

振荡中故障选相元件的研究

司为国¹,章耀耀²,钱国明³,薛明军³,陈福锋³

(1. 上海大学 机电工程与自动化学院, 上海 200072; 2. 华东电网有限公司, 上海 200002;

3. 国电南京自动化股份有限公司, 江苏 南京 210003)

摘要: 目前实用的选相元件在系统振荡时可能会误选相,有必要研究能适用于振荡时的选相方案。分析了振荡中再故障时故障回路测量阻抗不变的特征,并在此基础上提出了一种适用于振荡的新型选相元件。该元件结合常规的零、负序故障分量分区和阻抗值比较方法,采用阻抗变化率的判别从可能的故障类型中识别出真正的故障回路,解决了系统振荡时选择性和速动性之间的矛盾。理论分析和 EMTTP 数字仿真计算表明,新的选相方案在性能上较常规选相方案有明显的改善,可以完全克服阻抗法故障识别在振荡中选相的失配问题,并且该方案原理简单,动作可靠,具有很高的工程应用价值。

关键词: 振荡; 选相元件; 选择性; 速动性; 阻抗不变

中图分类号: TM 773

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2010)03-0068-03

系统振荡中发生故障时,故障回路阻抗值不受系统振荡影响,为固定值,而非故障相的测量阻抗是变化的,本文将阻抗不变识别应用到振荡中的选相元件中^[1-7]。这种选相方案原理简单,能方便地应用到现有线路保护装置中。

1 dZ/dt 不变原理在选相中的应用

目前,常规的选相元件主要有变化量选相元件、序分量选相元件和阻抗选相元件等。在系统振荡时,由于变化量提取问题导致变化量选相元件难以应用^[8-10]。而序分量选相元件和阻抗选相元件中均需要采用阻抗比较的方法来选出故障相别,在系统振荡并且两侧电势角摆开到 180° 附近时发生不对称故障,故障回路阻抗与故障点相关,健全回路阻抗与振荡中心的位置相关,上述 2 种元件均可能不能正确选相。

1.1 阻抗不变原理

纯系统振荡时,保护的测量阻抗随系统振荡而周期性变化。文献[11]指出系统振荡时,测量阻抗的变化率始终大于 $\frac{\pi}{6} Z_s$,因此,根据测量阻抗变化率,利用式(1)就可区分系统振荡和故障。

$$\left| \frac{dZ}{dt} \right| \leq \frac{\pi}{6} Z_s \quad (1)$$

其中, $Z_s = Z_M + Z_N + Z_L$, Z_M 、 Z_N 为两侧系统阻抗, Z_L 为线路阻抗。

dZ/dt 可以按照 6 个测量回路分别判断,系统振荡中线路发生故障时,故障相的测量阻抗不变,而健全相的测量阻抗仍随振荡呈周期性变化,即故障相回路测量阻抗满足阻抗不变条件。

1.2 dZ/dt 不变原理的应用

国内数字式高压线路保护主要采用突变量选相和稳态选相相结合的方法实现故障选相^[12-13],振荡期间由于突变量提取困难而采用稳态量选相,一般采用序分量选相和阻抗选相相结合的选相方案。

本文将阻抗不变原理分别应用到常规序分量选相和阻抗选相中,这样构成的新型选相元件能适用于振荡中故障选相。序分量选相主要用于接地类型故障,对于非接地类型故障则采用阻抗选相。利用阻抗不变原理构成的新型选相方案能适用于振荡时发生的各种类型的故障,且不受振荡周期、振荡摆开角度等影响。

1.2.1 振荡中的序分量选相元件

当发生不对称故障时,首先按式(2)计算出零序电流与负序电流的相对角度。

$$\phi = \arg(I_0/I_2) \quad (2)$$

然后根据计算的 ϕ 按表 1 进行分区。

表 1 I_0 、 I_2 相对相位和故障类型的关系
Tab.1 Relationship between I_0 、 I_2 relative phase-angle and fault type

区位	ϕ	可能的故障类型
A 区	-30°~90°	AG、BCG
B 区	90°~210°	BG、CAG
C 区	-150°~-30°	CG、ABG

这样分区可以确保每个区间仅存在一个单相接地故障与一个两相接地故障。在分区的基础上,采用阻抗不变识别和动作阻抗继电器来选相。图 1 为改进序分量选相元件(以 A 区为例)。

