

# 改进的自适应遗传算法在配电网谐波抑制中的应用

杨文字<sup>1</sup>, 刘健<sup>1,2</sup>, 余健明<sup>1</sup>, 高鑫<sup>1</sup>

(1. 西安理工大学自动化与信息工程学院, 陕西 西安 710048; 2. 西安科技大学银河西科自动化研究所, 陕西 西安 710075)

**摘要:** 以配电网中无源和有源滤波器的总费用最小为目标函数, 以谐波电压和滤波器的安全运行为约束条件, 将改进的自适应遗传算法应用于配电网谐波抑制工作, 对无源和有源滤波器的安装节点和参数进行统一优化配置。给出了一个 18 节点的典型配电系统运算结果, 说明了整个算法的有效性。

**关键词:** 谐波; 无源滤波器; 有源滤波器; 谐波抑制

**中图分类号:** TM714 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)04-0024-04

## 0 引言

由于电力电子技术的飞速发展, 大量的非线性电力负荷使得电力系统中某些地区的谐波问题日益严重。因此如何经济有效地抑制谐波, 对于减轻谐波的危害, 保证供用电设备的正常运行, 具有极其重要的意义。

迄今为止, 在用户和电网中安装无源或有源滤波器, 使谐波状况满足国家所制定的谐波标准, 是一种有效的抑制谐波措施。

本文提出以配电网中无源和有源滤波器的总费用最小为目标函数, 以谐波电压和滤波器的安全运行为约束条件, 将滤波器的安装位置、安装个数和参数进行统一优化配置的方法。

## 1 滤波装置的数学模型

### 1.1 无源滤波器<sup>[1]</sup>

假定网络中各节点都有可能安装由若干个不同调谐频率滤波支路并联而成的无源滤波器。设节点  $i$  处最多允许安装的无源滤波支路数为  $J$ , 则各滤波支路在不同谐波次数下的等值导纳  $y_{hij}^{(1)}$  可表示为:

$$y_{hij} = \frac{1}{\frac{1}{h_{cij}^2} + j(\frac{h}{h_{cij}^2} - \frac{1}{h_{cij}^2}) - \frac{1}{h_{cij}^2}} \quad (1)$$

其中:  $h_{ci1}, \dots, h_{cij}, \dots, h_{ciJ}, q_{i1}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{iJ}, C_{i1}, \dots, C_{ij}, \dots, C_{iJ}$  分别表示  $i$  节点  $j$  条滤波支路所对应的谐振次数、品质因数和电容器值。

$h = 1, 2, \dots, H, i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, J$

$H$  为所要考虑的最高次谐波次数,  $N$  为网络总

的节点数,  $J$  为每个节点所能安装的滤波器支路个数。

无源滤波器对谐波的抑制其实就是它对网络谐波节点导纳矩阵的影响。当无源滤波器加入后, 网络的各次谐波节点导纳矩阵由  $Y^{(h)}$  变为  $Y^{(h)} + Y$ , 其中

$$Y = \text{diag}[\sum_{j=1}^J y_{h1j}, \dots, \sum_{j=1}^J y_{hij}, \dots, \sum_{j=1}^J y_{hNj}] \quad (2)$$

### 1.2 有源滤波器<sup>[2]</sup>

假设有源滤波器只按一定比例吸收本节点的部分谐波电流, 用  $a_{hi}$  表示有源滤波器吸收节点  $i$  处谐波源所产生的  $h$  次谐波电流的系数。设  $I_h = [I_{h1}, \dots, I_{hi}, \dots, I_{hN}]^T (h = 2, 3, \dots, H)$  为各谐波源节点注入的谐波电流向量, 则全网中各有源滤波器吸收的  $h$  次谐波电流  $I_{Ahi}$  所组成的向量  $I_{Ah}$  与谐波源注入电流向量  $I_h$  之间的关系为:

