

基于FPGA的九区图控制策略优化设计

杨 益, 方潜生

(安徽建筑工业学院 电子与信息工程学院, 安徽 合肥 230022)

摘要: 变电站电压无功控制(VQC)装置控制的主要目标是保证电压合格和无功基本平衡, 是提高电能质量的重要保障, 可以达到降损节能的效果, 从而获得较好的经济效益。目前 VQC 的控制策略主要采用九区图控制策略, 该控制策略控制简单、方便, 但实际使用时某些区域对控制结果容易产生振荡现象以及装置频繁动作的问题, 因此文中采用优化的九区图控制策略进行 VQC 系统设计, 用 Handel-C 语言对 VQC 系统进行描述, 最终在 FPGA 上实现其控制功能, 弥补了装置频繁动作和振荡的缺陷, 减少了变压器分接头调节和并联补偿电容器组投切次数, 提高了电压稳定性和无功补偿的有效性。

关键词: 九区图; 电压无功控制; Handel-C 语言; 控制策略; 现场可编程门阵列

中图分类号: TP302

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2008)08-0199-03

Optimization Design of Nine-Zone Diagram Control Strategy Based on FPGA

YANG Yi, FANG Qian-sheng

(School of Electronic and Information Engineering, Anhui University of Architecture, Hefei 230022, China)

Abstract: Major object of the substation voltage/reactive power controller guarantees the qualified voltage and the balanced reactive power. It is important safeguard for enhancing electricity energy quality and may decrease wastage and cut energy, and gains preferable economy benefit. The control strategy of VQC system adopts nine-zone diagram control strategy in these days. The method of control strategy is simple and convenient. But the VQC system is easy to surge and operates frequency when it is used in practice. Therefore, the VQC system is designed anew through adopting optimal nine-zone diagram control strategy, and is described by Handel-C language. The improved VQC system is realized fully in FPGA. The improved VQC device offsets the vice of operation frequency and surging, reducing the times of transformer taps and parallel connection compensation capacitor group switch. It improves voltage stability and the efficiency of reactive power compensation.

Key words: nine-zone diagram; VQC; Handel-C language; control strategy; FPGA

0 引言

随着电力系统日趋复杂, 用户对电能质量的要求也日益提高, 电压是衡量电能质量的主要指标, 在额定的电压范围内将有助于延长用电设备的使用寿命, 增强用电设备的工作性能, 提高用电设备的使用效率, 减少用电设备的故障率, 从而获得最大的经济效益。因此, 保证用户端电压接近额定值成为电力系统运行控制的基本任务之一。无功是影响电压质量的重要因素^[1], 而无功补偿是改善电压质量的有效途径, 同时它

能有效地提高电网的功率因数, 为降低供电变压器及输送线路的损耗, 提高设备的供电能力及供电效率, 改善供电环境提供了重要保障, 是电力系统的绿色工程^[2], 也是电力系统面临发展的一个重要课题。

目前, 变电站调节电压的主要手段一般采用调节有载调压变压器和投切并联电容器组, 有载调压主要是用来调节电压, 能减少电压所带来的损耗; 投切并联电容器组主要是用来补偿电网中无功, 减少无功所带来的损耗。然而有载调压和投切并联电容器组之间是相互制约, 相互影响, 它们两者存在着关联性。有载调压在进行调节电压的同时也会影响无功, 而投切并联电容器组在进行无功补偿的同时也会影响电压。有载调压变压器和投切并联电容器组的基本调节规律是: 变压器分接头上调(或下调)后, 低压侧电压 U 变大(或变小), 高压侧无功 Q 变大(或变小), 高压侧功率因数 $\cos\varphi$ 变小(或变大); 投入(或切除)并联电容器组

收稿日期: 2007-11-30

基金项目: 安徽省自然科学基金项目(KJ2007B003); 安徽省自然科学基金重点项目(KJ2007A112ZC)

作者简介: 杨 益(1978-), 男, 安徽安庆人, 硕士, 研究方向为 EDA 技术、无功功率补偿、计算智能; 方潜生, 教授, 博士, 研究方向为 EDA 技术、智能建筑、计算智能。

