

基于遗传算法的配电变压器最优投切方案

王承民, 余楚云

(上海交通大学 电气工程系, 上海市 闵行区 200240)

Optimization of Switching Plan for Distribution Transformers Based on Genetic Algorithm

WANG Cheng-min, SHE Chu-yun

(Department of Electrical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Minhang District, Shanghai 200240, China)

ABSTRACT: The authors research the optimization of genetic algorithm based switching plan for distribution transformers. According to the economy operation region of substation, a simplified expression for transformer switching plan is obtained. Based on the thinking of genetic algorithm, the transformer switching plan is taken as the individual of genetic operation and the energy conservation benefit as objective function, then the genetic operation is performed and an optimal switching plan is chosen from possible switching plans.

KEY WORDS: economic operation region; switching plan; electricity conservation profits; genetic algorithm

摘要: 研究了基于遗传算法的变压器投切方案优化算法。根据变电站经济运行区间, 得出简化的变压器投切方案表达式; 采用遗传算法思想, 以变压器投切方案作为遗传操作个体, 以投切方案的节电效益作为目标函数, 进行遗传操作, 从可能的投切方案中找出最优的方案。

关键词: 经济运行区间; 投切方案; 节电效益; 遗传算法

0 引言

当实际负荷达到临界负荷时, 可以切换变压器的运行方式, 以保证变压器总是运行在损耗最小的方式下。目前, 变电站经济运行仅据经济运行区间进行投切, 很少研究变压器投切后所获得的节电效益, 使得划分经济运行区间缺乏实践意义^[1-7]。本文提出了一种变压器投切优化方案, 采用遗传算法, 从可能的投切方案中选择出最优的投切方案, 以获得最大的节电效益。

1 变压器投切方案的节电效益计算

1.1 变压器投切方案

临界负荷曲线与变电站的预测负荷曲线相交,

可得 n 个投切时刻点 $t_1 \sim t_n$, 如图 1 所示。图中 P_1 、 P_2 为临界负荷。理论上, 在预测负荷曲线与临界负荷曲线交叉点, 都应该投切变压器, 以保证变电站总是处于经济运行。在 T 时段内, 变电站允许投切动作 m 次, $m < n$, 那么在 n 个可能的投切点内, 任选 m 个时刻点进行投切, 总共可产生 C_n^m 个的投切方案。

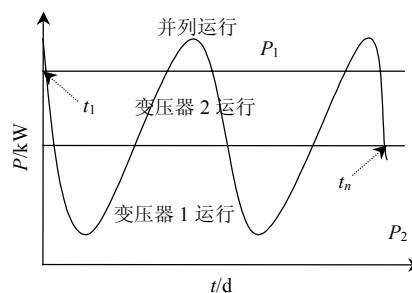


图 1 投切时刻点示意图

Fig. 1 The switching moments in a period of time

为了便于变压器投切方案的优化计算, 将投切次数为 m 的变压器投切方案规定为 $a_i = [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{im}]$, 表示依次在 t_{i1} 、 t_{i2} 、 \dots 、 t_{im} 时刻进行变压器投切。

1.2 变压器投切方案的节电效益计算

变压器投切的节电效益是通过减小有功损耗获得的, 任意 2 个投切点 t_{ix} 、 t_{ix+1} 之间节电效益 F_{ix} , 可以由 $[t_{ix}, t_{ix+1}]$ 时段内电能损耗减小量 E_{ix} 乘以电价计算得出, 即 $F_{ix} = rE_{ix}$ 。投切方案 a_i 的节电效益 F_i 为

$$F_i = \sum_{x=1}^{m-1} F_{ix} = r \sum_{x=1}^{m-1} E_{ix} \quad (1)$$

假设某变电站原为变压器 1 单独运行, 负荷于 t_{ix} 时刻达到临界负荷 P_1 , 变电站将变压器 1 退出, 投入变压器 2, 变压器 2 单独运行至 t_{ix+1} 时刻停止。即变压器 2 在 $[t_{ix}, t_{ix+1}]$ 时段内单独运行, 由此获得的节电效益为

基金项目: 国家 863 高技术基金项目(2006AA05Z214)。

The National High Technology Research and Development of China(863 Program) (2006AA05Z214).

$$E_{ix} = 24 \int_{t_{ix}}^{t_{ix+1}} [\Delta P_1 - \Delta P_2] dt = 24 \int_{t_{ix}}^{t_{ix+1}} \left\{ (P_{O1} - P_{O2}) + P^2 \left[\frac{P_{K1}}{(S_{N1} \cos \varphi_1)^2} - \frac{P_{K2}}{(S_{N2} \cos \varphi_2)^2} \right] \right\} dt \quad (2)$$

