

智能变电站保护整组动作时延优化技术研究

詹智华¹, 马和科², 詹荣荣¹, 李岩军¹, 闻宇³

(1. 中国电力科学研究院, 北京 100192; 2. 许继集团有限公司, 河南 许昌 461000; 3. 国网北京电力公司, 北京 100031)

摘要: 相比常规变电站, 智能变电站增加了合并单元和智能终端设备, 保护整组动作时间有所延长, 给电网安全稳定运行带来了不利的影响。分析了智能变电站的体系结构, 对造成保护动作时间延长的各个环节进行了研究, 提出了合并单元、智能终端及保护装置时延优化方案, 通过动模实验验证了时延优化效果。优化二次设备的动作时延, 可以提高智能变电站保护整组动作时间, 保障电力系统安全稳定运行, 为后续智能变电站的建设和方案设计提供切实的技术支撑。

关键词: 智能变电站; 合并单元; 智能终端; 继电保护; 时延优化

Research on optimizing technology of protection operation time extension in smart substation

ZHAN Zhihua¹, MA Heke², ZHAN Rongrong¹, LI Yanjun¹, WEN Yu³

(1. China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China; 2. Xuji Group Corporation, Xuchang 461000, China; 3. State Grid Beijing Electric Power Company, Beijing 100031, China)

Abstract: Compared with conventional substations, smart substations add merging units and intelligent terminals, which prolong the operation time of protection, and bring adverse effects on the safe and stable operation of power grid. the architecture of smart substation is analyzed, and the key links causing the prolongation of protection operation time are studied. The delay optimization schemes of merging unit, intelligent terminal and protection device are put forward. The effect of time delay optimization is verified by dynamic simulation test. Optimizing the action delay of secondary equipment can improve the whole operation time of protection in smart substation, ensure the safe and stable operation of power system, and provide practical technical support for the subsequent construction and scheme design of smart substation.

Key words: smart substation; merging units; intelligent terminal; relay protection; operation time optimization

0 引言

近年来, 随着智能电网建设的逐步推进, 智能变电站的安全、稳定运行对电网的影响在逐步加大^[1-3], 智能变电站保护动作时间对电网安全稳定运行具有重要意义^[4]。相比传统变电站, 智能变电站增加了合并单元的采样延时及智能终端的动作时间, 在保护原理不变的情况下, 智能变电站保护装置整组动作时间延长

(以下简称“时延”), 超过了现有标准要求保护动作时间不大于30 ms的情况, 给系统安全稳定运行带来了一定的隐患。

目前 国内对智能变电站的研究主要集中在过程层网络结构分析及优化^[5-7]、系统及保护的可靠性分析^[8-10]等方面。本文简要分析了智能变电站继电保护整组动作时延构成, 分析了合并单元、保护装置和智能终端内部各环节时延

情况,提出了合并单元、保护装置和智能终端时延优化方案,通过动模实验测试验证了时延优化效果,相关测试结论可为后续智能变电站建设方案提供切实的技术支撑。

1 保护整组动作时间构成

保护整组动作时间为从故障发生至保护动作信号传至开关跳闸线圈的时间。常规变电站保护整组动作时间是指从系统故障发生到保护动作信号发出跳闸命令的时间^[11]。智能变电站由于增加了合并单元和智能终端两个环节,故保护整组动作时间包括合并单元采样时间、保护装置动作时间和智能终端动作时间。

常规变电站保护整组动作时间构成如表1所示。智能变电站保护整组动作由合并单元、智能保护装置和智能终端三个独立装置完成,增加了报文接收、数据处理和报文输出等处理环节,智能变电站保护与常规变电站保护逻辑判断部分相同,理论上逻辑判断环节延时也相同,各环节如表2所示。

表1 常规变电站保护整组动作时间构成

Tab. 1 Time composition of protection operation in conventional substation

序号	处理环节
1	模拟量滤波 A-D 转换等
2	保护装置逻辑判断
3	板件间传输
4	出口板继电器动作
5	操作箱三跳重动继电器动作 (仅元件保护)

