治理同步辐射装置电压波动的 TSC设计方法

朱细敏,李裕能
(武汉大学电气工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要: 为了减少同步辐射装置负荷冲击特性引起的配电网电压波动,采用以交流过零型固体继电器为开关的晶闸管投切电容器 (TSC)无功补偿装置对其进行无功补偿,在借助于 Matlab的仿真工具 simulink获得负荷侧无功电流幅值后,求得该网络实现无功补偿所需投切的电容量;然后,用以 Intel 80C196KB单片机为核心的微机控制系统来控制 TSC电容器的投切,最终达到实时补偿网络负载的无功功率的目的。

关键词: 零电压触发; 固体继电器; 投切电容量; Intel 80C196KB

中图分类号: TM714 **文献标识码**: A **文章编号**: 1003-4897(2006)05-0049-03

0 引言

经研究,同步辐射装置 (SRF)的增强器磁铁电源设备 (主要由 2台 B铁,1台 QF铁,1台 QD铁组成)在工作时会引起网络电压的波动,并且在 35 kV侧和 10 kV侧引起的电压总波动值均超过了国家标准 GB12326 - 2000《电能质量电压允许波动与闪变》[1]。

考虑到 TSC装置具有在运行时不产生谐波且损耗较小的优点,在此,设计以交流过零型固体继电器为 TSC无功补偿装置开关对该网络进行无功补偿后,再用以 Intel 80C196KB单片机为核心的微机控制系统来控制 TSC无功补偿中电容器的投切。

1 TSC无功补偿的电路

1.1 检测晶闸管两端的零电压触发方式

为了电容器投入时不引起涌流冲击,必须选准晶闸管触发的理想时刻,即保证晶闸管导通时电网电压与电容器残压大小相等、极性一致。由于电容器残压的不确定性,晶闸管上的电压是一个不能根据电网电压计算的值,采用检测晶闸管两端电压的零电压触发方式,通过检测晶闸管两端 (阳极和阴极)的电压来确定电网电压与电容器残压是否相等。当晶闸管两端电压相等 (电位差为零)时,触发晶闸管[2]。图 1为其对应电路原理图。

图 1中,串联小电感用来抑制冲击电流,一般可以不画出;并联 RC阻容吸收网络用于吸收浪涌电流和抑制过电压;晶闸管两端电压经电阻降压送到光电耦合器,当交流电压瞬时值与电容器残压相等时,晶闸管上电压为零,零电压检测电路输出一个脉冲,启动触发电路,触发相应晶闸管。

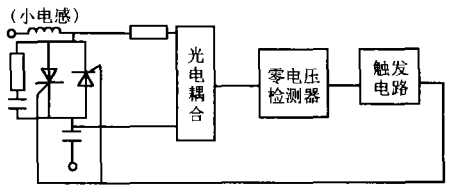

图 1 零电压触发原理框图

Fig 1 Block diagram of zero-voltage triggering

1.2 用固体继电器作为 TSC无功补偿装置的开关元件

交流过零型固体继电器 (Solid State Relay, SSR)实现用微弱的控制信号 (几毫安到几十毫安)控制 0.1 A至几百安电流负载,进行无触点接通或分断,由于它采用了过零触发技术,具有电压过零时开启,负载电流过零时关断的特性。因此,可采用它作为 TSC无功补偿的开关元件。

在 SRF增强器磁铁电源系统所产生电压波动的主要设备中,B铁所产生的电压波动最大,QF铁和 QD铁较小,在此,主要对 B铁进行无功补偿,对应的电路图如图 2所示。

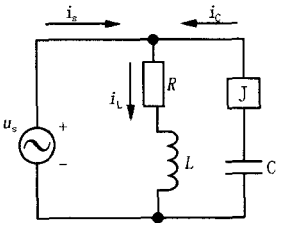

图 2 B铁的 TSC无功补偿电路

Fig 2 TSC var compensation circuit of B transformer

图 2中，$u_s = 1650\varepsilon(t) - 2500\varepsilon(t)$，$f = 1$Hz，$R = 1.385\ \Omega$，$L = 0.758$ H；J代表交流过零型固体继电器，C代表补偿电容。

