

20KA 闭环霍尔电流传感器 在核聚变装置供电电源系统中的应用

李泽勇 王文生

(北京七〇一厂 北京森社电子有限公司, 北京 100121)

摘要: 本文介绍闭环霍尔电流传感器的工作原理及在核聚变装置系统中的应用, 实现了对核聚变装置供电系统中直流大电流的隔离测量、控制, 解决了该装置能量的稳定供给问题。

关键词: 闭环; 霍尔电流传感器; 核聚变; 装置; 应用

Application of 20KA Close-Loop Hall Current Sensor For Power System in a Nuclear Fusion Equipment

Li Ze-Yong Wang Wen-sheng

Abstract: This article presents a principle of a close-loop Hall current sensor and an application of the sensor for a power system in a nuclear fusion equipment. The sensor is used to measure an output current of the power system and the output signal of the sensor is isolated between the primary current (The output current of the power system) and the secondary current (The output signal of the sensor). According to this application, we solve a problem to protect the high power system in a nuclear fusion equipment by limiting the output current of the system.

Keywords: Close-loop; Hall current sensor; Power system in a nuclear fusion equipment; Application

1 引言

寻找和利用新的能源是全球科学家面临的共同课题。2006年3月25日,《北京日报》在“中国新闻”栏目中以“人造太阳”实验装置成功完成首次工程调试为题,报道了我国核聚变研究领域取得的成就。据报道,由我国自行设计、研究的第一个全超导托卡马克 EAST(原名 HT-7U)核聚变实验装置,日前在合肥科学岛,中国科学院等离子体物理研究所里成功进行了首次工程调试。调试结果表明主机和各分系统的设计和研制是成功的。



图 1: 全超导托卡马克 EAST (原名 HT-7U) 核聚变实验装置

另据报道,今年5月26日,来自世界各地的近400名科学家,在合肥科学岛参观了我自主研发的“人造太阳”——全超导托卡马克 EAST 核聚变实验装置。

“人造太阳”是科学家对有效控制“氢弹爆炸”过程,让能量持续稳定输出的实验装置的一种比喻,因为它可以像太阳一样,为人类提供一种无限、清洁和安全的能源。

闭环霍尔电流传感器(以下简称传感器)在核聚变装置供电电源系统中的应用,实现了对该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,使得输出电流稳定、并连续可调,同时对输出电流的过载起到监控作用,确保提供到核聚变装置的能量安全、稳定。

2 闭环霍尔传感器的工作原理

1879年,美国物理学家 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，特别是闭环霍尔电流、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

霍尔效应是霍尔技术应用的理论基础，当通有小电流的半导体薄片置于磁场中时（如图 2），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 ，这个电压 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：

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

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，人们研制了用于测量磁场的半导体器件，即霍尔器件。

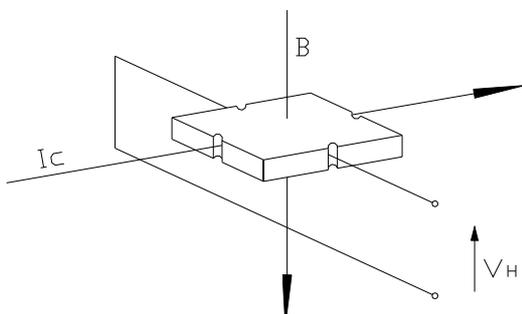


图 2 霍尔效应原理

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，它的工作原理是霍尔磁平衡式的（或称霍尔磁补偿式、霍尔零磁通式）。众所周知，当电流流过一根长的直导线时，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，北京七〇一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。

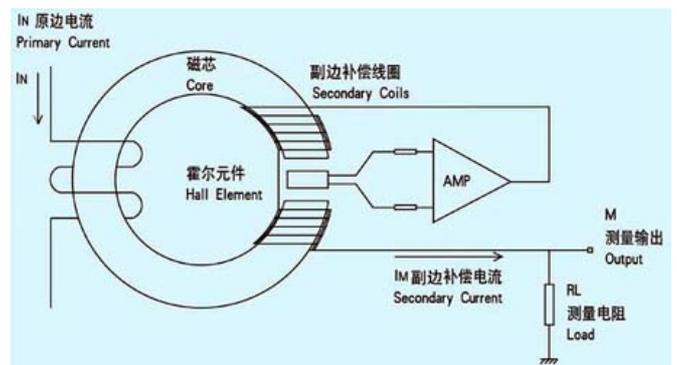


图 3 闭环霍尔电流传感器的工作原理

闭环霍尔电流传感器的工作原理是磁平衡式的（如图 3），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



图 4 CHB-20KA 闭环霍尔电流传感器

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。图 4 为采用闭环霍尔磁补偿原理制造的 20KA 霍尔大电流传感器产品，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。

