

DOI: 10.7500/AEPS201203166

一种继电保护定值在线校核评估方法

张海翔¹, 吕飞鹏¹, 廖小君²

(1. 四川大学电气信息学院, 四川省成都市 610065; 2. 四川电力职业技术学院, 四川省成都市 610072)

摘要: 为了使继电保护定值校核工作更加科学有效, 提出了基于保护重要度的继电保护定值在线校核新方法。首先建立了元件停运模型; 然后利用事件树分析法构造相关停运事件树, 从而得到不同的系统状态; 最后基于风险理论计算出线路和保护的重要度指标排序, 根据保护重要度降序排序可进行在线校核保护定值。通过 IEEE 9 节点系统的分析, 验证了该方法的可行性及正确性。

关键词: 在线校核; 保护重要度; 线路重要度; 元件停运模型; 事件树分析法

0 引言

继电保护装置是电力系统安全运行的保障, 同时也是极为重要的二次设备。美加大停电事故表明^[1-2], 大停电及连锁故障的发生与继电保护装置的不正确动作密切相关。因此, 提出一种在线校核保护装置的有效方法就显得极其迫切与重要。

文献[3]提出了继电保护定值在线校核的概念并初步探讨了校核方法。在线校核即利用能量管理系统(EMS)/数据采集与监控(SCADA)系统采集的电力系统实时数据, 实时判别系统所有保护在实时运行方式下的性能, 包括保护的保护区与选择性; 一旦存在保护拒动或误动隐患, 校核系统就会发出警报。在线校核这一概念的提出引起了学术界广泛关注, 众多学者在理论和实践上展开了深入的探索和研究。文献[4]提出了针对距离保护的校核原则; 文献[5]实现了基于集群计算机的保护定值在线校核并行计算方法; 文献[6]根据地区电网的特点, 开发了地区电网继电保护定值在线校验智能系统; 文献[7]开发了基于 EMS/DTS 的大地区在线继电保护智能预警系统, 并已经在线应用于某省级电网。

随着中国电力建设的飞速发展, 电网规模不断扩大, 对于规模庞大、运行方式多变的区域级电网, 按照传统的顺序或随机保护校核方法, 用户是不可能短时间内校核完所有保护。目前, 国内外鲜有对保护校核顺序研究的文献。基于此, 考虑到在电网中, 各继电保护的电气地理位置、配合关系、事故发生概率以及带来的后果均不相同, 即保护的重要程度不同, 本文提出了一种基于保护重要度的继电保护定值在线校核评估方法。该方法根据元件的停运

模型以及保护动作的时序建立了事件树, 利用事件树分析法定量评估出预想连锁故障给系统带来负荷孤立、发电机孤立、线路过载的风险; 基于这些风险, 全面地定义了线路和保护的重要度指标。根据求出的保护及线路重要度排序, 辨别出重要保护和关键线路, 从而优化了在线校核的过程, 使其更为合理有效。

1 元件停运模型

1.1 独立停运模型^[8]

电力系统包括发电机、线路、变压器、保护装置、电抗器等各类元件。本文主要考虑线路和保护装置, 每个元件模型只有 2 种稳定状态, 即正常运行状态和停运状态, 其余元件均假设 100% 正常运行, 即失效率为 0。

在独立停运模型中, 各元件发生停运事件的概率是独立的, 互不影响。最常用的可修复元件的独立停运模型可以通过稳态“运行—停运—运行”的循环过程来模拟。图 1 为元件的状态空间图, 图中 λ 为失效率(失效次数/年), μ 为修复率(修复次数/年)。

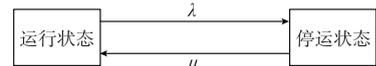


图 1 可修复元件状态空间图

Fig. 1 State-space diagram of repairable components

1.2 配合停运

在实际系统的运行中, 涉及多个元件的相关停运事件的概率远大于这些相同元件同时独立停运的概率。相关停运比独立停运对系统造成风险影响更大, 更容易引起连锁故障, 造成大范围停电。本文针

