

基于模拟植物生长算法的配电网故障定位

武娜, 焦彦军

(华北电力大学电气工程学院, 河北 保定 071003)

摘要: 将模拟植物生长算法应用于配电网故障定位, 提出了将开关及设备电流转化成整型变量的方法, 建立起配电网故障定位模型。对单电源辐射型配电网和中低压配电网双电源单环网的仿真实验验证了上述基于模拟植物生长算法建立的模型的正确性、有效性及高容错性。为解决配电网故障定位问题提供了一种新途径。

关键词: 模拟植物生长算法; 目标函数; 约束条件; 配电网; 故障定位

Fault location of distribution network based on plant growth simulation algorithm

WU Na, JIAO Yan-jun

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: A novel plant growth simulation algorithm is proposed for fault location of distribution network in this paper. It presents a way to transform the currents of switches and equipments into integer variables, and sets up a model for fault location of distribution network. Simulation tests of radiate distribution network of single power source and network topology of medium-voltage and low-voltage distribution networks with double power source prove the correctness, effectiveness as well as the high fault tolerance of the above plant growth simulation algorithm based model. It creates a new field for fault location of distribution network.

Key words: plant growth simulation algorithm; objective function; constraint; distribution network; fault location

中图分类号: TM711; TM76 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2009)04-0023-06

0 引言

在电力系统运行中, 配电线路担负着电能分配的重任, 容易发生故障, 而人工查找故障点又非常困难。故障定位技术可以根据线路故障时的故障特征迅速准确地进行故障定位, 不仅有利于线路及时修复, 大大减轻人工巡线的艰辛劳动, 而且对电力系统的安全稳定和经济运行有着很重要的作用^[1,2]。

迄今已提出了多种故障定位方法。较早的有统一矩阵算法、优化矩阵算法、简化过热弧搜寻算法等, 这些方法计算量大, 对配电网灵活的运行方式适应性差^[3-7]。文献[8,9]采用神经网络方法确定故障位置, 需要大量的训练, 一旦网络运行方式变化训练就会失效。文献[10]提出了一种基于遗传算法的故障定位方法, 此方法具有很高的容错性能, 提高了信息畸变时故障定位的准确性。但遗传算法需要给出诸如惩罚系数、初始染色体群、交叉率、变异率、初始粒子群等直接影响计算速度和收敛性能的参数。有关上述参数如何选取, 目前还没有一个明确的法则可供参考。

本文尝试将具有较强全局搜索能力且约束条件和目标函数分开处理的模拟植物生长算法应用于配电网故障定位问题。由于该算法是解决整数规划

的一种通用算法, 对整数规划的具体问题没有任何要求, 对于解决线性和非线性整数规划问题没有本质上的区别。与上述算法相比, 其性能更为优越。

1 模拟植物生长算法

1.1 植物向光性生长机理

植物在成长期间为获得足够的阳光进行光合作用, 总是努力向上和四周繁殖出更多的树枝, 使其与阳光接触表面积尽可能大, 从而使生长最快。

植物未分化的细胞中含有一种化学成分是生长激素, 叫做形态素。形态素的浓度决定细胞是否生长, 当形态素浓度大于零时, 树枝的节点就开始生长。当存在多个待生长的树枝节点时, 形态素浓度最大的节点优先获得生长机会。当新的生长点(细胞)产生后, 形态素浓度将根据新系统所在环境的改变而重新进行分配。

因此, 植物的整个成长过程, 就是以一种全局最优的方式尽可能长满生长空间的过程。

根据植物成长期的特征, 将植物生长步骤描述如下:

(1) 种子破土而出长出茎杆, 茎杆在一些叫做节的部位长出新枝。

(2) 在形态素浓度大于零的树枝里面选择形态

素浓度最大的树枝去生长出新的树枝。

(3) 如果仍存在形态素浓度大于零的树枝，则转向(2)。这种分枝行为反复进行。

(4) 整个植物最终由许多相似的枝节组成，植物进入成熟期。

1.2 植物生长向光性的数学模拟

下面从数学的角度对植物生长的向光性特点进行分析^[11]。

假设一棵树的树干长度为 M ，树枝长度为 m ，树干上有 K 个比树根条件好的生长点 $S_M = (S_{M1}, S_{M2}, \dots, S_{MK})$ ，对应形态素浓度为 $P_M = (P_{M1}, P_{M2}, \dots, P_{MK})$ ，树枝上有 q 个生长点 $S_m = (S_{m1}, S_{m2}, \dots, S_{mq})$ ，对应形态素浓度为 $P_m = (P_{m1}, P_{m2}, \dots, P_{mq})$ ，则树干及树枝上各生长点形态素浓度可按下式计算

