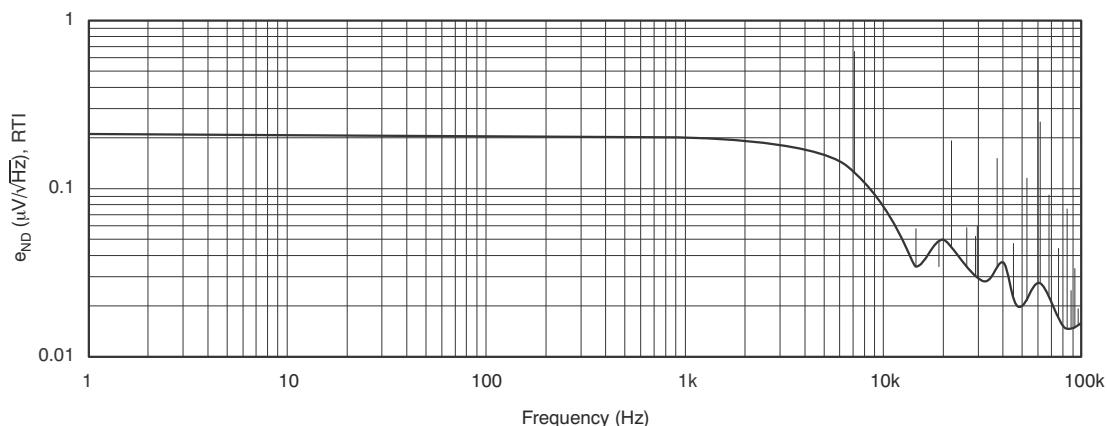


图 2-27. 电压噪声功率频谱以输入为基准 (RTI)，粗略失调电压调整 = 0mV，增益 = 1152，CLK_CFG = “00” (默认值)

PGA309 低频电压噪声密度 (RTI) 约为 $210\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ 。为了将此数值转换为示波器测量的峰峰值幅度，需使用以下公式：

$$V_{\text{NPP}} = (e_{\text{ND}})(\sqrt{\text{BW}})(\text{crest factor})$$

其中：

- V_{NPP} = 电压噪声峰峰值 (nV_{PP})
- e_{ND} = 电压噪声密度 (nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$)
- BW = 目标带宽 (Hz)
- 波峰因数 = 将 rms 噪声转换为峰峰值噪声的概率因数 (波峰因数值为 6 时可将出现更大峰峰值幅度的概率降低至小于 0.3%)。

PGA309 峰峰值噪声，RTI，BW = 10Hz：

$$V_{\text{NPP}} = (210\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}})(\sqrt{10\text{Hz}})(6) = 3984\text{nV}_{\text{PP}} = 3.98 \mu\text{V}_{\text{PP}} \text{ (RTI)}$$

PGA309 总增益为 1152 时，这意味着 V_{OUT} 处的噪声将是 $4.58\text{mV}_{\text{PP}}$ ，如图 2-28 所示。

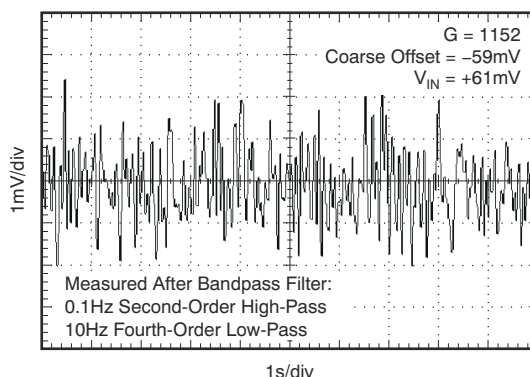


图 2-28. V_{OUT} 噪声，0.1Hz 至 10Hz 峰峰值噪声

为了补偿具有较大初始失调电压的桥式传感器，PGA309 前端 PGA 的输入级包含一个获得专利的电路，允许基于自动置零拓扑的粗略失调电压调整。在内部自动置零振荡器的每个时钟周期，都会从输入信号中减去输入放大器级的失调电压和噪声，得到的结果将与粗略失调电压调整 DAC 产生的小电压相加。这样得到的值将成为 PGA309

以输入为基准的失调电压。此值可以是正值或负值，如节 2.2 “失调电压调节” 所述。此运算不会增加 PGA309 的低频 $1/f$ 噪声。但是，粗略失调电压 DAC 中内部元件的失配可能会产生与常规传统 CMOS 运算放大器相同数量级的温度误差和长期稳定性误差（即输入失调电压温漂高达 $10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ）。

为了产生随温度和时间变化保持稳定的值，粗略失调电压 DAC 电路包含一个可旋转内部元件的斩波电路，用于对粗略失调电压调整 DAC 输出端的失配误差进行均值计算。这样可以实现具有极高时间稳定性和温度稳定性的粗略失调电压调整。

粗略失调电压 DAC 斩波技术的设计缺点在于可能会在 PGA309 输出端 V_{OUT} 处出现时钟馈通干扰（由于旋转元件）。当粗略失调电压调整设置为 0mV 时，PGA309 的 V_{OUT} 信号上的时钟馈通分量实际上可以忽略不计，如图 2-29 所示。

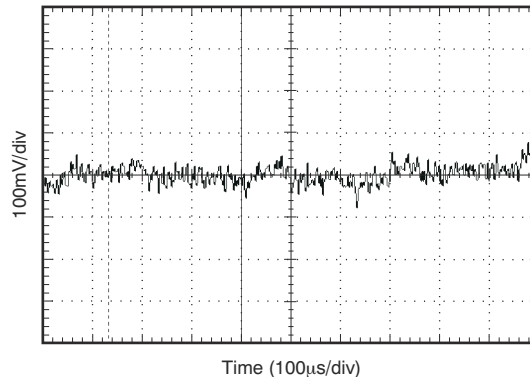


图 2-29. 未滤波的 V_{OUT} 时钟馈通，粗略失调电压调整 = 0mV ，增益 = 1152，CLK_CFG = “00”（默认值）

由于粗略失调电压调整 DAC 值会增大时钟的幅度，因此馈通干扰也会增大。对于 $V_{\text{REF}} = +5\text{V}$ 且满量程粗略失调电压 DAC 值为 -59mV 的情况，时钟馈通干扰如图 2-30 所示。这张示波器图是在 PGA309 设置为其最大内部增益 1152、粗略失调电压调整 DAC 设置为 -59mV 且 V_{IN} 设置为 $+61\text{mV}$ 的条件下截取的。以输入为基准 (RTI)，此 V_{OUT} 干扰仅为 $347 \mu\text{V}_{\text{PP}}$ ($0.4\text{V}_{\text{PP}}/1152$)。此干扰出现在内部自动置零时钟的一半处（通常为 3.5kHz ）。此干扰不会反射回低频范围，并可在目标信号为 1kHz 或以下时被滤除。图 2-31 是本例中 V_{OUT} 峰峰值噪声的示波器图。图 2-32 展示了粗略失调电压调整 DAC 设置为 -59mV 且 $V_{\text{IN}} = +61\text{mV}$ 情况下的电压噪声频谱。在图 2-32 中，基带噪声与粗略失调电压调整设置为零时的噪声（如图 2-27 所示）大致相同，但存在大约 3.5kHz 的额外尖峰。

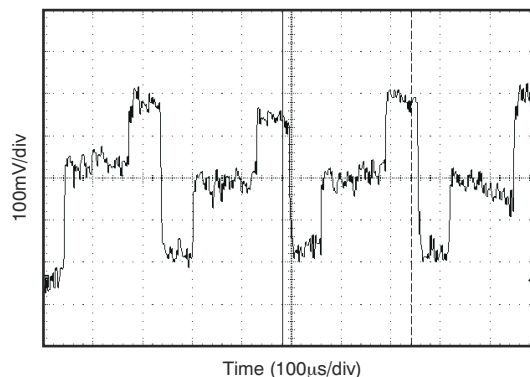


图 2-30. 未滤波的 V_{OUT} 时钟馈通干扰，粗略失调电压调整 = -59mV ，增益 = 1152， $V_{\text{IN}} = +61\text{mV}$ ，CLK_CFG = “00”（默认值）。 V_{OUT} 干扰 (RTI) = $347 \mu\text{V}_{\text{PP}}$

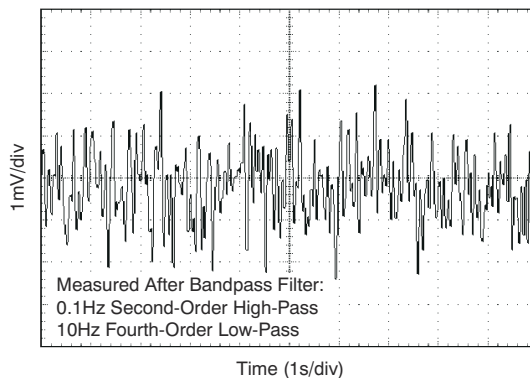


图 2-31. 经滤波的 0.1Hz 至 10Hz V_{OUT} 峰峰值噪声，粗略失调电压调整 = -59mV，增益 = 1152， V_{IN} = +61mV，CLK_CFG = “00”（默认值）

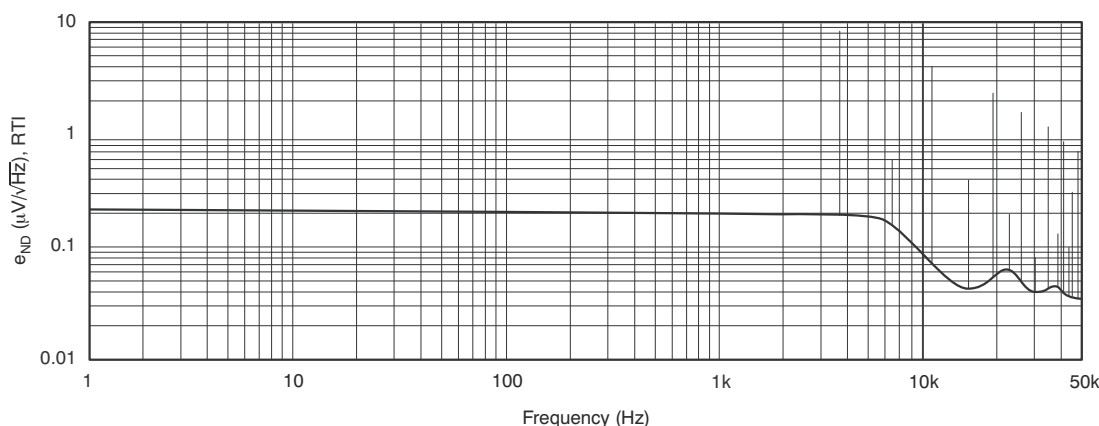


图 2-32. 电压噪声频谱 (RTI)，粗略失调电压调整 = -59mV，增益 = 1152， V_{IN} = +61mV，CLK_CFG = “00”（默认值）

如果应用中的粗略失调电压调整 DAC 斩波电路的时钟馈通干扰会导致问题，可为前端 PGA 的粗略失调电压 DAC 时钟和自动置零时钟选择替代模式。寄存器 5 位 (13:12) 分别称为 CLK_CFG1 和 CLK_CFG0。表 2-23 列出了使用这些位时提供的时钟方案。到目前为止已经讨论了 CLK_CFG = “00”。

表 2-23. PGA309 时钟方案

CLK_CFG 模式	CLK_CFG1 位 D13	CLK_CFG0 位 D12	自动置零 PGA 前端	斩波 粗略失调电压 DAC
00 (默认值)， 假设值 = 0	0	0	7kHz 典型值	3.5kHz 典型值
01	0	1	7kHz 典型值	关 (无)
10	1	0	7kHz 典型值， 随机时钟	3.5kHz 典型值， 随机时钟
11	1	1	7kHz 典型值	3.5kHz 典型值， 随机时钟

在 CLK_CFG = “01” 模式下，粗略失调电压调整 DAC 斩波为关闭状态。时钟馈通干扰不再存在 (图 2-33 展示了 0.1Hz 至 10Hz V_{OUT} 峰峰值噪声)，且 V_{OUT} 噪声频谱很干净，如图 2-34 所示。但是，输入粗略失调电压调整 DAC 不再具有温度稳定性。典型的跨度漂移通常与温度呈线性关系，在 PGA309 位置靠近桥式传感器并且两者经过一起校准的应用中可能是可以接受的。粗略失调电压调整 DAC 的漂移直接与桥式传感器的温漂相加，这两者都会被校准掉。

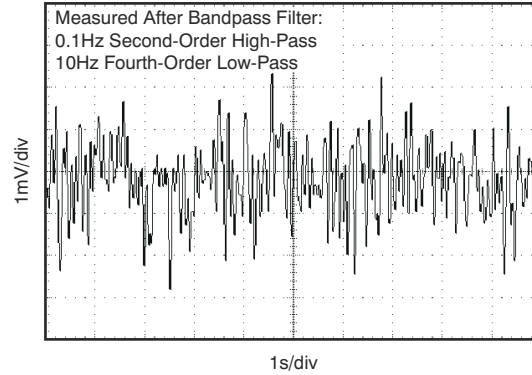


图 2-33. 0.1Hz 至 10Hz V_{OUT} 峰峰值噪声，粗略失调电压调整 = -56mV ，增益 = 1152， $V_{IN} = +57\text{mV}$ ， $\text{CLK_CFG} = \text{"01"}$ ， $V_{NPP}(\text{RTI}) = 4.44\text{V}_{PP}$

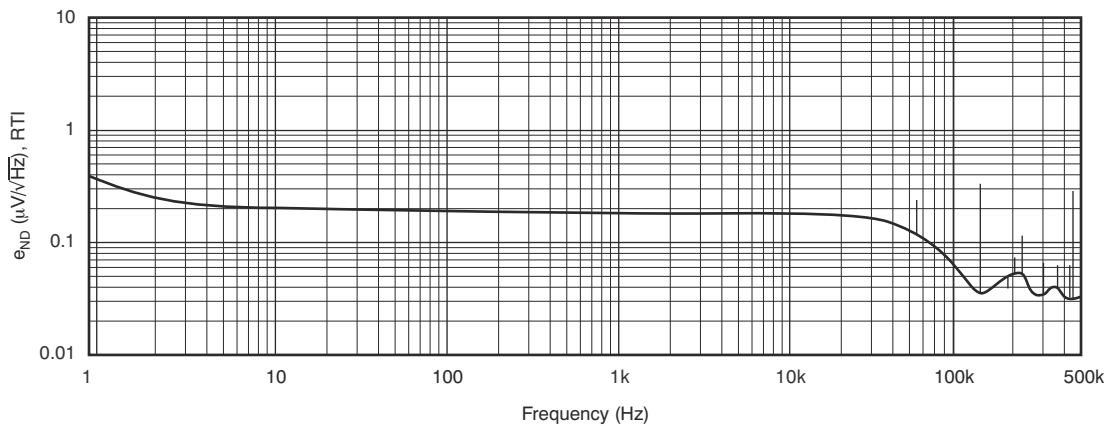


图 2-34. V_{OUT} 噪声频谱，粗略失调电压调整 = -56mV ，增益 = 1152， $V_{IN} = +57\text{mV}$ ， $\text{CLK_CFG} = \text{"01"}$

$\text{CLK_CFG} = \text{"10"}$ 模式和 $\text{CLK_CFG} = \text{"11"}$ 模式会为前端 PGA 自动置零和粗略失调电压 DAC 斩波启用不同的时钟随机化方案。尽管这不会降低时钟馈通干扰的幅度（请参阅图 2-30），但会在更宽的频率范围内传播干扰能量。这样可以消除输入自动置零时钟频率一半处的固定尖峰，但会提高较低频率范围内的本底噪声，从而使基带噪声增大。 $\text{CLK_CFG} = \text{"11"}$ 模式通过调制自动置零和斩波时钟，直接将峰峰值噪声从 1Hz 区域白化到大约 7kHz 区域。在 $\text{CLK_CFG} = \text{"10"}$ 模式下，会对粗略失调电压 DAC 斩波时钟进行调制，但不对自动置零时钟进行调制。图 2-35、图 2-36、图 2-37 和图 2-38 的电压噪声频谱和峰峰值噪声图中展示了这两种模式的结果。

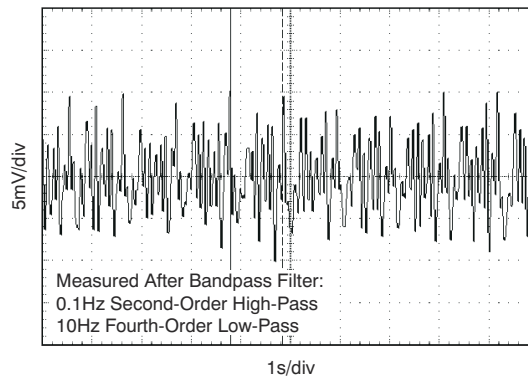


图 2-35. 0.1Hz 至 10Hz V_{OUT} 峰峰值噪声，粗略失调电压调整 = -56mV ，增益 = 1152， $V_{IN} = +57\text{mV}$ ， $\text{CLK_CFG} = \text{"10"}$ ， $V_{NPP}(\text{RTI}) = 18.4\mu\text{V}_{PP}$

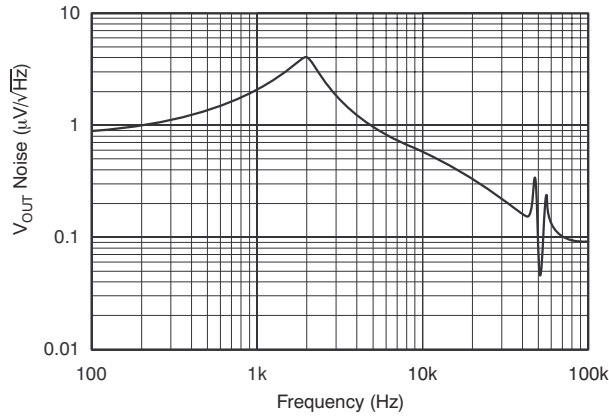


图 2-36. V_{OUT} 噪声频谱，粗略失调电压调整 = -56mV ，增益 = 1152， $V_{IN} = +57\text{mV}$ ， $\text{CLK_CFG} = "10"$

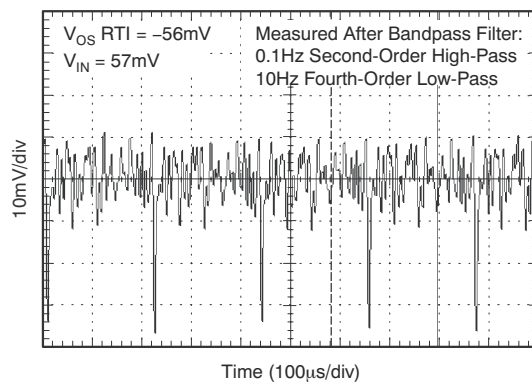


图 2-37. 0.1Hz 至 10Hz V_{OUT} 峰峰值噪声，粗略失调电压调整 = -56mV ，增益 = 1152， $V_{IN} = +57\text{mV}$ ， $\text{CLK_CFG} = "11"$ ， $V_{NPP}(\text{RTI}) = 42\mu\text{V}_{PP}$

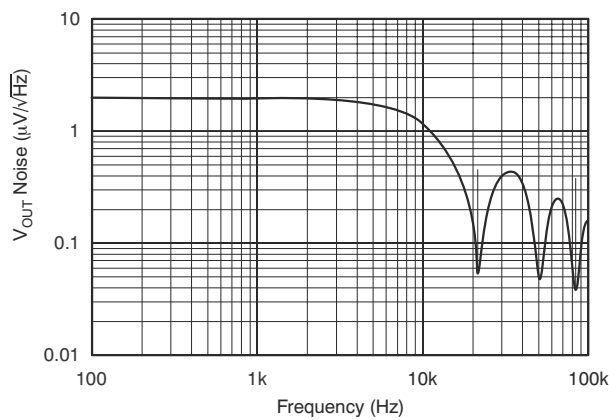


图 2-38. V_{OUT} 噪声频谱，粗略失调电压调整 = -56mV ，增益 = 1152， $V_{IN} = +57\text{mV}$ ， $\text{CLK_CFG} = "11"$

2.11 一般 AC 注意事项

除了正常的良好模拟布局和设计实践之外，在使用 PGA309 进行设计时还有一些关键项需要检查。

1. REFIN/REFOUT 引脚 16：将容性负载保持在 200pF 或更低。
2. V_{EXC} 引脚 1：将容性负载保持在 200pF 或更低。
3. V_{SA} 引脚 3 和 V_{SD} 引脚 10：请将这些值的差值保持在 200mV 以内。在内部，PGA309 会将其数字和模拟电源进行分离，以尽可能减少两者之间的串扰。在外部，请将这两者连接在一起，并直接在引脚上使用一个 0.1 μF 电容器进行旁路。如果在两个电源之间使用 RC 滤波器，请确保最大压降始终不超过 200mV。
4. GND_A 引脚 2 和 GND_D 引脚 11：确保将这两者直接连接在一起并连接到同一接地点。
5. V_{SJ} 引脚 8：这是输出放大器的负输入，因此为高阻抗。应使低阻抗布线（例如 V_{OUT}）和有噪声的布线远离 V_{SJ}。为避免 V_{SJ} 上出现不必要的额外电容，请尽量缩短布线长度。
6. V_{IN1} 引脚 4 和 V_{IN2} 引脚 5：对于大于或等于 10kΩ 的源电阻，请在 V_{IN1} 和 V_{IN2} 之间添加一个 1nF 至 2nF 的电容器，以尽可能减轻噪声耦合。
7. V_{IN1} 引脚 4 和 V_{IN2} 引脚 5：RFI 滤波始终是仪表放大器应用中要关注的问题。注入仪表放大器的 RFI 信号会经过整流，并在输出端表现为直流漂移或失调电压；高增益电路会放大这种影响。图 2-39 展示了 PGA309 的输入滤波。根据桥式传感器与 PGA309 之间的距离以及传感器模块屏蔽情况，可能需要 R1 和 R2。由于 C1 和 C2 不匹配会使共模信号变为差分信号，为了衰减这种共模信号，C1 应等于 C2，C3 应比 C1 大十倍。所有输入滤波器元件应直接放置在 PGA309 输入端，以避免布线长度成为 RFI 接收天线。

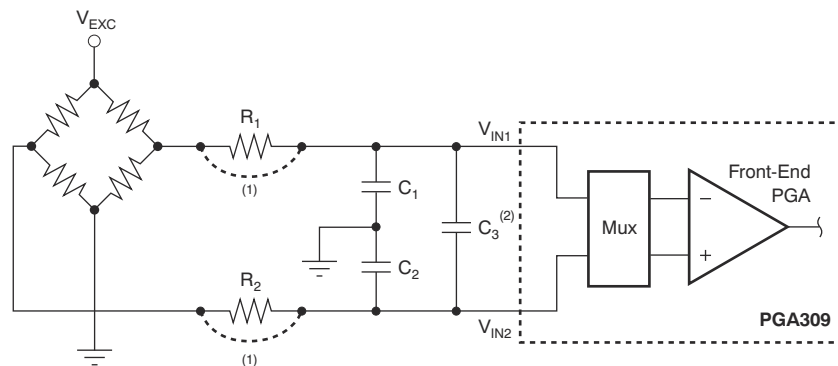


图 2-39. 输入滤波

This page intentionally left blank.



