

## 电流检测电路概念和基础

作者: Yang Zhen  
Microchip Technology Inc.

### 简介

电流检测是各种电子应用中的基本要求。

受益于电流检测的典型应用包括:

- 电池寿命指示器和充电器
- 过流保护和监控电路
- 稳流器和稳压器
- 直流 / 直流转换器
- 接地故障检测器
- 线性电源和开关电源
- 比例电磁阀控制, 线性或 PWM
- 医疗诊断设备
- 手持通信设备
- 汽车电源电子设备
- 电机速度控制和过载保护

本应用笔记重点讨论电流检测电路的概念和基础。将介绍电流检测电阻和电流检测技术, 并说明三种典型的上桥臂电流检测实现方案以及各自的优点和缺点。其他电流检测实现方案超出了本应用笔记的范围, 将留待 Microchip Technology Incorporated 以后的应用笔记进行介绍。

### 电流检测电阻

#### 说明

电流传感器是电流的检测和转换设备, 可将电流转换为易于测量的输出电压, 该电压在测量路径中与电流成正比。

传感器多种多样, 每种传感器都适用于特定的电流范围和环境条件。没有一种传感器适合所有应用。

在这些传感器中, 电流检测电阻是最常用的。可以将其看作电流 - 电压转换器, 原理是在电流路径中插入一个电阻, 将电流以  $V = I \times R$  的线性方式转换为电压。

电流检测电阻的主要优点和缺点包括:

- a) 优点:
- 低成本
  - 高测量精度
  - 可测量电流的范围从非常低到中等电流大小
  - 能够测量直流或交流电流
- b) 缺点:
- 将额外的电阻引入了测量电路路径, 这可能增大源输出电阻并产生不需要的负载效应
  - 由于功耗  $P = I^2 \times R$  而产生功率损耗。因此, 除了中低电流检测应用外, 很少有大电流应用使用电流检测电阻。

## 选择标准

使用低值检测电阻可减少前文提到的缺点。但是，检测电阻两端的压降可能会低到与后面的模拟调理电路的输入失调电压相当，这会降低测量精度。

此外，如果测量的电流含有较大的高频分量，则电流检测电阻的固有电感必须很低。否则，电感可产生电动势（Electromotive Force, EMF），这也会降低测量精度。

此外，当要求测量精度时，电阻容差、温度系数、热电动势、额定温度和额定功率也是电流检测电阻的重要参数。

简言之，电流检测电阻的选择对于设计任何种类的电流监视器都是至关重要的。以下选择标准可用作指导：

1. 低电阻紧容差，以在精度与功耗之间建立平衡
2. 高电流能力和高峰值功率额定值，以处理短时和瞬态峰值电流
3. 低电感，以减少由高频分量产生的电动势
4. 低温度系数、低热电动势和耐高温能力（如果温度变化较大）

## 电流检测技术

本节介绍两种适用于电流检测应用的基本技术：下桥臂电流检测和上桥臂电流检测。每种技术都有自己的优点和缺点，接下来的主题中将详细讨论。

### 下桥臂电流检测

如图1所示，下桥臂电流检测将检测电阻连接在负载和地之间。通常，检测到的电压信号（ $V_{SEN} = I_{SEN} \times R_{SEN}$ ）非常小，需要经后面的运放电路（例如，同相放大器）放大才能得到可测量的输出电压（ $V_{OUT}$ ）。

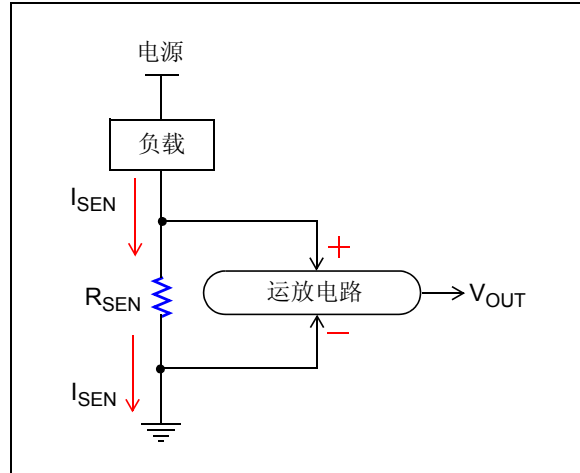


图1：下桥臂电流检测

#### a) 优点：

- 低输入共模电压
- 低  $V_{DD}$  部件
- 接地参考的输入和输出
- 简单且低成本

#### b) 缺点：

- 接地路径干扰
- 系统接地增大了负载，因为  $R_{SEN}$  向接地路径增加了不需要的电阻
- 意外短路引起的高负载电流变得无法检测

在单电源配置中，下桥臂电流检测最重要的方面是运放的共模输入电压范围（ $V_{CM}$ ）必须包括地。MCP6H0X 运放是很好的选择，因为其  $V_{CM}$  从  $V_{SS} - 0.3V$  到  $V_{DD} - 2.3V$ 。

