



引用格式:马平,武丰龙,田二林. 便携式 H 桥电路板 ICT 与 FCT 一体检测系统[J]. 轻工学报,2016,31(5):87-92.

中图分类号:TP273 文献标识码:A

DOI:10.3969/j.issn.2096-1553.2016.5.015

文章编号:2096-1553(2016)05-0087-06

# 便携式 H 桥电路板 ICT 与 FCT 一体检测系统

## Portable H-bridge circuit board ICT & FCT integrated detection system

马平<sup>1</sup>,武丰龙<sup>2</sup>,田二林<sup>3</sup>

MA Ping<sup>1</sup>,WU Feng-long<sup>2</sup>,TIAN Er-lin<sup>3</sup>

1. 郑州轻工业学院 电气信息工程学院,河南 郑州 450002;

2. 郑州轻工业学院 软件学院,河南 郑州 450001;

3. 郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院,河南 郑州 450001

1. College of Electric Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China;

2. Software Engineering College, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China;

3. College of Computer and Communication Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450001, China

### 关键词:

电动助力转向系统;H  
桥电路板;在线测试  
仪;功能测试

### Key words:

electric power steering  
system; H-bridge circuit  
board; in-circuit tester;  
functional test

**摘要:**针对传统方法在检测汽车电动助力转向系统中的 H 桥电路板性能时,存在检测效率低、故障点定位困难和返厂维修不便等问题,运用嵌入式技术和数据库技术,设计并实现了一套集在线测试(ICT)与功能测试(FCT)于一体的便携式检测系统。测试使用表明,该系统具有检测效率高、故障点定位准确、可脱离上位机独立运行和携带方便等优点,不仅适用于批量 H 桥电路板的性能检测,还适用于各种环境下的 H 桥电路板故障件的维修。

收稿日期:2016-02-12

基金项目:国家自然科学基金项目(60974005,81501548,61502436);河南省科技攻关项目(142102210078,152102210357)

作者简介:马平(1964—),女,河南省驻马店市人,郑州轻工业学院实验师,主要研究方向为电子电路新技术。

**Abstract:** To deal with the deficiency of low detection efficiency, the difficulty of locating fault and returning the H-bridge circuit board to the manufacturer for repair in the conventional method used to detect the H-bridge circuit board in electric power steering system, a portable detection system was developed which integrated the in-circuit tester (ICT) and function test (FCT) based on the combination of the embedded and database technology. The intensive experiments demonstrated that this system had the advantage of high detection efficiency, accurate fault location and was independent of upper computer and convenient to carry around. The present method was not only applicable for detecting batch H-bridge circuit boards, but also good for maintaining the H-bridge circuit board fault parts under various environments.

## 0 引言

电动助力转向 EPS (Electric Power Steering) 系统是将最新电力电子技术和高性能电机控制技术相结合的车用转向系统,可使汽车的经济性、动力性和机动性大大提高<sup>[1-5]</sup>。特别是其具有的节能降耗特性,很符合当今技术发展和环境保护的要求,正逐步应用于各型汽车的生产过程中。

在汽车 EPS 系统中,电机驱动电路(H桥)中驱动电机的转动方向及扭矩大小,对 EPS 产品性能起决定性作用。作为汽车级的电子产品,H桥的性能不仅影响驾驶员的驾驶感觉,更关系到驾驶员的生命和财产安全。因此 H 桥电路板在装配到 EPS 之前,必须进行严格测试,在线测试 (ICT) 和功能测试 (FCT) 就是必不可少的测试环节。ICT 主要检测 H 桥电路板贴装质量,及时发现焊接问题<sup>[7]</sup>; FCT 主要判断其性能是否符合出厂指标的要求。

目前在 H 桥电路板的检测中,通常将 ICT 和 FCT 分别进行,通过上位机控制检测系统进行监测操作,一方面效率较低,另一方面必须提供运行监测系统的独立上位机,检测条件受限。针对这种情况,本文拟将 ICT 和 FCT 功能集于一身,并脱离上位机独立运行,在实现系统便携性的同时提高检测效率。

