

弱电侧选相元件的探讨

刘千宽¹, 李岩², 许庆强³, 冯秋芳¹

(1. 许继电气保护及自动化事业部, 河南 许昌 461000; 2 中国南方电网有限公司电网技术研究中心, 广东 广州 510620; 3. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 相电流差突变量选相元件和电流序分量选相元件在数字式高压线路保护中得到了广泛的应用,但在弱电源系统中存在电流自身无法克服的困难而不能正确工作。该文利用某电网一端为弱电源的 220 kV 线路发生单相故障的录波数据,通过仿真计算,分析比较了 3 种电流突变量选相元件的性能,同时分析了目前弱电源识别方法存在的问题。在理论分析和仿真计算的基础上,提出了有效识别弱电系统的方法,并给出了弱电侧选相问题的解决方案。

关键词: 线路保护; 选相元件; 弱电源; 相电流差突变量

中图分类号: TM774 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)08-0064-04

0 引言

目前相电流差突变量和电流序分量选相元件在高压线路保护中有着广泛的应用。相电流差突变量选相元件具有不受负荷电流影响、受过渡电阻影响小和对系统适应性强等优点,具有较高的选相精度;电流序分量选相元件大多利用零序电流和负序电流的相位关系结合辅助判据来实现选相,在单相故障中该选相元件不受接地电阻的影响,具有很高的灵敏度和很好的选相性能。

基于电流量的选相元件在弱电源侧灵敏度可能不足。尤其是位于单侧电源受电侧的保护,在线路发生故障后,能感受到的电流仅为零序电流,三相电流基本相同,因此靠电流突变量和电流序分量进行选相很困难^[1-3],而电压选相元件在弱电侧具有很高的选相灵敏度。因此,在保护流程中加入识别弱电系统的逻辑,保护在识别出所在系统为弱电系统后,采用适用于弱电源侧的电压选相元件,来提高弱电源侧保护的选相性能,不失为一种较为完善的弱电侧保护选相方式。

1 相电流差突变量选相元件

相电流差突变量选相元件利用单相接地时另外两相的相电流差突变量为零这一特性进行选相,但该特性只有在正序和负序分支系数相等的前提下才成立^[4],正、负序分支系数不同对选相结果的影响较大。本文重点分析下列 3 个突变量选相元件。

判据一: $I_{\max} < k(I_{\text{mid}} - I_{\text{min}})$ (1)
式中: I_{\max} 、 I_{mid} 和 I_{min} 分别表示 3 个相电

流差突变量的最大值、中间值和最小值,分别表示 AB、BC 或 CA (下同)。式 (1) 满足则判为单相故障,最小者为两个非故障相之差;否则判为相间故障,最大者为两故障相之差。

判据二: $I - k_1 I_{\max} > k_2 I_T + 0.2 I_n$ (2)
式中: k_1 为最大相电流差突变量 I_{\max} 的制动系数, k_2 为浮动门槛 I_T 的可靠系数; I_n 为电流互感器二次侧额定电流,取其 0.2 倍作固定门槛。此判据分为 AB、BC 和 CA 3 个相电流差突变量继电器,当且仅当两个继电器动作时,选为与两继电器相关相的单相故障;当 3 个继电器均动作时,选为多相故障。

判据三: $I > K_R (I - k_1 I_{\max})$ (3)
式中: I 是不同于 I 相别的另两相电流突变量,常数 k_1 同判据二。此判据分为 A、B 和 C 相 3 个继电器,当且仅当 I 所在相的继电器满足式 (3) 时,判为该相单相故障;3 个继电器均不满足时,判为多相故障。

下面以一实际 220 kV 系统现场故障录波数据为例,具体仿真分析上述 3 个判据存在的问题。

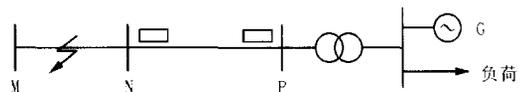


图 1 故障系统一次接线图

Fig 1 Schematic diagram of fault system primary connection

故障系统图如图 1 所示。M、N 侧为 220 kV 系统,线路 MN 和 NP 都在 10 ~ 20 km 内, P 侧经变压器接有负荷和小容量发电机。C 相接地故障发生在

