

电流监测芯片应用技术

王庆周¹, 岳鹏², 张甲林²

(1.河南省林州六中, 河南 林州 456550;

2.中国人民解放军驻 206 所军代室, 北京 1000854)

摘要: 对 TI 公司生产的采用并联方式测量支路电流的电流监测芯片 INA168 和 INA196 的功能、重要参数和应用领域进行了比较, 基于芯片的内部结构及基本电路从本质上分析了两种芯片的异同, 给出了两种芯片的应用实例。

关键词: 电流监测 并联 INA168 INA196

在电流测量技术中, 为了减少测量电路对被测电流的影响, 通常采用在被测电路中串联一只小阻值的取样电阻进行 I/V 转换, 再经过差分放大电路实现小电压放大的方法。这种方法的优点是测量简单方便, 但弊端是: 当被测电流很小时, 从电阻上取得的电压值就会很小, 从而影响测量准确度; 其次, 所得到的电流检测信号(电压信号)需要进行放大, 通常由于共模电压的影响, 电路设计及调试都比较复杂。因此选择适合的电流检测芯片直接检测回路中的电流具有重要意义。

美国 TI 公司推出的两款电流监测芯片 INA168 和 INA196 与传统的串联方式测量电流不同, 均与被测电流支路的某一电阻并联, 将被测电流流经电阻产生的电压降转化成电压或电流输出, 从而实现对被测电流的测量。这两种芯片各有特点, 分别适用于不同的应用电路。本文从几个方面探讨二者的相同点和不同点, 并给出各自的应用实例。

1 功能重要参数及应用领域

表 1 列出了 INA168 和 INA196 的功能、重要参数和应用领域。

从表中可以看出, INA168 和 INA196 虽同为电流监测芯片, 但各有优缺点, 例如, 从测量范围看, INA196 的共模输入电压范围更宽, 并且能够测量双向电流。INA168 有更低的静态电流和更高的共模抑制比, 但其仅限于测量高端电流。下面从芯片的内部结构及基本电路等方面分析两芯片的特点。

2 芯片结构

图 1 和图 2 分别给出了 INA168 和 INA196 的内部电路结构和引脚排列。

从内部结构可以看出, INA168 由一个放大器组成,

表 1 INA168 和 INA196 的功能、重要参数和应用领域

		INA168	INA196
功能		单极性高端电流测量	可测量双向电流, 既可测高端电流, 亦可测低端电流
重要参数	电源电压	+2.7V ~ +60V	+2.7V ~ +18V
	输入共模电压	+2.7V ~ +60V (独立于电源电压)	-16V ~ +80V (独立于电源电压)
	共模抑制比	120dB	94dB
	电压增益	1 ~ 100 可调	20, 50, 100 三种增益等级
	带宽	800kHz	500kHz
	静态电流	25 μ A	700 μ A
	工作温度	-40 $^{\circ}$ C ~ +85 $^{\circ}$ C	-40 $^{\circ}$ C ~ +125 $^{\circ}$ C
应用领域		汽车、计算机、蜂窝电话、电源、仪器的电流测量, 便携式设备与电池后备系统、电池充电器和电源管理、精密电流源等。	汽车、笔记本电脑、蜂窝电话、焊接设备、电信设备、电池充电器和电源管理等。

