

用 DSP 实现智能化自动重合闸

张建生

(常州工学院 电子信息与电气工程学院, 江苏 常州 213002)

摘要: 提出使用数字信号处理器(DSP)高速单片机实现智能化自动重合闸方法,该方法结合电力线路工作和跳闸时的参数变化,利用径向基函数(RBF)神经网络所构成的专家系统进行运算,从而确定是否重合闸及重合闸的间隔时间,有效地解决了目前自动重合闸中使电力系统又一次受到故障的冲击和使断路器的工作条件恶化 2 大难题。由于数学模型分析技术的实现大多依赖于跳闸和合闸时的实时建模,使得这一技术难以在复杂的、时变非线性的、信噪比低的系统中应用。而神经网络具有非线性映射、自学习能力、容错能力、抗干扰能力等特点,能够解决存在的问题。试验证明设计方案可满足实际要求。

关键词: 自动重合闸; 断路器; 继电保护

中图分类号: TM 762.2

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2007)07-0106-03

1 智能化重合闸基本方案

在电力系统自动化中,自动重合闸是对事故反应的有效措施。线路一旦出现故障,继电保护使断路器跳闸,经一定时间间隔后,自动重合闸装置 ARC (Auto-Reclosing Controller)使断路器重新合上^[1]。

在多数情况下,线路绝缘故障(如雷击、风害等)是暂时的,断路器跳闸后线路的绝缘性能(绝缘子和空气间隙)能得到恢复,重合闸能成功。少数情况,自动重合闸装置重合一次不成功时,说明绝缘性能没有得到恢复,此时 ARC 不再动作,需待查明原因,予以排除。

1.1 重合闸所针对的故障

电力运行经验表明,架空线路大多数故障是瞬时性的,如雷击过电压引起绝缘子表面闪络,大风时的短时碰线,通过鸟类身体(或树枝)放电。

此时,若保护动→熄弧→故障消除→合断路器→恢复供电。

1.2 自动重合闸应用时所存在的不足

对于高压架空线路或电缆线路上,若采用 ARC,则有可能会出现 2 种情况^[2]:

a. 由于对故障点去游离时间的变化无法确定,只能用一个固定的经验时间替代,当该固定的经验时间小于实际去游离时间时,可能失去本该可以重合闸操作的机会;

b. 由于 ARC 本身不能判断故障是瞬时性还是永久性的,所以若重合于永久性故障时,使电力系统又一次受到故障的冲击,使断路器的工作条件恶化(因为在短时间内连续 2 次切断短路电流)。

据运行资料统计,ARC 成功率在 60%~90%。

1.3 智能化自动重合闸的基本思路

提出了一种智能化^[3]自动重合闸(IARC),有效地解决了 ARC 存在的问题。IARC 主要技术思路是在跳闸和合闸前后用数字信号处理器(DSP)高速单片机不断采样线路上各种暂态参数,再根据这些参数进行快速分析,然后进行是否重合闸判别和操作^[2]。其工作流程如图 1 所示^①。

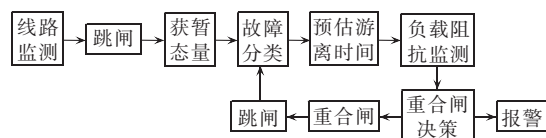


图 1 智能化自动重合闸的工作流程

Fig.1 Flowchart of intelligent auto-reclosing

2 对 IARC 的基本要求

IARC 相对于普通 ARC 最大的改进就是增加了跳闸和合闸前后的测试和分析。因此,其基本要求有所不同^[4],下面对其进行归纳。

a. 动作时间。在普通 ARC 中, $t > t_u + t_z$, 一般为 0.5~1.5 s; 对于 IARC, 动作时间要根据线路的状况确定, $t > k t_u + l t_z$ 。 t_u 为故障点去游离时间, t_z 为断路器消弧室及传动机构准备好再次动作时间, k 为故障点去游离状态参数, l 为断路器消弧室及传动机构准备好再次动作状态参数。一般, k 随天气、负荷状态、电压等级等变化, 智能控制器将不断检测线路状况作出 k 修正值; l 主要由执行机构的状况确定, 通常随着设备的性能变化慢慢改变, 可以由专家系统确定。

b. 不允许任意多次重合, 即动作次数应符合预先的规定, 如 1 次或 2 次。

c. 动作后应能自动复归, 准备好再次动作。

① TMS320F/C240 DSP controllers reference guide, peripheral library and specific devices. Literature number: SPRU161C, June 1999.

