

基于人工神经网络小电流接地选线方法研究

罗浩杰¹ 张栋柱² 李民强¹ 王 聪¹ 王勇军¹

(1. 广西电网有限责任公司河池供电局, 广西 河池 547000;

2. 湖南英科电力技术有限公司, 湖南 长沙 410000)

摘要: 针对小电流接地故障选线方法进行了研究, 使用人工神经网络模型实现接地故障选线。为了提高神经网络算法的性能, 使用一种改进的神经网络算法, 对遗传算法中的相应遗传算子以及染色体结构进行改进, 通过自适应交叉变异概率的引入, 从全局均衡和优化初始网络权重以及 BP 网络结构。使用 110 kV/35 kV 的配电系统作为小电流接地故障选线实例分析, 对常规神经网络算法和改进神经网络算法进行对比。研究表明, 改进神经网络算法的输出误差要低于常规神经网络算法, 正确选线率要高于常规神经网络算法。

关键词: 人工神经网络; 遗传算法; 小电流接地故障; 故障选线

Abstract: The method of fault line selection for small current grounding is studied, and the artificial neural network model is used to realize the fault line selection. In order to improve the performance of neural network algorithm, an improved BP neural network algorithm is adopted which mainly improves the corresponding genetic operators and chromosome structure in genetic algorithm, and through introducing the adaptive crossover and mutation probability, the initial weights and BP network structure are balanced and optimized. Taking 110 kV/35 kV distribution system for example to analyze small current grounding fault line selection, the conventional neural network algorithm and the improved neural network algorithm are compared. The results show that the output error of the improved neural network algorithm is lower than that of the conventional neural network algorithm, and the correct line selection rate is higher than that of the conventional neural network algorithm.

Key words: artificial neural network; genetic algorithm; small current grounding fault; fault line selection

中图分类号: TM77 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2016)06-0036-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2016.06.009

0 引言

中性点不直接接地以及中性点直接接地是电力系统中性点接地的两种主要形式。其中中性点直接接地方式在大于 110 kV 电压等级的电网中应用比较广泛, 如果单相接地故障在这种系统中发生, 就会产生较大的故障电流, 因此又可以将这种系统称之为大电流接地系统。中性点不直接接地方式在 6 ~ 66 kV 配电网中应用比较广泛, 如果单相接地故障在这种系统中发生会产生较小的故障电流, 因此又可称之为小电流接地系统。中性点经消弧线圈接地系统、中性点经电阻接地系统以及中性点不接地系统是小电流接地系统的三种主要类型^[1-3]。

从现场运行结果可以看出, 其中大部分的接地故障为单相接地故障。总的来说, 小电流接地运行方式主要具有以下几个方面的优势: 单相接地故障发生时, 所产生的接地点故障电流比较小, 能够保持

三相线电压的对称性, 对负荷连续供电不会产生影响, 因此不需要马上跳闸, 可以按照电力规程维持 1 ~ 2 h 运行, 能够在有效减少用户停电时间中提升供电的可靠性和稳定性。然而如果系统长期运行在故障状态, 就会抬高非故障相电压, 如果出现了间歇性弧光接地, 就会产生非常大的过电压, 对电力系统绝缘性产生了消极的影响, 同时还会增加故障范围。在配电网逐渐发展的过程中, 电缆电路在电网中的比例逐渐增多, 存在着数量越来越多的缆-线混合线路。随着线路长度的增加, 直接提升了系统单相接地故障电容电流, 对整个电力系统造成了严重的危害, 因此应当及时发现单相接地故障, 并采取有效的方法解决故障^[4-6]。

1 小电流接地故障特征分析

当故障出现在小电流接地系统时, 在故障点出现了等效电源, 在故障处所产生的电流行波向负荷

以及线路始端方向传播。其中向线路始端传播的行波在到达母线位置时会被反射和折射,其中折射波进入到非故障线路中以后会导致初始暂态行波电流的产生,通过入射波和反射波的叠加导致了故障线路初始电流行波的形成^[7]。

因此,故障线路初始行波电流零模为

$$i_{N0} = i_{F0} - i_{refl0} = \frac{2Z}{Z_{B0} + Z} i_{F0} \quad (1)$$

正常线路初始行波电流零模为

$$i_{k0} = -i_{refl0} \frac{Z_{B0}}{Z} = -\frac{2Z_{B0}^2}{Z(Z_{B0} + Z)} i_{F0} \quad (2)$$

在对所发生故障的线路进行判断时,可以参考初始暂态电流行波到达母线时各条线路零模分量的极性和幅值。

在发生单相接地故障后,故障处的初始电流行波向负荷侧和母线方向传播,暂态电流行波通过不断地折反射叠加逐渐形成。经过相模变换可以将三相电流转变为零模电流。在消弧线圈补偿作用的影响下,谐振接地系统各条线路间的工频分量基本一致。因此在选线的过程中采用工频的方法就无法发挥较好的效果。采用频谱分析方法处理故障后获取的非连续信号,就能够获取暂态主频分量对应的相位和幅值。通过对各条线路暂态主频的相位和幅值进行提升能够有效地对故障进行检测。

因此故障线路的暂态主频分量为^[8]

$$i_{0df} = I_{0df} e^{-\alpha_{0d} t} \cos(\omega_{0d} t + \Phi_{i0df}) \quad (3)$$

正常线路的暂态主频分量为

$$i_{0dh} = I_{0dh} e^{-\alpha_{0d} t} \cos(\omega_{0d} t + \Phi_{i0dh}) \quad (4)$$

式(3)和式(4)中: I_{0df} 为故障线路暂态主频分量幅值; I_{0dh} 为正常线路暂态主频分量幅值; Φ_{i0df} 为故障线路暂态主频分量初始相角; Φ_{i0dh} 为正常线路暂态主频分量初始相角。

2 人工神经网络接地故障选线方法研究

作为一种多层前馈型网络,BP神经网络能够前向输入信号,逆向反馈误差信号。在进行前向运输的时候,采用逐层处理的方法,输入信号的处理途径为输入层-隐含层-输出层。通过对比期望输出以及输出层输出来进行反馈,网络结构中的权值可以通过两个的差值进行调整,同时隐含层的节点数决定了BP网络结构的规模。

常规BP神经网络结构如图1所示。

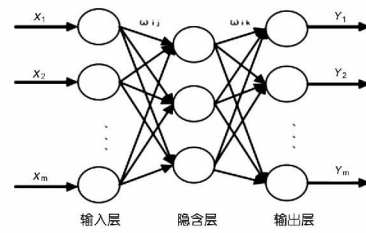


图1 常规BP神经网络结构

下面使用一种改进的神经网络算法,主要对遗传算法中的相应遗传算子以及染色体结构进行改进,通过自适应交叉变异概率的引入来从全局均衡和优化初始网络权重以及BP网络结构^[9]。

采用上下阶梯的形式对染色体基因进行设计:其中控制基因在上层,主要对隐层节点个数进行控制,同时优化BP神经网络结构;参数基因在下层,主要优化BP神经网络的阈值以及权值。上层基因通常情况下控制下层参数基因,二进制是控制基因所采用的编码形式,其中当值为“1”时说明激活了隐层节点,同时与该基因相连的参数基因是有效的;当值为“0”时表明隐层节点处于休眠状态,同时相关的参数基因是无效的。由于BP网络连接阈值以及权值均为连续实数,同时采用二进制的解码和编码形式会产生较大的误差,所以可以采用实数编码的方法对参数基因进行编码,其中一个参数基因应当同时包含对应神经元的连接阈值以及权值。

对BP神经网络的网络结构以及权值同时优化,保证获得最优的网络复杂度以及输出误差,因此需要进行双目标优化。所建立的适应度函数应当能够将BP神经网络的网络结构复杂度以及输出精度充分反映出来,训练集数据的总体误差决定了输出精度,隐层节点数决定了网络复杂度。

$$f = a \times f_{rmse} + b \times f_{com} \quad 0 < a \quad b < 1$$

$$f_{rmse} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

$$f_{com} = \frac{N(1)}{N(0) + N(1)} \quad (5)$$

式中: n 是训练数据样本数; f_{rmse} 是训练数据的均方根误差; y_i 是实际值; \hat{y}_i 是识别的值。

由于传统的轮盘赌在选择的过程中主要采用基于适应值比例的方法,使得很多相似个体以及超级个体出现了封闭竞争以及早熟的现象,影响了搜索的顺利进行。为了弥补这种不足,在操作的过程中采用了随机联赛选择策略以及最优个体保留策略。

在联赛选择策略方面,随机选择出最优解以外的父代种群中的 2 个个体,对其适应值进行比较,并使具有较优适应值的个体进入到子代群体中,对于适应值较差的个体可以直接淘汰,通过多个步骤得到完整子代种群,采用这种方法能够保证子代种群中的个体具有较高的质量。

在最优个体保留策略方面,将父代种群中具有较高适应度的个体进行复制,使其进入到子代群体中,同时对上代群体中的最优解进行保留,采用这种方法能够使得遗传算法具有较好的收敛性。

染色体的下层基因层以及上层控制基因层在编码的时候采用了实数以及二进制,所以所应用的变异算子和交叉算子是不同的,将基本位变异算子以及单点交叉算子应用在控制基因层上,将非一致变异算子以及整体算数交叉算子应用在参数基因层上,利用几何矢量相加原理对整体算数交叉算子进行应用,采用交叉运算的方法处理父代向量的所有分量,对于算法搜索范围的提升有非常好的效果。种群的进化代数和变异存在着非常紧密的联系,如果在进化初期存在数量较少的种群就需要进行较大范围的变异,为了避免破坏优秀的个体,应当在进化后期采用较小的变异范围,这对于局部最优解的搜索有非常好的效果。

遗传算法的效率受到变异以及交叉概率的影响,如果概率太大会对种群中的优秀个体造成破坏,而过小会减缓更新速度,出现早熟现象。所提方法对自适应的变异和交叉概率进行了设计,在选取控制概率的过程中,充分参考个体适应度以及种群进化进度,达到提升变异操作以及检查操作质量的目的^[10]。

3 小电流接地故障选线分析

3.1 仿真模型

使用 110 kV/35 kV 的配电系统作为小电流接地故障选线实例分析,系统模型如图 2 所示。根据所选模型的实际系统参数,设置仿真参数:该系统有 7 条架空的馈线,正序电阻为 0.18 Ω/km,正序对地导纳为 9.5 nF/km,正序对地电感为 1.23 mH/km,零序电阻为 0.21 Ω/km,零序对地导纳为 6.5 nF/km,零序对地电感为 4.92 mH/km,馈线 L1 ~ L7 长度分

别为 3 km、6 km、10 km、15 km、20 km、28 km 和 30 km^[11]。

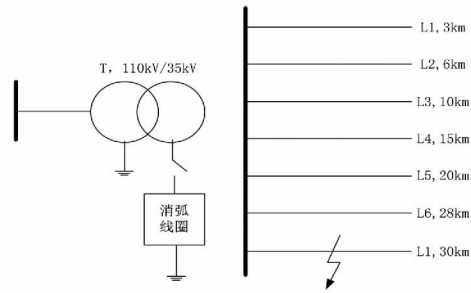


图 2 仿真配电系统模型

3.2 神经网络模型

使用 7 条线路共 21 个故障特征,组成特性向量: $X = (X_1, X_2, \dots, X_{21})$ 。 $X_1 \sim X_7$ 为使用小波变换提取的 7 条线路的初始电流行波零模分量的模极大值; $X_8 \sim X_{14}$ 为通过傅里叶变换得到的 7 条线路的暂态主频实部; $X_{15} \sim X_{21}$ 为通过傅里叶变换得到的 7 条线路的暂态主频虚部。将特性向量 $X = (X_1, X_2, \dots, X_{21})$ 作为神经网络模型的输入向量,将 7 条线路的故障和正常状态作为神经网络模型的输出向量 $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_7)$,当线路正常时,对应分量为 0,当线路故障时,对应分量为 1。

使用常规神经网络和所研究的改进神经网络进行对比研究,常规神经网络中的隐含层单元数由经验公式得到,即 45。

改进神经网络的参数设置为:初始隐含层单元为 40,初始阈值为 -1 ~ 1,初始连接权值为 -2 ~ 2,最大训练次数为 1 000,学习速率为 0.01,训练误差精度为 0.001,最大进化代数为 400,调节系数 0.2。

3.3 神经网络训练

在 7 条馈线的不同位置设置故障点,得到故障样本数据。故障初相角为 5°、30°、60° 和 90°;过渡电阻设置为 10 Ω、20 Ω 和 100 Ω;故障点设置为 7 条馈线的 20%、40%、60% 和 80% 处,得到共 336 组数据^[12]。

随机抽取故障数据中的 300 组作为神经网络的训练数据,得到改进神经网络的平均适应度及隐含层节点数变化,如图 3 所示。经过 205 次进化后确定了最优的隐含层节点数为 53。

3.4 故障选线结果分析

使用上述的训练数据对常规神经网络模型和改

表1 两张神经网络模型的选线结果

序号	实际线路	改进模型	常规模型	序号	实际线路	改进模型	常规模型
1	7	7	6	19	4	4	4
2	2	2	2	20	6	6	6
3	5	5	5	21	2	2	2
4	6	6	5	22	6	6	7
5	1	1	1	23	7	7	7
6	4	3	4	24	2	2	2
7	2	2	2	25	5	5	4
8	6	6	6	26	3	3	3
9	6	6	5	27	5	5	5
10	2	2	2	28	6	5	6
11	1	1	1	29	5	5	5
12	6	6	5	30	6	6	6
13	6	6	6	31	4	4	5
14	2	2	2	32	4	4	4
15	2	2	2	33	3	3	3
16	4	4	4	34	3	3	3
17	7	7	7	35	5	5	5
18	7	7	7	36	7	7	7

进神经网络模型进行训练得到了故障选线模型,使用剩余36组故障数据作为故障选线模型的测试样本,并使用测试样本对两种神经网络模型的故障选线性能进行验证。36组样本的实际故障线路和两种神经网络模型的诊断结果如图4所示。

了94.4%,常规神经网络模型的正确选线个数为29,正确率为80.5%。

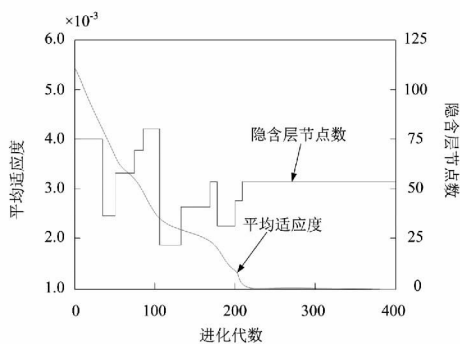


图3 平均适应度及隐含层节点数变化

常规神经网络模型的输出误差为10.53%,改进神经网络模型的输出误差为6.75%,改进神经网络模型的输出误差要低于常规神经网络模型。

两种神经网络模型的选线结果见表1所示。

从两种神经网络模型的选线结果可以看出,改进神经网络模型的正确选线个数为34,正确率达到

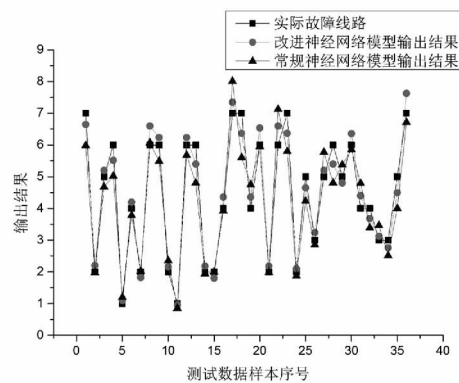


图4 实际故障线路和两种神经网络模型的诊断结果

4 结论

针对小电流接地故障选线方法进行了研究,使用人工神经网络模型实现接地故障选线。为了提高神经网络算法的性能,使用一种改进的神经网络算法。使用110 kV/35 kV的配电系统作为小电流接地故障选线实例分析,使用常规神经网络算法和改进神经网络算法进行对比,研究结果表明:

1) 常规神经网络模型的输出误差为 10.53% ,改进神经网络模型的输出误差为 6.75% ,改进神经网络模型的输出误差要低于常规神经网络模型。

2) 改进神经网络模型的正确选线个数为 34 ,正确率达到了 94.4% ,常规神经网络模型的正确选线个数为 29 ,正确率为 80.5% 。

参考文献

- [1] 王念彬. 基于小波神经网络的小电流接地系统故障选线方法的研究[D]. 北京: 中国矿业大学(北京) 2010.
- [2] 李震球. 基于概率神经网络的小电流接地系统模式识别故障选线方法及应用[D]. 南昌: 南昌大学 2014.
- [3] 郑帅帅. 基于小波神经网络的小电流接地故障选线方法研究[D]. 淄博: 山东理工大学 2014.
- [4] 韦晓广. 基于机器学习的小电流接地系统单相接地故障选线[D]. 徐州: 中国矿业大学 2014.
- [5] 张海平, 何正友, 张钧. 基于量子神经网络和证据融合的小电流接地选线方法[J]. 电工技术学报, 2009, 24(12): 171-178.
- [6] 惠学军. 基于小波神经网络的小电流接地系统单相接

(上接第 31 页)

1) 表 2 为采用传统交流融冰方法下配网线路融冰长度范围与融冰需要的最小功率, 表 3 为采用变压器串联方法进行配网线路交流融冰时计算的不同导线的融冰范围及最小容量, 可供线路运维人员对线路交流融冰电源及融冰长度进行快速判断。

2) 采用所提方法融冰时, 建议尽量选用有载调压变压器作为融冰变压器。因为采用有载调压变压器, 则可在融冰开始之前将其高压侧分接开关调整至最大, 这样在高压侧施加 10 kV 电压时, 其二次侧电压小于 2.86 kV, 可以降低起始融冰电流。在融冰过程中, 操作人员可根据实际融冰电流大小调整分接开关。这样融冰比较安全, 同时能够一定程度缓解变压器二次侧电流过载。

3) 更改线路保护定值时, 建议把一段保护定值设定为计算短路融冰电流值的 1.25 倍。该值满足了合闸瞬间融冰电流冲击峰值时保护不动作, 又能在融冰过程中保护融冰变压器不严重过载。

地故障定位研究[D]. 南京: 河海大学 2002.

- [7] 郝金陵, 袁振海. 基于小波-神经网络的小电流接地选线的研究[J]. 电测与仪表, 2007, 44(11): 1-5.
- [8] 曹运刚. 基于人工神经网络的小电流接地故障选线方法研究[D]. 淄博: 山东理工大学 2015.
- [9] 宋国峰, 梁昌勇, 梁焱, 等. 改进遗传算法优化 BP 神经网络的旅游景区日客流量预测[J]. 小型微型计算机系统, 2014, 35(9): 2136-2141.
- [10] 董升伟. 基于改进 BP 神经网络的轨道交通短时客流预测方法研究[D]. 北京: 北京交通大学 2013.
- [11] 陈奎, 韦晓广, 陈景波, 等. 基于样本数据处理和 AD-ABOOST 的小电流接地故障选线[J]. 中国电机工程学报, 2014, 34(34): 6228-6237.
- [12] 曹运刚, 陈平, 杨茂亭, 等. 基于人工神经网络的小电流接地故障选线方法研究[J]. 国网技术学院学报, 2015, 18(1): 21-25.

作者简介:

罗浩杰(1971), 助理工程师, 主要从事配电运行管理等技术领域的研究工作。

(收稿日期: 2016-08-30)

4) 融冰变压器的阻抗电阻和待融冰线路参数(线路正序阻抗值) 尽量实测, 避免因为线路实际长度可能与台账不符, 或变压器实际短路阻抗与铭牌值不符, 导致融冰电流计算不准确。

参考文献

- [1] 陆佳政, 李波, 张红先, 等. 新型交直流融冰装置在湖南电网的应用[J]. 南方电网技术, 2009, 3(4): 77-79.
- [2] 雷洪才, 陆家政, 李波, 等. 可调电容串联补偿式交流融冰装置在湖南电网的应用[J]. 湖南电力, 2009, 29(5): 28-29.
- [3] 朱远, 周秀东, 李波, 等. 配网交流融冰仿真分析及工程应用研究[J]. 湖南电力, 2015, 35(6): 32-34.
- [4] 李宏力, 朱镜勋. 35kV 交流融冰变压器的改造方案[J]. 贵州电力技术, 2011, 14(7): 58-59.

作者简介:

邓元实(1985), 硕士研究生, 主要从事线路抗冰防冰研究、线路专业生产技术管理。

(收稿日期: 2016-09-21)