

利用过程免疫时间优化保护的电压暂降缓减方案

李丹丹¹,肖先勇¹,刘 阳¹,李铁牛²,刘旭娜¹

(1. 四川大学 电气信息学院,四川 成都 610065;

2. 深圳市海亿达能源科技股份有限公司,广东 深圳 518057)

摘要: 电压暂降对敏感过程的影响与导致暂降的故障电流、清除故障的保护定值以及过程暂降免疫力有关。引入过程免疫时间和用户可接受后果状态的概念,确定用户可接受的暂降持续时间,将过程免疫力分为 3 个等级。研究过程免疫时间与三段式电流保护定值之间的关系,提出通过利用过程免疫时间优化保护缓减电压暂降影响的方案。对 IEEE 14 节点配电系统、某实际含短线路配电系统和 2 种典型敏感过程进行仿真,验证了所提方法的正确性和有效性。结果证明,对于过程免疫时间较长的敏感过程,所提方法可有效缓减由 II 段和 III 段电流保护以及含短线路系统中由带延时的电流保护清除的故障所引起的电压暂降的影响。

关键词: 敏感过程; 电压暂降; 免疫力; 过程免疫时间; 可接受后果状态; 保护; 优化; 缓减措施

中图分类号: TM 712

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-6047.2014.09.016

0 引言

电压暂降主要由系统故障等引起,是系统正常运行不可避免的现象,给敏感过程和设备(简称“过程”)造成了巨大影响^[1-3]。低成本缓减电压暂降已成为当前的研究热点。配电网故障是导致暂降的主要原因,暂降深度、持续时间与供配电系统的保护、自动重合闸等装置的定值、配合有关,暂降影响程度还取决于过程免疫力、用户可接受后果状态。因此,研究过程暂降免疫力和用户可接受后果状态,寻找保护与暂降影响程度间的关系,研究电压暂降低成本缓减方案,具有重要理论价值和现实意义。

国内外对电压暂降评估、敏感度、电压耐受能力

及其兼容性等开展了大量研究^[4-6]。暂降评估方法有故障点法^[7]、临界距离法^[8]和暂降域法^[9]等,可评估故障引起的暂降频次,但不能确定暂降持续时间^[10-11]。文献^[12-14]考虑电压耐受能力的不确定性,提出了设备敏感度模糊随机、随机模糊、多重不确定性评估方法,但未深入研究暂降与设备响应事件的映射关系。事实上,电压暂降问题是系统暂降与过程免疫力之间的兼容性问题,因此,研究电压暂降问题应同时考虑系统电压暂降确定因素、过程免疫力和用户可接受后果状态,其中,三者的联系桥梁是关键。

中低压供配电系统主要采用电流保护,保护电流和动作时间定值确定了被保护故障导致的暂降幅值和持续时间^[15-16]。即保护动作时间与暂降持续时间之间存在对应关系,而在给定幅值的电压暂降作用下,过程受影响程度取决于暂降持续时间,与过程免疫时间相对应。因此,保护动作时间与过程免疫时间是判定过程是否会受暂降影响的关键。对于给定供配电系统和给定敏感过程,过程免疫时间是判定

收稿日期:2013-09-17;修回日期:2014-07-24

基金项目:国家教育部博士点基金资助项目(20130181110004);四川省科技支撑计划项目(2013GZ0062)

Project supported by Ph. D Programs Foundation of Ministry of Education of China(20130181110004) and Sichuan Province Science and Technology Support Program(2013GZ0062)

HVDC maintenance timing based on fuzzy comprehensive evaluation

LAI Yuguang¹,GUAN Lin¹,WANG Tao¹,LEI Bing²,ZHANG Man²

(1. School of Electric Power,South China University of Technology,Guangzhou 510640,China;

2. China Southern Grid EHV Power Transmission Company,Guangzhou 510405,China)

Abstract: A method of HVDC system maintenance timing based on fuzzy comprehensive evaluation is proposed. A fuzzy comprehensive evaluation system is built by choosing and improving the power system adequacy evaluation index to obtain the difference of power system risk level between normal and outage operating modes of HVDC system for the further score quantification and comment summary of the fuzzy result set. The HVDC system outage proposal is achieved according to the HVDC channel maintenance criterion. As an example,a daily HVDC maintenance arrangement of China Southern Power Grid is made for a certain day in 2011,which shows that,the proposed method effectively identifies the maintenance timing of HVDC system in daily operating mode and sets suitable outage period.

