

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2107962

基于 LabVIEW 的智能轮速传感器测试系统设计*

田锦明 黄超 纪林海 朱慧敏

(江苏海洋大学电子工程学院 连云港 222005)

摘要: 针对传统的电机驱动机械齿轮来测试轮速传感器的方法存在精度低、重复性差和测试的局限性大等问题,设计了一种基于 LabVIEW 的智能轮速传感器测试系统。系统采用非机械部件的静态电磁激励传感器的测试方法并创新性地设计了一种旋转磁场发生器模块,可以模拟任意齿轮旋转的转速和方向,实现极低和极高转速下轮速传感器的测试。试验研究表明,设计的测试系统可以实现对智能轮速传感器输出信号的高中低电流值、频率和占空比等功能参数的测试和解析传感器的协议信息,测试的传感器输出频率范围可以达到 1~3 kHz,提高了测试系统的精度。系统的硬件平台由模块化搭建而成,推广性强;软件采用 LabVIEW,简洁的图形化操作界面,方便测试人员对传感器的输出特性监控与分析,适应现代化轮速传感器生产要求。

关键词: 智能轮速传感器;静态电磁;旋转磁场发生器;LabVIEW;测试系统;传感器输出特性

中图分类号: TH89; TP23 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.40

Design of smart wheel speed sensor test system based on LabVIEW

Tian Jinming Huang Chao Ji Linhai Zhu Huimin

(School of Electronic Engineering, Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China)

Abstract: In view of the problems of low accuracy, poor repeatability and large testing limitations in traditional motor-driven mechanical gear testing methods for smart wheel speed sensors, a smart wheel speed sensor test system based on LabVIEW is designed. The system adopts the static electromagnetic excitation sensor test method of non-mechanical components and innovatively designs a rotating magnetic field generator module, which can simulate the rotation speed and direction of any gear rotation, and realize the test of the wheel speed sensor at extremely low and extremely high speeds. Experimental research shows that the designed test system can test the functional parameters such as the high, medium and low current value, frequency and duty cycle of the output signal of the smart wheel speed sensor and analyze the sensor protocol information. The output frequency range of the tested sensor can reach 1~3 kHz, which improves the accuracy of the test system. The hardware platform of the system is built by modularization and has strong generalizability; the software adopts LabVIEW, simple graphical operation and display interface, which is convenient for testers to monitor and analyze the sensor output characteristics and adapt to the production requirements of modern wheel speed sensors.

Keywords: smart wheel speed sensor; static electromagnetic; rotating magnetic field generator; LabVIEW; test system; sensor output characteristics

0 引言

随着汽车电子控制系统的不断发展,轮速传感器作为防抱死制动系统(ABS)的关键器件,为系统开发提供真实可靠的轮速信号^[1-4]。随着自动驾驶和自动泊车等高技术性系统的发展,传统 ABS 轮速传感器的功能已无法满足人们对汽车安全性和人性化的要求,在主动式轮速传感器的

基础上发展而来的更加智能化和轮速信息更加丰富的轮速传感器将会逐渐占领乘用车的领域^[5-6]。智能轮速传感器可以为系统提供更加丰富的轮速信息包括转速、转动方向和传感器安装位置等。

目前国内外对传统的轮速传感器测试技术已较为成熟,但还没有一套针对智能轮速传感器的测试系统。现有的轮速传感器的测试方法主要有 3 种。第 1 种是在真实的

收稿日期:2021-09-26

* 基金项目:江苏海洋大学研究生科研创新项目(DZXS202002)资助

路况环境下,采用安装有轮速传感器的试验车进行测试^[7-8],该测试方法可以得到真实的轮速信息,但传感器测试的重复性差,且耗费大量资源。第 2 种是目前汽车轮速传感器生产企业普遍采用的测试方法:采用电机驱动齿轮的硬件测试平台,主要针对普通主动式轮速传感器的测试^[9-10],只能完成在各种速度的匀速情况下的轮速传感器的测试,并且这种机械转动的测试方法由于电机的稳定性差和精度低,将会导致传感器测试精度低。第 3 种是文献[11-12]中采用的电磁转换器模拟编码轮速传感器的方法,并设计了基于 LabVIEW 的轮速传感器输出三电平信号的高中低电流、占空比、频率的最大值、最小值和平均值等参数的解析算法,提高了测试精度,但电磁转换器产生的交变磁场,无法形成有效的旋转磁场,因此对双芯片的轮速传感器的激励效果不好。

