

双重化继电保护系统可靠性分析的数学模型

王树春

(嘉兴电力局, 浙江 嘉兴 314033)

摘要: 继电保护系统在电力系统中有极其重要的地位, 继电保护系统的可靠性直接影响电网的安全稳定运行。采用状态空间法建立了双重化配置继电保护系统的状态空间模型, 利用历史数据对 500 kV 母线保护和 500 kV 线路保护的可靠性进行了分析, 计算结果表明论文中建立的数学模型是一种实用的模型, 利用该模型的分析结果可以为检修决策提供参考。

关键词: 继电保护; 可靠性; 马尔科夫模型; 不可用度

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)18-0006-05

0 引言

电力系统中发生故障时, 如果继电保护装置不能正确动作切除故障, 就会导致事故扩大造成巨大的损失。所以, “确保继电保护系统处在完好状态, 能够保证动作的安全性和可靠性”是电力生产中一个非常重要的问题。

确保继电保护系统处于完好状态的途径有: 及时发现并消除继电保护装置的故障和缺陷; 对继电保护系统进行科学、有效的检修、维护。采取科学、有效的检修策略需要对继电保护系统进行可靠性分析。

系统可靠性分析的方法很多, 有概率法、故障树法、状态空间法等。继电保护系统属于可修复系统, 所以不适合用概率法分析, 本文采用状态空间法进行分析。

1 双重化配置继电保护系统可靠性分析的数学模型^[1,2]

1.1 双重化保护状态空间模型的一些说明

建立状态空间模型的一些假设条件:

- * 装置的故障率和维修效率都为常数。
- * 保护对象的故障率是常数。
- * 对装置进行检修时必须将该装置退出运行。
- * 各故障率都与装置所处状态无关且相互之间没有关系。
- * 对装置检修后能够发现系统的所有缺陷, 并将其修复到完好的状态。
- * 不考虑保护装置 R1、R2 和保护对象 C 三者同时发生故障的情况 (R1、R2 发生故障总有先后)。

* 在不停电检修模式中, 保护装置 R1、R2 的检修相互独立, 且不同时对 R1、R2 进行检修。

* 不考虑人为失误的影响, 只研究客观因素的影响。

状态空间模型中有关符号说明如表 1 所示。

表 1 状态空间模型中有关符号说明

Tab 1 Explanations on denotations of Markov models for dual-redundant relays

符号	含义
C	用于表示被保护的一次设备 (如线路、主变、母线等)
C+X	用于表示后备保护动作, 额外的一次设备被切除
R1、R2	用于表示保护装置 1、保护装置 2
UP	用于表示处于运行状态
DN	用于表示处于停运状态
ISO	用于表示一次设备被隔离
NS	用于表示对一、二次设备进行检修
REP	用于表示一、二次设备故障后, 检修人员对其进行维修

表 2 是对状态空间模型中使用的一些参数含义的说明。

1.2 双重化保护在不停电检修模式下的状态空间模型

双重化配置的保护系统在不停电检修模式下的状态空间模型如图 1 所示。状态 1 表示保护对象 C、保护装置 R1、R2 都处于正常运行状态的情况。状态 3、8、7、10 用于表示保护对象 C 处于正常运行状态, 两套保护装置中的一套由于各种原因不能正常工作的情况。状态 2、4、5、6 表示保护对象 C 处于正常运行状态, 两套保护装置 R1、R2 都因各种原因不能正常工作的情况。状态 9、12 表示保护对象 C 发生故障, 两套保护装置 R1、R2 都能正常工作的情况。状态 13、14 表示保护对象 C 发生故障, 两套保护中的一套不能正常工作而另一套能正常工作的情况。状态 11、15、16 用于表示保护对象 C 发生故障

