

基于进化策略并考虑宽频段补偿的 PSS 参数优化

高磊¹, 蒋平¹, 李海峰², 罗建裕², 王小英²

(1. 东南大学电气工程系, 江苏 南京 210096; 2. 江苏省电力公司, 江苏 南京 210024)

摘要: 将进化策略结合 PSS 宽频段补偿特性的方法应用到多机电力系统稳定器(PSS)参数优化。考虑到一种运行方式配置的 PSS 可能在其他运行方式下失效或恶化, 以 PSS 在低频振荡范围内(0.1~2 Hz)产生的附加阻尼转矩 ΔT_e 与 $\Delta\omega$ 尽可能同相位为目标优化超前-滞后环节参数; 再以多机 PSS 在整个系统内产生的最小阻尼比尽量大为目标进行全局优化。New England 10 机系统仿真结果表明, 这是一种有效的 PSS 参数优化方法, 所得到的参数优化结果对系统运行方式变化有很好的鲁棒性。
关键词: 电力系统稳定器(PSS); 多机系统; 参数优化; 进化策略; 宽频段

Parameter optimization of multi-machine PSS using evolutionary strategy and considering compensation effect of PSS in wide frequency range

GAO Lei¹, JIANG Ping¹, LI Hai-feng², LUO Jian-yu², WANG Xiao-ying²

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

2. Jiangsu Electric Power Company, Nanjing 210024, China)

Abstract: A new method based on evolutionary strategy(ES) and compensation effect of PSS in wide frequency range for optimal design of multi-machine power system stabilizers(PSS) is presented in this paper. PSS parameters in one condition may be worse in other conditions, an objective function which minimizes the angle between ΔT_e and $\Delta\omega$ is proposed for the lead-lag parameters optimization. Then another objective function for maximizing the min damp of system is used to optimize all the PSS's parameters. New England 10-machine system simulation results show the effectiveness of the proposed optimization method, and the optimized parameters possess good robustness on variation of loading conditions and system configurations.

Key words: power system stabilizer; multi-machine power system; parameter optimization; evolutionary strategy; wide frequency range

中图分类号: TM744 文献标识码: A 文章编号: 1003-4897(2007)04-0027-05

0 引言

电力系统在小干扰影响下会产生振荡。在某些发电机的励磁系统上加装 PSS 来抑制系统机电振荡, 特别是本地振荡模式, 是一种经济有效使用最广泛的方法^[1~6]。PSS 有效发挥抑制低频振荡的关键是合理地配置或选定其参数。多机系统中配置 PSS 参数不仅要考虑其对多种机电振荡的影响, 对所有的控制参数进行整体协调, 还要考虑到系统多种运行方式的变化。

PSS 的参数优化是一个有约束条件的非线性、多参数、存在多个局部极小点的优化问题, 这类问题难以使用传统的优化方法解决。近年来, 多种启发式算法被用来解决多机 PSS 参数优化问题, 例如遗传算法(GA)、模拟退火算法、禁忌搜索、进化策略(ES)、混合粒子群优化(PSO)^[7~11]等。其中, 进化策略是一类求解连续函数优化问题的具有较好性

能的进化算法, 而且对于数值优化问题不需要编码和解码, 比遗传算法要简单可行。文献[10]将进化策略用于多机 PSS 参数优化, 在一种运行方式下配置 PSS, 再选取其他几种运行方式进行验证。由于考虑的运行方式有限, 并不能保证优化的 PSS 在所有的运行方式下有很好的效果。不同运行方式下系统的振荡模式不同, 那么只要在宽频段上保证 PSS 的补偿效果能够达到要求, 所优化的 PSS 参数就会适应所有的运行方式, 即可以对所有的模态起到抑制效果。文献[11]以 PSS 在低频振荡范围内(0.1~2 Hz)产生的附加阻尼转矩 ΔT_e 与 $\Delta\omega$ 尽可能同相位为目标优化超前-滞后环节参数, 在此基础上优化增益 K 值。虽然这种方法的鲁棒性很强, 能够适应所有运行方式, 但没有考虑全局阻尼水平。

本文提出了一种基于进化策略并考虑宽频段补偿特性的 PSS 全局协调优化方法。这种方法采用两步优化。首先, 以 PSS 在低频振荡范围内产生的

附加阻尼转矩 ΔT_e 与 $\Delta\omega$ 尽可能同相位为目标优化超前一滞后环节参数, 将满足条件的个体作为下步优化的初值; 然后, 选定某种典型的运行方式, 以全系统最小阻尼比尽可能大为目标优化 PSS 全部参数。实例系统仿真结果表明该方法是有效的、强鲁棒性的。

