

## 电梯轿厢无接触式电能传输装置的研制

潘文诚<sup>1a</sup>,舒元超<sup>2</sup>,阮世平<sup>1b</sup>,李曙光<sup>1a</sup>,康敏<sup>1a</sup>

(1. 浙江科技学院 a. 自动化与电气工程学院; b. 理学院, 杭州 310023; 2. 浙江大学 工业控制研究所, 杭州 310027)

**摘 要:** 研制的电梯轿厢无接触式电能传输装置采用磁耦合原理实现电能的无接触传输, 可避免传统供电方式中轿厢的随行电缆疲劳破损的弊病。按楼层电站式的无接触取电方案, 确保了无接触能源传输系统的绿色和环保, 可避免高频导轨磁场裸露所引起的污染和隐患。静止式盘型可分离变压器的原、副边线圈串联了谐振电容以消除其漏感, 使得在谐振频率点附近保持了较高的电压增益和功率传输能力。馈电部件和受电部件中均引入了闭环控制策略, 使部件工作在最佳状态。在装置的传输功率超过 300 W、无接触距离 10~15 mm 的情况下, 其传输效率达到了 84%。

**关键词:** 无接触电能传输; 电梯轿厢; 可分离变压器; 谐振补偿; 馈电部件; 受电部件

**中图分类号:** TM621.5; TM464

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-8798(2013)01-0006-04

## Development of contactless electric power transmission device of elevator car

PAN Wencheng<sup>1a</sup>, SHU Yuanchao<sup>2</sup>, RUAN Shiping<sup>1b</sup>, LI Shuguang<sup>1a</sup>, KANG Min<sup>1a</sup>

(1a. School of Automation and Electrical Engineering; 1b. School of Sciences, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China; 2. Institute of Industry Control, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** A contactless power transmission device of the elevator car is demonstrated based on magnetic coupling and noncontact electric power transmission, which can eliminate the shortcomings of fatigue damage of traditional car cables. The idea of contactless power transmission at the power station on each floor provides a green and environmentally friendly noncontact power transmission system and can avoid the interference and potential harm from high-frequency magnetic field produced by exposed guide tracks of the previous devices. Resonant capacitors are used in series with the primary and secondary coils respectively at the static plate-shaped and detachable transformer in order to compensate the residual inductance,

---

**收稿日期:** 2012-07-02

**基金项目:** 浙江省科技计划公益技术项目(2011C21044)

**作者简介:** 潘文诚(1952— ),男,江苏省宝应人,教授,主要从事数字信号处理及电力电子技术研究。

which enhances the capability of higher voltage gain and power transmission efficiency near the resonant frequency. Closed-loop control technique is utilized both in feeding and electrical components to optimize the systematic performance. The transmission efficiency more than 84% is achieved when the source power is 300 W and the contactless distance is within 10–15 mm.

**Key words:** contactless electric power transmission; elevator car; detachable transformer; resonance compensation; feeding components; electrical components

长期以来,移动用电设备(如矿井采掘与运输设备、工厂移动吊装设备、井道升降设备、电力机车等)的供电都是采用接触式直接传导的电能传输方式,这种方式包括滑动接触方式、滚动接触方式及随行电缆传输方式,将电能从供电网络传递给移动的用电设备<sup>[1-2]</sup>。接触式的电能传输方式存在着诸如滑动磨损、接触火花、积碳、导体不安全裸漏和随行电缆疲劳破损等局限。日常生活中常见的升降运动装置电梯轿厢,其传统的电能传输方式也是采用悬挂式随行电缆连接的方式进行的。该方式的缺点明显:随轿厢运动的悬挂电缆天长日久会老化破损,造成电梯故障,甚至形成事故隐患;如果是景观电梯,暴露的悬挂电缆在一定程度上也有损美观。由此,轿厢的电能传输改用无接触方式,通过磁场耦合来实现,将为实现干净、稳定、安全的电能传输提供一种有效的解决途径。

