

电动汽车驱动装置测试与仿真系统软件的研究

罗立元, 何鸿肃, 王鸿贵, 梁秀玲, 姚震, 刘方铭

(广东工业大学 信息工程学院, 广东 广州 510643)

摘要: 本测试系统实现了电动汽车驱动装置性能特性的实时测量, 以及在实验室模拟电动汽车实地行驶的仿真控制功能, 系统是针对电动汽车驱动装置的性能测试而设计的, 同时它也可应用于各种交直流电机的性能测试, 并可实现电机的低转速下的转矩脉动特性的检测. 具有一定的实用价值.

关键词: 电动汽车; 驱动装置; 测试系统; 仿真

中图分类号: TM351; TP316

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2001)04-0014-06

高性能、高效率的驱动装置是电动汽车的一个核心部件, 它包括高性能电机、控制器以及励磁装置. 作为以蓄电池供电的一种路面交通工具, 电动汽车的连续行驶能力是衡量它的实用性能的一个重要指标. 目前改进电动汽车连续行驶能力的技术有三种, 即减小汽车的摩擦阻力系数、提高单位体积电池电能的含蓄量以及提高电能的转换效率. 由于单位体积蓄电池的储能是有限的, 提高电能的转换效率就显得尤为重要. 电动汽车的能量转换效率主要取决于电池的供电效率和驱动装置的工作效率. 电动汽车的运行特点决定了其工作电机的特定要求, 汽车行驶时电机的工作点是不断地改变的, 一般来说, 在不同的工作点, 其电能利用效率差别是很大的. 因此有必要对电机的各不同的工作点的效率进行精确的分析测量. 由于电动汽车驱动电机运行工作状态的复杂性和不稳定性, 仅仅通过手工调节来对其稳定工作点的性能进行测试并不能精确地反映电机的特性. 要精确的反映它的工作性能, 一是要能对大量的工作点的特性进行分析, 二是要能对变工作点状态下电机的性能特性进行测量. 本系统中采用高性能的 A/D、D/A 转换器实现了对电机性能参数的实时采集及精确的给定驱动系统的控制信号, 配合相应的软件算法, 可以完成对大批量工作点性能参数信号进行检测和处理, 从而精确地反映出电机不同工作点状态下的性能. 由于待测参数的波形变化是随着电机工作点的变化而周期脉动的信号, 数据采集的精度关系到系统的成败. 下面围绕测试系统软件的开发设计对测试系统进行介绍.

1 测试系统结构

测试系统由硬件与软件两大部分组成, 硬件部分包括计算机、参数检测传感器(由扭矩仪、电压电流传感器组成)、发电机、打印机等组成. 测试对象是电动汽车驱动装置. 图 1 是测试系统的硬件连接原理图. 测试软件的设计遵循模块化设计的原理, 软件的功能模块结构框图如图 2 所示.

2 测试系统功能模块

2.1 A-821PGL/PGH 多功能板原理与数据采集

数据采集模块是本软件系统的核心. 测试系统的可靠性和精确度都直接取决于采集的数

收稿日期: 2001-04-04

资助项目: 电动汽车驱动装置重点实验室项目.

作者简介: 罗立元(1976), 男, 99 级硕士研究生, 主要研究方向为电力电子与电力传动.

据的准确性和精度, 各功模块的功能的实现都是建立在数据分析的基础上的. 本系统采用 A-821PCL/PCH 多功能板实现对传感器检测参数的 A/D 转换. A821-PCL/PCH 是一种可编程控制的多功能数据采集卡, 内置有一个 12 位的 ADC、一个 12 位的 DAC 及三个定时/计数器. 通过设置跳线开关, 可以选择 16 路接地模拟信号输入通道或者 8 路分接地模拟信号输出通道, 另外还有 16 路 TTL 数字信号输入/输出通道及一路模拟输出通道. 板卡通过 ISA 总线占用计算机提供的从 0x220 到 0x23f 之间连续的 16 个 I/O 端口, 其中首 I/O 地址可以通过跳线设置, 计算机通过向这些端口发送命令字节对其编程, 可以控制它工作在不同的工作模式. A/D 转换分两个阶段, 触发阶段和转换阶段, 根据触发方式和转换方式的不同 (见图 3), 可以分成四种工作模式. 限于篇幅, 不做更多的介绍.

