

基于遗传算法的断路器分闸模糊控制

孙 弋^{1,2}, 马志瀛³, 佟明安², 包学俊⁴

(1. 西安科技学院电子工程系, 陕西 西安 710061; 2. 西北工业大学电子工程系, 陕西 西安 710072;
3. 西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049; 4. 中兴通讯西安研究所, 陕西 西安 710065)

The Fuzzy Control of Open Operation of Circuit Breaker Based on Genetic Algorithm

SUN Yi^{1,2}, MA Zhi-ying², TONG Ming-an¹, BAO Xue-jun⁴

(1. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710061, China; 2. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710065, China;
3. Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 4. ZTE Corporation Xi'an Research Institute, Xi'an 710065, China)

摘要: 断路器的运行可靠性对电力系统的安全运行有重要意义。针对电力系统的复杂性和故障的多样性,笔者采用模糊控制,建立了以电网运行状态为输入、断路器开断速度为输出的断路器模糊运动模型,并对模糊模型的隶属函数进行遗传优化,进而优化了智能操作模糊控制模型,为断路器智能控制的理论深入提出了一条新的思路。

关键词: 遗传算法; 模糊推理; 智能操作; 断路器

中图分类号: TM561.3

文献标识码: A

Abstract: As an important protection and control equipment, the operation reliability of high voltage circuit breaker has a special meaning on the operation safety and reliability of electric system. Aiming at the complexity of power system and the variety of circuit breaker faults, a fuzzy model of open operation of circuit breaker with which power system parameter as input, open velocity as output is proposed in this paper. Optimized through genetic algorithm, the fuzzy model can accord with the open operation of circuit breaker accurately. As a new method, the fuzzy model based on genetic algorithm could be seen as another way for intelligent control of high voltage circuit breaker.

Key words: genetic algorithm; fuzzy deduction; intelligent operation; circuit breaker

1 引言

国内有学者提出了超高压断路器智能操作的新概念。断路器的智能操作是指动触头从一个位置到另一个位置的自适应控制的转换,即断路器的操作可根据电网中所发出的不同开断信息自动调整操动机构和选择灭弧室合理的工作条件,从而改变现有断路器的单一分闸特性,以获得开断时电气和机械性能上的最优开断效果^[1]。文[2]中提出采用在回油路加装节流控制模块实现分闸速度特性的分级调节。但是由于电力系统的复杂性和故障的多样性,使

得系统状态和断路器分闸速度之间很难用准确的数学模型表示,因此有学者提出采用模糊控制实现对断路器开断速度特性的控制,并采用神经网络方法优化模糊推理隶属函数^[3]。但是由于神经网络存在网络规模和网络结构较为复杂以及学习收敛性等问题,使得模糊控制的隶属函数优化没有很好的解决。

2 遗传算法与模糊推理

遗传算法本身和模糊控制等一样不依赖于问题模型特性^[4],因此可以采用遗传算法实现模糊控制规则的优化和隶属函数的调整。

遗传算法是将问题的求解表示成“染色体”(用计算机编程时,一般用二进制码串表示),从而构成“染色体”群。将它们置于问题的“环境”中,根据适者生存的原则,从中选出适应环境的“染色体”进行复制,即选择,通过交叉和变异两种基因操作产生出新的一代更适应环境的“染色体”群,这样一代代进化,最后收敛于最适应环境的个体上,求得问题的最优解。

模糊推理是根据专家对问题的理解建立控制规则表,根据各参数的隶属函数值,按照一定的推理方法得出系统的控制输出,因此隶属函数和模糊规则的确定就带有设计者个人的主观看法。虽然近年来很多学者采用 BP 网络对隶属函数和控制规则的优化做了大量的工作,但是由于 BP 算法采用误差导数指导学习过程,从本质上讲属于局部寻优算法,在存在较多局部极小的情况下很容易陷入局部极小点,而且存在学习准确度和学习速度之间的矛盾。遗传算法作为一种全局优化算法为模糊推理隶属函数优化问题提供了一种新的思路。笔者就两输入单输出模糊推理控制器,提出采用遗传算法的优化方法。

2.1 模糊推理控制器

假定模糊推理控制器由一组如下的规则构成:

R_i : if (x is A_{1i}) and (y is A_{2i}) then $u_i = W_i$ ($i=1,2,\dots,n$)

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^n u_i W_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} = \sum_{i=1}^n \mu_i W_i$$

其中: R_i 为第 i 条模糊规则, A_{i1} 和 A_{i2} 为输入 (前提部分) 的隶属函数, u^* 为总的输出, W_i 为第 i 个模糊规则对于输出的作用权值, 且有:

$$\mu_i = \prod A_{i1}(x) \cdot A_{i2}(y)$$

其中: μ_i 表示第 i 条隶属度。对于输入的模糊子集的隶属度采用 Gauss 型隶属函数, 可表示为:

$$A_{ij}(X_j) = \exp\left[-\left(\frac{x_j - c_{ij}}{b_j}\right)^2\right]$$

其中: x_j 表示输入变量, c_{ij} 表示隶属度函数的中心, b_j 表示隶属度函数的宽度。

2.2 模糊控制器隶属函数遗传算法优化

对于前提采用 Gauss 型的隶属函数的模糊推理, Gauss 型函数的中心参数和宽度 (c_{ij}, b_j) 是全局性参数, 适合采用遗传算法进行调整和优化。

为了采用遗传算法优化模糊推理的隶属函数参数 (c_{ij}, b_j) 值, 首先将两参数 (c_{ij}, b_j) 用二进制串表示, 假定参数的分量在预定的范围 $[\theta_{minij}, \theta_{maxij}]$ 内变化, 则参数串的代表值和实际参数值之间的关系为:

$$\theta_{ij} = \theta_{minij} + \frac{binrep}{2^l - 1} (\theta_{maxij} - \theta_{minij})$$

式中: $binrep$ 为 l 位字符串所表示的二进制数。

在遗传算法中, 适应度函数是算法中的判断依据。如果已经得到样本数据, 则对于模糊推理隶属函数优化问题的适应度函数可采用: 当有一组输入时, 如果期望输出值为 u , 实际输出为 u^* , 则问题变为对隶属函数参数 (c_{ij}, b_j) 寻优, 使得式 (1) 适应度函数最小。

$$E = \sum_{i=1}^m (u - u^*)^2 \quad (1)$$

3 遗传算法在断路器智能操作中的应用

对于断路器智能操作, 断路器开断的电流越大, 所需的分闸速度就越高; 反之, 开断的电流越小, 则所需的开断速度就越低。但在开断小容性电流 (相位角接近 -90°), 如空载长线时, 所需的分闸速度就应比开断相同数值的正常负载电流所需的大, 以便提高介质恢复强度, 避免出现重击穿。而在开断小感性电流 (相位角接近 90°) 时需要较小的分闸速度, 以降低操作过程中可能出现的截流过电压^[5]。因此, 可以电流 I 和相位 φ 为输入, 分闸速度 v 为输出建立模糊控制系统, 根据实际经验, 不同的电流和相位的组合形成不同的控制规则, 生成的模糊控制规则构成如下的模糊控制规则表 1。

对于根据经验的模糊控制模型, 输入参数的隶属函数由专家主观决定, 专家的判断严重影响控制性能, 采用遗传算法对输入参数的隶属函数优化可

表 1 模糊控制规则表

v	I				
	NB	NS	ZO	PS	PB
φ	NB	ZO	PS	PS	PB
	NS	NS	ZO	PS	PB
	ZO	NS	NS	PS	PB
	PS	NB	NS	ZO	PS
	PB	NB	NS	ZO	ZO

以避免这个问题。

在模糊控制系统中, 为了方便数据处理, 将输入参数的值经过尺度变换后应用, 对于 I, φ, v 的模糊集和论域定义如下:

φ, I, v 的模糊集为:

$$F(\varphi) = \{NB, NS, ZO, PS, PB\}$$

$$F(I) = \{NB, NS, ZO, PS, PB\}$$

$$F(v) = \{NB, ZO, PB\}$$

其中: NB (负大), NS (负小), ZO (零), PS (正小), PB (正大) 分别为相位 φ 和开断电流 I 的语言值。

I 离散化后的论域为 $\{0, 1, \dots, 8\}$, 共 9 级; φ 离散后的论域为 $\{-4, -3, \dots, 3, 4\}$, 共 9 级; v 离散后的论域为 $\{0, 1, \dots, 5, 6\}$ 。输入输出参数的模糊隶属函数均为 Gauss 型; I, φ 的隶属函数根据专家知识定义。

