

电动汽车充电机对电能计量的影响

朱学贵¹, 覃 阳¹, 苏向丰¹, 郑 可², 付志红¹

(1. 重庆大学 输配电装备及系统安全与新技术国家重点实验室, 重庆 400044;

2. 重庆市电力公司电力科学试验研究院, 重庆 401123)

摘要: 建立考虑线路阻抗和配电变压器的电动汽车充电机模型, 仿真分析了充电机直流大功率充电和脉冲充电对电能计量的影响。仿真分析结果表明: 恒流充电时充电机向电网注入谐波功率, 注入功率的大小随充电功率和线路阻抗的增大呈上升趋势, 但总体上占基波功率比值很小, 为 0.012%, 对电能计量造成的影响有限; 充电功率变化时谐波功率的特点与恒流充电时基本相同; 脉冲充电方式下, 谐波电流受脉冲充电频率影响较大, 高频脉冲充电时含有大量偶次谐波与间谐波, 采用积分算法原理进行电能计量的误差大于 0.5%。

关键词: 电动汽车; 充电机; 充电; 计量; 谐波功率; 谐波分析; 非线性负荷

中图分类号: U 469.72; TM 933

文献标识码: A

DOI: 10.16081/j.issn.1006-6047.2015.06.008

0 引言

为保障能源安全以及温室气体减排, 我国将电动汽车列入国家“十二五”规划, 作为向产业化推进的战略性新兴产业予以扶持。按照国家规划, 至 2020 年新能源汽车要达到 500 万辆。新能源汽车以电动汽车为主, 如此大规模的电动汽车发展需要大量充电站配合, 而充电机属于新型大功率、高度非线性的用电设备, 是谐波功率源, 由此引发的电能质量污染、冲击特性等引起的计量问题需要深入研究。计量准确性和合理性涉及电力公司、用户和充电运营商利益, 研究充电机对电能计量准确性的影响, 具有重要的理论意义和实际价值。

作为高度非线性负荷, 电动汽车充电机对公共电网造成的谐波污染问题受到广泛关注。例如, 文献[1]对充电机类型进行分类, 分析了不同类型充电机产生谐波情况, 并用实测数据得出结论, 充电站接入会对电网运行产生影响, 需从多方面采取措施; 文献[2-3]仿真分析了不同种类充电机谐波以及影响其大小的因素, 并对充电站的谐波进行研究, 指出随着多台充电机同时充电, 彼此之间谐波电流产生抵消现象; 文献[3]研究了充电机谐波与充电功率变化的规律, 并根据多台充电机同时充电谐波抵消规律提出最优充电站规划建议。总体而言, 以上研究主要从谐波电流的角度展开, 没有从计量角度分析充电机的谐波功率情况。由于充电速度慢是制约电动汽车大规模推广的重要原因, 针对此已制定了一些快速充电标准, 如日本制定的 CHAdeMO 标准、欧美

制定的 SEA Combo 标准、美国制定的 Super Charger 标准以及中国制定的《电动汽车传导充电用连接装置》标准。这些标准中单台充电机充电功率都很大, 从 50 kW 到 200 kW 不等, 充电机在此类大功率充电情况下的谐波和谐波功率情况需要进行分析。

上述标准中使用的充电方法均为直流大功率快速充电, 是目前使用最广泛的充电方法。另外, 脉冲充电也是非常具有前景的充电方式。文献[4]的研究表明, 脉冲充电不仅可以减少锂电池充电时的浓差极化, 还可以提高电池活性材料的利用率、缩短充电时间、延长电池使用寿命; 文献[5-6]建立了半无限和受限扩散模型来描述不同类型充电电流对电池内部浓差变化影响, 并用上述模型进行仿真, 结果表明电池交界面浓度在脉冲充电时较连续直流充电时低。因此, 脉冲充电作为非常具有前景的充电方式也很可能得到应用推广。电动汽车充电机在大功率充电、脉冲充电时对计量的影响, 是电动汽车充电业务实现商业运行所必须解决的问题。本文着重从计量合理性与准确性角度, 对充电机在大功率充电、脉冲充电时对计量产生的影响进行分析, 找出其规律, 为充电站建设过程中计量装置的选取提供参考。