考虑到优点，当不需要短路检测并且可以容忍接地干扰时，可选择下桥臂电流检测。

## 上桥臂电流检测

如图 2 所示，上桥臂电流检测将检测电阻连接在电源和负载之间。检测到的电压信号经后面的运放电路放大得到可测量的  $V_{OUT}$ 。

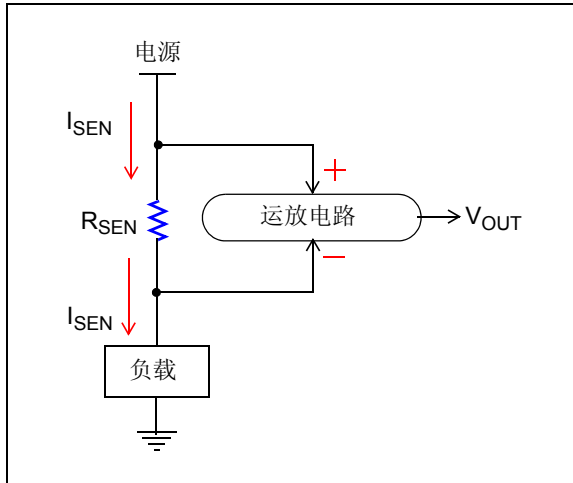


图 2: 上桥臂电流检测

- a) 优点:
- 消除了接地干扰
  - 负载直接连接到系统地
  - 可检测到意外短路引起的高负载电流
- b) 缺点:
- 必须能处理非常高的动态共模输入电压
  - 复杂且成本较高
  - 高  $V_{DD}$  部件

在单电源配置中，上桥臂电流检测最重要的方面是：

- 差分放大器的  $V_{CM}$  范围必须足够宽，以承受高共模输入电压
- 差分放大器能够抑制动态共模输入电压

MCP6H0X 运放很适合上桥臂电流检测，接下来一节将详细讨论。

## 上桥臂电流检测的实现

在不能容忍接地干扰并且需要短路检测的应用（例如，电机监控、过流保护和监控电路、汽车安全系统以及电池电流监视）中，通常选择上桥臂电流检测。

本节将讨论三种典型的上桥臂电流检测实现方案，以及各自的优点和缺点。根据不同的应用要求，总有一种选择是最合适的。

### 单运放差分放大器

图 3 给出了包含 MCP6H01 运放和四个外部电阻的单运放差分放大器。它可通过增益  $R_2/R_1$  放大检测电阻两端的较小压降，同时抑制共模输入电压。

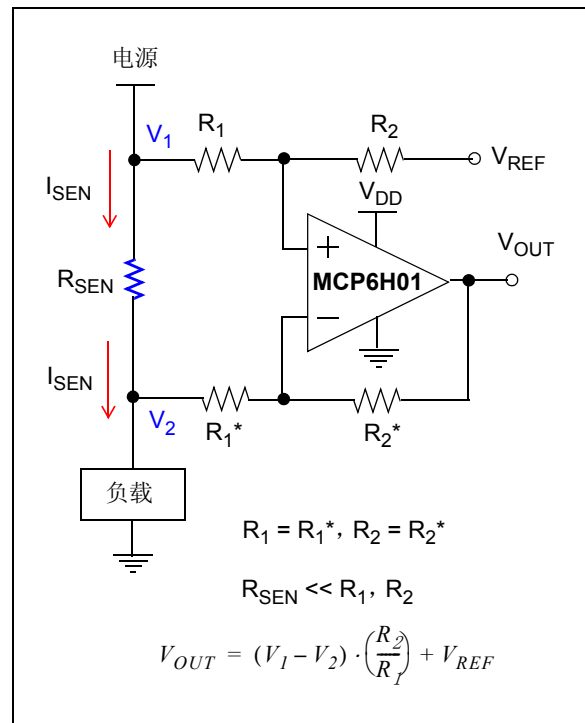


图 3: 单运放差分放大器

差分放大器的共模抑制比 ( $CMRR_{DIFF}$ ) 主要由电阻不匹配 ( $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_1^*$  和  $R_2^*$ ) 决定，而不是由 MCP6H0X 运放的  $CMRR$  决定。

# AN1332

$R_2/R_1$  和  $R_2^*/R_1^*$  的电阻比必须良好匹配，才能获得可接受的  $CMRR_{DIFF}$ 。但是，紧容差电阻将增加此电路的成本。

直流  $CMRR_{DIFF}$  如公式 1 所示。

## 公式 1:

$$CMRR_{DIFF} \approx 20 \log \left( \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{K} \right)$$

在最坏情况下,  $K = 4T_R$

其中:

$T_R$  = 电阻容差

$K$  =  $R_2/R_1$  与  $R_2^*/R_1^*$  的净匹配容差

$CMRR_{DIFF}$  (dB) = 差分放大器的共模抑制比

## 例 1

- 如果  $R_2/R_1 = 1$  且  $T_R = 0.1\%$ ，则最坏情况下的直流  $CMRR_{DIFF}$  将为 54 dB。
- 如果  $R_2/R_1 = 1$  且  $T_R = 1\%$ ，则最坏情况下的直流  $CMRR_{DIFF}$  将仅为 34 dB。

此外,  $R_{SEN}$  应远小于  $R_1$  和  $R_2$ ，以将阻性负载效应降至最低。从  $V_1$  和  $V_2$  的角度看, 差分放大器的输入阻抗是不平衡的。请注意, 阻性负载效应和不平衡的输入阻抗会降低  $CMRR_{DIFF}$ 。

参考电压 ( $V_{REF}$ ) 允许放大器的输出转换为相对于地较高的电压。 $V_{REF}$  必须由低阻抗电源提供, 以避免  $CMRR_{DIFF}$  更差。

此外, 如图 3 所示, 输入电压 ( $V_1$  和  $V_2$ ) 可由共模输入电压 ( $V_{CM}$ ) 和差模输入电压 ( $V_{DM}$ ) 表示:

- $V_1 = V_{CM} + V_{DM}/2$ ,  $V_2 = V_{CM} - V_{DM}/2$
- $V_{OUT} = (V_1 - V_2) \times G + V_{REF} = V_{DM} \times G + V_{REF}$ , 其中  $G = R_2/R_1$

为了防止  $V_{OUT}$  使电源轨饱和, 必须将其保持在允许的  $V_{OUT}$  范围 ( $V_{OL}$  到  $V_{OH}$ ) 内。

差分放大器的  $V_{CM}$  范围由于  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_1^*$  和  $R_2^*$  形成的分压电阻而增大。

简言之, 差分放大器的  $V_{DM}$  和  $V_{CM}$  必须满足公式 2 中所示的要求:

## 公式 2:

$$\frac{V_{OL} - V_{REF}}{G} \leq V_{DM} \leq \frac{V_{OH} - V_{REF}}{G}$$

$$V_{CM} \geq (V_{CMRL} - V_{REF}) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + \frac{V_{DM}}{2}$$

$$V_{CM} \leq (V_{CMRH} - V_{REF}) \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - \frac{V_{DM}}{2}$$

其中:

$G = R_2/R_1$ : 差分放大器的增益

$V_{DM} = V_1 - V_2$ : 差分放大器的差模输入电压

$V_{CM} = (V_1 + V_2)/2$ : 差分放大器的共模输入电压

$V_{OH}$  = 运放高电平输出

$V_{OL}$  = 运放低电平输出

$V_{CMRH}$  = 运放共模输入电压上限

$V_{CMRL}$  = 运放共模输入电压下限

## 例 2

参考图 3 并假设  $V_{DD} = 16V$ ,  $V_{SS} = GND$ ,  $V_{REF} = GND$ ,  $R_2/R_1 = 1$  且  $R_{SEN}$  两端压降为 200 mV。

因此, 按照 MCP6H01 数据手册 (DS22243C\_CN),  $V_{CMRH} = V_{DD} - 2.3V = 13.7V$ ,  $V_{CMRL} = V_{SS} - 0.3V = -0.3V$ 。根据公式 2, 差分放大器的可接受  $V_{CM}$  为 -0.5V 至 27.3V。

差分放大器的优点和缺点包括:

- 优点:
  - 合理的共模抑制比 ( $CMRR_{DIFF}$ )
  - 宽广的共模输入电压范围
  - 低功耗、低成本且简单
- 缺点:
  - 阻性负载效应
  - 不平衡的输入阻抗
  - 调整差分放大器的增益需更改多个电阻值