表 2 状态空间模型中有关参数说明

Tab 2 Explanations on parameters of Markov models for dual-redundant relays

分类	序号	符号	说明	单位
故障率	1	F_p	继电保护装置的故障率,为装置平均无故障时间的倒数, $F_p = 1/MTBF$	次/年
	2	ST	继电保护装置的自检有效性系数,即保护装置能够通过自动发现装置故障占总故障的百分比	%
	3	ME	继电保护装置测量值检查有效性系数,即能够通过对保护装置的测量值检查发现保护装置故障占总故障的百分比	%
	4	F_{st}	继电保护装置可通过自检发现的保护装置故障 $F_{st} = F_p \times ST$	次/年
	5	F_{me}	可通过对继电保护装置的测量值检查发现的保护装置故障, $F_{me} = F_p \times ME$	次/年
	6	F_{pp}	继电保护装置运行中发生故障但未被发现的故障次数, $F_{pp} = F_p \times (1 - ST - ME)$	次/年
	7	F_c	保护对象(一次设备)的故障率	次/年
	8	F_{cc}	保护对象和保护装置同时发生故障的故障率	次/年
维修效率	9	R_c	保护对象的维修效率,一次设备发生故障后所需检修时间的倒数	次/h
	10	R_t	继电保护装置的检修效率,保护装置检修所需时间的倒数	次/h
	11	R_r	继电保护装置的维修效率,保护装置故障后进行维修所需时间的倒数	次/h
故障切除效率	12	S_n	主保护故障跳闸切除率,为主保护故障切除时间的倒数	次/h
	13	S_b	后备保护故障跳闸切除率,为后备保护故障切除时间的倒数	次/h
	14	S_m	人工操作隔离故障操作效率	次/h
检修频率	15	l_{pm}	继电保护装置检修周期,保护装置相邻两次检修之间的时间间隔	h
	16	IR_{pm}	保护装置检修率,检修周期的倒数, $IR_{pm} = 1/l_{pm}$	次/h
	17	l_{me}	继电保护装置测量值检查周期,保护装置相邻两次测量值检查之间的时间间隔	h
	18	IR_{me}	保护装置测量值检查率,测量周期的倒数, $IR_{me} = 1/l_{me}$	次/h

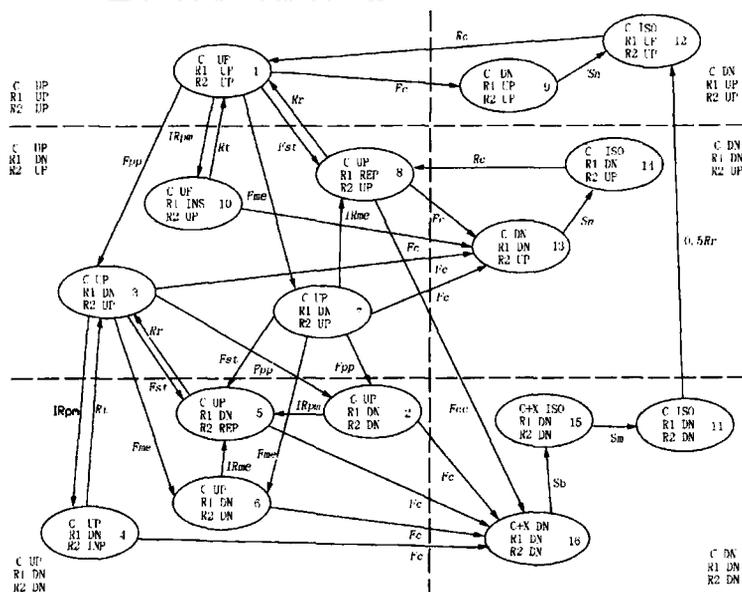


图 1 继电保护双重化配置在不停电检修模式下的状态空间模型图

Fig 1 Markov model of dual-redundant relays under on-line maintaining condition

而两套保护装置 R1、R2 都不能正常工作,后备保护动作将故障切除的情况。

根据图 1 可以得到图 1 所示状态空间模型的一步转移概率矩阵 M_1 ,其中

$$a_{11} = 1 - (F_{pp} + F_{me} + F_{st} + F_c + IR_{pm})$$

$$a_{22} = 1 - (IR_{pm} + F_c)$$

$$a_{33} = 1 - (F_{pp} + IR_{pm} + F_{st} + F_{me} + F_c)$$

$$a_{44} = 1 - (R_t + F_c)$$

$$a_{55} = 1 - (R_r + F_c)$$

$$a_{66} = 1 - (IR_{me} + F_c)$$

$$a_{77} = 1 - (F_{pp} + F_{st} + F_{me} + IR_{me} + F_c)$$

$$\begin{aligned}
 a_{88} &= 1 - (Rr + Fc + Fcc) \\
 a_{99} &= 1 - Sn \\
 a_{10} &= 1 - (Rt + Fc) \\
 a_{11} &= 1 - Rr \\
 a_{12} &= 1 - Rc
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{13} &= 1 - Sn \\
 a_{14} &= 1 - Rc \\
 a_{15} &= 1 - Sm \\
 a_{16} &= 1 - Sb
 \end{aligned}$$

