

## 配电网线损的实时计算方法

袁慧梅

郭喜庆

(首都师范大学) (中国农业大学电子电力工程学院)

**摘要** 提出利用 GA 优化的 ANN 模型和 SCADA 系统的实时数据计算配电线路实时线损的方法。实例验证, 这种计算实时线损的方法, 模型简单, 有很好的鲁棒性和适应性, 且计算精度较高。

**关键词** 配电网; 线损; 实时计算

**分类号** TM 747

## New Method for Calculating Real-time Energy losses in Distribution Networks

Yuan Huimei

Guo Xiqing

(Capital Normal University) (College of Electronic and Electric Power Engineering, CAU)

**Abstract** A new method for calculating real-time energy losses in distribution systems based on ANN aided by GA and the data of SCADA is put forward, and it is proved that the new method is simple, accurate, robust and adaptive.

**Key words** distribution networks; energy losses; real-time calculation

传统的线损计算方法, 计算结果往往滞后于电网损失现状, 无法及时指导线损分析工作<sup>[1~4]</sup>。线损的实时计算使得理论线损与统计线损同期、同步, 具有可比性, 便于及时采取各种措施降损节能, 使线损管理工作更具科学性。

虽然通过潮流计算程序可以计算配电线路的实时线损, 但我国农村配电网的自动化水平较低, 潮流计算所需的数据无法获得, 因此只得采用一些近似的方法估算实时线损。县级电网实现调度自动化后, 一般的 10 kV 配电线路的 10 kV 母线出口端已有了实时的运行参数。现有的线损计算方法, 由于准确度不够或计算工作量太大, 不适合线损的实时计算, 故笔者提出利用 GA 优化的 ANN 模型计算 10 kV 配电线路实时线损的方法。由于是利用 SCADA 系统的实时数据进行计算的, 故不仅能够在线计算, 还能够离线计算; 而且利用 GA 优化的 ANN 模型进行线损计算, 能够考虑损耗的时域特性和各节点的负荷曲线形状, 计算精度较高。

### 1 实时线损模型的建立

在建立模型之前, 首先在配电线路的配变上安装负荷测试仪, 以便获取实时数据。

#### 1.1 样本的选取与线损值的计算

选取一年中几个典型日的实时线损值作为学习样本, 在几个典型日之外任选  $m$  d 的实时

收稿日期: 2000-03-20

袁慧梅, 北京西三环北路 105 号 首都师范大学物理系, 100037

郭喜庆, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区) 62 信箱, 100083

线损值作为检验样本。学习样本要尽量包含所有典型时刻的线损值, 同时也要尽量保证各种典型时刻线损值的平衡。笔者提出一种适合农村配电网的 12 种日负荷曲线模型, 即在春夏秋冬每一季中分别选取最大负荷日、均值负荷日和最小负荷日建立负荷曲线模型。这样如果建立一个适合全年线损实时计算的模型, 就需至少选取 12 个适合这种负荷曲线的典型日, 如果将每日 24 h 都作为典型时刻, 学习样本就至少有  $12 \times 24$  个。检验样本用于检验网络性能。检验样本的数据格式与学习样本完全相同, 但检验样本不能包含在学习样本之中。

由于建立模型前已在配电线路的首端、所有公共配变的低压侧和所有高压用户配变的高压侧安装了测试仪, 所以线路的总损耗等于线路出口端的电量值减去所有公共配变的电量总和及所有高压用户配变的电量总和。由于所有电量值都是测得的, 所以线路的总损耗值非常准确。样本的各段导线及各台配变的损耗值, 可以根据计算得到的导线和配变的损耗比例, 重新分配测得的总损耗而获得。

假设计算得到的导线的总线损值为  $A_1$ , 变压器的总线损值为  $A_b$ , 而测得的配电线路的总损耗值为  $A$ , 则重新调整后的导线的线损值  $A_1 = A_1 + \Delta \cdot A_1 / (A_1 + A_b)$ , 变压器的线损值  $A_b = A_b + \Delta \cdot A_b / (A_1 + A_b)$ ; 其中  $\Delta = A - (A_1 + A_b)$ 。

