±200 Mvar 静止同步补偿器的电网电压控制策略

刘锦宁,刘 洋,何伟斌
(广东电网有限责任公司东莞供电局,广东 东莞 523000)

摘要:结合南方电网 ±200 Mvar 链式静止同步补偿器(STATCOM)的应用实践,研究了大容量 STATCOM 对电网电压的控制策略。基于 STATCOM 装置的动态无功补偿原理,介绍了 STATCOM 装置 4 种控制模式,指出正式运行时仅采用稳态调压和暂态电压控制 2 种模式,根据目标母线电压自动进行模式识别和切换。介绍了稳态调压控制基本参数的设计,分析了该模式下 STATCOM 对电网电压的调节范围和效果。通过对电网故障的针对性分析,设计了 STATCOM 暂态电压控制逻辑,指出近端故障时可进入零无功的主动闭锁状态。对比全日电网电压曲线和 STATCOM 无功曲线,印证了 STATCOM 稳态调压模式可跟踪电网电压进行实时调节。分析故障录波数据,验证了 STATCOM 在电网故障时可在 20 ms 左右达到 90% 的最大暂态输出的设计要求。实践证实了所述的 STATCOM 的电网电压控制策略的可行性和有效性。

关键词:STATCOM;模式识别;稳态调压控制;暂态电压控制;无功补偿;电压控制;设计;应用效果
中图分类号:TM 762;TM 714.3 **文献标识码**:A DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2015.05.005

0 引言

静止同步补偿器 STATCOM(STATic synchronous COMpensator)是由自换相的电力半导体桥式变流器来进行动态无功补偿的装置,也是迄今为止性能最优越的无功补偿设备[1-5]。与常用的静止无功补偿器(SVC)相比,STATCOM 响应速度更快、自适应能力更强、电压支撑效果更好,可为我国西电东送助力[6-7]。由于技术壁垒和贸易限制,国外最大容量的工程应用为美国 Glenbrook 变电站 ±150 Mvar 的 STATCOM,国内在 2011 年之前最大容量的应用为上海西郊变电站 ±50 Mvar 的 STATCOM[8-9]。作为一种高新技术,国内外对于百兆乏级 STATCOM 并入电网后的实际动态无功补偿策略和应用效果的介绍十分缺乏。

2011 年 8 月在南方电网 500 kV 东莞变电站投运了世界上最大容量的 STATCOM 装置,学术界和工程界对其控制保护 RTDS 试验[10]、系统级控制策略[11]、人工短路试验[12]、控制功能试验[13]等均有深入的研究。东莞站 STATCOM 作为我国自主研发的,产、学、研应一体化的科技攻关项目,相关机构在功能设计、产品研制和试验测试等方面做了大量的研究[14-16]。2013 年南方电网 STATCOM 一期推广工程中又新上 3 个 ±200 Mvar 的 STATCOM 装置,这标志着国产化大容量 STATCOM 技术的成熟化,相关的运行数据也日趋丰富。

收稿日期:2014-10-26;修回日期:2015-03-19
基金项目:"十一五"国家科技支撑计划资助项目(2007BAA10B02)
Project supported by the Key Projects in the National Science & Technology Pillar Program during the 11th Five-Year Plan Period of China(2007BAA10B02)

本文以 2013 年 6 月投运的南方电网 STATCOM 一期推广工程中的 500 kV 水乡变电站(简称水乡站)STATCOM 装置为例,结合投运后半年的实际运行情况,介绍 STATCOM 实际应用中最常用的稳态调压和暂态电压控制 2 种定电压控制策略,并结合 STATCOM 的实际运行数据进行验证。文中所述均为实际工程数据,可为今后国内外相同工程实践提供借鉴。

1 水乡站 STATCOM 装置概况

水乡站 STATCOM 装置电压等级为 35 kV,稳态容量为 2×(±100 Mvar),暂态容量为 2×(±150 Mvar),由一台 500 kV/35 kV 专用变压器通过高压开关接至 500 kV 母线。STATCOM 装置共分为 2 组,分别通过 35 kV 381、382 开关并联在 8 号主变低压侧,2 组 STATCOM 装置采用三角形接法,每一相由 2 个连接电抗器和 27 级功率模块串联的阀组集装箱组成。STATCOM 一次电气接线图如图 1 所示。

2 STATCOM 控制原理

STATCOM 工作时通过电力半导体开关的通断将直流侧电压转换成与交流侧电网同频率的输出电压,当仅考虑基波频率时,STATCOM 可以等效地被视为幅值和相位均可以控制与电网同频率的交流电压源。STATCOM 通过电抗器连接到电网上,无功的性质和大小靠调节电流来实现。

