

# 高压断路器智能合闸装置原理及应用

姚其新<sup>1</sup>, 王聿升<sup>1</sup>, 习超群<sup>1</sup>, 熊信良<sup>2</sup>

(1. 国网运行有限公司宜昌超高压管理处, 湖北 宜昌 443002; 2. 华中科技大学, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 高压断路器智能合闸装置可以解决长距离输电线路合闸时所产生的过电压的问题。对高压断路器智能合闸装置的基本原理及应用范围进行了介绍, 特别对运用在江陵换流站的高压断路器智能合闸装置的安装调试情况进行了总结和分析。从试验的结果反映只要准确设置开关的固有合闸时间, 开关就能在交流电压过零点附近合上, 产生的过电压就比较小, 能够满足系统对过电压的要求。这可为同类产品电力系统中的运用提供参考。

**关键词:** 高压断路器; 智能合闸装置; 过电压; 自动调整; 开关固有合闸时间

## Theory and application of high voltage circuit breaker with artificial intelligence technology

YAO Qi-xin<sup>1</sup>, WANG Yu-sheng<sup>1</sup>, XI Chao-qun<sup>1</sup>, XIONG Xin-yin<sup>2</sup>

(1. State Grid Operation Company Limited Yichang Extra-high Voltage Administrative Company, Yichang 443002, China;

2. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Circuit breaker with artificial intelligence technology can decrease overvoltage during closing long-distance transmission line. It introduces the basic theory and application of circuit breaker with artificial intelligence technology. Especially, it analyses and summarizes practical application of installation and commission about circuit breaker with artificial intelligence technology in Jiangling converter station. Experimental result shows circuit breaker with artificial intelligence technology can decrease overvoltage and meet requirement of power system voltage, after it sets exactly close time of circuit breaker, and the circuit breaker can close in the cross zero of AC voltage. At the same time, it can improve power system stability and power quality. It will supply reference for installation and commission of the same products in the power system.

**Key words:** high voltage circuit breaker; circuit breaker with artificial intelligence technology; overvoltage; regulate automatically; close time of circuit breaker

中图分类号: TM561 文献标识码: B 文章编号: 1673-3415(2008)15-0079-03

## 0 引言

对于长距离输电线路, 由于线路分布电容的容升效应, 合闸时在线路末端易产生严重的过电压问题。此时通过安装并联补偿电抗器, 降低线路末端的容升, 同时开关需要配置合闸电阻。在合闸时限制涌流的冲击, 减少合闸时的过电压。

本文提出了一种可以用于长距离输电线路合闸的智能合闸装置。这种智能合闸装置可以起到代替开关本体中合闸电阻的作用。以江陵换流站 GIS 开关智能合闸装置为例, 分析了智能合闸装置的实现方法和调试结果。

## 1 智能合闸装置基本原理及应用

### 1.1 智能合闸装置工作原理

当线路开关无法配置合闸电阻时(如 GIS 开关受尺寸限制, 内部无法加装合闸电阻), 为实现开关远距离输电线路合闸的功能, 可以配置智能合闸装置控制开关合闸。智能合闸装置是在系统电压或电流特定的角度下控制开关进行合闸的控制装置。智能合闸装置通过引入线路和母线电压、开关电流后, 由软件计算出开关最佳合闸时刻, 将开关合闸时的涌流和过电压限制在可接受的范围内, 实现开关合闸。下面以智能合闸装置控制开关合空载线路为例介绍其控制原理。

智能合闸装置工作原理, 如图 1 所示。当开关没有智能合闸装置进行合闸控制时, 开关将会在交流电压的任一角度下合闸, 存在过电压的危险。使

用智能合闸装置后,可以控制开关在交流电压的过零点合闸,这样可以保证合空载线路时过电压最小。使用智能合闸装置控制时,首先需要在智能合闸装置内设置好开关的固有合闸时间、交流电压的频率、电压等级等参数。当智能合闸装置接收到开关的合闸命令后,监测系统的交流电压,预测出交流电压的下一个过零点。通过开关的固有合闸时间定值来计算开关应该在未来的哪个交流电压过零点合闸,即目标合闸点。比如交流电压的频率是 50Hz,开关的固有合闸时间为 48 ms,则预测出开关应该在交流电压下一个过零点之后的第 5 个电压过零点合闸。确定合闸的交流电压过零点后再减去开关的固有合闸时间,得到智能合闸装置发出合闸命令的时刻,这样开关就会在交流电压的过零点合上。智能合闸装置发出合闸命令的时刻与接收到合闸命令的时刻有一定的延迟,即合闸延迟时间,一般在 2~12 ms。

