

电动汽车充电站入网谐波分析

赵伟¹,姜飞²,涂春鸣²,肖勇¹,孟金岭¹,肖凡²

(1. 广东电网公司电力科学研究院,广东 广州 510080;

2. 湖南大学 电气与信息工程学院,湖南 长沙 410082)

摘要: 为了研究电动汽车充电站产生的谐波电流对电网的影响,建立了单台三相不可控整流充电机模型,分析了多台充电机的谐波特征。分析结果表明,谐波治理装置对电动汽车充电站产生的 25 次及以上的谐波的治理效果并不明显,这些谐波电流流入电网后会产生谐波放大现象。因此,通过建立配电网谐波潮流模型和输电线路谐波阻抗精确模型,给出谐波电流放大倍数计算公式。利用理论分析结果和谐波电流放大倍数计算公式,分析电动汽车充电站对系统各节点的电流和电压的影响。对 IEEE 14 节点系统进行算例分析,结果表明:节点与谐波源的电气距离越近,节点电压变化越大;电动汽车充电机产生的高次谐波流入电网后,存在明显的放大现象,应予以重视。

关键词: 电动汽车; 充电站; 谐波电流; 谐波电压; 谐波分析; 模型

中图分类号: TM 71;U 469.72

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.11.010

0 引言

由于传统汽车尾气排放及石油危机等原因,各国对电动汽车的开发、普及势在必行^[1-3]。然而,为满足电动汽车电池充电需求而投入的电动汽车充电站中的充电机,其工作时会产生大量的谐波,导致谐波污染^[4]。分析电动汽车充电过程对配电网的影响已成为许多电力科研者关注的焦点。

采用电力电子技术的大功率充电机是一种高密度非线性用电设备,大量充电机(站)的投入将对电网提供的优质电能质量造成不利影响。而与普通谐波源相比,由于受充电站内充电机运行台数及不同电动汽车充电模式(慢速充电模式和快速充电模式)

不断变化的影响^[5],充电站谐波输出特征更加复杂,且当城区内电动汽车充电站大量建设后,宽频域新类型谐波特征更加凸显,系统中高频谐波含量将不断升高^[6-7]。

目前,针对电动汽车充电站的谐波研究主要集中在谐波抑制方法^[8-11],已有研究表明,获取谐波对电网影响最直接有效的方法是进行电网谐波潮流计算^[12-15]。此外,也可采用统计学知识^[16]或建模理论^[17]分析两者关系,例如文献^[11]通过建立三相桥式不可控整流充电机、12 脉波整流充电机、脉冲宽度调制(PWM)整流充电机的仿真模型,对其数据进行了详细的分析。文献^[18]系统地总结了电动汽车充电应考虑的主要因素,并分析了电动汽车有序充电及与电网互动的研究现状和应用难点。同时,研究普遍认为配备谐波治理装置的电动汽车充电站对电网的影响应满足 GB/T14549—1993《电能质量公用电网谐波》的要求^[19]。但是,在进行谐波潮流计算过程中,

收稿日期:2013-12-17;修回日期:2014-09-22

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)项目(2012AA05-0211)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2012AA05-0211)

Impact of battery swap station using V2G technology on fault characteristics of medium voltage distribution network

ZHANG Yingda, LIU Nian, ZHANG Jianhua

(State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System with Renewable Energy Sources, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Discharging from BSS(Battery Swap Station) to power grid is an important operating mode of V2G (Vehicle to Grid), which may bring negative influence on the protections of medium voltage distribution network. The topology and detailed control model of the charging/discharging device in BSS are given, based on which, a simulation model of 10 kV distribution network with BSS is built on PSCAD/EMTDC. Simulative results show that, the electrical characteristics of BSS are quite different under different fault characteristics of power grid and the change of BSS operating state makes strong impact on the fault characteristics of distribution network.

