

[继电保护]

基于加速遗传算法的电力系统继电保护定值优化方法

文/韩晓光¹ 郭安琪²

1. 国网浙江省电力有限公司丽水供电公司; 2. 国网浙江省电力有限公司丽水市莲都区供电公司

提出基于加速遗传算法的电力系统继电保护定值优化方法研究。对原始继电保护定值优化问题进行转化, 将其抽象成一个多目标、多变量和多约束的优化求解过程, 分别以选择性、速动性、灵敏性及可靠性为基础, 构建了约束条件, 并设计了电力系统继电保护定值优化的适应度函数。

继电保护是保障电力系统安全稳定运行最为基础的装置之一, 同时也是最为重要的装置之一, 与电力系统的运行性能直接相关。但是对现阶段继电保护的定值设置方式进行分析可以发现, 在具体的离线整定计算过程中, 缺乏对于电网实时运行方式的考虑, 导致对应的定值与现有电网的运行方式存在不适配的情况。针对这一客观情况, 结合定值的实际性能表现对其进行合理优化, 成为备受关注的研究热点之一。在此基础上, 分析电力系统对继电保护定值的性能要求可以发现, 定值的合理性及保护动作的正确性是评估定值具体性能的主要执行基础。其中, 在对定值是否合理进行判定时, 主要是根据其是否满足继电保护四性实现的, 具体包括选择性、速动性、灵敏性及可靠性。选择性是指保护装置在动作状态下, 切断的关联仅为具体故障元件与电力系统之间的连接关系, 通过这样的方式能够最大限度地减少停电设备的数量。速动性是指继电保护装置做出正确动作反馈的效率。灵敏性是指继电保护装置对故障的处理能力。可靠性是指保护装置在具体的运行过程中处于正常状态。上述性能均与电力系统继电保护定值之间存在密切关系。

有研究学者提出基于量子遗传分析架构的分布式电网继电保护定值优化方法, 基于量子遗传算法

构建全局整定优化模型, 设计量子位表示法, 优化继电保护设备运行流程, 通过量子门模型动态迭代量子位染色体种群与双态解组群, 实现了分布式电网继电保护定值优化。还有研究专家针对含限流电抗器的环形直流微电网, 基于限流电抗器的高频电压特性, 设计一种对地高频电压保护方法, 对电抗器两端对地高频电压区内外故障进行识别, 选择合适的频率实现对微电网的保护。但是上述方法在实际应用中, 继电保护逐级配合动作时间波动较大, 保护动作时间较长, 降低了继电保护的工作效率。

为了解决上述不足, 本文提出基于加速遗传算法的电力系统继电保护定值优化方法研究, 并通过对比测试的方式分析验证了设计方法的应用性能。

电力系统继电保护定值优化方法设计

1. 电力系统继电保护定值优化适应度函数构建

为了能够实现对电力系统继电保护定值的合理优化, 对电力系统继电保护的运行机制进行综合分析和研究是极为必要的。对此, 本文从全局角度出发, 构建了以电力系统继电保护定值优化为核心的适应度函数。需要注意的是, 对于电力系统继电保护定值而言, 由于对其性能要求是多方面的, 参数定值设置的因素也相对较多。因此, 本文对原始继

电保护定值优化问题进行转化, 将其抽象成一个多目标、多变量和多约束的优化求解过程。在对具体电力系统继电保护定值目标进行分析可以发现, 最短化继电保护动作执行阶段的整定时间, 最高化继电保护反馈的灵敏度, 最少化不满足约束条件的数量是定值优化的核心目标。结合上述分析结果, 本文首先建立了电力系统继电保护定值优化的适应度函数, 具体可以表示为

$$f = \frac{k}{(\sum t_h(g) + a \sum t_j + b \sum t_l + c \sum t_m + d \sum t_x)} + \frac{1}{H} \sum K \frac{Z(g)}{Z'(g)} \quad (1)$$

