

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.06.024

虚拟仪器技术在SVC控制系统中的应用*

张 曙,王异凡,陈国柱*

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310007)

摘要:为解决传统静止无功补偿器(SVC)控制系统结构复杂、灵活性差、对硬件依赖较高等问题,将虚拟仪器技术应用到SVC控制系统中。分析并建立了晶闸管控制电抗器(TCR)的数学模型,以NI公司最新发布的虚拟仪器开发软件LabWindows/CVI为开发平台,运用交互式开发技术和ANSI C编程语言,设计并实现了基于虚拟仪器技术TCR控制系统,并将其用于90 kvar/380 V的TCR无功补偿装置中。系统采样负载电压、电流,由FFT算法得到了需要补偿的无功功率,通过在工控机中计算得到了对应该无功功率的晶闸管导通角,再由工控机控制输出相应的触发脉冲,进而调节TCR无功补偿量。运行结果表明,基于虚拟仪器技术的TCR控制器可以用于实时检测电网参数,并在一个周期内准确补偿电网所需无功,具有高度的灵活性和可靠性,充分体现了虚拟仪器技术相对于传统控制器的优点。

关键词: 输电系统; 虚拟仪器; 静止无功补偿器; LabWindows/CVI; 插值FFT; 谐波测量

中图分类号: TM721.2; TH701

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)06-0737-04

Application of virtual instrument to SVC control system

ZHANG Shu, WANG Yi-fan, CHEN Guo-zhu

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310007, China)

Abstract: In order to solve the problems that the traditional static var compensator(SVC) control system is complicated in structure, lack of agility, and highly dependent on hardware, the virtual instrument technology was applied to the SVC control system. The thyristor control reactor(TCR) mathematical model was analyzed and established. Based on LabWindows/CVI development platform and made use of interactive development technology and ANSI C programming language, the TCR control system was designed and realized, which was used for the 90 kvar/380 V TCR reactive power compensation device. Load current and voltage was sampled, and the reactive power for compensation was calculated by FFT algorithm. The corresponding thyristor conduction angle was calculated by industrial personal computer(IPC), and the corresponding trigger impulse was output to adjust TCR reactive power compensation quantity. The operation results indicate that TCR controller based on the virtual instrument technology can detect power grid parameters in real time, and accurately compensate for the reactive power in a period with high agility and reliability, which fully reflects the advantages of the virtual instrument technology.

Key words: transmission systems; virtual instrument (VI); static var compensator (SVC); LabWindows/CVI; interpolated FFT; harmonic measurement

0 引 言

随着人类科技的不断发展和进步,电网规模越来越大,电压等级越来越高,如何保证安全、可靠、经济

地向用户连续供电,成为供电系统和电力企业迫切需要解决的问题。近年来,由于电力电子技术的迅速发展,柔性交流输电系统(FACTS)作为一项新技术被提出并迅速在电能质量控制领域内得到了广泛应用。

收稿日期: 2012-12-21

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51177147);浙江省重点科技创新团队资助项目(2010R50021)

作者简介: 张 曙(1988-),男,湖北武汉人,主要从事电力电子技术方面的研究. E-mail:Potating@gmail.com

通信联系人: 陈国柱,男,博士,教授,博士生导师. E-mail:gzchen@zju.edu.cn

目前,电力系统中应用最多、最为成熟的 FACTS 设备是静止无功补偿器 SVC^[1]。

在 SVC 的设计和运行过程中,SVC 控制器的设计与实现非常重要。传统的 SVC 控制器一般是基于 DSP 来实现的,其开发周期长,结构复杂,稳定性和抗干扰能力较差。而虚拟仪器技术是测量仪器发展史上的一次革命,它是日益发展的计算机技术、仪器技术、信息技术密切结合的产物。虚拟仪器技术的出现,彻底打破了传统仪器由厂家定义,用户无法改变的模式,用户可以随心所欲地根据自己的需求设计自己的仪器系统^[2-3]。