$$I_{Ah} = A_h I_h \quad h = 2, 3, \dots, H \quad (3)$$

式中  $I_{Ah} = [I_{Ah1}, \dots, I_{Ahi}, \dots, I_{AhN}]^T$  (4)

$$A_h = \text{diag}[a_{h1}, \dots, a_{hi}, \dots, a_{hN}] \quad (5)$$

### 1.3 网络各节点的谐波电压

安装无源和有源滤波器后, 网络导纳矩阵应追加因安装无源滤波器而带来的增量矩阵; 各节点注入电网的净谐波电流为谐波源注入的谐波电流减去有源滤波器所吸收的谐波电流, 从而可得安装滤波器后的网络方程为:

$$U_h = (Y^{(h)} + Y)^{-1} (E - A_h) I_h \quad (6)$$

式中  $E$  为单位矩阵。

## 2 滤波装置优化配置的数学模型

滤波装置的优化配置就是在配电网结构和参数给定、谐波电流确定的条件下, 对滤波器的安装节点位置和具体参数进行寻优。在保证网络各节点谐波电压含量和总谐波畸变率符合谐波标准以及滤波器

基金项目: 全国优秀博士学位论文作者专项基金资助 (200137)

安全可靠运行的前提下,使得全网安装无源和有源滤波器的总费用最小,即以配电网中所有滤波器的总费用最小为目标函数:

$$\min[\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^J \mu_{ij} f_{Fij}(Q_{CNij}) + \sum_{i=1}^N v_i f_{Ai}(S_{Ni})] \quad (7)$$

因为无源滤波器中投资的最大部分是电容器,所以计算无源滤波器费用时,只考虑电容器的费用。而有源滤波器的容量是决定其成本和运行费用的关键,所以有源滤波器的费用也只从其容量得出。式(7)中  $\mu_{ij}$ 、 $v_i$  表示是否设置滤波器支路,  $\mu_{ij} = 1$  表示在第  $i$  节点设置第  $j$  条滤波器支路,  $\mu_{ij} = 0$  表示不设置相应支路;  $v_i$  的取值及含义与  $\mu_{ij}$  类似;  $Q_{CNij}$  为第  $i$  个节点第  $j$  条滤波器支路电容器额定容量;  $S_{Ni}$  为第  $i$  个节点有源滤波器的额定容量;  $f_{Fij}(Q_{CNij})$  为无源滤波器的费用与电容器容量之间的函数;  $f_{Ai}(S_{Ni})$  为有源滤波器的费用与容量之间的函数,为简化起见,这两个函数可以采用以下线性关系:

$$f_{Fij}(Q_{CNij}) = a_{0ij} + a_{1ij} Q_{CNij} \quad (8)$$

$$f_{Ai}(S_{Ni}) = b_{0i} + b_{1i} S_{Ni} \quad (9)$$

s. t.

$$HRU_{hi} = (U_{hi}/U_{1i}) \times 100\% \quad c_{HRU} \quad (10)$$

$$UTHD_i = (\frac{\sum_{h=2}^H U_{hi}^2}{U_{1i}^2}) \times 100\% \quad c_{UTHD} \quad (11)$$

$$U_{Cl ij} + \sum_{h=2}^H U_{Ch ij} \quad K_U U_{CN ij} \quad (12)$$

$$\sqrt{I_{Cl ij}^2 + \sum_{h=2}^H I_{Ch ij}^2} \quad K_I I_{CN ij} \quad (13)$$

$$Q_{Cl ij} + \sum_{h=2}^H Q_{Ch ij} \quad K_Q Q_{CN ij} \quad (14)$$

$$S_i \quad K_S S_{Ni} \quad (15)$$

式(10)、(11)为网络的谐波电压约束,其中式(10)为各个节点的各次谐波电压含有率约束,式(11)为各个节点的电压总谐波畸变率约束,  $HRU_{hi}$  和  $UTHD_i$  分别为第  $i$  节点的第  $h$  次谐波电压含有率和总电压谐波畸变率,  $c_{HRU}$  和  $c_{UTHD}$  分别为规定的第  $h$  次谐波电压含有率和总电压谐波畸变率的限定值;式(12)、(13)、(14)分别为无源滤波器支路中的电压、电流和容量约束<sup>[3]</sup>,  $K_U$ 、 $K_I$  和  $K_Q$  分别为电容器的允许过电流、过电压和过容量系数;式(15)为有源滤波器的容量约束。

