

电子式电流互感器传感头的低功耗设计

贾春荣, 邸志刚, 张庆凌, 侯国强, 金建国

(河北理工大学, 河北 唐山 063009)

摘要: 降低传感头功耗是目前电子式电流互感器的研究重点。针对电子式电流互感器的工作原理及目前研究难点,通过对传感元件和模拟信号处理电路的改进,有效地使传感头的功耗降低到 50 mW 以下,测量精度得到提高。此外对电流互感器的相位补偿也有了很大的改善。试验结果证明,该设计方案切实可行,除降低功耗以外,在比差及相位差方面都能够满足国标 0.2 级电流互感器的要求。

关键词: 电子式电流互感器; Rogowski 线圈; 低功耗

中图分类号: TM452.92

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)02-0084-03

Low Power Consumption Design of Electronic Current Transformer Sensor

JIA Chun-rong, DI Zhi-gang, ZHANG Qin-ling, HOU Guo-qiang, JIN Jiang-guo

(Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009, China)

Abstract: Based on the analysis of working principle of electronic current transformer, the sensing element and analog signal processing circuit were improved, the power consumption of sensor was reduced to less than 50 mW, and the measurement precision was enhanced. In addition, the phase compensation of the transformer was meliorated significantly. Experimental results demonstrate that this design proposal is feasible, and the ratio difference and phase difference can meet the requirements for 0.2 level current transformer.

Key words: electronic current transformer; Rogowski coil; low power consumption

0 引言

电子式电流互感器是指电子化测量输出方式的电力系统互感器,它涵盖了不同的测量原理、方法以及测量传输方式^[1]。随着电力系统规模的不断扩大,对电流互感器提出越来越高的要求,而电子式电流互感器以其绝缘结构简单、体积小、重量轻及安装运输方便等独特优点得到广泛的重视,并被认为是目前应用于电力系统的电磁式电流互感器的理想替代品。随着科学技术发展,测量方法准确化、测量传输光纤化、测量输出数字化是电子式电流互感器的 3 个主要发展趋势。但是由于存在着运行稳定性差、传感头功耗高因而供电电路难于实现等问题不能使电子式电流互感器得到更广泛的应用^[2]。因而合理设计传感头电路、进一步改善性能并降低功耗是目前备受关注的研究重点,尤其对测量小电流,这一问题尤为严重。

以往电流互感器采用测量回路及保护回路,其功耗一般都在 200 mW 左右^[3]。该课题研究的是基于 Rogowski 线圈的电子式电流互感器,笔者对基于 Rogowski 线圈的电子式电流互感器的传感头部分进行改进,设计了一套新的方案。该设计方案能够有效地降低传感头功耗、克服低频干扰,并且对相位差进行补偿。

1 电子式电流互感器的工作原理

电子式电流互感器是通过 Rogowski 线圈将一次高压侧电流感应为电压信号,然后对电压信号进行处理后转换成光信号,通过光纤传输到二次低压侧,在低压端做适当处理后以模拟量和数字量两种形式输出,以便进行观测。该课题研究的电子式电流互感器其具体工作原理见图 1。

该课题研制的电子式电流互感器高压侧主要包括 Rogowski 线圈及信号处理电路。针对所研制的用于小电流测量的电子式电流互感器要求,在传感元件 Rogowski 线圈部分采用专门设计的适用于小电

收稿日期:2008-05-12; 修回日期:2008-11-17

基金项目:河北省科技攻关计划项目(062035161D-1);唐山市科技局基金项目(07160202d-7);

河北省教育厅自然科学基金(200427)。

作者简介:贾春荣(1977-),女,硕士,讲师,研究方向为光电检测及光纤传感。

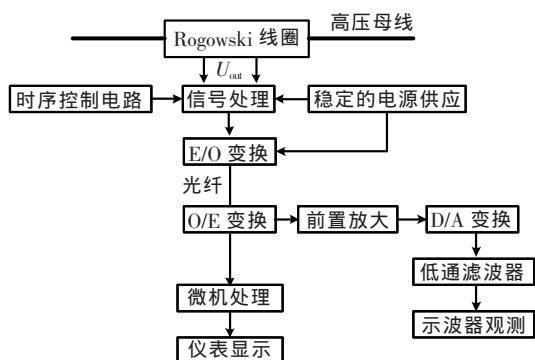


图1 Rogowski线圈电子式电流互感器原理图

流测量的 Rogowski 线圈^[3]。信号处理部分,为了有效地降低高压端功耗,在信号处理部分专门设计了一套新型的处理电路,详细介绍如下。

2 高压侧信号处理电路设计

根据 IEC 的要求,电流互感器应该具有过载保护措施(在正常电流 20 倍的情况下的保护电路)。目前国内外的设计方式通常是采用两条回路^[4],分别完成对测量和过载保护功能,因而高压侧的功耗较大,对于高压供电电源而言就有很大的压力,并且也增加了生产成本。为了降低高压端的功耗,降低生产成本,笔者设计了一种新型的模拟信号处理系统,即采用一条回路完成测量和过载保护功能。

