

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2017.08.021

不同类型电动汽车充电桩的谐波抑制方法研究^{*}

陈 鼎¹, 仇群辉¹, 杨晓东^{2*}, 王 健², 何 平¹, 金羽乔¹, 张有兵²

(1. 国网嘉兴供电公司, 浙江 嘉兴 314100; 2. 浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

摘要:针对不同类型电动汽车充电桩的谐波问题,对不同类型电动汽车充电桩的谐波抑制方法进行了研究,首先对电动汽车充电桩谐波的产生原因进行了分析,然后通过 PSCAD 电力系统仿真软件分析了主流车载、非车载充电桩产生的谐波情况,并研究了多台谐波含量高的非车载充电桩共同作用时的谐波特点。针对非车载充电桩存在的谐波问题,对改进整流环节主动治理和加入滤波器集中治理两类方法进行了研究。对增加不控整流脉波数、采用 PWM 整流方法的主动治理方法以及加入并联有源滤波装置的集中治理方法进行了仿真分析。比较了几种方法在仿真中的谐波治理效果,对治理效果好的并联有源滤波器方案进行了模拟负载试验。研究结果表明:并联型有源滤波器能够实时检测电动汽车充电桩中谐波电流的变化,并输出补偿电流跟踪检测出的谐波电流;当充电桩中谐波电流发生突变时,可以在几个工频周期内完成补偿,可以将谐波含量降低到 2.73%,各次谐波含量中最高仅为 0.69%,有效将谐波含量降低到国家标准之下。

关键词:充电桩谐波;车载充电桩;非车载充电桩;主动治理;集中治理;并联有源滤波器

中图分类号:TM910.6

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2017)08-0922-05

Harmonic suppression methods for different types of electric vehicle charging stations

CHEN Ding¹, QIU Qun-hui¹, YANG Xiao-dong², WANG Jian²,
HE Ping¹, JIN Yu-qiao¹, ZHANG You-bing²

(1. State Grid Jiaxing Municipal Electric Power Company, Jiaxing 314100, China;

2. College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: Aiming at the problems of harmonic currents generated by different electric charging station, the methods of harmonic suppression for different types of electric vehicle charging stations were studied. Firstly, the causes of the harmonics of the electric vehicle charging station were analyzed. Then, the harmonic of main vehicle charger and non-vehicle charger were simulated and analyzed, and the harmonic characteristics of the non-vehicle chargers with high harmonic content were studied. Active rectification of rectifying link and centralized control of adding filter was put forward to solve the harmonic problem of non-vehicle charger. The performance of increase the number of uncontrolled rectification pulse, the use of PWM rectifier active control and the use of shunt active power filter device for centralized management was evaluated through the simulation. Comparing harmonic control effect of several methods in the simulation, the experiments were made on this load with the parallel active power filter had good control effect. The results indicate that the shunt active filter can detect harmonic current changes of electric vehicle charging station in real-time and outputs the compensation current to track the detected reference current. When the harmonic current of the charging station mutates, the shant active power filter can complete compensation with in several operating frequency cycles. The content of harmonic can be reduced to 2.73%, the highest content of each harmonic is only 0.69%, and content of harmonic is effectively reduced to the national standard.

收稿日期:2016-12-27

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(LY16E070005)

作者简介:陈鼎(1976-),男,浙江嘉兴人,硕士研究生,主要从事电力系统保护、电能质量治理等方面的研究. E-mail: jyj1231@126.com

通信联系人:杨晓东,男,博士研究生. E-mail: yang_xd90@163.com

Key words: harmonic of electric vehicle charging station ;car charger; non-car charger; active governance; centralized governance; shunt active power filter

0 引言

由于纯电动汽车具有零排放和零污染特点,被政府大力推广^[1]。针对电动汽车充电需求问题,国家出台了相应的政策。目前,城市中的充电站主要建设在居住小区、大型购物中心、可停车的路边地、单位写字楼、公共停车场等。充电站的充电方式分为大功率快充和小功率慢充。大功率快充方式需要大功率的充电机,面向车型以电动巴士为主。小功率慢充采用小功率车载充电机完成充电,面向车型以小型轿车为主,如电动汽车公共租赁系统使用的微公交^[2-4]。

