

Application of STATCOM in 500 kV Beijiao Substation

Qiu Hong¹, Yang Zhang², Yuting Chen¹, Tao Huang³, Shilan Shen¹

¹Guangzhou Power Supply Bureau, Guangzhou Guangdong

²China Nuclear Power Engineering Co., Ltd., Beijing

³CSG Power Dispatching Control Center, Guangzhou Guangdong

Email: Hongqiu1983@126.com, zhangyang@cnpe.cc, Huangtao@csg.cn

Received: Nov. 28th, 2016; accepted: Dec. 17th, 2016; published: Dec. 20th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

With the development of power electronic technology, STATCOM has been playing an important role in improving the power quality of the power system with a smooth voltage regulation curve and a precise adjustment ability. This article takes the STATCOM application of 500kV Beijiao substation for example, analyzes the operation mode and voltage regulating principle, and describes the advantage and importance of STATCOM in power grid operation through the actual operation situation.

Keywords

STATCOM, Voltage Regulation, Power Quality, Power Grid Operation

STATCOM在500 kV北郊变电站的应用

洪秋¹, 张杨², 陈玉婷¹, 黄韬³, 沈石兰¹

¹广州供电局有限公司, 广东 广州

²中国核工程有限公司, 北京

³中国南方电网公司电力调度控制中心, 广东 广州

Email: Hongqiu1983@126.com, zhangyang@cnpe.cc, Huangtao@csg.cn

收稿日期: 2016年11月28日; 录用日期: 2016年12月17日; 发布日期: 2016年12月20日

摘要

随着电力电子技术的进步, STATCOM凭借着平滑的电压调节曲线和精确的调节能力, 为电力系统电能质量的提高起到了重要的作用。本文以500 kV北郊变电站的STATCOM应用为例, 对其运行模式和电压调节原理进行分析, 通过实际运行情况, 说明了STATCOM在电网运行中发挥的重要作用和优越性。

关键词

STATCOM, 电压调节, 电能质量, 电网运行

1. 引言

电力系统中电能的传输传统的采用三相输电的方式[1], 近年来, 直流输电技术越来越成熟, 由于珠三角地区的经济发展迅猛, 电力供应需求很大, 但是区域的供电能力不足, 我国的西部地区水力、煤炭资源丰富, 水力发电、利用当地的坑口电厂发电较多, 且大有盈余, 通过“西电东送”的方式将电能送入负荷密集的区域。随着天广直流、楚穗直流、牛从直流等投入运行, 中国南方电网已经形成了“八交八直”的高压输电网络, 呈现出“强直弱交”特性, 交直流的相互影响突出。当500 kV北郊变电站发生单相短路故障或三相短路故障, 将导致八回直流同时换相失败。若交流系统故障不能快速切除, 则多回直流持续换相失败或持续换相失败导致直流闭锁, 系统将可能失去稳定。

当系统发生故障, 导致系统电压下降, 在严重的情况下可能导致系统崩溃。传统的调压方式包括发电机机端电压调节、变压器分接头调节、投入无功补偿装置调节, 这些方式的响应时间较长。静止同步补偿器(STATCOM: Static Synchronous compensator)与传统的补偿装置相比, 能够迅速补偿无功而提高功率因数 and 稳定接入点电压的电能质量, 具有响应速度快, 占地面积小等优点 [2] [3] [4] [5]。

静止无功补偿装置能够快速、动态、持续的进行无功输出并可以提供阻尼低频功率振荡控制功能, 在系统发生故障后的一两个周期内通过瞬发的无功补偿, 来维持系统电压水平, 其无功调节能力平滑, 成为故障状态下系统无功电压支撑的重要方式之一[6] [7] [8] [9] [10]。本文通过分析 STATCOM 的控制原理和北郊站 200 MVA 容量的 STATCOM 的实际应用情况, 验证了大容量 STATCOM 已经成为提供无功补偿、调整电压, 改善系统电压水平, 改善电力系统的动态和暂态稳定性的重要手段。

2. STATCOM 原理介绍

STATCOM 的原理就是将逆变电路通过电抗器或是直接并联接入电网, 通过调节桥式电路交流侧输出电压的相位和幅值, 或是直接控制其交流侧输出的电流, 使该电路吸收或发出计算所需要的无功电流, 实现动态无功补偿的目的。