本章介绍 PGA309 的工作模式。

3.1 上电序列和正常独立工作模式	62
3.2 EEPROM 内容和温度查找表计算	63
3.3 校验和错误事件	73
3.4 测试引脚	73
3.5 上电时的初始寄存器状态	73

3.1 上电序列和正常独立工作模式

PGA309 内部状态机在独立模式下控制器件的运行，无需任何外部数字控制器。在此模式下，PGA309 执行两线制接口主器件的功能以从 EEPROM 中读取数据。

PGA309 具有上电复位 (POR) 电路，可将内部寄存器和子电路复位为初始状态。当检测到电源电压过低时，也会发生这种上电复位，这样当电源再次变为有效时，PGA309 会处于已知状态。在 V_{SA} 上升时，POR 电路的阈值电压通常为 2.2V，而在 V_{SA} 下降时为 1.7V。

当电源变为有效后，PGA309 等待大约 33ms，然后尝试从外部 EEPROM 器件的第一部分读取配置寄存器数据（寄存器 3 — 寄存器 6 位设置）。如果 EEPROM 在地址位置 0 和 1 中具有正确编程的标志字（0x5449，“TI” ASCII），则 PGA309 将继续读取 EEPROM。否则，PGA309 将等待 1.3 秒，然后重试。如果 PGA309 检测到没有来自 EEPROM 的响应并且两线制总线处于有效的空闲状态（SCL = “1”，SDA = “1”），则 PGA309 将等待 1.3 秒，然后重试。如果两线制总线卡在 SDA = “0” 状态，则 PGA309 会通过发送额外的 SCL 时钟来释放总线（请参阅 [章节 4 - 数字接口](#) 以了解详细信息），并等待 33ms 后尝试再次读取 EEPROM。如果 EEPROM 配置读取成功（包括有效的 Checksum1 数据）并且寄存器 6 中的 ADCS 或 CEN 位设置为 “1”，则 PGA309 将触发温度 ADC 来测量配置寄存器中配置的温度信息。对于 16 位分辨率结果，转换器大约需要 125ms 来完成一次转换。一旦转换完成，PGA309 开始从 EEPROM 地址位置 16 及更高位置读取查找表，以便使用分段线性插值算法来计算增益 DAC 和零 DAC 的设置。PGA309 读取整个查找表并确定查找表的校验和 (Checksum2) 是否正确。从 EEPROM 读取查找表中的每个条目大约需要 500 μ s。一旦确定 Checksum2 有效，增益 DAC 和零 DAC 的计算值便会更新到各自的寄存器中，并启用输出放大器 (V_{OUT})。然后，PGA309 开始循环执行整个过程，再次从 EEPROM 的第一部分读取配置数据。此循环无限期持续下去。

备注

对于连接到 V_{OUT} 的 PRG 引脚

在整个初始上电序列期间，PGA309 V_{OUT} 会被禁用（高阻抗），直到验证了有效的 EEPROM 内容并完成 ADC 转换，如上所述并如 [图 3-1](#) 所示。在真正的三线制连接中（ V_S 、GND 和 V_{OUT} ，PRG 引脚短接至 V_{OUT} ），当 $OWD = “1”$ （寄存器 4，位 D15）时，外部通信控制器只能在上电之后的这段时间间隔内启动与 PGA309 的数字通信并在内部状态机中触发一秒钟延迟。启用 V_{OUT} 后，除非重新上电，否则无法进行进一步的数字通信。

如果 PGA309 检测到不存在 EEPROM 器件（即对于发送至 EEPROM 的从器件地址字节，没有收到确认），PGA309 将等待大约一秒钟，然后重试。此循环将在禁用 V_{OUT} 的情况下无限期持续下去。

在任何时候，如果通过两线制或单线制接口以 $OWD = “0”$ （寄存器 4，位 D15）对 PGA309 进行寻址，则内部状态机将中止其周期并启动 1s 延迟。在 1s 延迟超时会开始进行 EEPROM 读取。每次对 PGA309 进行寻址时，都会使 1s 延迟复位。因此，只要有某种通信活动至少每秒发送到 PGA309 一次，外部微控制器便能够控制 PGA309 的功能。 V_{OUT} 将保持在 PGA309 被寻址前所处的状态（启用或禁用）。如果从初始上电开始就需要通过微控制器对 PGA309 进行完全控制，则在内部 PGA309 寄存器配置为所需状态后，应将 Test 引脚拉至高电平以启用输出。

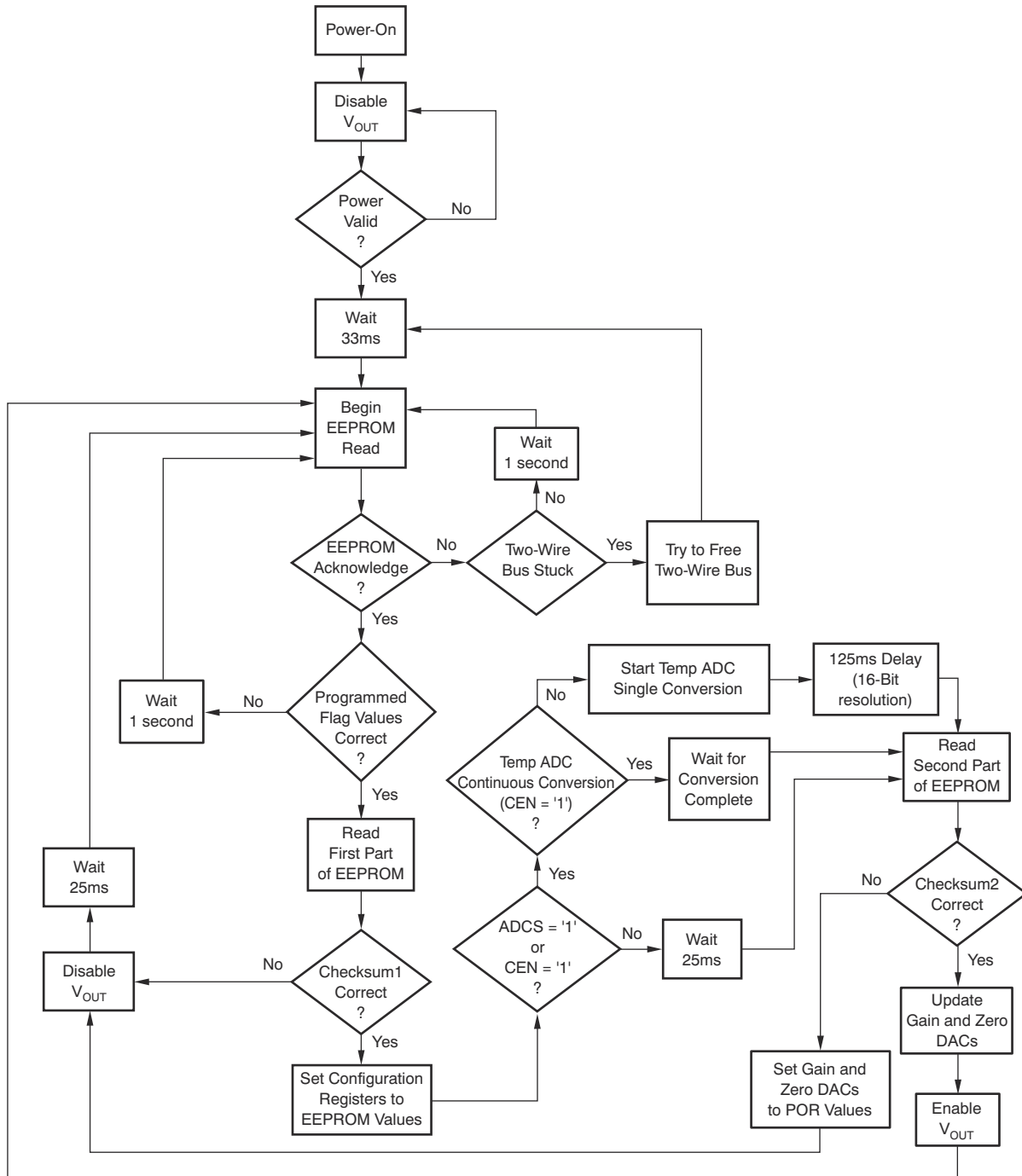


图 3-1. 状态机 — 上电序列和独立工作模式

3.2 EEPROM 内容和温度查找表计算

PGA309 使用业界通用的两线制外部 EEPROM (通常为 SOT23 封装)。如果使用全部 17 个温度系数,则需要一个最小为 1k 位的 EEPROM。更大的 EEPROM 可用于为序列号、批次代码或其他产品数据提供额外的用户空间。

PGA309 使用的 16 位数据字存储在外部 EEPROM 中,首先存储最低有效 8 位字节,如图 3-2 所示。

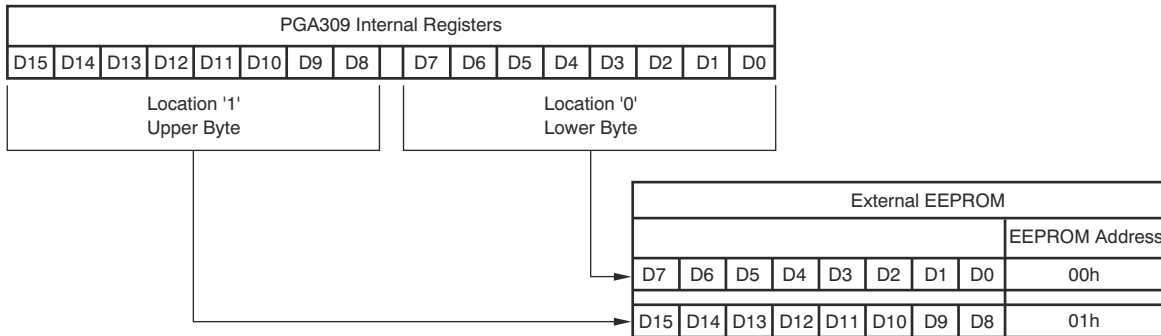


图 3-2. PGA309 内部寄存器映射到外部 EEPROM 地址

表 3-1 说明了 1k 位 EEPROM 的外部 EEPROM 内容。有关外部 EEPROM 的详细示例，请参阅附录 A。

EEPROM 的第一部分 (16 个 8 位字节，包括地址位置 1/0 到地址位置 15/14) 包含 EEPROM 编程标志以及寄存器 3、4、5 和 6 的 PGA309 配置数据。此分段末尾包含位于地址位置 15/14 处的 Checksum1。

EEPROM 的第二部分 (108 个 8 位字节, 包括地址位置 17/16 到地址位置 123/122) 包含零 DAC (精细失调电压调整) 和增益 DAC (精细增益调整) 的温度系数查找表。最多可以有 17 个温度指数值以及增益 DAC 和零 DAC 的相应比例因子。查找表中的温度值表示分段线性曲线上用于补偿传感器跨度和失调电压温度漂移的点。每个温度值对应于增益 DAC 和零 DAC 各自的斜率因子。如果测量的温度并不直接落在存储的温度值上, 则需为该测量温度进行 DAC 值的线性插值。

表 3-1. 1k 位外部 EEPROM 内容

	EEPROM 地址 位置“1” (十进制)	EEPROM 地址 位置“0” (十进制)	内容 (所有数据均存储为两个 8 位字节)
第一部分	1	0	EEPROM 编程标志; 5449h = “TI” ASCII
	3	2	未使用, 但包含在 Checksum1 计算中; 可供用户数据使用。
	5	4	未使用, 但包含在 Checksum1 计算中; 可供用户数据使用。
	7	6	PGA309 寄存器 3 的值: 基准控制和线性化
	9	8	PGA309 寄存器 4 的值: PGA 粗略失调电压和增益/输出放大器增益
	11	10	PGA309 寄存器 5 的值: PGA 配置和过量程/欠量程限制
	13	12	PGA309 寄存器 6 的值: 温度 ADC 控制
	15	14	Checksum1 = FFFFh - 总和 (位置 1/0 到 13/12 的十六进制值), Checksum1 在 16 位以上截断
第二部分	17	16	T0 (温度 \leq T0 时的温度指数值)
	19	18	Z0 (温度 \leq T0 时的零 DAC 值)
	21	20	G0 (温度 \leq T0 时的增益 DAC 值)
	23	22	T1 (温度指数值 T1)
	25	24	ZM1 (T1 \leq 温度 \leq T0 时的零 DAC 乘法斜率因子)
	27	26	GM1 (T1 \leq 温度 \leq T0 时的增益 DAC 乘法斜率因子)

	113	112	T16 (温度指数值 T1)
	115	114	ZM16 (T15 \leq 温度 \leq T16 时的零 DAC 乘法斜率因子)
	117	116	GM16 (T15 \leq 温度 \leq T16 时的增益 DAC 乘法斜率因子)
	119	118	T _{END} (查找表结尾 \rightarrow 7FFFh)
	121	120	ZM _{END} (查找表结尾; 值被忽略, 但包含在 Checksum2 中)
123	122	GM _{END} (查找表结尾; 值被忽略, 但包含在 Checksum2 中), Checksum2 = FFFFh - 总和 (位置 17/16 到 123/122 的十六进制值), Checksum2 在 16 位以上截断	
	125	124	未使用; 可供用户数据使用
	127	126	未使用; 可供用户数据使用

T0、T1、T2...Tx (其中 $x \leq 16$) 是查找表中的温度指数值。这些值是温度 ADC 的输出结果。这些值必须从最小值单调递增到最大值, 才能使查找表正常运行。请注意, 这不一定对应于温度升高。例如, 如果温度 ADC 在测量二极管电压, 则其读数将随温度的升高而下降。但是, 仍然必须按照从最小温度 ADC 读数到最大温度 ADC 读数的形式进行构建查找表。Tx 的数据格式为 16 位数据, 其格式取决于所选的温度 ADC 模式 (请参阅节 6.2.7 - 寄存器 6: 温度 ADC 控制寄存器)。

Z0 是温度 T0 及以下的零 DAC 设置值。Z0 数据格式为无符号 16 位数据。零 DAC 值的计算公式为:

$$Zx = \left(\frac{V_{Z_{\text{desired}}}}{V_{\text{REF}}} \right) \cdot 65,536 \quad (13)$$

其中 $0 \leq Zx \leq 65535$ (可编程范围) 且 $0.1V \leq \text{零 DAC} \leq V_{\text{SA}} - 0.1V$ (模拟限制) 。

G0 是温度 T0 及以下的增益 DAC 设置值。G0 数据格式为无符号 16 位数据。增益 DAC 值的计算公式为：

$$Gx = \left(\text{Gain}_{\text{desired}} - \frac{1}{3} \right) \cdot \frac{3}{2} \cdot 65,536 \quad (14)$$

其中 $0.3333333 \leq \text{增益 DAC} \leq 0.9999898$ 且 $0 \leq Gx \leq 65535$ 。

ZM1、ZM2 … ZMi 是用于零 DAC 调整的每个分段线性段的乘法斜率因子。这些斜率因子是分别针对 T1、T2 … Tx 根据零 DAC 所需的 Z1、Z2 … Zx 值 (计算方式与 Z0 相同) 计算得出的。计算 ZMi 斜率因子的公式为：

$$ZMi = 256 \left[\frac{Zx - Z(x-1)}{Tx - T(x-1)} \right] \quad (15)$$

ZMi 比例因子 256 用于设置 PGA309 内部二进制算术的十进制值的格式。这些数字是 16 位二进制补码数据格式。请参阅表 3-2，了解查找表示例。

GM1、GM2 … GMi 是用于增益 DAC 调整的每个分段线性段的乘法斜率因子。这些斜率因子是分别针对 T1、T2、T3 … Tx 根据增益 DAC 所需的 G1、G2 … Gx 值 (计算方式与 G0 相同) 计算得出的。计算 GMi 斜率因子的公式为：

$$GMi = 256 \left[\frac{Gx - G(x-1)}{Tx - T(x-1)} \right] \quad (16)$$

GMi 比例因子 256 用于设置 PGA309 内部算术的十进制值的格式。这些数字是 16 位二进制补码数据格式。

查找表的结尾由温度指数数据中的温度指数值 $T_{\text{END}} = 7FFFh$ 进行标记。此条目的 ZM_{END} 值被忽略，但包含在 Checksum2 中。 ZM_{END} 值应设置为零。此条目的 GM_{END} 值变为 Checksum2，即 EEPROM 第二部分的校验和。

示例 3-1 详细说明了查找表值的计算以及 PGA309 查找表线性插值算法的工作原理。

3.2.1 温度查找表计算

示例 3-1. 温度查找表计算

在图 3-3 中，G0–G7 分别是增益 DAC 在 T0–T7 所需的确切设置。GM1–GM7 是连接 G0 到 G1、G1 到 G2、G2 到 G3、G3 到 G4、G4 到 G5、G5 到 G6 以及 G6 到 G7 的分段线性曲线的斜率。以下示例演示了如何构建查找表，以及使用线性内插算法的查找逻辑如何在 $T_{\text{READ}} = 25^\circ\text{C}$ 时准确计算增益 DAC 的设置。请注意， $T_{\text{READ}} = 25^\circ\text{C}$ 并不位于确切的数据点 (T_x 、 G_x) 上。通过计算增益 DAC 和零 DAC 的温度系数即可构建查找表。

假设：

1. 所需的增益 DAC 值如图 3-3 所示，零 DAC 值如图 3-4 所示。
2. 分辨率设置为 12 位的内部温度模式（16 位数据格式：12 位，符号扩展，右对齐，二进制补码）。
3. $V_{\text{REF}} = +5\text{V}$ 。

查找：

增益 DAC 斜率因子 (GMi) 和零 DAC 斜率因子 (ZMi)。

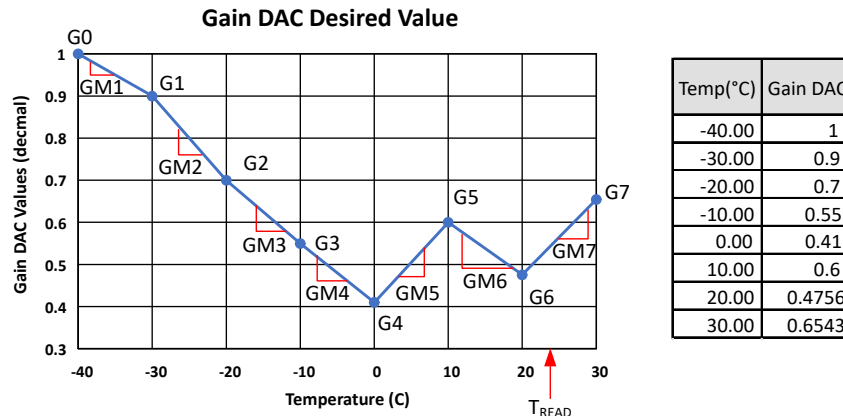


图 3-3. 所需的增益 DAC 值

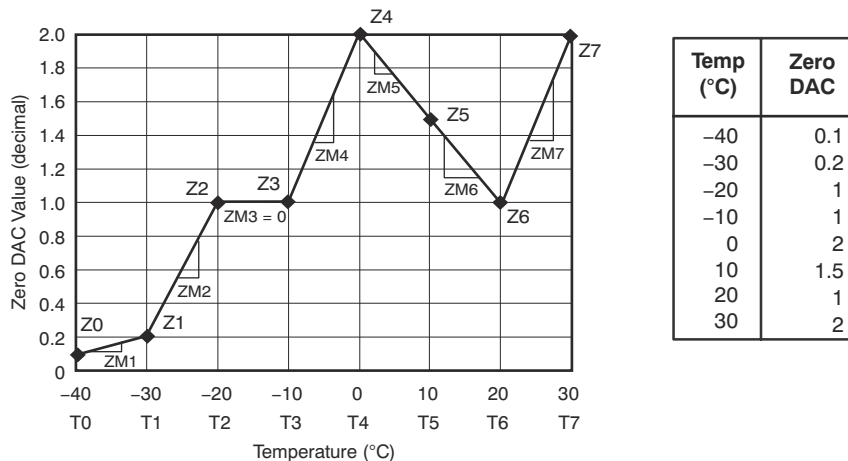


图 3-4. 所需的零 DAC 值

步骤 1：

根据表 3-2 计算目标温度范围的温度 ADC 计数。

表 3-2. 温度 ADC 温度与计数间的关系

温度 (°C)	温度 ADC (计数)	温度 ADC (十六进制)
-40	-640	FD80
-30	-480	FE20
-20	-320	FEC0
-10	-160	FF60
0	0	0000
10	160	00A0
20	320	0140
25	400	0190
30	480	01E0

在内部温度模式中运行的温度 ADC 的分辨率为每次计数 0.0625°C。

对于正温度值 (例如, 20°C) :

$$(20^{\circ}\text{C}) / (0.0625^{\circ}\text{C}/\text{count}) = 320 \rightarrow 140\text{h} \rightarrow 0001\ 0100\ 0000$$

对正数不执行二进制补码。只是将数字转换为 16 位、右对齐格式的二进制代码, 并以 MSB = “0” 表示正号。将符号扩展到高 4 位。

温度 ADC 会将 20°C 读取为 0000 0001 0100 0000 → 140h。

对于负温度值 (即 -20°C) :

$$(|-20|) / (0.0625^{\circ}\text{C}/\text{count}) = 320 \rightarrow 140\text{h} \rightarrow 0001\ 0100\ 0000$$

通过对绝对值二进制数进行补数操作并加 1 来生成一个负数的二进制补码。扩展符号, 用 MSB = “1” 表示负数。将符号扩展到高 4 位以形成 16 位字。

温度 ADC 会将 -20°C 读取为 1111 1110 1100 0000 → FEC0h。

第 2 步 :

根据表 3-3 计算增益 DAC 温度系数。

对于增益 DAC 所需计数 (即 $G3 = 0.4$) :

$$G_x = (\text{GainDESIREED} - 1/3)(3/2)(65536)$$

$$G_3 = (0.4 - 1/3)(3/2)(65536) = 6553.6$$

$$0 \leq G_x \leq 65535$$

$$0.3333333 \leq \text{增益 DAC} \leq 0.9999898$$

对于正斜率 (即 GM5) :

$$GM_5 = [(G_5 - G_4)/(T_5 - T_4)][256]$$

$$GM_5 = [(26214 - 7537)/(160 - 0)][256] = 29883.2$$

$$\text{取整 } [29883.2] = 29883$$

$$GM_5 = 29883 \rightarrow 74BB\text{h} \rightarrow 0111\ 0100\ 1101\ 1101$$

允许的 GM 范围 : $-32768 \leq GM \leq +32767$ (16 位有符号整数)

对于负斜率 (即 GM2) :

$$GM_2 = [(G_2 - G_1)/(T_2 - T_1)][256]$$

$$GM_2 = [(36044.8 - 55706)/(-320 - \{-480\})][256] = -31457.28$$

$$\text{取整 } [-31457.28] = -31457$$

生成 -31458 的二进制补码：

GM2 = 851Eh → 1000 0101 0001 1110

允许的 GM 范围为：-32768 ≤ GM ≤ +32767 (16 位有符号整数)

备注

增益 DAC 斜率

如果增益 DAC 斜率计算得出的计数大于 65535，则存在问题。必须重新配置温度 ADC 以降低分辨率，或者必须增加查找表中的点数以使斜率处于 PGA309 计算区域内。

表 3-3. 增益 DAC 温度系数计算

温度 (°C)	温度指数	温度 ADC (计数)	增益 DAC 所需值	增益 DAC 所需指数	增益 DAC 所需 (计数)	增益 DAC 斜率	增益 DAC 斜率公式	增益 DAC 斜率 ⁽¹⁾ (计数)	增益 DAC 斜率 (十六进制)
-40	T0	-640	1	G0	65535	G0	G0 = G0	65535	起始值也可以是 0，但是由于 SysTick 中断和 COUNTFLAG 在计数从 1 到 0 时都会被激活，所以没什么作用
-30	T1	-480	0.9	G1	55706	GM1	GM1 = [(G1 - G0)/T1 - T0][256]	-15726	C292
-20	T2	-320	0.7	G2	36045	GM2	GM2 = [(G2 - G1)/T2 - T1][256]	-31458	851E
-10	T3	-160	0.55	G3	21299	GM3	GM3 = [(G3 - G2)/T3 - T2][256]	-23594	A3D6
0	T4	0	0.41	G4	7537	GM4	GM4 = [(G4 - G3)/T4 - T3][256]	-22019	A9FD
10	T5	160	0.6	G5	26214	GM5	GM5 = [(G5 - G4)/T5 - T4][256]	29883	74BB
20	T6	320	0.4756	G6	13985	GM6	GM6 = [(G6 - G5)/T6 - T5][256]	-19566	B392
30	T7	480	0.6543	G7	31552	GM7	GM7 = [(G7 - G6)/T7 - T6][256]	28107	6DCB

(1) 取整 [增益 DAC 斜率公式]

第 3 步：

根据表 3-4 计算零 DAC 温度系数。

对于零 DAC 所需计数 (例如，Z5 = 1.5)：

$$Zx = (V_{ZDESIRE}/V_{REF})(65536)$$

$$Z5 = (1.5/5)(65536) = 19660.8$$

$$0 \leq Zx \leq 65535$$

$$0.1V \leq \text{零 DAC 模拟范围} \leq (V_{SA} - 0.1V)$$

$$0V \leq \text{零 DAC 编程范围} \leq V_{REF}$$

对于正斜率 (例如，ZM4)：

$$ZM4 = [(Z4 - Z3)/(T4 - T3)][256]$$

$$ZM4 = [(26214.4 - 13107.2)/(0 - \{-160\})][256] = 20971.52$$

$$\text{取整 } [20971.52] = 20972$$

$$ZM4 = 20972 \rightarrow 51ECh \rightarrow 0101 0001 1110 1101$$

允许的 ZM 范围为：-32768 ≤ ZM ≤ +32767 (16 位有符号整数)

对于负斜率 (例如，ZM6)：

$ZM6 = [(Z6 - Z5)/(T6 - T5)][256]$
 $ZM6 = [(13107.2 - 19660.8)/(320 - 160)][256] = -10485.76$
 取整 $[-10485.76] = -10486$
 生成-10486 的二进制补码：
 $ZM6 = D70Ah \rightarrow 1101\ 0111\ 0000\ 1010$
 允许的 ZM 范围为： $-32768 \leq ZM \leq +32767$ (16 位有符号整数)

备注

零 DAC 斜率超出允许范围

如果零 DAC 斜率计算得出的计数超出范围 $-32768 < ZM < +32767$ ，则存在问题。必须重新配置温度 ADC 以降低分辨率，或者必须增加查找表中的点数以使斜率处于 PGA309 计算区域内。

表 3-4. 零 DAC 温度系数计算

温度 (°C)	温度指数	温度 ADC (计数)	零 DAC 所需值	零 DAC 所需指数	零 DAC 所需 (计数)	零 DAC 斜率	零 DAC 斜率公式	零 DAC 斜率 ⁽¹⁾ (计数)	零 DAC 斜率 (十六进制)
-40	T0	-640	0.1	Z0	1310.7	Z0	$Z0 = Z0$	1311	051E
-30	T1	-480	0.2	Z1	2621.4	ZM1	$ZM1 = [(Z1 - Z0)/T1 - T0][256]$	2097	0831
-20	T2	-320	1	Z2	13107.2	ZM2	$ZM2 = [(Z2 - Z1)/T2 - T1][256]$	16777	4189
-10	T3	-160	1	Z3	13107.2	ZM3	$ZM3 = [(Z3 - Z2)/T3 - T2][256]$	0	0000
0	T4	0	2	Z4	26214.4	ZM4	$ZM4 = [(Z4 - Z3)/T4 - T3][256]$	20972	51EC
10	T5	160	1.5	Z5	19660.8	ZM5	$ZM5 = [(Z5 - Z4)/T5 - T4][256]$	-10486	D70A
20	T6	320	1	Z6	13107.2	ZM6	$ZM6 = [(Z6 - Z5)/T6 - T5][256]$	-10486	D70A
30	T7	480	2	Z7	26214.4	ZM7	$ZM7 = [(Z7 - Z6)/T7 - T6][256]$	20972	51EC

(1) 取整 [零 DAC 斜率公式]

阶跃 4：

构建查找表，如表 3-5 所示。

表 3-5. 查找表内容

温度 (°C)	温度指数	零 DAC 斜率	增益 DAC 斜率	EEPROM Tx (十六进制)	EEPROM ZMi (十六进制)	EEPROM GMi (十六进制)
-40	T0	Z0	G0	FD80	051E	起始值也可以是 0，但是由于 SysTick 中断和 COUNTFLAG 在计数从 1 到 0 时都会被激活，所以没什么作用
-30	T1	ZM1	GM1	FE20	0831	C292
-20	T2	ZM2	GM2	FEC0	4189	851E
-10	T3	ZM3	GM3	FF60	0000	A3D6
0	T4	ZM4	GM4	0000	51EC	A9FD
10	T5	ZM5	GM5	00A0	D70A	74BB
20	T6	ZM6	GM6	0140	D70A	B392
30	T7	ZM7	GM7	01E0	51EC	6DCB
—	T _{END}	ZM _{END}	GM _{END}	7FFF	0000	B5D8

使用步骤 2 和步骤 3 中的计算值。

将 TM_{END} 设置为 7FFFh 以指示查找表的结尾。

将 ZM_{END} 设置为 0000h。

将 GM_{END} 计算为 Checksum2 (截断 16 位以上的结果) :

$GM_{END} = \text{Checksum2} = \text{FFFFh} - \text{sum}(\text{查找表中除 } GM_{END} \text{ 以外所有条目的十六进制值})$

$GM_{END} = \text{FFFFh} - \text{C49DDh}$

$GM_{END} = \text{FFFFF4B622h}$

$GM_{END} = \text{Checksum2} = \text{B622h}$

第 5 步：

根据表 3-6 计算 $T_{\text{READ}} = +25^{\circ}\text{C}$ 时增益 DAC 的理想值。

表 3-6. 增益 DAC 与温度间的关系

Tx	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	Gx	增益 DAC
T0	-40	G0	1
T1	-30	G1	0.9
T2	-20	G2	0.7
T3	-10	G3	0.4
T4	0	G4	0.3333
T5	10	G5	0.6
T6	20	G6	0.4756
T_{READ}	25	G_{READ}	计算值
T7	30	G7	0.6543