Key words: fuzzy evaluation; maintenance timing; HVDC power transmission; reliability; assessment; fuzzy theory; risks

过程是否会受影响的依据。

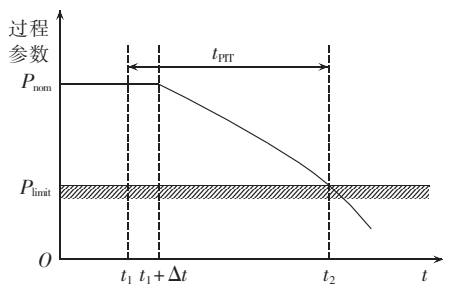
国际大电网会议(GIGRE)、国际供电会议(CIRED)和欧洲电力联盟(UIE)于 2006 年成立了暂降免疫力联合工作组 C4.110,提出了过程免疫时间 PIT(Process Immunity Time)^[4]概念。本文基于过程免疫时间,考虑到用户可接受后果状态,将过程暂降免疫力划分为 A、AA、AAA 这 3 个等级,利用过程免疫力与保护动作时间的关系,提出通过保护定值优化与合理配合缓减电压暂降的方法。对 IEEE 14 节点配电系统、某实际系统和 2 类典型敏感过程进行了仿真,在常规三段式电流保护以及含有短线路只能通过增加 I 段瞬时电流速断保护的时来实现选择性的特殊情况验证了方法的正确性和可行性,并证明基于过程免疫时间的保护优化方法能在不影响保护选择性、速动性的同时,缓减电压暂降。

1 过程免疫时间与免疫力等级

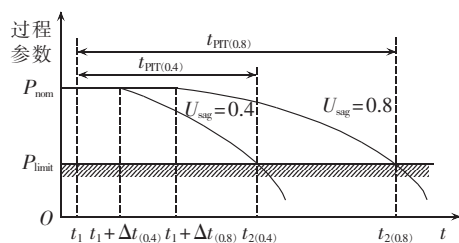
过程免疫时间定义为:过程经受电压暂降后,过程参数(温度、压力、速度、加速度等)超过允许限值的时间^[4],如图 1(a)所示^[4]。即过程免疫时间是给定幅值(剩余电压)电压暂降作用下,过程能抵御电压暂降的时间。其中, t_1 为暂降发生时刻, Δt 为过程固有响应延时, t_2 为过程参数越过允许值 P_{limit} 的时刻, P_{nom} 为过程额定运行参数。图 1(b)为不同暂降幅值下的过程免疫时间,图中 U_{sqg} 为电压暂降幅值(标幺值)。可见,不同暂降幅值下的过程免疫时间不同。

$$t_{\text{PTT}} = t_2 - t_1 = [t_2 - (t_1 + \Delta t)] + [(t_1 + \Delta t) - t_1] \quad (1)$$

其中, $[t_2 - (t_1 + \Delta t)]$ 为从过程响应到过程参数达到最小允许值的时间; $[(t_1 + \Delta t) - t_1] = \Delta t$ 为过程响应延迟时间。同一过程对不同暂降幅值的 Δt 不同,取决于



(a) 单一暂降幅值下的过程免疫时间



(b) 不同暂降幅值下的过程免疫时间

图 1 过程免疫时间

Fig.1 Process immunity time

过程固有属性,如计算机(PC)的 Δt 取决于电源直流侧电容。

过程受电压暂降影响的程度与暂降幅值、持续时间等暂降特征、过程免疫力有关。其中,暂降幅值特征取决于导致暂降的故障电流,暂降持续时间特征取决于故障清除时间,主要是保护时间定值(含机构动作时间)。因此,在给定故障下,供配电系统的保护与系统内发生的暂降之间的联系桥梁是保护电流和动作时间定值。过程受电压暂降影响的根本问题在于过程参数超过了最小允许值。大量研究证明,过程电压耐受能力具有不确定性^[19],取决于过程参数变化规律和用户可接受后果状态。可接受后果状态可分为完全正常、自动恢复和人工恢复等,利用过程免疫时间刻画如图 2 所示。