设电网电压和 STATCOM 输出的交流电压分别用相量 \dot{U}_s 和 \dot{U}_l 表示, 则连接电抗 X 上的电压 \dot{U}_l 即为 \dot{U}_s 和 \dot{U}_l 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 从电网吸收的电流 i 。未计及连接电抗器和逆变器的损耗, STATCOM 的工作原理可以用图 1 所示的单相等效电路图来说明。在这种情况下, 只需使 \dot{U}_l 与 \dot{U}_s 同相, 仅改变 \dot{U}_l 幅值大小即可以控制 STATCOM 从电网吸收的电流是超前还是滞后 90° , 并且能控制该电流的大小。

3. STATCOM 的主电路拓扑

北郊变电站的 STATCOM 有两套, 单套 STATCOM 的容量大小为 ± 100 Mvar, 为 35 kV 电压等级的。

其接线方式如图 2 所示。

STATCOM 采用三角形连接，通过串联连接电抗器，经过断路器接入到 35 kV 母线。35 kV 系统与 220 kV 系统是通过专用变压器连接，接入到北郊站的 220 kV 电压的母线。正常运行时，STATCOM 与站内的电容器组、电抗器组一起作用，调节母线电压水平。在系统中发生接地故障的时候，作为无功储备，能够瞬时提供 1.5 倍额定功率的输出，对系统提供无功支撑，保证大电网运行的稳定性。

STATCOM 采用级联的方式进行连接，其单相的换流链组成结构如图 3 所示。

单相换流链由 27 个换流单元组成，换流单元采用背靠背 H 桥的拓扑结构，通过 PWM 整流电路给储能电容进行充电(见图 4)。通过控制系统驱动开关元件(IGBT)的通断，得到输出。

4. STATCOM 控制电路分析

STATCOM 控制系统，主要由检测电路、控制器、脉冲发生器/分配器、监控器等几部分及其监控后台系统组成。

STATCOM 控制系统主要完成的功能包括 STATCOM 的逻辑操作，控制策略，保护功能，监测功能等内容。控制系统的工作过程是：通过电压互感器和电流互感器采集电网的电压和电流，通过 IO 电路、A/D 转换电路，经采样处理后，传送到控制器中；控制器通过计算，产生 PWM 驱动信号，通过驱动电路加到变流器的门极，触发变流器的导通和截止，从而完成对 STATCOM 的控制。根据 CPLD 单元检测回路的反馈信号和功率模块的状态信息进行逻辑判断，实现保护功能。其系统控制流程如图 5 所示。

系统监控柜主要是监控后台的人机交互界面，对装置进行操作命令的下达，已经装置的运行状态监测，作为装置内部通信和与外界通信。

系统控制柜，则通过采集一次装置的采样，并且接受监控主机下发的操作命令，形成装置的控制策略。例如：STATCOM 的无功输出，STATCOM 本体的保护。装置控制柜的指令来自于系统控制柜。

装置控制柜形成控制策略，而脉冲控制柜则是接收命令。形成驱动 IGBT 通断的 PWM 信号，通过光纤传输到每个换流单元的 CPLD 控制板上，并接收每个功率单元返回的数据和状态。

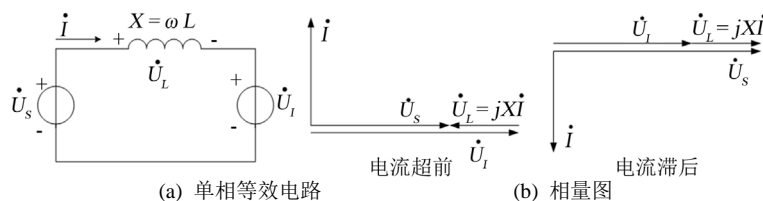


Figure 1. The equivalent circuit and working principle of STATCOM
图 1. STATCOM 等效电路及工作原理

