

一种改进相关系数法在单相自适应重合闸中的应用

邓华

(四川省电力公司超高压运检公司, 四川 成都 610017)

摘要: 提出了一种利用采样值改进相关系数的单相自适应重合闸方法, 可以准确识别出各种运行方式下发生的瞬时性故障和永久性故障。在分析单相瞬时接地和永久接地, 线路两端断路器跳开后的电气量的基础上, 利用经过滤波的采样值, 进行相关性的分析, 以此来判别故障的性质。Matlab 仿真验证了该算法的可行性, 易于硬件实现。

关键词: 输电线路; 相关系数; 自适应重合闸; 故障性质

A single-phase adaptive reclosing method based on improved corrected coefficient

DENG Hua

(Extra Voltage Operation and Maintenance Branch, Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610017, China)

Abstract: An algorithm based on sampling data related coefficients for single-pole adaptive reclosing in power system is proposed. It can distinguish transient fault from permanent fault occurred on the EHV transmission line. By analyzing the electric data after single-pole-to-ground and using sampling data, this paper calculates the related coefficients which is used in distinguishing the fault nature. Its feasibility is verified by MATLAB simulation, it is easy for implementing by hardware.

Key words: transmission line; related coefficient; single-pole adaptive reclosing; fault nature

中图分类号: TM77; TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)22-0102-05

0 引言

在实际的电力系统中, 自动重合闸一般具有盲目性, 如果发生瞬时性故障, 重合将成功, 如果重合于永久性故障时, 电力系统将受到二次冲击, 这对于系统的稳定运行是极为不利的。所以, 研究自适应重合闸使之仅能够在瞬时故障时重合, 具有普遍而重要的实际意义。在电力系统的各种故障当中, 单相接地故障占到 70%~80%, 而单相故障中有 80% 的瞬时性故障, 因此, 在单相重合闸之前应正确区分瞬时故障还是永久故障, 避免重合于永久故障时, 对系统带来的冲击, 提高系统的稳定性。

近年来, 对自适应重合闸的研究理论和方法已经日趋成熟, 国内外的学者提出了许多鉴别故障性质的方法, 主要有电压判据, 补偿电压判据, 还有利用模糊理论^[1], 电压相位判据^[2], 神经网络^[3], 以及电压判据之间的组合^[4], 复小波分析^[5], 组合电压判据^[6], 对电弧的分析^[7,8]。以上的方法均有一定的局限性: 电压判据存在误动区; 神经网络的训练必须建立在大量样本的基础上, 且硬件实现还很困难; 电弧方法需要建立准确的电弧模型, 而电弧受

许多非线性因素的影响, 所以分析难度大, 复小波构造比较困难, 模糊理论用于重合闸也有误动的可能。

本文在对瞬时故障时恢复电压分析的基础上, 提出了一种基于改进型相关性分析的判据, 该方法弥补了电压判据只考虑电压幅值的不足, 结合电压相位作为判别瞬时故障和永久故障的基本元件, 该方法实现过程简单, 原理清晰, 受系统运行方式影响小。

1 单相接地故障特征分析^[6]

1.1 瞬时性故障

以 A 相故障为例, 当发生瞬时性故障后, 线路故障相两端断开。随短路点电弧的逐渐熄灭, 线路转入两相运行状态, 如图 1 所示。

图 1 中: C_m 是线路相间电容, C_0 是线路相对地电容, L_1, L_2 为并联电抗器电感 ($L_1 = L_2$), L_{n1}, L_{n2} 为中性点小电抗的电感 ($L_{n1} = L_{n2}$)。故障相与健全相之间存在电磁耦合电压 \dot{U}_{xL} 和电容耦