2.1 智能放大电路的设计

该课题研制的电子式电流互感器测量额定电流为 5 A,额定输出电压为 5 V,由于被测电流很小,感应出的电压信号极其微弱,在处理及传输过程中容易受到干扰,因此要对其进行放大以增强其抗干扰性。为了实现一条回路完成测量与过载保护两种功能,采用了智能放大电路,其电路见图 2。

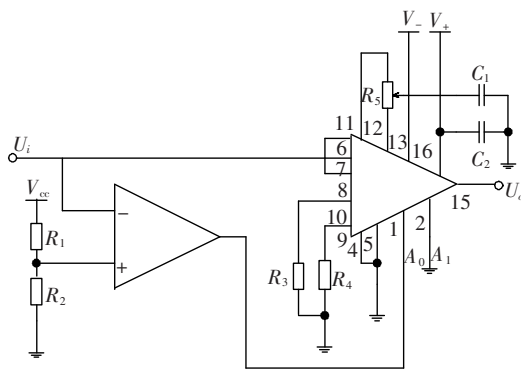


图2 智能放大电路

为了降低前级对处理电路的干扰,首先采用电压跟随器进行隔离,然后通过电压比较器 MAX907 和可编程运算放大器 PGA102 组成可控放大电路。感应电压信号与电压比较器的参考电压进行比较,由电压比较器的输出信号去控制可编程运算放大电路,实现当电流在正常范围时将信号放大 40 倍,若

一次电流过载,即当被测电流超过 100 A 时,则将信号放大 1 倍,从而完成对电流的正常测量及后级设备的保护作用^[5,6]。

2.2 积分电路的设计

由于传感元件 Rogowski 线圈的输出电压与被测电流是微分关系,因此为了实现对电流的线性测量,需要加入积分电路。积分电路的设计中,如何抑制低频干扰是主要考虑的问题。文[7]曾提出一种改进的积分电路,但其幅频特性的特点是在低频段存在一个峰值频率,对于此频率的干扰信号的放大倍数将是工频信号的 70 多倍,也就是说从电路并不能很好地抑制低频干扰。为了使积分电路对整个低频段的信号增益都很小,并且也考虑相位补偿的问题,笔者设计的新型积分电路,除了具有积分作用外,还能够起到一定的相位补偿作用,其电路见图 3。

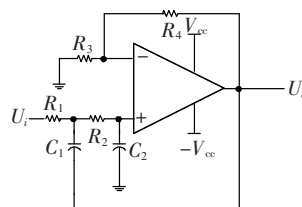


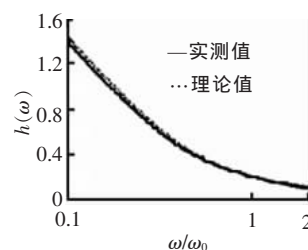
图3 新型积分电路

$$\text{此电路的传递函数为 } \frac{U_o}{U_i} = K \frac{\omega_0^2}{S^2 + \alpha\omega_0 S + \omega_0^2}$$

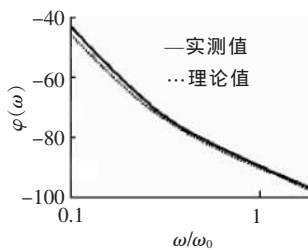
其中: $K = (R_3 + R_4) / R_3$; $\omega_0 = (R_1 R_2 C_1 C_2)^{-1/2}$;

$$\alpha = \frac{(R_3 // R_4) (R_1 C_1 + R_2 C_2 + R_1 C_2)}{\omega_0 R_1 R_2 C_1 C_2}$$

通过 Pspice 仿真选择合适参数,最终得出幅频特性及相频特性曲线见图 4。



(a) 幅频特性



(b) 相频特性

图4 新型积分电路幅频、相频特性曲线

由图可见,新型积分电路实测特性曲线与理论特性曲线基本吻合,只是在低频段稍微有些误差,这是运算放大器本身失调误差所引起的。

2.3 相位补偿电路的设计

在信号传输及处理过程中，由于传输延迟、Rogowski 线圈、积分环节的存在，必然会产生一定相位差，为了精确测量母线电流，就需要进行相位补偿。笔者采用全通滤波器来实现此功能。当前普遍采用的相位补偿电路中，调相范围都是在 $0\sim 180^\circ$ 、调节度数在 90° 左右时很容易实现，但在调节度数比较小时则很难实现。该课题的相位补偿主要用于补偿 Rogowski 线圈与积分环节带来的相位差，范围在 $5\sim 10^\circ$ 。因此，采用两个一阶全通滤波电路串联来解决这个问题^[8]，并且采用高精度运算放大器 MAX422 来构成调相电路，见图 5。

