

文章编号: 1674-540X(2009)01-036-04

基于分布式神经网络的 同步合闸时间预测方法研究

赵 佳¹, 吕家锋²

(1. 北京航空航天大学, 北京 100191

2. 普茨迈斯特机械(上海)有限公司, 上海 201613)

摘 要: 阐述同步开关技术在抑制投入电容器组时产生的过电压和过电流的有效性, 深入分析了同步控制过程及其控制算法。鉴于精确预测合闸时间在同步控制中的重要作用, 根据不同环境温度下, 断路器合闸时间与控制电压、环境湿度等因素之间的复杂关系以及断路器的初始动作电压特点, 提出了分布式径向基神经网络的合闸时间预测模型。该模型分2层结构, 第1层根据不同的环境温度将输入变量映射到分布式径向基神经网络的某个网络模型, 第2层运用映射出的网络子模型预测断路器合闸时间。实验测试结果表明, 该方法预测速度快, 精度高, 完全能够满足同步控制对合闸时间预测精度的要求。

关键词: 同步控制; 分布式结构; 径向基神经网络

中图分类号: TM 56; TP 18

文献标识码: A

Synchronous Closing Time Precalculation Based on Distributed Neural Network

Zhao Jia¹, Lü Jiafeng²

(1. Beihang University, Beijing 100191, China;

2. Putzmeister Machinery (Shanghai) Co., Ltd., Shanghai 201613, China)

Abstract: Synchronously controlled switching to suppress transit overvoltage and overcurrent resulting from when the circuit breakers on medium voltage systems are closed is described. This paper deeply analyses the new controlled switching algorithm to minimize the total delay time and the importance of precisely precalculating closing time. Distributed radial basis function neural network is proposed. The model is divided into two layers. The first layer maps the input vectors to their relational neural network. The second step precalculates the closing time. Experimental results show the precalculated closing time can completely satisfied appliance with high precision.

Key words: synchronously controlled switching; distributed structure; radial basis function network

电容器是一种重要的无功电源。在我国,用投切电容器组来改善电网功率因数和电压质量的方法在中压系统中应用广泛。随机地投切电容器组,将会引起很高的过电压和过电流,由于电容上的电压不能突变,线路电感与电容器间产生的电磁振荡会在系统电压上叠加一个振荡电压。研究表明,过电压值在最坏的情况下可以达到 2 倍的系统正常电压峰值 U_{pk} ,由于系统损耗及负载阻尼的存在,一般情况下,过电压可达 $(1.2 \sim 1.8)U_{pk}$ ^[1,2]。过电压和涌流会引起一系列的问题,缩短电网设备使用寿命,损坏变电站的控制装置,降低电网供电质量^[3]。然而,用户对电网质量的要求却随着大量电力电子装置的应用不断提高。这种矛盾,在近几年显得尤为严重。同步开关技术的出现,为解决这个矛盾提供了一个切实可行的方法。该技术能够有效的抑制暂态过电压和过电流,减少绝缘损坏,提高电力系统供电质量,降低电力装置的误动作。但是,要使断路器真正做到同步合闸,则必须要有精确预测合闸时间的方法,否则将很难达到预期的效果。

关于合闸时间的预测问题,已有文献对其进行研究^[4,5]。实验表明,由于合闸时间数据量大且分散,采用文献[4-5]中提出的单一的 BP 神经网络进行预测,网络训练速度慢,精度低;当数据不精确时,预测时间误差较大,难以满足实际的需求。

为加快训练速度,提高时间预测精度,在充分研究同步控制作用及同步控制算法的基础上,根据精确预测合闸时间的重要性及不同环境温度下,合闸时间、控制电压等因素之间的相关关系,提出了基于分布式结构的径向基神经网络合闸时间预测方法。该方法采取不同温度段,不同预测模型的预测方法,使训练速度,预测精度都有大幅度的提高。

1 同步控制机理及算法

随机的投入电容器组,将使系统产生很高的过电压和涌流。研究 33 kV 断路器的同步关合情况。图 1 为系统在电压相位为 90° 时投入电容器组所产生的涌流情况。由图可看出,产生的涌流峰值达到系统正常电流峰值的 3.4 倍以上。如果采用同步关合,则涌流将会大大降低,如图 2 所示,为系统电压相位过零点,即同步关合时的涌流情况。其涌流只有系统电流的 1.7 倍左右。

