

新型重合器对提高 配电系统可靠性分析

向铁元,汪 毅,兰国良,谢 鹏,朱昌成
(武汉大学 电气工程学院,湖北 武汉 430072)

摘要: 为提高配电馈线可靠性,对传统的液压重合器进行改进,介绍了一种电子控制式三重单相重合器。这种新型三重单相重合器包括三个单相重合器,采用电子控制方式,使其具有三种动作模式的功能。分析了重合器的动作模式以及在不同故障类型、故障持续时间、故障电流大小等情况下的动作顺序。给出了大量重合器动作的实验数据,通过计算系统平均停电频率和平均瞬时停电频率这两种可靠性指数对三种动作模式下的馈线可靠性进行了分析,结果证明能提高配电系统的可靠性。

关键词: 馈线可靠性; 可靠性指数; 重合器

中图分类号: TM 76

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)04-0096-04

1 重合器的动作模式

要提高配电馈线可靠性,可以从传统的液压重合器入手进行改进^[1]。最近,美国 Copper 公司研制出一种电子控制式三重单相重合器,它采用 Form5/TS 控制方式,具有三种动作模式,能够显著提高馈线可靠性。下面是重合器的三种动作模式。

a. 单相分闸单相闭锁模式(一相/一相): 每相单独分闸和闭锁,这种模式主要应用于居民住宅负荷,或者当每相都采取了其他保护措施的情形。

b. 单相分闸三相闭锁模式(一相/三相): 每相单独检测故障电流,只有故障相才分闸。如果任何一相闭锁,其他两相就断开。

c. 三相分闸三相闭锁模式(三相/三相): 当检测到故障电流后,同时分闸,然后一起重合。在随后的动作中,如果分闸次数达到整定的次数,三相同时闭锁^[2~4]。

由此可以看出,这种重合器具有单相和三相重合器的基本功能。

2 重合器的动作模式与故障

重合器的动作不仅受到动作模式的影响,还与故障类型(相间故障或接地故障)、故障持续时间(永久故障或瞬时故障)、故障地点有关。本文主要讨论动作模式对重合器动作的影响,并通过定性地理重合器的三种动作模式的差异,定量地比较常用的系统平均停电频率指数 SAIFI(System Average Interruption Frequency Index)和平均瞬时停电频率指数 MAIFI(Momentary Average Interruption Frequency Index)的大小,分析了这三种动作模式下的馈线可

靠性以及重合闸是如何提高配电网馈线可靠性的。

重合闸与故障示意图如图 1 所示。

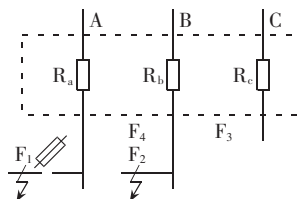


图 1 重合器及故障示意图

Fig.1 The diagrammatic sketch of recloser and faults

用 F_1, F_2, F_3 和 F_4 代表 4 种常见的故障。 F_1 代表有熔断器支路的单相接地故障, F_2 代表无熔断器支路的单相接地故障, F_3 代表两相故障, F_4 代表三相故障。 R_a, R_b, R_c 分别代表三相重合器的 A 相、B 相、C 相部分。

由于重合器的动作还取决于故障持续时间(永久故障或瞬时故障)和故障电流的大小,对重合器作如下设定:相间故障的分闸电流为 300 A,接地故障的分闸电流为 150 A,动作顺序为两次快速动作,两次延时动作。再对大小分别为 200 A 和 400 A 的电流进行讨论。由于 200 A 小于 300 A,所以 200 A 的电流不会引起相间分闸,而 400 A 的电流会引起相间分闸和接地分闸^[5]。

表 1 包含了重合器的动作结果。第 1 列指定了故障类型。第 2 列指出故障的持续时间。第 3 和第 4 列分别给出动作模式和故障电流大小(3/3, 1/3, 1/1 分别表示三相/三相、一相/三相、一相/一相模式),第 5 列到第 7 列分别给出三相的分闸次数。第 8 列到第 10 列中的 * 代表该相闭锁。最后 4 列给出目标分闸次数,即由于相间故障电流或者接地故障电流直接导致的分闸次数,不考虑动作模式对非故障相的影响^[4~6]。

