

电动汽车智能充放储一体化电站无功电压调控策略

楚皓翔¹, 解大¹, 娄宇成¹, 杨敏霞¹, 张宇²

(1. 上海交通大学 电子信息与电气工程学院, 上海 200240;

2. 上海市电力公司电力科学研究院, 上海 200437)

摘要:合理的控制策略可以使电动汽车智能充放储一体化电站在容量充足的情况下为电网提供无功, 实现无功的就地补偿。基于电动汽车智能充放储一体化电站的等效电压源运行特性, 通过控制算法使其运行于等效发电机或静止无功发生器(SVG)容性模式。研究电动汽车智能充放储一体化电站变流器的无功电压调节特性, 进而基于无功电压调控提出了电动汽车智能充放储一体化电站的增值策略和紧急控制策略。实际算例分析表明, 电动汽车智能充放储一体化电站具有良好的无功电压控制能力。

关键词:电动汽车; 一体化电站; 储能; 无功; 补偿; 电压控制; 下垂特性

中图分类号: TM 761; U 469.72

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.11.008

0 引言

随着社会工业化进程的推进, 燃油汽车带来的可再生能源消耗、环境污染问题变得日益严重。各种新能源汽车应运而生, 其中电动汽车以其低能耗、轻污染、简单轻便等优点逐渐受到人们的广泛关注, 并成为新能源汽车的重要发展方向^[1]。电动汽车在能量利用率方面的明显优势以及不断增长的社会需求都使得电动汽车的发展变得必要和迫切^[2]。

能源供给设施作为电动汽车产业链中的重要环节, 与电动汽车的发展密切相关。大量文献对电动汽车充电设施的规划布局以及电动汽车对电网的影响进行了分析和研究。文献[3]将电动汽车充电设施规划划分为不同阶段, 并分析各阶段的特征, 提出充电方式的选择方法及其对应的充电需求。文献[4]提出了电池更换站布局最优规划数学模型, 采用具备全局随机寻优能力的改进粒子群优化(PSO)算法, 达到全局寻优目的。文献[5]以运行成本的期望和方差为目标建立换电站能力管理模型, 采用基于免疫克隆选择的多目标智能优化算法进行求解。文献[6-7]从负荷、电网损耗和电压等几个方面分析了电动汽车充电对输电网和配电网的影响。文献[8]对一体化电站的调度及功能设计进行介绍, 并研究了不同状态下的工作状况。文献[9-11]分析了不同充电策略的电动汽车的接入对电网的影响, 从充电时间、充电模式、不同渗透率等方面分析无需充电、时段控制充电和有序充电等多情景下电动汽车充电对配电网的影响。文献[12-13]分析了电动汽车不协调充电对电网电压的影响, 利用V2G运行模式对电网电压进行调控, 并研究了接入式电动汽车在电站建设阶段的

角色及其对电网长期运行的影响。文献[14]对电动汽车换电站、电池储能站、可中断负荷等进行分析建模, 结合功率平衡、备用需求等约束, 建立微电网独立运行优化模型。文献[15]提出了一种在线计算电压控制器参考输入电压的新算法, 补偿电压跌落发生器(VSG)固有下垂特性和线路阻抗的电压跌落。文献[16]利用无功出力分配关系和空载输出电压的偏离程度构造势函数, 并根据势函数对各分布式电源的空载输出电压进行集中调整, 达到改善无功出力分配的目的。文献[17]提出了基于下垂特性的外环功率控制策略, 保证了微电网内多台分布式电源变流器的无互联信号线并联应用, 并实现了变流器离网到并网状态的无缝切换。但其分析多台变流器并联运行时, 认为其调差系数相同, 即下垂特性曲线斜率相同。本文研究的智能充放储一体化电站由充放储换电系统和梯次电池储能系统组成, 2个系统通过各自的变流器并联到网侧同一根母线上。充放储换电系统更重要的角色是为电动汽车充电, 无功补偿更多地应该由梯次电池储能系统承担。因此需要研究2个调差系数不同的变流器并联系统的无功电压调控特性。

本文的智能充放储一体化电站融合了充电站、换电站和储能站的优势, 可实现电池系统与电网的能量双向互动, 既可为电动汽车服务, 又可为电网提供削峰填谷、无功补偿、谐波治理、紧急支持等辅助服务。本文基于一体化电站充当无功电源, 补偿本地负载的无功电流, 有效抑制动态电压波动, 改善电网的电能质量的目的, 对一体化电站运行特性、2个变流器系统并联运行的综合下垂特性进行分析研究, 并设计了无功电压调控增值效益流程图和紧急控制流程图。算例分析表明, 所提调控策略既实现了一体化电站的就地无功补偿, 又维持了输出电压水平, 实现了电网的经济可靠运行。

