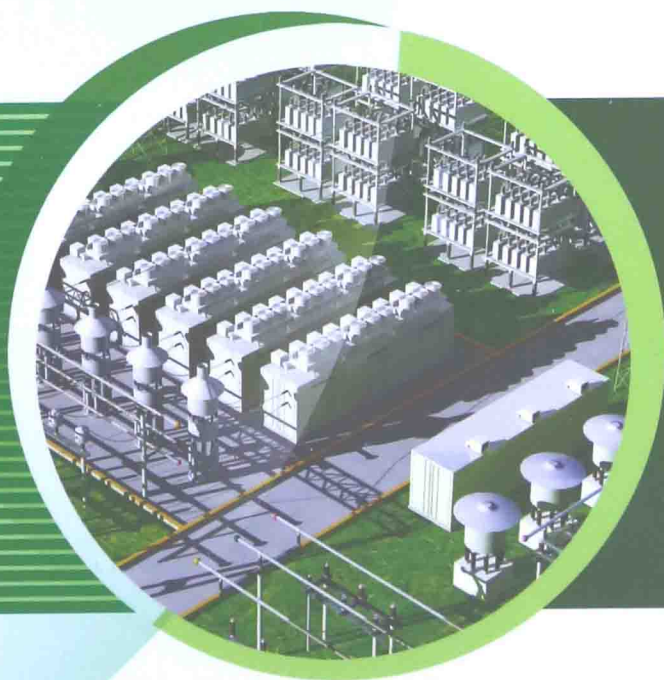


高压大容量静止无功补偿器应用技术 运行与维护分册

广东电网公司东莞供电局 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

高压大容量静止无功补偿器应用技术 运行与维护分册

广东电网公司东莞供电局 编

内 容 提 要

本套技术丛书是基于“十一五”国家科技支撑计划设立的“中高压、百兆伏安级链式及多电平变流器与静止补偿器研制”重点项目的研究成果而编写的，丛书全面总结了高压大容量 STATCOM 装置产学研用的全过程理论与实践，为 STATCOM 装置的进一步推广应用提供了借鉴。

本套技术丛书共分技术开发与工程应用、原理、设计、安装与验收、调试试验、运行与维护 6 个分册。本书为运行与维护分册，主要内容包括 STATCOM 的运行、操作及监控，STATCOM 装置的可靠性，STATCOM 装置的巡视与维护，STATCOM 异常、故障及处理，STATCOM 故障处理案例以及 STATCOM 检修。

本书适合电网企业从事变电运行维护与检修的管理人员和技术人员学习使用。对 STATCOM 装置生产企业和大专院校相关师生具有很好的参考意义。

图书在版编目（CIP）数据

高压大容量静止无功补偿器应用技术. 运行与维护分册/
广东电网公司东莞供电局编. —北京：中国电力出版社，
2014.6

ISBN 978-7-5123-4113-5

I. ①高… II. ①广… III. ①静止无功补偿器—运行
②静止无功补偿器—维修 IV. ①TM714.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 040172 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 6 月第一版 2014 年 6 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 8.25 印张 140 千字

定价 26.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

高压大容量静止无功补偿器应用技术

运行与维护分册

主 编 黄伟雄

副主编 王永源

参 编 刘锦宁 刘 洋

前言

静止同步补偿器 (Static Synchronous Compensator, 简称 STATCOM, 又称 SVG) 代表目前无功补偿领域的最新技术, 属于灵活柔性交流输电系统 (FACTS) 的重要组成部分。随着可关断大功率电力电子器件和变流技术的不断发展, 近年来高压大容量 STATCOM 装置在国内外电网进行了一些试点应用, 也取得一定的安装验收和运行维护经验。2007 年底, “十一五” 国家科技支撑计划设立了 “中高压、百兆伏安级链式及多电平变流器与静止补偿器研制” 重点项目, 研制了 35kV/±200MVA STATCOM 装置, 并于 2011 年成功在南方电网公司 500kV 东莞变电站投入运行。从科研立项到装置安装调试、正式运行, 五年时间积累了理论研究、设计制造、安装调试和运行维护等一系列经验成果。本技术丛书旨在此应用项目的基础上, 全面总结高压大容量 STATCOM 装置产学研用的全过程理论与实践, 为 STATCOM 装置的进一步推广应用提供借鉴。本技术丛书共分技术开发与工程应用、原理、设计、安装与验收、调试试验、运行与维护 6 个分册。

《运行与维护分册》共分 6 章, 由黄伟雄担任主编、王永源担任副主编。各章编写人员及编写分工如下: 第 1、2 章由黄伟雄负责编写; 第 3、4 章由王永源负责编写; 第 5 章由刘锦宁负责编写; 第 6 章由刘洋负责编写。

