

The Risk Assessment of Power Plant Relay Protection Setting Value Based on the Monte-Carlo Simulation

Liping Shen¹, Shubai Wang¹, Kejun Zhuang¹, Yun Xia², Lin Zhang²

¹Liujiaxia Hydro-Power Plant of Gansu Electric Power Corporation, Linxia Gansu

²Beijing Join Bright Digital Power Technology Company, Beijing

Email: linlinhaoyou@163.com, wangshubai@sohu.com

Received: Dec. 1st, 2015; accepted: Dec. 15th, 2015; published: Dec. 18th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Once the setting value of power plant relay protection becomes invalid, there must be losses of power, and it even causes serious outage. In order to make the setting value more utility, the risk assessment of setting value is presented in this paper. First of all, Monte Carlo method is used to simulate the states of setting values; then the definition and indicator of the risk assessment of setting value are introduced; at last, a practical example is used to verify the feasibility of the method proposed in this paper.

Keywords

Setting Values of Power Plant, Monte Carlo Method, Risk Assessment

基于蒙特卡洛模拟的发电厂继电保护定值风险评估

沈利平¹, 王树柏¹, 庄克军¹, 夏芸², 张琳²

¹国家电网甘肃刘家峡水电厂, 甘肃 临夏

²北京中恒博瑞数字电力科技有限公司, 北京

Email: linlinhaoyou@163.com, wangshubai@sohu.com

收稿日期：2015年12月1日；录用日期：2015年12月15日；发布日期：2015年12月18日

摘要

发电厂继电保护定值一旦失效会引发输送功率的损失，甚至造成严重的停电事故。为了使继电保护定值科学有效，本文对保护定值进行了风险评估。首先基于蒙特卡洛法对保护定值的运行状态进行仿真模拟；然后提出了发电厂继电保护定值风险的定义及评估指标；最后利用实际算例验证了该方法的可行性。

关键词

发电厂保护定值，蒙特卡洛，风险评估

1. 前言

发电厂继电保护装置是电力系统最重要的二次设备之一，是电厂安全运行的保障。继电保护一旦失效会引发输送功率的损失，甚至造成严重的停电事故。因此，评估继电保护定值的可靠性，成为近年来学者们关注的重要课题之一。

发电厂继电保护定值的评估工作自开展以来，在评估模型、评估方法和指标等方面取得了很大进展[1]。

从评估方法上来讲，可采用概率评估方法及风险评估方法进行评估。概率性评估方法只考虑了事故发生的概率，忽视了事故造成的后果；风险评估方法兼顾事故发生的概率与后果，可定量评价保护定值的可靠性。采用风险评估方法首先要选中系统的失效状态，及其对应的概率；然后对系统的失效状态进行分析，评估其后果，即风险评估。

从可靠性评估模型上来讲，可采用蒙特卡洛模拟法[2]、故障树分析法[3]、Markov 模型分析法[4]等。其中，蒙特卡洛模拟法与系统的规模和复杂程度的相关性不大，特别擅长处理含有复杂因素的问题。利用蒙特卡洛法，可得到与时间相关的概率性指标，可以指导维护人员合理分配系统维修资源，建立优化的维护计划。文献[5]利用蒙特卡洛法分析了状态空间分割在电力系统可靠性评估中的应用。文献[6]基于蒙特卡洛对并网光伏电站的发电可靠性进行了评估。文献[7]利用蒙特卡洛法实现了计入参数不确定影响的电网可靠性指标边缘概率分布计算。文献[8]将交叉熵引入蒙特卡洛方法中，以重要抽样技术为基础，对大规模电力系统中的稀有事件作以研究，并将改进的蒙特卡洛法应用于发电系统充裕度评估中。

本文主要工作：1) 基于蒙特卡洛方法，建立发电厂继电保护定值运行状态模型；2) 将继电保护定值的失效风险划分为拒动风险和误动风险，并确定发电厂保护定值的风险指标；3) 利用本文提出的方法对实际工程的定值风险进行分析。

2. 电厂保护定值状态与蒙特卡洛法

2.1. 发电厂保护定值状态

目前，发电厂继电保护的定值是在离线状态下根据电力系统运行的最大方式和最小方式计算获得的，与电力系统的具体运行方式没有关系。在某些特殊运行状态时，部分保护定值可能不能同时满足灵敏度和选择性的要求，存在一定的事故隐患，如果不能及时发现并进行调整，可能造成大范围的停电事故。为确定发电厂继电保护定值风险，首先要确定保护定值的状态：正常状态和失效状态，而失效状态又包

