

智能变电站全站快速后备保护系统方案及应用

电力系统继电保护中后备保护按阶梯配合整定，必然使主干电网和发电厂后备保护动作时间太长、影响电网安全的问题。本文提出了一种适用于智能站的全站快速后备保护系统，描述了该快速后备保护系统的原理，建立了动作逻辑方程式。开发了快速后备逻辑单元NSR306装置、各保护装置的快速后备功能模块、所有硬件、软件和系统结构等，对其作仿真验证了其可行性。采用此方法，变电站内所有后备保护动作时间只需整为一个时差0.3s即可，从而缩短整个电网的后备保护动作时间，彻底解决了后备保护延时配合的问题。

杨胜 王高明/国电南瑞科技股份有限公司



杨胜/工程师

0 引言

当前电力系统继电保护一直遵循主保护加后备保护的配置模式^[1-2]。由相互配合的近后备、远后备配合组成的后备保护，是各种主保护不可或缺的补充，共同构成了全系统的保护配置，起着十分重要的作用。各保护均遵循直采直跳、独立运行互不干扰的运行规则，导致传统后备保护的时限整定遵循阶梯形时限原则，且因接线方式运行方式的复杂性，定值上配合十分困难，需多级配合后备保护动作时限可能太长。在电网规模和供电范围越来越大的情况下，这一问题越加突出。为保证电网安全稳定，主网后备保护动作时间有严格限制，在220 kV电网中通常不超过1 s。而按阶梯形配合原则整定，则可能高达数秒。这一矛盾在传统继电保护中至今无法解决^[3]。实际工作中往往采取加强主保护配置来强化主保护作用，减少对后备保护的依赖，或者是压下一级供电系统后备保

护的动作时限，但前者不能从根本上解决这一矛盾，而后者可能造成下一级供电系统越级跳闸，扩大事故停电范围^[3-5]。这在当前电力系统中是很难接受的。

针对这一长期困扰电力系统的保证供电可靠性与保证电网安全运行之间的矛盾，有必要研究一套完整的、新的快速后备保护体系，使其既能满足供电可靠性要求，又能满足电网安全运行要求。随着近年智能电网的推出及发展，常规采样、GOOSE采样、常规跳闸、GOOSE跳闸以及各种通信技术的大量应用，使得上述矛盾简单化，能通过新的经济可靠的方法得以解决。

基于此本文提出了一种新的智能站后备保护方案，使得全站所有装置后备保护在保证选择性、可靠性和灵敏性的基础上，延时无需与上下级配合，甚至无需计算，均设为 Δt 即可，彻底改进传统的保护配置模式，彻底解决后备保护的配合问题。

1 传统后备保护延时的整定方法及缺陷

以图1所示的典型电力网络为例。该电力网表示了220 kV主干网通过110 kV变电站到10 kV配电网的供电路径。其中的后备保护 $P_1 \sim P_7$ 在动作时限上应是逐级配合。由于 P_2 、 P_5 为主变低后备需带两段时限，所以实际从保护 $P_1 \sim P_7$ 共有9个时限级差 Δt ，按 $\Delta t=0.5$ s计算，则 P_7 的动作时限长达4.5 s，这在220 kV主干网络中是无法接受的；反之若根据220 kV电网后备保护要求，确定 P_6 动作时限为不大于1 s，则 $P_2 \sim P_7$ 的动作时间将无法整定^[3-5]。

关键词/Keywords

智能站·
快速后备保护·
延时·
SV·
GOOSE·

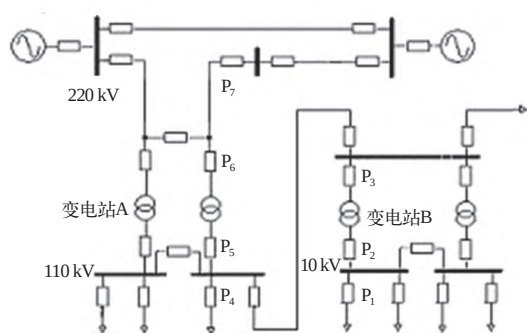


图1 典型电力系统接线图

显然， $P_1 \sim P_7$ 的后备保护延时配合问题，通过传统的配置及整定手段目前仍无法解决，只能另辟途径寻找其他新方法。

2 智能站全站快速后备保护系统方案

近年来随着计算机和网络通信技术迅猛发展，变电站综合自动化技术得到广泛应用。特别是智能变电站的大力发展，各种新技术对继电保护带来重大变革，特别是智能站中SV和GOOSE信号的出现，对继电保护是革命性改变。