1 数学模型

1.1 系统模型

本文发电机采用 4 阶模型, 励磁系统采用响应快速的自并励静止励磁系统模型:

$$V_{fi} = \frac{1}{1 + sT_{fi}} \frac{K_{Ai}}{1 + sT_{Ai}} \frac{1 + sT_{Ci}}{1 + sT_{Bi}} V_{ti} \quad (1)$$

式中: V_{fi} 为第 i 台发电机励磁系统的输出信号; V_{ti} 为第 i 台发电机的端电压; 3 个分式分别代表励磁系统的测量滤波、综合放大和校正环节。

电力系统稳定器为广泛采用的超前一滞后校正模型:

$$V_{si} = k_i \frac{sT_{wi}}{1 + sT_{wi}} \frac{1 + sT_{li}}{1 + sT_{2i}} \frac{1 + sT_{3i}}{1 + sT_{4i}} \Delta\omega_i \quad (2)$$

式中: V_{si} 为第 i 台发电机 PSS 输出信号; T_{wi} 为隔直环节时间常数; T_{li} 、 T_{2i} 、 T_{3i} 、 T_{4i} 为相位补偿环节的时间常数。

1.2 宽频段优化模型

参考单机系统线性化模型图 1, PSS 所要补偿的相位即为系统的励磁滞后角 (U_{PSS} 和 $\Delta E'_q$ 之间的相位滞后) [12]。

$$\frac{\Delta E'_q}{U_{PSS}} = \frac{K_{Ai}(1 + pT_{Ci})}{(1 + pT_{Ai})(1 + pT_{Bi})(K_{3i} + pT_{d0}) + K_{Ai}K_{6i}(1 + pT_{Ci})} \quad (3)$$

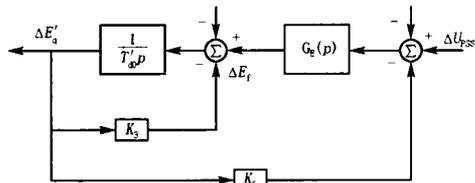


图 1 U_{PSS} 和 $\Delta E'_q$ 之间的传递函数框图

Fig.1 Transfer function between U_{PSS} and $\Delta E'_q$

PSS 的超前一滞后环节时间常数决定了 PSS 在频域上的补偿特性。合理优化 PSS 的时间常数是整个优化工作的关键点。要使 $\Delta\omega$ 为输入信号的 PSS 产生的阻尼转矩 ΔT_e 与 $\Delta\omega$ 尽量同相, PSS 的超前补偿角度必须尽可能地补偿掉励磁系统的滞后角度。优化目标函数为:

$$\begin{cases} \min J = \sum_{i=1}^n |\theta_{\Delta T_e - \Delta\omega}(f_i)| = \sum_{i=1}^n |\theta_{PSS}(f_i) + \theta_{Ex}(f_i)| \\ \text{s.t. } T_1^{\min} \leq T_{1i} \leq T_1^{\max} \\ T_2^{\min} \leq T_{2i} \leq T_2^{\max} \\ T_3^{\min} \leq T_{3i} \leq T_3^{\max} \\ T_4^{\min} \leq T_{4i} \leq T_4^{\max} \\ -45^\circ \leq \theta_{\Delta T_e - \Delta\omega}(f_i) \leq 10^\circ \end{cases} \quad (4)$$

式中: f_1, f_2, \dots, f_n 为低频振荡频段 (0.1~2 Hz) 上的等分点, 代表低频段上的 n 个频率点, $f_1 = 0.1$ Hz, $f_n = 2$ Hz。 $\theta_{\Delta T_e - \Delta\omega}(f_i)$ 、 $\theta_{PSS}(f_i)$ 和 $\theta_{Ex}(f_i)$ 分别是在 f_i 频率点处 PSS 产生的阻尼转矩 ΔT_e 与 $\Delta\omega$ 之间的相角差、PSS 的补偿相角和励磁系统的滞后相角。根据文献[13], PSS 补偿后的相位角要满足 $-45^\circ \sim 10^\circ$ 之间。当 n 足够大时, 目标函数就能保证 PSS 在整个低频段上的补偿效果满足要求, 即能够满足多种运行方式。这样, PSS 超前一滞后环节的优化问题就可以描述为一个带不等约束的多参数的非线性函数的最小值问题, 采用进化策略寻优。

