

# Research of Wind Farm SVC Control System Based on Real-Time Operation System

Jin LIU, Junchuan JIA

School of Electrical and Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing, China

Email: liujin@ncepu.edu.cn, jiajunchuan@126.com

**Abstract:** With the wind power in China's rapid development, the extensive use of power electronic devices in wind farm, which inevitably bring reactive power, harmonic and power quality problems. At present, the new wind farm is configured Dynamic Static Var Compensator (SVC) to solve the power quality problems, such as voltage fluctuation, flicker and harmonic etc, which caused by the rapid change of wind power. The paper put forward and realized SVC control system based on embedded real-time operating system, and by using LabVIEW to realize PC management and network communication management, and provides the research foundation for coordination and the optimal control of many SVCs in large wind farm.

**Keywords:** Wind Power System; SVC; Power quality; Real Time Operation System

## 基于实时操作系统的风电场 SVC 控制系统的研究

刘 晋, 贾俊川

华北电力大学电气与工程学院, 北京, 中国, 102206

Email: liujin@ncepu.edu.cn, jiajunchuan@126.com

**摘 要:**随着风力发电在我国的快速发展, 风电场大量使用电力电子器件和电力电子换流器, 从而不可避免的带来了无功功率、谐波等问题。目前, 新建的风电场大都配置了静止型动态无功补偿装置 SVC (Static Var Compensator), 用以解决风功率快速变化而造成的电压波动、闪变以及谐波等电能质量问题。本文根据风电场 SVC 的性能要求和存在的问题, 提出和实现了基于嵌入式实时操作系统的 SVC 控制系统, 并利用 LabVIEW 实现上位机管理及网络通信管理, 为大型风电场多台 SVC 之间的协调和最优控制提供了研究基础。

**关键词:** 风力发电; SVC; 电能质量; 实时操作系统

### 1. 引言

随着可再生能源的大力推广, 风力发电在我国发展迅速, 风电场的装机容量不断增加, 风电在电源中的比重不断上升。

目前, 双馈感应电机和直驱型风力发电机组占主导地位, 与之相配套的电力电子换流器得到大量地使用, 不可避免的带来电力电子设备引起的无功、谐波等电能质量问题。风电场的电能质量问题逐渐引起了学者和工程人员的关注。

由于风电场从发电到并网会消耗一定的无功功率, 而无功功率损耗是随着风电的随机变化而不断变化的, 导致风电场的电压波动, 功率因数偏低。

在风电容量较高的电网, 将产生一系列的电能质量问题, 包括电压波动和闪变、频率偏差和谐波问题, 还应考虑系统的静态稳定、动态稳定、暂态稳定和电压稳定等。

风电功率的波动势必会引起电压的变化, 主要表现为: 电压波动, 电压闪变、电压跌落以及周期性电压脉动等。此外, 风电机组中的电力电子控制装置如果设计不当, 将会向电网注入谐波电流, 引起电压波形发生不可接受的畸变, 并可能引发由谐振带来的潜在问题。

大容量的风电场(20MW 以上)并网广泛采用 TCR 型的静止型动态无功补偿装置 SVC (Static Var Compensator) 对风电场的无功损耗进行快速补偿。

本文根据风电场 SVC 控制对于实时性和可靠性要求高的特点,提出了采用实时操作系统来管理系统控制任务的思路,对基于实时操作系统  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  的 SVC 控制系统进行了研究,上位机采用图形化编程工具 LabVIEW 实现测量、辅助控制、数据分析和通过网络操作监测设备等功能,并在实验系统上进行了实验验证。

## 2. SVC 控制系统平台

SVC 是基于 FACTS (灵活交流输电系统) 技术发展起来的动态无功补偿技术,采用晶闸管反并联来控制补偿电抗器,与综合了消谐、容性补偿的滤波支路协调配合,总体上实现既可以发容性无功又可以发感性无功的控制目标,整个过程可以在 20ms 内完成,从而实现快速补偿、平滑调节,提供动态的电压支撑,改善风电场的运行性能。