如图 2、图 3 所示,设电网电压为 $\boldsymbol{U}_S$,STATCOM 输出的交流电压为 $\boldsymbol{U}_I$,则连接电抗 X 上的电压 $\boldsymbol{U}_L$ 即为 $\boldsymbol{U}_I$ 和 $\boldsymbol{U}_S$ 的相量差,而连接电抗的电流是可以由其电压来控制的。这个电流就是 STATCOM 向电网输出的电流 $\boldsymbol{I}$。如果未计及连接电抗器和变流器(功

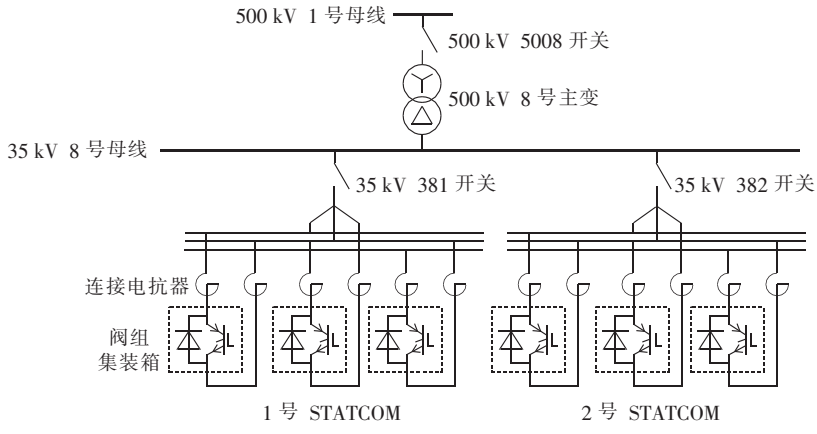

图1 水乡站STATCOM装置电气接线图

Fig.1 Electrical wiring of STATCOM of Shuixiang Substation

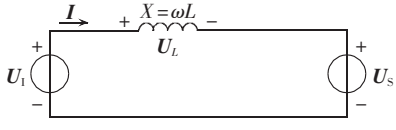

图2 STATCOM等效电路

Fig.2 Equivalent circuit of STATCOM

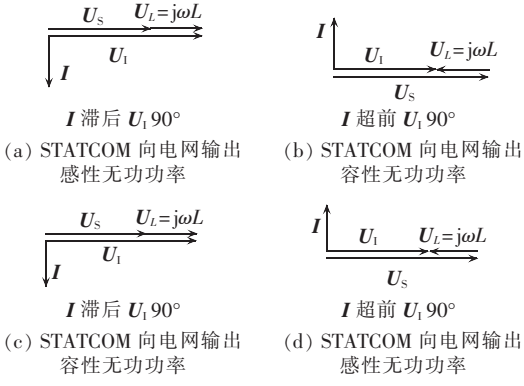

图3 STATCOM等效电路的相量图

Fig.3 Phasor diagram of equivalent STATCOM circuit

率模块)的损耗,STATCOM的工作原理可以用图3所示的单相等效电路图来说明。在这种情况下,只需使 $\boldsymbol{U}_I$ 与 $\boldsymbol{U}_S$ 同相,仅改变 $\boldsymbol{U}_I$ 幅值大小即可以控制STATCOM向电网输出的电流 $\boldsymbol{I}$ 是超前还是滞后 $\boldsymbol{U}_I$ 90°,并能控制该电流的大小。

当STATCOM工作在满容量情况下,系统总损耗约为1.2%,其中本体损耗约为0.8%,专用变压器损耗约为0.4%。轻载运行时,STATCOM的损耗会更小。实际运行时STATCOM交流侧电压与电流相位差非常接近90°,在控制算法中考虑了损耗,采用三相电压分相控制和通过锁相环节来进行相位补偿,以达到实时精确控制的目的。

3 定电压控制模式

3.1 STATCOM的控制模式识别

水乡站STATCOM主要有暂态电压控制模式、远方控制模式、稳态调压模式、恒无功输出模式4种控制模式,系统级控制策略框图如图4所示。

其中稳态调压模式、恒无功控制模式优先级最低,由变电站内的监控后台人机界面进行预先设定,且2种模式只能选其一。远方通信下令的远方控制模式优先级稍高,主要通过调度中心的远方后台进行下令,主要包括远方定值(定电压或定无功)和远