针对传统的轮速传感器测试方法的不足,本文设计一种基于 LabVIEW 的智能轮速传感器的测试系统,采用的静态电磁激励传感器测试方法,使用线圈缠绕铁芯组成的旋转磁场发生器,产生旋转的磁场激励轮速传感器,可以精确模拟车轮转速和车轮转动方向。测试系统硬件平台由旋转磁场产生模块、传感器模块和轮速信号采集模块等搭建而成;软件设计是基于 LabVIEW 实现发送指令信号和采集轮速信号并显示和分析等模块功能。设计的测试系统可以实现在(-40℃~150℃)温度环境下,对智能轮速传感器信号的功能参数测试和协议信息(主要是旋转方向信号和间隙大小)的解析。实验结果表明,该测试系统可以高效的测试智能轮速传感器,为智能轮速传感器的测试提供一种有效的方案。

1 测试原理及测试对象

1.1 静态电磁激励测试方法

如图 1 所示,传统的轮速传感器测试示意图是电机驱动齿轮或磁轮旋转,激励轮速传感器产生模拟轮速信号。齿轮旋转时,齿隙交替变换使传感器感应面恒定的磁场变为交变的磁场,交变的磁场激励传感器产生电流脉冲信号,脉冲信号的频率与齿轮转速成比例关系,采集卡采集的轮速传感器信号经过转换得出齿轮转速。

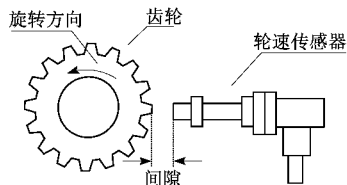


图 1 齿轮转动激励传感器示意图

本文的测试方法突破传统的机械齿轮转动模拟实际车轮的转动,而是采用输入变化的电信号到非机械部件的旋转磁场发生器的线圈里,产生旋转的磁场,激励轮速传感器。如图 2 所示,静态的电磁激励测试示意图中旋转磁场发生器由铁芯和线圈组成,不会产生机械惯性并且响应速

度很快,测试的精度很高。

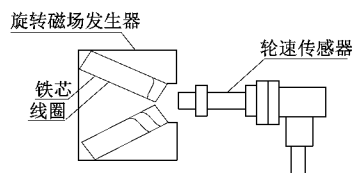


图 2 静态电磁激励测试示意图

1.2 测试对象

本文主要介绍如下两种智能式轮速传感器:

1) 基于调制电流脉宽协议(PWM)的智能轮速传感器,其使用的是高低电流的双线调制输出接口电路。调制电流脉宽协议来表示速度和方向信号、安装气隙警告信号。

2) 基于 AK 协议的 ABS 轮速传感器,是在霍尔式轮速传感器基础上引入 AK 协议来进行信号传输,除了具备传统霍尔式轮速传感器的优点外,还能为测试系统提供更加丰富的轮速信息。

1.3 智能轮速传感器协议信号分析

基于 PWM 的智能轮速传感器是利用电流的高电平脉冲宽度来表示车轮旋转方向信息和安装气隙信息。电流脉冲宽度 t 有 5 种类型:类型 0 为 $t=45 \mu\text{s}$ 表示安装气隙极限且无方向测量信息;在正常磁场信号激励下有类型 1 为 $t=90 \mu\text{s}$ 表示左转,类型 2 为 $t=180 \mu\text{s}$ 表示右转;在低磁场信号激励下有类型 3 为 $t=360 \mu\text{s}$ 表示左转,类型 4 为 $t=720 \mu\text{s}$ 表示右转,但这种宽脉冲 3 和 4 类型只会在 117 Hz 以下出现,高于该频率显示的脉宽为类型 1 和 2。且根据激励磁场信号的强弱来判断传感器安装位置。

AK 协议输出的电流信号分为三电平(高电流、中电流和低电流)。如图 3 所示,当轮速传感器检测到磁场为 0 时,延时 t_d ($70 \sim 121 \mu\text{s}$) 后输出一个速度脉冲,其时间为 t_p ($50 \mu\text{s}$)。速度脉冲后面是数据协议位,最多有 9 个的数据位,每个数据位脉宽为 t_p 。速度脉冲与第 1 个数据位之间延时 $t_p/2$ 。在数据位的 t_p 时间内,若检测到传感器输出电流为上升沿,则数据位为 1,若输出的电流信号是下降沿,则数据位为 0。如果不存在电流边沿,该数据位无效。