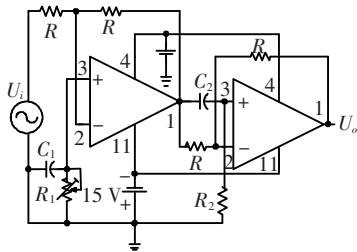


图 5 相位补偿电路

电路中将 R_1 换为可调电阻以实现对其相位的调节。通过 Pspice 仿真，理想结果见图 6、7。由于实际选用电阻值与理论值有误差，从图中可以看出，全通滤波器的幅值稍微有些波动，但是足以满足对精度的要求。

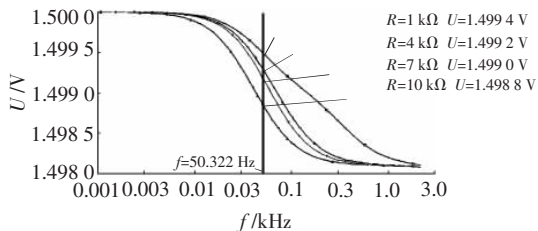


图 6 调相电路幅频响应

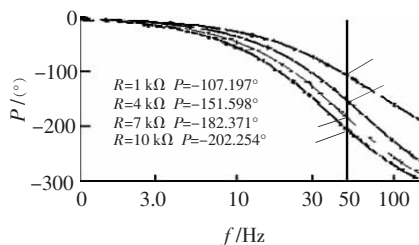


图 7 调相电路相频特性

3 实验结果

传感头由 Rogowski 线圈和模拟信号处理系统两部分构成，对于模拟信号处理部分，通过采用 0.1 级高精度电流表和电压表、WYP-4 型音频稳压电源作电流发生器，利用高精度 KEITHLEY 2000MULTIMETER 型数字万用表和 HG1416 工频

相位计对整个系统按照 GB 1208-1997 中规定的测试点进行测试，功耗只有 43 mW，比以往信号处理电路的功耗降低了很多。此外比差和相位差实验数据见表 1、2。

表 1 比差实验数据

I/A	U_o/mV	E_{o1}/mV	E_{o2}/mV	$\varepsilon/\%$
0.25	0.623	25	24.81	-0.76
1.0	2.498	100	99.35	-0.65
3.0	7.480	300	298.38	-0.54
5.0	12.490	500	498.85	-0.23
6.0	15.010	600	601.52	0.25
100	249.720	500	501.80	0.36

注： U_o 为传感头线圈输出的电压值； E_{o1} 为输出电压理论值； E_{o2} 为信号处理系统实际输出电压值

表 2 相差实验数据

电流/A	相位差/(°)	电流/A	相位差/(°)
0.25	29.0	5.0	9.5
1.00	14.1	6.0	1.8
3.00	14.0	100.0	22.6

从表 1、2 可以看出，整个系统的比差和相位差在规定的测试范围内与理论要求基本符合，可以达到 0.2 级标准。

4 结论

笔者主要介绍了一种基于 Rogowski 线圈的电子式电流互感器的传感头部分，通过对传感元件及模拟信号处理电路的改进，能够有效地降低功耗、提高精度。该电流互感器的测量范围为 $0\sim 100 A$ ，由 Pspice 仿真结果及试验结果可见，其精度完全可以达到 0.2 级要求。

参考文献：

- [1] IEC 60044-8. Instrument Transformers, Part 8: Electronic Current Transformers[S].
- [2] 曾庆禹. 电力系统数字光电测量系统的原理及技术 [J]. 电网技术, 2001, 25(4): 1-5.
- [3] 李红斌, 刘延冰, 张明明. 电子式电流互感器中的关键技术 [J]. 高电压技术, 2004, 30(10): 4-6
- [4] 张庆, 徐雁. 光电电流传感器的低功耗设计 [J]. 高压电器, 2002, 38(6): 25-27.
- [5] 邱志刚, 贾春荣, 郑绳植. 用于小电流测量的高精度 Rogowski 线圈的研究与设计 [J]. 电气应用, 2005, 24(5): 62-65.
- [6] 郭晓华, 叶妙元, 徐雁, 等. 用于 110 kV 变压器的空心线圈电流传感器研究 [J]. 高压电器, 2002, 38(3): 23-26.
- [7] RAY W F, DAVIS R M. Wide Bandwidth Rogowski Current Transducers Part II: The Integrator [J]. European Power Electronics and Drives Journal, 1993, 3(2): 116-122.
- [8] D E 约翰逊, J R 约翰逊, H P 穆尔. 有源滤波器精确设计手册 [M]. 李国荣, 译. 北京: 电子工业出版社, 1984.