合电压 \dot{U}_y 。以 A 相为故障相，则 \dot{U}_{XL} ， \dot{U}_y 分别为：

$$\dot{U}_{XL} = (\dot{I}_B + \dot{I}_C)Z_m L \quad (1)$$

$$\dot{U}_y = (\dot{U}_B + \dot{U}_C) \frac{jX_0}{2jX_m + 2jX_0} \quad (2)$$

式中： Z_m 为输电线路单位长度互感； L 为线路全长； X_0, X_m 分别为相对地阻抗和相间阻抗。对于无并联电抗补偿的线路， $X_0 = X_{C0}, X_m = X_{Cm}$ ，对于有并联电抗补偿的线路， $L_0 = L_0 + 3L_n$ ， $L_m = \frac{L_1}{L_{n1}}(L_1 + 3L_{n1})$ ，且 $X_0 = \frac{X_{L0}X_{C0}}{X_{L0} - X_{C0}}$ ， $X_m = \frac{X_{Lm}X_{Cm}}{X_{Lm} - X_{Cm}}$ ， X_{Lm}, X_{L0} 分别为 L_m, L_0 对应的阻抗。

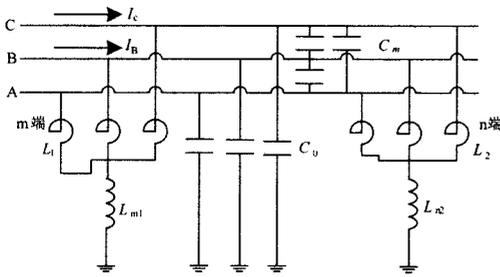


图 1 输电线路两相运行等效线路

Fig.1 Equivalent circuit of transmission line of two phase working

对于无并联电抗器补偿的线路，式 (2) 可写为

$$\dot{U}_y = (\dot{U}_B + \dot{U}_C) \frac{b_m}{2b_m + b_0} = (\dot{U}_B + \dot{U}_C) \frac{b_1 - b_0}{2b_1 + b_0} \quad (3)$$

将线路分布参数以 T 型等效，线路两端的电压相量关系如图 2 所示。

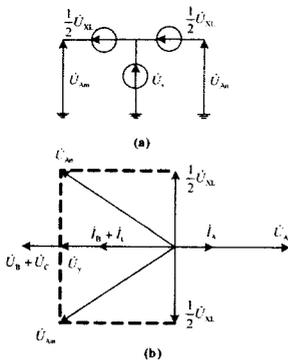


图 2 瞬时性故障线路两端电压

Fig.2 Line terminal voltage of transient fault

令

$$\text{Arg} = \left| \frac{\dot{U}_y}{\dot{U}_{XL}} \right| = \varphi \quad (4)$$

瞬时性故障的电压恢复阶段，当功率因数为 $\cos \theta = 1$ ， φ 接近 90°

因此，在瞬时性故障时，线路两端的电压为：

$$\begin{aligned} |\dot{U}_{Am}| = |\dot{U}_{An}| &= \sqrt{\dot{U}_y^2 + \left(\frac{1}{2}\dot{U}_{XL}\right)^2} = \\ \dot{U}_{XL} &\sqrt{\left(\frac{\dot{U}_y}{\dot{U}_{XL}}\right)^2 + \frac{1}{4}} \end{aligned} \quad (5)$$

