

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2017.01.009

# 无刷直流电机远程调速控制方法

徐敬成, 凌云, 陈海东, 黄文威, 侯文浩

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 现阶段无刷直流电机常用的远程控制方法为有线控制和无线控制2种, 有线控制需额外铺设控制信号线, 无线控制则需增加遥控交互环节。针对上述弊端, 设计了一种以可控整流信号波的形式发送速度控制信号, 实现无刷直流电机远程调速控制的系统。该系统由整流控制单元和速度调节单元构成, 整流控制单元发送可控整流信号波, 速度调节单元接收该信号波并实现调速。该方法无需增加控制信号线, 直接利用动力线即可实现对无刷直流电机速度大小和方向的远程控制。

**关键词:** 无刷直流电机; 远程控制; 可控整流信号波; 调速

中图分类号: TM461.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2017)01-0052-04

## A Remote Speed Control Method of Brushless DC Motors

XU Jingcheng, LING Yun, CHEN Haidong, HUANG Wenwei, HOU Wenhao

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** Two kinds of remote control methods, wired control system and wireless control system, are being currently applied in brushless DC motors, with the former one requiring additional signal lines and the latter one requiring remote interaction modules. In view of the above-mentioned disadvantages, a method has been proposed to realize the transmission of speed control signals in the form of controlled rectifier signal waves, thus achieving the remote speed control of Brushless DC motors. The system consists of rectifier control unit and speed control unit, with the former one sending controlled rectifier waves and the latter one receiving the signal waves and realizing the speed regulation. The research results show that this method can realize the remote control of brushless DC motor speeds and directions by using the power lines without additional control signal lines.

**Keywords:** brushless DC motor; remote control; controllable rectifier signal wave; speed control

## 0 引言

无刷直流电机采用电子换向代替机械换向, 避免了传统直流电机由于机械换向所带来的换向火花等问题。无刷直流电机还具有转矩大、效率高、体积小、调速范围宽、结构简单、运行可靠、维护方便、

无转子损耗等优点<sup>[1-3]</sup>, 在电动汽车、精密医疗、机器人、工业过程控制及航空航天等领域发挥着越来越重要的作用。随着计算机应用到自动控制领域, 以及新型功率开关器件的更新换代, 采用PWM脉冲调制方法控制无刷直流电机已成为一种主流趋势<sup>[4-6]</sup>。利用无刷直流调速系统来提高电机效率具有很好的工

收稿日期: 2016-11-20

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助项目(15C0404)

作者简介: 徐敬成(1991-), 男, 江苏南京人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为电力电子与电力传动,

E-mail: 957944214@qq.com

通信作者: 凌云(1965-), 男, 湖南平江人, 湖南工业大学教授, 主要从事复杂工业过程建模与优化控制, 单片机及嵌入式系统应用等方面的研究, E-mail: l\_yun888@126.com

程实用价值。

针对无刷直流电机应用环境恶劣、干扰严重、人员缺乏、场地空间受限等问题, 远程调速控制显得尤为必要。无刷直流电机常用的远程控制方法主要有有线控制和无线控制 2 种。有线控制使用总线通过微处理器如 DSP 来实现电脑对电机转速的控制<sup>[7-9]</sup>, 需要额外铺设信号控制线以及功能模块, 电路过于复杂。无线控制主要利用 GPRS<sup>[10-11]</sup> 实现无线遥控调速, 虽然在工业控制领域具有一些优势, 但添加的无线通讯模块增加了系统成本, 同时也面临着相关软硬件更新换代的挑战。鉴于此, 本文设计了可控整流电路, 发送不同的速度控制信号波来实现无刷直流电机的远程控制, 该方法已申请了国家专利<sup>[12-14]</sup>。

### 1 可控整流信号波

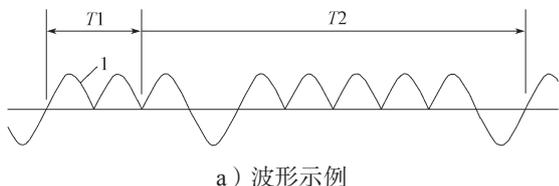
可控整流信号波由引导波和数据波组成。引导波起触发调速的作用。数据波起速度调节的作用, 包含速度控制信号, 该速度控制信号从速度 1 级至  $n$  级共  $n$  个速度等级。