式中, f 为电力系统继电保护定值优化的适应度参数; k 为常数参量; H 为待优化电力系统继电保护的整体定时限保护数量; g 为电力系统每个继电保护中的延时段数量; $t_h(g)$ 为电力系统中所有继电保护的延时段动作对应时间总和; $Z(g)$ 为电力系统继电保护在违反级差约束条件下, 对应惩罚时间的总和; $Z'(g)$ 为电力系统继电保护在违反潮流约束的条件下, 对应惩罚时间的总和; t_j 、 t_l 、 t_m 和 t_x 分别为表示电力系统继电保护在违反灵敏度约束、选择性约束、线路阻抗约束以及定阻抗值约束条件下, 对应惩罚时间的总和; a 、 b 、 c 、 d 为常数参量, 分别表示灵敏度约束、选择性约束、线路阻抗约束以及定阻抗值约束在电力系统继电保护运行性能中的权重参数。

结合式1所示的电力系统继电保护定值优化适应度函数可以看出, 继电保护的整体整定时间与具体的适应度值之间呈现出反比例关系, 与整定阻抗值之间呈正比例关系。其中, 继电保护整定阻抗值越大, 对应的保护灵敏度也就越高, 式1所示的适应度值也越高。但是值得注意的是, 在保护违反级差约束、潮流约束、灵敏度约束以及选择性约束的前提下, 对应的继电保护响应时间会在权重比例的作用下出现不同程度的增加, 由此带来的最直接的影响就是式(1)所示的适应度值减小。结合上述分析, 电力系统继电保护定值优化要在满足4个约束条件的同时, 使保护动作整定执行灵敏度进一步提升。

2. 基于加速遗传算法的定值优化

结合电力系统继电保护定值优化适应度函数, 本文充分考虑了优化阶段的多目标、多变量、多约

束属性特征, 在具体的优化过程中引入了遗传算法, 并结合效率要求, 为其嵌入了加速机制, 以此实现对电力系统继电保护定值的快速、合理优化。具体的实现流程如图1所示。

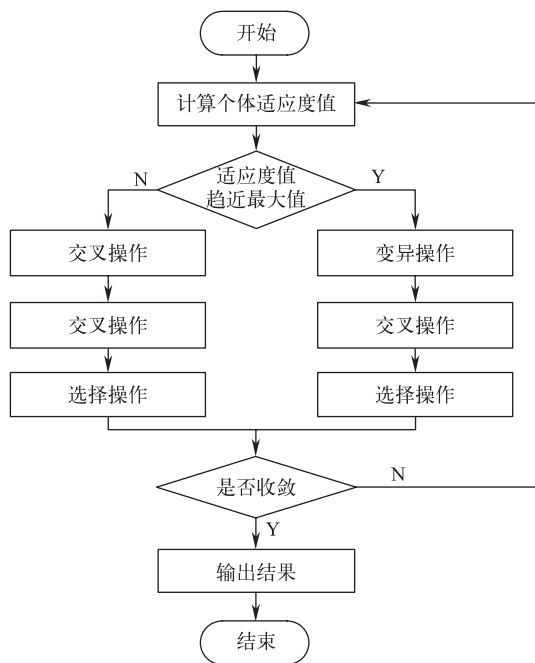


图1 基于加速遗传算法的继电保护定值优化流程

按照图1所示的方式, 首先对参与电力系统继电保护定值设置的参数进行编码处理, 并将其作为加速遗传算法的初始种群。这样的处理方式可以最大限度保障最终的优化结果能够客观反映电力系统继电保护的运行状态。在此基础上, 利用式1的适应度函数计算当前参数配置下, 对应继电保护定值的性能。一般情况下, 对于不同规模以及不同配电等级的电网环境而言, 对于电力系统继电保护性能的要求也存在一定的差异。本文在具体的优化过程中并未对该因素进行分析, 而是以当前电网可实现的最优继电保护定值作为优化的目标函数。借助这样的方式, 不仅可以降低定值优化过程中的计算量, 同时也可以保障优化结果满足实际应用需求。