## 三运放仪表放大器

三运放仪表放大器（3 运放 INA）如图 4 所示。它可放大较小的差分电压并抑制较大的共模电压。

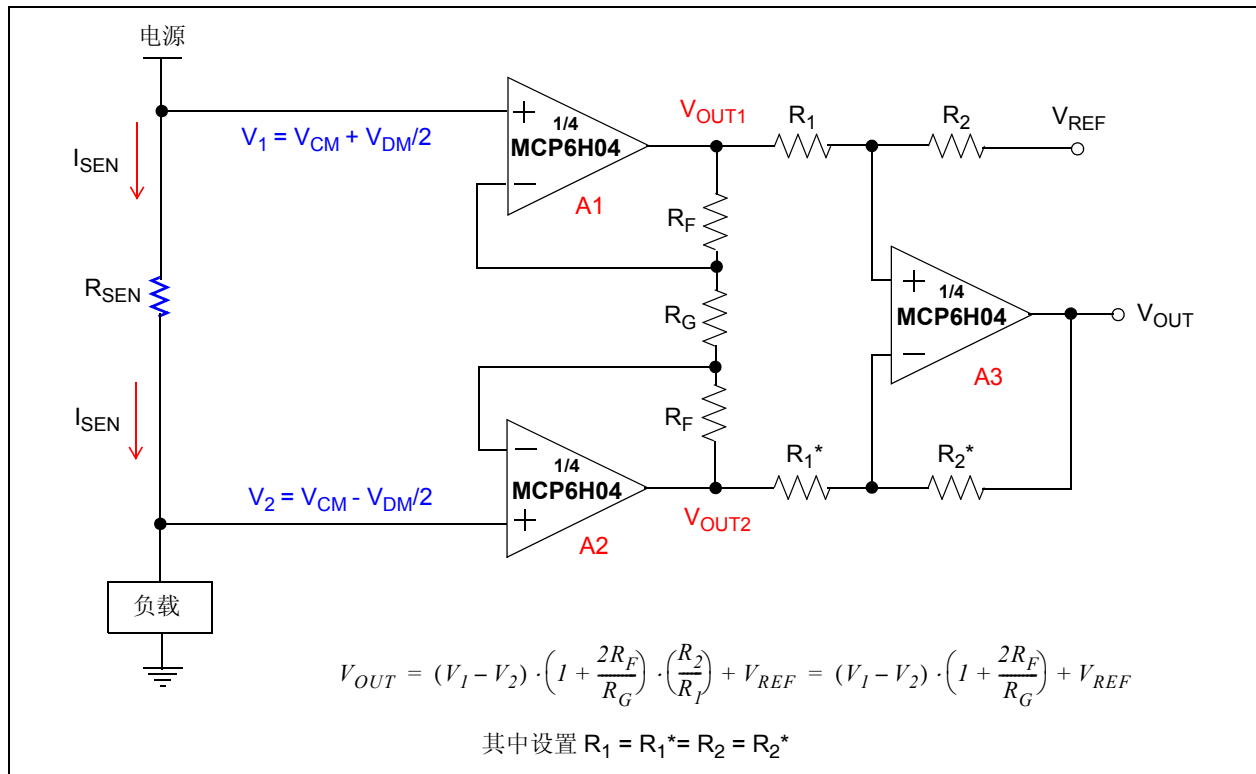


图 4： 三运放仪表放大器

3 运放 INA 的架构包括：

### 1. 第一级

第一级由一对高输入阻抗缓冲器（A1 和 A2）以及电阻（ $R_F$  和  $R_G$ ）实现。这两个缓冲器可避免输入阻性负载效应和不平衡输入阻抗问题。此外，电阻  $R_F$  和  $R_G$  可将缓冲器对的差模电压增益（ $G_{DM}$ ）增至  $1 + 2R_F/R_G$ ，同时使共模电压增益（ $G_{CM}$ ）等于 1。

根据公式  $CMRR = 20 \log (G_{DM}/G_{CM})$ ，此方法的一个优点是可以大幅度提高 3 运放 INA 的 CMRR（ $CMRR_{3INA}$ ）。因此，理论上  $CMRR_{3INA}$  将随着  $G_{DM}$  的增加而成比例增大。

另一个优点是仅调整  $R_G$  的阻值即可修改 3 运放 INA 的总增益，而无需调整  $R_1$ 、 $R_1^*$ 、 $R_2$  和  $R_2^*$  的阻值。

### 2. 第二级

第二级由一个差分放大器（A3）实现，该放大器可放大差模电压并抑制共模电压。在实际应用中， $R_2/R_1$  的比值通常设置为 1。

$CMRR_{3INA}$  主要由第一级的差模电压增益以及  $R_2/R_1$  和  $R_2^*/R_1^*$  的净匹配容差决定。请注意，电阻  $R_F$  和  $R_G$  的容差不影响  $CMRR_{3INA}$ 。

# AN1332

直流  $CMRR_{3INA}$  如公式 3 所示。

## 公式 3:

$$CMRR_{3INA} \approx 20 \log \left( \frac{\left(1 + \frac{2R_F}{R_G}\right) \cdot 2}{K} \right)$$

在最坏情况下,  $K = 4T_R$

其中:

$T_R$  = 电阻容差

$K$  =  $R_2/R_1$  与  $R_2^*/R_1^*$  的净匹配容差

$CMRR_{3INA}$  (dB) = 3 运放 INA 的共模抑制比

但是, 对于 3 运放 INA, 有一个常见问题很容易被忽略。该问题存在于 3 运放 INA 缩小的共模输入电压范围 ( $V_{CM}$ ) 中。

参考图 4, 输入电压 ( $V_1$  和  $V_2$ ) 可由共模输入电压 ( $V_{CM}$ ) 和差模输入电压 ( $V_{DM}$ ) 表示。即,  $V_1 = V_{CM} + V_{DM}/2$ ,  $V_2 = V_{CM} - V_{DM}/2$ 。

放大器 (A1 和 A2) 提供了一个等于总增益 ( $G$ ) 的差模电压增益 ( $G_{DM}$ ) 和一个等于 1 的共模增益 ( $G_{CM}$ )。

$$\begin{aligned} V_{OUT1} &= V_{CM} \times G_{CM} + (V_{DM}/2) \times G_{DM} \\ &= V_{CM} + (V_{DM}/2) \times G \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{OUT2} &= V_{CM} \times G_{CM} - (V_{DM}/2) \times G_{DM} \\ &= V_{CM} - (V_{DM}/2) \times G \end{aligned}$$

$$V_{OUT} = V_{DM} \times G + V_{REF}$$

为了防止  $V_{OUT1}$ 、 $V_{OUT2}$  和  $V_{OUT}$  使电源轨饱和, 必须将它们保持在允许的输出电压范围 ( $V_{OL}$  到  $V_{OH}$ ) 内。

或者换句话说, 3 运放 INA 的  $V_{DM}$  和  $V_{CM}$  必须满足公式 4 中所示的要求。

## 公式 4:

$$\frac{V_{OL} - V_{REF}}{G} \leq V_{DM} \leq \frac{V_{OH} - V_{REF}}{G}$$
$$V_{OL} + \frac{V_{DM}}{2} \cdot G \leq V_{CM} \leq V_{OH} - \frac{V_{DM}}{2} \cdot G$$

其中:

$G$  =  $1 + 2R_F/R_G$ ; 总增益

$V_{DM}$  =  $V_1 - V_2$ ; 3 运放 INA 的差模输入电压

$V_{CM}$  =  $(V_1 + V_2)/2$ ; 3 运放 INA 的共模输入电压

$V_{OH}$  = 运放高电平输出

$V_{OL}$  = 运放低电平输出

## 例 3

参考图 4 并假设  $V_{REF} = 0V$ ,  $V_{DD} = 15V$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $V_{OH} = 14.47V$ ,  $V_{OL} = 0.03V$ ,  $R_F = R_1 = R_1^* = R_2 = R_2^* = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $R_G = 2 \text{ k}\Omega$ , 且  $R_{SEN}$  两端的压降为  $100 \text{ mV}$ 。

