

# 一种适用于特高压线路的快速选相方法

梁景芳<sup>1</sup>, 高厚磊<sup>1</sup>, 苏文博<sup>2</sup>, 王大鹏<sup>2</sup>, 邹贵彬<sup>1</sup>

(1. 山东大学电气工程学院, 山东 济南 250061; 2. 山东电力研究院, 山东 济南 250002)

**摘要:** 分析了电流模故障分量的基本特征, 根据不同故障类型下电流模故障分量的能量差异, 提出了一种快速的故障选相方法。该方法以各模量电流的能量作为特征量并利用其最小值进行故障选相, 其原理清晰, 可靠性高, 易于实现。PSCAD/EMTDC 仿真结果表明, 该方法能快速准确地识别特高压线路上发生的各种类型故障, 且不易受到采样频率、故障初始角、过渡电阻、故障位置等因素的影响, 具有较好的适应性。

**关键词:** 故障选相; 模故障分量; 能量最小值; 特高压线路

## A method of fast faulted phase detection suitable for UHV transmission lines

LIANG Jing-fang<sup>1</sup>, GAO Hou-lei<sup>1</sup>, SU Wen-bo<sup>2</sup>, WANG Da-peng<sup>2</sup>, ZOU Gui-bin<sup>1</sup>

(1. School of Electrical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;  
2. Shandong Electrical Power Research Institute, Jinan 250002, China)

**Abstract:** The basic characteristics of the current modular fault components are analyzed. According to energy differences of current modular fault components under different fault types, this paper proposes a new fast faulted phase detection method. Taking energy of each modular fault current as character quantity and utilizing their minimum, faulted phase detection is achieved. The principle of this method is reliable, and easy to understand and implement. Simulation results based on PSCAD / EMTDC show that this method can rapidly and accurately identify various fault types on UHV transmission lines. Moreover, this method is almost not affected by sampling frequency, fault inception angle, fault resistance, fault location, etc. So it has a good adaptability.

**Key words:** faulted phase detection; current modular fault component; minimum energy; UHV transmission line

中图分类号: TM773 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)15-0095-05

## 0 引言

以超、特高压输电线路为保护对象的超高速行波保护或暂态量保护的发展, 对继电保护选相元件提出了更高的要求。

传统的故障选相主要是基于工频量, 采用突变量选相与稳态量选相的组合方案, 其选相速度不能满足超高速保护的快速跳闸要求, 且易受过渡电阻、故障距离等因素的影响。因此, 近年来国内外提出了一系列基于故障暂态分量或行波的故障选相方法。如文献[1]提出了一种综合利用暂态电流行波幅值和极性的故障特征来识别故障类型的新原理。文献[2]利用小波变换提取电流故障分量的暂态能量, 并通过比较三相间能量的相对大小来识别故障类型和判别故障相别。但该方法实现中需要对信号进行

小波变换, 无形中增加了计算量。文献[3]提出的基于小波变换模极大值的行波选相原理, 利用零、线模初始电流行波的小波变换模极大值之间的大小关系来进行选相, 但由于零模电流分量的衰减和零序电流分配系数使得故障点处的模电流关系在保护安装处不成立, 所以该原理选相元件在长线路远端发生接地故障时会出现误判; 当发生相间故障且其中一相电压初相角为 0 时, 可能会出现漏选相问题。文献[3]提出了模故障分量选相, 利用各模量瞬时值作为判据, 当经大过渡电阻接地故障时, 由于门限值的影响会出现误选相, 且该方法选相速度易受采样频率的影响。

本文在文献[3]的模故障分量选相元件的基础上, 提出了一种利用模故障分量能量中的最小值来识别故障相别的新方法, 并通过在特高压线路模型上进行仿真, 验证了该算法的正确性。

**基金项目:** 教育部博士点基金课题 (20070422099); 山东电力集团科技项目支持课题 (2008A-26)

### 1 基本理论

系统发生故障时，各点的电压、电流均可分解为非故障分量和故障分量。为了消除三相输电线路电气量之间耦合的影响，故障分析时需要通过模变换对其进行解耦。由线性变换理论可知，对故障分量网络仍可采用模分量进行分析。