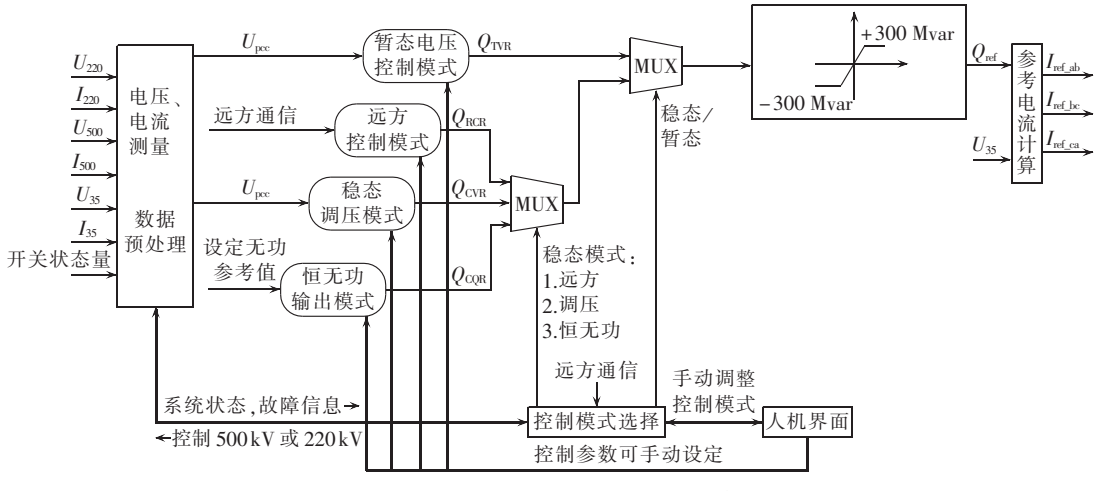

图4 ±200 Mvar STATCOM的系统级控制策略框图

Fig.4 System-level control scheme of ±200 Mvar cascaded STATCOM

方曲线(电压曲线或无功曲线)方式。由系统电压突变引起的暂态电压控制模式优先级最高，其由采集到的系统电压自动运算判别。

优先级越高的模式，在条件达到后成为 STATCOM 当前的控制模式。

由于 STATCOM 装置的主要作用是动态无功补偿以实现电网电压控制，因此恒无功控制模式和远方控制模式仅在试验阶段使用。正式运行时 STATCOM 采用的是稳态调压和暂态电压控制 2 种定电压控制模式，其状态判别逻辑如图 5 所示。

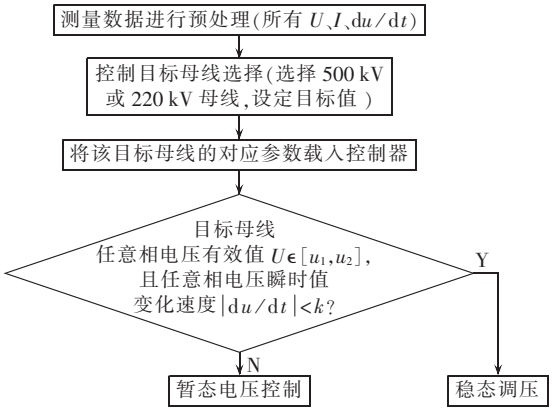

图 5 定电压控制模式识别

Fig.5 Pattern recognition of constant voltage control

3.2 稳态调压控制

与常规的电容器、电抗器整组投切不同，STATCOM 装置正常运行时一直处于并网状态，并根据电网运行需求，通过线性地调节输出无功功率来实时调节电网电压。稳态调压控制是 STATCOM 最常用的控制模式，其适用于电网稳态运行时，以所接入的变电站母线电压为控制目标，输出系统所需的无功功率。

3.2.1 稳态调压控制的 4 个基本参数

(1)目标电压：可选取所接入变电站 500 kV 母线电压或 220 kV 母线电压作为控制电压，目标电压值可设定。水乡站 STATCOM 是选 500 kV 母线的综合线电压为稳态调压模式下的控制电压，目标电压值设为 527.91 kV(标幺值为 1.0055 p.u.)。

(2)稳态无功限幅：为保证 STATCOM 在电网暂态情况下的无功功率输出裕度，以及和站内电容器、电抗器的配合，稳态调压的可用容量设定上、下限，装置输出容量的容性上限略小于一组电容器容量的一半，感性上限略小于一组电抗器容量的一半。水乡站内的电容器、电抗器组容量为 80 Mvar/组，因此，STATCOM 设定的无功上、下限为 2×(±20 Mvar)，即为额定值的 20%。

(3)电压、电流斜率：由第 2 节可知，STATCOM 的工作原理是适当地调节桥式电路交流侧输出电压，来控制其交流侧输出电流。STATCOM 的无功电流 I 与电网电压和 STATCOM 输出的交流电压差成正比，即通过设计连接电抗器的电抗值可确定斜率 $k=\mathrm{d}U/\mathrm{d}I$(电压、电流均用标幺值计算)。水乡站 STATCOM 的电压、电流斜率设计为 0.03，对应的连接电抗器电感值为 7 mH。

(4)运行范围：由于暂态电压控制模式的触发条件是 500 kV 母线任意一相的电压有效值 U 满足：$U<0.93$ p.u.，或 $U>1.07$ p.u.，或 $\mathrm{d}U/\mathrm{d}t>1.4$ kV/ms ($t>5$ ms)，且其优先级最高。因此，如图 6 所示，在三相电压平衡且无电压滑差的情况下，稳态调压模式的运行范围最大为 $[U_9,U_1]=[0.93\text{ p.u.},1.07\text{ p.u.}]$。在图 6 中，横轴 I 为 STATCOM 交流侧输出电流(即 STATCOM 向电网输出的电流)，纵轴 U 为电网电压(即 500 kV 母线综合线电压)，图中的曲线 $ACGM$ 为 STATCOM 交流侧输出电压–电流曲线，曲线 S_1 和 S_2 为系统负荷曲线。