1 充电机模型

1.1 充电机仿真模型

本文以使用最广泛的三相桥式不可控整流+高频 DC-DC 功率变换电路充电机为基础, 建立充电机模型。其中高频 DC-DC 功率变换器采用移相控制零电压全桥变换电路^[7-8]。为了研究充电机的谐波功率情况, 模型中充分考虑了线路阻抗和配电变压器的影响。以 10 kV 标准三相电源对充电机进行供电, 配电变压器采用 dyn11 接线^[9], 变比为 10 kV/0.4 kV。充电电池静置电压和内阻分别由一个直流电源和电

收稿日期: 2014-05-14; 修回日期: 2015-05-24

基金项目: 输配电装备及系统安全新技术国家重点实验室自主研究项目(2007DA10512714103)

Project supported by the Independent Research Project of State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology(2007DA10512714103)

阻作为其仿真模型,并参照某示范运行的电动汽车电池进行参数设置。仿真模型如图 1 所示。

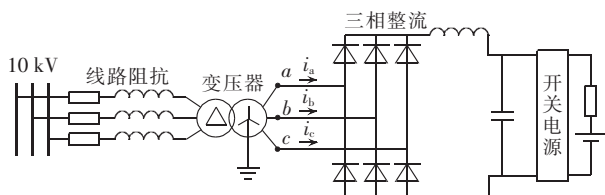


图 1 电动汽车充电机仿真模型
Fig.1 Simulation model of EV charger

模型中 a 、 b 、 c 为测量点,分别测量充电时输入侧每相的电流 i_a 、 i_b 、 i_c 和电压 u_a 、 u_b 、 u_c 。

1.2 充电机输出波形特征

图 2 为某示范运行充电机一次完整充电过程中输出侧的电流波形图。整个过程主要可以分为 2 个阶段:第 1 阶段为恒流大功率充电,第 2 阶段电流线性减小至 0。

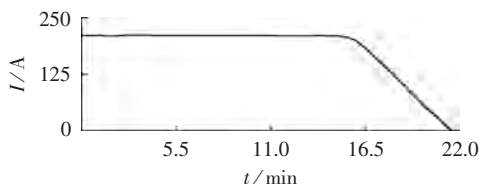


图 2 电动汽车充电机输出电流波形
Fig.2 Waveform of output current of EV charger

2 充电机常规充电方式对电能计量的影响

我国目前主要采用全电能计量的标准,只含基波情况下能够准确反映用户的用电情况。但当电网中存在谐波功率时,这种计量方式就显现出不合理性,不利于供电部门查找谐波源和治理谐波^[10-11]。本文分别对大功率充电过程中 2 个阶段的谐波功率进行了仿真分析。

2.1 恒流充电时的谐波功率

2.1.1 谐波功率随充电功率的变化规律

为研究恒流大功率充电时充电机产生的谐波功率,对 0~160 kW 不同充电功率的充电机进行仿真,分析其三相输入侧的谐波功率。仿真时控制充电机高频 DC-DC 功率变换器的移相角以改变输出,保持充电机模型的其他参数不变;10 kV 线路取基准容量为 100 MV·A;三相整流滤波参数为 $L_f=200\ \mu\text{H}$, $C_f=2500\ \mu\text{F}$ (在未作特别说明时,本文的仿真中均用此参数)。各次谐波功率、总谐波功率占基波功率百分比 η 随充电功率变化曲线如图 3 所示。

据仿真分析,充电机产生的 20 次以上的谐波电流很小,可忽略不计,因此 20 次以上的谐波功率也基本为 0,图 3 中只画出了前 20 次谐波功率曲线。由图 3 可知,充电机主要产生 $6k\pm 1(k=1,2,\dots)$ 次谐

