

基于遗传算法的 HVDC 系统控制参数优化

文 波¹, 洪彬俦²

((1. 广东电网有限责任公司河源供电局, 广东 河源 517000;

2. 广东电网有限责任公司阳江供电局, 广东 阳江 529500)

摘 要: 高压直流输电技术以其大容量远距离输电、交流系统之间的异步互联、传输功率快速可控等优点在我国得到了广泛应用, 高压直流系统的控制参数直接影响到直流输电系统的运行特性, 因此对高压直流系统控制参数的优化显得尤为重要。本文以传统高压直流系统为研究对象, 以 MATLAB/SIMULINK 为仿真平台, 基于采用简单记忆法策略, 即在每代寻优结束后, 将最优个体保留在适应度最低的个体的位置方法对传统遗传算法进行改进, 并采用改进后的遗传算法对高压直流控制参数进行优化。应用 MATLAB 将遗传算法和高压直流系统模型相结合进行仿真, 通过多次迭代得到优化的控制器参数。同时, 将优化后的控制器参数与原始参数的鲁棒性进行比较, 证明了控制器参数优化的必要性以及遗传算法优化控制器参数的可行性和优越性。

关键词: 高压直流输电系统; 遗传算法; 目标函数; 参数优化

文章编号: 2096-4633(2019)01-0078-07 **中图分类号:** TM744 **文献标志码:** B

自从 1954 年瑞典 Gotland 高压直流输电 (high voltage direct current transmission, HVDC) 工程^[1-2]投入工业化以来, 经过六十多年的发展, 并有电力电子、计算机与材料等技术的助力推动, 直流输电技术越来越成熟。

我国虽然地域广袤, 但是能源分布和经济发展都存在区域不平衡的特点, 这在宏观上决定了大范围资源优化配置是必然选择^[3]。相比于交流输电技术, 直流输电技术在我国的应用相对较晚。2001 年南方电网以新投入运行的 500 kV 天生桥—广州直流输电工程为系统联络线, 成为我国第一个交直流混联运行电力系统。2010 年 7 月 8 日, 拥有完全自主知识产权的向家坝—上海 ± 800 kV 特高压直流输电 (UHVDC) 示范工程投入运行^[4]。

与交流输电相比, 直流输电可以通过调节两端换流器, 达到控制线路潮流的大小和方向的目的, 从而保持系统安全稳定、满足运行要求。在很大程度上, 控制系统决定了直流输电系统的性能, 即不同的控制策略影响系统的暂态响应特性。因此合理设计直流输电控制系统, 以及选取适当的控制参数, 不但可以改善直流输电系统本身的运行特性, 还可以利用直流输电的快速调节, 间接改善交直流混联系统中交流输电的运行性能。当前 HVDC 闭环控制系统的基本控制器都采用比例—积分 (proportional

integral, PI) 控制器, PI 控制器的参数是否合适直接影响到系统的优劣, 主要表现在动态特性和稳定性能。

对于 HVDC 系统控制策略和参数优化的研究主要包括算法和仿真。文献[5]建立具有全局最优特性的满足系统稳定性的 PI 参数可行域划分优化方法, 用于 HVDC 控制器 PI 参数优化。文献[6]提出一种基于混沌思想的粒子群优化改进算法, 避免早熟收敛陷入局部最优。文献[7]利用模糊控制针对 PI 控制器参数进行优化, 提高系统的动态性能和鲁棒性。文献[8]分别提出了利用 SIMULINK 的内置模块和采用非线性和模糊控制相结合的方式进行 HVDC 系统的 PI 控制器参数离线和在线优化。文献[9]使用仿真软件 NETOMAC, 采用目标函数进行优化, 目标函数选择直流电流之差或关断角之差的平方和。

本文针对 HVDC 控制系统, 将遗传算法 (genetic algorithm, GA) 和 MATLAB/SIMULINK 中的基于晶闸管的 12 脉冲 HVDC 系统模型相结合进行参数优化和系统仿真研究, 对优化前后系统动态性能进行对比分析, 证明了 GA 优化控制参数的可行性和有效性。

