

基于神经网络的瞬动校验电流控制技术研究

杜太行, 贾兴建, 韩春贤, 张勇

(河北工业大学电气与自动化学院, 天津 300130)

摘要: 在瞬动校验电流控制方法中, 提出用补偿系数提高瞬动电流的精度。在分析瞬动电流影响因素并建立等效模型的基础上, 采用神经网络控制方法进行控制。以 LabVIEW 为语言环境, 通过 Matlab Script 节点调用训练好的神经网络, 计算出不同等级电流所需的补偿系数, 最终由电流产生机构产生瞬动调试电流。为了提高系统的适应性, 提出通过变更训练数据样本, 实现神经网络的在线调整, 进一步提高了瞬动调试电流的控制精度。

关键词: LabVIEW; 神经网络; 断路器检测; Matlab; 在线调整

Research on the control technology of instantaneous calibration current based on neural network

DU Tai-hang, JIA Xing-jian, HAN Chun-xian, ZHANG Yong

(Electric and Automation School, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

Abstract: This paper improves the accuracy of current by referring compensation coefficient in the way of instantaneous calibration current control. The system is controlled by neural network after analyzing the influencing factors of instantaneous calibration current and establishing equivalent model. In LabVIEW, calling neural network which has been trained by Matlab Script node to compute the compensation coefficient. This method can compute the compensation coefficient of different current. Finally, the current producing institution creates instantaneous current. In order to enhance system's adaptability, the neural network online adjustment is achieved by changing the training samples to improve the accuracy of instantaneous current furtherly.

Key words: LabVIEW; neural network; circuit breaker check; Matlab; online adjustment

中图分类号: TM751 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)10-0044-04

0 引言

根据机械行业标准《塑壳断路器可靠性试验方法》规定, 当试验电流达到短路电流整定值的80%, 即8倍额定电流 ($8I_N$) 时, 断路器在规定时间0.2 s 不脱扣; 试验电流达到短路电流整定值的120%, 即

12倍的额定电流 ($12I_N$) 时, 断路器在规定时间0.2 s 内脱扣。断路器瞬动特性的整定就是按照这一标准进行的。参考文献[1]中提出一种瞬动校验电流的控制方法, 其原理图见图1所示。

工作原理是: 首先通过电动调压方式产生额定

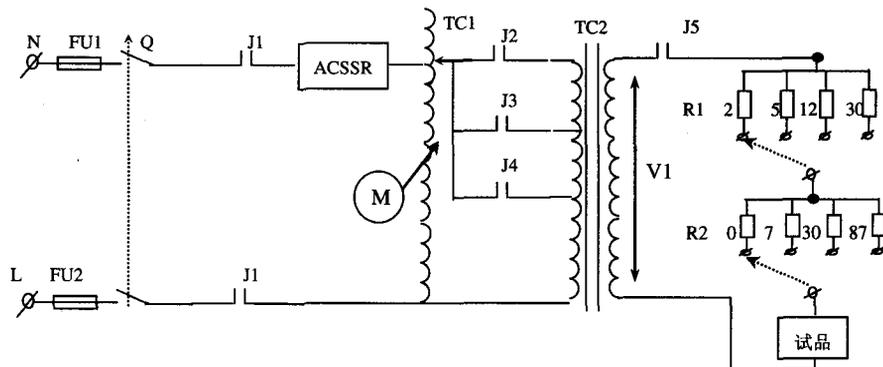


图1 瞬动调试设备的主电路

Fig.1 Main circuit of instantaneous debug equipment

电流并检测对应的空载电压 V_1 , 从而推断 $8I_N$ 、 $12I_N$ 的空载电压为 $8V_1$ 、 $12V_1$ 。采用大电流变压器原边

切换和电动调压相结合保证瞬动调试电流对应的空载电压^[1]。为了克服电源、电动调压器 TC1 和大电流变压器 TC2 内阻压降所产生的电流误差, 系统中增设了补偿系数 K_8 和 K_{12} , 即产生 $8I_N$ 、 $12I_N$ 的电压为 $8K_8 V_1$ 、 $12K_{12} V_1$ 。为了消除电流的非周期分量, 系统中采用了检测功率因数角和选相合闸技术^[2]。