表2 智能变电站线路保护整组动作时间构成

Tab. 2 Time composition of protection operation in smart substation

序号	处理环节
1	合并单元
2	保护装置解析 SV 报文
3	保护进行 SV 采样数据插值
4	内部传输处理
5	保护装置逻辑判断
6	保护 GOOSE 报文发送时间
7	智能终端解析报文时间
8	智能终端动作时间

2 保护整组时延分析

在智能变电站建设的初期,智能变电站保护动作时间较常规变电站延长的问题,伴随着合并单元和智能终端的应用就已出现^[12]。由于早期对合并单元、智能终端未统一规范,不同厂家生产的设备延时也不同,导致部分保护整组动作时间不能满足标准要求。随着后期智能变电站标准规范的不断完善,对合并单元、智能终端的延时特性已经有了统一的规范和要求^[13-15]。

智能变电站保护整组动作时延包括保护合并单元时延、保护动作时延和智能终端时延三大环节,下面分别对上述三类设备各环节的时延进行分析、保护装置动作时间和智能终端动作时间。

2.1 合并单元时延分析

合并单元为智能电子设备提供一组时间同步(相关)的电流和电压采样值,其主要功能是汇集(或合并)多个互感器输入的二次模拟信号,经过 A-D 采集模块变换为数字信号^[16],并以确定的数据品质传输到电力系统电气测量仪器和保护设备。

合并单元各延时节点主要包括采样回路延时、板间通信延时、CPU 数据接收延时、CPU 数据处理延时以及 SV 数据发送延时,如图1所示。

其中,各节点时延分析如表3所示。

国家电网公司企业标准《智能变电站合并单元技术规范》中规定合并单元采样响应延时不应大于 2 ms^[17]。由表3可知,合并单元发出 9-2 报文的额定延时一般与其重采样时刻有关,在重采样时根据采集器的延时进行二次插值采样,一般重采样时刻与实际模拟量产生的时间差为采样间隔的整数倍,故合并单元的重采样延时一般为 $n \times 250 \mu\text{s}$,合并单元额定延时为重采样延时与发送延时之和。

2.2 保护装置时延分析

智能变电站保护装置处理环节主要包括采

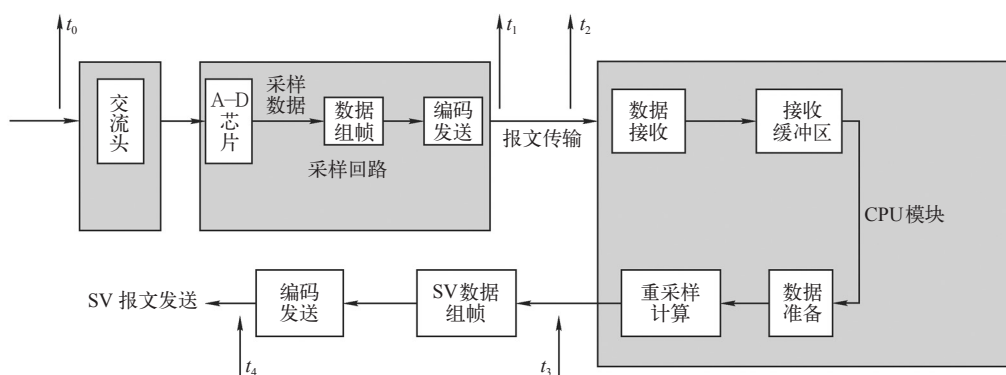


图1 合并单元各延时节点

Fig. 1 Delay nodes of merging unit

表3 合并单元各节点时延分析

Tab. 3 Delay analysis of nodes of merging unit

时间节点	含义	延时 / μs	
t_0	交流头输入时刻	0	
t_1	采样回路延时	$t_1 - t_0$: 41 ~ 44	重采样延时
t_2	板件传输时间	$t_2 - t_1$: 100	
t_3	CPU接收、处理延时	$t_3 - t_2$: 280 ~ 435	
t_4	SV发送延时	$t_4 - t_3$: 500	SV 发送延时
合并单元总体延时		$t_4 - t_0$: 1 000	

