

# 基于神经网络的 110kV 双电源线路阻抗继电器

卢青松, 吕飞鹏

(四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065)

**摘要:** 提出一种基于神经网络的 110kV 双电源线路单相接地阻抗继电器新原理。通过电磁暂态仿真程序 (EMTP) 对给定电力网络进行大量的仿真计算, 证明了该阻抗继电器不仅能适应系统工况和过渡电阻的变化准确地进行故障定位, 还具有故障选相和故障测距的功能。

**关键词:** 神经网络; 双电源线路; 阻抗继电器

中图分类号: TM588.3; TM773

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2002)01-0011-04

## 1 引言

110kV 输电线路双电源供电, 对于提高供电可靠性和系统稳定性, 都有很大的好处。据统计, 在所有的线路故障中, 70% ~ 80% 都是单相接地故障。当被保护线路两端均有电源时, 此时过渡电阻的影响会对测量阻抗产生一个呈现容性阻抗或感性阻抗的偏移分量, 造成保护范围的扩大或缩小。该偏移分量除与线路的固有特征参数有关外, 还与线路两端等效电源的电势夹角有关<sup>[1,2,3]</sup>。

利用 BP 神经网络构成阻抗继电器, 使距离保护能自适应于系统和故障条件的变化而可靠地动作, 是一个值得探索的方面<sup>[4,5]</sup>。

本文用故障后三相电压、电流的基波幅值以及它们的相位差来构成继电器故障选相子神经网络的输入, 实现对单相接地故障相别的判定。再根据故障相别判定的结果, 以故障相的电压、电流基波幅值及它们的相位差和零序电压、零序电流, 线路两端系统电源的电势夹角作为继电器故障定位及测距子神经网络的输入, 实现对故障的准确定位和测距。用 EMTP 对一给定的电力网络进行暂态仿真, 结果证实本文提出的设想具有一定的可行性。

## 2 基于神经网络的单相接地阻抗继电器

### 2.1 基于神经网络的单相接地阻抗继电器的构成

本文提出的设想并不进行测量阻抗的计算, 只是利用神经网络从系统各种参数的组合模式来识别故障状态。考虑到本文提出的设想选用故障时的电压和电流以及它们之间的相位差作为输入, 而且能输出故障点至保护安装处的距离, 因此仍沿用常规距离保护中阻抗继电器的说法。基于神经网络的单相接地阻抗继电器由故障选相子网络 (NN1) 和故障定位与故障测距子网络 (NN2) 两部分构成, 其结构

如图 1 所示。

故障选相子网络 (NN1)

$$Z_1 = f(U_A, U_B, U_C, I_A, I_B, I_C, \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} t1 & \text{--- 故障选相 (A 相)} \\ t2 & \text{--- 故障选相 (B 相)} \\ t3 & \text{--- 故障选相 (C 相)} \end{cases}$$

故障定位与故障测距子网络 (NN2)

$$Z_2 = f(\alpha, U_F, I_F, \beta, \gamma, 3U_0, 3I_0) = \begin{cases} a1 & \text{--- 故障定位} \\ a2 & \text{--- 故障测距} \end{cases}$$

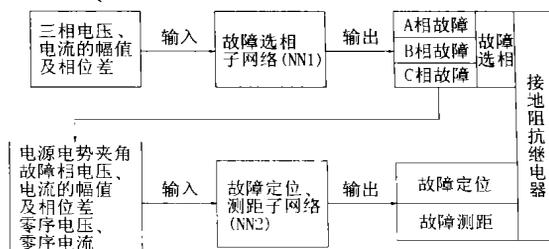


图 1 基于 BP 神经网络的单相接地阻抗继电器结构图

本文所采用的神经网络模型为多层前向神经网络, 采用变学习率和加动量项法的改进 BP 算法。网络中每一层的传递函数选用对数 sigmoid 函数。神经网络隐含层数目和每一隐含层神经元数目的选择对神经网络的成功训练和推广性能是至关重要的。通过大量的试验, 确定故障选相子网络第一、第二隐含层神经元数目均为 42, 故障定位、测距子网络第一、第二隐含层神经元数目均为 36, 试验中发现, 选择两个隐含层使得神经网络的训练易于进行, 其推广性也非常好。