后,低压侧电压 U 变大(或变小),高压侧无功 Q 变小(或变大),高压侧功率因数 $\cos\varphi$ 变大(或变小)。因此,只有将有载调压变压器和投切并联电容器组对系统的调节手段结合起来进行综合性的调节才有可能达到较好的控制效果。

利用单片机来实现电压无功控制(VQC)系统的控制策略是变电站常用的设计手段,单片机具有成本低廉、体积小、控制简单等优点,但由于单片机是以软件顺序执行的方式工作,因而难免工作效率低、抗干扰能力弱、可靠性较差,甚至在某些工业现场无法正常工作。而 FPGA 实现的硬件电路不仅具有现场可编程的能力,很高的实时响应和抗干扰能力,低功耗、高可靠性,而且其开发周期短、开发软件投入少、芯片价格也在不断降低。因此文中采用优化的九区图控制策略来设计变电站电压无功控制(VQC)系统,并用 Handel-C 语言对其进行描述,最终在 FPGA 上实现优化后的九区图控制策略的控制功能。

1 九区图控制策略

九区图控制策略是目前变电站电压无功控制(VQC)系统广泛采用的控制策略^[3],该控制策略通过电压和无功双参数来构成二维坐标,并根据电压 U 和无功 Q 上下限将二维坐标平面划分为九个区域;对不同的分区进行相应控制,九区图控制策略示意图如图 1 所示,其中 9 区为合格区,1~8 区为不合格区, U 为低压侧母线电压, Q 为高压侧无功功率。电压无功控制的基本原理是实时采集 U 和 Q ,当超出电压 U 允许的范围(U 上限~ U 下限)或超出无功 Q 允许的范围(Q 上限~ Q 下限)时,根据调节判据得出不同区域的控制方案,通过调节有载变压器分接头位置或投切并联电容器组,保证电压合格和无功基本平衡,达到降损节能的效果,从而获得较好的经济效益。九区图控制策略如表 1 所示。

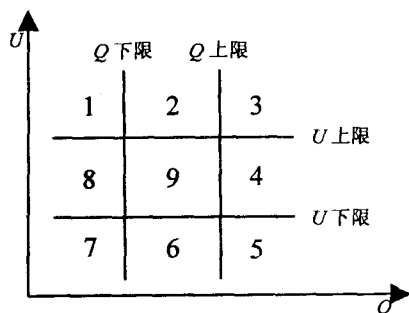


图 1 九区图控制策略示意图

表 1 中九区图控制策略由于未考虑变压器分接头调节和投切电容器组对无功 Q 上下限和电压 U 上下限的影响,实际使用时系统会造成振荡、装置频繁动作

的现象。图 1 中系统运行如果进入 2 区域且靠近无功 Q 下限时,无功 Q 合格,电压 U 越上限,分接头向下调节,降压后运行点有可能进入 1 区域非 9 区域(也可能进入 8 区域),根据 1 区域的控制策略(切除电容器组)会使运行点可能又回到 2 区域,如此循环往复,从而产生振荡。同理,系统会在 4 区域且靠近电压 U 上限和 3 区域之间,6 区域且靠近无功 Q 上限和 5 区域之间,以及 8 区域且靠近电压 U 下限和 7 区域之间出现振荡。

表 1 九区图控制策略

区域	电压 U	无功 Q	控制策略
1	越上限	越下限	切除电容器组,如果无功 Q 接近上限,电压 U 仍高于上限,则分接头向下调节
2	越上限	合格	分接头向下调节,如果已到最低档,电压 U 仍高于上限,则强切除电容器组
3	越上限	越上限	分接头向下调节,如果电压 U 接近下限,无功 Q 仍高于上限,则投入电容器组
4	合格	越上限	投入电容器组,如果电容器组已投完,则不动作
5	越下限	越上限	投入电容器组,如果无功 Q 接近下限,电压 U 仍低于下限,则分接头向上调节
6	越下限	合格	分接头向上调节,如果已到最高档,电压 U 仍低于下限,则投入电容器组
7	越下限	越下限	分接头向上调节,如果电压 U 接近上限,无功 Q 仍低于下限,则切除电容器组
8	合格	越下限	切除电容器组,如果电容器组已切完,则不动作
9	合格	合格	不动作

