

文章编号:1001-1609(2004)01-0031-02

用微机控制的晶闸管投切电容器补偿装置

宋伶俐, 刘岸杰

(武汉大学电气工程学院, 湖北 武汉 430072)

Compensation Device of Thyristor Switching Capacitor Controlled by Microcomputer

SONG Ling-li, LIU An-jie

(School of Electric Engineering, Wuhan University, Wuhan, 430072, China)

摘要: 用微机控制的晶闸管投切电容器补偿装置以工业 PC 机作为控制核心, 采用了新颖的快速无功功率检测方法和独特的晶闸管控制技术。它可满足低压配电网基波无功补偿的快速性和实时性要求。笔者介绍了该装置的主回路控制方式和控制电路构成, 并通过模拟负荷投切试验验证了其投切的正确性。

关键词: 无功补偿; 晶闸管; 电容器; 工业计算机

中图分类号: TM714.3

文献标识码: A

Abstract: In the dynamic reactive power compensation device, an industrial computer is employed as the control center and a rapid reactive power detecting method with a special thyristor controlling technology is available. It can compensate the fundamental-wave reactive power in distribution network in real time. The control mode of the main circuit and the schematic block of the device are presented in detail. A switching test with simulated load shows that the device is effective.

Key words: reactive power compensation; thyristor; capacitor; industrial computer

1 引言

随着电力系统的发展和技术进步, 无论是供电部门还是用户, 对具有降低线损和提高电能质量重要作用的无功补偿措施越来越关注。无功补偿不仅要求有足够的无功补偿容量, 而且要求具有灵活性和较高的自动化水平, 以达到优化补偿的目标。目前, 无功补偿大多以交流接触器作电力电容器的投切执行元件, 投入时冲击电流大, 切除时会产生过电压, 自身触头易损甚至熔焊, 噪声大, 设备故障率高, 可靠性差。在控制环节上基本不能满足分相、分级、快速及跟踪补偿的要求。鉴于此, 根据 TSC^[1]无功补偿原理, 以晶闸管作为执行元件, 用工业 PC 机进行控制, 设计一种 TSC 微机控制的动态无功补偿装置。它具有以下新特点: ①不需检测功率因素角即可

快速检测出无功功率。②利用微机同步相位控制技术和自适应晶闸管触发技术, 当实时检测到电容器两端电压与电网电压大小相等, 极性一致时, 瞬时投入电容器, 电流过零时晶闸管自然关断。不需装限流电抗器, 不需专门的放电电阻, 不需对电容预充电即可随时实现无冲击投切电容器。③可以对不平衡的无功功率进行完全补偿, 这是以往补偿装置难以胜任的。

2 TSC 主电路结构

主电路设计除了满足分级快速补偿要求外, 还应考虑限制并联电容器组的合闸涌流和抑制高次谐波等问题。

我国低压配电网采用三相四线制, 且以三相不平衡负荷情况居多, 因此采用了图 1 所示的 TSC 主电路结构。其中三相电力电容器接成星形, 以满足分相补偿的要求; 每相电容器按 8, 4, 2, 1 的比例分成不同容量的 4 组, 通过对 4 组电容器组不同组合的控制, 以提高静态补偿准确度。不同组的电容器容量不同, 晶闸管的额定电流也不同。主电路见图 1, 图中每相只画出其中的两组。

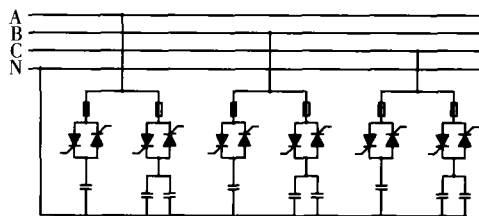


图 1 主电路图

图 1 中控制电容器投切的无触点开关由晶闸管模块上的两只晶闸管反并联组成。当主回路施加正向电压且晶闸管的控制极有触发脉冲信号时, 晶闸管导通, 把电容器投入电网; 而当去掉触发脉冲后, 电流过零时晶闸管自然关断, 从电网上切除电容器。晶闸管上并联有 RC 阻容吸收电路, 用于吸收开关过程中的瞬变电压和瞬变电流。另外, 在主回路上还专门装有一组氧化锌避雷器, 用以吸收操作过电压

