

## 电流感应放大器应用技术要点

作者：He Liang

电流检测被用来实现电路两个基本的功能。一个是测量电路中有“多大”的电流流过，这个信号可用来做电源的反馈控制，实现输出调节。另一个是判定电路中是否有“过大”的电流出现。提供一种系统保护机制。

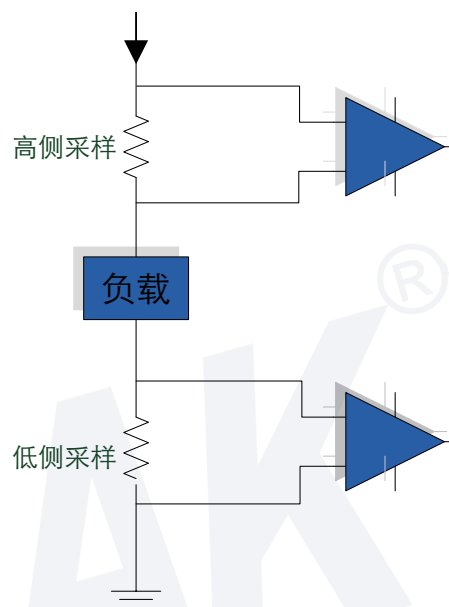
测量的方法和技术也是多种多样，基本可以分为两大类。一种是运用电阻或其它阻性元件直接插入电路“分流”，从而测量此电阻的压降信号。另一种是通过磁耦合的方式实现，包括电流互感器，罗氏线圈，霍尔器件等。前者是一种侵入式的方法，会在电路中产生额外的压降和功耗。但因其方法简单，测量精度高，成本低廉而被广泛应用。

TP199 是专用的电流感应放大器。配合检测电阻实现高精度电流检测。被广泛的应用于电子烟，BMS，电源，充电器，工业设备等产品。此款产品主要指标如下，本文试以此产品为例介绍电流检测设计要点。

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT</b>						
V <sub>OS</sub>	Input Offset Voltage	V <sub>SENSE</sub> = 0 mV		±10	±100	µV
V <sub>OS TC</sub>	Input Offset Voltage Drift	V <sub>SENSE</sub> = 0 mV, -40°C to 125°C		0.1	0.5	µV/°C
V <sub>CM</sub>	Common-mode Input Range	-40°C to 125°C	-0.3		36	V
CMRR	Common Mode Rejection Ratio	V <sub>IN+</sub> = 5-26 V, V <sub>SENSE</sub> = 0 mV, -40°C to 125°C	95	120		dB
I <sub>b</sub>	Input Bias Current	V <sub>SENSE</sub> = 0 mV		35		µA
I <sub>OS</sub>	Input Offset Current	V <sub>SENSE</sub> = 0 mV		0.4		µA
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	V <sub>S</sub> = +2.7-18V, V <sub>IN+</sub> = +18V, V <sub>SENSE</sub> = 0 mV		±1		µV/V

### 低侧采样和高侧采样

根据采样电阻在系统中介入的位置可分为高侧电流采样和低侧电流采样。低侧采样的优势在于，对 OPA 要求相对较低，线路简单易行，不足在于，无法检测负载的对地开短路故障，同时负载的接地被插入额外的电阻，可引入干扰。高侧采样能较好的检测负载开短路，消除了接地干扰。但是，对 OPA 性能要求更高。比如，要求 OPA 拥有更大的共模输入动态范围和共模抑制能力。设计可据实际应用选择采样方式。TP199 兼容两种采样方式。提供 36V 共模输入最大值。



图一：高侧，低侧电流检测示意

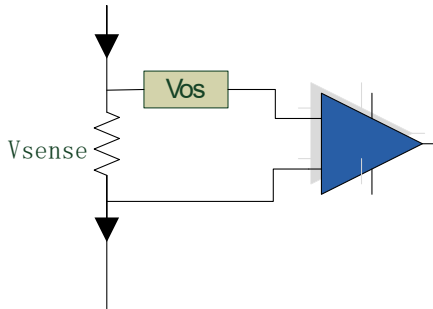
### 采样电阻选择

采样电阻选择主要评估两个参数功耗和阻值。举例：如果检测电路需要对 1-10A 的系统电流检测。最大误差出现在最小系统电流的时候，计算方式为  $V_{offset\_error} = V_{OS} / V_{sense\_min} * 100\%$ 。

