

# 一种神经网络变结构电力系统稳定器的设计

刘瑞叶<sup>1</sup>, 王海超<sup>1</sup>, 马志波<sup>2</sup>

(1. 哈尔滨工业大学电气工程系, 黑龙江 哈尔滨 150001; 2. 山东电力调度中心, 山东 济南 250001)

**摘要:** 在变结构控制理论的基础上,设计了一种基于神经网络的电力系统稳定器(NNPSS)。利用BP神经网络对系统的状态进行辨识,通过对网络的训练,使神经网络能对不同的运行状态及扰动产生相对应的附加励磁控制。仿真实验证实了神经网络电力系统稳定器的可行性,所设计的NNPSS有效改善了电力系统的稳定性。

**关键词:** 汽轮发电机组; 电力系统稳定器; 变结构控制; 神经网络

**中图分类号:** TM712 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)08-0033-03

## 1 引言

采用具有良好控制性能的励磁控制器可以极大地提高系统的稳定性。而它能否适应电力系统强非线性及结构多变的特点,是各种控制系统设计的关键。电力工作者经过长期、大量的理论研究及实践探索,在电力系统控制方面已经取得了一定的成果<sup>[1]</sup>。变结构附加励磁控制是其中的成果之一<sup>[2]</sup>,这种方法基于微分几何的控制理论,有效地克服了传统PSS适应性差的弱点,有效提高了控制器的鲁棒性。

神经网络理论以其特有的优越性在电力行业引起了广泛的关注,已取得了大量的研究成果。它具有以下优点:1)自学习能力;2)能以任意精度逼近复杂的输出有界的非线性映射,以构成所描述系统的非线性模型;3)并行处理特性,便于实现快速控制。

本文设计了一种基于神经网络的变结构电力系统稳定器(NNPSS)。该控制器在变结构控制理论的基础上采用BP神经网络,根据控制时刻及前两个时刻的状态变量,由神经网络映射得到附加励磁控制量,有效地解决了变结构控制中状态变量高阶导数的求取问题。大量的计算机仿真计算也证明了本控制器具有较好的鲁棒性,在多种运行条件下都能有效地提高系统的稳定性。

## 2 神经网络变结构电力系统稳定器的设计与训练

### 2.1 BP网络的训练过程

BP网络是目前研究最多的网络形式之一<sup>[3]</sup>。它包括输入层、隐层及输出层,隐层可以为一层或多层。每层上的神经元称为节点或单元。输入单元的活性代表此网络的原始信息,每个隐单元的活性取

决于输入单元的活性及该输入单元与隐单元之间的连接权值,同样,输出单元的行为取决于隐单元的活性及隐单元和输出单元之间的权值。

(1)BP神经网络误差反向传播的基本步骤

a) 向网络提供训练例子,包括输入单元的活性模式和期望的输入单元活性模式;

b) 确定网络的实际输出与期望输出之间允许的误差;

c) 改变网络中所有的连接权值,使网络产生的输出误差更接近于期望的输出,直到满足确定的允许误差;

实现上述训练过程的关键是必须确定如何改变每个权值,其变化量应正比于权值改变时误差的变化率。

(2)具体实现BP算法的计算机流程

a) 初始化,对所有权值赋予随机任意小的数值,并对阈值赋值;

b) 给定训练数据集,并提供输入向量  $x$  和期望输出  $\bar{y}$ ;

c) 计算实际输出  $y, y_j = f(\sum W_{ij}x_i)$ , (1)

其中  $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-(x - \theta)}}$  (2)

d) 调整权值,按误差反向传播方向,从输入节点开始返回到隐层按下列方式修正权值

$$W_{ij}(t+1) = W_{ij}(t) + \eta_j y_i \quad (3)$$

其中,  $\eta_j$  为大于零的增益;  $y_j$  为节点  $j$  的误差。  $y_j$  的计算根据节点  $j$  的形式不同,由下式分别计算

$$y_j = y_j(1 - y_j)(\bar{y} - y) \quad (\text{当 } j \text{ 为输出节点}) \quad (4)$$

$$y_j = y_j(1 - y_j) \sum_k W_{jk} \quad (\text{当 } j \text{ 为隐节点}) \quad (5)$$

e) 返回第二步重新计算,直到满足要求为止。

### 2.2 发电机组的变结构附加励磁控制

发电机组附加励磁控制如图1所示,综合考虑

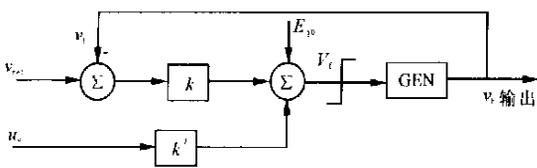


图1 附加励磁控制方式

发电机常规电压调节器及附加励磁控制,以附加励磁控制 \$u\_e\$ 为输入,可得单机无穷大系统状态方程为:

$$\begin{cases} \dot{\delta} = \omega \\ \dot{\omega} = -\frac{D}{T_J} \omega + \frac{\omega}{T_J} (P_{m0} - P_e) \\ \dot{E}_q = -\frac{E_q - E_{q0}}{T_{d0}} - \frac{I_d(x_d - x_d')}{T_{d0}} + \frac{k(v_{ref} - v_t)}{T_{d0}} + \frac{k}{T_{d0}} u_e \end{cases} \quad (6)$$

