

基于霍尔传感器 HW-302 的非接触式 电流波形检测系统

陈璐¹ 刘卫玲² 常晓明³

(1. 太原理工大学 信息工程学院 太原 030024; 2. 太原理工大学 物理与光电工程学院 太原 030024;
3. 太原理工大学 计算机科学与技术学院 太原 030024)

摘要: 为了满足在非接触条件下检测电流波形的工业需求,提出一种由霍尔传感器 HW-302 构建的非接触式电流波形检测系统。系统利用霍尔传感器采集电流信号,经过信号处理电路放大后,由示波器显示,实现了电流波形的检测。为验证检测的正确性,通过给电感线圈施加不同的信号,检测其电流波形,并分析了系统的性能。实验表明,设计的系统以非接触方式检测电流波形,基本达到了预期的效果。

关键词: 霍尔传感器; 电流波形; 非接触式; 检测

中图分类号: TP271 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4010

Non-contact type current waveform detection system based on hall sensor HW-302

Chen Lu¹ Liu Weiling² Chang Xiaoming³

(1. College of Information Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;
2. College of Physics and Optoelectronics, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;
3. College of Computer Science and Technology, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In order to meet the industrial demand of the current waveform detection under the condition of non-contact, a non-contact type current waveform detection system based on hall sensor HW-302 was put forward. The system used the hall sensor to collect current signal, and displayed towards the oscilloscope after the amplification of the signal processing circuit. Then the current waveform detection was achieved. To verify the correctness of the detection, different signal was applied to the inductance coil to detect the current waveform, and analyze the performance of the system. It was showed that the system detected the current waveform through the non-contact way, basically achieving the expected results.

Keywords: hall sensor; current waveform; non-contact; detection

1 引言

在机器人研发过程中,需要对多功率通道电流波形进行检测。例如,在机械臂研究中,当机械臂负重突然增大时,其功率通道的电流瞬时增大,导致 CPU 供电不足,机械臂随之瘫痪。如果能够实时监测功率通道的电流波形,就可以在电流超出阈值时,采取相应对策,避免失控状况的出现。

电流传感器是一种电流检测装置,它采集电流的信息,并能将其按一定规律变换成为电信号或其他形式的信息输出^[1]。目前,市场上存在的非接触式电流检测装置,大多仅能够实现直流电流的数值显示^[2],而可检测电流波形的装

置,则价格十分高昂。提出并设计实现了一种由霍尔传感器 HW-302 构建的简易非接触式电流波形检测系统。

2 HW-302 构建的电流波形检测系统

电流波形的检测系统由电流波形发生模块、霍尔传感器(HW-302 和聚磁体)、放大电路和示波器构成。电流波形检测系统,如图 1 所示。



图 1 电流波形检测系统

在图 1 所示系统中,电流波形发生模块产生已知电流 I , 通有电流 I 的导线穿过霍尔传感器^[3], 霍尔传感器将感应到的电流信号转化为电压信号^[4], 经过放大电路处理后, 输出为电压信号 U_I , 最终通过示波器显示其波形。电流波形检测系统的核心是通过霍尔传感器将电流波形转化为电压波形并进行显示^[5]。

2.1 霍尔传感器

图 1 中的霍尔传感器是由霍尔元件 HW-302 和聚磁体构成的。其实物,如图 2 所示。

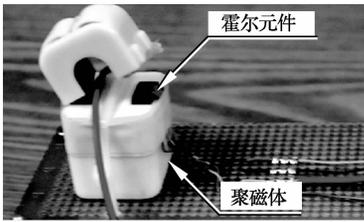


图 2 霍尔传感器

如图 2 所示,由于霍尔元件具有感应磁场的特性,故将霍尔元件置于聚磁体缝隙处,并使通电导线穿过聚磁体的过孔。此时,聚磁体束缚了通电导线周围的磁场^[6], 并使被束缚的磁力线穿过聚磁体缝隙处的霍尔元件^[7], 使霍尔元件输出与电流成正比的电压^[8]。