励磁系统总是呈现滞后特性, $\Delta\omega$ 为输入信号的 PSS 必须呈现超前补偿特性, 因此取 T_{li} 、 T_{3i} 的取值范围为 [0.01, 1.0]; T_{2i} 、 T_{4i} 的取值范围为 [0.01, 0.1]; T_{wi} 固定取值为 5。

1.3 全局优化模型

上述超前一滞后环节的优化可能找到多个次优点, 将这些次优点作为下一步全局优化的初值。阻尼比是度量系统动态性能的指标, 它直接反映了全系统阻尼水平。因此将阻尼比作为全局优化的目标更为合理。在电力系统中一般要求阻尼比不小于 5% [14]。第二步优化的目标函数: $\max(\min\{\xi_i\}, i \in \text{机电振荡模态集合})$, 不等约束与式(4)相同。

第二步优化将 PSS 全部参数进行全局优化, 并且还要将宽频段的补偿特性加以限制, 对于不满足要求的个体减掉一个惩罚值, 避免因个体变异导致频域约束破坏。PSS 增益 k 的取值范围为 [0.01, 15]。

2 算法实现

2.1 进化策略 (ES)

进化策略、遗传算法、进化规划三种算法合称进化计算, 属于现代全局优化方法。这种方法认为不论基因如何发生变化, 所表现出来的综合性状总是遵循均值为零具有某种偏差的高斯分布 [15]。进化策略与遗传算法不同, 它直接对个体的表现型进行操作而不是对基因进行操作, 省略了编码和解码的步骤。进化策略使用实数编码, 更加适合数值优化。进化策略中每个个体被表达成一个浮点数向量, 即 $v = (x, \sigma)$ 。

式中, x 表示搜索空间中的一个点; σ 为用于指导变异运算的标准偏差向量, 该参数本身也参加变异。

现在主要的进化策略有两种: $(\mu + \lambda) - ES$ 和 $(\mu, \lambda) - ES$ 。前者每代中由 μ 个父代个体产生 λ 个子代个体, 包括父代个体在内的 $(\mu + \lambda)$ 个个体参加竞争, 最好的 μ 个个体将作为下一代的父代个体, 这样可以保证最好的个体得以保留; 后者则仅仅在 λ 个子代个体中选择 μ 个个体完全代替父代。

进化策略中主要包括变异和杂交两个算子。与遗传算法不同, 在进化策略中变异算子是主要算子。变异预算通过以下步骤实现。

$$\begin{aligned}\sigma'_i &= \sigma_i e^{\tau N(0,1) + \tau' N_i(0,1)} \\ x'_i &= x_i + N(0, \sigma'_i)\end{aligned}\quad (5)$$

整个变异操作分成对标准偏差和对目标参数进行变异的两个步骤, 经过式 (5) 运算得到新的后代 $v' = (x', \sigma')$ 。其中, $N(0, \sigma)$ 为独立带有零均值及标准偏差 σ 的正态分布随机数。 τ 和 τ' 分别代表变异的全局步长和单个个体步长, 本文按照文献 [15] 的建议取 $\tau = (1/\sqrt[4]{4n})$ 和 $\tau' = (1/\sqrt{2n})$, 其中, n 为需要优化的参数个数。

使用中间体类型, 通过下面步骤实现对两个个体 (x^1, σ^1) 和 (x^2, σ^2) 的杂交运算:

$$(x, \sigma) = [(x^1 + x^2)/2, (\sigma^1 + \sigma^2)/2] \quad (6)$$

2.2 算法实现

本文算法分两个阶段优化: 第一步, 根据低频段 PSS 补偿特性, 以 PSS 产生的转矩 ΔT_e 与 $\Delta \omega$ 尽量同相为目标选择出多个满足条件的次优解作为下一步优化的初值个体; 第二步, 以全系统最小阻尼比尽量大为优化目标, 对次优解进一步优化。全都使用进化策略寻优。

进化种群中包含 μ 个个体, 每个个体有 m 个待优化的参数, 每个个体代表了一个优化问题的结果。在进化一代个体中, 通过杂交产生 λ_1 个个体, 通过变异产生 λ_2 个个体, 其总数 $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ 。仿真时, 一般可取 $\mu = 20, \lambda = 90$ 。