$$P_{Mi} = \frac{f(x_0) - f(S_{Mi})}{\sum_{i=1}^K (f(x_0) - f(S_{Mi})) + \sum_{j=1}^q (f(x_0) - f(S_{mj}))} \quad (1)$$

$$P_{mj} = \frac{f(x_0) - f(S_{mj})}{\sum_{i=1}^K (f(x_0) - f(S_{Mi})) + \sum_{j=1}^q (f(x_0) - f(S_{mj}))} \quad (2)$$

式中： x_0 为树根所在点（初始基点）， $f(\bullet)$ 为所在点的环境信息函数（目标函数），其取值越小表示对应点的环境条件越好，有利于长出新支。式(1)和(2)的物理意义表明：各生长点形态素浓度的大小是由各点对于树根的相对位置以及该位置的环境信息来决定的，真实刻画了生长点形态素浓度值与环境条件之间的对应关系，与植物细胞的形态素浓度生成机理相一致。由式(1)和(2)可推知 $\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^q (P_{Mi} + P_{mj}) = 1$ ，因此 $K+q$ 个生长点的形态素浓度构成如图1所示的状态空间图。利用计算机产生位于区间 $[0, 1]$ 的随机数，该随机数就像向图1区间 $[0, 1]$ 上投掷的小球，小球落在 $(p_1, p_2, \dots, p_{K+q})$ 的某一个状态空间内，其对应的生长点就优先长出新枝。在新枝长成后，所有生长点的形态素浓度值都将发生变化，其计算公式是在式(1)和(2)的基础上加上新枝上生长点的相关项，并同时去掉刚生长出树枝的生长点的相关项。该过程反复进行，直至没有新枝产生为止，这时一棵大树就长成了。

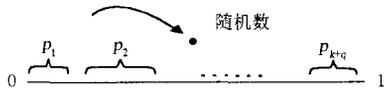


图1 形态素浓度状态空间
Fig. 1 Morphactin concentration state space

2 故障定位的模拟植物生长算法

2.1 控制变量的转型

模拟植物生长算法是应用于求解整数规划问题的。进行配电网故障定位时，以开关（进线断路器、分段开关、联络开关）为节点，以相邻开关之间的配电区域为一个独立设备，各节点状态信息由上传给主站监控系统的带时标的故障报警系统确定，各设备的状态即为模拟植物生长算法的参数。

按照算法的要求，首先将这些参数转变成相应的整型变量。

$$I_k = \begin{cases} 1 & I_k \geq I_{kdc} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

I_k 为第 k 个开关对应线路的故障电流超限信号（电流越限时为1，否则为0）； I_k 为采集到第 k 个开关对应线路的正方向故障电流， I_{kdc} 为第 k 个开关对应线路的故障电流定值；

$$x(i) = \begin{cases} 1 & \text{设备故障时} \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

$x(i)$ 为配电网中设备的期望状态，其中任意一个设备故障时其状态为1，否则为0。

2.2 单电源辐射型配电网的故障定位模型

2.2.1 目标函数

建立合适的目标函数是采用模拟植物生长算法进行配电网故障定位的关键。目标函数反映配电网故障设备和开关过流信号的关系，决定了配电网故障定位的准确度。本文构造的目标函数为

$$f(x) = \sum_{k=1}^N |I_k - I_k^*(x)| + \sum |I_l - x(l)| \quad (5)$$

式中： I_k 为第 k 个开关对应线路的故障电流超限信号， N 为开关总数； $x(l)$ 为与联络开关相连的设备或单电源辐射型网络末端设备的状态信息； I_l 为与关联设备相连的分段开关对应线路的电流超限信息； $I_k^*(x)$ 为设备状态信息确定的第 k 个分段开关的故障电流超限信息的期望值函数，即开关函数。公式中加入 $\sum |I_l - x(l)|$ 一项，目的是当一个独立配电区域末端的设备发生故障时避免误判现象。