收稿日期: 2012-03-20; 修回日期: 2012-05-22。

对连锁故障,考虑了保护装置误动和拒动 2 种失效形式,而线路只考虑短路故障失效。

配合停运是指线路上的多个保护装置之间存在保护配合关系,1 个保护装置失效将会让其他具有配合关系的保护动作,从而迫使多个元件进入停运状态。

配合停运的示例如图 2 所示。若线路 L3 发生短路故障,保护 6 正确动作,保护 5 拒动,则保护 5 的远后备保护 1,3 同时动作,额外切除线路 L1,L2 以及母线 B₂。又如线路 L1 发生短路故障,保护 1,2 正确动作,但保护 2 的远后备保护 3,6 发生误动,将额外造成线路 L2,L3 以及母线 B₂ 停运。

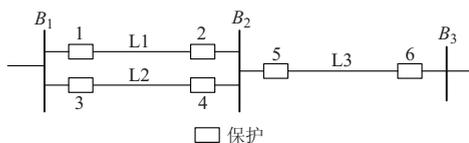


图 2 配合停运示例
Fig. 2 Demonstration of coordination relationships outage

1.3 连锁停运

连锁停运是指系统中第 1 个元件的失效引起第 2 个元件失效,第 2 个元件失效引起第 3 个元件失效,依此类推。其中,第 1 个元件被称为停运激发元件。这样的连锁停运常常会给系统造成极其严重的后果。图 3 给出了连锁停运的状态空间图。图中 λ₁ 是激发元件的失效率,λ₂ 是第 2 元件失效率;μ_r 是连锁停运恢复率,通常就是激发元件的修复率。

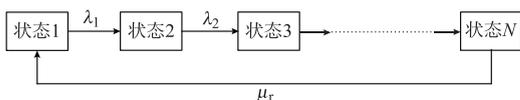


图 3 连锁停运示例
Fig. 3 Demonstration of cascading outage

状态 1 对应于所有元件正常运行,状态 2 是激发元件失效状态,状态 3 是第 2 个元件失效状态,依此类推。在实际应用中,可合理假设连锁故障发生时,状态转移过程太快,近似忽略除首尾状态外的其他所有状态,则可简化为类似于图 1 的两状态简单模型。处于状态 1 时,全部元件正常运行;处于状态 N 时,全部元件停运。

2 评估方法

2.1 事件树分析法

事件树分析(ETA)起源于决策树分析(DTA),它是一种按事故发展的时间顺序由初始事件开始推论可能后果的方法^[9]。事件树分析过程通常以系统

中的原发性故障为初始诱发事件,找出与其相关的后续事件,具体分析每个后续事件正常或失效的 2 种对立事件的概率,形成一棵倒立的树。从树最末尾的事件回溯到原发性事件的每条路径代表了一个时序逻辑事件序列,由此可以清晰地导出初始诱发事件引起的各种系统状态。

2.2 系统状态选择

当一条线路发生故障被切除后,与该线路相连的线路保护装置不正确动作的概率将大幅提高,而一个保护装置的拒动或误动,往往会引起其他保护的连续动作,这是造成连锁故障的常见形式^[10]。由事件树分析法的原理可知,此方法能较清晰地分析连锁故障的整个过程,并估计事故的可能后果。因此,本文将线路故障设为原发性故障(初始诱发事件),保护装置故障分为误动、拒动 2 种情况,利用事件树分析法,构造相关停运事件树,从而形成不同的系统状态。但考虑到该算法搜索到的系统状态数将随着事件树的层数呈指数级增加,若相关停运事件树的分支数不被限制,那么显然无法满足实时在线应用的要求。考虑到系统实际运行中,多重原发性故障和多重保护装置同时误动或拒动的发生概率极低。基于此,作出以下适当简化。

- 1) 初始诱发事件只考虑单重性故障。
- 2) 线路保护装置误动、拒动不同时发生。
- 3) 同一保护装置误动、拒动概率相互独立。
- 4) 发电机故障和变压器故障不予考虑,且发电机出口保护 100% 可靠。