收稿日期: 2013-12-17; 修回日期: 2014-09-29

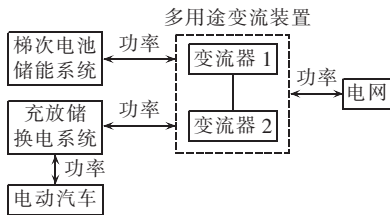
基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)资助项目(2011-AA05A108)

Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China(863 Program)(2011AA05A108)

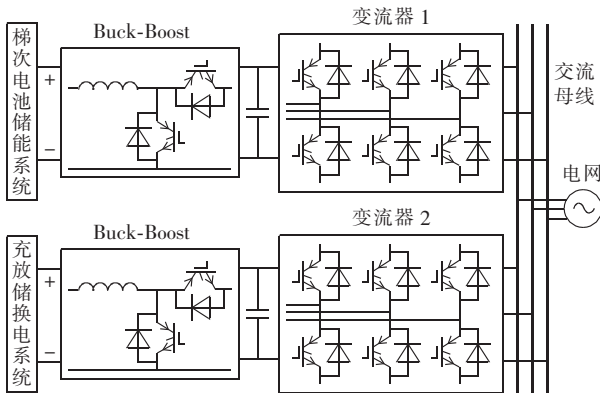
1 充放储一体化电站运行特性

1.1 充放储一体化电站的组成

作为电动汽车的能量供给系统,充放储一体化电站可提高电池利用效率,对充放储一体化电站各单元的功率、能量进行优化配置,可实现与电网、负荷的协调互动,其主要由多用途变流装置、充放储换电系统和梯次电池储能系统 3 个部分组成,如图 1 所示^[8]。多用途变流装置由 2 组脉冲宽度调制(PWM)四象限变流器并联组成,分别连接充放储换电系统和梯次电池储能系统,为 2 个系统提供与电网功率交换服务。充放储换电系统既可以通过一组多用途变流器实现与电网的有功、无功交换,又可以通过充电机给电动汽车充电或利用换电机实现电动汽车电池组的更换。梯次电池储能系统可以通过另一组多用途变流器实现与电网的有功、无功交换,也可直接对电池充换系统进行充电。



(a) 示意图



(b) 接线图

图 1 智能充放储一体化电站的组成

Fig.1 Configuration of integrated EV station of intelligent charging, discharging and storage

1.2 一体化电站的电压源等值空间矢量脉宽调制算法

空间矢量脉宽调制(SVPWM)是根据电压(或电流)瞬时空间矢量来控制逆变器交流输出的一种控制策略^[18]。

稳定运行时,逆变器输出侧可等效为负载,拓扑结构如图 2(a)所示。

逆变器的 IGBT 开关状态如式(1)所示,则三相逆变器共有 $2^3=8$ 种开关状态,将正弦变化且互差 120° 相位角的三相交流电压通过 Clark 变换,得到式(2)

中相应的 $\alpha\beta$ 坐标系下的分量 U_α, U_β 。

$$S_i = \begin{cases} 1 & i \text{ 相上管导通} \\ 0 & i \text{ 相下管导通} \end{cases} \quad i = a, b, c \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} U_\alpha \\ U_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} U_d \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & 1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \times [S_a \ S_b \ S_c]^T \quad (2)$$

上述 8 种工作状态对应的电压空间矢量中包含 2 个零矢量和 6 个基本工作矢量 $U_1—U_6$,工作矢量依次相差 60° ,分为 6 个扇区,如图 2(b)所示。则任意空间矢量 U 均可分解到扇区相邻 2 个矢量上,使各个分量工作一定时间从而使平均输出满足 U 的要求。这样,可以通过控制 IGBT 开关管的导通次序和时间,在交流侧输出所需的交流电压,从交流输出侧看,可将一体化电站看作一可控电压源。

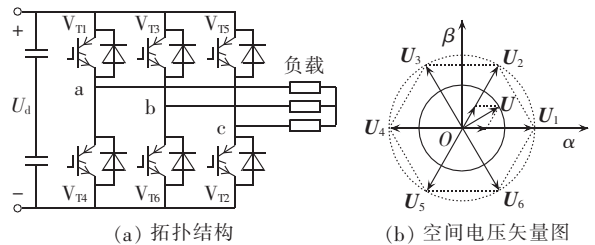


图 2 等效拓扑结构及空间电压矢量图

Fig.2 Equivalent topological structure and space voltage vector graph

1.3 充放储一体化电站电压源等值电路运行特性

由上文可知,通过 SVPWM 算法将一体化电站等值为一电压源,输出电抗器作为内部等值电抗,一体化电站即可以等值于同步发电机,等值电路如图 3 所示。

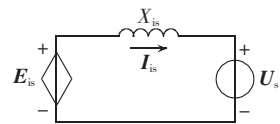


图 3 智能充放储一体化电站电压源等值电路

Fig.3 Equivalent circuit of voltage source of integrated EV station

图 3 中, U_s 为系统电压矢量, I_{is} 为某一运行状态下一体化电站的输出电流,则一体化电站作为等效电压源的内电压 E_{is} 可计算为:

$$E_{is} = U_s + j I_{is} X_{is} \quad (3)$$

其中, X_{is} 为内部等值电抗。

由式(3)可知,假设一体化电站输入输出电流幅值恒定,则其内电压矢量构成一体化电站等值电压源运行特性圆,如图 4 所示。

E_{is} 作为受控电压源,根据式(3),不同的 E_{is} 将产生不同的输出电流 I_{is} 。 E_{is} 与系统电压 U_s 之间的夹角为内功角 φ_{is} , I_{is} 与系统电压 U_s 之间的夹角为功率因数角 θ_{is} ,由 θ_{is} 可以判断一体化电站运行的模式。

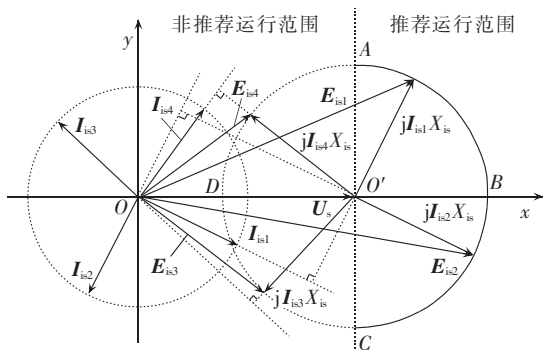


图 4 智能充放储一体化电站等值电压源的运行特性圆
Fig.4 Operating characteristic circle of equivalent voltage source of integrated EV station

图 4 中, I_{is1} 、 I_{is2} 、 I_{is3} 、 I_{is4} 分别为一体化电站输出电流分别位于 4 个象限时的示例。

a. 当输出电流为 I_{is1} 时, 运行于第四象限, 一体化电站发出有功、无功, 按照式(3)计算可知一体化电站的等效内电压矢量为 E_{is1} , 为等效发电机运行模式, θ_{is} 运行区间为 $(270^\circ, 0^\circ)$, 即 \widehat{AB} 。

b. 当输出电流为 I_{is2} 时, 运行于第三象限, 一体化电站吸收有功、发出无功, 按式(3)计算可知一体化电站的等效内电压矢量为 E_{is2} , 为等效静止无功发生器(SVG)容性运行模式, θ_{is} 运行区间为 $(180^\circ, 270^\circ)$, 即 \widehat{BC} 。

c. 当输出电流为 I_{is3} 时, 运行于第二象限, 一体化电站吸收有功、发出无功, 按照式(3)计算可知一体化电站的等效内电压矢量为 E_{is3} , 为等效负载运行模式, θ_{is} 运行区间为 $(90^\circ, 180^\circ)$, 即 \widehat{CD} 。

d. 当输出电流为 I_{is4} 时, 运行于第一象限, 一体化电站发出有功、吸收无功, 按照式(3)计算可知一体化电站的等效内电压矢量为 E_{is4} , 为等值发电机进相运行模式, θ_{is} 运行区间为 $(0^\circ, 90^\circ)$, 即 \widehat{DA} 。

若一体化电站的输出电流幅值恒定, 当电流与系统电压的相角发生变化时, 可以调节一体化电站与电网之间的有功功率和无功功率大小及方向, 对应的一体化电站的等效内电压构成一个圆, 该特性圆的圆心为 $(|U_s|, 0)$, 半径为 $|I_{is}X_{is}|$, 特性圆方程如式(4)所示。

$$(|E_{is} \cos \varphi_{is}| - |U_s|)^2 + |E_{is} \sin \varphi_{is}|^2 = |I_{is}X_{is}|^2 \quad (4)$$

显然, 如果希望输出电流的幅值增加或减少, 则式(4)右侧的 $|I_{is}X_{is}|$ 将变化, 即一体化电站的特性圆半径将增大或减小, 一体化电站的特性圆是一个以 $(|U_s|, 0)$ 为圆心、以 $|I_{is}X_{is}|$ 为半径的同心圆族, 最大的外圆受一体化电站最大输出电流限制。

从电网角度考虑, 为控制电网无功潮流, 正常情况下, 一体化电站都应该作为容性无功电源来使用。即一体化电站的功率运行点应该落在 $P \leq 0, Q \geq 0$

和 $P > 0, Q \geq 0$ 这 2 个区域内, 此时等效内电压位于图 4 的 AC 连线右侧推荐运行范围, 即实线区域, 对应一体化电站输出电流 I_{is} 第三、四象限, 即 \widehat{ABC} , 区域 \widehat{BC} 的一体化电站作为负荷运行于充电模式, 区域 \widehat{AB} 的一体化电站作为发电机运行于放电模式。

