

农村中压配电网的无功优化规划

胡彩娥 郭喜庆

(中国农业大学 信息与电气工程学院,北京 100083)

摘要 考虑最大负荷、一般负荷和最小负荷 3 种运行方式,把农村配电网无功补偿优化问题分解为投资规划子问题和运行规划子问题;建立了投资规划数学模型和运行规划数学模型。用遗传算法对 69 节点及 10 kV 实际线路进行了优化计算,结果优于线性规划方法。

关键词 农村配电网;无功优化;遗传算法

中图分类号 TM 714

文章编号 1007-4333(2003)02-0035-04

文献标识码 A

Reactive power optimization for rural medium sized distribution network

Hu Cai'e, Guo Xiqing

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract Based on three different load operation conditions —light, normal and heavy, the proposed solution methodology can be used to decompose the problem of distribution reactive power planning into a investment planning problem and a operating planning problem. The mathematical model of optimal reactive power planning on rural power distribution network has been established. Genetic algorithm was applied to solve the 69 node system and practical system, the result is better than linear programming.

Key words rural power distribution network; reactive power optimization; genetic algorithm

我国农村配电网无功补偿普遍存在的问题是功率因数偏低,无功配置不够合理。目前我国农村配电网功率因数仅为 0.5~0.7;线损率较高,1990 年全国农村电网综合线损率为 31.6%;电压质量差,低压线路末端线电压最低只有 280 V 左右,电压偏差低达 -26%,甚至更为严重;无功补偿重高压,轻低压,且低压无功补偿装置由于种种原因投运率不高,而我国农网的无功负荷主要在低压侧。国内对农村配电网无功优化规划的研究尚较少,故笔者对此进行了研究。

目前变压器的分接头、并联电容器组的投切是离散的整数值,传统的数学优化算法如线性规划法,假设求解函数具有连续性和可导性,是连续优化算法,故无法获得符合电力系统需要的整数解。现代优化算法如遗传算法^[1~4],能以较大概率找到全局最优解,不要求目标函数可导或连续,适合解决配

网无功优化问题,因此笔者采用遗传算法进行求解。

1 配电网的数学模型

由于配电网线路多、负荷点多、接线复杂,在配电网潮流计算和网损计算时,多采用经过简化的等值模型,如等值电阻模型、概率统计模型和等值阻抗模型等。它们的共同缺点是无法显示配电网的实际接线图,因此无法计算各节点和支路的运行参数。本文中建立的配电网的数学模型能够完全反映配电网拓扑结构。

首先做如下规定:

- 1) 电源点作为 0 号节点,按升序对配电网节点进行编号;
- 2) 每条支路的编号与该支路终止节点编号一致。

按照上述规定建立节点支路的关联矩阵 E ,行

收稿日期:2002-07-05

作者简介:胡彩娥,博士研究生,主要从事电力系统运行、调度与控制的研究。

郭喜庆,商丽,张玉才.中国农村低压电网优化研究报告.北京农业工程大学科学技术报告,1992.7.

号为节点号,列号为支路号。当节点 i 的负荷电流流经支路 j 时, $E(i, j) = 1$; 否则, $E(i, j) = 0$ 。 E 精确地反映了配电网的拓扑结构。

2 配电网无功补偿优化规划的数学模型

根据农村配电网的负荷特点,分为最大负荷、一般负荷和最小负荷 3 种运行方式。在建立无功优化规划的数学模型时,考虑了新增无功补偿设备对不同负荷运行方式的影响。最大负荷时考虑与新增无功补偿设备有关的年费用,包括无功补偿设备的年平均投资额和电力系统的运行费用;一般负荷及最小负荷时仅考虑运行费用。这样无功优化规划模型就可分解为投资规划和运行规划子模型。

对这 2 个子模型分别进行求解。投资规划模型可以确定最大负荷运行方式的无功补偿容量,运行规划模型可以确定一般负荷和最小负荷运行方式的无功补偿容量,从而可以确定无功补偿的分组。

2.1 无功补偿设备的年平均投资额

考虑到农村配电网的实际情况和并联电容器的特点,选择并联电容器作为配电网无功补偿设备,其投资额

$$f = f_u \sum_{i=1}^m Q_{k_i}$$

式中:

- f_u ——单位补偿设备的投资额,元/(kV·A);
- m ——无功补偿节点数;
- Q_{k_i} ——节点 k_i 的无功补偿容量,kV·A。

无功补偿设备的年平均投资额

$$f_a = f_u r \sum_{i=1}^m Q_{k_i}$$

式中 r 为无功补偿设备的投资年回收因数。

2.2 电能损失费用

电能损失费用取决于系统的网损和电价等因素,在工程计算中常采用最大负荷损耗时间法进行计算。全年的电能损失可表示为

$$W = P_{\max} t_{\max} + P_{\text{nor}} t_{\text{nor}} + P_{\min} t_{\min}$$

式中:

$P_{\max}, P_{\text{nor}}, P_{\min}$ ——分别为无功补偿前最大、一般和最小负荷运行方式下的网损;

$t_{\max}, t_{\text{nor}}, t_{\min}$ ——分别为无功补偿前最大、一般和最小负荷运行方式下对应的损耗时间。折合为最大负荷损耗时间

$$= W / P_{\max} = (P_{\max} t_{\max} + P_{\text{nor}} t_{\text{nor}} + P_{\min} t_{\min}) / P_{\max}$$

无功补偿后全年的电能损失费用可表示为

$$f_w = P_{\max}$$

式中:

——电价,元;

P_{\max} ——无功补偿后最大负荷运行方式时系统的网损。

2.3 投资规划数学模型

目标函数为与新增无功补偿设备有关的最小年费用

$$\min F = f_w + ef + f = P_{\max} + (r + e) f_u \sum_{i=1}^m Q_{k_i} \quad (1)$$

式中 e 为与无功补偿容量有关的年维护费用系数。式(1)满足下面的不等式约束

$$\begin{aligned} 0 & Q_{k_i} < Q_{k_i \max} \quad (i = 1, 2, \dots, m) \\ U_{j \min} & U_j < U_{j \max} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

式中:

$Q_{k_i \max}$ ——节点 k_i 无功补偿容量的上限;

$U_j, U_{j \max}, U_{j \min}$ ——分别为节点 j 的电压及其允许的上、下限;

n ——配电网的节点总数。

采用罚函数的方法处理电压不等式约束,式(1)可以表示为增广目标函数:

$$\min F = P_{\max} + (r + e) f_u \sum_{i=1}^m Q_{k_i} + \sum_{j=1}^n [(U_j - U_{j \lim}) / (U_{j \max} - U_{j \min})]^2$$

式中 λ_j 为惩罚系数;

$$U_{j \lim} = \begin{cases} U_{j \max} & U_j > U_{j \max} \\ U_j & U_{j \min} < U_j < U_{j \max} \\ U_{j \min} & U_j < U_{j \min} \end{cases}$$

2.4 运行规划数学模型

在运行规划子问题中,按网络中的有功功率损耗最小优化调度已有的无功电源。目标函数为网络中的最小有功损耗 P 。

$$\min P = P(Q_{k_i}) =$$

$$P(Q_{k_1}, Q_{k_2}, \dots, Q_{k_i}, \dots, Q_{k_m}) =$$

$$\sum_{j=1}^n (R_j / U_j^2) (Q_j - \sum_{i=1}^m Q_{k_i} E(k_i, j))^2 \quad (2)$$

式中:

Q_{k_i} ——节点 k_i 的补偿容量;

R_j, Q_j ——分别为支路 j 的电阻和节点 j 的无功负荷。

式(2)满足下面的不等式约束

$$0 \leq Q_{k_i} \leq Q_{k_i, \max} \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

$$U_{j, \min} \leq U_j \leq U_{j, \max} \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

采用罚函数的方法处理电压的不等约束,式(2)可以表示为增广目标函数

$$\min P = P + \frac{\alpha}{2} \sum_{j=1}^n [(U_j - U_{j, \lim}) / (U_{j, \max} - U_{j, \min})]^2$$

式中 α 为惩罚系数。

3 遗传算法(GA)求解配电网无功优化规划的基本框图及算例分析

遗传算法求解无功优化规划问题的框图见图 1。

1) 69 节点 10 kV 线路无功优化结果分析。

采用文献[5]中数据,按照灵敏度分析法确定候选补偿节点为 27, 28, 43, 45, 48, 50 和 63,用遗传算法得到的结果见表 1。与文献[5]用线性规划方法得到的结果比较可知,用遗传算法进行无功补偿优化计算后,取得了更好的效果。

2) 宜兴市元上乡 10 kV 线路无功优化结果分析。

宜兴市元上乡属于经济较发达地区,一些大的企业已使用了无功补偿装置,平均功率因数已达 0.9,这些单位可不作补偿;但其他配电变压器基本上没有装设无功装置,其自然功率因数较低,为 0.6 ~ 0.7,需计算补偿容量。所采用的参数为:

电价 = 0.6 元 · (kW · h)⁻¹;

无功补偿的标称容量为 2 或 5 kV · A;

单位补偿装置的投资额 $f_u = 25$ 元 · (kV · A)⁻¹;

最大负荷损耗时间 = 3 000 h;

$r = 0.13, e = 0.10$;

10 kV 线路始端电压为 10.5 kV。

按文献[6]的结论取配电变压器的低压侧作为候选无功补偿节点,即将节点 3, 4, 6, 7, 8, 14, 15, 16, 19, 21, 22, 24, 25, 28, 31, 32, 35, 37, 38, 41 作为无功补偿节点。优化补偿节点及优化补偿容量计算结果见表 2,总无功补偿容量 592 kV · A,无功补偿设备的年平均投资额为 3 404 元。

笔者用遗传算法与最优网损微增率法分别进行计算,其结果见表 3。可以看出遗传算法的计算结果优于最优网损微增率法。

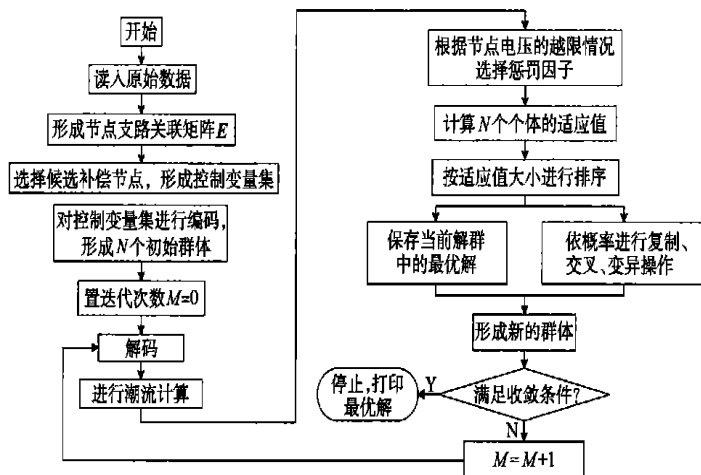


图 1 遗传算法求解无功优化规划问题的框图

Fig. 1 Flow chart of the VAR optimization planning by GA

表 1 遗传算法无功补偿优化计算结果

Table 1 Results of the VAR planning by GA

补偿状态	电能损耗/(kW · h)	电能损耗费用/元	年费用/元	最高电压/kV	最低电压/kV
无补偿	1 183 950	589 650	589 650	10	9.014
有补偿	490 570	244 304	284 393	10	9.584

表 2 优化补偿节点及容量

Table 2 The location and capacity of VAR planning

优化补偿节点号	4	6	7	8	15	21	22	25	28	31	32	35	37	38	41
优化补偿容量/(kV·A)	15	5	5	5	2	30	15	35	65	55	120	70	70	70	30

表 3 遗传算法与最优网损微增率法计算结果

Table 3 Results of GA and incremental transmission loss

方 法	电能损耗/(kW·h)	电能损耗费用/元	年费用/元	最高电压/kV	最低电压/kV
最优网损微增率法	110 326	66 196	69 595	1	0.974
遗传算法	109 117	65 470	68 874	1	0.975

以上 2 个算例均可表明,遗传算法全局寻优的概率大于传统的无功优化算法,更适用于解决无功优化问题。

参 考 文 献

- [1] 刘 勇,康立山,陈毓屏.非数值并行算法——遗传算法[M].北京:科学出版社,2000.4~14
- [2] 柏玲译.用改进的简单遗传算法进行无功规划的优化方法[J].电力情报,1999(2):72~75
- [3] Meng Xiangping,Liang Zhishan,Zhang Huanguang. Fast synthetic genetic algorithm and its application to optimal

control of reactive power flow[A]. In: IEEE. POWER-CON '98[C].1998,2:1454~1458

- [4] Srinivasan Sundhararajan, Anil Pahwa. Optimal selection of capacitors for radial distribution systems using a genetic algorithm[J]. IEEE Transaction on Power Systems, 1994,9(3):1499~1507
- [5] Baran M E, Wu F F. Optimal capacitor placement on radial distribution system[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,1989,4(1):725~734
- [6] 刘长鹏.无功补偿方案的研究[D].北京:中国农业大学,1991