分析传统后备保护的设计思想可知，后备保护主要是靠其动作时间的配合来满足选择性要求的。若后备保护能明确识别故障范围，则无需靠时间配合来保证选择性。

显然在SV采样GOOSE跳闸的智能站中是可以经济可靠实现的，基于此本文设计了一套免配合的智能站全站快速后备系统。

以图2为例变电站中，各馈出线及主变高低压侧均配置了保护装置，各装置均有瞬时动作的速断保护，传统后备保护若按阶梯形时限原则， P_{t2} 的动作时限将为 $T_{t2} = T_{Lj} + 3\Delta t$ 。若变电站装

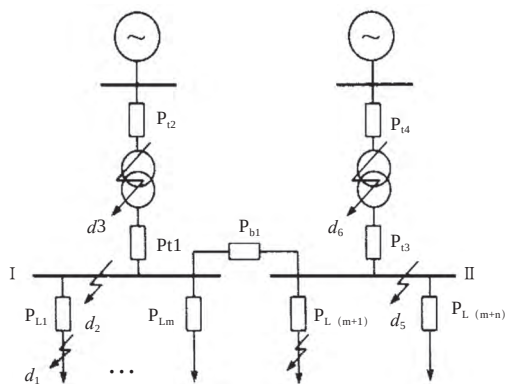


图2 典型变电站故障示意图

设本文所述的免配合的快速后备保护系统后，它能识别各类故障的发生地点($d_1 \sim d_3$)，就可直接发出相应的跳闸命令，则 T_{t1} 不需要与 T_{L1} 和 T_{b1} 配合， T_{t2} 不需要与 T_{t1} 配合，这样可大大缩短后备保护动作时间。

2.1 快速后备保护系统结构

实现快速后备保护的关键在于故障发生后迅速判定出故障范围，从而在主保护未动作跳闸的情况下快速发出跳闸命令。

图3所示为快速后备保护的系统结构图，其中， P_{Lj} 和 P_{ij} 分别表示装设于输电线路、主变各侧的保护装置，用 P_{ij} 表示，完成各元件的保护功能，同时计算故障方向并上送到GOOSE网、从GOOSE网获取故障点位置信息以开放或闭锁其快速后备保护；快速后备逻辑单元，接收各保护装置 P_{ij} 发来的故障信息，综合处理后最终判断故障发生的范围，据此将相应的故障位置信息发送到各保护装置。

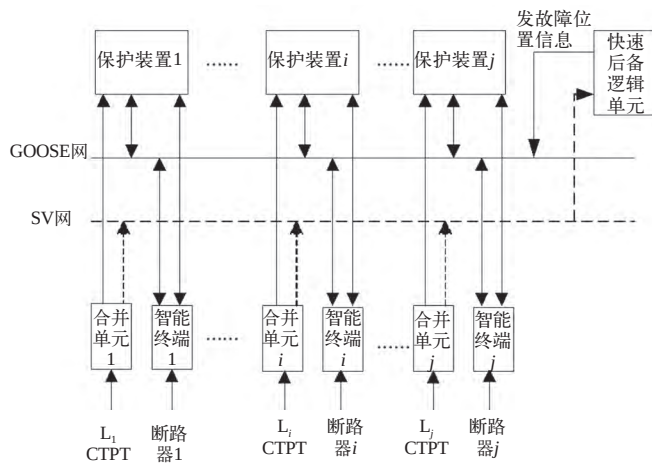


图3 快速后备保护系统结构图

系统的电压电流、开关位置通过SV光纤网传输、跳闸等命令通过GOOSE光纤网传输。当前智能站内数据通信技术已十分成熟，它能保证快速后备保护系统对实时性和可靠性的要求。

2.2 快速后备保护系统原理

范围方法有很多种，由于传递故障方向信息方便快捷可靠，本文采用基于故障方向判别的故障范围识别方法。设变电站各线路、变压器和母联等电气设备均装设具有故障启动检测和故障方向判别的保护元件 P_{ij} 、 P_{ij} 的输出值 f_{ij} 为

$$f_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{保护正方向故障} \\ 1 & \text{保护未起动} \\ -1 & \text{保护反方向故障} \end{cases}$$

