综合保护分闸控制回路监视的数字化设想

皖能铜陵发电有限公司5#机组自投运以来，6 kV开关多次发生开关拒动。对此进行详细的分析并通过试验论证后，在研究综合保护存在的问题过程中，创造性地提出在综合保护中实现对分闸控制回路进行数字化监视的设想，对今后综合保护的进一步数字化发展有一定借鉴作用。

叶朋珍／皖能铜陵发电有限公司

叶朋珍／工程师

关键词／Keywords
综合保护·
控制回路·
数字化监视·
定值整定·

随着继电保护原理技术及继电保护设备制造日新月异的发展，继电保护技术在向着继电保护选择性、灵敏性、可靠性和快速性的要求迅速发展，保护原理及技术得到了快速的进步，但继电保护二次回路的设计却没有随着装置技术原理的改进而做出新的改进或创新，特别是继电保护分闸控制回路的监视。很多年以来，国内各设计院都基本采用很早以前沿用的设计思路，分闸回路监视均通过并联高阻抗合闸位置监视继电器（HWJ）实现[1,2]。

继电保护分闸回路的完好性直接影响到继电保护动作的正确和可靠，是继电保护正确动作的前提，但是由于开关控制回路中部分线圈、辅助触点等开关零部件材料、制造工艺和组装工艺等问题，开关难以避免接触不良、线圈断线和线圈匝间短路等诸多问题。在加大对设备生产工艺质量要求、组装质量的前提下，如何能够在运行过程中对分闸回路的在线监视是二次设计或综合保护设备需要解决的首要问题[3]。

根据国内外各综合保护装置来看，对分闸回路的监视均为传统的方法，通过在分闸回路并入高阻抗的HWJ，用来监视分闸回路的正常与否，但在回路中发生线圈匝间短路、触点接触不良等情况却不能进行有效监视。

虽文献[1-3]中均提出了一些设想或设计了某种装置，以实现对分闸回路的完全有效监视。但由于增加了复杂的检测元件或增加了控制回路的复杂性，可行性和实际应用还存有一定问题[4]。

本文通过对皖能铜陵发电公司发生的一些历史事件进行总结、分析及试验，并结合对典型6 kV开关分闸回路监视功能的进一步分析和探讨，提出一种6 kV综合保护分闸回路数字化监视的设想，以实现对分闸回路的数字化监视功能。

调试及运行中发生的问题

皖能铜陵发电公司5#机组设计的厂用电6 kV开关综合保护采用南瑞继保公司生产的RCS－9600CN系列综合保护，配套的开关为江苏大全集团生产的大全伊顿开关[5]。在调试期间及运行过程中，均多次出现了开关在远方和就地无法分闸现象。一部分由于被监视回路直接断开或接触电阻很大，综合保护控制回路断线，开关无法分闸；一部分由于被监视回路接触电阻增加较小，综合保护未发出任何故障信号，但是由于线圈分压不够，开关同样不能分闸。当时由于原因未完全分析清楚，只进行了临时就地机械跳闸和多次分合闸试验，未对此类现象原因进行彻底分析，导致部分故障重复发生（由于记录不全，表1中只记录了部分故障信息）。

中国知网 https://www.cnki.net

表1　故障记录

时间	名称	故障现象
2010年11月1日	5B汽机变压器	5B汽机变压器[6]冲击受电过程中，5B汽机变压器的高压侧开关65204合闸后无法分闸且无异常信号，后由电建公司就地顶跳
2010年12月5日	5D磨煤机	电科院在“试验”位调试5D磨煤机时，又发生开关合闸后无法分闸现象，后就地顶跳
2011年12月25日	接地变压器	电气“6 kV 5C段接地变压器开关65300控制回路故障”报警，联系电气检修处理好
2012年9月14日	5B前置泵	5B前置泵发“控制回路故障、电气故障”报警，立即就地检查，发现就地综保面板上合闸灯不亮
2012年11月25日	8#皮带机	8#皮带起动后不能分闸
2013年10月16日	2#湿式球磨机	开关室及事故按钮均不能分闸。综合保护无任何报警，到现场后就地倒跳，将开关拉至试验位进行分合闸及事故按钮均正常
2013年10月7日	4B皮带机	4B皮带程控、就地和事故拉绳均不能停止，综合保护无故障报警