本文中采用的模量主要有：

$$\begin{aligned}
 i_0 &= i_a + i_b + i_c \\
 i_{a1} &= 2i_a - i_b - i_c \\
 i_{b1} &= -i_a + 2i_b - i_c \\
 i_{c1} &= -i_a - i_b + 2i_c \\
 i_{a2} &= \sqrt{3}(i_b - i_c) \\
 i_{b2} &= \sqrt{3}(i_c - i_a) \\
 i_{c2} &= \sqrt{3}(i_a - i_b)
 \end{aligned} \tag{1}$$

式中： $i_a$ 、 $i_b$ 、 $i_c$  为各相电流故障分量  $i_{ag}$ 、 $i_{bg}$ 、 $i_{cg}$ ，在此省略了  $g$ ，若无具体说明，以下各量均指对应的故障分量。下标 0、1、2 分别代表由克拉克变换的 0、 $\alpha$ 、 $\beta$  模分量；下标 a、b、c 代表分别以 A、B、C 三相作为基准相；并令  $Pabd = i_0 + i_{c1}$ ， $Pacd = i_0 + i_{b1}$ ， $Pbcd = i_0 + i_{a1}$ 。

大量的仿真结果表明，在故障选相中，若仅利用各模量瞬时值作为判据，当经大过渡电阻接地故障时，由于门限值的影响会出现误选相，且该方法选相速度易受采样频率的影响。为了改善选相效果，本文采用有限时间内各模量电流的能量作为特征量进行选相。设  $i(t)$  表示  $t$  时刻的电流信号，则根据信号理论， $i(t)$  在时间窗  $t_0 \sim t_N$  内的能量为：

$$E_i = \int_{t_0}^{t_N} |i(t)|^2 dt \tag{2}$$

为便于计算，将  $E_i$  离散化，设时间窗  $t_0 \sim t_N$  内的采样点数为  $N$ ，则  $t_0 \sim t_N$  时间段内的总能量为：

$$E_i = \sum_{k=1}^N |i(t_k)|^2 \tag{3}$$

### 2 故障时各模量特征

表 1 给出了以 A 相为故障特殊相发生单相接地、两相短路、两相短路接地故障时的各模量数值及故障特征。不难推断，当故障是以 B 相或 C 相为特殊相时，各模量具有与表 1 完全对应的特征。

从表 1 中可以看出，当发生单相接地故障时，零模分量不为 0，以特殊相为基准的故障 2 模分量为 0，非故障相 1 模分量与零模分量之和也为 0；

两相接地短路时，以特殊相为基准的故障 1 模分量与零模分量之和为 0，同时由于发生的是接地故障，零模分量不为 0；当发生两相短路时，零模分量为 0，以特殊相为基准的故障 1 模分量，以及两者之和为 0。

表 1 以 A 相为特殊相的故障模量特征

Tab.1 Characteristics of modular fault components using phase

模故障分量	A as reference		
	故障类型		
	AG	BCG	BC
$i_0$	$i_a$	$i_b + i_c$	0
$i_{a1}$	$2i_a$	$-i_b - i_c$	0
$i_{b1}$	$-i_a$	$2i_b - i_c$	$3i_b$
$i_{c1}$	$-i_a$	$-i_b + 2i_c$	$-3i_b$
$i_{a2}$	0	$\sqrt{3}(i_b - i_c)$	$2\sqrt{3}i_b$
$i_{b2}$	$-\sqrt{3}i_a$	$\sqrt{3}i_c$	$-\sqrt{3}i_b$
$i_{c2}$	$\sqrt{3}i_a$	$-\sqrt{3}i_b$	$-\sqrt{3}i_b$
$Pabd$	0	$3i_c$	$-3i_b$
$Pacd$	0	$3i_b$	$3i_b$
$Pbcd$	$3i_a$	0	0