1 HVDC 系统基本原理

两端直流输电系统的原理图和主要构成如图 1

所示。两端的换流站可以作为整流站也可以作为逆变器站,即当功率反送时整流站作为逆变器运行,而逆变器站则作为整流站运行。

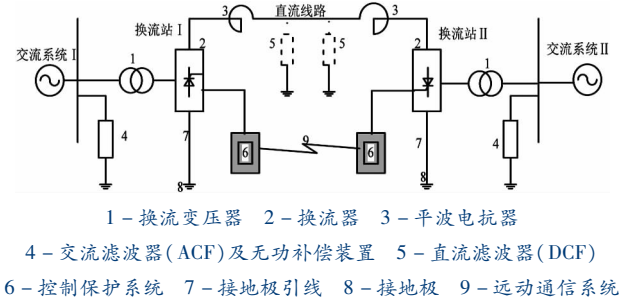


图 1 两端 HVDC 系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of HVDC system at both ends

整流器输出的直流电压表达式为:

$$V_{dr} = 1.35 \cdot B \cdot T_r \cdot E_r \cdot \cos \alpha_r - B \cdot R_{cr} \cdot I_d \quad (1)$$

其中: V_{dr} 为整流器输出的直流电压,下标 d 表示直流侧量,下标 r 表示整流器侧量,下同; B 为换流器组的桥数; T_r 为整流器侧换流变压器的变比,交流侧为 1,直流侧为 T_r ; E_r 为交流母线上的线电压; α_r 为整流器的触发延迟角(ignite delay angle); R_{cr} 为整流器每个阀桥的等效换相电阻,用来表示换相叠弧所引起的电压降; I_d 为直流线上流过的电流。

描述整流器换相的角度量还有“换相角”或“叠弧角”(overlap angle) μ 和熄弧延迟角(extinction delay angle) δ 。其中 μ 是换流器电流从一相转移到另外一相所需要的时间(称为“换相时间”或“叠弧时间”)所对应的电角度, δ 是换相完成时刻的角度, $\delta = \alpha + \mu$ 。

等效换相电阻的表达式:

$$R_c = \frac{3}{\pi} \omega L_c = \frac{3}{\pi} X_c \quad (2)$$

其中: ω 为交流系统的角频率; L_c 为每台换流变压器的等效电感; X_c 为每台换流变压器的等效电抗;对于逆变器,通常用触发超前角(ignite advance angle) β 或熄弧超前角(extinction advance angle) γ 来描述其换相角度。各个角度之间的关系如下:

$$\beta = \pi - \alpha$$

$$\gamma = \pi - \delta$$

$$\mu = \delta - \alpha = \beta - \gamma$$

逆变器的直流侧电压可用 β 和 γ 表示如下:

$$V_{di} = 1.35 \cdot B \cdot T_i \cdot E_i \cdot \cos \beta_i + B \cdot R_{ci} \cdot I_d \quad (3)$$

或:

$$V_{di} = 1.35 \cdot B \cdot T_i \cdot E_i \cdot \cos \gamma_i + B \cdot R_{ci} \cdot I_d \quad (4)$$

交流侧的电流:

$$I \approx \frac{\sqrt{6}}{\pi} I_d = 0.78 \cdot B \cdot T \cdot I_d \quad (5)$$

交流侧的功率因数

$$\cos \varphi \approx \cos \alpha - \frac{R_c \cdot I_d}{1.35 T \cdot E} \quad (6)$$

2 HVDC 控制策略

2.1 HVDC 基本控制原理

HVDC 控制系统的分层结构如图 2 所示。

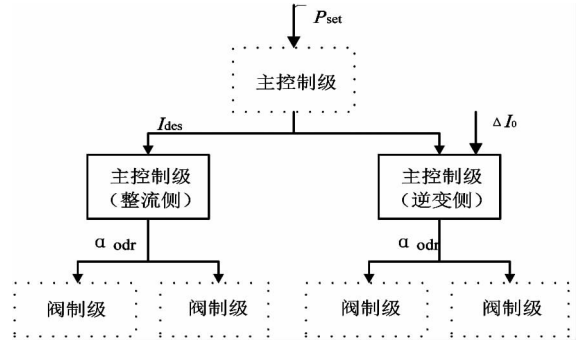


图 2 HVDC 控制系统

Fig. 2 Control system of HVDC

主控制级接受直流输送功率指令 P_{set} , 经过功率控制运算后, 发送直流电流指令 I_{des} 给极控制级; 极控制级通过控制运算发送触发角指令 α_{ord} 给阀控制级的各个阀组控制单元; 阀控制级通过锁相倍频器获得触发脉冲的同步信号, 完成以下功能: 产生满足要求的触发脉冲系列以触发晶闸管。为了使 3 个层级控制系统平稳运行, 不同控制层级在响应时间上要赋予较大的区别, 控制层次越高, 响应速度越慢。

