

基于蚁群算法的继电保护系统可靠性分析

黄 劼 林鸿伟 黄 彦

(国网福建省电力有限公司 福州 350009)

摘 要:针对目前对变电站的继电保护可靠性评估还没有统一的标准,电网的继电保护可能会出现误操作的问题,提出了一种基于蚁群算法的继电保护系统可靠性分析方法。分析了变电站继电保护系统之后,根据变电站继电保护需要考虑的因素,将蚁群算法蚂蚁在寻找食物的过程中的最小路径遍历的思想运用在变电站继电保护的可靠性分析上,通过计算变电站各个有效节点之间的最短距离,构建可靠性分析模型。通过算例仿真,利用蚁群算法建立其模型,进行计算,验证此方法的有效性。

关键词:蚁群;继电保护;可靠性

中图分类号: TM77 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 470

Reliability analysis of relay protection system based on ant colony algorithm

Huang Jie Lin Hongwei Huang Yan

(State Grid Fujian Electric Power Co., Ltd., Fuzhou 350009, China)

Abstract: A reliability evaluation method of relay protection system based on ant colony algorithm is proposed to solve the problem that the reliability of relay protection of substation is not uniform. After analyzing the substation relay protection system, according to the factors that need to be taken into account in the substation relay protection, the ant colony algorithm is used in the reliability analysis of the substation relay protection in the process of finding the food in the process of finding the food. Building the shortest distance between the effective nodes of the substation and the reliability analysis model. Through the numerical simulation, the ant colony algorithm is used to build the model, and the validity of the method is verified.

Keywords: ant colony; relay protection; reliability

0 引 言

数字化变电站继电保护装置动作能否稳定运行以及动作是否准确,对于电力系统的稳定运行具有至关重要的影响。所以,确保电力系统的保护功能实时、准确、高效的进行,保证当前变电站的可靠运行以及促进国民经济具有重要意义^[1]。

目前,对于数字化变电站继电保护的可靠性分析,科研工作者已经做了很多研究。文献[2]对数字化变电站继电保护的构成进行了分析,并建立其信息流和拓扑结构,最后进行仿真验证其所提方法的有效性,计算出元件的可靠度;文献[3]首先对数字化变电站的电子式互感器和合并单元以及数据采集系统进行了分析,研究了数据采集系统和数据同步技术对继电保护系统的影响;文献[4]

介绍了供电系统继电保护可靠性具体实现对策,对供电系统优化起到了指导作用;文献[5]研究了继电保护对电子式互感器及通信网络的适应性,提出了变电站间电流颤动保护同步配合方案,以及对变电站继电保护动态模拟进行了测试;文献[6]分析了继电保护可靠性指标以及可靠性评估模型并求解,并对其研究进展做出了分析;文献[7]建立了继电保护系统的数学模型,并对继电保护设备的可靠性进行了计算并分析;文献[8]首先分析了数字化保护系统的构成,建立了可靠性模型评估,并应用区间理论对继电保护系统进行计算。虽然上述文献对数字化变电站继电保护有了很大研究成果,但是上述研究都还不能尽可能多的考虑变电站继电保护系统更全面的影响因素,并且每次评估都要进行一次计算,计算量大且复杂,本文提出的基于蚁群算法的继电保护系统可靠性分

收稿日期:2017-04

析,尽可能多的考虑继电保护系统的影响因素,并有效的对其进行评估。

1 数字化变电站继电保护系统

变电站继电保护能否快速、准确的动作,对确保电力系统的稳定运行具有十分重要的作用。数字化变电站继电保护系统的组成结构示意图如图1所示。

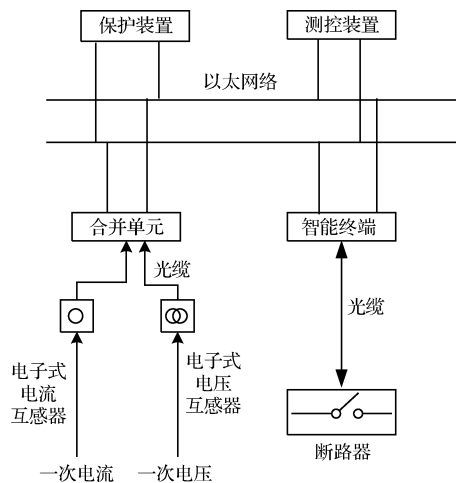


图1 数字化继电保护系统示意图

数字化变电站继电保护系统的构成主要有:非常规互感器 NCIT、智能开关设备、同步时钟源 TS、交换机 SW、合并单元 MU、传输介质 TM、互感器 MI、保护单元 PR (Protection)、智能终端 IT、断路器 BR^[9]。

