

基于神经网络的模糊控制在变电站综合控制中的应用

王志凯, 郭宗仁, 李琰

(福州大学电气系, 福建 福州 350002)

摘要: 针对目前变电站电压/无功综合控制存在的不足, 将基于神经网络的模糊控制应用于传统的系统分区, 充分利用模糊控制与神经网络的各自优势, 进行基于模糊无功边界的综合控制, 有效减少了有载分接头调节次数, 提高了系统的调节性能和电压质量。

关键词: 模糊控制; 神经网络; 变电站

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2002)03-0017-03

1 概述

电压是衡量电能质量的基本指标之一。目前, 许多变电站为了改善电压质量和降低线路损耗, 配置了有载调压变压器(OLTC)和并联补偿电容器组, 国内已有的电压/无功自动控制装置广泛采用九区域分区控制方式, 对电压和无功进行自动调节, 它在一定程度上能够满足运行要求。但是这种综合控制的无功调节边界是固定的, 没有反映无功对电压的影响, 实际上无功的调节边界应是受电压影响并在一定范围内服务于电压调节的模糊边界。因此引进模糊控制, 实现无功边界的模糊化, 可以大大减少有载调压变压器(OLTC)分接头动作次数, 减少电压波动, 提高电压质量。同时将模糊控制与神经网络相结合, 使模糊控制具备学习功能, 使人工神经网络具备处理模糊信息的功能, 进行综合判断和决策, 可大大提高系统的效率和性能。

2 传统九区域分区综合控制策略分析

目前, 我国变电站的电压/无功综合控制方案, 大多是利用电压和无功率双参数构成的九区域分区控制图进行控制, 九区域分区控制图如图1所示。

该控制方案根据监测到的实时电压、无功功率判定当前变电站运行在哪个控制区, 再根据相应的控制策略^[1], 对分接头和电容器组进行控制。

这种控制能够根据电压和无功的性质, 对电压、无功实行综合的定量调节, 但是变电站的综合控制是一个多变量、强耦合的非线性控制问题, 而传统的控制方案中, 无功调节判据是一个与电压无关的平行于电压坐标轴的固定边界, 这显然忽视了无功调

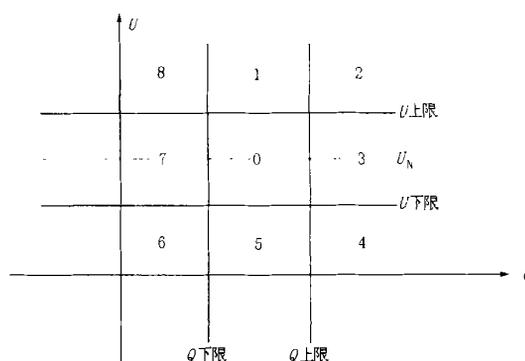


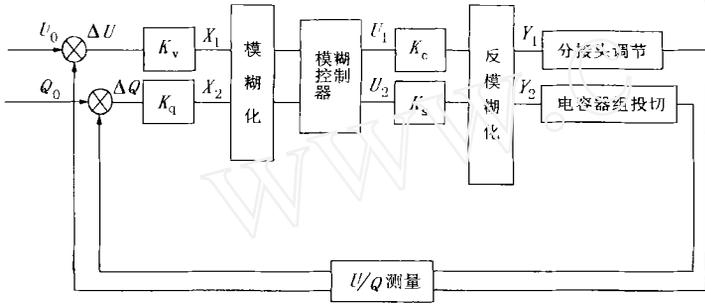
图1 九区域分区控制图

节与电压调节的相关性。根据“保证电压合格, 无功基本平衡, 尽量减少调节次数”的变电站电压和无功综合调节的基本原则, 无功调节边界应当是一个受电压状态影响, 且在一定范围内服务于电压调节的模糊边界。例如, 当系统运行在1区或5区时, 由于无功不越界而电压越界, 因而应调节分接头开关。而实际上各变电站每天的有功和无功负荷的变化有一定的规律性, 在无功负荷曲线上往往出现趋势变化陡峭的情况, 即先出现电压下、上越限, 紧接着出现无功上、下越限的情况, 这样当调节完电压后还要再调节无功, 使运行点回归0区。如果能够预先判定电压是由于无功迅速减少造成的, 则可以在电压和无功不越限, 或即使电压越限也不调节分接头而提前投、切电容, 这样就可以减少分接头调节次数和提高电压的合格率。因此应将电压状态引入无功调节判据, 对存在不确定性的调节边界(如0区和3区、0区和7区等)引入模糊隶属度, 即: 电压高时, 无功不是太缺就不投电容, 电压低时, 可以多投一点电容, 以改善控制性能。

