

基于启发式算法的配电网低压侧无功优化规划

魏娜¹, 胡海燕², 闫苏莉¹, 梁旭³

(1. 西安石油大学电子工程学院, 陕西 西安 710065; 2. 中国石化集团安全工程研究院, 山东 青岛 266071;

3. 中国石油长庆油田公司, 陕西 榆林 718500)

摘要: 以投资收益最高为目标函数, 运用两种启发式算法(即最大降损效果法和改进灵敏度法), 获得考虑负荷变化情况下配电网低压侧无功补偿装置的单阶段静态和多阶段动态最优规划结果。最大降损效果法和改进灵敏度法分别根据最大降损效果排序结果和灵敏度排序结果选出补偿效益最明显的节点作为无功补偿候选节点, 实现低压侧自动无功补偿装置安装位置的优化规划, 并与遗传算法的优化规划结果进行了比较得出结论。

关键词: 无功规划; 遗传算法; 启发式算法; 灵敏度法

A heuristic algorithm based optimized planning of the low voltage side of distribution transformers

WEI Na¹, HU Hai-yan², YAN Su-li¹, LIANG Xu³

(1. Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China; 2. SINOPEC Safety Engineering Institute, Qingdao 266071, China,

3. Changqing Oil Field, Yulin 718500, China)

Abstract: The highest investment benefit is taken as an objective function. Two heuristic algorithms is adopted to determine the one-stage static optimal planning and multi-stage optimal planning results of the ARCEs on the low voltage side of distribution transformers. Two heuristic algorithms, including the maximum reduction losses approach and sensitivity analysis, are used to determine the optimal installation locations of the ARCEs on the low voltage side of distribution transformers. The candidate nodes to install ARCEs are ordered according to the reduction of losses and sensitivity, respectively. The results of the proposed heuristic algorithms are compared with that of genetic algorithm, respectively.

Key words: reactive power planning; genetic algorithm; heuristic algorithms; sensitivity analysis

中图分类号: TM715

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)06-0038-04

0 引言

电力系统无功优化规划(简称 RPP)其目的是在网架规划的基础上, 确定一段时期内新增无功补偿设备的安装位置、容量和安装时间, 以最经济的投资保证系统维持合理的电压水平, 降低系统网损, 提高线路传输能力, 实现系统的安全、经济运行。

在变压器低压侧装设可自动投切的低压无功补偿装置实现就地补偿, 是一种最理想的无功补偿方式。但是配电网上的配电变压器数量很大, 由于受到建设资金的限制, 不可能在每一台配电变压器低压侧都安装无功补偿装置, 所以有必要研究如何在有限的资金下、科学地选择安装低压侧无功补偿

装置, 从而降低网损、提高配电系统的经济运行水平, 使整个系统发挥最大的经济效益。

近年来, 在无功优化规划领域已经取得了长足的进展, 但是国内外的研究成果都是主要针对高中压配电网的无功优化规划问题, 没有解决配电网低压侧无功补偿装置布点的优化规划问题。

本文正是运用两种启发式算法(即最大降损效果法和灵敏度法)实现配电网低压侧自动无功补偿装置安装位置的优化规划, 并与基于遗传算法的优化规划(见参考文献 6、7)结果进行了比较。

1 补偿后的降损收益

对于一个具有 N 个节点的配电网, 在变压器 i 处安装了低压侧自动无功补偿装置补偿后, 减少的

有功网损 ΔP_i 为

$$\Delta P_i = \Delta P_{L,i} + \Delta P_{T,i} \quad (1)$$

其中: $\Delta P_{L,i}$ 为该配电线路减少的有功损耗; $\Delta P_{T,i}$ 为该配电变压器减少的有功损耗。

由于低压侧无功补偿装置采取单片机构成的智能装置,按照负荷无功功率的实际需要量实时地投切电容器组,在电容器组的容量选择恰当时,可以认为补偿后相应负荷的功率因数提高到 0.95 以上节点的集合。