基于上述考虑,图 4 描述了一个简单的保护动作事件树。

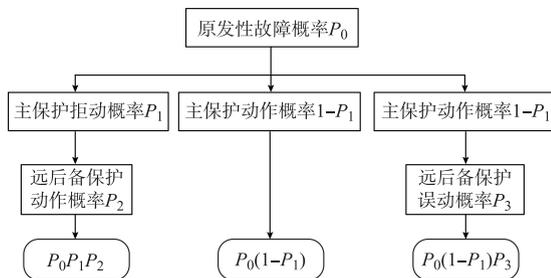


图 4 保护动作事件树
Fig. 4 Event tree of action of protections

3 评估指标

3.1 风险理论简介

IEEE 于 1993 年在文献[11]中将风险一词定义为概率和后果的乘积,用于分析电力系统的不确定性问题。因为风险具有可累加组合的性质,所以

使用风险指标既可以对个体也可以对整体进行定量评估。一般风险的表达式为:

$$R = PI \quad (1)$$

式中: R 为风险值; P 为事件的发生概率; I 为事件的产生后果。

3.2 风险指标

连锁故障是一种概率较低但后果严重的事故,它是由系统中某一元件故障引起一系列其他元件停运的连锁反应^[11]。文献[12-13]利用风险和概率的评估方法考虑了保护隐性故障对电网脆弱性的影响,但没有分析每个保护的重要度。本文将从发电机、负荷、线路潮流3个方面定义电力系统连锁故障的风险。假设第 k 个保护的正确动作概率、误动概率、拒动概率分别为 $P_C(k)$, $P_W(k)$, $P_J(k)$,且为互斥事件,满足式(2):

$$P_C(k) + P_W(k) + P_J(k) = 1 \quad (2)$$

通常情况下,保护装置的误动概率和拒动概率比较容易求得^[14],则通过式(2)能计算出保护正确动作的概率。

3.2.1 风险概率

1)当第 i 条线路发生短路故障,线路两端保护正确动作的概率为:

$$P_T(i) = P_L(i)P_C(k)P_C(k+1) \quad (3)$$

式中: $P_L(i)$ 为第 i 条线路的故障率,可以通过历年的统计数据求得; $P_C(k)$ 和 $P_C(k+1)$ 为第 i 条线路上两端保护装置正确动作的概率。

2)当第 i 条线路发生短路故障,第 k 个保护误动的概率为:

$$P_{TW}(i, k) = P_L(i)P_W(k) \quad (4)$$

3)当第 i 条线路发生短路故障,线路上第 k 个保护拒动,远后备保护正确动作的概率为:

$$P_{TJ}(i, k) = P_L(i)P_J(k) \prod_{j=1}^N P_C(j) \quad (5)$$

式中: $P_J(k)$ 为第 i 条线路上端保护装置拒动的概率;第 j 个保护为第 k 个保护的远后备保护; N 为其远后备保护的个数。

3.2.2 风险后果

1)第 x 种风险概率事件可能造成负荷孤立的后果为:

$$I_{LD}(x) = \delta(x) \frac{S_{LD}(x)}{S_B} \quad x=1,2,3 \quad (6)$$

式中: $I_{LD}(x)$ 为上述第 x 种概率事件可能造成负荷孤立的功率损失, x 可取1,2,3,依次表示线路故障时,保护正确动作、保护误动和保护拒动3种不同的概率事件; $S_{LD}(x)$ 为第 x 种概率事件造成负荷孤立

的视在功率损失; S_B 为系统的基准功率; $\delta(x)$ 为第 x 种概率事件的标志系数,若有负荷孤立, $\delta(x)$ 取1,否则取0。

2)第 x 种风险概率事件可能造成发电机孤立的后果为:

$$I_G(x) = \theta(x) \frac{S_G(x)}{S_B} \quad x=1,2,3 \quad (7)$$

式中: $I_G(x)$ 为上述第 x 种概率事件可能造成发电机孤立的功率损失, x 可取1,2,3,依次表示线路故障时,保护正确动作、保护误动和保护拒动3种不同的概率事件; $S_G(x)$ 为第 x 种概率事件造成发电机孤立的视在功率损失; $\theta(x)$ 为第 x 种概率事件的标志系数,若有发电机孤立, $\theta(x)$ 取1,否则取0。

