

基于速度控制方式的电梯变频控制策略研究

余 琳¹, 李 晟²

- (1. 浙江省机电设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310002;
2. 浙江大学 机械工程学系, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对传统的以时间为原则的电梯速度控制方式存在的低效率和低舒适性问题, 采用了以相对距离为原则的速度控制方式对电梯速度进行变频控制。在电梯变频控制策略研究中, 选用抛物线—直线形理想速度曲线为标准曲线, 对不同距离所需采用的速度曲线进行了理论设计, 以获得高效率和高舒适性的速度曲线; 在硬件设计中, 通过微机, 并采用了串行通讯的方式和电梯主控制器以及电梯变频器进行通讯; 在软件设计中, 对抛物线理想速度曲线的速度值进行了分段分表保存, 然后在运行中通过查表的方式实时获得准确速度值, 并对电梯进行了速度控制。研究表明, 和传统的以时间为原则的速度控制方式相比, 采用这种以相对距离为原则的速度控制方式明显减少了电梯的爬行距离, 提高了电梯的高效性和舒适性。

关键词: 电梯; 变频控制; 速度曲线

中图分类号: TP273; TH39; TH21 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)08-0949-05

Research on strategy of elevator frequency control based on relative distance speed control

YU Lin¹, LI Sheng²

- (1. Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering Co. Ltd., Hangzhou 310002, China;
2. Department of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the traditional time elevator speed control method is of low efficiency and low comfort, the relative distance speed control method was used to control the elevator speed. In the research of elevator control strategy, the parabolic-straight line speed curve shape was chosen as a standard curve, and the speed curves of different distances were designed. In the hardware design, microcomputer was adopted to set up communications between the host and the motor inverter through serial interface. In software design, the ideal of parabolic speed curve was sectioned to keep speed value, and then the real-time speed value of elevator was gotten through the look-up tables in the operation. The results indicate that, comparing the traditional time speed control way, the relative distance speed control way can significantly reduce the crawl distance, and improve the efficiency and comfort of the elevator.

Key words: elevator; frequency control; speed curve

0 引 言

随着我国经济平稳持续发展, 尤其是住宅产业日渐成为国民经济新增长点, 为电梯业的发展提供了良好的机遇。今后几年, 我国将年建住宅3.5亿平方米, 公建项目1.2亿平方米。随着城市向大型化、高层化的发展, 我国每年将需要电梯数量在4万台以上, 5年后将达到5万台, 如此大的市场需求, 将是电梯业再

创辉煌的最好契机^[1]。

目前, 变频控制是当前高层电梯采用最多的控制方法^[2-6], 因此对于变频电梯控制系统的设计和研究有着巨大的经济效益和市场价值, 并且可以进一步推动我国电梯工业的发展, 更好地服务社会主义经济建设, 从而为社会的发展做出贡献。这也使得本课题的研究有着一定的社会意义。人们对电梯安全性、高效性、舒适性的不断追求也推动了电梯技术的不断进步。

目前在电梯业的发展中,一些机械、电子等高新技术正慢慢地渗入进来,越来越多的高新技术可以在电梯中得到应用。这些高新技术正不断改善着电梯的各种性能,使其可以满足人们日益提高的苛刻要求^[7-10]。其中,电梯运行的舒适性和高效性尤为重要,它是衡量电梯质量好坏的重要因素,它的优劣在很大程度上取决于电梯的速度控制方式的选择,目前国内外主要有以下3种速度控制方式^[11]:①以时间为原则的速度控制方式,这种方式是按时间间隔给变频器发送速度控制指令,是一种开环控制,因此该运行方式的运行效率低,平层精度不高,舒适性差,只能对电梯进行多段速控制;②以相对距离为原则的速度控制方式,这种方式通过增量编码器间接地获得电梯轿厢的速度信号,实现了电梯的位置反馈,目前国外如瑞士讯达公司的DYNATRON-2、美国奥的斯公司的SPEC-50等调速装置都是采用这种方式,但这种方法不能解决在实际应用中存在的干扰因素;③以绝对距离为原则的速度控制方式,这种控制方式由于采用了绝对值编码器直接获得轿厢的绝对位置信号,它不受干扰因素影响。