2 一体化电站的无功电压调控策略

2.1 一体化电站无功电压调节特性

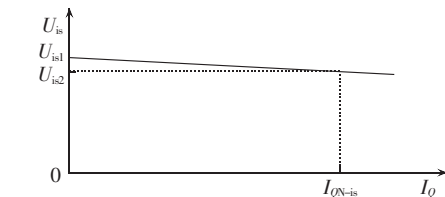
一体化电站作为容性无功电源为电网补偿无功时, 应该满足以下要求: 首先, 一体化电站投入和退出运行时能平稳地改变无功负荷, 不致发生无功功率的冲击; 其次, 并联运行的一体化电站或不在同一直流母线并联运行的多用途变流装置之间的无功功率分配合理。本文涉及的一体化电站有充放储换电系统和梯次电池储能系统, 2 个系统通过各自变流器变流后并联到电网, 在参与无功调节时, 应该根据并联运行要求, 实现无功功率的合理分配。

2.1.1 单变流器运行的无功电压调节特性

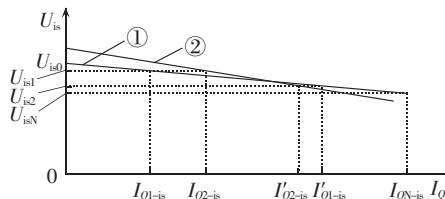
为满足上述运行要求, 定义一体化电站变流器的调差系数为:

$$\delta_{is} = \frac{U_{is1} - U_{is2}}{U_{isN}} = U_{is1}^* - U_{is2}^* = \Delta U_{is}^* \quad (5)$$

其中, U_{isN} 为一体化电站变流器额定电压; U_{is1} 、 U_{is2} 分别为空载运行和作为 SVG 运行于额定无功电流 I_{QN-is} 时一体化电站的变流器电压, 如图 5(a) 所示, 一般取 $U_{is2} = U_{isN}$; “*” 表示取标么值。



(a) 单变流器运行



(b) 变流器并联运行

图 5 智能充放储一体化电站无功调节特性
Fig.5 Reactive power regulating characteristics of integrated EV station

上述特性曲线在有的研究报告中又称为微源的无功电压下垂特性曲线。由式(5)可见, 一体化电站变流器调差系数 δ_{is} 表示一体化电站输出的无功电流从零增加到额定值时, 一体化电站变流器电压的相对变化。一体化电站变流器调差系数越小, 无功电流变化时其电压变化越小。

如前文所述,一体化电站变流器要求在投入或退出电网运行时,能平稳地转移负荷,避免引起对电网的冲击。当一体化电站无功电流减小时,只需将调节特性曲线平行下移至无功电流减小到零的位置,一体化电站就能够退出运行,同时不发生无功功率的突变。同理,一体化电站投入运行时,只要令其调节特性曲线处于初始电压为额定电压的位置,待一体化电站并入电网后再进行向上移动特性曲线的操作,可使无功电流逐渐增加到运行要求值。移动一体化电站调节特性曲线的操作通过调节控制算法中的整定值即可实现。

2.1.2 双变流器并联运行的无功电压调节特性

图 5(b)为一体化电站中 2 台变流器并联于同一母线时的无功调节特性曲线,变流器 1、2 的调节特性分别对应特性曲线 ① 和 ②。2 台变流器端电压都等于母线电压 $U_s = U_{s1}$, 每台变流器所负担的无功电流是确定的,分别为 I_{Q1-is} 和 I_{Q2-is} 。

当无功负荷增加时,母线电压下降,一体化电站变流器中无功电压调差控制器动作,设新的稳定电压值为 U_{s2} ,这时每台变流器负担的无功电流分别为 I'_{Q1-is} 和 I'_{Q2-is} 。变流器 1 和变流器 2 分别承担一部分增加的无功负荷,2 台变流器间无功负荷的分配取决于各自的调差系数。图 5(b)中,无功电流为零时,一体化电站变流器端电压为 U_{is0} ;无功电流为额定值 I_{QN-is} 时,变流器端电压为 U_{isN} ,则母线电压为 U_{is} 时变流器的无功电流可由式(6)表示,其标么值形式如式(7)所示。

$$I_{Q-is} = \frac{U_{is0} - U_{is}}{U_{is0} - U_{isN}} I_{QN-is} \quad (6)$$

$$I_{Q-is^*} = \frac{U_{is0^*} - U_{is^*}}{(U_{is0} - U_{isN})/U_{isN}} = \frac{1}{\delta_{is}} (U_{is0^*} - U_{is^*}) \quad (7)$$