充电机向电动汽车电池充电,需要使用非线性电力电子器件,在电力系统中作为非线性负载会带来相关的电能质量问题,其中谐波问题就是一个亟待解决的问题^[5]。目前,国内外针对充电站的谐波问题研究主要集中在充电站谐波特性分析和充电站谐波抑制方法^[6-9]。

由于充电机的类型不同,产生的谐波特性也有差异,本研究将在分析不同类型电动汽车充电站充电机的谐波特性的基础上,研究充电站的谐波抑制方法。

1 充电站谐波问题分析

1.1 充电站谐波产生原因分析

充电站一般由多台充电桩组成,目前市场上厂家提供的充电桩主要分为交流和直流两类。主流的交流充电桩采用单相交流供电,内部没有电能优化装置,直接输出到车载充电机向车辆动力电池充电。主流的直流充电桩采用 3 相交流供电,经过充电桩中的非车载充电机输出的电流为直流,直接向电动汽车的动力电池进行充电。

市场上车载和非车载充电机均含有 3 大模块:不控整流模块、DC/DC 功率变换模块、输出滤波模块,非车载充电还会加入功率因数矫正模块。充电站的谐波主要由整流模块产生,而其他模块也会对谐波特性造成影响。

1.2 车载充电机谐波分析

车载交流充电机采用单相交流供电,利用 EMI 滤波器抑制高频干扰信号,经过单相不控整流环节,有源功率因数矫正环节,得到幅值为 300 V 的直流电,再经过逆变环节转换为高频脉冲电压,经隔离式全桥 DC/DC 变换电路,高频整流环节,最后滤波输出电压、电流可调的直流电。有源功率因数矫正环节采用 BOOST 型,控制方法采用平均电流控制。

充电方式采用先恒流后恒压方式。将 DC/DC 输出电流 I_o 和输出电压 U_o 作为控制量,通过电流反馈和电压反馈控制环控制。

根据上述控制模块,在 PSCAD 仿真软件上搭建了非车载充电模型进行仿真,分析交流侧的谐波畸变率,结果表明:总谐波含量为 3.32%,满足国家标准。因此,目前市场上所建成的采用非车载充电机的充电站不需要解决谐波问题。

平均电流控制方法框图如图 1 所示。

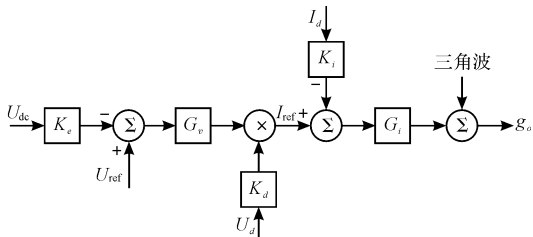


图 1 平均电流控制框图

先恒流后恒压的控制框图如图 2 所示。

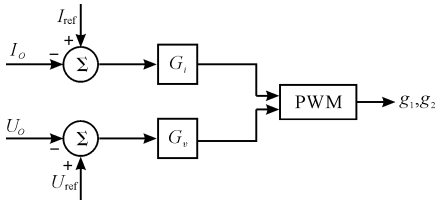


图 2 先恒流后恒压控制框图

1.3 非车载充电机谐波分析

本研究对充电机先恒流再恒压的两阶段充电法分析,引入一个等效模型进行仿真。相对于整个充电过程,在几个工频周期之内,都可以将充电机的输出电流和输出电压认为是恒定的直流。因此,在低频范围内,高频率变换电路的等效输入阻抗可以用一个非线性电阻 R_c 来近似模拟。电阻的表达式如下:

$$R_c = \frac{U_B}{I_l} = \frac{U_B^2}{P_l} = \frac{\eta U_B^2}{P_o} = \frac{\eta U_B^2}{U_o I_o} \tag{1}$$

