

电梯轿厢无随行电缆非接触供电系统设计

阳璞琼, 陈文光, 赵立宏, 吴荣燕, 曾铁军

(南华大学 电气工程学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要: 电梯轿厢随行电缆有碍美观且需要定期维护, 为了摆脱对随行电缆的依赖, 设计了一种新颖的电梯轿厢无随行电缆非接触供电系统, 采用高频松耦合变压器实现电能的非接触传输. 电梯轿厢升降运动时利用蓄电池的储能供电, 非接触供电系统处于关闭状态; 在每个楼层平层静止时, 系统收到电梯平层信号, 系统启动供电并对蓄电池充电. 这种供电方式可以提高供电效率, 减少高频电磁污染. 分析了松耦合变压器的等效电路模型, 研究了工作气隙、工作频率、补偿电容等对供电效率的影响. 根据系统要求设计了简单高效的大功率开关电源充电器, 稳压效果好, 可靠性高.

关键词: 非接触供电; 松耦合变压器; 开关电源; 串联谐振; 电磁感应

中图分类号: TU857; TM724 **文献标识码:** B

Design of Contactless Power System of Elevator Car Without Traveling Cable

YANG Pu-qiong, CHEN Wen-guang, ZHAO Li-hong, WU Rong-yan, ZENG Tie-jun

(School of Electric Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: The cable traveling with the elevator car is not aesthetic and needs a periodic maintenance. In order to be freed from the cable, this paper designed a novel contactless power system of elevator car without traveling cable, realized the functions of contactless energy transmission by using high frequency loosely coupled transformer. The elevator car uses electricity from lead-acid batteries when it moves vertically, and the contactless energy transmission is closure. When the elevator car stopping at any floor, the contactless power system receives the arrival signal, resumes energy transmission and charges lead-acid batteries. This idea can improve the power supply efficiency and decrease the high frequency electromagnetic pollution. This paper analyzed the equivalent circuit model of loosely coupled transformer, and the influence of the working air gap, operating frequency, compensating capacitor and so on to the supply efficiency was also studied. Finally, we designed a

收稿日期: 2014-01-09

作者简介: 阳璞琼(1980-), 男, 湖南双峰人, 南华大学电气工程学院讲师, 博士研究生. 主要研究方向: 电力电子技术, 电子科学与技术等.

key words: contactless power system; loosely coupled transformer; switching power supply; series resonance; electromagnetic induction

1 系统描述

电梯轿厢非接触供电只在少数观光电梯上有应用。2000 年德国汉诺威世博会的标志性建筑 Hermes Tower 的观光电梯,它的轿厢采用滑动变压器结构非接触式供电设计^[1]。原边导轨长度为 65 m,副边为 E 字形磁芯绕组,传输功率达到了 3 kW。2011 年南华大学电气工程学院与广州永日电梯有限公司合作,开始研究电梯轿厢非接触供电技术,研究成果将用于概念电梯上参加广州举行的 2012 年中国国际电梯展。

图1为电梯轿厢非接触供电系统框图,图中以虚线为界分为两个部分,变压器原边电路及供电部分和变压器副边电路及受电部分。变压器副边磁芯绕组固定于电梯轿厢顶部的电梯导轨旁,原边拥有多个磁芯绕组,分别固定于每一层与电梯轿厢顶部平行位置,与副边磁芯绕组距离控制在3~5 mm范围内。电梯轿厢在处于运动状态时,供电系统不工作,轿厢负载由两组12V/45Ah汽车用铅酸蓄电池串联提供24 V直流供电,此时轿厢负载组要是排风扇、LED照明灯、门机、电梯控制/通信电路等,总功率约300 W。电梯轿厢平层停止时,非接触供电系统启动,为蓄电池充电,并为轿厢负载供电。考虑轿厢处于平层停止和运动两种状态的时间比例,轿厢非接触供电系统设计额定功率为500 W。