如果选用 10 毫欧的采样电阻，V<sub>OS</sub>=100µV。则误差大小为 1%。最大功耗为  $P = I_{sense}^2 * R_{sense} = 1W$ 。

选择比较大阻值的采样电阻，可以提高采样精度，但功耗和封装会更大。

另外一个要考虑的是，因为 OPA 是固定增益的，电阻的选择不能让 OPA 输出超出电源轨和后级电路的动态范围。设计时需折中考虑，选择合适的电阻值。



图二：失调电压示意图

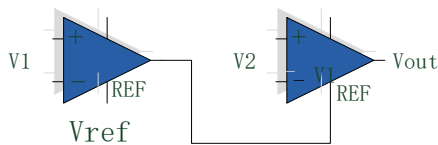
### 误差分析

实际上，如果评价整个检测电路的误差，远不止于 Vos 这一项。和其它 OPA 一样，运放的多项直流指标都会直接影响到总的误差值。比如，CMRR, PSRR, 增益误差，检测电阻容差，输入静态电流，噪声等等。因为以上各项目是无关联误差项目，总误差可以通过平方和的开方来计算。设计需要根据实际应用的特点，择取主要误差项目评估和优化。比如 CMRR 误差可以通过减小 Bus 电压纹波优化。PSRR 误差，可以通过选用 LDO 给 OPA 供电优化。

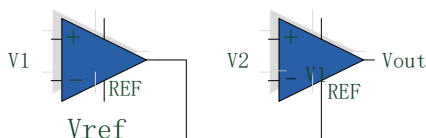
$$Error = \sqrt{Vos^2 + Ib^2 + CMRR^2 + PSRR^2 + Gain\_error^2 + R\_tolerance^2 + noise^2}$$

### 电路的配置

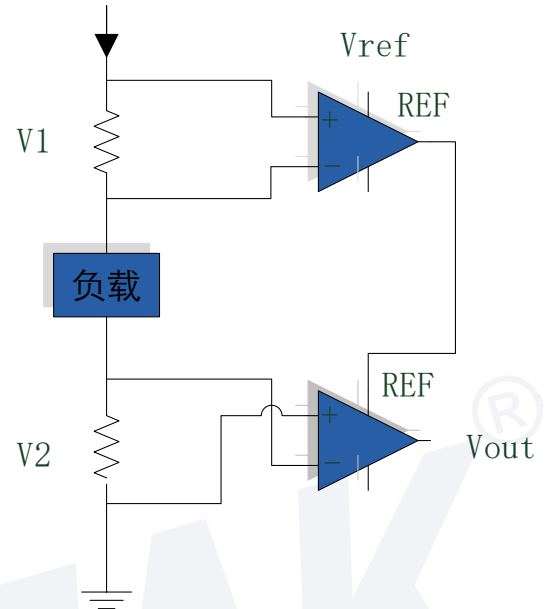
TP199 提供 REF 引脚，可把电路灵活的配置成双向检测电路，相加电路，相减电路。以简单的电路形式实现多种功能。



图三：检测双向电流示意图



图四：多路信号相加输出  $V_{out} = (V1 + V2) * Gain + Vref$



图五：多路信号相减输出  $V_{out} = (V1 - V2) * Gain + Vref$

### 布板考虑

TP199 集成增益电阻，内部匹配的电阻固化了增益值。已简化了设计要求。

可以从三个方面进一步完善设计：

1. 提供一个好的电源，LDO 的低噪声和纹波更利于设计。耦合电容最好贴近电源引脚。如果有多个耦合电源，把容值最小的放到离电源引脚最近的位置。
2. 运放输入端走线尽量变短。远离干扰源。
3. 如果有必要可以考虑在运放输出加上 RC 滤波器，进一步提高共模噪声抑制。

### 总结

电流感应放大器做为运放家族一个分支，继承了运放的通用特性。同时，又有符合特定应用的自身特点。内置的增益电阻，做到更好的匹配，降低了增益误差。共模输入范围较宽，同时独立于电源轨，增强了产品的适用

能力。低失调，零温漂，高 PSRR, CMRR 提高了精度。

---

 **3PEAK and the 3PEAK logo are registered trademarks of 3PEAK INCORPORATED. All other trademarks are the property of their respective owners.**

---