考虑到无源滤波电容器流过的各次谐波电流  $I_{Ch ij}$ 、电容器两端的各次谐波电压  $U_{Ch ij}$  和电容器吸收的各次谐波无功功率  $Q_{Ch ij}$  与滤波器所在节点的各次谐波电压之间的关系以及电容器的额定电流  $I_{CN ij}$ 、额定电压  $U_{CN ij}$  和额定容量  $Q_{CN ij}$  存在关系,式

(12)和式(13)等价为:

$$\sqrt{Q_{Cl ij}} + \sum_{h=2}^H \sqrt{Q_{Ch ij}/h} \quad K_U \sqrt{Q_{CN ij}} \quad (16)$$

$$\sqrt{Q_{Cl ij} + \sum_{h=2}^H h Q_{Ch ij}} \quad K_I \sqrt{Q_{CN ij}} \quad (17)$$

有源滤波器的容量是由所补偿的各次谐波电流值决定的,与基波电流无关,其容量决定于所补偿的总谐波电流有效值<sup>[6]</sup>,即:

$$S_i = \sqrt{(U_{1i}^2 + \sum_{h=2}^H U_{hi}^2) (\sum_{h=2}^H I_{Ahi}^2)} \quad (18)$$

对式(7)进行最小值寻优就是要对滤波器的安装节点位置和具体参数进行寻优。从数学的角度考虑,以上优化配置属于多离散变量的非线性、整数混合规划问题。随着要优化配置的网络规模的增大,传统的工程优化理论和方法已经难以胜任,而遗传算法在解决这类问题时具有特殊的高效性和极强的鲁棒性,因此,采用遗传算法作为寻优工具。

### 3 改进的自适应遗传算法的应用

本文对遗传算法的运算以及惩罚函数等进行了改进。运用排序选择(Ranking Selection)操作、自适应交叉与变异等方法<sup>[3]</sup>;在处理约束条件时,采用不同于普通惩罚函数法的直接比较法(DC-Direct Comparison)。

考虑到配电网节点数目很多,采用遗传算法在搜索安装位置时,如果对每个节点都要进行搜索,那么相应的搜索空间将会变得很大,不利于算法的可靠收敛。从实际的工程角度考虑,假设配电网中安装滤波器的节点位置只在谐波源节点及其相邻节点处,设其共有  $M$  个,从而使候选节点数目大大降低。

#### 3.1 个体表示

配电网无源和有源滤波器统一优化配置的解个体由两部分组成,分别代表无源和有源滤波器参数,表示为:  $X = [X_P, X_A]$ 。

其中:  $X_P = [x_{P1}, \dots, x_{Pi}, \dots, x_{PM}]$ ,

$$x_{Pi} = [\mu_{i1}, \dots, \mu_{ij}, \dots, \mu_{iJ} | h_{ci1}, \dots, h_{cij}, \dots, h_{ciJ} |$$

$q_{i1}, \dots, q_{ij}, \dots, q_{iJ} | C_{i1}, \dots, C_{ij}, \dots, C_{iJ}]$  为  $M$  个候选节点中第  $i$  节点的无源滤波器参数,  $\mu_{ij}$  采用二进制编码,  $h_{cij}$ 、 $q_{ij}$  和  $C_{ij}$  用实数进行编码。

$$X_A = [x_{A1}, x_{A2}, \dots, x_{Ai}, \dots, x_{AM}]$$

$x_{Ai} = [v_i | a_{2i}, a_{3i}, \dots, a_{hi}, \dots, a_{Hi}]$  为  $M$  个候选节点中第  $i$  节点的有源滤波器参数,  $v_i$  采用二进制编码,  $a_{hi}$  用实数进行编码。