2.2.2 开关函数^[12]

开关函数是用来确定各开关状态信息的函数。假设单电源辐射型配电网中有 N 个分段开关， Z_1, Z_2, \dots, Z_N 是配电网中的设备， $x(k)$ 为配电网中第 k ($k=1, 2, \dots, N$) 个设备的状态信息（均以进线断路器作为第一个设备，其状态信息为 $x(1)$ ），

参照公式 (4) 定义的变量, 得到其开关函数为

$$I_k^*(x) = [1 - \sum_{p=1}^N x(p)] \vee_{q=k+1}^N x(q) \quad (6)$$

式中: \vee 表示逻辑或。

下面以 5 分段单电源辐射型配电网为例说明上述公式, 配电网见图 2。图中: CB_1 为进线断路器; S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 为分段开关; Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 和 Z_5 是配电网中的设备。为获得开关的过流信息, 每个开关均配置有 FTU。当设备 Z_5 发生故障时, 故障电流流过 CB_1 、 S_1 、 S_2 、 S_3 和 S_4 ; 当设备 Z_4 发生故障时, 故障电流流过 CB_1 、 S_1 、 S_2 和 S_3 ; 当设备 Z_3 发生故障时, 故障电流流过 CB_1 、 S_1 和 S_2 , 其余设备发生故障的情况以此类推。

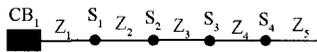


图2 单电源辐射型配电网

Fig. 2 Radiate distribution network of single power source

设备和设备状态的对照关系如表1所示。

表1 设备和设备状态对照关系

Tab. 1 Comparison relations of equipment and its condition

设备	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
设备状态	$x(1)$	$x(2)$	$x(3)$	$x(4)$	$x(5)$

得到开关函数如下

$$I_{CB_1}^*(x) = [1 - x(2) - x(3) - x(4) - x(5)] \vee x(2) \vee x(3) \vee x(4) \vee x(5) \quad (7)$$

$$I_{S_1}^*(x) = [1 - x(1) - x(3) - x(4) - x(5)] \vee x(3) \vee x(4) \vee x(5) \quad (8)$$

$$I_{S_2}^*(x) = [1 - x(1) - x(2) - x(4) - x(5)] \vee x(4) \vee x(5) \quad (9)$$

$$I_{S_3}^*(x) = [1 - x(1) - x(2) - x(3) - x(5)] \vee x(5) \quad (10)$$

$$I_{S_4}^*(x) = 1 - x(1) - x(2) - x(3) - x(4) \quad (11)$$

2.2.3 约束条件

模拟植物生长算法不需要将约束条件以罚函数的方式并入目标函数。

本文对约束条件的处理除了要满足潜在等式约束条件 (开关函数) 外, 还应满足以下条件:

$$(1) 0 \leq x(i) \leq 1 \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

$$(2) \sum_{i=1}^N x(i) = 1$$

其中: $x(i)$ 为配电网中第 i 个设备的状态信息。

利用算法求出的最优解即为满足上述约束条件解的集合和使目标函数最小的解的集合的交集。

如果求出故障设备对应解同时满足开关函数要求, $\sum_{i=1}^N x(i) = 1$ 和目标函数达到最小值, 则该设备即为最佳逼近由配电线路馈线终端单元 FTU (feeder terminal unit) 或远程终端单元 RTU (remote terminal unit) 上报的各个分段开关的电流越限信息的故障设备。

2.3 环网开环运行配电网故障定位数学模型

对环网开环运行的配电网进行故障定位时, 一般采取区域划分的思想。以配电网中各个联络开关为界, 以进线断路器为一个独立配电区域的标志, 将配电网化为多个单电源辐射型配电网, 按照上述故障定位方法分别对各个配电区域进行故障定位。以下举例说明。

中低压配电网双电源单环网的拓扑结构见图3。以联络开关 S_L 为分界, 以进线断路器 S_1 和 S_8 为起点, 将图3分为两个独立的配电区域A和B。为将A和B统一在一个数学模型中, 对两个独立区域的分段开关和设备分别进行统一编号: $S_1 \sim S_8$ 为分段开关 (不包含联络开关); $Z_1 \sim Z_8$ 为设备。按照公式 (5) 和 (6) 目标函数和开关函数的确定方法, 分别建立独立配电区域A和B的目标函数和开关函数, 之后建立环网开环运行的配电网故障定位的统一数学模型。