振荡中故障,首先判别是否满足分区条件,若满足分区条件时,则进行分区,如果分区处在 A 区,则故障类型可能是 AG 或 BCG,然后进入 BC 回路阻抗流程判别,若满足 BC 相间阻抗不变且 BC 相间阻抗

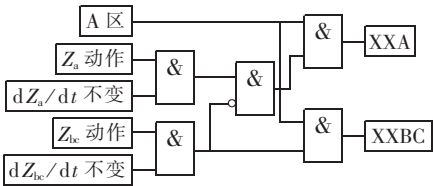


图 1 改进序分量选相元件

Fig.1 Improved sequence-component-based faulty phase selector

落入动作区,则判为 BC 相间故障;若 BC 相间阻抗上述任一条件不满足,则进入 A 相回路阻抗判别流程,若 A 相满足阻抗不变且 A 相间阻抗落入动作区,则判定为 A 相接地故障。

改进后的选相方案增加了阻抗不变识别,这样可以解决当系统振荡中发生某些故障时,健全相的测量阻抗可能落入阻抗动作区内,但是只有故障回路是满足阻抗不变条件的,这样就避免了误选为同一分区内另一故障回路,同时改进后的选相方案通过一个分区内的 2 种阻抗类型所对应的阻抗特性来互补识别,增加了选相的正确性。

1.2.2 振荡中的阻抗选相元件

当序分量选相条件不满足时,进入阻抗选相流程,改进阻抗选相元件首先计算 6 回路的阻抗变化率,若 6 个回路阻抗变化率只有 1 个回路满足阻抗不变条件,则判别满足阻抗不变条件的回路阻抗是否在动作区内,若在动作区内则选相为该回路故障;若 6 回路阻抗均满足不变条件且 6 回路阻抗均处在动作区内,则判定为系统发生了三相故障;若有多个回路满足阻抗不变条件,利用图 2 所示选相方案来完成选相(以 BC 相别为例)。

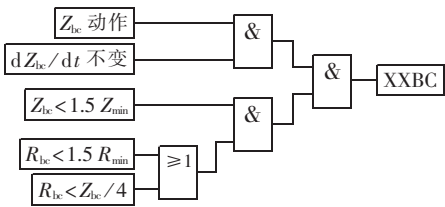


图 2 改进阻抗选相元件

Fig.2 Improved impedance-based faulty phase selector

图中, Z_{bc} 为 BC 回路的阻抗值, R_{bc} 为 BC 回路的电阻分量, Z_{min} 为所有满足阻抗不变回路的最小阻抗值, R_{min} 为所有满足阻抗不变回路的最小电阻分量。

由于故障回路阻抗不变的特点是不受系统振荡影响的,此原理构成的选相元件能自适应系统振荡中故障,其选相结果不依赖于振荡开放条件仍能确保故障相的正确选择,且不受故障类型的限制。

2 仿真分析

为验证所提出的新型选相元件的正确性,采用动模试验中的数据对所提方法进行了分析验证。动模系统模型采用简单的 2 机系统,如图 3 所示,其中

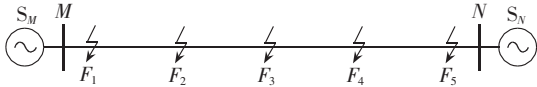


图 3 仿真系统

Fig.3 Simulation system

M 、 N 为保护装置安装处。

线路长度为 400 km,500 kV 的超高压输电线路,采用集中耦合参数,仿真系统共设置了 5 个故障点: F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 分别为线路全长的 0 %、25 %、50 %、75 %、100 %。

系统振荡中,分别模拟当两侧电源相位差达到 $\delta=180^\circ$ 和 $\delta=0^\circ$ 2 种情况, M 侧数据的验证结果如表 2、3 所示。

