

智能变电站继电保护系统可靠性分析

王同文¹, 谢民¹, 孙月琴¹, 沈鹏²

(1. 安徽电力调度控制中心, 安徽 合肥 230022; 2. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 基于通用设计建立 220 kV 智能变电站继电保护系统不同采样跳闸方式的典型结构, 运用可靠性框图法构建智能变电站继电保护系统完备的可靠性评估模型并进行定量分析。采用概率灵敏度和元件灵敏度分别评估“直采直跳”模式下继电保护系统的元件灵敏度和重要度。前者给出了继电保护系统的薄弱环节, 为优化系统设计提供参考; 后者揭示了系统元件的重要度, 指导系统运维。研究结果对智能变电站继电保护系统的设计、运维和发展具有借鉴意义。

关键词: 智能变电站; 继电保护; 可靠性框图; 灵敏度; 可靠性

Analysis of reliability for relay protection systems in smart substation

WANG Tongwen¹, XIE Min¹, SUN Yueqin¹, SHEN Peng²

(1. Anhui Electric Power Dispatch & Control Center, Hefei 230022, China; 2. School of Electric Power, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The typical structures of relay protection systems in smart substation for different sampling and tripping mode based on universal design are built. Both the complete reliability evaluation models and reliability analysis for relay protection system are also finished based on reliability block diagram. Probability sensitivity and component sensitivity are used to provide the element sensitivity and importance under the direct-sampling-direct-tripping mode protection system. The former is applied to find the weak link in order to improve the system design level, and the latter is used to search for the importance of each device to guide the operation & maintenance of the protection system. Research results can be used for the planning, operation & maintenance, and development for relay protection system in smart substation.

Key words: smart substation; relay protection; reliability block diagram; sensitivity; reliability

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)06-0058-09

0 引言

智能变电站继电保护的安全可靠运行对智能变电站的安全稳定运行具有重要意义, 其可靠性研究也逐步引起学者和工程技术人员的兴趣。

智能变电站继电保护的可靠性研究主要集中在可靠性评估模型^[1-3]、系统的可靠性分析^[4-7]等方面。文献[3]运用可靠性框图和邻接矩阵分析法, 在元件可靠性基础上建立继电保护系统的可靠性模型, 对智能变电站保护系统的可靠性评价进行有益探索。文献[4]对不同过程层结构下, 保护系统的结构特点进行分析。文献[5]针对不同跳闸方式下保护系统在可靠性和经济性方面进行定性对比分析。

本文以智能变电站通用设计^[8]为基础, 建立 220 kV 继电保护系统在不同采样、跳闸方式下的典型结构; 基于可靠性框图法构建完备的系统可靠性

评估模型, 进而开展可靠性分析; 此外, 对工程普遍应用的“直采直跳”模式下保护系统的灵敏度进行分析, 以优化系统设计、指导系统运维。

1 智能变电站继电保护系统结构

1.1 概述

本研究遵循 220 kV 智能变电站通用设计^[8]: 采用常规互感器加合并单元实现交流一次信息的采集; 通过常规断路器加智能终端的方式实现一次设备智能化; 220 kV 母线按双母线设计, 考虑 4 回出线、2 回变压器支路, 电压采用母线 PT; 过程层 SV 和 GOOSE 网络按星型组网, 且冗余配置; 交换机按间隔配置, 考虑跨多间隔的母线保护接入单元数量较多, 增加中心交换机; 与此同时, 组网模式下按 SV、GOOSE 是否共网传输分别考虑; 220 kV 保护装置均按双重化配置考虑。对于“直采”模式,

相关规范^[9]明确了保护装置不依赖外部对时系统完成保护功能, 在可靠性评估和灵敏度分析过程中均不考虑同步时钟源的影响; 对于“网采”模式, 为符合工程实际, 计及同步时钟源的影响, 且采用 IEEE 1588 全站集中对时方式。

以下针对不同采样、跳闸方式, 按上述原则建立 220 kV 智能变电站各类型保护的典型结构。

1.2 “直采直跳”模式

图 1(a)、图 1(b)、图 1(c)分别为“直采直跳”模式下线路、母线和主变保护系统结构图, 图中保护设备采样和跳闸通过光纤直连实现, 仅示意与保护功能相关的光纤链路和部分支路(以下各图类似)。

