

摘要：为提高直流电机的速度检测效率，实现规模化生产中电机速度指标的在线检测，对现有直流电机的速度检测方法进行了总结。通过对直流电机电枢电流的分析，得出电枢电流的时间响应由衰减的指数分量、直流分量和正弦分量构成，从而得出电枢电流携有正弦分量的结论，进一步推导出正弦分量与电机转速的关系，由此得到了一种根据电机电枢电流测量电机转速的方案。经在线实际测量使用，结果表明，该方案具有简单、可靠、高效的特点。

关键词：直流电机；电机检测；电枢电流；电机测速

中图分类号：TH862 文献标识码：A 文章编号：1006-883X (2015) 02-0012-04

收稿日期：2014-12-05

DOI:10.16204/j.cnki.sw.2015.02.002

直流电机转速分析与测速方法

庞尔江 王新峰 张少煌

厦门大学物理与机电工程学院，福建厦门 361005

一、前言

电机转速是电机最基础、最重要的参数状态指标，电机制造过程中需要及时对产品电机进行实时转速参数检测。测量转速的方法有离心式及光电式两大类，目前电机制造工厂生产线上大都采用光电式方法测量。

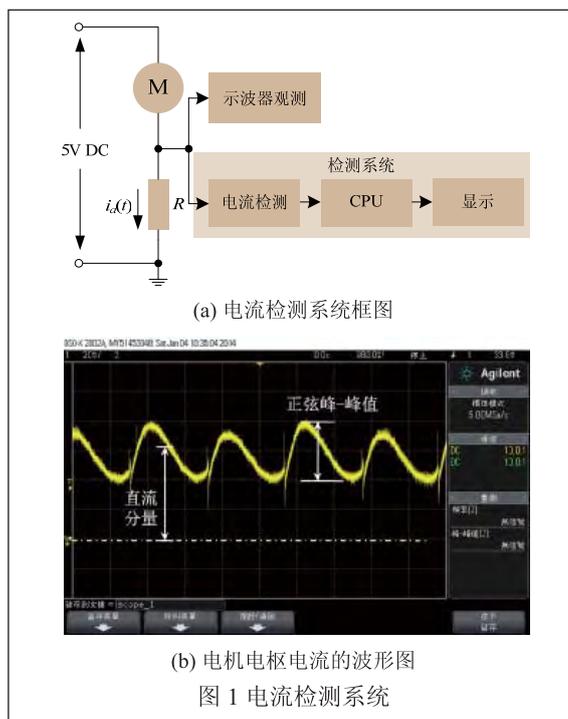
频闪静像仪（频闪转速计）是电机生产线上最常用的转速测量仪器，其原理是利用荧光灯、LED灯及其他气体放电灯作为频闪灯发射频率可调的交变光线，频闪灯发出的光线与待测电机转速产生差拍，调节频闪灯的闪光频率，当其与被测电机的转速成倍数关系时，差拍产生的效果会出现一个或者多个的静止图像，此时根据频闪光线的频率就可计算出被测电机的转速^[3-4]。这种测量方法具非接触、精度高、使用灵活等优点，适用于电机检测数量不多的试验和拔取抽样检测。但这种方法的缺点也很突出，需手动调节光源闪光频率，需配置有色线标识的测试轮，测量结果需经换算得到。因此，测量的速度和效率受到约束，不适合于规模化生产的在线连续测量。