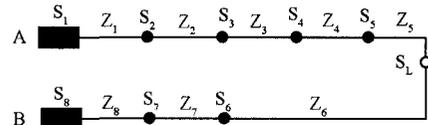


图3 中低压配电网双电源单环网

Fig. 3 Network topology of medium-voltage and low-voltage distribution networks with double power source

假定图3中设备 Z_i ($i = 1, 2, \dots, 8$) 的状态信息为 $x(i)$ ($i = 1, 2, \dots, 8$), 得到独立配电区域A和B的开关函数为:

$$I_{S_1}^*(x) = [1 - x(2) - x(3) - x(4) - x(5)] \vee x(2) \vee x(3) \vee x(4) \vee x(5) \quad (12)$$

$$I_{S_2}^*(x) = [1 - x(1) - x(3) - x(4) - x(5)] \vee x(3) \vee x(4) \vee x(5) \quad (13)$$

$$I_{S_3}^*(x) = [1 - x(1) - x(2) - x(4) - x(5)] \vee x(4) \vee x(5) \quad (14)$$

$$I_{S_4}^*(x) = [1 - x(1) - x(2) - x(3) - x(5)] \vee x(5) \quad (15)$$

$$I_{S_5}^*(x) = 1 - x(1) - x(2) - x(3) - x(4) \quad (16)$$

$$I_{S_6}^*(x) = 1 - x(7) - x(8) \quad (17)$$

$$I_{S_7}^*(x) = [1 - x(6) - x(8)] \vee x(6) \quad (18)$$

$$I_{S_8}^*(x) = [1 - x(6) - x(7)] \vee x(6) \vee x(7) \quad (19)$$

独立配电区域A和B的目标函数分别为

$$f_A(x) = \sum_{i=1}^5 |I_i - I_{S_i}^*(x)| + \sum |I_5 - x(5)| \quad (20)$$

$$f(x) = \sum |I - I(x)| + \sum |I - x(6)| \quad (21)$$

本文建立适用于环网开环运行的配电网故障定位的统一适应度函数为

$$f(x) = K_A f_A(x) + K_B f_B(x) \quad (22)$$

式中： K_A 和 K_B 为权重因子。当独立配电区域A发生故障时， $K_A=1$ ，否则 $K_A=0$ ；当独立配电区域B发生故障时， $K_B=1$ ，否则 $K_B=0$ 。

2.4 算法流程

进行配电网故障定位时，求解配电网故障定位数学模型最优解的过程就是找出最能解释所有上传的RTU或FTU信息的一个假设的故障设备的过程。

基于模拟植物生长算法的故障定位流程如图4所示。

(1) 输入计算所需的原始数据，即 I_k ($k=1, \dots, N$) 的值。

(2) 确定初始基点 X^0 ，计算各个 $I_k^*(x)$ ($k=1, \dots, N$) 的值，并校验是否满足约束条件。如不满足，则修改初始值 X^0 ，重新计算各个 $I_k^*(x)$ ($k=1, \dots, N$) 的值；如满足，则求出目标函数初值 $f(X^0)$ ，令 $X_{\min} = X^0$ ， $f_{\min} = f(X^0)$ 。其中 $X^0 = [x(1)^0, x(2)^0, \dots, x(N)^0]^T$ 为向量形式的决策变量初始值(即输入各个设备的初始状态信息 $x(m)$ ，其中 ($m=1, \dots, N$)， f_{\min} 为目标函数的最小值)。

(3) 过 X^0 点做平行坐标轴且满足 $A \leq X \leq B$ 的直线段；以 X^0 为中心，以 $\lambda=1$ 为步长，沿坐标轴的正负方向在各直线段寻找满足约束条件的生长点，求出对应的目标函数值并与 $f(X^0)$ 进行比较，将目标函数值小于 $f(X^0)$ 的生长点放入生长点集内。其中 $A = [0, 0, 0, \dots, 0]^T$ 为各决策变量的下限向量； $B = [1, 1, \dots, 1]^T$ 为各决策变量的上限向量，即各个设备状态构成的向量。