1.2 永久性故障

在永久性故障情况下，故障点始终存在，线路对地电容可靠放电，电容耦合电压可以忽略。断开相电压表示为：

$$\dot{U}_{Am} = (\dot{I}_B + \dot{I}_C)Z_m d \quad (6)$$

式中： d 为故障点距离线路首端的长度。金属性接地故障， φ 接近 0° 。

图 3 为单相接地故障（瞬时性故障，永久性故障）故障相的电压波形。

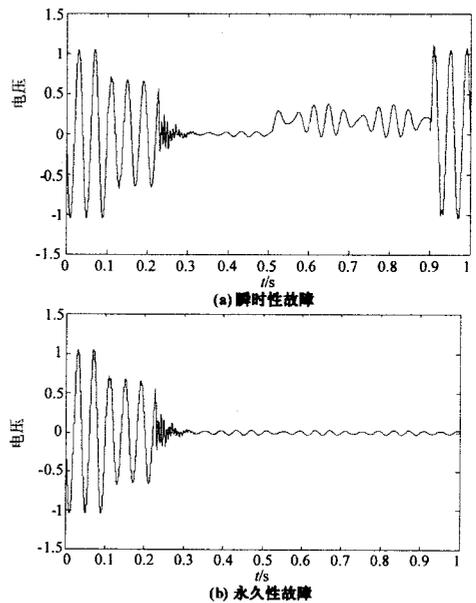


图 3 单相接地故障故障相电压波形

Fig.3 Voltage waveform of fault-phase of single-phase grounding

此时 m 端瞬时性故障的电压判据为：

$$c_v = \frac{|\dot{U}_{Am}|}{|\dot{U}_{XL}|} = \left| \frac{\dot{U}}{\dot{I}_0(Z_0 - Z_1)d} \right| \geq 1 \quad (7)$$

设 $|\dot{U}_y/\dot{U}_{XL}| = m$, 由式(5)、(7)可知, 在瞬时故障时, 如果 m 在 $[0, \sqrt{3}/2]$ 之间, 则 $c_v < 1$, 此时误判为永久性故障。 \dot{U}_y 因线路参数和补偿度不同而不同, 与线路的长度无关; \dot{U}_{XL} 则与断相后负荷以及线路长度成正比, 因此, 长线重负荷时容易满足误判条件, 缩短了可靠判定区。

2 相关性分析

相关分析是信号处理的基本方法, 在声、光、电等领域有广泛的应用, 在电力系统继电保护领域, 多年前就已经开展相关技术在行波领域和测距方面的研究。

对确定性功率信号, 其相关函数的定义可以根据随机信号的时间相关函数确定为

$$\overline{X(t)X(t+\tau)} = E(X(t)X(t+\tau)) = R_x(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)x(t+\tau)dt \quad (8)$$

该式表明, 平稳随机信号 $X(t)$ 的时间相关函数以概率 1 等于其样本函数的自相关函数进行集合平均。从理论上说, 式(8)有其物理意义。设 $x(t)$ 和 $y(t)$ 是 2 个能量有限的实信号波形, 为研究它们之间的差别, 衡量它们在不同时刻的相似程度, 引入

$$\delta = x(t) - \alpha y(t+\tau) \quad (9)$$

式中: α 为常数。

由式(9)知, 有一个最佳的 α 值使得两波形的差别最小, 一般可采用均方差误差最小准则, 即取 δ^2 的时间平均值 D 衡量相似性, 故有

$$D = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T \delta^2 dt = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T [x(t) - \alpha y(t+\tau)]^2 dt \quad (10)$$

令 $\frac{dD}{d\alpha} = 0$, 求得最佳的 α , 并将该 α 代入式(10), 得到最小的 D 值为

$$D_{\min} = \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x^2(t) [1 - \rho_{xy}^2(\tau)] dt$$

式中:

$$\rho_{xy}(\tau) = \frac{\int_0^T x(t)y(t+\tau)dt}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{R_{xy}(\tau)}{\sqrt{R_{xx}(0)R_{yy}(0)}}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t)dt} \quad ; \quad \sigma_y = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2(t+\tau)dt}$$

ρ_{xy} 对应时差为零时, 一个周期 (N 点) 离散信号的表达式为:

$$\rho_{xy} = \frac{\sum_{n=0}^N x(n)y(n)}{\left(\sum_{n=0}^N x^2(n) \sum_{n=0}^N y^2(n) \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (11)$$

显然, ρ 越大, D 越大, 两个波形越相似。当 $\rho = \pm 1$ 时, 则 $D=0$, 说明 $x(t)$ 和 $y(t+\tau)$ 完全相似。将 $\rho_{xy}(\tau)$ 定义为 $x(t)$ 和 $y(t)$ 相差 τ 时的相关系数, 令 $\tau=0$, 则 $\rho_{xy}(0)$ 表示 $x(t), y(t)$ 在同一采样数据窗内的相关系数, 可以衡量同一数据窗内两路信号的相位关系。当 $x(t), y(t)$ 均为稳态正弦信号时, 如果 $x(t), y(t)$ 相位一致, $\rho_{xy}(0) = 1$; 如果 $x(t), y(t)$ 相位相差 180° , 则 $\rho_{xy}(0) = -1$; 如果 $x(t), y(t)$ 相位相差 90° , 则 $\rho_{xy}(0) = 0$, 在其他情况下, $\rho_{xy}(0)$ 位于 -1 和 $+1$ 之间。

