

案例三：霍尔电流传感器在车用电源系统中的应用

（霍尔传感器）

1 引言

地面车用电源系统（以下简称电源系统）的输出电流的检测与控制，直接决定了电源系统工作的稳定性和可靠性，从而会影响车辆用电负载的运行状况及车辆的可操作性。由于车用电源的负载常常因为车辆复杂的使用条件而导致负载变化较大，随之电源的输出功率也将发生较大变化，若对电源的输出电流不加限制，会造成电源因过载而发热，影响其功率输出，更严重情况下会导致电源永久失效。

闭环霍尔电流传感器（以下简称传感器）在车用电源系统中的应用，实现了对电源系统输出电流的隔离测量，即传感器的输出信号与电源的输出电流电气隔离，有利于传感器输出信号调整处理，通过调整、设定该信号并反馈控制电源系统的输出电流，当电源的输出电流接近电源系统的设计功率输出时，电源输出电流将不再增加，从而限制了电源系统的输出功率，保护电源系统不会因用电负载的变化而损坏。

2 闭环霍尔传感器的工作原理

1879 年，美物理学家 Edwin Herbert Hall 发现霍尔效应以来，霍尔技术越来越多的应用于工业控制的各个领域。进入八十年代，随着元器件工艺技术的发展，霍尔器件的性能大大提高，由霍尔器件应用开发的霍尔电流、电压传感器的性能也有很大提高，特别闭环霍尔电流、电压传感器的研制成功，大大的扩展了该项技术的应用领域。

2.1 霍尔效应及霍尔器件

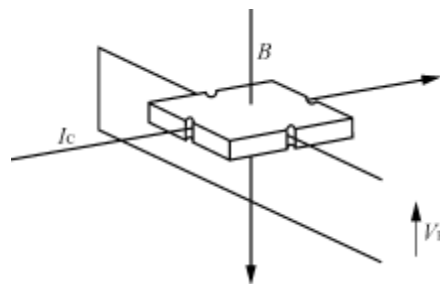


图 1 霍尔效应原理

霍尔效应是霍尔技术应用的理论基础，其原理如图 1 所示。当通有小电流的半导体薄片置于磁场中时，半导体内的载流子受洛伦兹力的作用发生偏转，使半导体两侧产生电势差，该电势差即为霍尔电压 V_H ， V_H 与磁感应强度 B 及控制电流 I_C 成正比，经过理论推算有如下等式关系：

$$V_H = (RH/d) \times B \times I_C \quad (1)$$

式中： V_H 为霍尔电压； B 为磁感应强度； I_C 为控制电流； R_H 为霍尔系数； d 为半导体厚度。

上式中，若保持控制电流 I_C 不变，在一定条件下，可通过测量霍尔电压推算出磁感应强度的大小，由此建立了磁场与电压信号的联系。根据这一关系式，研制了用于测量磁场的半导体器件，即霍尔器件。

2.2 闭环霍尔电流传感器的工作原理

闭环霍尔电流传感器是利用霍尔器件为核心敏感元件用于隔离检测电流的模块化产品，它的工作原理（如图 2 所示）是霍尔磁平衡式的（或称霍尔磁补偿式、霍尔零磁通式）。

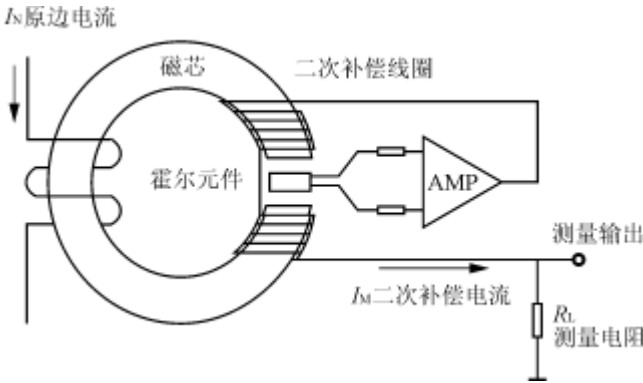


图 2 闭环霍尔电流传感器的工作原理

众所周知，当电流流过一根的直导线时，在导线周围产生磁场，磁场的大小与流过导线的电流大小成正比，这一磁场可以通过软磁材料来聚集，然后用霍尔器件进行检测，由于磁场的变化与霍尔器件的输出电压信号有良好的线形关系，因此可利用霍尔器件的测得的输出信号，直接反应出导线中的电流大小，即：

$$I \propto B \propto V_H \quad (2)$$

式中： I 为通过导线中的电流； B 为导线通电流后产生的磁感应强度； V_H 为霍尔器件在磁场 B 中产生的霍尔电压。当选择适当的比例系数，上述关系可以表示为等式。对于霍尔输出电压信号 V_H 的处理，人们设计了许多种电路，但总体来讲可分为两类，一类为开环（或称直测式、直检式）霍尔电流传感器；另一类为闭环（或称零磁通式、磁平衡式）霍尔电流传感器。