将公式(6)写成标准的仿射型非线性系统的形式,即

$$\dot{x} = f(x) + b(x) u \quad (7)$$

令 \$z = [\delta, \omega, E\_q]^T\$, 则公式(7)变换成 \$\dot{z} = f(z) + b(z) u^T\$

选择变结构控制的切换函数<sup>[4]</sup>,如下:

$$s = \lambda_1 \delta + \lambda_2 \omega + \lambda_3 E_q \quad (8)$$

$$\dot{s} = \lambda_1 \omega + \lambda_2 \dot{\omega} + \lambda_3 \dot{E}_q \quad (9)$$

公式中的系数 \$\lambda\_1, \lambda\_2\$ 是滑动模态运动方程的极点,也是汽轮发电机转子运动方程所期望的极点,如此设计的切换函数具有完全的物理意义,不受参数及运行点的限制。变结构控制的目的是寻找合适的附加励磁控制规律,使 \$s \to 0\$,从而将系统引导到一个由设计者选择的特定的超面上,保证系统的稳定性。

### 2.3 神经网络电力系统稳定器的设计

鉴于神经网络能以任意精度模拟复杂的输出有界的非线性映射且具有自学习功能,结合变结构控制鲁棒性强的特点,设计了一个神经网络电力系统稳定器来实现汽轮发电机的变结构附加励磁控制。

如图2所示,神经网络变结构控制主体由一个5-15-1的三层BP神经网络构成。由于变结构控制中状态变量包含角速度的高阶导数,工程实现有一定难度。一种做法是直接求得角速度高阶导数的表达式<sup>[4]</sup>,但此方法需采集较多状态量,难以工程实现。神经网络具有学习功能,从理论上讲,一个三层的神经网络能以任意精度逼近任意非线性映射。因此可以以系统的状态量 \$\delta(t), \delta(t-1), \omega(t), \omega(t-1), \omega(t-2)\$ 作为输入样本,相对应时刻经计算所得的变结构控制量 \$u\_e\$ 作为输出样本。当训练

完成后,对应系统的不同状态,只要获得系统的状态量 \$(t), (t-1), (t), (t-1), (t-2)\$,就可以经过神经网络映射得到变结构附加励磁控制输出 \$u\_e\$。

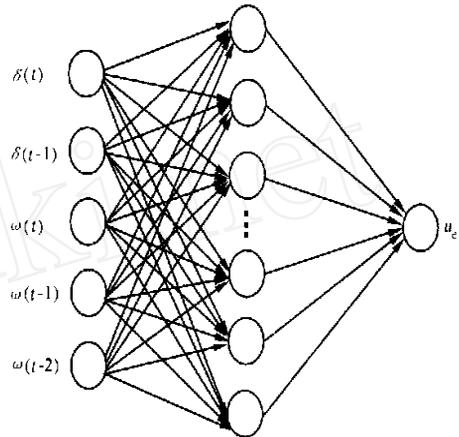


图2 神经网络电力系统稳定器的结构

### 2.4 样本的选择与训练

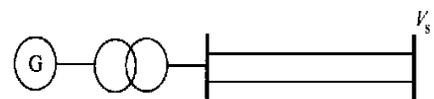
NNPSS在投入运行之前必须经过大量的训练,而且样本的选择也要有较好的适应性。

在构成各种训练样本时,选取了各种运行点在承受以下各种扰动时输入输出的关系,它们是

- (1) 发电机输入机械功率突然增加5%或减少10%;
- (2) 发电机机端电压突然增加5%或减少10%;
- (3) 单机无穷大系统机端短路,在一定时间内成功切除一条线路。

记录下不同扰动,不同运行点时 \$\delta(t), \delta(t-1), \omega(t), \omega(t-1), \omega(t-2)\$ 的数值作为样本输入,计算得到的变结构控制输出值作为样本输出,一一对应,总共获得1200个样本,训练后平均训练精度 \$E\$ 达到0.01。

### 3 仿真试验结果



$$\begin{aligned} X_d' &= 2.543 & X_d'' &= 0.318 & X_T &= 0.1 & H &= 8 \\ D &= 3.0 & T_{d0} &= 10 & X_{11}, X_{12} &= 1.46 \end{aligned}$$