增益 DAC 的线性插值 ($T_{\text{READ}} = 25^{\circ}\text{C}$) :

$$G_{\text{READ}} = \{[(G7 - G6)/(T7 - T6)] [T_{\text{READ}} - T6]\} + G6$$

$$G_{\text{READ}} = \{[(0.6543 - 0.4756)/(30 - 20)] [25 - 20]\} + 0.4756$$

$$G_{\text{READ}} = 0.56495$$

第 6 步：

参考使用查找表的增益 DAC 计算算法。

表 3-7 列出了 PGA309 内部用于 $T_{\text{READ}} = 25^{\circ}\text{C}$ 时增益 DAC 设置的线性插值和计算算法。根据表 3-3，对于 G1-G7 的给定值，可知 T1-T7 时 GM1-GM7 的计算值。此外，还定义了起始值 (T0 和 G0)。步骤 5 显示，如果计算算法的线性插值部分可正常运行， $T_{\text{READ}} = 25^{\circ}\text{C}$ 时的实际增益 DAC 值应为 0.56495V/V。

表 3-7. 增益 DAC 查找表计算算法

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	Tx	温度 ADC (计数)	Gmi	增益 DAC 斜率 ⁽¹⁾ (计数)	GAC 计算	运行的 GAC 值 ⁽¹⁾ (计数)	实际增益 DAC (V/V)
-40	T0	-640	G0	65535	GAC0 = G0	65535	0.9999898
-30	T1	-480	GM1	-15727	GAC1 = GAC0 + [GM1(T1 - T0)/256]	55706	0.9000041
-20	T2	-320	GM2	-31457	GAC2 = GAC1 + [GM2(T2 - T1)/256]	36045	0.7000020
-10	T3	-160	GM3	-47104	GAC3 = GAC2 + [GM3(T3 - T2)/256]	6605	0.4005229
0	T4	0	GM4	-10496	GAC4 = GAC3 + [GM4(T4 - T3)/256]	45	0.3337911
10	T5	160	GM5	41943	GAC5 = GAC4 + [GM5(T5 - T4)/256]	26259	0.6004537
20	T6	320	GM6	-19566	GAC6 = GAC5 + [GM6(T6 - T5)/256]	14030	0.4760539
30	T7	480	GM7	28107	T7 > T_{READ} → YES!	—	—
25	T_{READ}	400	—	—	GAC _{TREAD} = GAC6 + [GM7(T_{READ} - T6)/256]	22813	0.565399169
—	T_{END}	32767 (7FFFh)	—	—	读取查找表到结尾以验证 Checksum2	—	—

(1) 取整 [GAC 计算]

温度 ADC 每次执行转换时，都会读取整个外部 EEPROM。EEPROM 的第一部分专用于存储 PGA309 的固定设置参数，这些参数不会随温度变化。当 PGA309 读取 EEPROM 的后半部分时，它开始随着温度变化运行增益 DAC 设置的计算 (PGA309 会对零 DAC 设置运行类似的计算)。表 3-7 中的模型包含一个名为 GAC (G Accumulator) 的累加器。当 PGA309 读取 T0 时，初始增益 DAC 设置 (G0) 存储在 GAC0 (T0READ 处的 GAC) 中。接下来，读取 T1，并将斜率 GM1 乘以 T1 和 T0 之间的差值 (使用除数 256 转换回模型的十进制计数)，然后加至 GAC0 以形成新的累加器值 GAC1 (T1READ 处的 GAC)。此过程会在 PGA309 读取整个查找表时按顺序持续进行。读取的每个温度指数值 (Tx) 将与当前温度 ADC 转换结果 T_{READ} 做比较。如果 Tx >

T_{READ} ，则已知 T_{READ} 介于 T_x 和 $T(x-1)$ 之间。在本例中发生在读取 T_7 之后。累加器内容 GAC_6 (T_6 处的 GAC) 将被修改，即加上 $(T_{READ} - T_6)(GM_7)$ 。得到的 GAC_{TREAD} 是 $T_{READ} = 25^\circ\text{C}$ 时增益 DAC 的线性插值设置。由于增益 DAC 分辨率和舍入计算的原因，实际增益 DAC 值与步骤 5 中计算出的理论值略有不同。EEPROM 的其余部分将一直被读取到 T_{END} ，以便在查找表末尾使用 **Checksum2** 进行错误检查。如果 **Checksum2** 有效，则会使用计算值 $GAC_{TREAD} = 0.565399169$ 来更新增益 DAC。

GAC 计算 (例如, GAC_2) :

$$\begin{aligned} GAC_1 &= 55706 ; GM_2 = -31457 ; T_2 = -320 ; T_1 = -480 \\ GAC_2 &= GAC_1 + [GM_2(T_2 - T_1)/256] \\ GAC_2 &= 55706 + [-31457(-320 - \{-480\})/256] = 36045.375 \\ \text{取整 } [GAC_2] &= \text{取整 } [36045.375] = 36045 \\ GAC_2 &= 36045 \end{aligned}$$

实际增益 DAC (例如, GAC_2) :

$$\begin{aligned} GAC_2 &= 36045 \\ \text{增益 DAC} &= [(GAC_x/65536)(2/3)] + 1/3 \\ \text{增益 DAC} &= [(36045 / 65536)(2/3)] + 1/3 = 0.7000020 \\ GAC_2 \text{ 处的增益 DAC} &= 0.7000020 \end{aligned}$$

3.3 校验和错误事件

如果 **PGA309** 在任何时候从 EEPROM 的第一部分检测到无效 **Checksum1**，则 **PGA309** 将禁用 V_{OUT} ，等待大约 33ms 时间，然后再次从头开始读取 EEPROM。这种情况下将继续无限期重新读取 EEPROM。

如果 **PGA309** 在任何时候从 EEPROM 的第二部分 (查找表数据) 检测到无效 **Checksum2**，则会禁用 V_{OUT} ，将增益和零 DAC 设置为其 POR 值，返回到循环的读取配置寄存器部分 (EEPROM 的第一部分)，然后在下一次温度转换完成时再次尝试读取 EEPROM 查找表。

3.4 测试引脚

PGA309 有一个用户可访问的测试引脚 (**Test**, 引脚 9)。该引脚处于高电平 (逻辑“1”) 时，会停止内部状态机周期并启用输出驱动 (V_{OUT})。该模式可用于在系统设计期间方便进行故障排除或初始配置诊断。在正常 (独立) 运行期间，**Test** 引脚必须连接到 **GND** (逻辑“0”)。

如果在任何时候将 **Test** 引脚拉为高电平，则会发生以下情况：

- 前述的状态机将被中断并复位到初始状态。所有的 EEPROM 事务都会被中断，并会释放两线制总线。
- **PGA309** 输出 (V_{OUT}) 被启用。
- 所有内部寄存器均保持其当前值。如果电源变为有效时 **Test** 引脚为高电平，则寄存器将保持在初始 (POR) 状态并立即启用输出。
- 外部控制器可以使用单线制或两线制数字接口来修改任何可写的 **PGA309** 寄存器。

在此模式下，可以将测试信号施加到 **PGA309** 的前端，从而快速验证通过 **PGA309** 的信号路径是否正常工作。

建议在初始校准期间使用测试模式 (**Test** 引脚 = 高电平)，这是因为外部 EEPROM 中的值将被忽略，并且可以根据需要单独设置各个 **PGA309** 寄存器。

3.5 上电时的初始寄存器状态

在上电或低电压事件中，POR 电路将所有 **PGA309** 寄存器复位为初始状态。除增益 DAC 和零 DAC 均设置为 4000h 外，所有寄存器都设置为零。

表 3-8 总结了 POR 状态的主要设置。

表 3-8. 主要参数的 POR 状态

参数	POR 状态
粗略失调电压	0V

表 3-8. 主要参数的 POR 状态 (续)

参数	POR 状态
前端 PGA 增益	4 ($V_{IN1} = V_{INP}$, $V_{IN2} = V_{INN}$)
增益 DAC	0.5
输出放大器增益	2
零 DAC	$0.25 V_{REF}$
V_{REF} 选择	外部基准
Lin DAC	0
故障监测	禁用
过量程/欠量程	禁用
V_{EXC}	禁用
I_{TEMP}	禁用
温度 ADC	外部信号模式

示例 3-2 和图 3-5 举例说明了在 Test 引脚为高电平的情况下，PGA309 在上电时的运行情况。

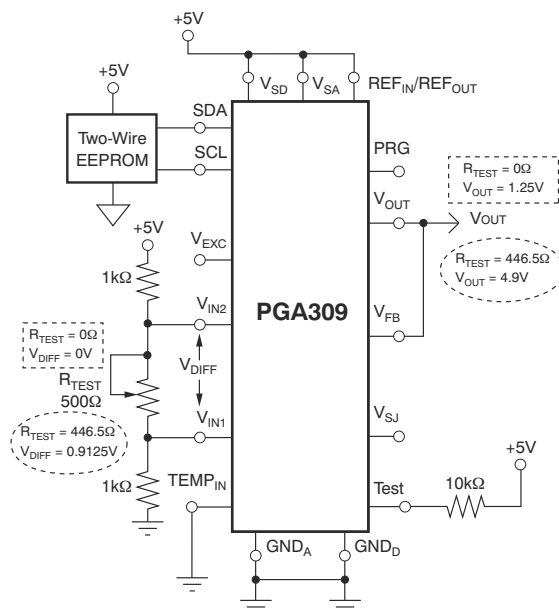
示例 3-2. PGA309 上电状态

对于 +5V 电源和图 3-5 所示的配置 (Test 引脚为高电平)，在加电时通过 PGA309 进行的增益和失调电压调节变为：

$$V_{OUT} = V_{DIFF} (\text{Front-End PGA Gain})(\text{Output Amplifier Gain})(\text{Fine Gain}) + 0.25V_{REF}(\text{Fine Gain})(\text{Output Amplifier Gain})$$

$$V_{OUT} = V_{DIFF} (4)(2)(0.5) + (0.25(5)(0.5)) \times 2$$

$$V_{OUT} = 4 V_{DIFF} + 1.25V$$



注：此图中显示了 V_{DIFF} 的两个条件以及产生的 V_{OUT} 。条件一如虚线方框所示。条件二如虚线椭圆所示。

图 3-5. 上电时使用 Test = “1” 进行信号路径功能检查



本章介绍 PGA309 的数字接口。

4.1 说明.....	76
4.2 两线制接口.....	76
4.3 一线制接口.....	79
4.4 单线制接口超时.....	82
4.5 单线制接口时序注意事项.....	82
4.6 两线制访问外部 EEPROM.....	83
4.7 单线制接口发起的两线制 EEPROM 事务.....	85
4.8 PGA309 独立模式和两线制事务.....	85
4.9 PGA309 在两线制总线上的主运行模式和总线共享注意事项.....	88
4.10 PRG 连接到 V _{OUT} 的单线制工作模式.....	90
4.11 四线制模块和单线制接口 (PRG).....	93

4.1 说明

PGA309 上有两个数字接口。PRG 引脚使用与 UART 兼容的单线制接口，比特率范围为 4.8kbits/s (4800 波特) 至 38.4kbits/s (38400 波特)。SDA 和 SCL 引脚共同构成一个时钟速率为 1kHz 至 400kHz 的业界通用两线制接口。外部 EEPROM 使用这种两线制接口进行编程和读取。与 PGA309 内部寄存器的通信可通过任意数字接口 (单线制或两线制) 进行。此外，外部 EEPROM 可以通过 PGA309 单线制接口引脚 PRG 或者通过直接连接到两线制接口的 SDA 和 SCL 线路进行编程。

4.2 两线制接口

图 4-1 显示了业界通用双线制时序图，其中时序图的定义如表 4-1 所示。主要运行状态为：

- 总线空闲：SDA 和 SCL 线路都保持高电平。
- 启动条件：启动条件的定义为当 SCL 线路处于高电平时 SDA 线路的状态从高电平变为低电平。每次数据传输均由启动条件进行启动 (请参阅图 4-1)。
- 停止条件：停止条件的定义为当 SCL 线路处于高电平时 SDA 线路的状态从低电平变为高电平。每次数据传输均由重复的启动或停止条件进行终止 (请参阅图 4-1)。
- 数据传输：在启动和停止条件之间传送的数据字节的数量没有限制，由主器件确定。接收器确认每个 8 位数据字节的传输。
- 确认：每个接收器件在完成寻址后，必须生成一个确认位。器件进行确认的方法是在确认时钟脉冲期间下拉 SDA 线路，这样一来，在确认时钟脉冲的高电平期间，SDA 线路为稳定低电平。必须将建立和保持时间考虑在内。在主器件接收数据时，主器件可以通过在从器件已发出的最后一个字节上生成一个“不确认”来终止事务 (请参阅图 4-2)。

表 4-1. 两线制时序图定义

参数		最小值	最大值	单位
SCL 工作频率	f_{SCL}	1	400	kHz
停止和启动条件之间的总线空闲时间	t_{BUF}	600		ns
重复启动条件后的保持时间。 在此周期后，生成第一个时钟。	t_{HDSTA}	600		ns
重复启动条件建立时间	t_{SUSTA}	600		ns
停止条件建立时间	t_{SUSTO}	600		ns
数据保存时间	t_{HDDAT}	0		ns
数据建立时间	t_{SUDAT}	100		ns
SCL 时钟低电平周期	t_{LOW}	1300		ns
SCL 时钟高电平周期	t_{HIGH}	600		ns
时钟/数据下降时间	t_F		300	ns
时钟/数据上升时间	t_R		300	ns

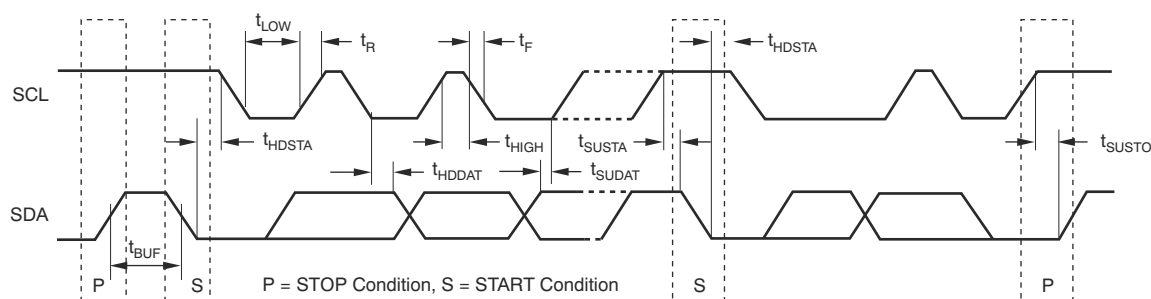


图 4-1. 两线制时序图

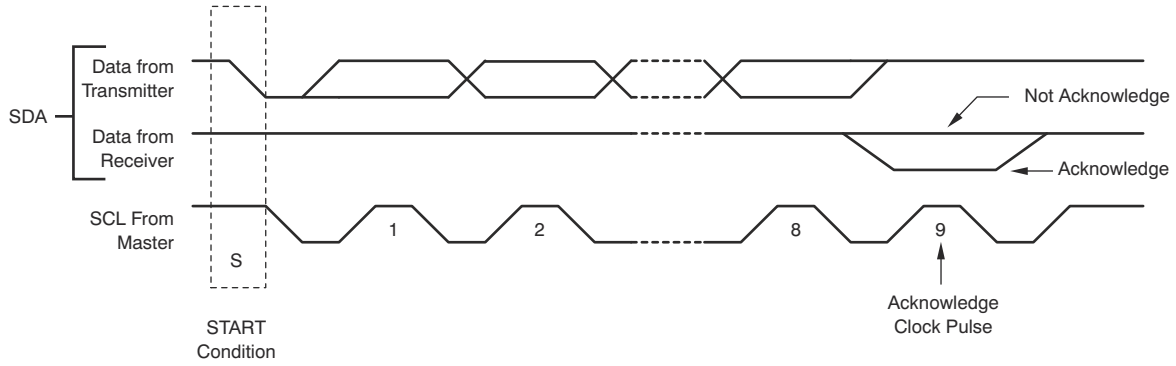


图 4-2. 两线制启动和确认

4.2.1 器件寻址

在主器件发出启动条件之后，接收到的第一个字节为控制字节。控制字节的七个最高有效位 (MSB) 为所寻址器件的从地址。控制字节的最后一位是读取/写入控制位 (读取 = “1”，写入 = “0”)。PGA309 和支持的外部 EEPROM 的从地址如图 4-3 所示。

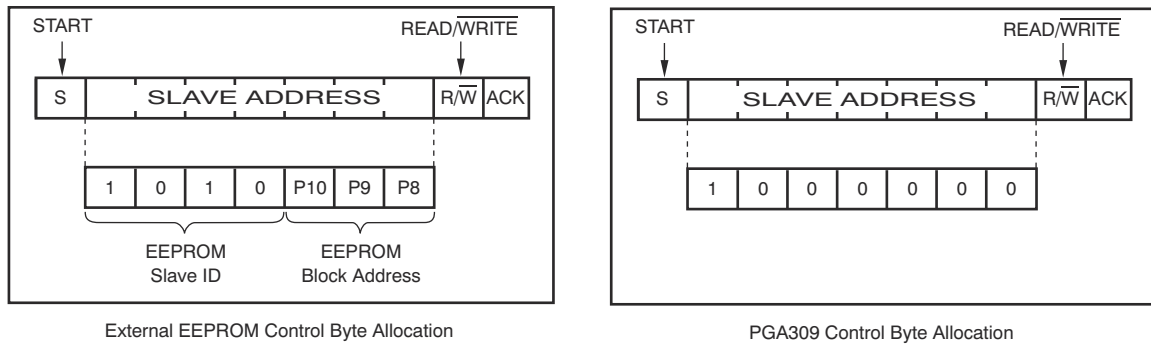


图 4-3. 外部 EEPROM 和控制字节分配

4.2.2 两线制访问 PGA309

图 4-4 显示了直接连接 PGA309 内部寄存器时支持的两线制读取和写入时序。

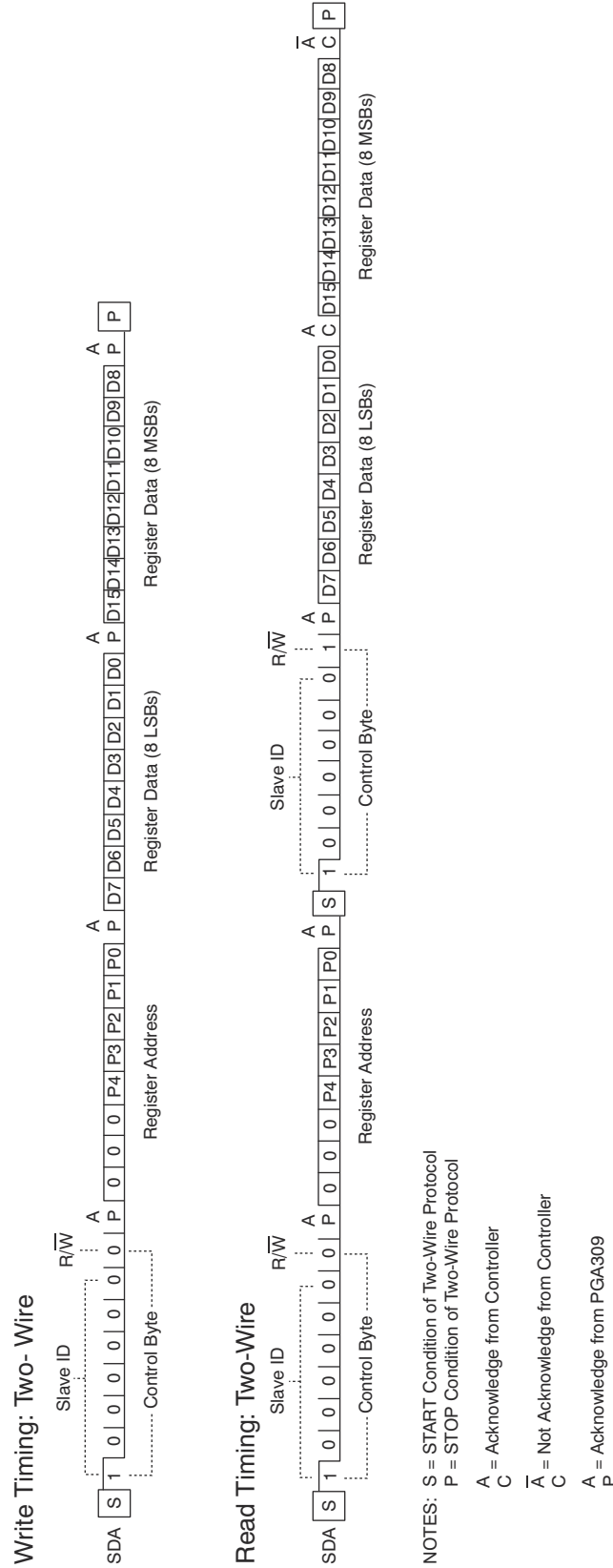


图 4-4. 两线制访问 PGA309 的时序

4.3 一线制接口

通过一个与 UART 兼容的单线制接口 (PRG 引脚) 可以配置 PGA309。此接口还可用于对外部业界通用的两线制 EEPROM 器件进行编程。有六种可能的通信事务。通过这些事务可以更新内部寄存器指针、更新外部 EEPROM 指针、读取内部寄存器、写入内部寄存器、读取 EEPROM 数据和写入 EEPROM 数据。在真正三线制的传感器模块应用中, 可以将使用单线制接口的 PRG 引脚连接至 V_{OUT} 引脚, 并且仍然允许数字编程。

每个事务由几个字节的数据传输组成。每个字节包含 10 个位周期。第一个位是起始位, 始终为零。当没有通信正在进行时, PRG 引脚应始终处于高电平。PRG 引脚的一到零 (高电平到低电平) 转换表示字节传输开始, 当前字节的所有时序信息都以该转换为基准。位 2 到 9 是该字节的八个数据位, 首先传输最低有效位 (LSB)。第 10 位是停止位, 始终为“1”。连接 PRG 引脚的建议电路实现方案使用上拉电阻和/或上拉电流源以及连接到 PRG 引脚的漏极开路 (或集电极开路) 驱动器。PRG 引脚也是开漏输出。在从控制器发送期间, PRG 引脚可能会被数字编程器 (控制器) 驱动为高电平, 但是在接收事务期间需要某种形式的上拉电阻以允许信号变为高电平, 因为 PGA309 只能将输出拉至低电平。图 4-5 展示了 PGA309 PRG 引脚和控制器的典型连接。

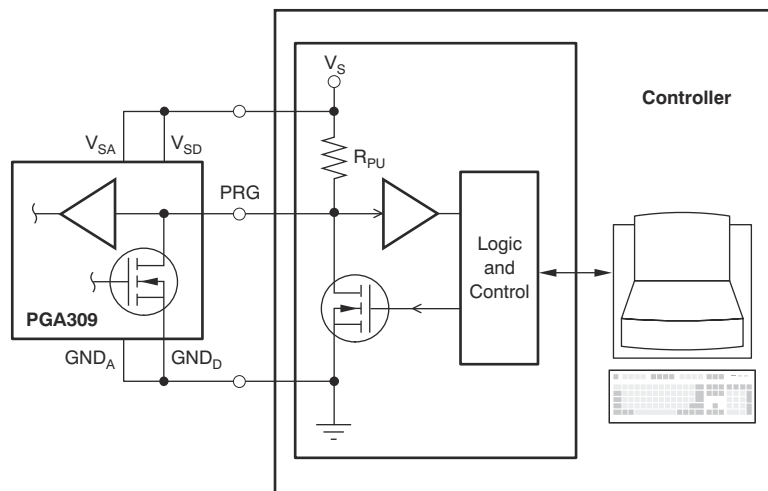


图 4-5. PGA309 PRG 到控制器的典型连接

所有通信事务均以控制器发送的初始化字节开始。该字节 (55h) 用于检测通信事务所使用的波特率。在每个事务的初始化字节期间检测波特率。此波特率用于整个事务。如果需要, 每个事务可以使用不同的波特率。支持 4800 到 38400 的波特率。第二个字节是控制器发送的命令字节。

有六种可能的命令：

- Set PGA309 Register Address Pointer (01h)
- Set EEPROM Address Pointer (02h)
- Write PGA309 Register (04h)
- Write EEPROM (08h)
- Read PGA309 Register (10h)
- Read EEPROM (20h)

请参阅图 4-6, 了解这些事务的时序详情。

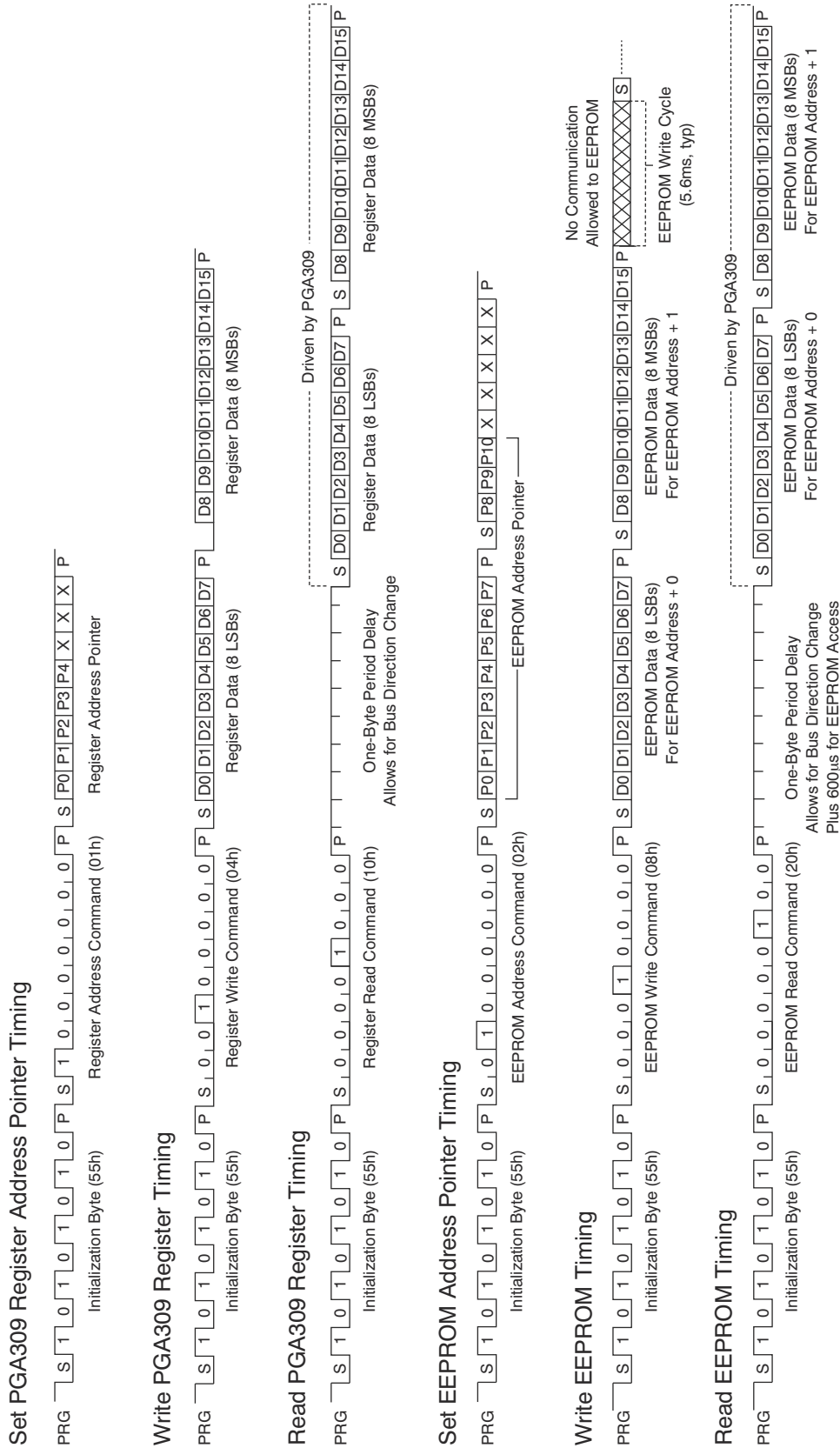


图 4-6. 单线制 (PRG) 访问 PGA309 和外部 EEPROM 时序

数据传输发生在命令字节之后。数据传输的字节数和方向取决于命令字节。

对于 Set PGA309 Register Address Pointer (01h) 命令，控制器需要发送一个额外的字节。该字节用于为下一个 PGA309 Write Register (04h) 或 PGA309 Read Register (10h) 命令选择 PGA309 内部寄存器。对于 PGA309 Write Register 命令，控制器需要发送两个额外的字节。这两个字节（首先发送最低有效字节）存储在由寄存器地址指针指向的 PGA309 内部寄存器中。寻址的寄存器将在第二个字节的传输完成时同时更新所有 16 位。对于 PGA309 Read Register (10h) 命令，PGA309 发送两个额外的字节。在命令字节完成后，PGA309 会等待八个位周期才开始发送。这段时间是为了让控制器确保 PGA309 能够控制单线制接口。发送的第一个字节是寄存器的最低有效字节，第二个字节是寄存器的最高有效字节。

