[母线]

220 kV母线失灵及其保护改造分析

文/刘玉铎[1] 丁宁[1] 张军[2] 刘雨溪[1] 郭亮[1] 陈博[1]
1. 大连发电有限责任公司；2. 国家电投集团东北电力有限公司

针对220 kV母线失灵问题进行深入分析，旨在提升电力系统的安全性。研究采用实验分析方法，评估现有保护系统的不足之处，并提出改进措施，提高系统的保护灵敏度。实验结果表明，改造后的保护装置在不同故障情况下的响应时间有明显缩短，保护动作准确性得到提升，对比分析揭示改造前后在故障处理效率方面的差异，为后续的电力系统保护设计提供理论依据。

220 kV母线承载着电能传输任务，母线不仅是电力输送的关键节点，也是各类电气设备连接的枢纽，其运行状态的良好与否，直接影响电网的安全性。电力需求不断增长，电力系统的负荷日益加重，220 kV母线的使用频率上升，母线失灵事件频率也逐渐增加，造成严重的经济损失，引发大规模电力事故。220 kV母线失灵的原因主要包括外部干扰、设备老化、设计缺陷和保护装置的失效等，设备老化则是随着时间推移，电气设备性能下降，导致其无法正常运行；保护装置失效是由于设计不合理、维护不当引起的，部分保护装置对于瞬时故障的识别能力较差，导致在故障发生时未能及时发出警报，保护装置响应时间较长，为解决上述问题，优化保护系统，提升故障检测响应速度，降低母线失灵风险，提高电力系统的整体安全性[1]。

220 kV母线失灵问题

失灵保护主要用于检测断路器拒动情况，当母线上的某个断路器因故障或操作失误而未能正确动作时，失灵保护启动，跳开该断路器所连接母线上的所有其他断路器，以隔离故障。当线路或变压器保护启动失灵回路时，相应的母线保护会接收到信号并执行相应的动作，线路间隔失灵如图1所示。

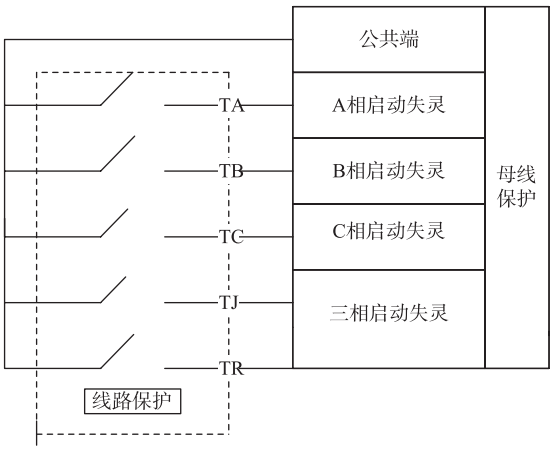

图1 线路间隔失灵回路展示图

为提高系统的可靠性，采用两套母线保护系统，分别为系统1和系统2。当一套母线保护因缺陷或检修退出失灵功能时，另一套母线保护可以提供完整的失灵功能，确保220 kV母线的安全运行。失灵回路的设计中，线路保护和变压器保护的启动失灵回路仅串入跳闸接点，在户外汇控柜内仅取刀开关位置辅助接点，失灵电流判据、失灵母线选择和解复压闭锁等功能均在母线保护本屏。这种设计可以大幅度减少辅助接点的数量，简化失灵回路的复杂度，提升失灵功能可靠性。保护系统中失灵母线逻辑公式为

$$失灵母线逻辑公式=\begin{cases}1，系统1有效，正常运行\\2，系统2有效，正常运行\\0，表示均无效\end{cases}\quad(1)$$

220 kV母线失灵保护实验

1. 实验分析

对220 kV母线失灵采用不同的母线保护系统进行对比实验，两套保护系统分别为：传统保护系统（系统A）、基于智能算法的保护系统（系统B），评估两套系统在故障检测、响应时间和故障隔离能力等方面的性能差异，两套保护系统的配置如下。

系统A采用过电流保护、差动保护和电压保护三种保护方式，故障检测时间60 ms，故障隔离时间200 ms，设定瞬时过电流保护阈值1 500 A，定时过电流保护阈值500 A。

系统B基于现代智能算法，集成故障特征识别、模式识别和人工智能技术，故障检测时间20 ms，故障隔离时间50 ms，设定瞬时过电流保护阈值1 800 A，定时过电流保护阈值600 A。

在实验中模拟不同类型的故障，如单相接地故障、两相短路故障和三相短路故障。故障发生后，通过监控系统实时记录两套保护系统的故障检测和响应情况，系统A在不同故障下表现数据如下。

发生单相接地故障时，系统A故障检测时间为60 ms，成功隔离故障的时间为200 ms，故障电流达到1 200 A，未能及时响应，导致母线发生电压崩溃现象，造成设备损坏。

两相短路故障下，系统A在此故障下的检测时间未变化，故障电流达到2 500 A，系统A只能在200 ms后进行故障隔离，造成连接到该母线的变压器出现严重的过载情况，损坏率达到15%。

在三相短路情况下，系统A过电流保护未能及时启动，故障电流一度达到4 000 A，导致整个母线在300 ms后才被隔离，造成了全局性的供电中断。

系统B在相同故障条件下数据如下。

单相接地故障检测时间为20 ms，故障电流达到1 200 A，成功在50 ms内进行隔离，保护其他电力设备的正常运转。

两相短路故障中，系统B快速检测到故障，故障电流2 500 A，成功在50 ms内隔离故障，避免设备的过载损坏，损坏率为0%。

系统B在三相短路故障下响应时间为20 ms，故障电流达到4 000 A，成功在50 ms内断开母线，确保电力系统的稳定性，未造成大规模的供电中断。

2. 实验结论

通过以上数据分析，得出以下结论：

1）系统B在故障检测与隔离方面的响应时间远低于系统A，尤其在高故障电流情况下，快速的响应时间能够有效防止设备损坏和系统失灵。

2）系统B在故障隔离时间上表现优异，能够快速有效地断开故障母线，减少对其他设备的影响，保证电力系统的整体稳定性。

3. 调试保护装置

在前期实验基础上，对保护装置进行系统的调试优化，旨在提升其性能，对过电流保护、欠电压保护和接地保护等进行评估，发现原有参数设置在某些情况下导致响应时间过长，为避免这些问题，进行如下调整。