样数据数字滤波、采样数据同步、采样数据板间传输、保护逻辑判别、出口信号板间传输和GOOSE报文发送，如表4所示。其中保护逻辑判别与传统常规变电站基本一致。主要差异表现在数据采集和出口报文发送两部分，其中数据采集所耗时延最多。

表4 保护装置各环节时延分析

Tab. 4 Time delay analysis of protective device

序号	处理环节	增加延时 / μs	说明
1	SV 接收响应	0 ~ 100	与查询周期设置相关
2	数字滤波	100 ~ 300	与截止频率设置相关
3	插值回退	250	
4	同步等待	0 ~ 1 500	与各组SV固定时延差异相关
5	采样数据传输、接收	0 ~ 833	
6	跳闸命令传输	833	

2.3 智能终端时延分析

在相同的一、二次设备条件下，与传统变

电站中保护节点直接跳闸、其延时构成主要为出口继电器的动作时间相比，智能变电站中采用GOOSE报文经网络发信给智能操作箱的方式增加了中间环节，导致总保护动作时间有所延长^[18]。Q/GDW 1808—2012《智能变电站通用技术条件》规定，智能终端的动作时间（即动作延时）为智能终端收到保护跳闸命令后到开出硬触点的时间应小于7 ms。

智能终端在GOOSE接收处理环节、起动继电器动作及出口继电器动作等环节的延时。基于智能终端的硬件架构和软件方案，智能终端的实现过程可分为以下几个时间节点，如图2所示。

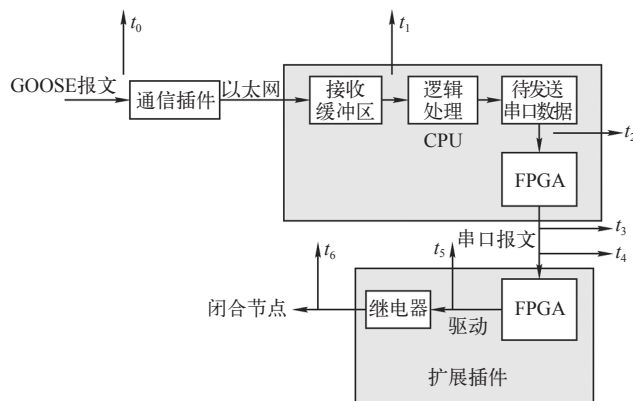


图2 智能终端各延时节点

Fig. 2 Delay nodes of intelligent terminal

其中，各节点时延分析如表5所示。

3 时延优化研究

3.1 合并单元时延优化

合并单元输出延时由重采样计算延时和发

表5 智能终端各节点时延分析

Tab. 5 Time delay analysis of intelligent terminal

时间节点	含义	延时/ μs
t_0	通信插件收到GOOSE报文时刻	0
t_1	CPU从接收缓冲区读到该帧GOOSE报文时刻	t_1-t_0 : 20 ~ 150
t_2	CPU向FPGA填写串口发送报文时刻	t_2-t_1 : 104 ~ 529
t_3	FPGA发送该帧串口报文时刻	t_3-t_2 : 300
t_4	扩展插件收到该帧串口报文时刻	t_4-t_3 : 821 ~ 876
t_5	驱动继电器出口时刻	t_5-t_4 : 200
t_6	继电器触点闭合时刻	t_6-t_5 : 3 500 ~ 4 500
	智能终端总体时延	t_6-t_0 : 5 000 ~ 6 500

送延时两部分组成, 级联模式配置方式也人为增加了一定的时延。另外, 合并单元数据处理的一些关键环节: 如交流头转换延时、A-D采样延时等均属于硬件的固有延时, 各种元器件时延性能差异不大, 无明显优化空间。因此, 研究通过改变采样模式和通信机制来达到优化时延的目的, 从以下三方面入手解决。