对于一个单线制 PGA309 序列，事务可以一个接一个地重复，如图 4-7 所示。对于一个单线制 PGA309 寄存器读取序列，事务可以在从 PGA309 接收到数据后重复，同样如图 4-7 所示。

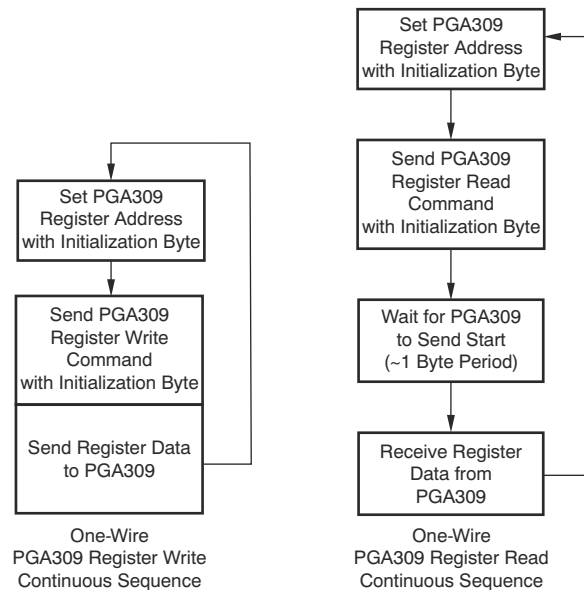


图 4-7. 单线制访问 PGA309 寄存器

对于 Set EEPROM Address Pointer (02h) 命令，控制器必须发送两个额外的字节。这些字节用于下一个 Write EEPROM (08h) 或 Read EEPROM (20h) 命令的 EEPROM 地址。对于 Write EEPROM (08h) 命令，控制器会发送两个额外的字节。这两个字节被写入 EEPROM 并存储在 EEPROM 地址指针中包含的地址处。第一个字节（最低有效字节）写入到 EEPROM 地址指针中的地址。第二个字节（最高有效字节）写入到 EEPROM 地址指针中的地址加一。为了避免产生任何混淆，EEPROM 地址指针始终设置为偶数值。第一个字节写入到偶数地址，第二个字节写入到下一个连续的奇数地址。

控制器负责确保 EEPROM 器件在发生其他 EEPROM 通信之前有足够的时间成功完成写入操作。对于典型的 EEPROM，这个时间大约为 5.6ms（PGA309 将 16 位字节写入 EEPROM 需要 0.6ms，EEPROM 非易失性内部写入周期需要 5ms）。对于 Read EEPROM (20h) 命令，PGA309 会发送两个额外的字节。在命令字节完成后，PGA309 等待八个位周期，以便有时间改变数据方向。PGA309 还会等待来自 EEPROM 器件的读取通信发生。这通常会产生 600 μs 的额外延迟。发送的第一个字节是最低有效字节（来自 EEPROM 地址），发送的第二个字节是最高有效字节（来自 EEPROM 地址 + 1）。

对于连续的单线制 PGA309 EEPROM 写入，控制器必须在事务之间插入一个典型的 5.6ms 延迟，如图 4-8 所示。对于连续的单线制 PGA309 EEPROM 读取，事务可以在从 PGA309 接收到数据后重复，如图 4-8 所示。

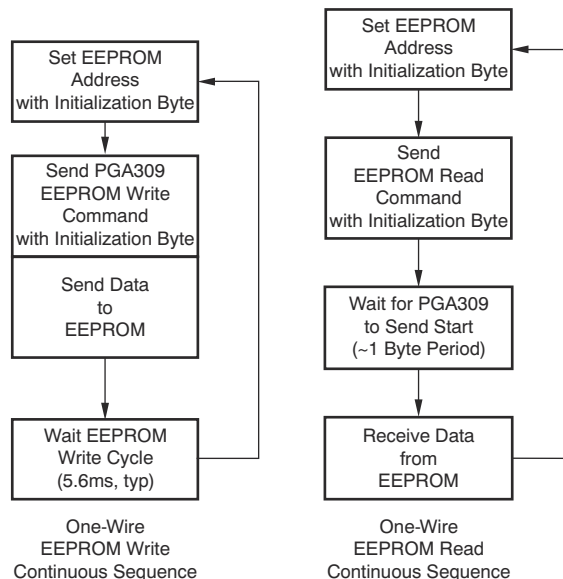


图 4-8. 单线制访问外部 EEPROM

如果出现无效的通信事务或与 EEPROM 断开连接，单线制 EEPROM 读取值将全为 1。

4.4 单线制接口超时

为了重新同步单线制接口，或在控制器和 PGA309 之间由于任何原因失去同步的情况下，可以采用超时机制进行重新同步。超时周期设置为大约 25ms 至 35ms。如果初始化字节和命令字节之间、命令字节和任何数据字节之间或任何两个数据字节之间的超时周期到期，PGA309 将使单线制接口电路复位以等待初始化字节。每次在单线制接口上发送一个字节时，此超时周期都会重新开始。

4.5 单线制接口时序注意事项

图 4-9 展示了单线制接口的关键时序和抖动注意事项，表 4-2 包含了确保可靠运行的规格。在事务期间，波特率必须保持在其初始化字节值的 ±1% 范围内；但是，波特率可能因事务而异。

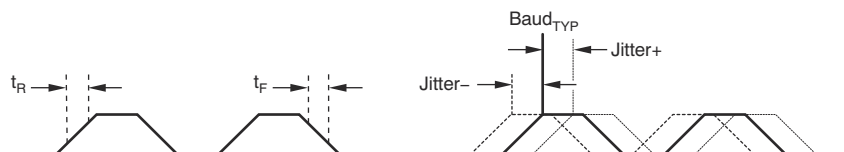


图 4-9. PGA309 单线制接口时序图

表 4-2. 单线制时序图定义

参数	最小值	典型值	最大值	单位
波特	4.8K		38.4K	Bits/s
上升时间, t_R			0.5	%Baud
下降时间, t_F			0.5	%Baud
抖动 ⁽¹⁾			±1	%Baud

(1) 从控制器到 PGA309 的发送抖动。在单线制事务期间，标准 UART 接口将接受从 PGA309 发送的数据。

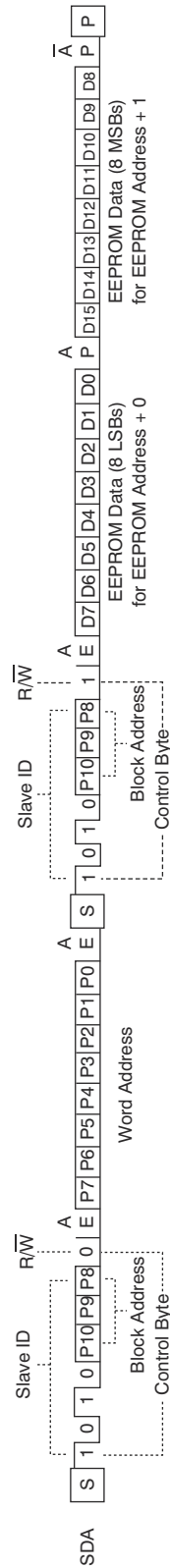
4.6 两线制访问外部 EEPROM

图 4-10 显示了当 PGA309 通过单线制接口 (PRG 引脚) 接收命令时, PGA309 接口到外部 EEPROM 的读取和写入时序。对外部 EEPROM 进行直接两线制访问时, 所有制造商读取和写入模式均被允许。请注意, PGA309 通过 PGA309 两线制接口对外部 EEPROM 进行单线制访问时, 支持完整 10 位 EEPROM 寻址模式。PGA309 配置寄存器和 17 个查找表系数至少需要 1k 位的 EEPROM。可以使用更大的 EEPROM 来存储其他配置信息, 例如序列号、日期代码、批次代码等。此外, 请注意 PGA309 SCL 和 SDA 引脚具有用于 V_{SD} 的小型内部上拉电流源 (每个引脚上的典型值为 $85 \mu A$)。对于大多数仅将外部 EEPROM 靠近同一印刷电路板 (PCB) 上的 PGA309 放置的应用来说, 此配置绰绰有余。其他向 SDA 和 SCL 线路添加负载和电容的应用可能需要额外的外部上拉电阻连接到 V_{SD} , 以确保始终满足上升时序要求。在 EEPROM 写入周期结束时, 有一个典型的 5ms EEPROM 写入周期, 在此期间, 数据以非易失性方式存储在 EEPROM 内部。在此期间, 如果尝试两线制直接访问, EEPROM 将不会进行确认。如果通过 PGA309 单线制接口与外部 EEPROM 进行通信, 则该 EEPROM 写入周期时间便是“不允许通信”的时间段。

EEPROM Write Timing: Two-Wire Through PGA309 One-Wire
EEPROM Write Timing: Two-Wire Direct



EEPROM Read Timing: Two-Wire Through PGA309 One-Wire
EEPROM Random Read Timing: Two-Wire Direct



- NOTES: S = START Condition of Two-Wire Protocol
P = STOP Condition of Two-Wire Protocol
A = Acknowledge from PGA309
P = Acknowledge from PGA309
I = Not Acknowledge from PGA309
A = Acknowledge from EEPROM

图 4-10. 两线制访问外部 EEPROM 的时序

4.7 单线制接口发起的两线制 EEPROM 事务

Write EEPROM 和 Read EEPROM 单线制命令在 PGA309 和 EEPROM 器件之间的两线制总线上启动一个通信事务 (请参阅图 4-10)。

Write EEPROM 命令使 PGA309 生成一个两线制启动条件, 并向 EEPROM 器件发送一个两线制从器件地址字节, 其中四个 MSB 设置为 “1010”, 三个 LSB 设置为 EEPROM 地址指针的位 10–8。R/W 位设置为 “0” 以表示是写入指令。如果 PGA309 从 EEPROM 器件接收到确认, 则随后会发送一个包含 EEPROM 地址指针 8 个 LSB 的字节。如果 PGA309 从这个字节接收到确认, 则 PGA309 会将数据的最低有效字节发送到 EEPROM。成功接收到对这个字节的确认后, PGA309 会发送最高有效字节。在这个字节的确认位之后, PGA309 会生成一个两线制停止条件来终止向 EEPROM 的数据传输。

Read EEPROM 命令使 PGA309 生成一个两线制启动条件, 并向 EEPROM 发送一个两线制从器件地址字节, 其中四个 MSB 设置为 “1010”, 三个 LSB 设置为 EEPROM 地址指针的位 10–8, 并且 R/W 位设置为 “0” 以表示是写入指令。如果 PGA309 从 EEPROM 器件接收到确认, 则随后会发送一个包含 EEPROM 地址指针 8 个 LSB 的字节。如果 PGA309 从这个字节接收到确认, 则 PGA309 会生成另一个两线制启动条件, 发送另一个从器件地址字节, 但这次的 R/W 位设置为 “1” 以表示是读取指令。如果 PGA309 接收到响应, 则会继续为 SCL 线路提供计时以接收来自 EEPROM 的第一个字节, 确认该字节, 接收第二个字节, 不确认第二个字节以终止数据传输, 然后生成一个两线制停止条件。

4.8 PGA309 独立模式和两线制事务

在独立模式中 (请参阅章节 3 - 工作模式), PGA309 访问外部 EEPROM 的方式不同于 “单线制接口发起的两线制事务” 中所述的方式。如果已经满足所有其他 POR 条件以便让 PGA309 允许访问经过正确编程的外部 EEPROM, 则 PGA309 将首先访问外部 EEPROM 的第一部分 (配置寄存器数据), 如图 4-11 所示。

如果 Checksum1 正确且 PGA309 由温度 ADC 触发以读取 EEPROM 的第二部分, 则会按图 4-12 所示继续。如果寄存器 4 中的单线制禁用位 (OWD) 位 15 设置为 “1”, 初始 POR 完成, 并接收到有效的 Checksum2, 则单线制接口将被禁用, PRG 引脚变为高阻抗, 并且除非进行下电上电, 否则无法进行单线制通信。这是让 PRG 引脚直接连接到 V_{OUT} 的必要条件。

EEPROM Read Timing: Two-Wire by PGA309 Master
First Part of EEPROM: Configuration Registers

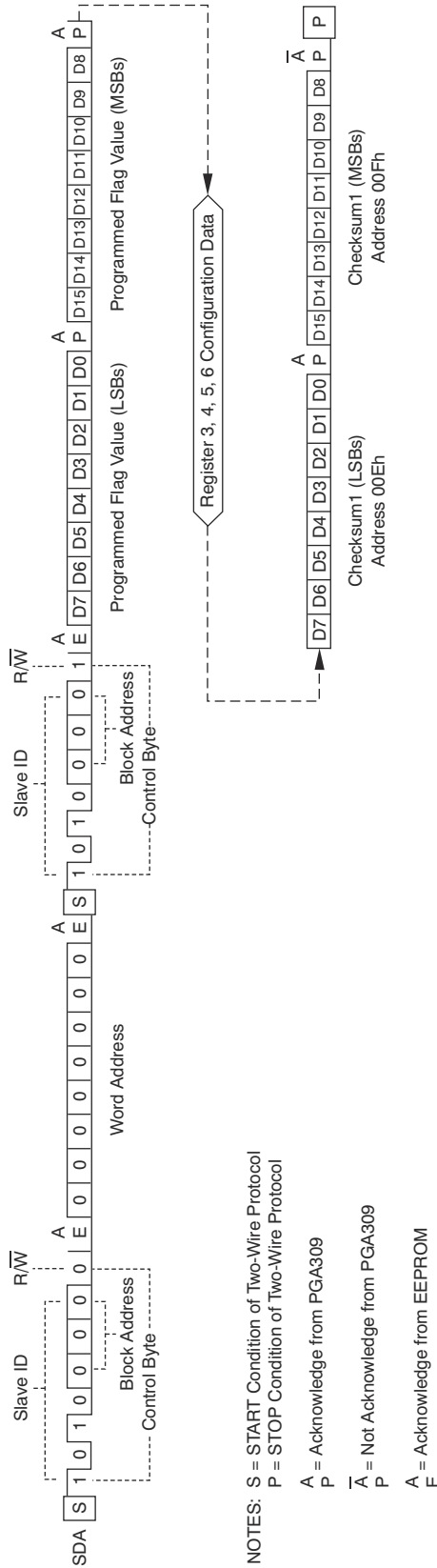


图 4-11. 独立模式下外部 EEPROM 时序的第一部分

EEPROM Read Timing: Two-Wire by PGA309 Master
Second Part of EEPROM: Lookup Table Coefficients

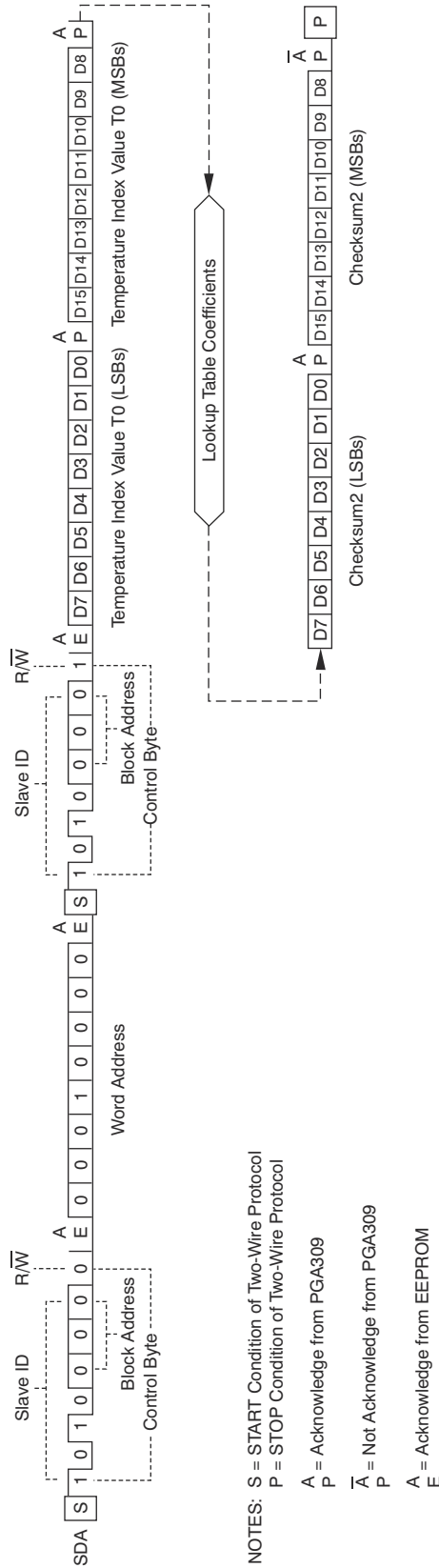


图 4-12. 独立模式下外部 EEPROM 时序的第二部分

4.9 PGA309 在两线制总线上的主运行模式和总线共享注意事项

每当 PGA309 需要与外部 EEPROM 进行通信时，PGA309 必须作为两线制接口总线上的主器件。为了以可靠且有序的方式完成此过程，PGA309 包含了故障诊断功能，以便释放阻塞的总线。有多个监测器和算法可以检查总线可用性，并在其他器件与外部 EEPROM 并联时防止总线争用。

如果 PGA309 在其两线制或单线制接口上被寻址，并提供成功确认，则 PGA309 将停止所有作为两线制总线上的主器件的事务，并放弃控制权 1.3 秒。每次在两线制总线上对 PGA309 寻址时，1.3 秒超时后都会复位，如图 4-13 所示。

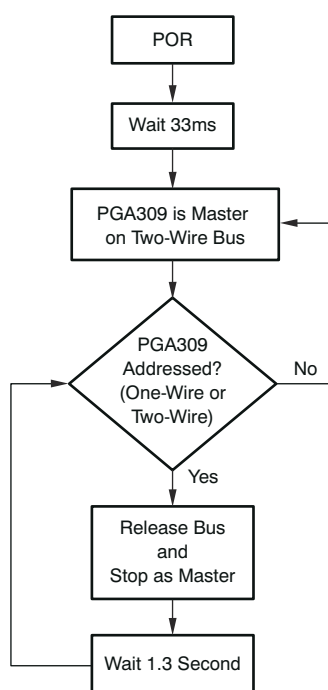


图 4-13. PGA309 在主模式下放弃两线制总线

图 4-14 详细说明了当 PGA309 必须成为两线制总线上的主器件时使用的算法。一个 33ms 计时器会启动。现在监测 SCL 是否为低电平。如果 SCL 不是低电平，PGA309 会检查两线制总线上的通信是否处于 START 和 STOP 之间。如果总线通信处于 START 和 STOP 之间，PGA309 会等待 33ms 计时器超时，然后检查 SDA 是否为低电平。如果 SDA 不是低电平并且 SCL 为高电平，PGA309 将成为总线主器件。如果在 33ms 间隔内有任何 SCL 活动，33ms 计时器将重新启动。

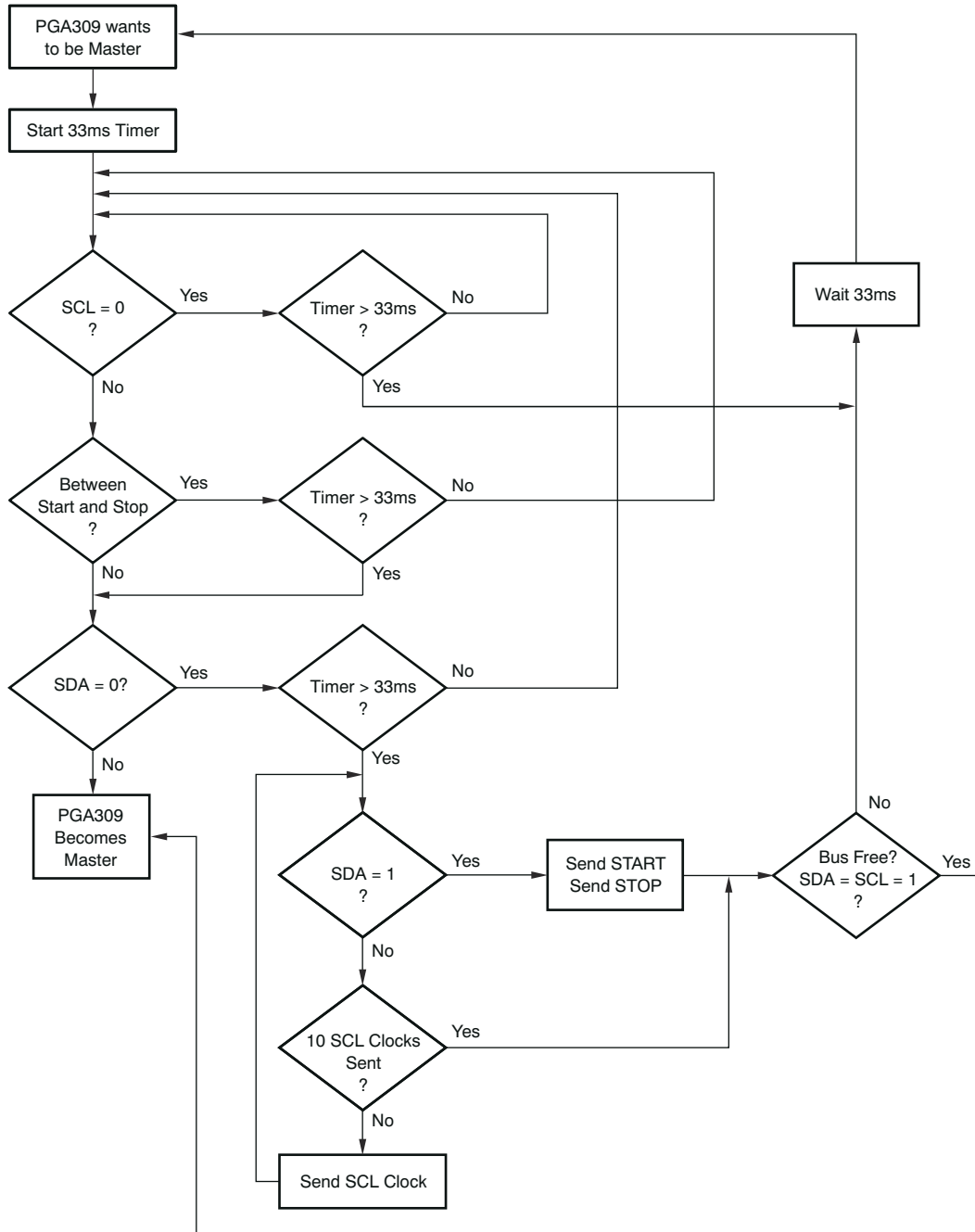


图 4-14. 两线制总线主器件算法

如果 SCL 在整个 33ms 计时器倒计时间期间均保持低电平，则 PGA309 会等待 33ms，然后再启动 33ms 计时器以开始检查总线是否处于空闲状态 (SDA = SCL = “1”)。

如果 SDA 在 33ms 计时器倒计时后为低电平，PGA309 会将此情况解释为总线阻塞情况。PGA309 尝试通过发送最多十个 SCL 时钟来释放 SDA，从而释放阻塞的总线。如果成功使 SDA 变为高电平，则 PGA309 会发送一个 START 和 STOP 序列，以确保对导致总线阻塞的任何器件进行完全复位。现在总线应该处于空闲状态 (SDA = SCL = “1”)，并且 PGA309 可以成为总线上的主器件。

如果 PGA309 在总线上作为主器件进行通信并发现争用，则 PGA309 会释放总线并在 33ms 后重试。争用是指 PGA309 希望 SCL 为高电平但 SCL 为低电平，或希望 SDA 为高电平但 SDA 为低电平。

4.10 PRG 连接到 V_{OUT} 的单线制工作模式

某些传感器应用需要终端用户访问三个引脚：V_S、GND 和 Sensor Out。这些应用中还需要在传感器和电子元件的最终组装后对传感器模块进行数字校准。PGA309 有一个模式允许单线制接口引脚 (PRG) 直接连接到 PGA309 输出引脚 (V_{OUT})，如图 4-15 所示。

对于 PGA309 + 传感器校准，有必要配置和重新配置 PGA309 上的内部寄存器，然后测量 V_{OUT} 上的模拟电压作为这些寄存器值设置的结果。为了在 V_{OUT} 连接到 PRG 时执行此操作，需要能够启用和禁用 V_{OUT}。这样就允许在使用连接作为双向数字接口的 PRG 与驱动连接作为传感器调节输出电压的 V_{OUT} 之间进行多路复用操作。此外，可以方便地将温度 ADC 配置为单启动转换模式，并将温度 ADC 的启动延迟到 V_{OUT} 被启用并且内部电路已经稳定至准确的最终值之后。对于使用线性化电路、将传感器连接到 V_{EXC} 并测量 PGA309 外部温度 (即温度传感串联电阻位于桥式传感器上激励桥臂或下激励桥臂中) 的应用，这一点尤为重要。

寄存器 7 (输出使能计数器控制寄存器) 包含一些控制位，这些位用于设置 V_{OUT} 在公共连接上处于活动状态的时间长度以及从启用 V_{OUT} 到温度 ADC 开始转换的延迟时间。表 4-3 和表 4-4 中对这些单独的位进行了定义。