在图2中, 输电线故障正方向定义为由母线指向线路, 母联的故障正方向定义为指向 I 段母线, 变压器低压侧保护正方向定义为故障功率方向由变压器指向线路, 变压器高压侧保护故障正方向定义为母线指向变压器, 则在不同地点故障 f_{ij} 的取值见表1。

表1 不同故障点的 f_{ij}

故障点	f_{L1}	f_{b1}	f_{c1}	f_{c2}
d_1	1	1	1	1
d_2	0	1	1	1
d_3	0	0	0	1
d_4	0	-1	1	1
d_5	0	-1	1	1

因此, 可制定快速后备保护对各被保护设备的跳闸逻辑判据。以图2为例可得下列跳闸条件。

设 O_{ij} 表示跳闸条件。

对输电线路 L_1 为

$$O_{L1} = \begin{cases} f_{L1}f_{b1} & f_{b1} \neq 0 \\ f_{L1}f_{c1} & f_{c1} \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

对变压器低压侧 t_1

$$O_{t1} = \begin{cases} f_{c1}f_{b1} > 0 & f_{Lj} = 0 \\ f_{c1} > 0 & f_{Lj} = 0, f_{b1} = 0 \\ f_{c1}(-f_{Lj}) > 0 & f_{Lj} \neq 0, f_{b1} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

对变压器高压侧 t_2

$$O_{t2} = \begin{cases} f_{c2}(-f_{c1}) > 0 & f_{c1} \neq 0 \\ f_{c2} > 0 & f_{c1} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

对母联断路器 b_1

$$O_{b1} = \begin{cases} f_{c1}f_{c3}|f_{b1}| > 0 & f_{b1} \neq 0, f_{c1} \neq 0, f_{c3} \neq 0, f_{Lj} = 0 \\ f_{c1}|f_{b1}| > 0 & f_{c3} = 0, \text{其余条件同上} \\ f_{c3}|f_{b1}| > 0 & f_{c1} = 0, \text{其余条件同上} \end{cases} \quad (4)$$

显然, 对于其他输电线路侧, 2[#]主变压器两侧类似可得跳闸条件。可见, 当各现场单元能正确检测故障方向时, 快速后备保护的动作原理将十分简单可靠。

2.3 快速后备保护系统故障方向判别方法

由上述快速后备原理可见, 方向元件对快速

后备保护系统是至关重要的。为了提高方向元件的动作速度和工作性能, 国内外继电保护对故障方向判别元件的新原理、新技术进行了不懈的努力, 取得了丰硕的成果^[6~8]。结合当前各种保护原理及本系统实际工况, 对不同原理的保护采用相应的故障方向判别方法, 见表2。

表2 各方向元件比较表

方向元件	特点	应用范围
90° 接线功率方向元件	1.使用全电压全电流 2.测量点近处三相短路有死区或失去方向性 3.反应相间短路	1.不接地或小接地系统线路方向电流保护 2.变压器相间短路后备保护
方向阻抗继电器	1.测量保护安装处所感受的阻抗所处的方向 具有明显的方向性 2.采用记忆原理消除死区 3.测量阻抗受系统振荡等因素影响	1.作为高压线路高频方向闭锁式主保护的方向元件 2.高压线路后备保护
工频变化量方向元件	1.利用故障突变量中的工频分量测量故障分量电压与电流相位 2.方向判定准确 3.反应速度快	高压线路带通道方向比较式主保护
故障序分量方向元件	1.利用正序故障分量或负序分量零序分量电压电流 2.方向判定准确 3.反应速度快	高压输电线路主保护
行波方向元件	1.利用故障点产生的行波传播到保护安装处的电流电压行波的极性 2.反应速度特别快 3.抗干扰能力差	高压长距离输电线路主保护

3 智能站全站快速后备保护系统的实现

对智能站, 采样信号由合并单元传给保护装置及SV网、跳闸及其他信息由保护装置、智能终端和GOOSE网互相传输。与传统智能站相比, 保护装置只需向GOOSE网发故障方向, 同时接收GOOSE网的故障位置信息; 而新增的快速后备逻辑单元, 需接收SV网开关位置、接收GOOSE网故障方向信息、发送故障位置信息。因此保护装置的硬件完全同传统装置, 以本系统线路保护装置NSR303G为例, 采用DC 220 V-RP1705A电源插件+ RP1203A-SV-RX数字采样插件+RP1001-CPU插件+BIO48V-RP1314C光耦输入插件+RP-1202B-GOOSE插件+人机插件即可。快速后备逻辑单元