在计算中采用 Matlab 编程^[6]对断路器模糊控制的输入变量的隶属函数进行遗传优化, 程序的终止条件采用先判断每一代中适应度差值 E_{diff} 是否小于设定值 e (0.000 001), 为了防止收敛时间过长, 当进化超过 100 代就终止程序。程序流程见图 1。

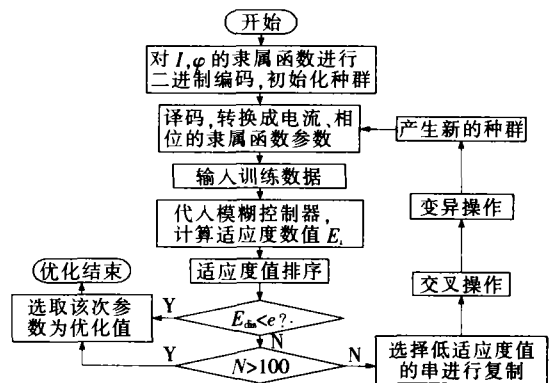


图 1 Gauss 算法训练模糊控制隶属函数参数值流程图

3.1 种群初始化

遗传操作首先对断路器模糊控制器输入参数初始化种群, 待优化的断路器模糊控制器输入参数有两个: 电流大小 I , 电流的相位 φ 。输入参数的隶属函数在离散域上均采用高斯型函数, 根据经验在离散域均匀定义隶属函数参数见表 2。

表 2 输入参数隶属函数的初始值

区间	I		φ	
	b_i	c_i	b_φ	c_φ
NB	1.1	-4	1.1	-4
NM	1.1	-2	1.1	-2
ZO	1.1	0	1.1	0
PM	1.1	2	1.1	2
PB	1.1	4	1.1	4

对于所有的隶属函数的参数 b 采用同一值,则在初始化时共有 11 个待优化的隶属函数参数,参数的取值: $b[0.5, 1.5]; c_i[c_i - 0.5, c_i + 0.5](i=1, \dots, 10)$ 。将每一个参数二进制编码设定准确度为 0.000 01, 则可计算出应为 20 位, 共有 11 个隶属函数, 每个参数的二进制编码串结合构成一条染色体串, 每条染色体的长度为 220 位; 设定初始种群数目 n 后, 随机产生 n 条 220 位的染色体, 构成遗传优化的初始种群。

3.2 遗传操作

遗传操作包括交叉、变异和选择(复制)。根据设定的交叉概率 0.5 和变异概率 0.05 进行操作。

选择(复制)操作决定哪些个体可以进入下一代, 在程序中采用蒙特卡罗法选择。在该方法中, 每个个体的选择概率与其适应度值成比例。

在断路器模糊控制器遗传优化中, 每个个体被选择的概率 $P_{si} = E_i / \sum_i^n E_i$ 。式中: E_i 为个体 i 的适应度值; n 为初始种群数。

3.3 适应度函数 E

适应度函数 E 是遗传算法优化的进化依据, 断路器模糊控制器隶属函数遗传优化中采用式(2)作为适应度函数, 因此适应度函数值越大, 则模糊控制器的实际输出和期望输出的差值越小, 遗传算法是向着适应度函数值增大的方向进化, 因此优化的结果将使模糊控制器的结构接近期望值。

适应度函数由下面方法确定: 当有一组输入时, 如果期望输出值为 u , 实际输出为 u^* , 则问题变为对隶属函数参数 b_i, c_i 寻优, 使得式(2)适应度函数最大。

$$E = 1 / \sum_{i=1}^m |u - u^*| \quad (2)$$

按照前面的优化流程, 采用根据专家经验和仿真结果得出的表 3 数据作为输入输出样本数据, 遗传优化前后断路器模糊控制器输入参数 I 和 φ 的隶属函数见图 2。

从图 2 可以看出, 经过遗传优化后输入参数的隶属函数参数发生了变化, 因此模糊控制模型中电网参数和分闸速度的对应关系也随之改变, 经过计算, 优化前后模糊模型推理结果对比见表 4。