若母线电压从 U_{is^*} 变为 U_{is^*} ,则由式(7)可得一体化电站的无功电流变化量的标么值如式(8)所示。

$$\Delta I_{Q^*} = -\frac{\Delta U_{G^*}}{\delta_{is}} \quad (8)$$

其中, ΔU_{G^*} 为母线电压变化的标么值。

式(8)表明,当母线电压波动时,一体化电站无功电流的增量与电压偏差成正比,与调差系数成反比,而与电压整定值无关。式(8)中负号表示在正调差($\delta_{is} > 0$)情况下,当母线电压降低时,一体化电站变流器无功电流将增加。2 台有正调差特性的变流器在公共母线上并联运行,当系统无功负荷波动时,其电压偏差相同。由式(8)可知,调差系数较小的变流器承担较多的无功电流增量。

2.2 一体化电站无功电压调控流程设计

由上述分析可知,一体化电站具有良好的无功电压控制能力。参与无功电压控制的一体化电站能够增加电网的无功电压裕度,又不会带来额外的功

率损耗,因此对电网而言,一体化电站的无功电压控制是一个非常重要的增值效益。

图 6 为一体化电站无功电压控制增值效益流程。首先根据一体化电站运行计划表提供的充放电曲线计算一体化电站输入/输出的总有功功率,根据调度表计算每台多用途变流装置与系统交互的有功功率,并求得每台多用途变流装置充放电的有功电流;然后根据一体化电站所在区域电网的无功功率增量值求得一体化电站总输出无功电流,基于上述结果可求解出一体化电站的总输入/输出电流、无功电流最大值、每台多用途变流装置所承担的无功电流。在一体化电站控制的每个 IGBT 开关周期内,根据上述计算结果可以确定每台多用途变流装置的目标输出值及其矢量,计算矢量之和 $I_{is\Sigma i}$,然后即可计算出一体化电站中每台多用途变流装置的参考电压矢量,输出开关表控制每台多用途变流装置的机内电势,然后进入下一个开关周期;如果开关周期已累计到 1 个完整的正弦周期,则计算出每台变流装置输入/输出的有功功率、无功功率、有功电流、无功电流,累计得到一体化电站总有功功率和

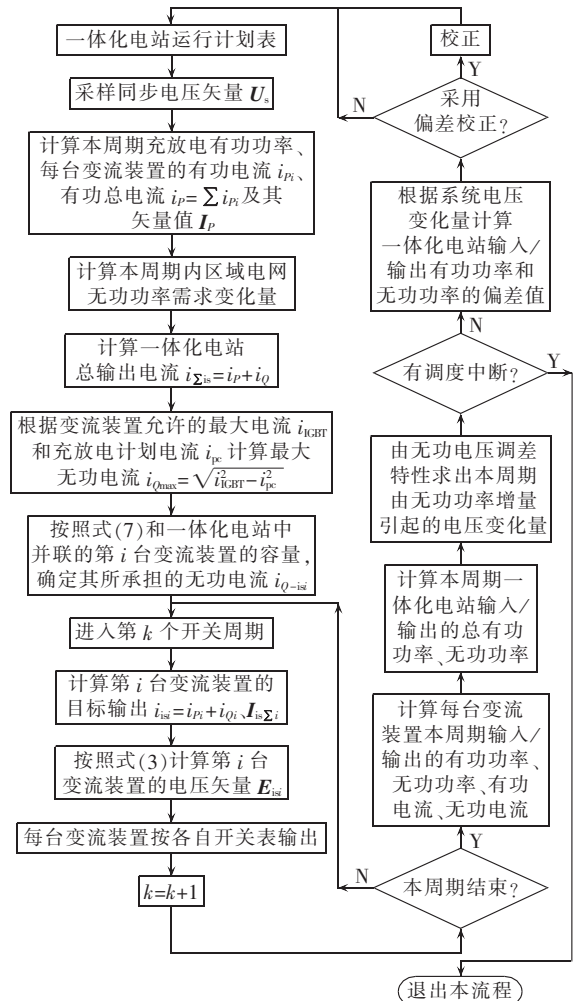


图 6 增值策略流程图

Fig.6 Flowchart of value-added strategy

无功功率,计算本周期无功增量引起的系统电压偏差,以及由电压偏差导致的有功功率和无功功率偏差,若确定偏差校正,则对下一周期值进行校正。程序运行可由调度中断,计算的同步电压矢量采用系统电压。

当一体化电站所在电网处于紧急状态时,系统无功功率大量缺失、系统电压达到或突破危险阈值,一体化电站应作为紧急备用调节的发电机,对电网进行紧急支持,以使电网恢复到警戒状态或安全状态,图 7 为紧急状态下一体化电站无功电压紧急控制流程图。此时一体化电站首先从上级电网数据采集与监视控制(SCADA)接口获得电网进入紧急状态的消息。如前文所述,电网进入紧急状态时,电网电压裕度越限或无功功率备用不足,一体化电站需要判断电网是否进入紧急状态,如进入紧急状态则一体化电站应立即停止充电计划而进入紧急控制。