本书在编写的过程中, 中国南方电网有限责任公司、广东电网公司、南方电网科学研究院有限责任公司、广东电网公司电力科学研究院、广东省电力设计研究院、广东省电力调度控制通信中心、广东电网公司东莞供电局、荣信电力电子有限公司、清华大学、辽宁科技大学等单位给予了大力支持, 编写时还参阅了有关参考文献、国家标准、技术说明书等。在此, 对以上单位及有关人员表示衷心的感谢。

由于时间仓促, 编者水平有限, 书中疏漏和不足之处在所难免。恳请读者批评指正。

编者

2014 年 5 月

目 录

前言

1	STATCOM 的运行、操作及监控	1
1.1	±200Mvar STATCOM 的运行	1
1.2	±200Mvar STATCOM 的操作	14
1.3	±200Mvar STATCOM 的监控	24
2	STATCOM 装置的可靠性	31
2.1	可靠性理论的定义	32
2.2	STATCOM 的可靠性模型	33
2.3	STATCOM 的可靠性设计	40
3	STATCOM 装置的巡视与维护	46
3.1	STATCOM 装置巡视	46
3.2	STATCOM 装置维护	54
4	STATCOM 异常、故障及处理	65
4.1	换流链的异常、故障及处理	65
4.2	保护异常、故障及处理	67
4.3	水冷系统的异常运行及事故处理	70
4.4	STATCOM 低压配电设备故障处理	78
5	STATCOM 故障处理案例	82
5.1	换流链故障处理案例	82
5.2	控制及保护系统故障处理案例	87

5.3 水冷系统故障处理案例 109

6 STATCOM 检修.....113

6.1 阀塔 H 桥拆卸.....113

6.2 水冷系统检修 121

参考文献..... 123

STATCOM 的运行、操作及监控

1.1 $\pm 200\text{Mvar}$ STATCOM 的运行

1.1.1 运行方式

STATCOM 可运行在稳态调节和暂态调节两种运行方式。稳态调节的运行方式 STATCOM 相当于一组电容器组或电抗器组，可以在变电站端控制，也可以在调度部门通过下发无功定值和无功曲线来控制，稳态调节可分为恒电压控制和恒无功控制。暂态调节是 STATCOM 最突出的作用，是应对电网故障的重要手段，当 STATCOM 检测到系统电压快速变动或骤降情况，自动进入暂态调节运行方式，无需人工干预。

(1) 恒电压控制。STATCOM 恒电压模式，是稳态调压控制模式中的一种，即反应系统正常运行时的小扰动或负荷变化引起系统电压波动而进行的无功补偿控制。其基本的特性可看做是连续可调的电容电抗器，通过所控制的系统（220kV 或 500kV）电压与 STATCOM 设定目标电压参考值比较，结合装置给定的无功限幅，输出一定的无功。若系统电压低于参考电压，则输出限幅范围内的容性无功；反之输出限幅范围内的感性无功。

在 STATCOM 系统调试过程中，恒电压模式对系统电压的控制效果主要靠电压/电流斜率特性体现。STATCOM 控制的线性范围是 STATCOM 端电压随 STATCOM 电流作线性变化的控制区域，其中电流或无功功率可以在整个容性到感性的区域内变化。但考虑到实际系统电压波动时，容易造成 STATCOM 过于频繁达到无功功率限值，如图 1-1 所示，当系统负荷曲线在 A、B 两个位置波动时，STATCOM 从最大感性电流跳跃到最大容性电流，这样对装置的长久运行是不利的。因此，无功补偿装置一般不设计成具有水平的电压—电流特性，而是设计成具有一定斜率的特性（如图 1-2 所示）。通过这样设计，可以在稳态时使 STATCOM 的无功出力在一定范围内调节，而储备更多的无功用于反映暂态。

STATCOM 恒电压模式试运行中，STATCOM 系统控制参数组控制 220kV 目标电压为 231kV，500kV 目标电压为 525kV，斜率为 0.03。稳态恒电压模式无功输出限幅上限为 +40Mvar，下限为 -40Mvar。调节效果相当于站内一组电容器/电