引导波由  $y$  个工频周期的整流波和交流波组成,  $y$  为大于等于 1 的整数。数据波由  $x$  个工频周期的整流波和交流波组成,  $x$  为大于等于 2 的整数。速度控制信号的速度等级 1 级至  $n$  级与速度给定信号的速度等级 1 级至  $n$  级是对应关系。其中, 速度等级 1 对应的无刷直流电机状态为制动状态。

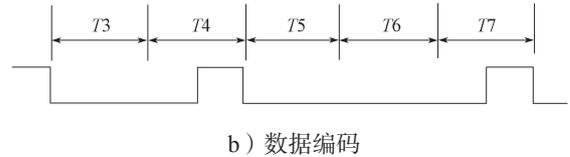
为方便述说, 本文示例中设置  $n=16$ , 即速度控制信号的速度等级共 16 级, 即 1~16 级。整流控制单元发送 7 级速度控制信号。图 1~3 中,  $T1$  区间为引导波,  $T2$  区间为数据波。在可控整流信号波中, 数据码、速度码、开关码和方向码均为二进制码。1 个工频周期对应 1 位数据码: 交流波对应的数据码是 0; 整流波对应的数据码是 1。速度码的范围是 0000~1111, 代表的速度等级范围是 1~16。

#### 1.1 简单可控整流信号波

简单可控整流信号波的波形示例如图 1a 所示, 其对应数据编码如图 1b 所示。 $T1$  区间的引导波由 1 个工频周期的整流波组成;  $T2$  区间的数据波由 4 个工频周期组成, 依次为交流波、整流波、整流波、交流波, 对应的 4 位数据码是 0110。因此, 简单可控整流信号波对应的数据码为 10110。



a) 波形示例



b) 数据编码

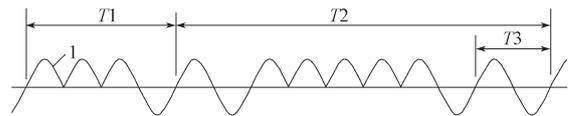
图 1 简单可控整流信号波

Fig. 1 Simple controllable rectifier signal waves

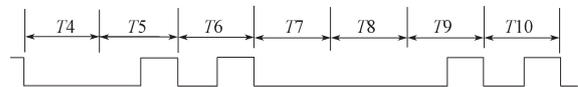
无刷直流电机无需控制方向时, 数据码中无方向码,  $x$  位数据码组成  $x$  位速度码。

#### 1.2 包含方向码的可控整流信号波

包含方向码的可控整流信号波的波形示例如图 2a 所示, 其对应数据编码如图 2b 所示。 $T1$  区间的引导波由 1 个工频周期的整流波和 1 个工频周期的交流波组成;  $T2$  区间的数据波由 5 个工频周期组成, 即交流波、整流波、整流波、交流波、交流波, 相应的 5 位数据码是 01100。5 位数据码的最后 1 位是方向码, 方向码与  $T3$  区间对应, 即 1 个工频周期的交流波, 方向码为 0。因此, 包含方向码的可控整流信号波对应的数据码为 1001100。



a) 波形示例



b) 数据编码

图 2 包含方向码的可控整流信号波

Fig. 2 Controllable rectifier signal waves with direction codes

$x-1$  位速度码和 1 位方向码组成数据码, 还可以采用 1 位方向码在前,  $x-1$  位速度码在后的方式。此时, 图 5 所示的可控整流信号波形中, 5 位数据码的第 1 位为方向码, 方向码是 0; 后 4 位数据码为 1100, 表示速度控制信号的速度等级为 13。

#### 1.3 包含开关码和方向码的可控整流信号波

包含开关码和方向码的可控整流信号波的波形示例如图 3a 所示, 其对应数据编码如图 3b 所示。可控整流信号波还可以添加开关码, 方便电机定时制动。 $T1$  区间的引导波由 1 个工频周期的整流波和 2 个工频周期的交流波组成,  $T2$  区间的数据波由 6 个工频周期组成, 即交流波、交流波、整流波、整流波、交流波、交流波, 相应的 6 位数据码是 001100。6 位数据码的第 1 位是开关码, 开关码与  $T3$  区间对应, 开关码为 1, 最后 1 位是方向码, 方向码与  $T4$  区间对应, 方向码为 0。因此, 包含开关码和方向码的可控整流信号波对应的数据码为 100001100。