式中: η —充电机的效率,在实际充电过程中 η 会在一定的范围内波动,但是由于其变化较小通常作为常量处理; p_o —充电机的输出功率。

非车载充电机采用三相 6 脉波不控整流方式,仿真得到,不控整流方式充电机谐波含量高达 40%。另外,本研究针对多台充电机所造成的谐波互相影响也作出了仿真,得到非车载充电机组成的充电站的谐波特性:谐波电流的次数主要为 $6k \pm 1 (k = 1, 2, 3 \cdots)$,即

5次、7次、11次等,谐波电流有效值与其自身次数成反相关。多台充电机同时工作产生的谐波互相作用时,多台充电机之间产生的谐波不是简单的叠加关系,相同次数谐波会有出现矢量叠加,同时有些谐波出现了相互抵消,从而造成充电机台数上升,总谐波含量随之下降的趋势,但是叠加抵消效应影响总体不大。

2 充电站谐波抑制方法

对于非车载充电机构成的充电站谐波问题可以从以下两个角度解决:(1)从整流充电机的整流环节上做出改进,即从谐波发生源进行治理;(2)加入滤波装置对充电站谐波进行集中治理。

2.1 改进充电机整流方法抑制谐波

通过分析3相不控整流充电机产生的谐波特性时发现,不控整流脉波数量会影响充电站谐波含量,当脉波数增加时谐波含量减小,因此可以通过提高充电机的脉波数来降低充电站谐波含量;另一种方法通过采取PWM整流电路,将普通的整流电路中的不可控电力电子器件替换为全控的器件,并采用SPWM技术控制全控器件的导通或关断。目前的PWM整流充电机以3相半桥VSR拓扑结构使用最广泛。施加在3相桥臂的调制信号为相位互差 120° 的3相对称正弦波,并且幅值与频率均相同。

2.2 加入滤波器进行谐波抑制

加入滤波器集中治理充电站谐波问题的方式主要有两种:有源滤波方式和无源滤波方式。无源滤波方式通常采用电力电容器、电抗器和电阻器进行适当的串并联组成无源滤波器进行滤波。其一旦制成,性能参数难以改动,难以满足充电站动态谐波治理的要求。有源滤波器则是通过谐波电流检测算法和电流跟踪控制算法,利用由可控的功率半导体器件组成的PWM变流器向电网注入与负载谐波电流幅值相等、方向相反的电流,从而达到实时补偿谐波电流的目的。与无源滤波器相比,有源滤波器具有自适应功能,能够自动跟踪变化的谐波。

根据对充电站谐波特性的研究,电动汽车充电过程中谐波含量变化较大,并且伴随着车辆的接入和离开,有源滤波器由于对谐波变化有更好的动态补偿特性,相较于无源滤波器谐波治理效果更好。

3 滤波效果仿真比较

3.1 改进充电机整流方式仿真

本研究将充电机的脉动数由6脉波提高到12脉

波进行仿真,12脉波相较于6脉波整流充电机,使用的变压器二次侧有两个绕组,与一次侧的联结方式分别是Y/y0和Y/d11。整流桥直接侧输出电压会有 30° 的相位差,并且匝比为,保证输出电压大小相同。仿真分析得到12脉波整流充电机产生的谐波主要成分为11次和13次,含量分别为4.8%,3.4%,其他次谐波含量较少。与未增加脉动数前充电机谐波含量相比,脉动数增加到12后,电流谐波含量明显降低。本次仿真模拟的是相同的配电系统,验证了由充电机整流产生的谐波含量与脉动数的关系,脉动数越高其谐波含量相对越低。然而12脉波整流充电机产生的谐波含量仍然不是很理想(高于国家相关谐波标准),要满足国家相关谐波标准,则需要继续提高脉动数。