上面所述的构成元素代表了数字化变电站的主要构成,但是在研究其继电保护性能的时候,应尽可能多的考虑对其可靠性具有影响的元素,比如通信介质以及各种器件的接口等等^[10]。当前我国变电站主要采用光纤通信。当通信的传输介质选择不同的时候,接在设备上的端口也是不一样的^[11]。然而通信传输介质以及不同的端口接触,都会对继电保护系统的信息传输有影响,所以在考虑继电保护影响因素的时候,应该把这两个因素考虑为影响因素^[12]。

目前我国的数字化变电站有如下优点:

1) 数字化变电站现在实现了信息数字化、通信网络化的功能,变电站中采用统一的 IEC61850 通信协议,这种通信协议使变电站更加智能化,降低了变电站的自动化系统在运行及检修时所需要的费用^[13]。

2) 数字化变电站提高了变电站的自动化水平,并且,对于各个设备,以及全站的工作情况,能够做到实时掌控,提升了变电站继电保护的灵活性^[14]。

3) 数字化变电站自动化系统对于大多数的设备和组件的都进行了建模,并且具有统一性,通过 IEC61850 的通信协议,实时进行监控,实时调度,更加方便快捷^[15]。

2 蚁群算法

2.1 蚁群算法原理

蚁群算法是对自然界蚂蚁的寻径方式进行模拟而得出的一种仿生算法,蚂蚁在运动过程中,能够在所经过的路径上留下信息素,进行信息传递^[16]。当蚂蚁碰到一个还没有走过的路口时,就随机地挑选一条路径前行,与此同时释放出与路径长度有关的信息素,路径越长,释放的激素浓度越低,当后来的蚂蚁再次碰到这个路口的时候,选择激素浓度较高路径概率就会相对较大,这样就形成了一个正反馈^[17]。最优路径上的激素浓度越来越大,而其他的路径上激素浓度却会随着时间流逝而消减,最终整个蚁群会找出最优路径^[18]。

ACO 算法与大多数基于梯度的应用优化算法不同,ACO 依靠的是概率搜索算法,具有强鲁棒性,算法实现简单等优点^[19]。

2.2 蚁群算法的数学框架

步骤 1:初始化参数;

确定蚁群规模 M ,生成 M 只蚂蚁作为初始种群 $Y(0)$;进化代数 $maxgen$;节点数 n ;第 i 条路径的适应度 fit_i ; η_{ij} 是启发式因子,反应蚂蚁由节点 i 转移到节点 j 的启发程度; τ_{ij} 是边 (i, j) 上的信息素量,初始时每条边的信息素量都相等; $\Delta\tau_{ij}^k$ 第 k 只蚂蚁在本次迭代中留在边 (i, j) 上的信息素量; ρ 信息素蒸发系数; $P_{ij}^k(t)$ 时刻 t 蚂蚁 k 由节点 i 转移到节点 j 的概率; t 为时刻。

步骤 2:计算适应度;

根据适应度函数,评价蚂蚁适应度 $fit(y)$ 。

$$fit(y) = [y_1, y_2, \dots, y_M]^T \quad (1)$$

$$y_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (O_j - T_j)^2 \quad (2)$$

式中: m 为输入数据总数, O_j 为第 j 个预测输出值, T_j 为第 j 个实际输出值。

步骤 3:根据适应度,释放信息素;

当所有蚂蚁完成一次周游后,各路径上的信息素为:

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \quad (3)$$

$$\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (4)$$

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{fit_k}, & \text{蚂蚁 } k \text{ 本次周游经过 } (i, j) \\ 0, & \text{蚂蚁 } k \text{ 本次周游不经过 } (i, j) \end{cases} \quad (5)$$

式中: Q 是正常数, fit_k 蚂蚁 k 走过路径的适应度。初始 $\tau_{ij}(0) = C, \Delta\tau_{ij}(0) = C$ 。

步骤 4:根据信息素和选择函数,选择移动;

