

# 基于小波包与 GA-BP 神经网络配电网故障选线

杨爽, 费腾

云南电网公司曲靖供电局, 云南, 曲靖, 655000

## Fault Line selection of Distribution Network based on Wavelet packet and GA-BP Neural Network

YangShuang, FeiTeng

Yunnan power grid planning and qujing electricity supply board, Yunnan, Qujing

**摘要:** 针对小电流系统故障选线困难, 提出小波包与 GA-BP 神经网络相结合的故障选线方法。利用小波包对故障后各线路的零序电流进行分解, 提取小波包能量作为故障的特征向量。将故障特征向量作为 BP 神经网络的输入, 采用遗传算法训练 BP 神经网络寻找最优的权值和阈值, 建立故障判据。通过实验证明, 该方法选线准确, 没有出现误判。

**关键词:** 小波包; 能量; BP 神经网络; 故障选线

**ABSTRACT:** In view of the difficulty of fault line selection in small current system, a fault line selection method based on wavelet packet and GA-BP neural network is proposed. The zero sequence current of each line after wavelet packet fault is decomposed, and the wavelet packet energy is extracted as the eigenvector of the fault. Taking the fault feature vector as the input of BP neural network, the genetic algorithm is used to train BP neural network to find the optimal weight and threshold, and the fault criterion is established. The experimental results show that the line selection of this method is accurate and there is no misjudgment.

**KEY WORD:** Wave packet; Energy; BP Neural Network; Fault Line Selection

## 0 引言

我国 3 至 66 kV 配电网大多为小电流接地系统, 包括中性点不接地系统、消弧线圈补偿中性点系统和中性点经电阻接地系统。由于故障电流小, 电弧不稳定, 缺乏合适的故障选线方法, 当故障发生时, 丰富的暂态故障特征吸引了研究人员<sup>[1-6]</sup>。目前, 对配电网的主要研究方法是基于暂态故障信号的小波变换<sup>[7-9]</sup>, S 变换, Prony 算法, Hilbert-Huang 变换 (HHT) 以及相关分析。

本文通过结合小波包与 GA-BP 神经网络完成故障选线, 通过小波包对暂态零序电流完成三层分解, 并通过第三层重构系数构建能量特征向量作为 GA-BP 神经网络的输入, 通过神经网络的输出完成故障选线。所提方法不受故障时间、故障线路和故障电阻的影响, 选线效果较好。

## 1 小波数学模型

小波包将频带进行多层次划分, 可以对暂态零序电流信号的高频部分提供更精细的分解, 通过小波包的分解所得的结果没有冗余且没有疏漏。小波包变换可分为两步: (1) 对暂态零序电流信号进行分解, 得到基波和各次谐波分量在不同尺度空间上的系数; (2) 根据步骤 (1) 得到的系数, 重构信号, 完成信号检测。对暂态零序电流信号完成三层小波包分解, 示意图如图 1 所示, 低频段用 A 表示, 高频段用 D 表示。

小波包是在多分辨分析小波理论的基础上, 将尺度函数  $\varphi(t)$  记为  $u_0(t)$ , 小波函数  $\phi(t)$  记为  $u_1(t)$ , 于是有二尺度方程:



$$\begin{cases} {}^l \delta_{ip} = -(d_{ip} - y_{ip}) \cdot f'({}^l x_{ip}) \\ {}^l \delta_{ip} = \left( \sum_m {}^{l+1} \delta_{mp} \cdot {}^{l+1} w_{mi} \right) \cdot f'({}^l x_{ip}), 1 < l < L \\ \frac{\partial E_p}{\partial {}^l w_{ij}} = {}^l \delta_{ip} \cdot {}^{l-1} O_{jp}, 1 < l \leq L \end{cases} \quad (8)$$

修正权值为:

$${}^l w_{ij}(t+1) = {}^l w_{ij}(t) - \eta \frac{\partial E}{\partial {}^l w_{ij}}, \eta > 0 \quad (9)$$

其中 BP 神经网络包括了两种学习方式:

Pattern 学习方式:

$${}^l w_{ij}(t+1) = {}^l w_{ij}(t) - \eta \frac{\partial E_p}{\partial {}^l w_{ij}}, \eta > 0 \quad (10)$$

Epoch 学习方式:

$${}^l w_{ij}(t+1) = {}^l w_{ij}(t) - \eta \frac{\partial E_{all}}{\partial {}^l w_{ij}}, \eta > 0 \quad (11)$$

本文通过遗传算法改进 BP 神经网络优化网络的权值和阈值,其流程图如图 3 所示。遗传算法通过参数编码、种群初始化、设置适应度函数、设置遗传操作和控制参数优化 BP 神经网络。GA-BP 神经网络的数学表达式如下:

$$\begin{cases} \min E(w, v, \theta, r) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{N_1} \sum_{t=1}^n [y_k(t) - \hat{y}_k(t)]^2 \\ s.t. \quad w \in R^{m \times p}, v \in R^{p \times n}, \theta \in R^p, r \in R^n \end{cases} \quad (12)$$

其中:

$$\hat{y}_k(t) = \sum_{j=1}^p v_{jt} \cdot f\left[\sum_{i=1}^m w_{ij} \cdot x_i(t) + \theta_j\right] + r_t \quad (13)$$

$\hat{y}_k(t)$  为期望输出,  $\hat{y}_t$  为网络的实际输出,  $\varepsilon_1$  为误差系数, 则:

$$E_1 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{N_1} \sum_{t=1}^n [y_k(t) - \hat{y}_k(t)]^2 \leq \varepsilon_1 \quad (14)$$

用 GA 算法求解:

$$E_2 = \frac{1}{N - N_1} \sum_{k=N_1+1}^N \sum_{t=1}^n [y_k(t) - \hat{y}_k(t)]^2 \leq \varepsilon_2 \quad (15)$$

可以用 GA-BP 神经网络算法解决实际问题。参数编码采用实数编码,种群初始化的权值区间为[-1, 1],种群数量为 1000,适应度函数为

输出值与真实值之间的均方误差。遗传操作包括:基因选择、交叉操作、变异操作等。

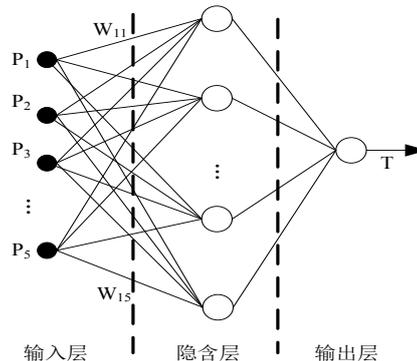


图 2 BP 神经网络结构图

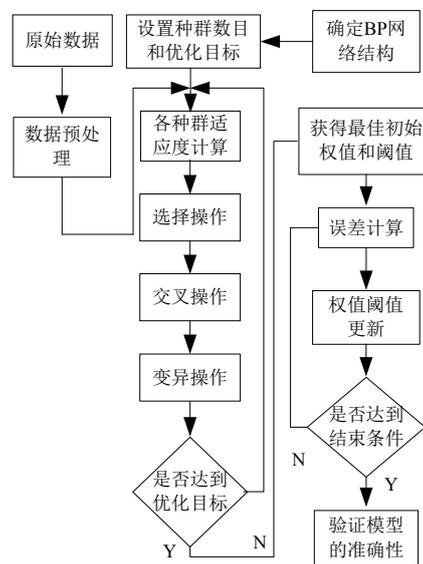


图 3 GA 优化 BP 神经网络流程图

神经网络输入为八个第三层小波包分解的能量值,因此输入层层数为 8;通过多次实验隐含层取值为 6 效果最佳;输出层个数为 1,其中输出为 1 代表故障线路,输出为 2 代表正常线路。遗传算法种群适应度函数如图 4 所示。

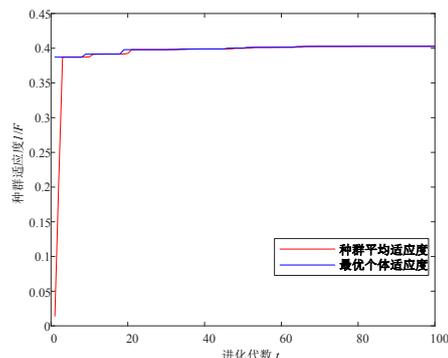


图 4 GA-BP 种群适应度变

### 3 仿真实验

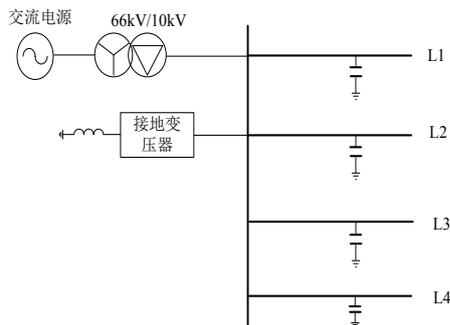


图5 小电流系统结构示意图

小电流系统结构示意图如图5所示,包括四条架空线路,其中线路参数如下所示:

$$R_1 = 0.01273\Omega/\text{km}, R_0 = 0.3863\Omega/\text{km},$$

$$L_1 = 0.9337\text{mH}/\text{km}, L_0 = 4.1264\text{mH}/\text{km},$$

$$C_1 = 12.74\text{nF}/\text{km}, C_0 = 7.75\text{lnF}/\text{km}.$$

假设线路2在0.02s发生单相接地故障,故障距离母线3km处,接地电阻为10欧姆,为更好模拟实际情况,将获得的零序电流人为的添加高斯白噪声,则各线路零序电流图如下所示:

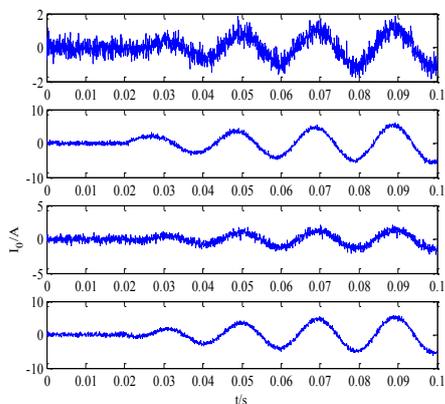
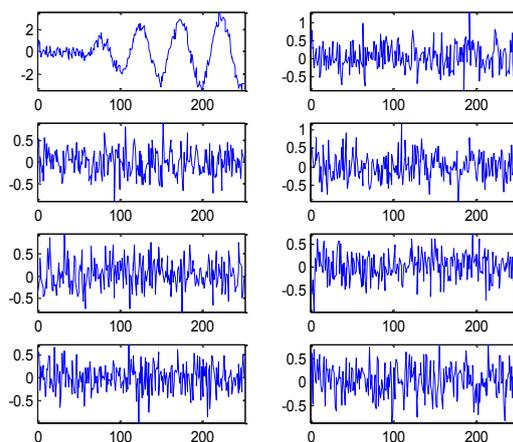
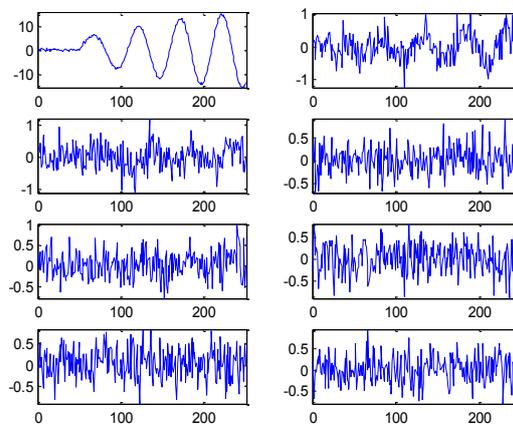


图6 各线路零序电流图

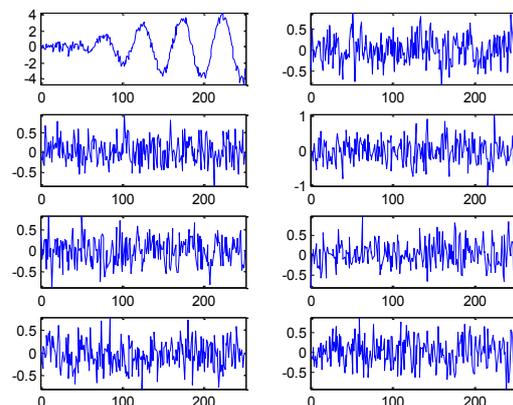
用小波包对各线路的零序电流做三层分解,所得结果如图7所示。



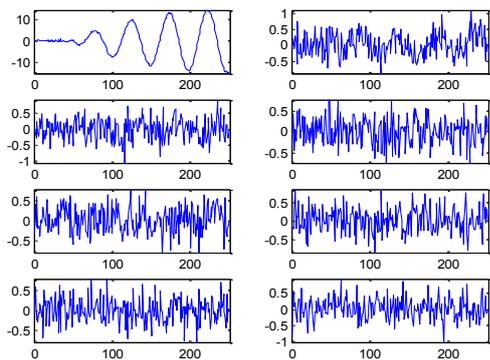
(a) 线路1 第三层小波包分解



(b) 线路2 第三层小波包分解



(c) 线路3 第三层小波包分解



(d) 线路4第三层小波包分解

图7 各线路零序电流第三层小波包分解图

计算各线路小波包分解的能量如表1所示,将所得结果带入训练好的BP神经网络中,所得结果如表一所示。

表1 各线路第三层小波包能量

线路	L1	L2	L3	L4
E <sub>30</sub>	0.7909	0.9865	0.8538	0.6864
E <sub>31</sub>	0.0035	0.0026	0.0219	0.0024
E <sub>32</sub>	0.0266	0.0022	0.0204	0.0020
E <sub>33</sub>	0.0332	0.0024	0.0228	0.0018
E <sub>34</sub>	0.0300	0.0014	0.0199	0.0019
E <sub>35</sub>	0.0270	0.0017	0.0196	0.0019
E <sub>36</sub>	0.0254	0.0019	0.0188	0.0016
E <sub>37</sub>	0.0319	0.0021	0.0229	0.0019

从图8可以看出,神经网络输出向量为[2 1 2 2],则可以判断出线路2发生故障,与仿真设置的一样,选线准确。

假设线路3在0.02s发生单相接地故障,故障距离母线5km处,接地电阻为600欧姆,为更好模拟实际情况,将获得的零序电流认为的添加高斯白噪声,则各线路零序电流图9如下所示:

用小波包对各线路的零序电流做三层分解,所得结果如图10所示。

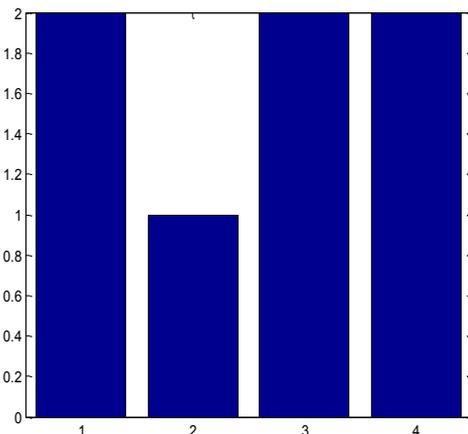


图8 神经网络输出结果

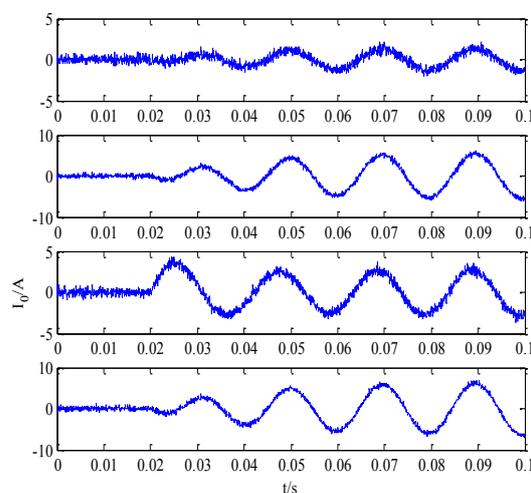
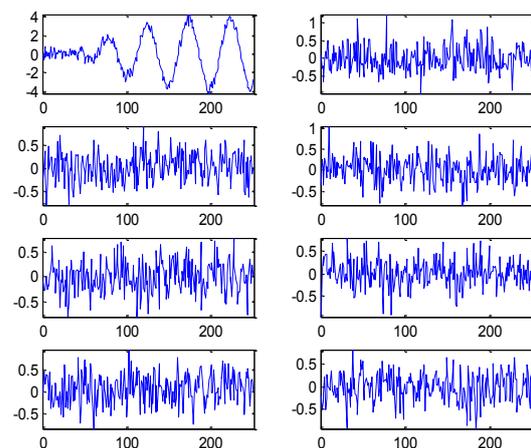
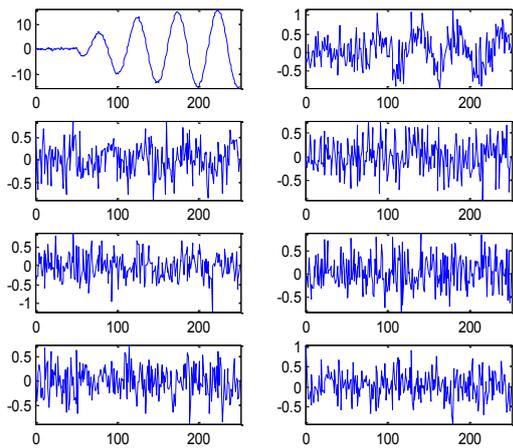


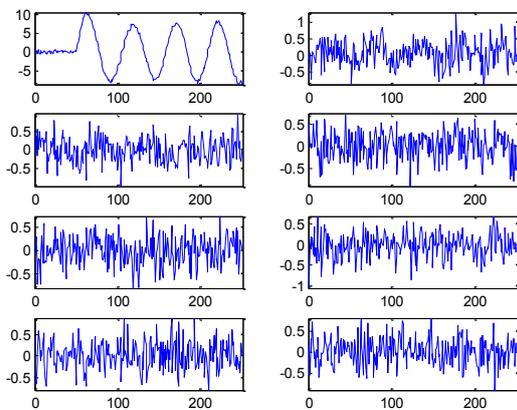
图9 各线路零序电流图



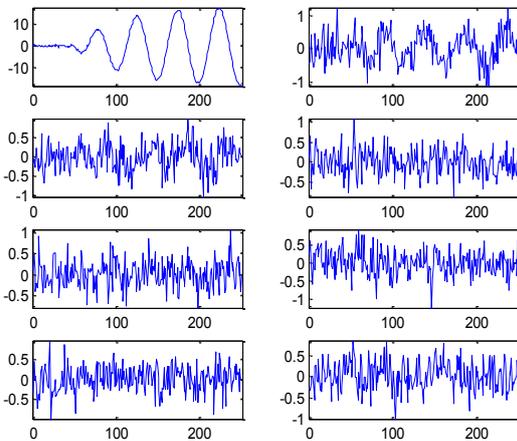
(a) 线路1第三层小波包分解



(b) 线路2 第三层小波包分解



(c) 线路3 第三层小波包分解



(d) 线路4 第三层小波包分解

图10 各线路零序电流第三层小波包分解图

计算各线路小波包分解的能量如表2所示,将所得结果带入训练好的BP神经网络中,所得结果如图11所示。

表2 各线路第三层小波包能量

线路	L1	L2	L3	L4
----	----	----	----	----

E <sub>30</sub>	0.8522	0.7875	0.9727	0.6900
E <sub>31</sub>	0.0247	0.0027	0.0051	0.0023
E <sub>32</sub>	0.0194	0.0027	0.0051	0.0023
E <sub>33</sub>	0.0210	0.0027	0.0051	0.0023
E <sub>34</sub>	0.0203	0.0027	0.0051	0.0023
E <sub>35</sub>	0.1900	0.0027	0.0051	0.0023
E <sub>36</sub>	0.0229	0.0027	0.0051	0.0023
E <sub>37</sub>	0.0205	0.0027	0.0051	0.0023

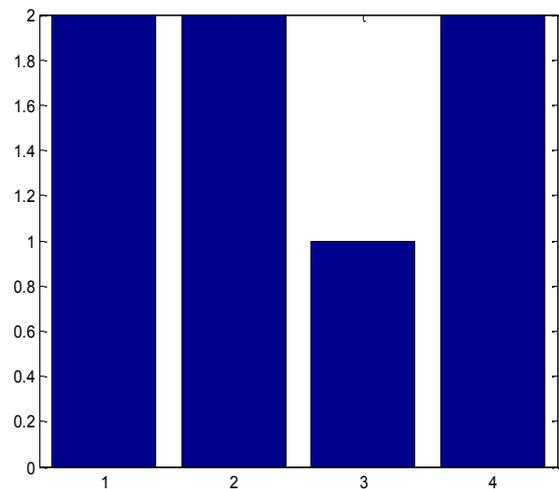


图11 神经网络输出结果

从图11可以看出,神经网络输出向量为[2 2 1 2],则可以判断出线路3发生故障,与仿真设置的一样,选线准确。选线方法不受故障线路影响。

#### 4 结束语

结合小波包和GA-BP神经网络的故障选线,可以准确的选择故障线路。其中小波包分解暂态零序电流可以更加精细;通过遗传算法优化的BP神经网络有更好的权值和阈值。所得结果的故障判据较为直观。大量实验验证了选线结果的准确性,没有出现误判,可以很好应用在工程实际中。

## 参 考 文 献

- [1] 顾荣斌, 蔡旭, 陈海昆, 等. 非有效接地电网单相电弧接地故障的建模及仿真[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(13): 63-67.
- [2] 林莉, 何月, 王军兵, 等. 中性点不接地电网单相接地时电压互感器损坏机理[J]. 高电压技术, 2013, 39(5): 1114-1120.
- [3] 黄知超, 钟奕, 李彩林, 等. 一种基于谐波小波的单相接地故障选线方法[J]. 电测与仪表, 2012, 49(01): 22-26.
- [4] 曾祥君, 尹项根, 张哲, 等. 零序导纳法馈线接地保护的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, (4): 6-11.
- [5] 李孟秋, 王耀南, 王辉, 等. 小电流接地系统单相接地故障点探测方法的研究[J]. 中国电机工程学报, 2001, (10): 7-10, 24.
- [6] 齐郑, 杨以涵. 中性点非有效接地系统单相接地选线技术分析[J]. 电力系统自动化, 2004, (14): 1-5.
- [7] 郑顾平, 杜向楠, 齐郑, 等. 小电流单相接地故障在线定位装置研究与实现[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(8): 135-139.
- [8] 曾俊, 周捷, 孙建东, 等. 配电网消弧线圈接地系统单相接地故障定位实验研究[J]. 南京理工大学学报, 2014, 38(5): 644-650.
- [9] 陈志亮, 范春菊. 基于 5 次谐波突变量的小电流接地系统选线[J]. 电力系统及其自动化学报, 2006, (5): 37-41, 69.

收稿日期: 2020年5月

作者简介:

1、杨爽, 女, 1990年5月生, 硕士, 现在云南电网曲靖供电局从事继电保护工作, 工程师, 云南电网曲靖供电局, 电话 18087497871, 邮箱 843992363@qq.com.

2、费腾, 男, 1989年7月生, 硕士, 现在云南电网曲靖供电局从事电网调度工作, 工程师, 云南电网曲靖供电局, 电话 15368430211, 邮箱 515460269@qq.com.