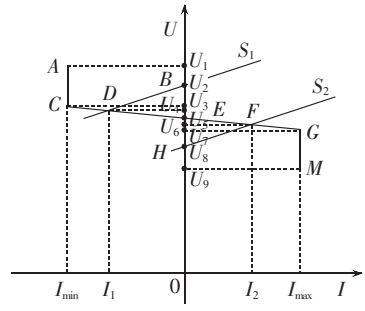

图 6 稳态调压模式下的 STATCOM 交流侧电压、电流关系

Fig.6 AC-side voltage-current relationship of STATCOM in steady-state voltage regulation mode

3.2.2 稳态调压控制调节范围分析

由于无功功率设定上、下限为 2×(±20 Mvar)，对应无功电流上、下限 $[I_{\min},I_{\max}]=[-0.2\text{ p.u.},0.2\text{ p.u.}]$，由 $k=\mathrm{d}U/\mathrm{d}I=0.03$，可计算出 STATCOM 稳态调压控制时因无功输出限幅，其对电网电压的实际调节范围 $[U_7,U_3]=[U_5-0.006,U_5+0.006]=[0.9995\text{ p.u. }1.0115\text{ p.u.}]$，对应图 6 中的 CG 段。即当电网电压在[524.73 kV，531.04 kV]时，STATCOM 可以通过对系统发出[−40 Mvar，40 Mvar]的无功功率将系统电压稳定在目标值 $U_5=1.0055$ p.u.$=527.91$ kV 附近。

当电网电压在 $[U_3,U_1]$ 或 $[U_9,U_7]$ 范围内且未达到暂态电压控制模式触发条件时，STATCOM 将保持在 −40 Mvar 或 40 Mvar 的无功输出限值，形成对电网电压有限程度的调节，对应图 6 中的 AC 段和 GM 段。

3.2.3 STATCOM 补偿效果分析

当系统负荷曲线为 S_1 时，S_1 与纵轴的交点 B 对应的电压 U_2 为 STATCOM 退出时该负荷情况下电网的电压值，S_1 与曲线 $ACGM$ 的交点 D 对应的电压 U_4 为 STATCOM 投入时该负荷情况下电网的电压

值。从图6可知,由于电网电压 U_2 高于STATCOM稳态定电压控制的目标电压值 U_5,STATCOM输出感性无功功率(对应的无功电流 I 为负值),电网电压在感性无功补偿的作用下下降为 U_4,系统达到新的平衡点 D(电网电压 $U=U_4$,STATCOM输出无功电流 $I=I_1$)。

当系统负荷增加,负荷曲线变化为 S_2 时,由于电网电压 U_8 低于目标电压值 U_5,STATCOM输出容性无功功率(对应的无功电流 I 为正值),电网电压在容性无功补偿的作用下上升为 U_6,系统达到新的平衡点 F(电网电压 $U=U_6$,STATCOM输出无功电流 $I=I_2$)。

据此可知,电网电压随系统负荷的变化而变化,而STATCOM在稳态调压模式下按设计的电压、电流斜率对电网进行动态无功补偿,可使电网电压更加接近目标值,达到电网电压的实时性连续性调节,提高电网电能质量。

3.2.4 STATCOM与站内电容器、电抗器组的配合

稳态调压模式下的STATCOM由于无功限幅,其调节能力有限。要想实现更大电压调节范围,还需要与站内的电容器、电抗器相互配合。这一配合主要有以下2个方面。

(1)电容器组和电抗器组的粗调和STATCOM的细调相结合,实现电网电压精确控制。目前水乡站共有8组电容器和6组电抗器,每组的无功补偿值为80 Mvar,通过手动投切电容器或电抗器将电网电压调至目标值附近,再由STATCOM自动进行精确补偿,可以将电网电压稳定在目标值很小偏差之内。但由于目前水乡站内的电容器和电抗器还是手动投切模式,无法实现其与STATCOM的自动联调,需要值班员手动操作。若电容器、电抗器自动投切VQC系统投入应用,与STATCOM搭配后的应用效果将十分显著,可实现本变电站电压的精确化控制。

(2)根据电容器组和电抗器组的投切状态逐步放开STATCOM的无功功率限幅,实现无功补偿效率最大化。当系统电压低于设定值而STATCOM容性输出已达初始容性上限,同时站内所有电容器组均处于投入状态,则将STATCOM的容性上限逐渐上调为2组电容器的容量,如果系统电压在装置输出再次达到容性上限并且持续一段时间后仍然不能满足要求,则继续放开容性上限值,为了给系统留有最大无功备用,容性上限值的最大值不得超过2×100 Mvar。同理,当系统电压高于设定值,且站内电抗器均处于投入状态,则将STATCOM的感性上限值逐步放开。这一功能已在水乡站STATCOM装置中实现。