$h_{cij}$ 、 $q_{ij}$ 、 $C_{ij}$  和  $a_{hi}$  的范围事先给定,形成染色体时在给定的范围内按均匀分布随机产生。将以上两

种滤波器所对应的染色体参数按顺序排列,就组成了本算法中的个体  $X$ 。

### 3.2 个体适应度值的确定

#### (1) 无源滤波器的容量

当已知各节点的各次谐波注入电流值时,应用上述个体  $X$  中的各节点无源滤波器参数就可分别求出满足式(14)、(16)和(17)的电容器最小容量,取其中的最大值作为该滤波支路电容器的额定容量  $Q_{CNij}$ 。

#### (2) 有源滤波器的容量

应用个体  $X$  中的各节点有源滤波器对各次谐波电流的吸收系数,就可求出满足式(15)的有源滤波器额定容量  $S_{Ni}$ 。

得到无源滤波和有源滤波器各自的额定容量后,利用式(8)和(9)确定该个体所对应滤波器的总费用。

### 3.3 违反约束条件的处理

文献[4]中采用了一种新的在 GA 中广泛使用的竞争选择方法,引入了不需要罚因子而直接比较个体优劣的作法。即对于两个给定的个体,当两个解个体都可行时,通过比较它们的适应值来判断优劣;当两个中有一个可行、一个不可行时,则无条件地认为可行解个体为优;当这两个解个体都不可行时,则根据它们所对应的作为违反约束度量的罚函数值来判断它们的优劣,违反约束越小的个体越好。这样就可以避免选择罚因子,这种处理约束的方法为直接比较法(DC-Direct Comparison)。

本文采用这种 DC 方法,对违反约束的解个体的优劣进行评判:

$$e_{hi} = \begin{cases} (U_{hi}/U_{1i}) - c_{HRU} & U_{hi}/U_{1i} > c_{HRU} \\ 0 & U_{hi}/U_{1i} < c_{HRU} \end{cases} \quad (19)$$

$$E_i = \begin{cases} \sqrt{\sum_{h=2}^H U_{hi}^2} / U_{1i} - c_{UTHD} & \sqrt{\sum_{h=2}^H U_{hi}^2} / U_{1i} > c_{UTHD} \\ 0 & \sqrt{\sum_{h=2}^H U_{hi}^2} / U_{1i} < c_{UTHD} \end{cases} \quad (20)$$

$$D = \sum_{i=1}^N \sum_{h=2}^H e_{hi} + \sum_{i=1}^N E_i \quad (21)$$

式中:  $e_{hi}$  为节点  $i$  的  $h$  次谐波电压违反约束式(10)时的度量,  $E_i$  为节点  $i$  总的谐波电压违反约束式(11)时的度量,  $D$  为个体  $X$  所对应的网络中所有节点违反式(10)和式(11)的总的度量值。

### 3.4 遗传操作

#### (1) 种群规模的选取

通常种群规模  $Pop$  取为 30~200,本文算法中,种群规模取为 100。

#### (2) 选择操作

本文采用排序选择操作<sup>[5]</sup>,对每个个体进行优劣排序。没有违反约束的个体采用适应值决定其在种群中的位置,对违反约束的个体按 3.3 条提出的方法处理,从而得到所有个体在种群中的序号,用序号充当适应值,按轮盘赌方式来进行选择操作。

#### (3) 交叉、变异操作

本文采用基于排序的自适应交叉率和变异率。

$$P_c = \begin{cases} P_{c1} - \frac{P_{c1} - P_{c2}}{Pop/2} (\frac{Pop}{2} - rank(V) + 1) & rank(V) \leq \frac{Pop}{2} \\ P_{c1} & rank(V) > \frac{Pop}{2} \end{cases}$$

$$P_m = \begin{cases} P_{m1} - \frac{P_{m1} - P_{m2}}{Pop/2} (\frac{Pop}{2} - rank(V) + 1) & rank(V) \leq \frac{Pop}{2} \\ P_{m1} & rank(V) > \frac{Pop}{2} \end{cases}$$