针对霍尔传感器的电路形式而言，人们最容易想到的是将霍尔元件的输出电压用运算放大器直接信号放大，得到所需要的信号电压，由此电压值来标定原边被测电流大小，这种形式的霍尔传感器通常称为开环霍尔电流传感器。开环霍尔传感器的优点是电路形式简单、成本相对较低；其缺点是精度、线性度较差；响应时间较慢；温度漂移较大。为了克服开环传感器存在的不足，八十年代末期，国外出现了闭环霍尔电流传感器。1989 年，北京七零一厂引进国外技术在国内率先开展闭环霍尔电流传感器的研制、生产。经过十几年的努力，这种传感器在国内逐渐为广大用户了解和应用。

闭环霍尔电流传感器的工作原理是磁平衡式的，即原边电流（ I_N ）所产生的磁场，通过一个副边线圈的电流（ I_M ）所产生的磁场进行补偿，使霍尔器件始终处于检测零磁通的工作状态。当原副边补偿电流产生的磁场在磁芯中达到平衡时，即有如下等式：

$$N \times I_N = n \times I_M \quad (3)$$

式中： I_N 为原边电流； N 为原边线圈的匝数； I_M 为副边补偿电流； n 为副边线圈的匝数。

由上式看出，当已知传感器原边和副边线圈匝数时，通过测量副边补偿电流 I_M 的大小，即可推算出原边电流 I_N 的值，从而实现了原边电流的隔离测量。

3 闭环霍尔电流传感器的主要性能

闭环霍尔电流传感器是近十年来出现的高技术模块化产品，其性能要大大的优于开环霍尔电流传感器，同时与传统的分流器或互感器的电流测量方法相比亦有许多优点。闭环霍尔电流传感器主要有以下特点：

- 1) 可以同时测量任意波形电流，如：直流、交流、脉冲电流；
- 2) 副边测量电流与原边被测电流之间完全电气隔离，绝缘电压一般为 2KV~12KV；
- 3) 电流测量范围宽，可测量额定 1mA~50KA 电流；
- 4) 跟踪速度 di/dt ：高于 50A/us；
- 5) 线性度：优于 0.1% I_N ；
- 6) 响应时间：小于 1us；
- 7) 频率响应：0~100KHz。

4 传感器在车用电源系统中的应用

闭环霍尔电流传感器的应用范围很广，目前已成功的应用于各种电源、逆变焊机、发电及输变电设备、电气传动、数控机床、军用装备等工业及军用产品上。下面以额定电流为 300A 的 CHB-300S 型霍尔电流传感器为例说明这种传感器的应用。

表 1 CHB-300S 型霍尔传感器的主要性能数

符号	名称	参数
	型号	CHB-300S/SP1
I_N	额定电流	300A(RMS)
I_P	测量范围	0~500A
I_M	输出电流	150mA 对应原边 300A
X	精度 ($T_a=25^{\circ}\text{C}$)	I_N 的 $\pm 0.5\%$
K_N	匝比	1:2000
L	线性度	<0.1%
	di/dt	>50A/s
I_{off}	失调电流	$\pm 0.3\text{mA}$ (典型)
t_r	响应时间	1 μs
V_c	电源电压	+20~30V($\pm 5\%$)

I_C	耗电	$28\text{mA} + I_M$
t_a	工作温度	$-40^{\circ}\text{C} \sim 85^{\circ}\text{C}$
t_s	贮存温度	$-55^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$

CHB-300S 型闭环霍尔电流传感器的额定电流为 300A， 输出电流为 150mA，表 1 给出了 CHB-300S 型传感器的主要性能参数。

某型地面车辆装备了一套独立的大功率发电系统，在该车辆发电系统中设计选用了 CHB-300S 型闭环霍尔电流传感器作为系统电流检测部件，传感器的主要作用是隔离检测发电系统的输出电流，通过对传感器的输出信号进行处理，设定限流工作点，确保发电系统的输出功率不高于发电机的额定功率。闭环霍尔电流传感器 CHB-300S 的应用，很好的实现了上述应用目的。通过设置传感器 CHB-300S 的输出信号，对发电机 D1 的输出电流加以限制，避免出现发电机的输出功率过高而发生故障或损坏，保证发电系统的正常工作。

经过测试，该传感器的性能能够满足车用发电系统对电流检测的需要，该设计已在多套地面车辆的发电系统中应用。