

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.03.012

基于绝对剩余距离原则的电梯变频控制研究^{*}

汤晨昱, 赵国军^{*}

(浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部重点实验室, 浙江 杭州 310014)

摘要:针对电梯在传统速度控制模式下舒适性差, 运行效率低, 变频器调试复杂等问题, 对电梯速度控制方式和理想速度曲线等方面进行了研究, 对原有的剩余距离给定算法进行了改进, 提出了一种基于 LPC1114 ARM Cortex-M3 内核单片机及绝对剩余距离为原则的电梯速度变频控制系统。通过搭建实验平台, 编写了速度控制系统软件并进行了电梯速度运行实验测试。研究结果表明, 在模拟量输出驱动变频器控制模式下, 基于绝对剩余距离原则的速度控制方式能减少传统控制模式存在的低速爬行段, 有效地提高了电梯的舒适性和快速性, 同时能大大简化对变频器参数的设定及调试。

关键词:速度控制; 绝对剩余距离; 速度曲线; 模拟量输出

中图分类号: TH39; TP273; TU857

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2016)03-0308-05

Research on elevator frequency-variable control based on absolute surplus distance principle

TANG Chen-yu, ZHAO Guo-jun

(The Ministry of Education Key Lab of Mechanical Manufacture & Automation, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Aiming at the problem of poor comfort, low efficiency and complexity of inverter debugging in the conventional speed control of elevators, the studies of the speed control mode, the elevator speed curve and other aspects were focused on. The original remaining distance algorithm was improved, and the elevator variable frequency control system based on LPC1114 with ARM Cortex-M0 core and the absolute remaining distance principle was put forward. By building the experimental platform, the elevator speed control system software was developed and the experiment of elevator speed curve was proceeded. The results indicate that the speed control mode based on the principle of absolute surplus can eliminate the low-speed crawling section in the traditional control mode, effectively improve the comfort and rapidity of the elevator, and greatly simplify setting of parameters and debugging of frequency converter in analog output driving control mode.

Key words: speed control; absolute surplus distance; speed curve; analog output

0 引 言

随着社会经济的快速发展, 高层建筑也越来越多。目前, 我国已经成为全球容量最大、增长最快的电梯市场, 电梯保有量已超过 100 万台, 且保持每年 20% 的递增速度, 市场前景乐观^[1]。电梯作为一种必不可少的运输工具也在飞速发展中, 电梯的运行速度、运行距

离在不断的变快、边远, 运行的效率也在不断地提高。乘客除了要求电梯有良好的运行性能、安全性能除外, 对电梯的舒适度层面也提出较高的要求^[2]。

目前国内绝大部分 VVVF 电梯都采用电梯专用的变频器对电动机的调速控制, 因此对电梯速度变频控制系统的设计和研究具有重要的社会经济意义和学术意义^[3]。通过研究和开发高效率、高稳定性的电梯速

收稿日期: 2015-10-26

作者简介: 汤晨昱 (1992-), 男, 浙江武义人, 主要从事电梯控制系统相关研究, E-mail: chenyu2tommy@163.com

通信联系人: 赵国军, 男, 教授, 硕士生导师, E-mail: cnzgj@163.com

度控制系统,适应于当今电梯速度控制系统的发展趋势,更能提高我国的电梯控制技术的核心竞争力。

针对上述问题,本研究在基于模拟量输出方式速度控制模块上,采用绝对剩余距离为则的电梯速度控制方式实现对电梯的变频调速控制。

1 电梯速度控制方式的选择

电梯运行能否舒适、安全、高效地运行,在很大程度上是取决于对速度控制方式的选择^[4-5]。目前国内外的速度控制方式有以下几种:

以时间为原则的速度控制方式是电梯主控制器依据理想的速度曲线按时间原则发送速度指令给变频器进行控制。该控制方式实质上是一个开环控制系统,因此该运行方式的运行效率低,平层精度和舒适性差^[6-7]。