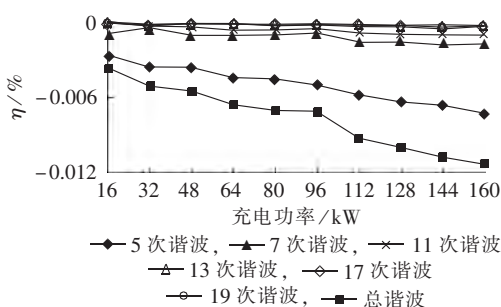


图 3 各次谐波功率占基波功率的百分比
随充电功率变化的曲线

Fig.3 Curve of harmonic-fundamental power ratio vs. charging power for different orders

波功率,占基波功率百分比的绝对值随着充电功率的增大而增加,并且值都为负数,即向电网注入谐波功率。由于在全电能计量方式下,这部分电能被漏计,故对计量的合理性造成了影响。但总体上占基波功率的比值很小,为 0.012%,对计量合理性造成的影响有限。

2.1.2 谐波功率随线路阻抗的变化规律

由 2.1.1 节可知,充电功率大时谐波功率大,假定充电机以 160 kW 功率恒流输出,保持三相整流滤波参数不变,分别对线路短路容量为 280 MV·A、250 MV·A、220 MV·A、190 MV·A、160 MV·A、130 MV·A、100 MV·A 的情况进行仿真,X/R 比值选为 5(即阻抗分别为 $0.07+j0.36\ \Omega$ 、 $0.08+j0.4\ \Omega$ 、 $0.09+j0.45\ \Omega$ 、 $0.11+j0.5\ \Omega$ 、 $0.125+j0.625\ \Omega$ 、 $1.54+j0.77\ \Omega$ 以及 $0.2+j1\ \Omega$)。各次谐波功率、总谐波功率占基波功率百分比随线路短路容量的变化曲线如图 4 所示。

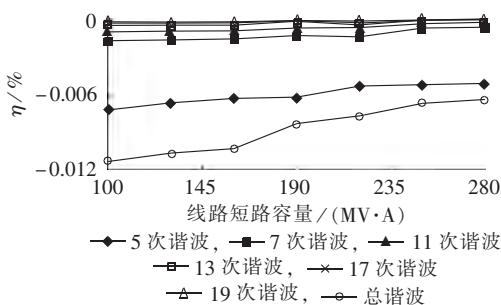


图 4 各次谐波功率占基波功率的百分比
随线路短路容量变化的曲线

Fig.4 Curve of harmonic-fundamental power ratio vs. line short circuit capacity for different orders

由图 4 可见,充电机发出的各次谐波功率及其占总充电功率的百分比绝对值随输电线路短路容量的增加(阻抗减小)而呈减小趋势。

另外,从交流侧电压、电流波形谐波含有率发现,谐波电流含有率 η_i 主要由充电功率决定,不随线路容量变化而变化,而谐波电压含有率 η_u 则随线路容量的增大而减小,分别如图 5、图 6 所示。

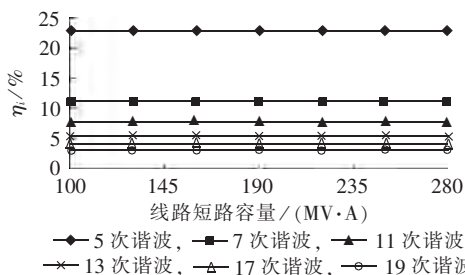


图 5 谐波电流含有率随线路短路容量变化的曲线

Fig.5 Curve of harmonic current ratio vs. line short circuit capacity

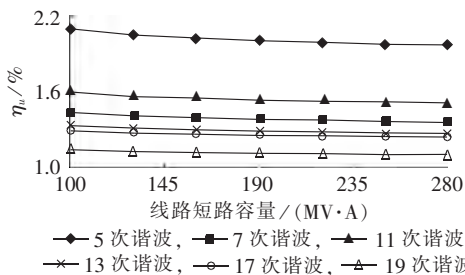


图 6 谐波电压含有率随线路短路容量变化的曲线

Fig.6 Curve of harmonic voltage ratio vs. line short circuit capacity

为更好地说明线路阻抗对充电机谐波功率的影响,本文建立了充电机的等值模型,如图 7 所示。充电机可用恒流源模型表示^[12], I_h 、 U_h 分别为充电机产生的 h 次谐波相电流、相电压有效值相量, Z_{lh} 为配电变压器归算到二次侧的 h 次谐波漏抗, Z_{th} 为 h 次谐波线路阻抗。设 10 kV 三相电源中只产生工频正弦电压, h 次谐波电压为 0。