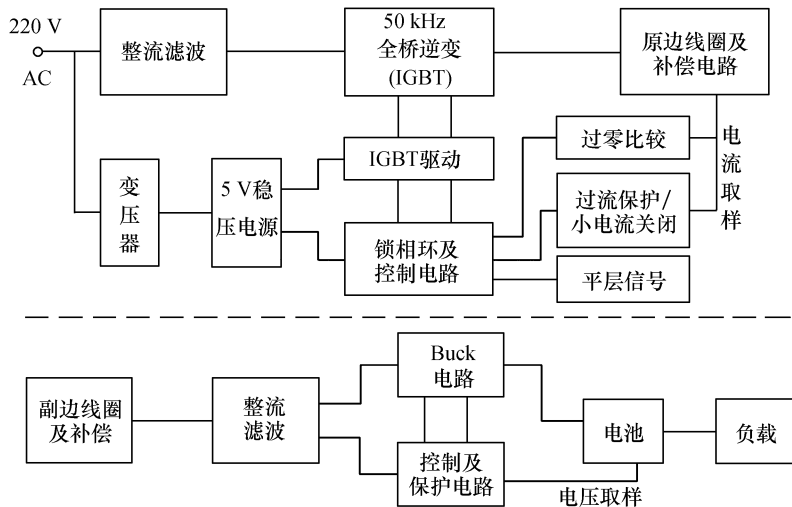


Fig.1 System block diagram of contactless power system of elevator car

看成一个可分离变压器。出于对提高电能传输效率和减少对周围环境的电磁干扰等因素的考虑,本文采用的可分离变压器^[2-3]采用传统的原副边都使用 U 型磁芯绕组的设计,磁路中气隙较大,使得变压器耦合系数小,属于松耦合系统。

非接触供电也是通过交变电磁场的耦合将电能从原边线圈传递到副边线圈,按两线圈耦合程度可分为紧耦合系统和松耦合系统,原理上可以

文献[4]分析了可分离变压器带负载等效电路模型(如图2),其中原边等效反射电阻 R_r 可表示为:

$$R_r = \frac{(nk)^2 \omega^2 L_s^2}{|Z_s|} (R_s + R_L) \tag{1}$$

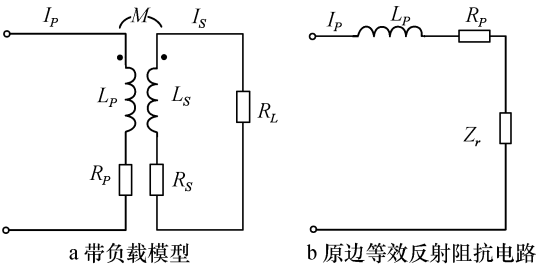


图2 耦合变压器带负载模型及原边等效反射阻抗电路
Fig.2 Model of coupling transformer with load and equivalent circuit of reflected impedance at primary side

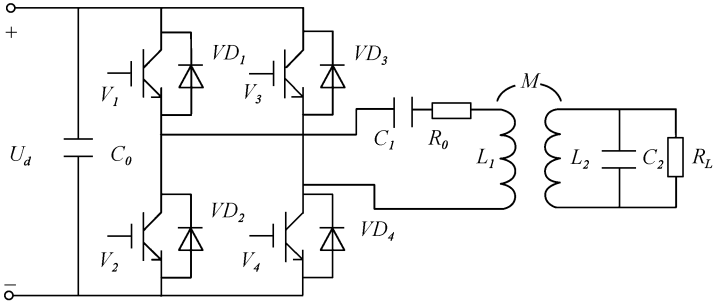


图3 IGBT 全桥逆变串联谐振电路
Fig.3 IGBT full bridge inverter series resonant circuit

图中 C_1 为补偿电容, C_2 为负载电路等效补偿电容, L_1 和 L_2 为原副边线圈的自感, R_0 为原边电路等效内阻, R_L 为系统的等效负载, M 为原副边线圈之间的互感.串联谐振逆变器属于电压型谐振型逆变器,逆变器输出电压为近似矩形波,且与负载阻抗角无关,由于工作于负载电路的谐振点附近,其输出的电流为近似正弦波.为了避免逆变器上下桥臂同时导通,造成电源短路,换流必须遵循先关断后开通的原则,并保留一定的死区时间.