紧急控制中一体化电站从上级 SCADA 系统获得接入点潮流信息及电压变化量,通过上述信息可以计算出系统有功功率和无功功率的总缺失量,一体化电站按照调度事先给定的优化输出表输出有功功率和无功功率,在电网 SCADA 系统没有提供新变化数据的情况下保持一体化电站的输出状态(一般 SCADA 系统通信时间为 20 个正弦周期),然后确定下一次的输出值。控制期间需要检测一体化电站是

否达到解列的要求、是否被调度中断等条件。

3 算例分析

某一体化电站包括充放储换电系统和梯次电池储能系统,这 2 个系统分别经过 8 台 125 kW 的变流器和 2 台 125 kW 的变流器与电网并联,电气接线图与图 1(b)相同。一体化电站中无功负荷工作时引起的无功消耗要求进行就地无功补偿,无功负荷如表 1 所示,表中负荷均由变流器网侧 380 V 供电。

表 1 智能充放储一体化电站无功负荷

序号	设备名称	数量/台	功率/kW	最大无功/kvar
1	商用车换电机器人	2	30.0	252.00
2	乘用车换电机器人	1	7.5	31.50
3	不间断电源 UPS	1	6.0	3.60
4	通信电源柜	2	3.0	1.68

表 1 中,商用车和乘用车换电机器人启动时消耗无功功率为正常工作时的 5~8 倍,按 7 倍考虑计算其启动最大无功功率。

由于该一体化电站的充放储换电系统和梯次电池储能系统的变流器功率因数可调范围为 $-1\sim 1$,则无功补偿容量理论上可以在 $0\sim 1250$ kvar 范围内变化。正常运行时,充放储换电系统和梯次电池储能系统的功率因数均为 0.96。充放储换电系统的 8 台