表 2 $\delta=180^\circ$ M 侧故障选相结果

Tab.2 Results of faulty phase selection at M side,when $\delta=180^\circ$

故障类型	分区	动作阻抗	阻抗不变满足	选相结果
F_1 , AG	A 区	Z_a, Z_{bc}	Z_a	XXA
F_1 , ABCG	—	6 回路	6 回路	XXABC
F_2 , BG	B 区	Z_b	Z_b	XXB
F_2 , ABG	C 区	Z_{ab}, Z_c	Z_{ab}	XXAB
F_3 , CG	C 区	Z_c, Z_{ab}	Z_c	XXC
F_3 , BCG	A 区	Z_{bc}	Z_{bc}	XXBC
F_4 , AG	A 区	Z_a	Z_a	XXA
F_4 , BC	—	Z_{bc}	Z_{bc}	XXBC
F_5 , BG	B 区	Z_b	Z_b	XXB
F_5 , CAG	B 区	Z_{ca}, Z_b	Z_{ca}	XXCA

表 3 $\delta=0^\circ$ M 侧故障选相结果

Tab.3 Results of faulty phase selection at M side,when $\delta=0^\circ$

故障类型	分区	动作阻抗	阻抗不变满足	选相结果
F_1 , BG	B 区	Z_b	Z_b	XXB
F_1 , CAG	B 区	Z_{ca}, Z_b	Z_{ca}	XXCA
F_2 , AG	A 区	Z_a	Z_a	XXA
F_2 , BG	—	Z_{bc}	Z_{bc}	XXBC
F_3 , CG	C 区	Z_c	Z_c	XXC
F_3 , ABG	C 区	Z_{ab}	Z_{ab}	XXAB
F_4 , BG	B 区	Z_b	Z_b	XXB
F_4 , BC	—	Z_{bc}	Z_{bc}	XXBC
F_5 , AG	A 区	Z_a	Z_a	XXA
F_5 , ABCG	—	6 回路	6 回路	XXABC

从仿真结果中可以看出 2 点。

a. 故障发生在两侧电势摆开到 $\delta=180^\circ$ 时,从表 2 中可以看出,在很多情况下,处在同一分区内的 2 种故障类型的阻抗大小都落在动作范围内,分区后只比较阻抗大小的传统选相方案就会发生误选相;但是只有故障相才满足阻抗不变条件,因此,新型选相方案通过判定同一分区内只有故障相才满足阻抗条件来识别出故障相别。

b. 故障发生在两侧电势 $\delta=0^\circ$ 时,从表 3 中可以看出,在出口处发生相间接地故障时,同一分区内的 2 种故障类型的阻抗大小都处在动作阻抗区内,这种情况发生的原因是:当出口处发生相间接地故障,零序分量很大,健全相的测量阻抗就有可能落入动

作阻抗区内导致误选相;但是同样只有故障相才满足阻抗不变条件,新型选相方案能够通过这一特征选择出故障相别。

从仿真结果中可以看出,将序分量选相、阻抗选相分别同阻抗不变相结合的改进选相方案不受振荡条件的影响,各种故障类型下都能够正确地选出故障相,确保了保护的正确动作。

3 结语

振荡中线路发生故障时,故障回路的测量阻抗的变化率很小,而健全相的测量阻抗随振荡而变化,据此提出了将回路阻抗不变的识别应用到常规选相元件中。理论和仿真结果都证明这种改进后的选相元件可以准确可靠地识别出系统振荡中的故障相别,同时原理简单,计算量小,有利于实际应用。

参考文献:

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术[M]. 北京:中国电力出版社,2005:257-258.
- [2] 张保会,尹项根. 电力系统继电保护[M]. 北京:中国电力出版社,2005:24-25.
- [3] 索南加乐,许庆强,宋国兵,等. 电力系统振荡过程中序分量选相元件动作行为分析[J]. 电力系统自动化,2003,27(2):52-55.
SUONAN Jiale,XU Qingqiang,SONG Guobing,et al. Analysis on the operating characteristic of the sequence-component fault phase selector during power swings[J]. Automation of Electric Power Systems,2003,27(2):52-55.
- [4] 毛鹏,戴斌,白日昶. 一种新型振荡中故障选相元件[J]. 电力系统自动化,2009,33(5):61-65.
MAO Peng,DAI Bin,BAI Richang. A new type of fault phase selector during power swing[J]. Automation of Electric Power Systems,2009,33(5):61-65.
- [5] 邹力,刘沛,赵青春. 级联形态梯度变换及其在继电保护中的应用[J]. 中国电机工程学报,2004,24(12):113-118.
ZOU Li,LIU Pei,ZHAO Qingchun. Series multi-resolution morphological gradient and applications in protection relays [J]. Proceedings of the CSEE,2004,24(12):113-118.
- [6] 林湘宁,刘沛,程时杰. 电力系统振荡中轻微故障识别的小波算法研究[J]. 中国电机工程学报,2000,20(3):39-44.
LIN Xiangning,LIU Pei,CHENG Shijie. Researches on fault identification during fast power swings with wavelet transform based algorithm[J]. Proceedings of the CSEE,2000,20(3):39-44.
- [7] 张艳霞,刘天绪,王荣琴. 基于希尔伯特变换的电力系统振荡中再故障的识别方法[J]. 中国电机工程学报,2005,25(6):36-41.
ZHANG Yanxia,LIU Tianxu,WANG Rongqin. Research on the application of Hilbert transformation in micro-processor based relay protection[J]. Proceedings of the CSEE,2005,25(6):36-41.
- [8] 钱国明,何奔腾. 一种改进的高压线路保护选相元件[J]. 电力自动化设备,1999,19(4):28-30.
QIAN Guoming,HE Benteng. An improved fault phase selector for transmission line protection relay[J]. Electric Power Automation Equipment,1999,19(4):28-30.
- [9] 胡婷,游大海,金明亮. 一种电流突变量选相元件三相短路判据的探讨[J]. 电力自动化设备,2006,26(10):107-109.
HU Ting,YOU Dahai,JIN Mingliang. Discussion of three-phase short-circuit criterion of phase selection relay based on delta variable element of phase current differential[J]. Electric Power Automation Equipment,2006,26(10):107-109.
- [10] 许庆强,索南加乐,陈久林. 基于相间电阻变化特征的故障选相元件[J]. 电力自动化设备,2008,28(3):10-13.
XU Qingqiang,SUONAN Jiale,CHEN Jiulin. Faulty phase selector based on inter-phase resistance change [J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(3):10-13.
- [11] 金华烽,何奔腾. 电力系统振荡闭锁判别方法的研究[J]. 继电器,1999,27(2):24-26.
JIN Huafeng,HE Benteng. Some research for discriminating power system oscillation[J]. Relay,1999,27(2):24-26.
- [12] 索南加乐,刘凯,刘世明,等. 一种新的高压线路振荡选相元件[J]. 西安交通大学学报,2007,41(8):949-953.
SUONAN Jiale,LIU Kai,LIU Shiming,et al. New fault phase selector for high voltage transmission line protective relaying during power swing[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2007,41(8):949-953.
- [13] 陈福锋,钱国明. 基于同杆双回线跨线故障识别的选相方案[J]. 电力系统自动化,2008,32(6):66-70.
CHEN Fufeng,QIAN Guoming. Research on fault phase selector of protective relay for double circuit lines based on crossing-line fault identifying [J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(6):66-70.

(责任编辑:李玲)

作者简介:

司为国(1970-),男,江苏南通人,高级工程师,博士研究生,研究方向为电力系统自动化(E-mail:weiguo.si@hotmail.com);
章耀耀(1964-),男,浙江宁波人,高级工程师,主要从事继电保护的生产和管理工作。

Faulty phase selector during power swing

SI Weiguo¹,ZHANG Yaoyao²,QIAN Guoming³,XUE Mingjun³,CHEN Fufeng³

(1. School of Mechatronics Engineering and Automation,Shanghai University,Shanghai 200072,China;

2. East China Grid Company Limited,Shanghai 200002,China;

3. Guodian Nanjing Automation Co.,Ltd.,Nanjing 210003,China)

Abstract: As the currently used faulty phase selector may work improperly during power swing,a novel faulty phase selector adaptable to power swing is proposed based on the result of analysis that the impedance of faulty phase is invariable during power swing. Based on the traditional sectioning method of zero and negative sequence fault components and the impedance comparison method,the impedance variance ratio is applied to select the faulty phase from possible fault types during power swing with better balance between selectivity and rapidity. Theoretical analysis and EMTP-based simulation show that,the proposed phase selection method,simple and reliable,is evidently superior to the traditional method in faulty phase selection during power swing.

Key words: power swing; phase selector; selectively; rapidity; constant impedance