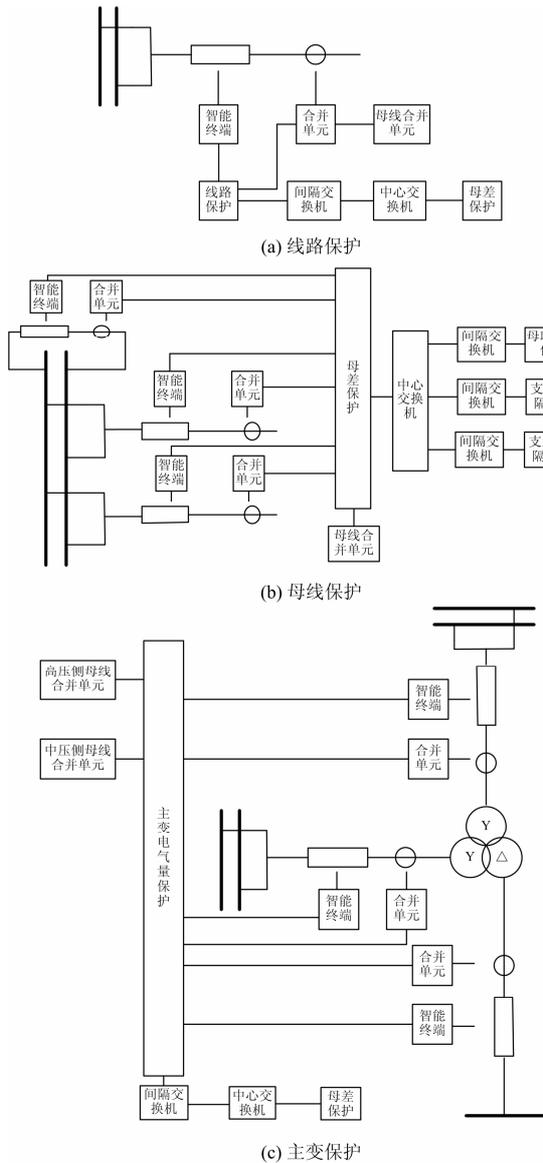


图 1 “直采直跳”模式

Fig. 1 Direct-sampling-direct-tripping mode

1.3 “网采直跳”模式

在“网采直跳”模式下, 图 2 为 SV 和 GOOSE 独立组网示意图, 图 3 则为共网模式。

1.4 “直采网跳”模式

“直采网跳”模式下, 保护设备直接采样, 跳闸通过 GOOSE 网络实现, 如图 4 所示。

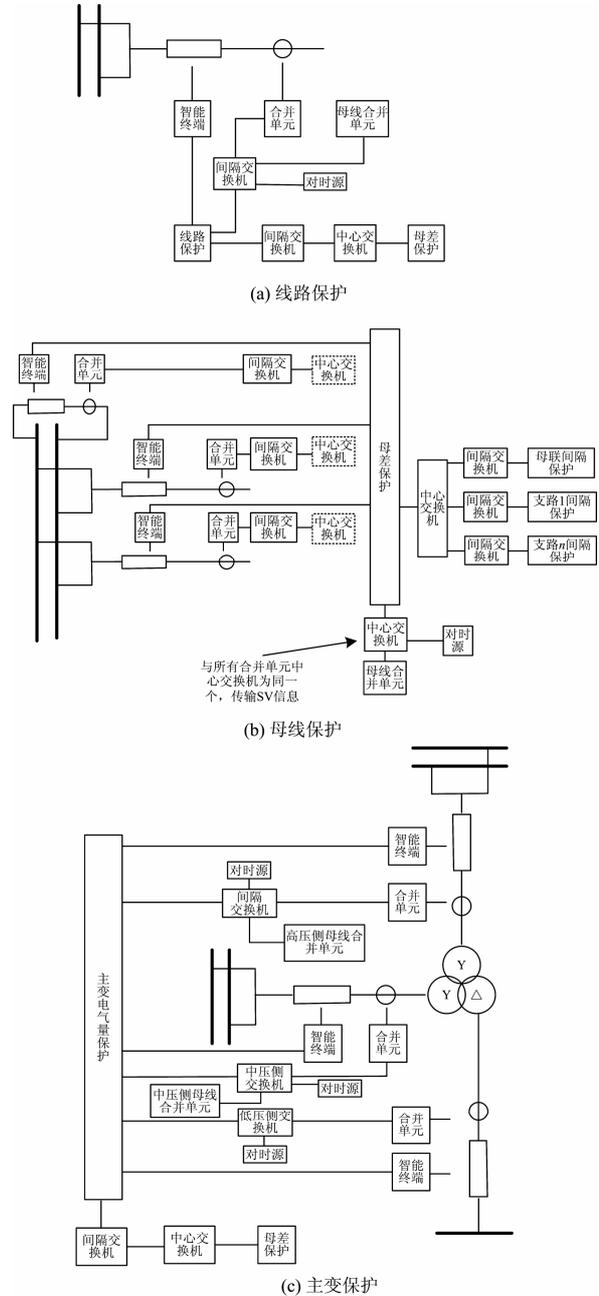


图 2 “网采直跳”SV 和 GOOSE 分别组网模式

Fig. 2 Net-sampling-direct-tripping mode under SV and GOOSE divided network

1.5 “网采网跳”模式

“网采网跳”模式下, 保护系统的采样、跳闸

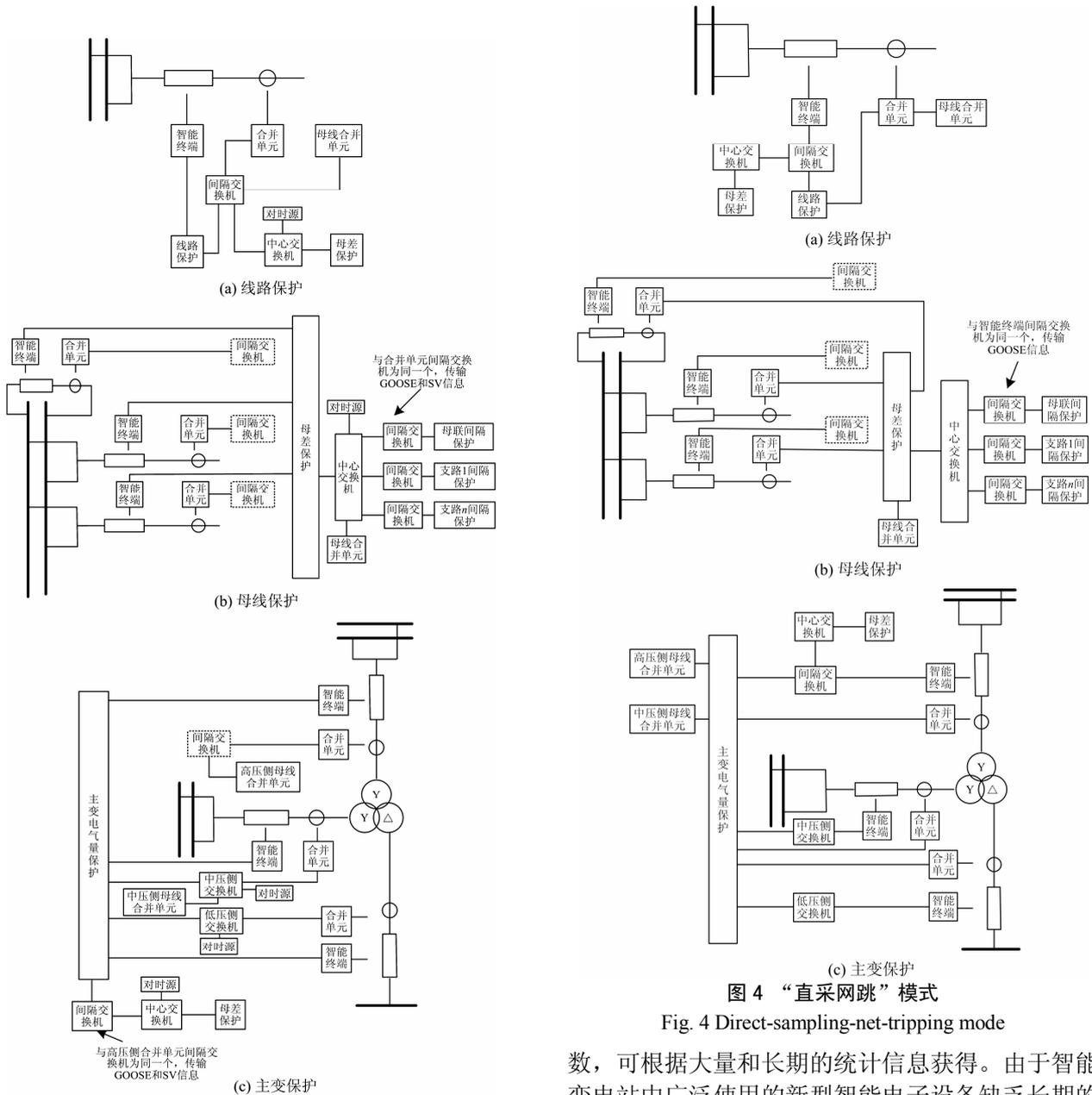


图3 “网采直跳” SV 和 GOOSE 共网模式
Fig. 3 Net-sampling-direct-tripping mode under SV and GOOSE shared network

图4 “直采网跳”模式

Fig. 4 Direct-sampling-net-tripping mode