将各模量电流按式 (3) 求能量  $E_x$ ，为便于分析，将各模能量分别除以所有模量能量中的最大值进行归一化处理，即  $E_{kx} = E_x / E_{max}$ ，其中  $x$  代表各模分量， $E_{max}$  代表各模量能量的最大值， $E_{kx}$  为各模能量归一化后的值。各模能量有如图 1 所示关系，并结合表 1 中各模量特征可得出以下定性结论：

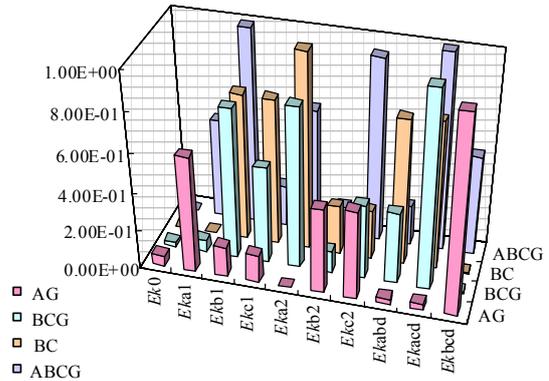


图 1 以 A 相为特殊相的模故障分量能量特征

Fig.1 Energy characteristics of modular fault components using phase A as reference

当发生单相接地故障时，零模分量  $i_0$  较大，以特殊相为基准的故障 2 模分量为 0，非故障相 1 模分量与零模分量的和为 0，其它各模分量均不为 0，且由于模网中分布系数的不同及零模分量的衰减，一般情况下，上述两模之和比特殊相 2 模分量大。

因此发生单相接地故障时, 按式 (3) 求各模量电流能量后, 以特殊相为基准的 2 模分量对应的能量值最小。故可以根据模量能量的最小值识别此类故障相别。

当发生两相接地短路故障时, 零模分量不为零值较大, 以特殊相为基准的故障 1 模分量与零模分量的和为零, 按式 (3) 求能量后, 此分量值为各模量对应能量中最小值。

当发生两相短路故障时, 零模分量、以特殊相为基准的故障 1 模分量、及两者之和均为 0, 按式 (3) 计算后所得能量值为除零模分量外其他各模量能量中最小值。

三相短路故障时, 除零模分量为 0 外, 其他各模分量值均较大且不为 0, 此时各模量能量的最小值比其他类型故障时的各模能量最小值至少大一个数量级, 由此结论推知, 可以通过设定模能量最小值的门槛值来区分是否发生三相短路故障。

### 3 选相原理及流程

具体流程如图 2。

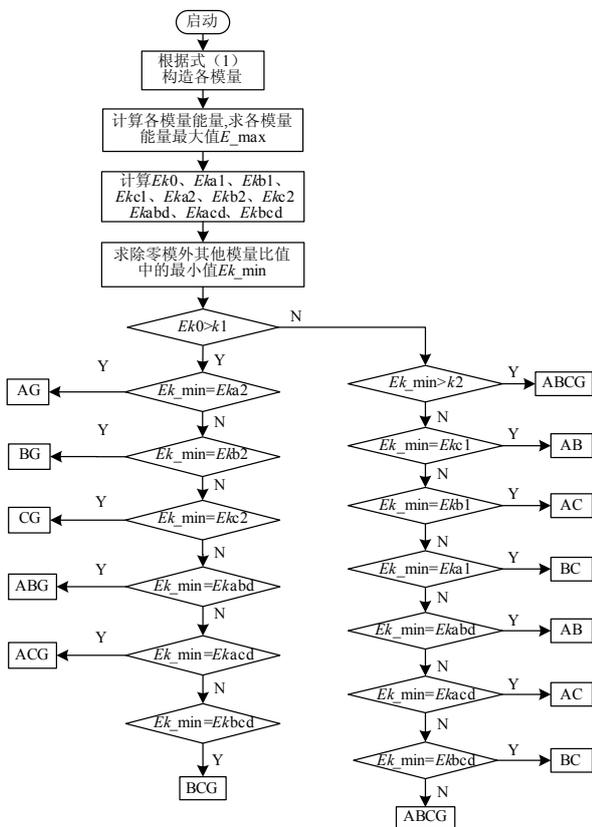


图 2 故障选相流程图

Fig.2 Flow chart of faulted phase selection

综上所述, 可以根据各模量能量的最小值识别

故障相别。具体步骤如下:

- 1) 求各模量能量  $E_0$ 、 $E_{a1}$ 、 $E_{b1}$ 、 $E_{c1}$ 、 $E_{a2}$ 、 $E_{b2}$ 、 $E_{c2}$ 、 $E_{abd}$ 、 $E_{acd}$ 、 $E_{bcd}$ ;
- 2) 求各模量能量中最大值, 记为  $E_{max}$ ;
- 3) 对各模量能量归一化处理, 即求各模量能量与最大值  $E_{max}$  的比值, 记为:  $Ek_0$ 、 $E_{ka1}$ 、 $E_{kbl1}$ 、 $E_{kcl1}$ 、 $E_{ka2}$ 、 $E_{kbl2}$ 、 $E_{kcl2}$ 、 $E_{kabd}$ 、 $E_{kacd}$ 、 $E_{kbcd}$ , 并求出除  $Ek_0$  外各量的最小值, 记为  $E_{min}$ ;
- 4) 根据  $E_0/E_{max}$  的比值  $Ek_0$  的大小判断是否为接地故障, 此门槛值设为  $k_1$ 。
- 5) 若为接地故障, 则根据  $Ek_{min}$  确定故障类型。
- 6) 若为非接地故障, 先根据  $Ek_{min}$  与门槛值  $k_2$  的大小关系初步判断是否为三相故障。若非三相短路故障, 则根据  $Ek_{min}$  与各模量比较判断两相短路故障类型。

### 4 仿真结果

本文利用 PSCAD / EMTDC 进行仿真实验, 仿真模型采用如图 3 所示的晋东南—南阳—荆门 1000 kV 交流特高压示范线路模型。

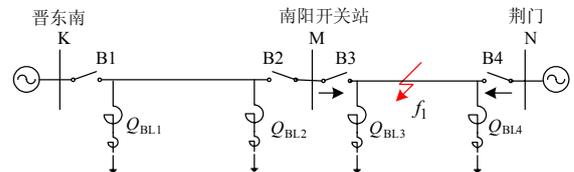


图 3 1000 kV 仿真系统模型

Fig.3 1000 kV simulation system model

其中: KM 段长度为 363 km, MN 段为 291 km, 线路两端及中间开关站均装有并联电抗器, 容量分别为  $Q_{BL1} = 960$  MVA,  $Q_{BL2} = Q_{BL3} = 720$  MVA,  $Q_{BL4} = 600$  MVA。本文仅考虑被保护线路 MN, 保护位于线路 MN 两端, 以母线指向线路为正方向。根据本线路实际情况, 两门槛值  $k_1$ 、 $k_2$  分别取 0.005、0.01。

仅考虑线路 MN 段故障, 分别改变采样频率、故障类型、故障初始角、故障点过渡电阻、故障位置, 分析不同情况下该原理选相元件的工作情况。

数据窗长度不同势必影响到各模能量值的大小, 进而影响选相结果。数据窗长度较小时, 在某些特殊初始角故障时可能会引起误判, 而数据窗选择太大又会影响到选相速度。本文经过大量的仿真分析发现, 选择 3 ms 作为数据窗比较合理, 故本文以下的仿真均采用 3 ms 数据窗。

### 4.1 改变采样频率

由于高频暂态量及行波信号的存在，采样频率不同时，一定时间窗内的各模故障分量能量值有所不同。为了分析采样频率对该选相方法的影响，本文分别针对 10 kHz、400 kHz、1 MHz 三种采样频率进行了大量的仿真，在距离 M 端 100 km 处设置各种类型及不同初始角度故障。表 2 代表性给出了过渡电阻为 60 Ω、故障初始角度分别为 30° 和 60° 时三种不同采样频率下发生 BCG 时的仿真结果。