图3 单机无穷大系统接线图

对于图3所示的单机无穷大系统,进行了如下仿真计算:

- (1) 在初始运行点 \$\omega\_0 = 70\$ 时,原动机输出功率发生5%的阶跃扰动,仿真结果如图4所示。
- (2) 在 \$\omega\_0 = 60\$ 时,发电机出口发生短路故障,

0.15s 切除故障单回线运行,0.75s 重合闸成功,仿真结果如图 5 所示。

(3) 在初始运行点  $\omega = 50$  时,原动机输出功率发生 10% 的阶跃扰动,仿真结果如图 6 所示。

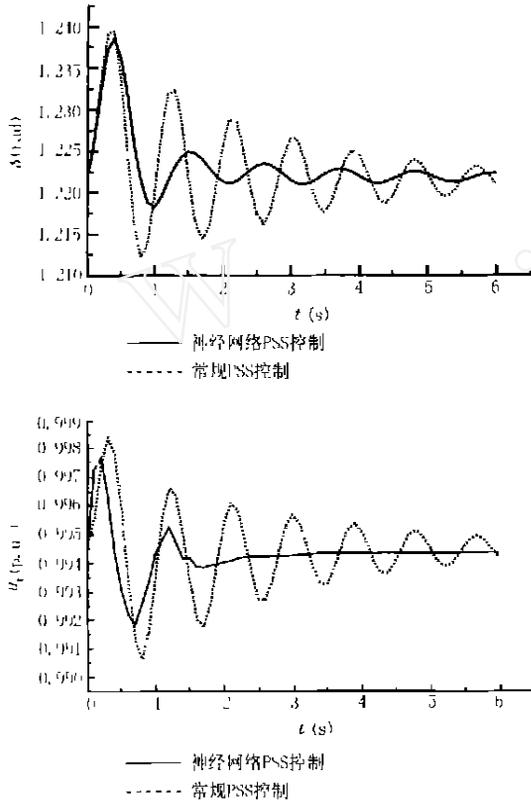


图 4  $\omega = 70$  时,系统的动态响应

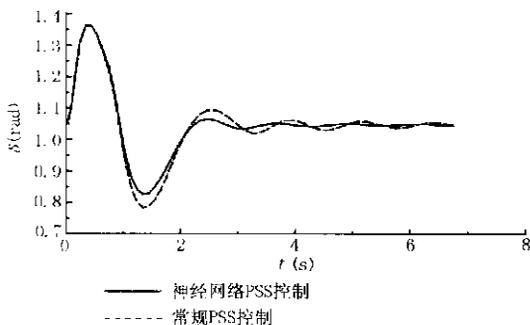


图 5  $\omega = 60$  时,系统的暂态响应

以上各图中给出了常规 PSS 控制及 NNPSS 两种控制方式的角度及机端电压的响应曲线,结果表明采用神经网络 PSS 控制方式具有很好的动态响应。振荡的幅度、次数均减少,进入稳定的时间缩短。

#### 4 结束语

本文设计了一种基于神经网络的电力系统稳定器 (NNPSS), 并进行了离线训练及大量的仿真试验。

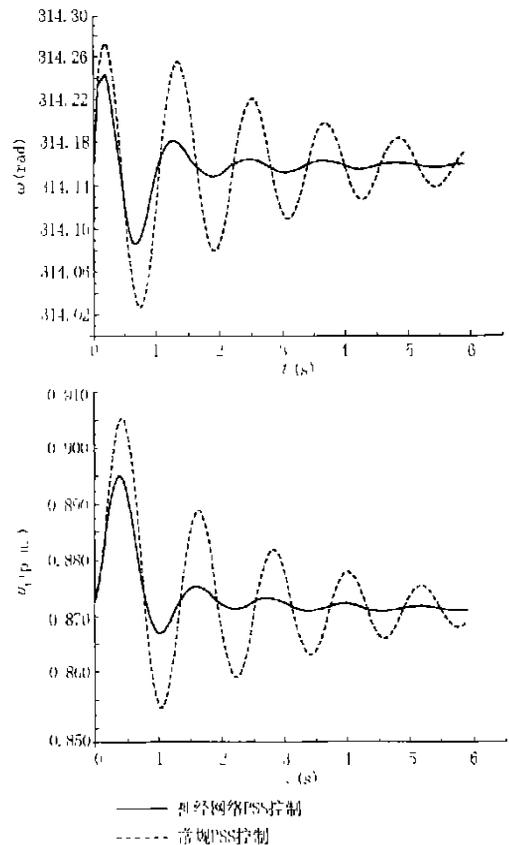


图 6  $\omega = 50$  时,系统的动态响应

结果表明,该附加励磁控制器有效地结合了变结构控制和神经网络的各自优点,能有效适应系统运行条件的大范围变化,提高了系统的稳定性,具有良好的工程实现前景。

#### 参考文献:

- [1] 吴青华, 蒋林. 非线性控制理论在电力系统中应用中综述[J]. 电力系统及其自动化, 2001, (3): 1 - 10.
- [2] 刘瑞叶, 于浩, 陈学允, 等. 汽轮发电机组的鲁棒性控制[J]. 电力系统及其自动化, 2001, (3): 18 - 22.
- [3] 李士勇. 模糊控制 神经网络和智能控制论[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1996: 72 - 108.
- [4] 刘瑞叶. 汽轮发电机组模糊变结构控制的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999.