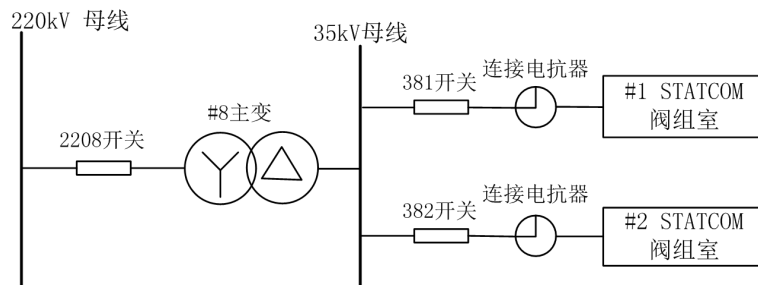


Figure 2. The system access method of the STATCOM
图 2. 北郊站 STATCOM 的系统接入方式

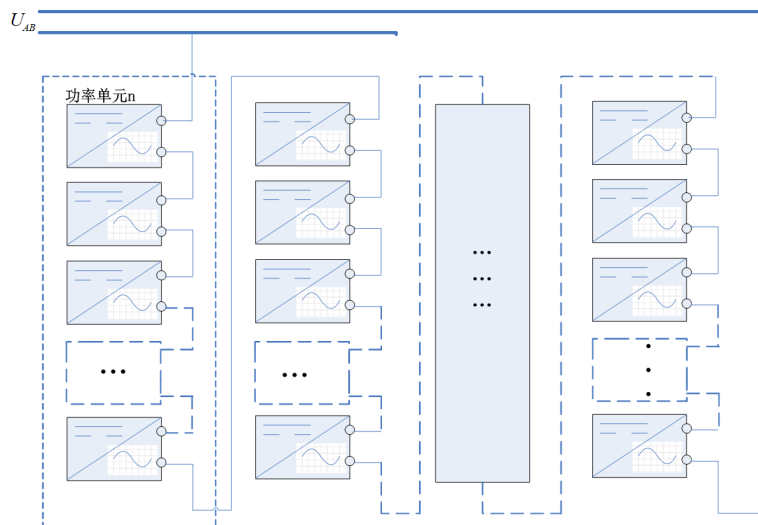


Figure 3. The composition of single phase flow chain
图 3. 单相换流链的组成形式

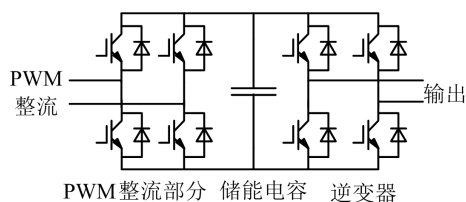


Figure 4. Structure of the inverter unit
图 4. 换流单元的结构

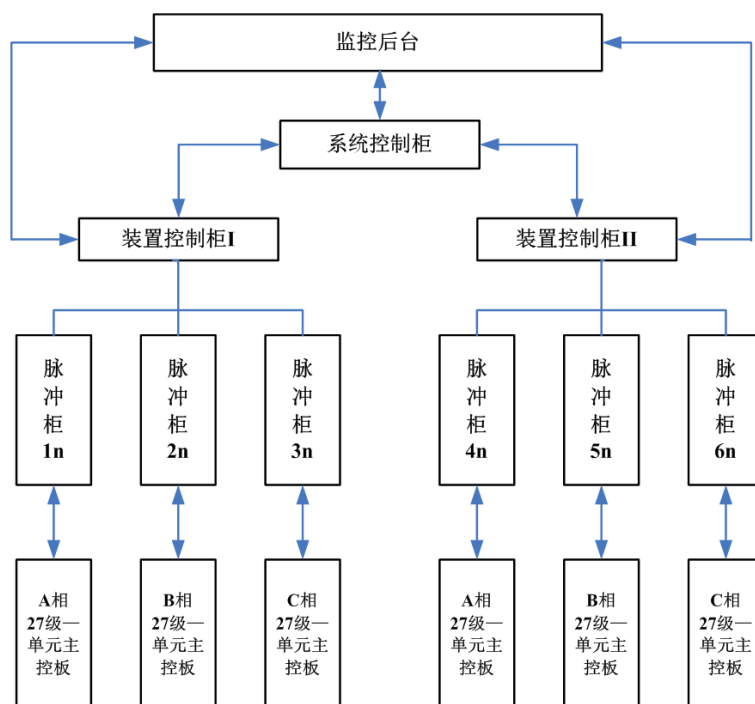


Figure 5. Block diagram of control system
图 5. 系统控制框图

5. 控制策略

北郊站 STATCOM 的主要作用是提高暂态电压稳定性，防止电压崩溃的发生；并且提供动态无功支撑，加速故障后电压恢复，减少低压释放负荷。在调度的控制下，可以参与站内的无功容量参与日常运行的稳态调压。