均通过网络实现，按 SV 和 GOOSE 是否共网两种模式考虑，如图 5 和图 6 所示。

2 可靠性分析

2.1 可靠性评估参数选择

可信赖的元件故障信息是系统可靠性评估的基础和前提。电网对一次和二次设备均有规范的定期检修和维护，对于可修复元件，在稳定的检修维护机制下，其寿命期内的故障率和修复率皆可视为常

数，可根据大量和长期的统计信息获得。由于智能变电站中广泛使用的新型智能电子设备缺乏长期的故障统计信息。文中评估过程中参照文献[10-13]取值，具体见表 1。

表 1 保护元件可靠性数据

Table 1 Reliability data for protection device

保护元件	故障率 λ / y
MU(合并单元)	0.006 7
IED(智能保护设备)	0.006 7
TS(同步时钟源)	0.006 7
SW(交换机)	0.02
EM(光纤)	0.001
EU(智能终端)	0.006 7
PR(传统保护设备)	0.01
CB(操作箱)	0.01
Wire(电缆)	0.001

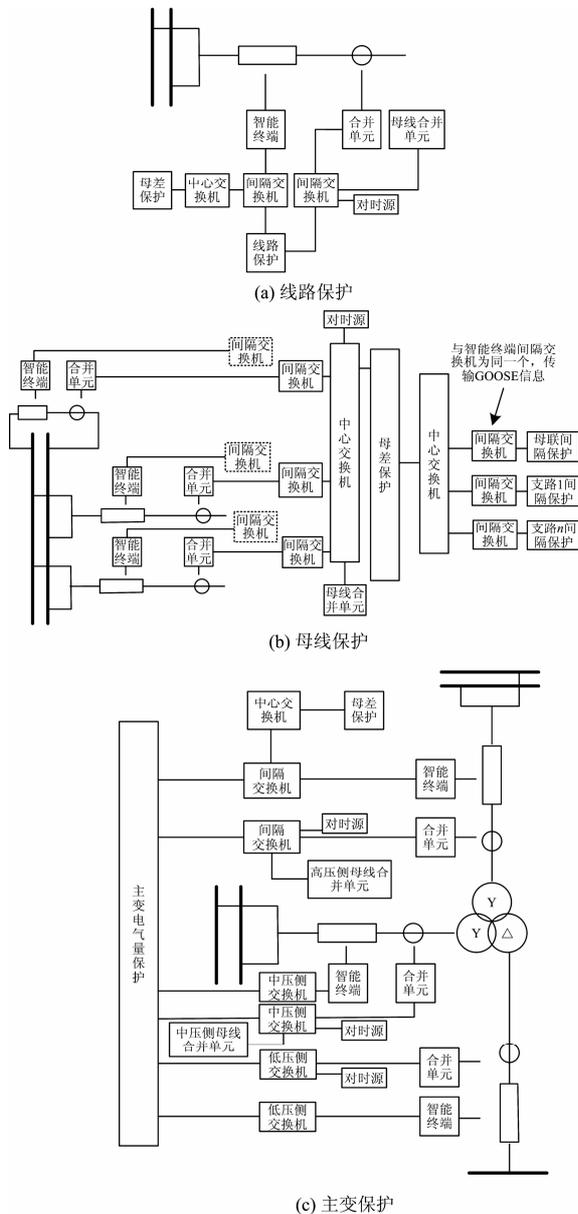


图5 “网采网跳” SV 和 GOOSE 分别组网模式
Fig. 5 Net-sampling-net-tripping mode under SV and GOOSE divided net work