抗器。

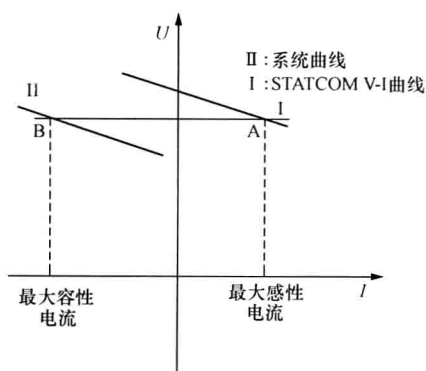


图 1-1 水平的电压/电流特性曲线

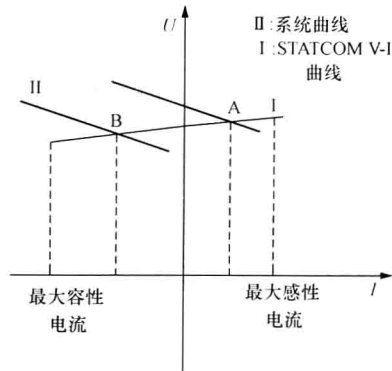


图 1-2 电压/电流斜率特性曲线

以控制 220kV 系统为例，表 1-1 为 STATCOM 系统调试电压/电流斜率特性试验中某一时段单套 STATCOM 控制效果，可见，随着 220kV 系统电压波动，STATCOM 按斜率特性输出无功，范围在-40~40Mvar 之间。

表 1-1 以 220kV 电压等级为控制对象的电压/电流斜率特性试验

时间	操 作	#1 STATCOM 实际输出无功 (Mvar)	220kV 电压 (kV)	控制目标值 (kV)
10:46	投电容器组 311	-7.6	231.2	231
10:50	投电容器组 313	-19.2	231.6	231
10:59	投电容器组 315	31.5	232.0	231
11:03	退电容器组 315	-19.6	231.7	231
11:08	退电容器组 313	-8.1	231.2	231
11:15	退电容器组 311	5.2	231.0	231
11:20	投电抗器组 312	10.6	230.7	231
11:25	投电抗器组 314	11.8	230.6	231
11:30	投电抗器组 316	12.2	230.5	231
11:36	退电抗器组 316	5.3	231.0	231
11:39	退电抗器组 314	-12.5	231.5	231
11:42	退电抗器组 312	-36.8	232.2	231

以控制 500kV 系统为例，表 1-2 为 STATCOM 系统调试电压/电流斜率特性试

验中某一时段单套 STATCOM 控制效果，可见，随着 500kV 系统电压波动，STATCOM 按斜率特性输出无功，范围在-40~40Mvar 之间。

表 1-2 以 500kV 电压等级为控制对象的电压/电流斜率特性试验

时间	操 作	#1 STATCOM 实际输出无功 (Mvar)	500kV 电压 (kV)	控制目标 (kV)
14:11	投电容器组 311	5.1	523.6	525
14:14	投电容器组 313	5.3	523.9	525
14:20	投电容器组 315	5.4	524.1	525
14:31	退电容器组 315	5.3	524.0	525
14:35	退电容器组 313	5.4	523.9	525
14:37	退电容器组 311	5.3	523.7	525
14:41	投电抗器组 312	8.1	523.3	525
14:47	投电抗器组 314	11.9	523.0	525
14:52	投电抗器组 316	12.4	522.9	525
14:55	退电抗器组 316	6.6	523.3	525
14:58	退电抗器组 314	5.1	523.7	525
15:01	退电抗器组 312	5.3	524.3	525

(2) 恒无功控制。STATCOM 恒无功控制是稳态调压模式中的一种，其作用相当于常规无功设备，通过设定无功输出指令，定量输出感性/容性无功。系统在各恒定无功控制设定参考值指令下，某一时段电压及实际无功功率输出情况见表 1-3，录波图如图 1-3~图 1-12 所示。

表 1-3 恒无功控制试验数据

时间	设定输出无功指令 (Mvar)	220kV 电压 (kV)	实际输出无功 (Mvar)
15:04	容性 10	232.2	9.9
15:21	容性 20	232.3	19.9
15:27	容性 40	232.2	39.9
15:32	容性 50	232.4	49.9
15:41	容性 30	232.2	29.8
15:46	容性 10	231.8k	9.9

续表

时间	设定输出无功指令 (Mvar)	220kV 电压 (kV)	实际输出无功 (Mvar)
15:51	感性 20	231.5	-19.8
16:01	感性 40	231.4	-39.7
16:06	感性 50	231.4	-49.8
16:16	感性 30	232.6	-29.6
16:20	感性 10	232.8	-9.8

录波图图例：

通道	验收	类 型
CH1	曲线 1	调制波
CH2	曲线 2	35kV 电网电压-AB
CH3	曲线 3	A 相环内电流
CH4	曲线 4	B 相环内电流
CH5	曲线 5	35kV 电网电压-BC