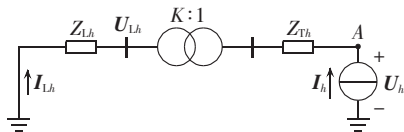


图 7 电动汽车充电机等值模型

Fig.7 Equivalent model of EV charger

充电功率不变时,各次谐波电流基本不变,故 $K=10/0.4$, I_h 为已知量,由于正弦函数的正交性,不同次谐波电压、电流相乘不产生功率。设 Z_{lh} 、 Z_{th} 为变量,充电机输入侧(A 点) h 次谐波三相总功率 P_h 可由以下公式计算:

$$P_h = \text{Re}[3U_h I_h^*] = -3(Z_{lh}/K^2 + Z_{th}) |I_h|^2 \quad (1)$$

$$U_{lh} = Z_{lh} I_{lh} \quad (2)$$

$$I_{lh} = -I_h / K \quad (3)$$

$$U_h = U_{lh} / K - Z_{th} I_h \quad (4)$$

从式(1)可以看出,谐波电流 I_h 一定的情况下,线路阻抗和变压器漏抗越大,充电机产生的谐波功率绝对值就越大。故减小充电机发出谐波功率的方法有 2 个:一是加装谐波抑制装置减小谐波电流,二是使接入点的线路阻抗、变压器漏抗更小。

为验证模型的正确性,根据等值模型计算充电功率为 160 kW、短路容量为 100 MV·A 下的各次谐波功率与仿真得到的功率如表 1 所示。由表 1 可知,等值模型计算结果与仿真结果基本相同。

表 1 各次谐波功率仿真数据与计算数据比较

Table 1 Comparison between simulative and calculated harmonic powers for different orders

谐波次数	谐波功率/W		误差/%
	仿真模型	等效模型	
5	-11.90	-12.20	2.53
7	-2.91	-2.58	-11.11
11	-1.71	-1.87	9.33
13	-0.94	-1.21	30.10
17	-0.62	-0.64	2.47
19	-0.47	-0.56	17.90

2.2 充电电流变化时的谐波功率

图 2 所示的充电机输出电流曲线中,充电后期因电池电压升高、内阻增大,充电电流逐渐减小,此时充电功率、输入侧的电压(u_a 、 u_b 、 u_c)、电流(i_a 、 i_b 、 i_c)是动态变化的。为研究此充电阶段的谐波功率情况,本文对充电机电流以不同速率下降时的谐波功率进行了分析。

充电机的初始输出功率为 160 kW,初始电流为 300 A,分别以 1 A/s、2 A/s、3 A/s、4 A/s、5 A/s 的速率下降至 0(功率从 160 kW 降至 0)。首先使用加窗插值快速傅里叶变换^[13-16]对电压、电流进行谐波分析,进而计算谐波功率。充电电流变化时总谐波功率占基波功率的百分比 η_{hi} 如图 8 所示。

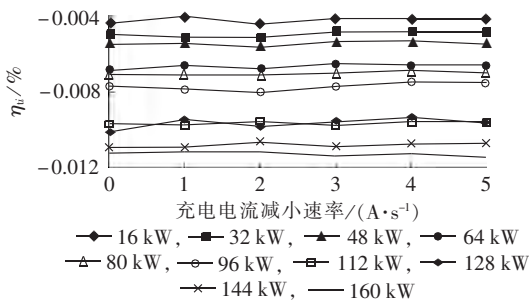


图 8 充电电流变化时的总谐波功率

Fig.8 Curve of total harmonic power vs. charging current decay for different charging powers