表 1 重合器的动作结果
Tab.1 The results of recloser operations

类型	持续时间	动作模式	电流 /A	动作次数			闭锁			目标分闸次数			
				A	B	C	A	B	C	A	B	C	接地
F ₁	瞬时	3/3	400	1	1	1				1			1
F ₁	瞬时	1/3	400	1						1			1
F ₁	瞬时	1/1	400	1						1			1
F ₁	永久	3/3	400	2	2	2				2			2
F ₁	永久	1/3	400	2						2			2
F ₁	永久	1/1	400	2						2			2
F ₁	瞬时	3/3	200	1	1	1							1
F ₁	瞬时	1/3	200	1	1	1							1
F ₁	瞬时	1/1	200	1	1	1							1
F ₁	永久	3/3	200	2	2	2							2
F ₁	永久	1/3	200	2	2	2							2
F ₁	永久	1/1	200	2	2	2							2
F ₂	瞬时	3/3	400	1	1	1					1		1
F ₂	瞬时	1/3	400		1						1		1
F ₂	瞬时	1/1	400		1						1		1
F ₂	永久	3/3	400	4	4	4	*	*	*		4		4
F ₂	永久	1/3	400	1	4	1	*	*	*		4		4
F ₂	永久	1/1	400		4			*			4		4
F ₂	瞬时	3/3	200	1	1	1							1
F ₂	瞬时	1/3	200	1	1	1							1
F ₂	瞬时	1/1	200	1	1	1							1
F ₂	永久	3/3	200	4	4	4	*	*	*				4
F ₂	永久	1/3	200	4	4	4	*	*	*				4
F ₂	永久	1/1	200	4	4	4	*	*	*				4
F ₃	瞬时	3/3	400	1	1	1					1	1	
F ₃	瞬时	1/3	400		1	1					1	1	
F ₃	瞬时	1/1	400		1	1					1	1	
F ₃	永久	3/3	400	4	4	4	*	*	*		4	4	
F ₃	永久	1/3	400	1	4	4	*	*	*		4	4	
F ₃	永久	1/1	400		4	4		*	*		4	4	
F ₄	瞬时	3/3	400	1	1	1				1	1	1	
F ₄	瞬时	1/3	400	1	1	1				1	1	1	
F ₄	瞬时	1/1	400	1	1	1				1	1	1	
F ₄	永久	3/3	400	4	4	4	*	*	*	4	4	4	
F ₄	永久	1/3	400	4	4	4	*	*	*	4	4	4	
F ₄	永久	1/1	400	4	4	4	*	*	*	4	4	4	

由表 1 列出的结果可以看到下面几种情况。

a. 对于故障 F₁,当故障电流为 400 A 时,三相/三相模式下,重合器的三相均分闸,而一相/一相和一相/三相模式下,只有重合器的故障相才分闸。当故障电流为 200 A 时,三种模式下的动作是一样的。

b. 对于永久故障 F₂,故障电流为 400 A 时,三相/三相模式下,重合器的三相均分闸 4 次,在第 4 次分闸时闭锁;一相/三相模式下,重合器的故障相分闸 4 次,然后闭锁,另外两相随之分闸并闭锁;一相/一相模式下,重合器的故障相分闸 4 次,然后闭锁,其他两相不分闸。

c. 对于永久故障 F₃,传统的三相/三相模式下,重合器的三相均分闸,然后闭锁;一相/三相模式下,非故障相只分闸 1 次,然后闭锁;一相/一相模式下,非故障相不分闸。

d. 对于故障 F₄,三种模式下的动作是一样的。

3 馈线可靠性分析

通过计算 SAIFI 和 MAIFI 进行可靠性分析。计算公式如下:

$$SAIFI = \sum_i \lambda_i N_i / \sum_i N_i \tag{1}$$

式中 λ_i 和 N_i 为负荷点 i 年停运次数和所带用户数。

$$MAIFI = \sum_i \gamma_i N_i / \sum_i N_i \tag{2}$$

式中 γ_i 和 N_i 为负荷点 i 的年瞬时故障次数和所带用户数^[7,8]。

给出馈线上的用户数、永久故障的年次数和瞬时故障的年次数,可靠性指数 SAIFI 和 MAIFI 就可以算出来^[3,9,10]。设相间故障(F₃,F₄)的最小分闸电流为 300 A,接地故障的分闸电流为 150 A。对于永久

和瞬时接地故障(F_1, F_2),故障电流分为大于 300 A 和小于 300 A 两类。在分析带有熔断器支路上的接地故障时,馈线支路的数目也要指定,同时假设与每个支路相连的用户数目相等。