2.1 正弦信号的相关性分析

二次熄弧后的电气量均为稳态正弦量, 所以故障性质判别是基于工频量的。设正弦量 $y(n)$ 幅值是 $x(n)$ 的 k 倍, 相位落后 θ 。以 k, θ 为变量, 利用式(11)考查两信号采样值 1 个周期的相关性 ρ_{xy} 。可以推导出, 两正弦量幅值对相关性没有影响, 而相位差对相关性的影响为 $\cos \theta$ 函数, 当相位相差为 90° 时, 相关系数为 0。因此, 该算法可以用来计算两信号相位的相位差而不会受幅值的影响, 适用于相位型判据。在线路出口发生单相接地故障时, 该判据将失效。

本文在原始型相关系数的基础上进行改进, 以利于两信号的区分。如式(12):

$$\rho_{xy} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\left(\sum_{n=0}^N x^2(n) \sum_{n=0}^N y^2(n) \right)^{\frac{1}{2}}} \frac{\min(\sigma^2(X), \sigma^2(Y))}{\max(\sigma^2(X), \sigma^2(Y))} \quad (12)$$

设两个正弦量 $x(k), y(k)$, $x(k) = My(k+\theta)$, 图 4 是二者的相关系数与相位和幅值的关系。

由图 4 可以看出, 改进后的相关系数不仅可以反映两正弦信号的相位关系, 而且可以反映二者的幅值关系, 当二者的幅值相差较大, 相位差为 0 时, 原始相关系数是 1, 而改进后的相关系数就会很小, 所以运用改进的相关系数可以更好地反映两信号的幅值和相位综合信息。

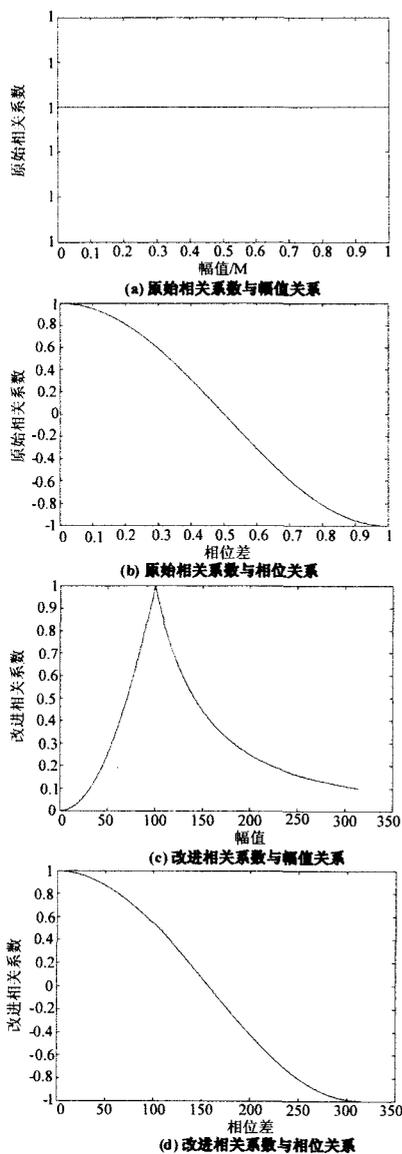


图4 相关系数与幅值、相位的关系

Fig.4 Relation of related coefficient and amplitude, phase angle

2.2 相关性判据

为了准确判别出故障性质，本文选取 U_y 与 $U_{Am} - 0.5U_{XL}$ 的相关性为判据，由图 2 可知，瞬时故障时，两相量相等，在永久故障时， $U_{Am} - 0.5U_{XL}$ 与 U_{XL} 的方向一致或相反，与 U_y 是不相等的，由此，计算二者的改进相关系数可以准确判别故障类型。

