

Emmanuel Adrados,  
Paul Blanchard  
ADI公司

# 电流检测放大器的 差分过压保护电路

in 分享至LinkedIn

✉ 电子邮件

## 简介

恶劣环境是电机控制或电磁阀控制应用中的许多电气系统必须面对的现实。控制电机和电磁阀的电子装置需要非常接近使终端应用发生物理运动的高电流和电压。除了近距离外，这些系统常常会进行维修(例如，雇佣技工更改洗碗机电磁阀的控制基板)，这就为非故意的接线错误留下了可能性。接近高电流和电压，加上接线不当的可能性，要求设计需要考虑过压保护。

为了构建高效安全的系统，须使用精密电流检测放大器来监控这些应用中的电流。精密放大器电路设计需要防止过压影响，但这种保护电路可能会影响放大器的精度。

适当地设计、分析和验证电路，可以在保护和精度之间达成平衡。本文讨论两种常见保护电路，以及这些电路的实施会如何影响电流检测放大器的精度。

## 电流检测放大器

大部分电流检测放大器可处理高共模电压(CMV)，但不能处理高差分输入电压。在某些应用中，存在分流器的差分输入电压超过放大器的额定最大电压的情况。这在工业和汽车电磁阀控制应用(图1)中很常见，短路可能会引发故障，将电流检测放大器暴露于高差分输入电压(其可能达到与电池相同的电位)之下。这种差分过压可能会损坏放大器，尤其是在没有保护电路的情况下。

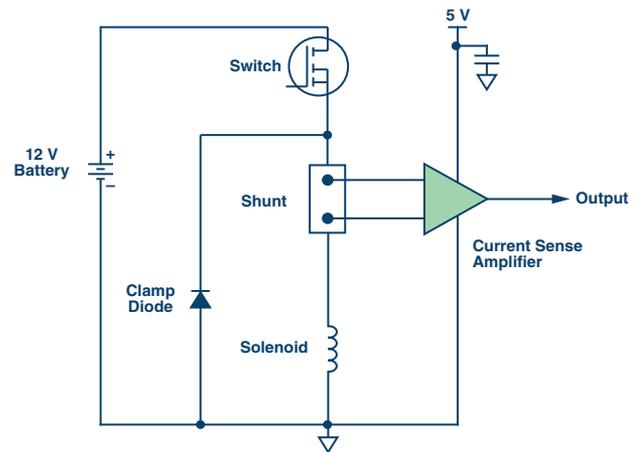


图1. 电磁阀控制应用中的高端电流检测

## 过压保护电路

图2显示电流检测放大器的过压保护基本连接。当差分输入电压超过指定放大器的最大额定值时，放大器就可能会将电流拉入内部保护二极管。若输入引脚之间存在大差分电压信号，则额外的串联电阻R1和R2可防止大电流流入内部保护二极管。

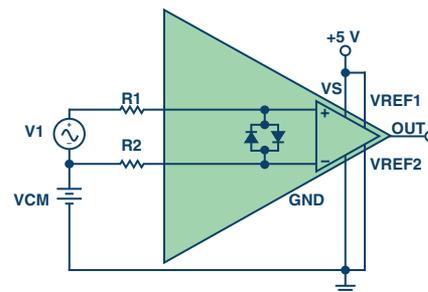


图2. 基本过压保护电路

保护电路能够承受的最大额定电压和最大输入电流随器件而不同。一般经验法则是，流过内部差分保护二极管的电流应以3 mA为限，除非规格书指明可接受更大的电流值。将该值代入以下等式，计算R1和R2的值：

$$\frac{V_{IN\_MAX} - V_{RATED\_MAX}}{R} = 3 \text{ mA}$$

其中： $V_{IN\_MAX}$ 是预计最大差分电压。 $V_{RATED\_MAX}$ 是最大额定电压(0.7 V)。R是总串联电阻( $R1 + R2$ )。

例如，假设预计最大瞬态输入电压为10 V，则等式为：

$$\frac{10 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{R} = 3 \text{ mA}$$

如果 $R = 3.1 \text{ k}\Omega$ ，则根据等式1， $R1$ 和 $R2 = 1.55 \text{ k}\Omega$ 。

$R1$ 和 $R2$ 的这些数值非常大，考虑到特定放大器的输入阻抗， $R1$ 和 $R2$ 会对总系统性能贡献较大误差。

降低 $R1$ 和 $R2$ 的一种方法是在输入引脚增加电流能力更高的外部保护二极管，如图3所示。

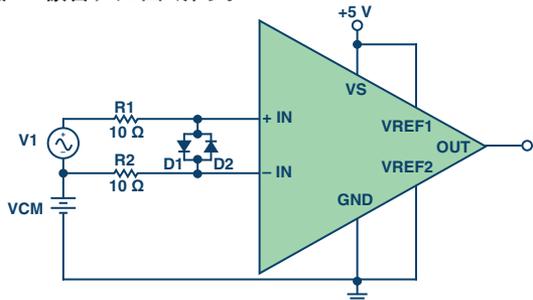


图3. 外置输入差分保护二极管的过压保护电路

例如，使用Digi-Key B0520LW-7-F肖特基二极管时(该二极管可处理高达500 mA正向电流)，R值降低至20 Ω。

## 系统性能的权衡

在放大器输入端加入串联电阻可能会降低某些性能参数。某些放大器中， $R1$ 和 $R2$ 与内部精密电阻串联。在其他放大器中，失调电流与电阻一同产生失调电压。更有可能受影响的参数是增益误差、共模抑制比(CMRR)和失调电压。