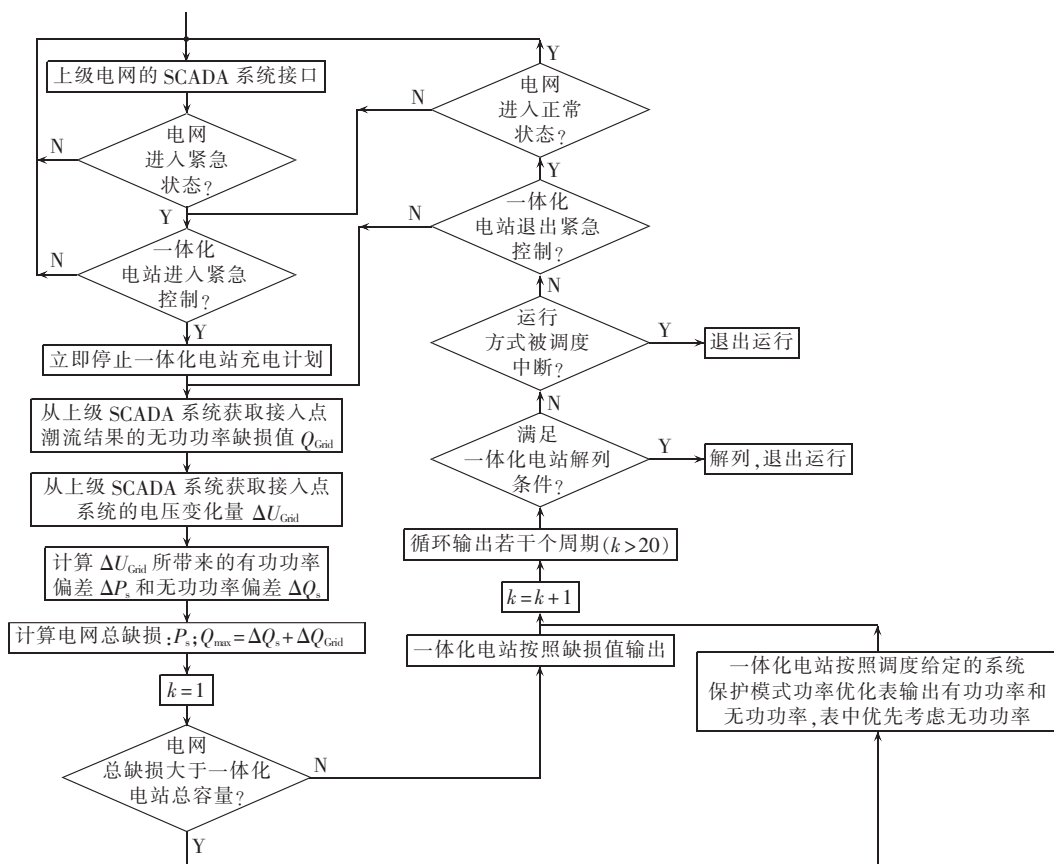


图 7 紧急控制策略流程图

Fig.7 Flowchart of emergency control strategy

125 kW 变流器的调差系数均为 0.05,由于其工作特性完全相同,进行无功电压调节时,可以看作 1 台 1 000 kW 的变流器,等效调差系数 $\delta_1=0.05$;梯次电池储能系统的 2 台 125 kW 变流器的调差系数均为 0.01,同理可等效为 1 台 500 kW 的变流器,等效调差系数 $\delta_2=0.01$ 。2 组变流器额定运行时无功功率及调差系数如表 2 所示。

表 2 智能充放储一体化电站变流器参数

Table 2 Inverter parameters of integrated EV station

系统	额定无功/kvar	调差系数	综合调差系数
充放储换电系统	280	0.05	0.0278
梯次电池储能系统	70	0.01	

由于充放储换电系统和梯次电池储能系统通过各自的变流器并联到电网,根据前文分析,考虑一体化电站对电网的无功补偿时,应按并联运行无功调节模式考虑,实现无功功率的合理分配。考虑最严苛的情况,即 3 台换电机器人同时启动的情况,可得母线电压波动、一体化电站损耗(标么值)在无功补偿前后的对比以及无功分配的情况,如表 3 所示。

表 3 无功补偿前后电站损耗、母线电压波动和无功增量对比

Table 3 Comparison of station loss, bus voltage fluctuation and reactive power increase between before and after reactive power compensation

无功补偿	一体化电站 损耗	母线电压 波动	无功增量/kvar	
			换电系统	储能系统
补偿前	4.38	10%~15%	0	0
补偿后	0.02	2.29%	128.45	160.56

由表 3 可知,当一体化电站无功负荷增加时,可通过充放储换电系统和梯次电池储能系统向电网提供无功功率,实现无功就地补偿,并能保证一体化电站输出电压的水平。事实上,即使 3 台换电机器人同时投入运行,在启动瞬间的母线电压也只降低了 2.29%,较好地维持了一体化电站的输出电压水平。

由于充放储换电系统最重要的用途是为电动汽车提供电能,对电网的无功补偿更多地应由梯次电池储能系统完成。上述计算表明,3 台换电机器人同时启动时,充放储换电系统无功增量为 128.45 kvar,而梯次电池储能系统的无功增量为 160.56 kvar。可见梯次电池储能系统承担了更多的无功补偿增量,这也为充放储换电系统保存足够电量为电动汽车充电提供了保证。

4 结论

一体化电站作为区域性的有源电站,可以通过 SVPWM 控制算法,等效为一个电压幅值和相位可调的电压源,调节其运行特性,可以向电网输送无功功率。本文主要完成了以下 3 个方面的工作:

a. 分析了一体化电站的运行特性圆及推荐运行区域;

b. 分析并推导了一体化电站中充放储换电站变流器与梯次电池储能站变流器并联运行的综合下垂特性公式;

c. 提出了一体化电站不同运行模式下的基于无功电压调控的增值策略和紧急控制策略。

最后通过算例分析论证了一体化电站既能根据无功负荷增量实现就地无功补偿,又能维持母线电压水平,并通过无功功率合理分配保证了充放储换电系统的电量,说明该一体化电站具有良好的无功电压调控能力。

参考文献:

- [1] SU Wencong, RAHIMI-EICHI H, ZENG Wenten, et al. A survey on the electrification of transportation in a smart grid environment[J]. IEEE Trans on Industrial Informatics, 2012, 8(1): 1-10.
- [2] SMITH M. Batteries versus biomass as a transport solution[J]. Nature, 2009, 457(7231): 785.
- [3] 吴春阳, 黎灿兵, 杜力, 等. 电动汽车充电设施规划方法[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(24): 36-39, 45.
WU Chunyang, LI Canbing, DU Li, et al. A method for electric vehicle charging infrastructure planning[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(24): 36-39, 45.
- [4] 熊虎, 向铁元, 荣欣, 等. 电动汽车电池更换站布局的最优规划[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(9): 1-6.
XIONG Hu, XIANG Tieyuan, RONG Xin, et al. Optimal allocation of electric vehicle battery swap stations[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(9): 1-6.
- [5] 刘玉娇, 蒋传文, 王旭, 等. 采用随机约束和多目标算法的电动汽车换电站能量管理[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(8): 59-63.
LIU Yujiao, JIANG Chuanwen, WANG Xu, et al. Energy management with stochastic constraint and multi-objective optimization algorithm for electric vehicle battery swap station[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8): 59-63.
- [6] 李惠玲, 白晓民. 电动汽车充电对配电网的影响及对策[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 38-43.
LI Huiling, BAI Xiaomin. Impacts of electric vehicles charging on distribution grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(17): 38-43.
- [7] 高赐威, 张亮. 电动汽车充电对电网影响的综述[J]. 电网技术, 2011, 35(2): 127-131.
GAO Ciwei, ZHANG Liang. A survey of influence of electric vehicle charging on power grid[J]. Power System Technology, 2011, 35(2): 127-131.
- [8] 杨敏霞, 刘高维, 房新雨, 等. 计及电网状态的充放储一体化站运行模式探讨[J]. 电网技术, 2013, 37(5): 1202-1208.
YANG Minxia, LIU Gaowei, FANG Xinyu, et al. Discussion on operation mode of charging-discharging-storage integrated station considering power network statuses[J]. Power System Technology, 2013, 37(5): 1202-1208.
- [9] HARTMANN N, ÖZDEMİR E D. Impact of different utilization scenarios of electric vehicles on the German Grid in 2030[J]. Journal of Power Sources, 2011, 196(4): 2311-2318.