3 基于模糊决策的变电站综合控制

根据以上分析, 可以采用模糊控制理论对变电

站进行综合控制,即根据电压实时运行值和无功偏差大小判断电压是否越限以及无功变化趋势,在不确定边界,如果无功变化剧烈,即使无功不越限也应首先投、切电容,进行调节。然后,再根据电压越限情况进行相应调节,这样,可以减少分接头调节次数,从而减少变压器故障。模糊控制系统结构图如图 2 所示。



U_0 、 Q_0 :整定值; U :变电站低压侧电压值; Q :流入变电站高压侧无功; U 、 Q :偏差输入量的连续值; K_v 、 K_q :输入量从实际论域到模糊论域转换的量化因子; X_1 、 X_2 :偏差输入量模糊值; U_1 、 U_2 :输出量模糊值; K_c 、 K_s :输出量模糊值向精确值转换的量化因子; Y_1 、 Y_2 :作用于分接头和电容器组控制输出量的精确值。

图 2 模糊控制系统结构图

首先根据变电站的实际运行情况,确定输入输出量的模糊词集及模糊论域,再由隶属函数给模糊变量赋值,得到模糊变量赋值表,然后按照专家经验得到模糊控制规则表。

该模糊控制器是一两入两出的控制器,其输出 $Y = X^{\circ} R$, R 为模糊关系 $R = X_1 \times X_2 \times Y_1 \times Y_2$, 其中 \circ 表示合成运算,可采用 \wedge 运算,但是直接运算非常复杂,利用多变量模糊控制器的解耦算法,可转换为两个两入单出的控制器,对于输入 X_1 、 X_2 可得:

$$\begin{aligned} Y_1 &= [(X_1 \circ R_{11}) \wedge (X_2 \circ R_{21})] \\ Y_2 &= [(X_1 \circ R_{12}) \wedge (X_2 \circ R_{22})] \end{aligned} \quad (1)$$

R_{11} 、 R_{12} 、 R_{21} 、 R_{22} 可由模糊控制规则表及模糊变量赋值表按单入单出模糊控制算法求得,如 $R_{11} = X_1 \times Y_1$ 。按照 1 式即可求得输出的模糊子集,再利用重心法即可求得输出量的精确值。

模糊控制法可以将传统的九区域分区图的控制边界变为模糊边界,以改善控制性能,减少分接头与电容器组的投切次数,提高电压质量。

但是模糊控制中模糊规则的提取和隶属函数的优化是困扰模糊信息处理技术的难题,利用专家的经验得到的模糊控制规则和隶属度函数具有很大程度的不确定性,因此将这样的控制策略直接应用于

控制中,往往不能得到理想的控制效果。而利用神经网络的自学习特性来进行模糊信息处理,可以很好地解决模糊规则的自动提取和隶属函数优化问题。

4 基于神经网络的模糊控制

模糊技术和神经网络技术同属于人工智能技术,模糊控制具备处理模糊语言信息的能力,而不具备学习功能;人工神经网络恰恰相反,具备学习功能,但不能处理和描述模糊信息。因此应将二者结合起来,以实现优势互补,取得良好的控制效果。

同时,我们注意到在模糊逻辑上,隶属函数的取值范围为 $[0, 1]$ 。在人工神经网络理论中 Sigmoid 非线性也具有相同的值域。在算法规则上采用不同模糊算子的最大—最小推理类似于人工神经网络输入的加权和算法。在输入的划分上,人工神经网络层上的神经原和模糊系统隶属函数及控制规则的划分也极为相似。因此,可以将二者有机结合。

采用神经网络技术进行模糊信息处理有多种方法,在此我们把人工神经元模型改造成模糊神经元模型,即把神经元突触的权重以隶属函数来表示,模糊神经元的输出从原有的各个突触的输入状态求和运算,变成模糊逻辑的运算。

模糊神经网络的结构图如图 3 所示。

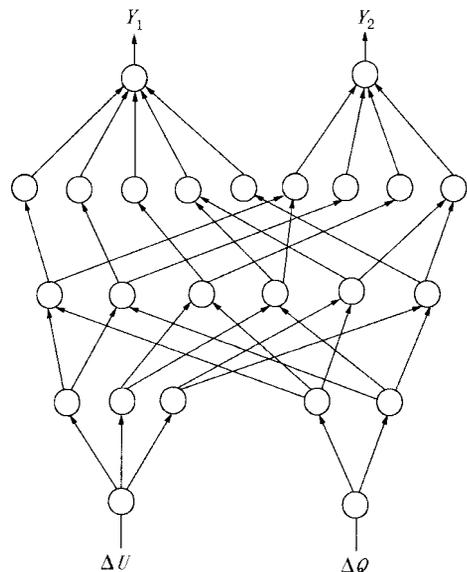


图 3 模糊神经网络结构

U 、 Q 为输入,共有五层神经元,每一层神经元都表示模糊推理中相应的某种含义。

第一层神经元为输入节点,为电压偏差和无功偏差。此层仅把输入值传递给下一层;