表 2 不同采样频率时的仿真结果

Tab.2 Simulation results under different sampling frequencies

$\theta / (^{\circ})$	120			240		
$f_s / \text{kHz}$	100	400	1 000	100	400	1 000
<i>Ek0</i>	0.019 5	0.020 2	0.020 3	0.067 6	0.070 1	0.070 5
<i>Eka1</i>	0.056 3	0.058	0.0582	0.198	0.205	0.206
<i>Ekb1</i>	0.767	0.766	0.766	0.61	0.61	0.61
<i>Ekc1</i>	0.496	0.497	0.497	0.314	0.324	0.325
<i>Eka2</i>	0.824	0.823	0.822	0.55	0.554	0.554
<i>Ekb2</i>	0.112	0.115	0.115	0.138	0.149	0.151
<i>Ekc2</i>	0.384	0.384	0.384	0.433	0.436	0.436
<i>Ekabd</i>	0.367	0.369	0.369	0.279	0.303	0.305
<i>Ekacd</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Ekbcd</i>	<b>0.011 7</b>	<b>0.012 5</b>	<b>0.012 6</b>	<b>0.044 4</b>	<b>0.046 8</b>	<b>0.047</b>
选相结果	BCG	BCG	BCG	BCG	BCG	BCG

从表 2 的仿真结果可以看出，对于区内不同类型故障，不论采样频率为 10 kHz、400 kHz、还是 1 MHz，该选相方法均能做出正确判断，且各量相差不大。这不难理解，采样频率对一定时间窗内的各模量能量值必然会有影响，且采样频率越大，能量值越高。但由于本文所提方法在选相过程中对各模能量进行了归一化处理，各模量能量归一化后相差不大，因此采样频率对该选相方法影响较小。

### 4.2 改变故障初始角

为验证不同故障初始角时该选相方法的可靠性，本文进行了大量的仿真。现仅给出在距离 M 端母线 100 km 处发生 a 相接地故障，故障点过渡电阻为 60 Ω，不同故障初始角时的仿真结果，如表 3 所示。

表 3 中加粗数据为各模量能量中的最小值（下同）。从表中可以看出，各种不同故障初始角下，*Ek0* 的值远大于门槛值  $k_1 = 0.005$ ，各模量能量与最大值的比值 *Eka2* 最小，且其值远小于所设定的门槛值

$k_2 = 0.01$ ，选相元件均能正确判断故障相别。

表 3 不同故障初始角时的仿真结果

Tab.3 Simulation results under different fault inception angles

$\theta / (^{\circ})$	0	30	45	60	90
<i>Ek0</i>	0.069	0.054 5	0.053 5	0.053 1	0.053 9
<i>Eka1</i>	0.558	0.594	0.603	0.61	0.62
<i>Ekb1</i>	0.14	0.156	0.161	0.16	0.158
<i>Ekc1</i>	0.141	0.142	0.143	0.147	0.154
<i>Eka2</i>	<b>0.000 802</b>	<b>0.000 482</b>	<b>0.000 967</b>	<b>0.001 17</b>	<b>0.001 68</b>
<i>Ekb2</i>	0.419	0.439	0.444	0.451	0.464
<i>Ekc2</i>	0.418	0.453	0.462	0.465	0.467
<i>Ekabd</i>	0.022 2	0.024 6	0.029 4	0.035	0.046 3
<i>Ekacd</i>	0.022 9	0.031 2	0.037 5	0.041 5	0.047 8
<i>Ekbcd</i>	1	1	1	1	1
选相结果	AG	AG	AG	AG	AG

### 4.3 改变故障类型

设在距离 M 端母线 100 km 处发生故障，故障点过渡电阻为 60 Ω，故障初始角设定为 30°，针对不同类型故障进行仿真，仿真结果如表 4 所示。从表中数据可以看出，各种不同类型故障时，此选相方法均能正确判断，具有较高的可靠性和灵敏性。