图 3 所示为稳态运行的 HVDC 系统等值电路。

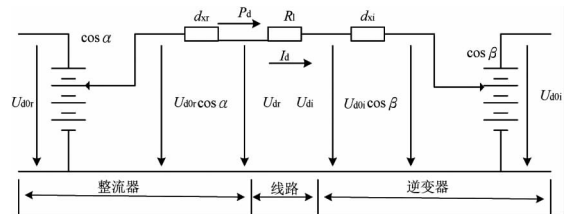


图 3 HVDC 系统等值电路

Fig. 3 Equivalent circuit of HVDC

整流侧流向逆变侧的直流电流为

$$I_d = \frac{U_{dr} \cos \alpha - U_{di} \cos \beta}{d_{xr} + R_l + d_{xi}} \quad (7)$$

整流器和逆变器的伏安特性曲线分别用公式(8)和(9)来表示。

$$U_{dr} = U_{d0r} \cos \alpha - d_{xr} I_d \quad (8)$$

$$U_{di} = U_{d0i} \cos \gamma - d_{xi} I_d = U_{d0i} \cos \beta + d_{xi} I_d \quad (9)$$

式(8)、式(9)可以看出,直流电压和直流电流由4个量决定,即直流输电系统的控制量分别是 α 、 β 、 U_{d0r} 、 U_{d0i} 。

2.2 HVDC 控制策略

HVDC 系统的整流侧控制方式^[10-12]有定电流(constant current, CC)控制、最小触发角(minimal ignition angle, MIA)控制以及用于产生电流整定值信号的低压限流(voltage dependent current order limit, VDCOL)控制。定电流控制方式主要用于HVDC 系统的整流侧。逆变侧的控制方式有定关断角(constant extinction angle, CEA)控制、定电压(constant voltage, CV)控制、定越前触发角 β 控制以及相应的控制模式选择逻辑(control mode switch, CMS)。

本文对 HVDC 系统的仿真,采用整流侧定电流、逆变侧定电压的控制方式。

3 GA 在控制参数优化的应用

3.1 遗传算法及其改进

遗传算法(GA)是一种种群型操作算法,该操作以种群中的全部个体为对象,主要求解步骤可以分为选择、交叉、变异^[13]。

GA 算法主要有4个运行参数需要提前设定,包括种群规模 M 、群体运算的终止进化代数 T 、交叉概率 P_c 、变异概率 P_m 等。种群规模按照经验一般取为20~100; T 值的经验选取范围为100~500;交叉概率 P_c 影响基因的重组概率,一般取为0.4~0.99;变异概率 P_m 的大小影响种群的多样性,控制着种群导入新型基因的比例,按照经验一般取为0.000 1~0.1。很多的实际应用证明这4个参数对求解结果和求解效率都有一定的影响,但目前还没有具体的、确定的、合理选择的理论依据^[14-16],往往需要经过多次试算。

遗传算法的一个缺点即无记忆性^[18],缺失记忆性的遗传算法很可能在中间某代就产生了一个全局最优个体,但是因为无记忆性,所以在接下来的迭代过程中被遗忘或者被遗传算子破坏了其基因型。针对此问题,本文采用一种简单的记忆策略,即每代寻优结束后,将最优个体保留在适应度最低的个体的位置,这样就可以解决遗传算法无记忆性的问题了。