在实际中,负荷是变化的,负荷变化情况利用阶梯状的持续负荷曲线来描述。因此考虑到负荷的变化情况,在变压器 i 处安装了低压侧自动无功补偿装置补偿后,整个配电网减少损耗电量 ΔA_i 为

$$\Delta A_i = \sum_{m=1}^M \Delta P_{i,m} T_m \quad (2)$$

其中: M 为负荷水平的个数, $\Delta P_{i,m}$ 和 T_m 分别为变压器 i 处安装了低压侧自动无功补偿装置后配电网第 m 个负荷水平下减少的有功网损及其持续运行时间。第 k 年的降损收益 $B_{\Sigma,k}$ 为

$$B_{\Sigma,k} = \gamma \Delta A_i \quad (3)$$

其中: γ 为单位电量的费用系数(元/kWh)。

规划期总的投资净收益 B_{Σ} 为

$$B_{\Sigma} = \sum_{k=1}^K \frac{B_{\Sigma,k} - C_k}{(1 + \rho\%)^k} \quad (4)$$

其中: $B_{\Sigma,k}$ 和 C_k 分别为第 k 年的降损收益和投入, $\rho\%$ 为银行利息率, K 为规划总年数。

目标函数

以规划期总的投资净收益 B_{Σ} 最大为目标函数,

即

$$\text{Object}(X) = \text{Max} [B_{\Sigma}] \quad (5)$$

约束条件

a. 节点电压和流过线路及变压器的电流的运行约束条件在潮流计算中自动满足;

b. 所安装的低压侧自动无功补偿装置的个数通过规划阶段所筹的资金来约束。

2 启发式算法

2.1 最大降损效果法

根据本文所建立的数学模型,对于一个具有 N 个节点的配电网,在变压器 i 处安装了低压侧自动无功补偿装置,补偿容量为 Q_{Ci} ,则补偿后配电网减少的有功网损 ΔP_i ,节点补偿的容量按照补偿后提高的功率因数来计算:

$$Q_{Ci} = P_i(\text{tg}\phi - \text{tg}\phi_0) \quad (6)$$

式中: $\text{tg}\phi, \text{tg}\phi_0$ 分别为补偿前后功率因数角的正切值。

补偿点的选取: 对配电网中配电变压器低压侧的所有节点一一进行无功补偿,依次计算系统减少的有功网损 ΔP_i ,在网络中必定能够找出一个节点 I_1 ,在该节点处加装补偿容量为 Q_{Ci} 的电容器后电网减少的有功网损可达最大 ΔP_{i1} ,确定该个补偿节点 I_1 为候选的第一补偿点。排除候选的第一个补偿点外,对配电网剩余的节点运用同样的算法,一一进行无功补偿,依次计算系统减少的有功网损,可找出网络中下一个减少的有功网损最大的补偿节点 I_2 ,排除候选的这两个补偿节点,对配电网剩余的节点依次进行相同的计算,直至找出补偿效益依次最大的节点。这些节点就构成了进行无功优化的待补偿节点集。根据实际情况来约束可安装低压侧自动无功补偿装置的个数,然后求出给定安装个数的待补偿集下整个配电网的总损耗 ΔP_{Σ} 。

考虑到负荷的变化情况,根据实际中对各个阶段投资规模的约束,确定一段时期内安装低压侧自动无功补偿装置位置的单阶段静态和多阶段动态优化规划方案。

2.2 改进灵敏度法

即在传统灵敏度法选取候选补偿节点的方法上做了相应改进,这样可以有效增大寻优能力。

同样对于一个具有 N 个节点的配电网,补偿容量计算与 2.1 节中的式(6)相同,节点 i 无功补偿对系统网损的灵敏度为: $d\Delta P_i/dQ_i$ 。

补偿点的选取: 对配电网中配电变压器低压侧的所有节点一一进行无功补偿,依次计算各支路节点的灵敏度系数,在网络中必定能够找出一个节点 I_1 ,在该支路节点的灵敏度系数最大,确定该个补偿节点 I_1 为候选的第一补偿点。排除候选的第一个补偿点外,对配电网剩余的节点运用同样的算法,一一进行无功补偿,依次计算各支路节点的灵敏度系数,可找出网络中下一个灵敏度系数最大的补偿节点 I_2 ,排除候选的这两个补偿节点,对配电网剩余的节点依次进行相同的计算,直至找出灵敏度系数依次最大的节点。这些节点就构成了进行无功优化的待补偿节点集。根据实际情况来约束可安装低压侧自动无功补偿装置的个数,然后求出给定安装个数的待补偿集下整个配电网的总损耗 ΔP_{Σ} 。

本文在运用基于灵敏度的启发式算法确定一段时期内安装低压侧自动无功补偿装置位置的动态优化规划方案时,与 2.1 节运用同样的方法进行讨论,不同的是灵敏度法是根据各个节点的灵敏度