SVC 系统基本结构如图 1 所示。

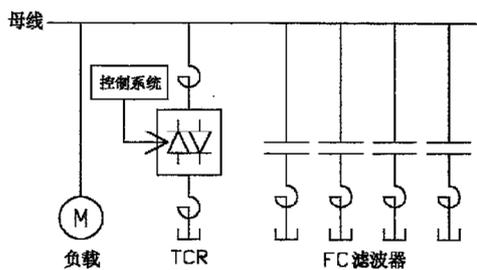


Figure 1. FC + TCR type SVC structure diagram  
图 1. FC+TCR 型 SVC 结构示意图

SVC 控制系统的硬件平台采用 TI 公司的 32 位定点 DSP TMS320F2812 作为控制平台的核心。在基于 DSP 的硬件平台上,引入和移植了嵌入式实时操作系统  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ ,进行硬件和控制任务的调度管理。

上位机人机界面采用美国国家仪器 (NI) 公司的 Labview 图形化编程软件,实现数据的测量、分析、保存功能,网络应用功能,为大型风电场多台 SVC 之间的协调控制提供支持。

### 2.1 硬件平台

本文实现的 SVC 控制系统的硬件平台采用 TI 公司的 32 位定点 DSP TMS320F2812 作为控制平台的核心,其主频可达 150MHz,片内集成了  $2 \times 8$  通道、12 位分辨率 ADC, PWM 发生器,串口通信接口等外设,既具有数字信号处理能力,又具有强大的事件管理能

力和嵌入式控制功能,特别适用于有大量数据处理的测控场合,广泛地应用于数字马达控制、工业自动化控制、电力电子技术应用等,可以满足 SVC 控制的精度和速度要求。

### 2.2 实时操作系统的移植

实时操作系统 (Real Time multi-tasking Operation System, RTOS) 把应用功能分解成多个任务,简化了应用系统软件的设计;良好的多任务设计,有助于提高系统的稳定性和可靠性。在硬件平台上对实时操作系统  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  进行了移植和测试。

实时多任务操作系统是嵌入式应用软件的基础和开发平台。RTOS 把应用功能分解成多个任务,简化了应用系统软件的设计;良好的多任务设计,有助于提高系统的稳定性和可靠性。

基于 RTOS 开发出的程序,绝大部分代码与硬件平台无关,具有较高的可移植性。嵌入式软件的函数化、产品化能够提高软件的可重用性,减少软件的重复开发,提高应用算法的研发效率。

嵌入式实时操作系统  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  是由 Labrosse 先生编写的嵌入式实时操作系统内核。其主要特点是:源代码开放、可移植、可裁剪、占先式、多任务,已经有许多成功的商业应用,具有很好的稳定性和可靠性。

针对风电场 SVC 的多任务性、实时性、控制算法的多样性和复杂性,本文选用了  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  作为应用软件的基础和开发平台,由操作系统来管理 SVC 控制系统的多个控制任务,包括数据采样、数据处理、主控制算法、电力电子开关驱动控制、器件的监测和保护、控制系统与上位机的通讯、故障数据记录以及风电场多台 SVC 之间的通信与协调控制等任务。这样,既满足了 SVC 的控制要求,又可以提高控制软件的可重用性,减少重复劳动,提高了工作效率。

要实现  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  在 TMS320F2812 上的移植,需要 CCS2000 的 C 编译器支持。本文使用的是 TI 公司的 DSP 集成开发环境 CCS2000。这个集成开发环境包括的 C 编译器允许嵌入汇编,具有强大的优化 C 编译的功能。

为了便于移植,大部分  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  的代码是用 C 语言编写的,但是由于  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  在读/写处理器寄存器时,只能通过汇编语言来实现,因此需要用 C 语言和汇编语言编写一些与处理器硬件相关的代码。在移植中所需修改的文件和与 CPU 相关的文件主要有四个:头文件 INCLUDES.H、头文件 OS\_CPU\_H.H 和汇编文件

OS\_CPU\_A.ASM、C 语言文件 OS\_CPU\_C.C。移植的主要工作就是针对这些文件，结合 TMS320F2812 的特点做一些变动，编写一些代码。

本文所用  $\mu$ C/OS-II 版本为 2.71，移植主要有以下几项工作：

- (1) OS\_CPU.H 中设置一个常量值，声明 10 个数据类型，声明三个宏定义；
- (2) 在 OS\_CPU\_C.C 中编写 10 个简单函数；
- (3) OS\_CPU\_A.ASM 中改写 4 个汇编语言函数；
- (4) 修改 os\_cfg.h 和 include.h 文件。