所有元件的修复率 μ 取 365 次/y。由于可认为其故障和修复的分布皆满足指数分布, 故可采用马尔科夫链模型。

本文选用长期稳态概率作为评估保护系统可靠性的指标。元件的稳态工作概率 P_i 和失效概率 $P_{x\lambda}$ 可用式(1)计算。

$$P_i = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (1)$$

$$P_{x\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$$

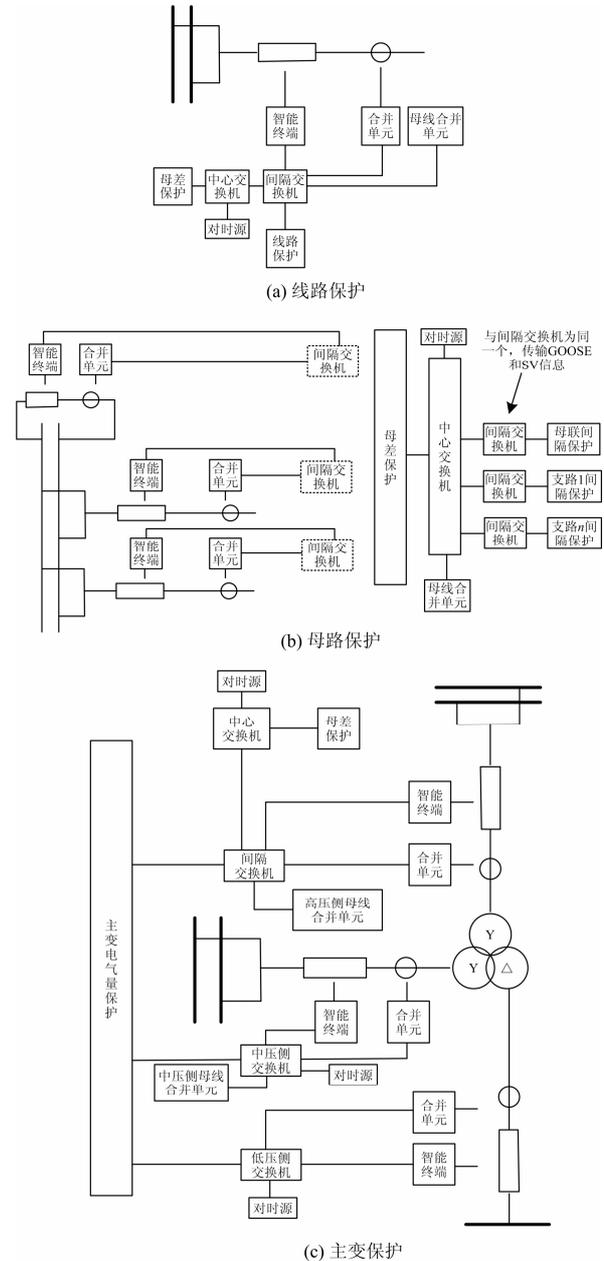


图6 “网采网跳” SV 和 GOOSE 共网模式
Fig. 6 Net-sampling-net-tripping mode under SV and GOOSE shared network

此外, 元件在系统中所处环节不同, 其故障造成的系统失效状态也有所不同: 对于处于信息传输环节的如 EM、SW、Wire 元件, 在信息丢失时只会造成保护系统拒动而不会产生误动; 而对处于数据的产生、判断、执行和授时环节的 MU、IED、EU、PR、CB、TS 元件, 如发生故障, 既可能造成系统误动也可能造成系统拒动。在分析过程中, 将元件的失效模式细分为拒动和误动两种状态, 且认为稳态误动概率和稳态拒动概率各占其总失效概率的一

半。即

$$P_{i,j} = P_{i,w} = \frac{P_{i,\lambda}}{2} \quad (2)$$

根据以上分析,各元件的稳态概率如表 2 所示。

表 2 各元件稳态概率表

Table 2 Steady state probability for the device

元件名称	工作概率 P	拒动概率 P_j	误动概率 P_w
MU	0.999 981 64	0.000 009 18	0.000 009 18
IED	0.999 981 64	0.000 009 18	0.000 009 18
TS	0.999 981 64	0.000 009 18	0.000 009 18
SW	0.999 945 21	0.000 054 79	/
EM	0.999 997 26	0.000 002 74	/
EU	0.999 981 64	0.000 009 18	0.000 009 18
RP	0.999 972 60	0.000 013 70	0.000 013 70
CB	0.999 972 60	0.000 013 70	0.000 013 70
Wire	0.999 997 26	0.000 002 74	/

2.2 可靠性框图法

可靠性框图(Reliability Block Diagram, RBD)是一种比较清晰、简单的计算方法,适合于元件数量较少的系统。RBD 根据保护系统结构,绘出系统可靠性框图,描述出系统中元件状态与系统状态的关系。然后根据框图计算出系统不同状态的概率。