表 4 不同故障类型时的仿真结果

Tab.4 Simulation results under different fault types

故障类型	AG	ABG	ACG	BC	ABCG
<i>Ek0</i>	0.054 5	0.023 3	0.021 1	0.001 29	0.000 723
<i>Eka1</i>	0.594	0.768	0.506	<b>0.001 76</b>	0.51
<i>Ekb1</i>	0.156	0.499	0.058 5	0.752	0.996
<i>Ekc1</i>	0.142	0.056 1	0.77	0.749	0.21
<i>Eka2</i>	<b>0.000 482</b>	0.114	0.384	1	0.634
<i>Ekb2</i>	0.439	0.383	0.831	0.25	<b>0.148</b>
<i>Ekc2</i>	0.453	0.826	0.119	0.253	0.934
<i>Ekabd</i>	0.024 6	<b>0.010 2</b>	1	0.745	0.203
<i>Ekacd</i>	0.031 2	0.382	<b>0.010 5</b>	0.758	1
<i>Ekbcd</i>	1	1	0.388	0.003 5	0.515
选相结果	AG	ABG	ACG	BC	ABCG

### 4.4 改变过渡电阻

设在距离 M 端母线 100 km 处发生 B 相接地短路故障，故障初始角设定为 30°，针对不同过渡电阻进行仿真，表 5 给出了不同过渡电阻时仿真结果。

从表中可以看出，不同过渡电阻故障时，该选相方法均能给出正确的选相结果，有很强的耐受过

渡电阻的能力。

表 5 不同过渡电阻时的仿真结果

Tab.5 Simulation results under different fault resistances

过渡电阻/ $\Omega$	0	60	300	600
<i>Ek0</i>	5.66E-02	0.055 7	0.054 6	0.053 8
<i>Eka1</i>	1.44E-01	0.145	0.147	0.149
<i>Ekb1</i>	5.87E-01	0.59	0.594	0.596
<i>Ekc1</i>	1.50E-01	0.15	0.15	0.15
<i>Eka2</i>	4.43E-01	0.445	0.447	0.448
<i>Ekb2</i>	<b>4.72E-05</b>	<b>2.74E-05</b>	<b>7.54E-06</b>	<b>1.39E-06</b>
<i>Ekc2</i>	4.37E-01	0.44	0.444	0.447
<i>Ekabd</i>	2.66E-02	0.027 1	0.027 8	0.028 1
<i>Ekacd</i>	1.00E+00	1	1	1
<i>Ekbcd</i>	2.40E-02	0.025 1	0.026 7	0.027 8
选相结果	BG	BG	BG	BG

#### 4.5 改变故障点位置

仍然在  $f_1$  点设置故障, 故障类型为 B 相接地, 故障初始角度为  $30^\circ$ , 故障点过渡电阻为  $60 \Omega$ 。从线路首端 1 km 处, 以 50 km 为步长至线路末端 290 km 处设置不同的故障点, 改变故障点位置, 进行仿真。表 6 给出了不同位置故障时该选相元件的判别情况。从表中可以看出, 在不同故障点发生故障时, 该选相元件均能给出正确的选相结果。

表 6 不同故障位置时的仿真结果

Tab.6 Simulation results under different fault locations

L/km	1	50	100	200	290
<i>Ek0</i>	0.087 5	0.070 6	0.055 5	0.026 7	0.006 93
<i>Eka1</i>	0.129	0.143	0.156	0.187	0.232
<i>Ekb1</i>	0.51	0.562	0.616	0.734	0.913
<i>Ekc1</i>	0.126	0.138	0.151	0.18	0.224
<i>Eka2</i>	0.381	0.419	0.459	0.547	0.681
<i>Ekb2</i>	<b>1.26E-05</b>	<b>1.81E-05</b>	<b>2.41E-05</b>	<b>4.14E-05</b>	<b>6.21E-05</b>
<i>Ekc2</i>	0.384	0.424	0.464	0.554	0.688
<i>Ekabd</i>	0.013 2	0.026 5	0.043 7	0.087 9	0.188
<i>Ekacd</i>	1	1	1	1	1
<i>Ekbcd</i>	0.014 2	0.028 4	0.046 1	0.092 9	0.196
选相结果	BG	BG	BG	BG	BG