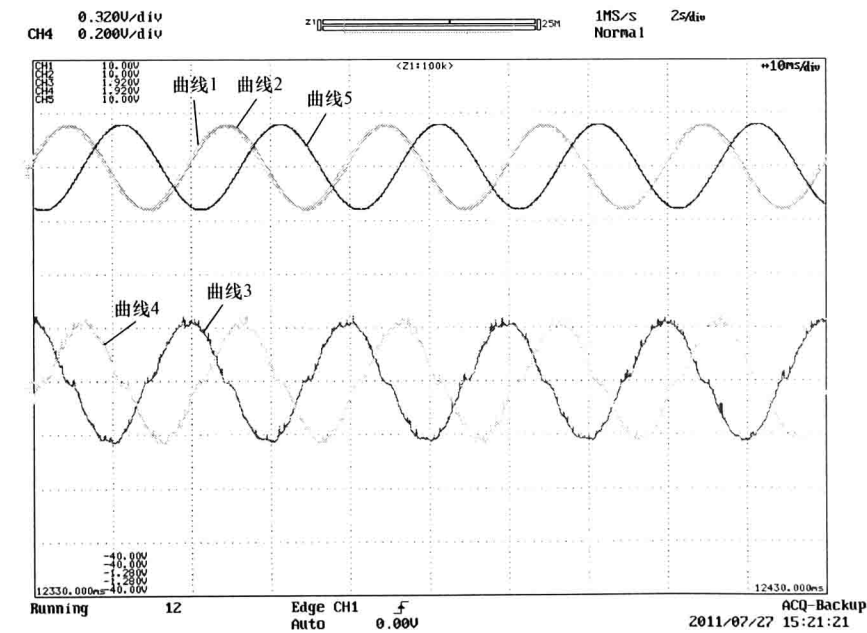


图 1-3 #1 STATCOM 输出容性 10Mvar 无功电流波形

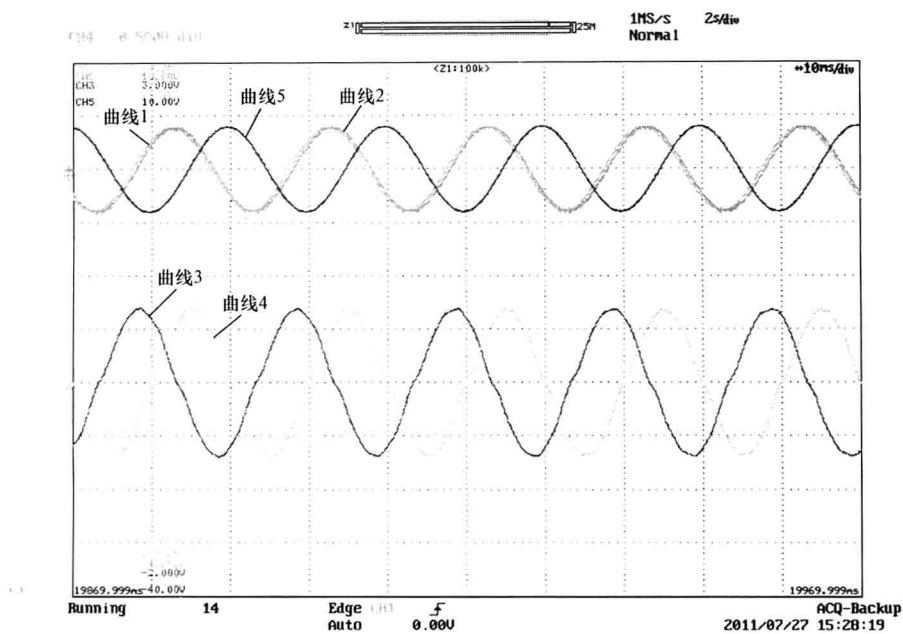


图 1-4 #1 STATCOM 输出容性 20Mvar 无功电流波形

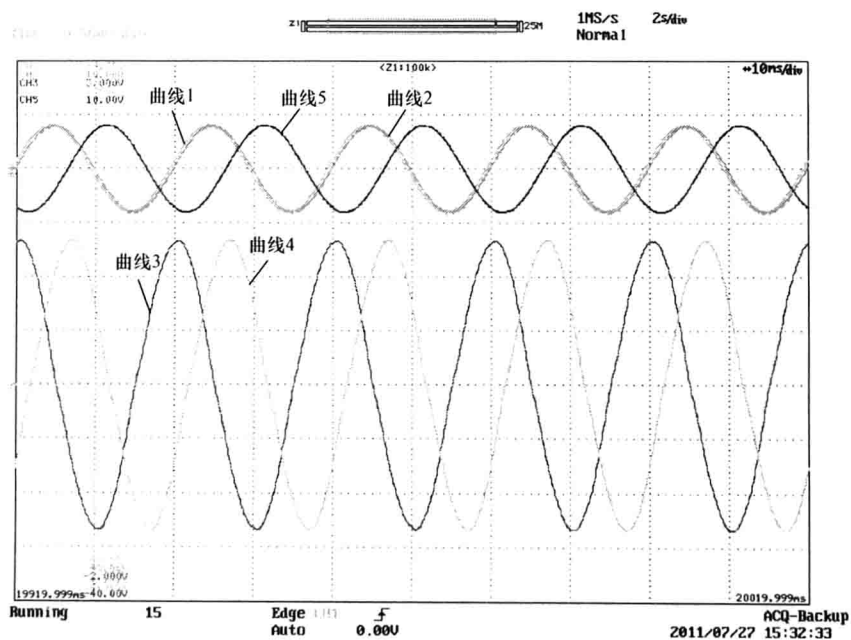


图 1-5 #1 STATCOM 输出容性 40Mvar 无功电流

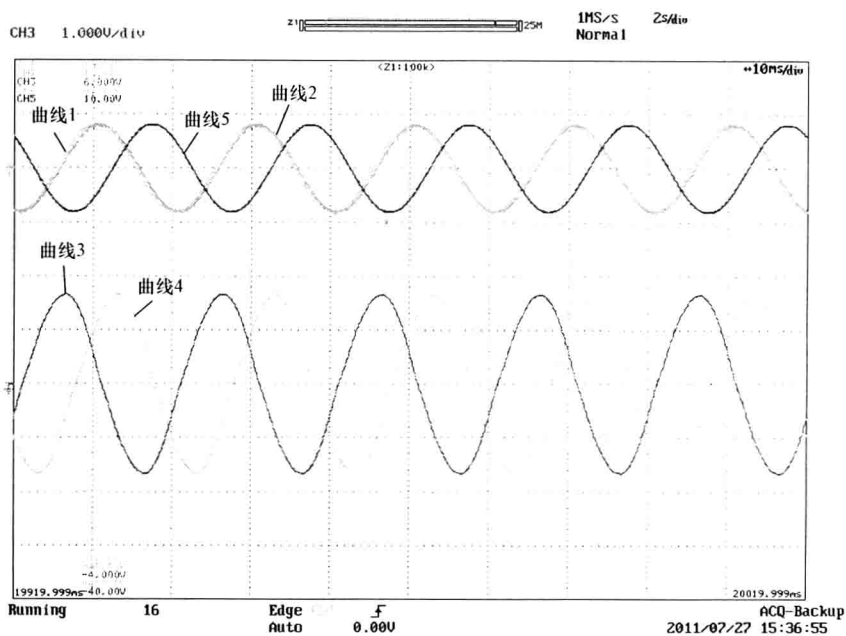


图 1-6 #1 STATCOM 输出容性 50Mvar 无功电流波形

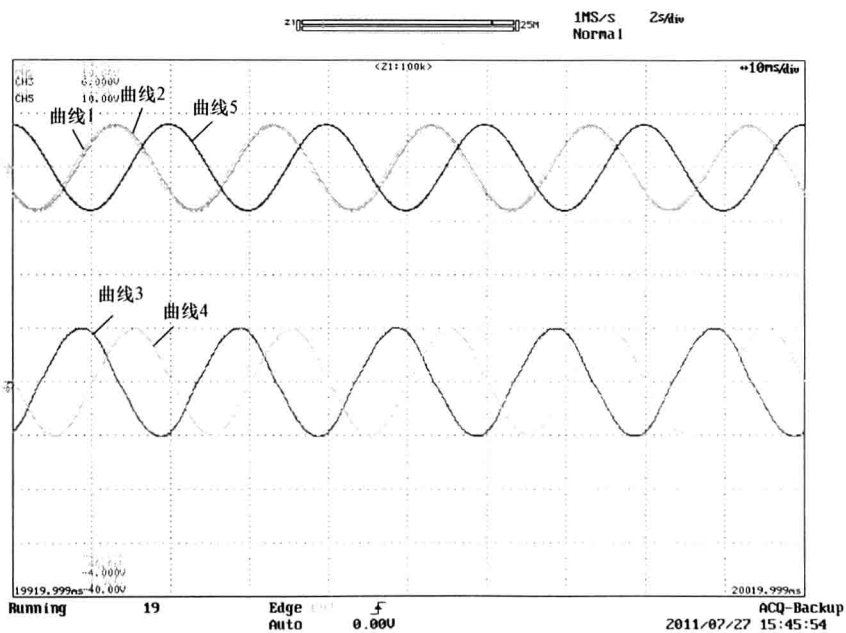


图 1-7 #1 STATCOM 输出容性 30Mvar 无功电流波形