式 (4) 中的不等约束做如下处理: 每一代进行变异或杂交运算时, 不满足 PSS 参数范围约束的个体将被抛弃, 不放到下一代中。若发生此类越限的几率很高, 则适当调整其控制参数 [15]。本文的控制参数取为: $\sigma_i = 0.05/\sqrt{n}$, n 为优化参数个数。若不满足 $-45^\circ \leq \theta_{\Delta T_e - \Delta \omega}(f_i) \leq 10^\circ$ 这一不等约束, 将适当惩罚个体适应度。

进化策略具体实现步骤如下:

1) 种群初始化。根据参数取值范围, 随机生

成 μ 个个体。

2) 从种群中随机选取 $2\lambda_1$ 个个体按照式 (6) 进行杂交运算, 产生 λ_1 个后代, 并对新产生的个体进行变异运算。

3) 对父代个体进行变异运算产生 λ_2 个后代。

4) 对所有后代进行评价, 根据适应度, 保留最优的 μ 个个体。

5) 终止判断。当进化个体满足要求或进化超过最大代数, 停止计算。否则回到 2) 继续。

第一步优化因为数量较大且无需寻最优解, 所以进化代数选为 10 代左右; 第二步进化满足最小阻尼比达到 15% 或最大进化代数为 50 代则可停止。

3 算例

以下将通过 New England 10 机 39 节点算例的 PSS 参数优化来说明算法的有效性和强鲁棒性。New England 10 机 39 节点系统, 接线图及参数见文献 [16]。计算中, 发电机采用 4 阶模型, 自并励静止励磁系统参数取为 $K_A = 200, T_R = 0.03, T_A = 0.02, T_B = 10, T_C = 1$ 。文 [16] 中的基本方式作为方式 1, 方式 2 为 14-15 线路停运, 方式 3 为 21-22 线路停运。未装 PSS 时系统的机电振荡模式如表 1 所示。从表 1 结果可以看出, 大多数机电振荡模式阻尼比都很低, 而且出现了负阻尼。为了提高系统阻尼, 在除等值机之外的 9 台发电机上都加装了 PSS, 应用本文优化程序对 PSS 进行参数优化, 优化结果见表 2。

按照优化结果配置 PSS 后, 系统的振荡模式见表 3。由表 3 结果可见, 所有机电振荡模式都达到了满意的阻尼比。每台 PSS 在低频段的补偿效果见图 2。图 2 表明所有的 PSS 在低频段都满足补偿的相位要求, 即对多种运行方式有强鲁棒性。

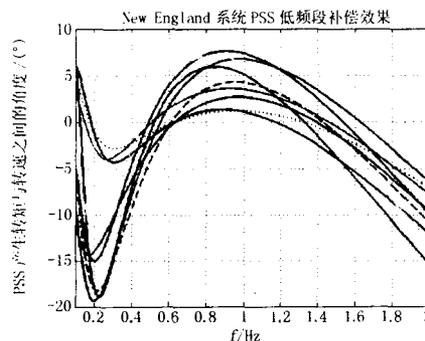


图 2 New England 系统 PSS 低频段补偿效果
Fig.2 Compensation effect of new England PSSs in wide frequency range

表 1 New England 系统无 PSS 机电振荡模式

Tab.1 Electromechanical modes of New England system without PSSs

运行方式 1		运行方式 2		运行方式 3	
特征值	阻尼比/(%)	特征值	阻尼比/(%)	特征值	阻尼比/(%)
-0.6855±j10.906	6.273 3	-0.686±j10.9026	6.280 0	-0.680±j10.8647	6.247 0
-0.3069±j8.8874	3.451 6	-0.3048±j8.879	3.431 0	-0.3032±j8.8601	3.420 2
-0.3431±j8.6372	3.969 0	-0.3456±j8.6319	4.001 0	-0.3386±j8.5669	3.949 1
-0.2587±j8.1905	3.157 4	-0.2596±j8.1886	3.168 6	-0.2597±j8.1566	3.182 7
-0.1316±j7.4561	1.765 0	-0.1239±j7.4309	1.666 9	-0.1295±j7.4652	1.734 6
-0.2136±j7.3417	2.908 1	-0.2194±j7.3392	2.987 7	-0.1234±j6.9699	1.770 1
-0.0782±j6.4954	1.203 2	0.1565±j6.0547	-2.584 4	0.0399±j6.2040	-0.642 8
0.1565±j6.0557	-2.583 5	-0.02±j5.86	0.003 7	0.0998±j5.5952	-1.782 8
0.0458±j3.8751	-1.183 0	0.0508±j3.7365	-1.359 7	0.1578±j3.5583	-4.431 1