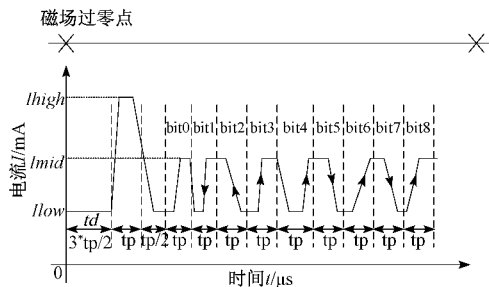


图 3 AK 协议传感器输出时序图

2 测试系统硬件设计及实现

图 4 是轮速传感器测试系统硬件结构,主要由计算机、

信号发生模块、功率放大模块、旋转磁场发生模块、轮速传感器模块、信号转换模块、数据采集卡和温度环境试验箱组成。信号发生模块由4个MHS2300A系列的双通道DDS信号发生器组成,功率放大模块是由交流恒流源放大器组成,数据采集卡是多通道的NI-USB6255。

测试流程:计算机通过LabVIEW将设定的转速转换为两组相位相差 60° 的正弦或方波信号,通过串口将两组信号的幅值、频率和相位的参数命令传送到信号发生模块里;信号发生模块与功率放大模块相连,产生两路正弦或方波的电信号,再输入到旋转发生模块,产生旋转磁场信号,激励轮速传感器模块,产生模拟的轮速信号;模拟的轮速信号经过信号转换模块转换为标准的电压信号,再通过数据采集卡采集,通入计算机里,LabVIEW软件进行分析和显示。其中旋转磁场发生模块和传感器模块放入温度($-40^\circ\text{C}\sim 150^\circ\text{C}$)可调的温度环境试验箱里,进行轮速传感器在正常工作情况下的温度测试。

2.1 旋转磁场发生器设计

磁场发生器由铁芯和线圈组成,单相线圈缠绕在铁芯上,输入一定频率的交流电到线圈里,产生交变的磁场,该

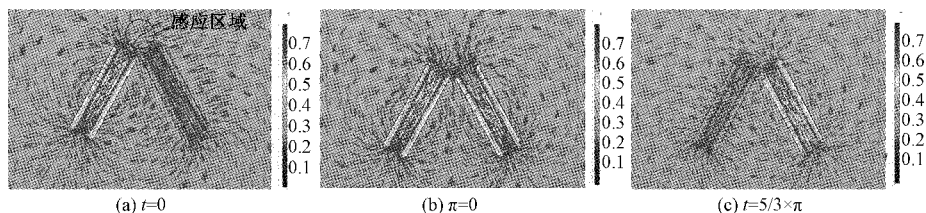


图5 不同时刻旋转磁场发生器的磁场分布

图6(a)和(b)分别为旋转磁场发生器的示意图和实物图。图中实物图为了避免涡流损耗和发热,采用是薄的硅钢片。

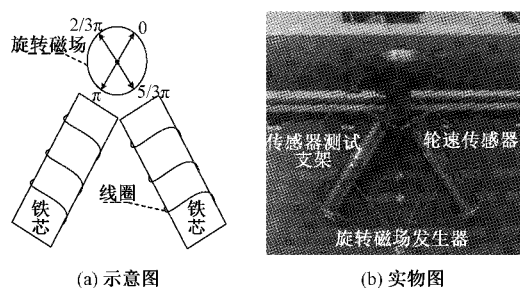


图6 旋转磁场发生器示意图和实物图

2.2 旋转磁场发生器特性研究

针对旋转磁场发生器参数辨识困难、磁场大小难以通过数学模型来精确估算,从而导致旋转磁场发生器无法精确的模拟任意转速。本文采用图7所示的试验观察法来确定旋转磁场发生器的输入和输出特性,精确地模拟任意转速信号。通过信号发生器产生两路幅值和频率相一致,相位相差 60° 的正弦或方波信号 X_1 和 X_2 ,经过功率放大器放大后产生 Y_1 和 Y_2 的两路电信号再通入旋转磁场发