以相对距离为原则的速度控制方式是通过安装在曳引机轴上的增量编码器间接获得轿厢位置从而精确计算轿厢走过的相对距离来对电梯运行速度进行控制^[8]。但是由于钢丝绳打滑、增量编码器脉冲丢失等干扰的存在,都容易使电梯丢失自身的正确位置。

以绝对剩余距离为原则的速度控制方式是通过绝对值编码器可以实时测得轿厢在井道中的绝对位置信息,并反馈给电梯速度控制模块。电梯速度控制模块根据反馈回来的电梯位置信号实时地计算出电梯到目的楼层的绝对剩余距离,并通过剩余距离来设计出电梯的运行曲线。由于绝对值编码器返回的是二进制编码的位置信号,不会存在丢失脉冲的情况。

考虑到以绝对剩余距离为原则的速度控制方式在理论上能够消除前两种控制方式的缺点,实现无爬行停靠,故本研究选择以绝对剩余距离为原则的速度控制方式作研究。

2 电梯速度控制软件及算法实现

2.1 电梯余弦速度曲线公式分析

为了保证电梯有良好的舒适性,本研究所设计的电梯运行速度曲线必须是平滑的。目前常用的电梯理想速度曲线为抛物线-直线型和余弦-直线型速度曲线^[9-11]。由于余弦-直线型速度曲线能够消除抛物线-直线型曲线在抛物线往直线段过渡时产生加速度变化率突变的问题^[12],本研究把余弦-直线型速度曲线作为理想速度曲线。

根据电梯的运行距离不同,理想余弦-直线型速度曲线可以演化成3条速度运行曲线,电梯运行速度曲

线模型图如图1所示。

由速度曲线1可知, $OAC''G''$ 是一条标准的余弦曲线,速度曲线2和3都是在该曲线基础上演化而来。该曲线也是理论上电梯运行最小行程时的速度曲线。

曲线 $2OAB'C'G'$ 和曲线 $3OABCG$ 分别为电梯运行中间非额定速度时的速度曲线和电梯运行额定速度时的速度曲线,两者的区别在曲线3在电梯运行的额定速度但是还未到减速点的这段时间内作匀速直线运动,曲线2和曲线3的加减速过程都是一样的,因此,本研究采用速度曲线2进行分析。

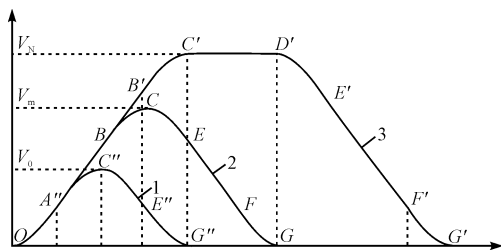


图1 电梯运行速度曲线模型图

曲线 OA 段:该段为标准余弦曲线的前四分之一部分,所以曲线公式与标准余弦曲线公式相同,如下:

$$v = \frac{V_0}{2}(1 - \cos(\omega t)) \quad (1)$$

$$s = \int_0^t v dt = \frac{V_0}{2}(t - \frac{\sin(\omega t)}{\omega}) \quad (2)$$

$$a = \frac{V_0}{2}\omega \sin(\omega t) \quad (3)$$

其中: $0 \leq t \leq t_A$ 。

曲线 AB 段:该线段为匀加速直线段,斜率为曲线 OA 段 A 点切线斜率,其公式如下:

$$v = \frac{V_0}{2} + \frac{V_0}{2}\omega(t - t_A) \quad (4)$$

$$s = \frac{V_0}{2}(t - t_A) + \frac{V_0}{4}\omega(t - t_A)^2 + s_A \quad (5)$$

其中: $t_A \leq t \leq t_B$ 。

曲线 BC 段:该段曲线是由标准余弦曲线的第2个四分之一部分平移得到,其公式如下:

$$v = (V_m - V_0) + \frac{V_0}{2}(1 - \cos(\omega(t - t_{AB}))) \quad (6)$$

$$s = (V_m - \frac{V_0}{2})(t - t_B) - \frac{V_0}{2\omega}\sin(\omega(t - t_{AB})) + s_B + \frac{V_0}{2\omega} \quad (7)$$