式中:  $Pop$  为种群规模数,  $rank(V)$  为个体  $V$  在种群中所对应的序号值,  $rank'(V)$  为要交叉的两个个体中序号较小值。  $P_c$  为交叉率,  $P_m$  为变异率,  $P_{c1}$  和  $P_{m1}$  分别为群体中适应度值低于平均适应度值的个体的交叉率和变异率,  $P_{c2}$  和  $P_{m2}$  分别为群体中最大适应度值的个体的交叉率和变异率,根据实际程序运算经验以及文献[3],操作中  $P_{c1} = 0.9$ ,  $P_{c2} = 0.6$ ,  $P_{m1} = 0.1$ ,  $P_{m2} = 0.01$ 。

## 4 滤波器优化配置的算例分析

算例取自文献[6],是一个 18 节点的配电系统,有 1 个供电点,1 台变压器,15 个负荷节点,9 个电容器接地支路,如图 1 所示。系统基准电压为 12.5 kV,基准容量 10 MVA,各节点负荷情况及线路参数见文献[6]。考虑节点 5、6、8、11、12 和 16 处具有谐波源,其各次谐波电流如表 1。

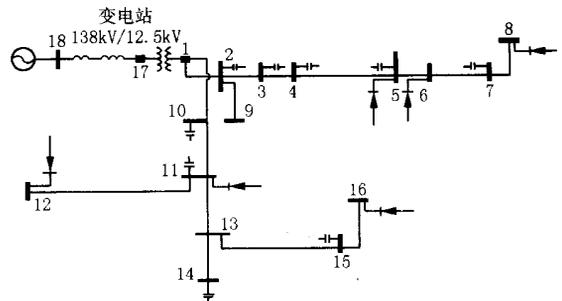


图 1 18 节点配电系统网络

Fig. 1 18 - bus distribution system

表1 非线性负荷注入系统的谐波电流

Tab.1 Harmonic current of nonlinear load injection system

节点	谐波电流/p.u						
	5次	7次	9次	11次	13次	15次	
5	实部	0.005	0.002	0.008	0.100	0.004	0.003
	虚部	0.002	0.007	0.007	0.078	0.0023	0.004
6	实部	0.018	0.01	0.007	0.133	0.015	0.018
	虚部	0.019	0.0075	0.009	0.142	0.002	0.019
8	实部	0.135	0.140	0.165	0.184	0.165	0.150
	虚部	0.107	0.184	0.168	0.173	0.143	0.150
11	实部	0.015	0.107	0.011	0.013	0.016	0.018
	虚部	0.016	0.127	0.016	0.014	0.016	0.012
12	实部	0.08	0.15	0.029	0.035	0.002	0.005
	虚部	0.07	0.128	0.017	0.033	0.017	0.05
16	实部	0.150	0.190	0.165	0.184	0.165	0.184
	虚部	0.157	0.134	0.169	0.193	0.168	0.173

表2 模型中的有关系数

Tab.2 The parameters of model

$c_{HRU}$	$c_{UHD}$	$K_U$	$K_I$	$K_Q$	$a_{0ij}$	$a_{1ij}$	$b_{0i}$	$b_{1ij}$
0.032	0.04	1.1	1.3	1.35	30	15	40	45

表3 18节点配电系统的最优配置方案

Tab.3 Optimal allocation scheme of 18-bus distribution system

节点	阶数	$q$	$C/F$	$R/$	$L/H$	$Q_{CN}/MVA$
5	11	55	7.6879e-6	0.6847	1.0903e-2	0.3097
12	7	60	9.5367e-5	0.0795	2.1704e-3	1.8643