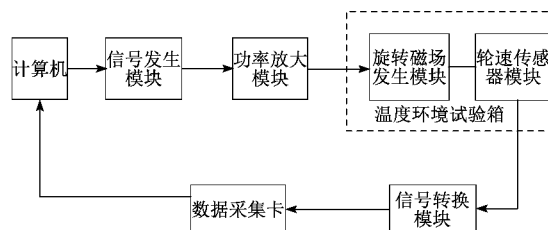


图4 轮速传感器测试系统硬件结构

磁场沿着线圈的方向按照正弦规律来回振动,也叫“脉动磁场”。必须在空间至少摆放两个磁场发生器才可以形成旋转磁场。本文的选用两个完全相同的磁场发生器,空间摆放角度为 60° ,输入的两相电流是频率、幅值相同,相位相差 60° 的正弦电信号。

采用COMSOL Multiphysics软件建立基于正弦电流信号激励的旋转磁场发生器的有限元模型^[13-15],其参数为线圈匝数200匝,线径2.2 mm,铁芯长3.5 cm,宽1.2 cm,厚0.5 cm。图5显示不同时刻的旋转磁场发生器的磁场分布,图5中“感应区域”磁场的方向和图6(a)示意图的磁场方向一致,形成逆时针旋转的磁场。

生器的线圈里,产生旋转的磁场,激励轮速传感器和高斯计,轮速传感器输出模拟的轮速信号经过信号转换接到示波器上进行显示。

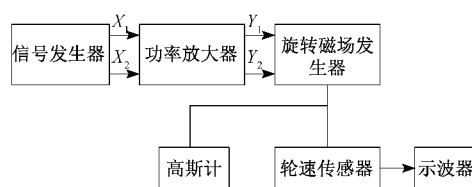


图7 旋转磁场发生器特性试验框图

在信号发生器里设定频率和相位,调节幅值(0~20 V),观察高斯计的磁场数值达到0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5和4.0 mT时,记录信号发生器的信号类型、频率和幅值等参数。如图8、9所示,输入旋转磁场发生器的正弦和方波信号的频率为200、1 000和2 000 Hz,旋转磁场的大小与信号的幅值的关系。从图8和9中可以得出:输入正弦和方波信号的频率为200 Hz和1 000 Hz时,旋转磁场的大小与信号幅值成线性关系;输入信号的频率为2 000 Hz时,磁场在0.5~2 mT与信号幅值成线性关系,再增大信号幅值,磁场趋近饱和。

通过试验观察,当输入不同频率的电信号时,调节信

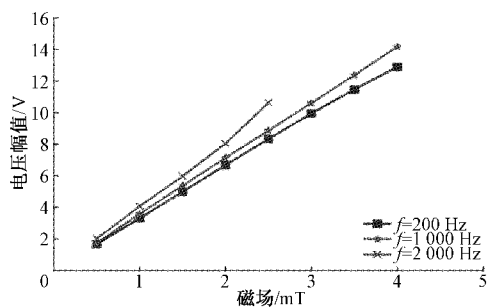


图 8 正弦信号激励下旋转磁场输入输出特性

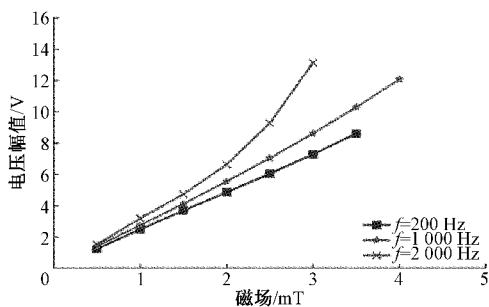


图 9 方波信号激励下旋转磁场输入输出特性

号幅值,旋转磁场达到 1.5 mT 时,示波器上可以显示出模拟的轮速波形信号;设计的旋转磁场发生器最大可以产生 4 mT 的旋转磁场。可以得出:设计的旋转磁场发生器可以模拟旋转的车轮激励轮速传感器所产生的磁场。选取正弦或方波信号的频率(0~3 000 Hz),重复上面的试验,可以得到各个频率下信号幅值与磁场大小的关系,然后进行拟合。