3)为了反映保护装置可能的隐性故障,即在故障发生时或故障发生后瞬间,电力系统潮流的转移使一些线路可能出现过载的情况,使保护装置将电路元件错误地从系统中移除,从而可能造成连锁故障的风险,本文定义了第 i 条线路的潮流变化率为:

$$F(i) = \frac{S_L'(i) - S_L(i)}{S_L(i)} \quad (8)$$

式中: $S_L'(i)$ 为故障后第 i 条线路的视在功率; $S_L(i)$ 为故障前第 i 条线路的视在功率。

因此,本文定义第 x 种风险概率事件可能造成线路过载的后果为:

$$I_F(x) = \begin{cases} \sum_{i=1}^M |F(i)| & F(i) > 0 \text{ 或 } F(i) = -1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

式中: $I_F(x)$ 为第 x 种概率事件可能造成的线路过载后果, x 可取1,2,3,依次表示线路故障时,保护正确动作、保护误动和保护拒动3种不同的概率事件;当 $F(i) > 0$ 时,表示线路潮流在增大,有过载的风险;当 $F(i) = -1$ 时,表示线路潮流变为0,有造成停电的风险;其他情况则不需考虑。

在实际的应用中,可以在每条线路设置不同的阈值 ϵ 衡量该线路潮流的变化;若系统拓扑结构发生变化,线路的潮流变化率大于阈值 ϵ ,则该线路有过载的风险,系统应该及时发出预警使调度运行人员及时调整保护整定值或系统运行状态,以避免连锁故障的发生。

3.2.3 风险值

根据风险的定义,第 i 条线路发生短路故障造成负荷孤立的风险为:

$$R_{TLD}(i) = P_L(i)I_{LD}(1) \quad (10)$$

式中: $I_{LD}(1)$ 为线路故障时,保护正确动作造成负荷孤立的后果。

第 i 条线路发生短路故障造成发电机孤立的风险为:

$$R_{TG}(i) = P_L(i)I_G(1) \quad (11)$$

式中: $I_G(1)$ 为线路故障时, 保护正确动作造成发电机孤立的后果。

第 i 条线路发生短路故障造成线路过载的风险为:

$$R_{TF}(i) = P_L(i)I_F(1) \quad (12)$$

式中: $I_F(1)$ 为线路故障时, 保护正确动作造成线路过载的后果。

第 i 条线路发生短路故障, 第 k 个保护误动造成负荷孤立的风险为:

$$R_{TWLD}(i, k) = P_{TW}(i, k)I_{LD}(2) \quad (13)$$

式中: $I_{LD}(2)$ 为线路故障时, 保护误动造成负荷孤立的后果。

第 i 条线路发生短路故障, 第 k 个保护误动造成发电机孤立的风险为:

$$R_{TWG}(i, k) = P_{TW}(i, k)I_G(2) \quad (14)$$

式中: $I_G(2)$ 为线路故障时, 保护误动造成发电机孤立的后果。

第 i 条线路发生短路故障, 第 k 个保护误动造成线路过载的风险为:

$$R_{TWF}(i, k) = P_{TW}(i, k)I_F(2) \quad (15)$$

式中: $I_F(2)$ 为线路故障时, 保护误动造成线路过载的后果。

第 i 条线路发生短路故障, 第 k 个保护拒动造成负荷孤立的风险为:

$$R_{TJLD}(k) = P_{TJ}(i, k)I_{LD}(3) \quad (16)$$

式中: $I_{LD}(3)$ 为线路故障时, 保护拒动造成负荷孤立的后果。

第 i 条线路发生短路故障, 第 k 个保护拒动造成发电机孤立的风险为:

$$R_{TJG}(k) = P_{TJ}(i, k)I_G(3) \quad (17)$$

式中: $I_G(3)$ 为线路故障时, 保护拒动造成发电机孤立的后果。

第 i 条线路发生短路故障, 第 k 个保护拒动造成线路过载的风险为:

$$R_{TJF}(k) = P_{TJ}(i, k)I_F(3) \quad (18)$$

式中: $I_F(3)$ 为线路故障时, 保护拒动造成线路过载的后果。

对于含有 M 条线路的系统, 由第 k 个保护误动造成负荷孤立的风险为:

$$R_{TWLD}(k) = \sum_{i=1}^M P_L(i)P_W(k)I_{LD}(2) \quad (19)$$

由第 k 个保护误动造成发电机孤立的风险为:

$$R_{TWG}(k) = \sum_{i=1}^M P_L(i)P_W(k)I_G(2) \quad (20)$$

由第 k 个保护误动造成线路过载的风险为:

$$R_{TWF}(k) = \sum_{i=1}^M P_L(i)P_W(k)I_F(2) \quad (21)$$

3.3 重要度指标

本文将第 i 条线路短路故障所造成的负荷、发电机、线路过载风险的加权和作为衡量第 i 条线路重要与否的指标, 即第 i 条线路的重要度指标定义为:

$$W_L(i) = \omega_L R_{TLD}(i) + \omega_G R_{TG}(i) + \omega_F R_{TF}(i) \quad (22)$$

式中: $\omega_L, \omega_G, \omega_F$ 分别为负荷风险、发电机风险和线路过载风险的权重系数, 且 $\omega_L + \omega_G + \omega_F = 1$ 。

类似地, 把第 k 个保护误动和拒动造成的负荷、发电机、线路过载风险的加权和作为衡量第 k 个保护重要与否的指标, 即第 k 个保护的重要度指标定义为:

$$W_P(k) = \omega_L [R_{TWLD}(k) + R_{TJLD}(k)] + \omega_G [R_{TWG}(k) + R_{TJG}(k)] + \omega_F [R_{TWF}(k) + R_{TJF}(k)] \quad (23)$$

线路和保护的重要度指标越大, 说明该线路保护越重要, 即重要度指标大的线路和保护为关键线路和保护。对于关键线路, 可以通过加强该线路的保护设备和实时监控, 从而以较小代价换取较高的可靠性; 对于关键保护, 可以采取优先在线校核从而以最短时间降低大规模停电事故发生的概率。

4 评估算法流程

该评估算法流程如图 5 所示。

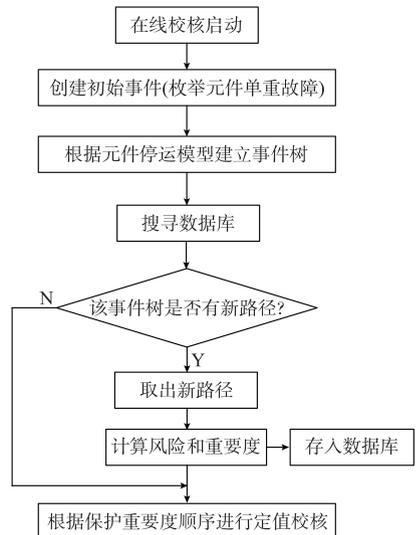


图 5 重要度评估流程

Fig. 5 Flow chart of importance assessment

本文提出的算法有以下优势。

1)程序实现较简单,能满足在线实时应用要求。

2)在计算系统失效概率时,计及了元件的正确工作概率,比其他方法更加精确。

3)事件树的每条路径只计算1次,且生成的事件树没有发生更新时,可以重复使用,效率较高。

5 算例分析

本文采用 IEEE 9 节点测试系统为例对所提出的算法进行仿真验证,如图 6 所示。对其 6 条线路、3 台变压器和对应的 18 个保护进行重要度评估,线路、变压器均等值为支路,按标么值计算。假设不考虑保护装置的差异性,即保护的拒动概率均取为 0.005^[14],保护的误动概率均取为 0.005^[13];系统中负荷孤立、发电机孤立和线路过载的权重系数分别取为 0.2,0.3,0.5^[13],本算例重点考查线路过载的风险,以检测隐性的连锁故障发生。