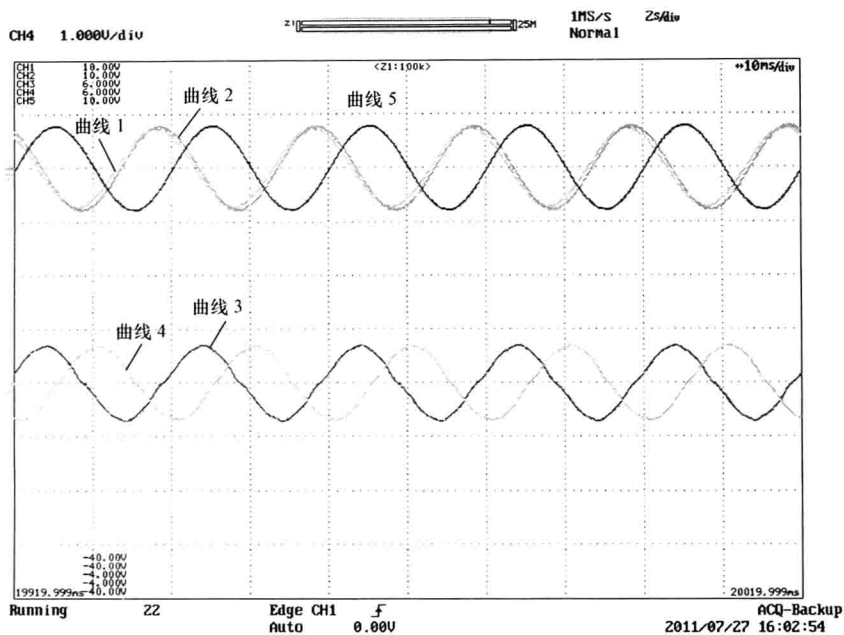


图 1-8 #1 STATCOM 输出感性 20Mvar 无功电流波形

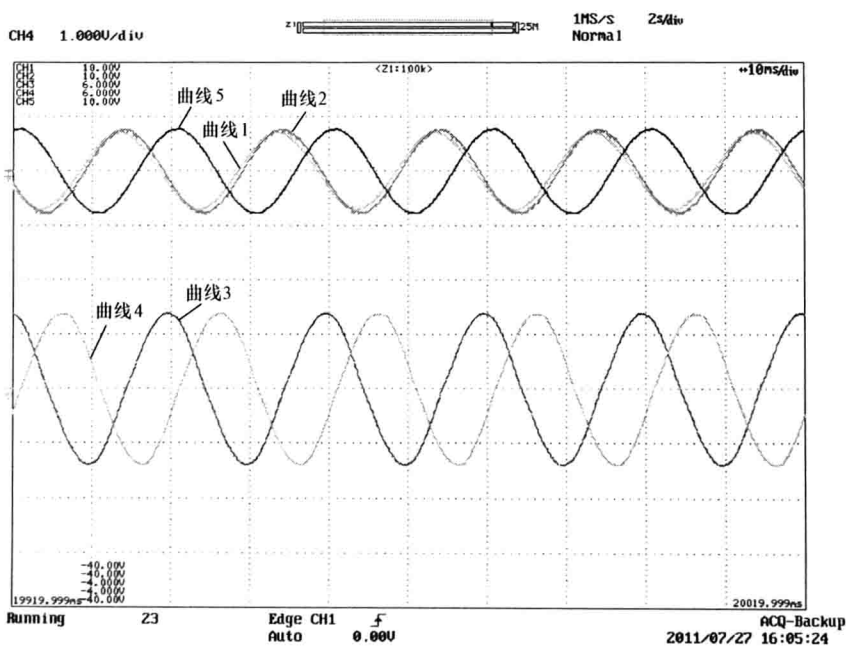


图 1-9 #1 STATCOM 输出感性 40Mvar 无功电流波形

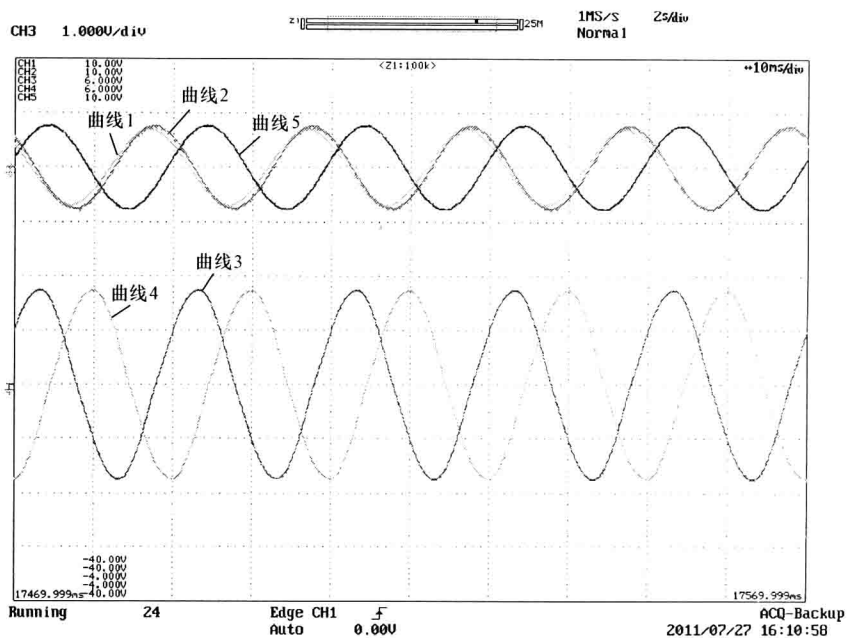


图 1-10 #1 STATCOM 感性 50Mvar 无功电流波形

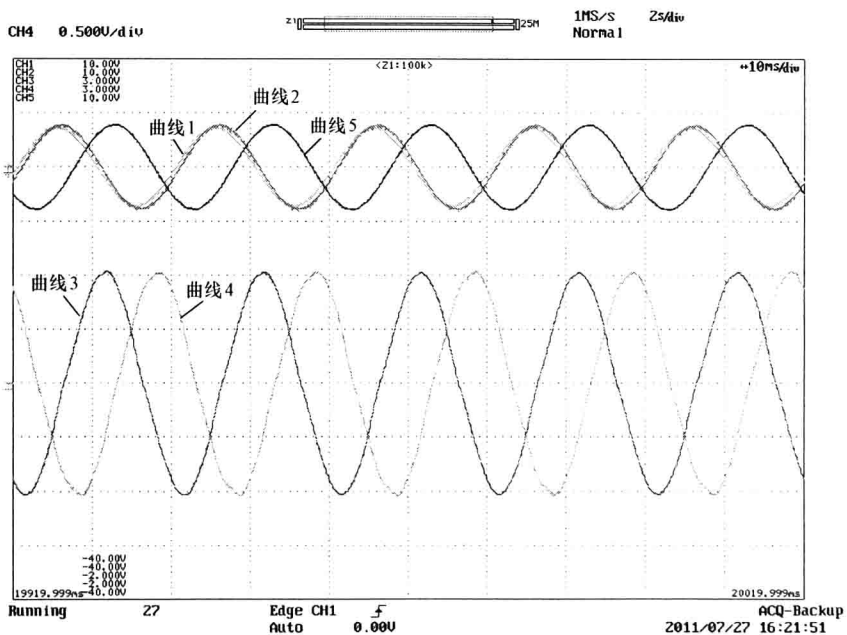


图 1-11 #1 STATCOM 感性 30Mvar 无功电流波形

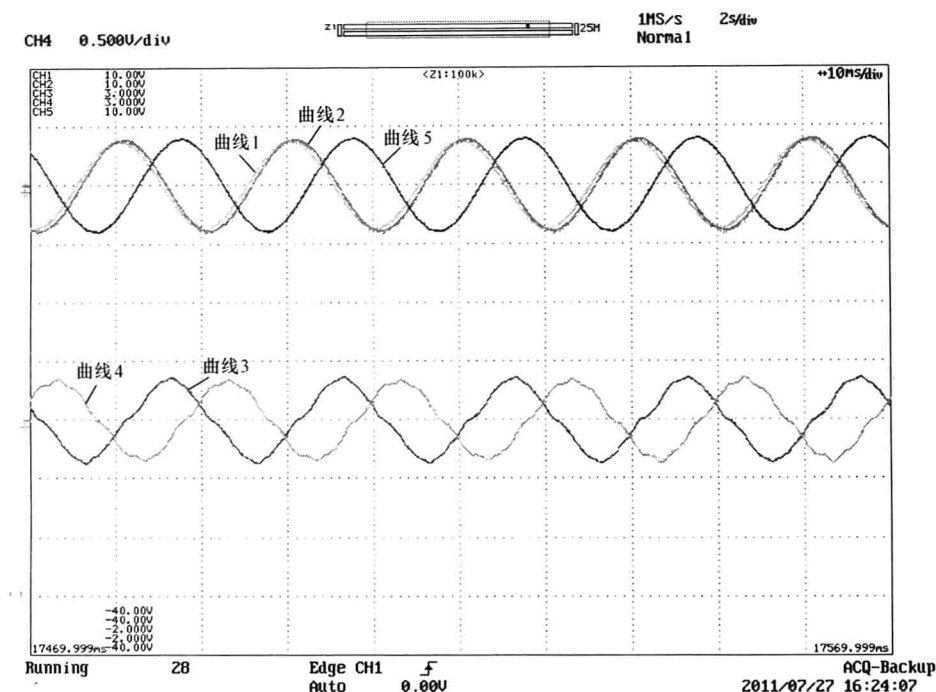


图 1-12 #1 STATCOM 感性 10Mvar 无功电流波形

