

基于 Handel-C 的电容器组投切控制设计

杨 益, 方潜生, 潘亚林, 武 江

(安徽建筑工业学院 电子与信息工程学院, 安徽 合肥 230022)

摘 要:在电力传输过程中,由于大量无功功率的存在,不可避免地导致线路损耗的增加,给用电设备安全运行带来了隐患。因此,改善和提高电网运行质量,必须对电网进行无功功率补偿。采用电容器组进行无功功率补偿,提出一种将循环投切和编码投切控制方式结合起来的投切控制策略。这种控制策略不仅大大提高无功功率补偿精度,而且可以延长整体电容器组的使用寿命。整个软件系统采用 Handel-C 语言进行编程,并最终在 FPGA 上实现电容器组投切控制功能。

关键词:电容器组投切控制;无功功率补偿;Handel-C 语言;现场可编程门阵列

中图分类号:TP302;TM714.3

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2007)11-0215-03

Design of Capacitor Group Switch Control Based on Handel-C

YANG Yi, FANG Qian-sheng, PAN Ya-lin, WU Jiang

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

Abstract: A mass of reactive power exists in electric power transmission course, accordingly the wasting of circuitry increases and the electrical equipment safe have brought hidden trouble. Therefore, improving and raising the operation quality of electrical network must compensate the reactive power. In the design, compensating reactive power adopts capacitor group. A kind of control strategy has been introduced that provided with both circulatory and coding control function. This kind of control strategy not only can raise consumedly the reactive power compensation precision, but also can prolong the service life of overall capacitor group. The software system adopts control strategy with Handel-C language programming and has been implemented all right in the FPGA, namely implementing the capacitor group switch control function.

Key words: capacitor group switch control; reactive power compensation; Handel-C language; field programmable gate array (FPGA)

0 引 言

在电力传输过程中,不仅有有功功率的存在,而且还有无功功率的存在。也正是无功功率的存在,使得供电设备效能得不到充分发挥,增加了线路损耗,给用电设备安全运行带来了隐患。因此为了改善和提高电力系统运行质量,降低供电设备容量,减少电力损失,确保电网经济安全运行,必须对电网进行无功补偿。

目前,电力系统中常用的无功补偿方法有同步调相机及电力电容器组无功补偿。然而,同步调相机的体积庞大、运行费用及功耗高、响应时间长等缺点限制了它的使用;电力电容器组补偿方式是电网获取无功、

提高功率因数的有效手段,在电力系统得到了广泛的应用,它具有结构简单、补偿效果明显、造价低廉等优点,是目前无功补偿最方便、最经济和最有效的方法之一。因此笔者采用电力电容器组进行无功补偿,提出一种将循环投切和编码投切控制方式结合起来的投切控制策略,并用 Handel-C 语言^[1-3]进行编程,在 FPGA 上实现软件系统功能,从而实现对电容器组进行动态控制。

1 Handel-C 语言简介

Handel-C 是一种起源于 ISO/ANSI-C 的高级程序设计语言,它是以硬件为目标,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,做到了用软件的方法来设计硬件。它允许系统开发人员和软件工程师通过某些特殊的表达式来指定某些算法是否并行,并把它直接映射到硬件上,从而

收稿日期:2007-02-07

基金项目:安徽省教育厅自然科学基金项目(KJ2007B003);安徽省教育厅自然科学基金重点研究项目(2006KJ021A, 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,博士,教授,研究方向为 EDA 技术、智能建筑、计算智能。

加速算法的设计,大大提高设计效率,缩短了产品的上市时间。它还提供灵活的数据宽度、通用的内存体系结构(RAM,ROM)和外部硬件接口(Interface)。

Handel-C 和 Celoxica DK2 开发环境允许设计者使用软件的范例和库代码,甚至可以引进 HDL 程序。用这种新方法写出来的代码能在 DK2 开发环境中仿真,并能和其它的工具(例如 ModelSim)交叉仿真。这些工具提供了巨大的灵活性,通过重用代码来加快设计速度,并且使实际的设计更接近于模块化。

2 系统结构

根据电容器组投切控制策略所需要补偿的电容量 C ,即通过无功量 Q 查表得到电容量 $C^{[4]}$,必须提取前端硬件电路提供的电压 U 、电流 I 、电压电流相位差 Φ 等信号,经过处理得到所需要补偿的无功量 Q 。电容器组投切控制策略采用 Handel-C 语言进行编程实现,并且在 FPGA 上实现软件功能,对电容器组投切进行实时精确控制。其系统结构框图如图 1 所示。