对于由多个独立分散布置元件构成的保护系统而言,可近似认为元件间的维修具有独立性。因此,记元件 1 和元件 2 的正确动作概率分别为 P_1 和 P_2 , 误动概率为 P_{w1} 和 P_{w2} , 拒动概率为 P_{j1} 和 P_{j2} 。概率运算规则为:当两个元件并联运行时,任何一个元

件误动作,并联环节便会误动。只有两个元件都拒动,并联环节才会拒动。记并联环节正确动作概率、误动概率、拒动概率为 P_{1Or2} 、 P_{w1Orw2} 、 P_{j1Orj2} , 则

$$\begin{aligned} P_{1Or2} &= P_1P_2 + P_1P_{j2} + P_{j1}P_2 \\ P_{w1Orw2} &= 1 - P_{1Or2} - P_{j1Orj2} \\ P_{j1Orj2} &= P_{j1}P_{j2} \end{aligned} \quad (3)$$

与此类似,对于串联环节,其正常工作概率、误动概率、拒动概率为 P_{1And2} 、 $P_{w1Andw2}$ 、 $P_{j1Andj2}$, 如式(4)所示。

$$\begin{aligned} P_{1And2} &= P_1P_2 \\ P_{w1Andw2} &= 1 - P_{1And2} - P_{j1Andj2} \\ P_{j1Andj2} &= 1 - (1 - P_{j1})(1 - P_{j2}) \end{aligned} \quad (4)$$

2.3 线路保护可靠性分析结果

为与传统线路保护相比较,假设传统线路保护需要的电缆数量为 20 根^[12]。则各种情形下线路保护的可靠性框图如图 7 所示。根据图 7,冗余线路保护可靠性分析结果如表 3。

从表 3 可知:由于智能站线路保护系统增加合并单元、智能终端、交换机等新型电子设备,与传统保护相比,可靠性均有不同程度下降;从可靠性框图也可看出,在各种组网采样模式下,“直采直跳”模式的线路保护可靠性最高,系统元件连接关系简单;此外,在同一模式下,SV 和 GOOSE 是否共网传输对系统可靠性影响很小;但在保护系统“四性”有保障的前提下,共网传输结构清晰明确、所需智能电子元件较少,经济上更可取。

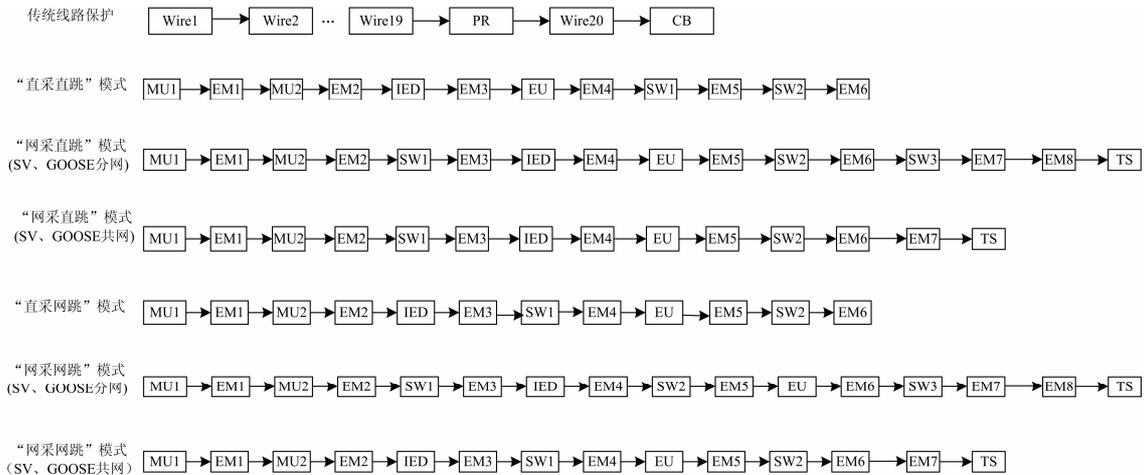


图 7 单套线路保护可靠性框图

Fig. 7 RBD for single line protection system

表 3 冗余线路保护稳态概率表

Table 3 Steady state probability for the line protection

保护模式	正常工作概率	失效概率		排序
		拒动概率	误动概率	
传统保护	0.999 945 198 1	0.000 000 006 8	0.000 054 795 1	1
直采直跳	0.999 926 547 2	0.000 000 026 5	0.000 073 426 4	2
网采直跳(SV、GOOSE 分网)	0.999 908 170 4	0.000 000 053 9	0.000 091 775 7	4
网采直跳(SV、GOOSE 共网)	0.999 908 171 4	0.000 000 052 6	0.000 091 776 0	3
直采网跳	0.999 926 547 2	0.000 000 026 5	0.000 073 426 4	2
网采网跳(SV、GOOSE 分网)	0.999 908 170 4	0.000 000 053 9	0.000 091 775 7	4
网采网跳(SV、GOOSE 共网)	0.999 908 171 4	0.000 000 052 6	0.000 091 776 0	3

2.4 母线保护可靠性分析结果

假设传统母线保护需要电缆数量为 100 根^[12]；则单套母线保护系统可靠性框图如图 8 所示，根据图 8，冗余母线保护系统可靠性计算结果见表 4。

从表 4 可得出与线路保护相类似的结果；同时，由于网采模式依赖于外部时钟源实现数据同步，单

纯从可靠性看，直采直跳模式仍是比较合理的选择。然而，考虑智能电子设备数量、保护系统网络结构、母线保护设备光口数量等多种因素，针对跨多间隔的母线保护，在保证母线保护“四性”前提下，网采网跳且 SV 和 GOOSE 共网传输模式是较为合理的方案。