为测试霍尔元件的灵敏度,故将霍尔元件接入测试回路中,同时将电流 I 穿过聚磁体。此时,置于聚磁体中的霍尔元件便输出感应电压 U_{I0} 。测试表明,若霍尔元件的灵敏度为 α , 则有式(1)所示的关系。

$$\alpha = \frac{U_{I0}}{I} = 10 \text{ mV/A} \quad (1)$$

当 I 增大时, U_{I0} 随之增大; I 每增加 1 A, U_{I0} 增加 10 mV。

2.2 放大电路

含有霍尔元件的放大电路如图 3 所示。

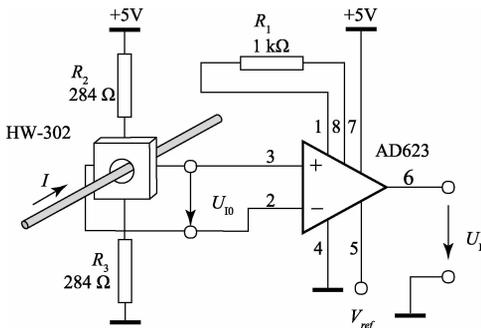


图 3 含有霍尔元件的放大电路

图 3 中,放大倍数 G 的计算方法,如式(2)所示。

$$G = \frac{100 \text{ k}}{R_1} + 1 \quad (2)$$

由于 $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, 故放大倍数约为 100 倍。因此,由霍

尔传感器和放大电路构成的电流探头的灵敏度 r_I 如式(3)所示。

$$r_I = G\alpha \quad (3)$$

2.3 电流波形发生模块

本系统利用电感 L 、信号源和功率放大器构成电流波形发生模块。电流波形发生模块,如图 4 所示。

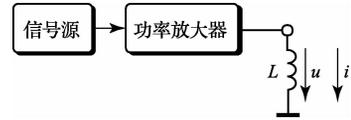


图 4 电流波形发生模块

测试中,利用信号源产生正弦波、方波、三角波和锯齿波的电压信号,经过功率放大器后,加载到电感两端,从而在通电回路中产生相应的电流波形。

该文以电感在频率 $f = 1 \text{ kHz}$, 电压 $U_{pp} = 1 \text{ V}$ 的正弦电压信号下的响应为例,定量分析电感的电流波形。由 LCR 表测得,在 1 kHz 的条件下,电感元件可以等效为 $L = 0.9 \text{ mH}$ 的纯电感与 $R_L = 3 \Omega$ 的电阻串联。其等效电路,如图 5 所示。

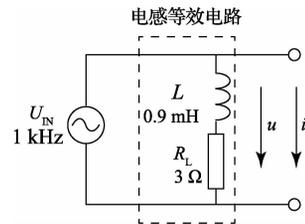


图 5 电感等效测试电路

根据图 5 可得,电感 $U-I$ 关系^[9],如式(4)所示。

$$u = L \frac{di}{dt} R_L i \quad (4)$$

由 $U_{pp} = 1 \text{ V}$ 可知,正弦电压信号的相量形式为:

$$\dot{U} = 0.5 \angle 0^\circ \text{ V} \quad (5)$$

电感元件阻抗可表示为:

$$\dot{Z} = R_L + j\omega L \quad (6)$$

根据 $\omega = 2000\pi \text{ rad/s}$, $L = 0.9 \text{ mH}$, $R_L = 3 \Omega$, 则有:

$$|\dot{I}| = \frac{|\dot{U}|}{|\dot{Z}|} = \frac{|\dot{U}|}{\sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2}} = 78 \text{ mA} \quad (7)$$

$$\theta_I = 0^\circ - \arctan\left(\frac{\omega L}{R_L}\right) = -62^\circ \quad (8)$$

故流过电感的电流 I 为:

$$\dot{I} = 78 \angle -62^\circ \text{ mA} \quad (9)$$

故理论上,利用笔者设计的电流波形检测系统,测试得到的 U_I 的相量形式为:

$$\dot{U}_I = r_I \dot{I} = r_I 78 \angle -62^\circ \text{ mV} \quad (10)$$

3 系统性能测试

电感电流波形检测系统如图 6 所示。

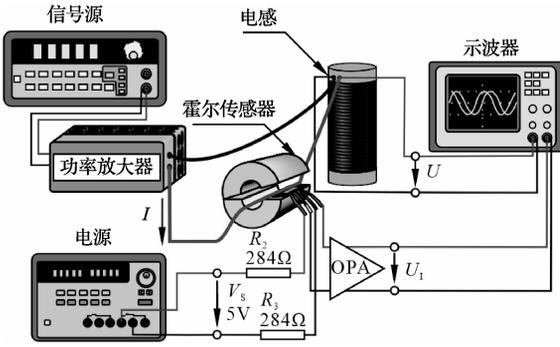


图 6 电感电流波形的检测系统

根据图 6 所示的系统,开展如下测试。

- 1) 信号源依次输出频率 $f = 1 \text{ kHz}$ 的正弦波、方波、三角波和锯齿波信号;
- 2) 信号经过功率放大器后,加载到电感两端;
- 3) 电感元件的电压信号 U 由示波器直接显示;
- 4) 电感元件的电流信号经过霍尔传感器转化为电压信号 U_1 后,再通过示波器显示。