计算转移概率 $P_{ij}^k(t)$,按轮盘赌的方式选择下一个顶点,更新禁忌表,直至遍历所有顶点一次。

$$P_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{s \in J_k(i)} [\tau_{is}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{is}(t)]^\beta}, j \in J_k(i);$$

$$P_{ij}^k = 0, j \notin J_k(i) \quad (6)$$

式中： α 是信息素相对重要程度， β 是启发式因子相对重要程度， $J_k(i)$ 是蚂蚁 k 下一步选择的节点集合。

启发式因子计算公式： $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$

步骤 5：记录本次迭代的路径，更新当前的最优路径，清空禁忌表；

步骤 6：判断。

判断是否达到预定的迭代步数，或者是否出现停滞现象。若是，算法结束，输出当前最优路径，否则，转 2 进行下一次迭代。

蚁群算法流程如图 2 所示。

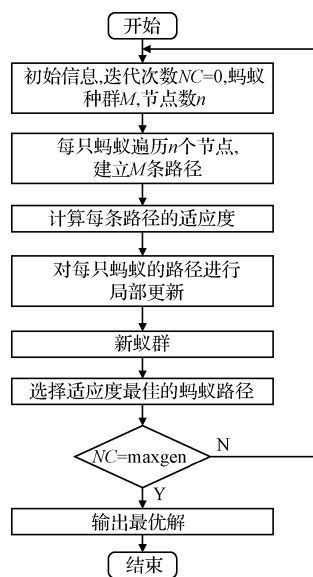


图 2 蚁群算法流程

3 蚁群算法在继电保护系统上的应用

针对数字化变电站继电保护系统的结构，以及蚁群算法中蚂蚁寻找食物的过程，可以将蚂蚁寻找食物过程中释放通过释放信息素，引导后面的蚂蚁寻找最小路径的方法，映射在继电保护的可靠性分析上面，通过求取对继电保护可靠性具有影响的因子之间的最小距离，从而计算系统的可靠性大小。基于蚁群算法的变电站继电保护系统可靠性分析，其流程如图 3 所示。

以 4 个端点的系统为例，对系统的路径进行说明，每两个端点之间的连线都属于路径，则其最小路径如图 4 所示。

采用蚁群算法的遍历各个节点，寻找最小路径的思想时，当两个端点之间有连线的时候，则判断这两个端点是有关联的，但是本文所说的变电站继电保护系统可靠性的分析，是采用蚁群优化算法遍历了所有的端点之后，寻找这些端点之间具有最小路径的一条作为期望输出，并根据最短路径的端点信息值，计算系统的可靠性。两个端点之间的路径约束标准如表 1 所示，其中忽略了不合理的端点。

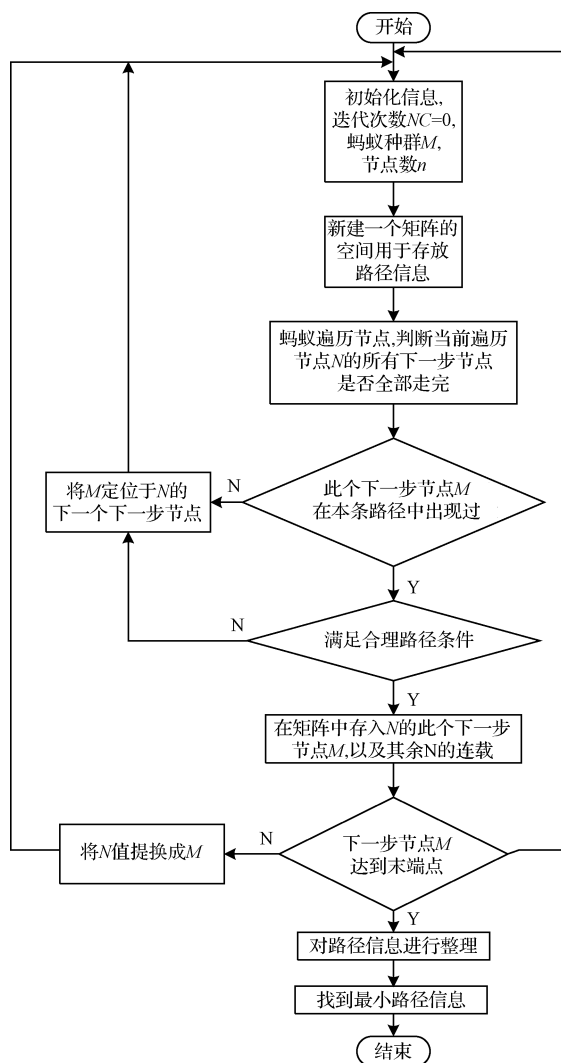


图 3 基于蚁群算法的可靠性评估流程图

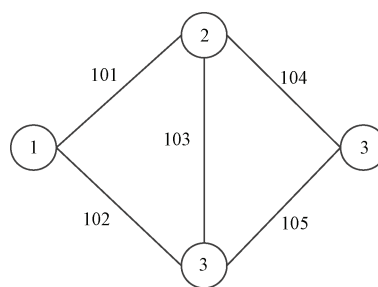


图 4 考虑连线信息的桥型系统

4 算例分析

以某 500 KV 变电站线路的继电保护可靠性系统为例进行算例仿真。其线路保护图如图 5 所示。

在这个继电保护系统当中，含有的设备有：2 个电流互感器，1 个电压互感器，3 个互感器，2 套备用保护设备^[20]。采用蚁群算法的蚂蚁寻食遍历路径的思想，求取各个端点之间的路径长度，并采用信息素的方法，获得最小的路径。