在对式1的适应度值状态进行分析时, 本文采用判断条件可以表示为

$$\arcsin\left(\frac{f_{avg}}{f_{max}}\right) \geq \frac{\pi}{6} \quad (2)$$

式中, f_{avg} 为电力系统继电保护定值的适应度值参数均值; f_{max} 为电力系统继电保护定值的适应度值参数最大值。

当电网继电保护定值满足式2的判断条件时，则可判定此时种群（参与电力系统继电保护定值设置的参数）平均适应度值趋于最大值，先执行变异操作，然后执行交叉操作，最后进行选择操作。相反地，当现阶段电网继电保护定值不满足式（2）的判断条件时，则可判定此时种群（参与电力系统继电保护定值设置的参数）平均适应度值不接近最大值，先执行交叉操作，然后执行变异操作，最后进行选择操作。

按照上述所示的方式，将迭代更新后电力系统继电保护定值的适应度值不再增加时的参数，作为最后的输出结果，实现对电力系统继电保护定值的优化，最大限度保障继电保护的性得到最大限度的发挥，为电力系统的安全提供可靠保障。

测试与分析

1. 测试环境

在对本文设计的基于加速遗传算法的电力系统继电保护定值优化方法实际应用效果进行分析时，开展了对比测试。其中，参与测试的对照组分别为文献[8]提出的以量子遗传分析架构为基础的优化方法，以及文献[9]提出的以限流电抗为基础的优化方法。在具体的测试过程中，本文以相间距离保护II段作为具体的测试环境，对继电保护的II段定值进行优化设计。从瞬时配合情况进行对称测试环境的保护情况进行分析，对应的级差和灵敏度具有较高的水平，能够满足实际应用要求，但是保护和其相邻的保护瞬时、延时段配合与潮流之间存在一定的异位情况，导致继电保护在速动性方面存在进一步优化的空间。在此背景下，对继电保护定值进行合理优化成为提高其保护效果的关键。对测试环境线路的故障概率进行统计，得到的数据结果见表1。

表1 测试环境线路故障概率统计

线路编号	故障概率/（%）	线路编号	故障概率/（%）
1	20.0	8	10.0
2	5.0	9	15.0
3	5.0	10	10.0
4	10.0	11	15.0
5	10.0	12	10.0
6	10.0	13	10.0
7	5.0	14	10.0

以上述测试环境为基础，分别采用三种电力系统继电保护定值优化方法进行测试，分析不同方法下，继电保护的运行效果。

2. 测试结果与分析

在对不同方法的测试结果进行分析时，本文将故障状态下，继电保护的逐级配合动作时间作为具体的评价指标，得到的具体测试结果见表2。

表2 不同方法下逐级配合动作时间对比

保护编号	量子遗传分析架构优化方法/s	限流电抗优化方法/s	本文设计优化方法/s
1	0.4	0.6	0.4
2	0.2	0.8	0.2
3	1.6	0.6	0.4
4	1.6	1.0	1.0
5	1.2	1.2	0.6
6	0.4	0.6	0.8
7	0.6	0.6	0.4
8	0.6	0.4	1.0
9	1.2	1.0	0.2
10	0.6	1.2	0.2

结合表2所示的测试结果对三种不同电力系统继电保护定值优化方法的实际应用效果进行分析可以看出，在量子遗传分析架构优化方法下，继电保护逐级配合动作时间表现出较为明显的波动。其中，最短时间仅为0.2 s，具有较高的速动性，但是最长时间达到了1.6 s，对应的速动性明显偏低，在故障状态下诱发大规模电网异常的概率也较高。在限流电抗优化方法的测试结果中，继电保护逐级配合动作时间虽然相对稳定，但是整体水平偏高，基本处于0.6 s ~1.2 s区间范围内，表明优化方法在提升电力系统继电保护速动性方面仍存在进一步提升的空间，在实际应用阶段仍存在一定的安全隐患。相比之下，在本文设计方法的测试结果中，继电保护逐级配合动作时间始终稳定在1.0 s以内，具有较高的反馈效率，且最短动作时间仅为0.2 s，能够实现对故障状态下电力系统整体安全和运行的有效保障。