MN线上,用于分析的保护安装在 NP线的 P侧,即弱电源侧。电流和电压的故障录波图如图 2所示。

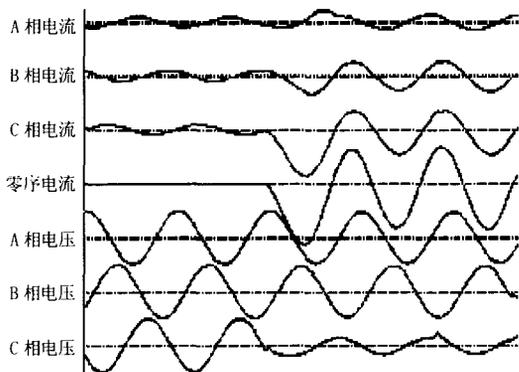


图 2 C相故障录波图

Fig 2 Fault record of phase C

原始录波数据每工频周波 24点采样,仿真中采用带差分的半周傅氏滤波算法来得到电流相量,突变量求取方法是将当前量与两周波前的量作差,各判据系数取值如表 1所示。仿真结果为将各判据不等号右边各项移到左边作减法运算所得的结果。

表 1 仿真计算中各项系数的选取

Tab 1 Selection of coefficients used in simulation calculation

系数	k	k_1	k_2	K_R
取值	2.5~3	0.1~0.2	1.15	2.5~4

判据一计算结果如图 3所示,横坐标表示采样点,0点对应于故障后的第 12个采样点,其余各点以加 12的方法类推;纵坐标表示将判据右边各项移项后作减法运算所得的差值。图 4、图 5类同。

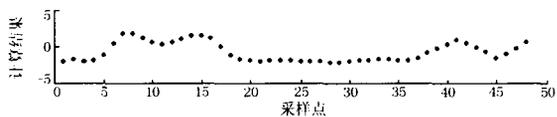


图 3 判据一 $I_{max} - k(I_{mid} - I_{min})$ 计算结果 ($k=2.5$)

Fig 3 Calculation results of criterion one

$$I_{max} - k(I_{mid} - I_{min}) \text{ when } k=2.5$$

对判据一进行移项作差后,如果计算结果小于零则判为单相故障。由图 3可见,在故障后第 18点即 15ms以前判为单相故障,在故障后第 18~28点之间将判为多相故障,此后又判为单相故障。

判据二移项后,计算结果应为大于零时该相间继电器动作。由图 4可见,判据二在前 15个数据窗内 BC、CA 相继电器可靠动作,判为 C相故障,此后 BC 相继电器灵敏度不够,在动作边界。改变最大制动系数 k_1 并不能显著改善其选相性能。

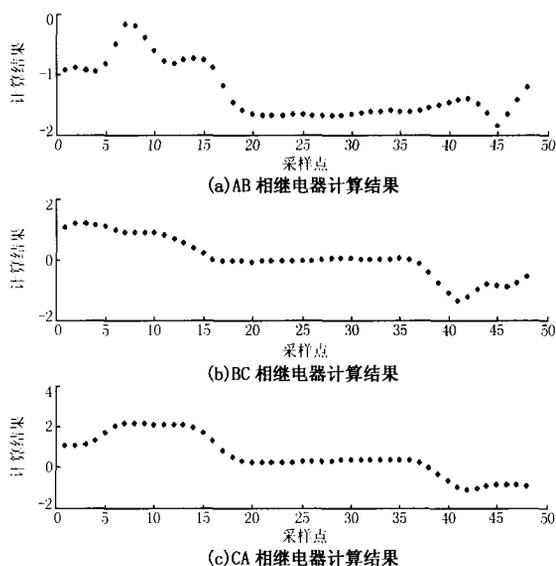


图 4 判据二计算结果 ($k_1=0.15$)

Fig 4 Calculation results of criterion two when $k_1=0.15$

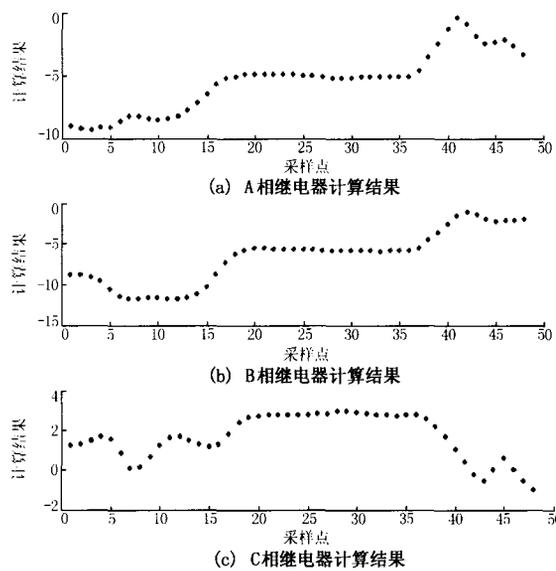


图 5 判据三计算结果 ($k_1=0.15, K_R=3.0$)

Fig 5 Calculation results of criterion three when $k_1=0.15$ and $K_R=3.0$

判据三进行移项作差后,同样,计算结果应为大于零时该相继电器动作。如图 5所示,仅 C 相继电器动作,选为 C 相。由图 5(c)可见,在突变量选相元件投入的有效时间内,C 相继电器在横坐标为 7、8附近同样存在灵敏度不足的问题。