3 信号的采集与判据的实现

3.1 滤波处理

由于以上分析的电气量关系均建立在工频基础

上，在实际的电力系统中存在大量的非工频量，为提高可靠性和灵敏度，需要对采样信号进行滤波处理。本文设计一种利用 Butter 函数设计了一种零相移 2 阶 IIR 带通 Butterworth 滤波器，仿真中取采样率为 64 点/周期，令滤波器带通为 40~60 Hz，根据 IIR 滤波器的设计原则，可计算得滤波器的传递函数为：

$$H(z) = \sum_{n=0}^{2M} b(n)z^{-n} / \sum_{n=0}^{2M} a(n)z^{-n}$$

带通滤波器序列取

$b(n)=[0.0026, 0.00, -0.0052, 0.00, 0.0026]$;
 $a(n)=[1.00, -3.8374, 5.537, -3.5607, 0.86115]$ 。图 5 是该滤波器的频率响应曲线。

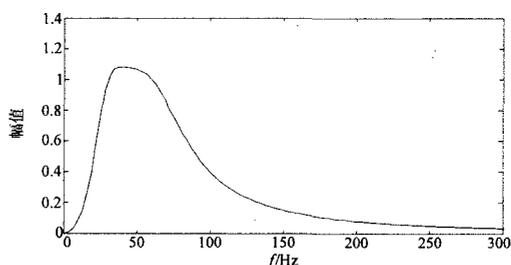


图5 频率响应曲线

Fig.5 Curve of frequency response

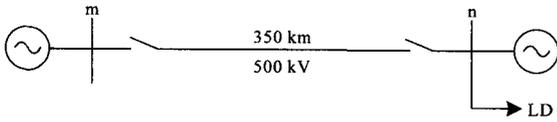
3.2 电气量采集

根据本文所需要的电气量进行采集。由于相关性识别是利用采样值建立算法的，以 M 侧为例， \dot{U}_{Am} 的采样值为 $x_1(n)$ ，设 $b_m / (2b_m + b_0)$ 为 k_1 ， $\dot{U}_B + \dot{U}_C$ 的采样值为 $x_2(n)$ ，所以 \dot{U}_y 的采样值为 $y_1(n) = k_1 x_2(n)$ ；设 $Z_m L$ 的值为 $k_2 e^{j\theta}$ ，在每个周期 N 个采样点时，线路阻抗角对应采样点差值为 $m = \theta N / 360$ (m 取整数)，则 \dot{U}_{XL} 的计算采样值由式 (1) 得 $y_2 = k_2 x_1(n + m)$ 。以上 k, θ, m 的值只与线路有关，因此系统确定后，以上值作为常数整定。

改进型相关系数判据就是 $x_1(n) - 0.5y_2(n)$ 与 $y_1(n)$ 的相关性。

4 仿真分析

本文利用 PSCAD 仿真 500 kV 线路，图 6 为仿真线路示意图，线路全长为 350 km，参数为分布参数，设一周采样 64 点，线路 k_1 值整定为 84.84，线路互感角对应的采样值差整定为 13 点。



$Z_1=0.01808+j0.27747 \Omega/\text{km}, Z_0=0.23084+j0.9728 \Omega/\text{km}, C_1=0.012917 \mu\text{F}/\text{km}, C_0=0.0081161 \mu\text{F}/\text{km}, Z_{M1}=1.2857+j55.6377 \Omega, Z_{M0}=2.8764+j37.1267 \Omega, Z_{N1}=1.6714+j35.5391 \Omega, Z_{N0}=4.7+j37.9784 \Omega$, LD是负荷。

图6 仿真系统

Fig.6 Power system for simulation

设定0.6为门槛值,相关系数大于0.6即判定为瞬时性故障,反之,判定为永久性故障。表1~4分别给出了线路不带并联电抗器;M侧带并联电抗器;N侧带并联电抗器;M,N侧都带并联电抗器时的仿真结果。从中可以发现,该判据可以准确识别单相接地时的故障性质。

表1 线路两侧不带并联电抗器的仿真结果

Tab.1 Simulation results of no shunt compensator in whole line

重合闸位置	瞬时性故障	永久性故障				
		出口	30%	50%	70%	末端
M侧	0.84	-0.01	0.05	0	0.17	0.22
N侧	0.76	-0.01	0.00	0	0.02	0.1