本研究采用虚拟仪器的思想,将控制器的控制部分和显示部分进行集成开发,并以 LabWindows/CVI 作为软件开发平台,设计并实现了 380 V 的 TCR 控制系统。

1 TCR 数学模型及控制原理

1.1 TCR 的数学模型

TCR 的基本原理如图 1 所示。其单相基本结构就是 2 个反并联的晶闸管与 1 个电抗器相串联,而三相多采用三角形联结^[4-5]。这样的电路并联到电网上,就相当于电感负载的交流调压电路的结构。

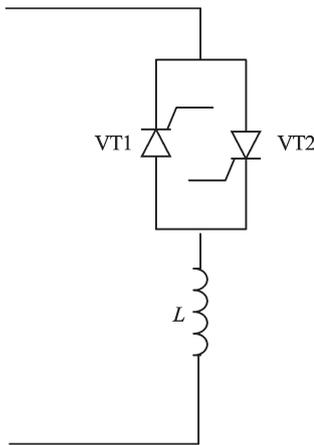


图 1 TCR 单相电路结构简图

分析图 1 可知,晶闸管触发延迟角 α 的有效移相范围为 $90^\circ \sim 180^\circ$ 。其位移因素始终为 0,也就是说,基波电流都是无功电流。 $\alpha = 90^\circ$ 时,晶闸管完全导通,导通角 $\delta = 180^\circ$,与晶闸管串联的电抗相当于直接接到电网上,这时其吸收的基波电流和无功功率最大。当触发延迟角 α 在 $90^\circ \sim 180^\circ$ 之间时,晶闸管为部分区间导通,导通角 $\delta < 180^\circ$ 。增大触发延迟角的效果就是减少电流中的基波分量,相当于增大补偿器的等效感抗,或者说减小其等效电纳,因而减少了其吸收的无功功率。

由傅里叶变换可得,TCR 电流的基波分量与晶闸管导通角之间的关系为:

$$I_1 = \frac{\delta - \sin \delta}{\pi X_L} U \tag{1}$$

式中: U — 系统电压, X_L — 与晶闸管串联的电抗的感抗值。

由式(1)可推出 TCR 的等效电纳为:

$$B_L = \frac{\delta - \sin \delta}{\pi X_L} = B_{Lmax} \times \frac{\delta - \sin \delta}{\pi} \tag{2}$$

其中,等效电纳最大值为 $B_{Lmax} = 1/X_L$ 。

由式(2)可知,导通角 δ 与 TCR 等效电纳之间是非线性的关系。本研究在 Matlab 中绘制其对应关系曲线,如图 2 所示。分析图 2 可知,通过改变晶闸管的导通角,即可改变 TCR 等效电纳,从而改变电抗器吸收的无功。

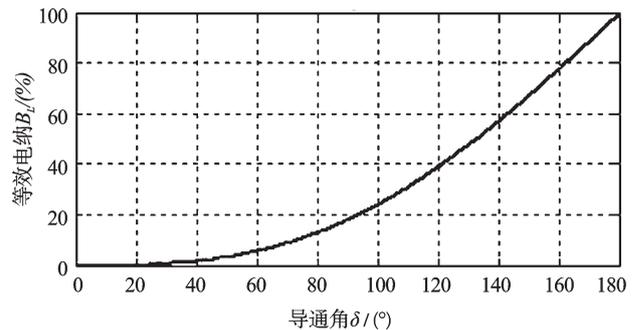


图 2 导通角 δ 与 TCR 等效电纳 B_L 之间的非线性关系

1.2 TCR 的控制方法

TCR 的控制系统应能够检测系统的有关变量,并根据检测量的大小以及给定输入量的大小,产生相应的晶闸管触发延迟角,以调节补偿器吸收的无功功率。TCR 系统的结构框图如图 3 所示。