节点		$a_h$ (有源滤波器吸收 $h$ 次谐波电流的系数)						$S_N/MVA$
		$h=5$	$h=7$	$h=9$	$h=11$	$h=13$	$h=15$	
8	有源	0.968	0.948	0.915	0.929	0.944	0.951	1.2008
16	有源	0.946	0.962	0.928	0.924	0.963	0.959	1.3123

表4 各种不同优化配置方案的比较

Tab.4 Comparison of different optimal allocation schemes

优化配置方案	无源滤波	有源滤波	无源滤波器	有源滤波器	总费用
	器个数	器个数	容量/MVA	容量/MVA	
无源和有源综合	2	2	2.1723	2.5131	285.67
仅无源	7	0	7.6036	0	324.05
仅有源	0	5	0	3.6239	363.08

按上面所述,滤波器安装候选位置节点只考虑4、5、6、7、8、10、11、12、13、15和16节点。应用本文提出的无源和有源滤波器统一优化配置的数学模型,并用改进的自适应遗传算法对上述算例进行求解。算法中所用到的参数如表2。其中 $a_{0ij}$ 和 $b_{0i}$ 单位为万元, $a_{1ij}$ 和 $b_{1ij}$ 的单位为万元/MVA。所得优化配置方案如表3,所需总费用为286.16万元。另外还计算了仅配置无源滤波器和仅配置有源滤波器的优化配置方案,参见表4。

## 5 结论

本文提出了以网络中所有无源和有源滤波器的总费用最小为目标函数,以谐波电压和滤波器的安全运行为约束条件,将滤波器的安装位置、安装个数和参数进行统一优化配置的方法。采用基于排序选择,对违反约束个体进行直接比较的改进自适应遗传算法进行求解,并通过一个18节点配电系统进行了验证,说明了本方法的有效性。算例表明:将无源和有源滤波器在配电网中优化组合,则可降低滤波器的总费用;同时,本文所提出的改进自适应遗传算法为谐波抑制工作提供了有力的工具。

## 参考文献:

- [1] 吴竞昌(WU Jing-chang). 供电系统谐波(Harmonic in Power Supply System)[M]. 北京:中国电力出版社(Beijing:China Electric Power Press),1998.
- [2] 王兆安,杨君,刘进军(WANG Zhao-an, YANG Jun, LIU Jin-jun). 谐波抑制和无功功率补偿(Harmonic Restraint and Reactive Power Compensation)[M]. 北京:机械工业出版社(Beijing:China Machine Press),1998.
- [3] 王小平,曹立明(WANG Xiao-ping, CAO Li-ming). 遗传算法——理论、应用与软件实现(Genetic Algorithm——Theory Application and Realization of Software)[M]. 西安:西安交通大学出版社(Xi'an:Xi'an Jiaotong University Press),2002.
- [4] Deb K, Agrawal S. A Niche+penalty Approach for Constraint Handling in Genetic Algorithms[A]. Montana D ed Proceedings of the ICANNGA-99. Slovenia(USA):1999. 234-239.
- [5] 张彤,张华,王子才(ZHANG Tong, ZHANG Hua, WANG Zi-cai). 浮点数编码的遗传算法及其应用(Float Encoding Genetic Algorithm and Its Application)[J]. 哈尔滨工业大学学报(Journal of Harbin Institute of Technology),2000, 4(32):59-61.
- [6] Gady W M, Samotyj M J, Noyala A H. The Application of Network Objective Functions for Actively Minimizing the Impact of Voltage Harmonics in Power Systems[J]. IEEE Transactions on Power Delivery,1992,7(3):1379-1380.

