

电动汽车换电站 V2G 运行对中压配电网故障特征的影响

张颖达, 刘念, 张建华

(华北电力大学 新能源电力系统国家重点实验室, 北京 102206)

摘要: 电动汽车换电站(BSS)向电网放电是实现 V2G 的一种重要方式,该运行方式可能会对中压配电网保护带来负面影响。给出了换电站中充放电机的拓扑结构及其详细的控制模型,在此基础上在 PSCAD/EMTDC 中建立了含换电站的 10 kV 配电网仿真模型。仿真结果表明,换电站电气量特征在不同的配电网故障特征情况下明显不同,换电站运行状态改变对配电网的故障特征有显著影响。

关键词: 换电站; 电动汽车; V2G; 配电; 故障特征

中图分类号: U 469.725; TM 711

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.11.009

0 引言

发展电动汽车被世界各国普遍确立为保障能源安全和转型低碳经济的重要途径,电动汽车换电站 BSS(Battery Swap Station)作为一种重要的集中式充电基础设施而备受关注^[1]。考虑到电网实际运行情况和可再生能源系统对电力系统的影响,BSS 可以应用 V2G 技术作为电网和可再生能源的缓冲:当电网负荷过高时,由 BSS 高价向电网售电;而当电网负荷低时,BSS 存储电网过剩的发电量。应用 V2G 技术的 BSS 不仅可以获得额外的收益,还可以为电网提供辅助服务,如调峰、无功补偿等,增加电网稳定性和可靠性,降低电力系统运营成本^[2-3],但是对保护系统影响较复杂。

目前基于 V2G 的 BSS 对配电网保护影响的文献尚不多见,但是可以借鉴类似的研究,如逆变器型分布式电源对保护系统的影响。文献[4]分析了逆变器型分布式电源的故障特征,并在此基础上分析了仅含逆变器型分布式电源的微网在并网和孤岛运行 2 种模式下的故障特征,但是分布式电源的控制模型不够精确;文献[5]仿真分析了在三相对称系统中,逆变器型分布式电源在 PQ 控制策略和 Vf 控制策略下的故障特征;文献[6]分析了在接地电阻不同、负荷水平不同情况下逆变器型分布式电源的故障特征,并与传统电源的情况进行了对比;文献[7]改进了逆变器型分布式电源的控制策略,并对含多个逆变器型分布式电源低压配电网的故障特征进行

了仿真分析;文献[8-9]基于逆变器型分布式电源的控制策略,对重合器-熔断器配合的馈线自动化的故障特征进行了分析。

BSS 在充电时对配电网故障特征的影响很小,因此本文只介绍接入 10 kV 配电网的 BSS 放电控制策略,仿真分析配电网发生各种类型短路故障时 BSS 的电气量特征,并在此基础上仿真分析基于 V2G 的 BSS 在不同场景下对配电网故障特征的影响,为含 BSS 的配电网保护方案的制定提供一定的依据。

1 BSS 结构及充放电控制策略

1.1 BSS 结构

BSS 主要包括配电系统、充放电系统、电池维护系统、电池更换系统、监控系统等,其中充放电系统由多个电池充电架组成,每个电池充电架由多台充放电电机组成,如图 1 所示。

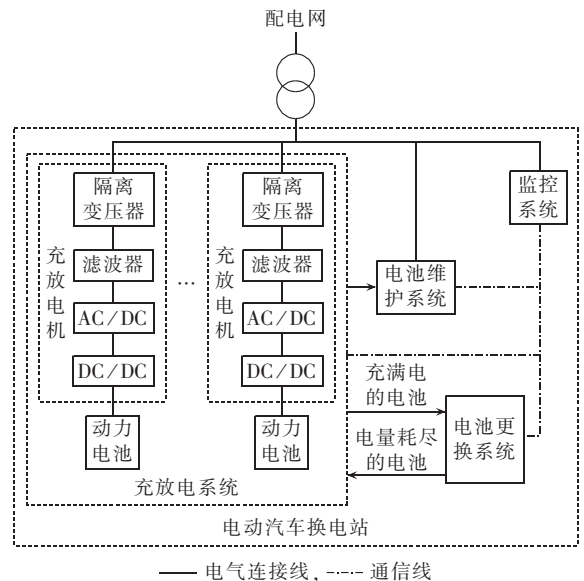


图 1 BSS 结构
Fig.1 Structure of BSS

收稿日期:2013-07-02;修回日期:2014-09-30

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)重大项目(2011-AA11A280);国家自然科学基金资助项目(51277067)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2011AA11-A280) and the National Natural Science Foundation of China (51277067)