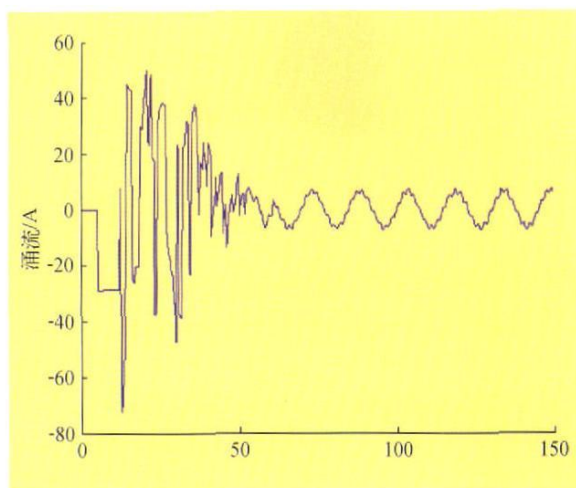


图 1 90° 关合涌流情况

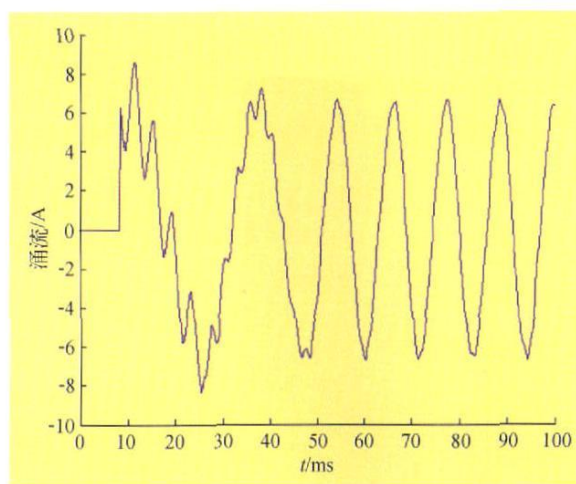


图 2 同步关合涌流情况

由此可见,只要使断路器在系统电压过零点时合闸,就能有效的抑制暂态过电压和涌流。

断路器的同步控制算法是断路器能否同步关合的核心问题。由于断路器在关合时,会因为发生预击穿而使回路导通,必须考虑预击穿对同步控制合闸时间的影响(文献[1,2,4-6]均未考虑)。检测断路器控制系统的控制电压,所处的环境温度,预测在所处环境条件下的合闸时间 $T_{closing}$,考虑触头的预击穿时间 T_{arc} ,则触头动作时间为 T_{making} ,当同步控制器检测到电压过零点的时刻 T_{zero} 时,发出合闸命令,经时间 T_w ,同步控制器在时刻 T_{com} 接到合闸指令,预计最佳合闸到位时刻 $T_{closing}$ 。经过 T_{delay} 延时后,控制器在时刻 T_{cc} 输出关合控制信号。在时刻 T_u 动作结束,具体控制流程如图 3。

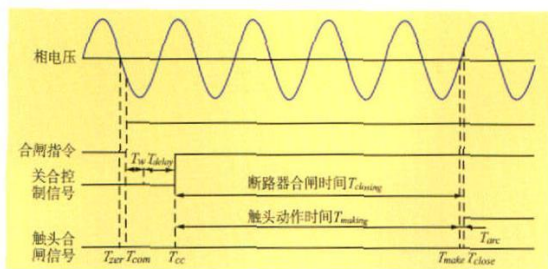


图3 控制流程

在计算控制器内部的时间延时,以系统电压过零点为基准,计算时,测出最近一次的电压过零点,合闸命令在之后的一小段随意的时间内发出,则内部延时时间采用下式计算:

$$T_{\text{delay}} = T_{\text{cc}} - T_{\text{com}} - T_w = (T_{\text{cc}} - T_{\text{zero}}) + T_{\text{zero}} - T_{\text{com}} - T_w \quad (1)$$