3.3 暂态电压控制

STATCOM暂态电压控制模式主要针对2类情况。第一类是系统发生大扰动,系统电压发生快速波动。此种情况需要避免STATCOM的频繁动作可能引起的系统电压小幅长时间波动。第二类是系统发生接地故障,系统电压发生快速大幅度跌落。此种情况下要避免在发生接地故障时,STATCOM的投入增大系统短路电流,增加220 kV断路器的负担。因此,STATCOM的控制器不仅要能迅速检测到短路故障的发生和切除,同时还要避免STATCOM对系统产生扰动。

为防止近端电网故障时,STATCOM的投入增大系统短路电流,当三相电压中任意相电压有效值低于0.4 p.u.(可设定)并持续一段时间(可设定),暂态控制模式闭锁定电压控制,同时启动零无功控制,零无功输出时装置输出无功保持为零,直到零无功控制取消。当三相电压均高于0.5 p.u.(可设定)并持续一段时间(可设定),取消零无功控制,同时启动暂态电压控制,控制器根据电压参考值对母线电压进行控制。相关逻辑如图7所示。

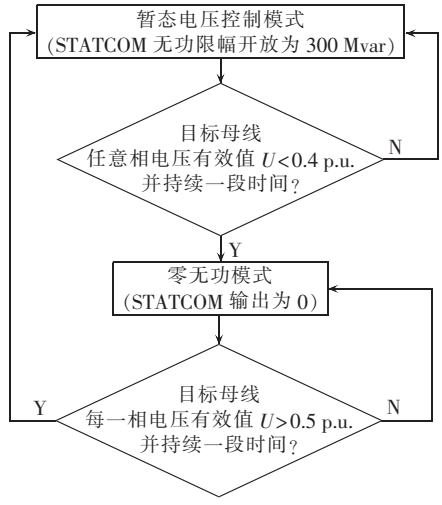

图7 水乡站STATCOM暂态电压控制逻辑图

Fig.7 Transient voltage control logic of STATCOM of Shuixiang Station

如图5中判别逻辑所示,STATCOM通过对相电压有效值幅值和变化速度的判断来识别故障,并根据故障的严重程度来实现相应的控制策略。当母线电压瞬时值的变化率 $\mathrm{d}u/\mathrm{d}t>1.4$ kV/ms(持续5 ms)或电压有效值 U 低于0.93 p.u.(或高于1.07 p.u.)时,进入暂态电压控制模式。根据设计要求,STATCOM控制器响应时间必须在6 ms以内,同时其达到90%的过负荷无功功率输出时间在20 ms以内。

在暂态电压控制模式下,为了在大的系统扰动时加快响应速度,同时减小系统扰动恢复的时间,STATCOM电压调整器还结合了非线性增益功能,启动增益优化。采用高增益的PI调节,将输出容量上下限变为容性300 Mvar到感性300 Mvar,此时仍按电网电压与目标电压的偏差来发出实际的无功功率。

由于受电力电子器件过流和发热限制，STATCOM 仅具有短时过负荷能力，所以当进入暂态电压控制模式后，无功限幅仅开放 1 s，1 s 后 STATCOM 自动恢复为稳态调压控制模式。

4　STATCOM 定电压控制应用效果

4.1　稳态调压控制应用效果

水乡站 STATCOM 自 2013 年 6 月 29 日投运半年时间内，稳态时均采用定电压控制（目标母线为 500 kV 1 号母线，目标电压值为 527.91 kV，限幅 2×(±20 Mvar)。图 8 为 2013 年 7 月 10 日全天 24 h 的系统电压曲线和 STATCOM 无功功率曲线。

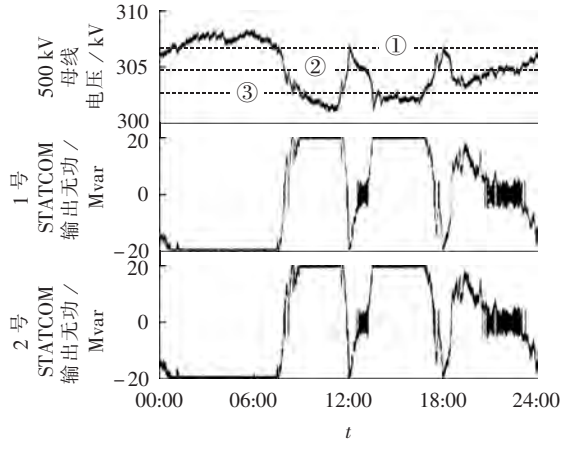

图 8 2013 年 7 月 10 日 STATCOM 无功功率曲线

Fig.8 STATCOM reactive power curve of July 10, 2013

稳态定电压控制目标电压为 527.91 kV（线电压有效值），折算为相电压有效值为 304.79 kV，对应图中虚线②。从图 8 中可以看出当系统电压高于虚线②时，STATCOM 输出感性无功功率（负值）；当系统电压低于虚线②时，STATCOM 输出容性无功功率（正值）。