d. 手动跳闸时不应重合(手动操作或遥控操作)。
e. 手动合闸于故障线路不重合(多属于永久性故障)。

f. 带有无源负载阻抗监测, 提高判别故障游离的准确性, 增加重合闸的成功率。

g. 在重合闸决策中引入径向基函数(RBF)神经网络为主导算法的专家系统, 可以通过算法和自学习功能不断提高重合闸成功率。

3 IARC 控制器硬件及算法

3.1 控制器硬件组成

IARC 控制器电路^[5]是一个以 DSP 为核心的高速单片机应用电路, 如图 2 所示。

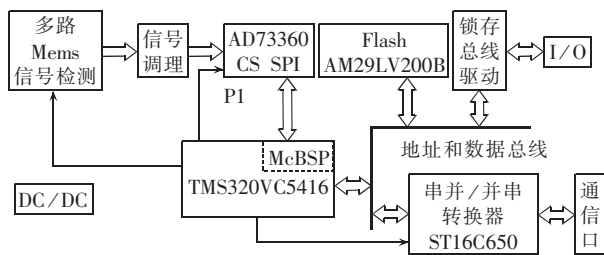


图 2 DSP 应用系统
Fig.2 DSP-based system

DSP 采用 TI 公司的 TMS320VC5416, 主频高达 200 MHz, 采用改进的哈佛结构, 采用多总线、流水线结构执行指令, 可以在 1 个指令周期内完成 1 次乘加运算。

A/D 转化芯片使用 TI 公司的 AD73360, 其与信号连接如图 3 所示^[6]。采集频率高达 80 MHz, 采用 3.6 V 低电压设计, 功耗低。

数据采集部分主要控制 A/D 采样和 FIFO 器件。

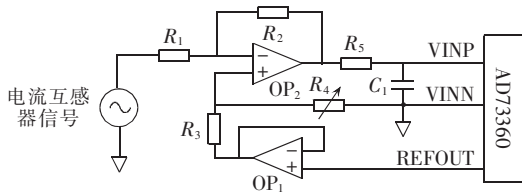


图 3 电流采样电路
Fig.3 Current sampling circuit

3.2 专家系统算法

运用 RBF 神经网络代替数学模型分析技术中的系统建模, 只需根据被控对象的输入状态向量、输出状态向量和权系数向量就能训练神经网络, 然后根据系统输出与神经网络输出之间的差值检测机床的故障^[7-8], 其原理如图 4 所示。

神经网络用于供电系统离散系统辨识时, 关心的是网络逼近非线性映射的能力、收敛能力等。根据 RBF 神经网络的特点, 采用输入线性项的 RBF 神经网络来辨识离散系统模型, 再根据此模型建立一个滤波器, 以产生系统残差, 用于故障诊断检测^[9]。

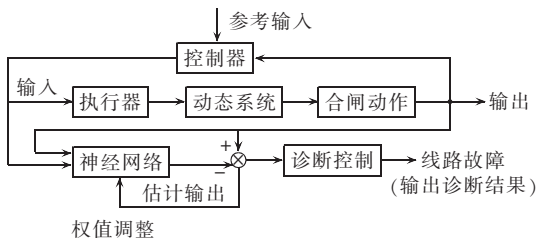


图 4 重合闸的 RBF 神经网络故障诊断原理图
Fig.4 Principle of line fault diagnosis
by RBF neural network