收稿日期: 2002-01-17

作者简介:

刘瑞叶(1963 - ), 女, 博士, 副教授, 从事电力系统稳定分析与控制的研究。

王海超(1977 - ), 男, 硕士研究生, 从事电力系统稳定分析与控制的研究。

马志波(1963 - ), 男, 高工, 从事电力系统运行调度与控制的研究。

(下转第 49 页)

另外,随着面向对象技术的不断完善,面向对象的多媒体数据库系统也会应运而生。这种模式的数据库管理在电力自动化系统中的应用可以说是一种理想的选择方式。

不管采用哪一种模式,多媒体数据管理系统在功能上应该达到以下几个方面:支持多种媒体数据类型及多个媒体对象的多种合成方式;能够为大量的数据提供高性能的存储管理;支持传统的 DBMS 功能;支持多媒体信息提取的功能;能够为多用户提供丰富而便捷的交互手段的功能。

#### 4 网络通信传输实时性分析

由于系统中引入了图像等多媒体数据,系统的实时性要求会更高。特别是网络传输多媒体数据的实时性将是考虑的重中之重。

间隔内部的现场总线网络通过设置变量来实现各个智能装置之间的通信,不同的变量可以设置成不同的优先级,这样一些开关量就可用优先级高的变量优先传输,从而保证了系统出现故障时网络传输的实时性。另外,间隔内的网络接点数目不是很多,而且变电站的图像信息变化比较缓慢,传输的大多是静态图像,因此,现场网络上的负荷是很低的。

以太网虽然不提供优先级的访问机制,但它的带宽较宽,可以承受的网络负荷很大;而且以太网允许多种数据同时发送到网络上,为使数据冲撞及重发机会最小化,我们可以使用交换式集线器,因为它可以为系统提供数据缓冲及具有确定接收数据的网段智能。目前,快速以太网(100Mbit/s, 1Gbit/s)的

发展及网络冗余技术使以太网更适应于实时应用。

从上述讨论可以看出,本系统中数据传输的实时性是有保证的。

#### 5 结束语

多媒体光纤监控系统的设计丰富了电力综合自动化系统的内涵,并提高了整个系统的智能化程度。能对所采集的数据进行综合分析,对设备运行情况实时动态显示并且做出判断,自动采取有效措施或提供处理指导。另外,现场过程信号、语音信号以及图像信号在同一个网络上进行传输,实现多媒体业务,代表了监控系统未来发展的方向,而且提高了和调度中心的通信能力。

#### 参考文献:

- [1] 夏良正. 数字图像处理[M]. 南京:东南大学出版社, 1999.
- [2] 曾庆禹. 变电站自动化技术的未来发展(二)[J]. 电力系统自动化, 2000, 20(1).
- [3] 葛桂萍. 多媒体报警系统的研究与实现[J]. 工业控制计算机, 2000, 13(6).
- [4] 史晓春,等. 多媒体光纤监控系统中的数据传输的实现[J]. 光通讯研究, 2000, (2).

收稿日期: 2001-11-20

作者简介:

蔡惠红(1977-),男,硕士研究生,研究方向为电力系统控制。

吕林(1963-),男,副教授,博士研究生,研究方向为电力系统控制。

#### Substation multimedia fiber monitor & control system

CAI Hui-hong, LV Lin

(College of Electrical Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** This paper presents a new substation monitor & control system based on fiber telecommunication network, which includes the image supervisory and control subsystem and real-time alarm subsystem. Moreover, an integrated system is developed to implement both image and data transmission and control.

**Keywords:** multimedia fiber monitor & control system; real-time; image conduct; administration and control of multimedia signals

(上接第 35 页)

#### A novel power system stabilizer based on neural network

LIU Rui-ye, WANG Hai-chao, MA Zhi-bo

(Harbin Institute of Technology, Harbin 150004, China)

**Abstract:** This paper presents a novel power system stabilizer based on neural network(NNPSS). Based on the theory of variable structure control, the NNPSS trained can identify the conditions of the generator after disturbances and thus give the optimal control. Simulations shows that the NNPSS can improve the dynamic and the transient stability under various conditions.

**Keywords:** power unit; power system stabilizer; variable structure control; neural network