为了研究串联电阻的潜在影响，测量了两款电流检测放大器，其输入引脚均配置有保护电阻。评估增益误差、CMRR和失调电压的测试设置如图4所示。该设置采用Agilent E3631A电源向器件提供5 V单电源，采用Yokogawa GS200精密直流源产生差分输入电压信号，采用HAMEG HMP4030设置CMV，采用Agilent 3458A精密万用表测量电流检测放大器的输出电压。

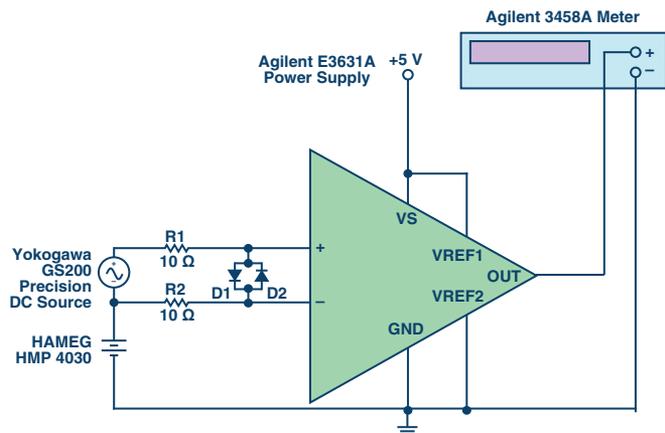


图4. 评估增益误差、CMRR和失调电压的测试设置

评估AD8210和AD8418以便测量额外串联电阻对器件增益误差、CMRR和失调电压参数的影响。

## 增益误差

当串联电阻与放大器输入端串联时，它们与放大器的差分输入阻抗一起构成一个电阻分压器。该电阻分压器引入一个衰减，其作为额外增益误差出现在电路中。放大器的差分输入阻抗越低，该额外增益误差越大。

表1显示AD8210经计算得到的额外增益误差和实际增益误差。分别在带与不带保护电路的情况下测试AD8418。表2显示该放大器经计算得到的额外增益误差和实际增益误差。

实测结果是，AD8418增益误差偏移0.013%，而AD8210偏移0.497%。AD8418和AD8210的输入阻抗分别是150 kΩ和2 kΩ，因此，AD8418引入的误差会远小于AD8210。

## 共模抑制比

由于电流检测放大器经常暴露在高CMV的环境中，因此CMRR是最重要的规格参数之一。CMRR衡量器件抑制高CMV和获得最优精度与性能的能力。即放大器的两个输入端施加相等电压时，所测得的输出电压变化。CMRR定义为差分增益与共模增益之比，通常以dB表示。

使用以下等式计算两个放大器的CMRR值：

$$CMRR = \left| \frac{A_{DM}}{A_{CM}} \right| = \left| \frac{20 \times \Delta V_{CM}}{\Delta V_{OUT}} \right|$$

其中： $A_{DM}$ 为AD8210和AD8418的差分增益( $A_{DM} = 20$ )。 $A_{CM}$ 为共模增益 $\Delta V_{OUT}/\Delta V_{CM}$ 。

当串联电阻与放大器输入端串联时，串联电阻的失配会加到内部电阻的失配上，这会影响到CMRR。

电流检测放大器AD8210和AD8418的CMRR测量结果分别如表3和表4所示。

结果表明, 额外外部串联电阻的影响是AD8418 CMRR降低, 而对AD8210 CMRR的影响相对较小。AD8418变为89 dB, AD8210则几乎保持不变(94 dB)。对于固定增益器件, AD8418和AD8210的共模阻抗相对较高, 分别为750 kΩ和5 MΩ。

**表1. AD8210增益误差**

R1 (Ω)	R2 (Ω)	额外增益误差(%)	实际增益(V/V)	实际增益误差(%)
0	0	0	19.9781	-0.1095
10.2	10.2	0.497	19.88089	-0.59705

**表2. AD8418增益误差**

R1 (Ω)	R2 (Ω)	额外增益误差(%)	实际增益(V/V)	实际增益误差(%)
0	0	0	19.99815	-0.00925
10.2	10.2	0.013	19.9955	-0.0225

**表3. AD8210 CMRR性能(增益为20)**

R1 (Ω)	R2 (Ω)	CMV = 0 V和4 V (dB)	CMV = 4 V和6 V (dB)	CMV = 4 V和65 V (dB)	CMV = 6 V和65 V (dB)
0	0	-92.77	-104.96	-121.49	-123.35
10.2	10.2	-94.37	-107.99	-121.86	-123.10