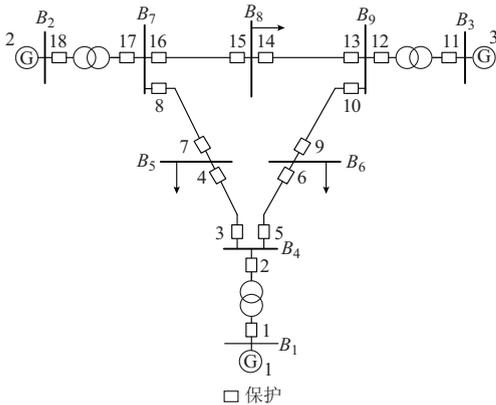


图 6 算例系统
Fig. 6 Test system

经式(22)计算得到各支路重要度指标,并列出了相对应的过载最严重的线路,如表 1 所示。

表 1 支路重要度
Table 1 Branch line importance

支路编号	重要度	最严重过载线路	支路编号	重要度	最严重过载线路
(2,7)	0.024 12	(8,9)	(3,9)	0.011 91	(4,6)
(7,8)	0.019 13	(8,9)	(1,4)	0.008 14	(7,5)
(5,7)	0.019 08	(8,9)	(4,6)	0.005 90	(6,9)
(6,9)	0.015 58	(8,9)	(8,9)	0.005 35	(7,8),(6,9)
(4,5)	0.012 45	(8,9)			

由表 1 的支路重要度计算结果可以看出,排在前 3 位的支路(2,7),(7,8)和(5,7)的重要度远大于其他支路,因此这 3 条支路为关键支路,支路(7,8)和(5,7)为关键支路;这是因为 2 号发电机发出的有功功率非常大,所以造成出端所连 3 条支路的重要

度很大,应当加强支路上的保护装置。但同时也要注意到有 5 条支路(2,7),(7,8),(5,7),(6,9)和(4,5),发生故障被切除时,支路(8,9)都为最严重过载支路,且当支路(8,9)故障时,同时有 2 条支路严重过载。这表明支路(8,9)是潜在的重要支路,容易受到其他支路故障的影响,潮流波动较大,应对其进行重点监控,以防止连锁故障发生。

经式(23)计算得到各保护重要度指标,如表 2 所示。

表 2 保护重要度
Table 2 Relay protection importance

保护装置编号	重要度	保护装置编号	重要度
18	4.402×10^{-4}	6	2.000×10^{-4}
7	4.036×10^{-4}	3	1.656×10^{-4}
15	3.697×10^{-4}	17	1.626×10^{-4}
8	2.558×10^{-4}	1	1.590×10^{-4}
9	2.464×10^{-4}	10	1.589×10^{-4}
11	2.335×10^{-4}	5	1.425×10^{-4}
14	2.234×10^{-4}	13	1.369×10^{-4}
4	2.230×10^{-4}	12	0.889×10^{-4}
16	2.106×10^{-4}	2	0.725×10^{-4}

由表 2 的保护重要度计算结果可知,排在前 3 位的 18,7 和 15 号保护的重要度远远大于其他保护,因此这 3 个保护为本算例的关键保护。从表 1 可看出,18,7 和 15 号保护分别在支路(2,7),(5,7)和(7,8)上,而支路(2,7),(5,7)和(7,8)正是本算例的关键支路,可以看出,保护的重要度是由本身的特性和电网的拓扑结构决定。综上所述,算例的结果验证了该方法的正确性和可行性。

6 结语

本文提出了基于保护重要度的继电保护在线校核新方法。本文既考虑了保护的误动,又考虑了保护的拒动;同时定义了线路过载的风险,大大提高了对隐性连锁故障的侦测能力。通过线路和保护重要度指标,可以方便地辨识系统薄弱环节以及实现按保护重要度由高到低的顺序依次对各保护进行在线校核,避免了传统的随机或顺序校核各保护带来的弊端,对提高电力系统的稳定性和可靠性有着十分重要的意义。

参考文献

[1] PHADKE A G, THORP J S. Expose hidden failures to prevent cascading outages[J]. IEEE Computer Applications in Power, 1996, 9(3): 20-23.
 [2] 胡学浩. 美加联合电网大面积停电事故的反思和启示[J]. 电网技术, 2003, 27(9): 2-6.
 HU Xuehao. Rethinking and enlightenment of large scope