从智能合闸装置发出开关合闸命令到有电流流过开关的时刻为开关的固有合闸时间,开关的固有合闸时间的准确性对智能合闸装置准确的控制开关合闸起着至关重要的作用。而开关的固有合闸时间可能会随环境温度变化、开关设备的老化、触头的机械磨损、合闸时出现的瞬态电压等因素而变化,这样智能合闸装置设置的开关固有合闸时间定值也需要调整。

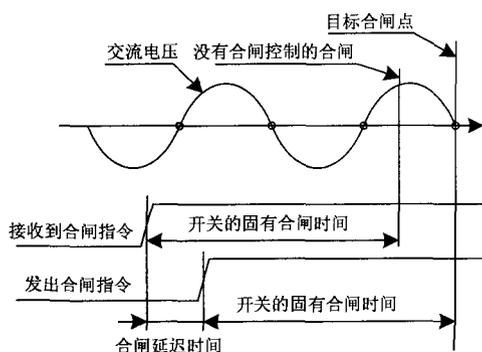


图 1 智能合闸装置的控制原理

Fig.1 Control theory of circuit breaker with artificial intelligence technology

### 1.2 智能合闸装置应用

智能合闸装置应用范围十分广泛,可应用到如下方面:(1)投切一个负荷或投切两侧都有负荷的开关;(2)中心点接地的电容器组和传输线路的投切;(3)中心点不接地的电容器组的投切;(4)中心点接地的电抗器组;(5)中心点不接地的电抗器

组;(6)中心点接地没有 Delta 绕组的空载变压器;(7)中心点接地双绕组的空载变压器;(8)中心点不接地的空载变压器;(9)带串补的输电线路;(10)无补偿的输电线路,等等。

## 2 江陵站智能合闸装置的实现

江陵换流站江复 II 线为湖北和湖南的联络线,电压等级为 500 kV,线路长度为 250 km。江复 II 线 5142、5143 开关由于未安装合闸电阻,因此在空载合闸时有可能产生过电压。为解决可能会产生过电压问题,给 5142、5143 开关每相安装一台智能合闸装置。

### 2.1 智能合闸装置采集的信号

如图 2 所示,江陵换流站 5143 开关智能合闸装置中接入电流互感器 T6 二次电流及 II 母电压互感器 PT 二次电压,5142 开关智能合闸装置中接入电流互感器 T3 二次电流及三江 I 线和江复 II 线电压互感器 PT 二次电压,接入电压是为了确定交流电压过零点。当 5143 开关合上时,则 T6 会有电流流过,根据电流流过的时刻测出 5143 开关合上的时刻。当 5142 开关合上时,则 T3 会有电流流过,根据电流流过的时刻确定 5142 开关合上的时刻。

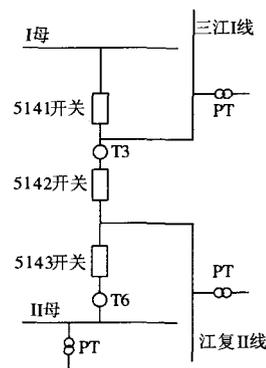


图 2 智能合闸装置接入的电流、电压量

Fig.2 Connected current and voltage measurement in the circuit breaker with artificial intelligence technology

### 2.2 智能合闸装置接入开关合闸回路

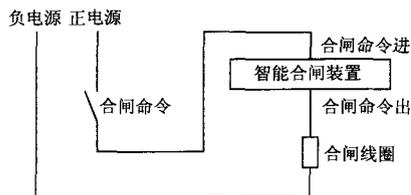


图 3 智能合闸装置接入开关合闸回路中

Fig.3 Circuit breaker with artificial intelligence technology connecting into close circuit

在开关的合闸回路中, 串入智能合闸装置, 如图 3 所示, 当从监控系统合闸命令或保护装置重合闸命令输入智能合闸装置后, 经过处理后再输出合闸命令到开关合闸线圈, 进行合闸。智能合闸装置需要 110 V 直流工作电源, 另外智能合闸装置出现异常后, 有报警输出接点连接到监控系统中。

### 2.3 智能合闸装置现场调试

智能合闸装置接入合闸回路完成后, 现场调试的目的是在智能合闸装置中设置准确开关的固有合闸时间。在调试前, 将开关厂家提供开关的固有合闸时间设置到智能合闸装置中, 在带电调试时, 分别用 5142、5143 开关给江复 II 线空载线路充电三次, 利用录波装置录取开关合闸时的波形, 录波量包括有智能合闸装置接收到合闸开关命令、交流电压及流过开关电流。图 4 所示 5142 开关合闸对江复 II 线充电 A 相的波形, A Close 为开关接受的合闸命令, A V1 为系统电压, A V2 系统为江复 II 线充电后江复 II 线电压波形, A I 为 5142 开关流过的电流, 开关有电流流过的时刻即为开关的合闸点。通过波形计算出开关的固有合闸时间, 和原有开关的固有合闸时间定值进行比较后, 在智能合闸装置中调整开关的固有合闸时间定值, 一般通过三次的调整可以满足误差要求。从图 4 的波形中可以看出 5142 开关正好在系统的交流电压过零点合闸。