## 1.2 自变量和因变量的选取与标准化

样本的自变量为影响线损的各个因素。在配电网中, 影响线损的因素很多, 本文中选用以下几个比较重要的因素: 线路总长度、配变平均容量、高压用户配变总容量、10 kV 母线出口端实时电流、10 kV 母线的平均运行电压以及功率因数。

样本的因变量为各类线损值。包括: 配电线路总损失、配变损失、导线损失、配变铁心损失(铁损)、配变绕组损失(铜损)。可以根据需要选取几个或全部参数作为 ANN 模型的因变量。本文中选用前 3 个参数。

由文献[5]知, ANN 模型神经元节点(包括输出节点)输出量的取值范围为  $[0, 1]$ , 且很难达到 0 和 1。另外, 神经元节点的输入绝对值太大时会导致神经元节点饱和, 因而当用 ANN 模型映射函数关系(用自变量作输入, 因变量作输出)时, 自变量的绝对值不可太大, 因变量的值应在  $[0, 1]$  内。因而, 需对自变量和因变量进行标准化处理。

假定得到的原始自变量为  $x_{ij}$  (第  $i$  个样本第  $j$  个特征参数的值), 则标准化后的自变量,

$$x_{ij} = (x_{ij} - \bar{x}_j) / \sigma_j$$

式中:  $\bar{x}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ij}$ ,  $\sigma_j^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_j)^2$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ 。  $N$  为样本总数,  $n$  为自变量个数。

下面对因变量进行处理。设某群体内样本处理后的因变量值

$$d_i = q(d_i - d_{\min} + \epsilon) / (d_{\max} - d_{\min} + \epsilon)$$

式中:  $d_i$  为该群内样本的原始因变量值;  $d_{\max}$  和  $d_{\min}$  分别为样本中最大和最小因变量值;  $\epsilon$  为略大于 0 的正数(如 0.000 001);  $q$  为略小于 1 的正数(如 0.99)。不难看出, 通过处理的因变量的值都在  $[0, 1]$  内, 且最大数据略小于 1, 最小数据略大于 0。

## 1.3 ANN 模型的选取与优化

BP 模型是神经网络的重要模型之一。由于 BP 模型比较适用于映射非线性关系, 因此本文中选用 BP 模型来映射影响线损的各特征参数与线损之间的关系。

BP模型是一种多层前馈网络,除输入节点层和输出节点层外,还有一个或多个隐含层。对于输入信号,要先向前传播到隐节点,经过传递函数作用后,再把隐节点的输出信息传播到输出节点,最后给出输出结果。节点的传递函数通常选取S型函数: $f(x) = 1/(1 + e^{-x})$ 。这个模型的算法学习过程,由正向传播和反向传播组成。在正向传播过程中,输入信息从输入层经隐含层逐层处理,并转向输出层,每一层神经元的状态只影响下一层神经元的状态。如果在输出层不能得到期望的输出,则转入反向传播,将误差信号沿原来的连接通路返回,通过修改各层神经元的权值,使得误差信号最小。

用GA优化ANN模型参数。

1) 确定GA的染色体结构。由于本文中利用GA构造了一个包含一个隐含层的用于线损计算的BP型神经网络,遗传算法的未知参数就有3项:隐含层中神经元个数、学习速率和动量因子;由此,遗传算法的染色体就只含有3个基因。本文中确定染色体的结构是3个基因的顺序组合,基因的顺序可以是任意的,对计算结果没有影响。

2) 选定群体规模 $N$ 。在每个基因的取值范围内随机产生 $N$ 个初始个体。群体规模的选择不能太大,也不能太小。过大的群体规模会增加计算量,而过小的群体规模又会降低获得最优解的概率。一般对于基因比较少的染色体,群体规模选为30比较合适。