### 2.2 基于神经网络的单相接地阻抗继电器的理想输出特性

故障选相的理想输出特性为:  $t_1(t_2, t_3)$  为故障相时输出 1, 非故障相时输出 0。当  $0 < t_1(t_2, t_3) <$

0.5时,为非故障相;当  $0.5 < t_1(t_2, t_3) < 1$  时,为故障相。

故障定位,其整定范围设计为保护线路全长的 90%。当  $0 < a_1 < 0.5$  时,为区外或反方向故障,当  $0.5 < a_1 < 1$  时,为区内故障。

故障测距,当  $0 < a_2 < 0.09$  时,为反方向故障;当  $0.09 < a_2 < 0.79$  时,故障距离为  $l_{BC} \cdot (a_2 - 0.09) / 0.70\text{km}$ ;当  $0.79 < a_2 < 1.00$  时,故障距离为  $l_{BC} + l_{CD} \cdot (a_2 - 0.79) / 0.70\text{km}$ 。故障定位和故障测距的理想输出特性如图 2 所示。

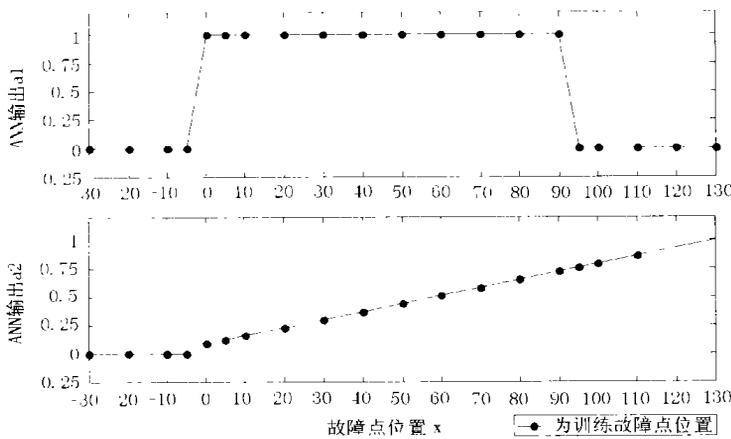


图 2 故障定位、测距的理想输出特性

注:故障点位置  $x$ ,指故障点  $F$  至保护安装处  $B$  之间的距离占线路全长的百分数。当  $-30 < x < 0$  时线路全长指  $AB$  线路;当  $0 < x < 100$  时线路全长指  $BC$  线路;当  $100 < x < 130$  时线路全长指  $CD$  线路。

### 3 基于神经网络的单相接地阻抗继电器的训练与检验

本文故障样本来自图 3 所示系统单相接地故障 EMTF 仿真,采样频率为 1kHz,用全波傅氏算法计算故障特征量。共作出训练样本 1440 个,测试样本两组(第一组 840 个,第二组 360 个)。

在用神经网络进行训练前,先对样本的原始数据进行归一化处理,以便于神经网络的训练。参照文献[4],取保护安装处出现最严重的故障电流值为电流的基准值,取额定电压作为电压的基准值,相位差除以圆周率。

电势夹角为  $-5$  度时取为 0,为  $5$  度时取为 1,介于  $-5$  度和  $+5$  度之间时线性对应取值,如为  $-2.5$  度时取为 0.25,为  $+3.5$  度时取为 0.85。

#### 3.1 故障选相子网络(NN1)的训练与测试

故障选相子网络对于训练样本实际输出与理想输出之间的误差特性如图 4(a) 所示,对于第一组测

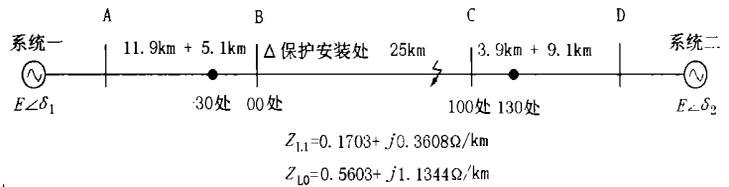


图 3 用于仿真的 110kV 两端供电网络

试样本实际输出与理想输出之间的误差特性如图 4(b) 所示,对于第二组测试样本的实际输出与理想输出之间的误差特性如图 4(c) 所示。

从图 4 中可以看出,由于故障相与非故障相的电压、电流幅值和相位差之间存在明显的差异,对于 1440 个训练样本和 1200 个测试样本,该神经网络继电器故障选相的正确动作率 100%,且动作性能良好。

