

# 自适应相补偿电压突变量方向元件 动作特性的仿真分析

林添顺

(广东省电力设计研究院, 广东 广州 510600)

**摘要:** 在分析了自适应相补偿电压突变量方向元件动作特性的基础上, 针对该元件进行了正、反方向不同故障点, 不同故障类型的仿真分析。利用 ATP/EMTP 建立了振荡典型参数可控的振荡仿真模型, 并对自适应相补偿电压突变量方向判别元件在纯振荡中和振荡中再发生故障的情况分别进行了仿真分析, 结果表明该方向元件在各种故障情况下均能正确动作, 在纯振荡中不会误动。

**关键词:** 自适应; 补偿电压; 突变量方向元件; 振荡; 仿真分析

## Simulation and analysis of self-adaptive directional relay based on fault component of compensating voltage

LIN Tian-shun

(Guangdong Electric Power Design Institute, Guangzhou 510600, China)

**Abstract:** Based on analysis of characteristic of self-adaptive fault directional discriminating criteria based on superimposed component of compensation voltage, simulation and analysis of characteristic in different kinds of faults on different direction is put forward. A controllable oscillation simulation model is established with ATP-EMTP for the purpose of simulating and analyzing the characteristic of directional discriminating in oscillation with fault and without fault. The result of simulation and analysis indicates that the direction element could act selectively and rightly in any kinds of faults and oscillation with and without fault.

**Key words:** self-adaptive; compensating voltage; directional protective relaying based on fault component compensating voltage; oscillation; simulation and analysis

中图分类号: TM743 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)22-0054-03

## 0 引言

自适应相补偿电压突变量方向元件<sup>[1]</sup>按相分别构成 A、B、C 三相各自独立的方向元件, 可以摆脱对选相元件的依赖, 充分发挥补偿电压突变量方向判别元件的性能。为了对该元件在各种情况下的动作行为作一验证。本文在分析了自适应相补偿电压突变量方向元件动作特性的基础上, 对该元件进行了正、反方向不同故障点, 不同故障类型以及在系统发生振荡和振荡中再故障的情况的仿真分析。结果表明该方向元件在各种故障情况下均能正确动作。

## 1 自适应相补偿电压突变量方向判别元件的基本原理

如图 1 所示, 当发生正方向故障时, 根据补偿电压突变量  $\Delta U_{\text{op}}$  和保护安装处电压突变量  $\Delta U$  的幅

值大小关系, 正方向元件  $\Delta D_+$  的动作条件可以写为:

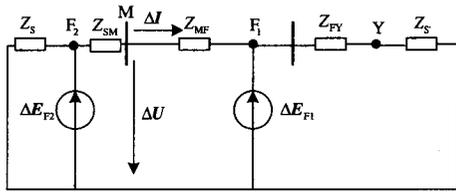
$$\Delta D_+ : |\Delta U_{\text{op}}| - |\Delta U| - \varepsilon > 0 \quad (1)$$

同理, 反方向元件  $\Delta D_-$  的动作条件为:

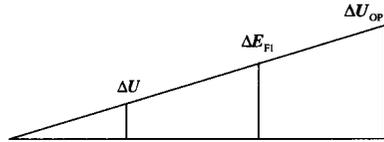
$$\Delta D_- : |\Delta U_{\text{op}}| - |\Delta U| + \varepsilon < 0 \quad (2)$$

其中:  $\Delta U_{\text{op}} = \Delta U - \Delta I Z_Y$ ,  $\Delta I$  为保护安装处的电流突变量。Y 为整定点,  $Z_Y = Z_{\text{MF}} + Z_{\text{FY}}$  (其中,  $Z_{\text{MF}}$  为故障点至保护安装处的线路阻抗,  $Z_{\text{FY}}$  为故障点到整定点 Y 之间的线路阻抗)。ε 为裕度门坎。F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub> 分别为正、反方向故障点。Z<sub>s</sub> 为从故障点 F<sub>2</sub> 沿保护反方向看过去的系统等值阻抗, Z<sub>sm</sub> 为故障点 F<sub>2</sub> 至保护安装处的阻抗, Z<sub>s</sub> 为在整定阻抗处沿保护正方向看过去的系统等值阻抗。通常情况下, 为了保证保护有足够的灵敏度, 同时避免方向元件的范围延