2 九区图控制策略的优化

上述九区图控制策略系统运行于某些区域可能出现控制结果产生振荡现象以及装置频繁动作的缺陷,因此文中对九区图控制策略进行了优化,优化的九区图如图 2 所示,把原有的 2、4、6 和 8 四个区域划分为 2A、2B、4A、4B、6A、6B、8A 和 8B 八个小区域,其中 ΔQ_U 为分接头调节一档引起的无功最大变化量, ΔU_Q 为投切一组电容器组引起的电压最大变化量。优化的九区图控制策略采用七种方案对各区域进行相应控制,简化了九区图的控制策略,其控制策略如表 2 所示。

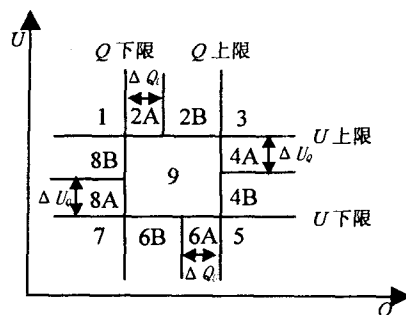


图 2 优化的九区图

表 2 优化的九区图控制策略

区域	电压 U	无功 Q	控制策略
I	8B 1 2A 越上限	越下限 越下限 合格(靠下限)	切除电容器组,如果无功 Q 接近上限,电压 U 仍高于上限,则分接头向下调节
II	2B 越上限	合格(靠上限)	分接头向下调节,如果已到最低档,电压 U 仍高于上限,则切除电容器组
III	3 4A 越上限 合格(靠上限)	越上限 越上限	分接头向下调节,如果电压 U 接近下限,无功 Q 仍高于上限,则投入电容器组
IV	4B 5 6A 合格(靠下限) 越下限 越下限	越上限 越上限 合格(靠上限)	投入电容器组,如果无功 Q 接近下限,电压 U 仍低于下限,则分接头向上调节
V	6B 越下限	合格(靠下限)	分接头向上调节,如果已到最高档,电压 U 仍低于下限,则投入电容器组
VI	7 8A 越下限 合格(靠下限)	越下限 越下限	分接头向上调节,如果电压 U 接近上限,无功 Q 仍低于下限,则切除电容器组
VII	9 合格	合格	不动作

3 软件系统设计

软件系统设计采用表 2 中优化的九区图控制策略进行设计,软件系统设计总体流程如图 3 所示,其中 ZONE 为区域变量,而 ZONE1, ZONE2 和 ZONE3 为中间暂存区域变量。

