

文章编号:1671-6833(2015)01-0006-04

基于遗传算法的背靠背换流站控制系统参数优化

蒋建东¹, 王 忆¹, 张灵娟², 赵育辉³

(1. 郑州大学 电气工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 国家电网河南省电力公司技能培训中心, 河南 郑州 450001; 3. 中色科技股份有限公司, 河南 洛阳 471002)

摘 要: 背靠背换流站控制系统参数优化能够有效改善系统的运行性能. 在研究背靠背换流站控制系统的工作原理后, 推导出定电流、定电压、定熄弧角和定功率控制方式下系统的数学模型. 把时间与绝对误差乘积的积分函数作为遗传算法的适应度函数, 即控制系统参数优化的目标函数. 给出了遗传算法用于参数优化的寻优过程及其参数的确定方法. 最后, 以灵宝背靠背换流站控制系统为例, 给出了参数的优化结果, 分析了换流站交流侧故障时直流系统的暂态过程. 结果证明了遗传算法用于背靠背换流站控制系统参数优化的可行性和有效性.

关键词: 背靠背换流站; 控制系统参数; 优化; 遗传算法

中图分类号: TM721.1 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2015.01.002

0 引言

背靠背直流输电工程具有整体造价低, 控制系统响应速度比常规直流工程快等优点, 在系统非同步联网方面得到了越来越多的应用. 同时由于没有直流线路, 交流侧或直流侧的故障或异常运行对背靠背系统的影响更直接, 暂态过程中各种电气量的变化也更迅速. 所以选择合适的控制器参数对背靠背系统的无功功率控制、电压恢复等显得十分重要.

目前, 国内外的背靠背系统的控制器多采用结构简单的 PI 控制器. 在实际工程中往往采用试凑法对 PI 控制器的参数进行整定, 这种做法带有一定的盲目性, 在改善系统某个指标的同时会引起其他指标的恶化^[1]. 在有关直流系统控制参数优化的文献中, 文献[2]根据 Bode 图求出 HVDC 系统 PI 控制器参数范围后, 按一定步长得到样本集, 利用电力系统仿真软件 PSCAD 内置的寻优模块计算出每个样本的性能指标, 得到全局最优参数. 该方法基于实际工程模型, 具有良好的优化结果, 但存在前期计算量大、步长选择不同会导致结果的不确定问题. 文献[3]提出了采用临界比例法对 PID 控制参数进行优化的方法, 该方法存在

硬件装置要求高、操作复杂等问题. 另外, 文献[4]和文献[5]提出了基于粒子群算法的 PI 参数优化方法.

遗传算法具有大概率得到全局最优解、鲁棒性能好等优点, 可以方便地用于传统方法难以解决的复杂非线性问题. 目前, 在电力系统的应用也越来越广泛, 主要应用有 HVDC 整流器自抗扰控制器设计^[6], VSC-HVDC 的优化控制设计^[7], 直流输电系统中混合交流滤波器的优化设计^[8], 二次曲面提取技术研究^[9]等, 并且取得了较好的效果. 基于遗传算法对背靠背换流站控制系统的参数进行优化, 能够有效地提高系统的运行性能. 笔者分析了背靠背换流站控制系统的工作原理, 给出了控制系统的数学模型. 在此基础上, 给出了遗传算法进行参数优化的目标函数、寻优过程和参数的确定方法. 对灵宝背靠背换流站暂态过程进行了分析, 结果表明该方法能够有效改善系统的运行性能.

1 背靠背换流站系统的数学模型

换流站的控制方式有定电流控制、定熄弧角控制、定电压控制和定功率控制. 通常情况下, 整流器采用定电流、逆变器采用定电压或定熄弧角

收稿日期:2014-07-28; 修订日期:2014-09-30

基金项目:河南省科学技术研究重点项目(14A470002)

作者简介:蒋建东(1975-), 男, 河南南阳人, 郑州大学教授, 博士, 研究方向为电力系统监测与运行分析, E-mail: jiang@zzu.edu.cn.

控制方式. 由于背靠背换流站需要实现潮流逆转, 所以整流侧、逆变侧控制系统构成完全相同.

1.1 定电流控制方式系统的数学模型

定电流控制方式下系统的数学模型如图1所示. 该模型由4部分组成, 分别是PI控制器环节、换流器环节、平波电抗器和测量环节.