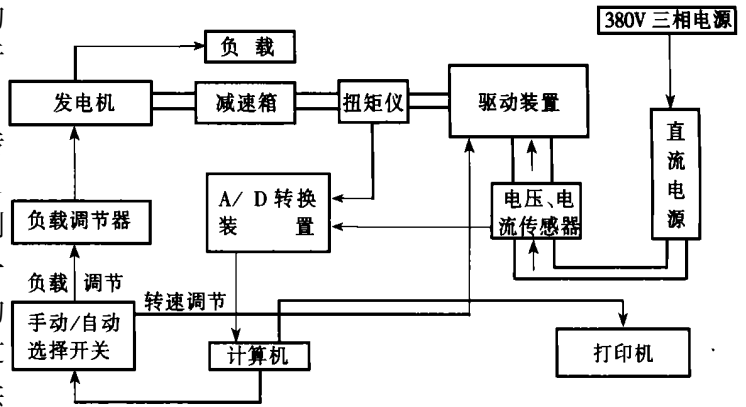


图 1 硬件连接原理图

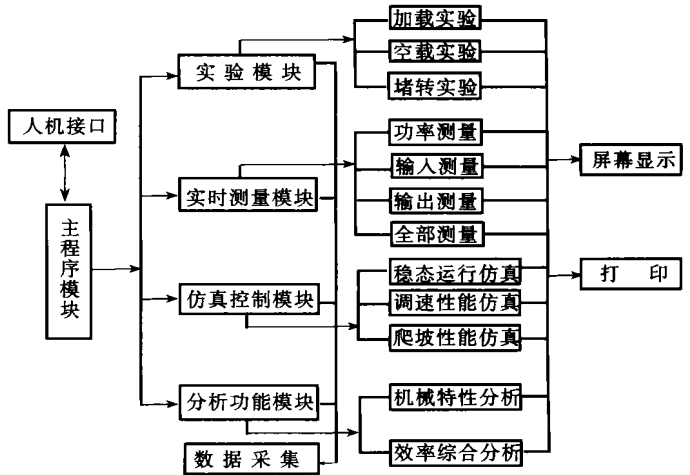


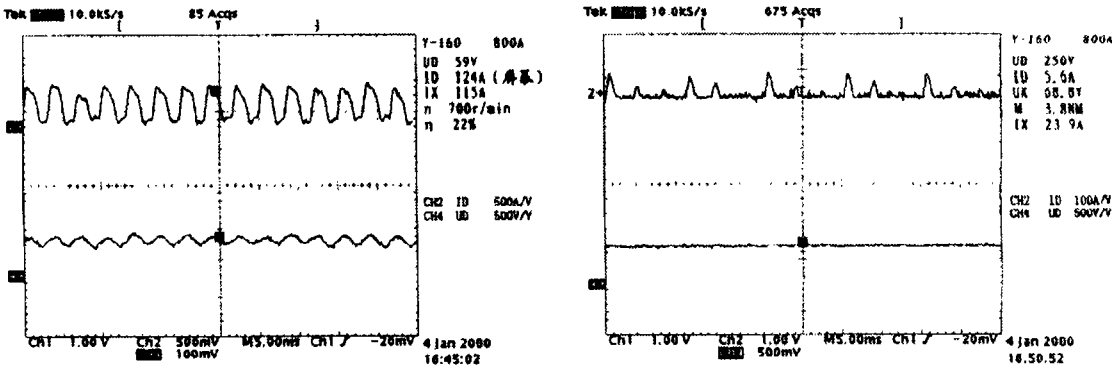
图 2 软件结构模块框图



图 3 A/D 转换工作模式

在测试系统中, 数据采集包括参数信号检测、A/D 转换、数据通讯及数据处理四个部分. 信号检测部分实现系统要求的四路参数信号, 即输出转矩、输出转速、输入电流、输入电压信号的检出、放大, 形成 ADC 可以直接做转换处理的电压信号. 这部分是由硬件实现的, 系统中采用了高精度的传感器及相应的测量仪器. 具体硬件结构可参照前文的硬件连接图. 其中输出转矩和输出转速在电机运行状态稳定时波动很小, 而输入电流、输入电压即使是电机处于稳定运行状态, 也可能是周期性波动的. 如图 4 实验过程中电压电流的实际波形图. 该图为例波器波形的直接拷贝, 图形的标定说明以示波器示值表达方式为准.

由图 4 可见空载时输入电压基本是恒定不变的, 而在负载较大时则呈现锯齿波形状. 在空载输出状态, 电机端电流很小, 驱动装置前端大电容以及直流电源后端的大电容两端的电压基本上维持不变, 而在负载逐渐增大的情况下, 电机端电流随之增大, 该电流实质是靠电容的充放



(a) 空载输出 (b) 负载较大时输出

图 4 电机不同状态下电流电压波形图(其中 CH2 为电流、CH4 为电压)

电来维持的,这就是锯齿形电压波形产生的直接原因.在实际操作时,电压的波动的明显程度也和输入电压大小直接相关,在输入电压较大时,即使负载较大时,电压的波动也不是很显著的,而在负载输入电压较小的情况下,即使是较小的负载状态也将出现显著的电压波动. A/D 转换和数据通讯是集成在一起实现的,通过对 A821-PCL/PCH 进行编程控制,可以实时的对输入采集卡的模拟信号进行采集,并存放在内存单元中,供 CPU 进一步处理.系统除了要直接检测的四路信号外,还要求出相应的输入/输出功率,系统的功率因数,电机的效率,以方便全面的表征驱动装置的特性.下面是计算各参数的公式.

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (u(t) \cdot u(t)) dt}, \tag{1}^{[1]}$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i(t) \cdot i(t)) dt}, \tag{2}^{[1]}$$