式中, T_w 为内部命令处理时间。

为了在目标相位合闸,关合控制信号输出时间 T_{cc} 和零点时间 T_{zero} 关系满足式(2),将式(2)代入式(1),可得延时时间 T_{delay} 的总计算式(3):

$$T_{\text{cc}} - T_{\text{zero}} = \frac{n}{2f} - T_{\text{closing}} \quad (2)$$

$$T_{\text{delay}} = \frac{n}{2f} - T_{\text{closing}} + T_{\text{zero}} - T_{\text{com}} - T_w \quad (3)$$

式中, f 为系统频率; n 为使 $T_{\text{delay}} \geq 0$ 的最小整数。选择控制命令发出时间时,也可采用先发命令后检测电压过零点的方法,但研究表明,此时延迟时间就会加长。

2 神经网络预测合闸时间的机理

由式(1)~(3)可知,整个控制算法的核心部分是合闸时间的预测。合闸时间的预测精度,对同步关合的实现至关重要,直接影响同步关合的准确性。如果同步关合时间预测的不准确或者精度不够,将直接影响延迟时间的精度,从而导致系统无法达到预期的目的,甚至可能导致系统在最差情况时关合。为此必须建立合闸时间的精确预测模型。

断路器在合闸时,受环境温度、湿度等复杂因素的影响,合闸时间的分散性比较大,控制电压与合闸时间的关系比较复杂。根据实验数据,得到如图4所示的合闸时间曲线,图中曲线的温度从下往上分别为 -14°C 、 -7°C 、 5°C 、 15°C 、 24°C 、 36°C 。

除此之外,在不同的温度之下,断路器初始动作电压也各不相同。在此情况下,如果采用单一的

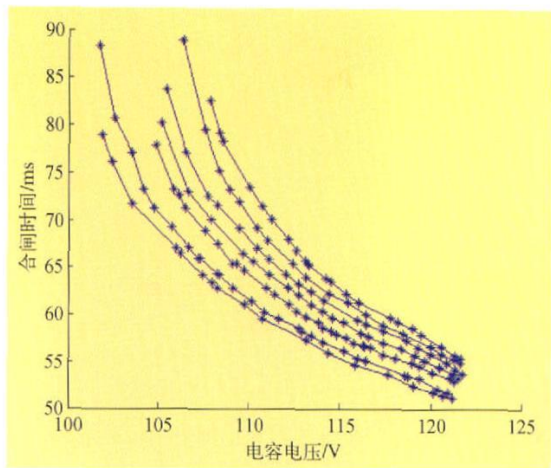


图4 控制电压与合闸时间曲线的关系

BP神经网络预测合闸时间,将很难达到期望的要求。采用分布式的径向基神经网络预测模型却能有效的解决这个问题。

由图4可知,虽然在不同温度下,控制电压与合闸时间的关系比较复杂,但在同一温度条件下,控制电压与合闸时间却存在一定的曲线关系,且各温度下,合闸曲线之间近似平行,在某一小温度段内,合闸时间分散性很小。如能够将温度划分为有限个小温度段,每个温度段对应1个神经网络时间预测模型,那么时间的分散性将会大大减小,训练的数据也不会特别多,必然能够满足精度的要求。同时,如果采用的神经网络是径向基网络,那么就可以同时满足训练快,精度高的要求。基于这种思想,本文提出了分布式径向基神经网络合闸时间预测方法。具体的实现方法如下。

考虑环境温度为 $-14 \sim 36^{\circ}\text{C}$ 的情况。首先,根据在不同环境温度下,合闸时间和控制电压之间的相关关系,利用模糊推理中的不均匀量化方法,将环境温度的映射到论域 $(-20, -19, \dots, 19, 20)$, 每1个小的温度区域由1个量化值表示,小于 -14°C 由量化值 -20 表示,大于 36°C 用量化值 20 表示,中间的温度段根据相关关系,分配到中间的39个量化值中。然后,在不同的量化等级下,分别建立量化值、控制电压与合闸时间的径向基神经网络预测子模型,将各子模型相连接,形成分布的时间预测总模型。预测时,将控制电压,环境温度同时输入,经过主模型量化处理之后,映射到合适的神经网络子预测模型进行时间预测,预测完成时,经一些小的处理后输出预测结果。具体流程见图5。