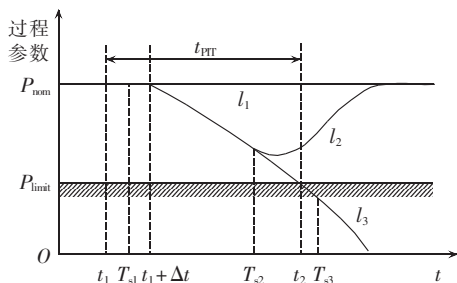


图 2 考虑可接受后果状态的过程免疫力等级划分

Fig.2 Process immunity level dividing considering acceptable outcome state

由图 2 可见,当暂降持续时间小于 Δt 时,过程完全正常;持续时间在 $[\Delta t, t_{\text{PTT}}]$ 间时,可自动恢复;大于 t_{PTT} 时,过程中断,处于人工恢复状态。即过程可能出现的后果状态取决于暂降持续时间与过程免疫时间之间的关系。因此,从用户可接受的人工恢复、自动恢复、完全正常等状态出发,利用过程免疫时间,可将过程暂降免疫力分化为 A 级、AA 级和 AAA 级。

2 基于过程免疫时间的保护优化策略

以图 2 为例,假设可接受暂降持续时间为 t_{PTT} 。当保护动作时间定值及其决定的暂降持续时间小于 t_{PTT} 时,过程正常或自动恢复,为可接受状态;当暂降持续时间大于 t_{PTT} 时为不可接受状态。因此,在保证保护选择性和速动性的前提下,如果保护动作时间小于 t_{PTT} ,就可避免不可接受状态的出现。其他免疫力等级类似。为此,可利用过程免疫时间进行供配电系统保护优化。

中低压供配电系统主要采用三段式电流保护。保护启动和引起的暂降幅值均取决于故障电流,保护动作时间决定暂降持续时间。因此,利用过程免疫时间可优化保护动作时间。

典型 35 kV 和 10 kV 供电线路的三段式电流保护为: I 段,瞬时电流速断保护; II 段,限时电流速

断保护;Ⅲ段,定时限过电流保护。以图 3 线路 WL1 为例,电流、时间定值如式(2)—(4)所示。

$$\begin{cases} I_{dz}^I = K_{rel}^I I_{kB,max}^{(3)} \\ T_A^I = 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} I_{dz}^{II} = K_{rel}^{II} K_{rel}^I I_{kC,max}^{(3)} \\ T_A^{II} = T_B^I + \Delta t_1 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} I_{dz}^{III} = \frac{K_{rel}^{III} K_{st}}{K_{re}} I_{L,max} \\ T_A^{III} = T_B^{III} + \Delta t_1 \end{cases} \quad (4)$$

其中, K_{rel}^I 、 K_{rel}^{II} 、 K_{rel}^{III} 为可靠系数,一般分别取 1.2~1.3、1.1~1.2、1.15~1.25; $I_{kB,max}^{(3)}$ 、 $I_{kC,max}^{(3)}$ 为母线 B、C 最大方式下的短路电流; Δt_1 为定时限保护延时,一般取 0.3~0.5 s; T_B^I 、 T_B^{III} 为 WL2 的 I、Ⅲ段保护动作时间; $I_{L,max}$ 为线路最大负荷电流; K_{st} 为自起动系数,一般取 1.5~3; K_{re} 为返回系数,一般取 0.85~0.95^[20]。