从图 8 中可以看出当系统电压高于虚线①时，STATCOM 输出无功功率达到感性限幅，1 号和 2 号 STATCOM 均发出 −20 Mvar 无功功率；当系统电压低于虚线③时，STATCOM 输出无功功率达到容性限幅，1 号和 2 号 STATCOM 均发出 20 Mvar 无功功率。

从图 8 还可以看出，在 08:00、12:00 和 18:00 工厂上下班时间，电网电压变化较明显，而 STATCOM 也实时跟踪电网电压进行线性无功输出，使电网电压变化更加平稳。在 13:00 和 22:00 左右，电网电压在目标电压值附近细微波动，STATCOM 由于其毫秒级的响应速度也不断进行跟踪补偿，2 组 STATCOM 的无功功率输出在[−5 Mvar，+5 Mvar]的区间内反复调节。

由于水乡变电站站内电容器组和电抗器组较多，且系统电压在 2013 年下半年未出现电压非常高或非常低的现象，所以未出现全站电容器或电抗器全投的情况。仅在系统调试阶段和 RTDS 试验时验证过电容器或电抗器全投时 STATCOM 限幅逐步放开的功能。

4.2　暂态电压控制应用效果

由于正常情况下 STATCOM 工作在稳态调压控制模式，仅在电网电压突变（一般是由电网故障引起）时会切换至暂态电压控制模式，将这种控制模式的切换称为 STATCOM 暂态启动。

下面以 2013 年 7 月 3 日的第一次暂态响应录波数据进行分析，如图 9 所示。

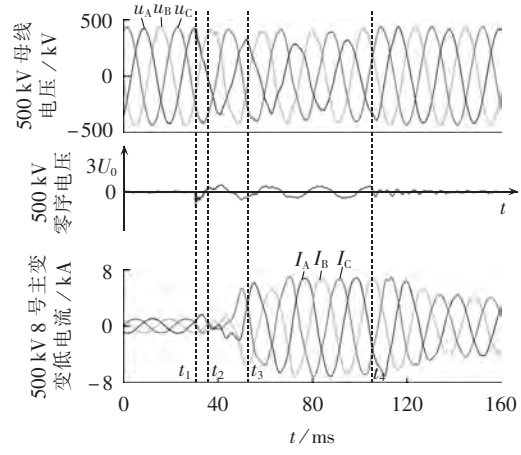

图 9 水乡站 STATCOM 第一次暂态启动录波图

Fig.9 First STATCOM transient-triggered wave record

2013 年 7 月 3 日深圳宝安直流换流站滤波器组发生故障（A 相短路），水乡站 500 kV 母线监测到 A 相电压跌落至 67%，达到触发 STATCOM 进入暂态电压控制的条件。从图 9 录波中 500 kV 零序电压可记录故障时刻为 t_1=28 ms，故障切除时刻为 t_4=97 ms，故障持续时间为 69 ms。其中 500 kV 8 号主变即为 STATCOM 专用变压器，其唯一负荷即为 2 组 STATCOM 装置，因此可以用其变低的电流来观测 STATCOM 的无功功率输出情况。

从图 9 中可知，在 t_2=34 ms 时刻 STATCOM 控制器响应进入暂态电压控制，控制器响应时间为 6 ms，满足设计要求。在 t_3=49 ms 时刻 8 号主变变低 B 相电流达到谷值 −5.95 kA，约为最大值的 85%。即电网故障后约 21 ms 时 STATCOM 达到约 255 Mvar 的无功功率输出。

本次 STATCOM 暂态启动中专用变压器变低电流有效值最大时为 4.95 kA，结合 35 kV 8 号母线电压，可计算出暂态启动最大无功输出为 302 Mvar。而基于图 9 中的录波曲线，可利用数据分析计算出 STATCOM 暂态响应时间约为 22.5 ms。

水乡站 STATCOM 装置在 2013 年下半年共暂态启动 8 次，均是由电网故障引起的。相关情况如表 1 所示。

表1 水乡站STATCOM暂态启动记录(共8次)

Table 1 STATCOM transient-triggered records(8 times in total)