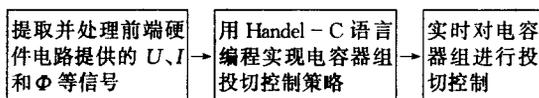


图 1 系统结构框图

3 电容器组投切控制策略

电力电容器组常由等容量的电容器或不等容量的电容器(如二进制倍增方式)组合而成。对于等容量的电容器组通常采用循环投切的控制方式^[5],即遵循先投入先切除、后投入后切除原则。对于不等容量的电容器组通常采用编码投切的控制方式,即根据所需要补偿无功的容量,一次性投入或切除相应电容器组。

循环投切控制方式的优点是逻辑简单,可以使各电容器均匀地被使用,均衡各电容器的疲劳强度,延长大整体电容器组的使用寿命,避免电容器组在投切控制的过程中,由于频繁投切某一部分电容器,使得这一部分电容器寿命大为缩短;缺点是补偿精度差,轻载时易出现频繁投切,达不到预期补偿目的,级数少,级差大,例如 10 个等容量的电容器组,容量分别为 $1F$,经组合可以实现 $1F, 2F, 3F, \dots, 8F, 9F, 10F$ 等 10 级不等容量。编码投切控制方式的优点是级数多,级差小,能最大限度地提高补偿精度,一步到位,快速准确,例如 10 个不等容量的电容器组,容量分别为 $1F, 2F, 4F, \dots, 128F, 256F, 512F$ (二进制倍增方式),经组合可以实现 $1F, 2F, 3F, \dots, 1021F, 1022F, 1023F$ 等 1023 级不等容量;缺点是增加了电容器组投切的动作次数,减少了电容器组的使用寿命。为了弥补循环投切和编码投

切控制方式的缺陷,把两者各自的优势展现出来,笔者将循环投切和编码投切控制方式结合起来,设计实现一种具有组内采用循环投切控制方式,组间采用编码投切控制方式新的控制策略。其中组内是指每一组电容器由等容量的电容器组合而成,组间是指不同的组与组之间电容器组的容量不相等。例如有 10 组电容器组,每一组有 5 个等容量的电容器,其中第一组容量为 $1F$,第二组容量为 $2F$,第三组容量为 $4F, \dots$ 第八组容量为 $128F$,第九组容量为 $256F$,第十组容量为 $512F$ 。

4 软件设计及仿真

4.1 软件设计

电容器组投切控制软件系统经过初始化,使电容器组处于切除状态,通过与设定电压值比较,决定是否对电容器组进行实时动态投切控制,电容器组投切控制策略采用循环投切和编码投切相结合控制方式。整个软件系统采用 Handel-C 语言编程,其流程图如图 2 所示,其中 $C1$ 和 $C2$ 为变量,“=”为赋值符号,“==”为比较等于符号。

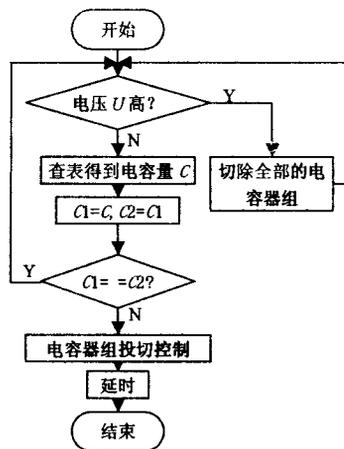


图 2 电容器组投切控制软件系统流程图

电容器组投切控制软件系统实现对 10 组电容器组进行分组分级精确投切控制,其中每组 5 个电容器,共计 50 个电容器。

其软件核心代码如下:

```

/* k_on[i], k_off[i] 分别为第 i 组组内电容器投入和切除指针,
kl[i][k_on[i]] 为第 i 组组内具体某个电容的状态,其中 1 为投入,0 为切除 */
do
{if (c[i] == 1) // 投入电容器信号, i 初始值为零
  {if (k_on[i] == k_off[i]) // 电容器是否为切除状态
    { kl[i][k_on[i]] = 1; // 投入电容器
      if (k_on[i] == 4) // 投入电容器指针指向第 5 个电容器
        k_on[i] = 0; // 返回第 1 个电容器
    }
  }
}
  
```

```

else
    k_on[i] = k_on[i] + 1; } //投入电容器指针指向下一
组电容器
else
    delay; }
else
    {if (k_on[i] != k_off[i]) //电容器是否为投入状态
    { k1[i][k_off[i]] = 0; //切除电容器
    if (k_off[i] == 4) //切除电容器指针指向第 5 组电容器
        k_off[i] = 0; //返回第 1 组电容器
    else
        k_off[i] = k_off[i] + 1; } //切除电容器指针指向下一组
电容器
else
    delay; }
i = i + 1; } while(i < 10); //循环语句