1) 优化现有合并单元本地ADC采集插件的采样模式, 由固有延时采样方法改为同步采样方法, 省去重采样计算的延时时间, 合并单元的输出延时只包含SV发送延时部分, 输出延时最小可按一个采样点考虑, 可设为250 μs 。

2) 突破各个通信传输环节的带宽瓶颈, 提高传输效率, 优化FPGA与CPU之间的通信机制, 改为GBit双向高速DMA通道, 达到减少时延的目的。

上述两点优化后的节点时延情况如表6所示。

表6 合并单元优化后各节点时延分析

Tab. 6 Delay analysis of nodes after optimization of merging unit

(单位: μs)

时间节点	含义	优化前延时	优化后延时
t_0	交流头输入时刻	0	0
t_1	采样回路延时	t_1-t_0 : 41 ~ 44	t_1-t_0 : 41 ~ 44
t_2	板件传输时间	t_2-t_1 : 100	t_2-t_1 : 20
t_3	CPU接收、处理延时	t_3-t_2 : 280 ~ 435	t_3-t_2 : 76 ~ 299
t_4	SV发送延时	t_4-t_3 : 500	t_4-t_3 : 430
	合并单元总体延时	t_4-t_0 : 1 000	t_4-t_0 : 680

3) 改变母线电压级联的配置方案, 采用直采的模式来减少因合并单元级联而增加的时

延, 可以节省至少0.75 ms的延时时间。

通过以上三点优化方案, 合并单元整体时延可以优化约1 ms。

3.2 保护装置时延优化

智能变电站保护时延主要集中在数据采集和出口报文发送, 而数据采集所耗延时最多。

(1) SV重采样延时

过程层处理模块为了满足合并单元的最大延时要求, 会固定延时2 500 μs 进行重采样, 然而一般情况下合并单元发送SV报文的额定延时均会远小于2 000 μs , 因此重采样过程中的延时可依据此做一定的优化, 具体方案如下: 合并单元配置完成后, SV额定延时为一固定数据。保护装置过程层处理模块实时获取合并单元发送的SV报文中额定延时数据。依据实时获取的额定延时数据来计算需要延时的点数, 计算公式为: 延时点数=实时获取的额定延时/输出点间隔时间, 如果运算结果存在余数, 则延时点数=延时点数+1; 如果延时点数 $\times$ 延时输出间隔-最大延时 $<100 \mu\text{s}$, 则延时点数=延时点数+1。

按照合并单元运算处理效率, 其额定延时一般不会大于0.833 ms, 按照上述计算公式, 延时一个采样点即可保证数据的真实可靠。相比于优化之前, 仅此一个改进可最大减少 $2 \times 0.833 \text{ ms}$ 的时延。

(2) 轮询进程周期

为协调各种资源, 保证各环节处理均匀性, 轮询进程的轮询周期一般设置为200 μs 。综合考虑权衡过程层处理模块各个任务的重要性, 为了能做到尽快接收过程层的报文, 其周期可以进一步缩短为60 μs , 减少过程层报文的等待时间, 加快接收处理过程。

通过以上两点优化方案, 保护装置整体时延可以优化约0.7 ms。

3.3 智能终端时延优化

缩短智能终端的动作延时时间关键在于优化逻辑处理延时、继电器动作延时两部分时

间。逻辑处理延时所包含的几个环节均与软件实现的时间消耗有关，倘若优化软件的系统架构和实现方案中，去除掉其中一些冗余环节并提高内部通信的效率，则整个延时时间可实现一定程度的优化。智能终端继电器环节包括启动继电器和出口继电器两部分，其动作延时属于继电器自身特性，可以通过遴选元器件或改善这两个继电器的驱动机制来缩短时延。

(1) 插件配置方案优化

现有智能终端的实现方案中，由网络通信插件实现与保护装置的GOOSE点对点通信，虽然系统架构层次分明，易于扩展，但是额外增加了GOOSE报文在装置内部的驻留时间。如果取消网络通信插件，改为CPU插件与保护装置的点对点通信，则可缩短GOOSE内部驻留延时（去除掉网络通信插件驻留时间后可节约150 μs 左右）。