由图 8 可知,充电电流以不同速率下降时,产生的谐波功率都与同一功率下的恒流充电产生的谐波功率基本相同。故谐波功率受充电机输出电流变化的影响较小,而主要与当时的充电功率相关。

3 充电机脉冲充电对电能计量的影响

3.1 充电机脉冲充电时的谐波

如前文所述,脉冲充电是非常具有前景的充电方法。为研究脉冲充电时充电机对计量的影响情况,论

文利用前述充电机模型,通过控制移相控制零电压全桥变换电路开关器件,实现了充电机的正脉冲充电,并对大功率脉冲充电时充电机的谐波及其对计量准确性的影响进行仿真研究。

正脉冲充电的一个脉冲周期分为充电和停充 2 个阶段。充电时,使全桥变换电路中的开关器件正常开通与关断,实现功率变换;停充时,所有开关器件均处于关断状态,此时移相控制零电压全桥变换电路相当于断路,充电机电压输出为 0。图 9 为充电机模型所产生的不同频率下的脉冲输出电流波形。

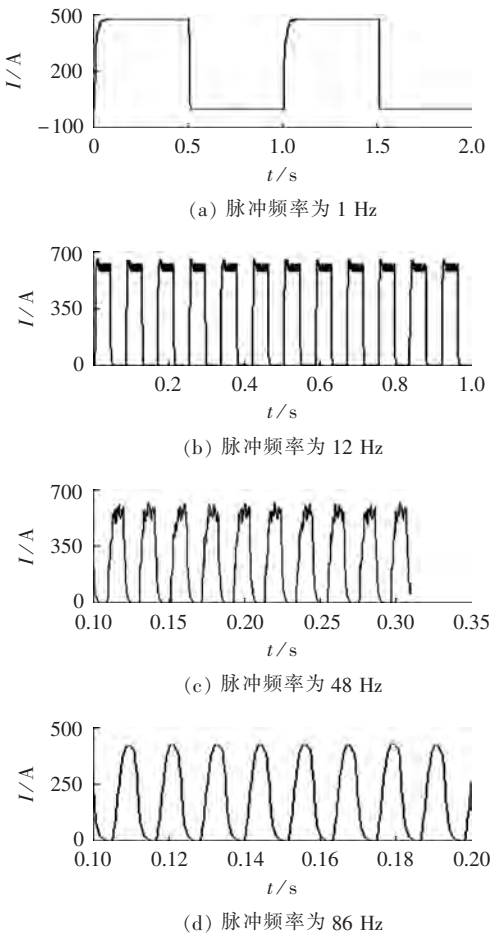


图 9 脉冲输出电流波形

Fig.9 Waveforms of output pulse current

以充电机三相输入侧 A 相为例,图 10 为充电机以不同脉冲频率输出时电流谐波的含量(其中充电机输出功率约为 150 kW)。

由图 10 可知脉冲频率较低(1 Hz)时,谐波成分与恒流充电时相近,主要为 $6k \pm 1(k=1,2,\cdots)$ 次六脉波整流特征谐波,但各次谐波含量相对同功率下的恒流充电较高。而脉冲频率较高(12 Hz、48 Hz、86 Hz)时,谐波中不仅含有六脉波整流特征谐波,还有大量间谐波和偶次谐波,且随着充电频率的上升,谐波成分愈加复杂。表 2 为充电机交流侧不同脉冲频率下的总谐波畸变率(THD)。