序号	STATCOM暂态启动时刻	电网故障原因	STATCOM最大无功输出/Mvar	暂态响应时间/ms
1	2013-07-03T08:49:18	±500 kV兴安直流宝安换流站第一大组交流滤波器跳闸	302	22.5
2	2013-07-14T20:06:12	500 kV蓄增甲线蓄能B厂侧开关A相跳闸	293	19.3
3	2013-07-15T01:04:56	500 kV北增乙线两侧开关A相跳闸	278	17.2
4	2013-09-15T23:04:22	500 kV玉花乙线两侧开关B相跳闸	232	22.0
5	2013-09-22T18:35:07	500 kV红茅乙线两侧开关AB相故障	285	22.4
6	2013-09-22T20:19:39	500 kV惠茅甲线两侧开关BC相故障	280	21.1
7	2013-09-22T21:13:26	500 kV胪祯甲线两侧开关B相跳闸	235	21.9
8	2013-10-27T08:35:39	花都站500 kV 2号母线跳闸	275	20.0

注:STATCOM的暂态响应时间是指电网故障时刻与STATCOM发出90%最大暂态无功输出时刻的时间差。

从表1可以看出,水乡站STATCOM在2013年下半年的8次暂态启动中,均能在20 ms左右发出近300 Mvar的容性无功功率。通过相关科技查新,在国内外相关报道中未见有百兆乏级的STATCOM响应速度达到该数值的。

其中,2013年9月22日夜间"天兔"台风登陆广东省,广东电网多条线路跳闸,电网电压波动,水乡站STATCOM装置于2013年9月22日夜间暂态启动3次,为电网瞬间输送大量的容性无功功率,对抑制电压突变和改善直流系统运行环境作出了贡献。

5 结语

STATCOM装置在实际工程中最常用的2种控制模式是稳态调压模式和暂态电压控制模式,通过跟踪目标母线电压,STATCOM可实现灵活快速的动态无功功率补偿。百兆乏级STATCOM在国内外的工程应用仅有少数例子,本文结合水乡站±200 Mvar STATCOM投运半年的实际参数和运行数据,详细介绍了其电压控制功能设计、参数设定和应用效果,可为后续其他STATCOM装置的系统设计、装置研发和工程实践提供借鉴。

参考文献:

[1] 赵晋泉,孙晓明,龚成明,等. 含FACTS元件的电力系统电压稳定评估[J]. 电力系统自动化,2011,35(16):21-26.
ZHAO Jinquan,SUN Xiaoming,GONG Chengming,et al. Voltage stability assessment of a hybrid power system with FACTS devices[J]. Automation of Electric Power Systems,2011,35(16):21-26.

[2] 赵香花,陈远华,刘文华,等. 一种星接链式STATCOM不平衡补偿的新拓扑[J]. 电力自动化设备,2014,34(2):108-113.
ZHAO Xianghua,CHEN Yuanhua,LIU Wenhua,et al. New topology for unbalance compensation of cascaded STATCOM with star configuration[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(2):108-113.

[3] 袁志昌,柳勇军,黎小林,等. 兼顾阻尼抑制和电压支撑的动态无功补偿装置控制方法[J]. 电力自动化设备,2013,33(10):74-78.
YUAN Zhichang,LIU Yongjun,LI Xiaolin,et al. Control of dynamic reactive power compensator with damping control and voltage control[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(10):74-78.

[4] 马春明,解大,余志文,等. SVG的电压控制策略[J]. 电力自动化设备,2013,33(3):96-99.
MA Chunming,XIE Da,YU Zhiwen,et al. Voltage control strategy of SVG[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(3):96-99.

[5] 徐榕,于泳,杨荣峰,等. 基于无源性理论的H桥级联STATCOM非线性控制策略[J]. 电力自动化设备,2015,35(1):50-57.
XU Rong,YU Yong,YANG Rongfeng,et al. Stategy based on passivity theory for nonlinear control of STATCOM with cascaded H-bridge[J]. Electric Power Automation Equipment,2015,35(1):50-57.

[6] 黄柳强,郭剑波,孙华东,等. 多FACTS广域抗时滞协调控制[J]. 电力自动化设备,2014,34(1):37-42.
HUANG Liuqiang,GUO Jianbo,SUN Huadong,et al. Wide-area anti-delay coordinated control among FACTS controllers[J]. Electric Power Automation Equipment,2014,34(1):37-42.

[7] 周建丰,顾亚琴,韦寿祺. SVC与STATCOM的综合比较分析[J]. 电力自动化设备,2007,27(12):57-60.
ZHOU Jianfeng,GU Yaqin,WEI Shouqi. Comprehensive comparative analysis between SVC and STATCOM[J]. Electric Power Automation Equipment,2007,27(12):57-60.

[8] 朱永强,崔文进,胡东辰,等. ±50 Mvar静止补偿器接入系统运行策略仿真研究[J]. 电力系统自动化,2004,28(21):77-80.
ZHU Yongqiang,CUI Wenjin,HU Dongchen,et al. Simulation study on the running strategy of the ±50 Mvar STATCOM[J]. Automation of Electric Power Systems,2004,28(21):77-80.