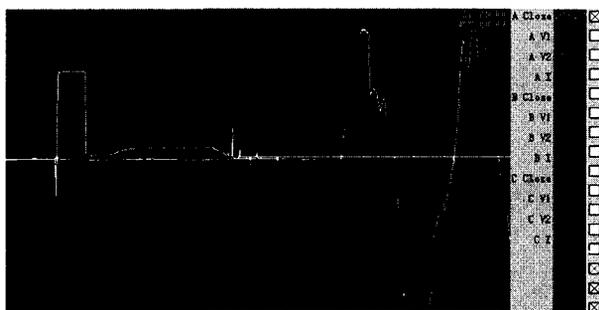


图 4 江陵换流站 5142 开关合闸时 A 相波形

Fig.4 Closing wave of 5142 circuit breaker A phase in Jiangling convert station

### 2.4 开关固有合闸时间的自动调整

实际上开关每次合闸时, 开关的固有合闸时间总是有很小的变化。为使控制的更加准确, 智能合闸装置利用一个反馈信号来自动调整开关的固有合闸时间定值。智能合闸装置原预先设置了一个开关的固有合闸时间, 当开关进行一次合闸后, 智能合闸装置测量出这次开关的合闸时间, 那么新设置开关的固有合闸时间 = 原来开关的固有合闸时间 +  $1/2 \times (\text{新测量开关的合闸时间} - \text{原来开关的固有合$

闸时间), 新设置开关的固有合闸时间就为下一次的合闸控制供使用。利用这个反馈可以在一定程度上解决开关因为老化等原因造成的固有合闸时间变化的问题。

### 2.5 调试数据及试验结果

表 1 为 5142 开关智能合闸装置的调试数据及调试结果。表中开关固有合闸时间定值是预先设置在智能合闸装置中开关的固有合闸时间。以智能合闸装置接收到合闸命令为零时刻, 合闸时刻是开关实际合上的时刻, 最佳合闸时刻是开关真正需要合上的时刻, 即交流电压过零点。一般开关实际的合闸点和最佳的合闸点之间存在一定的误差, 误差就是最佳合闸时刻减去合闸时刻的绝对值, 误差在 1 ms 以内是满足要求的。从 5142、5143 开关录波的波形及试验结果分析, 只要准确设置开关的固有合闸时间后, 开关就能在电压过零点附近合上, 相应产生的过电压就比较小, 能够满足系统对过电压的要求。

表 1 江陵换流站 5142 开关调试数据

Tab.1 Commission data of 5142 circuit breaker in Jiangling converter station

次数	相序	开关固有合闸时间定值/ms	合闸时刻/ms	最佳合闸时刻/ms	误差/ms
1	A	48.3	58.9	58.4	0.5
	B	48.9	55.3	55.1	0.2
	C	49.0	52.4	51.7	0.7
2	A	48.3	53.2	52.8	0.4
	B	48.9	59.9	59.5	0.4
	C	49.0	56.4	56.1	0.3
3	A	48.3	53.6	53.4	0.2
	B	48.9	60.5	60.2	0.3
	C	49.0	57.2	56.6	0.6

## 3 结论

在开关的合闸回路中串入智能合闸装置, 通过智能合闸装置控制开关在合适的交流电压、电流进行分、合闸, 可以较好地解决开关分合过程中产生的过电压和涌流的问题。通过在江陵换流站对 5142、5143 开关智能合闸装置的调试和运行的情况来看, 只要准确设置开关的固有合闸时间后, 开关就能在电压过零点附近合上, 相应产生的过电压就比较小, 能够满足系统对过电压的要求。将智能合闸装置广泛地应用到电力系统中, 不仅对保证电力系统的稳定运行和提高电能的质量有重大作用, 还可节约设备投资、减少维修作业和降低运行成本。

(下转第 84 页 continued on page 84)

路”的出口条件。于是，装置出口跳闸。

但跳闸显然是一个错误的决定。众所周知，距离保护受 PT 断线闭锁。如果跳闸命令是经由距离保护出口，则它绕开了 PT 闭锁条件，是错误的；如果跳闸命令是独立出口的，那么在现在的电网条件下，没有考虑到 PT 断线显然也是错误的。