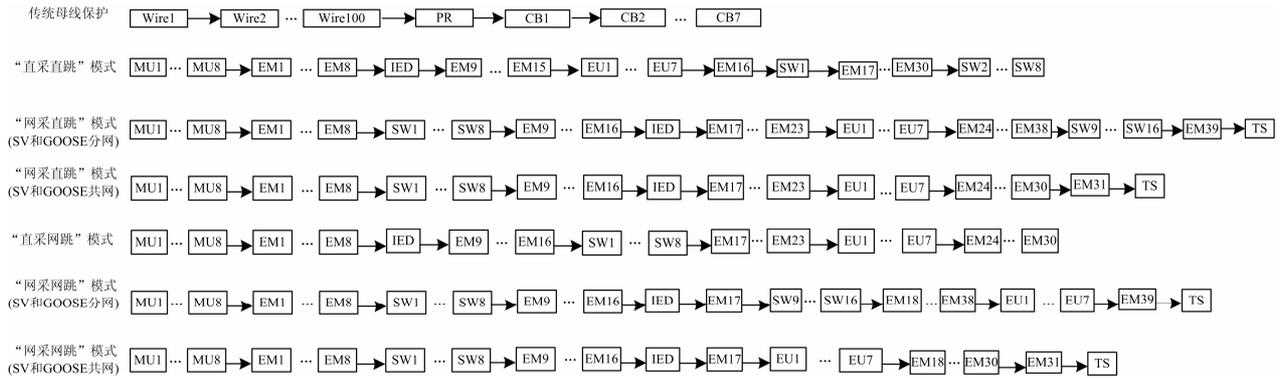


图 8 单套母线保护可靠性框图

Fig. 8 RBD for single busbar protection system

表 4 冗余母线保护稳态概率表

Table 4 Steady state probability for the busbar protection

保护模式	正常工作概率	失效概率		排序
		拒动概率	误动概率	
传统保护	0.999 780 756 5	0.000 000 147 1	0.000 219 096 4	1
直采直跳	0.999 706 029 9	0.000 000 445 1	0.000 293 524 9	2
网采直跳(SV、GOOSE 分网)	0.999 686 982 6	0.000 001 297 2	0.000 311 720 2	4
网采直跳(SV、GOOSE 共网)	0.999 687 675 1	0.000 000 461 2	0.000 311 863 7	3
直采网跳	0.999 706 029 9	0.000 000 445 1	0.000 293 524 9	2
网采网跳(SV、GOOSE 分网)	0.999 686 982 6	0.000 001 297 2	0.000 311 720 2	4
网采网跳(SV、GOOSE 共网)	0.999 687 675 1	0.000 000 461 2	0.000 311 863 7	3

2.5 主变保护可靠性分析结果

假设传统主变保护需要电缆数量为 60 根^[12]，

则单套主变保护系统可靠性框图如图 9 所示，根据图 9，冗余主变保护系统可靠性计算结果见表 5。

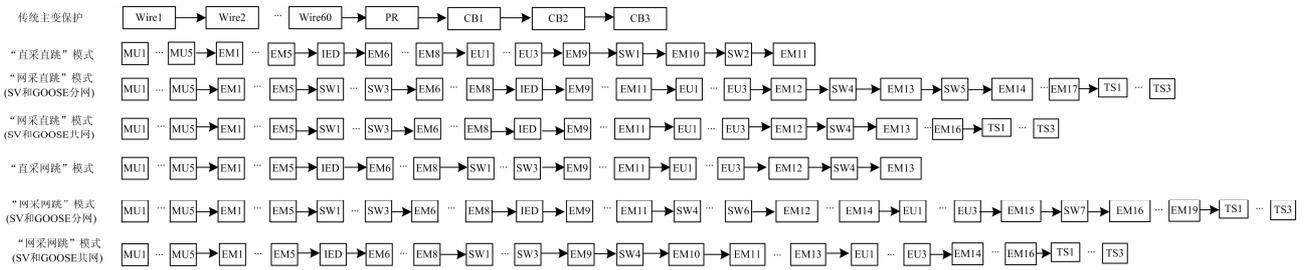


图 9 单套主变保护可靠性框图

Fig. 9 Figure of reliability for single transformer protection system

表 5 冗余主变保护稳态概率表

Table 5 Steady state probability for the transformer protection

保护模式	正常工作概率	失效概率		排序
		拒动概率	误动概率	
传统保护	0.999 890 379 7	0.000 000 048 0	0.000 109 572 2	1
直采直跳	0.999 834 758 7	0.000 000 049 4	0.000 165 191 9	2
网采直跳(SV、GOOSE 分网)	0.999 779 610 7	0.000 000 185 4	0.000 220 203 9	5
网采直跳(SV、GOOSE 共网)	0.999 779 644 2	0.000 000 139 2	0.000 220 216 6	4
直采网跳	0.999 834 713 3	0.000 000 113 8	0.000 165 172 9	3
网采网跳(SV、GOOSE 分网)	0.999 779 523 7	0.000 000 297 7	0.000 220 178 6	6
网采网跳(SV、GOOSE 共网)	0.999 779 644 2	0.000 000 139 2	0.000 220 216 6	4

从表 5 也可得出与线路保护、母线保护相类似的结论。针对跨电压等级的主变保护，从分析结果看，“直采直跳”模式仍是主变保护的首选方案；如采用采样跳闸组网方案，则不建议采用 SV 和 GOOSE 分网传输。