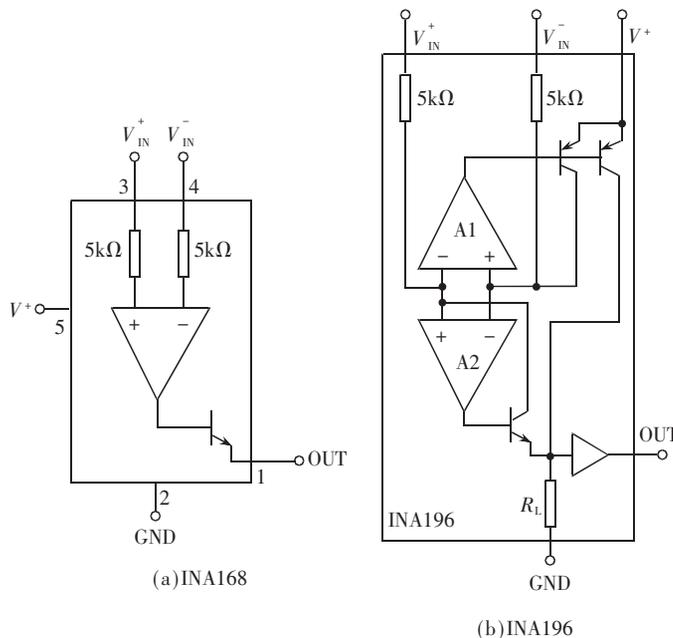


图 1 内部电路结构

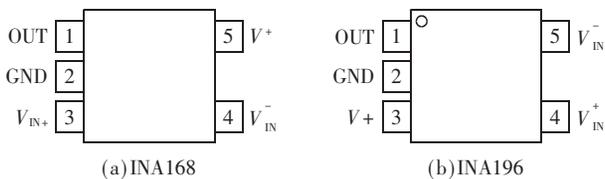


图 2 引脚排列

其输出为三极管的发射极电流;INA196 由三个放大器组成,A1、A2 形成独特的悬挂式结构,另一个放大器只起放大作用,由于三极管的发射极输出接有一个负载电阻 R_L ,从而将电流信号转换成电压信号输出。这就是 INA168 和 INA196 的最大区别——INA168 将差分输入电压转化成电流输出,INA196 将差分输入电压转化成电压输出。

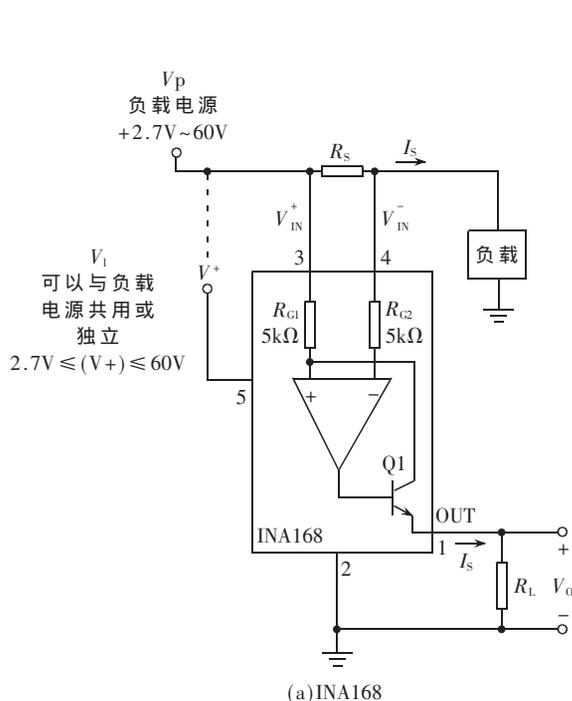
从图 2 可知,INA168 和 INA196 的引脚排列一致,只是引脚序号有所区别,且均采用 SOT23-5 的封装形式。二者对应的引脚功能列于表 2。

表 2 引脚功能

INA168			INA196		
引脚	助记符	功能	引脚	助记符	功能
1	OUT	输出端	1	OUT	输出端
2	GND	接地端	2	GND	接地端
3	V_{IN}^+	同向输入端	3	V^+	电源电压输入端
4	V_{IN}^-	反向输入端	4	V_{IN}^+	同向输入端
5	V^+	电源电压输入端	5	V_{IN}^-	反向输入端

3 基本电路

INA168 和 INA196 在应用中的基本电路如图 3 所



(a) INA168

示。INA168 的负载电源电压范围为 $+2.7V \sim +60V$, INA196 的负载电源电压范围为 $-16V \sim +80V$,其电源电压 V^+ 均可以单独施加,也可与被测电流电路共电源。实际上,被测电路的负载电压可以远远超过 INA168 和 INA196 的电源电压,例如,当 $V^+=5V$ 时,INA168 的被测电路负载电压可以达到 $60V$,而 INA196 的被测电路负载电压可以达到 $80V$,这种情况下,这两款电流监测芯片仍可实现对输入电流的精确测量,表现出优秀的共模抑制能力。

下面分别从两个芯片的基本应用电路出发,分析其测量电流信号的基本原理,并推导出二者的输出电压方程。

3.1 INA168

图 3(a)中,设 I_S 为被测电流, R_S 为并联电阻, I_S 流过 R_S 将产生电压降 V_S 。 V_S 施加到 IC 内部运算放大器正相输入电阻 R_{Ci} 上时,电路将产生一个电流进入 NPN 晶体管 Q1 的集电极。外接电阻 R_L 将输出电流转化成电压 V_{OUT} ,由 OUT 引脚输出。