绝对值的大小进行排序, 选出待补偿节点集。

3 实例

某地区实际 42 节点配电网, 各馈线段的连接关系和导线参数已知。各节点采用的变压器型号和负荷值已知。

假如不设定低压侧自动无功补偿装置的预算个数 T , 每台低压侧自动无功补偿装置的设备费与安装费总和为 1.2 万元, γ 为 0.5 元 / kWh。假设规划期为 5 年, 分为 5 个规划阶段, 每一个阶段为一年, 补偿后负荷的功率因数达到 0.96。根据负荷预测结果, 假设把一年中连续变化的实际负荷, 分

为高峰、一般、低谷三个负荷水平段, 运行时间分别为 2000 h, 5260 h, 1500 h, 规划五年中各年负荷的变化率见表 1。

遗传算法选取种群规模为 100, 终止迭代次数 100 次, 收敛精度为 0.00001, 交叉率为 0.75, 变异率为 0.01, 惩罚因子 λ 为 1000。三种算法单阶段静态及多阶段动态规划结果及对比曲线分别如表 2、表 3 和图 1、图 2 所示。

表 1 负荷变化曲线
Tab.1 Load fluctuation curve

规划年	第一年	第二年	第三年	第四年	第五年
负荷水平					
负荷年变化率	0.95	0.98	1.00	1.03	1.10

表 2 三种算法的单阶段静态规划结果
Tab.2 Result of one stage static planning based on three algorithms

补偿装置 约束个数	遗传算法		最大降损效果法		改进灵敏度法	
	安装个数	投资收益/ 10^4 元	安装个数	投资收益/ 10^4 元	候选点个数	投资收益/ 10^4 元
1	1	3.300	1	3.300	1	3.300
2	2	5.909	2	5.909	2	5.909
3	3	8.197	3	8.197	3	7.481
4	4	9.689	4	9.689	4	8.621
5	5	11.032	5	11.032	5	9.562
6	6	12.122	6	12.091	6	10.008
7	7	13.167	7	13.137	7	10.133
8	8	14.067	8	14.182	8	10.912
9	9	15.002	9	15.002	9	11.005
10	10	15.794	10	15.725	10	12.313
11	11	16.524	11	16.429	11	12.755
12	12	17.190	12	17.076	12	13.433
13	13	17.480	13	17.783	13	14.431
14	14	18.046	14	18.025	14	16.131
15	15	18.166	15	18.287	15	16.679
16	16	18.592	16	18.543	16	16.955
17	17	18.754	17	18.689	17	16.727
18	18	18.763	18	18.866	18	17.527
19	19	18.866	19	18.849	19	17.593
20	20	18.866	20	18.824	20	17.566
21	21	18.866	21	18.481	21	17.325
22	22	18.866	22	18.249	22	16.508
23	23	18.866	23	17.963	23	16.142
24	24	18.866	24	17.775	24	16.067
25	25	18.866	25	17.345	25	16.068
26	26	18.866	26	16.486	26	16.486
27	27	18.866	27	15.547	27	15.547

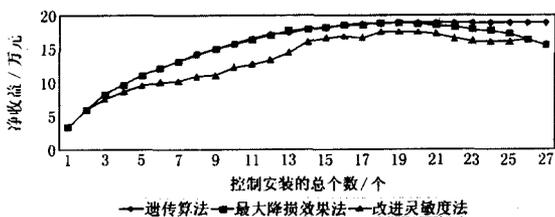


图 1 三种算法的单阶段静态规划结果对比图
Fig.1 Curve of one stage static planning based on three algorithms

对图 1 数据分析表明, 运用遗传算法以投资收益最高为目标函数时, 规划结果较好, 安装配电网低压侧自动无功补偿装置的个数为 18 个时, 净收益最大, 为 18.866 万元, 再增加投资, 净收益保持不变; 运用最大降损效果法时, 规划结果较好, 且最优值与遗传算法的最优值相等, 即安装个数为 18 个时, 净收益最大达 18.866 万元, 再增加投资, 净收益减少; 运用改进灵敏度法时, 规划结果较差,

净收益较小。

表 3 三种算法的多阶段动态规划结果
Tab.3 Result of multi-stage dynamic planning based on three algorithms