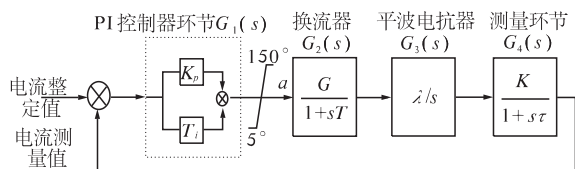


图1 定电流控制方式系统的数学模型

Fig.1 System model of constant current mode

由图1可知, 定电流控制方式下系统的开环传递函数为

$$G(s) = -G_1(s)G_2(s)G_3(s)G_4(s). \quad (1)$$

式中: $G_1(s)$ 为PI控制器环节; 参数 K_p 是比例环节的增益; T_i 是积分时间常数. 当实际电流值与整定值出现偏差时, 控制器动作, 调整触发角的大小, 使直流电流恢复到整定值. $G_2(s)$ 为换流器环节, 增益 $G = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U \sin \alpha_0$, α_0 为换流器稳定运行时的触发角, U 为换流器交流侧线电压的有效值; 当12脉冲桥工作在工频50 Hz时, 时间常数为 $T = 1.67 \text{ ms}$; $G_3(s)$ 为平波电抗器环节, 电感值为0.12 H; $G_4(s)$ 为测量环节, K 将实际电流变换为无量纲的标么值, τ 为反应测量设备的响应时间, 对于电流测量通常取0.0012 s.

1.2 定熄弧角控制方式系统的数学模型

定熄弧角控制方式下系统的数学模型如图2所示. 该模型由3部分组成, 分别是PI控制器环节、换流器环节和测量环节.

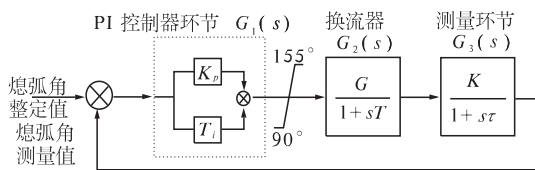


图2 定熄弧角控制方式系统的数学模型

Fig.2 System model of constant extinction angle mode

由图2可知, 定熄弧角控制方式下系统的开环传递函数为

$$G(s) = -G_1(s)G_2(s)G_3(s). \quad (2)$$

定熄弧角控制方式系统的数学模型中不包括平波电抗器环节, 其他各个控制环节的系数计算方法与定电流控制方式相同.

1.3 定电压控制方式系统的数学模型

定电压控制方式下系统的数学模型如图3所示. 该模型由3部分组成, 分别是PI控制器环节、换流器环节和测量环节.

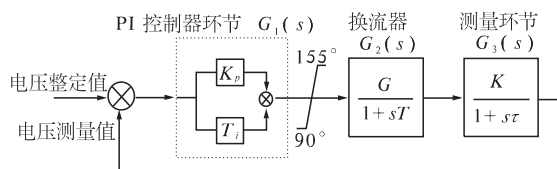


图3 定电压控制方式系统的数学模型

Fig.3 System model of constant voltage mode

由图3可知, 定电压控制方式下系统的开环传递函数为

$$G(s) = -G_1(s)G_2(s)G_3(s). \quad (3)$$

定电压控制方式系统的数学模型中不包括平波电抗器环节, 其他各个控制环节的系数计算方法与定电流控制方式相同.

1.4 定功率控制方式系统的数学模型

定功率控制方式的系统数学模型是定电流控制方式和定电压控制方式的结合, 其数学模型如图4所示. 控制系统根据设定的功率和电压值得到定电流控制方式的整定电流值.

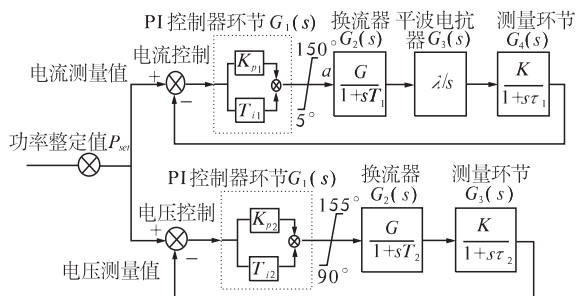


图4 定功率控制方式系统的数学模型

Fig.4 System model of constant power mode

2 基于遗传算法的参数优化

遗传算法是一种通过模拟自然进化过程的随机化搜索最优解的方法, 其主要特点是直接对结构对象进行操作, 不存在求导和函数连续性的限定, 具有内在的隐并行性和更好的全局寻优能力. 该算法采用概率化的寻优方法, 能自动获取和指导优化的搜索空间, 自适应地调整搜索方向, 不需要确定的规则. 在组合优化、信号处理、自适应控制等方面得到了越来越广泛的应用. 应用遗传算法进行参数优化, 涉及到目标函数的确定和寻优过程控制参数的确定.