**表4. AD8418 CMRR性能(增益为20)**

R1 (Ω)	R2 (Ω)	CMV = 0 V和35 V (dB)	CMV = 35 V和70 V (dB)	CMV = 0 V和70 V (dB)
0	0	-127.72	-123.72	-138.39
10.2	10.2	-88.89	-104.35	-93.05

**表5. 由输入失调电流和外部阻抗引起的AD8210额外失调电压**

R1 (Ω)	R2 (Ω)	V <sub>OUT</sub> (mV)	额外失调电压(RTI)(μV)
0	0	5.598	0
10.2	10.2	5.938	17

**表6. 由输入失调电流和外部阻抗引起的AD8418额外失调电压**

R1 (Ω)	R2 (Ω)	V <sub>OUT</sub> (mV)	额外失调电压(RTI)(μV)
0	0	-0.91	0
10.2	10.2	26.09	1.3

## 失调电压

当偏置电流流过外部电阻时, 会产生一个与器件固有失调电压串联的误差电压。为了计算这一额外的失调电压误差, 可将输入失调电流(I<sub>os</sub>, 两个输入偏置电流之差)乘以输入引脚上的外部阻抗, 如以下等式所示:

$$\text{Offset Voltage} = I_{os} \times R$$

其中: I<sub>os</sub>为输入失调电流。R为额外外部阻抗。

基于AD8210和AD8418电流检测放大器测量结果的失调电压增加量分别如表5和表6所示。

结果显示, AD8418失调电压的增加量大于AD8210失调电压的增加量。这是由AD8418约为100 μA的输入失调电流引起的。

输入引脚串联的任何额外阻抗都会与输入失调电流结合, 产生额外失调电压误差。

## 结论

在输入引脚上增加额外的串联电阻是保护电流检测放大器免受电压影响的简单方法。可以测量对增益误差、CMRR和失调电压等性能指标的影响, 这些影响与外部电阻的幅度和所用的电流检测放大器类型直接相关。若设计得当, 电路会改善应用的差分输入电压额定值, 而元件数量增加非常有限, 对精度的影响也非常小。

有关鲁棒放大器过压保护的更多信息, 请参见[模拟对话](#)文章“鲁棒的放大器提供集成过压保护”。

## 参考文献

AD8210数据手册。ADI公司

AD8418数据手册。ADI公司

B0520LW数据手册。Diodes Incorporated。

## 作者简介

Emmanuel Adrados毕业于比科尔国立应用科技学院，获得电子工程学士学位，随后于2011年5月加入ADI公司。他目前是为线性产品提供技术支持的产品应用工程师。业余时间，Emmanuel喜欢下棋和打羽毛球。联系方式：[Emmanuel.Adrados@analog.com](mailto:Emmanuel.Adrados@analog.com)。



Paul Blanchard是ADI公司位于麻萨诸塞州威明顿市的仪器仪表、航空航天与国防业务部门的应用工程师。Paul于2002年加入ADI公司的先进线性产品(ALP)部门，从事仪表放大器和可变增益放大器方面的工作。2009年，作为线性产品部门(LPG)的一员，他主要负责汽车雷达、电流检测和AMR相关应用。目前，作为线性与精密技术(LPT)部门的一员，他从事精密输入信号调理(PISC)信号链技术方面的工作。Paul拥有伍斯特理工学院电气工程学士学位和硕士学位。联系方式：[paul.blanchard@analog.com](mailto:paul.blanchard@analog.com)。



## 在线支持社区



访问ADI在线支持社区，与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

[ezchina.analog.com](http://ezchina.analog.com)

全球总部  
One Technology Way  
P.O. Box 9106, Norwood, MA  
02062-9106 U.S.A.  
Tel: (1 781) 329 4700  
Fax: (1 781) 461 3113

大中华区总部  
上海市浦东新区张江高科技园区  
祖冲之路 2290 号展想广场 5 楼  
邮编: 201203  
电话: (86 21) 2320 8000  
传真: (86 21) 2320 8222

深圳分公司  
深圳市福田中心区  
益田路与福华三路交汇处  
深圳国际商会中心  
4205-4210 室  
邮编: 518048  
电话: (86 755) 8202 3200  
传真: (86 755) 8202 3222

北京分公司  
北京市海淀区  
上地东路 5-2 号  
京蒙高科大厦 5 层  
邮编: 100085  
电话: (86 10) 5987 1000  
传真: (86 10) 6298 3574

武汉分公司  
湖北省武汉市东湖高新区  
珞瑜路 889 号光谷国际广场  
写字楼 B 座 2403-2405 室  
邮编: 430073  
电话: (86 27) 8715 9968  
传真: (86 27) 8715 9931

©2016 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA14187sc-0-6/16(A)

[analog.com/cn](http://analog.com/cn)