第二层表示输入信号的语言变量的辞集。每个神经元代表一种语言值,表达为一个隶属函数。如图 U 定义了三个语言值, Q 定义了两个语言值。因此每个神经元的输出对应相应的隶属函数。隶属函数可根据需要确定,若取正态隶属函数,则第二层的净输入为

$$f = - \frac{(u_i^2 - m_{ij})^2}{2ij}$$

其中 u_i 为第一层输出, m_{ij} 为输入语言变量隶属函数的中心,可令第二层连接权重 $\frac{2}{ij} = m_{ij}$ 。 ij 为隶属宽度。神经元激活值 $= e^f$;

第三层和第四层表示模糊控制的规则,第三层净输入对应对各条规则的匹配度,因而第三层 $f = \min(u_1^3, u_2^3)$, 其中 u_i^3 对应第二层输出即输入对各个语言值的隶属度。令 $= f$, $\frac{3}{ij} = 1$;

第四层实际上是进行规则的“或”运算。因此 $f = \max(u_1^4, u_2^4)$, $= f$, $\frac{4}{ij} = 1$;

第五层为输出层,进行解模糊运算。可根据重心法、最大隶属度等方法确定 f 、及 $\frac{5}{i}$ 。

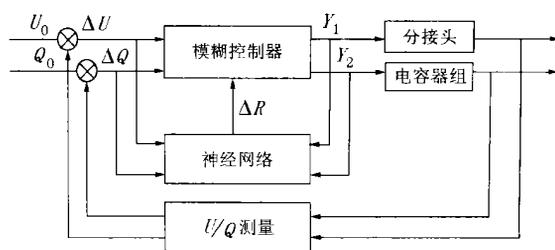
我们采用前向型多层反向传播的BP神经网络,在输出端将输出值与根据变电站运行情况制定的期望值比较,如果误差达不到设定的要求,则反向传播,把误差信号按原路径反向传回,并修改每个隐藏层的各个神经元的权值,反复此过程,直至误差小于或等于设定值。由于模糊神经网络的节点和权值可用隶属度函数和模糊规则来表示,因而可通过离线学习、训练后的模糊神经网络的节点参数和权值得出模糊规则和隶属度函数。

基于神经网络的模糊控制器应用实例图如图4所示。

基于神经网络的模糊控制器的设计步骤如下:

(1) 根据已知知识、经验等初步确定出传统意义上的模糊控制器;

(2) 根据上述模糊控制器的隶属函数与模糊控制规则,确定神经网络的连接方式和连接权值;



U_0 、 Q_0 :整定值; U :变电站低压侧电压值; Q :流入变电站高压侧无功; u 、 q :偏差输入量的连续值; Y_1 、 Y_2 :作用于分接头和电容器控制输出量的精确值; R :对隶属度及模糊规则的修改信息。

图4 基于神经网络的模糊控制器应用实例

(3) 模糊神经网络根据目标样本数据进行训练、学习;

(4) 神经网络通过离线学习,在线修改模糊控制器的隶属函数与模糊控制规则。

5 结束语

本文分析了传统九区域分区控制方法,指出其无视电压与无功耦合的缺点,在传统控制方法上引入基于神经网络的模糊控制,提出了基于无功边界模糊化的变电站综合控制方法。由于将神经网络与模糊控制的优势相结合,使得控制既具备处理模糊信息的功能,又具有自学习功能,解决了单独模糊控制隶属函数难于确定的困难,能更有效地保持电压稳定,减少有载分接开关和电容器组的调节次数,提高电压质量和经济效益。

参考文献:

- [1] 厉吉文,潘贞存,李红梅. 变电站电压无功自动调节判据的研究[J]. 中国电力, 1995.
- [2] 阎世杰. 多变量模糊控制器的研究[J]. 应用数学, 1991.
- [3] 尼尔森. 人工智能[M]. 机械工业出版社, 1999.
- [4] 王伟. 人工神经网络原理[M]. 北京航空航天大学出版社, 1995.

收稿日期: 2001-08-16

作者简介: 王志凯(1976-),男,硕士研究生,主要研究方向是人工智能及其自动化控制。

Application of fuzzy control based on neural network in comprehensive control of substation

WANG Zhi-kai, GUO Zong-ren, LI Yan

(Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

(下转第22页)