由图 3 可知,TCR 控制系统由检测、控制、触发、保护 4 个子系统构成。三相电压及电流一次信号经调理电路后,变换为适用于数据采集卡的低压信号。数据采集卡采集到的信号送入工控机中进行处理得到晶闸管的触发角,并计算得到相应的触发脉冲,再经 I/O

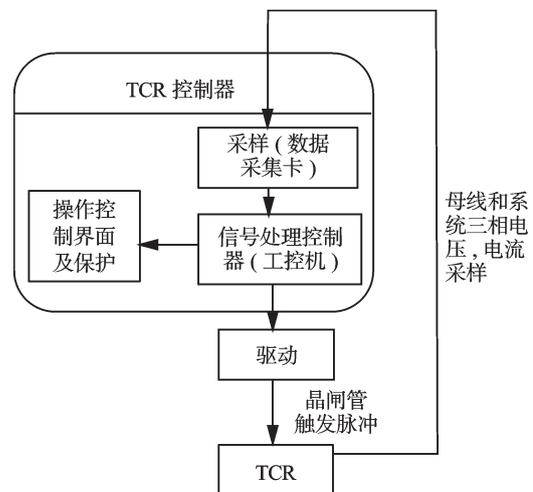


图 3 TCR 控制器结构框图

转换卡输出到驱动板,并驱动晶闸管的导通。同时,控制器的操作控制界面及保护功能也在工控机中完成。

2 TCR控制器的软硬件实现

2.1 虚拟仪器及LabWindows/CVI简介

LabWindows/CVI是美国国家仪器公司(NI)推出的交互式C语言开发平台。LabWindows/CVI将功能强大、使用灵活的C语言平台与用于数据采集分析和显示的测控专业工具有机地结合起来。其集成化开发环境、交互式编程方法、函数面板和丰富的库函数大大增强了C语言的功能,为熟悉C语言的开发设计人员编写检测系统、自动检测环境、数据采集系统、过程监控系统等应用软件提供了一个理想的软件开发环境。NI公司的LabWindows/CVI是一个久经验证的用于测试和测量的ANSI C开发环境,极大地提高了工程师和科学家们的生产效率。

2.2 TCR控制器硬件实现

由图3可看出,基于虚拟仪器的TCR控制器硬件电路相对简单,仅包括数据采集卡、调理电力、工控机,这是应用虚拟仪器技术进行系统设计的特点之一。硬件仅仅是用于信号的输入和输出,而控制系统的的功能是靠软件设计来实现的^[6-7]。

2.2.1 数据采集卡

该系统采用KPCI-1811型数据采集卡。KPCI-1811卡是一种基于PCI总线的数据采集卡,它具有模拟量输入/输出,数字量输入/输出等功能。其具有单端16、差分8路模拟输入通道,12位A/D转换器,单通道最大采样速率为100 K/s;同时,它还具有4个独立的12位D/A输出通道,可完全满足控制系统与外部信号之间的数据交换需要。同时,通过利用LabWindows/CVI内部的动态链接库(DLL)技术,其编程也相对简单^[8]。

2.2.2 调理电路

由于KPCI-1811数据采集卡模拟输入电压范围为0~+5 V,系统不能直接将电压、电流引入数据采集卡输入端。该系统采用两级互感器引入的方式,即系统电压、电流经一级互感器变为电压100 V和电流5 A的信号,然后再经二级互感器变为电压范围0~+5 V和电流范围0~2.5 mA的弱点信号。

2.2.3 工控机

工控机是一种加固的增强型个人计算机,它可以作为一个工业控制器在工业环境中可靠运行。该系统采用目前比较流行的带触摸功能的一体机结构,其稳定性好,操作方便快捷,更加人性化,且外形美观。

