

故障信息处理系统中继电保护装置的可靠性研究

郑 圣, 赵 航

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 针对继电保护装置的工作特点拟定了继电保护装置可靠性的特征量。建立了继电保护装置可靠性的马尔可夫模型, 运用状态空间法进行可靠性分析。最后提出了如何利用故障信息处理系统中大量丰富的信息实现继电保护装置可靠性分析的方法。

关键词: 可靠性; 马尔科夫模型; 继电保护故障信息处理系统

中图分类号: TM774 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2005)11-0037-03

0 引言

继电保护装置在电力系统中发挥着重要作用, 其正常工作与否将对电力系统的运行造成重大影响, 因此如何提高继电保护装置的可靠性也就成为人们日益关注的重要课题。随着微机型继电保护装置、故障录波器在电力系统中的大量应用, 继电保护故障信息处理系统也被电力系统广泛地采用。该系统的主站保存着一次设备、保护设备详细、丰富的数据资料, 利用这些数据对保护装置进行可靠性研究, 将为保护装置安全运行、及时维修提供依据。

1 继电保护装置可靠性特征量的拟定^[1]

在确定继电保护装置可靠性特征量时, 应该了解投运的保护装置的各种状态。工作状态: 装置长期接受通电考验。系统发生故障, 保护装置该动作时动作, 称为“正确动作”; 若不动作称“拒动”; 不该动作时动作称为“非选择性误动”。如果装置因本身故障而引起动作称为“系统无故障误动”。维修状态: 这种状态的特点是一年中进行一、两次, 每次几个小时或一、两天。

根据一般的可靠性概念, 考虑保护装置的特殊性, 假设保护装置的可靠度和维修度为指数分布, 则保护装置的可靠性特征量可如下定义:

1) 无故障误动率

$$w_1 = \frac{\text{无故障误动次数 } n_{w1}}{\text{运行时间累积 } T_0} \quad (1)$$

2) 误动率: 包括无故障误动率和非选择性误动率

$$w = \frac{n_{w1} + n_{w2}}{T_0} \quad (2)$$

3) 拒动率

$$j = \frac{\text{拒动次数 } n_j}{\text{运行时间累积 } T_0} \quad (3)$$

4) 运行失效率: 包括误动率和拒动率

$$n = w + j = \frac{n_1 + n_{w1} + n_{w2}}{T_0} \quad (4)$$

5) 平均无故障(有效)运行时间 *MTBF* (Mean Time Between Failures)

$$MTBF = \frac{1}{n} \quad (5)$$

6) 区内故障正确动作率 i_c

$$i_c = \frac{\text{区内故障正确动作次数 } n_{ic}}{T_0} \quad (6)$$

7) 区外故障正确不动作率 o_c

$$o_c = \frac{\text{区外故障正确不动作次数 } n_{oc}}{T_0} \quad (7)$$

8) 运行正确率 c : 包括区内故障正确动作率和区外故障正确不动作率

$$c = i_c + o_c = \frac{n_{ic} + n_{oc}}{T_0} \quad (8)$$

2 建立马尔可夫模型分析继电保护装置的可靠性

在进行可靠性分析时, 常用的方法有概率法、马尔可夫模型法、故障树分析法等。由于继电保护系统属于可修复系统, 不适合用概率法来求解, 因此运用马尔可夫状态模型法^[2], 分析继电保护装置的可靠性。运用马尔可夫模型分析继电保护装置的可靠性时, 应先建立保护装置的状态空间模型, 如图 1 所示。对保护装置作可靠性研究中, 作以下假设^[3]:

1) 装置的可靠度和维修度为指数分布;

2) 当定期检修或者故障停运后检修时, 能够检测出保护装置的故障;

- 3) 检修之后保护装置能恢复到完好的水平;
- 4) 在检修的过程中不会导致新的故障;
- 5) 检修的时候保护装置必须停运。

图 1 中,状态 0 为保护装置正常工作状态,当保护自检检测出保护有故障时,则由状态 0 转至状态 I,经过对保护装置的修复后从状态 I 回到状态 0。当保护自检没有检测出保护故障时,则由状态 0 转至状态 II,此时只有当装置误动或靠定期检修才能发现保护故障由状态 II 进入状态 I。状态 I 为保护装置进行定期检修,当定期检修时,从状态 I 转到状态 III,完成定期检修后从状态 III 转到状态 0。