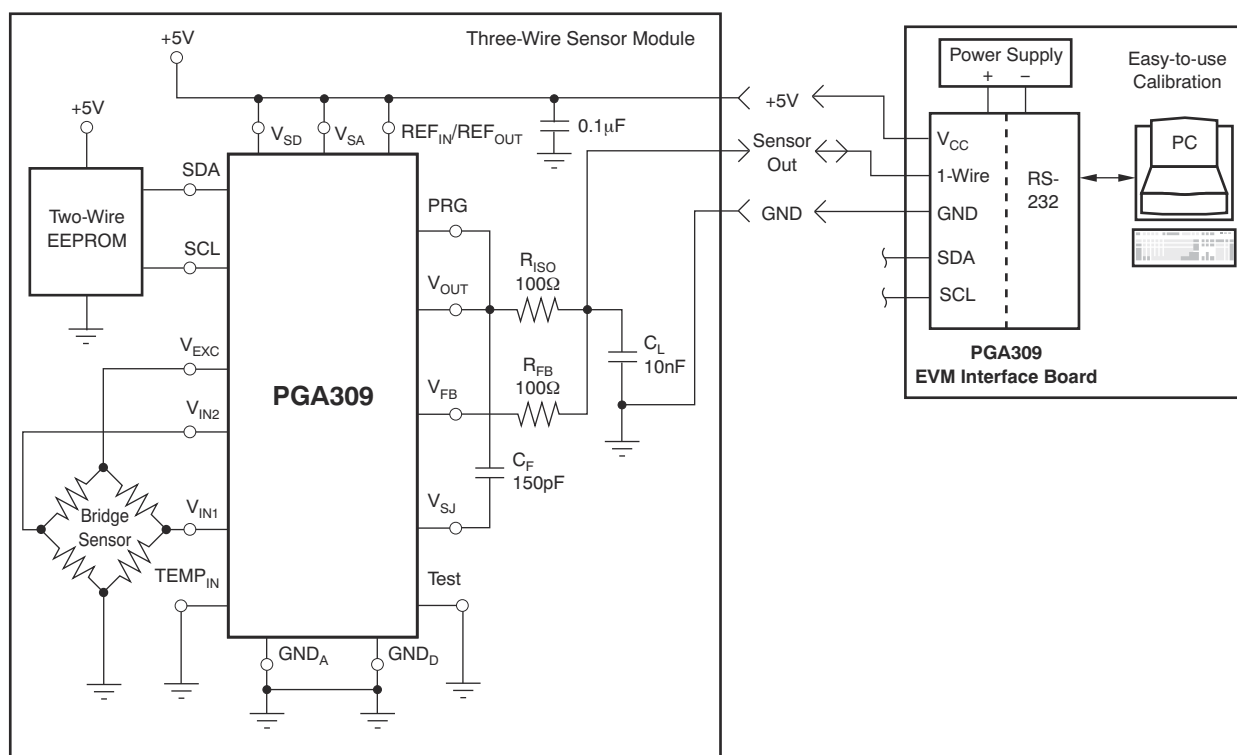


图 4-15. PRG 连接到 V_{OUT} 的单线制工作模式

表 4-3. 温度 ADC — V_{OUT} 启用后的延迟 (寄存器 7)

DLY3 [11]	DLY2 [10]	DLY1 [9]	DLY0 [8]	十进制等效值 (初始计数器值)	温度 ADC 延迟 (ms) ⁽¹⁾
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	10
0	0	1	0	2	20
0	0	1	1	3	30
0	1	0	0	4	40
0	1	0	1	5	50
0	1	1	0	6	60
0	1	1	1	7	70

表 4-3. 温度 ADC — V_{OUT} 启用后的延迟 (寄存器 7) (续)

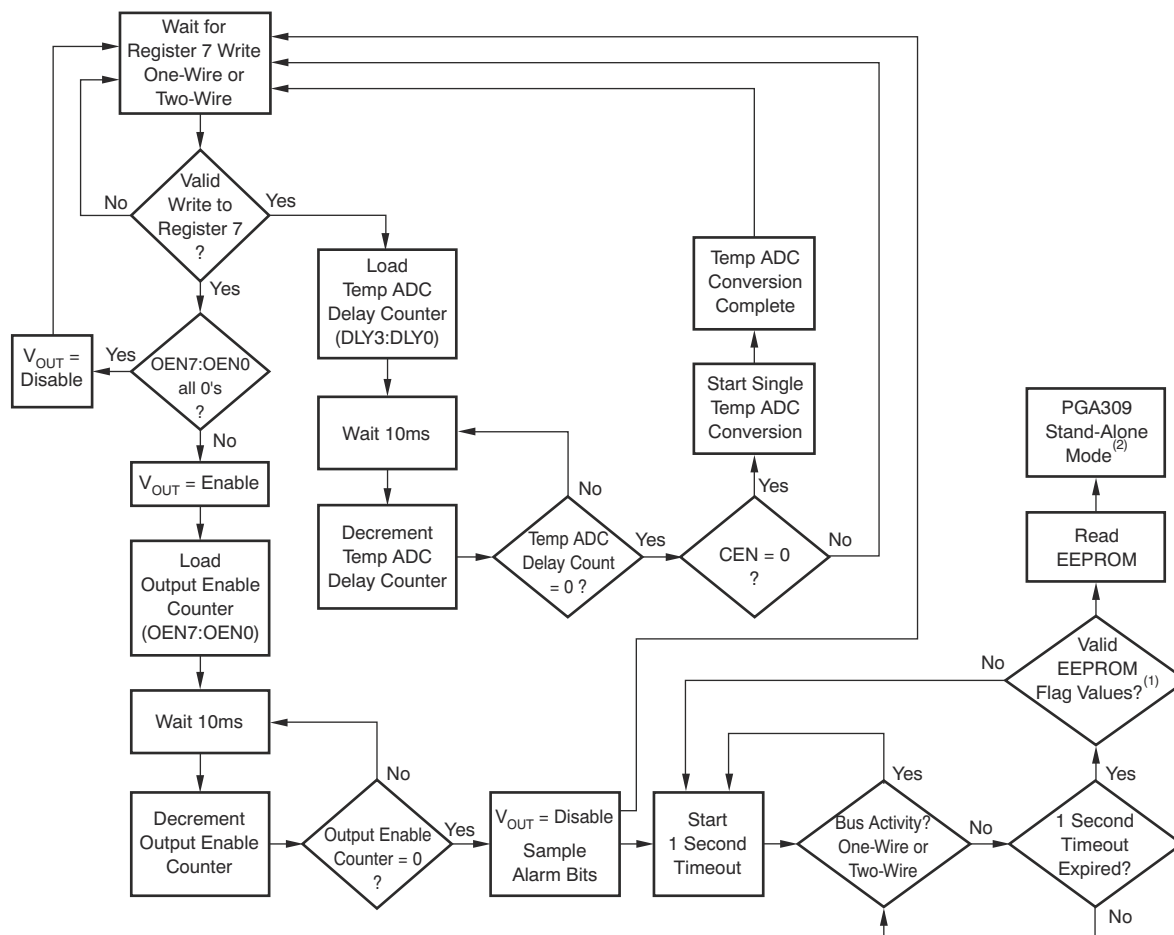
DLY3 [11]	DLY2 [10]	DLY1 [9]	DLY0 [8]	十进制等效值 (初始计数器值)	温度 ADC 延迟 (ms) ⁽¹⁾
1	0	0	0	8	80
1	0	0	1	9	90
1	0	1	0	10	100
1	0	1	1	11	110
1	1	0	0	12	120
1	1	0	1	13	130
1	1	1	0	14	140
1	1	1	1	15	150

(1) 温度 ADC 延迟 = 初始计数器值 x 10ms。

表 4-4. 用于单线制接口/V_{OUT} 多路复用模式的输出使能计数器 (寄存器 7)

数字输入 (二进制) OEN7.....OEN0 [7.....0]	十进制等效值 (初始计数器值)	V _{OUT} 启用超时 (ms)
0000 0000	0	0 (V _{OUT} 禁用)
0010 0000	32	320
0100 0000	64	640
0110 0000	96	960
1000 0000	128	1280
1010 0000	160	1600
1100 0000	192	1920
1110 0000	224	2240
1111 1111	255	2550

图 4-16 详细说明了输出启用/禁用状态机。在初始 POR 时将等待 25ms 时间通过任一数字接口进行通信，以防止 PGA309 完成其 POR 序列并进入独立模式。在 PGA309 通电并且任一数字接口 (单线制或两线制) 可写入寄存器 7 的任何时候，均可强制运行输出启用/禁用状态机。向 OEN7:OEN0 写入非零值将使 V_{OUT} 立即启用，并将 OEN7:OEN0 值加载到输出使能计数器中 (十进制等效值 x 10ms = 初始输出使能计数器值)。V_{OUT} 保持启用状态，直到该初始输出使能计数器值以 10ms 的增量递减至 0。然后，V_{OUT} 为禁用状态，并开始一秒钟的超时周期，在此周期内等待任一数字接口 (三线制传感器应用的 PRG 引脚) 上的总线活动。只要 PRG 引脚上有活动，一秒超时周期便会持续复位。在一秒钟无总线活动后，PGA309 将停止，状态机将尝试读取 EEPROM。对于此校准过程，必须将无效数据存储于 EEPROM 编程的标志值中，这样可以防止读取这些数据，而读取这些数据有可能改变 PGA309 中的寄存器设置。这种情况下还会强制使 1 秒超时周期复位，并会留出在 PRG 上启动和停止通信所需的时间。一旦 PGA309 中的所有寄存器已设置为所需的值，对寄存器 7 的另一次写入将重新开始这个过程，因此可测量新的 V_{OUT} 模拟值。



1. 如果要使用连接至 V_{OUT} 的 PRG 进行校准, 请将 EEPROM 编程的标志值设置为无效值, 以防止 EEPROM 寄存器配置和查找表数据改变 PGA309 寄存器的值。
2. 在 PGA309 独立模式下, 如果在 EEPROM 的第一部分 (配置部分) 将 OWD (寄存器 4 [15]) 设置为“1”, 则会禁用单线制接口, 通过单线制接口进行通信的唯一方法是对 PGA309 进行下电上电, 并在上电后 25ms 内通过单线制接口开始通信。

图 4-16. 输出启用/禁用状态机

输出启用/禁用状态机的第二部分是温度 ADC 延迟。在校准期间, 需要不同校准温度下的温度 ADC 转换结果。这些读数与相应校准温度下测得的 V_{OUT} 相结合, 用于计算最终温度系数以存储在外部 EEPROM 查找表部分。要使用此功能, 必须将温度 ADC 设置为单启动转换模式 ($CEN = 0$, 寄存器 6 [10])。向寄存器 7 进行写入后, 温度 ADC 延迟计数器中会加载 DLY3:DLY0 值 (十进制等效值 $\times 10\text{ms}$ = 初始温度 ADC 延迟计数器值)。该初始温度 ADC 延迟计数器值以 10ms 的增量递减至 0。达到 0 时, 便会触发一次温度 ADC 转换。无需向寄存器 6 [12] (ADCS 位) 进行额外写入即可启动该转换。转换完成后, 状态机的该分支将返回等待下一次有效的寄存器 7 写入。

输出启用/禁用状态机允许三线制传感器应用针对 PGA309 + 传感器组合, 根据校准标准通过 PGA309 来测量温度。此外, 还允许通过 PGA309 测量整个压力和温度范围内的 PGA309 + 传感器特性。通过这些真实结果可以准确计算出查找表的温度系数, 从而逐个逐模块实现精确的 PGA309 + 传感器数字校准。

故障监测警报位的值会在禁用输出之前立即锁存, 从而允许在工厂校准期间通过单线制接口读取其值。

如果要将最终值编程到 EEPROM 中, 最好在三线制传感器应用中禁用单线制接口。这样可以防止最终用途中的 V_{OUT} 变化通过单线制接口 (PRG 引脚) 读回到 PGA309 并可能被误解为总线活动, 进而导致 V_{OUT} 被禁用。要禁用单线制接口, 请在最终 EEPROM 编程写入期间将 OWD 位设置为“1”。OWD (单线制禁用) 位位于寄存

器 4 [15] 中。在这次最终编程之后，与单线制接口 (PRG 引脚) 通信的唯一方法是对 PGA309 进行下电上电并在 33ms 内开始通信。

4.11 四线制模块和单线制接口 (PRG)

对于四线制模块应用，在完成最终编程后且在将最终传感器模块发送到终端应用之前，必须将 OWD 位 (寄存器 4 [D15]) 设置为 “1” 以禁用单线制接口。在四端模块中，PRG 引脚直接与外界相连，更容易在其中耦合周期性噪声发生器的噪声。诸如换向电机或开关电源的重复噪声可能会导致 PRG 电路将此噪声误解为有效通信，并将 PGA309 置于不可预测的状态，甚至更糟糕的是导致 EEPROM 损坏。

即使通过将 OWD 位设置为 “1” 来禁用单线制接口，也会在上电时将 33ms 窗口置于打开状态，在此期间可能会将周期性噪声耦合到 PRG 引脚中并被视为相干通信。对于四端模块应用 (如图 4-17 所示)，在将 PRG 引脚直接连接到外界时，需要深入讨论和仔细考量。

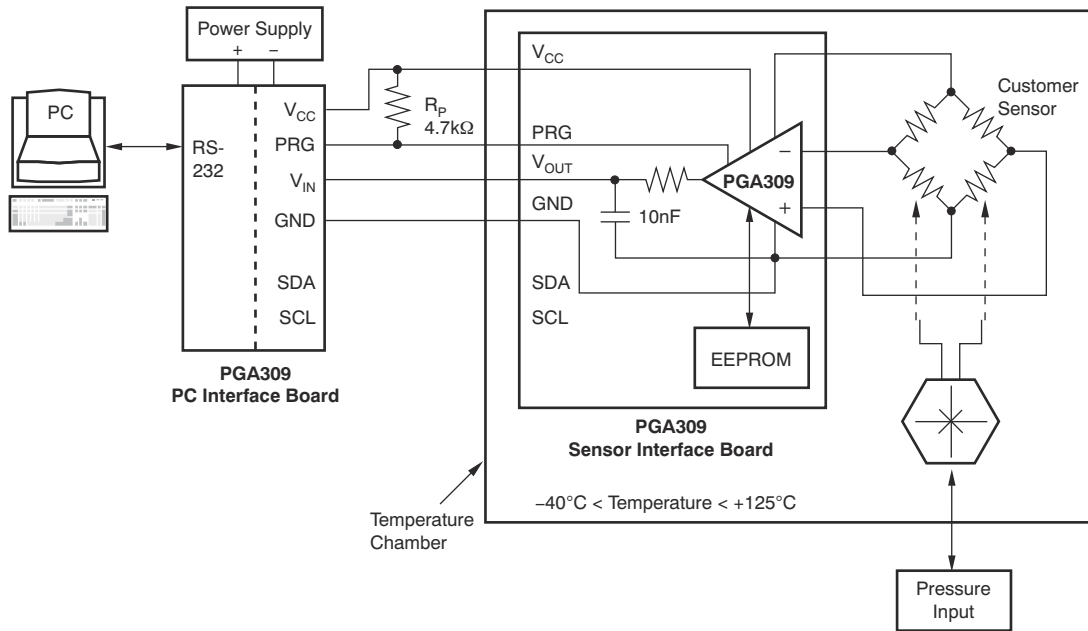
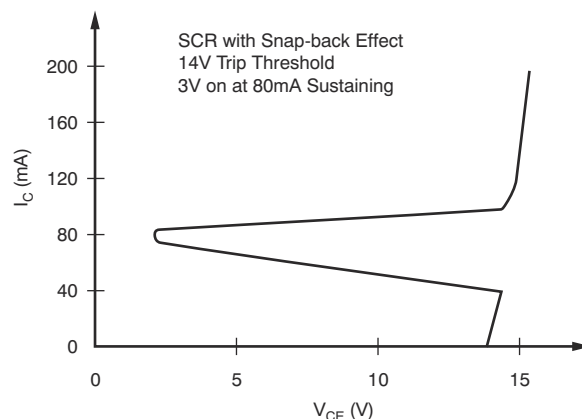


图 4-17. 四线制传感器模块应用

图 4-20 展示了 PGA309 内的 PRG 电路细节。本文还讨论了其他外部保护元件以及电磁干扰/射频干扰 (EMI/RFI) 滤波功能，并参考图 4-20 介绍了对 PGA309 四端传感器模块进行编程的注意事项。

PGA309 在 PRG 引脚上包含静电放电 (ESD) 单元 D2 和 D1/SCR1，可防止在将器件安装到印刷电路板上之前对器件进行处理时造成 ESD 损坏。在完整电路中安装 PGA309 时，这些相同的 ESD 单元可能无法满足电气过应力要求。ESD 二极管 D1 和 D2 可以处理高达 10mA 的连续负载。然而，SCR1 将以 14V 电平触发，然后在持续电流为 80mA 时下降至 3V，如图 4-18 所示。如果电流不受限制，电压将再次升高；电压升高加上更大的电流，可能会对 ESD 单元造成永久损坏，并使 PRG 电路无法使用。


图 4-18. SCR ESD 单元

如果预计会出现接线错误或外部电气过应力，则必须使用外部器件为 PRG 引脚提供保护。SD1 和 SD2 是信号肖特基二极管，可在电气过应力事件期间引导电流远离 PRG 引脚上的内部 ESD 单元。R7 将限制通过 SD1 和 SD2 的电流。Z1 是用于钳制通过 SD1 的能量的齐纳二极管。R7 的选择可能会影响 PRG_PGA309 和 PRG_Programmer 的有效逻辑电平。SW1 和 R_{ON} 表示在 PGA309EVM 上或通过单线制接口来配置和校准 PGA309 的客户编程器上使用的 MOSFET 开关和导通电阻。对于 PGA309，逻辑高电平为 $0.7V_{SD}$ ($V_{SD} = 5V$ 时为 $3.5V$) 或更高；逻辑低电平为 $0.2V_{SD}$ ($V_{SD} = 5V$ 时为 $1V$) 或更低。逻辑高电平不是问题，这是因为 PGA309 模块和编程器具有上拉电阻。逻辑低电平的最坏情况如图 4-20 所示；此图展示了大约 $610mV$ 的情况，此数值低于指定的 $0.2V_{SD}$ ($V_{SD} = 5V$ 时为 $1V$) 最大逻辑低电平。根据电流以及所示元件在高达 $+75^{\circ}C$ 温度下的功率耗散，该配置足以应对 $1W$ 引脚上高达 $\pm 50V$ 的接线错误。

应分析每个单独应用的电气过应力以及 PRG 引脚上合理的编程逻辑电平。

请参阅图 4-21 中常见 EMI/RFI 滤波和 PRG 引脚配置的图示。大多数 EMI/RFI 滤波器方案通常涉及通过 $1nF$ 至 $10nF$ 范围内的电容器将机箱接地端连接至信号接地端。这些电容器连接在进出模块的每个引脚上。在图 4-21 中，我们使用电容器 C2 ($1nF$) 将信号接地端连接到机箱接地端。 V_{CC} 通过电容器 C4 ($100nF$) 和电容器 C2 ($1nF$) 连接到机箱接地端。我们还添加模块输出端 PRG 引脚上的电容器 C1 ($10nF$)，并将其直接连接到 V_{CC} 。此配置非常适合抑制机箱接地端和信号接地端之间的任何开关干扰。

EMI/RFI 通常被视为以机箱接地端为基准的干扰，如图 4-19 所示。假定共源阻抗为 50Ω (通过 R11)。干扰会注入到模块的 PRG 引脚中，然后在返回到机箱接地端的过程中流经电容器 C3 ($10nF$)、C4 ($100nF$) 和 C2 ($1nF$)。100kHz 时 $\pm 5V$ 的严重干扰只会将 PRG 引脚上的逻辑高电平电压从 $5V$ 降级到 $4.27V$ ，如图 5-4 所示。最小逻辑高电平为 $0.7V_{SD}$ ($V_{SD} = 5V$ 时为 $3.5V$)，因此在机箱接地端和信号接地端之间，这种严重干扰不会导致 PRG 通信错误。

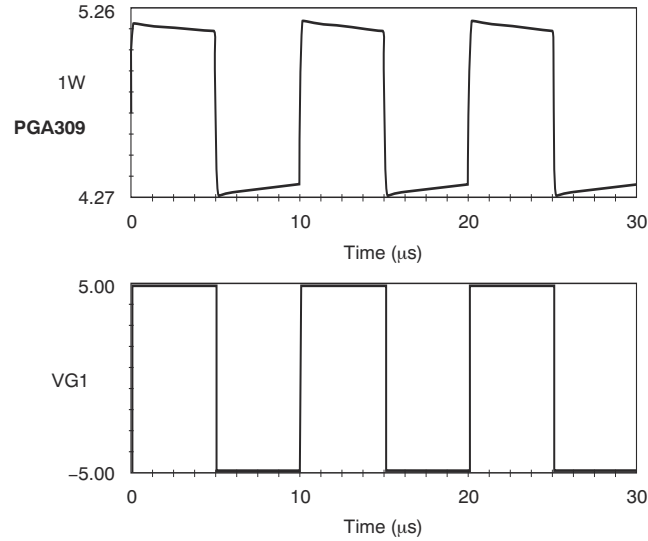


图 4-19. 严重的 EMI/RFI 干扰

最后一个注意事项是，再次考虑图 4-20 并观察，为了在 PRG 引脚具有大电容（例如 $C1 = 10\text{nF}$ ）的模块上对 PRG 引脚进行编程，客户编程器必须使用 PRG 加速电路来检测 PRG 信号的上升沿。基于这个上升沿，开关通过 $200\ \Omega$ 电阻将 PRG 线路连接到 +5V 并持续 $5\ \mu\text{s}$ 时间，以便快速对电容器 $C1$ (10nF) 充电，并在逻辑“0”到逻辑“1”转换中获得合理的上升沿。PGA309EVM 的 PC 编程器接口板中已安装该 PRG 加速电路。

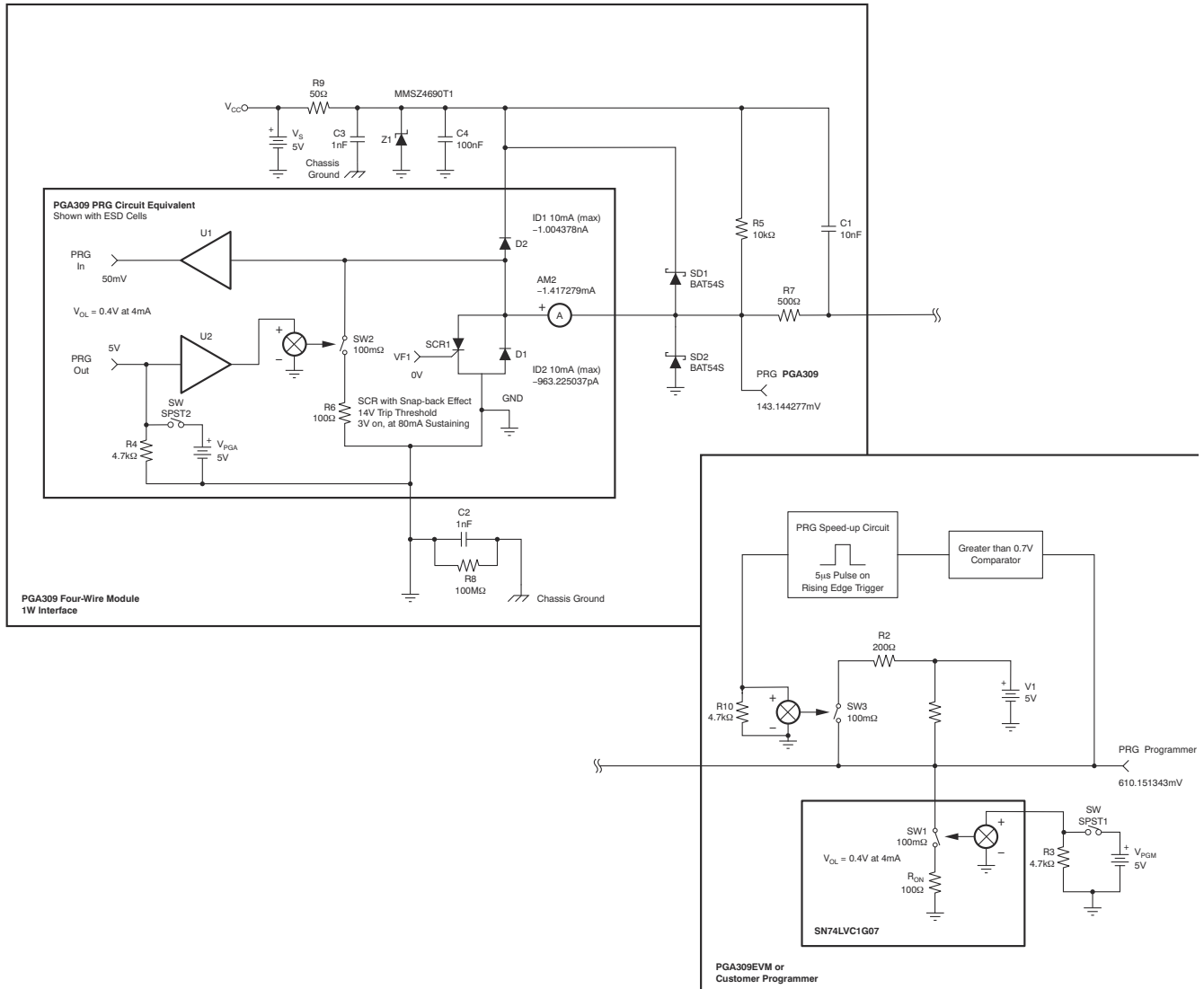


图 4-20. PRG 电路保护逻辑电平

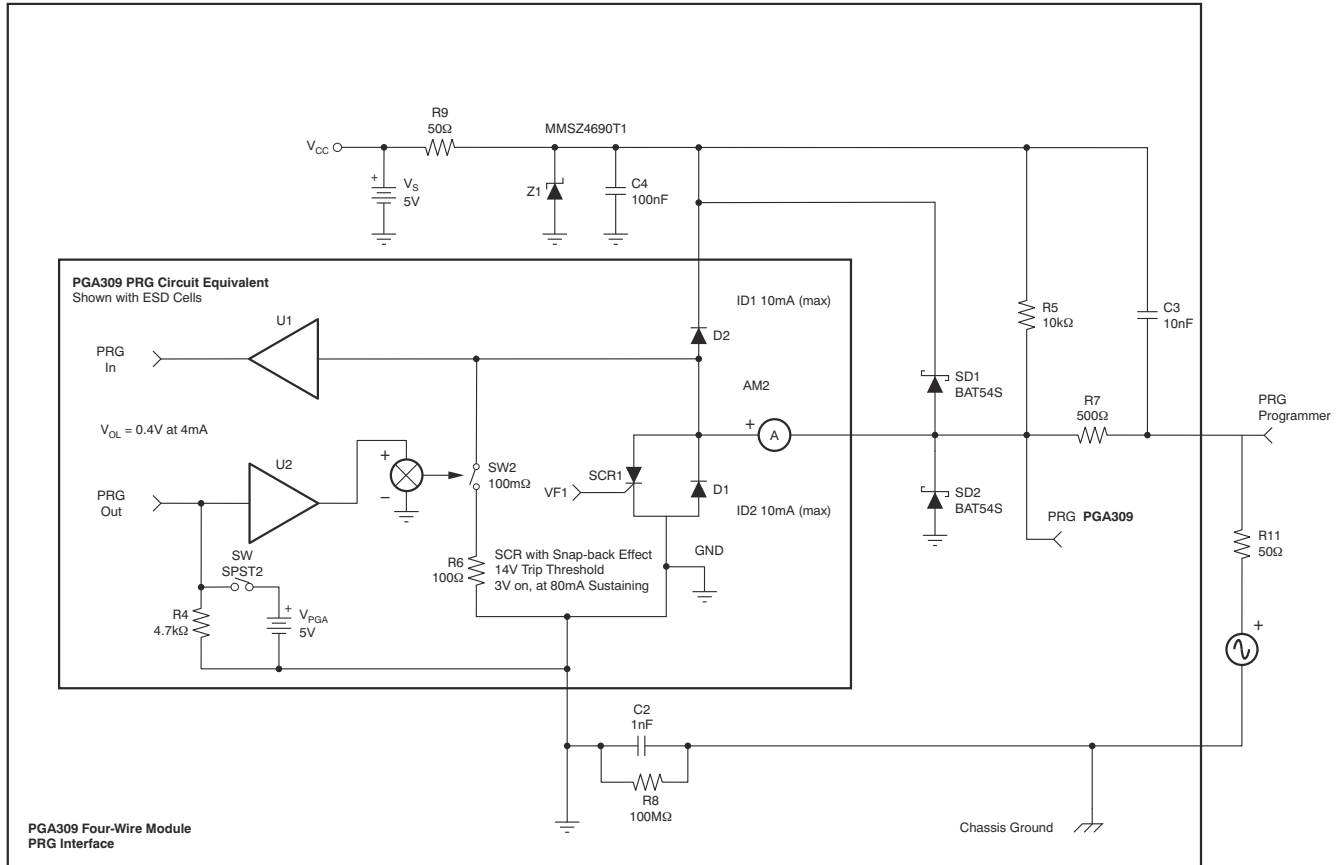


图 4-21. PRG 电路 EMI/RFI 滤波

This page intentionally left blank.

