

非接触电能传输技术研究

王霖 解光勇 全汝岱
(西安理工大学, 应用物理系)

摘要: 非接触电能传输技术是基于电磁感应耦合原理的一种新型电能传输技术。从非接触电能传输技术研究入手, 讨论了实现电能非接触传输各个环节的原理和功能, 总结了国内外相关技术的研究现状及发展趋势。

关键词: 非接触电能传输; 整流滤波; 高频逆变; 可分离变压器

Research on Contactless Power Transfer Technique

Wang Lin Xie Guangyong Quan Rudai
(Dept. of Applied Physics, Xi' an University of Technology)

Abstract: Contactless Power Transfer technique is a new kind of power transfer method which is based on the electromagnetic coupling theory. Start from the research of CPT, every part's working theory and function is discussed. The research status and development trends is summarised and the task that recognise whether exist load and load-free automatic shut-off is put forward.

Key words: contactless power transmission, rectifier filter, high-frequency converter, isolating transformer

0 前言

非接触电能传输技术是近年来备受国际学术界关注的一项新的能量传输技术[1, 2]。基于该技术的非接触电能传输系统(Contactless Power Transmission System, CPT)与传统的电能传输方式相比, 克服了设备移动灵活性差及环境不美观等缺点, 还解决了大气高频电磁污染、接触火花、碳积、机构磨损和大电流载体不安全裸露等影响环境清洁的问题[3]。且可以应用于一些有特殊要求的场合中如: 在化工、采矿等易燃、易爆场合。非接触式电能传输安全性高, 无需电路连接维护, 能够实现完全气密性、防水性和无人化管理。

1 CPT的技术原理

非接触电能传输技术是用电设备以非接触方式从固定电网取电的技术, 基于电磁耦合感应原理, 综合利用现代电力电子能量变换技术、磁场耦合技术、大功率高频变换技术(包括谐振变换技术和电磁兼容设计技术等), 借助现代控制理论和方法, 实现电能的非接触传输。基于该技术的非接触电能传输系统核心为利用电磁耦合原理实现电能无接触传输。即通过感应耦合电能传输技术(Inductive Coupled Power Transfer, ICPT)传导电能。ICPT技术根据传统变压器的原理及特点, 把传统变压器的原副边分离成疏松磁耦合, 以空气为磁介质传输电能。工频交流电经初级变换器转换为高频交变的电流; 由原边初级绕组将其以电磁波的形式辐射到周围空间, 副边次级绕组因感应耦合产生感应电动势从而拾取电能经次级变换器为负载供电。通过上述几部分的发展完善和优化设计组合, 大幅提高互感耦合, 使电能传输效率及电能传输容量得到提高, 真正的无接触(无线)电能传输将得以实现。目前日趋完善的非接触电能传输系统(CPT)模式如图1所示。

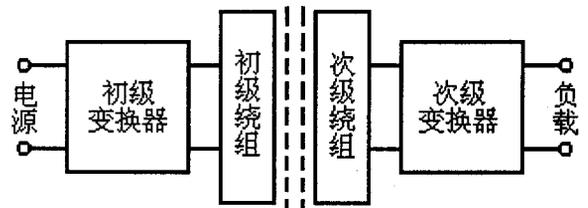


图1 CPT结构示意图

2 非接触电能传输系统的实现

CPT主要由可分离变压器, 初级变换器和次级变换器三部分组成。通过高频逆变在初级线圈或者电缆上生成高频电流, 负载侧的次级线圈通过电磁耦合接收初级线圈发出的能量, 经过能量调节后满足各类负载的供电要求。

2.1 可分离变压器

可分离变压器是系统的核心组成部分, 它将整个电能传输系统分为可完全分离的电源侧和负载侧。由于初、次级线圈之间有气隙存在, 漏磁较大, 耦合系数较小, 能量传输效率较低。因此, 提高初、次级线圈之间的耦合系数, 增加可分离变压器的能量传输效率成了必须解决的问题。文献[4]分析了电磁机构的磁芯材料、绕组材料、磁路特性、耦合特性、能量特性, 并经过分割法的数学分析与仿真实验, 得出结论为: 可分离变压器形状如图2的结构时, 原、副边线圈耦合系数最大。

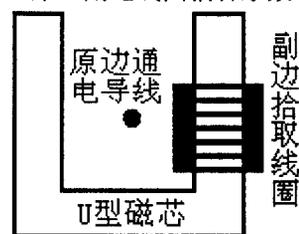


图2 最大互感值对应的几何结构

2.2 初级变换器

初级变换器的作用是把从常规电路中截取的普通电流转换为适宜系统传输的高频交流电流。主要包括整流滤波装置和高频逆变装置两部分。整流滤波装置从交流电源吸收电能，经内部滤波器处理后向高频逆变装置提供电压稳定(电容滤波)或电流稳定(电感滤波)的连续直流电能。整流滤波装置内部还有保护电路，异常情况下保护主电路及其功率器件。为了提高功率因数，还增加一定的功率因数校正环节。高频逆变装置将整流滤波装置输入的直流电逆变为高频交流电，向传输装置输送。