考虑到实际应用的成本问题,本研究对以相对距离为原则的速度控制方式进行研究。

1 电梯运行速度曲线的研究

为了得到高效舒适的电梯运行速度,速度曲线的选择必须按照以下规定:

(1) 舒适性要求:

加速度: $a_{\max} \leq 1.5 \text{ m/s}^2$;

加速度率: $\rho_{\max} \leq 1.3 \text{ m/s}^3$ 。

(2) 高效性要求:

启动段平均加速度:

$$\begin{cases} \bar{a} \geq 0.48 \text{ m/s}^2 (1.0 \text{ m/s} < v_N \leq 2.0 \text{ m/s}) \\ \bar{a} \geq 0.65 \text{ m/s}^2 (2.0 \text{ m/s} < v_N \leq 2.5 \text{ m/s}) \end{cases}$$

为了达到这个要求,本研究采用抛物线—直线形理想速度曲线来控制电梯速度。抛物线—直线形理想速度曲线是根据抛物线 $v = At^2$ (式中: A —常数, t —时间, v —运行速度)变换所得。

针对不同的楼层,也就是不同的运行距离,通过基本模型可以变换出不同的速度曲线,如图1所示。

1号曲线OAC''F''G''为电梯运行的最小距离的速度曲线,按这条曲线所运行的距离是电梯运行的最短距离,当电梯需要运行的距离小于这个距离的时候,将不可能达到高效平稳目的;

2号曲线OAB'C'E'F'G'为电梯运行的非额定速度的速度曲线,在该曲线中最大速度为 v_z ,该曲线是由

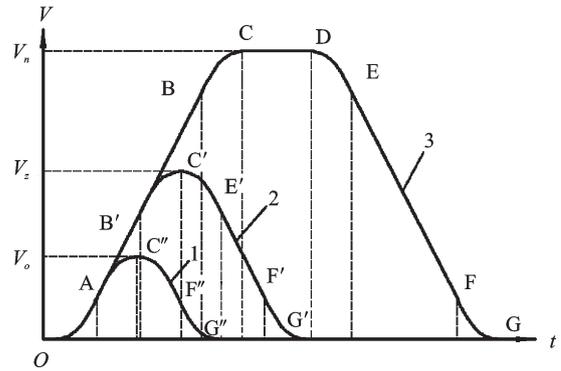


图1 电梯速度运行曲线

标准的理想速度曲线基本模型曲线平均拆成OA段、B'C段、C'E'段、F'G'段4段曲线和斜率分别为1、-1的直线AB'段、E'F'段所组成的;

3号曲线OABCDEF G为电梯运行的额定速度的速度曲线,在该曲线中最大速度为电梯额定速度 v_N ,该曲线是由标准的理想速度曲线基本模型曲线平均拆成OA段、BC段、DE段、FG段4段曲线与斜率分别为1、-1的直线AB段、EF段,以及匀速的CE段所组成的。

3号曲线是经理想速度曲线基本模型变形而来的最复杂的曲线,而且其他曲线都是3号曲线的一部分,所以这里只研究3号曲线OABCDEF G。由于曲线DE-FG段可以由曲线对称性得到,以下只研究曲线OABCD段。

OA段曲线公式:

$$v = At^2 \quad (1)$$

$$v_A = A \quad (2)$$

$$s = \frac{A}{3}t^3 \quad (3)$$

$$t_A = \frac{1}{2A} \quad (4)$$

$$a_A = 1 \quad (5)$$

$$s_A = \frac{1}{24A^2} \quad (6)$$

AB段直线公式:

$$v = v_A + a_A(t - t_A) = \frac{1}{4A} + (t - t_A) \quad (7)$$

$$v_B = v_m - \frac{1}{4A} \quad (8)$$

$$s = v_A(t - t_A) + \frac{1}{2}a_A(t - t_A)^2 + s_A = \frac{1}{4A}(t - t_A) + \frac{1}{2}(t - t_A)^2 + s_A \quad (9)$$

$$t_{AB} = \frac{v_B - v_A}{a_A} = v_m - \frac{1}{4A} - \frac{1}{4A} = v_m - \frac{1}{2A} \quad (10)$$