2.1 目标函数

背靠背换流站常采用的两种控制方式如下.

控制方式 1:整流侧采用定电流控制方式,逆变侧采取定熄弧角控制方式;

控制方式 2:整流侧采取定电流控制方式,逆变侧采取定电压控制方式.

控制方式 1 的优化目标函数设定为:整流侧直流电流和逆变侧熄弧角的实际值与其各自整定值的偏差之和最小. 目标函数为

$$\min_{(K_p, K_i) \in \Omega} = \text{Min}[\int_0^\infty |I_{ord} - I_{dr}| t dt + \int_0^\infty |\gamma_{ord} - \gamma_{dr}| t dt]. \tag{4}$$

控制方式 2 的优化目标函数设定为:整流侧直流电流和逆变侧直流电压的实际值与其各自整定值的偏差之和最小. 目标函数为

$$\min_{(K_p, K_i) \in \Omega} = \text{Min}[\int_0^\infty |I_{ord} - I_{dr}| t dt + \int_0^\infty |U_{ord} - U_{dr}| t dt]. \tag{5}$$

2.2 遗传算法的寻优过程

基于遗传算法的参数优化过程如图 5 所示.

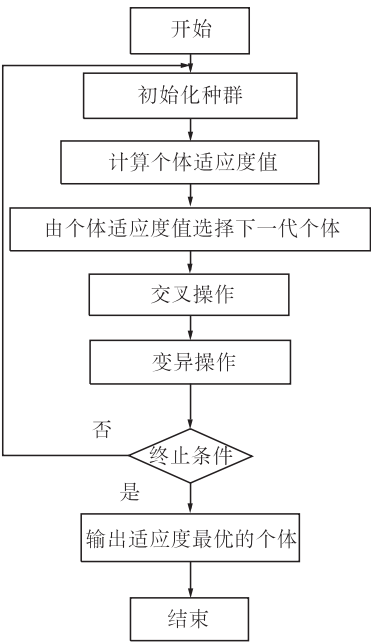


图 5 遗传算法参数优化的流程图
Fig.5 Flowchat of Genetic Algorithm

遗传算法进行优化的具体步骤如下:

(1) 根据问题选择相应的编码方法,随机产生一个初始化种群;

(2) 根据目标函数计算种群中每个个体的适应度值,按照由适应度值所决定的某个准则来判断个体的优劣,选择适应性强的个体进入下一代个体;

(3) 按照一定的交叉概率将父代部分基因进行交换,从而产生组合父辈个体特性的新一代个体;

(4) 在群体中随机选择一定数量个体,对于选中的个体以一定的概率随机地改变串结构数据中某个基因的值;

(5) 迭代次数达到最大或者迭代结果满足适应度值要求时则转入步骤(6),否则转入步骤(2)进行下一次迭代;

(6) 得到最优的 PI 控制器参数.

本研究中遗传算法的基本控制参数:种群规模为 40,迭代次数为 100,交叉概率为 0.40 ~ 0.99,变异概率为 0.001 ~ 0.010.

2.3 灵宝换流站控制系统参数优化结果

笔者利用遗传算法对灵宝背靠背换流站控制方式 1 情况下整流侧定电流控制器的 PI 控制器参数 K_{p1}, T_{i1} , 逆变侧定熄弧角控制器 K_{p2}, T_{i2} 进行了优化,其结果如表 1 所示.

表 1 控制系统参数优化结果

Tab.1 Results of control parameter optimization

参数	最小值	最大值	优化前	优化值
K_{p1}	0.700 0	1.200 0	0.989 4	1.098 70
T_{i1}	0.001 0	0.100 0	0.012 7	0.010 95
K_{p2}	0.500 0	1.000 0	0.645 6	0.750 80
T_{i2}	0.001 0	0.100 0	0.052 3	0.054 30

3 参数优化效果仿真分析

笔者在电力系统暂态仿真软件 PSCAD 中搭建了灵宝换流站系统的模型,控制系统的控制器分别采取优化前与优化后的参数. 表 2 给出了系统分别发生以下 4 种故障时直流电流暂态指标的对比. 故障 1 为整流侧交流电网单相接地故障、故障 2 为逆变侧交流电网单相接地短路、故障 3 为整流侧换流变压器两相短路故障、故障 4 为逆变侧换流变压器两相短路故障.