图 3 配电线路三段电流保护

Fig.3 Three-zone current protection for distribution line

可见,短路电流决定三段保护定值,进而确定暂降幅值和持续时间。以接入免疫力为 A 级的过程为例,保护与过程免疫时间的关系如图 4 所示。I、Ⅱ、Ⅲ段保护的电流定值递减,暂降幅值递增。各段保护动作时间定值决定暂降持续时间。图 4 中各段保护定值确定的暂降持续时间均大于 t_{PTT} ,因此,过程暂降免疫力为 A 级。如果减小保护时间,使之小于 t_{PTT} ,可避免过程出现不可接受状态。其他暂降免疫力等级类似,不再赘述。

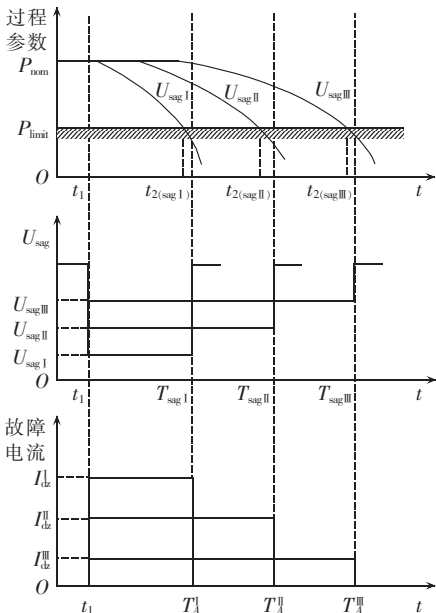


图 4 保护与过程免疫力之间的关系

Fig.4 Relationship between protection and process immunity

3 考虑免疫力等级的保护优化

保护动作电流取决于故障水平和保护范围,动作时间决定了保护的选择性和速动性。电流定值决定暂降幅值,可用临界距离法或故障点法计算。结合第 1 节提出的免疫力等级划分方法,确定过程可接受过程免疫时间和过程响应时间 Δt 。比较保护定值和过程免疫时间,在不牺牲保护选择性、可靠性和速动性的前提下,利用过程免疫时间优化保护定值,可减缓暂降影响。优化方法如下。

a. 根据故障水平和保护的选择性、速动性和可靠性等要求,用常规方法整定保护定值,获得初始保护电流和时间定值。

b. 根据各段保护电流定值确定的暂降幅值和相应的过程参数变化规律,确定过程 t_{PTT} 和暂降响应时间 Δt 。

c. 比较初始保护定值与 t_{PTT} 、 Δt 的大小,以 t_{PTT} 、 Δt 为优先级进行保护定值优化。如果 t_{PTT} 、 Δt 小于初始保护时间定值且不影响保护的选择性,按 t_{PTT} 或 Δt 整定保护时间定值;反之,采用初始定值。如果保护时间定值小于或等于 Δt ,过程免疫力为 AAA 级;如果保护时间定值在 Δt 与 t_{PTT} 之间,过程免疫力为 AA 级;若大于或等于 t_{PTT} ,过程免疫力为 A 级。以此进行保护优化,可低成本减缓暂降的影响。

4 基于过程免疫时间的保护配合与实际应用

以过程免疫时间和免疫力等级为依据,合理配合保护可减缓暂降的影响。根据用户可接受后果状态确定过程免疫时间,如果过程免疫时间大于暂降持续时间,过程始终处于可接受状态。因此,在允许范围内可优化保护配合方式。三段式电流保护配合如下。

I 段保护范围较近,导致的暂降幅值低。保护时间定值一般为 0 s,暂降持续时间最短,几乎为 0 s (决定于机构动作时间)。增大 I 段保护范围,可增加暂降保护范围,但会牺牲保护的选择性,可改善空间不大,原因在于时间定值已为最小时间 0 s。

Ⅱ段保护电流定值确定了其保护的暂降幅值,保护时间与暂降持续时间对应。若故障由Ⅱ段保护清除,在保证与 I 段有可靠时间级差的前提下,减小Ⅱ段时间定值,可缩短暂降持续时间,有改善空间。

Ⅲ段保护电流定值较小,但时间定值较大,对应的暂降持续时间较长。在保证定值级差的前提下,根据 t_{PTT} 、 Δt 和过程免疫力等级确定保护时间,使之决定的暂降持续时间小于 t_{PTT} ,过程可始终处于可自动恢复状态。