(2) 通信机制优化

在取消网络通信插件的基础上，优化系统内部的通信机制，采用GBit高速双向通道，进一步缩短智能终端的输出延时。

(3) 出口继电器驱动优化

智能终端的出口启动回路一般采用快速继电器，其动作时间一般为2~3 ms。可以采用快速的电子开关回路进行时延优化，智能终端的继电器出口启动回路采用MOSEFT场效应晶体管，其动作时间通常小于0.5 ms，可以减少智能终端动作时间2 ms左右。

上述优化后的节点时延情况如表7所示。

通过以上三点优化方案，智能终端整体时延可以优化约2 ms。

4 时延优化效果验证

从上节优化方案分析可知，具有短延时特征的保护装置距离保护整组动作时间比优化之前的智能站保护装置平均优化约3.7 ms。为进一步验证装置实际优化的效果，进行了智能变电站保护、合并单元和智能终端整体动作时间动态模拟实验。

表7 智能终端各节点时延分析

Tab. 7 Delay analysis of nodes after optimization of intelligent terminal

时间节点	含义	优化前延时	优化后延时
t_0	通信插件收到GOOSE报文时刻	0	0
t_1	CPU从接收缓冲区读到该帧GOOSE报文时刻	t_1-t_0 : 20 ~ 150	t_1-t_0 : 16 ~ 80
t_2	CPU向FPGA填写串口发送报文时刻	t_2-t_1 : 104 ~ 529	t_2-t_1 : 75 ~ 229
t_3	FPGA发送该帧串口报文时刻	t_3-t_2 : 300	t_3-t_2 : 0.3
t_4	扩展插件收到该帧串口报文时刻	t_4-t_3 : 821 ~ 876	t_4-t_3 : 821 ~ 876
t_5	驱动继电器出口时刻	t_5-t_4 : 200	t_5-t_4 : 2
t_6	继电器触点闭合时刻	t_6-t_5 : 3 500 ~ 4 500	t_6-t_5 : 3 000 ~ 3 500
	智能终端总体时延	t_6-t_0 : 5 000 ~ 6 500	t_6-t_0 : 3 100 ~ 4 500

4.1 动模系统

系统接线如图3所示，N厂经220 kV 200 km双回无互感输电线路与L侧系统相连。N厂装有 G_{10} 和 G_{12} 共两台发电机组，总装机容量为1 200 MW，N厂接有负荷变压器9FB，负荷变压器的额定容量为600 MV·A，所带负荷最大容量为400 MW。L侧系统接有一个等效无穷大系统3W，短路容量为10 000 MV·A。测试时双端电源均可通过串联内抗的方式来改变短路容量，达到调节线路故障电流大小的目的。

NL1线路为被保护线路，实验时在被保护线路的两端和中间以及非保护线路的两端共设置了5个故障点，其编号分别为FD₁、FD₃、FD₄、FD₆和FD₉，每一个故障点都可以模拟各种类型的金属性短路故障。

为了全面对比验证保护动作延时，搭建三套二次保护系统，分别为：常规站保护系统；延时优化前的合并单元、线路保护与智能终端组成的智能变电站保护系统；延时优化后的合并单元、线路保护与智能终端组成的智能站保护系统。

