

文章编号: 1005-0523(2006)01-0059-04

基于计算智能的高压直流输电系统自适应控制

吴磊¹, 王银乐¹, 张小宁²

(1. 华东交通大学 电子电气工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 中国石化胜利石油管理局, 山东 东营 257000)

摘要: HVDC 系统的常规控制普遍采用 PI 控制策略, 该策略是基于固定增益的稳定运行状态进行控制器设计的. 由于 HVDC 系统的响应随运行状态的变化而改变, 使得 PI 控制器的性能很难实现最优. 本文基于计算智能理论 (Computational Intelligence, CI), 将粗糙集理论与粒度计算技术相结合, 提出了一种新型的高压直流输电自适应控制器, 该控制器可根据 HVDC 系统运行参数的动态变化对增益大小进行调节, 从而使系统的控制性能得到优化, 仿真试验结果证明了这一结论.

关键词: 高压直流输电; 自适应控制; 计算智能; 粒度计算; 粗糙集

中图分类号: TM721.1

文献标识码: A

1 引言

高压直流输电系统具有强非线性、高维性和不确定性, 其运行参数随时间而动态变化. 以往有关 HVDC 控制器的研究多数是建立在线性化模型的基础上, 用特征值分析、频域分析及最优控制理论进行设计. 这些方法的缺点在于, 得到的控制器只能保证其在某一工作点附近系统的性能最优, 当系统的运行点改变或大扰动发生时, 便不能保证整个系统仍具有最优的性能, 有时甚至会使系统的性能恶化. 近年来, 人工智能领域的软计算科学发展很快, 并在电力系统中得到了应用^[1, 2]. 粗糙集理论和粒度计算方法分别产生于 20 世纪 80 年代和 90 年代, 是计算智能 (Computational Intelligence, CI) 领域的重要分支, 现已成为智能控制领域研究的热点, 主要用于工程数据处理、决策分析和规则获取等方面^[3-6]. 本文基于计算智能理论, 将粗糙集理论和粒度计算方法相结合, 用于直流控制器设计, 提出了一种基于增益调节的自适应控制策略, 与传统的

PI 控制策略相比, 它可以在更大的系统运行变化范围内使性能最优, 且不需要有精确的系统动态模型, 具有更强的鲁棒性和在线学习能力.

2 HVDC 系统模型及基于计算智能的自适应控制基本原理

本文采用 CIGRE 标准模型, 该模型是一个两端直流输电系统, 如图 1 所示. 整流和逆变侧均分别采取定电流和定电压控制, 控制保护装置包括测量环节、触发控制器和电流控制器等.

由于直流输电系统的快溯控制量只有触发控制角, 因此对于两端直流输电系统, 控制的自由度只有 2 个, 显然能被控制的变量也只有 2 个, 不可能有更多的变量能被控制. 通常要求直流输电系统按照某种功率指令运行, 因此最直接的控制模式就是定功率控制. 为了达到定功率控制的要求, 最简单的做法就是一侧控制直流电压恒定, 另一侧控制直流电流恒定. 由于整流运行和逆变运行各自的特点不同, 通常将控制直流电流恒定的任务放在整流侧, 而将控制直流电压恒定的任务放在逆变侧.

收稿日期: 2005-09-20

作者简介: 吴磊 (1975-), 男, 汉族, 山东人, 工程师, 硕士研究生, 研究方向为电力系统稳定与控制.