## 1 系统设计分析

### 1.1 H 桥电路工作原理

为实现电机正、反两个方向的转动,H 桥电

路一般由 4 个 N 沟道的 VMOS 管构成,如图 1 所示。电路中电流方向可通过 4 个 VMOS 管的通断进行控制,具体实现为:  $Q_1$  和  $Q_3$  导通、 $Q_2$  和  $Q_4$  截止时,电机电流从左往右流;  $Q_2$  和  $Q_4$  导通、 $Q_1$  和  $Q_3$  截止时,电机电流从右往左流。这样即可实现对电机正、反两个方向的转动控制。电机的助力大小可通过改变输入 PWM 信号的占空比,即改变 VMOS 管的通断时间比例来实现<sup>[6-8]</sup>。图 1 中  $R_5$  为电流传感器,负载电流经电流传感器变为电压信号,采样这个电压信号经过放大后进行 A/D 转换。当负载电流超过系统允许最大值时,控制器会转入限流保护模式以防止系统过载损坏,负载电流反馈信号也可以作为电机助力大小的辅助控制参数。

### 1.2 H 桥检测系统设计分析

本系统的主要任务是完成对 EPS 控制器 H 桥电路的 ICT 和 FCT 检测,其中 ICT 能够检测 H 桥电路板上所有的电阻、电容、二极管、FET 和 IC 芯片等元件贴装质量,检测 H 桥电路板是否存在线路短路、断路、缺件、错件、零件不良等问题; FCT 能够给 H 桥电路板提供模拟的运行环境(如激励和负载),使其工作于各种设计状态,从而获取各个状态的参数,以验证电路运行是否正常。该检测系统还能在 H 桥电路板出现故障时明确显示出故障点位置及可能存在的原因,为故障件的维修和故障的排除提供技术支持,从而提高不良品检修效率。

除此之外,为了便于产品质量的追踪,还需要开发基于数据库的过程控制程序和上位

机软件. 过程控制程序可在脱离上位机的模式下完成检测进程控制,并对检测数据进行分析判定,上位机软件实现检测数据的存储、查询和统计.

## 2 系统设计方案

由系统设计分析可知,若要完成H桥电路板的ICT和FCT检测,至少需要测试治具、检测板卡和上位机三部分,考虑到系统可扩展性、便携性及检测系统可脱机运行等要求,本系统的设计组成又增加了主机部分,系统组成如图2所示.上位机软件通过网口可连接多台主机,

对每台主机发送的数据进行管理;每个检测板卡在主机的控制下完成命令的收发和数据采集,主机可以脱离上位机完成检测,也可以在上位机在线时检测;测试治具主要由程控电动针床和其他机械结构组成,完成测试电路与被测点的连接.

检测板卡是本检测系统的硬件核心,其组成结构如图3所示.

要完成上述复杂、精密的运算,需要一款性能优异的微控制器芯片,本系统选用C8051F040单片机.该单片机内部资源丰富,包含16通道12位A/D和2个12位DAC,5个16位