由于多次发生此类现象，后在现场通过试验验证了此过程并记录相关数据。

通过模拟监视回路电阻增加，将综保416端子与被监视分闸回路之间断开，增加一滑线变阻器R_x，通过调节滑线变阻器R_x的电阻值，模拟监视分闸回路触点接触电阻增加，检验开关能否分闸。试验接线图如图1所示。

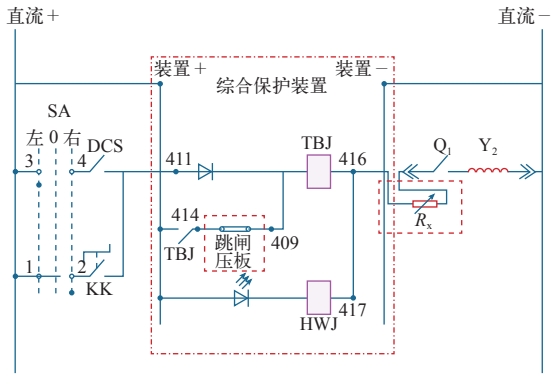

图1　试验接线图

将R_x调节至$R_{Z.l}$后，开关不能可靠分闸，在现场试验过程中，$R_{Z.l}$达到约40 Ω才发生开关不能分闸现象（这是由于开关分闸机构为脱扣式，所需要的脱扣电磁力很小）。继续增加R_x至$R_{Z.h}$后，发现综合保护装置发出控制回路报警信号，即HWJ返回，由于电压型的HWJ保持电压非常低，$R_{Z.h}$需要增加至约19 kΩ才能够返回，发出报警信号。

6 kV开关分闸回路监视分析

1. 监视原理分析

如图2所示，当断路器在合闸位置时，Q_1常开触点闭合，直流+→装置+→HWJ→Q_1常开触点→分闸线圈Y_2→直流−，由于HWJ为电压型继电器，有较大的内阻R_{HWJ}=8.0 kΩ，断路器分闸线圈直阻R_{Y_2}=10.0 Ω，这样HWJ分压较大而动作，分闸线圈分压较小则不能动作。一旦Q_1与Y_2分闸回路断开，则HWJ返回，发出报警信号，从而实现对分闸回路的监视功能。分闸监视回路电气参数如表2所示。

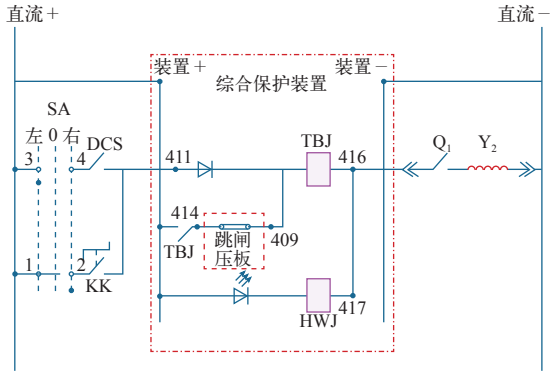

图2　分闸监视回路

表2　分闸监视回路电气参数

元件	电气参数
控制电压U_{ll}/V	110
TBJ继电器电阻R_{TBJ}/Ω	4.0
Y_2分闸线圈电阻R_{Y_2}/Ω	10.0
HWJ电阻R_{HWJ}/kΩ	8.0

2. 监视缺陷分析

由于为了确保在监视状态，分闸线圈不能动作，HWJ内阻很大，在现场试验过程中，确保HWJ动作的保持电压很低，约为30%的额定电压，实测HWJ最低动作电压$U_{HWJ.r}$=32.5 V，即HWJ在32.5 V及以上仍然能保持动作（监视回路不发报警信号）。此时即可算出HWJ不返还，允许被监视分闸回路内部触点或线圈接触电阻增大为$R_{Z.h}$。