$$P_{in} = \frac{1}{T} \int_0^T (u(t) \cdot i(t)) dt, \tag{3}^{[2]}$$

$$P_{out} = 2 \cdot \pi \cdot M \cdot n / 60, \tag{4}^{[3]}$$

$$\cos \vartheta = \frac{P_{in}}{U \cdot I}, \tag{5}^{[4]}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}. \tag{6}^{[3]}$$

式(5)没有除 3 是因为对于永磁无刷直流电机驱动装置并不是三相交流输入,而是脉动的直流电压、电流输入.计算公式中的积分运算采用复化梯形求积的算法^[5]来实现,复化梯形求积算法的精度取决于步长的选择,步长取得越小,则运算精度越高.在对时间积分的实时采集系统中步长的选择必须考虑 A/D 转换的速度,步长时间必然大于一次 A/D 转换所需要的时间.所以 A/D 转换以越快越好.在本系统中所采用的 ADC 的转换时间是 8μs,跟电源的 20ms 的周期相比,足以保证数据的精度.以上计算值得注意的是计算 P_{in} 时应保持电压、电流采集的同步,且采样周期必须是供电源的周期的整数倍,否则将引起很大的误差,导致效率计算的不准确.下面给出了对采集卡输入通道 0 进行数据采集的一段程序.

```
port= BaseAddr+ 0x0A; // 选择通道 0
```

```
outporth(port, 0);
```

```

for( j= 0; j< 10000; j+ + )    // 对 10000 次采集的数据求平均
{
port= BaseAddr+ 0x0c; // 置 A/D 转换标志
outportb( port, 0x00);
port= BaseAddr+ 0x05;
while( k= = 0) {
    word= inportb( port); // 检测并等待 A/D 转换是否完成
    if( (word&0x10) == 0x00) k= 1;
}
k= 0;
port- - ;
t1= inportb( port);    // A/D 转换低位送 t1
port+ + ;
t2= inportb( port);    // A/D 转换高位送 t2
temp= (t2&0x0f) * 256+ t1;
temp1= temp+ temp1;
port= BaseAddr+ 0x08;
outportb( port, 0x00);
}
temp1= (temp1/ 10000);
return temp1;