因此, 根据公式 4, 总增益  $G$  等于  $100 \text{ V/V}$ , 留给 3 运放 INA 的  $V_{CM}$  的电压范围仅为  $5.03V$  至  $9.47V$ 。此范围小于 MCP6H01 运放的  $V_{CM}$  范围, 后者在  $V_{DD} = 15V$  时为  $-0.3V$  至  $12.7V$ 。

总之, 在高增益配置下工作时, 3 运放 INA 的  $V_{CM}$  范围将大幅缩小。

3 运放 INA 的优点和缺点包括:

a) 优点:

- 高共模抑制比 ( $CMRR_{3INA}$ )
- 无阻性负载效应
- 平衡的输入阻抗
- 无需更改多个电阻值即可调整总增益

b) 缺点:

- 3 运放 INA 的  $V_{CM}$  范围缩小
- 由于需要更多运放, 增加了功耗和成本
- MCP6H04 不是轨到轨运放, 其  $V_{CM}$  为  $V_{SS}-0.3V$  到  $V_{DD}-2.3V$ , 因此 3 运放 INA 的  $V_{DD}$  应至少比被测系统的电源电压高  $2.3V$ 。

## 双运放仪表放大器

图 5 显示了双运放仪表放大器（2 运放 INA）。与 3 运放 INA 相比，2 运放 INA 节约了成本和功耗。2 运放 INA 的输入阻抗也非常高，可避免阻性负载效应和不平衡输入阻抗问题。

2 运放 INA 的共模抑制比（ $CMRR_{2INA}$ ）主要由总增益以及  $R_2/R_1$  和  $R_2^*/R_1^*$  的净匹配容差决定。

直流  $CMRR_{2INA}$  如公式 5 所示。

### 公式 5:

$$CMRR_{2INA} \approx 20 \log \left( \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{K} \right)$$

在最坏情况下,  $K = 4T_R$

其中:

$K = R_2/R_1$  与  $R_2^*/R_1^*$  的净匹配容差

$T_R =$  电阻容差

$CMRR_{2INA}$  (dB) = 2 运放 INA 的共模抑制比

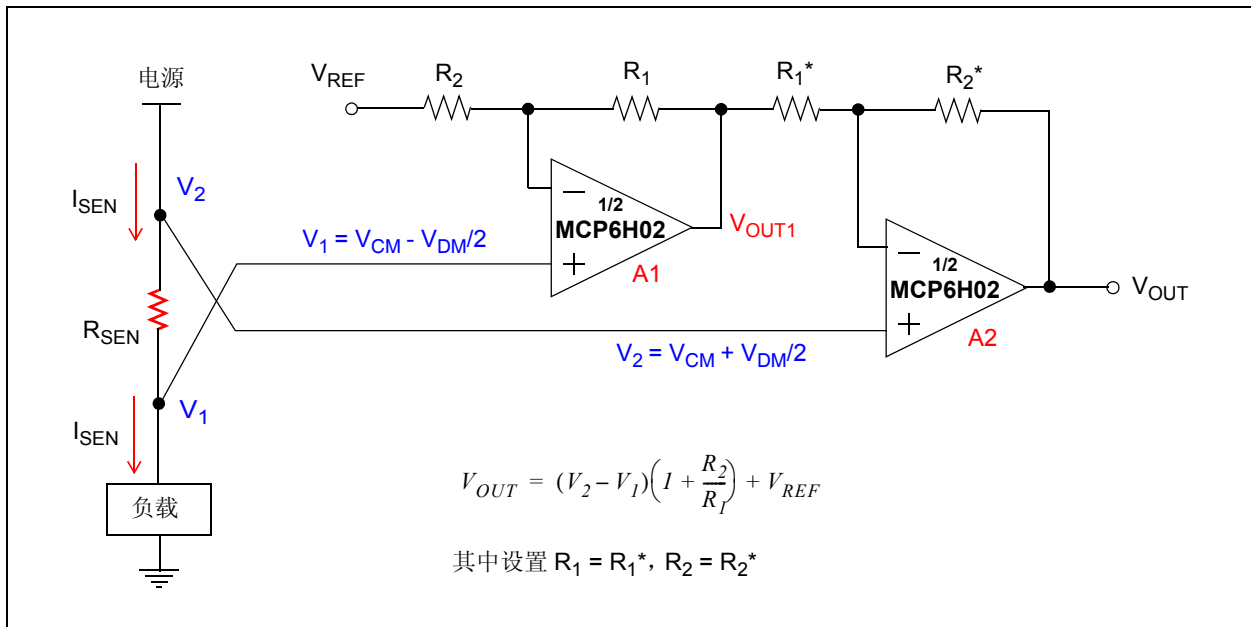


图 5: 双运放仪表放大器

如图 5 所示，输入电压 ( $V_1$  和  $V_2$ ) 可由共模输入电压 ( $V_{CM}$ ) 和差模输入电压 ( $V_{DM}$ ) 表示。即， $V_1 = V_{CM} - V_{DM}/2$ ， $V_2 = V_{CM} + V_{DM}/2$ 。

$$\begin{aligned} V_{OUT} &= (1 + R_2/R_1) \times (V_2 - V_1) + V_{REF} \\ &= (1 + R_2/R_1) \times V_{DM} + V_{REF} \\ V_{OUT1} &= (1 + R_1/R_2) \times V_1 - (R_1/R_2) \times V_{REF} \\ &= (1 + R_1/R_2) \times (V_{CM} - V_{DM}/2) - (R_1/R_2) \times V_{REF} \\ V_{OUT} &= V_{DM} \times G + V_{REF} \end{aligned}$$