Key words: battery swap station; electric vehicles; V2G; electric power distribution; fault characteristics

考虑输电线路分布电容及变压器杂散电容的影响,谐波电流可能产生谐振放大现象。为避免此类情况发生,需对电动汽车充电站注入配电网的谐波电流大小进行严格监测与控制。可见,结合输电线路分布电容,深入分析电动汽车充电站谐波特点,明晰其对配电网各节点电压、电流的影响十分必要。

针对以上问题,本文建立了三相不可控整流充电电机模型,分析了多组充电电机谐波特征,并依据电力网络知识,针对电动汽车充电站中充电电机所产生的谐波问题,结合线路的分布参数特性,利用双曲函数表示 π 型等值电路,定量描述了电动汽车充电站谐波注入对配电网电压、电流的影响。最后,以 IEEE 14 节点系统为例,验证了所提方法的科学性和有效性。

1 电动汽车充电站谐波分析

1.1 单台三相不可控整流充电电机模型

电动汽车充电电机是一种非线性设备,工作时产生的谐波电流很高。目前,使用最多的是由三相不可控整流电路与 DC/DC 功率变换器构成的充电电机,其具有成本低、谐波含量高等特点^[11],典型结构见图 1。其工作原理是三相不可控整流电路对三相交流电进行整流,经由电阻 R_f 、电感 L_f 和电容 C_f 组成的滤波电路后为高频 DC/DC 功率变换电路提供直流输入,经输出滤波电路后为电动汽车蓄电池提供电源^[5]。

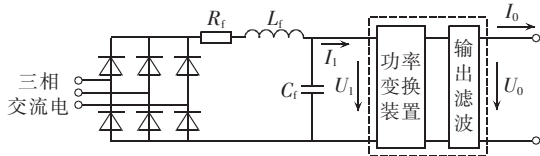


图 1 高频充电电机结构图

Fig.1 Structure of high-frequency charger

虽然动力电池的充电过程很长,但在一个微元 ds 中可以认为充电机的输出电流 I_0 和输出电压 U_0 是恒定的,即可用 1 个电阻 R 来近似模拟高频功率变换电路的等效输入阻抗^[11,20]。

$$R = U_1 / I_1 = U_1^2 / P_1 = \eta U_1^2 / P_0 = \eta U_1^2 / (U_0 I_0) \quad (1)$$

其中, U_1 、 I_1 和 P_1 分别为高频功率变换电路的输入电压、电流和功率; U_0 、 I_0 和 P_0 分别为高频功率变换电路的输出电压、电流和功率; η 为功率变换模块效率。本文所取研究对象为充电过程中某一时刻,即直流侧电压 U_1 为 514.8 V、充电机电流 I_1 为 17 A、等效输入电阻 R 为 32.63 Ω 。

图 2 为单台不可控整流充电电机交流侧电流波形,谐波电流畸变率达到了 54.55%,奇次谐波电流较大,其中,5 次谐波电流达到了 8.17 A,7 次谐波电流达到了 4.44 A,11 次谐波电流为 1.4 A,13 次谐波电流为 1.15 A。可见,不可控充电电机将产生较大的谐波电流,需进行治理。

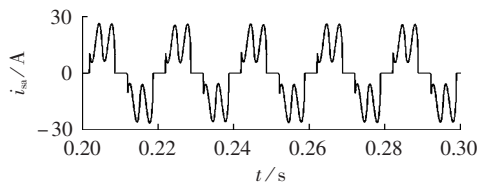


图 2 单台三相不可控整流充电电机交流侧电流波形
Fig.2 AC-side current waveform of uncontrollable three-phase rectifier charger

1.2 多台充电电机谐波特征分析

现行的 6 脉冲不可控整流充电电机产生的谐波次数主要为 $6k \pm 1$ ($k=1, 2, 3, \dots$), 电网侧谐波总畸变率约为 30%^[8]。电动汽车充电站内往往含有多台充电桩,因此对于多台充电电机的谐波特性研究十分必要。含有多台充电电机及有源电力滤波器(APF)的充电站与电网连接示意图如图 3 所示。