实际中,可能存在供电半径较小的配电线路,如图 3 所示,假设 WL2 线路很短,其线路阻抗很小,其末端与上级 WL1 线路末端之间的短路电流水平差异很小,按常规保护整定规则整定各段线路电流定

值,由于 WL1、WL2 线路 I 段电流保护的电流定值相差很小,当 WL2 故障时,WL1 线路保护易误动,即电流定值难以实现保护的选择性,此时,WL2 线路的保护定值按常规方法整定,而 WL1 线路通常通过 I 段电流保护延时来实现保护的配合,Ⅱ段、Ⅲ段保护整定时间相应增加,这样暂降持续时间增长,暂降严重程度增加。对于这类情况,WL1 线路可先按常规方法整定保护电流和时间延时定值,再根据保护电流定值确定暂降幅值,从而确定可接受的 t_{PTT} 和 Δt ,用 t_{PTT} 与 Δt 对时间定值在允许范围内进行修定,Ⅲ段保护的时间定值按级差增加,WL1 线路的 I 段、Ⅱ段电流保护的时间定值的优化与本文方法中Ⅱ段、Ⅲ段保护的时间定值的优化方法类似,因此,对于含短线路的配网系统,本文方法同样有一定适用性。

可见,通过保护合理配合,可减缓由Ⅱ段和Ⅲ段电流保护以及含短线路的系统中有延时的电流保护清除的故障所引起的电压暂降的影响。保护方案的优化可采用粒子群算法等,流程如图 5 所示。也可采用其他算法,本文不再赘述。

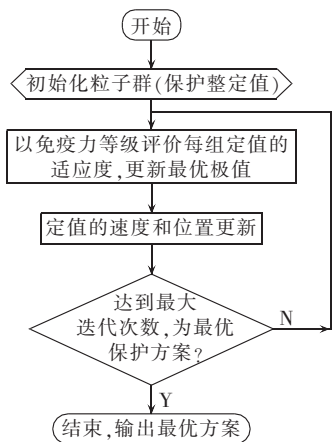


图 5 程序流程图
Fig.5 Flowchart of program

5 仿真与讨论

用 PSCAD 对图 6、图 7 给出的 IEEE 14 节点配电系统和某实际系统进行仿真,实际系统中的线路 7-8 为短线路。比较线路 1-4 和线路 1-7 在不同的保护整定与配合方式下,母线 1 接入敏感过程的后果状态。

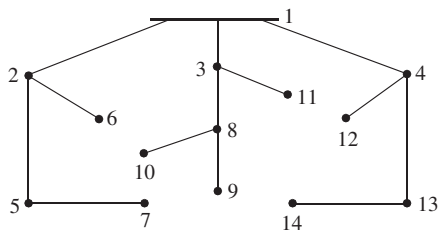


图 6 IEEE 14 节点测试系统
Fig.6 IEEE 14-bus test system

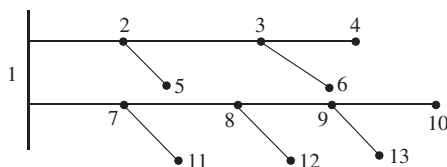


图 7 实际测试系统
Fig.7 Actual test system

母线 1 接入由文献[4]给出的某化学反应过程中氧气测量装置和冷却控制器。元件过程免疫时间分别为 1 s 和 3 s,并假设响应时间 Δt 分别为 0.4 s 和 1 s。在相同故障水平下,传统方法和本文方法所得保护方案如表 1 所示。当接入过程的暂降免疫力等级不同时,进行 20 次仿真,满足要求的次数如表 2、3 所示,电压暂降特征如图 8、9 所示,图中电压暂降剩余幅值为标么值。

表 1 保护整定方案

Tab.1 Protection setting schemes

系统	所得方案	
	传统方法	本文方法
IEEE 14 节点系统	I 段:5.64 kA 0 s	I 段:5.64 kA 0 s
	Ⅱ段:2.30 kA 0.5 s	Ⅱ段:2.30 kA 0.3 s
	Ⅲ段:0.62 kA 1.0 s	Ⅲ段:0.62 kA 0.8 s
实际系统	I 段:1.23 kA 0.5 s	I 段:1.23 kA 0.3 s
	Ⅱ段:0.56 kA 1.0 s	Ⅱ段:0.56 kA 0.6 s
	Ⅲ段:0.31 kA 1.5 s	Ⅲ段:0.31 kA 1.1 s