含拒动状态和误动状态。保护定值的正常状态和失效状态可以相互转化，如图 1 所示。

2.2. 蒙特卡洛法

根据是否要考虑系统状态的时序性，蒙特卡洛模拟法分为序贯蒙特卡洛仿真法、非序贯蒙特卡洛仿真法和准序贯蒙特卡洛仿真法[5]。

序贯蒙特卡洛仿真法考虑了保护定值状态的时序性，通过可靠性参数来确定每个保护定值所处的状态；非序贯蒙特卡洛仿真法又称为状态抽样法，通过概率抽样来确定保护定值的状态。

本文利用序贯蒙特卡洛仿真法来模拟发电厂保护定值状态的时序性。首先指定各保护定值初始时均处于正常状态，然后根据各保护定值可靠性参数来模拟其一年中定值转换状态。

$$T_{TTFi} = -\frac{1}{\lambda_i} \ln(\gamma_1) \quad (1)$$

$$T_{TTRi} = -\frac{1}{\mu_i} \ln(\gamma_2) \quad (2)$$

式中， T_{TTFi} 和 T_{TTRi} 分别为保护定值 i 的正常运行和修复时间； λ_i 和 μ_i 分别为保护定值的失效率和修复率； γ_1 和 γ_2 为(0, 1)之间均匀分布的随机数。

电厂各保护定值的运行状态如图 2 所示：横轴表示时间，纵轴表示保护定值的状态；状态“1”表示保护定值处于正常状态；状态“0”表示保护定值处于失效状态。

处于状态失效的保护定值，本文采用非序贯蒙特卡洛仿真法来确定其属于拒动状态还是误动状态。利用随机数发生器对保护定值 i 产生一个随机数 R ， R 在[0, 1]间均匀分布，将随机数与设定的经验值比较，便可的出保护定值是处于哪种失效状态：

$$S_i = \begin{cases} \text{误动状态} & R^3 \omega \\ \text{拒动状态} & 0 < R < \omega \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中： ω 为边界系数，可设置为经验值。

通过蒙特卡洛仿真，可以得出一年内继电保护的正常运行时间 T_{ZC} 、误动时间 T_{WD} 及拒动时间 T_{JD} ，那么：

$$P_{ZC} = \frac{T_{ZC}}{8762} \quad (4)$$

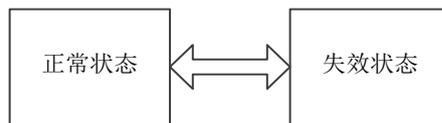


Figure 1. Transition diagram under setting value states
图 1. 定值状态转化图

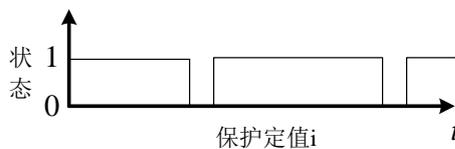


Figure 2. Changing process under setting value states
图 2. 定值状态转化过程图

$$P_{WD} = \frac{T_{WD}}{8762} \quad (5)$$

$$P_{JD} = \frac{T_{JD}}{8762} \quad (6)$$

式(4)~(6)中, P_{ZC} 、 P_{WD} 、 P_{JD} 表示继电保护的正常运行概率、误动概率及拒动概率。

3. 发电厂保护定值风险计算

3.1. 保护定值风险的定义

发电厂继电保护装置很少出现误动和拒动状况,但是一旦出现,将引发输送功率的损失,甚至造成严重的停电事故。因此,本文从风险的角度来分析保护定值的可靠性。从风险的角度来看,一方面,综合考虑了故障率及其导致的后果;另一方面,它既可以计算每个事故的风险,又可计算整个系统的风险。

IEEE 100-1992 电力系统开关装置标准将风险定义为对不希望发生的后果的概率和严重性的度量,通常采用概率与后果乘积的形式表达[9],即

$$R = P_R I \quad (7)$$

式(7)中: P_R 表示事故发生的概率; I 表示后果。

对发电厂而言,本文考虑继电保护定值失效造成的后果主要是输电线路损失的送电电量。基于此,继电保护风险可表示为:

$$R = \sum_{j=1}^N P_{Rj} P_j T_j \quad (8)$$

式(8)中: j 表示继电保护装置失效类别; P_{Rj} 表示第 j 种失效类别发生的概率; P_j 表示第 j 种失效类别造成的损失送电功率; T_j 表示第 j 种失效类别的期望修复时间(停电时间); N 表示继电保护装置失效数目。

3.2. 保护定值风险评估

3.2.1. 保护定值风险的计算

在风险指标中,将线路停运造成的停电损失作为评价事故严重程度的依据。本文在风险评估过程中,考虑两类功率损失,如图3所示:

1) 若继电保护误动,造成支路停运,其损失的功率为跳闸处的输电容量;