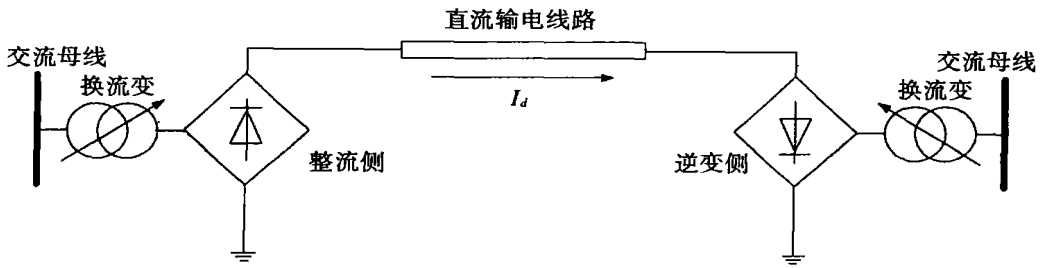


图1 CIGRE HVDC 标准模型

传统的PI 控制器通过参数 K_i 和增益 K_p 对控制器输入数据进行处理,其输出量为触发角 α ,控制系统方框图如图2所示.由于 K_i 和 K_p 为预先设置的固定值,因此PI 控制器本质上说是非时变系统.而高压直流输电系统处于一个时变的大系统中,系统的运行参数、输入扰动以及运行目标均时刻变化,由于很多指标的变化是不可预见的,很难设计出既定程序的最优时变控制器.为满足对PI 控制器参数进行调节的要求,基于计算智能领域中最新的粗糙集和粒度计算理论,提出自适应控制方案(如图3所示).简言之,系统时钟用于监测收集及粒化与预设目标对应的系统响应的超调、稳定时间及上升时间.数据粒化的结果是用于选择最优控制规律的试验值的集合,以产生具有适应性的参数 K_i 和 K_p ,所选控制规律的条件属性具有与每个构造的信息颗粒中的试验值最接近的属性值.通过选择适当的控制规律,可以实现控制参数 K_i 和 K_p 所需的百分之几的调节,从而使高压直流输电系统的运行特性最优.

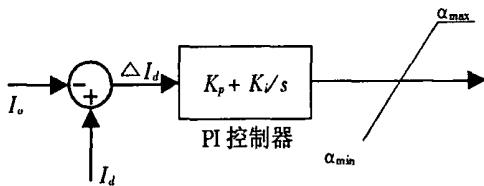


图2 PI 定电流控制器

3 仿真试验结果

在采用传统PI 控制器的系统中,在同一地点的任何时刻的阶跃响应几乎是完全一致的,即不管系统发生多少次的阶跃变化,其响应曲线具有相同的形状.而在采取了粗糙控制方案的系统中,每一次系统的阶跃变化都将导致控制参数 K_i 和 K_p 的调整,并将在下一次阶跃变化时得到应用.本文采用

Matlab 6.5 软件中的 Simulink 模块,基于 CIGRE 标准模型,进行了仿真测试.

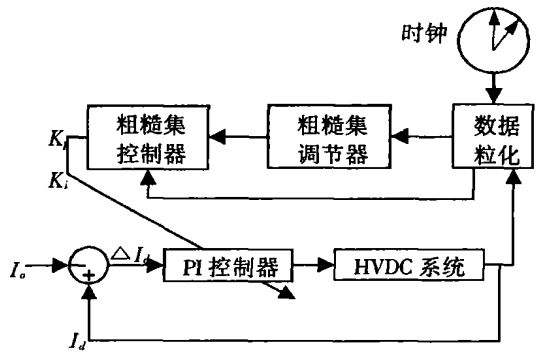


图3 自适应控制系统模型

3.1 自适应控制方案阶跃响应

图4所示为对于同一阶跃激励 $I_o = 1.0$ 时,系统阶跃响应的演变过程,表1为自适应控制各次阶跃响应指标对比,显然,在采取了自适应控制后,响应的上升时间 t_r 和稳定时间 t_s 逐次缩短,超调量逐次降低,系统的响应得到了改善.