比较上述三种选相元件的仿真计算结果,不难发现判据三相对而言较为灵敏。3种元件无一例外地利用单相故障时两健全相电流突变量为零这一特性构造动作判据,但该特性存在的前提条件是系统的正序阻抗等于负序阻抗^[1],此条件仅在故障之初

近似成立。因此判据二和判据三引入最大相制动来减小两健全相电流突变量的影响,而判据一无最大相制动,则要求 k 值的选取较为合理,以提高选相的可靠性。判据二和判据三同样要求判据中各系数有较合理的取值,否则其灵敏度不能得到可靠的保证。因此,为有效避免弱电侧电流突变量元件选相灵敏度的问题,应增加可靠识别弱电源系统的判据。

2 弱电源系统的判别

弱馈侧的典型特征是负序电流很小,零序电流按照故障类型和故障点进行计算,一般比较大。因此有如下判据可供选用。

$$\text{判据 A: } |I_0| > m \cdot |I_2| \quad (4)$$

式中 m 取足够大值。

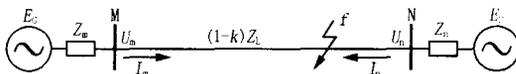


图 6 双端系统示意图

Fig 6 Diagram of a double-terminal power system

在双端系统考查该判据,如图 6 所示。以 A 相接地故障为例,考虑序网络序电流的分配,该判据由系统参数可得:

$$\frac{(1-K)Z_{0L} + Z_{0m}}{Z_{0L} + Z_{0m} + Z_{0n}} > m \cdot \frac{(1-K)Z_{2L} + Z_{2m}}{Z_{2L} + Z_{2m} + Z_{2n}}$$

由上式可见,式(4)中系数 m 较难取值,其与故障点位置、两端系统的序阻抗等均有关。

为了更直观的分析,假设图 6 系统各参数如下:
线路阻抗:

$$Z_{2L} = 1 \quad 85^\circ; \quad Z_{0L} = 2.5 \quad 85^\circ$$

小系统阻抗:

$$Z_{2min} = 0.2 \quad 85^\circ; \quad Z_{0min} = 0.2 \quad 85^\circ$$

中系统阻抗:

$$Z_{2mid} = 1 \quad 85^\circ; \quad Z_{0mid} = 1 \quad 85^\circ$$

大系统阻抗:

$$Z_{2max} = 2 \quad 85^\circ; \quad Z_{0max} = 2 \quad 85^\circ$$

小负荷阻抗: $Z_{Loadmin} = 10 \quad 25.84^\circ$

大负荷阻抗: $Z_{Loadmax} = 20 \quad 25.84^\circ$

采用图 6 系统的零序和负序网络,当故障点 f 分别在 $K=0$ 和 $K=1$ 处,由以上参数计算 M 侧的 I_0/I_2 ,结果如表 2 所示。

从表 2 可以看出,对于很多情况,式(4)是无法判断出弱馈的,对于两相接地故障由于通常情况下的零序电流比负序电流要小一些,情况比单相接地还严重一些。因此上述弱馈判据存在问题。事实上,仅取 $m=2$ 时,图 2 的 C 相故障就不满足判据 A

的条件。

表 2 弱馈端序电流幅值之比

Tab 2 Magnitude of I_0/I_2 in a weak-feedback system			
负荷阻抗	系统阻抗	$I_0/I_2 (K=0)$	$I_0/I_2 (K=1)$
小负荷	小—小	8.27	3.675
	小—中	6.48	2.88
	小—大	5.1	2.268
	大—大	2.727	1.818
大负荷	小—小	16.01	7.11
	小—中	12.55	5.578
	小—大	9.88	4.39
	大—大	5	3.337

考察弱电侧的电流特征,尤其是单侧电源受电侧。受电侧的线路电流中只有零序电流流过,三相电流基本相等,因此式(2)和式(3)均可用来判别弱电源,即有如下的两种判别方法。

判据 B: 在判据二中仅有一个继电器动作或均不动作时,可作弱电源系统处理;为避免线路高阻故障中此判据灵敏度不足,误将强电源侧判为弱电侧的缺陷,另加任一相低电压或相间低电压元件。

判据 C: 在判据三中有两个及以上继电器动作时,判为弱电源侧。其辅助的低电压判别元件同判据 B 一样。

保护在判别出弱电侧后,将这一结论保持到保护装置的整组复归,以用于振荡闭锁期间的选相元件。

由如图(4)所示的仿真计算结果可见,判据 B 在第 16 个数据窗即故障 24 ms 后判为弱电源侧,保护立即退出突变量选相元件,改为弱电源侧的电压元件选相^[2]。毋庸置疑,电压选相元件在受电侧具有足够的灵敏度,但在强电侧末端故障时可能灵敏度不足,因此上述弱电判据在系统送电侧退出,以避免将强电侧误判为弱电侧导致选相失败。