由于大气隙的存在,松耦合变压器的漏电感很大.为了使电路准谐振与在合适的频率范围内,并减少系统消耗的无功功率,一般采用补偿电容来平衡电路中的电感^[6].相对副边回路,原边回路电感更大,为了提高功率因数,原边必须采取补偿措施.副边的补偿电容是

为了增大输出功率,可根据实际情况确定是否需要补偿.本文采用了原边串联电容副边并联

其中: Z_s 为包含负载电阻 R_L 和次级线圈内阻 R_s 在内的次级等效阻抗, n 为初级、次级线圈的匝数比, k 为耦合系数,它与励磁电感和量磁芯间的气隙直接相关, ω 为系统工作角频率, L_s 为次级线圈自感.反射电阻反映了非接触供电系统将电能从初级线圈传入次级线圈的能力,在 n,k 一定时,提高系统工作频率可以大大提高系统的电能传输能力和效率.

工作频率的提高也会使副边电压增高,电磁辐射增加,所以可分离变压器的工作频率一般在10~100 kHz 范围内.综合考虑电路系统要求和成本等因素,设计系统工作频率为50 kHz.

由于设计额定功率为500 W,逆变电路采用IGBT 作为开关元件的全桥逆变串联谐振^[5]电路,如图3 所示.

电容的补偿拓扑机构.

供电电路利用电梯轿厢的平层信号作为控制开关,即轿厢处于静止状态且与楼层平齐时,发出平层信号并保持,供电电路启动为蓄电池和轿厢负载供电;轿厢处于运动状态时,平层信号撤销,供电电路停止工作,蓄电池为轿厢负载供电.由于负载变化较大,各层变压器气隙大小也有差别,为了稳定副边输出电压,提高电路效率,控制电路采用了锁相环技术,使供电电路始终工作于谐振点附近,且工作频率略微大于谐振频率.

3 拾取侧电路设计

拾取侧电路设计如图1 下半部份所示,副边线圈电压经二极管全桥整流及电容滤波后,再经过开关稳压电源为轿厢负载供电并为蓄电池充电,所以拾取侧电路不仅要为轿厢负载提供稳定的电压,而且要满足铅酸蓄电池的充电特性,这既可以提高蓄电池的充电效率,还可以提高蓄电池

电池的使用寿命.

图 4 为开关电源充电器原理图,利用集成 BUCK 脉冲宽度调制芯片 UC3578,可以大大简化 BUCK 型开关电源^[7-8]的设计. UC3578 的工作允许电压为 14 V ~ 72 V,能为常用的 N 沟道 MOSFET 管提供一个悬浮的高端驱动信号,输出驱动信号占空比在 0% ~ 90% 可调. 跟传统的电压控制模块一样,UC3578 内部包含一个 100 kHz 的固定频率振荡器,一个 2 V 的高精度参考电压,一个

由电压比较器形成的误差放大器,和一个由逻辑锁存器构成的 PWM^[9] 比较器. UC3578 的特点在于它通过一个过流关闭和循环软启动实现限流功能:电流传感器 T1 的取样电流送入^[10] 15 脚与芯片内部基准电流比较,如果输入电流大于基准电流,芯片将关闭驱动信号,使输出电流下降为零. 此后芯片将通过 16 脚的电容和内部相关电路实现软启动,恢复电流输出能力,然后再次电流检测,循环不断.