由于电源、电动调压器和大电流变压器容量等因素, 各个等级的瞬动电流要求的补偿系数 K_8 和 K_{12} 是不同的, 因此系统产生的瞬动电流误差在 4% 左右, 没有达到最佳的要求。针对这个问题, 本文在分析瞬动电流影响因素并建立等效模型的基础上, 采用神经网络控制方法进行控制。为了提高系统的适应性, 提出变更训练数据样本, 实现了神经网络的在线调整, 进一步提高了控制精度。本文仅以 8 倍瞬动调试电流为例阐述上述方法的实现过程。

1 瞬动调试主电路的等效模型

为了便于仿真研究, 首先要建立对象的仿真等效模型。根据图 1 瞬动调试设备主电路, 可以用图 2 的电路来等效。

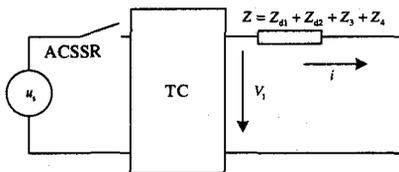


图 2 瞬动调试系统的等效电路

Fig.2 Equivalent circuit of instantaneous debug system

图 2 中 u_s 为电网电压; TC 为电动调压器和大电流变压器等效合成的变压器, 设电动调压器和大电流变压器的变比分别为 k_1 和 k_2 , 则它的变比为 $k_1 k_2$ 。 $V_1 = k_1 k_2 U_s$ 为 TC 的副边电压。TC 副边的阻抗 $Z = Z_{d1} + Z_{d2} + Z_3 + Z_4$ 由四部分组成。

Z_{d1} 为电动调压器原边的等效阻抗, 它和电动调压器原边阻抗 Z_1 的关系见公式 1。

$$Z_{d1} = k_1^2 k_2^2 Z_1 \quad (1)$$

Z_{d2} 为大电流变压器原边的等效阻抗, 它和大电流变压器原边阻抗 Z_2 的关系见公式 2。

$$Z_{d2} = k_2^2 Z_2 \quad (2)$$

Z_3 、 Z_4 分别为电流变压器的副边和试品的阻抗。根据图 2, 并考虑电压相角 j_{us} 和 $Z_1 \sim Z_4$ 的阻抗角 $j_{z1} \sim j_{z4}$, 试验回路电流 i 等于

$$i = \frac{k_1 k_2 U_s \angle j_{us}}{k_1^2 k_2^2 Z_1 \angle j_{z1} + k_2^2 Z_2 \angle j_{z2} + Z_3 \angle j_{z3} + Z_4 \angle j_{z4}} = I \angle j_i \quad (3)$$

变比 k_2 已经设计为固定的参数, 在产生额定电流的情况下 $k_2 = 0.078$; 产生 8 倍额定电流的情况下 $k_2 = 0.0097$; 产生 12 倍额定电流的情况下 $k_2 = 0.0065$ 。

变比 k_1 的计算要根据产生电流对应的空载电压 V_1 的数值计算, 见公式 4。

$$k_1 = \frac{V_1}{k_2 U_s} \quad (4)$$

采用 LABVIEW 实现上述等效仿真模型的程序框图见图 3 所示。

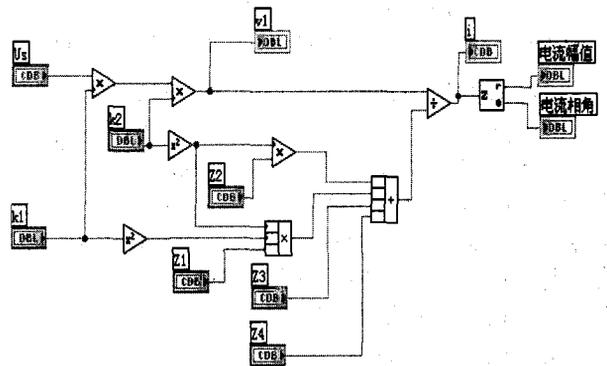


图 3 仿真模型的程序框图

Fig.3 Process diagram of simulation model

2 神经网络控制方法

参考图 1, 产生 8 倍瞬动调试电流的步骤为:

- (1) J_1 、 J_2 、 J_5 闭合和 ACSSR 接通, 通过调整电动调压器产生额定电流, 检测功率因数;
- (2) J_5 分断, 检测额定电流对应的空载电压 V_1 ;
- (3) J_2 分断; J_3 闭合。通过调整电动调压器产生 $8K_8 V_1$ 空载电压, 其中 K_8 是在产生大电流时, 为了克服各种因素压降而设定的电压补偿系数;
- (4) ACSSR 分断、 J_5 闭合, 在电压相角等于功率因数角时刻, 接通 ACSSR 实现选相合闸;
- (5) 200 ms 后同时分断 J_1 和 ACSSR。

2.1 控制系统总体方案

通过上述过程可以看到, 要保证瞬动调试电流的精度, 补偿系数 K_8 是一个关键的因素。其中, 瞬动调试的期望电流、功率因数角以及额定电流对应的空载电压 V_1 是影响补偿系数的关键参数。这些参数相互联系、相互影响又相互制约, 是一个多数据融合系统, 而神经网络最适合解决这类问题, BP 网

络是目前应用最广泛的神经网络模型，它具有强大的非线性映射能力和容错功能。它的学习规则是通过反向传播来调整网络权值和阈值使网络误差平方和最小。对于补偿系数采用如下控制结构，见图4。

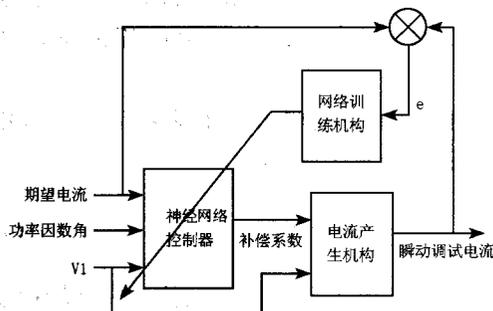


图4 补偿系数控制结构图

Fig.4 Control structure diagram of the compensation coefficient

该控制系统由神经网络控制器、网络训练机构、电流产生机构三个环节组成。神经网络控制器根据要求的瞬动调试的期望电流、回路的功率因数角、额定电流对应的空载电压 V_1 ，计算出电压补偿系数。网络训练机构根据实际电流和期望电流的误差，调整训练数据样本，在线训练网络控制器。电流产生机构产生瞬动调试电流的步骤是(3)~(5)。

2.2 神经网络控制器

神经网络控制器采用三层的BP神经网络结构，选择期望电流、功率因数角以及额定电流对应的空载电压 V_1 为输入。电压补偿系数作为目标输出。中间层采用七个结点。

对神经网络控制器训练分成两个阶段：离线训练和在线调整。神经网络控制器采用Matlab建立^[3-5]，具体方法为：利用newff函数创建一个BP网络：

```
net=newff(minmax(P),[7,1],{'tansig','purelin'},'trainlm');
```

其中，函数minmax取矩阵 P 的最大最小值，BP网络的输入和输出层的神经元数目是由输入输出变量个数决定的，所以网络输入、输出层神经元个数分别为3、1。中间层的神经元个数直接影响着网络的性能，根据Kolmogorov定理^[6]，中间层神经元个数取7，按照BP网络的一般设计原则，中间层神经元的传递函数为S型正切函数tansig。而输出层选取线性传递函数purelin。BP网络的训练函数采用trainlm，因为该函数收敛速度快，网络的训练误差也比较小。权值和阈值的BP学习算法以及网络的性能函数都采用默认值，分别为learnsgdm和mse。