1.2 充放电机的结构及其控制策略

根据目前对电动汽车充放电机的研究^[10-11],典型的电动汽车充电机由隔离变压器、滤波器、AC/DC 环节和 DC/DC 环节组成,如图 1 所示。由于充电机在放电时逆变器直流侧电压基本保持恒定,且动力电池按指令提供电能,对交流侧的电气特性影响很小,结合文献^[12-13]的研究,可用一个恒压源代替 DC/DC 环节和动力电池。目前 BSS 并网运行时不允许出现主动孤岛的情况,因此充电机放电时的控制策略主要有 PQ 控制策略^[14-15]和恒流控制策略^[10,13]。相对于恒流放电策略,PQ 控制策略具有更好的控制特性,在削峰填谷等方面具有更好的效果,因此本文主要研究 BSS 采用 PQ 控制策略时对配电网故障特征的影响。基于 LCL 滤波结构的 30 kW 充电机简化后的拓扑结构及其放电控制策略如图 2 所示。

在配电网故障状态下,充电机的端电压下降,电流增大,由于逆变器的过载能力有限,为保护逆变器的正常运行,通常将其输出电流限制在 1.5~2 倍额定电流以内^[16-17],也即图 2 中限流环节的功能。本文将电流限定值设置为 2 倍额定电流,限流原理如图 3 所示。

图 3 中, I_{lim} 为电流的限值,即 2 倍额定电流。首先对输入的 i_{d1}^* 和 i_{q1}^* 分别用 I_{lim} 限幅得到 i_{d2}^* 和 i_{q2}^* ,然后优先保证 i_{q2}^* 不变而限制 i_{d2}^* ,这是因为配电网故障时,逆变器输出的电流增大,导致充电机的隔离变压器和 LCL 滤波器吸收的无功增加,必然会使 i_{q2}^* 增大,促使逆变器发出一定的无功。若限制 i_{q2}^* ,逆变

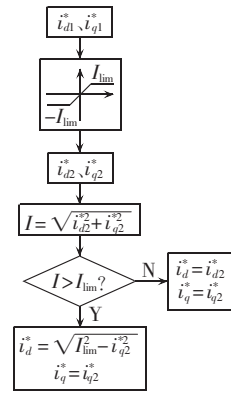


图 3 充电机限流原理

Fig.3 Current limiting principle of charging/discharging device

器发出的无功必然减少,充电机将从电网吸收大量的无功,可能导致配电网稳定性降低。

2 故障时 BSS 电气量特征分析

本文采用电力系统仿真软件 PSCAD/EMTDC 对 10 kV 配电网故障时 BSS 的电气量特征进行仿真分析。10 kV 配电网线路结构如图 4 所示,110 kV/10 kV 变压器容量为 31.5 MV·A;所有线路均为架空线路,线路参数为 $r_1=0.27 \Omega/\text{km}$, $x_1=0.347 \Omega/\text{km}$,其中 AB、BC、DE 的长度为 2 km,CD、AF 的长度为 4 km,FG 的长度为 3 km;在每个节点接入 $(3+j1.5)\text{MV}\cdot\text{A}$ 的负荷;节点 C 接入额定容量为 600 kW 的 BSS,由 20 台额定容量为 30 kW 的充电机组成,每台充电机放电时均采用图 2 所示的控制策略。

