



电力系统继电保护装置运行可靠性指标探讨

曾克娥

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北省 武汉市 430074)

RESEARCH ON OPERATION SITUATION AND RELIABILITY INDICES OF PROTECTIVE RELAYINGS IN POWER SYSTEM

ZENG Ke-e

(School of Electrical & Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, Hubei Province, China)

ABSTRACT: The definition and calculation of operative reliability indices of protective relayings in power system protection are closely related to the calculation of reliability indices of power system and the assessment, application, improvement and development of protective relaying units. It is a key link to determine the intension of operative state (i.e., the definition of correct action and incorrect action) of protective relayings, therefore, it is an important problem worth to be further researched whether the performance of protective relayings can be correctly and rationally reflected by the definition of operation state of protective relaying in the past. Here, some opinions about the intension and calculation of the reliability indices of protective relayings are put forward and it is hoped that these opinions can actively promote the rational assessment on the operating performance and the improvement of protective relayings

KEY WORDS: Reliability; Correct action rate; Incorrect action rate; Operation situation; Protective relayings

摘要: 电力系统保护中继电保护装置运行时可靠性指标的定义和计算与电力系统可靠性指标计算、继电保护装置的评价、使用、完善与发展等密切相关。而确定继电保护装置运行状态的内涵则是一个十分关键的环节。过去对于继电保护装置运行状态的定义是否能正确而合理地反映继电保护装置的性能是一个值得进一步深入探讨的重要问题。作者就继电保护装置可靠性指标的内涵和计算提出的看法,可以促进继电保护装置的运行性能的合理评估和保护装置的完善。

关键词: 可靠性; 正确工作率; 不正确工作率; 运行状态; 继电保护装置

1 引言

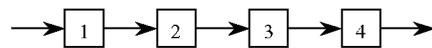
现代电力系统的发展使系统结构越来越复杂、

规模越来越庞大,因而发生复杂故障的可能性也越来越大。2003年8月美加的大停电事故再次警示人们:提高电力系统的监管和运行可靠性水平已刻不容缓。而电力系统中继电保护系统运行可靠性的好坏与电力系统的运行可靠性密切相关,尤其是继电保护系统的不正确动作不仅会使电力系统的故障扩大,甚至可能发生不良连锁反应而造成电力系统崩溃,导致大面积停电,造成重大经济损失,给人们生活造成严重影响^[1, 2]。人们已越来越感到研究电力系统运行的安全性和可靠性之重要与迫切,倍感到提高继电保护装置的运行性能和进行系统级保护研究的急迫性。

本文将就电力系统继电保护系统中继电保护装置运行可靠性中的某些相关问题进行初步的探讨。

2 继电保护系统及其装置运行状态的描述

电力系统中的继电保护系统不仅包含电流、电压互感器、继电保护装置,还应包括断路器甚至自动重合闸,线路继电保护系统构成见图1^[3]。



1—电流及电压变换器; 2—继电保护装置; 3—断路器跳、合闸机构; 4—自动重合闸装置

图1 线路保护系统的构成

Fig. 1 Composition of line protection system

由图1可见,该保护系统是一个串联系统,其中任何一个环节出现故障都将导致整个系统失去其应有的保护功能,即继电保护系统失去了可靠性。若整个串联系统的可靠性为 $P(S)$,串联系统中每个元件的可靠性分别为 $P(x_1)$ 、 $P(x_2)$ 、 $P(x_3)$ 和 $P(x_4)$,则

$$P(S) = P(x_1) P(x_2) P(x_3) P(x_4) \quad (1)$$

式中 $P(S)$ 为线路保护系统的可靠性; $P(x_1)$ 为变换器元件的可靠性; $P(x_2)$ 为继电保护装置的可靠性; $P(x_3)$ 为断路器跳、合闸机构的可靠性; $P(x_4)$ 为自动重合闸装置的可靠性。

继电保护系统和继电保护装置的运行状态一般有正确工作和不正确工作两种。因此, 继电保护装置运行的可靠性指标也存在两大类, 即正确工作率和不正确工作率^[4]。所谓保护装置的正确工作是经设计、整定和试验后允许的工作状态。过去, 继电保护装置运行的正确动作率的定义为(保护区内故障正确动作次数/总动作次数)×100%, 不正确动作率定义为(保护区内故障拒动作次数+区内、外故障误动作次数+正常运行时的误动作次数)/总动作次数×100%。这里总动作次数等于正确动作次数和不正确动作次数的和, 即区内故障正确动作次数、区内故障拒动作次数和区外故障及正常运行时的误动作次数之和。一位资深的继电保护专家 2001 年 10 月在一篇省电机工程学会优秀论文中认为, 这种计算是否合理值得讨论^[5]。因为既然将保护装置在正方向区外和反方向区外动作统计在不正确动作次数内, 则保护装置在正方向区外和反方向区外不动作也应认为是一种正确动作而计入正确动作率内, 否则将出现下述不正确结论。