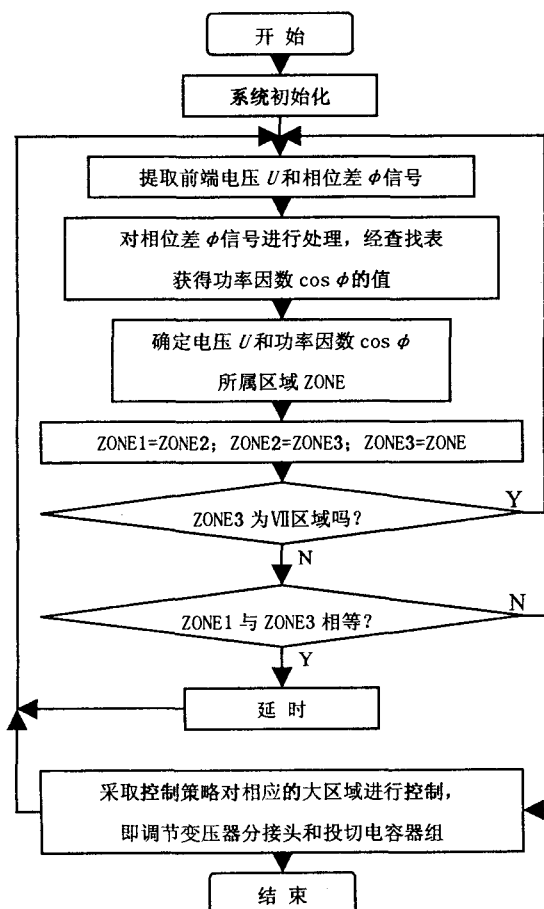


图 3 软件系统设计总体流程图

软件系统编程采用 Handel-C 语言, Handel-C 语言是一种起源于 ISO/ANSI-C 的高级程序设计语言^[4], Handel-C 兼有常规高级语言和硬件描述语言 (Hardware Description Language, 简称 HDL) 的优点, 即它能描述一些复杂算法, 又能实现并行执行, 可以用软件的方法来设计硬件。

为了简化软件系统设计, 本设计用功率因数 $\cos\varphi$ 上下限代替表 2 中的无功 Q 上下限, 即用 $\cos\varphi$ 上限替换 Q 下限, 用 $\cos\varphi$ 下限替换 Q 上限。软件系统经过初始化后, 程序进入系统的循环控制部分, 提取前端硬件电路提供的低压侧电压 U 和高压侧电压、电流之间的相位差 φ 波形信号, 采用软件的计数方式对相位差 φ 波形信号进行计数, 经查找表获得实时功率因数 $\cos\varphi$ 的值。

Handel-C 语言具有并行的特性, 这样可以同时确定电压 U 和功率因数 $\cos\varphi$ 所属的区域, 如果系统进入 VII 区域, 则返回, 重新提取前端电压 U 和相位差 φ 波形信号; 否则, 继续执行后面的程序代码。如果外界变压器装置发生意外波动, 从而使本次电压 U 和功率因数 $\cos\varphi$ 所属的区域与上次所属的区域相同, 则延时等待一段时间, 返回重新提取前端电压 U 和相位差 φ 波形信号; 否则, 根据控制策略进行相应控制。

优化的九区图控制策略软件系统分别在 Celoxica DK2^[5]和 MATLAB 开发环境中进行了调试仿真, 电压 U 和相位差 φ 波形信号分别由伪随机数发生器^[6]提供。从仿真结果来看, 软件系统实现了其控制功能, 优化的九区图控制策略明显减少了变压器分接头调节和并联补偿电容器组投切次数, 提高了电压稳定性和无功补偿的有效性。

4 系统硬件实现

为了将 Handel-C 语言描述的优化的九区图控制策略在 FPGA(Xilinx Virtex-II XC2V1000)上实现其控制功能, 必须在软件系统中设置提取前端硬件电路的电压 U 和相位差 φ 波形信号的硬件接口, 以及控制后端变压器分接头和并联补偿电容器组的硬件接口。另外, 为了有效提高硬件时钟频率和硬件资源的利用率, 必须对软件系统进行优化, 减少硬件电路的时延和资源。

软件系统在 Celoxica DK2 和 Xilinx ISE5.1 开发环境中分别综合成网表文件和 BIT 文件^[1], 最后通过 FTU2 下载工具将 BIT 文件下载到 FPGA 上, 实现了 VQC 系统高速数据处理、实时响应和抗干扰的能力, 提高了系统的稳定性和可靠性。

(下转第 210 页)

框架下的概念模型,提供规范的标准,以及如何模块化一个 OSGI 的兼容系统,让每一个个性化的服务满足每个用户需求。

应用工程在领域分析的基础上进行实例化,在实例化的过程中有些组件从现有组件库中选取,有些则重新构建,这些组件都是 COM 组件,根据每个系统的具体需求而变更组件,最终实现大粒度的复用。

6 结束语

自从软件危机的提出,人们一直都在寻找高效的软件开发方法,软件复用技术被大家认为是降低成本、缩短开发周期的有效方法。现在的复用技术有基于组件复用技术和产品线开发复用技术等。文中从产品线理论进行研究,对体系结构、开发过程等内容进行了深入的探讨。最后用 HIS 系统举例,提出在 OSGI 框架结构下的应用开发。完善的产品线是一个长期的工作,国外已经有较成熟的产品线,所以我们有责任把产品线理论在国内的软件产业中推广起来。