为了实现电机制造工厂在线测量，本文提出了一种利用电机电枢电流进行测量直流有刷电机的在线高

速测量方法。

二、工作原理

直流电机工作时，电机转子经历了接近磁极和远



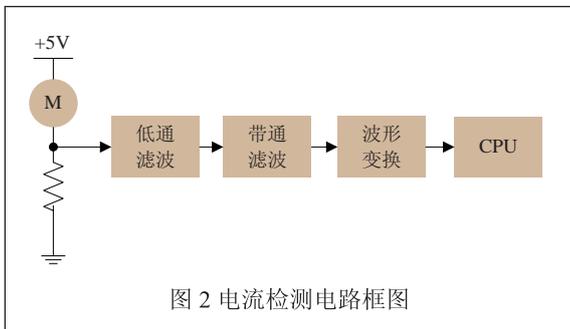


图 2 电流检测电路框图

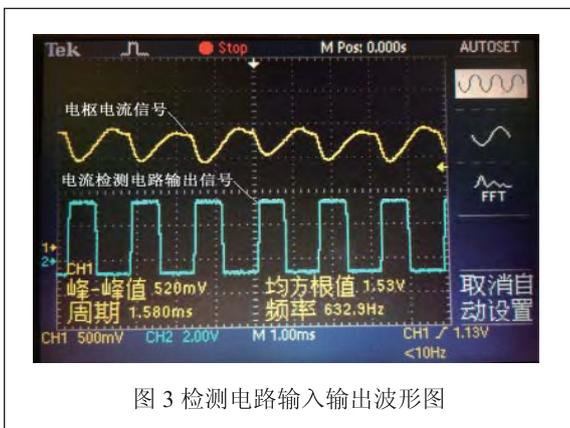


图 3 检测电路输入输出波形图

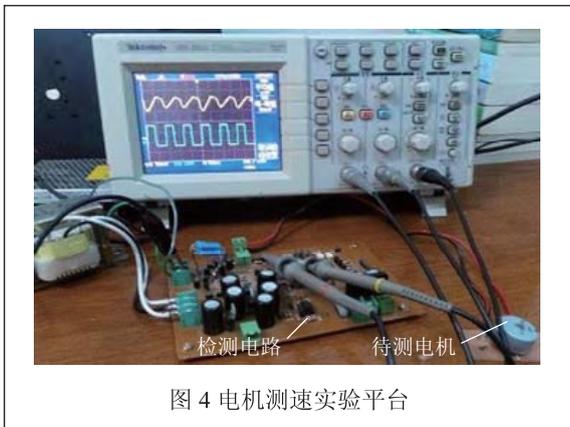


图 4 电机测速实验平台

离磁极过程，电枢铁芯通过的磁通量为正弦变化^[4-5]，电枢稳态电流存在一个与之对应的正弦分量，通过对该正弦分量的测量处理，就可测出电机转速。

为了获得直流电机电枢电流以及测量其转速，搭建了图 1(a) 实验电路。采用 1.5Ω 的采样电阻 R 与电机串联，电机供电电压为直流 5V，当电机进入稳定状态后，电枢电流 $i_a(t)$ 经过电阻 R 转化为电压信号，通过对电流的采样信号进行处理分析，可得到电机转速。

取某企业生产的直流电机作为测试样品，工作电

压 5V，电机功率 1W，空载转速 3000r/m。图 1(b) 为通过示波器观测的采样电阻电压时域波形，电机电枢电流由直流分量及正弦分量组成^[5]，图中的间断和上冲、下冲是对应于电机电刷在换向时不连续抖动产生的结果。显然，将电枢电流的直流分量以及毛刺抖动去除，将正弦信号整形后作测量其频率或者周期，就可换算出电机的转速。

正弦分量频率与电机转速的关系为^[6]：

$$f_n = C_e \frac{PN}{60} \quad (1)$$

其中， f_n —脉冲数；

C_e —系数；

P —电枢线圈支路数；

N —电机转速。

当线圈支路数 P 为奇数时， C_e 的取值为 2；当线圈支路数 P 为偶数时， C_e 的取值为 1。

根据 (1) 式，有：
$$N = \frac{60 f_n}{P C_e} \quad (2)$$

对于被测直流电机，电枢线圈支路数是确定的^[7]，因此，测量电机电枢电流，根据电流正弦分量的频率就可得到待测电机的转速。

三、检测电路

图 1 中电流检测部分电路框图如图 2 所示，电路由隔直、带通滤波、波形变换、射极跟随等部分组成。工作原理为：采样电阻采得的电流信号经电容隔离，去掉了直流分量。交流分量经带通滤波器滤波后，去掉了各种噪声，只取出电枢正弦电流分量，正弦分量经波形变换后得到对应的脉冲信号，该脉冲信号经射极跟随器隔离后作为时间标准送出^[8-9]，图 3 为电枢电流经带通滤波器后的波形和经波形变换后的波形。

代表电枢电流正弦信息的脉冲信号可由 CPU 在一定时间内计数，然后根据 (2) 式计算出相应的电机转速，再经相应的显示模块将转速显示出来。

四、测试实验及结果分析

1、实验平台

为了验证直流电机速度检测方法的有效性，搭建了直流电机测速实验平台，如图 4 所示。利用该平台对某公司生产的 DZ300 二极三槽式永磁有刷直流电机进行速度测量，电机数量 150PCS，将样品电机分为三组进行测速，并用频闪速度仪进行速度同步检测对比，为了测试本检测方法的重复性，三组电机分别进行了四次重复测试。

表 1 检测电路与频闪仪分组检测比对数据表

分组	第一循环 (r/m)		第二循环 (r/m)		第三循环 (r/m)		第四循环 (r/m)	
	检测电路	频闪仪	检测电路	频闪仪	检测电路	频闪仪	检测电路	频闪仪
第一组 (NO1~NO50)	3012.22	3012.08	3012.56	3012.58	3012.52	3012.70	3012.52	3012.40
第二组 (NO51~NO100)	3011.80	3012.04	3011.42	3011.94	3011.90	3011.34	3012.00	3011.84
第三组 (NO101~NO150)	3011.52	3011.60	3011.22	3011.82	3011.26	3011.38	3011.52	3011.66

注：表中速度检测数据为平均值

2、实验结果及分析

直流电机速度测量的结果如表 1，由于电机数量较大，所有电机检测结果都要列表需占用较大版面，因此表 1 只列出四次重复试验的平均结果。

表 1 所示即为检测电路测试的电机转速，并用频闪测速仪进行校对，实际验证其测试输出的数据能否正确显示电机的转速，能否达到相应的精度要求和稳定性要求。为此，做了相应的误差分析和稳定性分析。