3.2 HVDC 系统仿真模型

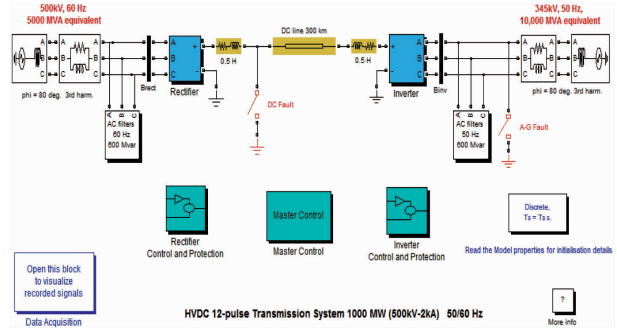


图4 HVDC 输电仿真系统

Fig. 4 Simulation system of HVDC

如图4所示,在仿真模型中,一个1 000 MW(500 kV, 2 kA)的直流输电线用来连接一个500 kV、5 000 MW、60 Hz 电网和345 kV、10 000 MVA、50 Hz 电网。整流器和逆变器是12 脉冲变换器,使用了两个串联的通用整流桥模块,如图5所示。

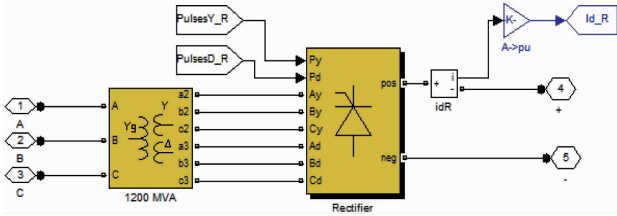


图5 换流(整流)站子系统结构

Fig. 5 Subsystem structure of rectifier station

两个变换器通过300 km的输电线和两个0.5 H的限流电抗器连接。变换器的变压器用三相变压器(三绕组)模块模拟。没有模拟变压器分接头。分接头位置相对固定,而将变换器变压器的初级绕组额定电压乘以适当的系数(整流侧乘以0.9,逆变侧乘以0.96)。

HVDC 控制和保护子系统(逆变侧)主要包括逆变器控制器、逆变器保护环节、12 脉冲触发控制环节以及 γ 角测量环节(整流侧控制器没有 γ 角测量环节,其它均相同)。输入信号(输电线电压 V_{dl} 和电流 I_d)在加到控制器之前已经归算为标么值并经过滤波器进行了滤波。

正常运行时,整流器采用定电流(CC)控制方式,逆变侧采用定电压(CV)控制方式或定关断角(CEA)控制方式。测量得到的电流值和电压值以及关断角 γ 值被送到变流器控制模块,在该模块中,三个输入信号分别与各自的参考值比较后,经过控制模式选择逻辑(CMS)输出最小触发角信号,再将最小触发角信号送入12 脉冲触发环节以产生同步

触发脉冲。

3.3 优化问题的数学模型

本文选取时间乘绝对误差积分 (integral of time multiplied by the absolute value of error, ITAE) 准则来建立遗传算法寻优的性能指标函数, 其基本表达式如 (10) 所示, 其中, t 为发生扰动的时间, $|e(t)|$ 表示控制误差的绝对值, T 表示一个时间定值, 一般取一个能保证系统稳定的足够大的时间。

$$J_{ITAE} = \int_0^T t |e(t)| dt \quad (10)$$

对于本文使用的仿真模型, 取参数 $X = [K_p, rI, K_i, rI, K_p, iV, K_i, iV]$, 分别对应 PI 控制器的整流侧和逆变侧。

设置目标函数为

$$Q_f(x) = \omega_I \int_0^T t |e_I(t)| dt + \omega_V \int_0^T t |e_V(t)| dt \quad (11)$$

其中: ω 表示每一个 ITAE 指标的权重, 下标 I 和 V 分别表示整流侧的电流和逆变侧的电压。

适应度的计算是由仿真波形计算所得, 仿真波形是一系列离散的点, 因此利用公式 4-2 的离散化形式 (4-3) 计算目标函数值。

$$Q_f(X) = \omega_I \sum_{k=1}^N t_k |e_I(t_k)| t + \omega_V \sum_{k=1}^N t_k |e_V(t_k)| t \quad (12)$$

因此, HVDC 系统控制参数优化问题的数学模型可以描述为:

$$\begin{cases} \min (Q_f(X)) \\ X \in \Omega \end{cases} \quad (13)$$

表 优化前后 PI 参数以及目标函数值比较

Tab. Comparison of PI parameters and objective function values before and after optimization