表 2 New England 系统 PSS 参数优化结果

Tab.2 The optimal settings of PSSs in New England system

发电机	PSS 参数				
	K	T_1	T_2	T_3	T_4
G1	14.801 9	0.477 0	0.085 7	0.494 3	0.026 1
G2	7.656 9	0.265 8	0.027 9	0.747 8	0.061 4
G3	14.108 7	0.477 9	0.087 9	0.376 6	0.020 7
G4	8.444 3	0.114 5	0.016 0	0.946 1	0.042 5
G5	10.130 2	0.946 6	0.040 8	0.160 6	0.031 9
G6	9.586 7	0.249 8	0.064 9	0.619 2	0.023 9
G7	8.884 5	0.164 2	0.012 1	0.774 2	0.065 5
G8	4.975 8	0.612 3	0.012 1	0.274 3	0.077 2
G9	11.999 9	0.724 6	0.068 3	0.168 7	0.016 7

表 3 New England 系统安装 PSS 后的机电振荡模式

Tab.3 Electromechanical modes of New England system with PSSs

运行方式 1		运行方式 2		运行方式 3	
特征值	阻尼比/(%)	特征值	阻尼比/(%)	特征值	阻尼比/(%)
-2.350±j10.6441	21.558 8	-2.3469±j10.638	21.542 8	-2.3279±j10.596	21.459 1
-1.6152±j7.4979	21.058 4	-1.6119±j7.4954	21.024 6	-1.6139±j7.4531	21.164 1
-2.9053±j7.4738	36.231 4	-2.9021±j7.4675	36.223 6	-2.8434±j7.4788	35.538 2
-2.5216±j7.5175	31.801 9	-2.5190±j7.5158	31.779 2	-2.4133±j7.5262	30.534 5
-2.0533±j6.2087	31.398 6	-1.7675±j6.2112	27.370 2	-1.6892±j6.2164	26.223 0
-1.6101±j6.0895	25.562 1	-2.0749±j6.2284	31.605 2	-2.1595±j5.8166	34.804 9
-1.9360±j5.7370	31.974 8	-1.4905±j5.0083	28.525 1	-1.6154±j5.1627	29.862 3
-1.7975±j4.9643	34.046 4	-1.7968±j4.9870	33.896 9	-1.4100±j4.8453	27.940 9
-0.5636±j3.2331	17.171 7	-0.5709±j3.0775	18.238 0	-0.3532±j3.1224	11.239 9

4 结论

1) 本文结合全局优化算法和 PSS 低频段补偿特性解决多机系统的 PSS 协调配置问题。要适应系统多种运行方式, PSS 必须在低频段满足一定要求。根据 PSS 低频段补偿效果优化 PSS 的超前一滞后环节,并将这些次优解作为全局优化的初值。全局优化把提高全系统最小阻尼比作为目标,实现了多机协调优化。本文算法的主要特点是将 PSS 优化问题

拆分为两个步骤,既满足了全局协调的要求,又对系统多种运行方式有强鲁棒性。New England 10 机 39 节点系统仿真结果表明,利用本文优化方法能在多种运行方式下有效抑制机电振荡模式,显著提高全系统小干扰稳定性。

2) 本文算法使用 Matlab 实现,10 机系统进化 20 代用时约 100 s,主要时间花费在全网特征值的求取上,本文并没有对特征值的求取进行讨论,如用于大型电力系统模型,需采用高效的特征值算法。