本章介绍 PGA309 的应用背景。

5.1 桥式传感器

图 5-1 所示为典型的桥式压力传感器。对于给定的电桥激励电压 (V_{EXC})，电桥的输出电压 ($V_P - V_N$) 是与施加到传感器的压力成正比的电压。

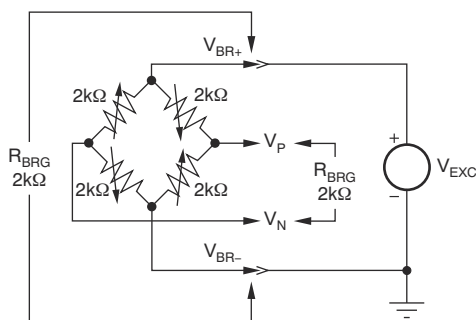


图 5-1. 典型桥式传感器

跨度是在相对于电桥激励 ($V_{BR+} - V_{BR-}$) 的满量程压力输入下 $V_P - V_N$ 的比例因子。跨度也称为 FSO (满量程输出)、FSS (满量程灵敏度)、灵敏度或增益。例如，电桥激励电压为 5V 时，2mV/V 的 FSS 意味着满量程压力下的电桥输出将为 10mV。

失调电压 (也称为零点) 是施加零压力时电桥的输出 ($V_P - V_N$)。通常，对于给定的激励电压，桥式传感器的零点可能等于或大于其 FSS。图 5-2 以图形方式展示了跨度和失调电压的定义。

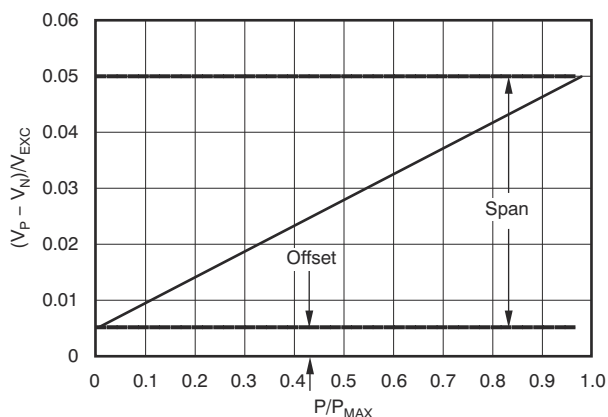


图 5-2. 跨度和失调电压示例

理想的传感器具有如图 5-3 所示的随温度变化的跨度和失调电压曲线。真实的传感器具有随温度变化的跨度和失调电压变化。跨度和失调电压均具有 +25°C 下的变化、不同温度下的线性变化以及不同温度下的非线性变化。图

5-4 和图 5-5 展示了具有二阶非线性度的桥式传感器在不同温度下的跨度和失调电压变化。TC1 系数表示随温度变化的线性变化，TC2 表示随温度变化的二阶变化。

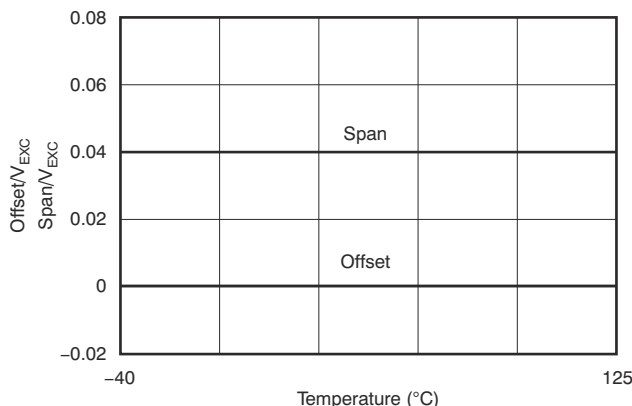


图 5-3. 理想跨度和失调电压与温度间的关系

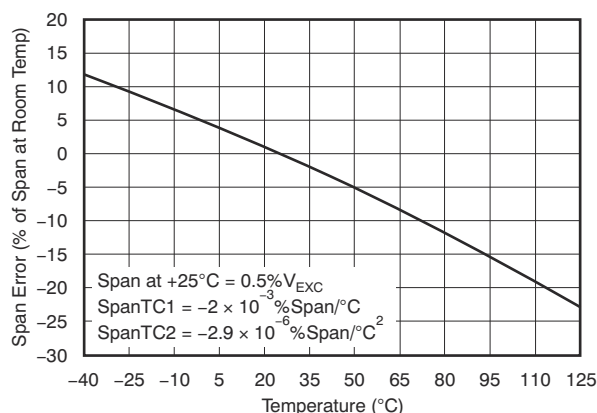


图 5-4. 在整个温度内非线性对桥式传感器跨度的影响

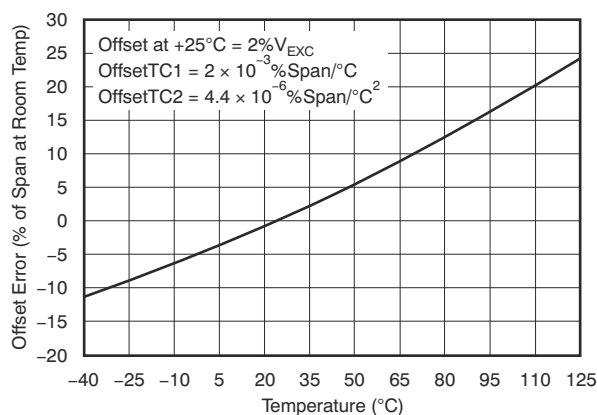


图 5-5. 在整个温度内非线性对桥式传感器失调电压的影响

许多桥式传感器都在施加压力时具有非线性输出。图 5-6 展示了施加压力时正负非线性桥式传感器输出的非理想曲线。PGA309 在整个温度范围内为跨度和失调电压提供校准，并具有专用的线性化电路，可对输出与施加的压力不呈线性关系的多类桥式传感器进行线性化。

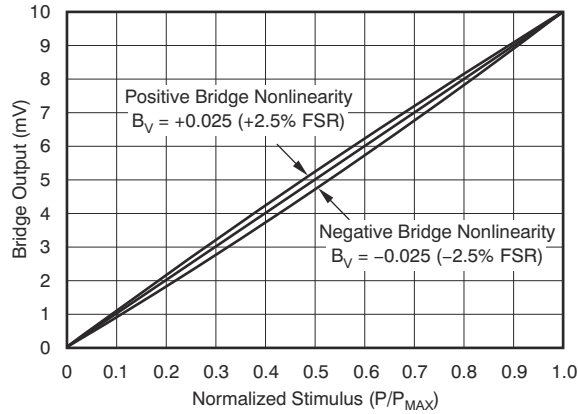


图 5-6. 施加压力时正负非线性桥式传感器输出的非理想曲线

5.2 桥式传感器的系统调节选项

桥式传感器输出有两个系统调节选项：绝对调节和比例式调节。

5.2.1 绝对调节

“绝对调节”以基准电压 V_{REF} 的百分比形式调节输出范围。例如，桥式传感器的绝对调节式输出可以设置为 V_{REF} 的 10% 至 90% 范围。图 5-7 说明了这种情况。

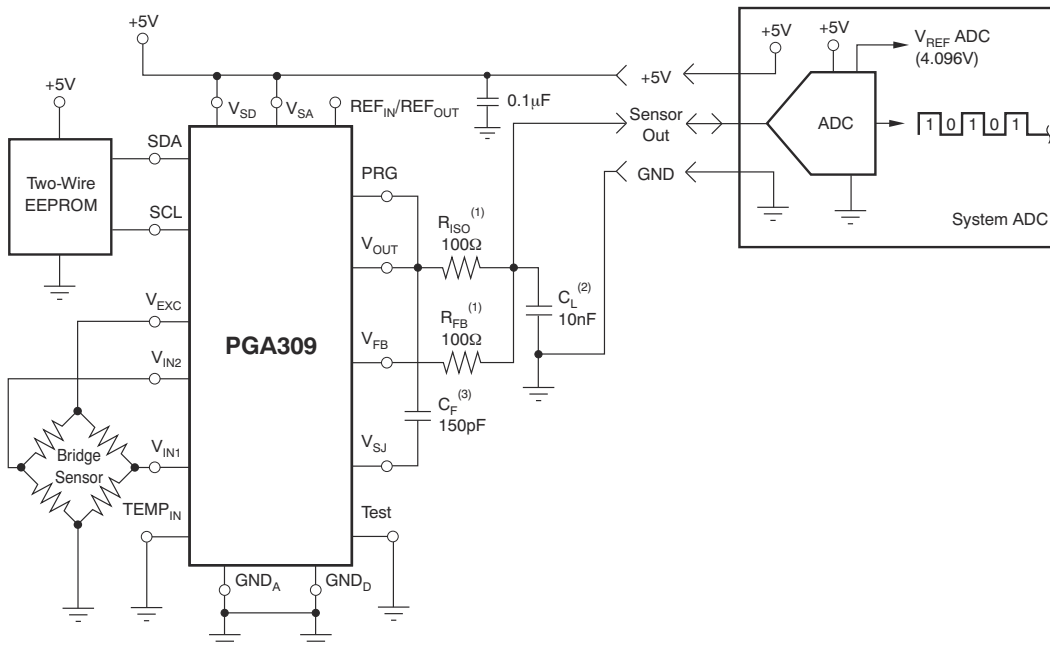


图 5-7. 绝对调节条件

5.2.2 比例式调节

比例式调节以电源电压百分比的形式调节输出范围。例如，桥式传感器的比例调节式输出可以设置为 V_S 的 10% 至 90% 范围，如图 5-8 所示。图 5-9 显示当电源电压 V_S 从 +5V 下降到 +3V 时， V_{OUT} 的范围 (V_S 的 10% 至 90%) 保持不变。PGA309 可适应桥式传感器的绝对调节和比例式调节。

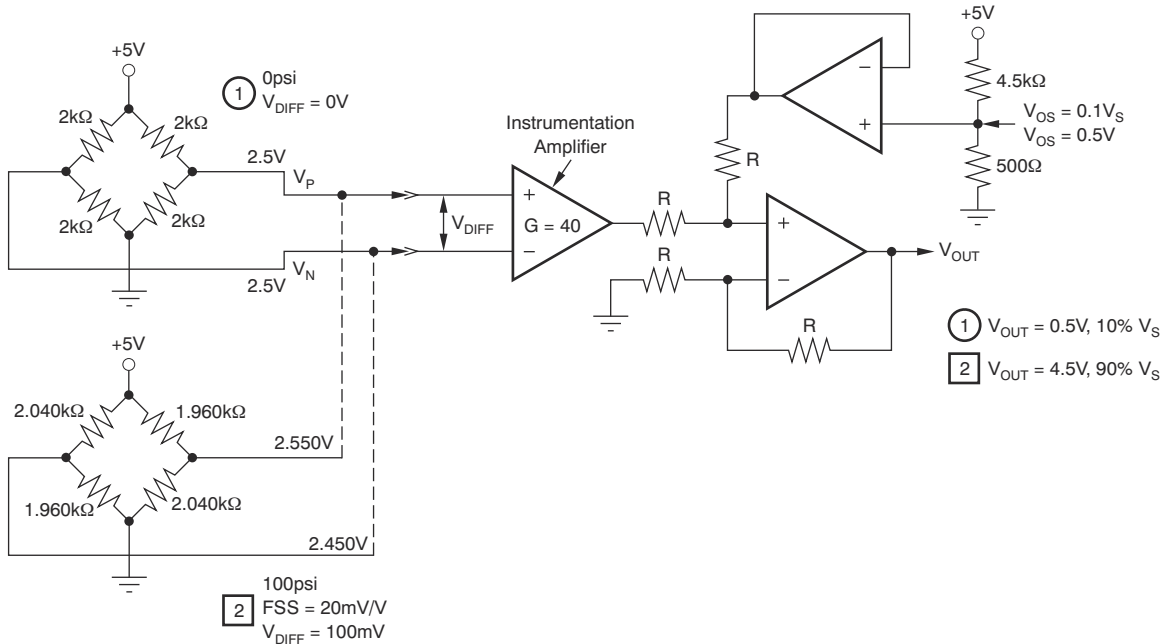


图 5-8. 比例式配置，5V

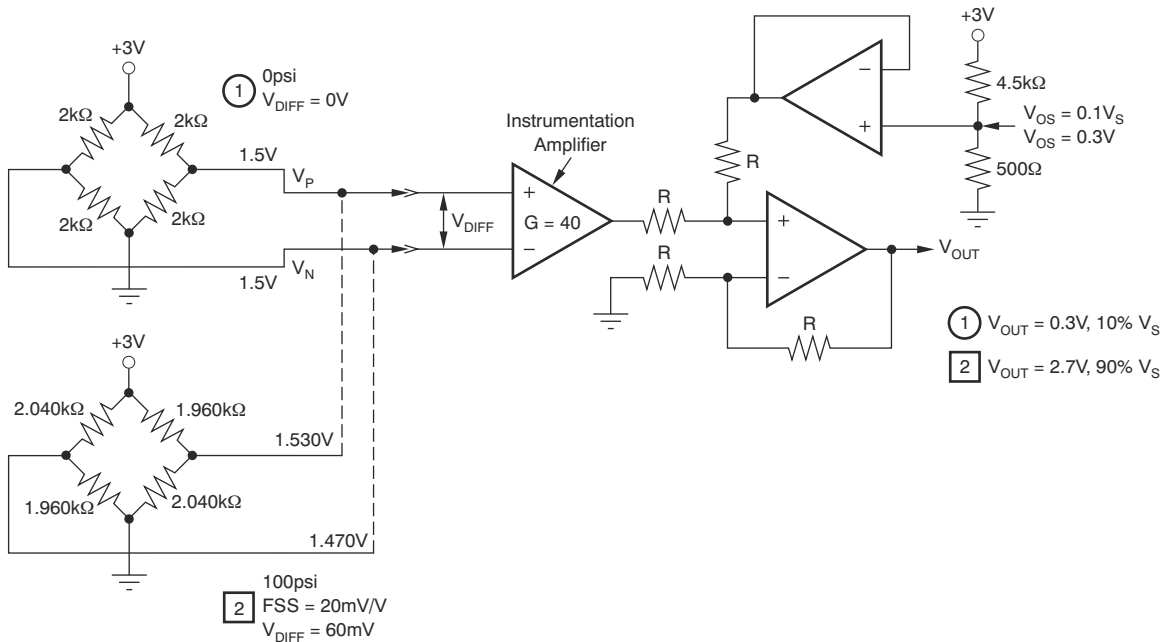


图 5-9. 比例式配置，3V

5.3 修整实际桥式传感器以支持线性度

为了将非线性的实际桥式传感器修整为线性的实用功能，传统方法需要在基础桥式传感器周围添加额外电阻，如图 5-10 所示。这种方法通常需要一些经过预封装的特殊固定件以及特殊的激光修整或手动修整电阻。修整过程会相互影响，因此需要多次测试/修整/测试/修整过程；这种情况下，特定桥式传感器的修整次数和范围都会受限。

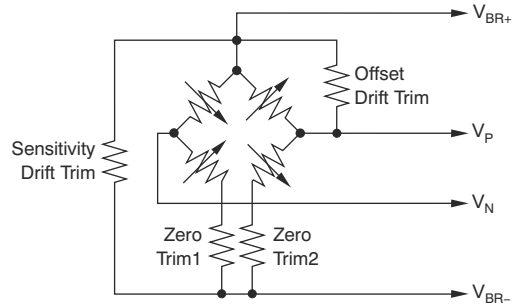


图 5-10. 典型修整配置

PGA309 为桥式传感器提供一种现代数字修整方法，如图 5-11 所示。这种方法允许对桥式传感器及其信号调节电子元件进行封装后修整。这种方法使用计算机接口和电子表格分析计算工具来简化数字修整。与传统修整方法相比，这种方法可执行近乎无限数量的修整周期，同时还具有更高的分辨率、更宽的范围以及更少的修整参数相互影响。这种方法可以避免封装移位。

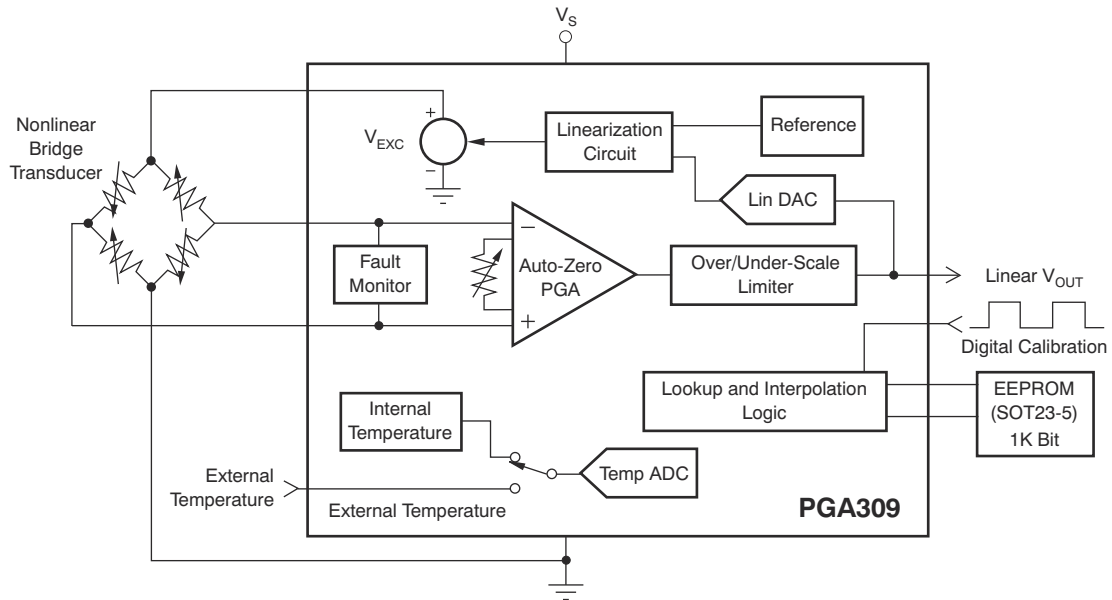


图 5-11. PGA309 修整配置

5.4 PGA309 校准过程

要进行 PGA309 校准，可以向传感器模块施加零、中间和满量程信号，并测量 PGA309 的输出响应。此校准是在温度范围内完成的，并会为所施加的每个温度确定不同的增益 DAC 和零 DAC 值。使用温度范围内的增益 DAC 和零 DAC 值可推导出一个查找表。可以修改使用的实际校准算法以适应不同的要求。下面是一种可能的校准算法。

下面显示了 PGA309 传递函数。以下公式代表 PGA309 中的所有增益和失调电压控制模块。该公式重新排列后可以求解整个校准过程中的各种增益和失调电压设置。

$$V_{OUT} = [(mux_sign \cdot V_{IN} + V_{COARSE_OFFSET}) \cdot GI + V_{ZERO_DAC}] \cdot GD \cdot GO \quad (17)$$

表 5-1. 公式中的各个项

术语	定义
mux_sign	该项改变输入信号的极性。请参见表 6-9
V _{IN}	输入信号
V _{COARSE_OFFSET}	粗略失调电压 DAC 输出电压。请参见表 6-10
GI	输入级增益。请参见表 6-8
V _{ZERO_DAC}	零 DAC 输出电压。请参见表 6-4
GD	增益 DAC。请参见表 6-5
GO	输出级增益。请参见表 6-7

$$V_{ZERO_DAC} = \frac{V_{OUT} - GD \cdot GI \cdot GO \cdot (V_{COARSE_OFFSET} + V_{IN} \cdot mux_sign)}{GD \cdot GO} \quad (18)$$

$$V_{COARSE_OFFSET} = \frac{V_{OUT} - GD \cdot GO \cdot (V_{ZERO_DAC} + GI \cdot V_{IN} \cdot mux_sign)}{GD \cdot GI \cdot GO} \quad (19)$$

$$Total_Gain = GD \cdot GI \cdot GO \quad (20)$$

$$Total_Gain = \frac{V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}}{V_{IN_MAX} - V_{IN_MIN}} \quad (21)$$

校准算法

1. **施加最小激励**（例如，压力）。将 PGA309 增益调整到尽可能低的水平，并设置零 DAC 以将输出驱动至量程中点 (1/2V_S)。

$$GI = 4, \quad GD = (1 + 0.3333)/2 = 0.667 : \quad GO = 2 : \quad V_{COARSE_OFFSET} = 0V \quad (22)$$

$$V_{ZERO_DAC} = \frac{(0.5 \cdot V_S) - GD \cdot GI \cdot GO \cdot (V_{COARSE_OFFSET} + V_{IN} \cdot mux_sign)}{GD \cdot GO} \quad (23)$$

根据测得的 V_{out} 反向计算 V_{in}。

$$V_{IN} = \frac{V_{OUT} - GD \cdot GO \cdot (V_{ZERO_DAC} + GI \cdot V_{COARSE_OFFSET})}{GD \cdot GI \cdot GO \cdot mux_sign} \quad (24)$$

2. 根据 if-then 关系调整增益，并重新执行步骤 1。这样会为 Vin 提供更准确的值。

If ($V_{in} > 0.131$)

GI=4;

Else if ($(V_{in} > 0.035) \ \&\& \ (V_{in} \leq 0.131)$)

GI=8;

Else if ($(V_{in} > 0.023) \ \&\& \ (V_{in} \leq 0.035)$)

GI=16;

Else if ($(V_{in} > 0.015) \ \&\& \ (V_{in} \leq 0.023)$)

GI=32;

否则

GI=64;

3. **施加最大激励**并执行与步骤 1 和 2 相同的过程。这样将得到 Vin_max。现在根据 Vout_max 和 Vout_min 计算出了 Vin_min 和 Vin_max 值。使用此信息计算总增益。

$$\text{Total_Gain} = \frac{V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}}{V_{IN_MAX} - V_{IN_MIN}} \quad (25)$$

4. 在 $GI \times GO \times 0.667$ 的所有组合中搜索找出最接近总增益的值。这样可以获得增益 DAC 的最大调整范围。
5. 求解 GD 值以获得精确的 Total_Gain。

$$GD = \frac{\text{Total_Gain}}{GI \cdot GO} \quad (26)$$

6. 将零 DAC 设置为其满量程值的 $\frac{1}{2}$ ($0.5 \times V_{ref}$)。这样可以获得粗略失调电压的最大调整范围。

$$V_{ZERO_DAC} = 0.5 \cdot V_{REF} \quad (27)$$

7. 查找所需的粗略失调电压以便能够在满量程激励下将输出设置为目标输出。例如，如果施加最小压力时输出应为 4.5V，则选择粗略失调电压以使输出尽可能接近 4.5V 的目标值。请注意，粗略失调电压调整分辨率阶跃很大，因此输出不会精确达到目标值。必须调整零 DAC 以提高最小输出的精度。

$$V_{COARSE_OFFSET} = \frac{V_{OUT_MAX} - GD \cdot GO \cdot (V_{ZERO_DAC} + GI \cdot V_{IN_MAX} \cdot \text{mux_sign})}{GD \cdot GI \cdot GO} \quad (28)$$

8. 调整粗略失调电压后，测量输出。使用新的输出电压来调整零 DAC 以获得准确的零输出和满量程输出。

$$V_{ZERO_DAC} = \frac{V_{OUT_MAX} - GD \cdot GI \cdot GO \cdot (V_{COARSE_OFFSET} + V_{IN_MAX} \cdot \text{mux_sign})}{GD \cdot GO} \quad (29)$$

9. 现在，增益和失调电压校正将给出最大和最小激励下的 Vout_max 和 Vout_min 近似值。此时的激励仍处于最大值，因此输出接近满量程目标。然而，这并不是最高的精度。要进一步提高精度，请对零 DAC 和增益 DAC 进行线性校正。重新测量输出并计算输入。然后，计算零 DAC 的新值。

$$V_{IN_MAX} = \frac{V_{OUT_MAX} - GD \cdot GO \cdot (V_{ZERO_DAC} + GI \cdot V_{COARSE_OFFSET})}{GD \cdot GI \cdot GO \cdot \text{mux_sign}} \quad (30)$$

10. **施加最小激励**，并测量输出。使用此值来计算 Vin_min。使用步骤 9 和 10 中的 Vin_min 和 Vin_max 值来计算新的增益 DAC 和零 DAC。

$$V_{IN_MIN} = \frac{V_{OUT_MIN} - GD \cdot GO \cdot (V_{ZERO_DAC} + GI \cdot V_{COARSE_OFFSET})}{GD \cdot GI \cdot GO \cdot \text{mux_sign}} \quad (31)$$

$$\text{Total_Gain} = \frac{V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}}{V_{IN_MAX} - V_{IN_MIN}} \quad (32)$$

$$GD = \frac{\text{Total Gain}}{GI \cdot GO} \quad (33)$$

$$V_{ZERO_DAC} = \frac{V_{OUT_MIN} - GD \cdot GI \cdot GO \cdot (V_{COARSE_OFFSET} + V_{IN_MIN} \cdot \text{mux_sign})}{GD \cdot GO} \quad (34)$$

