

新型 TSC 式自动调谐消弧线圈

赵志丽, 杨学昌, 常思哲

(清华大学电机与应用电子技术系, 北京 100084)

Improved Design of Automatic Tuning Arc Suppression Coil with Thyristor Series Capacitors

ZHAO Zhi-li, YANG Xue-chang, CHANG Si-zhe

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

摘要: 分析了自动调谐消弧线圈的发展现状及存在的问题, 提出了经过改进的新型晶闸管投切电容式消弧线圈, 详细介绍了其结构、原理和设计方法。该装置响应速度更快, 波形更好, 可靠性更高, 对地电容电流的实时在线测量更准确方便。

关键词: 消弧线圈; 对地电容; 晶闸管投切电容; 控制系统

中图分类号: TM475

文献标识码: A

Abstract: After analyzing the current state and existing problems of automatic resonance arc suppression coil, the improved novel arc suppression coil with thyristor series capacitors is proposed. This paper introduces its structure, principle and design method in detail. This apparatus features higher response speed, better waveform, higher reliability characteristics, etc. The online measure of shunt capacitive current is more accurate and convenient.

Key words: arc suppression coil; shunt capacitance;

thyristor series capacitor(TSC); control system

1 引言

近几年来, 我国相继推出了几种自动跟踪补偿消弧成套装置^[1], 取得了一定的效果, 但也存在一些问题。根据消弧线圈调节电感的方法可以分为4类, 即自动调匝式、可调气隙式、外加直流助磁式和磁阀式。前两类采用预调谐方式, 且采用机械传动机构完成自动调谐, 所用时间较长, 故一般需加装限压电阻, 以保证中性点电压不大于额定相电压的15%。限压电阻的投切增加了控制的复杂性, 而且在不同的电网中阻值不同, 电阻的热容量必须仔细核算。后两类装置采用动态调谐方式, 依靠电气手段实现自动调谐, 调谐时间短, 无需限压电阻, 结构相对简单, 但其工作原理是基于铁心的磁饱和, 不可避免地会存在非线性和谐波等问题^[2]。

晶闸管投切电容(TSC)式消弧线圈则不存在上

述问题。该消弧线圈的调谐速度快, 调节范围宽, 适应能力强, 具有线性调节特性, 无谐波污染, 可靠性高, 而且损耗和噪声小^[3]。但已有的晶闸管投切电容式消弧线圈在设计上存在不足之处。首先, 由于电容的电荷累计效应及两端的电压不能突变的特点, 所以在电容投切时仍存在涌流、过压和波形畸变的问题, 试验证明的确如此。其次, 对地电容电流实时监测的方法也有很大的缺陷, 两点测量法不仅在算法上存在很大的误差, 而且频繁的调节会使消弧线圈稳定运行受到影响。

针对上述问题, 从装置结构设计、对地电容电流测量和控制系统设计三个大的方面进行了改进, 提出了新型 TSC 式消弧线圈。新型 TSC 式消弧线圈不仅能够解决上述问题, 而且其独特的自动控制系统运行处理速度更快, 对地电容电流的测量更准确可靠, 故障的检测和消除的时间大大缩短。试验证明, 经过改进的新型晶闸管投切电容式消弧线圈更稳定可靠, 更能满足电力系统安全可靠运行的要求。

2 新型 TSC 式消弧线圈的结构

新型晶闸管投切电容式消弧线圈结构见图1。它的基本结构是带二次绕组的消弧线圈并联多组可控硅控制的串有小电感的电容器。可以看出, 在外形结构上, 新型消弧线圈对原有设计的改进是添加了一组与对应电容匹配的空心电感。

这些电感由空心线圈绕制而成, 容量很小, 其感抗值只有同组的电容器容抗的百分之几, 对电容量的影响微不足道, 但作用不小。在投切电容时, 由于

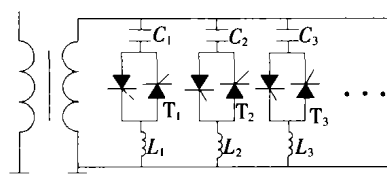


图1 新型消弧线圈的结构

电容的电荷累计效应及两端电压不能突变的特点,相应的 di/dt 的值将会很大,会在电路中引起冲击和波形畸变,空心电感的存在则可以有效解决这一问题,因为电感具有抑制电流突变的特点。试验也证实了这一点,图2为试验所得波形。