$$M_1 = \begin{bmatrix}
 a_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Rr & 0 & Rt & 0 & Rc & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & a_{22} & Fpp & 0 & 0 & 0 & Fpp & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 Fpp & 0 & a_{33} & Rt & Rr & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & IRpm & a_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & IRpm & Fst & 0 & a_{55} & IRme & Fst & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & Fme & 0 & 0 & a_{66} & Fme & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 Fme & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{77} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 Fst & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & IRme & a_{88} & 0 & 0 & 0 & 0 & Rc & 0 & 0 & 0 \\
 Fc & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{99} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 IRpm & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & Sm \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Sn & 0 & Rr & a_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & Fc & 0 & 0 & 0 & Fc & Fc & 0 & Fc & 0 & 0 & a_{13} & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Sn & a_{14} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{15} & Sb \\
 0 & Fc & 0 & Fc & Fc & Fc & 0 & Fcc & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{16}
 \end{bmatrix}$$

$$P_1^T = (p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4 \ p_5 \ p_6 \ p_7 \ p_8 \ p_9 \ p_{10} \ p_{11} \ p_{12} \ p_{13} \ p_{14} \ p_{15} \ p_{16})$$

P_1 为模型中状态驻留概率列相量, p_i ($i = 1, 2,$

..., 16) 为模型中状态 i 的驻留概率, 并且 $\sum_{i=1}^{16} p_i = 1$

$$\begin{cases}
 (M_1 - E) \cdot P_1 = 0 \\
 \sum_{i=1}^{16} p_i = 1
 \end{cases}$$

(1)

1, 由 $M_1 \cdot P_1 = P_1$ 得 $(M_1 - E) \cdot P_1 = 0$, 其中 E 为单位矩阵。所以有

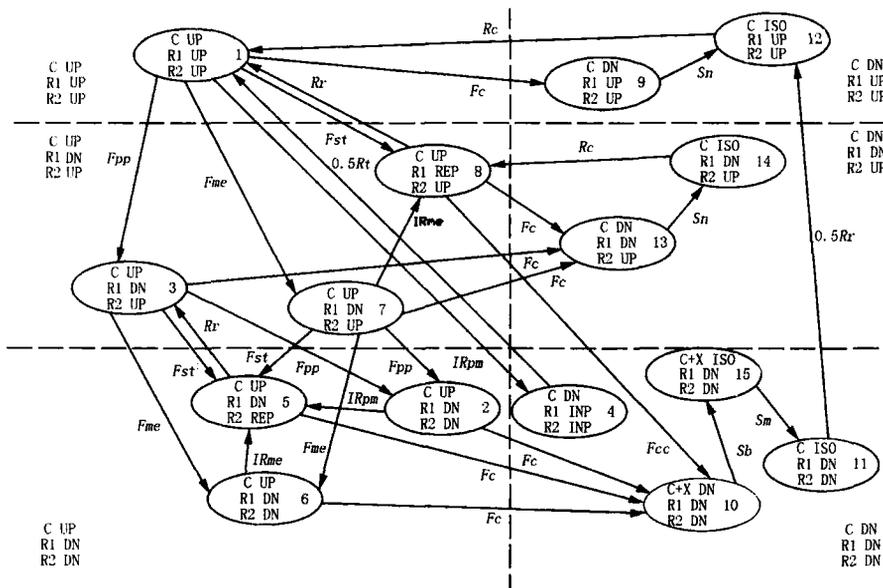


图 2 继电器双重化配置在停电检修模式下的状态空间模型图

Fig 2 Markov model of dual-redundant relays under off-line maintaining condition

1.3 双重化保护在停电检修模式下的状态空间模型

双重化配置的保护系统在停电检修模式下的状态空间模型如图 2 所示。状态 1 表示保护对象 C、保护装置 R1、R2 都处于正常运行状态的情况。状

态 3、8、7 用于表示保护对象 C 处于正常运行状态, 两套保护装置中的一套由于各种原因不能正常工作的情况。状态 2、5、6 表示保护对象 C 处于正常运行状态, 两套保护装置 R1、R2 都因各种原因不能正常

工作的情况。状态 9、12 表示保护对象 C 发生故障，两套保护装置 R1、R2 都能正常工作的情况。状态 13、14 表示保护对象 C 发生故障，两套保护中的一套不能正常工作而另一套能正常工作的情况。状态 10、11、15 用于表示保护对象 C 发生故障而两套保护装置 R1、R2 都不能正常工作，后备保护动作将故障切除的情况。状态 4 表示保护对象 C 停役时安排对保护装置 R1、R2 进行检修的情况。