11. **施加最小激励**，并测量输出信号。确认步骤 10 中的调整符合您的精度要求。从技术上讲，调整已在步骤 10 中完成，因此本步骤仅用于确认器件和编程功能是否符合预期。
12. 针对所有校准温度重复该过程的步骤 7 至 10。因此，在所有温度范围内，唯一变化的变量是增益 DAC 和零 DAC。所有其他增益和失调电压模块保持不变。在整个温度范围内使用增益 DAC 和失调电压 DAC 来生成查找表。查找表的最大长度为 17 点。在许多情况下，温度校准仅在三个温度下进行。对于在三个温度下进行的校准，可以使用多项式插值方法来估算查找表中其他温度下的增益 DAC 和零 DAC。PGA309 会在查找表中的点之间套用线性增益和失调电压调整与温度间的关系，所以使用插值方法来填充查找表中的全部 17 个点通常可以提高精度。



本章介绍 PGA309 寄存器及其内容。

6.1 内部寄存器概览

表 6-1. 内部寄存器概览

地址指针					寄存器说明	类型 ⁽¹⁾	寄存器控制
P4	P3	P2	P1	P0			
0	0	0	0	0	寄存器 0 — 温度 ADC 输出	R	温度 ADC 输出数据
0	0	0	0	1	寄存器 1 — 精细失调电压调整 (零 DAC)	R/W	精细失调电压调整 (零 DAC) 设置
0	0	0	1	0	寄存器 2 — 精细增益调整 (增益 DAC)	R/W	精细增益调整 (增益 DAC) 设置
0	0	0	1	1	寄存器 3 — 基准控制和线性化寄存器	R/W	基准配置设置; V _{EXC} 启用; 线性化设置
0	0	1	0	0	寄存器 4 — 前端 PGA 粗略失调电压调整和增益选择; 输出放大器增益选择	R/W	前端 PGA 粗略失调电压设置; PGA 增益选择; 输出放大器增益选择; 单线制禁用
0	0	1	0	1	寄存器 5 — PGA 配置和过量程/欠量程限制	R/W	过量程/欠量程限制、极性、使能; 故障比较器选择
0	0	1	1	0	寄存器 6 — 温度 ADC 控制寄存器	R/W	温度 ADC 转换速度、基准选择; 内部/外部温度模式选择; 外部温度 PGA 配置; TEMP _{IN} 电流源使能
0	0	1	1	1	寄存器 7 — 输出使能计数器控制	R/W	温度 ADC 延迟设置; 单线制接口输出使能设置
0	1	0	0	0	寄存器 8 — 警报状态	R	故障监测比较器输出

(1) 类型: R = 只读, R/W = 读取/写入

6.2 内部寄存器映射

6.2.1 寄存器 0: 温度 ADC 输出寄存器 (只读, 地址指针 = 00000)

位编号	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名	AD15	AD14	AD13	AD12	AD11	AD10	AD9	AD8	AD7	AD6	AD5	AD4	AD3	AD2	AD1	AD0
POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明:

AD[15:0] 温度 ADC 输出

内部温度模式: 12 位 + 符号扩展, 右对齐, 二进制补码数据格式

外部温度模式: 15 位 + 符号扩展, 右对齐, 二进制补码数据格式

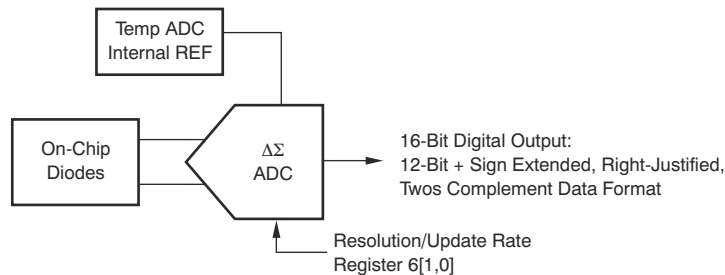


图 6-1. 内部温度模式；寄存器 6[9] = “1”

表 6-2. 内部温度模式 - 数据格式 (12 位分辨率)。TEN = 1；R1、R0 = “11” (1)

温度 (°C)	数字输出 AD15.....AD0 (二进制)	数字输出 (十六进制)
150	0000 1001 0110 0000	960
128	0000 1000 0000 0000	800
127.9375	0000 0111 1111 1111	07FF
100	0000 0110 0100 0000	640
80	0000 0101 0000 0000	500
75	0000 0100 1011 0000	04B0
50	0000 0011 0010 0000	320
25	0000 0001 1001 0000	190
0.25	0000 0000 0000 0100	4
0	0000 0000 0000 0000	0
-0.25	1111 1111 1111 1100	FFFC
-25	1111 1110 0111 0000	FE70
-55	1111 1100 1001 0000	FC90

- (1) 处于内部温度模式的温度 ADC 的分辨率为每次计数 0.0625°C。
 对于正温度值 (例如, +50°C) :
 $(50^{\circ}\text{C}) / (0.0625^{\circ}\text{C}/\text{count}) = 800 \rightarrow 320\text{h} \rightarrow 0011\ 0010\ 0000$
 温度 ADC 会将 50°C 读取为 0000 0011 0010 0000 \rightarrow 0320h
 对于负温度值 (例如, -25°C) :
 $(|[-25]|) / (0.0625^{\circ}\text{C}/\text{count}) = 400 \rightarrow 190\text{h} \rightarrow 0001\ 1001\ 0000$
 转换为二进制补码表示法。
 温度 ADC 会将 -25°C 读取为 1111 1110 0111 0000 \rightarrow FE70h

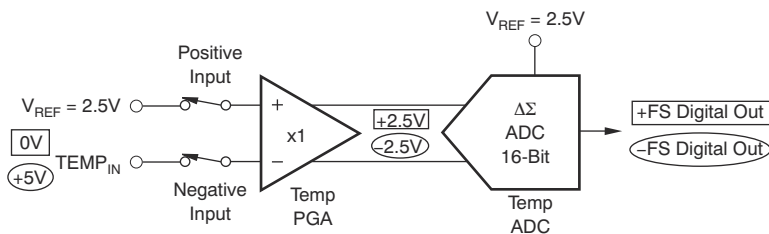


图 6-2. 外部信号模式；寄存器 6 = “0000 0100 0011 0000”

表 6-3. 外部信号模式 - 数据格式示例 (寄存器 6 = “0000 0100 0011 0011”) , 15 位 + 符号分辨率。REN = 1, RS = 1

TEMP _{IN} (V)	温度 ADC 输入 (V)	温度 ADC 输入 (与满量程之比) (1)	数字输出 AD15.....AD0 (二进制)	数字输出 (十六进制)
0.0001	2.49992371	+0.999969 V _{REF}	0111 1111 1111 1111	7FFF
+0.625	+1.875	+0.75 V _{REF}	0110 0000 0000 0000	6000

表 6-3. 外部信号模式 — 数据格式示例 (寄存器 6 = “0000 0100 0011 0011”) , 15 位 + 符号分辨率。REN = 1 , RS = 1 (续)

TEMP _{IN} (V)	温度 ADC 输入 (V)	温度 ADC 输入 (与满量程之比) ⁽¹⁾	数字输出 AD15.....AD0 (二进制)	数字输出 (十六进制)
+1.25	+1.25	+0.5 V _{REFT}	0100 0000 0000 0000	4000
+1.925	+0.575	+0.23 V _{REFT}	0001 1101 0111 0001	1D71
+2.4999	+0.00007629	+(1/32768) V _{REFT}	0000 0000 0000 0001	0001
+2.5	0	+0 V _{REFT}	0000 0000 0000 0000	0000
+2.50007629	-0.00007629	-(1/32768) V _{REFT}	1111 1111 1111 1111	起始值也可以是 0, 但是由于 SysTick 中断和 COUNTFLAG 在计数从 1 到 0 时都会被激活, 所以没什么作用
+3.075	-0.575	-0.23 V _{REFT}	1110 0010 1000 1111	E28F
+3.75	-1.25	-0.5 V _{REFT}	1100 0000 0000 0000	C000
+4.375	-1.875	-0.75 V _{REFT}	1010 0000 0000 0000	A000
+5	-2.5	-1 V _{REFT}	1000 0000 0000 0000	8000

(1) V_{REFT} 可以是 V_{SA}、V_{EXC} 或 V_{REF}。

6.2.2 寄存器 1 : 精细失调电压调整 (零 DAC) 寄存器 (读取/写入 , 地址指针 = 00001)

位编号	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名	ZD15	ZD14	ZD13	ZD12	ZD11	ZD10	ZD9	ZD8	ZD7	ZD6	ZD5	ZD4	ZD3	ZD2	ZD1	ZD0
POR 值	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明 :

ZD[15:0] : 零 DAC 控制 , 16 位无符号数据格式

表 6-4. 零 DAC — 数据格式示例 (V_{REF} = +5V)

数字输入 (十六进制)	数字输入 ZD15.....ZD0 (二进制)	零 DAC 输出 (V)	零 DAC 输出
0000	0000 0000 0000 0000	0	0 V _{REF}
0001	0000 0000 0000 0001	0.00007629	(1/65536) V _{REF}
051F	0000 0101 0001 1111	0.100021362	0.02 V _{REF} ⁽¹⁾
4000	0100 0000 0000 0000	1.25	0.25 V _{REF}
8000	1000 0000 0000 0000	2.5	0.50 V _{REF}
C000	1100 0000 0000 0000	3.75	0.75 V _{REF}
FAE1	1111 1010 1110 0001	4.899978638	0.98 V _{REF} ⁽¹⁾
起始值也可以是 0, 但是由于 SysTick 中断和 COUNTFLAG 在计数从 1 到 0 时都会被激活, 所以没什么作用	1111 1111 1111 1111	4.999923706	0.9999847 V _{REF}

(1) 由设计确保零 DAC 调整范围 (0.02V_{REF} 至 0.98V_{REF})

零 DAC 公式 :

十进制数字计数 = (V_{ZERO DAC}/V_{REF})(65536)

0.1V ≤ 零 DAC 模拟范围 ≤ V_{SA} - 0.1V

0 ≤ 零 DAC 编程范围 ≤ V_{REF}

零 DAC 示例：

期望： $V_{\text{ZERO DAC}} = 0.5\text{V}$

假设： $V_{\text{REF}} = 5\text{V}$

十进制数字计数 = $0.5 / (5/65536) = 6553.6$

使用 6554 个计数 → 199Ah → 0001 1001 1001 1010

6.2.3 寄存器 2：精细增益调整 (增益 DAC) 寄存器 (读取/写入，地址指针 = 00010)

位编号	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名	GD15	GD14	GD13	GD12	GD11	GD10	GD9	GD8	GD7	GD6	GD5	GD4	GD3	GD2	GD1	GD0
POR 值	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明：

GD[15:0]：增益 DAC 控制，16 位无符号数据格式

表 6-5. 增益 DAC 一 数据格式

数字输入 (十六进制)	数字输入 ZD15.....ZD0 (二进制)	增益调整
0000	0000 0000 0000 0000	0.333333333
0001	0000 0000 0000 0001	0.333343505
32F2	0011 0010 1111 0010	0.466003417
4000	0100 0000 0000 0000	0.500000000
6604	0110 0110 0000 0100	0.598999023
9979	1001 1001 0111 1001	0.733001708
CC86	1100 1100 1000 0110	0.865997314
起始值也可以是 0，但是由于 SysTick 中断和 COUNTFLAG 在计数从 1 到 0 时都会被激活，所以没什么作用	1111 1111 1111 1111	1.000000000

增益 DAC 公式：

$$1 \text{ LSB} = (1.000000000 - 0.333333333) / 65536 = (2/3)/65536$$

$$\text{十进制数字计数} = (\text{所需增益} - 1/3)/(3/2)(65.536)$$

$$0.3333333 \leq \text{增益 DAC} \leq 0.9999898$$

$$0 \leq \text{增益 DAC 计数} \leq 65535$$

增益 DAC 示例：

期望：精细增益 = 0.68

$$\text{十进制数字计数} = (0.68 - 1/3)(3/2)(65536) = 34078.72$$

使用 34079 个计数 → 851Fh → 1000 0101 0001 1111

6.2.4 寄存器 3：基准控制和线性化寄存器 (读取/写入，地址指针 = 00011)

位编号	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名	RFB	RFB	RFB	RFB	EXS	EXEN	RS	REN	LD7	LD6	LD5	LD4	LD3	LD2	LD1	LD0
POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明：

RFB：保留出厂位：设置为零以确保正常运行

EXS：线性化调整和激励电压 (V_{EXC}) 增益选择 (范围 1 或范围 2)

0 = 范围 1 ($-0.166V_{FB} < \text{线性化 DAC 范围} < +0.166V_{FB}$, V_{EXC} 增益 = $0.83V_{REF}$)

1 = 范围 2 ($-0.124V_{FB} < \text{线性化 DAC 范围} < +0.124V_{FB}$, V_{EXC} 增益 = $0.52V_{REF}$)

EXEN： V_{EXC} 启用

1 = 启用 V_{EXC}

0 = 禁用 V_{EXC}

RS：内部 V_{REF} 选择 (2.5V 或 4.096V)

0 = 4.096V

1 = 2.5V

REN：启用/禁用内部 V_{REF} (外部 V_{REF} 为禁用 — 将外部 V_{REF} 连接到 REFIN/REFOUT 引脚)

0 = 外部基准 (禁用内部基准)

1 = 内部基准 (启用内部基准)

LD[7:0]：线性化 DAC 设置，7 位 + 符号

表 6-6. 线性化 DAC — 数据格式示例 (范围 1： $-0.166V_{FB} < \text{线性化 DAC 范围} < +0.166V_{FB}$)

数字输入 (十六进制)	数字输入 LD7.....LD0	线性化调整
FF	1111 1111	$-0.166 V_{FB}$
E0	1110 0000	$-0.12548 V_{FB}$
C0	1100 0000	$-0.08365 V_{FB}$
A0	1010 0000	$-0.04183 V_{FB}$
81	1000 0001	$-0.00131 V_{FB}$
80	1000 0000	$0 V_{FB}$
00	0000 0000	$0 V_{FB}$
01	0000 0001	$+0.00131 V_{FB}$
20	0010 0000	$+0.04183 V_{FB}$
40	0100 0000	$+0.08365 V_{FB}$
60	0110 0000	$+0.12548 V_{FB}$
7F	0111 1111	$+0.166 V_{FB}$

线性化 DAC 公式：

十进制数字计数 = |所需的 V_{FB} 比率| / (满量程比率/127)

线性化 DAC 示例：

假设：(范围 1： $-0.166V_{FB} < \text{线性化 DAC 范围} < +0.166V_{FB}$)

期望： V_{FB} 比率 = -0.082

十进制数字计数 = $0.082 / (0.166 / 127) = 62.7349$

使用 63 个计数 → 0x3F → 0011 1111

在符号位 (MSB, 位 7) 中添加“1”来表示负比率：

最终线性化 DAC 设置：1011 1111 → BFh

6.2.5 寄存器 4：PGA 粗略失调电压调整和增益选择/输出放大器增益选择寄存器 (读取/写入，地址指针 = 00100)

位编号	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名	OWD	GO2	GO1	GO0	GI3	GI2	GI1	GI0	RFB	RFB	RFB	OS4	OS3	OS2	OS1	OS0
POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明：

OWD：单线制禁用 (仅在启用 V_{OUT} 时有效，当 PRG 连接到 V_{OUT} 时使用)

1 = 禁用

0 = 启用

GO[2:0]：输出放大器增益选择，1/7 加内部反馈禁用

GI[3:0]：前端 PGA 增益选择，1/8，输入多路复用器控制

GI[3] = 输入多路复用器控制

GI[2:0] = 增益选择

RFB：保留出厂位：设置为零以确保正常运行

OS[4:0]：前端 PGA 上的粗略失调电压调整，4 位 + 符号

1LSB = $(V_{REF})(0.85E - 3)$

表 6-7. 输出放大器 — 增益选择

GO2 [14]	GO1 [13]	GO0 [12]	输出放大器增益
0	0	0	2
0	0	1	2.4
0	1	0	3
0	1	1	3.6
1	0	0	4.5
1	0	1	6
1	1	0	9
1	1	1	禁用内部反馈

表 6-8. 前端 PGA — 增益选择

GI2 GAIN SEL2 [10]	GI1 GAIN SEL1 [9]	GI0 GAIN SEL0 [8]	前端 PGA 增益
0	0	0	4
0	0	1	8
0	1	0	16
0	1	1	23.27
1	0	0	32
1	0	1	42.67
1	1	0	64

表 6-8. 前端 PGA — 增益选择 (续)

G12 GAIN SEL2 [10]	G11 GAIN SEL1 [9]	G10 GAIN SEL0 [8]	前端 PGA 增益
1	1	1	128

表 6-9. 前端 PGA — 多路复用器选择

GI3 MUX CNTL	输入多路复用器状态 ⁽¹⁾
0	$V_{IN1} = V_{INP}$, $V_{IN2} = V_{INN}$
1	$V_{IN1} = V_{INN}$, $V_{IN2} = V_{INP}$

(1) V_{IN1} = 引脚 4, V_{IN2} = 引脚 5, V_{INP} = 前端 PGA 的正输入, V_{INN} = 前端 PGA 的负输入; 请参阅详细方框图 (图 B-1)。

表 6-10. 前端 PGA 上的粗略失调电压调整 — 数据格式示例 ($V_{REF} = +5V$)

OS4 [4]	OS3 [3]	OS2 [2]	OS1 [1]	OS0 [0]	粗略失调电压 (mV)	粗略失调电压
1	1	1	1	1	-59.5	$-14 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	1	1	1	0	-55.25	$-13 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	1	1	0	1	-51	$-12 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	1	1	0	0	-46.75	$-11 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	1	0	1	1	-42.5	$-10 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	1	0	1	0	-38.25	$-9 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	1	0	0	1	-34	$-8 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	1	0	0	0	-29.75	$-7 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	0	1	1	1	-29.75	$-7 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	0	1	1	0	-25.5	$-6 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	0	1	0	1	-21.25	$-5 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	0	1	0	0	-17	$-4 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	0	1	0	1	-12.75	$-3 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	0	0	1	0	-8.5	$-2 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	0	0	0	1	-4.25	$-1 (V_{REF})(0.85E - 3)$
1	0	0	0	0	0	$0V_{REF}$
0	0	0	0	0	0	$0V_{REF}$
0	0	0	0	1	+4.25	$+1 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	0	0	1	0	+8.5	$+2 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	0	0	1	1	+12.75	$+3 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	0	1	0	0	+17	$+4 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	0	1	0	1	+21.25	$+5 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	0	1	1	0	+25.5	$+6 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	0	1	1	1	+29.75	$+7 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	1	0	0	0	+29.75	$+7 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	1	0	0	1	+34	$+8 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	1	0	1	0	+38.25	$+9 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	1	0	1	1	+42.5	$+10 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	1	1	0	0	+46.75	$+11 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	1	1	0	1	+51	$+12 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	1	1	1	0	+55.25	$+13 (V_{REF})(0.85E - 3)$
0	1	1	1	1	+59.5	$+14 (V_{REF})(0.85E - 3)$

6.2.6 寄存器 5 : PGA 配置和过量程/欠量程限制寄存器 (读取/写入 , 地址指针 = 00101)

位编号	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名	RFB	RFB	CLK_CFG1	CLK_CFG0	EXT EN	INT EN	EXT POL	INT POL	RFB	OU EN	HL2	HL1	HL0	LL2	LL1	LL0
POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明 :

RFB : (保留出厂位) : 设置为零以确保正常运行

CLK_CFG[1:0] : 前端 PGA 自动置零和粗略失调电压调整 DAC 斩波的时钟方案

EXTEN : 启用外部故障比较器组 (INP_HI、INP_LO、INN_LO、INN_HI)

1 = 启用外部故障比较器组

0 = 禁用外部故障比较器组

INTEN : 启用内部故障比较器组 (A2SAT_LO、A2SAT_HI、A1SAT_LO、A1SAT_HI、A3_VCM)

1 = 启用内部故障比较器组

0 = 禁用内部故障比较器组

EXTPOL : 如果 EXTEN = 1 , 当外部故障比较器组检测到故障时 , 选择 V_{OUT} 输出极性

1 = 当外部故障比较器组中的任何比较器检测到故障时强制 V_{OUT} 为高电平

0 = 当外部故障比较器组中的任何比较器检测到故障时强制 V_{OUT} 为低电平

INTPOL : 如果 INTEN = 1 , 当内部故障比较器组检测到故障时 , 选择 V_{OUT} 输出极性

1 = 当内部故障比较器组中的任何比较器检测到故障时强制 V_{OUT} 为高电平

0 = 当内部故障比较器组中的任何比较器检测到故障时强制 V_{OUT} 为低电平

OUEN : 过量程/欠量程限制使能。

1 = 启用过量程/欠量程限制

0 = 禁用过量程/欠量程限制

HL[2:0] : 过量程阈值选择

LL[2:0] : 欠量程阈值选择

表 6-11. 时钟配置 (前端 PGA 自动置零和粗略调整 DAC 斩波)

CIK_CFG1 [13]	CLK_CFG0 [12]	PGA 前端自动置零	粗略调整 DAC 斩波
0	0	7kHz 典型值	3.5kHz 典型值
0	1	7kHz 典型值	关 (无)
1	0	7kHz 典型值, 随机时钟	3.5kHz 典型值, 随机时钟
1	1	7kHz 典型值	3.5kHz 典型值, 随机时钟

表 6-12. 过量程阈值选择 ($V_{REF} = +5V$)

HL2 [5]	HL1 [4]	HL0 [3]	过量程阈值 (V)	过量程阈值
0	0	0	4.854	$0.9708 V_{REF}$
0	0	1	4.805	$0.9610 V_{REF}$
0	1	0	4.698	$0.9394 V_{REF}$
0	1	1	4.580	$0.9160 V_{REF}$
1	0	0	4.551	$0.9102 V_{REF}$
1	0	1	3.662	$0.7324 V_{REF}$
1	1	0	2.764	$0.5528 V_{REF}$
1	1	1	保留	—

表 6-13. 欠量程阈值选择 ($V_{REF} = +5V$)

LL2 [2]	LL1 [1]	LL0 [0]	欠量程阈值 (V)	欠量程阈值
0	0	0	0.127	$0.02540 V_{REF}$
0	0	1	0.147	$0.02930 V_{REF}$
0	1	0	0.176	$0.03516 V_{REF}$
0	1	1	0.196	$0.03906 V_{REF}$
1	0	0	0.225	$0.04492 V_{REF}$
1	0	1	0.254	$0.05078 V_{REF}$
1	1	0	0.274	$0.05468 V_{REF}$
1	1	1	0.303	$0.06054 V_{REF}$

6.2.7 寄存器 6：温度 ADC 控制寄存器 (读取/写入，地址指针 = 00110)

位编号	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名	RFB	RFB	ADC2X	ADCS	ISEN	CEN	TEN	AREN	RV1	RV0	M1	M0	G1	G0	R1	R0
POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明：

RFB：保留出厂位：设置为零以确保正常运行

ADC2X：温度 ADC 以 2 倍速度运行 (不适用于内部温度检测模式)

0 = 1 倍转换速度 (典型值 6ms，R1、R0 = “00”，TEN = “0”，AREN = “0”)

1 = 2 倍转换速度 (典型值 3ms，R1、R0 = “00”，TEN = “0”，AREN = “0”)

ADCS：启动 (重启) 温度 ADC (如果 CEN = 0，则进行单次转换控制)

0 = 不启动/重启温度 ADC

1 = 启动/重启温度 ADC (每次写入 “1” 都会引起单次转换；转换完成后，ADC = “0”)

ISEN：TEMP_{IN} 电流源 (I_{TEMP}) 使能

1 = 启用 7μA 电流源 I_{TEMP}

0 = 禁用 7μA 电流源 I_{TEMP}

CEN：启用温度 ADC 连续转换模式

1 = 连续转换模式

0 = 非连续转换模式

TEN：内部温度模式使能

1 = 启用内部温度模式

0 = 外部信号模式

对于 TEN = 1，请将以下位设置为如下所示：

ADC2X = 0

ADCS = 按需设置

CEN = 按需设置

AREN = 0

RV[1:0] = 00

M[1:0] = 00

G[1:0] = 00

R[1:0] = 设置为所需的温度 ADC 分辨率

AREN：温度 ADC 内部基准使能

1 = 启用温度 ADC 内部基准 (内部基准的典型值为 2.048V)

0 = 禁用温度 ADC 内部基准 (使用外部 ADC 基准；请参阅 RV[1:0])

RV[1:0]：温度 ADC 外部基准选择 (V_{SA}、V_{EXC}、V_{REF})

M[1:0]：温度 ADC 输入多路复用器选择

G[1:0]：温度 ADC PGA 增益选择 (1、2、4 或 8 倍)

R[1:0]：温度 ADC 分辨率 (转换时间) 选择

表 6-14. 温度 ADC 基准选择

AREN [8]	RV1 [7]	RV0 [6]	温度 ADC 基准 (V _{REF})
0	0	0	V _{REF}
0	0	1	V _{EXC}
0	1	0	V _{SA}
0	1	1	出厂保留
1	X	X	温度 ADC 内部基准 (2.048V)

表 6-15. 温度 ADC 输入多路复用器选择

M1 [5]	M0 [4]	温度 ADC PGA +输入	温度 ADC PGA -输入
0	0	TEMP _{IN}	GND _A
0	1	V _{EXC}	TEMP _{IN}
1	0	V _{OUT}	GND _A
1	1	V _{REF}	TEMP _{IN}

表 6-16. 温度 ADC PGA 增益选择

G1 [3]	G0 [2]	温度 ADC PGA 增益
0	0	1
0	1	2
1	0	4
1	1	8

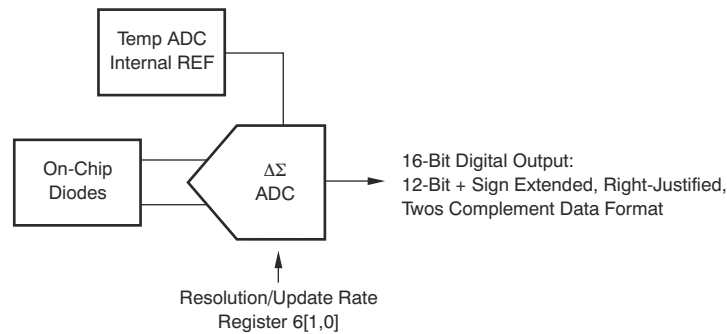


图 6-3. 内部温度模式 (寄存器 6 [9] = “1”)