神经网络控制器的离线训练方法是： P 是建立网络的输入样本， K_g 是建立网络的目标向量数据。

P 和 K_g 可采用实际测量获得。采用如下方法训练：

```
net=newff(minmax(P),[7,1],{'tansig','purelin'},'trainlm');
net.trainParam.epochs =500;
net.trainParam.goal=0.000 01;
net=train(net,P,t);
```

首先列出输入样本以及目标向量，共选取了72组数据，然后创建BP网络、设定训练次数以及训练误差，最后用函数train对网络进行训练，运行程序可以看到系统在很短的时间就可以使网络的目标误差达到要求。

在神经网络训练结束后，实质上是确定了期望电流、功率因数角以及额定电流对应的空载电压和输出参数——修正系数的一个函数，这个函数是一个Matlab环境下的神经网络结构体，Matlab环境下可用sim函数来取出这个函数的输出。LabVIEW提供了Matlab Script节点，可以很方便地通过它在LabVIEW应用程序中使用Matlab，包括执行Matlab命令、使用功能丰富的各种工具箱，如神经网络工具箱^[7-10]。神经网络控制器训练完成后，可以采用图5的方法计算电压补偿系数。

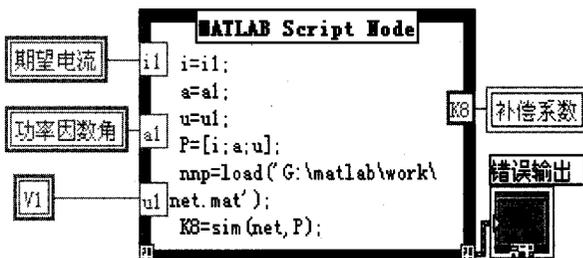


图5 补偿系数计算方法

Fig.5 Calculation method of compensation coefficient

伴随设备老化等问题，一些参数要发生变化，如果训练网络中总是采用一成不变的训练样本及目标向量，长时间运行会产生较大误差。本文采用在线调整方法不断改变输入样本，目标向量，使它们不断接近设备的真实值。替换训练样本需遵循以下原则：

- (1) 不断扩充训练样本，使样本中含有不同等级的期望电流。
- (2) 为避免输入向量 P 变成单一的数据样本，保证期望电流是不同等级，新输入向量对原输入向量中与其最接近的一组进行替换。
- (3) 将与训练样本相差太多的故障数据进行剔除，即剔除奇异样本。

在线训练机构的核心是根据实际电流和期望电流的误差调整训练数据样本。依据上述原则通过程序可以实现调整, 用实际采集的输入向量不断替换 P 中与之最接近的一列输入向量, 对应这组输入向量的输出向量用期望电流乘以上次计算的补偿系数再除以实际的瞬动电流去替换。每变更一次训练样本, 网络重新训练一次, 计算得出电压补偿系数, 再由电流产生机构产生瞬动调试电流。比较系统实际输出的瞬动电流与期望电流之间的偏差, 再由偏差产生直接控制作用去消除偏差, 整个系统形成一个闭环。同开环控制系统相比, 闭环控制具有一系列优点。在反馈控制系统中, 不管出于什么原因(外部扰动或系统内部参数变化), 只要被控制量偏离期望值, 就会产生相应的控制作用去消除偏差。因此, 它具有抑制干扰的能力, 对元件特性变化不敏感, 并能改善系统的响应特性。

3 仿真结果

通过仿真试验对基于神经网络的瞬动校验电流控制方法进行可行性分析。仿真输入数据的期望电流选取不同等级, 试品阻抗每隔 $0.0005\ \Omega$ 取值。经过神经网络计算后产生电压补偿系数, 再经电流产生机构产生瞬动调试电流。表 1 列出了在固定补偿系数、固定训练样本以及在线调整三种情况下的仿真结果。以期望电流等于 $130\ A$ 为例, 当补偿系