针对国内外提出和已运行的导轨式电梯轿厢无接触式供电方式<sup>[3]</sup>,笔者研制了一种采用按楼层电站式无接触供电方式的装置<sup>[4]</sup>,在轿厢平层静止时装置的电磁机构耦合馈电,在轿厢升降(电磁耦合机构原副边分离)时,装置的馈电器停止高频馈电。相比于那种滑动导轨式的无接触式供电方式<sup>[5]</sup>,该设计方案既避免了高频泄露带来的电磁污染和火灾隐患,又能极大地节约电能。

## 1 整机系统结构

图1给出了轿厢无接触电能传输系统的功能框图。固定安装的馈电部件把工频电能转换成几十千赫兹的高频电能,通过可分离电磁机构耦合给安装在移动轿厢上的受电部件,供轿厢内负载用电和蓄电池储能。可分离电磁耦合机构的结构和布局是轿厢无接触供电系统的关键环节。

图2是德国汉诺威2000年世博会的标志性建筑Hermes Tower观光电梯。它的轿厢采用无接触式供电,从图中可清晰地看到电磁机构(滑动变压器)的一次侧导轨和绕有二次绕组的E字形磁芯。Hermes Tower无接触供电的成功运行令人鼓舞,但是必须清楚地看到,一方面,如将其电磁机构的耦合方式照搬到建筑物内的升降设施,由此带来的对环境的电磁污染和周边设备的电磁兼容性问题就变得不容忽视;另一方面,如因不慎在磁场裸露的馈电导轨周围有金属物(如扳手之类)靠近,由此产生的电涡流将极易引起火灾。

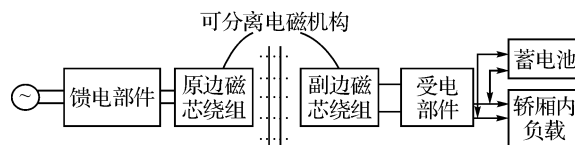


图1 电梯轿厢无接触电能传输系统功能框图

Fig. 1 Block diagram of contactless electric power transmission system of elevator car



图2 汉诺威 Hermes Tower 观光电梯

Fig. 2 Hanoverian Hermes Tower sightseeing elevator

注意到在电梯井道内安装一次导轨用于无接触供电的缺陷与不足,文献[4]提出了一种电梯轿厢按楼层电站式无接触供电的技术方案,如图 3 所示。在电梯轿厢(22)升降所经过的每一楼层安装一个生成高频电能的馈电部件(31),在电梯轿厢上安装一个与馈电部件相对应的受电部件(33),馈电部件和受电部件在轿厢平层静止时通过无接触的感应耦合的可分离电磁机构(32)来传送电能,受电部件(33)将感应耦合得到的电能用于电梯轿厢内的负载(39)的驱动和蓄电池(37)的储能,蓄电池在电梯轿厢升降(可分离电磁机构分离)时维持轿厢内用电负载的供电。馈电部件在轿厢移开时停止馈电,以避免高频泄露。由于摒弃了悬挂电缆式的电梯轿厢供电方式,可避免电缆的导体折断绝缘老化的弊病;由于采用的是按楼层电站式无接触取电,不采用作为一次绕组的滑动导轨,可避免裸露高频导轨磁场所引起的一系列问题。这种结构方案确保了无接触能源传输系统的绿色和环保。

## 2 可分离电磁耦合机构设计

可分离电磁耦合机构(或称可分离变压器,无接触变压器)作为无接触电能传输系统的重要组成部分,在无接触电能传输过程中发挥着重要作用。一般将电磁耦合机构分为静止式、滑动式、旋转式三类<sup>[6]</sup>,考虑到轿厢按楼层电站式的馈电方式,采用了静止式盘型可分离电磁耦合机构。该电磁机构原、副边具有相同的结构,由多股利兹线平面盘绕在星形辐射排列的条形铁氧体磁芯上形成,如图 4 所示。