其中: $t_B \leq t \leq t_C$ 。

式(1~3)中: t_A, t_B, t_C — A, B, C 3个点时刻; s_A, s_B —电梯在 A 点和 B 点走过的总路程; V_0 —曲线1所能达到的最大速度。减速段曲线 $DEFG$ 段与加速度曲线对

称,因此速度公式类似。

2.2 电梯速度曲线算法实现

电梯速度控制软件实现的一个难点在软件和硬件将数字量转模拟量输出的实时性。由于上述公式包涵

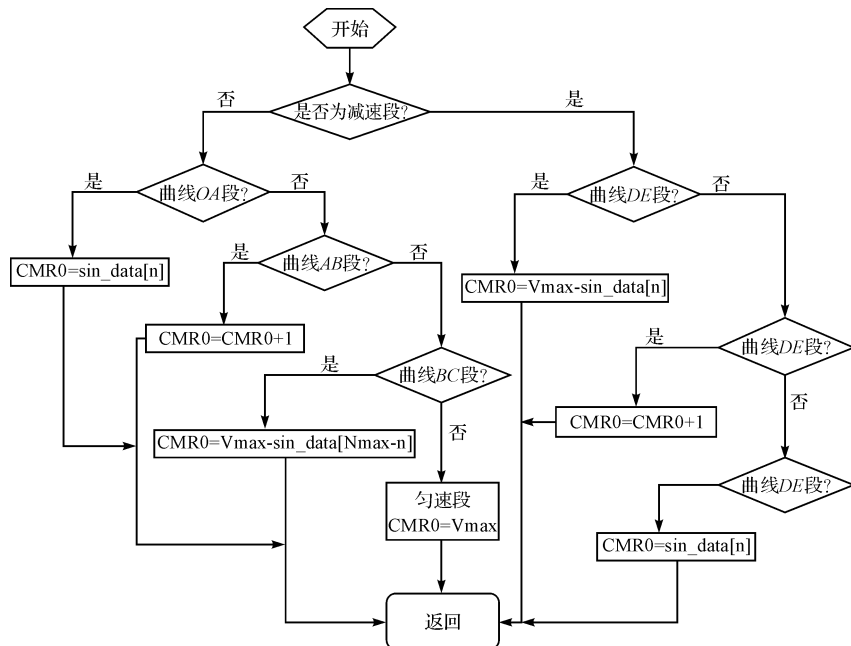


图 2 速度计算流程图

OA 段速度曲线中,按时间步长(1 ms)制成一个数据表 $\sin_data[n_{\sin}]$,存于单片机的 Flash 里,再通过查表的方式实现 OA 段的速度值输出。

$$v = \text{sin_data}[n_{\text{sin}}] \quad (8)$$

AB 段速度曲线,则根据上文公式(4)进行简单四则运算,按一定的时间步长(1 ms)给出想要的速度值。

BC 段速度曲线,其与 OA 段速度曲线对称相反,因此也可以通过查询数据表间接实现模拟量输出。

$$v = V_m - \sin_data[n_{\max} - n_{\min}] \quad (9)$$

式中: $n_{\max}$ —四分之一余弦段总步长; V_m —运行最大速度,如果是运行额定速度,最大速度可以用额定速度代替。

2.3 绝对剩余距离给定算法实现

绝对剩余距离是指当前电梯轿厢所在井道的绝对位置与电梯欲前往的目标楼层的绝对位置之间的距离,电梯的绝对位置都是通过绝对值编码器实时测量并反馈给电梯主控制器并经过计算得到。

本研究设计的电梯剩余距离给定算法如下:当电梯启动时无论电梯目标楼层为几楼层,电梯速度模块给出的第一个剩余距离均为运行到下一个楼层的剩余距离,即运行一个楼层的剩余距离。随着电梯运行,给

大量的三角函数和浮点数的运算,如果采用软件计算的方法会使得单片机在计算过程需花费大量时间,降低了整个系统的实时性,本研究选择将曲线离散化。速度曲线具体各段曲线的实现算法流程如图 2 所示。