表 1 信息流的合理路径

当前节点的元件	合理的下一步节点的元件
SV 信息(从互感器开始,到保护单位结束,在寻找最短路径的过程中,若发现某个端点不满足条件,则忽略此路径)	互感器 合并单元 交换机 断路器
保护与断路器之间信息	合并单元 交换机、保护单元 智能终端
辅助保护单元与主保护单元信息	智能终端 交换机、保护单元 交换机、保护单元 保护单元 交换机
同步对时信息(起始于电子装置元件,终止于同步时钟源)	交换机、保护单元 交换机、保护单元 交换机、保护单元 合并单元(保护单元、智能终端) 交换机
	合并单元 合并单元、交换机、保护单元 交换机、保护单元 智能终端 交换机、保护单元 交换机、保护单元 交换机、保护单元 交换机、同步时钟源 交换机、同步时钟源

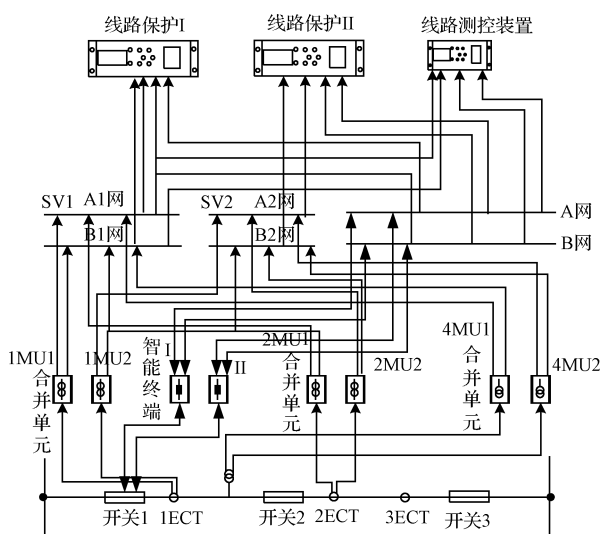


图 5 500 KV 变电站继电保护系统配置图

表 2 各元件的可靠度

节点编号	元件类型	可靠度
1	互感器	0.998 000
2	互感器	0.998 000
3	互感器	0.998 000
4	合并单元	0.996 000
5	合并单元	0.996 000
6	合并单元	0.996 000
7	合并单元	0.996 000
8	合并单元	0.996 000
9	合并单元	0.996 000
10	交换机	0.970 000
11	交换机	0.970 000
12	交换机	0.970 000
13	交换机	0.970 000
14	保护单元	0.999 000
15	保护单元	0.999 000
16	交换机	0.970 000
17	交换机	0.970 000
18	智能终端	0.997000
19	智能终端	0.997 000
20	断路器	0.990 000
21	同步时钟源	0.999 000

其中,对保护系统的设备可靠性进行计算如表 2 所示。计算的时候,假设通信线路的可靠性是 0.999 99。

经过算法的仿真,计算系统的可靠性为:0.987 604 288 089 089;计算时间:298 688 ms。

5 结论

本文分析了数字化变电站继电保护系统研究的现状,确定对变电站继电保护系统具有影响的因素,在尽可能全面的表现出系统的全部信息的情况下,采用蚁群算法建立了系统可靠性分析模型,对变电站继电保护的可靠性进行评估,计算出系统的薄弱环节。经过仿真验证,验证了其有效性,并且该算法与变电站继电保护相结合的思想,容易理解,实用性强,在日常变电站的继电保护系统中,具有很大的实用价值。

参考文献

- [1] 余锐,熊小伏,于军. 数字化变电站继电保护可靠性措施研究[J]. 四川电力技术,2009,32(2):33-36.
- [2] 王超,王慧芳,张弛,等. 数字化变电站继电保护系统的可靠性建模研究[J]. 电力系统保护与控制,2013(3):8-13.
- [3] 何瑞文,谢琼香,蔡泽祥. 数字化电气信息采集对继电保护可靠性的影响[J]. 广东工业大学学报,2013,30(2):68-73.
- [4] 谭俊. 关于数字化变电站继电保护系统可靠性的探究[J]. 通讯世界,2014(17):16-17.
- [5] 李仲青,周泽昕,黄毅,等. 数字化变电站继电保护适应性研究[J]. 电网技术,2011,35(5):210-215.
- [6] 戴志辉,王增平. 继电保护可靠性研究综述[J]. 电力系统保护与控制,2015,38(8):161-167.
- [7] 王勇. 供电系统继电保护可靠性问题探究[J]. 硅谷,2015(1):75-75.
- [8] 肖飞,吕飞鹏. 基于区间理论的数字化保护系统可靠性分析[J]. 电力系统保护与控制,2013(7):142-146.
- [9] 彭衍. 数字化变电站继电保护系统的可靠性研究[J].