当 BSS 以单位功率因数运行于额定放电状态,

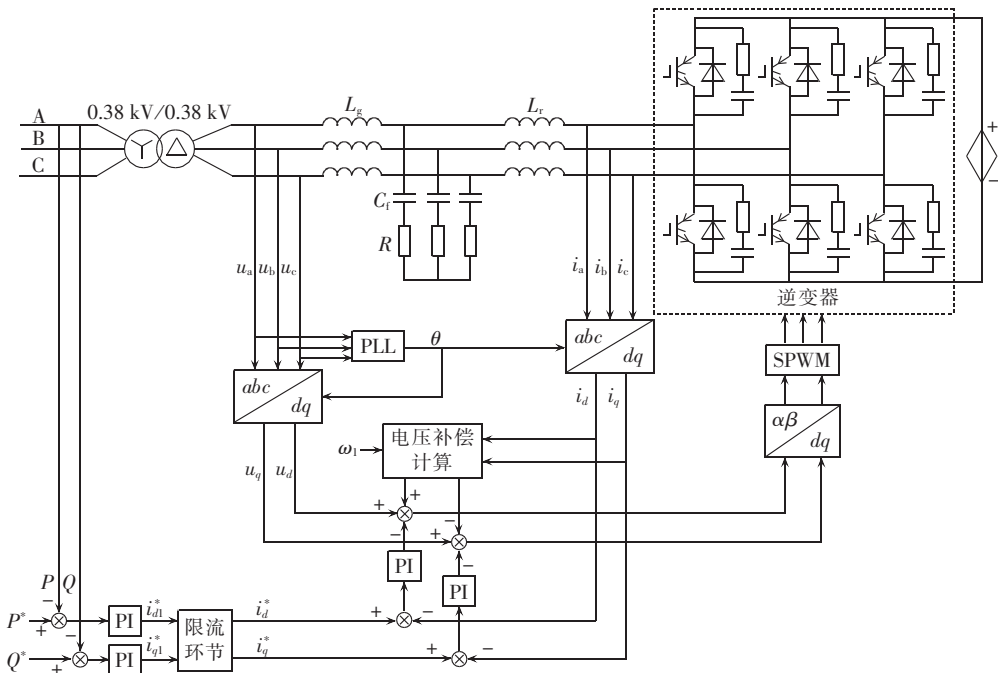


图 2 充电机的拓扑结构及其控制策略

Fig.2 Topology of charging/discharging device and its control strategy

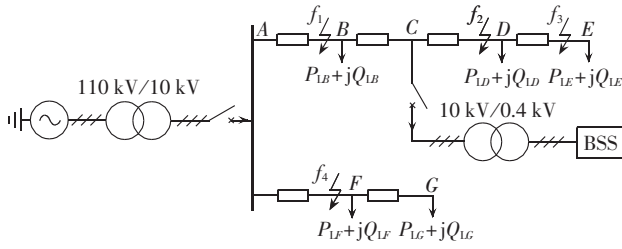
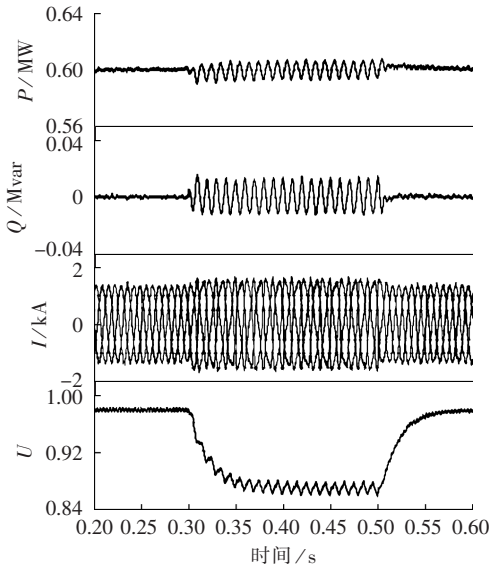


图 4 10 kV 配电网结构

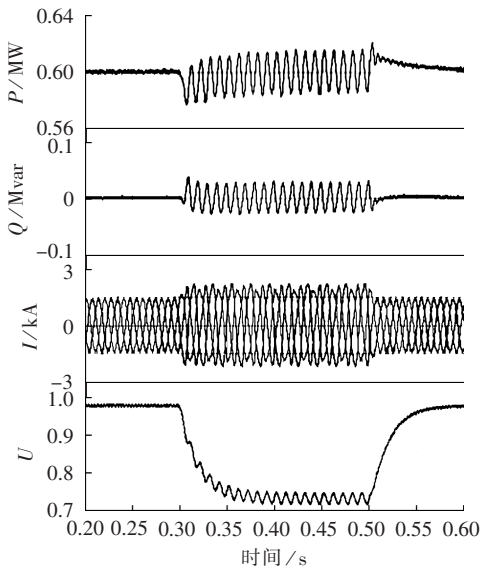
Fig.4 Structure of 10 kV distribution network