## 5 结论

本文利用模故障分量的能量特征进行故障选相, 通过对晋东南—南阳—荆门 1 000 kV 交流特高压示范线路进行各种故障仿真, 验证了该选相元件的可靠性。大量的仿真结果表明, 该选相元件有较强的耐受过渡电阻能力, 且不受采样频率、故障初

始角、故障位置以及故障类型的影响。在电压过零点发生两相接地短路故障时, 由于零模分量较小, 较易判成相应的两相短路故障, 但此种误判不影响自动重合闸及故障相别的识别。该选相方法原理清晰、动作可靠、灵敏度高、整定简单, 能快速给出正确的选相结果。该选相方法可以与基于行波或暂态量的保护元件配合使用, 以达到快速切除故障的目的。

## 参考文献

- [1] 段建东, 张保会, 周艺. 利用电流行波进行超高压输电线路故障类型识别的研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (7): 58-63.  
DUAN Jian-dong, ZHANG Bao-hui, ZHOU Yi. Study of fault-type identification using current traveling-waves in extra-high-voltage transmission lines[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (7): 58-63.
- [2] 段建东, 张保会, 周艺, 等. 基于暂态量的超高压输电线路故障选相[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(3): 1-6.  
DUAN Jian-dong, ZHANG Bao-hui, ZHOU Yi, et al. Transient-based faulty phase selection in EHV transmission line[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26 (3): 1-6.
- [3] 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, 2007.
- [4] 麦瑞坤, 何正友, 符玲, 等. 基于电流行波能量和小波变换的输电线路故障选相研究[J]. 电网技术, 2007, 31 (3): 38-43.  
MAI Rui-kun, HE Zheng-you, FU Ling, et al. Study on faulty phase selection based on energy of current traveling wave and wavelet transform[J]. Power System Technology, 2007, 31 (3): 38-43.
- [5] 林湘宁, 刘沛, 高艳. 基于故障暂态和数学形态学的超高速线路方向保护[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25 (4): 13-18.  
LIN Xiang-ning, LIU Pei, GAO Yan. Ultra-high-speed line directional protection based on transient and mathematical morphology[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25 (4): 13-18.
- [6] 张保会, 哈恒旭, 吕志来. 利用单端暂态量实现超高压输电线路全线速动保护新原理的研究(三)故障选相与尚需研究的问题[J]. 电力自动化设备, 2001, 21 (4): 1-4.  
ZHANG Bao-hui, HA Heng-xu, Lü Zhi-lai. Study of non-unit transient-based whole-line high speed protection for EHV transmission line, part III: fault phase selection and problems to be studied[J]. Electric Power Automation Equipment, 2001, 21 (8): 1-4.

(下转第 131 页 continued on page 131)

问题都提及较少。随着电网公司承担社会责任的增大, 保障对社会和用户的供电可靠性已愈加重要。因此智能电网不仅需要保证电网的稳定运行, 还需要保障对社会和用户的供电。即电网在遭受扰动并采取措施后, 在保证电网安全稳定的前提下, 能否保证对社会和用户的持久供电至关重要(电网安全稳定标准的第一级安全稳定标准, 通常为 N-1 故障)。因此必须对社会和用户的供电能力进行评估, 为电网方式安排和电网规划提供参考依据。

## 5 结语

本文针对国家电力调度中心构建的智能电网调度技术支持系统建设框架目标, 结合了目前网省公司电力调度通信中心实际的生产运行系统, 将二者相结合, 提出了构建的智能电网调度支持系统建设的数据一体化、平台一体化和功能一体化的实现方法。智能电网的建设与应用还需要在运行实践中进一步探索, 同时智能电网也是随着新技术的开发与应用而逐步发展的。