定的剩余距离将逐渐减小,直到电梯运行到下一楼层的减速点时检查下一楼层是否为目的楼层,如果不是则将下一楼层的距离加到剩余距离中,如果是目的楼层则不再增加剩余距离,直到电梯运行到目的楼层的平层位置。其算法如图5所示。

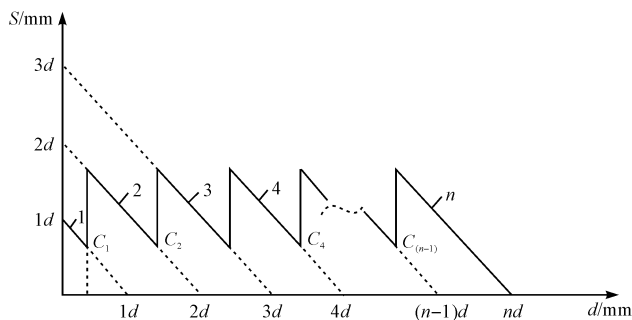


图3 绝对剩余距离给定算法图

图5中,纵坐标为电梯运行过程中电梯速度控制模块计算给定的绝对剩余距离,横坐标为电梯运行过的距离, C_1 、 C_2 等点表示电梯的减速点,也被称为“拐点”。当电梯的减速距离大于计算出的剩余距离时电梯进入减速段运行。因此在电梯在本楼层和目的楼层之间插入同向呼梯时,只要电梯运行未达到呼梯楼层的减速点时,本研究设计的电梯运行算法就能实现顺向截梯功能。

3 电梯速度控制系统硬件设计

3.1 LPC1114 主控制器

本研究电梯速度控制系统模块中的主芯片采用了 ARM Cortex-M0 内核的 32 位微处理器 LPC11E14。该芯片性能高、功耗低,支持简单指令集和内存寻址,特别适用于工业控制领域。LPC11E14 以高达 50 MHz 的 CPU 频率工作,并具有高达 32 KB 的 Flash 存储器和 8 KB SRAM 数据存储器,其中的闪存能够代替外设 EEPROM 芯片用于存储自主学习参数、电梯运行速度

值、电梯速度曲线频率值和各楼层的绝对位置值等。同时有一路 USART,能够与电梯主控制板通讯。并有 2 个可编程 16 和 32 位定时器能够给主芯片提供精确的定时计数和 PWM 波输出。

3.2 RS485 通讯电路

RS485 通讯电路主芯片采用 NXP 公司的高速 CAN 收发器 TJA1050,芯片具有以下几个特点:理论最大通讯距离可达 1 219 m,传输速率为 1 Mb/S;内部具有短路保护、瞬态高压保护和温度保护电路;芯片采用差分总线,具有很高的抗噪性,并能兼容 RS485 电气特性,同时其电路反向耐压可达 30 V。