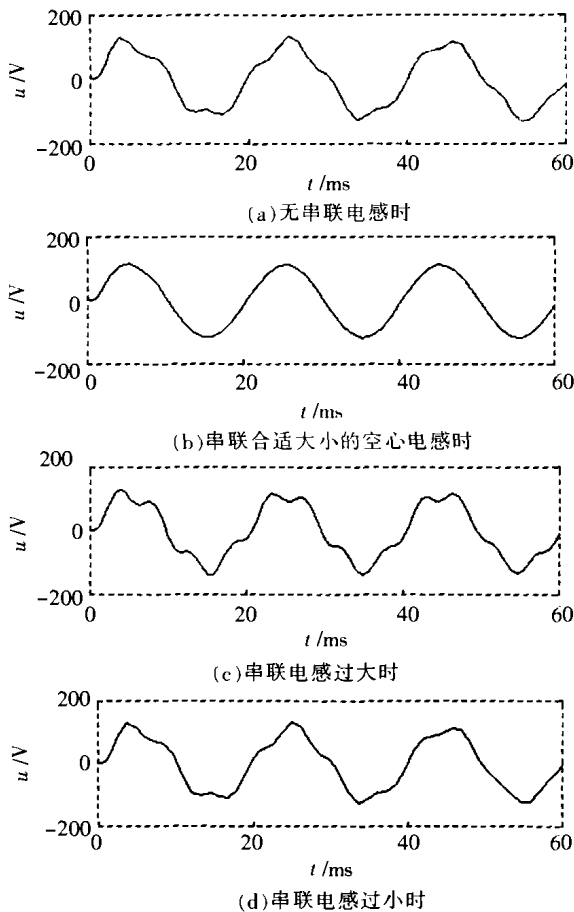


图2 投切电容试验时消弧线圈副边电压波形

通过反复的试验和比较发现,当串联电感的感抗值占同组电容的容抗值约3%时,效果最好。电感过大或过小得到的电压波形都不好。

在试验中还发现,串联电阻也可以解决直接投切电容时的波形畸变问题,但是在实际应用中电阻存在较大的发热和功率损耗问题,故串联电阻方案不可行。

采用大功率晶闸管作为电容器的投切开关,利用过零触发电路控制晶闸管在其两端电压过零时刻投电容,电流过零时自然切除电容器,也避免了电容器投切时的过电压和合闸涌流问题。

3 对地电容电流在线测量的新方法

电网对地电容电流的在线测量是通过能够对直接测量得到的系统数据进行运算实现的。消弧线圈接地系统零序等值电路见图3。其中: X_C 为系统对地容抗; X_L 为消弧线圈感抗; R_L 为消弧线圈等值电阻; U_0 为系统不平衡电压,即未接入消弧线圈时的系统中性点电压; U_N 为接入消弧线圈后的系统中性点电

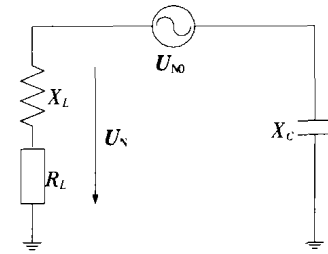


图3 零序等值电路图

压; I_N 为流经消弧线圈的电流。

电网正常运行时中性点电压 U_N 和流经消弧线圈的电流 I_N 可以测量得到,调节消弧线圈使其处于两个不同的位置,如 $Z_{L1}=R_{L1}+j\omega L_1$ 和 $Z_{L2}=R_{L2}+j\omega L_2$,分别测量中性点电压 U_N 和中性点流经消弧线圈的电流 I_N ,根据图3可以列了如下4个方程:

$$U_{N1}=I_{N1} \cdot Z_{L1} \tag{1}$$

$$U_{N2}=I_{N2} \cdot Z_{L2} \tag{2}$$

$$U_{N01}=I_{N1} \cdot (Z_{L1}+1/Y_{C_x}) \tag{3}$$

$$U_{N02}=I_{N2} \cdot (Z_{L2}+1/Y_{C_x}) \tag{4}$$

式中: Y_{C_x} 为系统对地等值导纳。由于两次测量时间不长,网络的结构没有变化,即电网的不对称度不变,中性点不平衡电势幅值不变,但两次测量有时间间隔 T ,所以:

$$U_{N02}=U_{N01} \cdot e^{-j\omega T} \tag{5}$$

由式(1)和式(2)可以求出 Z_{L1} 和 Z_{L2} ;联立求解式(3),式(4)和式(5),就可以得到:

$$Y_{C_x} = \frac{I_{N2} \cdot e^{-j\omega T} - I_{N1}}{U_{N1} - U_{N2} \cdot e^{-j\omega T}}; I_{C_x} = Y_{C_x} \cdot U_\phi$$

其中: U_ϕ 为系统额定相电压。

由于消弧线圈中性点开路电压,即中性点不平衡电势由线路分布电容不对称、三相电源电势不对称和三相负荷不对称等因素综合决定,忽略其中之一或近似建模均不能得到准确结果。而上述方法并不因其由什么因素导致,也不对系统进行建模求解,只须两次测量间隔保持幅值恒定,即可用解方程的方法准确求解出系统的对地电容电流。实际上,两次测量期间,系统突然发生变化的概率很小,所以,两次测量法可以准确测量出线路对地电容电流。另外,该方法不需要附加高压设备,系统接线简单,容易实现,在远离系统的谐振点处,即在补偿度约为10%时在线测量,对电力系统机电保护的整定、选择性和可靠性都无影响。