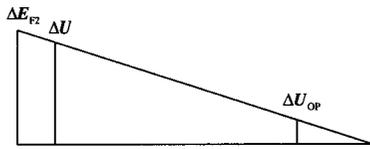
伸过远, 一般可以按照距离保护二段的范围来整定。



(a) 故障附加状态网络图



(b) 正方向故障电压突变量分布



(c) 反方向故障电压突变量分布

图1 正、反方向短路点金属性短路时的电压突变量分布图  
Fig.1 Superimposed power system and its voltage distribution for forward and backward fault

基于补偿电压的突变量方向判别元件, 将式(1)(2)作为方向判据, 自适应的调整裕度门槛 $\mathcal{E}$ 。实际应用中, 先计算 $|\Delta U_{OP,\varphi}| - |\Delta U_{M\varphi}|$  ( $\varphi$  分别表示 A,B,C 三相中的一相), 若有一相为负、另外两相都为正, 则为反方向故障。若三相均为正, 则为正方向故障。再取三相 $|\Delta U_{OP,\varphi}| - |\Delta U_{M\varphi}|$  中的最小值为裕度门槛 $\mathcal{E}$ , 将 $\mathcal{E}$ 代入 $|\Delta U_{OP,\varphi}| - |\Delta U_{M\varphi}| - \mathcal{E}$ , 有最大值, 并且其值远大于(一般取 4~8 倍<sup>[2]</sup>)另外两相的那一相即为故障相。当系统发生两相故障时, 经理论计算, 对于式 $|\Delta U_{OP,\varphi}| - |\Delta U_{M\varphi}| - \mathcal{E}$ , 两故障相的计算结果远大于健全相, 不会出现一相大于另外两相 4 倍的情况, 所以两相故障时不会误判为单相故障, 可把判据计算结果基本相等且远大于另外一相的两相判为故障相, 两相故障中超前相和滞后相电压、电流大小虽然受过渡电阻的影响, 变化趋势不同, 但采取自适应门槛的突变量判据依然成立。三相故障, 三相判据结果基本相同, 且三相故障中电压电流变化特征较为明显, 可结合低电压等辅助判据加以判别。

该元件耐受过渡电阻能力强, 并且用幅值比较方式实现, 计算简单, 动作速度快。

## 2 仿真分析

本文利用 ATP/EMTP 电磁暂态仿真程序, 建立如图 2 所示的电网模型, 其基本参数如下:

$$\begin{aligned} Z_{M1} &= 6.16 + j34.32 \Omega, Z_{M0} = 3.52 + j45.3 \Omega \\ r_1 &= 0.02563 \Omega/\text{km}, r_0 = 0.1466 \Omega/\text{km} \\ l_1 &= 0.2811 \text{ mH}/\text{km}, l_0 = 0.6505 \text{ mH}/\text{km} \\ c_1 &= 0.0128 \mu\text{F}/\text{km}, c_0 = 0.0078 \mu\text{F}/\text{km} \\ Z_{N1} &= 2.37 + j21.6 \Omega, Z_{N0} = 1.27 + j28.8 \Omega \\ L_1 &= L_2 = 1.141 \text{ H} \end{aligned}$$

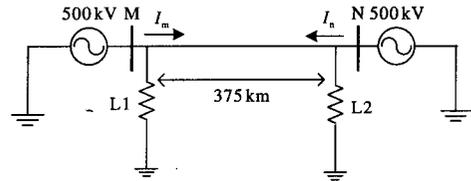


图2 仿真模型

Fig.2 Simulation model

### 2.1 不同故障点的仿真分析

图4分别是被保护线路正反向出口、末端和反方向故障情况下, 不考虑自适应门槛和考虑自适应门槛时健全相与故障相的判据式(1)、(2)两式结果对比图。图中实线所示曲线为故障相判据结果, 点线所示曲线为健全相判据结果。使用自适应裕度门槛以后, 健全相判据结果基本为0, 远小于故障相判据结果, 故在图3中因与时间轴重合而不是很明显。