即每台充放电机的放电功率指令均为 $P^*=0.03$ MW、 $Q^*=0$ 时,以线路 CD 末端 f_2 处发生单相接地短路、两相接地短路、两相短路和三相短路故障为例,仿真分析 BSS 发出的有功、无功及 0.4 kV 侧电流和并网点电压标幺值。各种类型短路故障均发生于 0.3 s,并在 0.5 s 结束,仿真结果如图 5 所示。

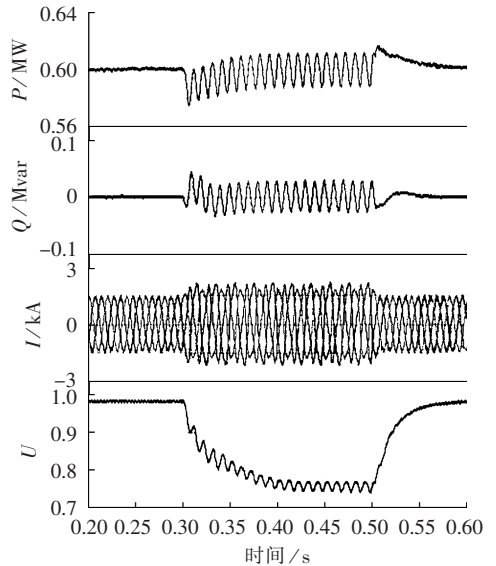
由仿真结果可知,在发生单相短路、两相短路和两相接地短路时,随着 BSS 端电压的降低输出电流



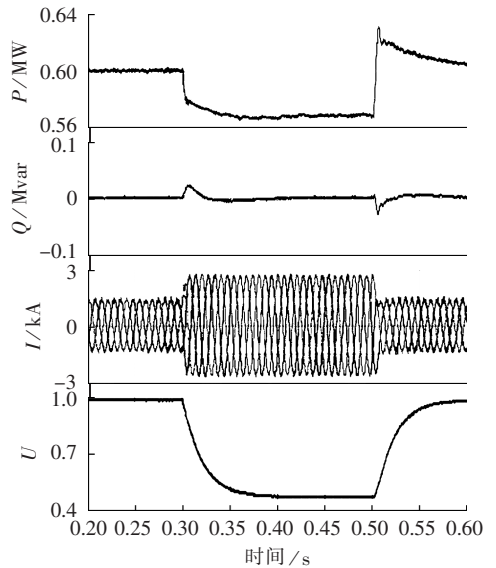
(a) 单相接地短路



(b) 两相接地短路



(c) 两相短路



(d) 三相短路

图 5 线路 CD 末端发生各种短路故障时 BSS 发出的有功、无功、电流和并网点电压标幺值

Fig.5 Active power,reactive power,current and voltage p.u. of BSS when different short circuit faults occur at end of line CD

会增大,从而保持 BSS 输出的有功功率和无功功率基本不变。而在这三种短路故障中,单相接地短路时端电压最高,两相接地短路时端电压最低,因此 BSS 在单相短路时提供的短路电流最小,在两相接地短路时提供的短路电流最大,但均小于 2 倍额定电流;而发生三相短路时,BSS 端电压过低,输出电流已达到 2 倍额定电流,BSS 不再按照恒功率输出,根据图 2 的限流原理,BSS 输出的无功功率保持不变,而有功功率随端电压的进一步降低而降低。

配电网中故障点位置不同时 BSS 的电气量特征也不同。以图 4 所示配电网中线路 DE 末端 f_3 处于 0.3~0.5 s 发生三相短路故障为例,对 BSS 的电气量

特征进行仿真,仿真结果如图 6 所示。

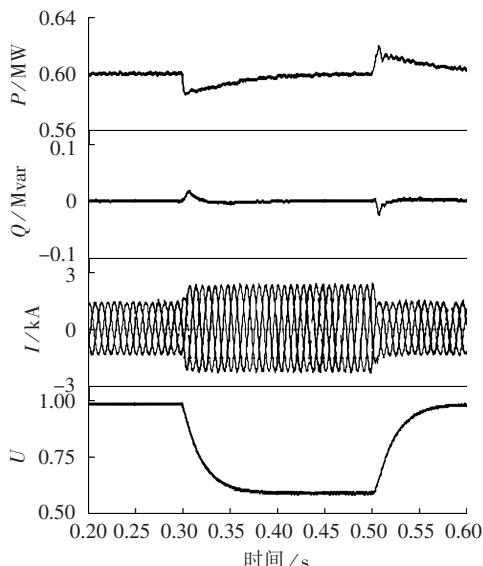


图 6 线路 DE 末端发生三相短路故障时 BSS 发出的有功、无功、电流和并网点电压标么值

Fig.6 Active power,reactive power,current and voltage p.u. of BSS when three-phase short circuit fault occurs at end of line DE