根据图 2 可以得到图 2 所示状态空间模型的一步转移概率矩阵 M_2 ，其中

$$b_{11} = 1 - (Fpp + Fme + Fst + Fc + IRpm)$$

$$b_{22} = 1 - (IRpm + Fc)$$

$$M_2 = \begin{pmatrix} b_{11} & 0 & 0 & 0.5Rt & 0 & 0 & 0 & Rr & 0 & 0 & 0 & Rc & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{22} & Fpp & 0 & 0 & 0 & Fpp & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Fpp & 0 & b_{33} & 0 & Rr & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ IRpm & 0 & 0 & b_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & IRpm & Fst & 0 & b_{55} & IRme & Fst & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Fme & 0 & 0 & b_{66} & Fme & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Fme & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{77} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Fst & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & IRme & b_{88} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Rc & 0 \\ Fc & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{99} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Fc & 0 & 0 & Fc & Fc & 0 & Fcc & 0 & b_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{11} & 0 & 0 & 0 & Sm \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Sn & 0 & 0.5Rr & b_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & Fc & 0 & 0 & 0 & Fc & Fc & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{13} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Sn & b_{14} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Sb & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{15} \end{pmatrix}$$

$$P_2^T = (p_1 \ p_2 \ p_3 \ p_4 \ p_5 \ p_6 \ p_7 \ p_8 \ p_9 \ p_{10} \ p_{11} \ p_{12} \ p_{13} \ p_{14} \ p_{15})$$

P_2 为模型中状态驻留概率列相量， p_i ($i = 1, 2,$

..., 15) 为模型中状态 i 的驻留概率，并且 $\sum_{i=1}^{15} p_i =$

1，由 $M_2 \cdot P_2 = P_2$ 得 $(M_2 - E) \cdot P_2 = 0$ ，其中 E 为单位矩阵。所以有

$$\begin{cases} (M_2 - E) \cdot P_2 = 0 \\ \sum_{i=1}^{15} p_i = 1 \end{cases} \quad (2)$$

通过解 (1)、(2) 两式就可以得到两种模型在各个状态中的驻留概率，从而对继电保护系统的可靠性进行分析。

2 500 kV 保护可靠性计算实例

根据中国电力科学研究院和国家电网公司的统计^[4-11]，模型中参数取值如表 3 所示。

图 3 所示为 500 kV 母线保护不可用度随检修周期的变化曲线。由图 3 可见，如果检修周期太短会因检修太频繁而导致保护不可用度增加，因为很多时间保护都因检修而处于停役状态；如果检修周

$$b_{33} = 1 - (Fpp + Fst + Fme + Fc)$$

$$b_{44} = 1 - 0.5Rt$$

$$b_{55} = 1 - (Rr + Fc)$$

$$b_{66} = 1 - (IRme + Fc)$$

$$b_{77} = 1 - (Fpp + Fst + Fme + IRme + Fc)$$

$$b_{88} = 1 - (Rr + Fcc + Fc)$$

$$b_{99} = 1 - Sn$$

$$b_{10} = 1 - Sb$$

$$b_{11} = 1 - 0.5Rr$$

$$b_{12} = 1 - Rc$$

$$b_{13} = 1 - Sn$$

$$b_{14} = 1 - Rc$$

$$b_{15} = 1 - Sm$$

期太长，则会因为保护装置出现故障未能及时发现而导致保护不可用度增加。从图 3 看，500 kV 母线保护的检修周期在 7 000 h 左右为最佳，保护不可用度只有 0.1%；检修周期取 20 000 h，保护不可用度约为 0.16%。

表 3 状态空间模型参数取值表

Tab 3 Values of parameters for Markov model of dual-redundant relays

参数	500 kV 母线	500 kV 线路
Fc	1.85 次/百条年	0.792 26 次/条年
Fp	0.556 次/百台年	0.896 次/百台年
ST	0.3	0.9
ME	0	0
Rme	0 次/年	0 次/年
Fcc		1 次/百万 h
Rr		0.25 次/h
Rt		0.05 次/h
Rc		0.25 次/h
Sn		36 000 次/h
Sb		9 000 次/h
Sm		0.25 次/h