例如, 若某一继电保护装置在一年内因为系统未发生内部故障而没有区内故障动作次数, 但在正方向区外和反方向区外发生的 100 次故障中却有 1 次误动, 按前述正确动作率计算方法则保护装置的正确动作率为 0, 不正确动作率为 100%。这种结论当然是不能接受的, 对保护装置的评价也极不公正和不合理。所谓不正确动作一般包含保护装置在其正、反向保护区外故障时误动作和电力系统正常运行时误动作以及保护区内故障时不动作(即拒动)。为此, 笔者认为, 既然当电力系统在正常运行时继电保护装置动作视为误动, 那么当电力系统在正常运行时继电保护装置正确不动作理应计在正确动作(称正确不动作)之列以计算正确工作率。这样才能真正正确评价一个继电保护装置的运行可靠性性能。

根据上述分析, 电力系统可靠性理论及电力系统继电保护相关规程中对保护装置的状态的相关约定, 继电保护装置的运行状态可描述为^[4]

$$X(t) = \begin{cases} 0 & \text{不正确动作 (误动和拒动)} \\ 1 & \text{正确动作 (正确动作和正确不动作)} \end{cases} \quad (2)$$

式中 $X(t)$ 为继电保护装置运行状态变量。

继电保护装置的运行状态只可能有两种: 正确动作和不正确动作。因而正确动作中就应该包含正、反方向区外故障正确不动作和正常运行时正确不动作。

3 继电保护装置的可靠性指标

根据式(2)对继电保护装置运行的状态描述及我国电力系统中的习惯, 继电保护装置可靠性指标主要由正确动作率 P_c (它包含区内故障正确动作率 P_{c1} 、区外(正、反方向)故障正确不动作率 P_{c2} 、正常运行时正确不动作率 P_{c3}) 和不正确动作率 P_e (它包含误动率 P_{e1} (含正方向区外故障误动率 P_{e11} 、反方向区外故障误动率 P_{e12} 和正常运行时误动率 P_{e2}) 和拒动率 P_{e3} ; 故障频率 f 等) 构成^[4,6]。

若继电保护装置正确动作次数为 R , 区内故障正确动作次数为 R_1 , 区外故障正确不动作次数为 R_2 , 正常运行时正确不动作次数为 R_3 , 则 $R = R_1 + R_2 + R_3$ 。

若继电保护装置不正确动作次数为 λ , 它含正、反方向区外故障误动作次数为 λ_1 (其中, 正方向区外故障误动作次数为 λ_{11} , 反方向区外故障误动作次数为 λ_{12}), 正常运行时误动次数为 λ_2 , 保护区内故障拒动次数为 λ_3 , 则保护装置不正确动作次数 $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = \lambda_{11} + \lambda_{12} + \lambda_2 + \lambda_3$ 。

因此, 可用下文给出的式(3)~(12)分别计算出保护装置运行的各种可靠性指标。但由于保护装置在正常运行时不动作次数无法计算, 其正确动作率暂只能表述为

$$P_c = \frac{R_1 + R_2}{R + \lambda} \quad (3)$$

式中 P_c 为保护装置的正确动作率; R_1 为区内故障正确动作次数; R_2 为区外故障正确不动作次数; $R + \lambda$ 为保护装置正确动作次数和不正确动作次数之和, 是定义正确动作率中总动作次数的新的内涵, 即包含了区外故障正确不动作的次数。

显然其正确动作率的理论计算指标仍会明显偏低, 也还不合理。但对于前述例子采用新的状态内涵和指标计算公式计算后得到的不正确动作率却为 1% 而不是 100%。由于继电保护装置只有正确动作和不正确动作两种状态, 因此也可推算出此时的正确动作率为 99%, 评价更趋合理。