根据采用的逆变技术不同，逆变器分为脉宽调制型和谐振变换型等[5]。图3为基本的E型变换器电路图。这类变换器的主要优点是开关损耗小，变换器效率受耦合系数变化的影响较小，电路处于自激振荡。输出电流近似为正弦波。输出电压可以通过变换开关频率来进行控制。但通常这类变换器开关所承受的反向电压和导通电流较大，特性较差；通态电阻和寄生电容较高。这类变换器多用于低功率，高频场合。图4为一半桥式串联谐振变换电路。在大功率应用场合，通常都采用此类拓扑。

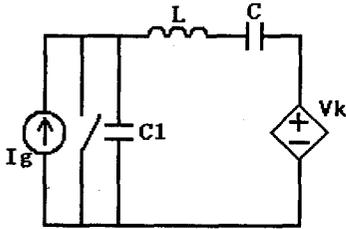


图3 E型变换器电路拓扑

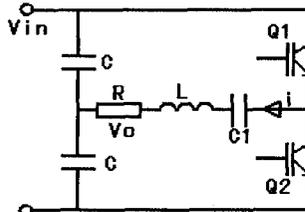


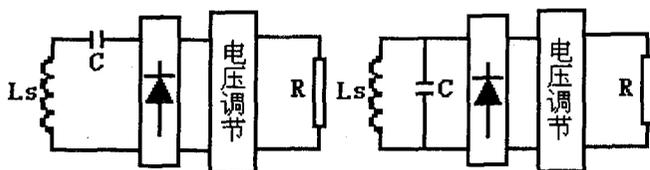
图4半桥式谐振变换电路

产生非接触电能传输系统的高频正弦交流电还可采用振荡器与功率放大器来实现，这种初级绕组方法可以尽量减小谐波和干扰。通过控制输入电压可以有效地控制变换器的原、副边绕组电流、输出电压和输出功率。

2.3 次级变换器

次级变换器将副边次级输出的高频交流电流转变为负载需要的工作电压或电流。从次级线圈到负载的功率传输可通过开关模式控制器来控制。低频下，开关模式控制器在短路和开路之间切换。次级线圈被短路，能量传输终止，实现次级线圈同初级线圈解耦。根据负载输出电压的大小，可采用一定的开关控制电路进行调节，控制功率从次级向负载的传输。

非接触式电能传输系统中，磁化电感小、漏磁大，因而在原副边的补偿尤其是副边补偿的设计尤其重要，只有合适的补偿拓扑结构才能使副边获得的功率最大[6]。副边负载拾取端拓扑结构如图5，副边补偿有串联补偿和并联补偿两种基本拓扑结构。



(a) 串联补偿

(b) 并联补偿

图5 拾取侧串联和并联补偿的拓扑结构

在谐振频率下，采用串联补偿时，副边补偿电容压降和副边感抗压降相抵消；采用并联补偿时，流入副边补偿电容中的电流于副边导纳中电流的无功分量相抵消。副边电阻值通常很小，当副边电阻忽略不计时，串联补偿的副边绕组端口近似等效于电压源；而并联补偿的副边绕组端口近似等效于电流源，从而系统的功率传输能力得到很大的提高。

综上，CPT系统作为一个整体，各部分之间并非相互独立。应该结合整个CPT系统进行研究，深入讨论各个环节及其间的制约因素，随着系统的不断优化，互感耦合将大幅提高。

3 国内外的研究现状及发展趋势

从20世纪80年代非接触式电能传输的概念提出至今，国内外对此进行了大量的研究。在国外，非接触式电能传输的技术发展已经相当的成熟，此技术已经得到了一定的运用，并出现了相关的产品。近年来，德国研发出一种内植遥感勘测装置，用于监测内植医疗辅助设备的状态。该装置接收线圈采用镍锰铁高导磁率合金40L，功率小，频率低(3.5-4.5kHz)，可实时非接触传递能量和数据；日本奥林巴斯医疗系统公司研制了一种用于检测消化道的“胶囊内窥镜”，“胶囊内窥镜”尺寸为直径11mm、长26mm，接收线圈内置胶囊里面，由外界磁场提供胶囊活动所需能量；北卡罗来纳州立大学电子计算工程系等研究机构开发出一种眼睛内神经刺激器以弥补视网膜功能缺陷。但由于非接触式电能接入技术的若干关键理论和技术尚未得到彻底解决，尚处于实用化技术开发和技术产业化的初级阶段。具有突破性进展的是2007年6月，美国麻省理工大学(MIT)科研小组在2.1m的空气隙间隔下，向另一端传送电能，使传输功率功率达到40%，成功点亮一盏40W的灯泡。