(3) 暂态控制。STATCOM 暂态控制主要针对两类情况。第一，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，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 220kV 断路器的负担。因此，STATCOM 的控制器不仅要能够迅速的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。

暂态情况下，通过对三相等效有效值（瞬时计算）和分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高于某一设定值或电压有效值低于 0.9p.u.时，同时任一相母线电压有效值均高于 0.3p.u.时，暂态过程判断逻辑认为系统发生暂态故障（非近地点短路故障），进入暂态电压控制模式。

东莞±200Mvar STATCOM 试运行期间共有 4 次进入暂态控制模式，见表 1-4 和图 1-13。

表 1-4

STATCOM 试运行期间进入暂态控制模式情况

项 目	500kV 花博乙线 AB 相间故障	500kV 东惠乙线 B 相接地故障	220kV 东元乙线 A 相接地故障	220kV 东黎甲线发 生 AB 相接地故障
故障时 220kV 母线 A 相电压 (kV)	121 (0.91 倍 额定电压)	130 (0.98 倍 额定电压)	83 (0.62 倍 额定电压)	33 (0.25 倍 额定电压)
故障时 220kV 母线 B 相电压 (kV)	120 (0.91 倍 额定电压)	99 (0.74 倍 额定电压)	141 (1.06 倍 额定电压)	44 (0.33 倍 额定电压)
故障时 220kV 母线 C 相电压 (kV)	128 (0.96 倍 额定电压)	132 (0.99 倍 额定电压)	136 (1.01 倍 额定电压)	129 (0.99 倍 额定电压)