5.1. 控制模式

针对广州电网运行特点，STATCOM 的控制方式有如下五种模式：

- 1) 人工干预模式
- 2) 暂态电压控制模式
- 3) 远方控制模式
- 4) 稳态调压模式
- 5) 稳态定无功控制模式

在现场应用中，STATCOM 正常运行在稳态调压模式，根据系统的电压变化而进行自动调节，STATCOM 装置的目标电压为 220 kV 的 5 M、6 M 母线电压。为保证装置留有足够的动态无功储备，装置输出容量选取标准为：容性上限略小于一组电容器，感性上限略小于一组电抗器，其取值为 40 Mvar。

在暂态模式下，当三相电压有效值低于闭锁电压阈值 80.3 kV (0.4 p.u.)，STATCOM 控制系统判定为近区短路故障，为避免装置进入暂态增大系统短路电流，暂态控制模式闭锁定电压控制，同时启动零无功控制，装置输出无功保持为零，直到零无功控制退出。其暂态控制模式的逻辑如图 6 所示。

当 STATCOM 在暂态控制模式下且不满足进入零无功条件时，STATCOM 电压调整器结合了非线性增益功能，启动增益优化，有助于尽快实现无功功率满发，进入暂态后发出 1.5 倍额定容量的无功功率。

5.2. 输出方式

STATCOM 可以分为两种运行方式：等容量运行方式和不等容量运行方式。

- 1) 等容量运行方式

每套阀组输出的无功为计算补偿无功的一半，两套 STATCOM 的阀组输出相等的无功，将无功输出指令值通过参考电流计算将各自脉冲信号发送给装置级控制器。

- 2) 不等容量运行方式

事先将两套阀组进行主和副分配。当目标补偿无功小于 100 Mar 时，由 STATCOM 主阀组进行调节输出给定无功，副阀组输出零。当目标补偿无功大于 100 Mvar 时，STATCOM 主阀组输出 100 Mvar，剩余部分由副阀组输出。

由于北郊站的 STATCOM 在平时参与站内无功调节的无功限额为 40 Mvar，采用了了等容量的运行方式。

6. STATCOM 运行

6.1. 正常运行模式

STATCOM 正常工作时参与系统电压调节，是按照省调下发的电压调节曲线进行调压的。当母线实际电压低于目标电压时，STATCOM 装置发出容性无功功率以提高母线电压，反之当母线实际电压高于目标电压时，STATCOM 装置发出感性无功功率以降低母线电压。其补偿的无功功率值为[-40, 40] Mvar。装置运行界面如图 7 所示。