表 2 满足氧气测量装置不同免疫力等级要求的次数
Tab.2 Number required by different immunity levels of oxygen measuring equipment

系统	方案	次数		
		AAA 级	AA 级	A 级
IEEE 14 节点系统	传统方案	4	10	6
	最优方案	14	6	0
实际系统	传统方案	0	6	14
	最优方案	6	7	7

表 3 满足冷却控制器不同免疫力等级要求的次数

Tab.3 Number required by different immunity levels of cooling controller

系统	方案	次数		
		AAA 级	AA 级	A 级
IEEE 14 节点系统	传统方案	14	6	0
	最优方案	20	0	0
实际系统	传统方案	6	14	0
	最优方案	13	7	0

由表 2 可见,过程免疫时间较小的过程(氧气测量装置, $t_{PTT}=1$ s),常规的保护整定方式在本文确定的保护方案下,后果状态全部达到 AA 级和 AAA 级,出现 A 级后果状态的次数为 0,明显地减缓了暂降影响;而实际系统中因短线路的存在,暂降严重程度增加,本文方法可改善设备免疫力。

由表 3 可见,过程免疫时间较大的过程(冷却控制器, $t_{PTT}=3$ s),常规保护整定方式采用本文保护方案,过程免疫力全部达到 AAA 级,元件不受任何影

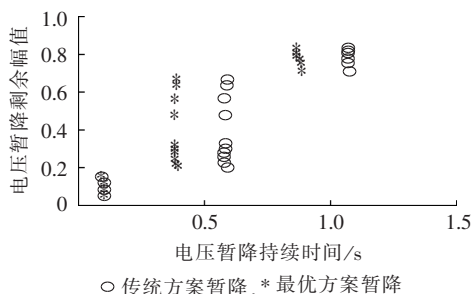


图8 IEEE 14节点系统传统方法与最优方法的暂降特征

Fig.8 Comparison of sag characteristics between traditional and optimal schemes for IEEE 14-bus system

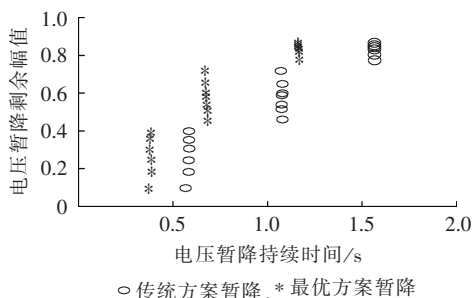


图9 实际系统传统方法与最优方法的暂降特征

Fig.9 Comparison of sag characteristics between traditional and optimal schemes for actual system

响;含短线路时 AAA 级次数也极大增加。

结果证明,本文方法适合于配网中常规与短线路等特殊情况的保护优化,对不同过程免疫时间的过程均能减缓暂降影响,过程免疫时间越长,减缓效果越明显。因此,对于抗风险能力较低、对生产过程要求高的用户,应就 t_{PTT} 和 Δt 对设备制造商提出具体要求,并根据过程免疫时间确定工厂内部配电系统的保护方案,并根据公用电网的保护方式确定过程接入点和自身设备保护方式,对于已投入运行的过程,可通过技术改造或生产工业改进等方式,提高过程免疫时间,实现敏感过程与系统保护之间的最优配合,低成本减缓电压暂降的影响。