参数			优化前	优化后
整流侧	定电流控制器	K_p	45	46.6
		K_i	4500	2356.1
逆变侧	定电压控制器	K_p	35	30.2
		K_i	2250	642.0
目标函数		$Q_f(x)$	0.0130	0.0108

从上表可以看出, 目标函数值从 0.013 下降到了 0.0108, 而从图 6 可以看到目标函数值从第 43 代下降到 0.0108 之后就不再变化, 这充分说明本文所选的 ITAE 指标可以准确的反应系统的性能。

迭代 100 次的目标函数收敛曲线如图 6 所示。

其中: Ω 为每一个整定参数的取值范围。

4 算例分析

为验证上述 GA 算法的有效性, 以 MATLAB/SIMULINK 作为仿真平台, 对 SimPowerSystems/Demos/FACTS Models 目录下的 Thyristor-Based HVDC Transmission System (detailed model) 进行参数优化, 系统的结构图如图 4 所示。

系统参数如下: ① AC 电网, 整流侧为 500 kV、5000MVA、60Hz, 逆变侧为 345 kV、10000MVA、50Hz; AC 电网用带阻尼的 L-R 等效电路表示, 其中, $R_{r,i} = 26.07\Omega$ 、 $L_{r,i} = 48.86 \times 10^{-3}H$; ② 直流电路等效电阻 $R = 3.25\Omega$ 、电感 $L = 0.5H$ 、电容 $C = 2.16\mu F$ 。③ 在 AC 电网和 DC 线路之间分别连接一个限流电抗器, 阻抗 $L = 0.5H$ 。④ 仿真系统不考虑模拟变压器分接头, 分接头位置相对固定, 而将变换器变压器的初级绕组额定电压乘以适当的系数 (整流器侧乘以 0.9, 逆变器侧乘以 0.96)。

在仿真中没有模拟系统的启停阶段, 而只考虑了系统的正常运行过程。整流测定电流控制 (CC) 的电流整定值为 $I_{ref} = 1.0p.u.$ 。逆变侧定电压控制 (CV) 的电压整定值为 $U_{ref} = 1.0p.u.$, 其中电流的基准值取 2kA, 电压的基准值取 500 kV。为了测试系统的性能, 分别在 $t = 1s$ 和 $t = 1.5s$ 时改变整流侧电流整定值, 设置电流整定值首先从 1.0p.u. 变化为 0.8p.u., 然后再从 0.8p.u. 变化为 1.0p.u.。优化前后的 PI 参数和相关目标值如下表所示。

由图 7 和图 8 可知, 使用 GA 对 HVDC 系统进行控制参数优化之后, 整流侧电流的平稳性显著提高, 其最大超调量 M_p 从原来的 4.16% 下降到了 1.22%; 在保证系统平稳性的同时, 电流的快速性也略有提高, 调节时间 t_s 从原来的 0.112 s 下降到了 0.049 s; 而在逆变侧, 由于受到

整流侧电流阶跃扰动的影响,电压信号发生波动并在大约 0.1 s 后恢复稳定,优化后电压波峰值减小了 0.013 p. u. (相当于 6.5 kV),同时调节时间 t_s 也减小了 0.01 s。

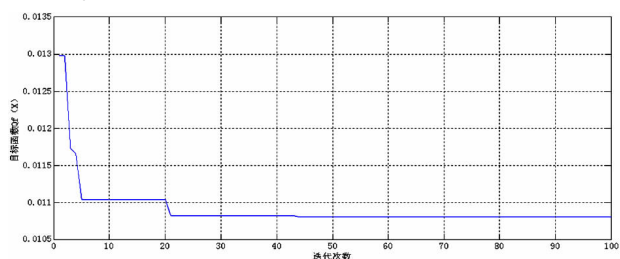


图6 目标函数 $Q_f(X)$ 收敛曲线

Fig. 6 Convergence curve of objective function $Q_f(X)$

优化前后的动态响应曲线如图7、图8所示。

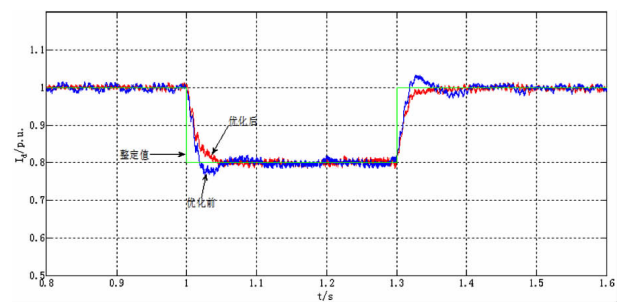


图7 整流器电流动态响应曲线(扰动为 -0.2 p. u.)