第一组电机最大偏差及第一循环的相对误差如图 5(第二、第三、第四循环相对误差图略)。

图 5 所示是检测电路所测第一组电机第一循环转速的相对误差及四个循环的最大偏差，相对误差计算公式为：

$$\delta = \frac{|r_x - r_0|}{r_0} \times 100\% \quad (3)$$

其中， r_0 —频闪仪所测转速；

r_x —检测电路所测转速；

δ —相对误差。

由图 5 可知，检测电路所测转速的误差均低于 0.1%，符合生产实际对精确度的要求。

最大偏差的计算公式为：

$$\tau = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{\bar{r}} \times 100\% \quad (4)$$

其中， r_{\max} —同一电机四次循环中检测电路所测的最大转速；

r_{\min} —同一电机四次循环中检测电路所测的最小转速；

\bar{r} —同一电机四次循环中检测电路所测转速的平均值；

τ —最大偏差。

由图 5 可知，检测电路在四次循环中，同一电机的最大偏差不超过 0.35%，表明电路的稳定性较好。

五、结论

上述方法测量方法在线测量多款有刷永磁直流电动机，测量的数据均稳定，精确度极高。并且此检测方法对电机速度的检测效率极高，可应用在大批量生产工程中实现电机在线速度检测。如加入被测量电机速度规格的上、下限警示功能后，可嵌入自动化电机组装设备中实现无人智能检测^[10-11]。

参考文献

[1] 李海发, 朱东起. 电机学 [M]. 北京: 科学出版社, 1999.
 [2] 陈隆昌, 阎治安, 刘新正. 控制电机 [M]. 北京: 西安电子科技大学出版社, 2000.

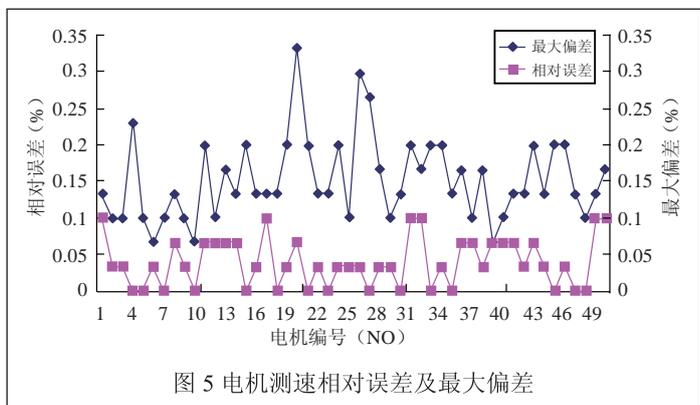


图 5 电机测速相对误差及最大偏差

- [3] 袁宝国. 换向过程对直流电动机电流脉动频率影响的分析[J]. 微电机, 2007, 40(5): 37-38.
- [4] 冯海青. 永磁直流电机测试系统研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.
- [5] 陈雅文. 直流微电机测速新方法[J]. 微电机, 1999, 32(1): 36-37.
- [6] 黄进, 黄建华, 陈曦, 等. 基于小波分析的直流电机转矩-转速特性测试[J]. 中小型电机, 2001, 28(2): 49-53.
- [7] 张文海. 直流电机转速的特殊测试方法[J]. 电工技术杂志, 1997,(3):40-41.
- [8] 李彦明, 马培菘, 徐军, 等. 基于反射式光电传感器的直流电机测速及控制系统[J]. 机械与电子, 2002,(3):24-27.
- [9] 肖兵, 薛琦, 余师棠. 基于DSP的M/T测速法改进[J]. 重庆工学院学报(自然科学), 2009, 23(10): 65-67.
- [10] 张海涛, 谷玉海, 徐小力, 等. 精密电机转速测量的FPGA系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2013, 8: 108-110.
- [11] 牛洁, 周静, 苟娜. 基于霍尔传感器的直流电机转速测量系统设计[J]. 电子测试, 2008,5:75-77.

Rotation rate analyses and measuring methods of DC motors

PANG Er-jiang, WANG Xin-feng, ZHANG Shao-huang
(Department of Mechanical and Electrical Engineering,
Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: In order to increase rotation rate detection efficiency of DC motors and achieve online detection of rotation rates in mass production, existing rotation rate

detection methods for DC motors are summarized in this paper. Based on the analyses of DC motor armature current, the conclusion is got that time response of armature current consists of attenuation index component, DC component and sinusoidal component. Thus it comes to the conclusion that armature current has sinusoidal component. Further the relationship between sinusoidal components and the rotation rate is deduced. So a solution for rotation rate measurement is given according to the armature current of DC motor. The results of online practical tests show that the method is simple, reliable and high efficiency.

Keywords: DC motor; motor test; armature current; rotation rate measurement

作者简介

庞尔江, 厦门大学机电系研究生, 研究方向: 电力电子技术及嵌入式系统

通信地址: 厦门市思明区厦门大学科学楼 336 室

邮编: 361005 邮箱: pej309001@126.com

王新峰, 厦门大学机电系研究生, 研究方向: 电力电子技术及嵌入式系统

张少煌, 厦门大学机电系研究生, 研究方向: 电力电子技术及嵌入式系统