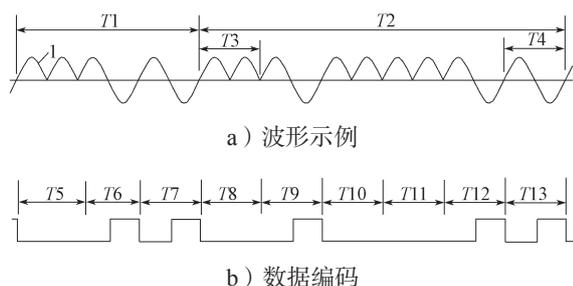


图3 包含开关码和方向码的可控整流信号波

Fig. 3 Controllable rectifier signal waves with switch codes and direction codes

本文仅列举了3种可控整流信号波的代表形式。

显然,可控整流信号波还可以有更多的组合形式和次序,构建更为复杂的信号波,对此本文不再详述。

## 2 可控整流电路

采用整流波传送速度控制信号,其有效值与交流波相同,不会造成无刷直流电机速度调节时供电电源的不稳定。

可控整流电路如图4所示,它由整流桥UR1、双向晶闸管V1、双向晶闸管V2、双向晶闸管V3和双向晶闸管V4组成。整流桥UR1可以采用单相整流桥堆,或采用4个二极管组成单相整流桥。2个交流输入端分别连接至相线L和零线N,整流输出正端连接至双向晶闸管V3的第二阳极,整流输出负端连接至双向晶闸管V4的第二阳极;双向晶闸管V1的第一阳极与双向晶闸管V3的第一阳极并联后连接至第一输出端子AC1;双向晶闸管V1的第二阳极连接至相线L;双向晶闸管V2的第一阳极与双向晶闸管V4的第一阳极并联后连接至第二输出端子AC2;双向晶闸管V2的第二阳极连接至零线N。

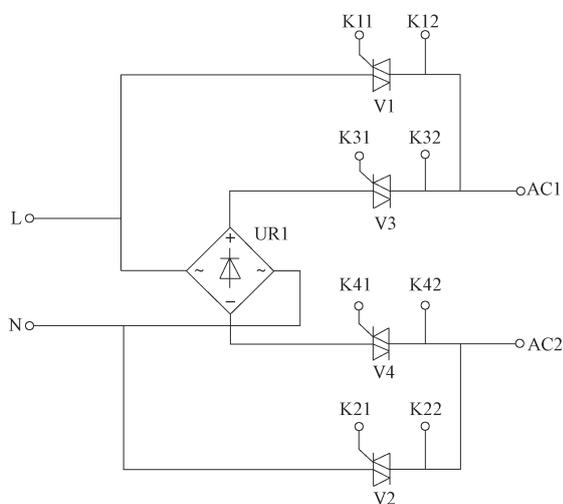


图4 可控整流模块电路图

Fig. 4 A circuit diagram of controllable rectifier modules

双向晶闸管V1的触发脉冲从其控制极K11和第一阳极K12输入,双向晶闸管V2的触发脉冲从其控制极K21和第一阳极K22输入,双向晶闸管V3的触发脉冲从其控制极K31和第一阳极K32输入,双向晶闸管V4的触发脉冲从其控制极K41和第一阳极K42输入。当控制V3和V4截止,V1和V2导通时,可控整流电路输出交流波;当控制V1和V2截止,V3和V4导通时,可控整流电路输出整流波。

## 3 调速系统组成

本文介绍的无刷直流电机远程调速控制系统由整流控制单元和速度调节单元组成,其结构如图5所示。外部相线L和零线N通过整流控制单元,可控整流电路经过第一输出端子AC1、第二输出端子AC2输出可控整流信号波,速度调节单元接收整流控制单元发出的可控整流信号波并调节无刷直流电机进行调速。



图5 系统结构框图

Fig. 5 A structure diagram of the system

## 4 结语

无刷直流电机应用领域近几年发展迅速,有很多不可替代的优势,可以远程控制电机运行状况以及设置电机的常用参数,更好地体现出直流电机的优越性能<sup>[15]</sup>。本文采用可控整流信号波发送速度控制信号,该可控整流信号波在输送功率的同时根据速度控制信号控制无刷直流电机的速度。该方法的优点是不需要增加控制信号线,不需要使用遥控器,直接利用动力线就可以实现无刷直流电机的远程调速。