Fig. 7 Current dynamic response curve of rectifier (disturbance of -0.2 p. u.)

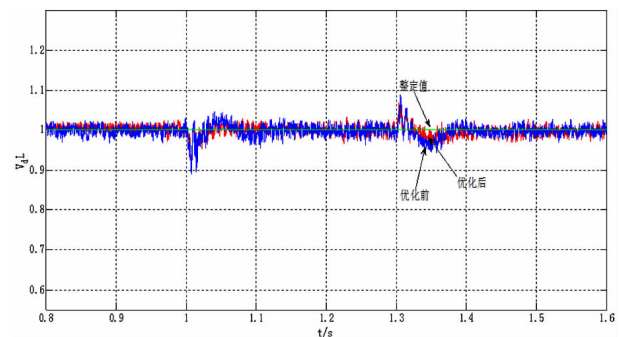


图8 逆变器电压动态响应曲线(扰动为 -0.2 p. u.)

Fig. 8 Voltage dynamic response curve of inverter (disturbance of -0.2 p. u.)

本次优化的结果充分体现了遗传算法得到的这组参数的优越性,从而证明了遗传算法在优化HVDC系统控制参数的有效性。

为了测试优化后的控制参数的鲁棒性,把原来 -0.2 p. u. 的阶跃扰动增加到 -0.4 p. u.,仿真后得到整流器电流和逆变器电压的动态响应曲线,如图9、图10所示。

从图9、图10可以看出,采用优化后的控制参

数后,整流侧电流的平稳性显著提高,恢复时间也明显减小;而且逆变侧的电压波峰值也减小,系统性能得到优化。由此可见,优化后的控制参数具有良好的鲁棒性。

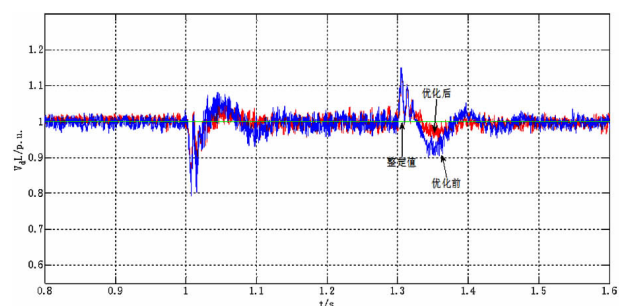


图9 整流器电流动态响应曲线(扰动为 -0.4 p. u.)

Fig. 9 Current dynamic response curve of rectifier (disturbance of -0.4 p. u.)

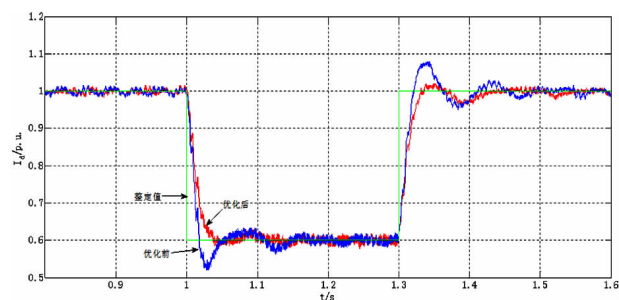


图10 逆变器电压动态响应曲线(扰动为 -0.4 p. u.)

Fig. 10 Voltage dynamic response curve of inverter (disturbance of -0.4 p. u.)