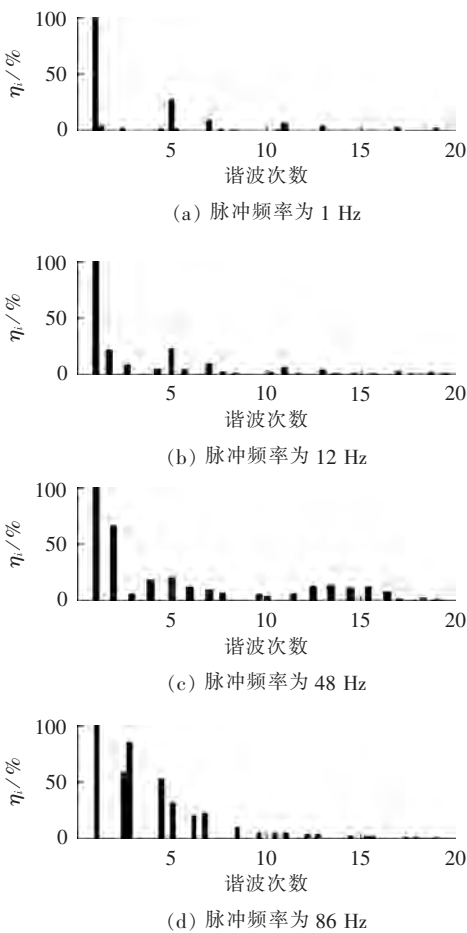


图 10 脉冲频率对谐波的影响

Fig.10 Impact of pulse frequency on harmonics

表 2 交流侧不同脉冲频率下的 THD

Table 2 AC-side THD of different pulse frequencies

脉冲频率/Hz	THD/%	脉冲频率/Hz	THD/%
1	29.89	48	80.20
12	36.29	86	124.29

3.2 脉冲充电对电能计量准确性的影响

根据电子式电表计量电能主要采用的积分算法,电能 W 的计算式为:

$$W=\left[\sum_{s=1}^N u(t_s) i(t_s)\right] \Delta t \tag{5}$$

其中, $u(t_s)$ 、 $i(t_s)$ 分别为电表第 s 次采样所得电压、电流值; N 为采样次数。

式(5)中,采样间隔时间 Δt 越小(即采样频率越高),计量出的电能越准确,而实际电表中的 A/D 转换器采样频率一般为 5 kHz。本文对高脉冲频率(以 48 Hz 为例)下的同一段电压、电流波形数据分别用 5 kHz、250 kHz、2.5 MHz 的采样频率计算其电能,对比结果如表 3 所示。

表中,5 kHz 误差指采样频率为 5 kHz 时计算出的结果与采样频率为 2.5 MHz 时计算出的结果的误差,250 kHz 误差同理。由表 3 可以看出,48 Hz 大功

表 3 不同采样频率下的电能计量结果比较
Table 3 Comparison of electric energy metering
among different sampling frequencies

采样频率	充电机 2 s 内消耗能量/J		
	A 相	B 相	C 相
5 kHz	110936.76	110632.10	110943.37
250 kHz	111558.89	111506.40	111558.22
2.5 MHz	111559.10	111506.26	111557.64
5 kHz 误差	-0.5579%	-0.7840%	-0.5506%
250 kHz 误差	-0.0002%	0.0001%	0.0005%

率脉冲充电时,采样频率为 2.5 MHz 与 250 kHz 下的计算结果相差很小,可认为采样频率为 2.5 MHz 时计量的结果是准确值,而采样频率为 5 kHz 时计算结果的误差则相对较大,超过了 0.5%,已经超过了《国家电网电动汽车充电站典型设计》中建议的交流侧 0.5S 级准确度,说明严重的波形畸变对计量准确性会带来一定的影响。

4 结论

本文建立了考虑线路阻抗及配电变压器在内的完整充电机模型,分析了电动汽车充电机对电能计量的影响,重点研究了充电机恒流大功率充电、脉冲充电对计量准确性的影响,得到了下述结论。

a. 充电机恒流大功率充电时,产生谐波功率注入电网,谐波功率主要集中在 20 次以下的 $6k \pm 1$ ($k=1,2,\dots$) 次谐波;各次谐波功率及总谐波功率占基波功率的百分比随充电功率和线路阻抗的增大而增大。在全电能计量方式下,这部分电能被漏计,对电能合理性产生影响;但总体上占基波功率的比值很小(0.012%),产生的影响有限。