和雷击过电压等。在每一相中都串有快速熔断器作为快速过流保护。晶闸管电压 U_{SCR} 的选择要考虑电力电容器上的充电电压,一般按式(1)选择:

$$U_{SCR} = 2K_1 K_2 \sqrt{2} U_1 \quad (1)$$

式中: K_1 为电压裕度, 这里取 1.1; K_2 为电网电压波动系数, 这里取 1.1; U_1 为电网额定电压。晶闸管电流值 I_{SCR} 一般按式(2)选择:

$$I_{SCR} = 2.5\pi f C U_1 \times 10^{-6} \quad (2)$$

式中: f 为电网额定频率; C 为电容量 (μF)。这里所取的裕度比通常方法要小, 这就较大地提高了晶闸管容量的利用率^[2]。只要能在投切控制技术上保证无过电压、无冲击电流, 按以上原则选择晶闸管参数就能保证装置长期可靠运行。

我国低压采用三相四线制 TN-C 系统供电。其特点是工作中性线 N 与保护接地线 PE 合为一根 PEN 线, 所有设备的外裸可导电部分均与 PEN 线相连。当三相不平衡时, PEN 线上有电流通过。分相补偿时电容器频繁投切引起的三相不平衡合闸涌流, 可使 PEN 线过负荷发热, 引起零电位漂移, 危及人身安全, 影响用电设备的正常工作。所以应尽可能减小星形接法电容器中性点的接地电阻, 以保证由三相不平衡合闸涌流引起的零电位漂移较小。

3 无功电流检测

实时测量无功电流^[3]是实现动态无功补偿的前提。假设接点相电压为: $u_p(t) = \sqrt{2} U \sin \omega t$, 负载相电流为: $i_L(t) = \sqrt{2} I \sin(\omega t + \varphi)$, 即:

$$i_L(t) = \sqrt{2} I \cos \varphi \sin \omega t + \sqrt{2} I \sin \varphi \cos \omega t = i_p(t) + i_q(t)$$

其中: $i_p(t)$ 和 $i_q(t)$ 分别是有功电流分量和无功电流分量。当 $\omega t = 2k\pi$ 时, $i_L(2k\pi) = \sqrt{2} I \sin \varphi = I_{qm}$ 。

可见, 只要测量在相电压正向过零时刻的负载电流, 就知对应的无功电流最大值 I_{qm} 。设单相负载的无功功率为 Q_L , 则:

$$Q_L = U_p I_p \sin \varphi = U_p I_q$$

式中: U_p 和 I_q 分别为负载的相电压和相电流的无功分量。设并联电容器组的无功功率为 Q_C , 则:

$$Q_C = U_p I_C$$

式中: I_C 为单相电容器组的相电流。由于负载和电容器组的工作电压相同, 所以 I_q 代表了负载的感性无功功率, 也代表了完全补偿时电容的容性无功功率。

这种无功电流检测方法简单、快速。各相在 1 个周期内只要采样一次, 即可满足基波动态分相补偿的要求。控制器采用闭环控制方式, 检测点设置在主变与电容柜之间, 控制器检测补偿后的无功功率 ΔQ , 由 ΔQ 求得负载的全部无功功率 Q_L , 即完全补偿时所需投入的全部电容的无功功率, 这种控制方式可以在每个检测周期后, 依次投入应投入的全部

电容量, 提高了静态补偿的准确度。

图 2 为按上述思想设计的无功电流测量电路。取样信号 U_u 和 I_i 分别来自电压互感器和电流互感器, 供微机控制器采样。 U_u 经低通滤波器滤除高次谐波后, 由过零脉冲发生电路产生相电压正向过零脉冲信号, 作为采样保持器的采样控制开关信号, 于是采样保持器的输出就是无功电流峰值, 微机控制器 A/D 板采集该信号作为补偿控制参考信号。