2) 若拒动,则会造成上级保护动作,扩大停电范围,损失的功率为跳闸处的输电容量减去应跳闸处的输送容量。保护风险评估过程中,要适时进行一次系统状态分析,按照系统状态计算相应的负荷损失[10]。

图3中:若保护 C 误动作,则损失的输送功率为 S_C ;若在 CE 首端发生故障时, C 保护应跳闸,但由于 C 保护拒动导致 A 保护动作,扩大了停电范围。这一过程损失的输送容量为:

$$S_B = S_A - S_C \quad (9)$$

式(9)中, S_A 表示保护 A 跳闸时,支路 AB 的负载容量; S_B 表示保护 A 跳闸时,支路 CE 的负载容量。

3.2.2. 保护定值风险评估

结合蒙特卡洛模型及保护定值的计算方法,可得继电保护装置的整体风险为:

$$R = P_{WD} \eta S_N T_{WD} + P_{JD} \eta S_N T_{JD} \quad (10)$$

式(10)中: η 为负载率; S_N 为支路的额定传输容量(MW); T_{WD} 表示保护误动后,支路停运时间; T_{JD} 表示

上级支路动作后，支路停运时间。

利用蒙特卡洛法对保护定值进行 N 年模拟，可得到年均风险值，如下式所示：

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{WD} \eta S_i T_{WD} + P_{JD} \eta S_i T_{JD}}{N} \quad (11)$$

$$\bar{R}_{WD} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{WD} \eta S_i T_{WD}}{N} \quad (12)$$

$$\bar{R}_{JD} = \frac{\sum_{i=1}^N P_{JD} \eta S_i T_{JD}}{N} \quad (13)$$

式(11)~(13)中： \bar{R} 表示年均风险值； \bar{R}_{WD} 表示年均误动风险值； \bar{R}_{JD} 表示年均拒动风险值。

4. 算例分析

本文以图4为例(只显示1台机接线)，来验证本文所述方法的可行性。该工程为某大型火电厂 2×300 MW 机组厂用电系统接线。电厂中两台发电机均采用发电机 - 变压器组单元接线形式。

该文风险计算用到的故障率等主要从历史数据得到。一般情况下，数据收集的时间越长，统计的信息结果越充分，越能正确反映电厂定值在不同的运行方式下的应用情况[11]。

系统中所有保护都有拒动和误动的风险。基于蒙特卡洛法对各保护定值的状态进行模拟，年限为 100 年。利用式(1)~(3)得到每年的误动时间 T_{WD} 和拒动时间 T_{JD} ，即可得年均误动时间和拒动时间：

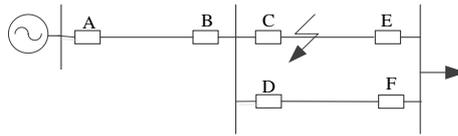


Figure 3. Picture of system structure
图 3. 系统结构图

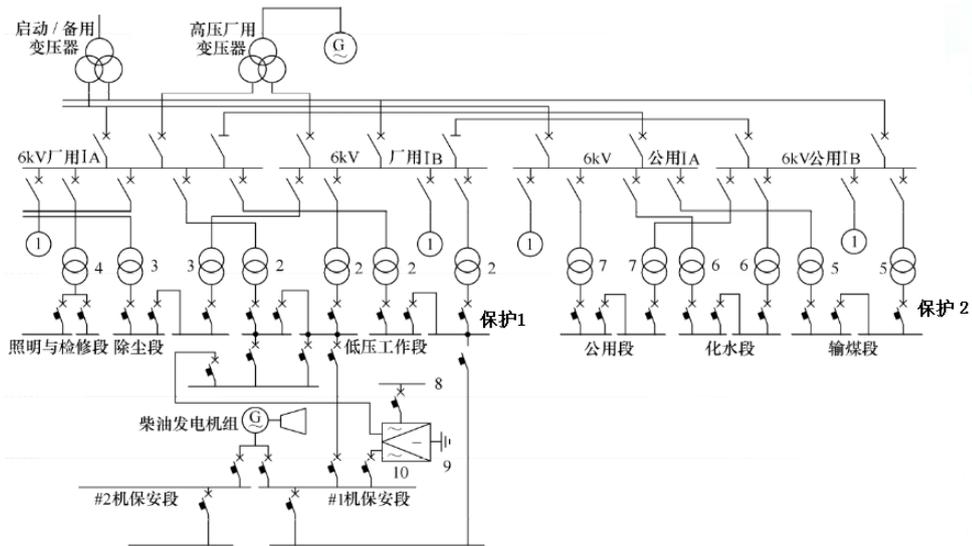


Figure 4. Picture of sample project
图 4. 示例工程图

$$\bar{T}_{WD} = \frac{\sum_{i=1}^{100} T_{WD}(i)}{100} \quad (14)$$

$$\bar{T}_{JD} = \frac{\sum_{i=1}^{100} T_{JD}(i)}{100} \quad (15)$$

式(14)、(15)中, \bar{T}_{WD} 、 \bar{T}_{JD} 分别表示保护定值的年均误动时间和拒动时间。利用式(4)、(5)、(6)得到各继电保护定值的误动概率及拒动概率。