(4) 求出 (3) 所得各生长点中的目标函数值最小者，该值如小于 f_{\min} ，则置换 X_{\min} 及 f_{\min} 。

(5) 判断是否满足收敛条件，本文采用 f_{\min} 的值连续重复出现的次数作为收敛判据，如达到规定的次数，计算结束；否则，进行下一步。

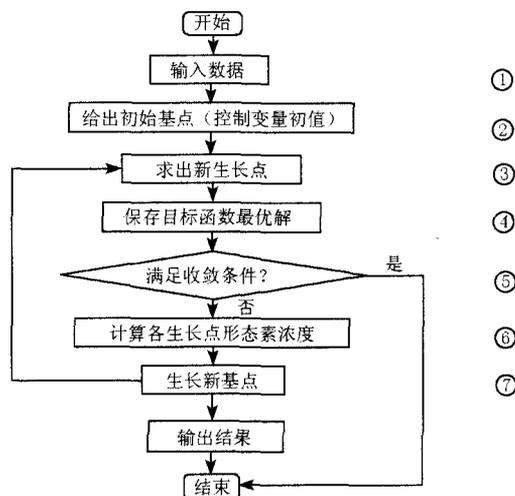


图4 基于模拟植物生长算法的故障定位流程

Fig. 4 Flow chart of fault location based on plant growth simulation algorithm

(6) 根据公式 (1), (2) 所示方法计算生长点集内所有生长点的形态素浓度。

(7) 在区间 $[0, 1]$ 上任选一个随机数 β ，落入图1所示形态素浓度状态空间中的某一区间， β 所落区间对应的生长点即为下一次循环的新基点 X^1 。

3 算例分析

以配电网发生单一故障为前提，采用本文的模型利用模拟植物生长算法分别对单电源辐射型配电网和环网开环运行的配电网进行仿真分析。

算例1，以图2所示单电源配电网发生故障为例进行分析。其目标函数为

$$f(x) = |I_{CB1} - I_{CB1}^*(x)| + |I_{S1} - I_{S1}^*(x)| + |I_{S2} - I_{S2}^*(x)| + |I_{S3} - I_{S3}^*(x)| + |I_{S4} - I_{S4}^*(x)| + |I_{S4} - x(5)|$$

表2是图2各个断路器和分段开关的电流越限信息，计算结果见表3。

表2 算例1开关电流越限信息

Tab.2 Off-limit information of the switch for example 1

线路开关	I_{CB1}	I_{S1}	I_{S2}	I_{S3}	I_{S4}
信号未发生畸变时 开关电流越限信息	1	1	1	1	1
信号发生畸变时开 关电流越限信息	1	1	1	0	1

表3 算例1分析结果

Tab.3 The results of example 1

线路设备	$x(1)$	$x(2)$	$x(3)$	$x(4)$	$x(5)$
信号未发生畸变时线 路设备状态	0	0	0	0	1
信号发生畸变时线 路设备状态	0	0	0	0	1

算例2, 以图3所示中低压配电网双电源单环网发生故障为例进行分析。

表4是图3中A和B之一发生单一故障各个断路器和分段开关的电流超限信息, 计算结果见表5。

表6是图3中A和B同时发生单一故障各个断路器和分段开关的电流超限信息, 计算结果见表7。

表4 算例2中A和B之一发生单一故障开关电流超限信息

Tab.4 Off-limit information of the switch for a single failure which happens in distribution area A or B in example 2

线路开关	I_{S1}	I_{S2}	I_{S3}	I_{S4}	I_{S5}	I_{S6}	I_{S7}	I_{S8}
信号未发生畸变时开关电流超限信息	0	0	0	0	0	1	1	1
信号发生畸变时开关电流超限信息	0	0	0	0	0	1	0	1

表5 算例2中A和B之一发生单一故障分析结果

Tab.5 The results of a single failure which happens in distribution area A or B in example 2

线路设备	$x(1)$	$x(2)$	$x(3)$	$x(4)$	$x(5)$	$x(6)$	$x(7)$	$x(8)$
信号未发生畸变时线路设备状态	0	0	0	0	0	1	0	0
信号发生畸变时线路设备状态	0	0	0	0	0	1	0	0