```

2.2 实时测量模块

这个部分实现了电机性能参数的在线检测, 通过调用数据采集功能模块, 将参量的示值送至计算机, 并以直观曲线方式及表格数据的形式进行显示. 实验的记录数据以文件方式保存, 可以通过历史回放的方式再现实时测量的过程. 从软件处理的角度来看, 实际上测量所得的参数是经过大批量数据取平均值求得的, 这里采取的是 10000 个数的平均值表示, 以一次数据采集 $8\mu\text{s}$ 计算, 完成一个数据量的采集需要 80ms 的时间, 即 4 个输入电压周期(以工频周期计算). 实时测量的特性可以使电机一些很重要的特性如低转速下转矩脉动能够很方便地检测出来, 这一点对于永磁无刷直流电机来说是很重要的^[6].

2.3 实验模块

实验模块的设计既考虑到传统电机实验的基本原理和步骤, 完成电机实验的基本任务, 同时也针对传统电机实验的缺陷加以改进. 传统的电机实验存在调速、加载难以精确定位的缺陷, 需同步测量参数众多、数据记录不便的不足, 同时由于电机模型本身的复杂性, 实验后数据处理很烦琐, 实验结果的精确性也取决于测量点的多少以及选取有关. 特别是对于那些需要由实验曲线来估算的参数. 如衡量额定转速、额定功率下负载电流. 完整的电机实验一般包括空载实验、加载实验、堵转实验、温升实验、定子电阻实验等一系列实验组成, 相应地实验模块包括三个部分, 即加载实验、空载实验、堵转实验三个子模块. 软件中没有包括定子电阻实验和温升实验, 因为定子电阻的测量很方便, 而且精确度也完全可以满足实验的要求, 所以在实验模块中没有包括直流电阻实验, 而是在软件处理时直接将定子电阻做为一个外部给定的参数直接引用.

对于各种不同的实验,均可由软件配合相应的硬件开关设定为自动或手动工作模式. 在手动模式下,对转速调节、负载调节是完全由人控制的,测试系统按照一定的时间间隔对实验数据进行采集、处理,同时绘制出相应的特性曲线,实验数据以文件存档的方式保存,可以随时打印或调出以表格或曲线的方式进行显示. 在自动工作模式下,系统通过接受键盘输入的工作点数据,自动给出控制信号,控制电机按实验要求的模式运转,并完成相应的数据处理任务.

2.3 仿真控制模块

该模块的功能通过软硬件结合的方法来模拟电动汽车的运行实况. 通过控制电机按实际行驶时的运转状态转动,模拟电动汽车的运行实况,并实时地记录各相关性能参数,可以全面的衡量电机及其驱动装置的性能. 汽车行驶状态和电机运转状态间存在着一定的关系. 如图 5 所示. 为了处理的方便,对于路面状态,只考虑水平路面和坡道,而将路面的摩擦的变化折合成