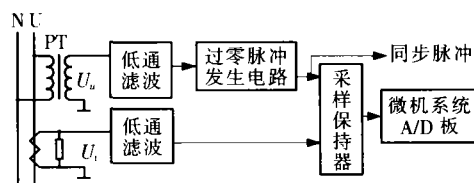


图 2 无功电流测量电路

4 控制电路的构成

图 3 为微机系统构成, 采用了抗干扰能力强的工业 PC 机, 使补偿装置具有较高的可靠性, 同时工业 PC 机具有丰富的软硬件资源, 为今后开发用户界面软件、实现与其它控制系统联网等留有充分资源储备。

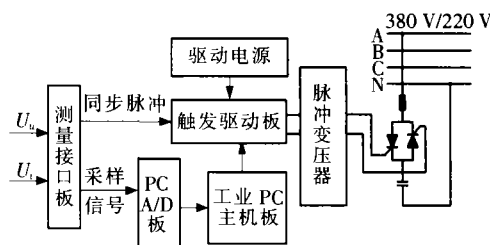


图 3 控制系统硬件构成

由于电容器是储能元件, 在每次被切除后, 会保持有一定值的残余电压, 显然投切控制的最佳时机是当网压等于残压时, 理论上不会产生暂态过程, 避免产生较大的“合闸涌流”, 这不仅保证晶闸管的安全, 还可减小对电容器的损伤。所以, 控制器必须实时监测电容器残压。该装置采用的投切原理如下: 当检测到电容器两端电压与电网电压大小相等、极性一致时, 利用微机同步相位控制技术瞬时投入电容器, 电流过零时晶闸管自然关断, 不需要专门的放电电阻或对电容预充电, 即可随时再投入电容器, 从原理上实现了无过渡过程的投切。该装置不需加装限流电抗器, 也可无冲击地快速投切电容器。该方法有效地避免了电流冲击, 显著地延长了电力电容器的使用寿命, 克服了投切电容对电网产生的扰动, 提高了电能质量。

5 模拟负荷投切试验

该控制器在低压情况下进行了单相模拟负荷投切试验, 试验条件如下: ①试验中电压的有效值约为 230 V, 频率为 50 Hz。②采用移相变压器来模拟感性负荷。移相变压器原边作为电压输 (下转第 36 页)

电。通过远程通讯装置与配电管理中心的 DMS 系统通讯,可以实现四遥功能,目前已挂网运行。图 10 是该控制器与 ZW10-12/T630-20 型户外真空断路器配合使用的接线原理图,采用了 2PT,3CT 接法。为了提高电磁兼容性能,CT 一端接机壳地,在 PT 上加上了 5 A 的熔丝以防止过电压对装置造成危害。

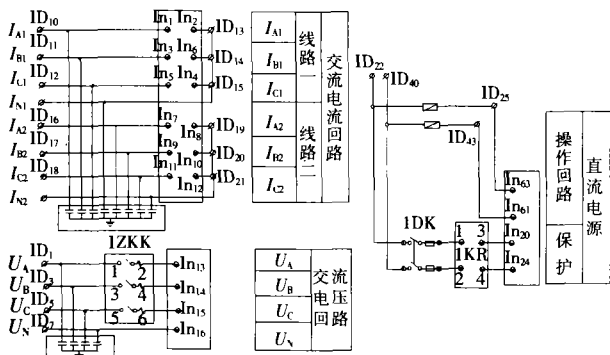


图 10 FTU 与 ZW10 户外真空断路器的接线原理图

8 结论

(1) 配电自动化开关控制器集测量、控制、保护、通信等功能于一体,成为配电自动化系统的一个重

要组成部分。

(2) TMS320LF2407 型 DSP 和 AT89C55 单片机构成双 CPU 系统,系统软件设计中应用实时多任务系统,并在硬件设计和软件编程上采取了多种抗干扰措施,大大提高了系统的实时性和可靠性。