表2 M侧带并联电抗器的仿真结果

Tab.2 Simulation results of shunt compensator in M side

重合闸位置	瞬时性故障	永久性故障				
		出口	30%	50%	70%	末端
M侧	0.88	-0.01	0.06	0.02	0.10	0.15
N侧	0.85	-0.02	0.01	0.01	0.05	0.20

表3 N侧带并联电抗器的仿真结果

Tab.3 Simulation results of shunt compensator in N side

重合闸位置	瞬时性故障	永久性故障				
		出口	30%	50%	70%	末端
M侧	0.92	-0.01	0.01	0.00	0.08	0.15
N侧	0.89	-0.01	0.00	0.00	0.02	0.10

表4 线路两侧都带并联电抗器的仿真结果

Tab.4 Simulation results of shunt compensator in two side of power line

重合闸位置	瞬时性故障	永久性故障				
		出口	30%	50%	70%	末端
M侧	0.90	-0.01	0.02	0.00	0.09	0.12
N侧	0.91	-0.02	0.00	0.00	0.01	0.10

表5给出了不同负荷(100 MVA, 1350 MVA)时的仿真结果,重合闸装置安装在m侧。从中可以发现,本判据受负荷电流影响较小。该相关算法包含了相位和幅值的双重信息,可以认为是一种变权值的模糊化判据,具有较高的可靠性。

表5 不同负荷时的仿真结果

Tab.5 Simulation results of different loads

负荷	瞬时性故障	永久性故障				
		出口	30%	50%	70%	末端
1350 MVA	0.77	-0.01	0.07	0	0.27	0.30
100 MVA	0.86	-0.02	0.00	0	0.02	0.10

5 结论

针对原有单相自适应重合闸判据的不足,本文提出了基于采样值相关算法判别故障性质的方法,该方法利用改进后相关系数,同时考虑两信号的幅值和相位关系,最终得出正确的结果,该方法具有动作无死区和误动区的优点,而且易于硬件实现,有良好的应用前景。

参考文献

- [1] 林湘宁,朱海昱,刘沛.基于模糊综合决策的自动重合闸优化判据的研究[J].电力系统自动化,1997,21(9):31-34.
LIN Xiang-ning, ZHU Hai-yu, LIU Pei. The Study on Optimal Automatic Reclosing Criteria Based on Fuzzy Synthetic Decision[J].Automation of Electric Power Systems, 1997,21(9):31-34.
- [2] 李斌,李永丽,黄强,等.单相自适应重合闸相位判据的研究[J].电力系统自动化,2003,27(22):41-44.
LI Bin, LI Yong-li, HUANG Qiang, et al. Study on Phase Criterion for Single-pole Adaptive Reclosure[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003,27(22):41-44.
- [3] 陈少华,张辉,陈允平.智能型自适应重合闸的应用研究[J].电力系统自动化,2002,26(6):62-64.
CHEN Shao-hua, ZHANG Hui, CHEN Yun-ping. Study on Adaptive Single-phase Reclosure Based on Intelligent Control[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002,26(6):62-64.
- [4] 范越,施围.输电线路单相重合闸电压判据的修正[J].电力系统自动化,2000,24(6):44-47.
FAN Yue, SHI Wei. Modification of Voltage Criterion in the Signal-pole Automation Reclosing of Transmission Line[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000,24(6):44-47.
- [5] 林湘宁,刘沛,程时杰.超高压输电线路故障性质的复值小波识别[J].中国电机工程学报,2000,20(2):33-38.