3 “直采直跳”式保护系统灵敏度分析

3.1 灵敏度分析概述

目前，大部分已投运的智能变电站继电保护系统均采用“直采直跳”模式。为评估在该模式下哪些元件是系统薄弱环节，哪些元件是关键元件，为优化系统设计、提高现场运维的针对性提供参考；本文采用概率灵敏度和条件灵敏度两种分析法对“直采直跳”模式下各类型保护进行灵敏度评估。

在后续灵敏度分析过程中，不再区分系统或元件的拒动和误动状态，只将元件的状态分为正常和失效两个状态。

3.2 概率灵敏度分析

概率灵敏度表示元件可靠性的改变对系统可靠性的影响程度，可用来发现系统的薄弱环节，以便以有效的方式提高系统可靠性。其计算公式为

$$I_i = \frac{\partial P_{sys}}{\partial P_i} \quad (5)$$

“直采直跳”模式下，各类型保护的灵敏度分析结果见表 6。

表 6 灵敏度分析结果表

Table 6 Results of probability sensitivity

保护	元件	概率灵敏度($\times 10^{-3}$)	排序
线路保护	MU	5.48	2
	IED	2.74	3
	SW	5.48	2
	EM	16.4	1
	EU	2.74	3
母线保护	MU	7.99	2
	IED	1.00	4
	SW	7.99	2
	EM	29.98	1
主变保护	EU	6.99	3
	MU	5.00	2
	IED	1.00	5
	SW	2.00	4
主变保护	EM	11.00	1
	EU	3.00	3

从表 6 可知，在三种保护类型中，保护系统连接光纤的灵敏度最高，智能保护装置自身的灵敏度最低，这是由于保护系统采用光纤连接导致光纤使

用数量较多的缘故。此外, 从分析结果看, 应着重提高连接光纤的可靠性, 可考虑采取增加光纤备用芯、严格施工规范确保光纤连接可靠等措施。

3.3 条件灵敏度分析

条件灵敏度表示在系统失效的条件下, 元件发生失效的概率, 可用于指导系统故障检修和优化维护计划。其计算公式为

$$P(i_{\lambda} | sys_{\lambda}) = \frac{P_{ii}}{P(i_{\lambda}, sys_{\lambda})} \quad (6)$$

式中: $P(i_{\lambda}, sys_{\lambda})$ 代表元件 i 和系统同时故障的概率; P_{ii} 代表元件 i 失效的概率。

本文利用贝叶斯网络法^[14]对“直采直跳”模式下各类型保护进行条件灵敏度分析。

贝叶斯网络具有双向推理性, 可以很好地表示变量的随机不确定性和相关性, 其详细介绍见文献[14]。根据贝叶斯网络法, 各类型保护系统的贝叶斯网络图如图 10。

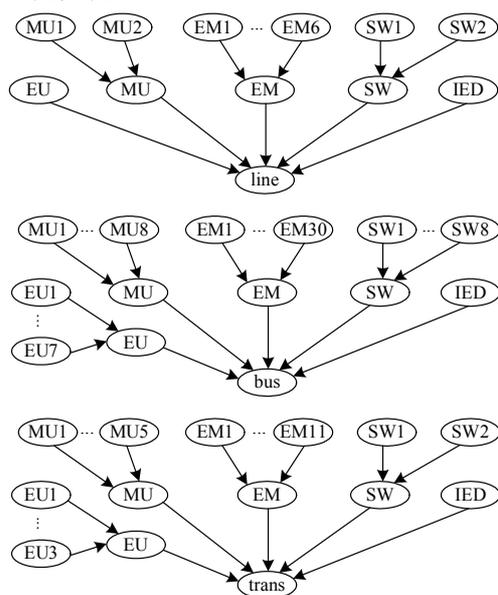


图 10 “直采直跳”模式保护系统贝叶斯网络图

Fig. 10 Figure of Bayesian network for direct-sampling-direct-tripping protection system

图中 MU、EM、SW、EU 节点分别代表相应元件, line、bus、trans 节点代表线路、母线、主变保护系统。图中所有节点均为“与”门, 即只有当每个节点的父节点都正常工作时, 其子节点才能正常工作。

三种典型保护的的条件灵敏度分析结果见表 7。

与表 6 相比, 各元件的条件灵敏度与概率灵敏度不完全一致。条件灵敏度分析结果表明, 在智能站保护系统发生故障时, 应优先关注交换机、合并

单元和智能终端是否发生故障。这与现场运行状况基本一致, 就已投运智能站保护系统而言, 其缺陷主要集中在合并单元、智能终端等新型智能电子设备身上。这些设备应是系统运维的关键元件。

表 7 元件条件灵敏度结果表

Table 7 Results for the device condition sensitivity

保护	元件	条件灵敏度($\times 10^{-2}$)	排序
线路保护	MU	18.4	2
	IED	9.20	3
	SW	54.9	1
	EM	8.24	4
母线保护	EU	9.20	3
	MU	18.04	2
	IED	2.26	5
	SW	53.84	1
主变保护	EM	10.10	4
	EU	15.79	3
	MU	30.10	2
	IED	6.02	5
主变保护	SW	35.93	1
	EM	9.88	4
	EU	18.06	3

4 结论

在智能变电站继电保护元件可靠性评估参数基础^[10-13]上, 研究结果表明:

1) 与常规站继电保护相比, 智能站保护系统的可靠性均有不同程度下降。

2) 对于智能站线路保护、主变保护等间隔型保护, 综合考虑系统可靠性、系统结构及连接的清晰性, 采用“直采直跳”模式较为合理; 而对于跨多间隔的母线保护, 在保护“四性”有保障的前提下, 综合考虑母线保护设备光口数量、保护系统结构、系统可靠性等多种因素, 采用“网采网跳”且 SV 和 GOOSE 共网传输是最佳方案。

3) 在智能站保护系统采用外部对时源时, 各种保护系统的可靠性均有不同程度下降。因此, 在目前外部对时源自身可靠性不够高的情况下, 保护系统不依赖外部对时源可显著提高系统可靠性。故现行规程^[9]提出“保护系统不依赖外部对时系统完成保护功能”是合理且必要的。

4) 在智能站保护系统的设计和施工过程中, 应重点加强和提高系统元件间连接光纤的可靠性, 增加备用芯, 确保光纤施工质量; 在智能站保护系统运维过程中, 应重点关注合并单元、智能终端和交换机等新型智能电子设备。

参考文献

- [1] 黄明辉, 邵向潮, 张弛, 等. 基于 OPNET 的智能变电站继电保护建模与仿真[J]. 电力自动化设备, 2013, 33(5): 144-149.
HUANG Minghui, SHAO Xiangchao, ZHANG Chi, et al. Modeling and simulation of relay protection for intelligent substation based on OPNET[J]. Electric Power Automation Equipment, 2013, 33(5): 144-149.
- [2] 王超, 王慧芳, 张弛, 等. 数字化变电站继电保护系统的可靠性建模研究[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(3): 8-13.
WANG Chao, WANG Huifang, ZHANG Chi, et al. Study of reliability modeling for relay protection system in digital substations[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(3): 8-13.
- [3] 张沛超, 高翔. 全数字化保护系统的可靠性及元件重要度分析[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(1): 77-82.
ZHANG Peichao, GAO Xiang. Analysis of reliability and component importance for all-digital protective systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(1): 77-82.
- [4] 樊陈, 倪益民, 窦仁辉, 等. 智能变电站过程层组网方案分析[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(18): 67-71.
FAN Chen, NI Yimin, DOU Renhui, et al. Analysis of network scheme for process layer in smart substation[J]. Automation of Electric Power Systems, 2011, 35(18): 67-71.
- [5] 陈晓捷. 智能变电站保护装置跳闸方式比较[J]. 电力与电工, 2011, 31(4): 28-30.
CHEN Xiaojie. Analysis of tripping mode for protection systems in smart substation[J]. Dianli Yu Diangong, 2011, 31(4): 28-30.
- [6] 张智锐, 肖繁, 焦邵麟, 等. 不同过程层网络结构的保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(18): 142-148.
ZHANG Zhirui, XIAO Fan, JIAO Shaolin, et al. Reliability evaluation of protection relay system based on process layer network[J]. Power System Protection and Control, 2013, 41(18): 142-148.
- [7] 朱林, 陈金富, 段献忠. 数字化变电站冗余体系结构的改进及其可靠性和经济性评估[J]. 电工技术学报, 2009, 24(10): 147-151.
ZHU Lin, CHEN Jinfu, DUAN Xianzhong. Improvement of redundant architecture in digital substation and its reliability economic assessment[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009, 24(10): 147-151.
- [8] 刘振亚. 国家电网公司输变电工程通用设计[M]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- [9] Q/GDW 441-2010 智能变电站继电保护技术规范[S]. 北京: 国家电网公司, 2010.
- [10] 霍超, 张沛超. 全数字化保护系统考虑经济性的元件重要度分析[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(13): 57-62.
HUO Chao, ZHANG Peichao. An analysis of component importance considering the cost for all-digital protection systems[J]. Automation of Electric Power Systems, 2007, 31(13): 57-62.
- [11] ANDERSSON L, BRAND K P, BRUNNER C, et al. Reliability investigations for SA communication architecture based on IEC 61850[C] // Proceedings of IEEE Power Tech Conference, June 27-30, 2005, St. Petersburg, Russia: 7p.
- [12] 侯伟宏, 张沛超, 胡炎, 等. 基于高可用自动化网络的保护系统及其可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(18): 44-48, 53.
HOU Weihong, ZHANG Peichao, HU Yan, et al. Reliability analysis for protection systems based on high availability automation network[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(18): 44-48, 53.
- [13] 杜双育, 王先培, 谢光彬, 等. 基于 IEC61850 的变电站自动化系统可靠性评估[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(5): 32-36, 41.
DU Shuangyu, WANG Xianpei, XIE Guangbin, et al. Reliability evaluation of substation automation system based on IEC61850[J]. Power System Protection and Control, 2012, 40(5): 32-36, 41.
- [14] 周忠宝, 董豆豆, 周经伦. 贝叶斯网络在可靠性分析中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(6): 95-100.
ZHOU Zhongbao, DONG Doudou, ZHOU Jinglun. Application of Bayesian networks in reliability analysis[J]. Systems Engineering-theory & Practice, 2006, 26(6): 95-100.

收稿日期: 2014-07-08; 修回日期: 2014-10-13

作者简介:

王同文(1981-), 男, 博士, 高级工程师, 从事继电保护运行管理研究; E-mail: wangtw1259@ah.sgcc.com.cn

谢民(1975-), 男, 硕士, 工程师, 从事继电保护运行管理研究;

孙月琴(1964-), 男, 硕士, 高级工程师, 从事继电保护运行管理研究。

(编辑 周金梅)