6 结论与展望

a. 过程免疫时间是度量过程暂降免疫力的统一测度,利用过程免疫时间和用户可接受后果状态进行供配电系统保护优化和配合,可低成本减缓暂降的影响。

b. 保护整定与配合主要取决于系统要求,本文方法对供配电系统的保护无任何不利影响,尤其适用于工厂供电系统的保护配置。

c. 基于过程免疫时间优化保护的方法,对于减缓由Ⅱ段和Ⅲ段保护清除的故障所引起的电压暂降的影响效果明显,并且对含短线路系统中有延时的电流

保护切除的故障也能明显改善设备免疫力等级。

d. 本文提出的过程免疫时间和过程免疫力等级概念还可用于设备选型、供电方案制定和优化过程运行方式等,为解决电压暂降问题提供了一种有效途径。

电压暂降问题涉及过程设计者、设备制造商、供电企业和用户抗风险能力等,在实际中,还需研究通用的过程免疫时间确定方法,进一步研究保护可靠性、选择性、速动性与过程免疫时间之间的协调关系等。

参考文献:

- [1] 杨达,肖先勇,汪颖. 计及失效事件和严重程度不确定性的设备电压暂降失效率评估[J]. 电力自动化设备,2013,33(10):107-111.
YANG Da,XIAO Xianyong,WANG Ying. Assessment of invalidation due to voltage sags considering uncertainties of failure and severity[J]. Electric Power Automation Equipment,2013,33(10):107-111.
- [2] VEGUNTA S C,MILANIOVIC J V. Estimation of cost of downtime of industrial processes due to voltagesags[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2011,26(2):576-587.
- [3] 赵泓,肖先勇,李政光,等. 敏感设备电压暂降失效率区间最大混合熵评估[J]. 电力自动化设备,2011,31(10):70-75.
ZHAO Hong,XIAO Xianyong,LI Zhengguang,et al. Estimation of maximum interval hybrid entropy of sensitive equipment failure rate due to voltage sag[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(10):70-75.
- [4] CIGRE/CIRED/UIE Joint Working Group C4.110. Voltage dip immunity of equipment and installations[R]. London,UK:Working Group C4.110,2010.
- [5] MATH H J B. Understanding power quality problems:voltage sags and interruptions[M]. Hoboken,New Jersey,USA:John Wiley & Sons Inc,2000:253-324.
- [6] IEEE-SA Standards Board. IEEE Std 1346-1998 Recommended practice for evaluating electric power system compatibility with electronic process equipment[S]. New York,USA:the Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc,1998.
- [7] 陈铁敏,洪洪耕. 基于改进故障点法的电压凹陷评估[J]. 电力自动化设备,2008,28(6):66-73.
CHEN Tiemin,YANG Honggeng. Assessment of voltage sag based on improved fault positions method[J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(6):66-73.
- [8] BOLLEN M H J. Method of critical distances for stochastic assessment of voltage sags[J]. IEE Proceedings-Generation,Transmission & Distribution,1998,145(1):70-76.
- [9] 杨晓东,李庚银,周明,等. 电压暂降随机预估的自适应信赖域方法[J]. 中国电机工程学报,2011,31(4):39-44.
YANG Xiaodong,LI Gengyin,ZHOU Ming,et al. Adaptive trust region method for stochastic estimation of voltage sags[J]. Proceedings of the CSEE,2011,31(4):39-44.
- [10] HANIF S,ALIREZA J. Effect of protection device coordination on voltage sag characteristics of distribution networks[J]. ISA Transactions,2010,49(4):407-414.
- [11] MARTINEZ J A,MARTIN A J. Voltage sag studies in distribution networks part II:voltage sag assessment[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,2006,21(3):1679-1688.