2.3 TCR控制器软件实现

由图3可知,基于虚拟仪器的TCR控制器软件部分主要包括以下几个部分:显示界面、A/D采样、信号处理和驱动信号生成。

2.3.1 显示界面

用户界面主要是实现友好的人机交互功能。TCR控制器主界面如图4所示。主界面可实时显示系统的当前运行状态。当系统正常工作时,实际界面中的各指示灯为绿色;遇故障或者电抗器不投入时,相应的指示灯变为红色。单击菜单按钮,可进入相应的子菜单。

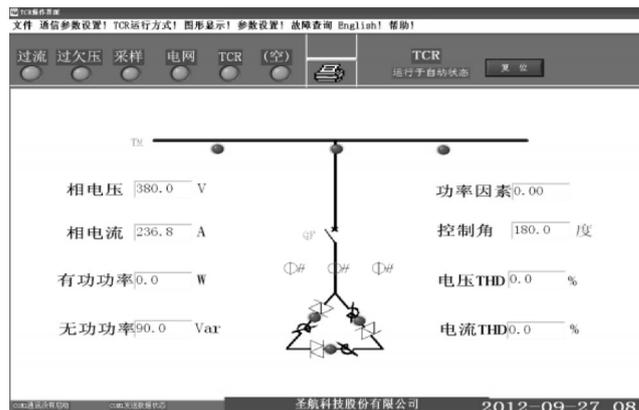


图4 TCR控制器主界面

2.3.2 A/D采样

KPCI-1811型数据采集卡的驱动程序以动态链接库(DLL)的形式提供。配置和导入动态链接库成功后,便可在LabWindows/CVI应用程序中调用该数据采集卡动态链接库中的相应函数。KPCI-1811型数据采集卡提供了丰富的库函数,包括对采集卡的初始化、启动、单通道采样、多通道采样、模拟量输出等,可以方便地在程序中调用。

2.3.3 信号处理

在信号处理模块中,使用LabWindows/CVI自带的加窗快速傅里叶变换(FFT)算法,可以方便、实时地算出电压和电流的有效值、有功功率、无功功率、功率因数、各次谐波率的大小,并可进一步计算得到畸变率(THD)等需要的参数^[9]。

2.3.4 驱动信号生成

KPCI-1811数据采集卡具有电压输出连接和电流输出连接两种连接方式。该系统采用电流输出来控制晶闸管的触发角。数据采集卡D/A部分输出的电流4 mA~12 mA线性对应晶闸管触发角180°~90°。实时计算得到无功后,由式(2),利用有理插值法可算出晶闸管导通角,然后通过KPCI-1811数据采集卡的D/A输出功能输出相应的电流信号,并经驱动模块控制晶闸管的通断,从而补偿系统所需要的无功^[10]。

驱动电流和晶闸管触发角之间的关系为:

$$I = 20 - 8 \times \alpha / 180^\circ \quad (3)$$

3 结束语

本研究将虚拟仪器技术的思想和设计方法应用于 SVC 控制器的开发中,在相对简单和通用化的硬件配置下,主要由软件完成控制器的各种功能。该控制器开发周期短、测量精度高、可靠性高,并且可以方便地增、减控制系统的功能和规模,灵活性强。控制器现已应用于 90 kvar/380 V 的 TCR 装置中,实际使用效果表明,其能够实时检测电网信号,并准确补偿电网所需无功。

由于虚拟仪器技术的突出优点,其在 SVC 控制系统和电力系统中将会得到越来越广泛的应用。

参考文献(References):

- [1] 张 峦. 静止无功补偿器的模糊变结构控制方法研究[D]. 北京:华北电力大学电力工程系,2007.
- [2] 李建华,陈建业,张海波,等. 虚拟仪器技术在 SVC 监测系

统中的应用[J]. 电力系统自动化,2003,27(5):65-67.