图 5 相关参数对应关系

坡度的变化来考虑,即兼顾了一般性,又简化了处理. 考虑到路面状态的随机性,我们在软件中设计了一个方便的人机接口. 在仿真模拟之前,可以通过鼠标操作进行规程给定,将电机周期性运转的一个周期的速度轨迹及反应坡道倾斜度的负载大小的轨迹曲线给出来. 其中周期的大小是通过一个周期时间设定给出的. 规程给定的操作界面见图 6,图 6(a)的 y 坐标代表速度, x 坐标代表时间,轨迹曲线的斜率代表相应的加速度. 图 6(b)的 y 坐标代表坡道的倾斜角, x 为时间. 实验时可根据电动汽车要运行的实际路况修改规程. 在规程给定之后,将系统的硬件开关打到自动档,软件也设成自动工作方式,运行仿真模块,计算机即可根据规程给出控制信号,控制电机按规程的给定开始运转. 计算机同时进行参数的实时采集,以曲线和表格数据的方式直观的展示电动汽车运行过程中各性能参数的动态变化过程. 由于对于不同控制器类型,控制电压与电机实际端电压之间的比例关系是不一样的,即使是针对某一特定的控制器,两者之间也不是绝对的比例关系. 具体的函数关系表现起来很复杂,在软件中利用计算机运算速度快、精度高的特点,将给定的控制信号和实际采集到的参数值不断的进行比较,同时根据算法调整控制信号量直到得到的参数值与希望的量之间的误差满足控制精度的要求. 由于计算机处理的高速性,这种处理方法不会影响仿真的实时特征.

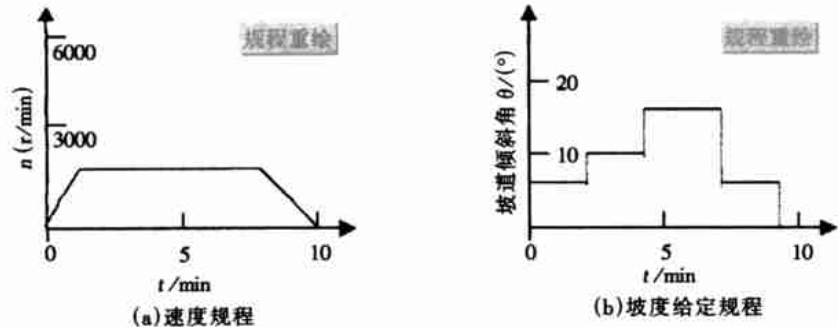


图 6 规程给定

2.4 分析模块

分析模块的功能可以完成对两种数据来源的处理, 即存档的数据和实时测量的数据. 所以它即有实时分析的功能, 也有对历史数据的分析的功能. 从软件结构图可知, 它主要是完成电机及控制器的一些性能参数曲线的绘制, 如机械特性曲线、转矩特性曲线等.

3 结束语

本测试系统是专为实现电动汽车驱动电机及其驱动装置的实时检测以及电动汽车的仿真运行控制而设计的, 但也能作为其它各种交流电机或直流电机的性能测试用的工具, 具有一定的通用性.

参考文献:

- [1] 张永根, 刘振起, 杨林跃等. 电子测量技术基础[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994. 120-180
- [2] 邱关源. 电路原理[M]. 上海: 高等教育出版社, 1982.
- [3] 贾大义, 艾高烈. 常用电机原理与设计[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1996. 201-209.
- [4] 杨长能. 电机学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1994. 163.
- [5] 邓建中, 葛仁杰, 程正兴. 计算方法[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1985. 154-155.
- [6] 唐任远. 现代永磁电机理论与设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997. 143.

Development of Software System for Test and Simulation of Motor of Electrical Vehical

LUO Li-yuan, HE Hong-su, WANG Hong-gui, LIANG Xiu-ling, YAO Zhen, LIU Fang-ming
(Faculty of Information Engineering, GDUT, Guangzhou 510643, China)

Abstract: The test system is performed to reflect the specialties of motor of electrical vehicle in real time and the function of simulating the running state of electrical vehicle. The design is based on the testing of motor of electrical vehicle, but it can also be used for other types of motor. It is easy to detect the torque pulsation in low speed when the test system is used to evaluate the performance of the motor.

Key words: electrical vehicle; controller; test system; simulation