$$t_B = t_A + t_{AB} \quad (11)$$

$$s_B = \frac{1}{4A}t_{AB} + \frac{1}{2}t_{AB}^2 + s_A \quad (12)$$

BC段曲线公式:

$$v = -A(t - t_c)^2 + v_m \quad (13)$$

$$v_c = v_m \quad (14)$$

$$s = \int_{t_B}^t v dt + s_B = -A \frac{(t-t_c)^2}{3} \Big|_{t_B}^t + s_B = -\frac{A}{3} [(t-t_c)^3 - (t_B-t_c)^3] + s_B \quad (15)$$

$$t_C = v_m - \frac{1}{2A} + \frac{1}{A} = v_m + \frac{1}{2A} \quad (16)$$

CD段曲线公式:

$$v = v_C = v_m = v_N \quad (17)$$

式中: t_A 、 t_B 、 t_C —A、B、C点时间值, s_A 、 s_B 、 s_C —电梯运行到A、B、C点时所行进的距离值, t_{AB} —一直线段AB的运行总时间, v_m —C点的速度值, v_N —速度运行曲线能达到的最大速度值。

当电梯运行中间非额定速度时,根据曲线的相似性,令 $v_m = v_z$,即可得到以下公式:

$$S_z = v_z \left(\frac{1}{A} + \frac{v_z - \frac{1}{2A}}{1} \right) = v_z \left(\frac{1}{A} + v_z - \frac{1}{2A} \right) = v_z \left(\frac{1}{2A} + v_z \right) \quad (18)$$

式中: S_z —电梯在非额定速度运行时到达目标楼层的距离, v_z —电梯在非额定速度运行时达到的最大速度。

公式(18)是关于 v_z 的一元二次方程,通过求解整理可得到 v_z 表达式:

$$v_z = \frac{-\frac{1}{2A} + \sqrt{\frac{1}{4A^2} + 4S_z}}{2} \quad (19)$$

由该公式就可以在启动时测得剩余距离,然后计算出在非额定速度时的最大速度。而对于最小速度和额定速度情形时,这些都是固定参数,不用计算,可直接给出。

2 电梯运行速度优化模块硬件设计

笔者研究的电梯运行速度优化模块是连接电梯主控制器和变频器之间的一个控制模块。它可以完成电梯主控制器和电梯变频器之间的通讯。其中硬件可分为:主控制模块、RS485通讯模块、光耦隔离模块和接口模块。

2.1 主控制模块

主控制部分采用了AVR的ATmega162型号的单片机来进行对电梯主控制器和变频器之间通讯的控制,该单片机是高性能、低功耗的8位单片机。ATmega162型号单片机的设计原理图如图2所示。

在图2中,PA4引脚、PA5引脚作为控制信号,控制RS485总线是处于接收还是发送的状态,发光二极管用来显示通讯是否正常,引脚18~24用于JTAG接口。PB2用来接收来自变频器发出的信号,PB3用来发送电梯速度优化模块的信号到变频器。引脚7用来发送电

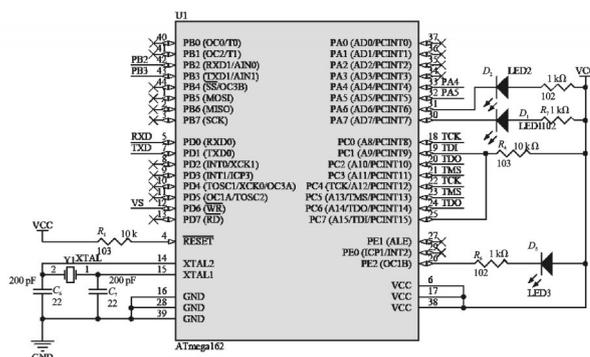


图2 主控制部分原理图

梯速度优化模块的信号到电梯主控制器,而引脚5用来接收来自电梯主控制器的信号。引脚14和引脚15接入振荡器,振荡器选用的 f_{osc} 为7.372 8 MHz,选用这种型号的振荡器是因为在该频率下,波特率误差最小。