4 系统性能评估

根据图 1 所示的系统,测试电流波形检测系统的灵敏度 r_1 ,结果如图 7 所示。

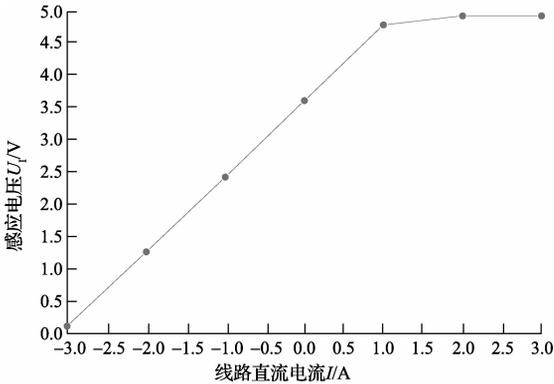


图 7 电流波形检测系统的 U_1 - I 关系

由图 7 可知,电流波形检测系统的灵敏度 r_1 ,如式(11)所示:

$$r_1 = \frac{U_1}{I} = 1.2 \text{ V/A} \quad (11)$$

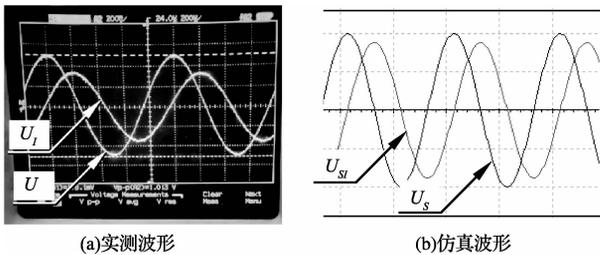


图 8 正弦波情况下的伏-安关系

根据图 6 所示系统,测试电感的电流波形。将测试所得电流波形 U_1 与 Multisim 仿真波形 U_{st} 进行对比,并在同一幅图中显示相应的电压信号 U 和 U_s ,如图 8~11 所示。

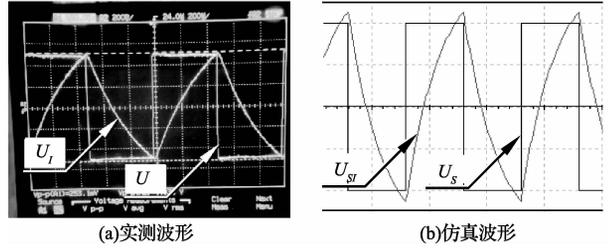


图 9 方波情况下的伏-安关系

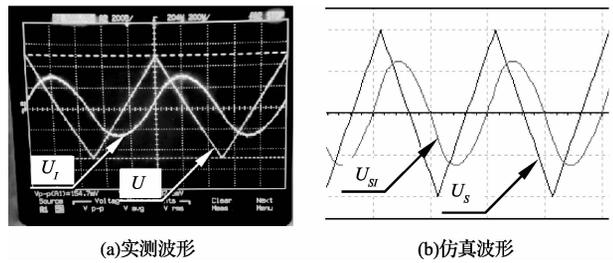


图 10 三角波情况下的伏-安关系

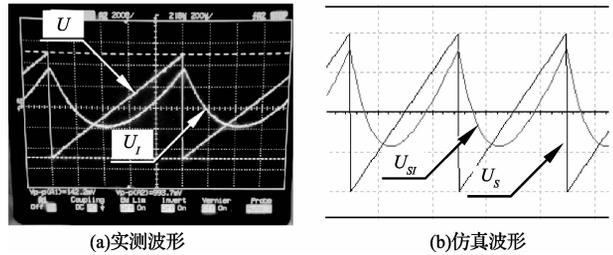


图 11 锯齿波情况下的伏-安关系

根据图 8~11 可知,本检测系统实测的电流波形与仿真波形相似。在此基础上,定量分析电感在正弦波情况下的电流波形,如图 12 所示。

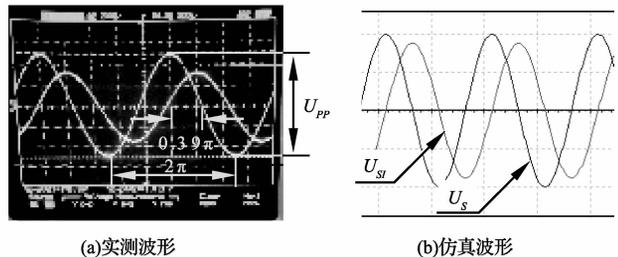


图 12 正弦波情况下的伏-安关系

根据图 12(a)可知:

从相位角度分析,实测波形中电流落后电压 $\Delta\theta'$ 为:

$$\Delta\theta' = \frac{0.39\pi}{2\pi} \times 360^\circ = 70.2^\circ \quad (12)$$

由于理论 $\Delta\theta = 62^\circ$, 则实测与理论的相对误差为:

$$\delta_\theta = \left| \frac{\Delta\theta' - \Delta\theta}{\Delta\theta} \right| \times 100\% = 13\% \quad (13)$$

从幅值角度分析, 实测 $U_{I'} = 0.089 \text{ V}$, 理论 $U_I = 0.078 \text{ V}$, 实测与理论值相对误差为:

$$\delta_\lambda = \left| \frac{U_{I'} - U_I}{U_I} \right| \times 100\% = 4\% \quad (14)$$

综上所述, 利用本系统测得电感在正弦电压下的电流波形, 其相位误差为 13%, 幅值误差为 4%。

5 结 论

利用霍尔传感器 HW-302, 设计并实现了一种简易的非接触式电流波形检测系统。该系统以很低的成本实现了电流波形的非接触检测, 可满足一定情况下的应用。

以电感电流波形检测为例, 分析了电感两端加载不同电压信号时的电流波形, 并将实测电流波形与 Multisim 仿真结果进行对比, 得到以下结论:

1) 在 $f = 1 \text{ kHz}$ 的情况下, 利用本系统检测电感在正弦电压驱动下的电流波形, 实测的相位误差为 13%, 幅值误差为 4%。

2) 由于有聚磁体性能和放大电路的影响, 本系统可应用于 1 kHz 以下的电流波形检测, 能够满足一般的工业电流波形的检测需求。

参考文献

[1] 郑贵斌. 浅谈传感器的一般特性[J]. 装备制造技术, 2010(9):75-76.

[2] 王瑞峰, 米根锁. 霍尔传感器在直流电流检测中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6):312-333.

[3] 汪磊, 潘红兵, 何书传, 等. 片上一体化霍尔传感器的优化设计[J]. 电子测量技术, 2011, 34(5):77-81.

[4] 李亮, 阙沛文, 陈亮. 新型霍尔传感器在电流检测中的应用[J]. 仪表技术与传感器, 2005(4):3-4.

[5] 鲁光辉. 霍尔电流传感器的性能及应用[D]. 四川文理学院学报:自然科学版, 2007, 17(2):40-42.

[6] 金向朝, 邹晨, 占亮, 等. 邻近并行载流导线对空心电流传感器测量影响[J]. 电子测量技术, 2003, 26(4):16-17.

[7] 丁英丽. 霍尔磁敏传感器的原理及应用[J]. 仪表技术, 2003(1):47-48.

[8] 邵显涛, 陈明, 李俊, 等. 基于霍尔传感器电机转速的单片机测量[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(10):29-31.

[9] 江缉光, 刘秀成. 电路原理[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.

作者简介

陈璐, 1993 年出生, 在读本科生。主要研究方向为嵌入式系统。

刘卫玲, 1987 年出生, 博士研究生。主要研究方向为测量技术与自动化装置。

常晓明(通讯作者), 1954 年出生, 教授, 博士生导师。主要研究方向为计算机监控系统、检测技术与自动化装置。E-mail: lab@xiaoming-lab.com

(上接第 77 页)

[3] 李清英, 朱春玲, 白天. 电脉冲除冰系统的除冰实验与数值模拟[J]. 航空动力学报, 2012, 27(2):350-357.

[4] 王建飞, 杨圣均, 郭小玫, 等. 一种可控恒流脉冲刺激器设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(6):15-20.

[5] 李清英. 电脉冲除冰系统的实验、理论与设计研究[D]. 南京:南京航空航天大学, 2012:1-157.

[6] 陈新, 张桂香. 电磁感应无线充电的联合仿真研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(4):434-440.

[7] 熊慧, 李刚, 张旺明, 等. 无线无源的参数可控脉冲冲击发生器[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(4):955-960.

[8] 陈俊, 徐志伟, 陈杰. 压电驱动器驱动电源设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 33(4):48-53.

[9] 刘福才, 王猛, 王振春, 等. 基于高频谐振变换器的高

压充电电源设计[J]. 电力电子技术, 2010, 44(10):97-99.

[10] 刘春乐. 磁化铁氧体电磁参数的测试[J]. 电子测量技术, 2012, 35(1):68-70.

作者简介

陈鹏, 1990 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为脉冲电源研究及除冰检测。

E-mail: cxiaoqiang@sina.cn

葛红娟, 1966 年出生, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向为矩阵变换器及适航分析。

杨宗翰, 1989 年出生, 硕士研究生。主要研究方向为光伏逆变器及故障检测技术。