表6 算例2中A和B同时发生单一故障开关电流超限信息

Tab.6 Off-limit information of the switch for a single failure which happens in distribution area A and B in example 2

线路开关	I_{S1}	I_{S2}	I_{S3}	I_{S4}	I_{S5}	I_{S6}	I_{S7}	I_{S8}
信号未发生畸变时开关电流超限信息	1	1	1	1	0	1	1	1
信号发生畸变时开关电流超限信息	1	1	1	1	0	1	1	0

表7 算例2中A和B同时发生单一故障分析结果

Tab.7 The results of a single failure which happens in distribution area A and B in example 2

线路设备	$x(1)$	$x(2)$	$x(3)$	$x(4)$	$x(5)$	$x(6)$	$x(7)$	$x(8)$
信号未发生畸变时线路设备状态	0	0	0	1	0	1	0	0
信号发生畸变时线路设备状态	0	0	0	1	0	1	0	0

4 结论

本文成功地将模拟植物生长算法应用于求解配电网故障定位问题。理论分析及算例结果表明, 与以往其他算法相比, 运用模拟植物生长算法具有以下优点:

(1) 模拟植物生长算法将目标函数和约束条件分开处理, 且无需编码和解码, 避免了构造新的计算用目标函数, 也不存在其他系数选取等问题, 解的稳定性好。

(2) 该算法原理简单, 很容易通过编程实现, 能够快速得到非线性整数规划问题的最优解。

(3) 由算例1和算例2的仿真结果可知, 该算法应用于配电网故障定位问题的求解时具有很高的容错性。提高了信息畸变时故障定位的准确性。

参考文献

- [1] 郭俊宏, 谭伟璞, 等. 电力系统故障定位原理综述[J]. 继电器, 2006, 34(3): 76-81.
GUO Jun-hong, TAN Wei-pu, et al. Summary on Fault Location Principle in Power System[J]. Relay, 2006, 34(3): 76-81.
- [2] 段承先. 电力系统输电线路故障定位的算法研究[J]. 华北工学院学报, 2001, 22(2): 150-152.
DUAN Cheng-xian. Study on Algorithm of Fault—locating for Power Line[J]. Journal of North China Institute of Technology, 2001, 22(2): 150-152.
- [3] 朱发国, 孙德胜, 姚玉斌, 等. 基于现场监控终端的线路故障定位优化矩阵算法[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(15): 42-44.
ZHU Fa-guo, SUN De-sheng, YAO Yu-bin, et al. Optimized Matrix Arithmetic of Line Fault Location Based on Field Terminal Unit[J]. Automation of Electric Power Systems, 2000, 24(15): 42-44.
- [4] 刘健, 倪建立, 杜宇, 等. 配电网故障区段判断和隔离的统一矩阵算法[J]. 电力系统自动化, 1999, 23(1): 31-33.
LIU Jian, NI Jian-li, DU Yu, et al. The Unified Matrix Algorithm for Fault Selection Detection and Isolation in Distribution System[J]. Automation of Electric Power Systems, 1999, 23(1): 31-33.
- [5] 蒋秀洁, 吴耀武, 等. 改进矩阵算法及其在配电网故障定位中的应用[J]. 电网技术, 2004, 28(19): 60-63.
JIANG Xiu-jie, WU Yao-wu, et al. Improved Matrix Algorithm and Its Application in Fault Location of Distribution Network[J]. Power System Technology, 2004, 28(19): 60-63.
- [6] 王飞, 孙莹. 配电网故障定位的改进矩阵算法[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(12): 45-46.
WANG Fei, SUN Ying. An Improved Matrix Algorithm for Fault Location in Distribution Network of Power Systems[J]. Automation of Electric Power Systems,