本研究搭建的PWM整流充电机模型由主电路和控制电路组成。主电路为由IGBT和二极管制成的3相半桥式PWM整流桥,二极管作为能量缓冲环节,具有续流的作用。控制电路采用双闭环反馈控制,内环为电流控制,外环为电压控制。3相交流电流首先要进行PARK坐标变换,将3相时变量转为DQ坐标下的静态量,便于3相电压与电流的检测。仿真得到的PWM整流充电机交流侧谐波含量相对于本研究中两种不控整流充电机谐波含量更低,其中5次谐波含量约为2.8%,7次谐波1.5%,11次谐波仅有0.6%,更高次谐波含量更少,可以忽略。仿真结果表明:PWM整流充电机可以有效抑制谐波含量,且满足国家相关标准。

PWM整流方式相较于12脉波整流,交流侧波形更接近正弦波,谐波含量进一步降低。两种改进方法的交流侧仿真波形如图3所示。

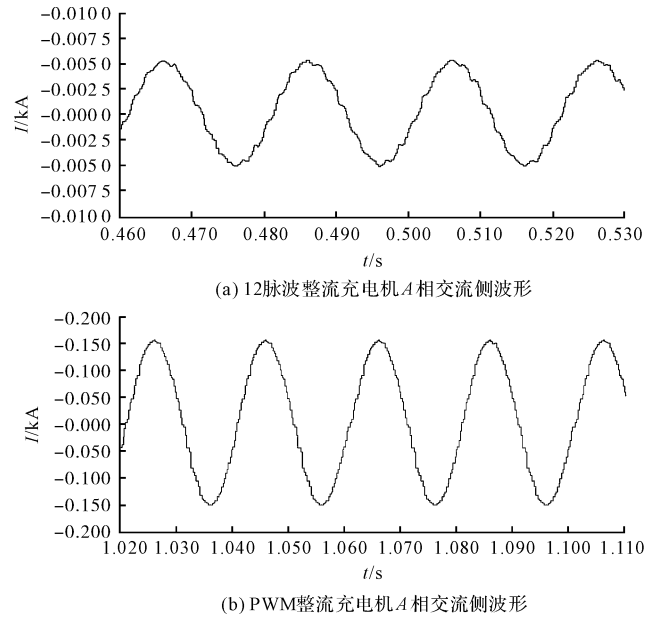


图3 改进充电机整流方式网侧电流波形

3.2 加入有源滤波装置方式仿真

有源滤波器按接入网方式划分主要包含串联型有源滤波器和并联型有源滤波器,后者被广泛应用于工程中。

并联型有源滤波器主电路图如图4所示。

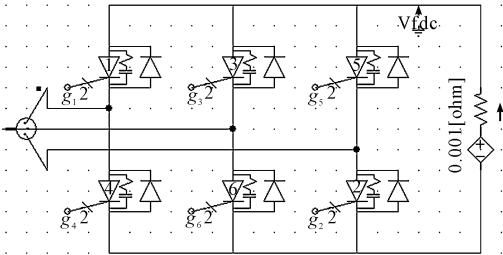


图4 并联型有源滤波器主电路图

目前,基于瞬时无功功率理论的谐波电流检测方法被广泛应用于有源滤波器中。在电压畸变或者不对称的情况下,其检测的结果会存在一定的误差;在实际的电网运行条件下,其误差在一个允许的范围。针对这种情况,宜采用 i_p - i_q 谐波电流检测方法。仿真中 i_p - i_q 谐波电流检测方法首先通过PLL锁相环模块检测PCC处A相电压信号 V_a 的相角,测得的相位 θ 作为 abc - $dq0$ 变换的角度;将三相负载电流信号 I_a 、 I_b 、 I_c 通过 abc - $dq0$ 变换,得到 d 轴和 q 轴分量 I_α 、 I_β ;再将分量 I_α 、 I_β 中的直流分量去除,通过 abc - $dq0$ 变换反变换,得到参考电流 I_{aref} 、 I_{bref} 、 I_{cref} 。