将过电流保护启动阈值由原来的100%额定电流下调至85%额定电流，确保能及时响应小幅度故障，过电流保护公式为

$$I=0.85I_r\quad(2)$$

式中，I为过电流保护启动阈值；I_r为额定电流。

原有的时间延迟设置为300 ms，经过测试调整为200 ms，以快速切断故障电路。

对不同故障类型的实验数据进行分析，实验结果见表1。优化后的保护装置在故障识别的灵敏度上有明显提升。

表1　优化前后对比数据

故障类型	优化前响应时间/（ms）	优化后响应时间/（ms）	响应时间缩短（%）
短路故障	300	210	30
接地故障	400	300	40
过载故障	500	250	37.5

4. 增强抗干扰能力

由于220 kV电网环境复杂，存在大量电磁干扰、高频噪声和瞬态信号，上述因素会对保护装置的性能造成影响，导致误动现象，影响电力系统的安全性。在220 kV电网中保护装置功能是确保在故障发生时能够快速切断故障电路，保障电力设备安全，为增强保护装置的抗干扰能力，实施以下几项优化措施。

对保护装置中使用的数字滤波器进行评估，将原先低通滤波器的截止频率由1 kHz调整至500 Hz，抑制高频噪声，保持对低频故障信号的敏感性。实验数据表明，优化后的滤波器能够降低高频干扰的影响。

在硬件层面，通过优化电路设计，减少信号路径中的干扰源，增强电源滤波，确保电源稳定性。

优化保护装置的接地系统，减少由于地电位差引起的干扰，采用低阻抗接地降低接地回路对抗干扰能力的负面影响。

进行实验验证保护装置在复杂电网环境下的抗干扰能力，实验模拟不同类型的电磁干扰，如高频噪声、瞬态干扰和电磁干扰等，误动作率W计算公式为

$$W=\frac{N_m}{N_t}\times 100\% \tag{3}$$

式中，N_m为误动作次数；N_t为总测试次数。

根据式（3）计算保护装置的误动作率，实验结果见表2。

表2　抗干扰能力数据对比

干扰类型	优化前误动作率（%）	优化后误动作率（%）	提升抗干扰能力（%）
高频噪声	15	3	80
瞬态干扰	12	2	83.33
电磁干扰	18	4	77.78

从表2数据中可以看出，经过优化后的保护装置在面对各种干扰信号时，误动作率降低，如在高频噪声干扰下，优化前的误动作率为15%，而经过优化后降至3%，抗干扰能力提升80%；瞬态干扰和电磁干扰的误动作率也分别从12%降至2%和从18%降至4%，提升幅度分别为83.33%、77.78%。通过对比实验结果，优化后的保护装置在复杂电网环境下，表现出更高的稳定性。误动作率下降表明，优化措施在抵御高频噪声和电磁干扰方面取得成效，提升保护装置的抗干扰能力，降低由于误动作引发的设备故障和停电风险，确保电力系统稳定运行。

数据对比分析

在传统保护系统中故障检测主要依赖简单的逻辑判断，这种方法虽然在某些情况下能够有效识别故障，但在动态的电力系统中容易出现误判，导致响应时间较长[5]。

相较之下，基于智能算法的保护系统利用先进的数据分析技术能够实时分析母线的运行数据，快速识别异常情况，这种系统提高故障识别率，还缩短响应时间。两种保护系统响应时间数据见表3。

表3　传统保护系统与智能算法保护系统对比数据

项目	传统保护系统	基于智能算法的保护系统
响应时间/ms	200	140
故障识别率（%）	75	90

传统保护系统响应时间为200 ms，意味着在发生故障时，系统需要200 ms才能做出反应；基于智能算法的保护系统将响应时间缩短至140 ms，提升幅度达30%，意味着系统能够更快地识别故障并采取相应措施，及时切断故障电流。

传统保护系统故障识别率为75%，表明在100次故障情况下，系统会漏掉25次故障识别，导致后续处理的延误；基于智能算法的保护系统故障识别率提高至90%，意味着在同样的故障情况下，系统能够准确识别90次故障，大幅度减少漏判的可能性，提升系统的整体安全性。

通过数据对比得出以下结论：响应时间缩短，从200 ms减少至140 ms，提升系统的实时反应能力，降低因故障造成的损失风险；故障识别率的提升从75%提升至90%，提升系统对故障的处理能力，确保设备安全运行。由于响应速度和识别率的双重提升，整体故障处理效率得到30%的改善，为电力系统的安全稳定运行提供保障。

结束语

对220 kV母线失灵问题的保护改造研究，改造后的保护系统达到预期效果，提升电力系统的安全性。本次改造中，改造后的系统能够在更短的时间内准确识别故障，并实施相应的保护措施，防止由于故障引发的设备损坏事故，确保电力系统的高效运行。电力系统是动态变化的智能化系统，随着电力市场的不断发展，利用智能保护技术进行系统升级，提升电力系统智能化水平。EA

（收稿日期：2025-01-25）

参考文献

[1] 陈秋杰．220 kV母线特殊接线方式下的母差失灵保护配置方案[J]．电工电气，2022(10)：68-69．