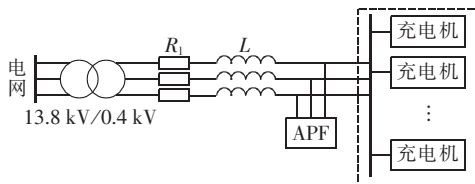


图 3 电动汽车充电站与电网连接示意图
Fig.3 Schematic diagram of EV charging station connecting with power grid

当多台充电电机同时工作时,配电网输入充电站的总电流为多台充电电机输出总电流之和。由于各充电电机在不同时刻工况不同,因此产生的谐波电流交互影响,或叠加或抵消。6 台不可控整流充电电机进行谐波治理前后的谐波电流大小如表 1 所示。由表 1 可知:谐波治理前,6 台充电电机并入电网后的电流畸变率为 42.74%(低于单台充电电机并入电网后的电流畸变率),其中,5 次谐波电流达到了 38.88 A,7 次谐波电流达到了 18.015 A,11 次谐波电流为 8.649 A,13 次谐波电流为 4.961 A;谐波治理后,各次谐波电流明显降低,谐波总畸变率为 4.835%,符合电网谐波治理标准。但是,治理装置对不可控整流充电电机产生的部分 25 次以上的高次谐波治理效果并不明显(由于治理装置接入的影响,其中部分高次谐波反而会增大)。若这部分谐波流入电网,与电网相互作用后可能出现新的特征,下文将进一步研究。

2 电网谐波潮流计算

由以上分析可知,电动汽车充电站多组充电电机整流模块产生的谐波电流虽经变压器降压流入系统,但研究发现系统流动的谐波电流受线路分布电容影响后,可能引起放大现象。因此,对 1.2 节所述注入系统的高次谐波进行分析,有助于进一步了解电动汽车充电站接入电网后对系统各节点电压、电流处的精确描述。

表 1 谐波治理前后,6 台三相不可控整流充电机的谐波电流

Table 1 Harmonic currents before and after harmonic suppression for six uncontrollable three-phase rectifier chargers

谐波次数	谐波电流/A		谐波次数	谐波电流/A	
	治理前	治理后		治理前	治理后
基波	104.402	110.858	51	0.003	0.027
3	0.139	0.084	53	0.462	0.488
5	38.888	1.495	55	0.463	0.473
7	18.015	2.010	57	0.003	0.033
9	0.007	0.045	59	0.350	0.437
11	8.649	0.526	61	0.350	0.474
13	4.961	0.576	63	0.002	0.036
15	0.006	0.032	65	0.284	0.447
17	4.507	0.562	67	0.275	0.403
19	2.861	0.543	69	0.001	0.018
21	0.006	0.027	71	0.245	0.352
23	2.805	0.544	73	0.229	0.436
25	2.002	0.520	75	0.002	0.061
27	0.005	0.058	77	0.220	0.364
29	1.874	0.556	79	0.201	0.423
31	1.478	0.483	81	0.002	0.052
33	0.005	0.055	83	0.198	0.355
35	1.292	0.490	85	0.182	0.413
37	1.108	0.507	87	0.001	0.026
39	0.004	0.042	89	0.176	0.346
41	0.904	0.542	91	0.165	0.371
43	0.831	0.499	93	0.001	0.055
45	0.004	0.528	95	0.154	0.306
47	0.639	0.493	97	0.148	0.366
49	0.620	0.489	99	0.001	0.035