电流跟踪控制算法决定了APF是否可以快速准确的根据指令电流产生控制信号,跟踪的准确性决定了补偿效果。电流控制方法可以分为两类:直接和间接。直接控制可采用滞环电流比较控制、三角载波电流控制等;间接控制可采用空间矢量、无差拍PWM控制等。仿真中选择空间电压矢量PWM调制作为电流跟踪方式。空间电压矢量PWM控制利用变流器输出先将3相输出参考电流减去实际输出电流,得到3相误差信号,经过PI矫正环节得到3相参考电压,再将3相参考电压转换到 α - β 坐标系,通过直角坐标与极坐标转换元件转换得到参考电压矢量的幅值和相角,然后经过标幺化和限幅处理后,送到SVM元件,SVM元件可以根据参考电压的矢量,产生相应的驱动信号。

参考电流与补偿电流的波形如图5所示。

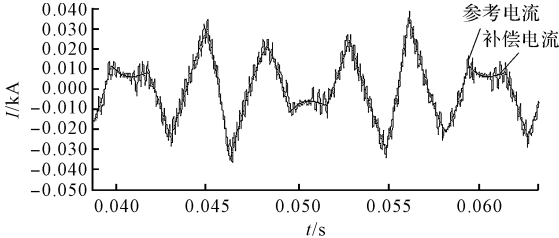


图5 参考电流与补偿电流波形

有源滤波器输出的补偿电流由于受到开关元件IGBT开关频率影响,存在一定的纹波。从图5中可以直观的看出补偿电流能够跟踪参考电流的变化。

本研究采用等效电阻方法的充电机模型,充电过程中等效电阻阻值会不断的变化,为了检验有源滤波器在电阻放生突变时的动态补偿效果,针对等效电阻突变的充电过程情况进行了仿真。

当等效电阻发生突变时,补偿效果结果如图6所示。

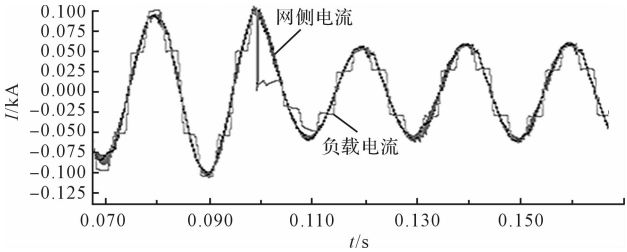


图6 等效电阻突变补偿波形图

笔者将突变时间设为0.1 s。从图6中可以看出有源滤波器可以能够实时补偿谐波。

4 实验及结果分析

本研究设计了一套可用于电动汽车充电桩治理谐波的3相3线制并联有源滤波装置,补偿电流可达到30 A,采用 i_p - i_q 谐波检测算法和SVPWM跟踪方法,在实验室环境下,通过模拟实验进行谐波抑制方法的效果验证。

根据充电机的简化模型,充电机充电由380 V3相交流供电经3相不可控整流桥整流后直流侧接纯电阻负载进行模拟,这里纯电阻负载选用最常用的电炉,单个电炉额定电压为220 V,额定功率为5 kW,通过两个电炉串联来模拟10 kW充电功率的电动汽车。本研究采用多组整流桥来模拟充电桩的实际充电情形。

实验得到的波形如图7所示。

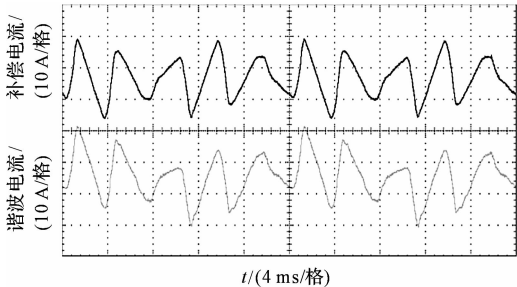


图7 补偿电流跟踪谐波电流波形

波形显示补偿电流能够实时跟踪谐波电流。

在实际充电站中,电动汽车的接入和离开都会导致负载电流的变化,本研究针对电流跟踪算法是否可以在电动汽车接入和离开时实时跟踪谐波电流进行了

表 1 补偿前后谐波含量对比

谐波次数	5	7	11	13	17	19	23	THD
补偿前/(%)	21.42	9.14	5.88	3.02	1.75	0.93	0.82	24.3
补偿后/(%)	0.69	0.46	0.44	0.25	0.21	0.10	0.14	2.71