3) 选定性能评价函数。本文中选定评价神经网络优劣的性能评价函数为 $F = 1/E$ ,其中 $E$ 为神经网络输出值与样本实际输出值之差的平方和。

4) 根据上一代群体的适应度值,利用改进的遗传算法的3种遗传算子(选择、交换、变异)对这些染色体进行交叉组合,得到下一代群体。当该染色体群已收敛或已完成了指定遗传代数的搜索时,寻优过程即可结束,否则重复上述2步,直到满足条件为止。

在配线撤掉负荷测试仪,且近几年内线路结构不会发生太大变化的情况下,即可根据电网调度自动化系统10kV母线出口端的实时数据和线路的结构参数计算配电网线路的实时线损。

## 2 实例验证结果

北京前门变电站一条10kV配电线路,共有16台公共配变,5个高压用户(直配用户)。以该条线路为实例,建立实时线损模型。由于时间有限,只建立了该条线路秋季的实时线损模型。1998年8月至10月期间,在该条线路的各台配变低压侧都安装了负荷测试仪。秋季的学习样本至少选取4d的,即秋季中最大负荷日(8月13日)、平常日均值负荷日(10月29日)、周六均值负荷日(9月26日)和周日均值负荷日(8月30日)。每一天取实时线损样本24个,这样整个秋季线损模型的学习样本为 $24 \times 4 = 96$ 个。随意选取秋季任何一天(9月1日)的实时线损样本作为检验样本,对线损模型的性能进行检验。

根据4d的实时线损样本,先用GA优化ANN模型的3个参数(隐含层节点数,学习参数和动量因子),程序运行21h,优化后的参数为10,0.341和0.421。根据这3个参数,利用BP型神经网络对学习样本进行训练,96个样本的实际线损总值与模型输出值的相对误差平方和为0.1792。最后利用检验样本(24个)对训练后的模型进行检验,得到样本的实际线损总值与模型输出值的相对误差均方和0.0142,最大相对误差为5.29%,最小相对误差为0.21%,平均误差为2.42%,具体结果见表1。

表 1 实际线损总值与模型计算值的相对误差

样本号	相对误差	样本号	相对误差	样本号	相对误差	样本号	相对误差
1	- 0.020 3	7	- 0.052 6	13	- 0.020 6	19	0.046 6
2	- 0.020 0	8	- 0.002 1	14	0.008 5	20	0.028 3
3	- 0.007 2	9	0.014 9	15	0.021 3	21	0.037 2
4	- 0.004 2	10	0.012 6	16	0.006 4	22	- 0.052 9
5	- 0.004 9	11	0.018 6	17	0.013 9	23	0.033 2
6	- 0.020 8	12	0.009 8	18	0.004 8	24	- 0.013 5

### 3 结 论

利用 GA 优化的 ANN 模型和 SCADA 系统的实时数据计算配电线路实时线损的方法, 模型简单, 具有较好的鲁棒性和适应性, 平均计算精度高达 2.42%。这种方法特别适合农村配电线路线损的实时计算, 安装负荷测试仪可以获得计算所需样本, 线损模型建立起来以后, 还用于其他线路, 节省设备与资金, 具有实际工程意义。线损实时计算的成功, 使得理论线损与统计线损同期、同步, 具有可比性, 使线损管理更具科学性。

### 参 考 文 献

- 1 朱振清, 房朝阳 配电网线损的实用计算 中国电力, 1997(2): 38~ 40
- 2 章迪勋 配电线路的线损估算 电工技术, 1996(4): 58
- 3 Chen C S, Cho M Y, Chen Y W. Development of simplified loss models for distribution system analysis IEEE Transactions on Power Delivery, 1994, 9(3): 1545~ 1551
- 4 Sun D I H, Abe S, Shoultz R R. Calculation of energy losses in a distribution system. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1980, PAS-99(4): 1347~ 1356
- 5 施鸿宝 神经网络及其应用 西安: 西安交通大学出版社, 1993 19~ 22