### 参考文献:

- [1] 徐恒娇. 无刷直流电机调速系统控制方法研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2014.  
XU Hengjiao. Research on Control Method of Brushless DC Motor Speed Regulation System[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2014.
- [2] SHANMUGASUNDRAM R, MUHAMMED ZAKARIAH K, YADIAH N. Low-Cost High Performance Brushless DC Motor Drive for Speed Control Applications[C]//2009 International Conference

- on Advances in Recent Technologies in Communication and Computing. Washington: IEEE, 2009: 456-460.
- [3] 卢 锋. 无刷直流电机分布式控制系统设计 [D]. 西安: 西安科技大学, 2009.  
LU Feng. Design of Distributed Control System of Brushless DC Motor [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2009.
- [4] WU Hao, CHEN Qianhong, REN Xiaoyong, et al. Analysis, Design and Control of a Double-Input Contactless Resonant Converter[C]//Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE). [S. l.]: IEEE, 2012: 2498-2505.
- [5] GUNDOGDU T, KOMURGOZ G. Self-Tuning PID Control of a Brushless DC Motor by Adaptive Interaction[J]. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 2014, 9(4): 384-390.
- [6] LI Qiang, HUANG Hai, YIN Binchuan. The Study of PWM Methods in Permanent Magnet Brushless DC Motor Speed Control System[C]//International Conference on Electrical Machines and Systems. [S. l.]: IEEE, 2008: 3897-3900.
- [7] 冯嘉鹏. 基于 DSP 直流无刷电机控制系统的设计与研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2012.  
FENG Jiapeng. Control System Design and Research of BLDCM Based on the DSP [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2012.
- [8] 黄 磊. 基于 DSP 的无刷直流电机运动控制系统研究 [D]. 西安: 西安工业大学, 2013.  
HUANG Lei. Brushless DC Motor Control System Research Based on DSP [D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2013.
- [9] 邢立成. 基于 DSP 的直流无刷电机驱动器研究与设计 [D]. 太原: 中北大学, 2012.  
XING Licheng. Research and Design of the BLDCM Driver Based on DSP [D]. Taiyuan: North University of China, 2012.
- [10] 逢 栋. 基于 GPRS 的无刷直流电机的远程监控系统 [D]. 镇江: 江苏大学, 2010.  
PANG Dong. The Remote Control System of BLDCM Based on GPRS [D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2010.
- [11] 马 萍, 孙玉坤, 逢 栋. 基于 GPRS 的无刷直流电机远程监控系统设计与实现 [J]. 微电机, 2011, 44(4): 95-98.  
MA Ping, SUN Yukun, PANG Dong. Designation and Implementation of Remote Control System of BLDCM Based on GPRS [J]. Micromotors, 2011, 44(4): 95-98.
- [12] 凌 云, 文定都, 王 兵, 等. 直流无刷电机远距离调速装置: 中国, 201510386993.5 [P]. 2015-11-25.  
LING Yun, WEN Dingdu, WANG Bing, et al. Remote Speed Regulation Device of Direct Current Brushless Motors: China, 201510386993.5 [P]. 2015-11-25.
- [13] 凌 云, 曾红兵, 肖会芹, 等. 一种直流无刷电机远距离调速的方法: 中国, 201510386930.X [P]. 2015-11-11.  
LING Yun, ZENG Hongbing, XIAO Huiqin, et al. A Method for Long-Distance Speed Regulation of DC Brushless Motors: China, 201510386930.X [P]. 2015-11-11.
- [14] 孔玲爽, 凌 云, 肖伸平, 等. 一种直流无刷电机远距离调速装置: 中国, 201520475767.X [P]. 2015-11-11.  
KONG Lingshuang, LING Yun, XIAO Shenping, et al. Remote Speed Adjusting Device of DC Brushless Motors: China, 201520475767.X [P]. 2015-11-11.
- [15] 毛 勇. 基于 DSP 的无刷直流电机远程监控设计与实现 [J]. 机电信息, 2010(36): 123-124.  
MAO Yong. Designation and Implementation of Remote Monitoring and Control of BLDCM Based on DSP [J]. Mechanical and Electrical Information, 2010(36): 123-124.

(责任编辑: 邓 彬)