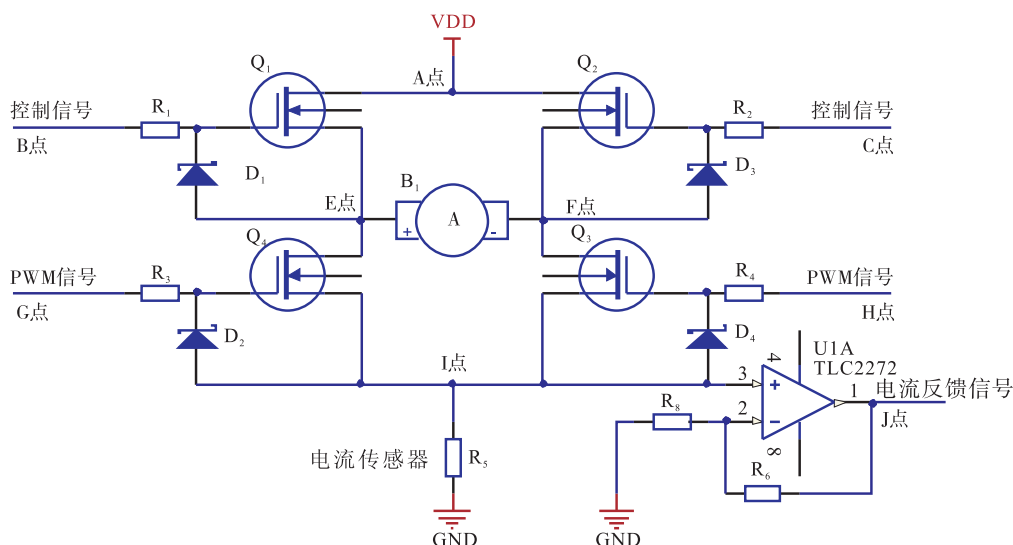


图1 H桥工作原理图

Fig. 1 The operating principle of the H-bridge

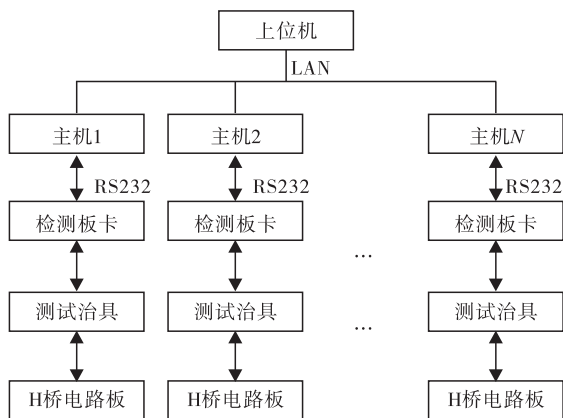


图2 H桥检测系统组成图

Fig. 2 The detection system of the H-bridge

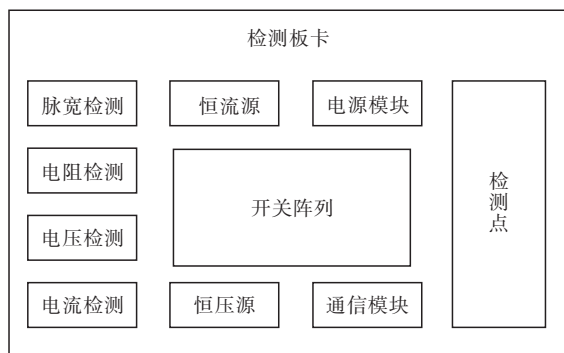


图3 检测板卡组成结构图

Fig. 3 The composition structure of the test circuit board

定时器,6个捕捉/比较模块,而且还具有SPI, I<sup>2</sup>C和UART接口等资源. H桥性能检测系统硬件结构如图4所示.

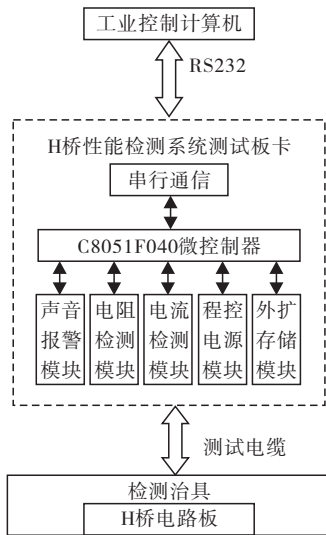


图4 H桥性能检测系统硬件结构图

Fig.4 Hardware structure of the H-bridge performance detection system

### 3 系统关键技术

#### 3.1 电阻检测模块设计

常用的电阻测量方法有电阻分压法和恒电流法:电阻分压法结构简单,成本低廉,但测量精度不高;恒电流法精度较高但成本也较高.本

设计采用改进的电阻分压法来测量,通过单向逐次逼近的方法来保证电阻测量的精度.