2.1 配电网谐波潮流模型

在谐波潮流计算中,谐波电压是由谐波源的该次谐波电流和其他节点上的谐波源的该次谐波电流共同作用于系统的谐波阻抗所产生。系统导纳矩阵中线路、发电机、变压器等谐波阻抗详见文献[21],则第 n 次谐波电流为:

$$I_n = Y_n U_n \tag{2}$$

其中, I_n 为节点注入的第 n 次谐波电流; U_n 为节点谐波电压; Y_n 为系统导纳矩阵。已知各谐波电源向系统注入的各次谐波电流,可根据式(2)求得节点电压 U_n 。节点电压 U_n 说明了谐波源节点注入电流所造成的系统节点的谐波电压大小,即产生的对系统其他节点电压的负面影响。

2.2 输电线路谐波阻抗模型

输电线路是具有均匀分布参数的元件,在潮流计算中,通常以集中参数 π 型等值电路来表示,如图 4 所示。在基波潮流计算时,等值电路参数为分布参数的简单集中。在高次谐波作用下,输电线路的分

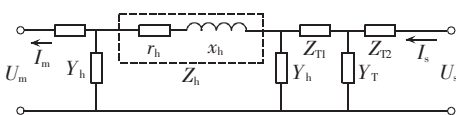


图 4 输电线路谐波阻抗模型

Fig.4 Harmonic impedance model of transmission line

布参数特性影响更显著,在计算中采用双曲函数表示 π 型等值电路。参数计算可表示为^[22]:

$$Z_n = Z_{xn} \sinh(\gamma_n l) \tag{3}$$

$$\frac{Y_{ln}}{2} = \frac{\cosh(\gamma_n l) - 1}{Z_{xn} \sinh(\gamma_n l)} \tag{4}$$

$$Z_{xn} = \sqrt{Z_{0n} / Y_{0n}} \tag{5}$$

$$\gamma_n = \sqrt{Z_{0n} Y_{0n}} \tag{6}$$

其中, Z_{xn} 和 γ_n 分别为 n 次谐波下线路波阻抗和传播常数; Z_n 、 Y_{ln} 分别为 π 型线路等效模型的串联元件阻抗、并联元件导纳; Z_{0n} 和 Y_{0n} 分别为 n 次谐波下输电线路的单位长度阻抗和导纳。

由图 4 可知,已知线路首端电流 I_s 、电压 U_s ,线路采用精确模型可求得线路末端电流 I_m 、电压 U_m 。定义电动汽车充电站注入电网电流经过一段线路后,线路末端电流与首端电流的比值为某次谐波电流的放大倍数 k ,根据图 4 可得:

$$k = \frac{I_m}{I_s} = \frac{1}{(Z_h Y_h + 1)(Z_s Y_h + 1)(Z_{T1} Y_T + 1)} \tag{7}$$

其中, Z_h 为输电线路第 n 次谐波阻抗; Y_h 为输电线路对地导纳; Z_s 为系统阻抗; Z_{T1} 、 Z_{T2} 、 Y_T 分别为变压器一次阻抗、二次阻抗、励磁导纳。当考虑线路精确模型时,能够更加准确地说明电动汽车充电站产生的谐波电流对电网节点电压、线路电流的影响。

3 计算步骤

由以上分析可知,分析电动汽车充电站流入系统的谐波对电网影响的具体实施步骤如下:

- a. 进行初始化,建立含常规 APF 治理装置的电动汽车充电站模型;
- b. 计算各系统各节点基波电压值 U_1 ;
- c. 建立系统谐波导纳矩阵;
- d. 利用式(2)计算电动汽车充电站流入系统的谐波电流所产生的各节点谐波电压值;
- e. 获取线路谐波阻抗模型,求得谐波电流的放大倍数;
- f. 分析谐波源节点对系统各节点及输电线路电压、电流的影响情况。

4 算例分析

以 IEEE 14 节点系统为例说明电动汽车充电站所引起的各节点电压及谐波电流幅值变动情况。该系统由区域 1(13.8 kV)和区域 2(69 kV)构成,如图 5 所示。假设:只存在 1 个谐波源,该谐波源位于节点 13,节点 13 通过 Dyn 降压变压器连接节点 15(即电动汽车充电站节点);电动汽车充电站连接有 6 组不可控整流充电机。