```

4.2 软件仿真

如图 3 所示,软件仿真采用伪随机数发生器产生的随机数作为所需要补偿的电容量 out_c , out_g 为电容器组的编号(值为 1 到 10,有 10 组电容器), out_{gk} 为电容器组具体某一组组内投入的电容器编号(编号为 1 到 5,每一组有 5 个电容器),其中 out_{gk} 为 0 时表示某一组组内电容器处于切除状态。

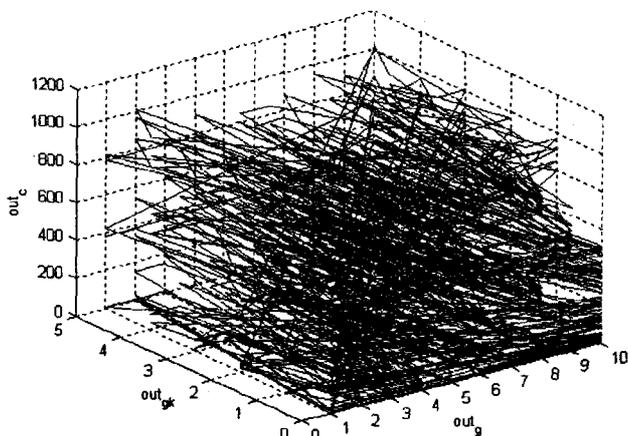


图 3 电容器组投切控制仿真图

从图 3 可以看出,每一组 out_g 和对应的组内 out_{gk} 随着补偿电容量 out_c 在调整,可以做到精确补偿,一步到位,并且每一组组内电容器间在不停地轮流切换,避免了频繁投切某一部分电容器,从而可以均衡各电容

器的疲劳强度,延长整体电容器组的使用寿命。

5 硬件实现

为了使整个软件系统在 FPGA 上实现投切控制功能^[6],在软件系统仿真完成后,必须对软件系统进行时钟和外部硬件接口设置,由于外部电路提供的时钟频率为 133MHz,本设计对 133MHz 进行 133 分频得到 1MHz 的时钟频率,并且对控制外部电容器组的硬件输出接口(共 50 个)进行定义。在软件系统硬件设置完成后,在 Celoxica DK2 开发环境中进行调试,将 Handel-C 描述的投切控制程序编译生成 *.edf 文件,再经过 Xilinx ISE5.1 将 *.edf 文件编译生成 *.bit 文件,最后通过下载工具 FTU2 将 *.bit 文件配置到 FPGA(Xilinx 公司 Virtex-II XC2V1000 芯片)上,实现对外部电容器组进行实时投切控制。

6 结束语

目前电力电容器组在电力系统的无功功率补偿中有着广泛应用,它具有结构简单、补偿效果明显、造价低廉等优点。将电容器组应用到无功功率补偿当中,提出一种将循环投切和编码投切控制方式结合起来的投切控制策略,实现了级数多,级差小,能最大限度地提高补偿精度,一步到位,快速准确,而且延长了整体电容器组的使用寿命。最终,整个软件系统在 FPGA 上成功实现投切控制功能,缩短了投切控制器的动态响应时间,提高了抗干扰能力和可靠性。

参考文献:

- [1] 杨 益,方潜生,汪力君.基于 Handel-C 的硬件优化设计[J].安徽建筑工业学院学报,2005,13(6):56-58.
- [2] Handel-C Language Reference Manual[S]. Celoxica,2003.
- [3] DK Design Suite User Manual[S]. Celoxica,2003.
- [4] 华 臻,张树粹,范 辉.功率因数自动补偿控制器的研制开发[J].煤炭机械,2003(6):18-21.
- [5] 李 森.智能型无功功率补偿控制器的研制[J].电力电容器,2005(4):12-17.
- [6] 杨 益,方潜生.基于 FPGA 动态跟踪型功率因数补偿控制器的设计[J].工业控制计算机,2006(11):79-80.

(上接第 214 页)

- [2] 林琴谭, 晏 珊.基于 Struts 框架的 Web 报表展示的设计与实现[J].计算机系统应用,2006(11):25-28.
- [3] 肖 洁,王耀青.基于 J2EE 的 JFreeReport 组件报表的研究和实现[J].微机发展,2005,15(9):89-92.
- [4] Toffoli G. IReport User Manual[M]. San Francisco, California, United States: JasperSoft Corporation, 2006.
- [5] 孙为琴.精通 Struts: 基于 MVC 的 Java Web 设计与开发[M].北京.电子工业出版社,2006.
- [6] Danciu T, Chirita L. The JasperReports Ultimate Guide[M]. San Francisco, California, United States: JasperSoft Corporation, 2006.