[9] 高凯,黄华,邹彬,等. 上海西郊变电站STATCOM的性能测试及试运行情况[J]. 电力设备,2007,8(7):27-30.
GAO Kai,HUANG Hua,ZOU Bin,et al. Performance test and trial operation of STATCOM in West Suburb Substation in Shanghai[J]. Electrical Equipment,2007,8(7):27-30.

[10] 谢化安,王永源,万四维,等. 东莞变电站链式STATCOM控制保护的RTDS试验研究[J]. 电力系统控制与保护,2013,41(4):117-122.
XIE Huaan,WANG Yongyuan,WAN Siwei,et al. Research on the control and protection system of Dongguan Substation cascade static synchronous compensator based on RTDS[J]. Power System Protection and Control,2013,41(4):117-122.

[11] 李春华,黄伟雄,袁志昌,等. 南方电网±200 Mvar链式STATCOM系统控制策略[J]. 电力系统自动化,2013,37(3):126-131.
LI Chunhua,HUANG Weixiong,YUAN Zhichang,et al. Systemtic control strategies for ±200 Mvar cascaded STATCOM in

China Southern Power Grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(3):126-131.

[12] 李春华,张永康,王永源,等. 南方电网 ±200 Mvar 静止同步补偿器人工短路试验及分析[J]. 电力系统自动化,2013,37(4):125-129.
LI Chunhua,ZHANG Yongkang,WANG Yongyuan,et al. Artificial short circuit test and analysis of ±200 Mvar STATCOM in China Southern Power Grid[J]. Automation of Electric Power Systems,2013,37(4):125-129.

[13] 谢化安,王辉,梁晓军. 500 kV 东莞变电站 ±200 MV·A 静止同步补偿器的控制功能试验对比研究[J]. 高电压技术,2013,39(3):762-766.
XIE Huaan,WANG Hui,LIANG Xiaojun. Comparative study on control function test for ±200 MV·A static synchronous compensator of 500 kV Dongguan Substation[J]. High Voltage Engineering,2013,39(3):762-766.

[14] 刘锦宁,李旷,张海涛,等. 高压大容量动态无功补偿装置 STATCOM 起动方式的研究[J]. 电气技术,2012(2):29-31.
LIU Jinning,LI Kuang,ZHANG Haitao,et al. Research of start-up mode for high-voltage large-capacity STATCOM[J]. Electrical Engineering,2012(2):29-31.

[15] 许树楷,陈名,傅闯,等. 南方电网 ±200 Mvar 静止同步补偿装置系统调试[J]. 南方电网技术,2012,6(2):21-25.
XU Shukai,CHEN Ming,FU Chuang,et al. The system commissioning of ±200 Mvar STATCOM in China Southern Power Grid[J]. Southern Power System Technology,2012,6(2):21-25.

[16] 黄伟雄,刘锦宁,王永源,等. 35 kV±200 Mvar STATCOM 系统总体设计[J]. 电力自动化设备,2013,33(10):136-142.
HUANG Weixiong,LIU Jinning,WANG Yongyuan,et al. Overall design of 35 kV ±200 Mvar STATCOM system[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(10):136-142.

作者简介:

刘锦宁

刘锦宁(1979—),男,广东东莞人,高级工程师,硕士,研究方向为电力系统自动化;

刘　洋(1985—),男,湖北安陆人,工程师,硕士,研究方向为电力系统控制与保护;

何伟斌(1973—),男,广东东莞人,高级工程师,硕士,研究方向为电力系统自动化。

Grid voltage control of ±200 Mvar STATCOM

LIU Jinning,LIU Yang,HE Weibin

(Guangdong Power Grid Corporation Dongguan Power Supply Bureau,Dongguan 523000,China)

Abstract: Combined with the application practice of ±200 Mvar STATCOM in China Southern Power Grid, the strategy of power grid voltage control by large-capacity STATCOM is studied. Based on the principle of dynamic reactive power compensation,four control modes of STATCOM device are introduced. It is pointed out that,only the steady-state voltage control mode and transient voltage control mode are suitable for the formal operation and the pattern recognition and switchover are automatically carried out according to the voltage of target bus. The basic parameters of steady-state voltage control mode are designed and its voltage regulating range and effect on grid voltage are analyzed. The STATCOM transient voltage control logic is designed based on the specific analysis of power grid faults and it is pointed out that,the active blocking state with zero reactive power can be entered in case of near-end fault. The comparison between daily grid voltage curve and STATCOM reactive power curve confirms that,STATCOM regulates the grid voltage in real time by tracking it in the steady-state voltage control mode. The fault recording wave analysis shows that,STATCOM can send up to 90% of the designed maximum transient reactive power output in about 20 ms. Applications verify the proposed strategy of STATCOM power grid voltage control is feasible and effective.

Key words: STATCOM; pattern recognition; steady-state voltage control; transient voltage control; reactive power compensation; voltage control; design; application effect