软件系统结构如图 2 所示。



Figure 2. Software system structure  
图 2. 软件系统结构图

### 2.3 基于 LabVIEW 的测控系统

美国国家仪器 (NI) 公司的 LabVIEW 软件是设计开发虚拟仪器所使用的最具有代表性、应用最广的图形化编程开发平台之一，可适用于多种不同操作系统，具有强大功能：

- (1) 界面直观，操作简便，连接具有不同功能的模块即可。对于非专业程序员来说，能够大大节省程序开发时间。
- (2) 提供现成的函数库，包括信号采集、分析、处理、显示和存储等多种功能，可解决程序开发中遇到的大多数问题。
- (3) 是开放的开发平台，能与外部应用软件 Word、Excel 等进行通信，还可以使用由 C 或 C++ 语言、MATLAB 等编译的程序模块。
- (4) 内置多种通信总线标准的功能函数，支持各种数据采集卡以及特殊硬件板卡，免费提供世界各大厂商多

种仪器的驱动程序，并可根据需要自行编写。

上位机软件采用 LabVIEW 编程，实现 SVC 系统相关数据的采集、记录、分析、制表和生成报告等基本功能。此外，利用 LabVIEW 的网络功能，编写了网络控制应用模块，运行人员可以在上级变电站通过 IE 浏览器实现对远方风电场汇流站的 SVC 监控软件的使用权，如图 3 所示。

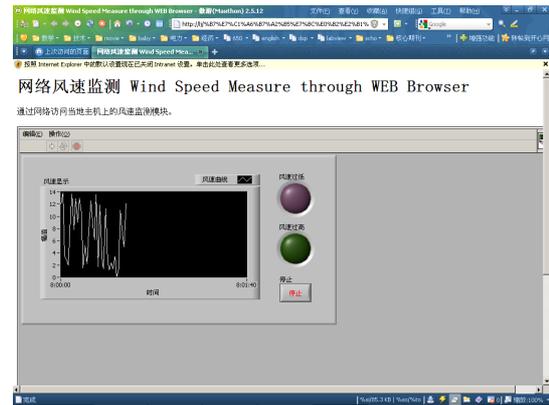


Figure 3. LabVIEW network functional schematic diagram  
图 3. LabVIEW 网络功能示意图

### 3 软件模块与控制算法

根据 SVC 控制系统的要求，对  $\mu$ C/OS-II 进行了裁剪和功能添加，使其成为适合于 SVC 控制的嵌入式实时操作系统。主要的系统构件包括：A/D 驱动模块、D/A 驱动模块、开关量输入输出模块、串口通信模块、USB 接口模块、触发角输出模块以及 SVC 控制算法模块等。

对于 SVC 控制算法，除了考虑常用的电压控制、功率因数控制等三相平衡情况下的算法外，还应考虑发生三相不平衡时的分相补偿算法。

随着风电场装机容量的不断增加，SVC 补偿容量也不断增加。目前，风电场安装的 SVC 装置普遍采用单台 SVC 控制，没有考虑整个风电场多台 SVC 的协调和最优控制。这样就不能够充分发挥 SVC 动态无功补偿对于系统电压支撑的作用。因此，从系统电压稳定的角度出发，利用实时操作系统的实时性，实现多台 SVC 的协调控制具有重要的意义。