#### 3.2 故障定位与故障测距子网络(NN2)的训练与测试

##### 3.2.1 故障定位与故障测距子网络对于训练样本的输出特性

对已经训练好的神经网络,作出神经网络在 3 种系统工况(电势夹角分别为  $5$ 、 $0$ 、 $-5$  度)和 8 种过渡电阻下构成的 1440 个训练样本的动作特性图 5(a)、(b)、(c),来反映神经网络的训练效果。

从图 5(a)、(b)、(c) 中可以看出,神经网络继电器对于训练样本的故障定位和故障测距输出特性非常接近理想的动作特性,说

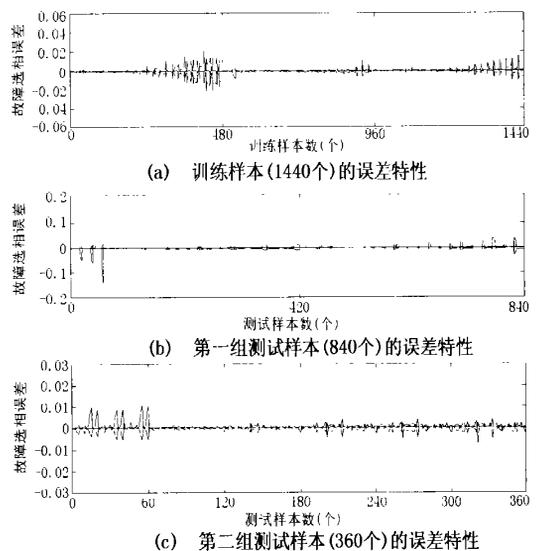
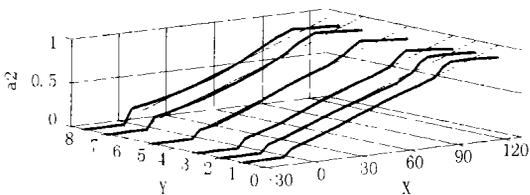
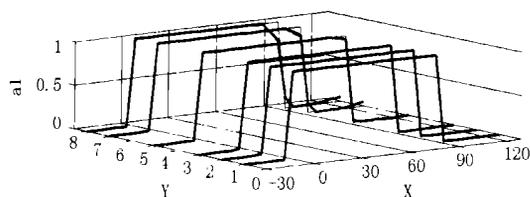
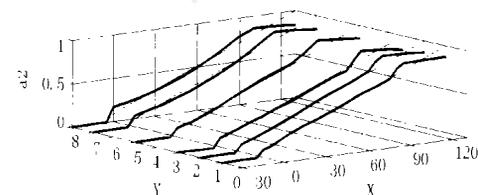
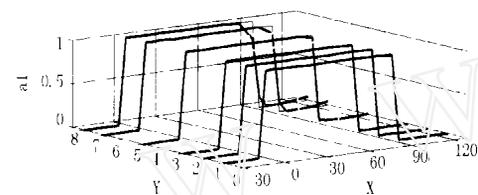


图 4 故障选相子网络对于训练和测试样本的误差特性

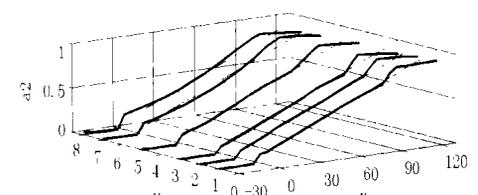
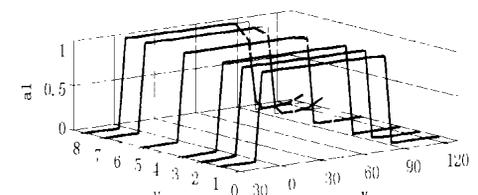
明该神经网络通过对样本的学习,已正确区分了训练样本,获得了理想输出特性。从训练样本的动作