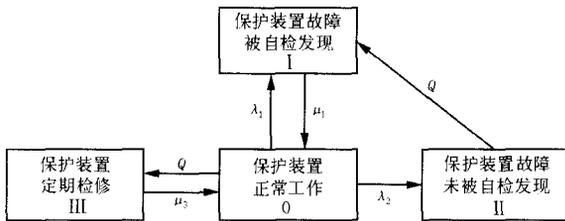


图 1 保护装置的状态空间模型

Fig 1 State space model of a protective relay

图 1 中的转移概率定义如下:

λ_1 为自检发现的保护装置的故障概率,次/h。
 λ_2 为未被自检发现的保护装置的故障概率,次/h。
 Q 为定期检修的周期,单位统一为:次/h。
 μ_1 为自检发现保护装置故障后的维修率,次/h。
 μ_2 为未被自检发现保护装置故障后的维修率,次/h。
 μ_3 为定期检修的维修率,次/h。

利用图 1 的状态空间模型求解各状态的稳态概率。由文献 [4] 可知,通过马尔可夫状态转移概率矩阵可以计算保护装置处于各个状态的稳态概率,由状态空间图可定义状态转移矩阵为:

$$A = \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2 + Q) & \lambda_1 & \lambda_2 & Q \\ \mu_1 & -\mu_1 & 0 & 0 \\ 0 & \mu_2 & -\mu_2 & 0 \\ \mu_3 & 0 & 0 & -\mu_3 \end{bmatrix}$$

再定义 4 个状态的驻留概率矩阵为:

$$P = [P_0 \ P_1 \ P_2 \ P_3]$$

$$PA = [P_0 \ P_1 \ P_2 \ P_3] \times$$

$$\begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2 + Q) & \lambda_1 & \lambda_2 & Q \\ \mu_1 & -\mu_1 & 0 & 0 \\ \mu_2 & 0 & -\mu_2 & 0 \\ \mu_3 & 0 & 0 & -\mu_3 \end{bmatrix} = 0 \quad (9)$$

又因为 $\sum_{i=0}^3 P_i = 1$

联立以上二式,即可解得

$$P_0 = \frac{\mu_1 \mu_3 Q}{\mu_1 \mu_3 Q + \mu_3 Q (\lambda_1 + \lambda_2) + \mu_1 \mu_3 \lambda_2 + \mu_1 Q^2} \quad (10)$$

由此可得保护装置的可用度为: $A = P_0$

保护装置的不可用概率为 $Relun$ (Relay Unavailability): $Relun = P_1 + P_2 + P_3 = 1 - P_0$

$$\mu_3 = 1/12 \text{ 次/h}, \lambda_2 = 8.5964 \times 10^{-6} \text{ 次/h}$$

得到结论:当每隔 1 181 小时左右进行一次检修, $Relun$ 降到最小。与文献 [5] 中得到的结论相近。

3 在故障信息处理系统中实现保护装置可靠性应用

3.1 利用故障信息处理系统获取所需的转移概率

1) 自检发现的保护装置故障的概率 λ_1 : 该数据可以利用故障信息处理系统主站所存储的大量的保护装置自检报告获得。从保护装置投入运行开始至当前时刻,主站所存储的该保护装置自检报告数可认为是保护装置故障并被自检发现的次数 n_1 ,保护装置运行的时间的累积 T_0 (这个时间不包括对保护装置进行维修时所花费的时间)。求得 $\lambda_1 = n_1 / T_0$ 。

2) 未被自检发现保护装置故障的概率 λ_2 : 我们认为如果自检未发现保护装置的故障,那么将会导致保护装置的误动或者拒动。从保护装置投入运行开始至当前时刻,主站所存储的该保护装置总的误动拒动记录的次数,可以认为是保护装置故障未被自检发现的次数 n_2 ,同 λ_1 的求法,可以求得 $\lambda_2 = n_2 / T_0$ 。