- [12] 肖先勇,杨洪耕,陈武,等. 敏感设备电压暂降敏感度的模糊随机评估[J]. 中国电机工程学报,2009,29(34):90-95.
XIAO Xianyong,YANG Honggeng,CHEN Wu,et al. Fuzzy-random assessment method of equipment sensitivity to voltage sags[J]. Proceedings of the CSEE,2009,29(34):90-95.
- [13] 陈武,苟剑,肖先勇. 敏感设备电压凹陷敏感度的随机-模糊评估方法[J]. 电网技术,2009,33(6):39-44.
CHEN Wu,GOU Jian,XIAO Xianyong. A stochastic-fuzzy assessment method for voltage sag sensitivity of sensitive equipment[J]. Power System Technology,2009,33(6):39-44.
- [14] 肖先勇,陈武,杨洪耕. 敏感设备电压暂降故障水平的多不确定性评估[J]. 中国电机工程学报,2010,30(10):36-42.
XIAO Xianyong,CHEN Wu,YANG Honggeng. Multi-uncertainty assessment for failure level of sensitive equipment caused by voltage sag[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(10):36-42.
- [15] 陈礼频,肖先勇,张志,等. 考虑保护时限特性的电压暂降频次评估[J]. 电力系统保护与控制,2013,41(2):113-119.
CHEN Lipin,XIAO Xianyong,ZHANG Zhi,et al. Voltage sags frequency assessment considering the time characteristic of protection system[J]. Power System Protection and Control,2013,41(2):113-119.
- [16] 陈礼频,肖先勇,汪颖,等. 考虑保护配合动作随机性的电压暂降频次评估[J]. 电网技术,2012,36(5):132-138.
CHEN Lipin,XIAO Xianyong,WANG Ying,et al. Assessment on voltage sag frequency considering randomness of protection cooperation[J]. Power System Technology,2012,36(5):132-138.
- [17] 陈雁,孙海顺,文劲宇,等. 改进粒子群算法在船舶电力系统网络重构中的应用[J]. 电力自动化设备,2011,31(3):29-34.
CHEN Yan,SUN Haishun,WEN Jinyu,et al. Application of improved PSO algorithm in network reconfiguration of ship-board[J]. Electric Power Automation Equipment,2011,31(3):29-34.
- [18] 李勇,王建君,曹丽华. 基于繁殖粒子群算法的火电厂负荷优化分配[J]. 电力自动化设备,2012,32(4):80-87.
LI Yong,WANG Jianjun,CAO Lihua. Optimal load dispatching based on breeding particle swarm optimization algorithm for thermoelectric power plant[J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(4):80-87.
- [19] 肖先勇,马超,杨洪耕,等. 用电压暂降严重程度和最大熵评估负荷电压暂降敏感度[J]. 中国电机工程学报,2009,29(31):115-121.
XIAO Xianyong,MA Chao,YANG Honggeng,et al. Stochastic estimation of equipment sensitivity to voltage sag based on voltage sag severity index and maximum entropy principle[J]. Proceedings of the CSEE,2009,29(31):115-121.
- [20] 邵玉槐,秦文萍. 电力系统继电保护原理[M]. 北京:中国电力出版社,2008:7-13.

作者简介:



李丹丹

李丹丹(1987-),女,四川德阳人,硕士研究生,主要从事电能质量及其控制技术的研究工作(E-mail:ldd_182377944@qq.com);
肖先勇(1968-),男,四川宜宾人,教授,博士研究生导师,博士,长期从事电能质量及其控制技术的教学与研究工作(E-mail:xiaoxianyong@163.com)。

Voltage sag mitigation scheme using protection optimization with process immunity time

LI Dandan¹,XIAO Xianyong¹,LIU Yang¹,LI Tieniu²,LIU Xuna¹

(1. School of Electrical Engineering and Information,Sichuan University,Chengdu 610065,China;
2. Shenzhen Hietech Energy Technology Co.,Ltd.,Shenzhen 518057,China)

Abstract: The influence of voltage sag on the sensitive process is related to the fault current which induces the voltage sag,the protection setting which clears the fault and the process sag immunity. The concepts of PIT(Process Immunity Time) and acceptable outcome state are used to determine the user's acceptable sag duration. The process immunity has three levels. The relationship between the PIT and the settings of three-zone current protection is researched and a scheme to mitigate the voltage sag by the protection optimization with PIT is proposed. Simulations are carried out for IEEE 14-bus distribution system,a practical distribution system with short lines and two typical sensitive processes to verify the correctness and effectiveness of the proposed scheme. Results show that,the proposed scheme may effectively mitigate the influence of the voltage sags induced by the fault clearance actions of the current protections for zone-II/-III and the current protections with delay for systems containing short lines on the sensitive processes with long PIT.

Key words: sensitive process; voltage sag; immunity; process immunity time; acceptable outcome state; relay protection; optimization; mitigation measures