动模实验各设备连线示意图如图4所示，通过模拟系统故障，对三套保护整组动作时间进行实验测试，常规保护装置的开出硬触点和智能终端开出硬触点均接入故障录波器，实验结

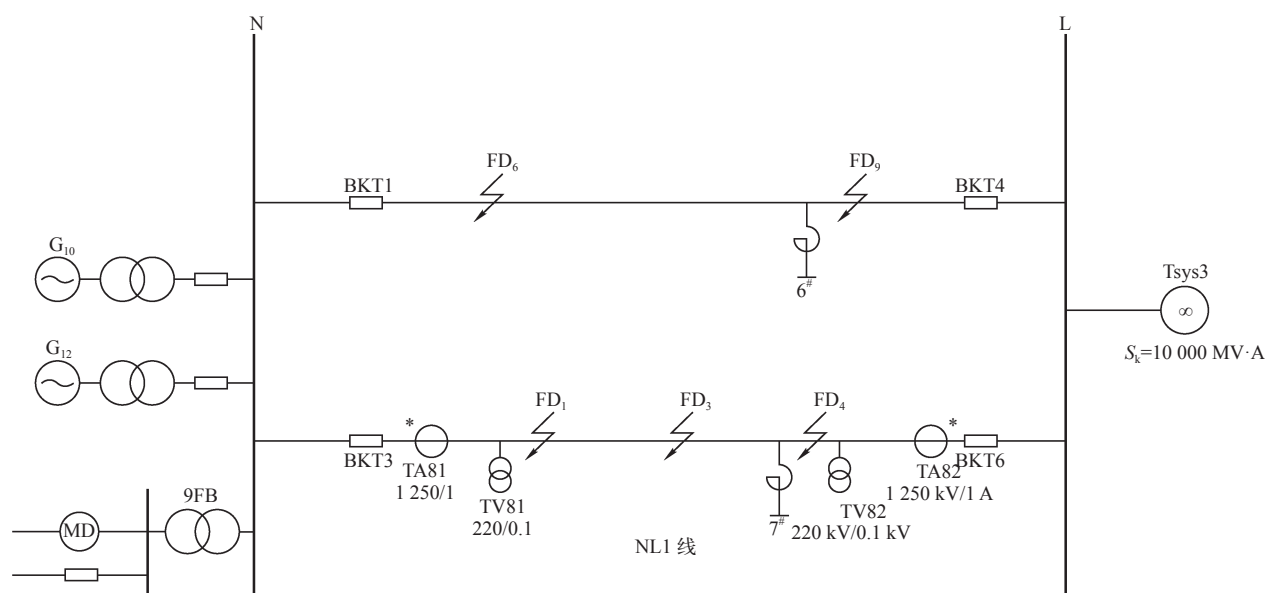


图3 220 kV 200 km无互感双回输电线路系统

Fig. 3 220 kV 200 km Non-mutual inductance double-circuit transmission line system

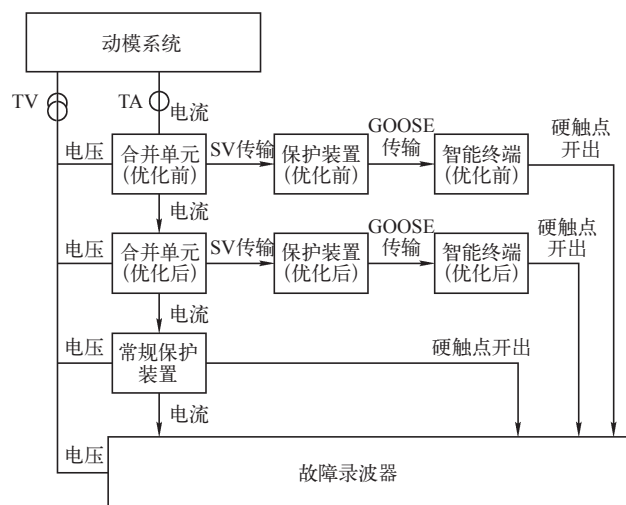


图4 动模实验各设备接线示意图

Fig. 4 Diagram of wiring of equipments in dynamic simulation test

果通过录波装置分析得到。

1) 交流电压输入信号。被检测的保护装置分别安装在被保护线路NL1的N侧和L侧，N侧保护的电压信号由电压比为220 kV/0.1 kV的线路侧TV81提供，L侧保护的电压信号由电压比为220 kV/0.1 kV的TV82提供，分别并联给优化前后的合并单元及常规保护装置。