1.3 投切判据与信号检测

TSC无功补偿装置通过检测负荷侧无功电流幅值作为电力电容器的投切判据。采用此原理，可得到 B铁进行无功补偿幅值检测原理电路框图如图 3所示。

图 3 无功电流幅值检测原理电路框图

ig 3 Block diagram of var current amplitude checking circuit

图 3中，电压信号 u为电源 u_s经电压互感器后得到的；电流信号 i为负载电流 i_L经电流互感器后得到的；采样保持器的输出就是无功电流幅值 I_{qm}。由此得到全补偿所需的电容量：

$$\Delta C = I_{qm} / (\sqrt{2}\omega U) \qquad (1)$$

其中：$\omega = 2\pi f$，U为交流电压的有效值。若 ΔC为负，则切除相应容量的电容器；反之，则应投入相应容量的电容器。

2 以 Intel 80C196KB单片机为核心的微机控制系统

在使用 TSC方式对系统进行无功补偿时，为了确保补偿的精确性，通常采用电容器的分级投切方式。在此，需要考虑如何更好地实时控制电容器的投入或切除[3]。用以 Intel 80C196KB单片机为核心的微机系统来控制 TSC电路中电容的投切，单片机兼有 CPU，A/D，RAM等功能。如图 4所示。

电压、电流的采样信号先经单片机内部的 A/D把模拟量变成数字量，以便计算负荷无功功率 Q和作为保护等所用。在无功功率的检测方法上，采用独特的只检测负荷电压、电流任意两时刻的瞬时值即可快速检测出负荷无功功率 Q的新方法。为了减少随机误差，实际上进行了多点采样以计算出若干 Q，同时结合数字滤波技术，由单片机快速准确地把 Q检测出来。快速检测出无功 Q以后，即可实时决定应投入的电容器级数，并由单片机的高速输出口 HSO.0～HSO.5发出相应的触发脉冲信号；同时单片机还实时查询各种保护状态，决定是否采取保护措施，以保证整机的安全运行。

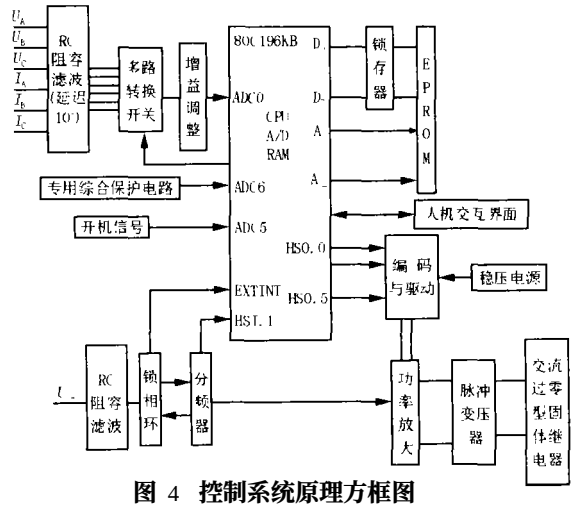

图 4 控制系统原理方框图

Fig 4 Schematic diagram of control circuit

3 单台 B铁的 TSC无功补偿投切电容量的计算

根据 GB12326-2000《电能质量电压允许波动与闪变》，SRF供电系统的增强器在 35 kV和 10 kV侧电压允许波动均为 3%，实际上工作中应低于这一标准，在此，按电压波动为 1%进行无功补偿。以下对各种情况进行分析。

1) 两台 B铁同时工作在 35 kV侧

两台 B铁同时工作在 35 kV侧引起线路电压变动量：

$$\Delta U = \Delta V \times U_N \qquad (2)$$

其中：ΔV为电压波动量，U_N为工作的额定电压；此处 $\Delta U = (1/100) \times 35\ 000 = 350$ V，

单台 B铁工作在 35 kV侧引起的无功变动量：

$$\Delta Q = (\Delta U/2) \times U_N / x \qquad (3)$$

其中：x为变压器的等值电抗值；此处 $\Delta Q = 94.697$ kvar，补偿电容的容量 Q_C为：535.931 - 94.697 = 441.234 kvar。535.931 kvar为同步辐射装置未进行无功补偿时产生的无功功率。

利用以上数据，用 Matlab的仿真工具 Simulink，首先依据图 2、图 3和图 4建立系统仿真模型，运行该模型后，从示波器观察无功电流幅值仿真波形图，得到如图 5所示波形图，所以有：$I_{q1m} = -6.6173 \times 10^{-3}$ A，(电压 u_s是由阶跃函数构成的，采样 I_{q1m}，电压 u_s是从 -850 V变为零时触发采样保持器的)，因此，由式 (1)可得：$\Delta C = 876.126$ pF。如按三组进行投切，电容量按 1:2:4的比例计算，则各