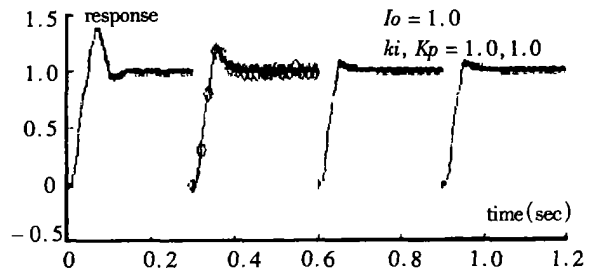


图4 系统阶跃响应的演变过程

表1 自适应控制各次阶跃响应指标对比

次数	$t_r(s)$	$t_s(s)$	超调($\%$)
1	0.0411	0.0847	43.4092
2	0.0411	0.0530	22.4579
3	0.0412	0.0294	8.5659
4	0.0412	0.0097	6.6472

3.2 自适应控制与PI 控制对比

系统阶跃变化 I_o 取为, $I_o \in \{0.8, 0.9, 1.0, 1.1,$

1.2},分别针对 I_o 的不同取值进行仿真.图5所示为 $I_o=0.8$ 及 $K_i, K_p=0.1, 0.1$ 时,传统PI控制器和自适应控制的响应曲线对比(I_o 取其它值时曲线与此类似).表2则给出了 I_o 取不同数值时,两种控制方案下阶跃响应参数对比.

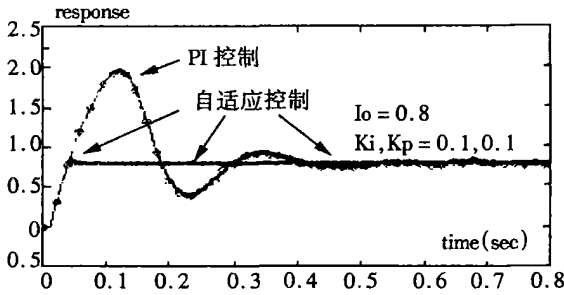


图5 $k_i, K_p = 0.1$ 时的系统响应

表2 传统PI控制与自适应控制阶跃响应指标对比 ($K_i, K_p = 0.1, 0.1$)

I_o	$t_r(s)$		$t_s(s)$		超调(%)	
	PI	自适应	PI	自适应	PI	自适应
0.8	0.0331	0.0327	0.2620	0.0110	147.3435	6.2884
0.9	0.0367	0.0366	0.4619	0.0110	128.5544	7.1543
1.0	0.0414	0.0414	0.3699	0.0097	112.6934	6.6472
1.1	0.0455	0.0450	0.4431	0.0044	100.8750	4.1055
1.2	0.0487	0.0489	0.5925	0.0120	89.7730	4.6735

图6所示为 $I_o=0.8$ 及 $K_i, K_p=1.0, 1.0$ 时,系统阶跃响应曲线(I_o 取其它值时曲线与此类似),表3为相应的两种控制方案下阶跃响应参数对比.

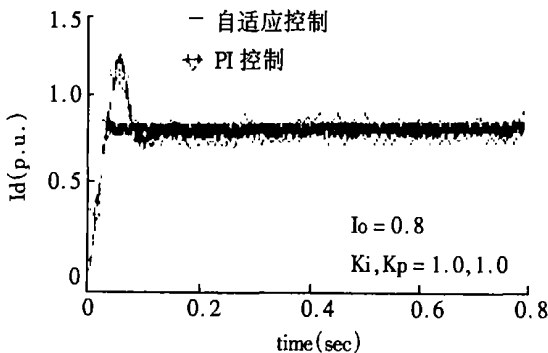


图6 $k_i, K_p = 1.0$ 时的系统响应

从试验结果看,两种方案所对应的系统阶跃响应的 t_r 基本一致,但自适应控制的 t_s 及超调指标均明显好于传统的PI控制.

表3 传统PI控制与自适应控制阶跃响应指标对比 ($K_i, K_p = 1.0, 1.0$)

I_o	$t_r(s)$		$t_s(s)$		超调(%)	
	PI	自适应	PI	自适应	PI	自适应
0.8	0.0328	0.0327	0.0825	0.0110	57.7295	6.2884
0.9	0.0367	0.0366	0.0852	0.0110	49.0133	7.1543
1.0	0.0411	0.0414	0.0847	0.0097	43.4092	6.6472
1.1	0.0449	0.0450	0.0872	0.0044	38.1051	4.1055
1.2	0.0487	0.0489	0.0897	0.0120	34.4975	4.6735

4 结论

本文提出了一个高压直流输电系统自适应控制方案,该方案是计算智能领域中两个重要组成部分:粗糙集理论和粒度计算理论的实际应用.仿真试验表明,所设计的控制器能够有效改善系统阶跃响应性能参数.通过对控制参数的自动调节作用也表明,该控制器具有学习和记忆功能,并使控制参数逐步趋于最优.对于采用了传统PI控制的系统而言,只需在控制方案中加入参数优化环节,即可改造为本文所提出的自适应控制器,投入不多,但可产生可观的经济效益,因此在工程中具有重要的现实意义.