表 2 优化前后换流站的直流电流暂态特性对比

Tab.2 Transient characteristics of station parameter optimization before and after

故障类型	最大超调量/%	超调范围/%	调整时间/ms	
1	优化前	61	+ 61 ~ - 33	70
	优化后	39	+ 39 ~ - 10	30
2	优化前	- 50	+ 47 ~ - 50	65
	优化后	- 40	+ 21 ~ - 40	40
3	优化前	50	+ 50 ~ - 29	60
	优化后	30	+ 30 ~ - 12	40
4	优化前	- 60	+ 45 ~ - 60	65
	优化后	- 39	+ 20 ~ - 39	30

由表 2 可知,优化前后的控制参数都满足对控制系统暂态性能的要求.控制系统参数优化后,背靠背换流站的暂态性能明显改善,降低了交流侧故障对直流系统的运行造成的影响,提高了整个系统的暂态性能.

4 结论

笔者提出了遗传算法用于背靠背换流站控制系统参数优化的方法,以换流站交流侧故障为例,证明了遗传算法用于背靠背换流站控制系统参数优化的可行性和有效性.该方法克服了传统直流输电 PI 控制器试凑法的盲目性和一些仿真软件内置优化模块的局限性,能够有效地提高背靠背换流站的暂态特性,对于换流站的稳定运行具有重要意义.

参考文献:

[1] YONG J,ZHEN R,KAIJIAN O,et al. Parameter estimation of regulators in Tian-Guang HVDC transmission system based on PSCAD/ EMTDC[C]//Proceeding of 2002 International Conference on Power System Tech-

nology. Kunming,2002;538 - 541.

[2] 杨汾艳,徐政,张静. 直流输电比例 - 积分控制器的参数优化[J]. 电网技术,2006,30(11):15 - 20.

[3] 赵成勇,张一工,施惠,等. 直流输电控制系统参数优化[J]. 中国电力,1999,32(1):32 - 34.

[4] 周孝法,陈陈,宋正强,等. 基于改进 PSO 算法的 HVDC PI 控制器优化设计[J]. 高电压技术,2009,35(2):408 - 411.

[5] 胡江,魏星. 基于自适应粒子群算法的直流输电 PI 控制器参数优化[J]. 电网技术,2008,32(2):71 - 74.

[6] 康忠健,王清伟,黄磊,等. 基于遗传算法的 HVDC 整流器自抗扰控制器设计[J]. 高电压技术,2008,34(8):16 - 22.

[7] 陈蔓,陆继明,毛承雄,等. 基于遗传算法的优化控制在 VSC - HVDC 中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报,2006,18(4):19 - 23.

[8] 任震,曾坚永,张勇军. 基于遗传算法的直流输电系统中混合交流滤波器的优化设计[J]. 电网技术,2004,28(21):22 - 26.

[9] 王长明,聂建军. 基于遗传算法的二次曲面提取技术研究[J]. 郑州大学学报:理学版,2013,45(1):65 - 68.

Parameter Optimization of Control System for Back to Back Converter Station based on Genetic Algorithm

JIANG Jian-dong¹, WANG Yi¹, ZHANG Ling-juan², ZHAO Yu-hui³

(1. School of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 2. State Grid Henan Skills Training Center, Zhengzhou 450001, China; 3. China Nonferrous Metals Processing Technology Co., Ltd, Luoyang 471002, China)

Abstract: Parameters optimization of control system for back to back converter station is a effective way to improve system operating performance. This paper researches the work theory of control system, derivates mathematical model of control system mode, such as constant current mode, constant extinction angle mode, constant voltage mode and constant power mode. Choosing ITAE performance index as genetic algorithm (GA) adaptive function and the value of objective function for parameters optimization, also is the process of parameters optimization. Parameters determining method for GA is provided in this paper. Basing on this method, using Lingbao back to back converter station as an example, the results of final optimizing parameters ara given. Accodding to performance in transient process when AC side is in fault, genetic algorithm provided in parameters optimization for back tp back converter station is effective and feasible.

Key words: back to back converter station; control system; opitimization; genetic algorithm