b. 建立了充电机的等值模型,分析线路阻抗对谐波功率的影响。由分析结果可知,因线路阻抗增大时谐波电压增大,而谐波电流不变,所以谐波功率随线路阻抗增大而增大。可以从两方面采取措施减小充电机的谐波功率:一是加装谐波抑制装置,二是减小充电机接入点的线路阻抗和变压器漏抗。

c. 充电机电流线性下降时,充电机产生的谐波功率与恒流充电时基本相同,受电流变化速度影响小,而主要与充电功率相关。

d. 充电机脉冲充电时,谐波电流含量随脉冲频率的升高而增加;脉冲频率较低(1 Hz)时,各次谐波含量与恒流充电时相近,主要为 $6k \pm 1$ ($k=1,2,\dots$) 次六脉波谐波;高频率脉冲(12 Hz、48 Hz、86 Hz)充电时,充电机产生大量间谐波和偶次谐波;高频脉冲充电时,采用积分算法进行计量产生的误差大于 0.5%。

总体而言,少量的直流充电设备对电网公司计量方面的影响不大,甚至可以忽略。但在目前各地

政府及国网公司拟大规模推广直流充电设施的态势下,谐波治理以及计量方面的问题值得重视。充电站中应综合考虑充电机充电功率、线路阻抗、配电变压器漏抗、谐波抑制装置等因素,合理进行配置,以确保计量时的合理性;若今后采用和推广脉冲充电模式,需优化和调整现行计量方式。

参考文献:

- [1] 陈新琪,李鹏,胡文堂,等. 电动汽车充电站对电网谐波的影响分析[J]. 中国电力,2008,41(9):31-36.
CHEN Xinqi,LI Peng,HU Wentang,et al. Analysis of impacts of electric vehicle charger on power grid harmonic[J]. Electric Power,2008,41(9):31-36.
- [2] 李娜,黄梅. 不同类型电动汽车充电机接入后电力系统的谐波分析[J]. 电网技术,2011,35(1):170-174.
LI Na,HUANG Mei. Analysis on harmonics caused by connecting different types of electric vehicle chargers with power network[J]. Power System Technology,2011,35(1):170-174.
- [3] 张谦,韩维健,俞集辉,等. 电动汽车充电站仿真模型及其对电网谐波影响[J]. 电工技术学报,2012,27(2):159-164.
ZHANG Qian,HAN Weijian,YU Jihui,et al. Simulation model of electric vehicle charging station and the harmonic analysis on power grid[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012,27(2):159-164.
- [4] LI Jun,MURPHY E,WINNICK J,et al. The effects of pulse charging on cycling characteristics of commercial lithium-ion batteries[J]. Journal of Power Sources,2001,102(1):302-309.
- [5] PURUSHOTHAMAN B K,LANDAU U. Rapid charging of lithium-ion batteries using pulsed currents a theoretical analysis[J]. Journal of The Electrochemical Society,2006,153(3):A533-A542.
- [6] PURUSHOTHAMAN B K,MORRISON P W,LANDAU U. Reducing mass-transport limitations by application of special pulsed current modes[J]. Journal of The Electrochemical Society,2005, 152(4):J33-J39.
- [7] 孙强,方波,张维娜. 移相全桥 PWM 开关电源控制器设计与仿真研究[J]. 西安理工大学学报,2006,22(3):257-261.
SUN Qiang,FANG Bo,ZHANG Weina. Design and simulation research of controller of FB-PS-PWM switching power supply[J]. Journal of Xi'an University of Technology,2006,22(3):257-261.
- [8] 胡红林,李春华,邵波. 移相全桥零电压 PWM 软开关电路的研究[J]. 电力电子技术,2009,43(1):12-14.
HU Honglin,LI Chunhua,SHAO Bo. Research on phase-shifted full-bridge ZVS converters[J]. Power Electronics,2009,43(1): 12-14.
- [9] 侯彦方. 配电变压器采用 Dyn11 联结组的优势分析[J]. 电气应用,2008,27(6):50-52.
HOU Yanfang. Analysis of the surperiority of distribution transformern Dyn11 wiring[J]. Electrotechnical Application,2008,27 (6):50-52.
- [10] 罗亚桥,胡翀. 谐波对电能计量的影响分析[J]. 电力自动化设备,2009,29(5):130-132.
LUO Yaqiao,HU Chong. Influence of harmonics on power energy measurement[J]. Electric Power Automation Equipment, 2009,29(5):130-132.