2.3 信号转换模块

信号转换模块采用 50 Ω 或 115 Ω 的采样电阻器,将轮速传感器输出的电流信号转换成标准的电压信号,便于采集。轮速传感器的电源输入 12 V,输出信号如图 10 所示,图 10(a)为基于 PWM 协议的轮速传感器输出为二电平的方波信号,信号包含:高电流、低电流、占空比 D 、频率 f 和高电流脉冲时间 t ($I_{high} = 14$ mA, $I_{low} = 7$ mA, $D = t_1/T = 50\%$, $f = 1/T$);图 10(b)为基于 AK 协议的轮速传感器的输出为三电平的电流信号,其信号的参数为高电流 $I_{high} = 28$ mA,中电流 $I_{mid} = 14$ mA,低电平 $I_{low} = 7$ mA、占空比 $D = t_2/T = 50\%$ 和频率 $f = 1/T$ 。

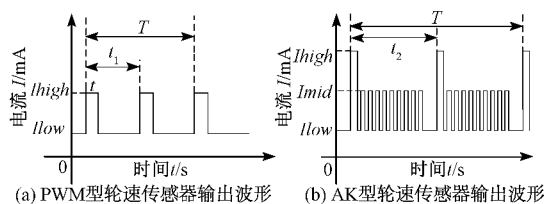


图 10 智能轮速传感器输出波形图

3 软件设计及实现

测试系统采用 LabVIEW 软件编程,主要实现信号指令的发送、轮速波形的采集、波形数据的回放、分析与保存等功能^[16-17]。

测试系统的软件测试流程:进入测试系统,系统默认初始化;测试人员进行参数设置,主要有设定的转速、方向、磁场值、输入信号的类型(正弦或方波)、测试的温度、模拟的齿轮齿数、车轮周长尺寸、前轮和后轮使用的传感器类型等参数;参数设置完成后,LabVIEW 将设置的参数转化为 4 个通道信号的频率、幅值和相位命令,通过 USB 串口发送到信号发生器里产生正弦信号,然后经过硬件测试系统可以产生模拟的轮速信号;LabVIEW 通过 DAQ 模块采集 NI 数据采集卡传来的轮速传感器信号,并显示在前面板的轮速传感器监控界面上。

3.1 测试系统软件前面板设计

前面板设计:主要分为参数设置界面,轮速传感器信号监控界面,波形和数据回放界面。参数设置界面方便操作人员根据具体测试要求进行参数设置,通道频率和幅值是通过设定的转速、齿数、车轮周长尺寸和输入磁场大小等参数转换得到的;轮速监控界面主要有采集的四个轮速传感器信号波形和波形信号的高电平、中电平、低电平、占空比和频率等参数以及判断该传感器是否合格的 LED 灯的布尔控件;波形信号的范围在规定的范围内,参数字体的背景色为绿色,不在规定的范围内参数显示控件背景色为红色,这样可以直观地观察到具体哪个参数和哪支传感器有问题;如果所有参数都在设定的范围内,LED 灯亮绿色并显示 GO,反之,灯亮红色显示 NO,测试人员通过监控界面可以直观地观察到测试的轮速传感器输出信号的情况以及该传感器是否合格,提高测试效率。波形和数据回放界面是由“选择回放波形”的组合框控件,“回放波形图”的波形图控件和回放波形的高中低电平,频率,占空比等参数的最大值、最小值和平均值,以及 PWM 脉宽类型和三电平信号的协议数据位的显示控件等组成的。

3.2 测试系统软件后面板设计

后面板设计主要有发送信号指令,采集数据,处理数据和显示。

设定的齿数、转速、车轮周长与输入的信号的频率有如下关系:

$$f = 1000 \frac{Z \times v}{3600 \times C} \quad (1)$$

式中: f 为输入信号的频率(Hz), Z 为设定的齿轮齿数, v 设定的转速(km/h), C 为车轮的周长(m)。根据设定的转速可以转换成通道的频率。

根据 MHS2300 系列的双通道 DDS 信号发生器的通信协议,LabVIEW 通过后面板的函数选板→仪器 I/O→VISA 写入控件,将两个通道的频率、幅值和相位写入信号

发生器里。信号发生器的通道1相位默认为0,通过改变通道2的相位来模拟车轮正反转,具体的是:向信号发生器的通道2发送 60° 相位的命令,则模拟车轮方向为正转;向信号发生器的通道2发送 300° 相位的命令,模拟车轮反转。

