

doi: 10.7690/bgzdh.2026.04.008

单电源供电磁平衡式电流传感器

杜 刚, 余冰冰, 王 威

(成都新欣神风电子科技有限公司, 成都 611731)

摘要: 为避免繁杂的电源转换和滤波处理, 降低整机成本, 设计一种单电源供电磁平衡电流传感器。采用闭环电流传感器工作原理, 在闭环原理的基础上增加简单的电路, 利用稳压电路提供零点输出偏置, 有效精准地用电压信号线性表达出待测电流信号, 可用于检测直流电流、交流电流、脉冲信号。结果表明, 该设计合理与可行。

关键词: 传感器; 单电源供电; 闭环式

中图分类号: TM91 **文献标志码:** A

Magnetic Balance Current Sensor with Single Power Supply

Du Gang, Yu Bingbing, Wang Wei

(Chengdu Xinxinshenfeng Electronic Technology Co., Ltd., Chengdu 611731, China)

Abstract: In order to avoid complicated power supply conversion and filter processing, and reduce the cost of the whole machine, an electromagnetic balance current sensor with single power supply is designed. The working principle of the closed-loop current sensor is adopted, a simple circuit is added on the basis of the closed-loop principle, a voltage stabilizing circuit is used for providing zero point output offset, a current signal to be measured is effectively and accurately expressed by a voltage signal in a linear mode, and the method can be used for detecting direct current, alternating current and pulse signals. The results show that the design is reasonable and feasible.

Keywords: sensor; single power supply; closed loop

0 引言

近年来, 由于电流传感器性能优越, 已在各类行业得到广泛应用。常规的双电源供电模式传感器已经不能满足用户要求, 在很多应用中, 用户的供电仅为单电源且要求霍尔电流传感器的拥有高精度、低温漂。为了适应不同用户需求, 避免繁杂的电源转换和滤波处理, 降低整机成本, 笔者设计了一种单电源供电磁平衡电流传感器。目前, 常规的单电源供电电流传感器一般采用开环式方案。开环式电流传感器由于没有反馈回路, 其精度及温漂全部取决于磁敏芯片性能^[1]。磁敏芯片外部不设温度补偿电路, 温漂在全工作范围内很难达到精度优于1%; 若通过外部电路补偿磁敏芯片温度漂移, 由于磁敏芯片温漂个体差异性较大, 很难保证其批量一致性。为达到高精度、低温漂的性能, 笔者采用闭环式方案。闭环式电流传感器, 又被称为磁平衡式或补偿式电流传感器, 具有超高精度和极低温漂等优点, 但传统的闭环式电流传感器一般为双电源供电, 无法实现单电源闭环方案。

1 闭环式电流传感器

闭环电流传感器, 如图1所示。被测原边电流

I_1 在聚磁环处产生磁场, 并通过线圈中电流所产生的磁场进行补偿, 其补偿电流 I_S 可以精确地反映原边电流 I_1 的大小及变化, 磁敏芯片始终处于检测零磁通的状态^[2]。

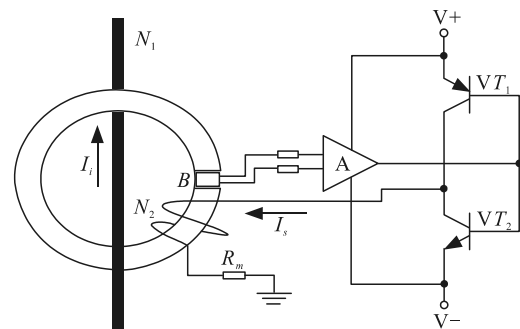


图1 闭环式霍尔电流传感器原理

其工作原理为: 由于磁环的磁导率远高于空气磁导率, 当有电流通过聚磁线圈中间的导线时, 在导线周围产生的微弱磁场, 被磁环聚集并感应到磁环中, 磁环气隙中的磁敏芯片检测到磁通量变化并产生差分输出信号, 输出信号经运算放大输出用于驱动三极管导通, 并于线圈中产生补偿电流 I_S ^[3]。电流 I_S 再通过线圈次级多匝绕组产生磁场, 该磁场与原边被测电流 I_1 产生的磁场正好相反, 因而对原磁场进行补偿, 使磁敏器件的输出逐渐减小。当电