表 3 一组输入输出样本数据

电流 I/A		相位 $\varphi /(^{\circ})$		刚分速度 $v/(m \cdot s^{-1})$	
模糊论域值	实际值	模糊论域值	实际值	模糊论域值	实际值
-4	500.0	0	0	0	4.0
-4	31.5	4	90	0	4.0
-4	31.5	-4	-90	1	4.4
-3	4.0×10^3	4	90	0	4.0
-3	5.5×10^3	0	0	0	4.0
-3	7.0×10^3	0	0	0	4.0
-2	1.2×10^4	4	90	1	4.4
1	2.4×10^4	4	90	2	4.8
2	3.0×10^4	4	90	4	5.7
3	3.5×10^4	4	90	5	6.2
4	4.0×10^4	4	90	6	6.5

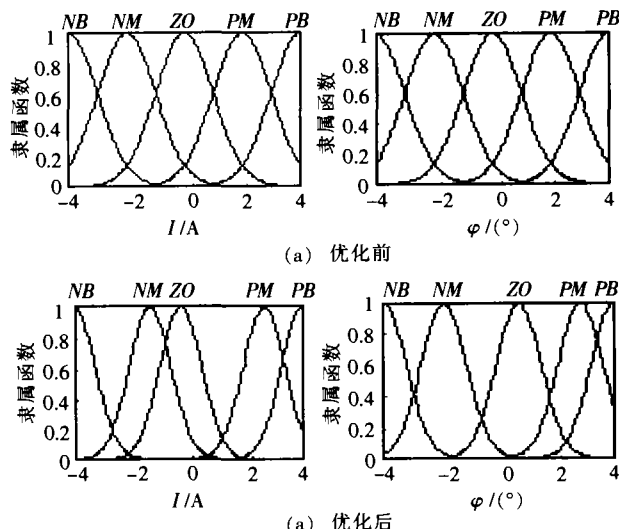


图 2 优化前后断路器模糊控制器输入参数 I 和 φ 的隶属函数

表 4 遗传优化结果

结果	采用未优化的模糊控制器推理	采用遗传优化后的模糊控制器推理
误差	10.741 607	4.395 759

可以看出, 通过对隶属函数的优化, 减小了模糊模型控制输出和样本数据之间的误差值, 可以使模糊控制的输出能在更大程度上接近专家经验和仿真计算的结果, 提高控制的准确性。但是在实际使用过程中应当根据实验数据产生样本数据, 对隶属函数做进一步的修正, 提高模糊控制的准确性。

4 小结

建立了以电网电流的大小、相位为输入变量, 高压断路器分闸速度为输出变量的断路器模糊控制器, 并对模糊控制的输入参数的隶属函数进行遗传优化, 使得模糊控制模型能更接近样本数据, 提高控制的准确度。对断路器智能操作的进一步实现进行了理论上的探讨。

参考文献:

- [1] 马志瀛, 徐黎明, 李 冶. 超高压断路器设计的两个理论基础及智能操作[A]. 500 kV 高压开关设备制造运行技术论文集[C], 浙江上虞, 1997.
- [2] 孙 弋, 马志瀛, 金立军. 应用电磁开关实现断路器智能操作分闸速度调节[J]. 电网技术, 2000(7): 17-20.
- [3] 杨纪明. 基于模糊-神经网络的 SF₆ 高压断路器智能操作控制的研究[D]. 西安交通大学博士学位论文, 2000.
- [4] 陈士良, 王煦法. 遗传算法及应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999.
- [5] 孙 弋. 高压 SF₆ 智能操作断路器脉冲编码调制控制及其模糊遗传优化[D]. 西安交通大学博士学位论文, 2001.
- [6] 徐 昕, 李 涛. Matlab 工具箱应用指南(控制工程篇)[M]. 北京: 电子工业出版社, 2000.

作者简介: 孙 弋(1972-), 男, 博士, 现为西北工业大学博士后, 主要研究方向: 电气控制、高压电器智能操作等。