(a) 电势夹角 $\Delta\delta$  等于 $5^\circ$



(b) 电势夹角 $\Delta\delta$  等于 $0^\circ$



(c) 电势夹角 $\Delta\delta$  等于 $-5^\circ$

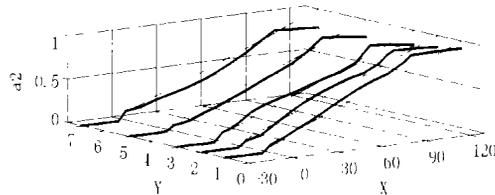
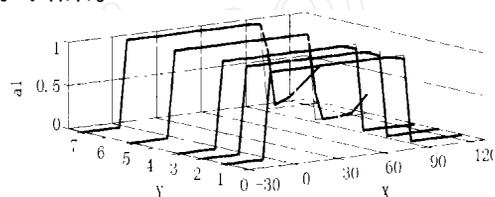
图中,粗实线为训练样本的实际输出特性,虚线为理想输出特性。 $a_1$ ——故障定位输出; $a_2$ ——故障测距输出; $X$ ——故障点距离百分数(L%); $Y$ ——过渡电阻的种类(1,0 ;2,7.5 ;3,10 ;4,20 ;5,35 ;6,50 ;7,70 ;8,100)。

图5 故障定位与测距子网络对于训练样本的输出特性特性图中还可以看出,在各种系统工况和过渡电阻情况下,该神经网络继电器对于反向故障及区外故障均能可靠不动作,对于本线故障其保护范围可达本线全长的90%,即可获得设计保护范围又能满足

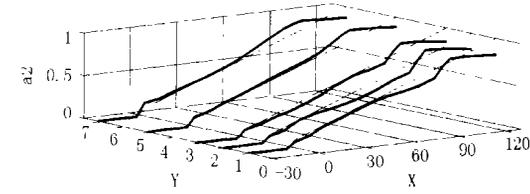
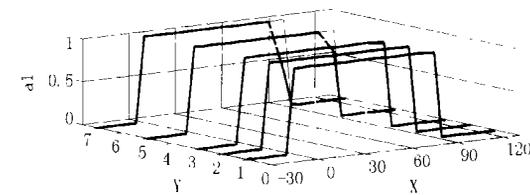
选择性要求。

### 3.2.2 故障定位和故障测距子网络对第一组测试样本的检验结果

依据不同于训练样本的2种系统工况(电势夹角分别为 $2.5^\circ$ 、 $-2.5^\circ$ )和7种过渡电阻( $R_g$ 分别为2.5、7.5、15、27.5、42.5、60、85)在和训练样本相同故障点位置(见图2)作出第二组测试样本共840个,来测试神经网络的推广性能。图6(a)、(b)为故障定位和测距子网络的对于第一组测试样本的测试结果。



(a) 电势夹角 $\Delta\delta$  等于 $2.5^\circ$



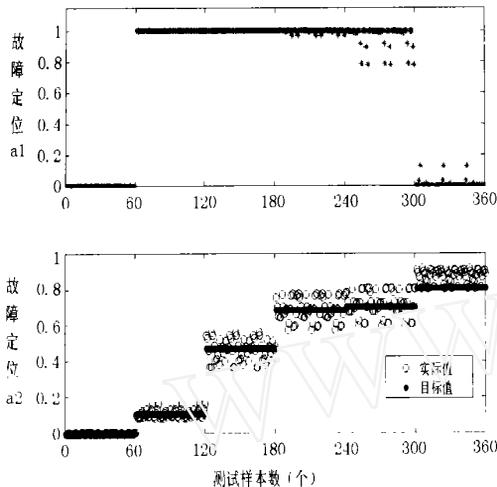
(b) 电势夹角 $\Delta\delta$  等于 $-2.5^\circ$