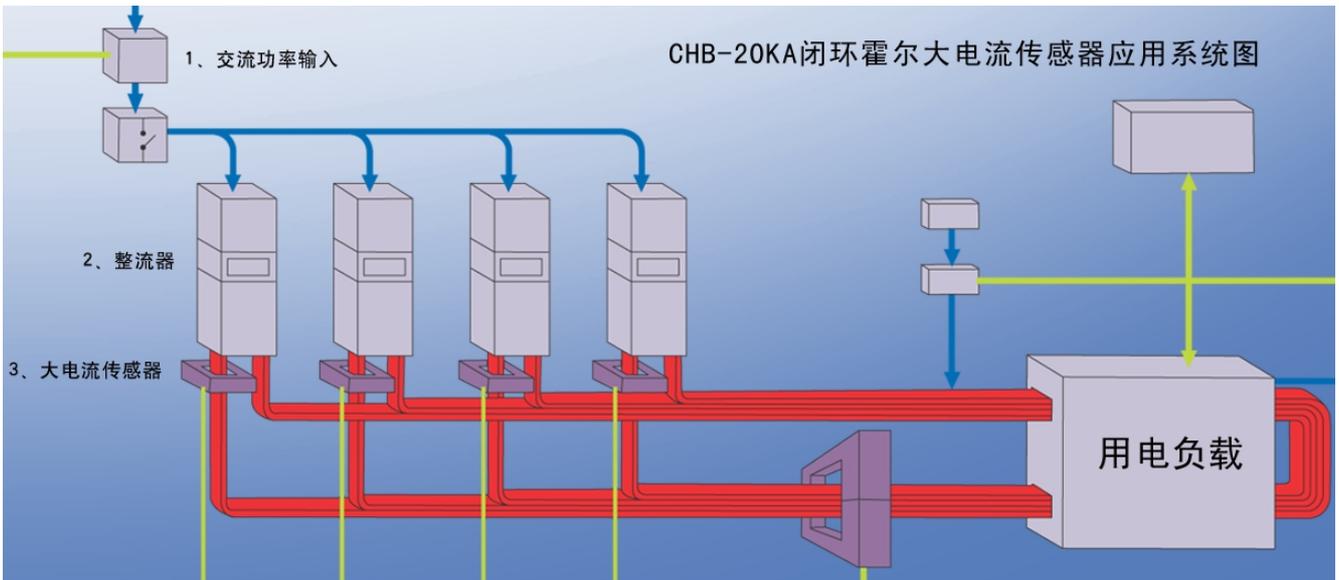
4 传感器在核聚变装置电源系统中的应用

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逆变焊机、发电及输变电设备、电气传动、数控机床等工业产品上。下面以额定电流为 20KA 的 CHB-20KA 型霍尔电流传感器为例说明这种传感器的应用。

表 1 CHB-20KA 型霍尔传感器的主要性能参数

符 号	名 称	参 数
	型 号	CHB-20KA
I_N	额定电流	20KA (RMS)
I_P	测量范围	0~25KA
I_m	输出电流	4A 对应原边 20KA
X	精度 ($T_a=25^\circ\text{C}$)	I_N 的 $\pm 0.4\%$
K_N	匝 比	1: 5000
L	线性度	< 0.1%
I_{off}	失调电流	$\pm 0.8\text{mA}$ (典型)
T_r	反应时间	1 μS
V_c	电源电压	$\pm 36\text{V} \dots \pm 48\text{V}$ ($\pm 5\%$)
I_c	耗 电	60mA+ I_m
T_a	工作温度	$-25^\circ\text{C} \sim 70^\circ\text{C}$
T_s	贮存温度	$-40^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$

CHB-20KA 型闭环霍尔电流传感器的额定电流为 20KA，输出电流为 4A，表 1 给出了 CHB-20KA 型传感器的主要性能参数。



在核聚变装置电源系统中的大功率供电系统中设计选用了 CHB-20KA 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供电系统的输出直流大电流，通过对传感器的输出信号进行处理，反馈到供电控制器，实现对输出电流的稳流控制，确保供电系统的输出功率稳定，并且不高于发供电电源的额定功率。闭环霍尔电流传感器 CHB-20KA 的应用，很好的实现了上述应用目的(如图 5)。

图 5 霍尔电流传感器的应用原理



图 7 闭环霍尔电流传感器的安装现场

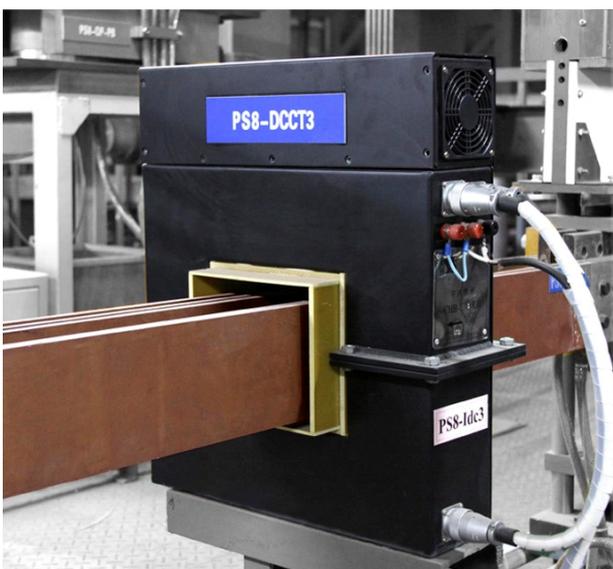


图 6 CHB-20KA 闭环霍尔电流传感器的应用

该核聚变装置电源系统中采用了 43 套 3KA-20KA 闭环霍尔电流传感器(如图 6、7)，经过测试，CHB-KA 型霍尔传感器的性能稳定、可靠，能够满足该供电电源系统对电流检测的需要，并按相关标准通过了试验，测试结果受到专家的肯定。

参 考 文 献

- [1] 刘恩科、朱秉升等编,《半导体物理学》,
263~268 页,上海科学技术出版社,1984.
- [2] 502 室编,《半导体专业实验讲义》,西北电讯工程学院,
1986.

作 者 简 介

李泽勇,男,1987年毕业于西北电讯工程学院微电子专业,任北京七〇一厂总工程师,主要从事电力电子方面产品开发、应用工作。

王文生,男,北京森社电子有限公司公司副总经理,在霍尔传感器领域有多年工作经验,先后开发出多种型号霍尔传感器,同时在产品应用方面有着丰富的经验。