## 参考文献

- [1] 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. 面向未来的智能电网[J]. 中国电力, 2008, 41 (6): 19-22.  
XIE Kai, LIU Yong-qi, ZHU Zhi-zhong, et al. The vision of future smart grid[J]. Electric Power, 2008, 41 (6): 19-22.
- [2] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网[J]. 电网与清洁能源, 2009, 25 (1): 7-11.  
YU Yi-xin, LUAN Wen-peng. Smart grid[J]. Power System and Clean Energy, 2009, 25 (1): 7-11.
- [3] 余贻鑫. 面向 21 世纪的智能配电网[J]. 南方电网技术研究, 2006, 2 (6): 14-16.  
YU Yi-xin. Intelli-D-grid for the 21st century[J]. Southern Power System Technology Research, 2006, 2 (6): 14-16.
- [4] 胡学浩. 智能电网——未来电网的发展态势[J]. 电网技术, 2009, 33 (14): 1-5.  
HU Xue-hao. Smart grid—a development trend of future power grid[J]. Power System Technology, 2009, 33 (14): 1-5.
- [5] 陈树勇, 宋书芳, 李兰欣, 等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术, 2009, 33 (8): 1-8.  
CHEN Shu-yong, SONG Shu-fang, LI Lan-xin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009, 33 (8): 1-8.
- [6] 王正风, 黄太贵, 吴迪, 等. 电网实时动态监测技术在电力系统中的应用[J]. 华东电力, 2007, 35 (5): 44-48.  
WANG Zheng-feng, HUANG Tai-gui, WU Di, et al. Application of wide-area measurement system to power systems[J]. East China Electric Power, 2007, 35 (5): 44-48.
- [7] 王正风, 胡晓飞, 黄太贵. 广域测量技术在电力系统应用中关键技术问题[J]. 东北电力技术, 2008, 28 (8): 1-3.  
WANG Zheng-feng, HU Xiao-fei, HUANG Tai-gui. Key technical matters existed in application of wide area measurement system to power system[J]. Northeast Electric Power Technology, 2008, 28 (8): 1-3.
- [8] 王正风, 黄太贵, 等. PI 数据库在广域测量系统中的应用[J]. 电气应用, 2008, 27 (5): 66-67.  
WANG Zheng-feng, HUANG Tai-gui, et al. Application of PI database in wide-area measure system[J]. Electrotechnical Application, 2008, 27 (5): 66-67.
- [9] 王正风, 葛斐, 戴长春. 安徽淮北电网稳定问题及对策研究[J]. 电气应用, 2009, 28 (16): 12-15.  
WANG Zheng-feng, GE Fei, DAI Chang-chun. Research on Huai-bei power system network stability and measurement of Anhui Province[J]. Electrotechnical Application, 2009, 28 (16): 12-15.

收稿日期: 2010-02-01; 修回日期: 2010-05-24

### 作者简介:

杜贵和 (1965-), 男, 总工程师, 高级工程师, 从事电力系统运行管理工作;

王正风 (1976-), 男, 高级工程师, 博士, 从事电力系统调度运行工作. E-mail: wzhengf@163.com

(上接第 99 页 continued from page 99)

- [7] DUAN Jian-dong, ZHANG Bao-hui, HA Heng-xu. A novel approach to faulted-phase selection using current traveling waves and wavelet analysis[C].//IEEE Power Conference. Kunming(China): 2002.
- [8] 许庆强, 索南加乐, 宋国兵, 等. 一种电流故障分量高压线路保护选相元件[J]. 电力系统自动化, 2003, 27 (7): 50-54.  
XU Qing-qiang, SUONAN Jia-le, SONG Guo-bing, et al. A fault phase selector for transmission line protective relaying using current fault components[J]. Automation

of Electric Power Systems, 2003, 27 (7): 50-54.

收稿日期: 2009-09-03; 修回日期: 2009-10-13

### 作者简介:

梁景芳 (1984-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电力系统继电保护; E-mail: liangjf0503@mail.sdu.edu.cn

高厚磊 (1963-), 男, 通信作者, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电力系统继电保护, 广域同步测量, 数字化变电站等; E-mail: houleig@sdu.edu.cn

苏文博 (1959-), 男, 教授, 高工, 主要研究方向为电力系统继电保护, 发电机并网技术等。