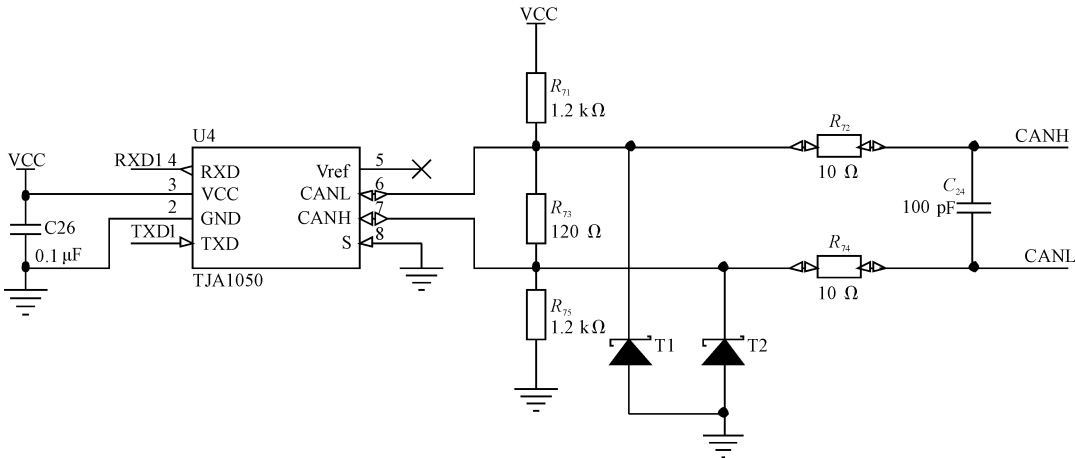


图 4 RS485 通讯电路原理图

3.3 DAC 模拟量输出电路

DAC 模拟量输出电路主要包括二阶滤波放大电路和电压跟随电路,其原理图如图 3 所示。

LPC11E14 主芯片不带有 DAC 输出外设,故本研究通过硬件设计 PWM 滤波电路放大电路来实现 DAC 输出功能。

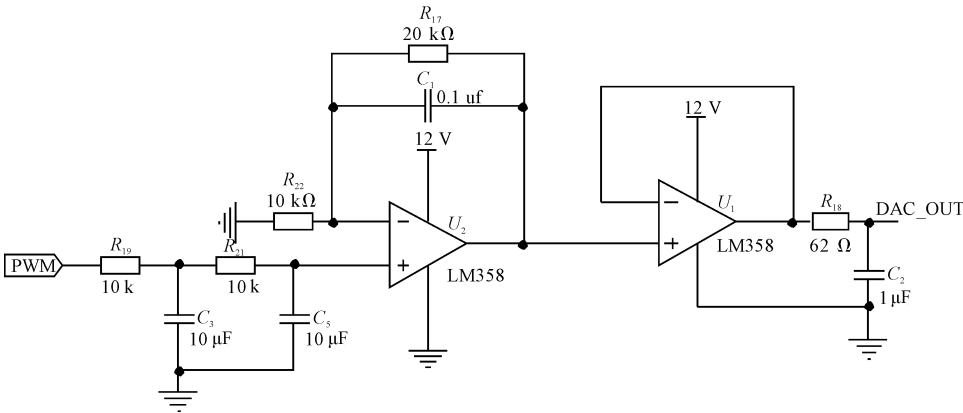


图 5 DAC 输出电路原理图

该硬件电路的主芯片采用 LM358,该芯片内部具有两个独立的、高增益、内部频率补偿的双运算放大器。电路的前端电路为一个简单的二阶低通滤波放大电路,当输入低频信号时,该电路可视为同相比例放大器。电路的后端为一个 1 : 1 电压跟随器,其具有很高

的输入阻抗和很低的输出阻抗,能够有效地提高电路带负载能力。

4 实验仿真

本研究采用电梯主控制板 TSBK,安川变频器 VS-

616G5, 电梯速度控制模块、绝对值编码器 AWG-05、增量编码器 CWG-03、380V 三相异步电机等搭建实验平台。通过测量电机的转速输出, 可以得到实际环境下电梯的速度。其中电梯在本研究优化策略控制方式下(即基于绝对剩余距离速度控制方式)测得的速度曲线图如图 6 所示, 多段速速度控制(即基于时间原则的速度控制方式)下测得的速度曲线图如图 7 所示。

通过比较图 6 和图 7 可以发现, 基于时间原则的速度控制方式运行时明显存在一段低速爬行段, 而本研究采用的基于绝对剩余距离的速度控制方式则没有这段爬行段, 虽然在实际测量过程中会有干扰影响系统运行, 但是明显可以看出该模式下电梯运行时间更短, 电梯运行效率更高, 与传统模式相比本研究采用的速度控制方式更具优势。