从监控后台的主界面可以看出，其输出无功功率为-40 Mvar (正为容性，负为感性)，每台 STATCOM

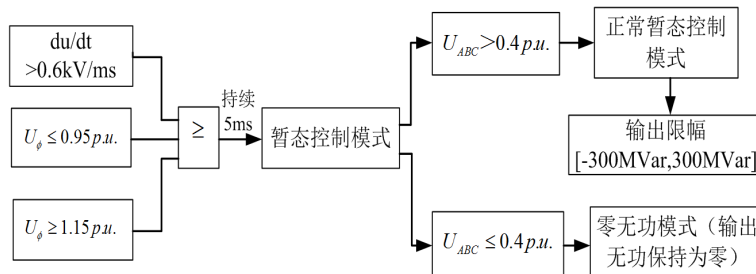


Figure 6. Logic of STATCOM in the transient control mode
图 6. STATCOM 暂态控制模式逻辑

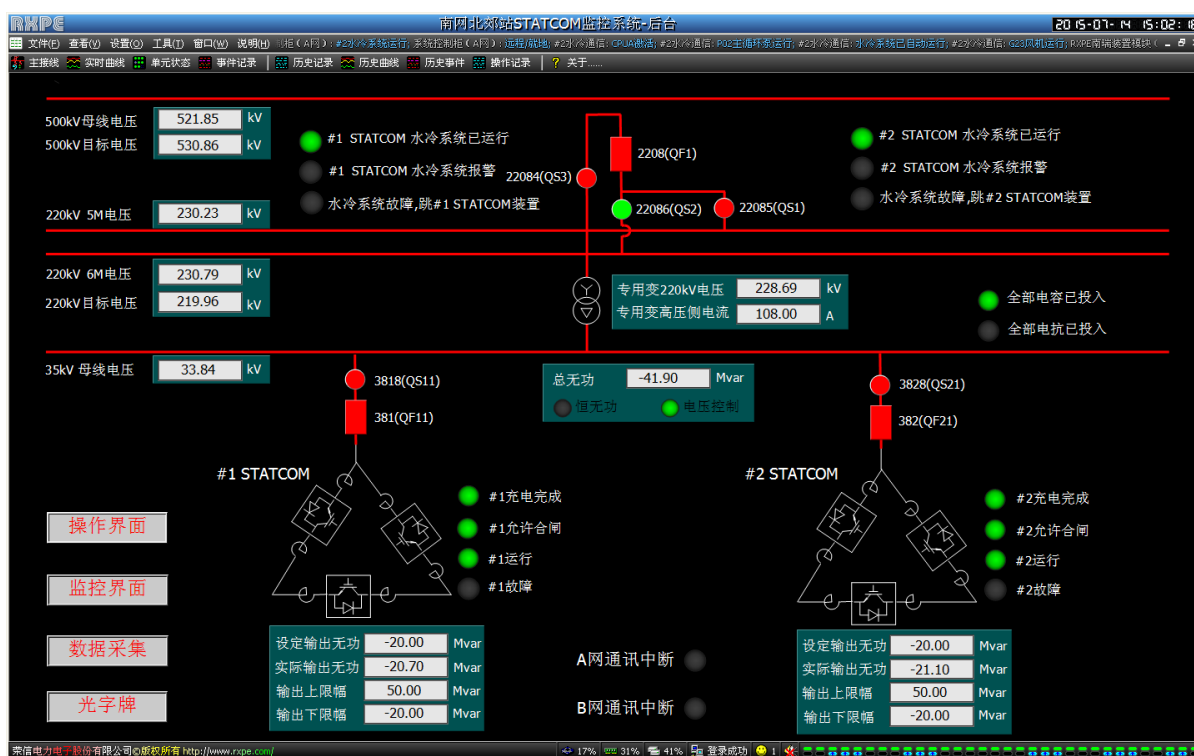


Figure 7. The operation control interface of the STATCOM
图 7. STATCOM 运行控制界面

的出力为 20 Mvar，处于等容量运行模式。此时 220 kV 的母线电压为 230 kV，而省调下发的目标控制值为 220 kV，STATCOM 发出为感性无功。

6.2. 进入暂态运行模式

控制系统通过对 220 kV 三相电压有效值的大小和变化速度来识别故障，并根据故障的严重程度来实现相应的控制策略。当大电网中发生故障的时候，STATCOM 检测到系统电压有波动，进入暂态模式。

以 500 kV 花都变电站 500 kV 母线发生单相接地故障为例，北郊站与花都站通过双回 500 kV 北花甲乙线连接，北郊站 STATCOM 检测到异常，进入暂态工作模式。故障时候 220 kV 母线电压波形、STATCOM 的输出电流波形、功率输出波形如图 8~图 10 所示。

通过分析，STATCOM 在实际运行中，可以准确的检测到系统的故障，并且进入暂态模式，动态响应时间为 9 ms 左右，响应迅速，发出的无功容量为 237.48 Mvar。有力的对大系统的无功进行了补充。