5 结论

本文利用遗传算法,结合传统HVDC系统仿真模型,设定不同扰动下整流侧电流和逆变侧电压的ITAE指标加权作为目标函数,在一定范围内对最优控制参数进行搜索,通过多次迭代得到一组最优化的控制参数,通过仿真验证了这组控制参数的有效性。

本文的主要结论如下:

PI调节器具有很好的跟踪参考值和消除稳态误差的能力,通过选择合适的比例系数和积分系数能够使系统动态性能得到改善,本文中,各控制器的 K_p 均有所增大,使得曲线振荡减小;同时各控制器的 K_i 均有所增大,即积分时间 T_i 有所减小,从波形图可以看出,曲线恢复时间 t_s 减小很多^[17-19]。

GA的搜索功能能够在一定范围内快速锁定适应度最大的个体,也就是最优参数。通过保留每一代的最优个体来解决遗传算法无记忆性的问题;在

变异算子的执行过程中通过“适应度越大,变异概率越小”的设置变异概率策略可以使种群快速的收敛。本文的仿真结果充分证明了 GA 优化 HVDC 系统控制参数的有效性。

参考文献:

- [1] 吕伟业,汪建平. 中国电力工业发展的思考—电力产业结构调整[J]. 电力建设,2002,23(11):1-8.
LV Weiye, WANG Jianping. Consideration on the development of the electric power industry in china—the adjustment of electric power industrial structure[J]. Electric Power Construction,2002,23(11):1-8.
- [2] MÒNICA ARAGÜÉS-PE NALBA, AGUSTÍ EGEEA-ÀLVAREZ, SAMUEL GALCERAN ARELLANO, et al. Droop control for loss minimization in HVDC multi-terminal transmission systems for large offshore wind farms [J]. Electric Power Systems Research. 2014,115(01):48-55.
- [3] 李兴源,曾琦,王渝红. 柔性直流输电系统控制研究综述[J]. 高电压技术,2016,42(10):3025-3037.
LI Xingyuan, ZENG Qi, WANG Yuhong, et al. Control strategies of voltage source converter based direct current transmission system [J]. High Voltage Engineering,2016,42(10):3025-3037.
- [4] 赵岩,郑斌毅,贺之渊. 南汇柔性直流输电示范工程的控制方式和运行性能[J]. 南方电网技术,2012,6(06):6-10.
ZHAO Yan, ZHENG Binyi, HE Zhiyuan. The control mode and operating performance of Nanhui VSC-HVDC demonstration project[J]. Southern Power System Technology,2012,6(06):6-10.
- [5] 周孝法,陈陈,杨帆,等. 基于自适应混沌粒子群优化算法的多馈入直流输电系统优化协调直流调制[J]. 电工技术学报,2009.24(04):193-201.
ZHOU Xiaofa, CHEN Chen, YANG Fan, et al. Optimal coordinated HVDC modulation based on adaptive chaos particle swarm optimization algorithm in multi-infeed HVDC transmission system [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2009. 24(04):193-201.
- [6] 殷自力,梁海峰,李庚银,等. 基于模糊自适应 PI 控制的柔性直流输电系统实验研究[J]. 电力自动化设备,2008,28(07):49-53.
YIN Zili, LIANG Haifeng, LI Gengyin, et al. Experimental study of VSC-HVDC under fuzzy adaptive PI control [J]. Electric Power Automation Equipment,2008,28(07):49-53.
- [7] 李天云,刘志铭,党震宇,等. 基于 SIMULINK 的 HVDC PI 控制器参数优化方法[J]. 电力自动化设备,2012,32(01):45-61.
LI Tianyun, LIU Zhiming, DANG Zhenyu, et al. Parameter optimization of HVDC PI controller based on simulink [J]. Electric Power Automation Equipment,2012,32(01):45-61.
- [8] 杨卫东,徐政,韩祯祥. 基于 NETOMAC 软件的直流输电系统混合仿真计算及参数优化[J]. 电网技术,2000,24(12):11-16.
YANG Weidong, XU Zheng, HAN Zhenxiang. NETOMAC based hybrid simulation and controller parameter optimization of HVDC systems [J]. Power System Technology,2000,24(12):11-16.
- [9] 段志芳. 高压直流输电系统滤波器与运行方式的仿真研究[D]. 太原:太原理工大学,2011.
- [10] TANG G F, HE Z Y, PANG H. R&D and application of voltage sourced converter based high voltage direct current engineering technology in China [J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy,2014,2(01):1-15.
- [11] SHARMA R, WU Q W, CHA S T, et al. Power hardware in the loop validation of fault ride through of VSC-HVDC connected offshore wind power plants [J]. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy,2014,2(01):23-29.
- [12] 何伟鹏,洪彬倬. 基于预测-校正内点法的 HVDC 交直流系统最优潮流[J]. 广东电力,2012,25(11):20-24.
HE Weipeng, HONG Binzhao. Optimal power flow of HVDC AC and DC power system based on predictor-corrector interior point method [J]. Guangdong Electric Power,2012,25(11):20-24.
- [13] 李卫,杨凇,杨祖贤. 基于大数据的供电所工作任务优化配置研究与应用[J]. 贵州电力技术,2016,19(12):45-48.
LI Wei, YANG Lin, YANG Zuxian. Study and application of optimal distribution of work tasks in the power supply station based on big data [J]. Guizhou Electric Power Technology,2016,19(12):45-48.
- [14] 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(04):19-23.
CHEN Man, LU Jiming, MAO Chengxiong, et al. Application of genetic algorithm based on optimal control in VSC-HVDC [J]. Proceedings of the CSU-EPSA,2006,18(04):19-23.
- [15] 管敏渊,徐政,屠卿卿,等. 模块化多电平换流器型直流输电的调制策略[J]. 电力系统自动化,2010,34(02):48-52.
GUAN Minyuan, XU Zheng, TU Qingrui, et al. Nearest level modulation for modular multilevel converters in HVDC transmission [J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(02):48-52.
- [16] 冯其凤,李言. 运用带有记忆库的遗传算法求解作业车间调度问题[J]. 计算机集成制造系统,2005,11(08):1142-1146.
FENG Qifeng, LI Yan. Applying genetic algorithm with memory base on solve JSP [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems,2005,11(08):1142-1146.
- [17] 杨燕,林勇,徐蔚,等. 乌东德多端直流输电对广东电网安全稳定的影响[J]. 广东电力,2017,30(11):44-50.
YANG Yan, LIN Yong, XU Wei, et al. Influence of Wudongde multi-terminal HVDC on security and stability of Guangdong power grid [J]. Guangdong Electric Power,2017,30(11):44-50.