保护装置的正确动作率又可细分为区内故障正确动作率和区外故障正确不动作率。它们分别按下述公式计算。

区内故障正确动作率指标为

$$P_{c1} = \frac{R_1}{R + \lambda} \quad (4)$$

式中 P_{c1} 为保护装置区内故障正确动作率。

区外故障正确不动作率指标为

$$P_{c2} = \frac{R_2}{R + \lambda} \quad (5)$$

式中 P_{c2} 为保护装置区外故障正确不动作率。

所以, 正确动作率为 $P_c = P_{c1} + P_{c2}$, 它能较为合理地评价继电保护装置的正确动作性能。

保护装置不正确工作率 P_e 的计算如下

$$P_e = \frac{\lambda}{R + \lambda} \quad (6)$$

式中 λ 为继电保护装置不正确动作次数。

而正方向区外故障误动率 P_{e11} 按下式计算

$$P_{e11} = \frac{\lambda_{11}}{R + \lambda} \quad (7)$$

式中 λ_{11} 为正方向区外故障误动作次数。

反方向区外故障误动率 P_{e12} 为

$$P_{e12} = \frac{\lambda_{12}}{R + \lambda} \quad (8)$$

式中 λ_{12} 为反方向区外故障误动作次数。

正常运行时误动率 P_{e2} 为

$$P_{e2} = \frac{\lambda_2}{R + \lambda} \quad (9)$$

式中 λ_2 为正常运行时误动次数。

这里, 将不正确动作率中的误动率细分为保护正方向区外故障误动率、反方向故障误动率和系统正常运行时的误动率能更深入、具体地分析其误动原因, 以便提出更为切实的措施, 提高和改进继电保护装置的运行性能。故总误动率 P_{e1} 为

$$P_{e1} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{R + \lambda} = \frac{\lambda_{11} + \lambda_{12} + \lambda_2}{R + \lambda} = P_{e11} + P_{e12} + P_{e2} \quad (10)$$

式中 正、反向区外故障误动率 P_Y 为

$$P_Y = P_{e11} + P_{e12} \quad (11)$$

而继电保护装置的拒动率 P_{e3} 可用下式计算

$$P_{e3} = \frac{\lambda_3}{R + \lambda} \quad (12)$$

式中 λ_3 为保护区内故障装置拒动次数。

继电保护装置的故障频率即不正确动作率 f 为该装置在单位时间内发生故障的平均次数为

$$f = \lambda / T \quad (13)$$

式中 T 为保护装置的运行时间; λ 则为时间 T 内总的不正确动作次数。

4 结论

电力系统继电保护装置运行的可靠性指标计算不仅关系到电力系统运行可靠性指标的正确评估, 而且关系到继电保护系统的正确评估及继电保护装置的正确使用、改进和完善。笔者就继电保护装置的可靠性指标计算提出的想法是:

(1) 将区外故障正确不动作纳入继电保护装置运行时正确工作率指标计算内能更合理、正确地评价其运行性能指标及利于其正确使用、改进和完善;

(2) 将正确工作率指标细分为区内故障正确动作率、区外故障正确不动作率(又分为正方向区外故障正确不动作率和反方向区外故障正确不动作率), 不正确工作率分为正方向区外故障误动作率、反方向区外故障误动作率、正常运行时误动作率和拒动率。这有利于对继电保护装置的运行性能及出现的问题进行更为具体深入的分析研究;

(3) 如何更进一步合理地计算保护装置运行的可靠性指标尤其是正确工作率指标是一个十分值得深入探讨的问题。

参考文献

- [1] 周孝信, 郑健超, 沈国荣, 等 (Zhou Xiaoxin, Zheng Jianchao, Shen Guorong *et al*). 从美加东北部电网大面积停电事故中吸取教训 (Draw lessons from large scale blackout in interconnected north America power grid) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 2003, 27(9): T1.
- [2] 胡学浩 (Hu Xuehao). 美加联合电网大面积停电事故的反思和启示 (Rethinking and enlightenment of large scope blackout in interconnected North America power grid) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 2003, 27(9): T2-T6.
- [3] 洪梅, 丁明, 戴仁昶 (Hong Mei, Ding Ming, Dai Renchang). 保护系统的概率模型及其对组合系统可靠性的影响 (A protective relaying management system in Hubei power network) [J]. 电网技术 (Power System Technology), 1997, 21(8): 44-48.
- [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, 1987.
- [5] 陈德树. 继电保护运行状况评价方法的探讨[A]. 湖北省电机工程学会优秀论文集[C], 2001.
- [6] 国家电力调度通信中心. 电力系统继电保护规定汇编[Z]. 北京: 中国电力出版社, 1997.

收稿日期: 2003-12-31.

作者简介:

曾克娥 (1946-), 女, 教授, 研究方向为电力系统继电保护及自动化。