数据采集使用LabVIEW的DAQmx-数据采集模块,采集四路轮速传感器输出信号。根据轮速传感器的型号来分别处理信号,通过LabVIEW的函数选板→波形测量模块解析出传感器信号的电学参数和协议信息。

3.3 测试系统监控界面展示

测试系统通过信号发生模块和旋转磁场发生模块模拟测试轮反向旋转,测试车轮的规格为:215/45 R17,车轮的直径为0.625 m,周长尺寸为1.96 m,模拟的齿轮齿数为18和转速为73.5 km/h对应的信号发生器的频率为500 Hz,设定的输入磁场为1.5 mT对应的信号发生器的幅值为5 V,设定信号发生器的信号类型为正弦信号。在常温 26°C 下,前轮采用二电平输出的PWM的智能轮速传感器测试,后轮采用三电平输出的基于AK协议的智能轮速传感器测试。

从图11中的轮速传感器信号监控界面可以看出,传感器波形参数都在规定的范围内,LED灯亮绿色并显示GO,该传感器测试合格。在测试过程中,测试人员观察监控界面可以快速判断传感器是否合格,还可以通过“装入文件”的布尔控件实现测试传感器信号的波形和数据保存。

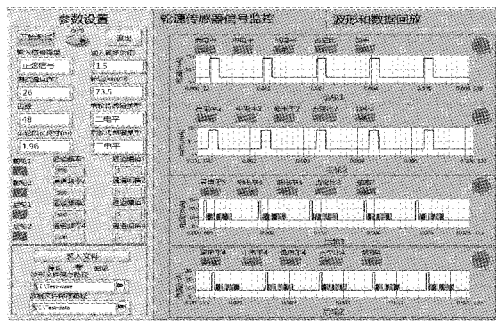


图11 轮速传感器信号监控图

如图12所示,波形和数据回放界面显示的是后轮2的轮速传感器的输出信号波形数据参数和三电平的协议信息。数据参数为传感器输出信号的高中低电平值,占空比,频率的最大值、最小值和平均值,这些数据参数满足测试要求。PWM类型为2,解析的三电平数据位为000111111,其中bit0~bit2都为0,说明传感器安装气隙正常和工作模式正常,bit3为1表示方向信息有效,bit4为1表示车轮旋转方向为反,bit5~bit7为111表示激励的磁场强度同时也可以表示轮速传感器安装位置,bit8是数据校验位。通过解析的数据位分析,测试得到的车轮旋转方向与模拟的方向一致,从而达到对智能式轮速传感器协议信息的方向参数检测。

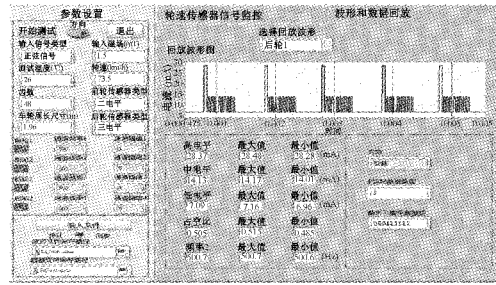


图12 轮速传感器波形和数据图

3.4 轮速传感器测试数据分析

本测试系统对PWM型和AK型轮速传感器分别在 26°C 、 -40°C 和 150°C 进行测试,测试的轮速数据如表1所示。

表1 轮速传感器在不同温度下的测试数据

通道	温度/ $^\circ\text{C}$	高电平/ mA	中电平/ mA	低电平/ mA	占空比/ %	频率/ Hz
1	26	14.14	0	6.97	50.00	500
2	26	14.08	0	7.10	50.00	500
3	26	28.37	14.13	7.09	50.00	500.7
4	26	27.67	13.92	7.06	50.00	500.6
1	-40	13.60	0	6.85	49.88	500
2	-40	14.08	0	7.10	49.12	500
3	-40	27.96	13.94	7.04	49.51	500
4	-40	27.60	13.91	7.08	49.96	500
1	150	13.62	0	6.86	49.96	500
2	150	14.09	0	7.11	49.22	500
3	150	28.09	14.00	7.10	49.41	500
4	150	27.15	13.66	7.03	49.41	500

从表1的轮速数据可以看出,设计的轮速传感器测试系统可以实现对PWM型和AK型轮速传感器在温度(-40°C ~ 150°C)环境下的精准测试,测试数据一致性好,可以保证每个出厂的轮速传感器都是合格的产品。