设馈线的支路数目为 30,用户总数为 1 500。“—”表示该条件与 SAIFI 和 MAIFI 的计算无关。馈线可靠性指数计算如表 2 所示。

只有在在一相/一相模式下发生 F_2 故障时,SAIFI 才有降低。在一相/一相或一相/三相模式下对于故

障 F_1, F_2 和 F_3 ,MAIFI 均有降低。

不同馈线情况下三重单相重合器对可靠性改善程度是有差别的。为了能清楚了解这种差别,对原来的假设条件作如下修改:

- a. 对于 F_1 类故障,支路总数由 30 变为 20;
- b. 对于 F_2 类故障,电流小于 300 A 的永久故障的年次数由 0 变为 1;
- c. 对于 F_3 类故障,用户总数由 1 500 变为 2 000;
- d. 对于 F_4 类故障,电流大于 300 A 的瞬时故障的年次数由 1 变为 2。

对修改后的条件作可靠性分析,结果如表 3 右半部所示。

从表 3 左边的结果,可以得到如下结论:采用一相/一相模式时,对于 F_2 类型故障 SAIFI 降低了 67%,而对于其他几种故障 SAIFI 没有降低,对于 4 种故障总的 SAIFI 降低了 32%。灵活地采用一相/一相或一相/三相模式时,能将 F_1, F_2, F_3 类型故障的 MAIFI 分别降低 67%,66%,33%,而 4 种故障总的 MAIFI 降低了 62%(以上均与 3/3 模式下的结果进行比较)。

从表 3 左右两部分的对比可看出,对于 F_1 类故障,支路数目的确影响 MAIFI 的值,但是不影响 MAIFI 降低的百分数。对于 F_2 类故障,SAIFI 仅降低了 34%,这是由于电流小于 300 A 的永久故障数由 0 变为 1。而用户总数的变化不会影响可靠性指数。

表 2 馈线可靠性指数计算结果

Tab.2 The calculated results of feeder reliability index

故障	模式	用户	支路	Y_{ID}	Y_{IX}	S_{ID}	S_{IX}	SAIFI	MAIFI
F1	3/3	1 500	30	3	0	12	0	0.1	14.9
F1	1/3	1 500	30	3	0	12	0	0.1	4.9
F1	1/1	1 500	30	3	0	12	0	0.1	4.9
F2	3/3	1 500	—	1	0	2	0	1	2
F2	1/3	1 500	—	1	0	2	0	1	0.67
F2	1/1	1 500	—	1	0	2	0	0.33	0.67
F3	3/3	1 500	—	0	—	1	—	0	1
F3	1/3	1 500	—	0	—	1	—	0	0.67
F3	1/1	1 500	—	0	—	1	—	0	0.67
F4	3/3	1 500	—	1	—	1	—	1	1
F4	1/3	1 500	—	1	—	1	—	1	1
F4	1/1	1 500	—	1	—	1	—	1	1

注: Y_{ID}, Y_{IX} 分别表示永久故障故障电流大于 300 A、故障电流小于 300 A; S_{ID}, S_{IX} 分别表示瞬时故障故障电流大于 300 A、故障电流小于 300 A。

表 3 可靠性指数比较

Tab.3 Comparison of reliability indices

可靠性指数	故障类型	条件修改前				条件修改后			
		模式			降低百分数 /%	模式			降低百分数 /%
		3/3	1/3	1/1		3/3	1/3	1/1	
SAIFI	F1	0.1	0.1	0.1		0.15	0.15	0.15	
	F2	1	1	0.33	67	2	2	1.33	34
	F3	0	0	0		0	0	0	
	F4	1	1	1		1	1	1	
	总计	2.1	2.1	1.43	32	3.15	3.15	2.48	21
MAIFI	F1	14.9	4.9	4.9	67	14.85	4.85	4.85	67
	F2	2	0.67	0.67	66	2	0.67	0.67	66
	F3	1	0.67	0.67	33	1	0.67	0.67	33
	F4	1	1	1		2	2	2	
	总计	18.9	7.24	7.24	62	19.85	8.19	8.19	59

4 结论

本文介绍了三重单相重合器的三种动作模式(三相/三相、一相/三相、一相/一相),以及在不同故障类型、故障持续时间、故障电流大小的情况下的动作顺序。通过计算两个常用的配电可靠性指数 SAIFI 和 MAIFI,证明了三重单相重合器的一相/三相和一相/一相模式能提高配电系统的可靠性。从可靠性分析结果可以得出如下结论:

- a. 馈线总的 SAIFI 只有在三重单相重合器的一相/一相模式下才有降低,主要是由于在该模式下,

发生故障 F_2 时 SAIFI 有显著降低;

- b. 采用三重单相重合器的一相/三相或一相/一相模式能显著降低馈线总的 MAIFI,在这两种模式下,主馈线的接地故障、两相故障的 MAIFI 都有减少;
- c. 对于三相故障,三种模式下的 SAIFI 和 MAIFI 都相同;
- d. 支路数目的变化不会影响可靠性指数降低的百分数;
- e. 改变用户数目不会影响可靠性。

由此可见,如果能够根据馈线的具体情况及历史运行记录使重合器工作在适当的模式,馈线的可靠性就能大幅度提高。

参考文献:

- [1] 金立军,刘卫东,钱家骊. 高压开关设备智能化发展综述[J]. 电网技术,2002,26(1):55-58.
JIN Li-jun, LIU Wei-dong, QIAN Jia-li. A summary of development of intelligent control of high voltage electrical apparatus [J]. **Power System Technology**, 2002, 26(1): 55-58.
- [2] 罗毅,李占柱. 配电网自动化实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,1999.
- [3] BISHOP M T, MCCARTHY C A, JOKEN J. Considering reliability in the selection of distribution system overcurrent devices[A]. **IEEE REPC 44th Annual Conference [C]**. Louisville, Kentucky, USA: IEEE, 2003. 311-317.
- [4] 陈堂,赵祖康. 配电系统及其自动化技术[M]. 北京:中国电力出版社,2003.
- [5] MCCARTHY C A, LIU H J. Predictive analysis ranks improvements[J]. **IEEE CAP**, 1999, 12(4): 35-40.
- [6] 黄梅. 馈线自动化方案讨论[J]. 华北电力技术, 2002, (1): 1-2, 8.
HUANG Mei. Research on feeder automation plan[J]. **North China Electric Power**, 2002, (1): 1-2, 8.
- [7] 程红丽. 重合器与分段器配合的馈线自动化改进方案[J]. 西安科技学院学报, 2003, 23(2): 205-207.
CHENG Hong-li. An improved recloser and sectionalizer based feeder automation [J]. **Journal of Xi'an Univer-**

sity of Science and Technology, 2003, 23(2): 205-207.

- [8] 李卫星,李志民,刘迎春. 复杂辐射状配电系统的可靠性评估[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(3): 69-73.
LI Wei-xing, LI Zhi-min, LIU Ying-chun. Evaluation of complex radial distribution system reliability [J]. **Proceedings of the CSEE**, 2003, 23(3): 69-73.
- [9] 刘健,倪建立,邓永辉. 配电自动化系统[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2002.
- [10] 谢莹华,王成山. 基于馈线分区的中压配电系统可靠性评估[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(5): 35-39.
XIE Ying-hua, WANG Cheng-shan. Reliability evaluation of medium voltage distribution system based on feeder partition method [J]. **Proceedings of the CSEE**, 2004, 24(5): 35-39.

(责任编辑:戴绪云)

作者简介:

向铁元(1953-),男,湖北仙桃人,教授,从事电力系统运行与控制方面的研究;

汪毅(1980-),男,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向为配电网自动化(E-mail:wangyi1980426702@126.com);

兰国良(1980-),男,湖北武穴人,硕士研究生,研究方向为高电压及绝缘技术;

谢鹏(1980-),男,湖北咸宁人,硕士研究生,研究方向为配电网自动化;

朱昌成(1979-),男,湖北潜江人,硕士研究生,研究方向为高电压及绝缘技术。

Study of new type recloser improving distribution system reliability

XIANG Tie-yuan, WANG Yi, LAN Guo-liang, XIE Peng, ZHU Chang-cheng

(School of Electric Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: Based on the traditional hydraulic recloser, an electronic recloser is introduced to improve distribution feeder reliability. It consists of three single-phase reclosers and possesses three operation modes. The operation modes are analyzed, as well as the operation sequences in different fault types, fault durations and fault currents. Lots of experimental data of recloser operation are presented. Reliability indices of SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) and MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) in three operation modes are calculated to evaluate the feeder reliability. Results show that the triple single-phase recloser improves distribution system reliability.

Key words: feeder reliability; reliability index; recloser