2.2 RS485通讯模块

RS485通讯模块主芯片采用的是HVD3082芯片,它可以实现差分传送数据。D引脚是信号的输出口,经过差分后由A引脚、B引脚输出。R是信号输入口,也就是接收信号引脚,由A引脚、B引脚输入后,经过转换变成原始信号输入。而DE引脚和RE引脚决定RS485总线是在接收状态还是在发送状态,当在接收状态时,这两个引脚都为低电平,相反地,当在发送状态时这两个引脚都为高电平。RS485通讯模块的原理图如图3所示。

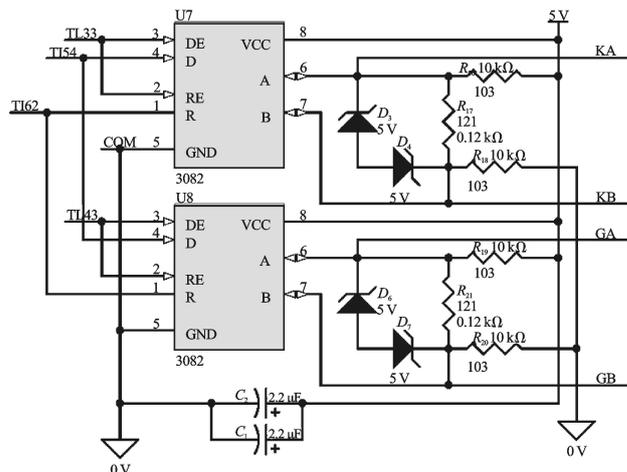


图3 RS485通讯模块原理图

在图3中,TL33和TL43分别控制两路通讯接口的收发状态,TI62为外设发送给电梯速度优化模块信号的接收引脚,TI54为电梯速度优化模块向外设发送信号的发送引脚,该芯片的电源由内部电源提供,电压为5V,在内部电源和内部地之间用电容隔离防止干扰。在A引脚和B引脚之间再接120Ω的抑制信号反射终端电阻,来消除反射,克服长线传输干扰,增加传输的抗干扰性。而且通过这种两路形式通讯模块,可

以将通讯接口拓展为RS422总线的通讯模式。

2.3 光耦隔离模块

为了减少干扰,内部电源和外部电源依靠光耦进行隔离。隔离光耦有两组:一组是数据信号,一组是控制信号。本研究在数据信号中采用的是H11L1高速光耦。而在控制信号中采用的是TLP181光耦。

2.4 接口模块

接口模块包括:

- (1) JTAG接口。用于接仿真器的接口;
- (2) 命令通讯接口。用于电梯速度优化模块和电梯主控制器之间的通讯接口;
- (3) 控制通讯接口。用于输出和接收信号的(即电梯速度优化模块和变频器之间)通讯接口;
- (4) DC/DC内部电源模块。提供内部电源。

3 电梯运行速度优化模块软件设计

软件设计中最重要的一部分就是速度曲线实时控制程序,在速度曲线实时控制中,本研究把理想速度曲线基本模型变成4段,并给出4张曲线表。

其中的4张曲线表按OA段、AB段、BC段、CD段给出,分别为list1、list2、list3、list4,编程时按照查表的方式给出速度实时值。当电梯运行在额定速度和额定速度时,其查表公式是不同的。

当电梯运行在额定速度时本研究采用以下的查表公式:

$$\begin{aligned} \text{OA段: } v &= \text{list1}; \\ \text{AB段: } v &= \frac{1}{4A} + TN; \\ \text{BC段: } v &= v_m - \frac{1}{2A} + \text{list2}; \\ \text{CD段: } v &= v_m; \\ \text{DE段: } v &= v_m - \frac{1}{2A} + \text{list3}; \end{aligned}$$

$$\text{EF段: } v = v_m - \frac{1}{4A} + TN;$$

$$\text{FG段: } v = \text{list4}.$$

当电梯运行在非额定速度时本研究采用以下的查表公式:

$$\text{OA段: } v = \text{list1};$$

$$\text{AB'段: } v = \frac{1}{4A} + TN;$$

$$\text{B'C'段: } v = v_z - \frac{1}{2A} + \text{list2};$$

$$\text{DE段: } v = v_z - \frac{1}{2A} + \text{list3};$$

$$\text{EF段: } v = v_z - \frac{1}{4A} + TN;$$

$$\text{FG段: } v = \text{list4}.$$

式中: v —各个段的速度实时值; T —查表的步长; N —各个段上的点数; $\text{list1}, \text{list2}, \text{list3}, \text{list4}$ —OA段、AB段、BC段、CD段4段曲线表中的查询值。