本文以系统中的保护 1 和保护 2 为例进行说明, 保护 1 和保护 2 的蒙特卡洛仿真图如图 5 所示。

通过仿真模拟, 得到保护 1 和保护 2 的失效概率及时间, 结果如表 1 所示。

根据式(10), 可得到保护定值 C 的年均风险值(MW), 计算结果如表 2 所示。

从表 2 中可以看出:

(1) 保护定值的拒动风险要明显高于误动风险, 这说明保护拒动后造成的危害更大;

(2) 不同保护定值的风险不同, 因此电厂管理人员将所有保护定值的风险值进行排序, 根据风险值的大小来合理安排定值维修工作。

5. 结语

本文主要研究了电厂继电保护定值隐患的运行风险评估, 介绍了电厂继电保护定值运行风险评估的研究方法。首先基于蒙特卡洛法对保护定值的运行状态进行仿真模拟; 然后提出了发电厂继电保护定值

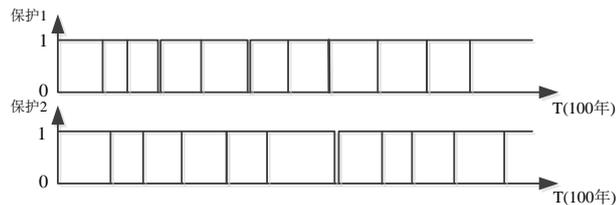


Figure 5. Picture of Monte-Carlo simulation

图 5. 蒙特卡洛运行仿真图

Table 1. Probability of failure and time

表 1. 失效概率及时间

| 保护名称 | 1 | 2 |
|---------------|-------|-------|
| 误动概率 P_{WD} | 0.38% | 0.35% |
| 拒动概率 P_{JD} | 0.33% | 0.35% |
| 年均误动时间 | 33 h | 31 h |
| 年均拒动时间 | 28 h | 31 h |

Table 2. Failure risk

表 2. 失效风险

| 保护名称 | 1 (MW) | 2 (MW) |
|-----------------------|--------|--------|
| 年均误动风险 \bar{R}_{WD} | 138 | 138 |
| 年均拒动风险 \bar{R}_{JD} | 220 | 256 |
| 年均风险值 \bar{R} | 357 | 394 |

风险的定义及评估指标；最后利用实际算例验证了该方法的可行性。为电厂管理人员提供了定值维护依据，对电厂的安全稳定运行有重要意义。

参考文献 (References)

- [1] 吴文传, 吕颖, 张伯明. 继电保护隐患的运行风险在线评估[J]. 中国电机工程学报, 2009(29): 78-83.
- [2] 戴志辉, 王增平, 焦彦军. 基于动态故障树与蒙特卡罗仿真的保护系统动态可靠性评估[J]. 中国电机工程学报, 2011(31): 105-113.
- [3] Beresh, R., Ciuffo, J. and Anders, G. (2008) Basic Fault Tree Analysis for Use in Protection Reliability. *International Journal of Reliability and Safety*, 2, 64-78. <http://dx.doi.org/10.1504/IJRS.2008.020773>
- [4] 张雪松, 王超, 程晓东. 基于马尔可夫状态空间法的超高压电网继电保护系统可靠性分析模型[J]. 电网技术, 2008(32): 94-99.
- [5] 王晓斌, 黄武浩, 楼华辉, 等. 系统状态空间分割法在电力系统可靠性评估中的应用[J]. 电网技术, 2012(35): 124-129.
- [6] 汪海瑛, 白晓民, 马纲. 并网光伏电站的发电可靠性评估[J]. 电网技术, 2012(36): 1-5.
- [7] 赵渊, 郭胤, 谢开贵. 考虑参数不确定的电网可靠性概率分布特征[J]. 电网技术, 2013(37): 2165-2172.
- [8] 王景辰, 李孝全, 杨洋, 等. 基于交叉熵的蒙特卡洛法在发电系统充裕度评估中的作用[J]. 电力系统保护与控制, 2013(41): 75-79.
- [9] 陈为化, 江全元曹一家. 考虑继电保护隐性故障的电力系统连锁故障风险评估[J]. 电网技术, 2006(30): 14-19.
- [10] 杨斯奥. 电力系统可靠性评估的等值方法[M]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.
- [11] 邹军华, 刘进辉, 樊荣兴. 电厂继电保护定值风险评估[J]. 中国科技信息技术, 2014(19): 160-161.