- [3] 王建新,杨世风,隋美丽. 测试技术及工程应用[M]. 北京:化学工业出版社,2006.
- [4] 王兆安,杨 君,刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,2011.
- [5] 王 浩,陈 乐,陈国柱. 基于 DSP 和 ARM 的磁阀式可控电抗器控制系统[J]. 机电工程,2010,27(3):103-106.
- [6] 黄 旭,田立军,秦英林,等. 基于 LabVIEW 的电能质量综合监测及故障录波系统[J]. 电力自动化设备,2010,29(1):120-123.
- [7] 莫 昕,童陆园. 电能质量在线分析仪的研制[J]. 电力自动化设备,2003,23(1):58-60.
- [8] 郭雅萌,李建林,许洪华. LabWindows/CVI 与 PCI 数据采集卡通信技术研究[J]. 电子测量技术,2007,30(5):78-80.
- [9] 周 俊,王小海,祁才君. 基于 Blackman 窗函数的插值 FFT 在电网谐波信号分析中的应用[J]. 浙江大学学报:理学版,2006,33(6):650-653.
- [10] 唐 巍. 基于 DSP 的 TCR 型动态无功补偿装置控制器的研究与设计[D]. 南京:东南大学电气工程系,2006.

[编辑:李 辉]

(上接第 713 页)

鉴于以上分析,本研究对原有装载机用万向传动轴进行了改进设计,改进后的传动轴在试验过程中法兰叉、花键轴叉与滑动轴叉的节叉处未出现断裂现象。

4 结束语

通过对装载机用万向传动轴的静态刚度、强度和动力学分析,本研究得到了传动轴的滑动轴叉、花键轴叉和法兰叉的位移分布、应力分布情况。对各个零件位移和应力分布情况的分析结果表明,万向传动轴的各部件有足够的静刚度,法兰叉和滑动轴叉有足够的强度,花键轴叉在花键和节叉连接处强度不足。

针对分析结果,本研究对原有传动轴结构尺寸进行了改进设计,增大了花键轴叉花键和节叉的连接处直径;增大了花键轴叉、滑动轴叉和法兰叉的节叉宽度、厚度;在花键末端处增大了过渡圆角直径并进行了光滑处理。改进后的传动轴在试验过程中法兰叉、花键轴叉与滑动轴叉的节叉处未出现强度问题,效果明显。

参考文献(References):

- [1] 周春平,张开林. 高速动车组万向节传动轴花键分析[J]. 机械,2008,35(4):8-10.
- [2] SCHMELZ F, SEHERR-THOSS G C, AUCTION E. 万向节和传动轴:分析·设计·应用[M]. 北京:北京理工大学出

版社,1997.

- [3] 段 进,倪 栋,王国业. ANSYS10.0 结构分析从入门到精通[M]. 北京:兵器工业出版社,2006.
- [4] 李黎明. ANSYS 有限元分析实用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [5] [作者不详]. ANSYS 分析中施加扭矩的方法小结[EB/OL]. [2009-09-24]. <http://hi.baidu.com/C4%DC%B6%AF%CE%DE%CF%DE/blog/item/7214bf0947c0b6d962d986ca.html>.
- [6] 尚晓江,苏建宇. ANSYS/LS-DYNA 动力分析方法与工程实例[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
- [7] 杨文志,王 平. 轧管机万向联轴器受力分析与扭矩测试[J]. 装备制造技术,2011(1):18-19,26.
- [8] 杨文志,郭伟超. 十字轴式万向联轴器辊端叉头有限元分析[J]. 机械传动,2011,35(2):52-54.
- [9] 王 欢,李兴根. 基于 ANSYS 的增强型混合式步进电动机的静转矩分析与计算[J]. 轻工机械. 2012,30(1):63-66.
- [10] SHEU P P, CHIENG W H, LEE A C. Modeling and analysis of the intermediate shaft between two universal joints [J]. **Journal of Vibration and Acoustics**, 1996, 118(1): 88-99.
- [11] BAYRAKCEKEN H, TASGETIREN S, YAVUZ I. Two cases of failure in the power transmission system on vehicles: A universal joint yoke and a drive shaft [J]. **Engineering Failure Analysis**, 2007, 14(4):716-724.

[编辑:李 辉]