对比分析图 5(d)与图 6 可知, f_3 处距 BSS 并网点较远,故障时 BSS 电压较高,输出电流未达到 2 倍额定电流, BSS 仍按指令恒功率输出。同理可以分析故障点距 BSS 比 f_2 更近的情况,此时 BSS 电压更低,输出电流限制在 2 倍额定电流,根据图 2 的限流原理,输出的无功功率保持不变而有功功率更低。

3 BSS 对配电网故障特征的影响

3.1 BSS 单位功率因数运行时

当 BSS 以单位功率因数运行时,考虑配电网故障时 BSS 对故障点提供最大短路电流的情况,即每台充放电机电功率指令 $P^*=0.03$ MW, BSS 放电功率为 0.6 MW。

10 kV 配电网的仿真模型如图 4 所示,以系统最严重的故障即三相短路为例,当 BSS 额定容量分别为 0、0.6 MW、1.2 MW 时,若故障点分别在 BSS 上游 AB 末端 f_1 处、下游 CD 末端 f_2 处以及相邻馈线 AF 末端 f_4 处,对配电网故障特征的仿真结果分别见表 1—3。其中 I_{BC} 、 I_{CD} 、 I_{AF} 分别为故障时流过线路 BC、CD、AF 的电流。

由表 1 可知, BSS 上游线路故障时, BSS 会提供反向的短路电流;分析表 2 可知, BSS 下游线路故障

表 1 f_1 处三相短路时配电网故障电流

Table 1 Fault current of distribution network when three-phase short circuit fault occurs at f_1

BSS 容量/MW	I_{BC}/A	BSS 容量/MW	I_{BC}/A
0	0	1.2	131
0.6	65		

表 2 f_2 处三相短路时配电网故障电流

Table 2 Fault current of distribution network when three-phase short circuit fault occurs at f_2

BSS 容量/MW	I_{BC}/A	I_{CD}/A	BSS 容量/MW	I_{BC}/A	I_{CD}/A
0	1529	1529	1.2	1491	1561
0.6	1516	1542			

表 3 f_4 处三相短路时配电网故障电流

Table 3 Fault current of distribution network when three-phase short circuit fault occurs at f_4

BSS 容量/MW	I_{BC}/A	I_{AF}/A	BSS 容量/MW	I_{BC}/A	I_{AF}/A
0	260	2780	1.2	195	2785
0.6	227	2782			

时, BSS 会提供助增电流,并使得 BSS 上游保护测得的故障电流减小;分析表 3 可知,相邻馈线故障时, BSS 会提供反向电流,并使得故障线路的短路电流增大。

由仿真结果还可看出, 0.6 MW 换电站对 10 kV 配电网的故障特征影响不大,原因主要有 3 点: BSS 放电时要考虑逆变器的过流能力,提供的最大电流仅为额定电流的 2 倍; BSS 的容量比较小,提供的电流有限; BSS 提供的故障电流与其运行状态有关,将在 3.2 节中详细介绍。

进一步分析比较表 1—3 中 BSS 额定容量不同时配电网中短路电流的大小可知, BSS 容量对配电网的故障特征有重要影响。当换电站容量增大时,若 BSS 上游线路(如 f_1 处)故障,则故障点短路电流增大;若 BSS 下游线路(如 f_2 处)故障,则故障点短路电流增大,而流过 BSS 上游的短路电流减小;若 BSS 相邻线路(如 f_4 处)故障,则故障点短路电流增大,而流过 BSS 上游的电流减小。如果 BSS 容量继续增大,则 BSS 上游线路故障时, BSS 提供的反向电流可能导致 BC 线路保护误动作; BSS 下游线路故障时, BSS 对下游故障的助增电流可能导致 CD 线路保护的保护区延伸,失去选择性; BSS 相邻线路故障时, BSS 提供的反向电流可能导致 BC 线路上流过反向电流。此时, BSS 对配电网的故障特征影响较大,对配电网保护的影响不容忽视。