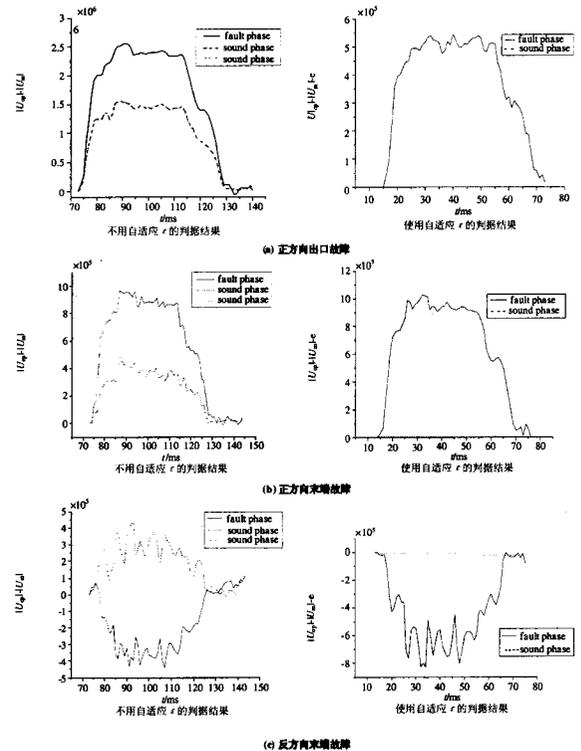


图3 正反向故障不使用自适应门槛和使用后的对比图  
Fig.3 Criterion results of forward and backward fault with self-adaptive  $\mathcal{E}$  and without it

由仿真结果可见：不论正反方向故障，健全两相不计裕度门槛的判据计算结果基本相同且正方向故障时健全相结果小于故障相结果。使用了自适应裕度门槛的判据结果故障相具有很大数值，而健全两相数值基本为 0，据此很容易判明故障相。而不考虑自适应门槛的判据结果健全相和故障相都具有较大数值，如果门槛选取不当，可能造成误动。

值得一提的是，自适应相补偿电压在反方向时的灵敏度更高。以 A 相故障为例，反方向故障时，

$$|\Delta U_{OP,A}| - |\Delta U_{MA}| = - \left| \frac{[(Z_{MNO}/Z_{MNI})C_{OM} + 2C_{IM}]U_{F|0}|}{3R_g + Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma \sigma}} Z_V \right| < 0 \quad (3)$$

$$|\Delta U_{OP,B}| - |\Delta U_{MB}| = \left| \frac{[(Z_{MNO}/Z_{MNI})C_{OM} - C_{IM}]U_{F|0}|}{3R_g + Z_{\Sigma 1} + Z_{\Sigma 2} + Z_{\Sigma 0}} Z_V \right| \geq 0 \quad (4)$$

按照方向判据原则，取式(4)为  $\varepsilon$  代入(1)、(2)两式，由式(2)得到一个更大的负数。这也符合我们对方向元件灵敏度的要求。

### 2.2 振荡及振荡中再故障情况的仿真分析

对振荡及相关问题进行仿真研究，不失为一种安全、灵活的方式。目前在电力系统仿真软件中，EMTP(ATP), EMTDC, MATLAB 的使用最为频繁。遗憾的是，它们均缺乏专门针对面向振荡及相关问题的模型。对电力系统振荡仿真的很多重要参数，如两侧功角首次摆开到  $180^\circ$  的时间、最小振荡周期、系统频率的变化规律均无法很好的控制，因而不能获得足够的典型数据。建立一种振荡特征参数可控的系统振荡模型，成为继电保护原理仿真研究的特殊要求，文献 [3]、[4]、[5] 对此进行了讨论。本文主要考虑两机系统的振荡仿真。