国内目前对CPT系统的研究仍很薄弱，虽然非接触电能传输系统应用前景广阔并且已经有很好的发展，但由于其造价昂贵以及传输功率和效率受距离的限制等问题，此项技术的研究及其产品应用仍处在起步阶段。目前的研究多集中在变换器技术的改进上，通过改变变换器结构来达到提高效率的目的。多数文献仅对CPT在各领域的应用作了探索。

4 总结

与其他新技术一样，非接触电能传输技术的发展也面临着很多的挑战。如电能传输技术成本过高、传输效率低、系统安全可靠差以及易受外界电磁干扰等，这些因素制约着CPT在工程建设及日常生活中的应用。因而，非接触电能传输系统的研究正在向大容量、高效率、低成本、大气隙、高稳定性等方向发展。

参考文献:

- [1] Bieler T, Perrottet M, Nguyen V. Contactless power and information transmission[J]. IEEE Transactions on Industry Electronics,

2002, 38 (5): 1266-1272.

- [2] 武瑛, 严陆光, 徐善纲. 新型无接触能量传输系统[J]. 变压器, 2003, 24 (5): 1-6.
- [3] J. T. Boys, G. A. Covic, "Pick-up transformer for ICPT applications," in Proc. Electronics Letters, 2002: 1276-1278
- [4] 张宗明, 孙跃, 苏玉刚等. 非接触电能传输系统互感耦合的仿真研究[J]. 磁性材料及器件, 2007, 38(5): 42-45.
- [5] Jai P. Agrawal. 电力电子系统-理论与设计[M]. 北京: 清华大学出版社. 2001.
- [6] 王平楠, 唐厚君. 基于非接触电能传输电路的技术分析[J]. 微机处理, 2006(6): 64-66.

作者简介:

王霖(1986-), 男(汉族), 陕西人, 西安理工大学水利水电学院06级本科生, 研究方向为非接触电能传输技术;

解光勇(1982-), 男(汉族), 河南洛阳人, 西安理工大学应用物理系"挑战杯"和大学生创新基金项目指导教师。

基金项目:

西安理工大学第十一届挑战杯基金(2008.6)和西安理工大学大学生创新基金(2008.10)资助的课题。

高速高压超短脉冲在容性负载上的测量及分析

邵冲 李新碗 李铭

(上海交通大学"区域光纤通信网与新型光通信系统"国家重点实验室)

摘要: 高速高压超短脉冲在多个领域具有广泛的应用。利用传输线终端反射的原理和高速开关产生高速高压的超短脉冲信号是一种通用办法。然而, 当脉冲信号加载到一个容性负载时, 终端负载的不匹配会导致信号的反射。反射信号可能再次回到负载器件上, 形成二次导通, 并带来应用上缺陷。本文通过理论分析和仿真实验, 提出了一些改进措施, 可以有效抑制反射信号。

关键词: 高速高压超短脉冲; 传输线; 容性负载

Measurement and analysis of high speed high voltage ultrashort pulse on capacitive load

Shao Chong Li Xinwan Li Ming

The State Key Laboratory on Fiber-Optic Local Communication Networks and Advanced Optical Communication Systems Shanghai Jiao Tong University

Abstract: High speed high voltage ultrashort pulse has been widely used in many fields. Generating a high speed high voltage ultrashort pulse by making use of the theory of terminal reflection of transmission line and a high speed switch is a general method. However, when a pulse signal is applied to a capacitive load, the mismatching of terminal load leads to signal's reflection. The reflecting signal may come back to the load again and make it secondary conducted. It will bring some troubles in application. Through theoretical analysis and simulation, we propose some improvement which can suppress the reflecting signal effectively.

Key words: high speed high voltage ultrashort pulse; transmission line; capacitive load

0. 引言

微弱光学图像信号的增强探测, 目前越来越多地应用于国防安全、工业、科研、医疗等领域[1][2]。高速选通型的微光图像探测不仅使微光探测器件的性能大大提高, 同时也延长了器件的使用寿命[3]。图像的选通需要有高速高压的电脉冲对光阴极进行驱动[4]。微光探测器件在电学参数上表现为大容性, 高阻抗[5]。一般的高速电路都要求负载为50Ω的匹配负载, 这给驱动微光探测器件带来了一些困难。

利用传输线终端反射的原理和高速开关可以产生高速高压的超短脉冲信号。在电路测试中, 发现由于负载呈容性, 在终端与特征阻抗为50Ω的同轴线不匹配, 信号产生了反射。脉冲发生器的输出阻抗是无穷大, 这会导致负载反射回来的信号再次反射, 这将导致光阴极的