表 1 各种仿真结果的比较

Tab.1 Comparison of various simulation results

期望 电流 /A	试品 阻抗 / Ω	固定补偿 系数	固定训练 样本	在线 调整
800	0.0035	787.172	800.969	800.969
920	0.004	914.006	920.926	920.926
1040	0.0045	1025.83	1035.49	1040.32
1160	0.005	1151.31	1160.96	1160.96
1280	0.0035	1262.72	1273.67	1280.58
1400	0.004	1379.7	1400.34	1400.34
1640	0.0045	1626.04	1632.94	1639.84
1800	0.005	1786.35	1795.94	1800.74

数固定为 1 时, 瞬动电流与期望电流误差值为 12.828; 经过固定样本的神经网络训练后该误差值为 4.51; 神经网络在线调整过程中, 网络训练机构可以根据实际电流和期望电流的误差, 在线调整训练数据样本, 重新计算补偿系数, 最终产生瞬动调试电流, 此时该误差值仅为 0.32。大量仿真试验表明: 经过神经网络训练后同等级瞬动电流与期望电

流的误差值明显小于补偿系数固定情况下的误差值, 而神经网络在线调整后该误差最小。

4 结论

本文提出了基于神经网络的瞬动校验电流控制模型, 经仿真试验具有较好的仿真效果, 该方法充分利用了神经网络的非线性特性、自适应能力和学习能力, 通过训练学习, 可以逼近断路器检测设备的输入输出特性, 网络训练机构根据实际电流和期望电流的误差, 调整训练样本, 在线训练网络控制器, 计算出的电压补偿系数再经电流产生机构产生试验所需的瞬动调试电流。仿真结果表明: 神经网络在线调整模型能够产生较精确的 8 倍瞬动调试电流, 可以对断路器瞬动特性进行准确的检测。

参考文献

- [1] 杜太行, 弭艳芝. 断路器瞬动特性检测技术的研究[J]. 电工技术杂志, 2003, (8): 36-39.
DU Tai-hang, NI Yan-zhi. Study on Technique of Circuit Breaker's Behaviors of Instantaneous Release[J]. Electrotechnical Journal, 2003, (8): 36-39.
- [2] 杜太行, 陈培颖. 基于 FFT 算法的交流电器选相分合闸技术[J]. 电工技术学报, 2003, 18(6): 80-83.
DU Tai-hang, CHEN Pei-ying. Technology of Phase Selection of AC Apparatus Based on FFT[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2003, 18(6): 80-83.
- [3] Horng Jui-Hong. Hybrid MATLAB and LabVIEW with Nneural Network to Implement a SCADA System of AC Servo Motor[J]. Advances in Engineering Software, 2008, 39: 149-155.
- [4] Poshala G, Ganesan P. An Analysis of Formability of Aluminium Preforms Using Neural Network[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2008, 205: 272-282.
- [5] Neaupane K M, Achet S H. Use of Backpropagation Neural nNetwork for Landslide Monitoring: a Case Study in the Higher Himalaya[J]. Engineering Geology, 2004, 74: 213-226.
- [6] 刘耦耕. 多层前馈人工神经网络结构研究[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2004, 27(1): 26-30.
LIU Ou-geng. Research on a Structure of Multi-Layer Forward Artificial Neural Network[J]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University, 2004, 27(1): 26-30.
- [7] Panda S S, Singh A K, Chakraborty D, et al. Drill Wear Monitoring Using Back Propagation Neural Network[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2006, 172: 283-290.

(下转第 58 页 continued on page 58)

电力系统稳定器设计[J]. 电网技术, 2006, 30(3): 32-35.
 ZHAO Hui, LIU Lu-yuan, ZHANG Geng-xin. Optimal Design of Power System Stabilizer Using Particle Swarm Optimization[J]. Power System Technology, 2006, 30(3): 32-35(in Chinese).

[6] Kennedy J, Eberhart R C. Particle Swarm Optimization[A]. In: Proc. of the 1995 IEEE International Conference on Neural Networks[C].1995: 1942-1948.