- 2003, 27(12): 45-46.
- [7] 刘伟, 郭志忠. 配电网故障区间判断的新型矩阵算法[J]. 电力系统自动化, 2002, 26(18): 21-24.
LIU Wei, GUO Zhi-zhong. A New Algorithm for the Fault Sections Detection in Distribution System[J]. Automation of Electric Power Systems, 2002, 26(18): 21-24.
- [8] 毕天姝, 倪以信, 等. 基于新型神经网络的电网故障诊断方法[J]. 中国电机工程学报, 2002, 22(2): 73-78.
BI Tian-zhu, NI Yi-xin, et al. A Novel Neural Network Approach for Fault Section Estimation[J]. Proceedings of the CSEE, 2002, 22(2): 73-78.
- [9] Oyama T. Fault Section Estimation in Power System Using Boltzmann Machine[A]. In: Proc. of Second Forum on Artificial Neural Network Applications to Power Systems[C]. Japan:1993.
- [10] 杨伟, 刘娅琳, 吴军基. 基于改进遗传算法的配电网故障诊断[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版), 2005, 20(2): 25-30.
YANG Wei, LIU Ya-lin, WU Jun-ji. Fault Diagnosis of Distribution Network Based on Genetical Algorithm[J]. Journal of Changsha University of Electric Power (Natural Science), 2005, 20(2): 25-30.
- [11] 李彤, 王春峰, 王文波, 等. 求解整数规划的一种仿生类全局优化算法[J]. 系统工程理论与实践, 2005, (1): 76-85.
LI Tong, WANG Chun-feng, WANG Wen-bo, et al. A Global Optimization Bionics Algorithm for Solving Integer Programming[J]. System Engineering Theory and Practice, 2005, (1): 76-85.
- [12] 杜红卫, 孙雅明, 等. 基于遗传算法的配电网故障定位和隔离[J]. 电网技术, 2000, 24(5): 52-55.
DU Hong-wei, SUN Ya-ming, et al. Fault Section Diagnosis and Isolation of Distribution Networks Based on Genetic Algorithm[J]. Power System Technology, 2000, 25(5): 52-55.

收稿日期: 2008-04-17; 修回日期: 2008-05-30

作者简介:

武娜(1983-), 女, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护研究工作; E-mail:wuna1005y@sina.com

焦彦军(1966-), 男, 博士, 副教授, 从事电力系统继电保护教学与科研工作。

(上接第8页 continued from page 8)

- [15] Noor M A, Noor K I. Three-step Iterative Methods for Nonlinear Equations[J]. Applied Mathematics and Computation, 2006, 183(1): 322-327.
- [16] Chun C. Iterative Methods Improving Newton's Method by the Decomposition Method[J]. Computer & Mathematics with Applications, 2005, 50: 1559-1568.
- [17] Darvishi M T, Barati A. A Third-order Newton-type Method to Solve Systems of Nonlinear Equations[J]. Applied Mathematics and Computation, 2007, 187(2): 630-635.
- [18] Weerakoon S, Fernando T G I. A Variant of Newton's Method with Accelerated Third-order Convergence[J]. Applied Mathematics Letters, 2000, 13(8): 87-93.
- [19] Frontini M, Sormani E. Some Variants of Newton's Method with Third-order Convergence[J]. Applied Mathematics and Computation, 2003, 140(2): 419-426.
- [20] Özban A Y. Some New Variants of Newton's Method[J]. Applied Mathematics Letters, 2004, 17(6): 677-682.
- [21] Homerier H H H. A Modified Newton's Method for Rootfinding with Cubic Convergence[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2003, 157(1): 227-230.
- [22] Homerier H H H. A Modified Newton's Method with Cubic Convergence: the Multivariate Case[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2004, 169(1): 161-169.
- [23] Frontini M, Sormani E. Third-order Method from Quadrature Formulae for Solving Systems of Nonlinear Equations[J]. Applied Mathematics and Computation, 2004, 149(3): 771-782.
- [24] Homerier H H H. On Newton-type Methods with Cubic Convergence[J]. Journal of Computational and Applied Mathematics, 2005, 176(2): 425-432.
- [25] Kou Ji-sheng, Li Yi-tian, Wang Xiu-hua. A Modification of Newton Method with Third-order Convergence[J]. Applied Mathematics and Computation, 2006, 181(2): 1106-1111.

收稿日期: 2008-04-16; 修回日期: 2008-11-16

作者简介:

孙志媛(1982-), 女, 工学硕士, 助理工程师, 从事电力系统分析与计算工作; E-mail: yalulu_1983@163.com

孙艳(1979-), 男, 博士研究生, 研究方向为电力系统分析与计算;

宁文辉(1970-), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电力系统分析与计算。