(上接第 201 页)

5 结束语

变电站电压无功控制(VQC)系统是保障电能质量提高的有效途径,采用优化的九区图控制策略来设计 VQC 系统,弥补了某些区域对控制结果产生振荡现象以及装置频繁动作的缺陷,明显减少了变压器分接头调节和并联补偿电容器组投切次数,增强了电压稳定性和无功补偿的有效性,提高了电能质量,降低了电网损耗,大大改善了电能的利用率。

参考文献:

- [1] 杨 益,方潜生.基于 FPGA 动态跟踪型功率因数补偿控

(上接第 205 页)

不再赘述。

3 结束语

文中探讨了通用的呼叫中心业务系统框架设计的可行性,并提出了一套设计方案。该设计方案采用 MVC 设计模式、基于 B/S 架构,与具体的业务无关,可应用于多种行业,呼叫中心业务系统的开发人员可以在本设计方案的业务系统框架的基础上扩展出与具体业务相关的功能模块。因为可以重复使用、不涉及业务,该设计方案可以减少开发成本,缩短开发周期。根据本设计方案实现的陕西移动 114 号码百事通项目正在实施中,验证了本方案的可行性。

参考文献:

- [1] Mili H. Reuse - Based Software Engineering[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [2] Bass L, Clements P, Kazman R. Software Architecture in Practice[M]. [s. l.]: Addison Wesley, 1997.
- [3] Mili H, Mili A, Yacoub S, et al. 基于重用的软件工程:技术、组织和控制[M]. 韩 柯译. 北京:电子工业出版社, 2004.
- [4] 杨美清,朱 冰,梅 宏. 软件复用[J]. 软件学报,1995,6 (9):525 - 533.
- [5] Frakes W B, Kang K C. Software reuse research: Status and future[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2005, 31(7):529 - 536.
- [6] Gornaa H. Designing Software Product Lines with UML: From Use Cases to Pattern - Based Software Architectures [M]. Boston: Addison - Wesley, 2004.
- [7] Chastek G, Donohoe P, McGregor J D. Product line production planning for the home integration system example[M]// Product Line Practice Initiative. [s. l.]: Carnegie Mellon University, 2002.

制器的设计[J]. 工业控制计算机, 2006, 11: 79 - 80.

- [2] 唐 艳,王万新,王洪博,等. 九区图法优化实时无功补偿及其应用[J]. 机械工程与自动化, 2006(4): 154 - 156.
- [3] 康明才. 基于遗传算法的变电站电压 - 无功综合控制[J]. 南京理工大学学报, 2002, 26(5): 490 - 493.
- [4] Celoxica. Handel - C Language Reference Manual[S]. [s. l.]: Celoxica, 2003.
- [5] Celoxica. DK Design Suite User Manual[S]. [s. l.]: Celoxica, 2003.
- [6] 杨 益,方潜生. 基于 Handel - C 的伪随机数发生器的设计与实现[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(12): 124 - 126.

参考文献:

- [1] 耿 刚,陈 平. XML 在呼叫中心业务系统中的应用与研究[J]. 现代电子技术, 2003, 26(24): 31 - 33.
- [2] 许 红. 分布式呼叫中心系统的设计[J]. 甘肃科技, 2006, 22(4): 36 - 38.
- [3] Bernett H, Jaramillo M L. Assessing Web - enabled call center technologies[J]. IT Professional, 2001, 3(3): 24 - 30.
- [4] Lam W, Shankaraman V. An enterprise integration methodology[J]. IT Professional, 2004, 6(2): 40 - 48.
- [5] Cheng I, Boyette N, Krishna V. Towards a Low - Cost High - Quality Service Call Architecture[C]// Services Computing, 2006. SCC '06. IEEE International Conference. [s. l.]: [s. n.], 2006: 261 - 264.