结束语

为了能够最大限度地发挥电力系统继电保护装置的作用效果，为电力设备的安全稳定运行提供保障，降低故障状态下的损失和影响，结合实际情况对电力系统继电保护定值进行合理优化是极为必要的。本文提出基于加速遗传算法的电力系统继电保

护定值优化方法研究，切实实现了提高继电保护性能的目的。借助本文对于继电保护定值优化方法的研究与设计，也希望能够为相关实际电力系统的安全管理提供有价值参考。**EA**

(收稿日期：2023-10-18)

参考文献

[1] 路峰,熊涛,李锦锦.基于多智能体系统的分布式电源配电网保护方案优化策略[J].自动化与仪器仪表,2023(8):174-177.

[2] 左宝峰,李俊,黄子堃,等.基于LVRT策略和故障谐波足迹的微电网继电保护方案[J].制造业自动化,2023,45(8):17-21.

[3] 吴双.基于粒子群方法的配电网继电保护实时整定方法研究[J].电气技术与经济,2023(6):64-66+70.

[4] 韦帅余,赵董.电气工程中电力综合自动化系统与变电站继电保护研究[J].电气技术与经济,2023(6):103-105.

[5] 张立,方洋洋.基于MATLAB/Simulink输电线路距离保护的建模与仿真分析[J].东北电力技

术,2023,44(8):1-3+31.

[6] 夏明圣.电力系统继电保护装置直流接地安全态势识别方法[J].微型电脑应用,2023,39(8):221-224.

[7] 吴宇奇,黎钊,肖澍昱,等.基于电子式电压互感器边界特性分析的35 kV配网输电线路单端暂态量保护方案及其整定[J/OL].中国电机工程学报,2023,6(6):1-18.

[8] 王洋,张永伍,杨畅,等.基于量子遗传分析架构的分布式电网继电保护定值优化方法[J].制造业自动化,2023,45(7):184-188.

[9] 霍锐成,黄文焘,余墨多,等.含限流电抗器的环形直流微电网暂态对地高频电压保护方法[J/OL].电力系统自动化,2023,7(19):1-15.

[10] 雷翔胜,王兴华,余梦泽,等.基于PSCAD的海上特高压柔性直流线路保护的故障处理方法[J/OL].计算机测量与控制,2023,7(13):1-10.

[11] 张健,于洋,郑常宝,等.基于修正余弦相似度的电力系统输电线路差动保护方法[J].安徽大学学报(自然科学版),2023,47(4):49-56.

(上接第 65 页)

(收稿日期：2024-03-18)

参考文献

[1] 张粒子,张枫,李俊,等.基于中长期优化调度的水电富集地区丰枯期省间购售电策略优化模型研究[J].水利水电技术(中英文),2021,52(07):152-166.

[2] 邓玉敏,石峰,夏清,等.跨省区水电参与现货市场的机制和交易策略[J].电网技术,2021,45(8):3190-3202.

[3] 郭洪武,赵蕊,蒲雷,等.跨省电力交易多方主体合作利益分配的修正Shapley模型研究[J].数学的实践与认识,2019,49(7):46-53.

[4] 丁毅宏,檀勤良,郑锦,等.市场交易下电力

联合外送多主体利益分配优化[J].电网与清洁能源,2021,37(11):31-38+46.

[5] 邴焕帅,康义,余雅峰.季节性水电外送曲线优化模型与算法研究[J].中国电力,2016,49(02):128-131.

[6] 崔德民,赵海兵,方燕琼,等.考虑就地消纳与外送相协调的可再生能源生产模拟[J].电力系统保护与控制,2018,46(16):112-118.

[7] 谭政宇,陈仕军,黄炜斌,等.基于四川水电调峰外送情景下的受端电网接纳空间分析[J].电网与清洁能源,2020,36(12):67-74.

[8] 纪昌明,赵亚威,张验科.促进清洁能源消纳的多网联合优化与决策模型[J].水力发电学报,2021,40(2):64-76.