若考虑 IARC 离散系统:

$$X(K+1) = f(X(K), U(K)) + W(K)$$

$$Y(K+1) = h(X(K+1)) + V(K)$$

状态变量 $X(K)$ 为 n 维, 输出变量 $Y(K)$ 为 m 维, 控制变量 $U(K)$ 是 1 维, 状态和输出测量噪声为 $W(K)$ 和 $V(K)$, 并假设 $W(K)$ 和 $V(K)$ 是独立的高斯白噪声向量, 且具有如下统计特性:

$$E(V(K+1)) = E(W(K+1)) = 0$$

$$E(V(K)V^T(K)) = V\delta_{kj}$$

$$E(W(K)W^T(K)) = W\delta_{kj}$$

$$E(V(K)W^T(K)) = 0$$

其中, V 为对称的非负定阵, W 为对称的正定阵。

隐含层单元的基函数采用径向基函数:

$$U = \sum_{j=1}^K (X_j - W_{ij})^2$$

神经元函数为

$$Z_i = C \cdot \exp \left[\sum_{j=1}^K (X_j - C_{ij})^2 / (-2\sigma_i^2) \right]$$

其中, Z_i 是隐含层第 i 个节点的输出; X_j 是输入模式; C_{ij} 是节点的高斯中心; σ_i 是第 i 个节点的归一化参数; K 是隐含层单元个数。

根据线路故障诊断的要求, 采用系统正常运行时和系统故障时输出信号的检测策略。当系统正常运行时, 残差近似为高斯白噪声序列, 其均值近似为零^[10], 协方差阵为

$$U(K) = E(r(K)r^T(K))$$

其中 $r(K)$ 为系统的残差序列。

当状态估计协方差阵 $U(K)$ 是时变的, 随 K 的变化具有不同的统计特性。为此, 定义另一随机变量:

$$\xi(K) = U^{-1/2}(K)r(K)$$

则 $\xi(K)$ 近似为一零均值高斯白噪声随机向量。由于 $U^{-1/2}(K)$ 计算较不便, 重新定义一随机变量:

$$\xi^T(K)\xi(K) = r^T(K)U^{-1}(K)r(K)$$

上式中 $\xi^T(K)\xi(K)$ 近似服从 χ_{m-1}^2 分布, 因此可得如下残差加权平方和的检测方法, 令:

$$d(K) = \frac{1}{N} \sum_{j=K-N+1}^K \xi^T(j)\xi(j) = \frac{1}{N} \sum_{j=K-N+1}^K r^T(j)U^{-1}(j)r(j)$$

其中 N 为数据窗长度。当供电系统正常运行时, $d(K)$ 的数值较小; 当系统发生突变故障时^[11], $d(K)$

的值较大, $\xi(K)$ 将不再满足白噪声特性, 即得到的线路故障诊断方法。

$$S_0:d(K) \leq \alpha \text{ 或 } S_1:d(K) > \alpha$$

其中, α 为某一阈值; S_0 为供电系统正常模态, S_1 为供电系统故障模态。

4 IARC 应用试验

为了验证线路的实用性和可靠性, 采用双重 ARC 并列投用方案^[12]进行了以下试验。

试验时用 KJ660 微机继电保护测试仪, 和 JBC-03 微机继电保护校验仪作为本装置的检测仪器。

当装置中第 1 套重合闸启动时间整定 990 ms, 第 2 套重合闸启动时间整定 1 s 时, 模拟单相瞬时接地故障、单相永久接地故障时的重合闸能可靠地启动发合闸脉冲和闭锁^[13](重合闸放电)。模拟相间故障、单相接地+转换故障、三相等故障时, 并列运行的 2 套重合闸都能按单相重合闸方式预定的方式动作。2 套微机保护中的重合闸启动时间都整定 1 s, 单相瞬时接地故障和单相永久接地故障的试验数据见表 1 和表 2。在此基础上, 进行了带开关联动模拟^[14], 并列运行的 2 套重合闸在模拟的各种故障下都能正确动作。

表 1 A 相瞬时接地故障数据(线路阻抗 $Z_L=5.8 \Omega$)

Tab.1 Instant grounding fault data of phase A
(line impedance $Z_L=5.8 \Omega$) ms

相别	0.005 Z_L		0.5 Z_L		0.8 Z_L	
	t_1	t_2	t_1	t_2	t_1	t_2
A	14.0	1 009	18.7	1 020	30.1	1 022
B	14.1	1 010	18.9	1 021	30.3	1 022
C	13.9	1 012	18.2	1 021	30.7	1 022