在无接触电能传输系统中,提高馈电频率可以提高能量的传输功率和效率,然而频率过高时电磁耦合机构的漏感会很大。因此,为了改善无接触变压器的传输性能,常用的方法是对原、副边的漏感进行容性补偿,在无接触变压器的原、副边线圈串联或并联谐振电容以消除漏感<sup>[7]</sup>。原、副边的补偿拓扑结构可分为串串补偿、串并补偿、并串补偿和并并补偿 4 种。轿厢的无接触电能传输装置采用了串串补偿,这种补偿方式可以在相同负载下,使耦合系数的变化对输出电压影响较小<sup>[8]</sup>,使原、副边谐振频率始终保持一致,并在谐振频率点附近保持较高的电压增益和功率传输能力,对负载呈现恒压源的特性。副边绕组电压变化范围小,有利于对轿厢内用电设备电压的进一步控制和调节。

## 3 馈电部件设计

为提高无接触式电能传输系统原边馈电部件的性能,系统的馈电部件要将电网的工频电能转变成高频电能进行传输。图 5 中虚线框内是馈电部件,它的输入是工频电源,输出给可分离电磁机构的原边供电。馈电部件内的整流滤波环节将输入的工频交流电整流成直流电,并将它平滑成质量较高的直流电后

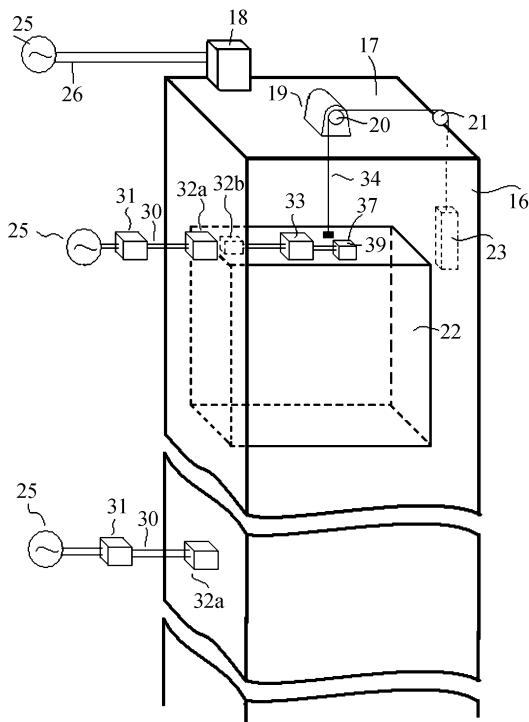


图 3 轿厢按楼层电站式无接触供电示意图

Fig. 3 Scheme of contactless power transmission of elevator car at power station on each floor

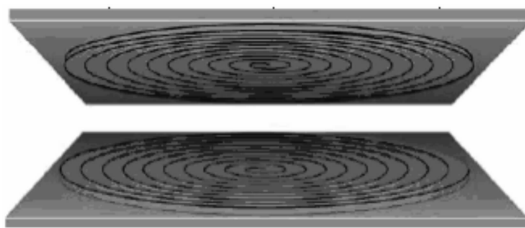


图 4 静止式盘型可分离电磁耦合机构

Fig. 4 Static plate-shaped and detachable transfonmer

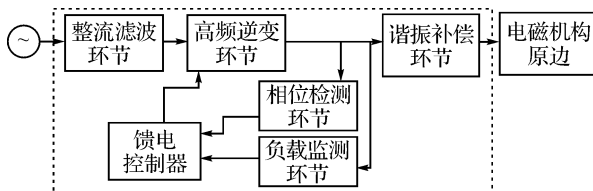


图 5 馈电部件的原理框图

Fig. 5 Block diagram of feeding components

由高频逆变环节生成 10~100 kHz 的高频电能<sup>[9]</sup>。由静态高压电容器构成的串联补偿环节与可分离电磁机构的原边阻抗和副边的反射阻抗一起形成谐振阻抗,使高频电能具有最佳传输状态(输出谐振)。馈电部件采用两个闭环控制进行频率自动跟踪和输出功率调节:一个闭环是相位检测环节将检测到的高频逆变环节输出的电压电流的相位差反馈给馈电部件控制器,控制器经控制策略运算后,调节逆变环节的输出频率以跟踪谐振频率(谐振时电压电流同相位);另一个闭环是负载监测环节将高频逆变环节的功率(电压、电流)输出情况反馈给馈电控制器,控制器经运算判断后调节高频逆变器的输出脉宽,即调整输出电压,使之适应负载的变化。