3 弱电源侧选相解决方案

电流序分量选相元件在某些特殊情况下,同样存在选相的不确定性,采用该元件作振荡闭锁期间的选相元件就必须考虑弱电侧的影响。若采用独立的弱电选相判据,可克服序电流选相元件不能用于弱电侧的缺点,同时在序电流选相元件的分区中可以不考虑弱电的影响。

在综合分析上述各判据的基础上,本节提出了弱电侧选相的解决方案。

1) 在电流突变量启动元件启动后的 40 ms 内投入由判据二构成的突变量选相元件。在该元件仅有一个相间继电器动作或 3 个相间继电器均不动作

时满足判据 B 的条件,或判据 A 的条件满足,认定此时系统运行方式为弱电方式,立即进入由文献 [2] 提出的弱电侧稳态电压选相逻辑。

2) 当弱电侧电流启动元件不能启动,而由低电压或电压突变量启动时,也进入电压选相逻辑。

仿真结果和动模试验表明,该选相方案能有效可靠地选出弱电侧故障相,完全能满足现场弱电选相的要求。

4 结论

针对高压线路保护在电流突变量启动后采用相电流差突变量选相元件和序分量选相元件在弱电源系统存在的问题,提出了自适应于系统运行方式的弱电源判据和弱电源选相的解决方案,该方案能满足弱电源侧选相跳闸的要求。

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, 1995.
ZHU Sheng-shi The Principle and Technique of High Voltage Network Protection [M]. Beijing: China Electric Power Press, 1995.
- [2] 索南加乐, 许庆强, 宋国兵, 等. 弱电侧稳态电压对称分量选相元件 [J]. 西安交通大学学报, 2003, 37 (8): 778-782.
SUONAN Ja-le, XU Qing-qiang, SONG Guo-bing, et al A Fault Phase Selector on the Weak Feed Backside of Transmission Line Using Voltage Symmetrical Components [J]. Journal of Xi an Jiaotong University, 2003, 37 (8): 778-782.
- [3] 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 (8): 28-30.

QIAN Guo-ming, HE Ben-teng An Improved Fault Phase Selector for Transmission Line Protective Relay [J]. Electric Power Automation Equipment, 1999, 19 (8): 28-30.

- [4] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
GE Yao-zhong Theory and Techniques of New Typed Protective Relaying and Fault Location [M]. Xi an: Xi an Jiaotong University Press, 1996.
- [5] 李岩. 超高压线路高性能继电保护新原理与新技术的研究 (博士学位论文) [D]. 武汉: 华中科技大学, 2003.
LI Yan Study on New Principle and New Technique of the Advanced Protection System for UHV Transmission Line, Doctoral Dissertation [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2003.
- [6] 许庆强, 索南加乐, 宋国兵, 等. 一种电流故障分量高压线路保护选相元件 [J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (7): 50-54.
XU Qing-qiang, SUONAN Ja-le, SONG Guo-bing, et al A Fault Phase Selector for Transmission Line Protective Relaying Using Current Fault Components [J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27 (7): 50-54.

收稿日期: 2004-07-30; 修回日期: 2004-10-08

作者简介:

刘千宽 (1967 -), 男, 硕士, 主要从事电力系统继电保护和自动化产品的开发工作; E-mail: liuqiankuan@xjgc.com

李岩 (1973 -), 男, 博士, 主要从事电力系统继电保护和直流输电的研究工作;

许庆强 (1976 -), 男, 博士研究生, 研究方向为电力系统故障选相和方向元件。

Discussion for fault phase selector on the weak-feedback side of transmission line

LIU Qian-kuan¹, LI Yan², XU Qing-qiang³, FENG Qiu-fang¹

(1. XJ Electric Protection and Automation Department, Xuchang 461000, China;

2. CSG Power Technology Research Center, Guangzhou 510620, China;

3. School of Electrical Engineering, Xi an Jiaotong University, Xi an 710049, China)

Abstract: Although phase selectors of current-difference sudden-change component and current sequence component have been applied in digital HV transmission line protective system, they can't work correctly in weak-feedback system owing to their own defects. Making use of simulating calculation with record data of one ground fault in a 220 kV weak-feedback system, this paper compares the performances of three fault component phase selectors, analyzes the problems that exist in identifying weak-feedback system at present. Based on theoretical analysis and simulating calculation, efficient method is presented to identify the weak-feedback system, and a scheme is put forward to resolve fault phase selection in these systems.

Key words: line protection; fault phase selector; weak-feedback source; current-difference sudden-change component