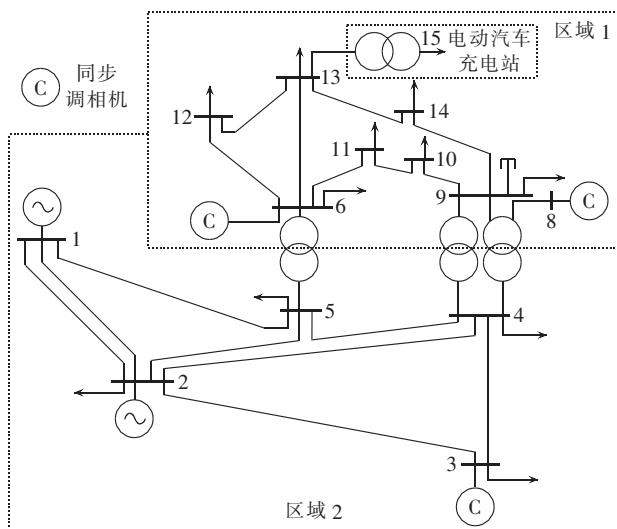


图 5 IEEE 14 节点系统

Fig.5 IEEE 14-bus system

4.1 充电机对系统各节点电压的影响

6 组 6 脉冲不可控整流充电机产生的谐波电流注入系统后,所引起的各节点谐波电压如表 2 所示。由表 2 可见,谐波电流注入节点 13 引起的基波电压有效值变化最为明显,达到了 1.3123 kV,节点 13 的谐波电压有效值同样达到了最大值 0.0428 kV;与节点 13 连接越紧密的节点,谐波电流引起的基波电压、谐波电压有效值变化越明显。此外,区域 1 和区域 2 所受到的影响显著不同,前者较为明显。

表 2 系统各节点电压有效值变化情况

Table 2 Variation of virtual values for different node voltages

节点	电压有效值变化/kV	
	基波电压	谐波电压
1	0.0055	0.00018
2	0.0051	0.00016
3	0.0062	0.00021
4	0.0303	0.00099
5	0.0171	0.00056
6	0.6536	0.02130
7	0.0101	0.00032
8	0.0058	0.00019
9	0.0017	0.00006
10	0.1121	0.00370
11	0.3760	0.01230
12	0.9320	0.03040
13	1.3123	0.04280
14	0.5409	0.01760

图 6 为各节点各次谐波电压有效值的变化情况。电动汽车谐波电流引起的各节点谐波电压有效值变化相对较为明显的为节点 6、10、11、12、13、14,其中节点 12、13、14 最为显著。由图 7 可见,基波电流引起的各节点电压有效值变化所呈现的特征与谐波电压有效值相同,其中节点 12、13、14 最为显著。分析系统 IEEE 14 节点系统可知,由于电动汽车充电站

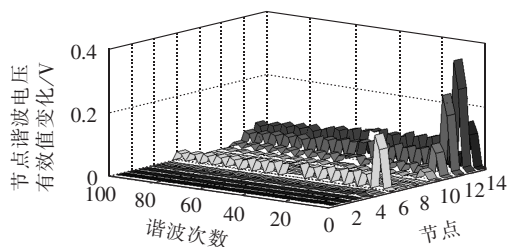
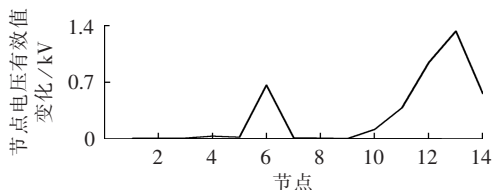
图 6 谐波电流引起的各节点谐波电压有效值变化
Fig.6 Variation of virtual value for different node voltages, induced by harmonic currents

图 7 基波电流引起的系统各节点电压有效值变化情况

Fig.7 Variation of virtual value for different node voltages, induced by fundamental current