按照R_{HWJ}=8.0 kΩ，R_{Y_2}=10.0 Ω，实测值$U_{HWJ.r}$

中国知网　https://www.cnki.net

=32.5 V计算，则

$$\frac{110R_{HWJ}}{R_{Z.h}+R_{Y_2}+R_{HWJ}}=32.5$$

$$R_{Z.h}=(8.0\times10^3\times\frac{110}{32.5}-8.0\times10^3-10.0)\,\Omega$$

$$=19.067\times10^3\,\Omega \qquad (1)$$

根据GB/T 11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》规定，分闸线圈电压为（65%～110%）U_n条件下都应该正确动作，伊顿公司的《中压接触器安装、操作和维护说明书》规定，最低脱扣电压为60%U_n，即能保证线圈可靠分闸条件下，按照60%U_n计算被监视回路内部触点或线圈允许的接触电阻增加最大值$R_{Z.1}$

$$\frac{R_{Y_2}}{R_{Y_2}+R_{TBJ}+R_{Z.1}}>0.60$$

$$R_{Z.1}<(\frac{10}{0.60}-10-4.0)\,\Omega$$

$$R_{Z.1}<2.67\,\Omega \qquad (2)$$

理论上，R_Z>2.67 Ω时，即当被监视分闸回路电阻大于2.67 Ω后，分闸线圈就可能存在分闸不可靠现象。由于分闸线圈的机械结构是脱扣式，所需要的脱扣电磁力很小，在试验过程中，线圈电压约为30%U_n时，分闸回路是可以跳开的（但不可靠），即被监视回路允许增加的接触电阻可以达到20～30 Ω。

通过以上分析，在被监视回路内部触点或线圈电阻变化范围在2.67～19.067×10^3 Ω之间时，综合保护装置不会发出报警信号，但线圈却不能可靠实现分闸功能。故此监视回路不能完成监视分闸是否能成功的功能。

分闸回路的数字化监视设想

监视分闸回路的主要目的是针对分闸回路线圈断线、辅助触点电阻增大和接触不良等情况，由于直流回路电阻和电压的对应关系，是否可以通过对被监视分闸回路的电压降的监视，实现对分闸回路的监视功能。通过对被监视分闸回路进行电压采样，将采集的数据送至综合保护装置，通过设置综合保护装置相关参数的方法，达到对被监视分闸回路的监视功能。图3为数字化监视实现技改图，其相关电气参数如表3所示。

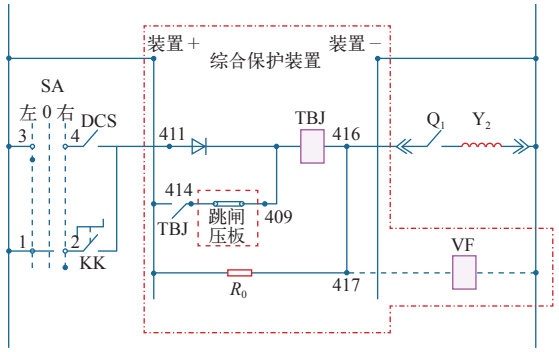

图3　数字化监视实现技改图

表3　数字化监视电气参数

元件	电气参数
控制电压U_a/V	110
TBJ继电器电阻R_{TBJ}/Ω	4.0
Y_2分闸线圈电阻R_{Y_2}/Ω	10.0
电阻R_0/kΩ	8.0

图3中，将HWJ更换成同样内阻值的电阻R_0，在416（或417）和直流－之间并联（即分闸回路上并联）一高内阻直流电压采集装置（内阻R>1 MΩ，在此用符号VF表示），将电压采集送至综合保护装置，通过在综合保护装置中设置线圈R_{Y_2}的直阻，设定分闸回路电压报警值，通过对电压的监视，一旦检测到监视电压U_{Y_2}的电压降增加到报警定值，发出分闸回路的报警信号，提醒运行及检修人员。同时还可以增加电压U_{Y_2}的录波功能，通过分析分闸过程中电压降的变化情况，判断分闸成功和开关拒动原因分析等。其软件流程图如图4所示。