故障持续时间 (ms)	40	53	70	50
STATCOM 响应时间 (ms)	故障发生后约 4	故障发生后约 10	故障发生后约 6	故障发生后约 8
输出无功容量 (Mvar)	约 200	约 200	约 300	约 200
STATCOM 输出无功 持续时间 (ms)	约 58	约 80	约 200	约 40
STATCOM A 相总电 流 (有效值, A)	3017	3093	4500	4080
STATCOM B 相总电 流 (有效值, A)	3017	3093	4860	4900
STATCOM C 相总电 流 (有效值, A)	3168	3349	4610	4900

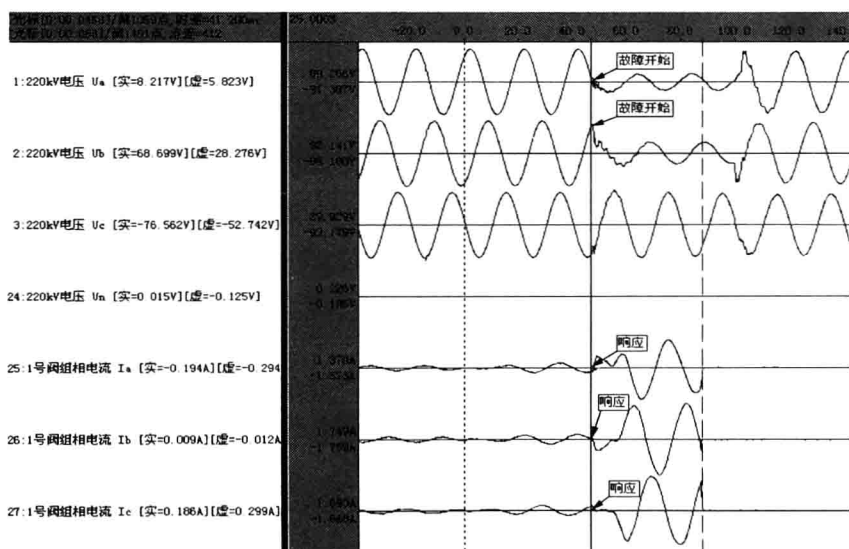


图 1-13 220kV 东黎甲线发生 AB 相接地故障 STATCOM 录波图