本系统需要测量电气特性和驱动能力,即测试任意两点之间的电阻,并在控制信号和PWM信号下测试驱动电流,所以几乎每个检测点都需要在两种检测模式下工作,需要加载多种测试信号.以图5所示电阻测试模块电路图中B点为例,B点需要分别接通接地信号、测试电压信号和控制电压信号,故每个检测点需要使用程控多路开关连接测试信号<sup>[8]</sup>.

在图5中,程控电阻箱在程序控制下选择基准电阻,直至测得的电阻值符合精度要求为止;程控开关S<sub>1</sub>主要用来接通各种控制信号,并默认悬空状态防止损坏检测系统;电压跟随器用于匹配测试电阻与单片机引脚之间的阻抗.电阻检测具体流程图如图6所示.

#### 3.2 电流检测模块设计

假如图1中A至I点任意两点之间的电阻均在正常范围内,则基本排除存在焊接错误等故障的可能性,但该H桥电路板是否可靠工作,还需要测量其实际的驱动性能.具体实现为:通过程控电源模块接通12V电源,并通过测量J点的电压计算驱动电流.

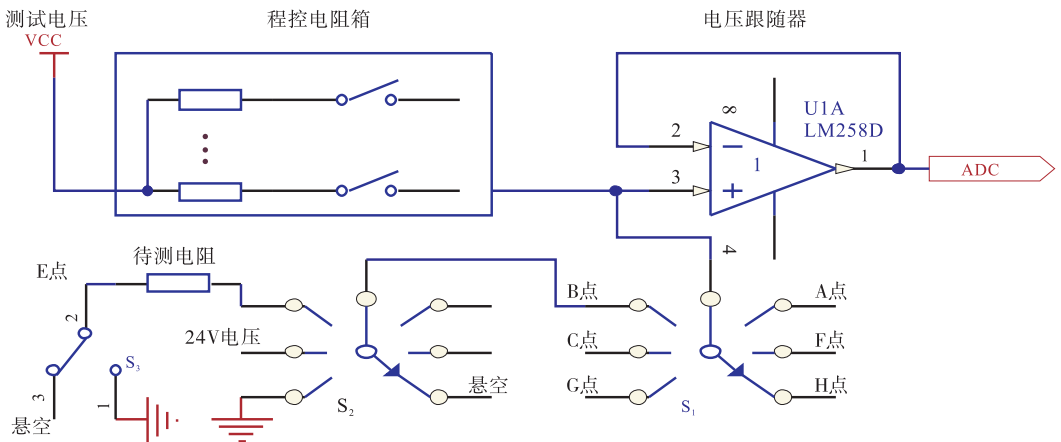


图5 电阻测试模块电路图

Fig.5 The circuit diagram of the resistance measuring

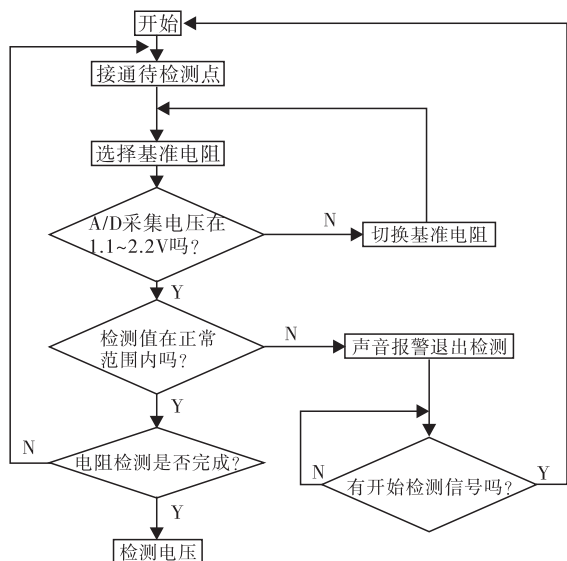


图6 电阻检测流程图

Fig. 6 The flowchart of the resistance measuring

本系统采用  $12\ \Omega$  的电阻代替电机,若此时电流超过  $0.1\ \text{A}$ ,则说明 H 桥电路板存在故障.若电流正常,则在  $Q_1$  和  $Q_3$  的 G 极分别加载  $12\ \text{V}$  和  $24\ \text{V}$  的电压控制信号,使其导通;在  $Q_2$  和  $Q_4$  的 G 极加载  $0\ \text{V}$  的电压控制信号,使  $Q_2$  和  $Q_4$  截止,此时测量 J 点的电压即可计算出正向驱动电流<sup>[7]</sup>. 反向驱动电流的测量方法与之类似,不再详述.