[7] Liang J J, Qin A K, Suganthan P N, et al. Comprehensive Learning Particle Swarm Optimizer for Global Optimization of Multimodal Functions[J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2006, 10(3): 67-82.

[8] 芦晶晶,郭剑,田芳,等. 基于 Prony 方法的电力系统振荡模式分析及 PSS 参数设计[J]. 电网技术, 2004, 28(8): 32-35.
 LU Jing-jing, GUO Jian, TIAN Fang, et al. Power System Oscillation Mode Analysis and Parameter Determination of PSS Based on Prony Method[J]. Power System Technology, 2004, 28(8): 32-35.

[9] Prony 分析在电力系统低频振荡研究中的应用(硕士学位论文)[D].北京: 华北电力大学,2001.
 XU Dong-jie. The Application of Prony Analysis for Power System Low Frequency Oscillation Research, Thesis[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2001.

[10] 方思力,朱方. 电力系统稳定器的原理及应用[M].北京: 中国电力出版社,1996.

[11] Bristow D A, Tharayil M, Alleyne A G. A Survey of Iterative Learning Control: A learning-based Method for High-performance Tracking Control[J]. IEEE Trans Control Systems, 2006, 26(3): 96-114.

[12] 薛定宇, 陈阳泉. 控制数学问题的 Matlab 求解[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
 XUE Ding-yu, CHEN Yang-quan. Matlab Solutions to Mathematical Problems in Control[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2007.

[13] Kundur P. Power System Stability and Control[M]. New York: McGraw-Hill, 1994.

[14] 王锡凡, 方万良, 杜正春. 现代电力系统分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
 WANG Xi-fan, FANG Wan-liang, DU Zheng-chun. Modern Power System Analysis[M]. Beijing: Science Press, 2003.

[15] 徐光虎, 苏寅生, 孙衢, 等. 基于特征值分析法的 PSS 最佳安装地点的确定[J]. 继电器, 2004, 32(8): 1-4.
 XU Guang-hu, SU Yin-sheng, SUN Qu, et al. Identification of PSS Optimum Location Based on Eigenvalue Analysis Method[J]. Relay, 2004, 32(8): 1-4.

[16] Shi Y, Eberhart R. Empirical Study of Particle Swarm Optimization[A]. In: Proc. of the 1999 Congress on Evolutionary Computation[C]. 1999.1945-1950.

收稿日期: 2008-06-27; 修回日期: 2008-07-03

作者简介:

吴峰(1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定控制, 进化算法等; E-mail:wufeng.winnie@hotmail.com

陈维荣(1965-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为智能信息处理、智能监测技术等;

李奇(1984-), 男, 博士研究生, 研究方向为群体智能算法、电力系统稳定控制等。

(上接第 47 页 continued from page 47)

[8] 张志平, 刘正平. 在 LabVIEW 中调用 MATLAB 的一种方法[J]. 计算机与现代化, 2004, (5): 94-95.
 ZHANG Zhi-ping, LIU Zheng-ping. A Method of Calling MATLAB in LabVIEW[J]. Computer and Modernization, 2004, (5): 94-95.

[9] 周丽霞. LabVIEW 在 BP 神经网络设备故障诊断系统中的应用[J]. 机床与液压, 2007, 35(4): 215-218.
 ZHOU Li-xia. Application of LabVIEW in BP Nerve Network Fault Diagnosis of Equipments[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2007, 35(4): 215-218.

[10] 田瑞利, 张忠夫. 基于神经网络的虚拟电流预报仪的设计[J]. 微计算机信息, 2006, 22(9-1): 178-180.
 TIAN Rui-li, ZHANG Zhong-fu. The Design of Virtual Current Prediction Based on Neural Network[J]. 2006, 22(9-1): 178-180.

收稿日期: 2008-07-02; 修回日期: 2008-07-19

作者简介:

杜太行(1963-), 男, 教授, 博士生导师, 长期从事电器检测与试验、计算机应用、工业自动化方面的研究;

贾兴建(1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向为计算机智能理论与控制。E-mail: jiaxingjian@gmail.com