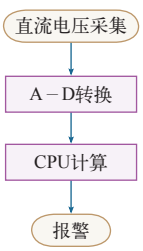

图4　软件流程图

中国知网 https://www.cnki.net

典型分闸回路数字化监视分析与定值整定

由于增加的直流电压采集装置，内阻非常大，参考文献[5,6]，直流电压采集装置输入阻抗可以高达兆瓦级，对回路产生的误差非常小，故计算中忽略直流电压采集装置导致的误差。

1）开关在合闸位置时（正常监视情况）

$$U_{Y_2}=(\frac{10}{8.0\times10^3+10}\times110)\,\text{mV}=137.3\,\text{mV} \quad (3)$$

2）分闸线圈能可靠动作的电压为60%U_n，U_{Y_2}报警值计算过程为

$$\frac{R_{Y_2}}{R_{TBJ}+R_Z+R_{Y_2}}=60\%$$

$$\frac{10\,\Omega}{4\,\Omega+R_z+10\,\Omega}=0.60$$

$$R_Z=2.67\,\Omega \quad (4)$$

$$U_{Y_2}=(\frac{10+2.67}{8.0\times10^3+10+2.67}\times110)\,\text{mV}=173.9\,\text{mV} \quad (5)$$

3）GB/T—11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》规定，当电源电压小于或等于额定电压的30%时，不应脱扣。根据分闸线圈完全不能动作电压为30%U_n计算，U_{Y_2}的计算过程为

$$\frac{R_{Y_2}}{R_{TBJ}+R_Z+R_{Y_2}}=30\%$$

$$\frac{10\,\Omega}{4\,\Omega+R_Z+10\,\Omega}=0.3$$

$$R_Z=19.33\,\Omega \quad (6)$$

$$U_{Y_2}=(\frac{10+19.33}{8.0\times10^3+10+19.33}\times110)\,\text{mV}=401.8\,\text{mV} \quad (7)$$

根据以上计算过程，正常工作情况下，U_{Y_2}运行电压为137.3 mV；当监视电压U_{Y_2}大于173.9 mV后，分闸线圈就存在不能可靠动作的情况；当监视电压U_{Y_2}大于401.8 mV后，分闸线圈则肯定不能分闸，需要立即手动分闸，然后对分闸回路进行检查处理。由此可以设置两级报警定值，一级报警定值U_{Y_2}=173.9 mV，二级报警定值U_{Y_2}=401.8 mV。

结束语

通过对分闸回路的相关改造，增加综合保护的直流电压采集和录波功能，设置相适应的参数和分级报警值，可以实现对分闸回路的监视、报警和录波功能，从而实现对分闸回路的可靠监视和开关分闸过程分析。设置一定的定值还可以实现对分闸线圈匝间短路等异常情况的监视和报警功能。考虑到合闸回路监视原理相同，同样可以扩展至合闸回路的监视中。

随着电子测量技术和检测技术的发展以及毫伏电压检测技术的广泛应用，实现对分闸回路的数字化监视后，将大大提高继电保护的可靠性和准确性。

参考文献

[1] 索南加乐，宋国兵，晁勤．高压断路器跳合闸线圈保护原理 [J]．继电器，2002，30 (3)：27-29．

[2] 张雁文，铁丝佳．搭建断路器跳闸回路的全回路监视 [J]．黑龙江电力，2008，30 (1)：73-75．

[3] 周华良，夏雨，邹志杨．带跳闸回路监视的断路器操作回路设计与实现 [J]．江苏电机工程，2011，30 (6)：41-44．

[4] 黄初指，苏东青．断路器分合闸控制回路在线自动检测的探讨 [C]．2009年全国输变电设备状态检修技术交流研讨会论文集，2009．

[5] 熊伟林．高输入阻抗测试电路 [J]．电子测试，2011 (6)：98-101．

[6] 李凌，虞礼贞．电压幅值可达毫伏数量级的小信号峰值检测电路的设计 [J]．南昌大学学报：理科版，2003，27 (4)：382-386．

（收稿日期：2014－03－10）EA

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告

中国知网 https://www.cnki.net