这两种运行速度的给定程序流程图如图4所示。

4 实验仿真

在实验中,本研究检测电机转速输出,可以得到实际的速度曲线图如图5(a)所示,曲线1~3分别为不同距离的速度控制效果,其中深色线为理想曲线,浅色线为实际速度曲线。在途中可以明显地看到在接近理想曲线的末端,有一定的爬行距离,但是曲线3中却没有爬行距离。这是因为该实验采用的是以相对距离为原则的速度控制方式,干扰因素在实际运行中对系统产生了影响,由于干扰因素的不稳定性,3条速度曲线的爬行距离不同。

该实验研究也对以时间为原则的速度控制方式进行了分析,并且对两种不同的速度控制方式进行了对比,如图5(b)所示。在图5(b)中有明显的爬行距离,

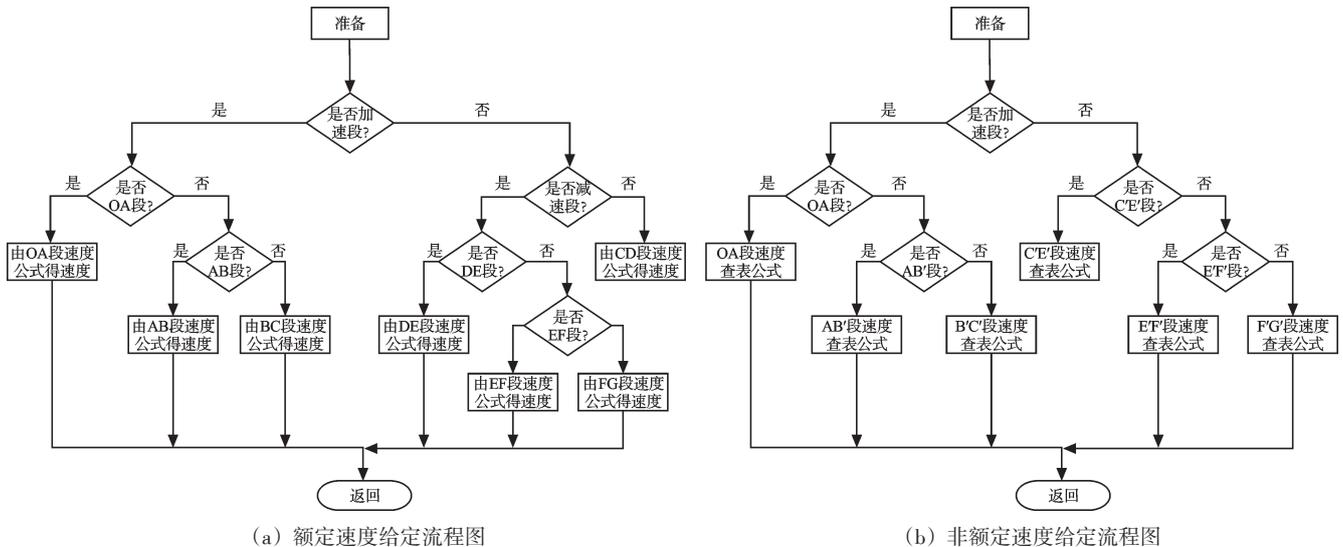
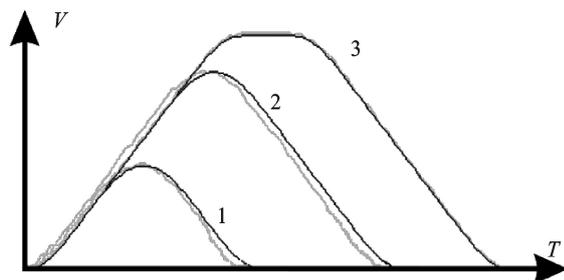
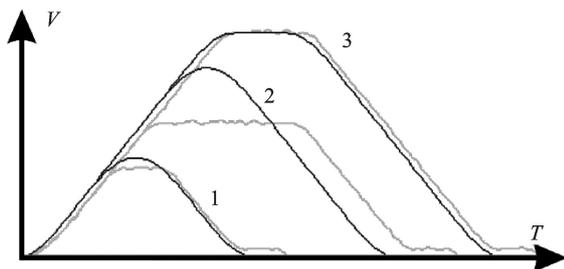