可以设想，如果在正常运行中，真的出现了 PT 断线故障，这时网络中其他的变电站恰好正在进行操作，并导致了潮流的突然变化。那么，按照这个逻辑发出的跳闸命令将会导致非常严重的后果。

### 3 其它的保护装置情况

问题可以有許多解决办法：可以在振荡闭锁逻辑依据  $dZ/dt$  原理而直接发出的三跳命令之前加上相关的闭锁条件；也可以改变操作顺序，在合环之前挂上 PT，使前述 c 条件不能满足；或者还可以在这种操作情况下暂时退出振荡闭锁逻辑的这个新增功能，只保留短时开放距离保护功能等等。

然而，随着 WXB-11 型保护装置的逐渐淘汰，这个问题仍然会是一个问题吗？因为并不是每一种保护装置都会有这个“判断振荡中短路”的功能的。遗憾的是，尽管保护逻辑程序有一些新的变化，但总有一些类似的逻辑程序实现类似的功能。如图 3 为 LFP-941A 保护装置的逻辑回路。图中的  $L_{0.2Q}$  和  $U_{cos}$  元件所起的作用就是判断电网振荡时事故的发生。不过，它启动的结果是强行开放距离保护，而不是发跳闸指令，最终还是要经距离保

护的出口。然而，不管这些元件的动作原理如何成熟，面对着接近 0 值的 PT 二次侧电压和巨大变化的潮流功率，能保证开放距离保护的“决定”是正确的吗？

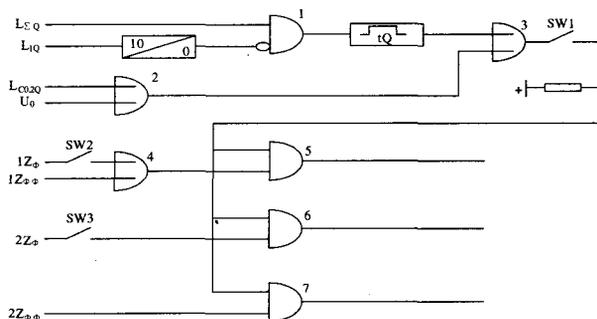


图 3 LFP-941A 保护装置距离保护逻辑回路  
Fig.3 Logic circuit of impedance protection in LFP-911A device

因此，各种微机保护的振荡闭锁逻辑当中，在判断系统振荡中短路事故之后，发出口跳闸的命令之前，加入判别 PT 断线的判据是非常有必要的。这样就能在 PT 二次侧断线或 PT 未挂网运行，而系统潮流正常变化的时候，防止保护误动作。

收稿日期：2008-03-14； 修回日期：2008-07-02

作者简介：

梁广宇(1971-), 男, 电气工程师, 高级技师, 研究方向为调度自动化技术的应用。E-mail:lgysxxq@163.com

(上接第 81 页 continued from page 81)

### 参考文献

[1] 钱家骊,袁大陆,徐国政. 对 1000kV 电网操作过电压及相位控制高压断路器的讨论[J]. 电网技术, 2005, 29(10):1-4.  
QIAN Jia-li, YUAN Da-lu, XU Guo-zheng. Discussion on Switching Over-voltage in 1000 kV Power Networks and Phase Controlled Circuit Breaker[J]. Power System Technology, 2005, 29(10): 1-4.

[2] 李六零, 邱毓昌. 限制并联电容器组过电压的一种新方法[J]. 电力电容器, 2002, 1(3):4-6  
LI Liu-ling, QIU Yu-chang. A New Method to Suppress the Switching Overvoltage in Shunt Capacitor Bank[J]. Power Capacitor, 2002, 1(3):4-6.

[3] 李利, 徐建源. 真空断路器同步关合技术的研究. 华北电力大学学报[J]. 2002, 29(21):104-107.  
LI Li, XU Jian-yuan. Synchronous Closing Control of

Vacuum Breaker[J]. Journal of North China Electric Power University, 2002, 29(21): 104-107.

[4] 何善庆. 采用断路器同步合闸装置解决大朝山 500kV 系统内过电压问题[J]. 高压电器, 2003, 39(5):78-80.  
HE Shan-qing. Using Synchronized-closing Device to Solve the Switching Overvoltage Problem of a 500 kV Power System[J]. High Voltage Apparatus, 2003, 39(5): 78-80.

收稿日期：2007-11-16； 修回日期：2007-12-24

作者简介：

姚其新(1979-), 男, 工程师, 从事换流站控制保护系统现场工作; E-mail: yao\_qx@sina.com.cn

王聿升(1976-), 男, 工程师, 从事换流站运行检修管理工作;

习超群(1968-), 男, 工程师, 从事换流站运行检修管理工作。