接在节点 13,在同一电压等级下,与节点 13 连接电气距离越近,则所引起的电压变化有效值越明显。而在区域 2,电压有效值几乎未发生变化。可以得出,系统中接入谐波电源后,与谐波源电气距离最近的节点电压有效值所受冲击最大。

4.2 充电机对系统支路谐波电流放大倍数影响

取系统中一条 13.8 kV 输电线路为例进行分析。设该线路长度为 20 km,单位长度电阻为 0.46 Ω ,单位长度电抗为 0.413 Ω ,单位长度电纳为 2.85×10^{-6} S,电导忽略不计,利用式(3)、(4)和(7),结合 1.2 节计算结果,可求得电动汽车充电站注入系统谐波电流经输电线路后的放大值及放大倍数,如图 8 所示。由图 8 可见,虽然电动汽车充电站中不可控整流充电机所产生的谐波电流经常规 APF 治理后,能够满足国标中规定的注入公共连接点谐波允许值要求,并达到较好的治理效果(如表 1 所示,总畸变率为 4.835%)^[18]。但是,当考虑线路分布电容影响后,在线路末端谐波电流明显放大,放大倍数如表 3 所示,其总畸变率为 18.22%,已不符合治理要求。由表 3 可见,55~75 次谐波存在明显放大情况,其中 71、73 次谐波的放大倍数分别达到了 31.633 和 40.237,较大

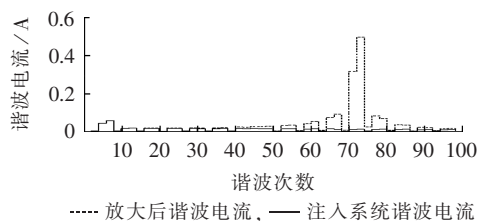


图 8 电动汽车充电站的谐波电流注入系统前后的对比

Fig.8 Harmonic currents of EV charging station, before and after flowing into power grid

表 3 考虑线路分布电容影响的谐波电流值及谐波放大倍数
Table 3 Harmonic current and magnification considering distributed capacitance of line

谐波次数	放大后谐波电流/A	放大倍数	谐波次数	放大后谐波电流/A	放大倍数
3	0.0024	1.0025	53	0.0329	2.3257
5	0.0436	1.0067	55	0.0352	2.5650
7	0.0590	1.0127	57	0.0027	2.8686
9	0.0013	1.0206	59	0.0414	3.2657
11	0.0157	1.0303	61	0.0523	3.8060
13	0.0174	1.0421	63	0.0048	4.5831
15	0.0010	1.0560	65	0.0751	5.7935
17	0.0175	1.0722	67	0.0927	7.9337
19	0.0172	1.0907	69	0.0066	12.7110
21	0.0009	1.1117	71	0.3228	31.6330
23	0.0179	1.1356	73	0.5085	40.2370
25	0.0175	1.1626	75	0.0242	13.6770
27	0.0020	1.1930	77	0.0848	8.0361
29	0.0198	1.2271	79	0.0693	5.6489
31	0.0177	1.2656	81	0.0065	4.3352
33	0.0021	1.3090	83	0.0361	3.5050
35	0.0193	1.3580	85	0.0351	2.9333
37	0.0208	1.4135	87	0.0019	2.5159
39	0.0018	1.4767	89	0.0220	2.1980
41	0.0243	1.5489	91	0.0209	1.9480
43	0.0236	1.6319	93	0.0028	1.7462
45	0.0264	1.7281	95	0.0140	1.5800
47	0.0263	1.8406	97	0.0153	1.4408
49	0.0280	1.9735	99	0.0013	1.3226
51	0.0017	2.1325			