2) 交流电流输入信号。N侧保护的电流信

号由TA81二次电流提供，L侧保护的电流信号由TA82的二次电流提供。各电流互感器的电流比均为1 250 A/1 A，通过串联方式依次接入被测设备。

3) 故障录波器。故障录波器分别接入两侧的电压和电流信号，优化前后的智能终端硬触点开入信号及常规保护装置硬触点开出信号。

4) 两侧保护的通信连接。两侧保护装置通过光纤直接连接。

4.2 测试项目及结果

本次实验中保护装置只投入差动保护功能，在三种短路容量方式下进行了故障模拟，分别对应线路差流为2.1 A、4.2 A和7 A，保护装置突变量起动定值整定为0.1 A，差动起动定值整定为0.3 A，通过模拟线路上各点发生区内金属性短路故障，测试保护整组动作时间。

(1) 测试内容及要求

测试内容：在不同的短路容量下，分别模拟线路上区内各点发生瞬时性单相接地、两相接地、两相短路、三相短路和三相接地短路故障，测试保护整组动作时间。

测试要求：根据GB/T 15145—2008《输

电线路保护装置通用技术条件》中对于纵联保护的要求,即220 kV及以上电压等级线路,动作时间不大于30 ms。

(2) 测试结果

保护整组动作时间测试结果如表8~表10所示。

表8 差流2.1 A时保护整组动作时间情况

Tab. 8 Protection operation time at differential current 2.1 A
(单位: ms)

序号	配置点	数量	时间范围	平均值
1		常规站	11.4 ~ 21.4	14.36
2	N 侧	智能站优化前	16.4 ~ 25.8	19.97
3		智能站优化后	13.4 ~ 22.2	16.29
4		优化时间	2.2 ~ 5.8	3.68
5		常规站	11.0 ~ 20.6	14.30
6	L 侧	智能站优化前	16.0 ~ 25.8	20.11
7		智能站优化后	12.6 ~ 22.4	16.30
8		优化时间	2.0 ~ 5.8	3.81

注: 实验次数为80次。

表9 差流4.2 A时保护整组动作时间情况

Tab. 9 Protection operation time at differential current 4.2 A
(单位: ms)

序号	配置点	数量	时间范围	平均值
1		常规站	10.0 ~ 18.6	13.36
2	N 侧	智能站优化前	15.4 ~ 23.2	18.94
3		智能站优化后	12.2 ~ 20.0	15.10
4		优化时间	2.2 ~ 6.2	3.84
5		常规站	10.4 ~ 18.2	13.13
6	L 侧	智能站优化前	16.0 ~ 23.2	18.89
7		智能站优化后	12.0 ~ 20.4	14.93
8		优化时间	2.0 ~ 5.8	3.96

注: 实验次数为75次。

表10 差流7 A时保护整组动作时间情况

Tab. 10 Protection operation time at differential current 7 A
(单位: ms)

序号	配置点	数量	时间范围	平均值
1		常规站	11.0 ~ 16.4	12.90
2	N 侧	智能站优化前	16.0 ~ 21.4	18.15
3		智能站优化后	12.6 ~ 18.0	14.43
4		优化时间	2.0 ~ 6.2	3.72
5		常规站	10.4 ~ 16.6	12.63
6	L 侧	智能站优化前	16.0 ~ 21.8	18.42
7		智能站优化后	12.0 ~ 18.6	14.53
8		优化时间	2.0 ~ 5.8	3.89