3) 定期检修的周期 Q : 这个数据从电力系统有关部门获得。

4) 自检发现保护装置故障后的维修率 μ_1 : 从保护装置投入运行开始至当前时刻,主站所存储的各次自检发现该保护装置故障后进行维修所花费的总时间以及总的次数,可以求得平均修复时间 $M TTR 1$ (Mean Time To Repair)。由于我们假设维修度为指数分布,所以可得: $\mu_1 = \frac{1}{M TTR 1}$ 。

5) 定期检修的维修率 μ_3 : 从保护装置投入运行开始至当前时刻,主站所存储的该保护装置各次定期检修所花费的时间总和以及总的次数,同 μ_1 的求法,可以求得: $\mu_3 = \frac{1}{M TTR 3}$ 。

3.2 故障信息处理系统中的保护装置可靠性应用

1) 利用自检报告、各种维修统计、装置误动拒动的统计、装置正确动作的统计,求继电保护装置的可靠性特征量。如:误动率 α_m 、拒动率 α_j 、运行失效率 α_n 、平均无故障(有效)运行时间 $MTBF$ 、区内故障正确动作率 α_{ic} 、区外故障正确不动作率 α_{oc} 、运行正确率 α_c 等。

2) 利用保护装置自检报告、误动拒动记录报告、保护装置的维修信息,建立如前文所述的马尔可夫模型,求得保护装置在各个状态的稳态概率,从而得到保护装置的可用度、失效率。

3) 改变 Q 的值,获得 A 或者 $Relun$ 随着 Q 变化的曲线。这样可以确定一个最佳的检修周期 Q_{opto} 。

4 结论

本文建立了继电保护装置的马尔可夫模型,利用继电保护故障信息处理系统中主站存储的保护装置的各种数据资料求得各项转移概率,根据马尔可夫状态转移概率矩阵计算保护装置处于各个状态的稳态概率。最终求得继电保护装置可用度、不可用概率以及最佳的检修周期 Q_{opto} 。在继电保护故障信息处理系统中实现继电保护装置可靠性的应用,为继电保护装置的安全可靠的运行提供了一定理论指导,提高了继电保护装置运行的可靠性。

参考文献:

[1] 晏国华. 继电保护装置可靠性指标体系的分析[J]. 继

电器, 1991, 18(1): 69-78

YAN Guo-hua Analysis of Reliability Index System of Relay Protection Device[J]. Relay, 1991, 18(1): 69-78

[2] 高社生,张玲霞. 可靠性理论与工程应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002

GAO She-sheng, ZHANG Ling-xia Reliability Theory with Engineering Application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002

[3] 李永丽,李致中,杨维. 继电保护装置可靠性及其最佳检修周期的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, 21(6): 63-65.

LI Yong-li, LI Zhi-zhong, YANG Wei Study of Reliability and optimal Routine Test Interval of Protective Relays [J]. Proceedings of the CSEE, 2001, 21(6): 63-65

[4] 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1986

GUO Yong-ji Reliability Principle and Application of Power System[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1986

[5] Kumm J J, Weber M S, Schweiter E O. Predicting the Optimum Routine Test Interval for Protective Relays [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10(2): 659-664.

收稿日期: 2004-09-22; 修回日期: 2004-11-16

作者简介:

郑 圣(1979-),男,硕士研究生,主要从事继电保护与自动化的研究; E-mail: zhengs@hispower.com.cn

赵 舫(1962-),男,副教授,硕士生导师,主要从事继电保护与自动化、嵌入式应用等方面的研究。

Reliability study of protective relays in relay protection and fault information system

ZHENG Sheng, ZHAO Fang

(Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: This paper offers reliability indices of protective relays based on characteristic of protective relays. A Markov probability model is established. Using the state space method, the reliability of protective relays is evaluated. This paper also proposes a method of analyzing reliability of protective relays based on relay protection and fault information system.

Key words: reliability; Markov model; relay protection and fault information system

欢迎订阅继电器杂志 2004年合订本
 订购热线 0374 - 3212444