

调容式消弧线圈自动补偿系统的实现

张战永¹, 王建领¹, 康怡², 牛文记³

(1. 许继集团, 河南 许昌 461000; 2. 华北电力大学, 河北 保定 071003;

3. 保定华源电气新技术开发有限公司, 河北 保定 071051)

摘要: 介绍了我国电力系统配网谐振接地的现状及发展趋势, 给出一种基于双 CPU 结构和晶闸管的调容式消弧线圈的工作原理。二次侧电容器组的分配原则, 电容电流测量方法以及消弧线圈自动控制系统的构成, 介绍了本研究所构建的 6 kV 试验动模系统。试验结果表明: 设计的方案和一次二次设备参数正确, 动作准确快速

关键词: 消弧线圈; 调容式; 电容电流; 单相接地; 动模试验

中图分类号: TM475 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-4897(2005)16-0090-03

0 引言

长期以来, 我国 6 kV、10 kV、35 kV 城乡配电网多采用非有效接地系统, 由于非有效接地系统的中性点不接地, 即使发生单相金属性永久接地或稳定电弧接地, 仍能不间断供电, 这是这种电网的一大优点, 因此对供电的可靠性起到了积极作用。消弧线圈自动跟踪补偿装置在电力系统中的应用, 使电网系统发生单相接地故障时故障处接地电容电流被消弧线圈的电流有效补偿, 减小了接地电流。但老式消弧线圈多采用机械开关对消弧线圈进行调节, 调节速度慢, 噪声大, 补偿范围小等缺点, 而采用晶闸管投切的新型调容式消弧线圈较好地解决了以上问题, 具有调谐速度快, 范围宽, 对电网无谐波污染, 可靠性高, 所以在电力系统中得到广泛应用。

1 调容式消弧线圈系统补偿原理

在电网中无论采用何种消弧线圈接地方式都称为谐振接地, 其原理都是利用消弧线圈回路电抗与接地电容电抗性质相反的特征, 消除或减小接地电流, 达到减少因为接地引发系统故障的目的。其一般原理请参考文献[1, 2]。本文针对已投入应用的调容式消弧线圈的原理与研究进行介绍。

调容式消弧线圈典型结构如图 1 所示, 消弧线圈设有两个绕组, 其中 L1 为消弧线圈主绕组, L2 为二次绕组。二次绕组连接电容器组。C1 ~ C5 为二次调节电容器。当二次电容器全部退出时, 消弧线圈主绕组感抗最小, 电感电流最大; 当二次绕组有电容器投入时, 根据阻抗折算关系, 相当主绕组两端并接了一定容量的电容, 使主绕组回路等值感抗增大, 总

感性电流减小。因而通过控制投切不同的电容器组, 就可以改变消弧线圈主绕组回路的感抗, 从而可以控制消弧线圈电感电流的大小。

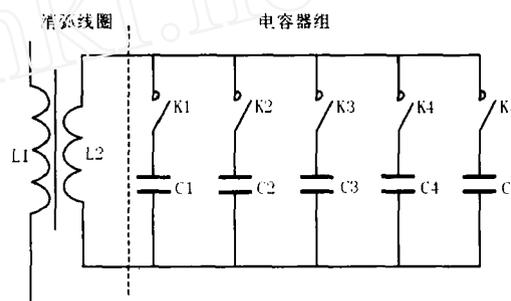
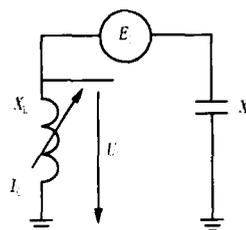


图 1 消弧线圈结构

Fig. 1 Structure of arc-suppression coil

2 消弧线圈调谐原理

系统未接地时, 准确预测系统接地时电容电流是补偿控制的关键, 本系统在电网运行时由微机控制装置检测电网运行状态, 对电网电容电流进行实时计算, 根据计算结果, 控制消弧线圈二次侧电容器组的投切, 改变消弧线圈一次侧等值电抗, 实现电网的自动跟踪调谐。