补偿装置 约束个数	实际安装个数					总净收益/10 ⁴ 元		
	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	遗传算法	最大降损效果法	改进灵敏度法
1	0	0	0	0	1	1.788	1.788	1.788
2	0	0	0	0	2	3.042	3.188	3.188
3	0	0	0	0	3	4.417	4.417	4.012
4	0	0	0	1	3	5.113	4.987	4.379
5	0	0	0	0	5	5.754	5.887	5.059
6	0	1	0	0	5	6.273	6.394	5.045
7	0	1	1	1	4	6.712	6.685	4.880
8	0	0	1	2	5	7.337	7.256	5.315
9	0	1	1	1	6	7.784	7.734	5.341
10	0	1	1	3	5	8.115	8.025	5.883
11	0	0	1	1	9	8.701	8.475	6.227
12	0	1	0	3	8	9.144	8.955	6.696
13	1	2	2	2	6	9.039	9.111	7.099
14	0	2	0	4	6	9.199	9.328	6.517
15	0	3	1	4	7	9.641	9.527	8.618
16	1	0	2	3	10	9.318	9.725	8.830
17	0	1	2	4	10	9.460	9.925	8.773
18	0	3	2	4	9	10.020	10.068	9.212
19	0	1	3	4	10	10.172	9.999	9.223
20	2	1	2	4	10	10.258	10.072	9.323
21	1	1	2	5	10	10.086	10.069	9.340
22	1	1	3	5	10	10.177	10.066	9.303
23	0	2	1	4	13	10.237	10.118	9.448
24	1	1	2	3	14	10.334	9.930	9.285
25	0	2	3	5	11	10.221	10.028	9.264
26	1	2	2	4	13	10.175	9.977	8.891
27	2	2	1	4	12	10.287	9.962	9.264

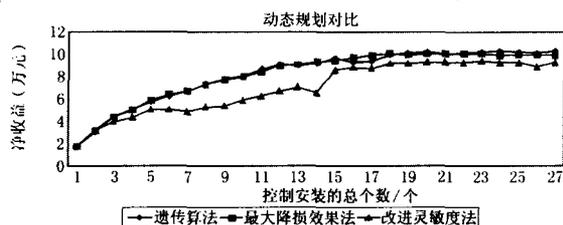


图 2 三种算法的多阶段动态规划结果

Fig.1 Curve of multi-stage dynamic planning based on three algorithms

对图 2 中数据分析表明, 运用遗传算法以投资收益最高为目标函数时, 规划结果最好, 安装配电网低压侧自动无功补偿装置的个数为 21 个时, 净收益最大为 10.334 万元; 运用最大降损效果法时, 规划结果较好, 安装配电网低压侧自动无功补偿装置的个数为 20 个时, 净收益最大为 10.118 万元; 运用改进灵敏度法时, 规划结果较差, 净收益较小。

4 结论

运用 VC++ 语言实现了上述算法, 通过多个实际规划算例的测试, 结果表明: 在解决低压侧自动无功补偿装置单阶段静态及多阶段动态最优规划问题时, 遗传算法其优化效果最优, 但计算速度较慢; 最大降损效果法优化效果较优, 计算简单, 速度很快; 灵敏度法适合于对候选补偿节点进行初步筛

选。

参考文献

- [1] Lebow W M, Rouhani R, Nadira R, et al. A Hierarchical Approach to VAR Optimal Reactive in System Planning[J]. IEEE Trans on PAS, 1998,104(8):2051-2057.
- [2] 任晓娟, 邓佑满, 赵长城, 等.高中压配电网动态无功优化算法的研究 [J].中国电机工程学报, 2003,23(1): 31-36.
REN Xiao-juan, DENG You-man, ZHAO Chang-cheng, et al. Study on the Algorithm for Dynatic Reactive Power Optimization of Distribution Systems[J]. Proceedings of the CSEE, 2003,23(1):31-36.
- [3] 王成山, 唐晓莉, 余贻鑫, 等.基于启发式算法和 Bender's 分解的无功优化规划[J].电力系统自动化, 1998,22(11):14-17.
WANG Cheng-san, TANG Xiao-li, YU Yi-xin,et al.Application of Benders Decomposition based on a Hierarchical Programming in Reactive Power Planning[J].Automation of Electric Power Systems,1998,22(11): 14-17.
- [4] 陈星莺, 钱锋, 杨素琴.模糊动态规划法在配电网无功优化控制中的应用[J].电网技术, 2003, 27(2):68-71.