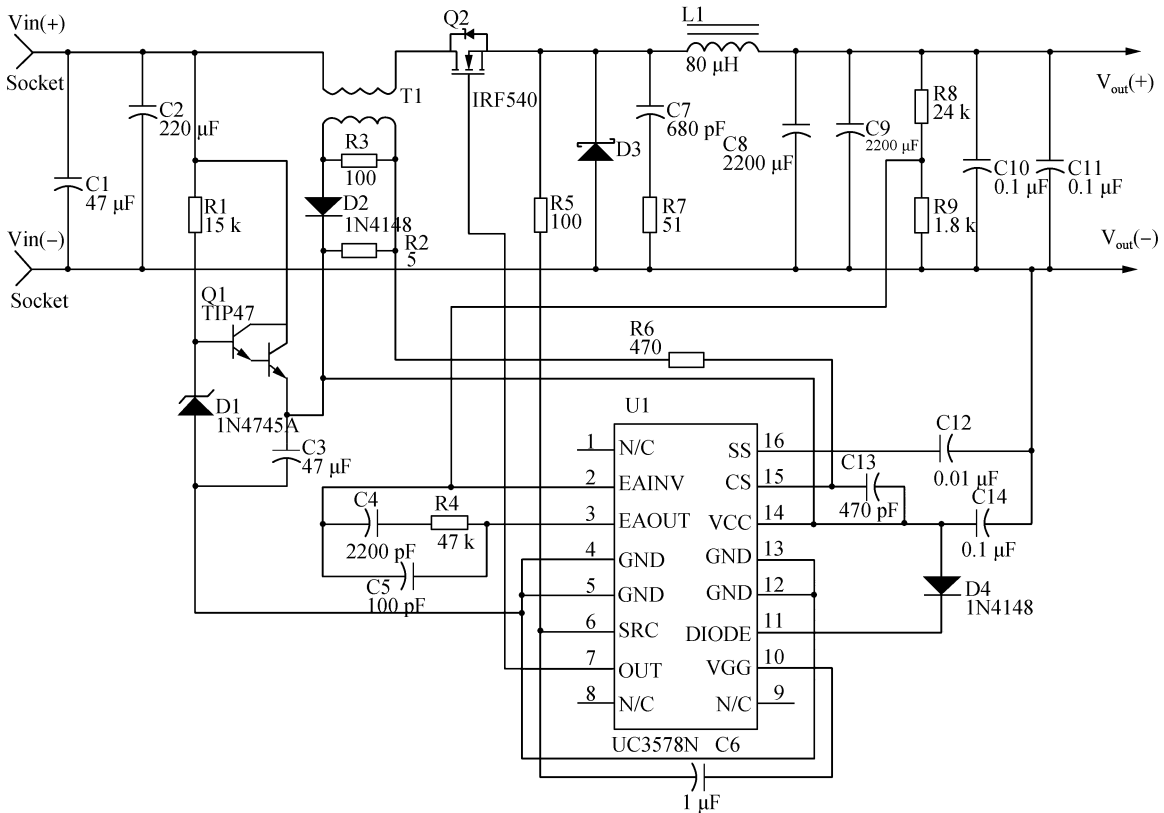


图 4 开关电源充电器原理图

Fig. 4 Schematic diagram of the switching power supply charger

本供电系统的设计满足国家相关标准. 工作温度为: -5 ~ +45 ℃, 输入电压范围: 交流 180 ~ 264 V, 工作频率: 45 ~ 55 kHz, 输出电压: 直流 24 V, 纹波小于 1%, 输出电流范围: 0 ~ 25 A. 具有过流和超温保护功能: 电流大于 25 A 时, 电路过流保护; 整流桥引脚大于 75 ℃ 时, 超温保护, 关断 IGBT. 在输入电压为交流 220 V, 额定负载时, 电源效率约为 70%.

4 结 论

2012 年 5 月 17 日, 在广州举行的第 18 届中国国际电梯展会上, 应用了轿厢无随行电缆非接

触供电技术的广州永日电梯有限公司新概念观光电梯产品参与展出了. 在为期 3 d 的展出中, 系统运行良好, 供电电压保持平稳, 可靠性高. 由于供电测的全桥逆变串联谐振电路中的 IGBT 采用的是硬开关技术, 且工作频率高, 导致电路开关损耗大, 效率不高, 工作时机箱温度较高. 要解决上述问题, 可以采用软开关技术, 实现 IGBT 零电压开通, 零电流关断, 减少开关损耗.

参考文献:

[1] 谢卫, 赵冰洁. 滑动变压器在非接触电能传输系统中

的研究[J]. 中国航海, 2007, 73(4): 96-99.