的谐波电流在配电网中流动,再次经过多条线路后,可能对用户设备造成严重影响。为避免不良影响发生,需重点考虑特定次谐波或高次谐波的治理。

5 结论

本文研究了多组不可控整流充电机谐波大小,提出多台不可控整流充电机高次谐波监测和治理问题,并指出在考虑输电线路精确模型时,流入配电网系统的电动汽车充电站高次谐波存在谐波放大现象,给出了并网谐波电压转移程度描述方法。研究成果可为系统电流、电压准确监测提供理论基础,同时对于谐波源并网准入政策提供参考。

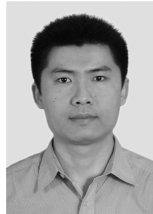
参考文献:

- [1] 胡泽春,宋永华,徐智威,等. 电动汽车接入电网的影响与利用[J]. 中国电机工程学报,2012,32(4):1-10.
HU Zechun,SONG Yonghua,XU Zhiwei,et al. Impacts and utilization of electric vehicles integration into power system[J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(4):1-10.
- [2] 苗铁群,江全元,曹一家. 考虑电动汽车及换电站的微网随机调度研究[J]. 电力自动化设备,2012,32(9):18-24,39.
MIAO Yiqun,JIANG Quanyuan,CAO Yijia. Microgrid stochastic dispatch considering electric vehicles and battery swap stations[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(9):18-24,39.
- [3] SONG Yonghua,YANG Xia,LU Zongxiang. Integration of plug-in

- hybrid and electric vehicles:experience from China[C]//IEEE Power and Energy Society General Meeting. Minneapolis,Minnesota, USA:IEEE,2010:1-6.
- [4] 高赐威,张亮. 电动汽车充电站对电网影响的综述[J]. 电网技术,2011,35(2):128-131.
GAO Ciwei,ZHANG Liang. A survey of influence of electric vehicle charging on power grid[J]. Power System Technology,2011,35(2):128-131.
- [5] 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.
- [6] BAI S Z,LUKIC S M. Unified active filter and energy storage system for an MW electric vehicle charging station[J]. IEEE Transactions on Power Electronics,2013,28(12):5793-5803.
- [7] MOSES P S,MASOUM M A S,SMEDLEY K M. Harmonic losses and stresses of nonlinear three-phase distribution transformers serving plug-in electric vehicle charging stations[C]//IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT). Anaheim,CA,USA:IEEE,2011:1-6.
- [8] 陈新琪,李鹏,胡文堂,等. 电动汽车充电站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.
- [9] 杜学龙,刘志珍,王建,等. 电动汽车充电站谐波抑制方法对比分析[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(19):139-143,149.
DU Xuelong,LIU Zhizhen,WANG Jian,et al. Comparison and analysis on harmonic suppression of EV charging station[J]. Power System Protection and Control,2012,40(19):139-143,149.
- [10] 薛飞,雷宪章,张野彪,等. 基于复杂网络的电动汽车智能充换服务网络评估方法[J]. 电网技术,2012,36(9):20-24.
XUE Fei,LEI Xianzhang,ZHANG Yebiao,et al. A complex network-based method to evaluate smart charging and swapping network for electric vehicles[J]. Power System Technology,2012,36(9):20-24.
- [11] 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.
- [12] 崔威,李建华,赵娟. 供电网络谐波潮流计算[J]. 电力自动化设备,2003,23(2):11-14.
CUI Wei,LI Jianhua,ZHAO Juan. Harmonic flow calculation in power supply system[J]. Electric Power Automation Equipment,2003,23(2):11-14.
- [13] 郑伟杰,孙媛媛,徐文元. 应用非线性元件耦合矩阵模型的谐波潮流算法[J]. 中国电机工程学报,2008,28(10):117-122.
ZHENG Weijie,SUN Yuanyuan,XU Wenyuan. Harmonic power flow calculation using linearly coupled admittance matrix model for nonlinear elements[J]. Proceedings of the CSEE,2008,28(10):117-122.
- [14] 胡海涛,何正友,王江峰. 考虑谐波功率修正的地铁交直流潮流