收稿日期: 2003-05-12; 修回日期: 2003-09-23

作者简介:

杨文宇(1973-),男,博士研究生,讲师,研究方向主要为配电系统自动化和配电系统可靠性评估;

刘健(1967-),男,博士,教授,博士生导师,IEEE高级会员,研究方向主要为电力系统自动化;

余健明(1956-),男,教授,主要从事配电系统自动化和电能质量控制方面的研究。

(下转第35页 continued on page 35)

- 电网电压无功实时控制(Improved Genetic Algorithms Applying to Real-time Control of Voltage and Reactive Power) [J]. 计算机测量与控制(Computer Measurement & Control), 2002, 10(4): 230 - 231.
- [6] 王守相等(WANG Shou-xiang, et al). 配电电容器三相分相优化投切(Optimal Capacitor Switching Phase by Phase in Distribution Systems) [J]. 电网技术(Power System Technology), 2002, 26(8): 16 - 20.
- [7] 杨建刚(YANG Jian-gang). 人工神经网络实用教程(Practical Tutorial of Artificial Neural Networks) [M]. 杭州: 浙江大学出版社(Hangzhou: Zhejiang University Press), 2001.
- [8] Rutenbar R A. Simulated Annealing Algorithms: An Overview [J]. IEEE Circuit and Devices Magazine, 1989, 1, 19-26.
- [9] Geman S, Geman D. Stochastic Relaxation, Gibbs Distribution, and the Bayesian Restoration of Images [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, 1984, PAMF6, 721-741.
- [10] Szu H, Hartley R. Fast Simulated Annealing [J]. Physics Letters A, 1987, 122, 162-167.
- [11] 钱颂迪(QIAN Song-di). 运筹学(Operational Research) [M]. 北京: 清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 1990.
- [12] 张伯明, 陈寿孙(ZHANG Bo-ming, CHEN Shou-sun). 高等电力网络分析(Advanced Electric Power Network Analysis) [M]. 北京: 清华大学出版社(Beijing: Tsinghua University Press), 1996.

收稿日期: 2003-05-14; 修回日期: 2003-09-01

作者简介:

贾德香(1971 - ), 男, 硕士研究生, 研究方向为配电网无功优化;

唐国庆(1937 - ), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统运行与控制、电力电子在配电网中的应用、配网自动化、人工智能在电力系统中的应用;

韩净(1973 - ), 女, 工程师, 从事电力系统运行与控制工作。

### Reactive power optimization of power system based on modified simulated annealing algorithm

JIA De-xiang<sup>1</sup>, TANG Guo-qing<sup>1</sup>, HAN Jing<sup>2</sup>

(1. Dept. of Electrical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China;

2. Ma anshan Electric Power Supply Bureau, Ma anshan 243000, China)

**Abstract:** The key to the optimization of reactive power operation is to get optimum value or satisfactory quasioptimum value. Traditional methods of linear programming and nonlinear programming cannot deal with the problem of integral variable successfully, and the simulated annealing algorithm(SA) is not very robust. Concerning the characteristics of high/medium voltage distribution system, the SA is modified as follows: using remembrance-guided search method, and modifying the quasioptimum value with pattern search method. Numerical experiment demonstrates that the above method is reasonable, feasible, and practical to some extent.

**Key words:** power system; reactive power optimization; remembrance-guided search; pattern search method; modified simulated annealing algorithm

(上接第 27 页 continued from page 27)

### Optimal allocation of harmonic filters in distribution network based on improved adaptive genetic algorithm

YANG Wen-yu<sup>1</sup>, LIU Jian<sup>1,2</sup>, YU Jian-ming<sup>1</sup>, GAO Xin<sup>1</sup>

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Yinhe Automation Research Institute,

Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710075, China)

**Abstract:** Taking the minima of the total cost of passive power filters and active power filters as an objective function, and harmonic voltage and secure operation as constraint conditions, this paper describes the optimal allocation of the locating and sizing of filters. The improved adaptive genetic algorithm is also proposed. Test results on a 18-bus distribution network are presented to demonstrate the effectiveness of the whole algorithm.

This project is supported by National Fund for Authors of Excellent Doctoral Thesis(No. 200137).

**Key words:** harmonics; passive power filter; active power filters; harmonic restraint