### 4 仿真与实验研究

#### 4.1 仿真研究

用 PSCAD 仿真软件建立了风电场汇流站 SVC 系

统仿真模型, 对 SVC 系统控制进行了仿真。仿真系统结构如图 4 所示。

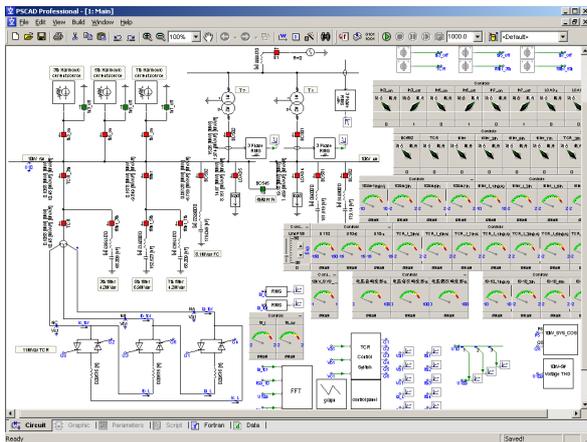


Figure 4. SVC system simulation diagram  
图 4. SVC 系统仿真图

系统在 2s 时负荷功率发生变化后 SVC 动作情况以及系统电压、电流和负载电流与补偿电流的仿真结果如图 5 所示, 其中曲线 1 为系统电流波形, 曲线 2 (蓝) 和 3 (绿) 分别为补偿电流和负载电流, 曲线 4 (蓝) 和 5 (绿) 分别为系统线电压和系统相电压。

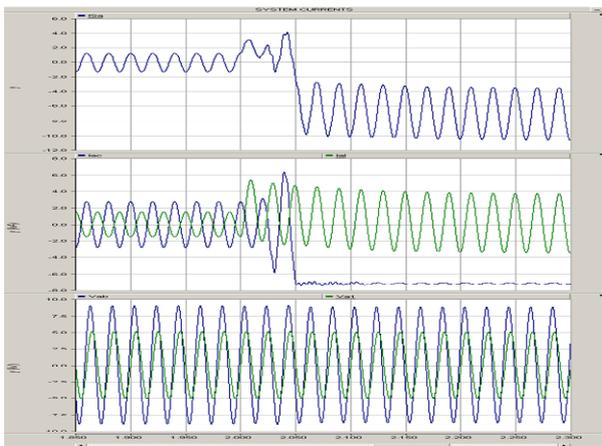


Figure 5. SVC system simulation waveform  
图 5. SVC 系统仿真波形图

#### 4.2 实验研究

在实验室搭建了 SVC 物理实验系统, 对控制系统和监测系统进行了基础功能的测试和实验研究。

在不同触发角下的系统电压和 TCR 电流波形如图 6 所示。

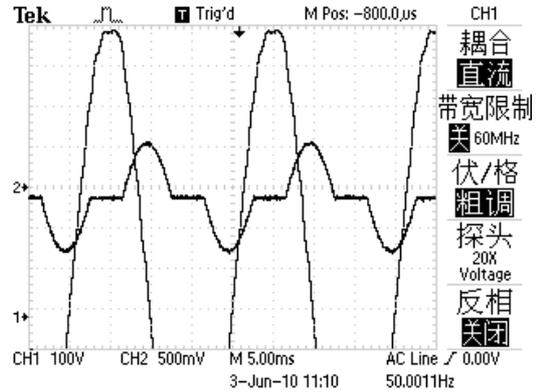


Figure 6. System voltage and current waveform of TCR  
图 6. 系统电压与 TCR 电流波形图

#### 5. 总结

本文根据风电场 SVC 控制实时性和可靠性的控制要求, 在 SVC 控制系统中引入了嵌入式实时操作系统, 对于提高 SVC 控制器的开发效率, 提高控制算法软件的通用性和利用率, 减少开发工作的重复性具有一定的实际意义。

同时提出了风电场多台 SVC 协调和最优控制的思想, 从而能够充分发挥风电场 SVC 的动态无功补偿和电压支撑功能, 对于提高系统电压稳定性的具有一定的工程意义。

#### References (参考文献)

- [1] TMS320F28x DSP Peripherals Reference Guide, 2003.
- [2] TMS320C28x DSP CPU and Instruction Set Reference Guide, 2002.
- [3] LIU jin, HAO xiao-fei, YANG yong-hong, ZHANG yi-gong, Research on the Universal Power Electronic Control Platform Based on  $\mu$ COS-II. 刘晋, 张一工, 等. 基于  $\mu$ COS-II 的电力电子通用控制平台的研究.《第四届电能质量(国际)研讨会论文集》.北京: 中国电力出版社, 2008.
- [4] Jin Liu, Yinsuo Niu, Yigong Zhang, Xiaoqian Li, Research on the Universal Power Electronic Control Platform Based on Real Time Operation System, SUPERGEN2009.4.