为了防止  $V_{OUT}$  和  $V_{OUT1}$  使电源轨饱和，必须将它们保持在允许的输出电压范围 ( $V_{OL}$  到  $V_{OH}$ ) 内。

2 运放 INA 的  $V_{DM}$  和  $V_{CM}$  必须满足公式 6 中所示的要求。

### 公式 6:

$$\begin{aligned} \frac{V_{OL} - V_{REF}}{G} \leq V_{DM} \leq \frac{V_{OH} - V_{REF}}{G} \\ V_{CM} \geq \frac{V_{OL} + \frac{R_1}{R_2} \cdot V_{REF}}{G} + \frac{V_{DM}}{2} \\ V_{CM} \leq \frac{V_{OH} + \frac{R_1}{R_2} \cdot V_{REF}}{G} + \frac{V_{DM}}{2} \end{aligned}$$

其中:

- $G = 1 + R_2/R_1$ : 总增益
- $V_{DM} = V_2 - V_1$ : 2 运放 INA 的差模输入电压
- $V_{CM} = (V_1 + V_2)/2$ : 2 运放 INA 的共模输入电压
- $V_{OH} =$  运放高电平输出
- $V_{OL} =$  运放低电平输出

### 例 4

参考图 5 并假设  $R_1 = R_1^* = 5 \text{ k}\Omega$ ， $R_2 = R_2^* = 10 \text{ k}\Omega$ ， $V_{REF} = 0\text{V}$ ， $V_{DD} = 15\text{V}$ ， $V_{SS} = 0\text{V}$ ， $V_{OH} = 14.47\text{V}$ ， $V_{OL} = 0.03\text{V}$ ，且  $R_{SEN}$  两端的压降为  $200 \text{ mV}$ 。

因此，总增益  $G$  等于  $3 \text{ V/V}$ ，留给 2 运放 INA 的  $V_{CM}$  的电压范围为  $0.12\text{V}$  至  $9.75\text{V}$ 。该范围小于 MCP6H01 运放的  $V_{CM}$  范围，后者在  $V_{DD} = 15\text{V}$  时为  $-0.3\text{V}$  至  $12.7\text{V}$ 。

与 3 运放 INA 不同，当 2 运放 INA 在低增益配置下工作时，其  $V_{CM}$  范围将大幅缩小。

此外，2 运放 INA 的共模信号路径中的电路不对称会导致  $V_{OUT1}$  和  $V_1$  之间出现相位延时，从而降低交流 CMRR 性能。参考图 5，输入信号  $V_1$  必须先通过放大器 A1，然后经放大器 A2 与  $V_2$  相减。因此， $V_{OUT1}$  相对于  $V_2$  会有轻微延时和相移。这是 2 运放 INA 的一个很大的缺点。

参考图 6，在两个反相输入之间添加电阻  $R_G$ ，这样仅调整  $R_G$  便可轻松设置 2 运放 INA 的总增益，而无需调整多个电阻。此外，通常针对所需的最小增益选择  $R_2/R_1$  的比值。

添加电阻  $R_G$  的另一个优点是可以避免在极高增益配置中使用大电阻值的  $R_2$  和  $R_2^*$ 。

具有附加  $R_G$  的 2 运放 INA 的  $V_{DM}$  和  $V_{CM}$  必须满足公式 7 中所示的要求：

### 公式 7:

$$\begin{aligned} \frac{V_{OL} - V_{REF}}{G} \leq V_{DM} \leq \frac{V_{OH} - V_{REF}}{G} \\ V_{CM} \geq \frac{V_{OL} + \frac{R_1}{R_2} \cdot V_{REF} + \frac{R_1}{R_G} \cdot V_{DM}}{1 + \frac{R_1}{R_2}} + \frac{V_{DM}}{2} \\ V_{CM} \leq \frac{V_{OH} + \frac{R_1}{R_2} \cdot V_{REF} + \frac{R_1}{R_G} \cdot V_{DM}}{1 + \frac{R_1}{R_2}} + \frac{V_{DM}}{2} \end{aligned}$$

其中:

- $G = 1 + R_2/R_1 + 2R_2/R_G$ : 总增益
- $V_{DM} = V_2 - V_1$ : 2 运放 INA 的差模输入电压
- $V_{CM} = (V_1 + V_2)/2$ : 2 运放 INA 的共模输入电压
- $V_{OH} =$  运放高电平输出
- $V_{OL} =$  运放低电平输出