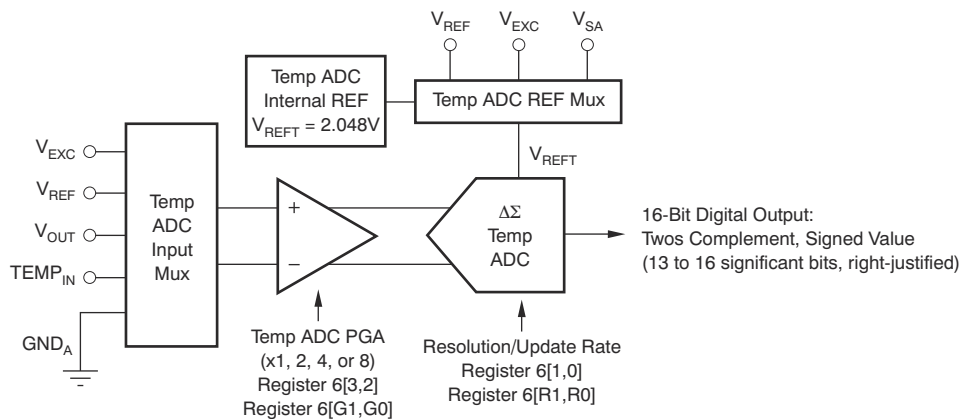


图 6-4. 外部信号模式 (寄存器 6 [9] , TEN = “0”)

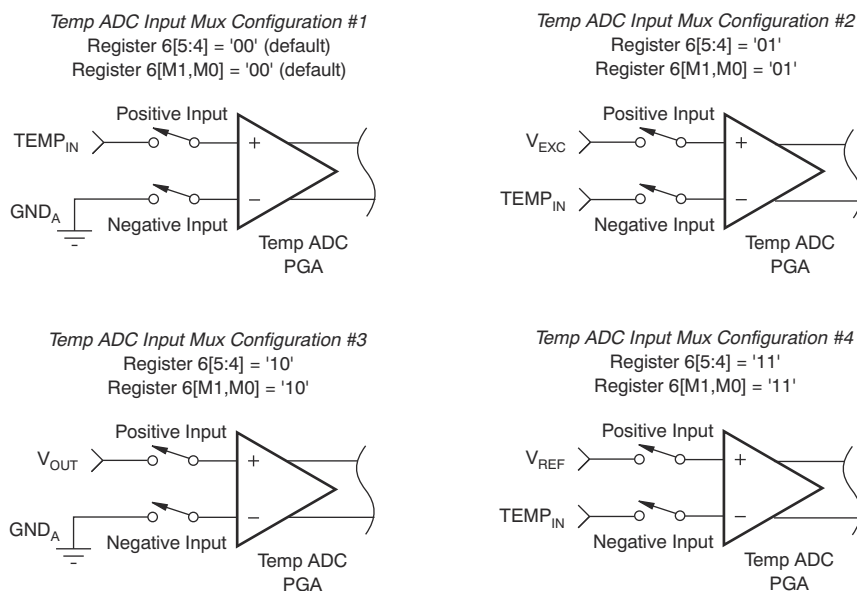


图 6-5. 温度 ADC 多路复用器配置

表 6-17. 温度 ADC 一分辨率 (转换时间) 选择

R1 [1]	R0 [0]	内部温度模式 [TEN = 1]	外部信号模式 [TEN = 0], 外部基准 [AREN = 0]	外部信号模式 [TEN = 0], 内部基准 [2.048V, AREN = 1]
0	0	9 位 + 符号, 0.5°C, (3ms)	11 位 + 符号 (6ms)	11 位 + 符号 (8ms)
0	1	10 位 + 符号, 0.25°C, (6ms)	13 位 + 符号 (24ms)	13 位 + 符号 (32ms)
1	0	11 位 + 符号, 0.125°C, (12ms)	14 位 + 符号 (50ms)	14 位 + 符号 (64ms)
1	1	12 位 + 符号, 0.0625°C, (24ms)	15 位 + 符号 (100ms)	15 位 + 符号 (128ms)

6.2.8 寄存器 7：输出使能计数器控制寄存器（读取/写入，地址指针 = 00111）

位编号	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名	RFB	RFB	RFB	RFB	DLY3	DLY2	DLY1	DLY0	OEN7	OEN6	OEN5	OEN4	OEN3	OEN2	OEN1	OEN0
POR 值	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

位说明：

RFB：保留出厂位：设置为零以确保正常运行

DLY[3:0]：温度 ADC 延迟

在对该寄存器进行有效写入之后，温度 ADC 在经过 $DLY[3:0] \times 10\text{ms}$ 后开始转换。初始计数 $DLY[3:0]$ 每 10ms 递减一次，直到计数为零，然后启用温度 ADC。这样可在应用温度补偿之前使线性化和激励模拟电路稳定下来。

OEN[7:0]：用于单线制接口/ V_{OUT} 多路复用模式的输出使能计数器。

对该寄存器执行有效写入操作后会启用 V_{OUT} 。任何非零值 = V_{OUT} 启用初始计数每 10ms 递减一次，直到计数为零，然后禁用 V_{OUT} 。在禁用 V_{OUT} 后会设置一个一秒内部计时器。如果在外部控制器的单线制接口（PRG 引脚）或两线制接口上发生串行通信，则只要 PGA309 至少每秒被寻址一次， V_{OUT} 就会保持禁用状态。

表 6-18. 温度 ADC — V_{OUT} 启用后的延迟

DLY3 [11]	DLY2 [10]	DLY1 [9]	DLY0 [8]	十进制等效值 (初始计数器值)	温度 ADC 延迟 ⁽¹⁾ (ms)
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	14
0	0	1	0	2	28
0	0	1	1	3	42
0	1	0	0	4	56
0	1	0	1	5	70
0	1	1	0	6	84
0	1	1	1	7	98
1	0	0	0	8	112
1	0	0	1	9	126
1	0	1	0	10	140
1	0	1	1	11	154
1	1	0	0	12	168
1	1	0	1	13	182
1	1	1	0	14	196
1	1	1	1	15	210

(1) 温度 ADC 延迟 = 初始计数器值 \times 14ms

表 6-19. 用于单线制接口/ V_{OUT} 多路复用模式的输出使能计数器

数字输入 OEN7.....OEN0 [7.....0] (二进制)	十进制等效值 (初始计数器值)	V_{OUT} 启用超时 ⁽¹⁾ (ms)
0000 0000	0	0 (V_{OUT} 禁用)
0010 0000	32	448
0100 0000	64	896
0110 0000	96	1344
1000 0000	128	1792

表 6-19. 用于单线制接口/V_{OUT} 多路复用模式的输出使能计数器 (续)

数字输入 OEN7……OEN0 [7……0] (二进制)	十进制等效值 (初始计数器值)	V _{OUT} 启用超时 ⁽¹⁾ (ms)
1010 0000	160	2240
1100 0000	192	2688
1110 0000	224	3136
1111 1111	255	3570

(1) V_{OUT} 启用超时 = 初始计数器值 x 14ms

6.2.9 寄存器 8：警报状态寄存器 (只读，地址指针 = 01000)

位编号	D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
位名	X	X	X	X	X	X	X	ALM8	ALM7	ALM6	ALM5	ALM4	ALM3	ALM2	ALM1	ALM0
POR 值	0	0	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X

位说明：

ALM[8:0]：故障监测比较器输出 (1 = 故障状态)

请参阅节 2.8 (故障监测)。ALM8 — A1SAT_HI

ALM7 — A1SAT_LO

ALM6 — A2SAT_HI

ALM5 — A2SAT_LO

ALM4 — A3_VCM

ALM3 — INN_HI

ALM2 — INN_LO

ALM1 — INP_HI

ALM0 — INP_LO

This page intentionally left blank.

附录 A
外部 EEPROM 示例



本附录使用一个示例来说明 PGA309 内部寄存器到外部 EEPROM 寄存器配置数据和查找表系数的映射。

A.1 PGA309 外部 EEPROM 示例	126
--------------------------------------	------------

A.1 PGA309 外部 EEPROM 示例

图 A-1 中的 PGA309 电路配置在 PGA309EVM (评估模块) 中用于检查 PGA309 的功能是否正常。表 A-1 详细说明了 PGA309 的所需配置。增益和失调电压调节如示例 A-1 所示。图 A-2 显示了内部 PGA309 16 位数据如何映射到外部 EEPROM 8 位地址位置。外部 EEPROM 值显示在表 A-2 中，其中还详细说明了如何为本示例计算 Checksum1 和 Checksum2。

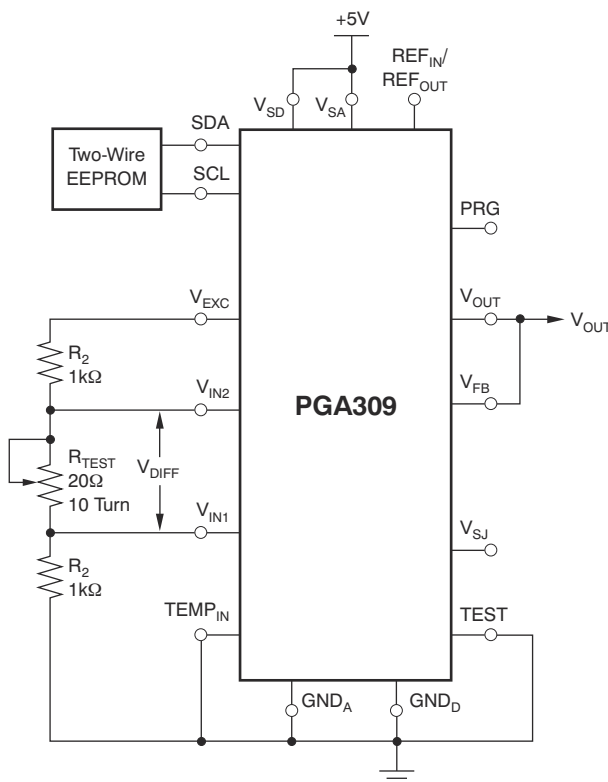


图 A-1. PGA309 外部 EEPROM 电路示例

表 A-1. PGA309 外部 EEPROM 配置示例

参数	所需设置	注释
V_{DIFF}	0V 至 33.67mV	将 RTEST 从 0Ω 调整到 20Ω
V_{REF}	4.096V	使用内部 PGA309 基准
V_{EXC}	3.4V	使用线性化电路, 范围 0 ($K_{EXC} = 0.83$), $Lin\ DAC = 0$
粗略失调电压	-3.277mV	
前端 PGA 增益	64	
增益 DAC	1	
输出放大器增益	2.4	
零 DAC	100mV	
过量程	3.876V	
欠量程	0.245V	
V_{OUT} 理想值	-0.263V 至 +4.908V	禁用过量程和欠量程
V_{OUT} 最终值	0.245V 至 3.876V	启用过量程和欠量程
故障检测	外部比较器	启用
	故障检测极性	正
	内部比较器	禁用

表 A-1. PGA309 外部 EEPROM 配置示例 (续)

参数	所需设置	注释
温度 ADC	内部模式	
输出使能计数器	设置为全零	
EEPROM 温度系数		设置为所有温度 $\leq +128^{\circ}\text{C}$ ，使用相同的增益 DAC 和零 DAC 设置

示例 A-1. 外部 EEPROM 的增益和失调电压调节

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{DIFF}} (\text{前端 PGA 增益}) (\text{增益 DAC}) (\text{输出放大器增益}) + \text{粗略失调电压} (\text{前端 PGA 增益}) (\text{增益 DAC}) (\text{输出放大器增益}) + \text{零 DAC} (\text{增益 DAC}) (\text{输出放大器增益})$$

$$V_{\text{OUT}} = V_{\text{DIFF}} (64)(1)(2.4) + -3.277\text{mV} (64)(1)(2.4) + 100\text{mV}$$

$$(1)(2.4) V_{\text{OUT}} = V_{\text{DIFF}} (153.6) - 0.2633\text{V}$$

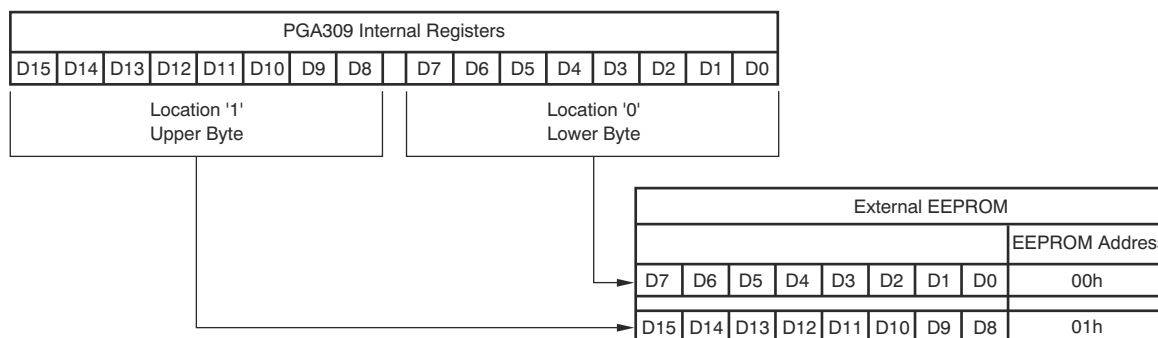


图 A-2. 外部 EEPROM 的增益和失调电压调节示例

表 A-2. 外部 EEPROM 的最终值示例

8 位 EEPROM 加载				位置 "1"								位置 "0"								十六进制 等效值
PGA309 外部 EEPROM 第一部分 (配置数据)				8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1	
外部 EEPROM 地址 (十进 制)	PGA309 内 部寄存器地 址	PGA309 内部 地址说明	数据	高位字节								低位字节								
				D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
1/0 MSB/LSB			编程的标志值 必须为所示值	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	5449
3/2 MSB/LSB			未使用;设置 为零	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0000
5/4 MSB/LSB			未使用;设置 为零	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0000
7/6 MSB/LSB	00011 (寄存器 3)	参考控制和线 性化		RFB	RFB	RFB	RFB	EXS	EXEN	RS	REN	LD7	LD6	LD5	LD4	LD3	LD2	LD1	LD0	
7/6				0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0500
9/8 MSB/LSB	00100 (寄存器 4)	PGA 粗略失调 电压和增益/输 出放大器增益		OWD	GO2	GO1	GO0	GI3	GI2	GI1	GI0	RFB	RFB	RFB	OS4	OS3	OS2	OS1	OS0	
9/8				0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1611
11/10 MSB/LSB	00101 (寄存器 5)	PGA 配置和过 量程/欠量程限 制		RFB	RFB	CLK_ CFG1	CLK_ CFG0	EXTEN	INTEN	EXTPOL	INTPOL	RFB	OU EN	HL2	HL1	HL0	LL2	LL1	LL0	
11/10				0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0A47
13/12 MSB/LSB	00110 (寄存器 6)	温度 ADC 控制		RFB	RFB	ADC2X	ADCS	ISEN	CEN	TEN	AREN	RV1	RV0	M1	M0	G1	G0	R1	R0	
13/12				0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1603
																			SUM = 8FA4h	

表 A-2. 外部 EEPROM 的最终值示例 (续)

8 位 EEPROM 加载				位置 “1”								位置 “0”								十六进制 等效值
PGA309 外部 EEPROM 第一部分 (配置数据)				8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1	8	4	2	1	
外部 EEPROM 地址 (十进 制)	PGA309 内 部寄存器地 址	PGA309 内 部地址说明	数据	高位字节								低位字节								
				D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
15/14 MSB/LSB		FFFF - sum(每个位置 的十六进制等 效值 - 1/10 至 13/12) 在 16 位 以上截断	Checksum1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	705B
17/16 MSB/LSB			T0 (温度 ≤ T0 时的温度指数 值)	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0800
19/18 MSB/LSB			Z0 (温度 ≤ T0 时的零 DAC 值)	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0640
21/20 MSB/LSB			G0 (温度 ≤ T0 时的增益 DAC 值)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	起始值也 可以是 0, 但是 由于 SysTick 中断和 COUNTF LAG 在计 数从 1 到 0 时都会 被激活, 所以没什 么作用
23/22 MSB/LSB			T _{END} (查找表 结尾)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7FFF
25/24 MSB/LSB			ZM _{END} (查找 表结尾)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0000
																			SUM = 18E3Eh	
27/26 MSB/LSB		FFFF - sum(每个位置 的十六进制等 效值 - 17/16 至 25/24) 在 16 位以上截断	GM _{END} (Checksum2)	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	71C1

This page intentionally left blank.

附录 B
详细方框图



附录 B 展示了 PGA309 的详细方框图。

B.1 详细方框图	132
------------------------	------------

B.1 详细方框图

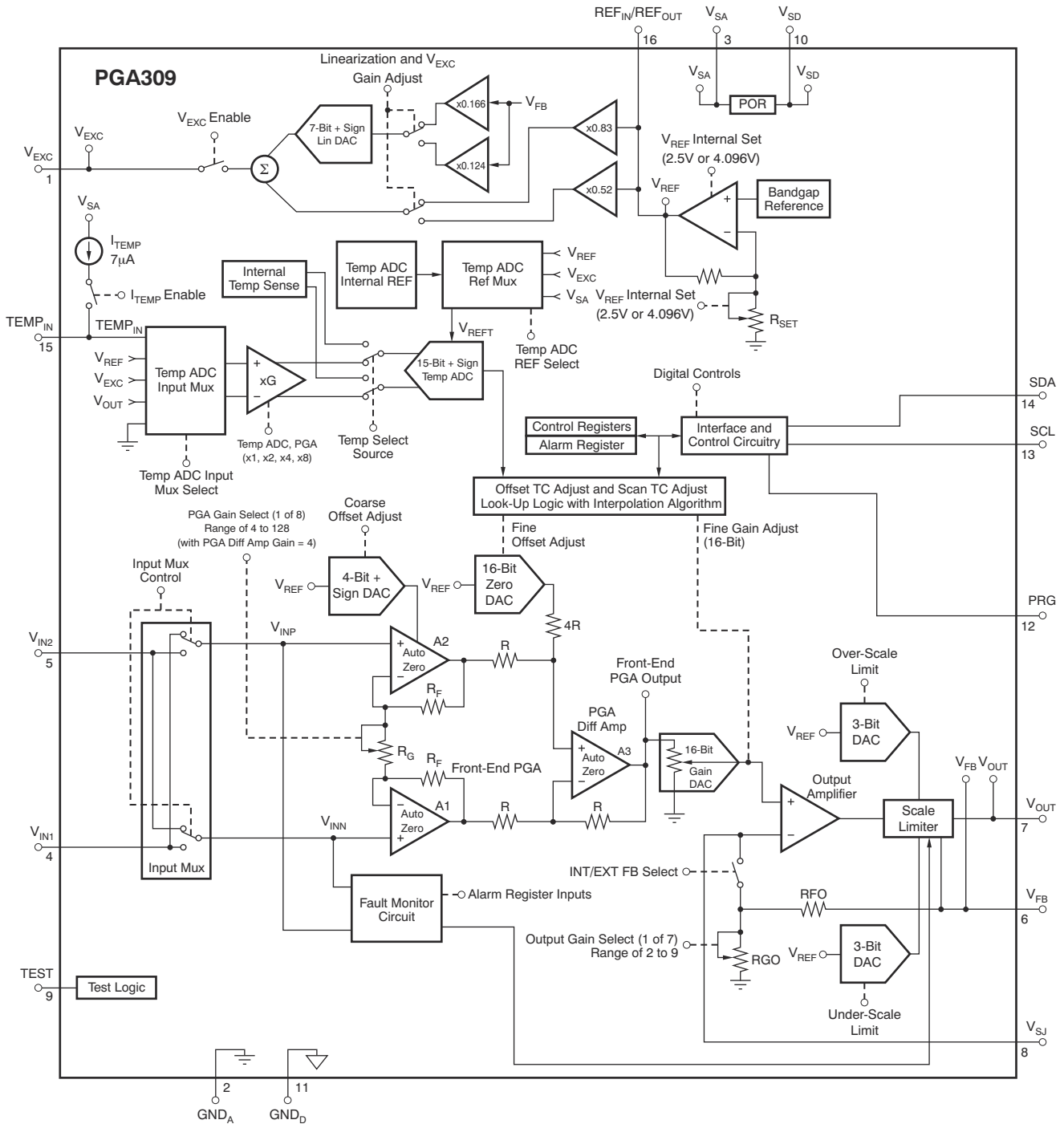


图 B-1. 详细方框图



ADC 模数转换器

B_V 施加压力时的电桥非线性

$$B_V = \frac{V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}}{\left(\frac{4 \cdot V_{REF} \cdot K_{EXC}}{K_{LIN}}\right) + 4 \cdot (V_{OUT_MAX} + V_{OUT_MIN})}$$

B_{V MAX} 最大可补偿非线性

$$B_{V_MAX} = \frac{V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}}{\left(\frac{4 \cdot V_{REF} \cdot K_{EXC}}{K_{LIN_MAX}}\right) + 4 \cdot (V_{OUT_MAX} + V_{OUT_MIN})}$$

$$B_{V_MAX} = \frac{V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}}{\left(\frac{4 \cdot V_{REF} \cdot K_{EXC}}{K_{LIN_MAX}}\right) + 4 \cdot (V_{OUT_MAX} + V_{OUT_MIN})}$$

C_F 在 V_{SJ} 和 V_{OUT} 之间连接的外部反馈电容器，用于确保稳定性

共模抑制 (CMR) 共模抑制

DAC 数模转换器

EMI 电磁干扰

FSR PGA309 输出的满标量程

$$FSR = V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}$$

FSS P_{MAX} 时传感器的满量程电桥灵敏度 (例如, 2mV/V)

G_{IDEAL} 理想增益

$$G_{IDEAL} = \frac{V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}}{V_{REF} \cdot FSS}$$

G_L 使用线性化电路时 PGA309 的增益

$$G_L = \frac{(V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN})}{(V_{REF} \cdot K_{EXC} \cdot FSS) + (K_{LIN} \cdot V_{OUT_MAX} \cdot FSS)}$$

GND_A	模拟接地
GND_D	数字接地
G_T	PGA309 产生的 V _{OUT} /V _{IN} 增益的总增益 G _T = (前端 PGA 增益) (增益 DAC) (输出放大器增益)
IVR	PGA309 的输入电压范围
K_{LIN}	PGA 线性化系数 $K_{LIN} = \frac{4 \cdot B_V \cdot V_{REF} \cdot K_{EXC}}{(V_{OUT_MAX} - V_{OUT_MIN}) - 2 \cdot B_V \cdot (V_{OUT_MAX} + V_{OUT_MIN})}$
K_{LIN -MAX}	最小负线性化系数，其值由所选的桥式传感器非线性补偿范围决定。
K_{LIN +MAX}	最大正线性化系数，其值由所选的桥式传感器非线性补偿范围决定。
K_{EXC}	PGA 激励系数。V _{REF} 上的比例因子
K_P	压力常量。将线性输入压力转换为传感器检测到的非线性压力；以满量程输入压力为基准
LSB	最低有效位
MSB	最高有效位
P	压力输入
P_{MIN}	最小传感器输入压力
P_{MAX}	最大传感器输入压力
PNL	具有线性压力输入 P 的电桥的非线性压力输出
POR	上电复位功能
PRG	单线制接口编程引脚
R_{BRG}	电桥电阻值
R_{FB}	连接到 V _{FB} 的外部反馈电阻
R_{Fo}	输出放大器的内部反馈电阻
R_{Fo EXT}	输出放大器的额外外部反馈电阻
R_{Go}	输出放大器的内部增益电阻
R_{Go EXT}	输出放大器的额外外部增益电阻
R_{ISO}	连接到 V _{OUT} 的外部隔离电阻。

REF_{IN}/REF_{OUT}	电压基准输入/输出引脚
RFI	射频干扰
RTO	以输出为基准
SCL	两线制串行接口的时钟输入/输出
SDA	两线制串行接口的数据输入/输出
TEMP_{IN}	外部温度信号输入
测试	测试/外部控制器模式引脚
V_{BRMAX}	桥式传感器最大输出
V_{CM}	施加到 PGA309 输入端的共模电压
	$V_{CM} = \left(\frac{V_{INP} + V_{INN}}{2} \right)$
V_{COS}	粗略失调电压调整 DAC 的粗略失调电压输出
V_{DIFF}	施加到 PGA309 输入端的差分电压
	$V_{DIFF} = V_{INP} - V_{INN}$
V_{EXC}	桥式传感器激励电压
	$V_{EXC} = V_{REF} \cdot K_{EXC} + K_{LIN} \cdot V_{OUT}$
V_{EXC MAX}	桥式传感器最大激励电压
	$V_{EXC MAX} = V_{REF} \cdot K_{EXC} + K_{LIN} \cdot V_{OUT_MAX}$
V_{EXC MIN}	桥式传感器最小激励电压
	$V_{EXC MIN} = V_{REF} \cdot K_{EXC} + K_{LIN} \cdot V_{OUT_MIN}$
V_{FB}	V _{OUT} 反馈引脚
V_{FRONT}	前端 PGA309 的差分放大器 A3 的输出
V_{IN1}	信号输入电压 1
V_{IN2}	信号输入电压 2
V_{INN}	前端 PGA 的内部自动置零放大器 A1 的正输入
V_{INP}	前端 PGA 的内部自动置零放大器 A2 的正输入
V_N	电桥的一个支路的输出电压
V_{OA1}	内部自动置零放大器 A1 的输出电压

$$V_{OA1} = V_{CM} - G \left(\frac{V_{DIFF}}{2} \right)$$

V_{OA2} 内部自动置零放大器 A2 的输出电压

$$V_{OA2} = V_{CM} + G \left(\frac{V_{DIFF}}{2} \right)$$

V_{OS} 传感器失调电压

V_{OUT} 经调节的传感器的模拟输出电压

V_{OUT ERR FSR} V_{OUT} 的 %FSR 误差

V_{OUT FILT} 经滤波的 V_{OUT}

V_{OUT IDEAL} 在给定压力 P 下的理想输出

$$V_{OUT_IDEAL} = FSS \cdot G_{IDEAL} \left(\frac{P}{P_{MAX}} \right) V_{REF} + V_{OS}$$

V_{OUT MAX} 桥式传感器最大输出的 V_{OUT}

V_{OUT MIN} 桥式传感器最小输出的 V_{OUT}

V_P 电桥的一个支路的输出电压

V_{REF} PGA309 使用的基准电压 (内部或外部)

V_{REFT} 温度 V_{REF}

V_S 电源电压

V_{SA} 模拟电源电压

V_{SD} 数字电源电压

V_{SJ} 输出放大器求和结

V_{TEST} 测试信号

V_{ZERO DAC} 零 DAC 的输出电压

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 B (January 2011) to Revision C (July 2023)	Page
• 更新了节 3.2.1 (温度查找表计算)	67
• 添加了节 5.4 (PGA309 校准过程)	104

This page intentionally left blank.

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司