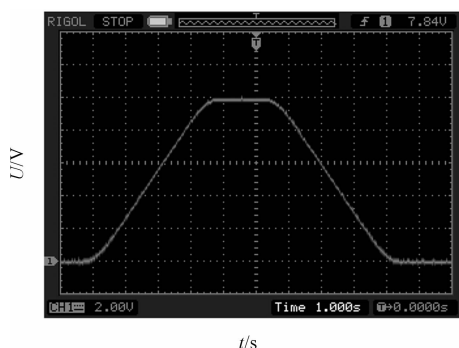


图 6 采用本研究测得的实际速度曲线图

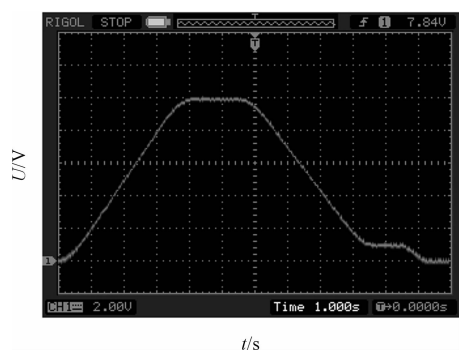


图 7 基于时间原则的实际速度曲线图

5 结束语

本研究介绍了一种基于模拟量输出的速度变频控制模块, 并基于绝对剩余距离速度控制方式, 进行了相

应的硬件模块和速度控制算法软件的设计。最后并进行了相关的实验研究和数据测量。通过实验测试并分析两组实际速度曲线数据得出研究结果, 研究结果表明, 该基于绝对剩余距离速度控制方式能够减少低速爬行段, 在乘坐舒适性和电梯运行效率上有明显改进, 同时本研究采用绝对值编码器获取电梯位置信号, 能有效消除增量式编码器丢脉冲的缺点, 电梯运行效果更佳。

参考文献 (References):

- [1] 张 舰. 基于目标距离的电梯速度控制技术的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学机械工程学院, 2010.
- [2] 吴淑娟. PLC 与模糊控制在电梯调速系统设计中的应用[J]. 兰州工业学院学报, 2014, 21(2): 14-17.
- [3] 余 琳, 李 晟. 基于速度控制方式的电梯变频控制策略研究[J]. 机电工程, 2012, 29(8): 949-953.
- [4] 王宝强, 许卫东. 对曳引式电梯上行制动试验制动距离的探讨[J]. 机械, 2013, 40(11): 50-52.
- [5] 陈伟国, 赵国军, 王文良, 等. VVVF 电梯的绝对剩余距离的速度控制研究[J]. 机电工程技术, 2005, 34(4): 70-95.
- [6] 郑尚透. 电梯运行速度优化控制的研究[D]. 杭州: 浙江工业大学机械工程学院, 2007.
- [7] 张 舰, 赵国军, 王均晖, 等. 基于目标距离的 VVVF 电梯速度控制[J]. 机电工程, 2010, 27(12): 60-62.
- [8] RYU H M, SUL S K. Position control for direct landing of elevator using time-based position pattern generation[C]// 37th IAS Annual Meeting and World Conference on Industrial applications of Electrical Energy. Pittsburgh: [s. n.], 2002: 13-18.
- [9] 陆鑫森, 赵国军, 邢海潇, 等. 电梯运行速度曲线的控制[J]. 轻工机械, 2010, 28(6): 70-72.
- [10] 齐金伟. 基于 CAN 通讯的电梯一体化控制系统[D]. 武汉: 华中科技大学电气与电子工程学院, 2014.
- [11] 王 惠, 文小琴, 游林儒. 在 DSP 上实现电梯正弦运行速度曲线[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2012(3): 19-25.
- [12] 费 烨, 王兴坤, 李媛媛. 基于多目标优化的乘客电梯理想速度运行曲线确定方法[J]. 沈阳建筑大学学报: 自然科学版, 2014, 30(1): 154-158.

[编辑: 李 辉]

本文引用格式:

汤晨昱, 赵国军. 基于绝对剩余距离原则电梯变频控制研究[J]. 机电工程, 2016, 33(3): 308-312.

TANG Chen-yu, ZHAO Guo-jun. Research on elevator frequency-variable control based on absolute surplus distance principle[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016, 33(3): 308-312.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>