图4 额定、非额定速度给定流程图



(a) 以相对距离为原则的速度控制方式



(b) 以时间为原则的速度控制方式

图5 实验对比图

和以相对距离为原则的速度控制方式向相比,有明显的缺陷,所以本研究所使用的速度控制策略具有一定的优势。

5 结束语

本研究介绍了以相对距离为原则的速度控制方式的电梯变频控制策略,以及对控制模块的硬件和软件进行了设计,并且最后进行了实验研究。研究结果表明,和传统的以时间为原则的速度控制方式相比,

以相对距离为原则的速度控制方式明显减少了爬行距离,而且在速度上有明显的优势,提高了电梯的高效性和舒适性。

参考文献(References):

- [1] 曹卫东. 我国电梯工业发展大事记[EB/OL]. [2003-04-02]. http://www.chinaelevator.org/Datum/QYWH/2003/4/2/43627_2.shtml.
- [2] 朱德文,杨祯山,张筠莉. 智能控制电梯工程系统[M]. 北京:中国电力出版社,2007.
- [3] 吴丽. 基于PLC的群控电梯仿真系统设计[J]. 机电工程技术,2010,39(9):24-27.
- [4] 杨国生. 电梯曳引驱动系统的现状及发展前景[J]. 太原科技,2006(7):74-78.
- [5] 李惠昇. 电梯控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [6] 刘剑,朱德文,梁质林. 电梯电气设计[M]. 北京:中国电力出版社,2006.
- [7] 魏孔平,朱蓉. 电梯技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [8] 李惠昇. 电梯控制技术[M]. 北京:机械工业出版社,2003.
- [9] 张琦,张广明,诸小鹏. 现代电梯构造与使用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [10] 孙洋. 一种新型的电梯轿厢定位系统介绍[J]. 上海电梯,2006(4):27-29.
- [11] 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.

[编辑:张翔]

(上接第925页)

参考文献(References):

- [1] NEUMANN M, HAHN H. Computer simulation and dynamic analysis of a mechanical press based on different engineer models[J]. *Mathematics and Computer in Simulation*, 1998(46):559-574.
- [2] BIABCHI G, PAOLUCCI F. Towards virtual engineer in machine tools design[J]. *Annals of the CIRP*, 1996(45):381-384.
- [3] YEH T P, VANCE J M. Applying Virtual Reality Techniques to Sensitivity-Based Structural Shape Design[C]// *Proceeding Design Engineering Technical Conference 97*, American Society of Mechanical Engineers Press, 1997.
- [4] JIANG T, CHIREHDAST M. A system approach to structural topology optimization designing optimal connections[J]. *Journal of Mechanical Design*, 1997, 119(1):40-47.
- [5] DUYSINX P, BENDSOE M P. Topology optimization of continuum structure with local stress constraints[J]. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 1998(43):1453-1478.
- [6] 谢君翌. 数控转塔冲床机身的有限元分析和优化设计[D]. 南京:东南大学机械工程学院, 2005.
- [7] 鹿新建,周永清,施雄兵,等. 高速冲床工作台板的刚性研究[J]. *锻压技术*, 2008,33(3):103-105
- [8] 马闯,潘志华,吴洪涛. 肘杆式数控转塔冲床机身有限元分析与优化[J]. *锻压装备与制造技术*, 2007(1):15-17.
- [9] 于卫红. 数控转塔冲床横梁结构的分析与优化设计[J]. *南京师范大学学报*, 2010(2):21-26.
- [10] 陈琪,高建和,宋子玲,等. 数控转塔冲床床身有限元分析与优化[J]. *科技信息*, 2010(27):44-45.

[编辑:张翔]