4 结 论

本文提出了一种静态电磁激励传感器测试方法,它可以克服由传统的机械转动引起的测试误差,特别是在极低和极高的转速下的测试。基于该测试方法设计了由铁芯和线圈组成的旋转磁场发生器模块,该模块可以精确地模拟旋转齿轮的转速和方向,并设计了一种基于LabVIEW的智能轮速传感器的测试系统,主要针对智能式轮速传感器的测试。通过系统的测试和分析,该测试系统可以实现对传感器的功能参数的高效测试和对智能式轮速传感器的协议信息准确测试,为现代化汽车轮速传感器厂商提供了一种高效和精确的测试方案。但该测试系统只设计了4路测试通道,同时只能测试4只传感器,还有只考虑了温

度环境对轮速传感器测试的影响并没有考虑湿度环境,下一步的研究将该测试系统扩展成 8 路或 16 路测试通道,同时考虑湿度环境对传感器测试的影响。

参考文献

- [1] 郑玲玲,段春光,尹海. 基于 ABS 轮速传感器的信号模拟系统研究与应用[J]. 实验室研究与探索, 2019, 38(8): 92-95,118.
- [2] MAJID M, ABDOLLAH K, KHAYROLLAH H. A fuzzy anti-lock braking system(ABS) controller using CMOS circuits[J]. Microprocessors and Microsystems, 2019, 70: 47-52.
- [3] AMIR D, ALIREZA B H, CAO Z W, et al. Reliable EMF-sensor-fusion-based antilock braking system for BLDC motor in-wheel electric vehicles [J]. IEEE Sensors Letters, 2017, 1(3): 1-4.
- [4] 张学科,周优军. 基于混合法和互补滤波器的车速计算方法[J]. 机械设计与制造, 2021(3): 22-26.
- [5] 王玉宝. 汽车轮速传感器中智能芯片的应用[J]. 汽车电器, 2019(1): 5-10.
- [6] SREEKUMAR S, VADANA D P, PRAKASH N K, et al. Design and implementation of device driver for active wheel speed sensor with AK protocol[C]. 2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2019: 1-6.
- [7] 黄昆,刘兴亮,武一民,等. 基于道路试验的跟车场景挖掘系统设计[J]. 汽车技术, 2020(6): 8-12.
- [8] HAKAN K, ERSIN T. Experimental study on braking and stability performance during low speed braking with ABS under critical road conditions[J]. Engineering Science and Technology, an International Journal, 2021(5): 1224-1238.
- [9] 朱富强. 基于 LabVIEW 的汽车 ABS 轮速传感器检测系统设计[D]. 西安:长安大学, 2015.
- [10] 殷苏民,陆文俊,江煜,等. 霍尔式轮速传感器功能测试系统设计[J]. 传感器与微系统, 2014, 33(6): 90-92,96.
- [11] TIAN J M, ZHANG L, GONG C L, et al. Design of three voltage level test system for auto sensor based on LabVIEW [J]. Applied Mechanics and Materials, 2012, 130:4147-4151.
- [12] 田恬,李振宇,于维洋. 基于模拟编码轮的轮速传感器测试系统[J]. 仪表技术与传感器, 2015(4): 96-99.
- [13] 樊启高,赵正青,谢林柏,等. 基于梯度强化的微机器人磁场驱动建模研究[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(3): 114-122.
- [14] 杨理践,郑文学,高松巍,等. 基于平衡电磁技术的钢板裂纹缺陷检测方法[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(10): 196-203.
- [15] 徐志远,肖奇. 基于脉冲远场涡流的管道缺陷外检测与定量评估[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(2): 80-87.
- [16] 曹展宏,李军峰,刘俊杰,等. 基于 LabVIEW 的航空瞬变电磁数据采集系统[J]. 电子测量技术, 2019, 42(8): 93-97.
- [17] 戎舟,程大元,李若愚. 基于 LabVIEW 的微电阻抗成像系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(3): 98-103.

作者简介

田锦明,硕士生导师,副教授,主要从事自动化检测技术及装置等方面的研究与教学和电源变换器电路设计。

E-mail: tianjinming4213@126.com

黄超,硕士研究生,主要研究方向为汽车 ABS 轮速传感器检测。

E-mail: 1144167378@qq.com