注: t_1 为跳闸时间, t_2 为重合时间; 表 2 同。

表 2 A 相永久接地故障数据(线路阻抗 $Z_L=5.8 \Omega$)

Tab.2 Permanent grounding fault data of phase A
(line impedance $Z_L=5.8 \Omega$) ms

相别	0.005 Z_L			0.5 Z_L			0.8 Z_L		
	t_1	t_2	t_3	t_1	t_2	t_3	t_1	t_2	t_3
A	14.0	1 009	1 058	18.7	1 020	1 059	30.1	1 022	1 060
B	14.1	1 010	1 058	18.9	1 021	1 059	30.3	1 022	1 060
C	13.9	1 012	1 058	18.2	1 021	1 058	30.7	1 022	1 061

注: t_3 为永跳时间。

5 结语

主要提出了一种智能化自动重合闸的思路, 目的是为了解决目前自动重合闸中的 2 大难题。引入了神经网络用于供电系统辨识的算法, 使系统具备一定的自学习功能, 这样在重合闸之前的决策的准确性将有所提高, 解决了自动重合闸存在本身不能判断故障是瞬时性还是永久性的, 使断路器的工作条件恶化等难题。

参考文献:

- [1] 陈德树. 计算机继电保护原理与技术[M]. 北京: 水利电力出版社, 1992.
- [2] 朱美玲, 颜景平. 机电工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 1993.
- [3] 张明勋. 电力电子设备设计 and 应用手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [4] 国电调度中心. 继电保护规程汇编[M]. 2 版. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [5] 孔凡才. 自动控制原理与系统[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [6] 丁道宏. 电力电子技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 1992.
- [7] VYROUBAL D, ZELE D. Experimental optimization of the probe for eddy - current displacement transducer[J]. Transactions on Instrumentation and Measurement, 1993, 42(6): 995 - 1000.
- [8] HARASHIMA F. Power electronics and motion control—a future perspective[J]. Proceedings of IEEE, 1994, 82(8): 1107 - 1111.
- [9] KOSKINEN H, LINDGREN O, KARASTI O. Fuzzy logic in active magnetic bearing control[C]//Forth International Symposium on Magnetic Bearing. ETH Zürich: [s.n.], 1994: 29 - 34.
- [10] BOSE B K. Evaluation of modern power semiconductor devices and future trends of converters[J]. IEEE Trans on Industrial Applications, 1992, 28(2): 48 - 51.
- [11] LEE F C. Modeling, analysis and design of PWM [J]. Converters, 1991(3): 40 - 45.
- [12] ZHANG Jian - sheng. Magnetic bearing intelligent control systematic design methods[C]//Computational Intelligence and Industrial Applications Proceedings of ISCHIA 2004. Haikou, China: Hainan University, 2004: 130 - 133.
- [13] 张建生. 现代仪器电源[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [14] BOEHM J. Sensors for magnetic bearings[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 1993, 29(29): 2962 - 2964.

(责任编辑: 李 玲)

作者简介:

张建生(1958 -), 男, 江苏海门人, 教授, 博士, 研究方向为计算机数字控制与应用(E-mail: zhangjs@czu.cn)。

Implementation of intelligent auto-reclosing with DSP

ZHANG Jian-sheng

(Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, China)

Abstract: A method to implement intelligent auto-reclosing with DSP is proposed, which considers the difference of power system parameters between normal operation and protective trip, and uses expert system constructed by RBF neural network to decide reclosing and its interval, effectively preventing power system from suffering second shock of fault and preventing circuit breaker's working conditions from deterioration. Auto-reclosing technique using mathematic model analysis normally depends on real-time modeling at trip or closing instant, which is difficult to be implemented in complicated, nonlinear time - variant and low SNR systems, while neural network is more suitable for this application with its abilities of non - linear mapping, self - learning, fault - tolerance and anti-interference. The experimental result shows it meets practical needs.

Key words: auto-reclosing; circuit breaker; relay protection