正常运行，M、N 两端频率  $f_M = f_N = 50$  Hz，两端电势以一定相角差同步运行。系统振荡时，两端频率偏离原值，相应的电势相角差也发生变化，变化的方式由两端频率的变化方式决定，根据需要，可以设定一端频率为 50 Hz，另一端频率变化。也可以假定两端同时变化，一端升高，另一端降低，本文以后者为例。首先，偏移频率以第一种加速度在  $t_{180}$  时刻达到  $\Delta f_{180}$ ，即从正常送电发展到第一次两侧电势角摆开至  $180^\circ$ ；此后偏移频率按照第二种变加速度在  $t_{turn}$  时刻达到转折点，实际频差达到  $\Delta f_{turn}$ ， $t_{turn}$  后以第三种变加速度在  $t_{max}$  时刻达到最快振荡频率  $\Delta f_{max}$ ， $t_{max}$  后偏移频率以第四种变加速度在  $t_{bak}$  返回到复归振荡频率  $\Delta f_{bak}$ ，此后以第五种变加速度回到标准工频 50 Hz。对振荡的各个阶段参数给定为：振荡初相角为  $0^\circ$ ， $t_{180} = 0.4$  s， $t_{turn} = 1.2$  s， $\Delta f_{turn} = 2.5$  Hz； $t_{max} = 1.5$  s， $\Delta f_{max} = 5$  Hz； $t_{bak} = 2.1$  s， $\Delta f_{bak} = 2$  Hz；

$t_{end} = 3.0$  s。

利用所建立的振荡模型对自适应相补偿电压突变方向元件进行了仿真分析。

振荡中，不考虑自适应门槛的电压突变量如图 4 所示，振荡越剧烈方向判据的变化越明显。但是在振荡过程中，三相电压突变量基本相同且均大于 0，如果使用固定门槛，很可能在振荡中方向元件要误动，取自适应门槛以后，三相电压突变量基本相同且近似为 0，所以方向元件不会误动。

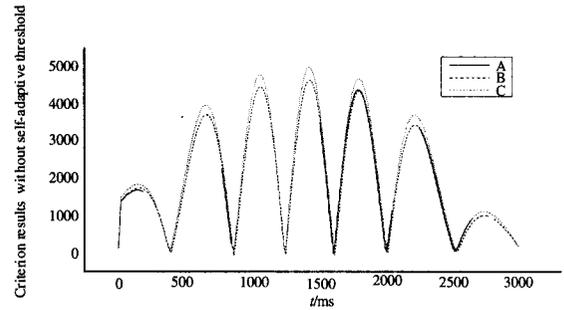


图 4 振荡过程中  $|\Delta U_{op,\phi}| - |\Delta U_{\phi}|$  结果

Fig.4 Result of  $|\Delta U_{op,\phi}| - |\Delta U_{\phi}|$  in system oscillation

对于振荡中发生 A 相故障的情况，如图 5 所示。

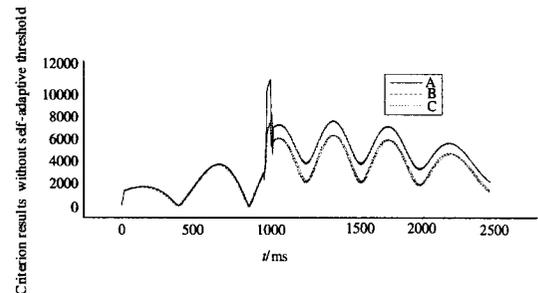


图 5 振荡中发生故障  $|\Delta U_{op,\phi}| - |\Delta U_{\phi}|$  结果

Fig.5 Result of  $|\Delta U_{op,\phi}| - |\Delta U_{\phi}|$  in oscillation with fault

由图 5 可见在故障前三相判据结果近似相等所以不会误动。在发生故障后的一个周波(与故障分量提取算法有关)，故障相 A 相判据的结果明显大于健全相，方向元件可靠动作。

### 3 结束语

为了对自适应相补偿电压突变量方向元件在各种系统故障下的动作行为作一验证分析。本文在分析了自适应相补偿电压突变量方向元件动作特性的基础上，对该元件进行了正、反方向不同故障点，不同故障类型以及在系统发生振荡和振荡中再故障的情况的仿真分析。结果表明该方向元件在各种故障情况下均能正确动作。

(下转第 76 页 continued on page 76)