(下转第110页 continued on page 110)

存在的, 添加或删除任何逻辑节点将自动向上述表格中增加记录。而智能装置内部则全部用顺序表的索引来指示或保存逻辑节点的数据信息。

3.3 人机接口

保护设备的定值表、MMXU 的测量值都需要在人机界面上进行显示, XCBR 或 XCWI 的状态也可能需要通过人机的方式进行监视或控制。因此, 人机设备将关联更多的描述表格, 如: 定值表、录波表、模拟量显示表、开关量表等用于设置、监视和控制的表格, 这些表格来自不同逻辑设备中的逻辑节点对象, 而不局限于人机设备, 也就是说在人机设备接口格式固定的前提下, 增加或删除某些设备的逻辑节点将直接影响人机设备的数据设置。

人机接口的界面显示也是一个重要问题, 通过增加人机逻辑节点 IHMI 的数据和数据属性实现界面显示的自动配置。如: 增加底图、帧显示顺序表、帧数据表等描述, 他们不必要出现在智能设备之间的交互信息中, 只是作为智能设备自身使用的信息存在。

4 结语

从面向对象的保护智能设备外在特性来说, 它具有完善的自描述性和互操作性, 而智能设备内部的数据组织必须满足智能设备的硬件结构所提供的最大效能。出于空间和效率的考虑必须将智能设备的对象描述映射为平面顺序表格的接口描述。因此, 分析不同对象间的关联与约束以及程序组织单元间的联系, 是内部建模必须要考虑的问题。不同的硬件结构、不同的软件思想将产生不同的智能设备内部模型, 使用本文的方法可以帮助智能设备设计者合理地建立这种内部模型。利用本方法设计的配置软件将提高继电保护智能设备的开发效率。

参考文献

- [1] IEC 61850-7-2, Communication Networks and Systems in Substations Part 7-2: Basic Communication Structure for Substation and Feeder Equipment - Abstract Communication Service Interface (ASCI) [S].
- [2] 兰森林, 张沛超. 基于 SCL 模型的 IED 配置器的设计与实现[J]. 继电器, 2005, 33(12): 48-51.
LAN Sen-lin, ZHANG Pei-chao. Design and Implementation of IED Configurator Based on SCL Model[J]. Relay, 2005, 33(12):48-51.
- [3] 朱炳铨, 任雁铭, 姜健宁, 等. 变电站自动化系统实现 IEC 61850 的过渡期策略[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(23):54-57.
ZHU Bing-quan, REN Yan-ming, JIANG Jian-ning, et al. Strategy for Implementation of IEC 61850 in Substation Automation System During Transitional Period[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(23):54-57.
- [4] 吴在军, 窦晓波, 胡敏强. 基于 IEC61850 标准的数字保护装置建模[J]. 电网技术, 2005, 29(21):81-84.
WU Zai-jun, DOU Xiao-bo, HU Min-qiang. Modeling of Digital Protective Device According to IEC61850[J]. Power System Technology, 2005, 29(21):81-84.

收稿日期: 2009-03-27; 修回日期: 2009-04-12

作者简介:

赵安国 (1976-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为电力系统主设备继电保护; E-mail: zhaoanguo@nari-china.com

杨小铭 (1976-), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为继电保护及通讯;

仇新宏 (1970-), 男, 硕士, 教授级高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护研发及管理。

(上接第 106 页 continued from page 106)

- LIN Xiang-ning, LIU Pei, CHENG Shi-jie. Identification of the Instant Fault Occurred on the Extra High Voltage Transmission Line with a Complex Wavelet Algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(2):33-38.
- [6] 葛耀中. 新型继电保护与故障测距原理与技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1996.
GE Yao-zhong. New Types of Protective Relaying and Fault Location Their Theory and Techniques[M]. Xi'an Jiaotong University Press, 1996.
 - [7] 李斌, 李永丽, 曾治安, 等. 基于电压谐波信号分析的单相自适应重合闸[J]. 电网技术, 2002, 26(10): 53-57.
LI Bin, LI Yong-li, ZENG Zhi-an, et al. The Study on

Signal-pole Adaptive Reclosure Based on Voltage Harmonic Single Analysis[J]. Power System Technology, 2002, 26(10):53-57.

- [8] BO Z Q, Aggarwal R K, Johns A T, et al. A New Concept in Transmission Line Reclosure Using High Frequency Fault Transients[J]. IEE Proceedings-C, 1997, 144(5):1-6.

收稿日期: 2009-04-24; 修回日期: 2009-06-07

作者简介:

邓华 (1973-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事电力系统继电保护的调试运行管理工作。E-mail: cgydenghua@163.com