如果充放电机电带低压检测功能,则可以在电压大幅度下降后停止向电网放电。IEEE Std.1547 标准规定分布式电源的并网点电压在 0.88~1.1 p.u. 之间时,分布式电源处于正常运行状态^[18],参考该标准,可认为当 BSS 并网点电压小于 0.88 p.u. 时,配电网处于不正常运行状态,需停止放电。假设图 4 中 f_2 处 0.2 s 时发生三相短路,充放电机电停止放电的动作时间为 10 ms, BSS 在 10 kV 侧输出电流如图 7 所示。

根据仿真结果,线路故障后充放电机电若继续放电,则 BSS 向配电网提供的电流为 73 A;若检测到低电压后停止放电,则 BSS 提供的电流为 61 A。结

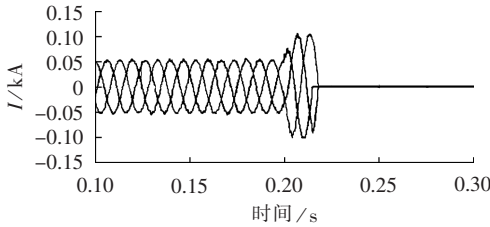


图 7 充放电机具备低电压停止放电功能时 BSS 的输出电流

Fig.7 Output current of BSS when charging/discharge device are equipped with low-voltage discharge prohibition function

合图 7 可知,虽然充放电机在检测到低电压后停止向电网放电,但是在检测低电压和充放电机动作过程中,充放电机仍然会向配电网提供电流,导致故障发生后一小段时间内 BSS 仍然会对配电网的故障特征造成一定影响。

3.2 BSS 提供无功服务时

基于 V2G 的 BSS 可以为电网提供无功服务,假设每台充放电机的有功功率指令 $P^*=0.03$ MW,以线路 CD 和 DE 末端发生三相短路为例,当充放电机的无功指令 Q^* 不同时分别对配电网的故障特征进行仿真,对应的 BSS 发出的无功 Q_{BSS} 、BSS 功率因数 f_2 和 f_3 处故障时的短路电流 I_{f2} 和 I_{f3} 见表 4。

表 4 BSS 提供无功服务时配电网的故障特征
Table 4 Fault characteristics of distribution network when BSS provides reactive power services

Q^*/Mvar	Q_{BSS}/Mvar	功率因数	I_{f2}/A	I_{f3}/A
无 BSS	无	无	1529	1255
0	0	1.000	1542	1267
-0.005	-0.10	0.986	1535	1264
-0.009	-0.18	0.958	1529	1259
-0.012	-0.24	0.928	1523	1255
0.010	0.20	0.949	1554	1274

分析表 4 可知,与 BSS 单位功率因数控制时相比,若 BSS 从配电网吸收无功,则 BSS 提供的故障电流减小,当吸收一定的无功功率时,BSS 对配电网的故障电流没有影响(如 f_2 处故障 BSS 吸收 0.18 Mvar 无功时和 f_3 处故障 BSS 吸收 0.24 Mvar 无功时),且故障点不同时该无功功率也不同,当吸收的无功功率更大时,配电网的故障电流甚至比不接入 BSS 时更小;反之,若 BSS 向配电网发出无功,则 BSS 提供的故障电流增大。

以 BSS 下游某点发生故障为例分析无功对配电网故障特征的影响,等效电路图如图 8 所示。

在接入 BSS 之前,配电网的故障电流 I_f 计算如下:

$$I_f = \frac{U}{Z_{\text{net}} + Z_1 + Z_2 + R} \quad (1)$$

其中, U 为等效电源电压; Z_{net} 为电源到馈线首端,即图 4 中 A 点的等效阻抗; Z_1 为馈线首端到 BSS 并网点之间的线路阻抗; Z_2 为 BSS 并网点到故障点的阻

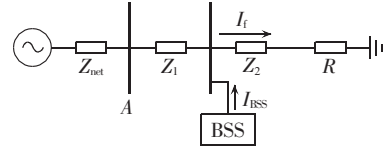


图 8 配电网故障电路等效图
Fig.8 Equivalent circuit diagram of distribution network with fault

抗; R 为故障电阻。

BSS 接入后,可将 BSS 等效为一个电流源,则配电网的故障电流变为:

$$I_{fB} = \frac{U}{Z_{\text{net}} + Z_1 + Z_2 + R} + I_{BSS} \frac{Z_{\text{net}} + Z_1}{Z_{\text{net}} + Z_1 + Z_2 + R} \quad (2)$$