注: 实验次数为85次。

(3) 结果分析

从表8~表10的数据可以得出, 智能变电站优化后的二次设备总体动作时间较优化前平均缩短了3 ms以上(3.68~3.96 ms), 保护

整组动作时间优化较为明显。

智能变电站优化后的保护整组动作时间在30 ms以内, 符合标准技术要求。

根据实验数据可以得出保护整组动作时间延时优化分布, 如图5所示。

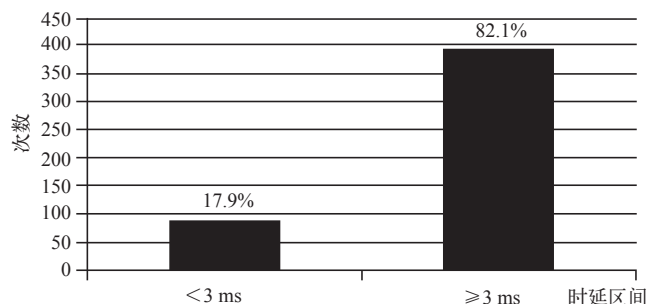


图5 保护整组动作时间时延优化分布

Fig. 5 Optimal distribution map of protection operation time delay

在不同短路电流情况下, 模拟240次故障, 两侧保护动作次数合计为480次, 从图5中可以看出, 智能变电站优化后的保护整组动作时间较优化前缩短在3 ms及以上的比例大于80%, 符合装置设计要求。

4.3 测试结论

动模实验结果表明, 优化后的智能变电站保护整组动作时间不大于30 ms, 较优化前智能变电站保护整组动作时间平均缩短3 ms以上。

5 结束语

本文在分析智能变电站保护各环节动作时延原因的基础上, 提出了合并单元、保护装置和智能终端时延优化方案, 并通过动模实验对优化后的智能变电站保护整组动作时延进行了验证。测试结果表明, 优化后的智能变电站保护整组动作时间平均缩短3 ms以上, 优化指标达到预期目标。

参考文献

- [1] 黄益庄. 智能变电站是变电站综合自动化的发展目标[J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(2): 45-48.

- [2] 陈文升, 钱唯克, 楼晓东, 等. 智能变电站实现方式研究及展望[J]. 华东电力, 2010(10): 75-78.
- [3] 李锋, 谢俊, 兰金波, 等. 智能变电站继电保护配置的展望和探讨[J]. 电力自动化设备, 2012, 32(2): 122-126.
- [4] 李旭, 倪传坤, 等. 基于自适应采样算法及数据处理的过程层设备时延优化设计[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(18): 164-170.
- [5] 王同文, 谢民, 孙月琴, 等. 智能变电站继电保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(6): 58-66.
- [6] 刘海峰, 赵永生, 李辉, 等. 基于全站同步时钟扩展装置的智能变电站同步整组试验方法的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(4): 150-154.
- [7] 张旭泽, 郑永康, 康小宁, 等. 智能变电站继电保护系统所面临的若干问题[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(6): 90-96.
- [8] 张炳达, 王岚禹. 基于FPGA的变电站实时仿真培训系统[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(6): 55-61.
- [9] 胡宝, 张文, 李先彬, 等. 智能变电站嵌入式平台测试系统设计及应用[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(10): 129-133.
- [10] 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.
- [11] 高湛军, 陈青, 王涛, 等. 基于继电保护时空参数的电网故障诊断模型[J]. 电力系统自动化, 2012, 36(13): 61-67.
- [12] 倪兆瑞, 王延安. 智能变电站合并单元延时特性现场测试仪的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(10): 119-124.
- [13] 李文俊, 程志伟, 薛忠新, 等. 基于光纤通信的防越级跳闸方案设计和应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(21): 131-135.
- [14] 倪益民, 杨松, 樊陈. 智能变电站合并单元智能终端集成技术探讨[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(12): 95-100.
- [15] 嵇建飞, 袁宇波, 庞福滨. 智能变电站就地智能设备电磁兼容抗扰度实验分析[J]. 电工技术学报, 2014, 29(1): 2-10.
- [16] 陈学伟, 高厚磊, 向珉江, 等. 基于电子式互感器微分输出的改进R-L模型距离保护算法[J]. 电工技术学报, 2014, 29(6): 283-289.
- [17] 国家电网公司. 智能变电站合并单元技术规范[S]. 2014.
- [18] 王松, 陆承宇. 数字化变电站继电保护的GOOSE网路方案[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(3): 51-55.

作者简介



詹智华

詹智华(1982—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为继电保护技术及动模检测技术研究。

(收稿日期: 2019-07-08) **EA**