收稿日期: 2024-12-12; 修回日期: 2025-01-12

第一作者: 杜 刚(1987—), 男, 重庆人。

流 I_S 与次级绕组匝数的乘积等于原边导线电流 I_1 与原边匝数乘积时，电流 I_S 稳定，磁场达到平衡，磁敏件起到监测气隙中磁通的作用，此时可以通过 I_S 来测试 I_1 。当此平衡被打破，即 I_1 发生变化时，磁敏件感应磁通变化，随即做出响应，使磁环中磁场重新达到平衡。被测电流的任何变化都会破坏这一平衡，一旦磁场失去平衡，磁敏件即有信号输出，经功率放大，补偿电流流过次级绕组以对失衡的磁场进行补偿。整个磁平衡过程，所需响应时间为 μs 级别，这是一个动态平衡的过程。因此该方式并不受温度和环境因数的影响，原边和副边的安匝数始终相等。

$$I_1 N_1 = N_2 I_S \quad (1)$$

式中： I_1 为原边被测电流； N_1 为原边匝数； N_2 为副边匝数； I_S 为副边补偿电流^[4]。

闭环式电流传感器具有极高的精度、极低的温度漂移。当传感器供电电压为单电源时，常规的磁平衡方式电流传感器无法正常工作。

目前，业界单电源供电的磁平衡霍尔电流传感器方案较少。常规做法是先将传感器的单电源采用一个电源模块转换成 $\pm 15\text{ V}$ 的双电源，为磁平衡式电流传感器供电。该种方式不仅增加了整机的成本和体积，而且引入电源的开关噪声，对整机造成电磁干扰^[4]。

笔者提出一种电路简单、易于实现的单电源磁平衡式电流传感器方案。

2 单电源方案电路设计

笔者在闭环式电流传感器电路的基础上增加简单的电路，利用基准稳压电路将电源信号转换成一个精准电压信号，以提供传感器的零点输出偏置。由于前级沿用闭环式方案，线圈内补偿电流 I_S 随原边检测电流 I_1 线性变化，当补偿电流流过检测电阻时，线性放大，固输出电压与原边电流线性变化。

该方案选用磁敏芯片本身温漂极低，针对 2 000 TS 以上的线圈可控制零点热漂移小于 0.1 mA，固输出电压温漂可控制在几毫伏内。该方案中，传感器可实现高精度、低温漂、高线性度。如图 2 所示该电路由磁通检测、零点调试、输出比较、基准稳压和输出放大电路组成。

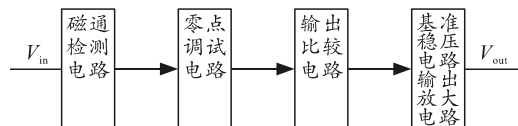


图 2 单电源磁平衡霍尔传感器

正常工作时，若供电电源为 $+5\text{ V}$ 电压，可设置零点基准电压为 $+2.5\text{ V}$ 。且有：

$$V_{\text{out}} = 2.5\text{ V} + R * I_S \quad (2)$$

式中： 2.5 V 为基准稳压源设置的零点输出电压，该基准电压可根据实际应用选择合适的基准稳压源； R 为电流采样电阻，用于调节传感器灵敏度。

2.1 磁通检测电路

磁通检测电路原理如图 3 所示。

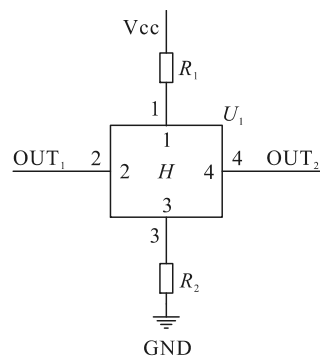


图 3 磁通检测电路

磁通检测电路中，通过配置电阻 R_1 、 R_2 的阻值，以保证磁敏件在其额定的电流电压范围内正常工作，将磁敏件置于开口线圈开口处，检测磁芯内磁通的变化情况。当垂直于芯片正向磁通穿过磁敏件 U_1 时， U_1 输出差分电压 OUT_1 大于 OUT_2 ；当垂直于芯片反向磁通穿过磁敏件 U_1 时， U_1 输出差分电压 OUT_1 小于 OUT_2 。且该差分电压大小能精准地反应磁通的大小和方向^[5]。

U_1 为磁敏件，供电范围较宽 $-7\text{ V} \sim +7\text{ V}$ ，外围器件少，仅需 2 个限流电阻 R_1 、 R_2 ，且该磁敏芯片内阻大，工作电流低为 μA 级别，空载功耗极低，在 $-55^\circ\text{C} \sim +150^\circ\text{C}$ 范围内，工作灵敏度和失调电压十分稳定，因此，在传感器电路中产生的漂移极低。

2.2 零点调试电路

传感器零点漂移指的是在传感器正常供电、输入电流信号为零时，由于受温度变化、供电电源不稳等因素的影响，导致电路输出电压信号偏离零点而上下漂动的现象，称为零点漂移，又可简称为“零漂”^[6]。设置此部分电路是用来调整传感器的零点输出，以满足传感器所需要的低零漂输出。零点调试电路如图 4 所示。 R_3 、 R_4 、 R_5 为零点调试电阻， R_3 、 R_4 为粗调电阻， R_5 为微调电阻。电流型输出传感器当零点漂移大于 0.1 mA 时，通过调节电阻 R_3 、 R_4 的阻值调整 U_1 内部推挽式惠斯通全桥，以调节零点输出差分电压。电流型输出传感器当零点漂移