图中,粗实线为测试样本的实际输出特性,虚线为理想输出特性。 $a_1$ ——故障定位输出; $a_2$ ——故障测距输出; $X$ ——故障点距离百分数(L%); $Y$ ——过渡电阻的种类(1,2.5 ;2,7.5 ;3,15 ;4,27.5 ;5,42.5 ;6,60 ;7,85)。

图6 故障定位与测距子网络对于第一组测试样本的输出特性

从图6(a)、(b)中可以看出,在和训练样本相同的故障点位置排列上,尽管测试样本是在不同于训练样本的系统工况和过渡电阻情况下作出的,但神经网络继电器对于测试样本的故障定位和故障测距输出特性仍然接近理想的动作特性,说明该神经网络

络具有良好的推广性能。从测试样本的动作特性图中可以看出,在各种不同于训练样本的系统工况和过渡电阻情况下,该神经网络继电器对于反向故障及区外故障均能可靠不动作,对于本线故障其保护范围可达本线全长的 90% 左右,具有良好的选择性与方向性。



第二组测试样本的故障点位置  $x$ :  $1 \sim 60^\#$ , -03 处;  $61 \sim 120^\#$ , 03 处;  $121 \sim 180^\#$ , 55 处;  $181 \sim 240^\#$ , 85 处;  $241 \sim 300^\#$ , 88 处;  $301 \sim 360^\#$ , 101 处。

图 7 故障定位与测距子网络对于第二组测试样本的输出特性

### 3.2.3 故障定位和故障测距子网络对第二组测试样本的检验结果

依据不同于训练样本和第一组测试样本的 4 种系统工况(电势夹角分别为 3.5、1.5、-1.5、-3.5 度)、5 种过渡电阻( $R_g$  分别为 0.5、25、45、65、90)和故障点位置作出的第二组测试样本共 360 个。其中,  $1 \sim 60^\#$  样本为反方向故障,  $61 \sim 300^\#$  样本为区内故障,  $301 \sim 360^\#$  样本为区外故障。图 7 为故障定位和测距子网络对于第二组测试样本的测试结果。

从图 7 中可以看出,该神经网络式继电器能适应于系统工况和过渡电阻的变化,具有良好的方向性和动作性能,对反方向故障(-03 处)、保护装置近处故障(03 处)、保护范围末端故障(85、88 处)、区外故障(101 处)等各种故障的定位准确率为 100%,其保护范围可达本线路全长的 88%。测距输出的误差在  $\pm 0.1$  之间,亦即线路全长的 15% 以内。

## 4 分析及结论

训练好的神经网络阻抗继电器不仅能自适应于  $0 \sim 100 \Omega$  过渡电阻的变化,而且也自适应于系统工况的变化(两端系统电势夹角在 -5 度到 +5 度之间变化)。其中,故障选相的准确率为 100%,故障定位的保护范围能达线路全长的 88%,且方向性和选择性良好。此外,该神经网络式阻抗继电器还具有一定的故障测距功能。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] Rockefeller KL, Wagner CL, Linders J L. Adaptive Transmission Relaying Concepts For Improve Performance [J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 1988, 3(4):1446-1458.
- [3] Xia YQ, Li K K, David A K. Adaptive Relay Setting For Stand-alone Digital Distance Protection [J]. IEEE Transaction on Power Delivery, 1994, 9(1):480-491.
- [4] 段玉倩, 贺家李. 基于人工神经网络的距离保护[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(5):67-70.
- [5] 王晓茹, 钱清泉, 伍思涛. 基于神经网络的自适应距离保护研究[J]. 电力系统自动化, 1998, 22(12):27-30.

收稿日期: 2001-07-16

作者简介: 卢青松(1972-),男,在职硕士研究生,工程师,主要研究方向为电力系统继电保护。

## Impedance relay on 110kV double terminal source transmission line based on neural network

LU Qing-song, LU Fei-peng

(Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** This paper presents a new concept about 110kV double terminal source transmission line single phase ground impedance relay based on back propagation neural network. By using EMTP to make a lot of simulation computation, it is proved that the impedance relay not only can adapt to accurately locate fault location with the changes of system conditions and fault resistance, but also has the function of fault phase identification and fault distance measurement.

**Key words:** ANN; double terminal source transmission line; impedance relay