- [10] GREEN R C, WANG L, ALAM M. The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: a review and outlook[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15(1):544-553.
- [11] 王建, 吴奎华, 刘志珍, 等. 电动汽车充电对配电网负荷的影响及有序控制研究[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(8):47-52.
WANG Jian, WU Kuihua, LIU Zhizhen, et al. Impact of electric vehicle charging on distribution network load and coordinated control[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(8):47-52.
- [12] CLEMENT-NYNS K, HAESSEN E, DRIESEN J. The impact of vehicle-to-grid on the distribution grid[J]. Electric Power Systems Research, 2011, 81(1):185-192.
- [13] GALUS M D, ZIMA M, ANDERSSON G. On integration of plug-in hybrid electric vehicles into existing power system structures[J]. Energy Policy, 2010, 38(11):6736-6745.
- [14] 曹一家, 苗铁群, 江全元. 含电动汽车换电站的微电网孤岛运行优化[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(5):1-6.
CAO Yijia, MIAO Yiqun, JIANG Quanyuan. Optimal operation of islanded microgrid with battery swap stations[J]. Electric Power Automation Equipment, 2012, 32(5):1-6.
- [15] 杨向真, 苏建徽, 丁明, 等. 面向多逆变器的微电网电压控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(7):7-13.
YANG Xiangzhen, SU Jianhui, DING Ming, et al. Voltage control strategies for microgrid with multiple inverters[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(7):7-13.
- [16] 金鹏, 艾欣, 王永刚. 采用势函数法的微电网无功控制策略[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(25):44-51.
- JIN Peng, AI Xin, WANG Yonggang. Reactive power control strategy of microgrid using potential function method[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(25):44-51.
- [17] 黄杏, 金新民. 微网用分布式电源变流器下垂特性控制策略[J]. 电工技术学报, 2012, 27(8):93-100.
HUANG Xing, JIN Xinmin. A voltage and frequency droop control method for microsourses[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2012, 27(8):93-100.
- [18] 张兴, 张崇巍. PWM整流器及其控制[M]. 北京:机械工业出版社, 2012:185-202.

作者简介:



楚皓翔

楚皓翔(1990—),男,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化(E-mail:sjchu1990@sjtu.edu.cn);

解大(1969—),男,黑龙江哈尔滨人,副教授,博士,从事电力系统分析、灵活交流输电设备、新能源方面的研究;

姜宇成(1990—),女,江苏南通人,硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化;

杨敏霞(1989—),女,广东揭阳人,硕士研究生,研究方向为电力系统及其自动化;

张宇(1970—),男,上海人,高级工程师,研究方向为储能系统。

Strategy of reactive power and voltage control for integrated EV station of intelligent charging, discharging and storage

CHU Haoxiang¹, XIE Da¹, LOU Yucheng¹, YANG Minxia¹, ZHANG Yu²

(1. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China;

2. Research Institute of Electric Power, Shanghai Power Supply Company, Shanghai 200437, China)

Abstract: With the reasonable control strategy and enough capacity, the integrated EV(Electric Vehicle) station of intelligent charging, discharging and storage can be used to locally compensate the reactive power. By a control algorithm based on the operating characteristics of its equivalent voltage source, the integrated EV station operates in the equivalent generator mode or SVG(Static Var Generator) capacitive mode. The reactive power and voltage regulating characteristics of its inverter are studied and the value-added strategy and emergency control strategy are proposed. Analysis of an actual example proves that the integrated EV station has a better performance in the reactive power and voltage control.

Key words: electric vehicles; integrated station; energy storage; reactive power; compensation; voltage control; droop characteristics