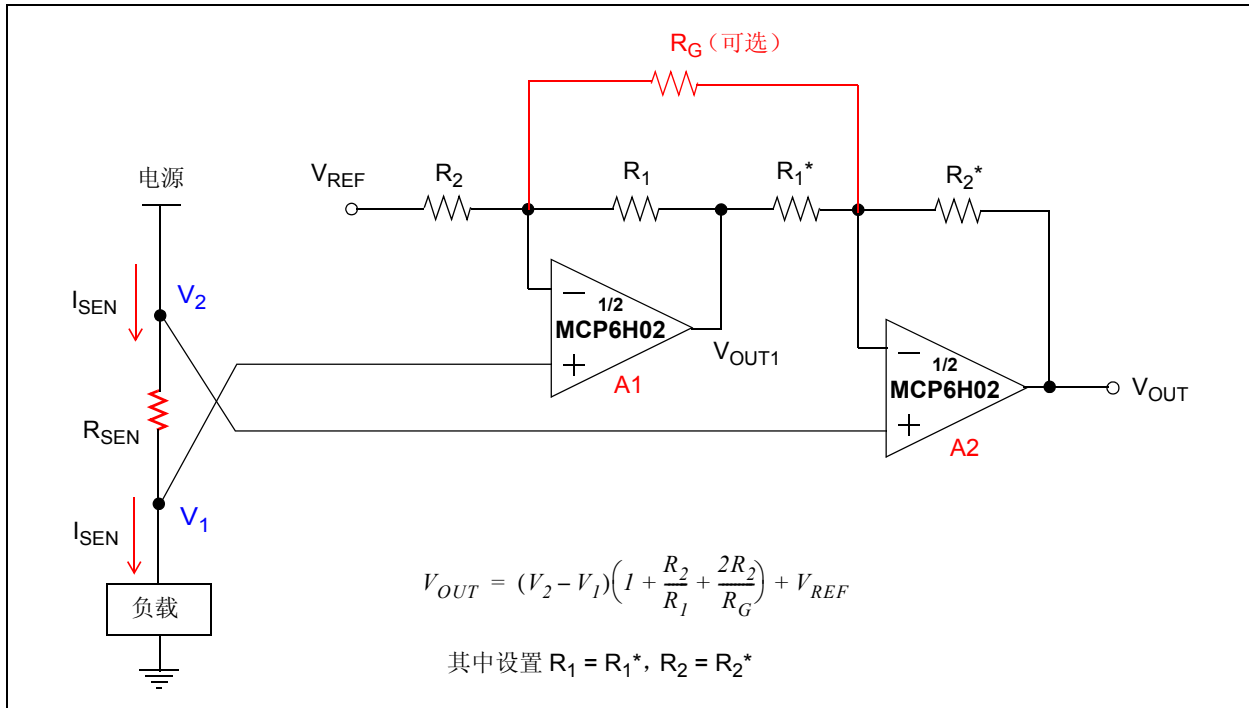


图6: 具有附加  $R_G$  的双运放仪表放大器

2 运放 INA 的优点和缺点包括:

- a) 优点:
- 高直流共模抑制比 ( $CMRR_{2INA}$ )
  - 无阻性负载效应
  - 平衡的输入阻抗
  - 与 3 运放 INA 相比, 节约成本和功耗
- b) 缺点:
- $V_{CM}$  范围缩小
  - 由于电路不对称, 交流  $CMRR_{2INA}$  较差
  - 不能在单位增益下工作
  - MCP6H02 不是轨到轨运放, 其  $V_{CM}$  为  $V_{SS}-0.3V$  到  $V_{DD}-2.3V$ , 因此 2 运放 INA 的  $V_{DD}$  应至少比被测系统的电源电压高 2.3V。

## 摘要

本应用笔记概述了电流检测电路的概念和基础。介绍了电流检测技术并重点讨论了三种典型的上桥臂电流检测实现方案以及各自的具体优点和缺点。

## 参考资料

Smither, M. A., Pugh, D.R. 和 Woolard, L.M., "C.M.R.R. Analysis of the 3-Op-Amp Instrumentation Amplifier", Electronics Letters, 1989 年 2 月 2 日。

Sedra, A.S. 和 Smith, K.C., "Microelectronic Circuits", 第 4 版, Oxford University Press, 1998。

# AN1332

---

注:

---

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下，Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

---

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中以其他方式转让任何许可证。

#### 商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、dsPIC、FlashFlex、KEELOQ、KEELOQ 徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、PIC<sup>32</sup> 徽标、rfPIC、SST、SST 徽标、SuperFlash 和 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、Hampshire、HI-TECH C、Linear Active Thermistor、MTP、SEEVAL 和 The Embedded Control Solutions Company 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、Application Maestro、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、dsPICDEM、dsPICDEM.net、dsPICworks、dsSPEAK、ECAN、ECONOMONITOR、FanSense、HI-TIDE、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、Omniscient Code Generation、PICC、PICC-18、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、REAL ICE、rfLAB、Select Mode、SQI、Serial Quad I/O、Total Endurance、TSHARC、UniWinDriver、WiperLock、ZENA 和 Z-Scale 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 是 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

GestIC 和 ULPP 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2013, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-62077-011-5

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM**  
**CERTIFIED BY DNV**  
**== ISO/TS 16949 ==**

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC<sup>®</sup> MCU 与 dsPIC<sup>®</sup> DSC、KEELOQ<sup>®</sup> 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外，Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。



# MICROCHIP

## 全球销售及服务中心

### 美洲

公司总部 **Corporate Office**  
2355 West Chandler Blvd.  
Chandler, AZ 85224-6199  
Tel: 1-480-792-7200  
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:

<http://www.microchip.com/support>

网址: [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

#### 亚特兰大 **Atlanta**

Duluth, GA  
Tel: 1-678-957-9614  
Fax: 1-678-957-1455

#### 波士顿 **Boston**

Westborough, MA  
Tel: 1-774-760-0087  
Fax: 1-774-760-0088

#### 芝加哥 **Chicago**

Itasca, IL  
Tel: 1-630-285-0071  
Fax: 1-630-285-0075

#### 克里夫兰 **Cleveland**

Independence, OH  
Tel: 1-216-447-0464  
Fax: 1-216-447-0643

#### 达拉斯 **Dallas**

Addison, TX  
Tel: 1-972-818-7423  
Fax: 1-972-818-2924

#### 底特律 **Detroit**

Farmington Hills, MI  
Tel: 1-248-538-2250  
Fax: 1-248-538-2260

#### 印第安纳波利斯

**Indianapolis**  
Noblesville, IN  
Tel: 1-317-773-8323  
Fax: 1-317-773-5453

#### 洛杉矶 **Los Angeles**

Mission Viejo, CA  
Tel: 1-949-462-9523  
Fax: 1-949-462-9608

#### 圣克拉拉 **Santa Clara**

Santa Clara, CA  
Tel: 1-408-961-6444  
Fax: 1-408-961-6445

#### 加拿大多伦多 **Toronto**

Mississauga, Ontario,  
Canada  
Tel: 1-905-673-0699  
Fax: 1-905-673-6509

### 亚太地区

#### 亚太总部 **Asia Pacific Office**

Suites 3707-14, 37th Floor  
Tower 6, The Gateway  
Harbour City, Kowloon  
Hong Kong  
Tel: 852-2401-1200

Fax: 852-2401-3431

#### 中国 - 北京

Tel: 86-10-8569-7000  
Fax: 86-10-8528-2104

#### 中国 - 成都

Tel: 86-28-8665-5511  
Fax: 86-28-8665-7889

#### 中国 - 重庆

Tel: 86-23-8980-9588  
Fax: 86-23-8980-9500

#### 中国 - 杭州

Tel: 86-571-2819-3187  
Fax: 86-571-2819-3189

#### 中国 - 香港特别行政区

Tel: 852-2943-5100  
Fax: 852-2401-3431

#### 中国 - 南京

Tel: 86-25-8473-2460  
Fax: 86-25-8473-2470

#### 中国 - 青岛

Tel: 86-532-8502-7355  
Fax: 86-532-8502-7205

#### 中国 - 上海

Tel: 86-21-5407-5533  
Fax: 86-21-5407-5066

#### 中国 - 沈阳

Tel: 86-24-2334-2829  
Fax: 86-24-2334-2393

#### 中国 - 深圳

Tel: 86-755-8864-2200  
Fax: 86-755-8203-1760

#### 中国 - 武汉

Tel: 86-27-5980-5300  
Fax: 86-27-5980-5118

#### 中国 - 西安

Tel: 86-29-8833-7252  
Fax: 86-29-8833-7256

#### 中国 - 厦门

Tel: 86-592-238-8138  
Fax: 86-592-238-8130

#### 中国 - 珠海

Tel: 86-756-321-0040  
Fax: 86-756-321-0049

### 亚太地区

#### 台湾地区 - 高雄

Tel: 886-7-213-7828  
Fax: 886-7-330-9305

#### 台湾地区 - 台北

Tel: 886-2-2508-8600  
Fax: 886-2-2508-0102

#### 台湾地区 - 新竹

Tel: 886-3-5778-366  
Fax: 886-3-5770-955

#### 澳大利亚 **Australia - Sydney**

Tel: 61-2-9868-6733  
Fax: 61-2-9868-6755

#### 印度 **India - Bangalore**

Tel: 91-80-3090-4444  
Fax: 91-80-3090-4123

#### 印度 **India - New Delhi**

Tel: 91-11-4160-8631  
Fax: 91-11-4160-8632

#### 印度 **India - Pune**

Tel: 91-20-2566-1512  
Fax: 91-20-2566-1513

#### 日本 **Japan - Osaka**

Tel: 81-6-6152-7160  
Fax: 81-6-6152-9310

#### 日本 **Japan - Tokyo**

Tel: 81-3-6880-3770  
Fax: 81-3-6880-3771

#### 韩国 **Korea - Daegu**

Tel: 82-53-744-4301  
Fax: 82-53-744-4302

#### 韩国 **Korea - Seoul**

Tel: 82-2-554-7200  
Fax: 82-2-558-5932 或  
82-2-558-5934

#### 马来西亚 **Malaysia - Kuala Lumpur**

Tel: 60-3-6201-9857  
Fax: 60-3-6201-9859

#### 马来西亚 **Malaysia - Penang**

Tel: 60-4-227-8870  
Fax: 60-4-227-4068

#### 菲律宾 **Philippines - Manila**

Tel: 63-2-634-9065  
Fax: 63-2-634-9069

#### 新加坡 **Singapore**

Tel: 65-6334-8870  
Fax: 65-6334-8850

#### 泰国 **Thailand - Bangkok**

Tel: 66-2-694-1351  
Fax: 66-2-694-1350

### 欧洲

#### 奥地利 **Austria - Wels**

Tel: 43-7242-2244-39  
Fax: 43-7242-2244-393

#### 丹麦 **Denmark - Copenhagen**

Tel: 45-4450-2828  
Fax: 45-4485-2829

#### 法国 **France - Paris**

Tel: 33-1-69-53-63-20  
Fax: 33-1-69-30-90-79

#### 德国 **Germany - Munich**

Tel: 49-89-627-144-0  
Fax: 49-89-627-144-44

#### 意大利 **Italy - Milan**

Tel: 39-0331-742611  
Fax: 39-0331-466781

#### 荷兰 **Netherlands - Drunen**

Tel: 31-416-690399  
Fax: 31-416-690340

#### 西班牙 **Spain - Madrid**

Tel: 34-91-708-08-90  
Fax: 34-91-708-08-91

#### 英国 **UK - Wokingham**

Tel: 44-118-921-5869  
Fax: 44-118-921-5820

11/29/12