参考文献

- [1] 赵书强,常鲜戎,贺仁睦,等. PSS 控制过程中的借阻尼现象与负阻尼效应 [J]. 中国电机工程学报, 2004,24(5):7-11.
ZHAO Shu-qiang, CHANG Xian-rong, HE Ren-mu, et al. Borrow Damping Phenomena and Negative Damping Effect of PSS Control[J].Proceedings of the CSEE, 2004,24(5):7-11.
- [2] 刘增煌,方思立. 电力系统稳定器对电力系统动态稳定的作用及与其它控制方式的比较[J]. 电网技术, 1998,22(3):4-10.
LIU Zeng-huang, FANG Si-li. The Effects of Power System Stabilizer (PSS) on Power System Dynamic Stability and Comparison with Other Control Method[J].Power System Technology, 1998,22(3):4-10.
- [3] Bollinger K E, Ao S Z. PSS Performance as Affected by Its Output Limiter[J]. IEEE Trans on Energy Conversion, 1996,11(1):118-124.
- [4] Abdel-Magid Y L, Abido M A, Mantawy A H. Robust Tuning of Power System Stabilizers in Multimachine Power System [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2000,15(2):735-740.
- [5] Ramirez-Arredondo J M. The Closed-loop Characteristic Polynomial as a Means to Obtain Robust Performance of Conventional PSS [J]. Electrical Power and Energy System, 2000,22:259-68.
- [6] 刘红超,李兴源. 基于 PRONY 辨识的交直流并联输电系统直流阻尼控制的研究 [J]. 中国电机工程学报, 2002,22(7):54-57.
LIU Hong-chao, LI Xing-yuan. Study of DC Damping Control in AC/DC Transmission Systems Based on PRONY Method[J]. Proceedings of the CSEE, 2002,22(7):54-57.
- [7] Abido M A. Parameter Optimization of Multimachine Power System Stabilizers Using Genetic Local Search [J]. Electric Power and Energy Systems,2001,23(8):785-794.
- [8] Abido M A. An Efficient Heuristic Optimization Technique for Robust Power System Stabilizer Design [J]. Electric Power Systems Research,2001,58(2):53-62.
- [9] Abido M A. A Novel Approach to Conventional Power System Stabilizer Design Using Tabu Search [J]. Electric Power and Energy Systems,1999,21(6):443-454.
- [10] 牛振勇,杜正春,方万良,等. 基于进化策略的多机系统 PSS 参数优化 [J]. 中国电机工程学报, 2004,24(2):22-27.
NIU Zhen-yong, DU Zhen-chun, WAN Fang-liang, et al. Parameter Optimization of Multi-machine Power System Stabilizers Using Evolutionary Strategy[J].Proceedings of the CSEE, 2004,24(2):22-27.
- [11] 祁万春,房鑫炎. 基于混合粒子群优化算法的 PSS 参数优化 [J]. 继电器,2005,33(13):21-24.
QI Wan-chun, FANG Xin-yan. Parameters Optimization of Power System Stabilizers Using Particle Swarm Optimization Algorithm[J].Relay,2005,33(13):21-24.
- [12] 倪以信,陈寿孙,张宝霖. 动态电力系统的理论和分析 [M]. 北京:清华大学出版社,2002.
NI Yi-xin, CHEN Shou-sun, ZHANG Bao-lin. Theory and Analysis of Dynamic Power System[M]. Beijing: Tsinghua University Press,2002.
- [13] 徐刚. 电力系统稳定器现场试验研究[J]. 江苏电机工程,2003,22(2):15-16.
XU Gang. Field-test Research of Power System Stabilizer[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2003,22(2):15-16.
- [14] Rogers G. Power System Oscillations[M]. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [15] Z.米凯利维茨.演化程序—遗传算法和数据编码的结合 [M]. 周家驹,何险峰,译.北京:科学出版社,2000.
- [16] de Araujo P B, Jr Xanetta L C. Pole Placement Method Using the System Matrix Transfer Function and Sparsity [J].Electrical Power and Energy Systems, 2001,23(3):173-178.

收稿日期: 2006-09-11; 修回日期: 2006-12-14

作者简介:

高磊 (1982-), 男, 硕士研究生, 从事电力系统运行控制的研究; E-mail:gaolei_seu.student@sina.com

蒋平 (1954-), 男, 教授, 从事电力系统运行控制和电力电子在电力系统中的应用方面的研究;

李海峰 (1973-), 男, 高级工程师, 从事电力系统运行控制。

许继技术中心开发部研发与管理再上新台阶

许继技术中心开发部肩负着电力系统保护装置、测控装置等嵌入式装置产品的设计开发任务。2006 年开发部全面贯彻许继公司研发理念, 完善研发管理体系, 加强部门质量过程控制, 坚持技术创新与管理创新, 全体员工努力攻坚克难奋力拼搏, 完成了公司各项 KPI 考核指标, 取得了良好的成绩。

通过实现研发思路转变, 许继技术中心开发部打破以前以产品为中体系, 完成了许继新一代的精品产品 WXH-803A/B1 尖端差动、WXH-802A/B1 光纤距离等保护装置的研制心的研发团队组织形式, 设立了原理研究组、原理设计组、原理验证组、技术支持组、科研管理组、建立了快速响应的研发, 并具备了供货能力, 实现了部门研发与管理水平再上新台阶。