#### 4 受电部件设计

图 6 中虚线框内是受电部件,它的输入是可分离电磁机构的副边。副边线圈串接高频高压电容器,构成原边的反射谐振阻抗。受电部件的整流滤波环节将输入的高频交流电整流平滑成直流电,该直流电一方面通过工频逆变环节供负载(轿厢门机电机)的驱动用;另一方面通过充电电路给蓄电池充电和给轿厢内的另一些负载(轿厢内的照明、风扇、楼层

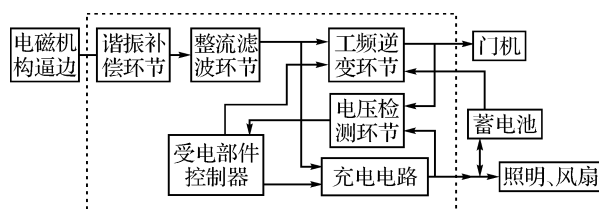


图 6 受电部件的原理框图

Fig. 6 Block diagram of electrical components

指示器)供电。蓄电池在可分离电磁机构分离、受电部件无输入时给轿厢内的负载供电。受电部件控制器从电压检测环节得到受电部件输出端上负载的供电电压的大小,通过软件控制策略运算后,调节工频逆变单元的输出脉宽,将两路输出电压调整到适合负载要求的大小。

#### 5 结 语

无接触式电能传输方法综合运用了电磁感应耦合技术、高频变换技术及闭环控制技术,安全、可靠、高效、灵活地实现了电能的无导线传输,克服了传统的电能传输在某种场合中的诸多不足<sup>[10]</sup>。笔者以电梯轿厢的电能传输作为实体目标研制的这种无接触式供电装置,使电梯轿厢内的用电设备(内外门机驱动、照明、风扇等)的供电实现了无接触的感应耦合传输。经测试,在装置的传输功率超过 300 W、无接触传输距离 10~15 mm 的情况下,传输效率达到了 84%。电梯轿厢按楼层电站式无接触电能传输的方法实现和经验积累,将会给其他升降机械及移动用电设备的无接触馈电以借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 戴欣,孙跃. 单轨行车新型供电方式及相关技术分析[J]. 重庆大学学报,2003,26(1):50-53.
- [2] Jia J L, Liu W G, Wang H Q. Contactless power delivery system for the underground flat transit of mining[C]// Sixth International Conference, ICEMS 2003. Beijing, China: ICEMS,2003:282-284.
- [3] 东芝电梯株式会社. 对电梯轿厢的非接触式馈电装置:中国,101145702A[P]. 2008-03-19.
- [4] 潘文诚,沈永福. 电梯轿厢按楼层非接触式供电装置:中国,201020132636.9[P]. 2010-03-20.
- [5] Barnard, J M, Ferreira J A, Van Wyk J D. Sliding transformers for linear contactless power delivery [J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics,1997,44(6):774-779.
- [6] 武瑛. 新型无接触供电系统的研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2004.
- [7] Kawamura A, Ishioka K, Hirai J. Wireless transmission of power and information through one high-frequency resonant AC link inverter for robot manipulator applications[J]. IEEE Transactions on Industry Application,1996,32(3):503-508.
- [8] 苏玉刚,王智慧,孙跃,等. 非接触供电移相控制系统建模研究[J]. 电工技术学报,2008,23(7):92-97.
- [9] 孙跃,王智慧,戴欣,等. 非接触电能传输系统的频率稳定性研究[J]. 电工技术学报,2005,20(11):56-59.
- [10] 杨民生,王耀南. 新型无接触感应耦合电能传输技术研究综述[J]. 湖南文理学院学报,2010,22(1):44-53.