- [2] 韩腾, 卓放, 刘涛, 等. 可分离变压器实现的非接触电能传输系统研究[J]. 电力电子技术, 2004, 38(5): 28-29.
- [3] Jiang H J, Maggetto G. Identification of steady-state operational modes of the series resonant DC-DC converter based on loosely coupled transformers in below-resonance operation[J]. Power Electronics, 1999, 14(2): 359-371.
- [4] 高奇峰, 杨兆建, 何吉利. 分离式变压器电磁结构与参数分析[J]. 电力自动化设备, 2009, 29(9): 141-144.
- [5] 李宏, 贺昱曜, 王崇武. 一种全桥负载串联谐振逆变器谐振频率跟踪和输出功率控制方法[J]. 电工技术学报, 2010, 25(7): 93-99.
- [6] 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.

- [7] Philips N J L, Francois G E. Necessary and Sufficient Conditions for the Stability of Buck-Type Switched-Mode Power Supplies[J]. Industrial Electronics and Control Instrumentation, 1981, 28(3): 229-234.
- [8] 许晓航, 孔明, 李文宏. 一种高频数字 DC-DC 开关电源控制器的设计[J]. 复旦学报(自然科学版), 2008, 47(1): 40-44.
- [9] Hiorns R E, Bowman R G, Sandler M B. A PWM DAC for digital audio power conversion; from theory to performance[C]//Analogue to Digital and Digital to Analogue Conversion. Swansea: IET, 1991: 142-147.
- [10] Aga A, Roberts G W. A CMOS digitally programmable current steering semidigital FIR reconstruction filter[C]//Circuits and Systems. Sydney NSW: IEEE, 2001, 168-171.

(上接第 67 页)

4 结 论

本文提出了一种基于流体阻力的单摆法测量管道风速的新方法, 设计了风速测量试验系统, 结果表明该方法具有结构简单、精度较高, 便于实现等优点. 但是在计算过程中, 会存在一定的累积误差, 因此, 下一阶段的研究工作式如何在现有系统的基础上提高测量精度, 可以从两方面入手, 第一, 可以根据实际情况作进一步的补偿, 此外, 也可以从图像处理角度入手, 针对 Hough 算法做改进.

参考文献:

- [1] 唐慧强, 薛丹丹. 基于 ZigBee 的自动气象站风速测量系统设计[J]. 自动化与仪表, 2009, 24(11): 18-21.
- [2] 项甫根, 谷安, 章勇. 基于触须传感器的风速测量研究[J]. 自动化仪 1 表, 2008, 29(9): 47-49.
- [3] 欧冰洁, 段发阶. 超声波隧道风速测量技术研究[J]. 传感技术学报, 2008, 21(10): 1804-1807.
- [4] 丁向辉, 李平, 孟晓辉. 高精度超声风速测量系统设计与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2011(2): 41-44.
- [5] Tong L J, Chen K, Zhang Y, et al. Document image bina-

rization based on NFCM[J]. Proc 2nd IEEE Conf Image and Signal Processing, IEEE Press, Dec. 2009: 1769-1773.

- [6] 吴锐, 黄剑华, 唐降龙, 等. 基于灰度直方图和谱聚类的文本图像二值化方法[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(10): 2460-2464.
- [7] 赵磊, 姜小奇, 蒋澎涛, 等. 基于二值化指纹图像细节点提取的改进算法[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(3): 232-236.
- [8] 韦炜. 常用图像边缘检测方法 & Matlab 研究[J]. 现代电子技术, 2011, 34(4): 91-94.
- [9] Cuevas E, Oliva D, Zaldivar D, et al. Circle detection using electro-magnetism optimization[J]. Information Sciences, 2012, 182(1): 40-55.
- [10] 李俊山, 马颖, 赵方舟, 等. 改进的 Canny 图像边缘检测算法[J]. 光子学报, 2011, 40(S1): 50-54.
- [11] 蒋立辉, 郭艳颖. Jiang Lihui, Guo Yanying. Image edge detection based on adaptive weighted morphology[J]. 中国光学快报(英文版), Chin. Opt. Lett., 2007, 5(2): 77-78.
- [12] 熊志明, 方康玲, 冯知凡, 等. 基于图像处理技术的铸坯表面缺陷自动检测系统的研究[J]. 机械与电子, 2010(12): 38-41.