(下转第 70 页 continued on page 70)

开关电源一套在均充,一套在浮充时,均充的那一套充电机及蓄电池对另一套蓄电池充电,造成蓄电池瞬时过充。如果断路器的操作机构是储能式的,由于储能电机额定电压一般为 $220V \pm 10\%$,高频开关电源在均充时,合闸母线电压高于储能电机的额定电压。在均充情况下,储能电机电源如接在合闸母线上,极易烧毁储能电机及相关辅助设备(如接触器、行程开关等)。为防止以上设备被烧毁,我们采取的方式是将合闸回路接在控制母线上,保证储能电机工作在额定电压内。我们采用这种接线方式,经过这几年的运行效果很好。这里要说明一点,应注意高频开关电源装置内的降压硅链的额定电流,必须让它满足控制母线上所有设备在最大负载时,降压硅链不被损坏。

6 结束语

我公司一座 220 kV 变电站直流系统按以上方法进行改造,经过改造后近一年的运行情况来看,取得了较好的效果。特别是在今年梅雨季节,变电站在一个月内陆续出现四次直流接地,变电运行工都能及时进行处理,将接地设备与完好设备隔离开,使它们分别运行在两个直流系统内,保证了变

电站安全稳定可靠运行。

参考文献

- [1] 电力系统用蓄电池直流装置运行与维护技术规程[S]. The Operation and Maintenance Technical Regulation of DC Battery for Power System[S].
- [2] 防止电力生产重大事故的二十五项重点要求[S]. The 25th Key Requests for Avoiding Fatal Accident of Power System[S].
- [3] 电力系统继电保护及安全自动装置反事故措施要点[S]. Anti-accident Outline for the Relay Protection and Safe Automechanism[S].
- [4] 华北电力集团公司直属发、供电单位直流系统重点反事故措施[S]. Anti-accident Measures for the DC System of the Power Produce and Supply Company Directly Under the NCPG[S].

收稿日期:2006-07-25; 修回日期:2006-10-27

作者简介:

余文波(1967-),男,技师,从事继电保护工作;

E-mail:hm121@sina.com

黄晓鲁(1977-),男,助理工程师,从事继电保护工作;

洪 玫(1975-),女,助理工程师,从事继电保护工作。

(上接第 41 页 continued from page 41)

- CHEN Xing-ying, QIAN Feng, YANG Su-qin. Application of Fuzzy Dynamic Programming Approach to Optimal Reactive Control in Distribution System Technology[J]. Power Systems Technology, 2003, 27(2): 68-71.
- [5] Lu F C, Hsu Y Y. Reactive Power/voltage Control in a Distribution Substation Using Dynamic Programming[J]. IEE Proc-C, 1995, 142(6): 639-645.
- [6] 胡海燕, 刘健, 武晓滕. 配电网低压侧自动无功补偿装置安装位置的优化规划[J]. 继电器, 2004, 32(19): 24-28.
- HU Hai-yan, LIU Jian, WU Xiao-meng. Optimal Placement of Automatic Reactive Compensation Equipments on the Low Voltage Side of Distribution Transformers[J]. Relay, 2004, 32(19): 24-28.

- [7] 胡海燕, 武晓滕. 基于遗传算法的配电网低压侧无功补偿动态优化规划[J]. 电力自动化设备, 2005, 25(3): 25-29.
- HU Hai-yan, WU Xiao-meng. A Genetic Algorithm Based Dynamic Planning of Low Voltage Side Reactive Power Compensators[J]. Electric Power Automation Equipment, 2005, 25(3): 25-29.

收稿日期:2006-07-07; 修回日期:2007-01-16

作者简介:

魏 娜(1980-),女,硕士研究生,研究方向为配电网自动化; E-mail: mildred720@163.com

胡海燕(1979-),女,助理工程师,从事石化雷静电安全工作研究;

闫苏莉(1966-),女,副教授,研究方向为配电网优化运行及其自动化。

许继软件技术有限公司获得减税优惠

日前,许继电气公司收到国家发改委等部委联合下发的通知,指出公司控股子公司许昌许继软件技术有限公司被四部委联合审核认定为 2006 年度国家规划布局内重点软件企业,根据《鼓励软件产业和集成电路产业发展的若干政策》的规定,国家规划布局内的重点软件企业当年未享受免税优惠的,减按 10% 的税率征收企业所得税。