电流检测流程图如图 7 所示.

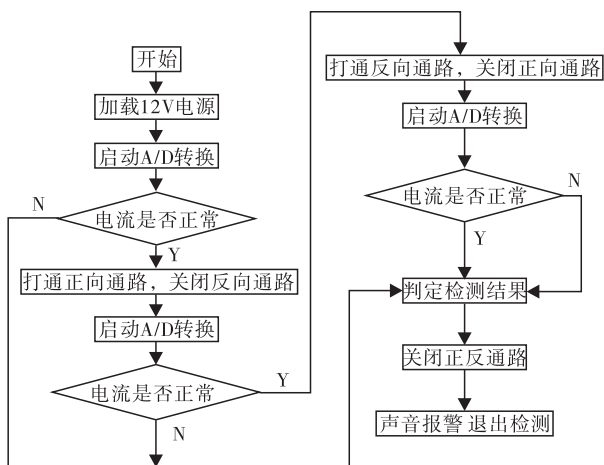


图7 电流检测流程图

Fig. 7 The flowchart of the current detection

### 3.3 保护措施

检测系统通常会面对多种类型的被测对象,如何保证检测系统自身的安全是需要首先解决的问题.本系统采用多种隔离保护电路,以实现检测系统的保护,如电压跟随器、光耦、射极跟随器、稳压管和限流电阻等元件的使用,有效地保证了检测系统的安全.其次,在软件算法中充分利用中断特点,监控极易发生故障的检测点,一旦发现危险,及时中断检测过程,以保护检测系统.

### 3.4 故障定位

在该检测系统中,对于不合格产品故障点的定位至关重要.本系统采用数据库技术,通过人为制造各种故障,测试每个检测点在该故障模式下的数据,将其作为一条故障记录存储进数据库.当检测出故障件时,通过逐条比对检测数据和故障记录数据,快速准确地找出故障点,并通过主机和上位机报告给技术人员,以便对故障件进行维修.

## 4 检测结果与分析

本系统主要技术指标如下:检测点数量 24 个,最大可扩展至 32 个;测试项目及其范围、精度指标见表 1,其他测试包括二极管正反向压降测试、MOS 管的开关测试和自动放电功能(测试前,双针或全板放电);整板测试时长 60 s.

为了验证系统检测的可靠性和数据的准确性,将手工仪器测量与检测系统自动测量相对比,并对每个检测项目选取 3 个检测点进行对比,从而得到检测系统的相对误差,检测数据见表 2.

对每个项目中的 1 个检测点进行多次重复测量,从而计算出检测系统的重复误差,结果见表 3.