7. 结论

本文根据 STATCOM 的主电路拓扑, 分析了 STATCOM 的接入电网方式和控制模式。依据北郊站中

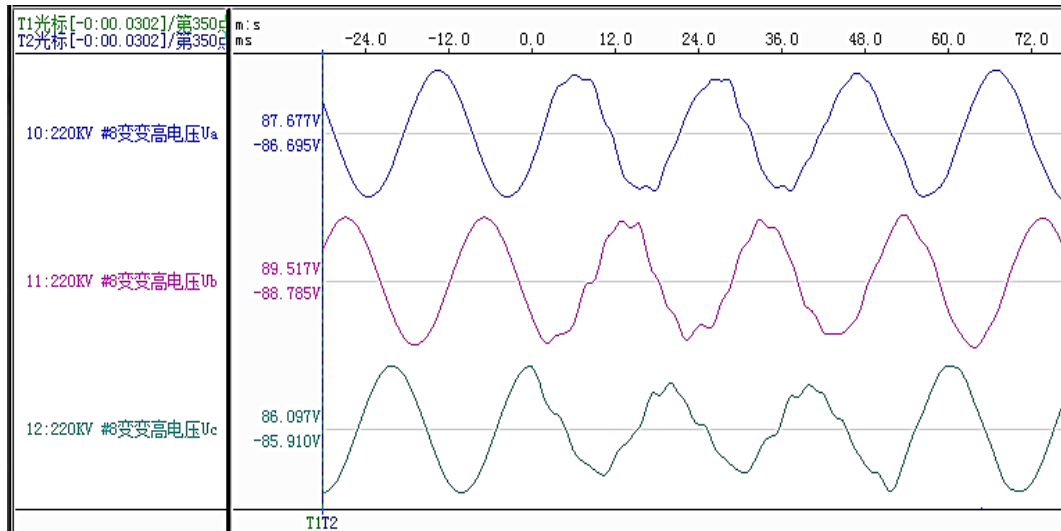


Figure 8. The voltage waves of 220 kV bus when fault
图 8. 故障时 220 kV 母线电压波形

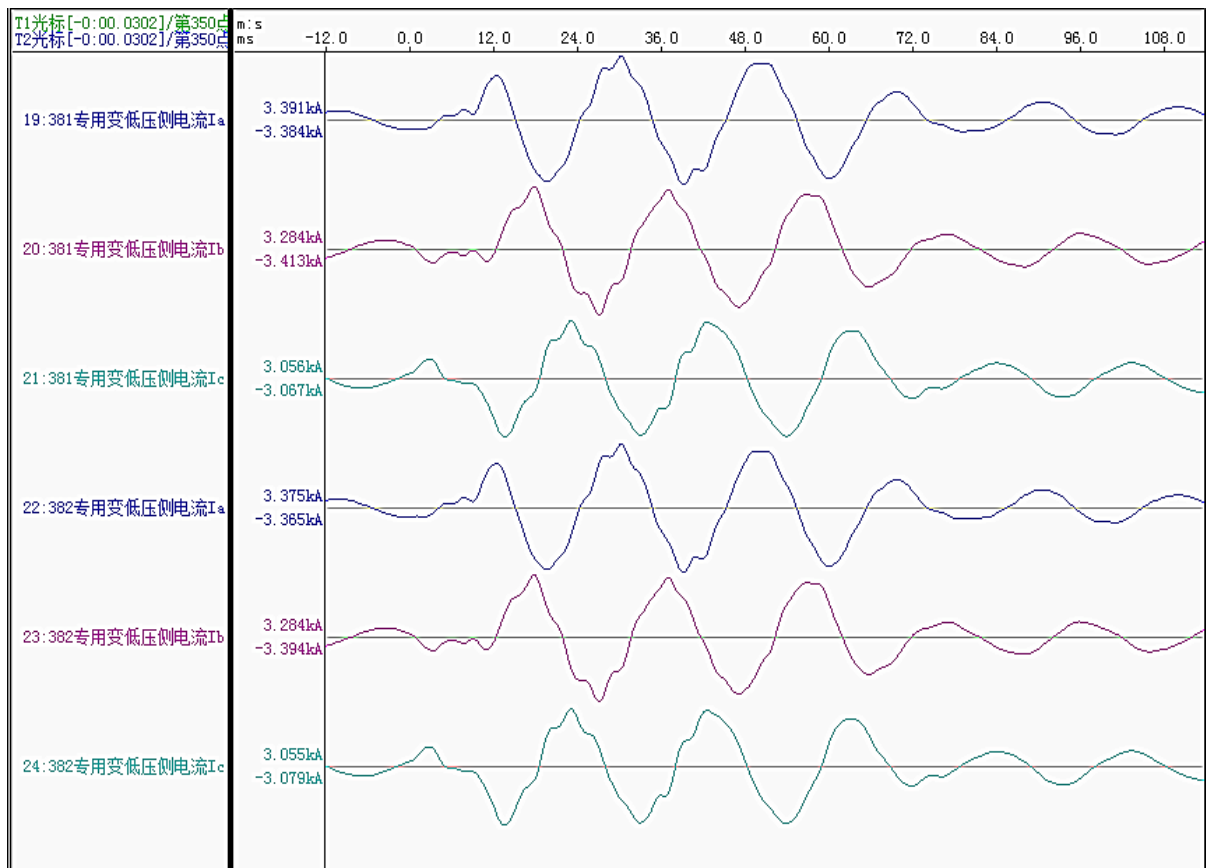


Figure 9. The output current waves of STATCOM during failure
图 9. 故障时 STATCOM 输出电流波形