- 计算方法[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(34): 112-119.
- HU Haitao, HE Zhengyou, WANG Jiangfeng. AC/DC power flow calculation method for metro system considering harmonic power[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(34): 112-119.
- [15] 袁晓东, 张小平, 唐国庆, 等. 基于三相谐波潮流的电能质量仿真决策系统[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(16): 30-34.
- YUAN Xiaodong, ZHANG Xiaoping, TANG Guoqing, et al. Three-phase harmonic power flow based power quality simulation and decision-making system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(16): 30-34.
- [16] 刘鹏, 刘瑞叶, 白雪峰, 等. 基于扩散理论的电动汽车充电负荷模型[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(9): 30-34.
- LIU Peng, LIU Ruiye, BAI Xuefeng, et al. Charging load model based on diffusion theory for electric vehicles [J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(9): 30-34.
- [17] 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.
- [18] 田立亭, 张明霞, 汪奂伶. 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.
- TIAN Liting, ZHANG Mingxia, WANG Huanling. Evaluation and solutions for electric vehicles' impact on the grid[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(31): 43-49.
- [19] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T14549—1993 电能质量公用电网谐波[S]. 北京: 中华人民共和国国家技术监督局, 1993.
- [20] 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): 953-957.
- NIU Liyong, JIANG Jiuchun, ZHANG Weige. A simulation model for analysis of current harmonics generated by charging stations for electric buses [J]. High Technology Letters, 2008, 18(9): 953-957.
- [21] 孙媛媛. 非线性电力电子装置的谐波源模型及其在谐波分析中的应用[D]. 济南: 山东大学, 2009.
- SUN Yuanyuan. Harmonic model for nonlinear power electronic circuits and its application to harmonic analysis [D]. Ji'nan: Shandong University, 2009.
- [22] 陈珩. 电力系统稳态分析[M]. 2版. 北京: 中国电力出版社, 1995: 65-68.

作者简介:



赵伟

赵伟(1981—),男,山东泰安人,博士,主要研究方向电力系统谐波抑制和无功补偿技术与应用、电能质量问题对电能计量的影响;

姜飞(1985—),男,陕西宝鸡人,博士研究生,主要研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用(E-mail: jiang85521@126.com);

涂春鸣(1976—),男,江西南昌人,教授,博士研究生导师,博士,主要研究方向为电力电子技术在电力系统中的应用;

肖勇(1978—),男,山东靖州人,高级工程师,硕士,主要研究方向为电能计量自动化、电能遥测技术;

孟金岭(1986—),男,河南平顶山人,助理工程师,主要研究方向为电力系统谐波抑制和无功补偿技术与应用、电磁计量技术。

Harmonic currents of grid-connected EV charging station

ZHAO Wei¹, JIANG Fei², TU Chunming², XIAO Yong¹, MENG Jinling¹, XIAO Fan²

(1. Electric Power Research Institute of Guangdong Power Grid Corporation, Guangzhou 510080, China;

2. College of Electrical & Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: An uncontrollable three-phase rectifier charger model is built and the harmonic characteristics of various EV chargers are studied for analyzing the influence of harmonic currents produced by EV (Electric Vehicle) charging station on the electric power grid. The analytical results show that, the 25th- and above-order harmonic currents cannot be well suppressed by the harmonic suppression devices and will be enlarged in power grid. A harmonic power flow model of power distribution system and a precise harmonic-impedance model of transmission line are established to deduce the calculating formula of harmonic magnification. The influences of EV charging station on the currents and voltages of different grid nodes are analyzed. The case study for IEEE 14-bus system demonstrates that, the shorter the electrical distance between node and harmonic source is, the greater the node voltage change is; the high-order harmonic currents of EV charging station are obviously enlarged after flowing into power grid.

Key words: electric vehicles; charging station; harmonic current; harmonic voltage; harmonic analysis; models