然后,本研究断开其中一组来模拟电动汽车充电结束后离开的情形,得到的补偿效果情况如图 8 所示。

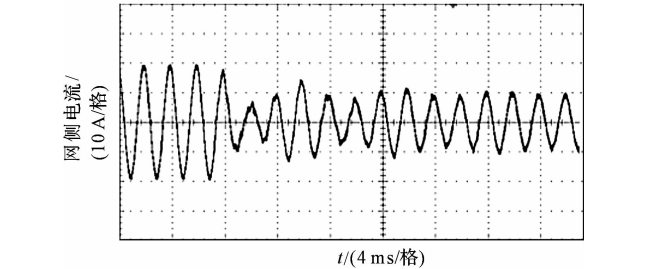


图 8 电动汽车离开时的电流补偿效果

从图 8 中可见,电动汽车离开时,谐波电流发生了突变,有源滤波器能够快速跟踪补偿,网侧电流经过几个工频周期的震荡后,电流波形呈正弦波。

5 结束语

电动汽车充电站谐波主要由充电机产生,非车载充电机由于含有有源功率因数校正环节,造成的总谐波含量约为 3.32%,满足谐波的相关标准要求。因 3 相不控整流环节的存在,车载充电机造成的谐波含量高达 40%,需要采用谐波抑制方法解决。仿真结果表明,相比于 12 脉波整流方式,PWM 整流方式具有更好的谐波补偿效果,可以将谐波含量抑制在 5% 以下。

模拟测试。首先本研究对两组 3 相不可控整流器接 10 kW 纯电阻负载运行进行补偿,模拟电动汽车充电情况,用电能质量分析仪记录补偿前后主要次谐波含量如表 1 所示。

通过仿真及实验验证表明:有源滤波器能够集中治理充电站的谐波问题,可以将谐波含量降低到 3% 左右,并且跟踪补偿效果良好,在充电站谐波突变的情况下仍能够实时补偿谐波。

参考文献 (References):

[1] 田立亨,张明霞,汪免伶,等. 电动汽车对电网影响的评估和解决方案[J]. 中国电机工程学报,2012,32(31):43-49.

[2] 李俄收,朱会田,吴文民. 电动汽车蓄电池的充电方法和充电设备[J]. 电源技术,2009,33(10):910-913.

[3] 杨洪耕,肖先勇,刘俊勇. 电能质量问题的研究和技术进展[J]. 电力自动化设备,2003,39(12):1-4.

[4] 陈玉进. 电动汽车充电设备特点及对电网影响探讨[J]. 湖北电力,2009,33(6):48-50.

[5] 钟牛利勇,姜久春,张维戈. 纯电动公交充电站谐波分析的模型方法[J]. 高技术通讯,2008,18(9):953-958.

[6] 张 允,陆佳政,李 波. 利用有源滤波功能的新型电动汽车交流充电桩[J]. 高电压技术,2011,37(1):150-156.

[7] 卢艳霞,张秀敏,蒲孝文. 电动汽车充电站谐波分析[J]. 电力系统及其自动化学报,2006,18(3):51-54.

[8] 周永兵. 并联有源电力滤波器(SAPF)关键技术的应用研究[D]. 天津:天津理工大学电气电子工程学院,2008.

[9] 魏学良,戴 珂,方 昕,等. 三相并联型有源电力滤波器补偿电流性能分析与改进[J]. 中国电机工程学报,2007,27(28):113-119.

[编辑:周昱晨]

本文引用格式: