

一种新型静止无功补偿装置控制系统及其应用

汪娟娟^{1,4}, 鲍伯祥², 傅 闻³, 卢志良^{1,4}, 刘艳村⁴

(1. 华南理工大学 电力学院, 广东 广州 510641; 2. 西门子(中国)有限公司;
3. 南方电网技术研究中心; 4. 顺特电气有限公司)

[摘要] 提出一种基于 Simadyn-D 控制器的全数字静止无功补偿装置(SVC)控制系统。在该控制系统中实施了基于瞬时无功理论的瞬时功率和瞬时电流的检测算法以及一种开闭环相结合的复合控制策略。该 SVC 控制系统已经在首钢等多项 SVC 工程中得到了成功地应用。

[关键词] 静止无功补偿装置; 控制系统; 控制策略; 瞬时无功理论; Simadyn-D

[中图分类号] TM531.5 [文献标识码] A [文章编号] 1000-7059(2007)03-0048-04

A new type control system for static var compensator and its application

WANG Juan-juan^{1,4}, BAO Bo-xiang², FU Chuang³, LU Zhi-liang^{1,4}, LIU Yan-cun⁴

(1. Electric College, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China; 2. Siemens (China) Co Ltd;
3. China South Power Grid Technology Research Center; 4. Sunten Electrical Co Ltd)

Abstract: A full digital control system for SVC(Static Var Compensator) based on Simadyn-D controller is proposed. In the control system, a detection method of instantaneous power and current based on instantaneous reactive power theory was carried out, and a compound control strategy which combines open loop with close loop was realized. The SVC control system has been applied to some practical SVC projects of Shougang Group.

Key words: static var compensator; control system; control strategy; instantaneous reactive power theory; Simadyn-D

随着国民经济的发展,全社会日益增长的用电需求和电网输配电能力的矛盾越来越突出。同时,随着现代工业的发展,在配电网中,一方面,多种干扰工业负荷使电网的电压波形发生畸变,引起电压波动、闪变以及三相不平衡,对电网电能质量构成了严重的威胁;另一方面,配电网中许多用电设备对供电系统的干扰更加敏感,对电能质量提出了高可靠性、高暂态恒定性、高可控性的要求。利用晶闸管技术的静止无功补偿装置(SVC)可以就地提供动态无功补偿^[1~2],是解决这些问题的一种经济有效的手段。

TCR + FC 型 SVC 是 SVC 装置最主要的型式,它的基本构成包括:阀组、冷却系统、相控电抗器、

控制系统、滤波器组。其中控制系统是 SVC 装置的核心,SVC 补偿功能的实现、安全稳定的运行、与其它设备的协调以及人机交互都是靠控制系统来实现的。

秦皇岛首钢板材有限公司 3454 中厚板上下辊轧机为整流器供电的直流轧机,其运行给所接入的 220 kV 电网带来功率因数低、电压波动、电压闪变和谐波污染等一系列电能质量问题。秦皇岛首钢板材有限公司要求在该 6 kV 电网装设 TCR + FC 型 SVC,以综合解决这些电能质量问题。

结合该项工程,为满足用户对 SVC 装置提出的高性能和高可靠性要求,我们在 Simadyn-D 的基础上率先研发出了适用于恶劣工业环境的高性

[收稿日期] 2006-08-07; [修改稿收到日期] 2007-03-05

[作者简介] 汪娟娟(1974-),女,安徽贵池人,工程师,博士研究生,主要研究方向为电力系统稳定及控制。

能、高可靠性的 SVC 控制系统，并在该项工程及后续其它工程中得到了成功地应用。

1 基于 Simadyn-D 的 SVC 控制系统设计

1.1 Simadyn-D 简介

Simadyn-D 可以快速实现闭环和开环控制，实现算术运算以及系统监视和信号通信等功能，能够保证硬件广泛地适用于各种系统的设计要求。每个系统独立的插件板直接插在独立的控制单元中。Simadyn-D 尤其适用于相关联的大动力及高精度的控制系统，适用于不同的交流、直流调速系统以及电力系统的控制和保护系统。

1 个 Simadyn-D 控制单元包括 1 个带电源和 1 ~ 2 条总线的机架，最多可插 8 个处理器，每个控制单元可有 1 ~ 2 条总线。处理器通过地址总线 (L-bus) 和通信总线 (C-bus) 进行快速数据交换，每条总线具有 16 b 数据 / 20 b 地址结构，其时钟为 8 MHz。总线和通信板负责数据的传输。其他的系统插件同时插在机架上，所有的处理器都有自己单独的程序和数据存储单元，外部的模拟和数字处理信号可通过输入 / 输出模板来进行交换，或是经过独立的接口模板进行交换。

Simadyn-D 系统采用 STEP/CFC 组态语言，计算机用户界面友好，易于操作和掌握，适合于从简单到复杂的控制系统的应用。简单任务可以组态在一个功能包中，较复杂的任务则由几个功能包共同完成。复杂功能由几个过程处理器组合在一个 Simadyn-D 控制单元中完成。更高级的系统可由几个 Simadyn-D 控制单元组合在一起，通过通信线连接交换数据而达到设计要求。

1.2 SVC 控制系统设计

基于 Simadyn-D 的 SVC 控制系统以 Simadyn-D 为核心，阀基电子单元 (VBE) 采用 DSP + CPLD (数字信号处理器 + 复杂可编程逻辑器件) 来实现。

Simadyn-D 的主要任务是进行信号采集和处理，实现 SVC 的控制算法，实时计算 TCR 触发角；实现 SVC 系统的开停机控制；Simadyn-D 还要实现与晶闸管冷却系统的通信以实现对冷却系统的监控；对晶闸管状态进行监控；对微机保护装置进行通信；对主电路进行监控。基于 Simadyn-D，图 1 为采用双 CPU 结构 SVC 控制系统实现的基本功能。

负荷无功补偿算法一直是电力系统控制工作者研究的一个热点问题。多年来，众多学者对负荷补偿算法进行了更加深入的研究，提出了多种

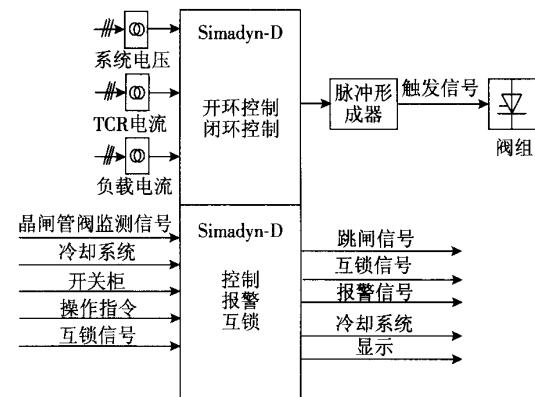


图 1 基于 Simadyn-D 的 SVC 控制系统的控制功能

Fig 1 SVC control system based on Simadyn-D

补偿算法。Arindam Ghosh^[3~4]等提出了一种基于瞬时对称分量的负荷补偿算法，仿真表明该算法能够实现平衡化和功率因数校正的目的。Toshihiko Tanaka^[5]基于瞬时无功理论提出了一种“准瞬时无功电流”计算方法，仿真表明该方法也可用于平衡化和功率因数校正的目的。薛惠^[6]提出的基于平均功率的瞬时无功理论也可实现平衡化和功率因数校正，其出发点与 Toshihiko Tanaka 的理论类似。这些负荷补偿算法都属于开环 (前馈) 控制，补偿速度非常快，但为了获得较好的动态和静态补偿效果，应该将开环控制和闭环控制相结合。利用开环控制保证 SVC 的响应时间，闭环控制保证整个装置的稳态精度。闭环控制的变量可以是系统电压、无功电流或无功功率等。这种思想在 ABB, Siemens 等的 SVC 控制系统中都得到了应用。根据不平衡负荷的补偿要求，本文提出了一种基于瞬时值的负荷补偿方法，利用瞬时无功理论实现了瞬时功率和瞬时电流信号的检测，同时提出了一种“开环 + 闭环”的 SVC 控制策略，以同时获得 SVC 装置快速响应和良好的稳态精度^[1]，图 2 即是加入无功电流反馈的 SVC 控制原理图。

TCR 脉冲发生单元根据 Simadyn-D 给出的触发角信号及同步电压发出经过移相的高频脉冲，控制 TCR 主电路里晶闸管的导通角度，改变接入系统的等效电抗。TCR 脉冲发生单元主要由 DSP + CPLD 实现。

Simadyn-D 与水冷系统的通信采用 Profibus-DP 通信协议；与人机接口 (例如 TP270) 的通信采用了 Siemens 的 MPI 协议；与调试设备之间采用 Dust1 协议进行通信；与微机保护装置的通信采用工业以太网。另外，还可以与上一级监控系统进行通

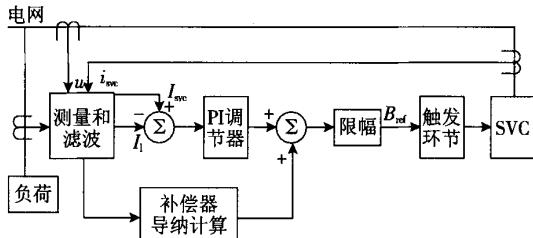
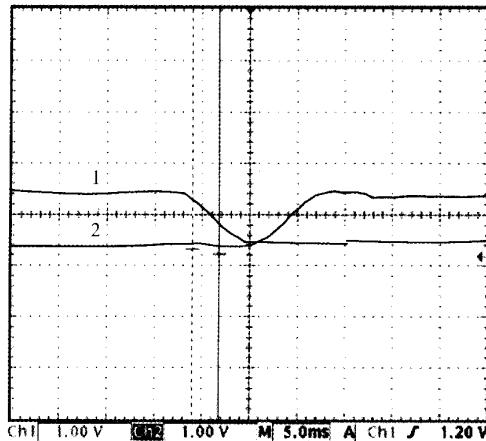


图 2 带无功电流反馈的负荷补偿 SVC 控制原理

Fig 2 Control principle of load compensation SVC with current feedback

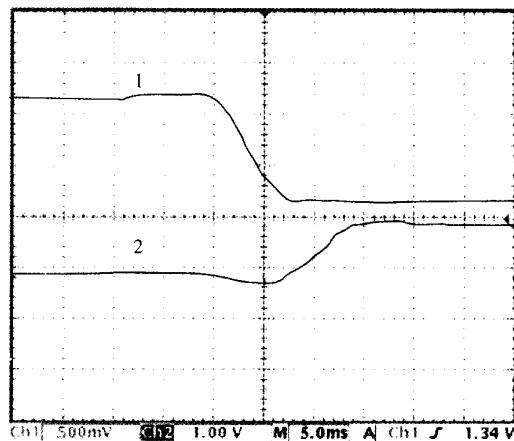
u —SVC 接入点电压瞬时值; i_L —待补偿负荷电流瞬时值; i_{SVC} —SVC 电流瞬时值; I_{SVC} —SVC 电流幅值; I_L —待补偿负荷电流幅值; B_{ref} —电纳参考值



(a) 感性负荷下扰动

信,通信协议可以采用 Profibus-DP 或工业以太网通信协议。

按照 IEEE 1031-2000 标准测试 SVC 装置的动态响应特性^[7],在以恒无功功率为控制目标的情况下,通过快速改变负荷的无功输出容量,用 Tek 示波器检测由 Simadyn-D 输出的负荷 TCR 的三相无功功率和 SVC 的三相无功功率。图 3 所示为 SVC 的无功功率随负荷无功功率的变化而变化的情况。从图 3(a)~(b)中可以看出,无论是感性负荷阶跃下扰动还是上扰动,SVC 装置的响应时间约为 10 ms,稳定时间约为 25 ms。由此可见,这种基于瞬时无功理论控制策略和 Simadyn-D 的 SVC 控制系统有非常快的响应速度。



(b) 感性负荷上扰动

图 3 SVC 的响应时间测试

Fig 3 SVC step response tests

1—负荷的无功功率; 2—SVC 输出的无功功率

2 实际工程中的应用

根据首钢秦皇岛板材有限公司 220 kV 变电站的电能质量问题,我们设计了一套 17.1 Mvar 的 TCR + FC 型 SVC 装置。该工程于 2005 年 7 月正式投入运行,测试结果表明该变电站的供电质量和系统稳定性得到了显著的改善:

- (1) 电压稳定 解决了投运前轧机工作咬钢时系统电压跌落问题;
- (2) 无功补偿 减小无功电流冲击源,220 kV 侧电流冲击由 130 A 减小到 80 A,无功冲击由原来的十几 Mvar 减小到零附近;
- (3) 功率因数校正 功率因数由轧机工作时的 0.5 提高到接近 1.0,总体功率因数维持在 0.95

以上;

(4) 有功功率增加 电压稳定后,轧机的有功功率增加,生产效率提高,产品质量提高;

(5) 谐波的有效治理 将谐波畸变率限定在国标要求内。

SVC 投运前后 6 kV 系统无功功率曲线如图 4 所示。从图 4(a)可以看出,轧机运行时,6 kV 系统需要提供大量的无功功率,其最大的无功冲击为 5 Mvar;从图 4(b)可以看出,轧机运行时,由于大部分无功功率由 SVC 提供,6 kV 系统的无功率变化非常小,其最大无功率变化约为 0.35 Mvar。由此可见,SVC 的无功补偿效果非常明显。

SVC 投运前后 6 kV 系统功率因数曲线如图 5

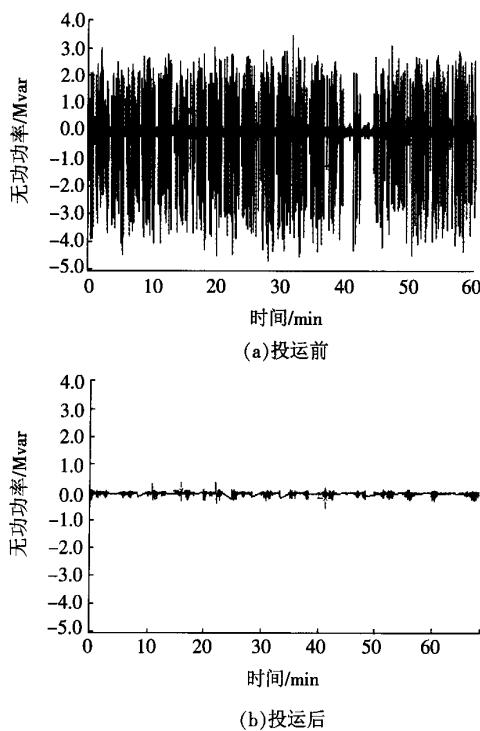


图 4 SVC 投运前后 6 kV 系统无功功率曲线

Fig 4 Reactive power at point of common coupling

所示。从图 5(a)中可以看出,轧机运行时,6 kV 系统的功率因数较低,约为 0.78;从图 5(b)中可以看出,轧机运行时,由于无功功率基本由 SVC 提供,6 kV系统的功率因数很高,功率因数维持在 0.99 以上。由此可见,SVC 的功率因数校正效果非常明显。

3 结束语

将 Simadyn-D 应用于 SVC 控制系统,可以简化软硬件的设计,提高 SVC 装置的性能和可靠性。同时该控制系统结构简单合理、可以实现多种复杂的控制算法、响应速度极快。与此同时,我们还开发了基于 Simatic-TDC 的 SVC 控制系统,在首钢第一线材厂静止型动态无功补偿装置(SVC)工程得到成功应用。此外,该类产品在天津津滨轻轨、青岛四方-庞巴迪-波尔铁路运输设备公司等的供电系统中得到了成功的应用。

[参 考 文 献]

- [1] Miller T J E. Reactive power control in electrical systems [M]. New York: John Wiley, 1982.
- [2] 傅 阖. 静止无功补偿装置瞬时补偿电流检测方法与

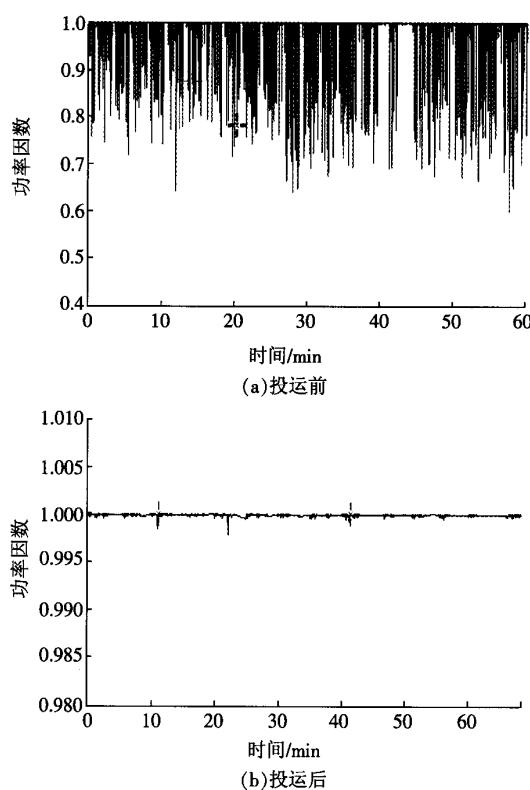


图 5 SVC 投运前后 6 kV 系统功率因数曲线

Fig 5 Power factor point of common coupling

控制策略的研究[R]. 杭州: 浙江大学, 2005.

- [3] Arindam Ghosh, Avinash Joshi. The use of instantaneous symmetrical components for balancing a delta connected load and power factor correction[J]. Electric Power Systems Research, 2000, 54: 67-74.
- [4] Arindam Ghosh, Avinash Joshi. A new approach to load balancing and power factor correction in power distribution system [J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 2000, 15(1): 417-422.
- [5] Toshihiko Tanaka, Shigeyuki Funabiki, Akira Nabae. A new approach to individual-phase reactive power compensator for non-sinusoidal and unbalanced three-phase system[J]. Electrical Engineering in Japan, 2002, 139(3): 73-80.
- [6] 薛 惠, 杨仁刚. 改进的瞬时无功和谐波电流检测理论[J]. 电力系统及其自动化学报, 2002, 14(2): 53-57. XUE Hui, YANG Ren-gang. A novel detection theory of instantaneous reactive and harmonic current[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2002, 14(2): 53-57.
- [7] IEEE Std 1031-2000. IEEE guide for the functional specification of transmission static var compensators [S].

[编辑:魏 方]