当网络正常运行时,且没有发生线路投切时,可以近似地认为中性点不平衡电势不变。当系统内突然发生线路投切时,由于此时还没有调节消弧线圈,中性点的不平衡电势将发生变化,同时,消弧线圈上中性点测得的电压也将变化,所以,可以采用中性点所测得电压的变化量作为依据来启动两次测量环节。

表4 出线首端接地时($R_f=0.5\Omega$),
架空线末端健全相暂态电压

R_n/Ω	最大值/p.u.	平均值/p.u.	标准偏差/p.u.	幅值的98%/p.u.
5.0	2.990 4	2.192 49	0.444 87	2.984 72
10.0	3.009 1	2.207 76	0.445 43	3.002 98
15.0	3.025 3	2.215 08	0.451 53	3.019 01
20.0	3.039 5	2.220 49	0.457 99	3.033 11

5 结语

(1)由于接地故障电流在几安至几百安的范围
内都有可能发生弧光接地过电压,并且中性点经小
电阻接地系统的立即跳闸也需要零点几秒的时间,
因而在中性点经小电阻接地系统中,一旦接地故障
发生在架空线上时,仍然可能发生弧光接地过电压。

(2)中性点经小电阻接地系统中,由于小电阻能
有效释放残余电荷,即使发生重燃,过电压的幅值也
不会因多次重燃而明显增加。因而研究中性点经小
电阻接地系统的弧光接地过电压,只考虑一次燃弧
就能够满足要求,其最大计算值小于3.1 p.u.

(上接第341页)

6 结语

新型消弧线圈调节速度更快,使得故障的检测
和消除的时间大大缩短;运行更加安全可靠,保障了
电网运行的安全性;实时在线测量对地电容电流,结
果准确。随着科技的发展,大功率晶闸管的单管容量
及反向电压逐渐提高,而且价格下降,性能稳定。可
以预测,这种新型消弧线圈具有良好的应用前景。

参考文献:

- [1] 要焕年,曹梅月.电力系统谐振接地[M].北京:中国电力出

(上接第344页)

精心设计,系统获得了优良的准确度、稳定性和动态
性能。光纤传输信号可靠性高,抗干扰能力强,和光
供电相结合,简化了绝缘设计,大幅度减轻了系统的
重量、缩小了体积、降低了造价。

参考文献:

- [1] J Ammon, Dr H Huang. Innovations in HVDC Technology

(3)中性点经小电阻接地系统中,相比传统的接
地方式,能够有效地降低系统中性点的过电压水平,
这对变压器的制造是有利的。

(4)10kV配电网中性点经小电阻接地后,不仅弧
光接地过电压发生的几率减小,而且即使发生了弧光
接地,其过电压也在允许范围之内,从而很好地解决
了传统接地方式所不能解决的弧光接地过电压问题。

参考文献:

- [1] 解广润.电力系统过电压[M].北京:水利电力出版社,1985.
[2] 靳晓东,李谦,王晓瑜,等.配电网弧光接地过电压的仿
真及分析[J].高电压技术,1994,20(3):71-75.
[3] 万善良.上海市区配电网中性点接地方式的技术分析[A].中
性点接地技术研讨会[C],无锡,1999.
[4] 施围.电力系统过电压计算[M].西安:西安交通大学出版
社,1988.

作者简介:高亚栋(1968-),男,在读硕士,研究方向为电
力系统过电压的计算机仿真及保护。

版社,2000.

- [2] 陈伯超.新型可控饱和电抗器理论及应用[M].武汉:武汉
水利电力大学出版社,1999.
[3] 陈玉琴,陈志业.晶闸管投切电容式消弧线圈的设计与应用
研究[J].电力系统自动化,2001(14):38-40.
[4] 曾祥君,于永源.配电网谐振状态与单相接地状态的辨识[J].
电力系统自动化,1998,22(8):41-43.

作者简介:赵志丽(1980-),女,硕士研究生,目前从事配
网自动化和消弧线圈应用方面的研究。

[Z]. Germany: Siemens AG, 2000.

- [2] 揭秉信.大电流测量[M].北京:机械工业出版社,1987.
[3] 吴士普,刘沛,徐雁,等.光电电流互感器中的光供电技
术应用研究[J].高电压技术,2004,30(4):52-53.
[4] IEC60044-8. Electronic Current Transformers[S].

作者简介:毕然(1979-),男,辽宁人,硕士研究生,主
要研究新型互感器及检测方法。

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!