图 4 所示为 500 kV 线路保护不可用度随检修周期的变化曲线。由图 4 可见，随着检修周期的增

加,保护的不可用度随之增加。但当检修周期大到一定程度时,其对保护不可用度影响将减小。

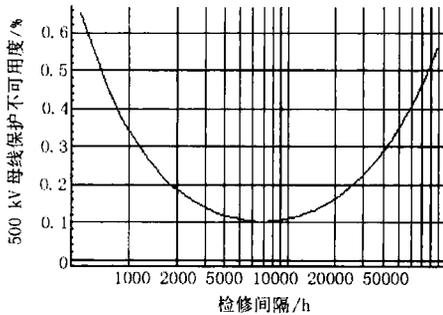


图 3 500 kV 母线保护不可用度

Fig 3 Unavailability of 500 kV bus protection

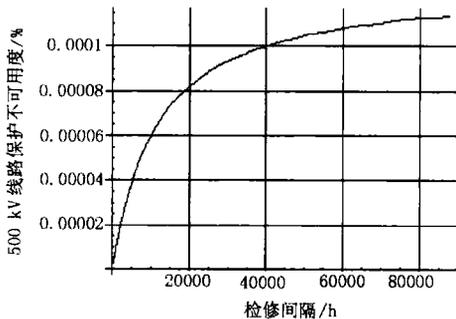


图 4 500 kV 线路保护不可用度

Fig 4 Unavailability of 500 kV line protection

3 结束语

状态空间法是分析继电保护系统可靠性的一个非常有效的方法。可靠性分析本身是一种统计规律的分析。分析结果的准确性主要取决于向模型提供的参数与实际情况的符合程度。这主要靠足够大的样本空间来保证确定参数的准确性。所以,电力系统的各级调度的继电保护管理部门应该非常重视各类保护装置可靠性数据的收集和分析,利用可靠性分析来指导继电保护的检修工作。

参考文献:

- [1] Kumm J J, Weber M S, Schweitzer E O, et al Philosophies for Testing Protective Relays [A]. 20th Annual Western Protective Relay Conference 1993. 19-21.
- [2] Kumm J J, Schweitzer E O, Hou D. Assessing the Effectiveness of Self-tests and Other Monitoring Means in Protective Relays [A]. 21st Annual Western Protective Relay Conference 1994. 18-20.
- [3] Kumm J J, Weber M S, Hou D, et al Predicting the Optimum Routing Test Interval for Protective Relays [J].

IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10

- [4] 周玉兰,等. 1995年全国继电保护及安全自动装置运行情况统计分析 [J]. 电网技术, 1996, 20(12): 57-61.
ZHOU Yu-lan, et al Operation Statistics and Analysis of Relay Protection and Automatic Devices of Chinese Power Systems in 1995 [J]. Power System Technology, 1996, 20(12): 57-61.
- [5] 周玉兰,等. 1996年全国继电保护与安全自动装置运行情况 [J]. 电网技术, 1997, 21(7): 69-75.
ZHOU Yu-lan, et al Operation Statistics and Analysis of Relay Protection and Automatic Devices of Chinese Power Systems in 1996 [J]. Power System Technology, 1997, 21(7): 69-75.
- [6] 王玉玲,等. 1997年全国继电保护与安全自动装置运行情况 [J]. 电网技术, 1998, 22(10): 53-57.
WANG Yu-ling et al Operation of Protective Relaying and Automation Devices of Power Systems in the Whole Country in 1997 [J]. Power System Technology, 1998, 22(10): 53-57.
- [7] 周玉兰,等. 1998年全国继电保护及安全自动装置运行情况 [J]. 电网技术, 1999, 23(11): 62-66.
ZHOU Yu-lan, et al Operation of Protective Relaying and Automation Devices of Power Systems in China in 1998 [J]. Power System Technology, 1999, 23(11): 62-66.
- [8] 周玉兰,等. 1999年全国继电保护及安全自动装置运行情况 [J]. 电网技术, 2000, 24(7): 66-70.
ZHOU Yu-lan, et al Operation of Protective Relaying and Automation Devices of Power Systems in China in 1999 [J]. Power System Technology, 2000, 24(7): 66-70.
- [9] 周玉兰,等. 2000年全国继电保护及安全自动装置运行情况 [J]. 电网技术, 2001, 25(8): 63-66.
ZHOU Yu-lan, et al Statistics and Analysis of Operation Situation of Protective Relays and Automation Devices of Power Systems in China in 2000 [J]. Power System Technology, 2001, 25(8): 63-66.
- [10] 周玉兰,等. 2001年全国电网继电保护及安全自动装置运行情况 [J]. 电网技术, 2002, 26(9): 58-63.
ZHOU Yu-lan, et al Operational Situation and Analysis of Domestic Protective Relaying and Secure Automation Devices in 2001 [J]. Power System Technology, 2002, 26(9): 58-63.
- [11] 周玉兰,等. 2002年全国继电保护与安全自动装置运行情况 [J]. 电网技术, 2003, 27(9): 55-60.
ZHOU Yu-lan, et al Statistics and Analysis of Operation Situation of Protective Relays and Automation Devices of Power Systems in China in 2002 [J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 55-60.