NSR306硬件完全同上述线路保护装置。

快速后备系统的保护装置，在传统保护基础上增加故障信息发送、接收功能。新增模块软件流程如图4所示。

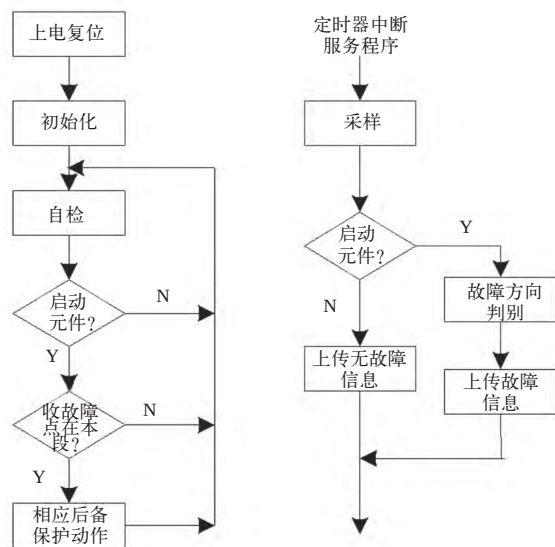


图4 快速后备保护装置手法故障信息软件流程图

快速后备系统的快速后备逻辑单元，接收故障方向信息，然后计算故障点位置，并发送到GOOSE网。其软件流程图如图5所示。

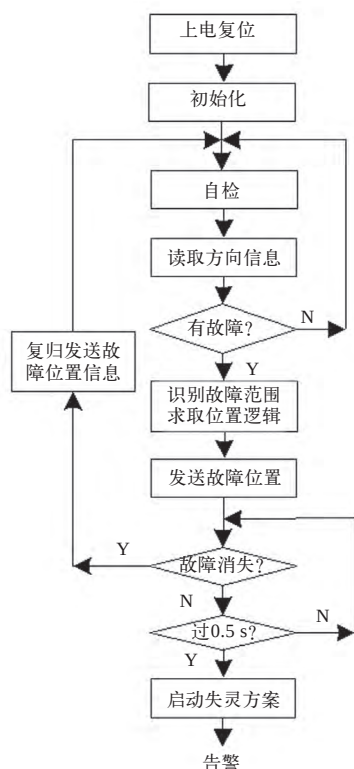


图5 快速后备逻辑单元软件流程图

4 仿真分析

仿真模型如图6所示，用博电ZF801智能继电保护测试仪作合智一体单元，输出开关位置和模拟量等信号，同时也接收跳闸信号，组成SV网和GOOSE网；将NSR378主变成套保护装置、NSR303G超高压线路保护装置、NSR371母差保护、NSR321母联保护、NSR322失灵保护和NSR306快速后备逻辑单元等装置分别接入SV网GOOSE网。

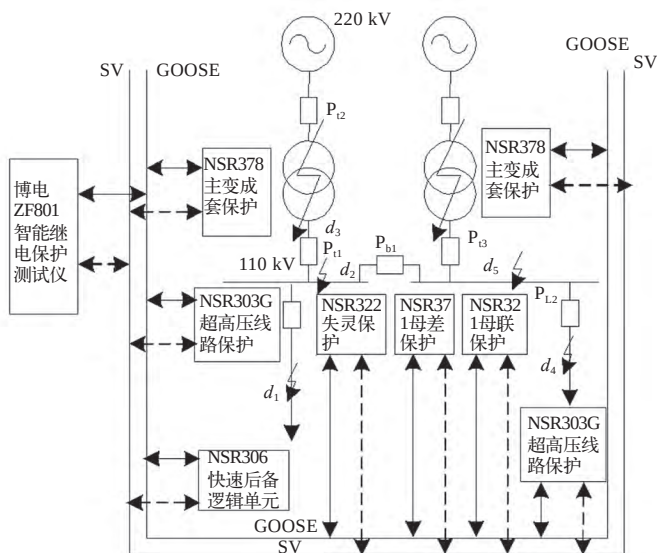


图6 仿真模型

所有装置主保护全退出，只投后备保护，所有后备保护延时均设为0.3 s，后备保护定值均设为电流0.3 A、阻抗50 Ω以保证正方向故障时所有装置的后备保护均启动，ZF801测试仪同时输出 P_{11} 、 P_{12} 、 P_{13} 、 P_{14} 、 P_{15} 等5个开关的位置信号、电压电流信号等。模拟 $d_1 \sim d_5$ 点故障，监控各装置发出的故障方向信号、快速后备逻辑单元的发出故障位置信号和后备保护的动作情况。