从检测数据及误差可以看出,与现有同类系统相比<sup>[6,8]</sup>,该检测系统不仅可以完成 ICT 环节检测,还能完成 FCT 功能测试,且系统工作稳定可靠,检测数据准确,完全可以满足生产

表1 测试项、范围及精度指标

Table 1 The test parameters, range and accuracy indication

测试项	范围	精度/%
电压	-15 V ~ +30 V	±2
电流	1 mA ~ 40 A	±3
电阻	0.1 Ω ~ 20 MΩ	±5
电容	5 pF ~ 40 mF	±5
占空比	1% ~ 100%	±1

表2 检测数据对比

Table 2 The comparison of the detecting data

测试项	检测点	传统仪器 测量	检测系统 测量	相对误差/%
直流电压	检测点1	4.95 V	4.9 V	1.02
	检测点2	3.25 V	3.3 V	1.54
	检测点3	23.85 V	24.1 V	1.05
直流电流	检测点1	0.20 A	0.2 A	0
	检测点2	1.21 A	1.2 A	0.83
	检测点3	20.42 A	20.3 A	0.59
电阻	检测点1	1.05 Ω	1.03 Ω	2.00
	检测点2	100.25 kΩ	101.25 kΩ	1.00
	检测点3	20.02 MΩ	19.98 MΩ	1.00
电容	检测点1	66.30 pF	68.50 pF	3.30
	检测点2	1.02 μF	1.05 μF	3.00
	检测点3	47.87 μF	48.90 μF	2.16
占空比	检测点1	5%	5%	0.00
	检测点2	47%	46%	2.13
	检测点3	96%	97%	1.04

表3 检测系统重复误差

Table 3 The repetitive error

测试项	次数	测量结果	重复误差/%
直流电压	1	4.9 V	4.08
	2	5.0 V	
	3	4.8 V	
直流电流	1	1.22 A	1.65
	2	1.21 A	
	3	1.20 A	
电阻	1	10.30 kΩ	1.00
	2	9.93 kΩ	
	3	9.97 kΩ	
电容	1	66.3 pF	2.53
	2	67.2 pF	
	3	68.0 pF	
占空比	1	47%	2.11
	2	47%	
	3	48%	
频率	1	10.1 Hz	1.00
	2	10.2 Hz	
	3	10.1 Hz	

企业技术要求。

然而,检测数据中仍然存在着相对误差和重复误差,其原因:一是仪器设备自身带来的精度误差;二是检测系统存在的测量误差;三是外围环境的干扰、电路串扰和温湿度影响等。

## 5 结论

本文设计的 H 桥电路板 ICT 与 FCT 一体化检测系统实现了对 H 桥电路板的 ICT 和 FCT 一体化检测功能,提高了单板检测效率。在产品出现故障时能快速、准确地定位故障点,为后续维修提供技术支持,其便携式优点使其能适用于多种维修环境,从而降低了维修成本,同时又使其可脱离上位机独立运行在各种环境下,具有广泛的适用环境。河南省新乡市某公司的应用试验表明,本系统基本满足了所需检测要求。

## 参考文献:

- [1] 何泽刚,申荣卫,谢康,等. 直流无刷电动机的汽车电动助力转向系统控制策略研究[J]. 现代制造工程,2015(2):57.
- [2] KURISHIGE M, FUKUSUMI K, INOUE N, et al. A new electric current control strategy for EPS motors[J]. Sae Transactions, 2001(1):4.
- [3] 黄鹏. 汽车电动助力转向控制系统研究[J]. 企业技术开发,2015,34(2):1.
- [4] 张建威,辛世界,曲宝军. 电动助力转向系统的控制策略研究与仿真[J]. 机床与液压, 2016(6):96.
- [5] 顾施张,孙跃东,周萍. 电动助力转向系统性能仿真研究[J]. 电子科技,2016(1):165.
- [6] 廖明栋,范缜煜,董福庆. 基于 DSP 的直流伺服电机驱动电路研究与分析[J]. 国外电子测量技术,2013(8):77.
- [7] 鹿鹏程. 汽车 EPS 控制算法研究与实现[D]. 重庆:重庆大学,2012.
- [8] 田二林,李祖贺. 基于 C8051F040 单片机的 H 桥性能检测系统设计[J]. 郑州轻工业学院学报,2009,24(4):99.