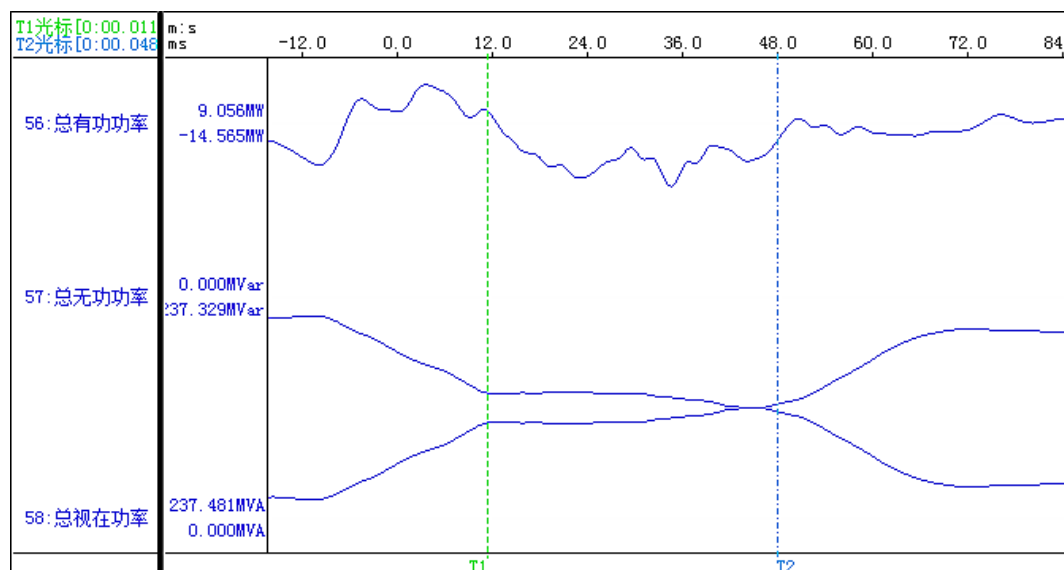


Figure 10. The transient power curve of the STATCOM

图 10. STATCOM 暂态期间功率曲线

200 MVar 容量的 STATCOM 的实际应用情况, 分别探讨了其在稳态和暂态的运行方式, 稳态时根据省调下发的母线目标电压与实际母线电压的偏差调整 STATCOM 的无功输出, 达到减小电压偏差的目的; 暂态时, 以单相接地故障为例, 检测到系统电压大幅下降时, 快速响应, 向系统输出大量无功功率, 达到稳定系统电压的目的。本文为 STATCOM 在电网中的应用实践, 做了一定的探究作用。

参考文献 (References)

- [1] 肖湘宁, 徐永海, 刘连光. 供电系统电能质量[M]. 北京: 华北电力大学, 2000.
- [2] 邸亚静, 等. 级联多电平电压质量调节装置的多目标控制[J]. 电力系统自动化. 2009, 33(12): 80-84
- [3] 梅永振, 王海云, 常鹏, 等. STATCOM 对输电系统及受端电能质量的影响[J]. 电网与清洁能源, 2016(8): 1-6.
- [4] 胡伟, 孙建军, 姜一鸣, 等. 含 STATCOM 的孤岛微电网低频稳定性分析[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(10): 2454-2462.
- [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.
- [6] 许树楷, 陈名, 傅闯. 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.
- [7] 黄剑. 南方电网±200 Mvar 静止同步补偿装置工程实践[J]. 南方电网技术, 2012, 6(2):14-20.
- [8] 芦兴, 洪秋, 张文远. 基于 FPGA 控制的多电平电压质量调节装置研究[J]. 电网技术, 2012, 36(5): 150-155.
- [9] 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): 116-121.
- [10] Lee, T.L., Hu, S.H. and Chan, Y.H. (2013) D-STATCOM with Positive-Sequence Admittance and Negative-Sequence Conductance to Mitigate Voltage Fluctuations in High-Level Penetration of Distributed Generation Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, **60**, 1417-1428. <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2166233>

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojcs@hanspub.org