系统的运行方式为：1[#]主变压器运行状态， P_{12} 、 P_{14} 开关合位；2[#]主变冷备用， P_{13} 开关分位；母联开关 P_{11} 合位；线路 P_{16} 、 P_{17} 开关合位。模拟 $d_1 \sim d_5$ 点故障，结果见表3。

从上述结果可见：

(1) 任一点发生故障，所有保护装置均能正确发出故障方向信息。

(2) 快速后备逻辑收到后能正确判断故障点位置，从而闭锁不满足的后备保护，开放满足的

表3 仿真结果

故障信息	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
f_{L1}	1	0	0	0	0
f_{b1}	0	0	0	-1	-1
f_{t1}	1	1	0	1	1
f_{t2}	1	1	1	1	1
f_{L2}	0	0	0	1	0
O_{L1}	1	0	0	0	0
O_{b1}	0	0	0	0	1
O_{t1}	0	1	0	0	0
O_{t2}	0	0	1	0	0
O_{L2}	0	0	0	1	0
动作情况	P_{L1} 距离Ⅲ段	P_{t1} 复压过电流动作	P_{t2} 复压过电流动作	P_{L2} 距离Ⅲ段动作	P_{b1} 充电过电流动作

后备保护。

(3) 该故障点计算结果是唯一的。

(4) 相应后备保护经整定的统一的后备保护延时动作，跳开开关切除故障，从而使全站后备保护满足选择性，且延时无需配合，解决了传统后备保护存在的顽疾。

(5) 同理，当系统运行方式改变时，逻辑单元的判断不受影响。

(6) 对不同类故障，如AN、BN、CN、AB、AC、BC、ABC、ABN、BCN和CAN等，快速后备逻辑单元亦不受影响。

(7) 引入该系统后，站内所有装置后备保护可只按一级时差配合，推荐0.3 s即可。

(8) 各保护装置中，快速后备功能可控制字选择投退。若不适用该功能，退出即可。此时保护装置只接收故障位置信息，但只记录不使用。

(9) 本系统借助了智能站的完善的SV网和

GOOSE网，故特别适用于智能站；而对非完全智能站，需作出其他改进。

5 结束语

针对后备保护配合问题导致的整定延时过长，引起供电可靠性与系统安全的矛盾问题，本文提出了一种适用于智能站的免配合的全站快速后备保护系统原理，并开发了其硬件、软件、算法和组网方式等，对其仿真验证，证明该系统能达到智能站全站免配合快速后备保护功能，使得站内所有后备保护延时整为一级时差即可，解决了后备保护延时配合的问题，具有极高的可行性。

参考文献

[1] 尹项根, 曾克娥. 电力系统继电保护原理与应用 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2001年.

[2] 江苏省电力公司编. 电力系统继电保护原理与实用技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006年.

[3] 隋风海. 变电站故障的远后备[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(20): 27-29.

[4] 杨奕.超高压电网后备保护的配置及整定中的一些问题 [J]. 继电器, 2001, 29(3): 16-18.

[5] 吴运祥, 沈国荣, 朱声石. 重视并应用好变压器后备保护[J]. 继电器, 2000, 28(7):8-11.

[6] 郑德山, 杨德强.系统微机保护启动元件的小波包分析 [J].电工技术, 2003(7):17-18.

[7] 陈卫等.基于补偿电压的突变量方向判别原理 [J].电力系统自动化,2002,26(14):49-51,

[8] 袁荣湘等.高压线路方向保护新原理的研究 [J].中国电机工程学报,2000,20(3):20-25,

(收稿日期: 2015-03-30) EA

作者简介

杨胜 (1983-), 男, 硕士, 工程师, 从事继电保护装置的研发工作。

王高明 (1986-), 男, 硕士, 工程师, 从事继电保护装置的研发工作。