[18] 李 健,陈 卓. 双端有源 MMC-HVDC 系统的控制策略研究[J]. 电力大数据 2018,20(07):14-21.
LI Jian,CHEN Zhuo. Research on control strategy of two-terminal MMC-HVDC supplying active networks[J]. Power systems and big data. 2018,20(07):14-21.

[19] 童凯,宣佳卓,许烽,等. 浙江电网特高压直流输电工程保护闭锁策略[J]. 浙江电力,2018,37(02):31-35.
TONG Kai, XUAN Jiazhao, XU Feng, et al. Protection locking strategy of Zhejiang UHVDC transmission project[J]. Zhejiang

Electric Power,2018,37(02):31-35.

收稿日期:2019-01-13

作者简介:



文 波(1983)男,工学硕士,工程师,主要从事电网新技术及输配电新技术的应用研究。

(本文责任编辑:范 斌)

Optimization of control parameters for HVDC transmission system based on genetic algorithm

WEN Bo¹, HONG Binzhao²

(1. Heyuan Power Supply Bureau of Guangdong Electric Power Grid Co., Ltd., Heyuan 517000 Guangdong, China;
2. Yangjiang Power Supply Bureau of Guangdong Electric Power Grid Co., Ltd., Heyuan 517000 Guangdong, China)

Abstract:High voltage direct current (HVDC) transmission system has been used widely in our country with its advantages of transmission of large amounts of power over long distance, asynchronous link between two AC system and ability to rapid control. The control parameters of HVDC system directly affect the operation characteristics of HVDC system, so it is very important to optimize the control parameters of HVDC system. In this paper, the traditional HVDC system is taken as the research object, and MATLAB/SIMULINK is used as the simulation platform. Based on the simple memory strategy, the traditional genetic algorithm is improved by keeping the optimal individual in the lowest fitness position after each generation of optimization, and the improved genetic algorithm is used to optimize the control parameters of HVDC. The genetic algorithm and HVDC system model are combined to simulate by MATLAB, and the optimal controller parameters are obtained by iteration. At the same time, the controller parameters after optimization are compared with the robustness of the original parameters, which proves the necessity of controller parameter optimization and the feasibility and superiority of genetic algorithm in optimizing controller parameters.

Key words:high voltage direct current transmission system; genetic algorithm; objective function; parameter optimization