- blackout in interconnected North America power grid[J]. Power System Technology, 2003, 27(9): 2-6.
- [3] 曾耿晖,李银红,段献忠. 电力系统继电保护定值的在线校核[J]. 继电器, 2002, 30(1): 22-24.
ZENG Genghui, LI Yinhong, DUAN Xianzhong. A discussion about on-line verifying of relay setting in power system[J]. Relay, 2002, 30(1): 22-24.
- [4] 黄超,李银红,陶佳燕,等. 基于整定逆过程的保护定值在线校核原则[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(12): 59-64.
HUANG Chao, LI Yinhong, TAO Jiayan, et al. On-line verification principle based on inverse process of protection setting[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(12): 59-64.
- [5] 吕颖,张伯明. 基于集群计算机的保护定值在线校核[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(14): 12-16.
LÜ Ying, ZHANG Boming. On-line relay setting check based on computer cluster [J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(14): 12-16.
- [6] 朱永利,宋少群,朱国强,等. 地区电网保护定值在线校验智能系统[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(6): 87-92.
ZHU Yongli, SONG Shaoqun, ZHU Guoqiang, et al. An intelligent system for on-line verification of relay setting in sub-transmission networks [J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(6): 87-92.
- [7] 吕颖,孙宏斌,张伯明,等. 在线继电保护智能预警系统的开发[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(4): 1-5.
LÜ Ying, SUN Hongbin, ZHANG Boming, et al. Research and development of an online intelligent early warning system of protective relaying[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(4): 1-5.
- [8] 李文沅. 电力系统风险评估模型、方法和应用[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 23-30.
- [9] 周经论,龚时雨,颜兆林. 系统安全性分析[M]. 长沙: 中南大学出版社, 2003: 114-115.
- [10] TAMRONGLAK S, PHADKE A G, HOROWITZ S H, et al. Anatomy of power system blackouts: preventive relaying strategies [C]// Proceedings of the IEEE/PES Winter Meeting, January 29-February 2, 1995, New York, NY, USA, 1995.
- [11] IEEE. The new IEEE standard dictionary of electrical and electric terms: including abstracts of all current IEEE standards[M]. New York, USA: Institute of Electrical & Electronic Engineer, 1993.
- [12] 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(13): 14-25.
CHEN Weihua, JIANG Quanyuan, CAO Yijia. Risk assessment of power system cascading failure consideration hidden failures of protective relays [J]. Power System Technology, 2006, 30(13): 14-25.
- [13] YU Xingbin, SINGH Chanan. A practical approach for integrated power system vulnerability analysis with protection failures[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2004, 19(4): 1811-1820.
- [14] 吴文传,宁辽逸,张伯明,等. 一种考虑二次设备模型的在线静态运行风险评估方法[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(7): 1-5.
WU Wenchuan, NING Liaoyi, ZHANG Boming, et al. Online operation risk assessment for power system static security considering secondary device models [J]. Automation of Electric Power Systems, 2008, 32(7): 1-5.

张海翔(1988—),男,通信作者,硕士研究生,主要研究方向:电力系统继电保护。E-mail: 826109602@qq.com

吕飞鹏(1968—),男,博士,教授,主要研究方向:电力系统继电保护。E-mail: fp.lu@tom.com

廖小君(1974—),男,硕士,副教授,主要研究方向:电力系统继电保护。E-mail: liaoxj_px@sina.com

(编辑 丁琰)

An Assessment Method for On-line Verification of Relay Protection Setting

ZHANG Haixiang¹, LÜ Feipeng¹, LIAO Xiaojun²

(1. School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Sichuan Electric Vocational and Technical College, Chengdu 610072, China)

Abstract: In order to make the verification of relay protection setting more scientific and effective, a new method for on-line verification of relay protection setting based on protection importance is presented. Firstly, the component outage models are developed. Secondly, the related outage event tree is constructed by using the event tree analysis method, thus resulting in obtaining different system states. Finally, the order of line importance and protection importance indicators is found by calculation based on the risk theory. According to the descending order of protection importance, on-line verifying the protection of values can be conducted. It is shown by IEEE 9-bus system that the method is feasible and correct.

Key words: on-line verification; protection importance; line importance; component outage model; event tree analysis