INA168 的传送功能可用下面公式表示:

$$I_O = g_m(V_{IN}^+ - V_{IN}^-) \quad (1)$$

其中, g_m 是 INA168 的跨导,且 $g_m = 200\mu A/V$ 。

又由图(a)可知:

$$V_{IN}^+ - V_{IN}^- = I_S \times R_S \quad (2)$$

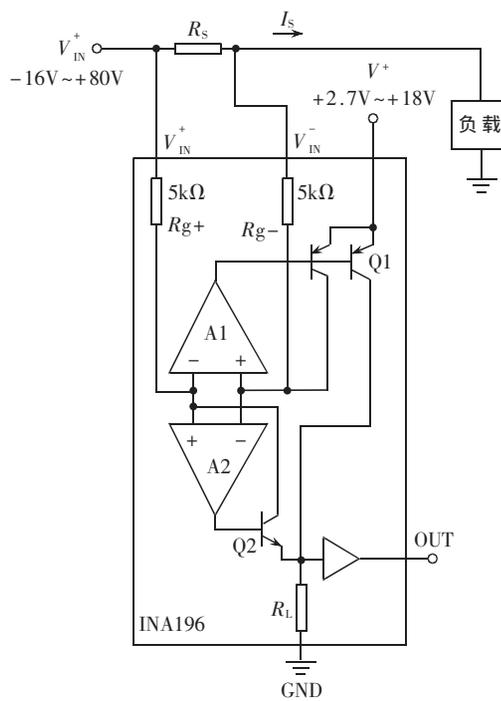
$$V_{OUT} = I_O \times R_L \quad (3)$$

联立式(1)、(2)、(3),得到 INA168 的输出电压方程:

$$V_{OUT} = (I_S \times R_S \times R_L) / (200\mu A/V) \quad (4)$$

3.2 INA196

图 3(b)中,设 I_S 为被测电流, R_S 为并联电阻, I_S 流过



(b) INA196

图 3 基本电路

R_S 将产生电压降 V_S 。当输入共模电压为正极性时(即 I_S 为图 3(b)中所示的方向),放大器 A2 工作, V_S 转换成输出电流 I_O 从 Q1 的发射极流出。因为没有电流流经 R_{g-} , 所以 A2 反向输入端的电压等于 R_S 与 R_{g-} 交点电压; 又因 A2 的开环增益很大, 使得 A2 的正向输入电压与负向输入电压近似相等, 所以 A2 的正向输入端也近似等于 R_S 与 R_{g-} 交点电压。因此, R_{g+} 上的电压降等于 $I_S \times R_S$ 。若忽略极小的基极电流, 则 I_O 经过 Q1 和 R_{g+} , 则:

$$I_O \times R_{g+} = I_S \times R_S \quad (5)$$

所以,

$$I_O = (I_S \times R_S) / R_{g+} \quad (6)$$

$$V_{OUT} = I_O \times R_L = (I_S \times R_S \times R_L) / R_{g+} \quad (7)$$

同理, 当输入共模电压为负极性时(即 I_S 与图 3(b)中所示的方向相反), 则可得:

$$V_{OUT} = I_O \times R_L = (I_S \times R_S \times R_L) / R_{g-} \quad (8)$$

INA196 中, $R_{g+} = R_{g-} = 5k\Omega$, 因此 INA196 的输出电压方程可以写为:

$$V_O = (I_S \times R_S \times R_L) / 5k\Omega \quad (9)$$

对比式(4)和式(9)可以发现: 虽然 INA168 输出的是电流信号, 但是如果在其输出端接一个负载电阻, 即可得到电压输出, 并且和 INA196 的电压输出方程相同。这是因为:

$$200\mu A / V = \frac{200 \times 10^{-3}}{V/A} = \frac{1}{5k\Omega}$$

必须强调一点, INA168 和 INA196 的输出方程虽然在形式上相同, 但是 INA168 的负载 R_L 外接, 阻值可以任意选择, 而 INA196 的负载 R_L 在芯片内部有固定的阻值, 因此, 不能认为对于同一段电路, 在相同的测量条件下使用 INA168 和 INA196 进行测量会得到相同的电压输出信号。这也是两芯片电压增益不同的原因。

在图 3 所示的两芯片基本应用电路中, 有一些共同之处需要注意:

(1) 在设计 PCB 板和焊接时, 输入管脚 V_{IN}^+ 和 V_{IN}^- 应尽可能靠近感测电阻 R_S , 以减小任何串联电阻带来的误差。把负载电阻 R_L 两端的电压作为输出电压可获得较高的精度。为了使芯片稳定工作, 芯片的供电电源需要接旁路电容。当芯片用于高阻电源和有干扰的系统中时, 还需要在靠近电源引脚处连接解耦电容, 以抑制电源噪声。

(2) 并联电阻 R_S 的选择依赖于具体应用, 但必须兼顾小信号时的精度和最大容许电压损耗两方面的要求, 应在二者之间折衷。较大的 R_S 值在较小的电流下能减小失调的影响, 从而提供较高的精度; 而在 R_S 值较小时, 却能减小电源线路上的电压损失。在多数应用中, 当 R_S 能产生 50mV~100mV 的满标度并联电压时, 可以保证具有最好的性能。

另外, INA168 在使用中还有一些需要特别注意的地方:

(1) 为了保证测量精度, 要求 INA168 的差分输入电压不超过 0.5V, 此时的输出电流是 100 μ A。但超过 2V 的差分输入电压也不会对器件造成损坏, 这是因为, INA168 差分输入要求是单极性, 并且将电压较高一端与引脚 3 相连接, 如果将电压较低一端与引脚 3 连接, 则输出电流 I_O 将变为 0, 因此不会损坏器件。

(2) INA168 负载电阻 R_L 的选择以能提供所需的满标度输出电压为原则。由于 INA168 的输出阻抗非常高, 其允许的 R_L 值可高达 500k Ω , 因而可保证较高的精度。输出端任何附加电路的输入阻抗都应远远高于 R_L 值, 这样才能防止精度降低。例如, 当 INA168 用于驱动 A/D 转换器时, 由于一些 A/D 转换器有输入阻抗, 产生了负载效应, 因此影响了 INA168 的测量精度。在这种情况下, 可以在 A/D 转换器前加一高输入阻抗的运放进行缓冲, 以便 INA168 的电压增益不受影响, 如图 4 所示。

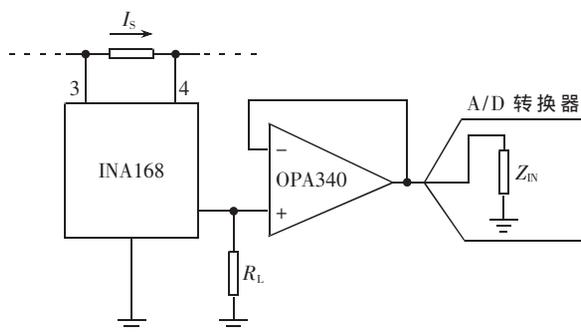


图 4 INA168 驱动 A/D 转换器

OPA340 在前端电路中构成一个同相电压跟随器, 从而使 INA168 的电压增益不会因为外加负载的介入而改变。

4 应用实例

INA168 和 INA196 不同的特点使得它们的应用范围也不一样。下面分别给出两芯片的应用实例进一步说明二者的区别。

(1) 利用 INA168 实现电压平移

由于 INA168 的输出信号是电流, 通过外接负载电阻可以得到任意的输出电压, 因此, 进行信号电压的平移就成了 INA168 的一个既简单又实用的电路应用。对 INA168 的输出电压进行平移通常有两种方式, 如图 5 (a)、(b) 所示。

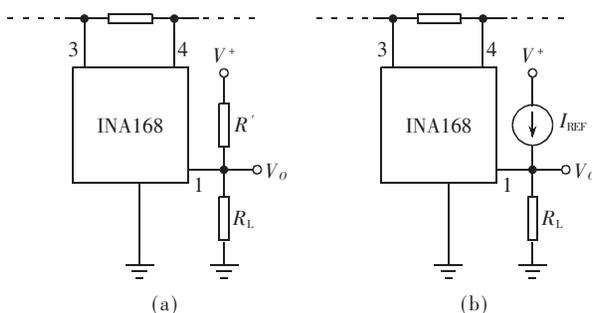


图 5 输出电压平移电路

图 5(a)采用电阻实现输出电压的平移,其偏移电压为:

$$V_{\text{offset}} = \frac{R_L}{R' + R_L} V^+ \quad (10)$$

图 5(b)采用电流源实现输出电压的平移,其偏移电压为:

$$V_{\text{offset}} = I_{\text{REF}} \times R_L \quad (11)$$

从式(11)可以看出,采用电流源实现输出电压的平移时,电压偏移量与 V^+ 无关。

(2)利用 INA196 实现电源电流监测

在各种仪器、系统中,直流电源的监测具有非常重要的意义。这是因为当电源出现故障时,对设备的影响可能已经造成。如果能及时发现问题,尽早解决问题,可以将损失减小。提高电源输出电流的监测就是一项重要的内容。由于电源有正极性和负极性,因此不能选择单极性电流测量芯片 INA168,而 INA196 的双向测量特点使得它能够实现这一测量功能。

图 6 所示是利用 INA196 的电流监测功能监测双极性电源的电路。

图 6 中,采用两片 INA196 分别对 $\pm 12V$ 的电源输出电流进行监测,得到两个输出电压信号,每个输出信号独立反映所监测的电源端输出电流的情况。

从电路的连接情况可以看出,该电路虽然是双极性电源电路,但是两片 INA196 所监测的电流方向并不是双向的。这是因为用于测量 $-12V$ 电源电流的 INA196 芯片也是正向输入端电压高于反向输入端电压,与测量 $+12V$ 电源输出电流的 INA196 芯片工作情况一样。为了充分利用 INA196 的双向电流测量特性,可以利用两片 INA196 对单极性电源进行双向监测。如图 7 所示电路为单极性电源双向电流监测电路。该电路利用两片 INA196 芯片对同一支路的电流进行监测,无论 V_{supply} 是正是负,两片 INA196 输入的差分信号总是大小相等极性相反。将两片 INA196 的输出信