小于 0.1 mA 时,通过调节电阻 R_5 的阻值可微调零点。

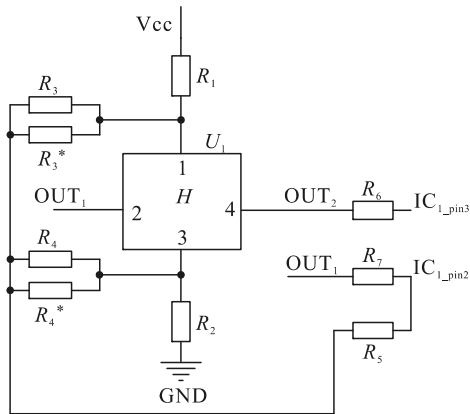


图 4 零点调试电路

2.3 输出比较电路

若传感器原边无输入电流信号,磁敏芯片 U_1 通过零点调试电路使得其输出差分电压 $OUT_1=OUT_2$,由 IC_{1A} 比较放大后使 L_1 无电流流过;对传感器原边施加正向测试电流, U_1 差分输出电压 OUT_1 大于 OUT_2 ,此时电路产生反向电流流经 L_1 对原边电流进行补偿;对传感器原边施加反向测试电流, U_1 差分输出电压 OUT_1 小于 OUT_2 ,此时电路产生正向电流流经 L_1 对原边电流进行补偿。此部分电路可实时反馈原边电流情况,并将其转换成线圈中补偿电流供后级电路采样放大输出。输出比较电路如图 5 所示。

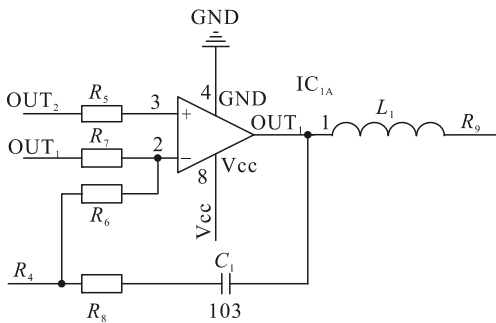


图 5 输出比较电路

2.4 输出放大电路

传感器原边无输入电流信号时,传感器零点输出电压值由基准稳压源 D_1 决定。 D_1 为高精度低温漂基准稳压源, R_{13} 为限流电阻, C_4 、 C_5 为滤波电容,当 V_{cc} 及工作温度一定范围内波动时, D_1 始终保持稳定输出。

传感器原边施加正向测试电流时, U_1 差分输出电压 OUT_1 大于 OUT_2 ,此时 L_1 有反向电流流过对原边电流进行补偿;传感器原边施加反向测试电流时, U_1 差分输出电压 OUT_1 小于 OUT_2 ,此时 L_1 有

正向电流流对原边电流进行补偿。电流流过采样电阻 R_9 产生的输出电压 V_{OUT} ,随电流变化而线性变化。

C_2 、 R_{10} 、 R_{11} 、 C_3 组成输出电压滤波电路,保证输出电压平滑稳定。输出电路如图 6 所示。

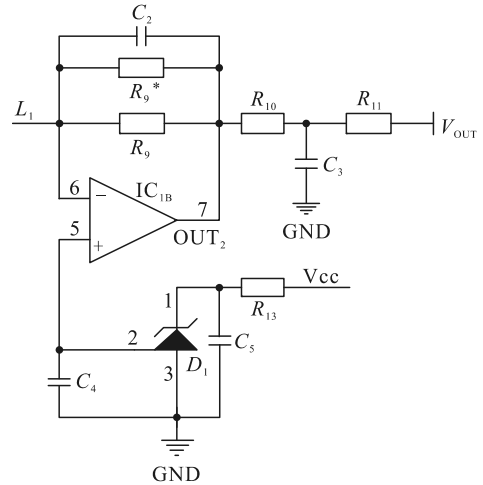


图 6 输出放大电路

3 试验验证

基于本文中电路方案设计的直流霍尔电流传感器,线性测量范围为 ± 50 A,输出范围为 2.5 ± 2 V,测试数据如表 1 所示。

表 1 测试数据

检测输入 电流[ADC]/A	实测输出 电压[VDC]/V	理论输出 电压[VDC]/V
0	2.502	2.500
25	3.502	3.500
-25	1.498	1.500
50	4.505	4.500
-50	0.495	0.500

由结果可以看出:该电流传感器失调电压仅有 2 mV,且零点输出电压为高精度、低温漂基准稳压源提供,使得该传感器具有优越的温度稳定性。由测试数据可知,传感器精度小于 0.25%。

4 结论

笔者实现单电源供电的磁平衡式方案电流传感器,采用基准稳压源保证零点输出的稳定性,具有原副边高度隔离、高精度、高线性度、低温漂、结构简单、安全稳定等特点,可广泛应用于电力、石油、化工、铁路、通信、汽车等行业。同时,大电流、单电源、磁平衡式电流传感器方案可通在该电路的基础上过增加次级线圈匝数或是运放后级接功率管来实现。