- 通讯世界,2016(3):204-205.
- [10] 程妮. 提高数字化变电站继电保护系统可靠性措施分析[J]. 电子世界,2016(8):138-139.
- [11] 赖学强. 提高 110 kV 数字化变电站继电保护可靠性的措施[J]. 高科技与产业化, 2010, 6(8):73-75.
- [12] 初晓晨. 继电保护可靠性及其风险评估[J]. 中国高新技术企业, 2016(16):136-137.
- [13] 张智锐,王峰,李一泉,等. 基于秩和比综合评价法的继电保护可靠性分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2015(增刊1):90-94.
- [14] 游建宏,郑泽银. 继电保护可靠性研究综述[J]. 山东工业技术, 2016(11):190-190.
- [15] 陈大华. 继电保护可靠性及其风险评估[J]. 电子制作,2017(6):68-69.
- [16] 许川佩,刘磊振,万春霆. 基于蚁群算法的数字微流控生物芯片污染故障在线清除[J]. 电子测量与仪器学报,2017,30(2):193-199.
- [17] 刘浩然,孙美婷,李雷,等. 基于蚁群节点寻优的贝叶斯网络结构算法研究[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(1):143-150.
- [18] 梁旭,刘才慧. 基于混合粒子群算法的在线检测路径规划[J]. 国外电子测量技术,2015,34(12):30-34.
- [19] 徐浙君,陈善雄. 基于膜计算和蚁群算法的融合算法在云计算资源调度中的研究[J]. 计算机测量与控制, 2017, 25(1):127-130.
- [20] 李先妹,黄家栋,唐宝锋. 数字化变电站继电保护测试技术的分析研究[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(3):105-108.

作者简介

黄劭,1980 年出生,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向为电力系统调度自动化管理。
E-mail:3153657151@qq.com

Pickering Interfaces 推出新款高密度模块化 LXI 以太网舌簧继电器矩阵模块

近日,Pickering Interfaces 作为业内领先的模块化信号开关和电子测试与验证仿真的供应商,宣布推出新款高密度模块化 LXI 以太网舌簧继电器矩阵。新系列模块化 LXI 舌簧继电器矩阵模块(型号 65-22x)最初设计用于晶圆级和封装级半导体测试。该舌簧继电器矩阵解决方案将 Pickering 的 LXI 模块化机箱(型号 65-200)与新款插入式矩阵模块系列相结合,能够在 200 引脚的连接器的上提供所有的信号连接。这些插入式模块使用的均为 Pickering Electronics 生产的舌簧继电器,能够提供最高的性能和稳定性,以及极短的动作时间。

该系列包括 4 种型号,涵盖矩阵尺寸最大 1536×4,每 128 列为单元(型号 65-221);768×8,每 64 列为单元(型号 65-223),384×16,每 32 列为单元(型号 65-225)以及 192×32,每 32 列为单元(型号 65-227)。用户可以按照实际需求指定插入式模块的数量(最多 6 个),并且可以在必要时对机箱进行现场升级以扩展矩阵的尺寸。另一个重要的特点是

可以在特定条件下可以同时闭合超过 1 500 个继电器进行参数测试。

这些插入式矩阵还包含具有触发功能的内置扫描列表序列存储,允许用户在 LXI 仪器上设置一系列预定序列。这些序列可以通过软件触发或者通过 16 个可通过软件配置的 OC 触发 DIO 中的一个进行触发。并且这些插入式矩阵还具有用于并行测试的多总线功能的特点。

该新系列模块包含 Pickering 的内置继电器自诊断(BIRST)功能,也可以应用 eBIRST 开关系统测试工具,为在模块中查找继电器故障提供了快速简便的方法。

除了用于半导体测试以外,该新系列模块还可应用于其他一些行业,例如,汽车发动机控制单元 ECU 的功能测试。

Pickering 承诺所有产品都包含标准的 3 年质保以及长期的产品支持服务。更多相关详情可前往官方网站:www.pickeringtest.com 进行查阅了解。