(3) 试验表明,该控制器的测量、控制、保护等功能达到设计要求,与 ZW10 户外真空断路器配合使用,能够满足配网自动化的要求。

参考文献:

- [1] 刘 键,倪建立,邓永辉. 配电自动化系统 (第二版)[M]. 北京: 水利水电出版社, 2003.
- [2] 牛培峰,李国胜. 基于数字信号处理器的配电自动化终端装置[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(20): 66-68,71.
- [3] 刘和平,严利平,张学锋,等. TMS320LF240x DSP 结构、原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002.
- [4] 吴健军,周文俊. 单片机实时多任务编程在微机保护中的应用[J]. 电子与自动化, 1998, 17(5): 31-32.
- [5] 汤子瀛,哲凤屏,汤小舟. 计算机操作系统 [M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000.
- [6] 盛寿麟. 电力系统运动原理[M]. 北京: 水利电力出版社, 1993.

作者简介: 闫 静(1973-),男,博士研究生,讲师,从事高压电器理论及应用的研究工作。

(上接第 32 页) 入信号,副边作为电流输入信号,调节原副边的相位角差来模拟感性负荷。③电容器每相分为 3 组,容量分别为 100,200,400 μF 。在条件①的情况下,能够补偿的感性无功大小分别为 1 662,3 324,6 648 var。④模拟电压和电流信号的采样均采用 WB 系列电量隔离传感器 V411Q0,输入电压有效值最大为 400 V,对应的输出电压有效值为 3.5 V。为了与补偿电容器补偿的无功值相匹配,在实际程序中对于电流的有效值缩小了 8 倍,所以最后的电流结果为电压的 1/8。⑤试验中没有接入晶闸管和电容器,所以在实际补偿中,每执行一次程序,显示出的电容器投入组数就从开始应投入值一直增加到 7 为止。

在以上条件下,计算出的几组数据见表 1。其中,投入电容器的组数相对于最小电容器,在该控制器中对于 100 μF 的电容器组数,如 3 组表示总容量为 300 μF ,投入 100 μF 和 200 μF 的电容器各 1 组。实际试验中各项数据见表 2。

表 1 计算数据

移相角/(°)	电压有效值/V	电流有效值/A	无功功率/var	应投入电容器组数
0	230	28.75	0	0
20	230	28.75	2 261.5	1
30	230	28.75	3 306.25	1
45	230	28.75	4 675.74	2
60	230	28.75	5 726.59	3
90	230	28.75	6 612.5	3

表 2 试验数据

移相角/(°)	电压有效值/V	电流有效值/A	无功功率/var	应投入电容器组数
0	229.3	28.66	7.453 3	0
20	231.5	28.94	2 365.4	1
30	228.9	28.61	3 232.3	1
45	232.4	29.05	4 752.6	2
60	229.6	28.45	5 613.1	3
90	228.7	28.59	6 538.8	3

由于移相变压器齿轮传动的机械偏差导致实际刻度可能与标度盘不符,在该试验中,移相变压器的相位差是通过示波器看出来的。

从模拟负荷投切试验数据可以看出,控制器对于电压和电流的采样,电压电流有效值、无功功率的计算以及电容器的投切控制电路均是正确的。实验效果说明:该装置适合普通低压配电网用户作无功补偿。

参考文献:

- [1] K Engberg. Thyristor Switched Capacitors, TSC, in Theory and Practice[A]. Fourth International Conference on AC and DC Transmission[C], London, 1985.
- [2] 徐爱钧. 功率因素自动补偿装置[J]. 电气自动化, 1992(5): 28-31.
- [3] 胡萌林,蔡蜀青. 低压电容无功补偿装置的控制方式[J]. 电工技术杂志, 1995(1):5-7.

作者简介: 宋伶俐(1978-),女,在读硕士研究生,主要研究方向为电能质量分析与监测。电话:027-87887751。