个电容值分别为: 125. 16 pF, 250. 321 pF, 500. 643 pF。

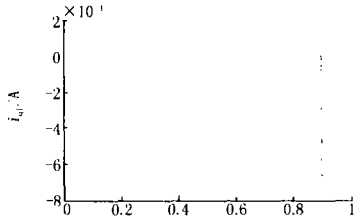

图 5　仿真所得 i_{q1}波形图

Fig 5　Waveform diagram of i_{q1} through simulation

2) 两台 B铁,QF铁,QD铁同时工作于 35 kV侧

依照 1)的步骤,求得 Q_C = 468. 009 kvar,仿真后,得到 I_{q2m} = - 6. 617 5 ×10⁻³ A, ΔC = 876. 153 pF,按 1: 2: 4比例投切时,各电容值分别为 125. 164 pF, 250. 329 pF, 500. 659 pF。

3) 两台 B铁同时工作于 10 kV侧

依照 1)的步骤,求得 Q_c = 413. 682 kvar,仿真后,得 I_{q3m} = - 6. 617 2 ×10⁻³ A, ΔC = 876. 113 pF,按 1: 2: 4比例投切时,各电容值分别为 125. 159 pF, 250. 318 pF, 500. 636 pF。

4) 两台 B铁,QF铁,QD铁同时工作于 10 kV侧

依照 1)的步骤,求得 Q_c = 446. 396 kvar,仿真后,得到 I_{q4m} = - 6. 617 4 ×10⁻³ A, ΔC = 876. 14 pF,按 1: 2: 4比例投切时,各电容值分别为 125. 162 pF, 250. 325 pF, 500. 651 pF。

4　结论

采用 TSC无功补偿装置治理同步辐射装置电压波动时,将交流过零型 SSR作为其开关元件,从而使其电路更简洁明了;采用单片机为核心的微机控制系统,使其控制更准确;在此基础上,通过无功电流幅值检测原理来求补偿的电容量,最终完成对电网无功功率的补偿。

参考文献:

[1] 宋伶俐,李裕能. 冲击负荷引起的配电网络电压波动分析与仿真[J]. 高电压技术, 2004, 30(2): 51-53.
SONG Ling-li, LI Yu-neng. The Analysis and Simulation of Voltage Fluctuation of Distribution Network Caused by the Surge Load [J]. High Voltage Engineering, 2004, 30(2): 51-53.

[2] 黄绍平,彭晓,浣喜明. TSC无功补偿装置的设计[J]. 高压电器, 2003, 39(6): 33-35.
HUANG Shao-ping, PENG Xiao, HUAN Xi-ming. Design of TSC Reactive Power Compensation Device[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(6): 33-35.

[3] 李鹏,陈志业,徐玉琴,等. ATSC型快速动态无功补偿装置[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(5): 51-54.
LI Peng, CHEN Zhi-ye, XU Yu-qin, et al. ATSC Type Fast Dynamic Var Compensation Device[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(5): 51-54.

收稿日期: 2005-07-05;　修回日期: 2005-08-02

作者简介:
朱细敏(1980 -),女,硕士生,研究方向为电能质量分析与监测; E-mail: zhuximinssq@163. com
李裕能(1948 -),男,教授,从事电路、电器测试方面的教学与科研工作。

Design of TSC to eliminate voltage fluctuation in the synchronous radiation facility

ZHU Xi-min, LI Yu-neng
(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: In order to reduce the voltage fluctuation of distribution network that results in the surge load of the synchronous radiation facility, compensated reactive power is necessary. This paper introduces thyristor switching capacitor(TSC) reactive power compensation facility, which uses alternating zero-voltage-crossing solid state relay(SSR) as its switch and adopts the var current amplitude of the load through simulation tool in simulink of MATLAB to acquire the value of on-or-off-switch capacitors, which will realize the reactive power compensation in this network. A micro-controlling-system which uses Intel 80C196KB single-chip as the central is introduced as well to control on-or-off-switch capacitors. Real-time compensating var compensation of the load is realized.

Key words: zero-voltage triggering; solid-state relay; capacitor value of on-or-off-switch; Intel 80C196KB