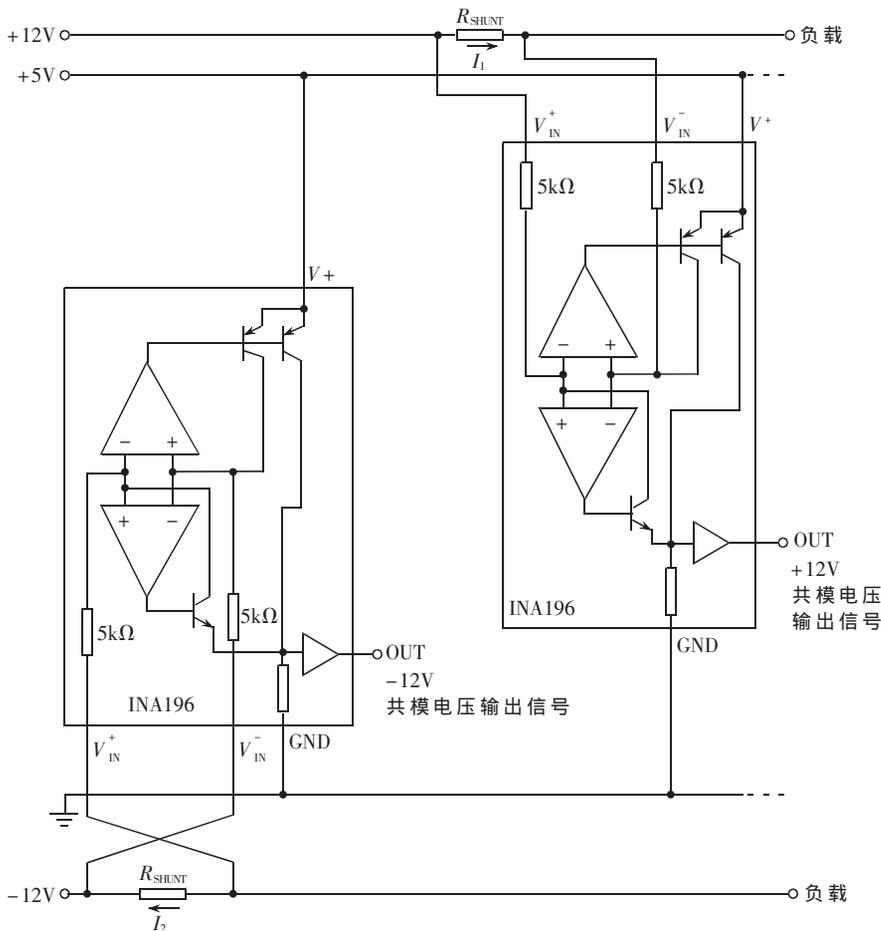


图 6 双极性电源电流监测电路

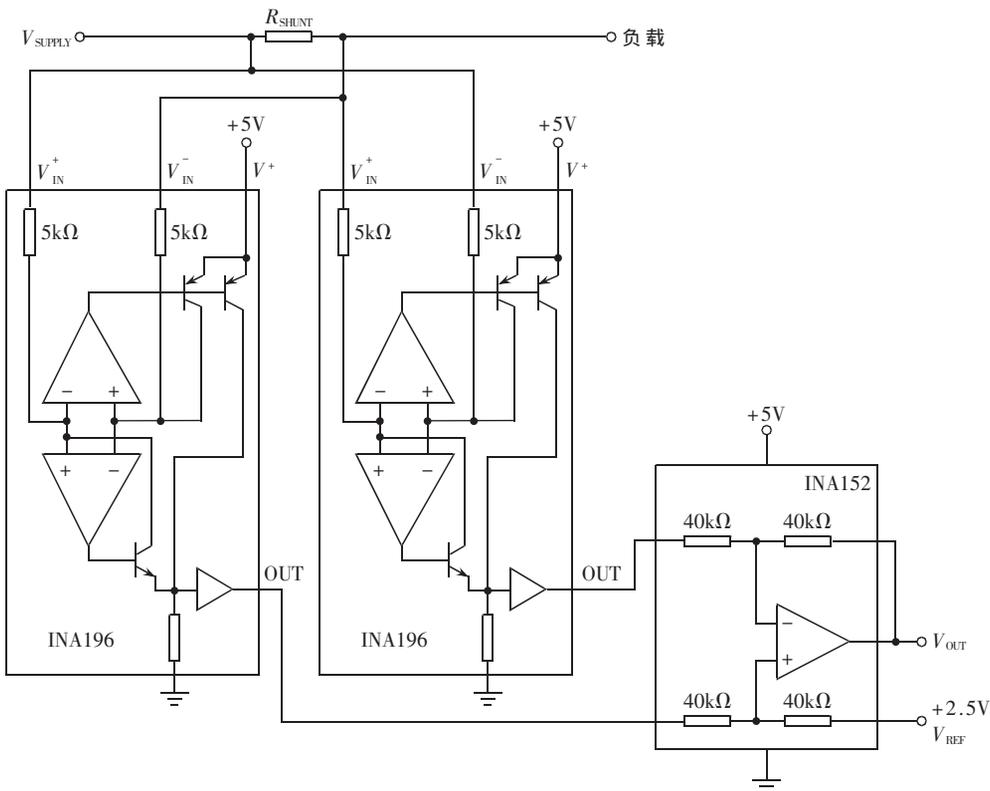


图 7 单极性电源双向电流监测电路

表 3 INA168 和 INA196 的主要区别

号送入差分放大器 INA152 的两个输入端变成单路信号输出,一方面进一步消除共模电压,另一方面通过参考电压 V_{REF} 的设置将电压进行偏移,以便匹配后续电路的输入范围。设两片 INA196 输出的信号分别为 V_{O+} 和 V_{O-} ,则 INA152 的输出为:

$$V_{OUT}=(V_{O+}-V_{O-})-2.5V$$

本文介绍了 INA168 和 INA196 两种电流监测芯片,二者均采用 SOT23-5 的封装形式;均采用与被测支路并联的方式对支路的电流进行监测;芯片的电源电压与外部电路的供电电压可以共用,也可以相互独立;二者的输出电压方程相同。但是,二者本质上的一些区别使应用范围有所区别,其主要区别如表 3 所示。

总之,采用电流监测芯片对电流进行检验,可大大

	INA168	INA196
功能	测量单极性高端电流	可测量双向电流
内部结构	将差分输入电压转化成电流输出	将差分输入电压转化成电压输出
电压增益	1~100 可调	只有三种增益等级 20,50,100

简化电路设计与调试,并可在高共模电压下实现电流的准确测量。

参考文献

- [1] BURR-BROWN.High-Side Measurement CURRENT SHUNT MONITOR INA138 INA168.
- [2] BURR-BROWN Products from Texas Instruments.CURRENT SHUNT MONITOR Common-Mode Range INA193,INA194,INA195,INA196,INA197,INA198.

(收稿日期:2006-10-18)