X_L 为消弧线圈; X_C 为系统对地电容; E_0 为系统不平衡电压

图 2 零序等值回路

Fig. 2 Zero-sequence equivalent circuit

电网电容电流计算

系统正常运行中的零序等值回路如图2。

系统运行两个状态方程如下:

$$E_0 = I_{01} X_C + U_{01} \quad (1)$$

$$E_0 = I_{02} X_C + U_{02} \quad (2)$$

假定调节过程中,系统不平衡电压 E_0 不变,则有

$$I_{01} X_C + U_{01} = I_{02} X_C + U_{02} \quad (3)$$

$$I_{01} X_C - I_{02} X_C = U_{02} - U_{01}$$

$$X_C = (U_{02} - U_{01}) / (I_{01} - I_{02})$$

又因为系统电容电流: $I_c = U_{\text{相}} / X_C$

所以系统电容电流:

$$I_c = U_{\text{相}} / X_C = U_{\text{相}} (I_{01} - I_{02}) / (U_{02} - U_{01}) \quad (4)$$

式(4)等式右侧变量均为系统可测量。

3 消弧线圈控制器

根据上述原理本研究设计的控制器核心采用双80C196KB微处理器结构,CPU1实现系统的交流采样计算,CPU2完成系统的显示、调节、键盘控制、打印等功能,两CPU并行工作,提高装置运行可靠性和计算速度,结构如图3所示。

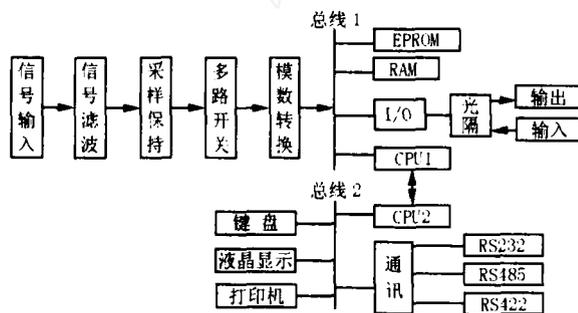


图3 控制器硬件框图

Fig. 3 Block diagram of controller hardware

主要电路设计与控制功能:

采样电路(A/D):采用12位快速逐次逼近并行采样芯片,采样时间小于25 μs ,可以保证足够的采样率,处理本系统的模拟量。

存储电路:可以记录20次接地故障信息,包括电容电流、系统残余电流、补偿电流、位移电压、线圈档位、接地时间等等。

人机界面:设计为汉字液晶/专用键盘。配置机带嵌入微型打印机,用户可以打印输出故障信息和配置。

数据交换接口:设计了RS-232C;RS-485;RS-422标准通讯口,并配置了与后台服务器/PC机交换数据的通讯规约。考虑到系统小电流接地选线

的需要,设备预留了与小电流选线装置的通讯接口,可以使选线更准确。

开关量输入输出电路:调节接入系统的电容量大小(电容柜档位)通过CPU发出控制脉冲实现,信号全部采用光电隔离送至晶闸管,以提高控制设备的动作可靠性和抗干扰能力。

结构:为标准19英寸全金属机箱,全插件设计,所有部件均可以快速更换,充分考虑了设备维护与维修的方便性。

系统工作过程:

在运行状态下,控制器采集系统线电压、中性点电压和流过消弧线圈电流,并经过计算,判断系统当前运行状态,实时跟踪系统变化,预测系统单相接地时电容电流和接地点残流,对消弧线圈进行档位调节,使系统远离谐振点工作。系统发生单相接地工作时,控制器根据事先计算出的系统电容电流,调节消弧线圈至补偿档位对接地电容电流进行补偿,完成闭环控制过程,使残流减小到设定范围内。

4 试验分析

基于以上原理与实践,按6kV系统的一般情况配置了1比1消弧线圈控制与模拟系统,用本文所研究的微机控制装置进行控制,系统构成与主要设备如图4所示。

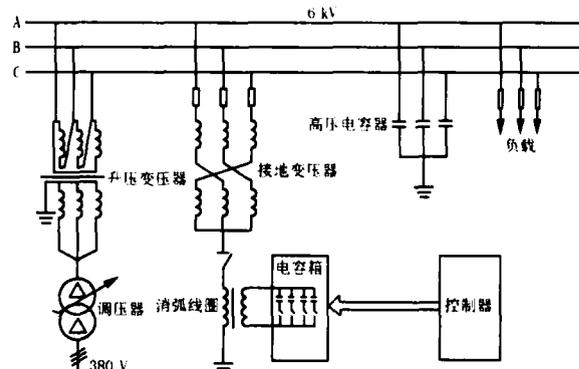


图4 试验系统

Fig. 4 Test system

试验系统主要设备包括:

- 380 V 三相调压变压器一台;
- 380 V/6 kV 升压变压器一台;
- 接地变压器一台,50 kVA/6 kV;
- 带二次绕组消弧线圈一台,35 kVA/6 kV;
- 接地模拟电容三只,容量各为30 kvar/6 kV;
- 电容控制柜一台;
- 控制器一台。

表1、表2分别为控制系统过补偿和欠补偿的试验的部分测试数据。

表1 消弧线圈控制器设定为过补偿时测量数据

Tab.1 Measurement data on arc-suppression controller overcompensated

$3C_0$ (线路对地电容)/kvar	I_C (消弧线圈未投入时接地电流)/A	$I_{C测}$ (消弧线圈运行后测得电容电流值)/A	I_L (接地后消弧线圈流过电流)/A	$I_{残}$ (接地点残流)/A	补偿档位
30	2.90	2.85	3.18	0.34	13
45	4.38	4.30	4.72	0.38	10
60	5.73	5.71	6.30	0.61	7
75	7.20	7.15	7.87	0.68	4
90	8.64	8.70	9.46	0.83	1

表2 消弧线圈控制器设定为欠补偿时测量数据

Tab.2 Measurement data on arc-suppression controller undercompensated

$3C_0$ (线路对地电容)/kvar	I_C (消弧线圈未投入时接地电流)/A	$I_{C测}$ (消弧线圈运行后测得电容电流值)/A	I_L (接地后消弧线圈流过电流)/A	$I_{残}$ (接地点残流)/A	补偿控制档位
30	2.92	2.86	3.20	0.35	13
45	4.38	4.32	4.24	0.10	11
60	5.73	5.71	5.81	0.12	8
75	7.21	7.17	7.38	0.22	5
90	8.64	8.72	8.96	0.35	2

试验情况:消弧线圈二次电压为220 V,电容器组4组,容量分别为6 kvar/0.4 kV, 12 kvar/0.4 kV, 24 kvar/0.4 kV, 48 kvar/0.4 kV。所以消弧线圈调流范围是2~10 A,可提供16个档位,级差电流小于0.53 A。电容器投切采用大功率双向晶闸管控制。并联在6 kV母线上接3只高压电容器模拟系统对地电容,试验时系统母线电压调至6 kV,在消弧线圈未投入运行时,试验C相金属接地,数据见表1,测得接地点电流为8.64 A。在消弧线圈投入运行后,消弧控制器显示对地计算值电容电流为8.70 A,故障点残流小于1 A;消弧线圈档位调节为过补偿档位。将控制器补偿方式设定为全补偿状态下,模拟系统C相接地故障,其相关电流见表2,测量的故障点残流小于0.4 A。

5 总结

用1:1动态模拟对调容式消弧线圈进行试验研究,有别于通常的静态研究。其系统行为较真实地反映了实际运行状况。通过控制系统的实现与6 kV动模实验可以得出结论:调容式消弧线圈控制系统调节范围宽于通常调感式系统,采用大功率晶闸

管开关无机械触点,系统可靠性高。在系统发生单相接地时,动态快速跟踪,自动补偿接地点电容电流。系统运行中,档位细分使控制器能够调节消弧线圈工作点与谐振点的距离,防止谐振过电压,对保障配电网安全运行有较大实用价值。

参考文献:

- [1] 李福寿. 中性点非有效接地电网的运行[M]. 北京:水利电力出版社,1993.
LI Fu-shou. Operation of Electric Power System with Neutral Ineffective Grounding[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Press Power, 1993.
- [2] 要焕年,曹梅月. 电力系统谐振接地[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
YAO Huan-nian, CAO Mei-yue. Resonant Grounded Power System[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2000.
- [3] 许玉琴,陈志业,李鹏. 晶闸管投切电容器式消弧线圈的设计与应用研究[J]. 电力系统自动化,2001,25(13):38-41.
XU Yu-qin, CHEN Zhi-yie, LI Peng. Design and Application Research on Arc Suppression Coil with Thyristor Series Capacitors[J]. Automation of Electric Power Systems, 2001, 25(13):38-41.
- [4] 赵志丽,杨学昌,常思哲. TSC式消弧线圈及其自动控制系统的改进设计[J]. 变压器,2004,41(7):5-8.
ZHAO Zhi-li, YANG Xue-chang, CHANG Si-zhe. Improved Design of TSC Arc-suppression Reactor and Its Automatic Control System[J]. Transformer, 2004, 41(7):5-8.
- [5] 蔡旭,李伟民. 自动跟踪电容电流动态补偿系统研究[J]. 电力系统自动化,1995,19(8):57-61.
CAI Xu, LI Wei-min. A Study on the Capacitive Current Compensation System Following the Track of Operating Condition of Electric Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(8):57-61.