其中, I_{BSS} 为 BSS 输出的电流。

式(2)中等号右边第 2 项的阻抗在特定的故障情况下均是定值,因此可以简化为:

$$I_B = I_{BSS} \frac{Z_{\text{net}} + Z_1}{Z_{\text{net}} + Z_1 + Z_2 + R} = k I_{BSS} \angle \theta_1 \quad (3)$$

其中, k 、 θ_1 均为常数。

因此式(2)可简化为:

$$I_{fB} = I_f + I_B \quad (4)$$

根据图 2 的控制策略与式(3)、(4)可得出图 9 所示的矢量图,其中 I_f 为 BSS 未接入时的故障电流, U_g 为 BSS 接入点配电网电压, U_{BSS} 为 BSS 并网点电压,因此 U_g 与 U_{BSS} 一致, I_f 滞后 U_g 一定角度。BSS 单位功率因数运行时其输出电流 I_{BSS1} 与 U_{BSS} 同相位, I_{BSS1} 经过式(3)后得到 I_{B1} ,根据式(4) I_f 与 I_{B1} 合成了故障电流 I_{fB1} ; BSS 从配电网吸收少量无功时,其输出电流 I_{BSS2} 超前电压一定角度,且该电流与 I_{BSS1} 近似相等,同时由于式(3)中 k 和 θ_1 均不变,因此 I_{B2} 与 I_{B1} 大小相等,相位差和 I_{BSS2} 与 I_{BSS1} 的相位差相同,因此故障电流变为 I_{fB2} ,明显小于 I_{fB1} ; 同理,当 BSS 发出无功时,故障电流变为 I_{fB3} ,大于 I_{fB1} 。

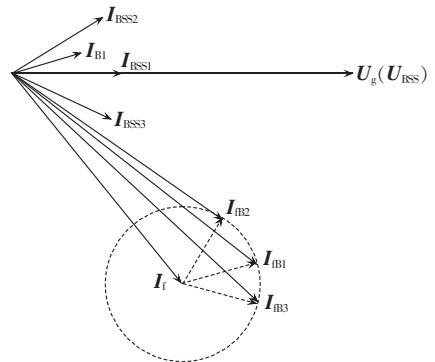


图 9 无功对故障电流影响分析图
Fig.9 Analytical diagram of reactive power influence on fault

4 结论

本文基于 BSS 放电时 PQ 控制方法,对含 BSS 的配电网故障时 BSS 的电气量特征和配电网的故障特

征进行了仿真和分析,得出了以下结论。

a. 故障类型与故障位置对 BSS 的电气量特征都有影响,若配电网故障时 BSS 并网点电压降落不太大,则 BSS 按照恒功率输出;若电压降落较大,则 BSS 按 2 倍额定电流恒流输出。

b. 由于 BSS 中电力电子器件的过流承受能力有限,BSS 提供的故障电流比较有限,当 BSS 容量大时对配电网故障特征的影响较明显。

c. BSS 的运行状态对配电网的故障特征影响明显。与 BSS 单位功率因数运行相比,BSS 从配电网吸收无功时提供的短路电流减小,而向配电网发出无功时提供的短路电流增大。

参考文献:

- [1] 陈良亮,张浩,倪峰,等. 电动汽车能源供给设施建设现状与发展探讨[J]. 电力系统自动化,2011,35(14):11-17.
CHEN Liangliang,ZHANG Hao,NI Feng,et al. Present situation and development trend for construction of electric vehicle energy supply infrastructure[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011,35(14):11-17.
- [2] 刘晓飞,张千帆,崔淑梅. 电动汽车 V2G 技术综述[J]. 电工技术学报,2012,27(2):121-127.
LIU Xiaofei,ZHANG Qianfan,CUI Shumei. Review of electric vehicle V2G technology[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2012,27(2):121-127.
- [3] 樊英,张丽,薛钟兵,等. 基于 V2G 的无功功率补偿技术[J]. 电网技术,2013,37(2):307-311.
FAN Ying,ZHANG Li,XUE Zhongbing,et al. Reactive compensation technology based on vehicle to grid[J]. Power System Technology,2013,37(2):307-311.
- [4] 唐西胜,邓卫,李宁宁,等. 基于储能的可再生能源微网运行控制技术[J]. 电力自动化设备,2012,32(3):99-103.
TANG Xisheng,DENG Wei,LI Ningning,et al. Control technologies of micro-grid operation based on energy storage[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(3):99-103.
- [5] JIN Qiang,LI Yongli. A study on steady characters of inverter interfaced distributed generation in three phase symmetrical system [C]//International Conference on Power System Technology. Hangzhou,China:IEEE,2010:1-7.
- [6] LIU Sumei,BI Tianshu,XUE Ancheng,et al. Fault analysis of different kinds of distributed generators [C]//2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting. San Diego,CA,USA:IEEE, 2011:1-6.
- [7] 汪冬辉,姚旭,张坤贤,等. 独立运行微电网的故障特征分析[J]. 电力自动化设备,2014,34(3):52-58.
WANG Donghui,YAO Xu,ZHANG Kunxian,et al. Analysis on fault characteristics of independent microgrid[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(3):52-58.
- [8] PAN Y,REN W,RAY S,et al. Impact of inverter interfaced distributed generation on overcurrent protection in distribution systems[C]//Power Engineering and Automation Conference. Wuhan,China:IEEE,2011:371-376.
- [9] YAZDANPANAHI H,LI Yunwei,XU W. A new control strategy to mitigate the impact of inverter-based DGs on protection system [J]. IEEE Transactions on Smart Grid,2012,3(3):1427-1436.
- [10] 李鹏,王成山,黄碧斌,等. 分布式发电微网系统暂态时域仿真方法研究——(二)建模、设计与实现[J]. 电力自动化设备,2013, 33(3):15-19.
LI Peng,WANG Chengshan,HUANG Bibin,et al. Methodology of transient simulation in time domain for DG and microgrid (2): modeling, design and implementation [J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(3):15-19.
- [11] ZHOU Xiaohu,WANG Gangyao,LUKIC S,et al. Multi-function bi-directional battery charger for plug-in hybrid electric vehicle application [C]//Energy Conversion Congress and Exposition, 2009. San Jose,CA,USA:IEEE,2009:3930-3936.
- [12] 谭国成,谢运祥. 基于 PWM 的蓄电池充放电机电机[J]. 电力电子技术,2011,45(2):60-62.
TAN Guocheng,XIE Yunxiang. Battery charging-discharging device based on pulse width modulation [J]. Power Electronics,2011, 45(2):60-62.
- [13] 曹琦琦. V2G 建模及接入系统分析研究[D]. 北京:北京交通大学,2011.
CAO Qiqi. Research on modeling and access system analysis of V2G [D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2011.
- [14] 杨伟,林弘,赵虎. 燃料电池并网控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制,2011,39(21):132-137.
YANG Wei,LIN Hong,ZHAO Hu. Research on the control strategy to connect fuel cells with power grid [J]. Power System Protection and Control,2011,39(21):132-137.
- [15] 郭力,富晓鹏,李霞林,等. 独立交流微网中电池储能与柴油发电机的协调控制[J]. 中国电机工程学报,2012,32(25):70-78.
GUO Li,FU Xiaopeng,LI Xialin,et al. Coordinated control of battery storage and diesel generators in isolated AC microgrid systems [J]. Proceedings of the CSEE,2012,32(25):70-78.
- [16] PLET C A,BRUCOLI M,MCDONALD J D F,et al. Fault models of inverter-interfaced distributed generators: experimental verification and application to fault analysis [C]//2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting. San Diego,CA, USA:IEEE,2011:1-8.
- [17] BRUCOLI M,GREEN T C,MCDONALD J D F,et al. Modelling and analysis of fault behaviour of inverter microgrids to aid future fault detection [C]//IEEE International Conference on System of Systems Engineering. San Antonio,TX,USA:IEEE, 2007:1-6.
- [18] IEEE. IEEE1547-2003 Standard for interconnecting distributed resources with electric power system [S]. New York,USA:The Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc,2003.

作者简介:



张颖达

张颖达(1989—),男,山东临沂人,硕士研究生,从事新能源与智能配用电系统方面的研究(E-mail: zhangyd425@gmail.com);

刘念(1981—),男,安徽安庆人,副教授,博士,从事新能源与智能配用电系统、电力系统规划与可靠性和电力系统信息安全方面的研究;

张建华(1952—),男,北京人,教授,博士研究生导师,从事电力系统运行分析与控制、城市电网规划、微电网与电动汽车方面的研究。

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