- [11] 申邵东,魏星. 谐波对有功电能计量影响的仿真研究[J]. 电力自动化设备,2008,28(2):54-57.
SHEN Shao dong,WEI Xing. Influence of harmonics on electric energy measurement[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008,28(2):54-57.
- [12] 孙媛媛,王小宇,尹志明. 三相整流装置谐波产生机理分析及简化模型[J]. 电力系统自动化,2012,36(7):51-56.
SUN Yuanyuan,WANG Xiaoyu,YIN Zhiming. Harmonic characteristics of AC/DC converters and their simplified models[J]. Automation of Electric Power Systems,2012,36(7):51-56.
- [13] 李红伟,李在玉. FFT 分析电力系统谐波的加窗插值算法[J]. 电工技术杂志,2005(10):61-64.
LI Hongwei,LI Zaiyu. FFT algorithm based on cosin-window and interpolation for harmonic analysis in power system [J]. Electrotechnical Journal,2005(10):61-64.
- [14] 黄方能,黄成军,陈陈,等. 高精度插值 FFT 谐波分析[J]. 电力自动化设备,2007,27(9):40-43.
HUANG Fangneng,HUANG Chengjun,CHEN Chen,et al. Improved high precision interpolating FFT for harmonic analysis [J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(9):40-43.
- [15] 孙同明,许珉,杨育霞. 应用三次样条函数快速计算插值 FFT 算法[J]. 电力自动化设备,2007,27(6):60-62.

SUN Tongming,XU Min,YANG Yuxia. Fast calculation of interpolated FFT algorithm using spline function[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(6):60-62.

- [16] 陈志国,陈隆道,蔡忠法. 基于 Nuttall 窗插值 FFT 的谐波分析方法[J]. 电力自动化设备,2007,27(4):27-31.
CHEN Zhiguo,CHEN Longdao,CAI Zhongfa. Harmonic analysis based on Nuttall window interpolate FFT [J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(4):27-31.

作者简介:



朱学贵

朱学贵(1975—),男,四川巴中人,讲师,博士,从事电能计量、电力电子与电磁探测方面的研究(E-mail:bjzhuxg@163.com);

覃 阳(1990—),男,重庆人,硕士研究生,主要研究方向为电能质量分析与电能计量(E-mail:qinxuan726@126.com);

苏向丰(1959—),男,吉林公主岭人,高级工程师,主要研究方向为电力电子技术;

付志红(1966—),男,重庆人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为电能质量分析与电能计量、电力电子、电磁探测技术。

Impact of electric vehicle charger on electric energy metering

ZHU Xuegui¹,QIN Yang¹,SU Xiangfeng¹,ZHENG Ke²,FU Zhihong¹

(1. State Key Laboratory of Power Transmission Equipment & System Security and New Technology, Chongqing University,Chongqing 400044,China;

2. Chongqing Electric Power Research Institute,Chongqing 401123,China)

Abstract: An EV(Electric Vehicle) charger model including line impedance and distribution transformer is built,and its impact on the electric energy metering is simulated and analyzed for both DC large-power charging and pulse charging modes. Results show that,during the constant-current charging,EV charger injects harmonic power into power grid,which increases along with the increase of charging power and line impedance,but causes limited impact on the electric energy metering because the ratio of harmonic power to fundamental power is only 0.012%;during the varying-power charging,the injected harmonic power is similar to that during the constant-current charging;during the pulse charging,the injected harmonic power is strongly affected by the frequency,when the frequency is high,the injected harmonic power contains more even-order harmonics and inter-harmonics,which causes the error of electric energy measured by the integral algorithm is larger than 0.5%.

Key words: electric vehicles; charger; charging; metering; harmonic power; harmonic analysis; nonlinear load