收稿日期: 2005-05-16; 修回日期: 2005-07-11

作者简介:

张战永(1966-),男,工程师,从事电力系统综合自动化系统研究与设计;E-mail: zzym@sina.com

王建领(1968-),男,工程师,从事电力系统综合自动化系统研究与设计;

康怡(1957-),男,副教授,从事专业为电子与通信工程。

(下转第95 continued on page 95)

涉,按照“谁污染谁治理”的原则,要求他们采取措施,减少注入电力系统的高次谐波电流。与此同时,还可以通过调整电容器支路的参数,减少其中的谐波电流含量,以避免电容器因为谐波电流而过载。

这个事例也给了我们一个启示,当无功补偿电容器组串有电抗器时,仅仅监视电容器电流的有效值是不够的,还要定期测试其中的高次谐波电流。关于电容器的长期允许工作电流,目前只是笼统地按1.3倍的额定电流来限定,还应该对其中的高次谐波电流也作出相应的规定,以便确保电容器的长期安全运行。

参考文献:

- [1] 孙树勤,等. 干扰性负荷的供电[M]. 北京:中国电力出版社,1996.
SUN Shu-qin, et al. The Power Supply of Turbulent Load [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1996.

- [2] 吴竞昌,孙树勤,宋文南,等. 电力系统谐波[M]. 北京:水利电力出版社,1988.
WU Jing-chang, SUN Shu-qin, SONG Wen-nan, et al. Power System Harmonics[M]. Beijing: Hydraulic and Electric Power Press, 1988.
- [3] 周勇. 电网谐波源分析[M]. 北京:中国人口出版社, 1995.
ZHOU Yong. Power Network Harmonic Source Analysis [M]. Beijing: China Population Press, 1995.

收稿日期: 2004-12-02; 修回日期: 2004-12-28

作者简介:

周勇(1957-),男,副教授,研究方向为电力系统谐波分析;

赵慧光(1981-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统谐波分析; E-mail: zhguang160@sina.com

王文峰(1981-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统谐波分析。

Harmonic overloading analysis of reactive compensation capacitor

ZHOU Yong, ZHAO Hui-guang, WANG Wen-feng

(College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 45002, China)

Abstract: By analyzing and testing the harmonics at a certain 220kV station in Henan power network, the reason of the frequent fusion of the capacitor fuse was found out. It is that the 5th harmonic current was overloaded. By adjusting the parameters of the capacitor loops, the harmonic content of current in the capacitor is reduced and the capacitors can run safely.

Key words: capacitor; harmonic current; series resonance

(上接第 89 页 continued from page 89)

Artificial intelligence applications in optimal power flow

SHI Ji-li, QIU Xiao-yan

(School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: The growing complexity of power systems have necessitated the development of artificial intelligence(AI) tools to solve optimal power flow(OPF) problem, like a non-linear, non-convex problems with both continuous and discrete variables. This paper reviewed many OPF algorithms based on AI methods, such as the artificial neural network(ANN), the fuzzy set theory, evolutionary algorithms(GA, EP, ES, SA etc.), multi-agent, and so on. Various issues related to the application of AI were discussed.

Key words: artificial intelligence; optimal power flow; ANN; fuzzy set; evolutionary algorithm; multi-agent

(上接第 92 页 continued from page 92)

Realizing auto-compensation system for adjustable capacitive-based arc-suppression coil

ZHANG Zhan-yong¹, WANG Jian-ling¹, KANG Yi², NIU Wen-ji³

(1. XJ Group Corporation, Xuchang 461000, China; 2. North China Electric Power University, Baoding 071003, China;

3. Baoding Huayuan Electric New Technology Exploitation Co., Ltd, Baoding 071051, China)

Abstract: This paper analyzed the present situation and the direction of future development of the resonant grounded power system. The operation principle of arc suppression coil based on thyristor series capacitors and double CPUs was presented. The distribution principle of the secondary switching capacitors, the method for measuring the capacitive current and the composition of arc-suppression coil automatic control system were detailed. This paper also introduced the 6kV dynamic simulation system constructed by this research. The simulation result shows that the parameters of primary and secondary equipments are correct and the system operates rapidly and correctly.

Key words: arc-suppression coil; adjustable capacitors; capacitive current; single phase grounding fault; dynamic simulation