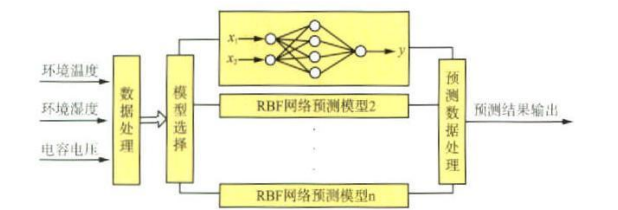


图 5 合闸预测流程

由于合闸时间在同步关合中的起着至关重要的作用,因此,基于神经网络的合闸时间预测方法,要快速、有效、精度高的算法及其相应的网络结构。径向基神经网络恰恰能够满足这个要求。为了提高预测精度,减少预测时间误差,缩短网络训练时间,建立输入矢量为环境温度量化值和控制电压的三层径向基神经网络的合闸时间预测模型。采用高斯函数作为基函数,其表达式为

$$a_j(x) = f_j\left(\frac{\|x - c_j\|}{\sigma_j}\right) = \exp\left(-\frac{\|x - c_j\|^2}{2\sigma_j^2}\right)$$

$j = 1, 2, \dots, n$ (4)

式中, $a_j(x)$ 为第 1 层第 j 个节点的输出; x 为二维的输入矢量; c_j 是第 j 个基函数的中心点,与 x 具有相同维数; σ_j^2 是第 j 个高斯基函数的形状参数,它决定该基函数围绕中心点的宽度; $\|x - c_j\|$ 是矢量 $x - c_j$ 的范数,它通常表示 x 和 c_j 之间的距离。

隐层到输出层的线性映射关系为

$$y = \sum_{j=1}^n w_j a_j(x) - \delta$$
(5)

动量梯度下降的径向基神经网络可以提高网络的性能,因此采用该方法对网络进行训练,误差指标函数定义为

$$E = \frac{1}{2} \epsilon(w, k)^2 = \frac{1}{2} [(y(k) - y^*(w, k))]^2$$
(6)

式中, $y(k)$ 代表网络的期望时间输出; $y^*(w, k)$ 代表网络的实际时间输出; w 是该网络的所有权值组成的权值矩阵。从隐层到输出层的连接权值矩阵的调整算法为

$$w(k+1) = w(k) + \mu_1 \left(-\frac{\partial E(w)}{\partial (w)}\right) \Big|_{w=w(k)} + \alpha(w(k) - w(k-1))$$
(7)

隐层中心值矩阵的调整算法为

$$t(k+1) = t(k) + \mu_2 \left(-\frac{\partial E}{\partial t}\right) \Big|_{t=t(k)} +$$

$$\alpha(t(k) - t(k-1))$$
(8)

隐层函数宽度矩阵的调整算法为

$$\sigma(k+1) = \sigma(k) + \mu_3 \left(-\frac{\partial E}{\partial \sigma}\right) \Big|_{\sigma=\sigma(k)} + \alpha(\sigma(k) - \sigma(k-1))$$
(9)

式中, w_1, w_2, w_3 为学习率; α 为动量因子。

在预测之前,输入所有的训练样本,对网络进行训练,由于将数据分配到了 41 个子网络,故每个子网络的数据并不会太多,训练速度很快,精度也很高。应用训练好的模型,对测试样本中的若干合闸时间进行预测。表 1 中列出了在不同温度下的几组典型预测结果。

表 1 预测结果

环境温度 /℃	控制电压 /V	预测合闸 t/ms	实际合闸 t/ms
-14	120.6	51.800 0	51.80
-1.8	119.7	53.421 1	53.53
-5	119.3	53.250 7	53.25
7.1	121.1	52.600 2	52.81
26	115.7	59.720 1	59.67
31	111.4	67.814 9	67.74
36	113.3	63.912 2	63.71