参考文献:

- [1] 束洪春,孙向飞,于继来.粗糙集理论在电力系统中的应用[J].电力系统及其自动化,2004,28(3):90-95.
- [2] 张琦,韩祯祥,文福栓.一种基于粗糙集理论的电力系统故障诊断和警报处理新方法[J].中国电力,1998,31(4):32-35,38.
- [3] 韩祯祥,张琦,文福栓.粗糙集理论及其应用综述[J].控制理论与应用,1999,16(2):153-157.
- [4] 李道国,苗夺谦,张红云.粒度计算的理论、模型与方法[J].复旦学报,2004,43(5):837-841.
- [5] 张持健,李,张铃.商空间理论(粒度计算方法)实现高精度模糊控制[J].计算机工程与应用,2004,11:37-39,45.
- [6] 张铃,张钺.基于商空间粒度计算的系统性能分析方法[A].第四届中国 Rough 集软计算学术研讨会报告[R].舟山,2004.

Computational Intelligence Based on Adaptive Control of HVDC System

WU Lei¹, WANG Yin-le¹, ZHANG Xiao-ning²

(1. School of Electrical Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013 China; 2. Shengli Petroleum Administration Bureau, SINOPEC, Dongying 257000 China)

Abstract: A proportional integral (PI) control strategy is commonly used for constant current and extinction angle control in an HVDC system. A PI control strategy is based on a static design where the gains of a PI controller are fixed. Since the response of a HVDC plant dynamically changes with variations in the operating point, a PI controller's performance is far from optimal. The contribution of this paper is the presentation of the design of a Computational Intelligence based control scheme. Experimental results that compare the performance of the adaptive control and PI control schemes are also given.

Key words: HVDC, Adaptive control, computational intelligence, granular computing, rough sets

(上接第页 58 页)

以提高交通事故信息传递、现场急救和急救转运等方面的综合能力;逐步实现公安机关与救护中心和医疗机构同时接警、同步出动快速反应的交通事故紧急抢救联动机制,使交通事故伤员能及时、就近救治,减少交通事故的人员伤亡。

4 结束语

道路交通事故成因分析的目的在于找到道路事故产生的特点、原因及规律,以便能够采取相应的措施,做到“提前预防、事后补救”,尽可能减少交

通事故的发生,减少伤亡及经济损失,为社会主义经济的发展和社会的稳定、人们生活质量的提高创造有利的环境。

参考文献:

- [1] 秦 鸣,等.南昌市道路交通安全管理规划[R].2004.
- [2] 刘运通.道路交通安全指南[M].北京:人民交通出版社 2004.
- [3] 许洪国.道路交通事故分析与处理[M].北京:人民交通出版社 2004.
- [4] 裴玉龙.道路交通安全[M].北京:人民交通出版社 2004.

Current Situation Analysis Of Road Traffic Accident In Nanchang

LU Rong-xiu¹, MO Zhen-long², QIN Ming²

(1. School of Electrical and Electronical Information; 2. School of Civil and Arch., East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013, China)

Abstract: The article aims to present its investigation and analysis of the current situation of road traffic accident in Nanchang from 2000 to 2003 and the main causes leading to the traffic accidents, the distribution of space-time and the type of such traffic accidents by means of statistical analysis. Some road safety measures are suggested to be put forward based on the analysis of the characteristics and the regularity of the actual traffic accidents occurring in Nanchang.

Key words: traffic safety; traffic accident; character of accident; prevention measure