(下转第 14 页 continued on page 14)

- ogy Proceedings 2002 83-88
- [3] 贺仲雄,赵大勇. 模糊数学及其派生决策方法 [M]. 中国铁道出版社, 1992
HE Zhong-xiong, ZHAO Da-yong Fuzzy Mathematics and Deriving the Decision Method [M]. Beijing: China Railway Press, 1992
- [4] 桑在中,潘贞存,李磊,等. 小电流接地系统单相接地故障选线测距和定位的新技术 [J]. 电网技术, 1997, 21(10): 50-52, 55.
SANG Zai-zhong, PAN Zhen-cun, LI Lei, et al A New Approach of Fault Line Identification Fault Distance Measurement and Fault Location for Single Phase-to-ground Fault in Small Current Neutral Grounding System [J]. Power Systems Technology, 1997, 21(10): 50-52, 55.
- [5] 唐轶,陈奎,陈庆. 小电流接地系统单相接地电流安全测量方法 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24(18): 53-55.
TANG Yi, CHEN Kui, CHEN Qing A New Method for Measuring Single-phase-ground Current in System with Neutral Earthed via Peterson Coil [J]. Automation of Electric of Power Systems, 2000, 24(18): 53-55.
- [6] 王广学. 智能电力系统线路零序电流保护整定计算程序 [J]. 继电器, 1999, 27(4): 14-17.
WANG Guang-xue Brainpower Zero-sequence Current Protection Setting Program for Power System [J]. Relay, 1999, 27(4): 14-17.
- [7] Kundur TMS320C3X User's Guide [Z]. Texas: Texas Instruments Incorporated, 2001.

收稿日期: 2004-12-28; 修回日期: 2005-03-04

作者简介:

申东滨 (1979 -), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统继电保护; Email: sdb163@163.com

潘贞存 (1962 -), 男, 教授, 博士生导师, 研究领域为电力系统继电保护和安全自动控制;

张慧芬 (1970 -), 女, 博士研究生, 主要研究方向为电力系统配电网故障检测。

Comprehensive fault line selection method and its realization for single phase earth fault in distribution networks

SHEN Dong-bin¹, PAN Zhen-cun¹, ZHANG Hui-fen^{1,2}, ZHANG Fan¹

(1. School of Electric Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

2. School of Information Science and Engineering, Jinan University, Jinan 250022, China)

Abstract: Any individual fault line selection criterion can not select the faulty feeder correctly and completely during all conditions at present. A comprehensive fault line selection method is proposed in this paper in order to improve the correct rate of fault line selection criterion and perfect the performance of line selecting equipment. Fuzzy logic, based on four effective methods, is adopted to form comprehensive fault line selection criterion. MATLAB simulation gives satisfactory result that the comprehensive method can improve the correct rate of fault line selection. In the end, hardware design plan is described to develop fault line selection equipment.

Key words: distribution network; fault line selection; Fuzzy logic; DSP

(上接第 10 页 continued from page 10)

收稿日期: 2004-11-20; 修回日期: 2005-01-12

作者简介:

王树春 (1977 -), 男, 硕士, 工程师, 从事继电保护检修工作。Email: wangshuchun@jxep.com.cn

Markov model for reliability analysis of dual-redundant relays

WANG Shu-chun

(Jiaying Electric Power Bureau, Jiaying 314033, China)

Abstract: Protective relays play a very important role in electric power system. It is of vital importance to make sure that all relays are working perfectly. This paper presents a mathematical method to analyze the reliability of relay and establishes two Markov models for dual-redundant relays. The reliability of 500kV bus protection and 500kV line protection is analysed as well. The results shows that the models established in the paper are useful in maintenance decision.

Key words: protective relays; reliability analysis; Markov model; unavailability