由表 1 可知,基于分布式径向基神经网络的合闸时间预测方法,是一种非常有效断路器合闸时间预测方法。速度快,精度高,完全能够满足同步控制对合闸时间的精度要求。

3 结 语

本文阐述了同步关合技术在抑制系统暂态过电流和过电压的作用,深入分析同步控制的实现过程及其算法。根据精确预测合闸时间的重要性,以及在不同环境温度下,合闸曲线之间的复杂关系,建立了分布式的径向基神经网络合闸时间预测模型。模型有两层结构,第 1 层根据不同的环境温度,将输入变量映射到分布式径向基神经网络模型中的某个子网络,第 2 层运用映射出的径向基神经网络子模型预测合闸时间。主模型实现环境温度的量化映射,子模型实现单一温度范围内的合闸时间预测。实验测试结果表明,该方法网络训练时间短,预测的合闸时间精度高。完全能够满足同步控制对合闸时间的精度要求。在实际应用中,如果还想根据合闸时间、环境温度,预测控制电压,则只要将模型进行细微改动就能实现。(下转第 54 页)

3 我国大型制造企业发展生产性服务业的启示

GE 公司通过发展生产性服务业来提升公司经营绩效的案例可以给国内大型制造业企业带来 2 点启示。① 发展生产性服务业是制造业企业转型的必然趋势。就我国目前的情况来看,随着人民币升值速度加快以及国内要素价格的不断上升,制造企业原先赖以生存的低成本优势难以为继,这就要求企业必须转而寻求新的竞争优势和新的利润增长点,而生产性服务业一方面可以促进制造业企业制造环节的效率提升,增强竞争力,另一方面自身高附加价值特性所带来的利润将提升企业的盈利能力,因此,制造业企业发展生产性服务业成为其未来转型的方向。② 生产性服务业业务的发展可以通过开展实施原先业务的纵向一体化来实现。这样做的好处是一方面可以降低制造业环节的生产成本;另一方面是依靠自身业务需求可以给生产性服务业提供稳定可靠的市场需

求,这对于生产性服务业的发展初期至关重要。此外,依托自身生产环节发展生产性服务业可以量身定做所需的服务流程,可以为制造环节提供更为高效和合适的服务。笔者深信,未来纯粹的制造业企业将不复存在,而制造与服务相结合的企业将大行其道,因此,深入研究企业自身生产性服务业发展需求以及合理规划生产性服务业的发展是制造业企业的大势所趋。

参考文献

- [1] 郑玉香,袁少峰.我国生产性服务业发展和国际竞争力实证分析[J].生产力研究,2008(8): 16.
- [2] 韩 晶,李 沁.世界生产性服务业发展的新趋势及我国的战略对策[J].东南亚纵横,2008(4): 22.
- [3] 宋马林.生产性服务业研究现状及思考[J].温州职业技术学院学报,2008,8(1): 14.
- [4] GE. 2002—2007 GE annual report [EB/OL]. [2007/2008].<http://www.ge.com/cn/>

(上接第 39 页)

参考文献

- [1] Duan Xiongying, Zou Jiyan, Fang Chunen. Investigation on control tactics of phasing vacuum switches when synchronized closing capacitor banks [J]. IEEE International symposium on discharges on electrical insulation in vacuum, 2002; 595—598.
- [2] 段雄英,邹积岩,方春恩.相控真空开关同步关合电容器组控制策略及其实现[J].大连理工大学学报,2003, 43(4): 457—460.
- [3] K Horinouchi M, Tsushima N Tohya, et al. Synchronous controlled switching by vacuum circuit breaker with

electromagnetic operation mechanism [J]. IEEE International conference on electric utility deregulation, restructuring and power technologies, 2004; 529—534.

- [4] 幸晋渝,刘 念,赫江涛.基于 DSP 和人工神经网络的智能同步断路器研究[J].电力系统自动化设备,2005, 25(1): 21—23.
- [5] 孙明灿,林 莘,徐建源.基于 DSP 无功补偿电容器组同步投切装置的研究[J].沈阳工业大学学报,2005, 27(4): 397—400.
- [6] 段雄英,邹积岩,顾丕骥.相控真空断路器同步关合电容器组的研究[J].高压电器,2003, 39(4): 28—30.