- Systems, 2003, 27(12): 55-58.
- [2] 吴在军, 胡敏强. 基于IEC 61850 标准的变电站自动化系统研究[J]. 电网技术, 2003, 27(10): 61-65.  
WU Zai-jun, HU Min-qiang. Research on a Substation Automation System Based on IEC61850[J]. Power System Technology, 2003, 27(10): 61-65.
- [3] 孙司正, 王晋, 盛本云, 等. 数字化变电站自动化系统方案探讨[J]. 继电器, 2007, 35(22): 72-74.  
SUN Si-zheng, WANG Jin, SHENG Ben-yun, et al. Discussion on the Digital Schemes of Substation Automation System[J]. Relay, 2007, 35(22): 72-74.
- [4] Intel IXP42X Product Line of Network Processors and IXC1100 Control Plane Processor Datasheet 2007-01 www.intel.com[EB/OL].
- [5] 季博. 基于IXP425网络处理器的VPN安全网关构建[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.  
JI Bo. The Construction of VPN Security Gateway Based on IXP425 Net Processor[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [6] 朱俊达. 基于IXP425网络处理器的接入路由器[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.  
ZHU Jun-da. The Access Router Based on IXP425 Net Processor [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [7] 朱江. 基于IXP425及IPSec的嵌入式Linux安全网关构建[D]. 南京: 南京大学, 2006.  
ZHU Jiang. The Construction of Security Gateway Based on IXP425 net Processor and IPSec[D]. Nanjing: Nanjing University, 2006.
- [8] HY57V561620B(L/S)T 4 Banks x 4M x 16Bit Synchronous DRAM Datasheet 2003-01 www.21icsearch.com.cn[EB/OL].
- [9] 82559ER Fast Ethernet PCI Controller Datasheet 2005-01 www.intel.com[EB/OL].
- [10] 周佳. 基于IXP425的嵌入式USB主机设计[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2007.  
ZHOU Jia. The Design of Embedded USB Host Based on IXP425[D]. Heifei: Heifei University of Technology, 2007.
- [11] ST16C554/554D ST68C554 Datasheet, 2001 www.exar.com[EB/OL].
- [12] 胡勇, 丁万山. 多串口扩展解决方案[J]. 计算机应用, 2005, (5): 63-66.  
HU Yong, DING Wan-shan. The Resolve of Mutli-serial Ports Expansion[J]. Computer Application, 2005, (5): 63-66.

收稿日期: 2008-01-28; 修回日期: 2008-02-27

作者简介:

陶维青(1964-), 男, 副教授, 长期从事电力系统及其自动化方面的研究;

张全(1984-), 男, 研究生, 研究方向为嵌入式系统和计算机控制; E-mail: gorilla0123@tom.com

林航(1975-), 男, 从事电力系统及其自动化方面的研究。

(上接第 56 页 continued from page 56)

## 参考文献

- [1] 戴志辉, 陈卫, 尹项根. 补偿电压突变方向判别元件健全相动作特性研究[J]. 继电器, 2006, 34(16).  
DAI Zhi-hui, CHEN Wei, YIN Xiang-gen. Study on Sound Phase Operating Characteristic of Directional Protective Relaying Based on Fault Component Compensating Voltage[J]. Relay, 2006, 34(16).
- [2] 许正亚. 输电线路新型距离保护[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.  
XU Zheng-ya. New Type Distance Protection of Power Line[M]. Beijing: China Water Power Press, 2002.
- [3] 林湘宁, 刘沛, 等. 面向继电保护的全过程系统振荡仿真[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(22): 56-59.  
LIN Xiang-ning, LIU Pei, et al. Oscillation Simulation for Relay Protection Research[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(22): 56-59.
- [4] 孔繁鹏, 葛耀中. 一种用于测试保护的振荡模型[J]. 电力系统自动化, 1995, 19(8): 38-42.  
KONG Fan-peng, GE Yao-zhong. A Power Swing Model for Testing Protection Equipment[J]. Automation of Electric Power Systems, 1995, 19(8): 38-42.
- [5] 章启明, 乐全明, 费铭薇, 等. 超高压电网全过程振荡仿真新模型研究[J]. 继电器, 2006, 34(9): 13-15.  
ZHANG Qi-ming, YUE Quan-ming, FEI Ming-wei, et al. Research of Complete Power Network Oscillation Simulation Model[J]. Relay, 2006, 34(9): 13-15.

收稿日期: 2008-01-17; 修回日期: 2008-02-23

作者简介:

林添顺(1973-), 男, 工学硕士, 工程师, 从事电力系统运行与控制研究、电力工程管理工作; E-mail: lintianshunrelay@163.com