式中： ΔP_1 、 ΔP_2 为 $[t_{ix}, t_{ix+1}]$ 时段内，变压器 1、变压器 2 单独运行的有功功率损耗； P_{O1} 、 P_{O2} 为变压器 1、变压器 2 的空载损耗； P_{K1} 、 P_{K2} 为变压器 1、变压器 2 的短路损耗； P 为 T 时段内的变电站有功负荷； S_{N1} 、 S_{N2} 为变压器 1、变压器 2 的额定容量； $\cos \varphi_1$ 、 $\cos \varphi_2$ 为 $[t_{ix}, t_{ix+1}]$ 时段内变压器 1、变压器 2 单独运行时的平均功率因数。

2 基于遗传算法的变压器投切方案优化

遗传算法是模拟生物群体进化的优化算法^[8]，通过对个体进行复制、交叉、变异等遗传操作，从群体中选择出最优个体。基于遗传算法的变压器投切方案优化算法的基本思想为：将投切方案作为遗传操作的个体，对其进行遗传操作，从中选出节电效益最大的个体。

采用遗传算法实现变压器投切方案优化的关键问题有：

1) 个体。遗传操作的个体为变压器投切方案 $a_i = [t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{im}]$ ，为了便于对 a_i 进行遗传操作，将 a_i 转换为二进制字符串。假设 $m=24$ ，为覆盖到 $t_1 \sim t_{24}$ ，应采用 5 位二进制编码，如 t_{24} 编码为 11000。

2) 个体适应度函数。变压器投切方案优化的目标为投切方案的节电效益最大，则个体适应度函数定义为

$$J = \max_{i=1, \dots, N} (F_i) \quad (3)$$

式中 N 为种群规模。

基于遗传算法的变压器投切方案优化流程^[8-14]如图 2 所示。采用 Microsoft VC++6.0，实现变压器投切方案优化。由于个体的生成具有随机性，个体对应的投切点可能大于最大投切点 t_n ，需对个体检验修正。规定个体中大于 t_n 的投切点用 $t_{n/2}$ 代替，零点用 t_1 代替。如 $n=24$ 时， $a_i = [t_0, t_4, t_8, t_{32}]$ 不满足实际，更改为 $a_i = [t_1, t_4, t_8, t_{16}]$ 。

3 算例验证

已知某配电变电站 2 台双绕组变压器额定参数如表 1， $T=[0, 360]$ 内预测的负荷数据如表 2(受篇幅限制，仅列出 30 d 内的负荷)，其中每天的负荷是 24h 整点负荷值的平均值。规定 T 时段内允许投切 4 次，要求计算最优投切方案。计算步骤如下：

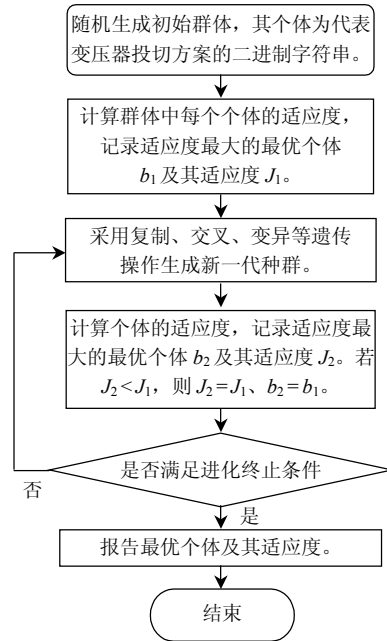


图 2 基于遗传算法的变压器投切方案优化流程
Fig. 2 Flow chart of switching plan operation for transformers based on genetic algorithm

表 1 变压器额定参数

Tab. 1 The rated parameters of transformer

额定参数	变 1	变 2
S_N/kVA	20 000	10 000
$I_0/\%$	0.18	0.3
P_0/kW	17.6	12
$U_k/\%$	8.98	7
P_k/kW	90.3	56.5

表 2 变电站负荷数据

Tab. 2 The load data of the substation

日期	1	2	3	4	5
负荷/kW	19 150	17 737	17 931	11 184	17 196
日期	6	7	8	9	10
负荷/kW	17 472	14 109	13 582	14 042	12 409
日期	11	12	13	14	15
负荷/kW	11 388	10 295	10 028	9 621	9 474
日期	16	17	18	19	20
负荷/kW	8 600	8 240	7 153	7 835	6 434
日期	21	22	23	24	25
负荷/kW	7 075	5 915	6 080	9 105	6 992
日期	26	27	28	29	30
负荷/kW	8 005	8 420	10 799	10 640	12 127

1) 拟合负荷数据。将原始负荷数据分段，选择余弦函数用最小二乘法拟合原始数据为解析式 $g(t)$ 。对表 2 中的数据拟合，得到负荷曲线解析式为

$$g(t) = \begin{cases} 2 583 \cos(2\pi \frac{t}{15} + 1.56) + 13 528, & t \in [1, 15] \\ 1 828 \cos(2\pi \frac{t-15}{15} + 0.61) + 8 180, & t \in [16, 30] \end{cases} \quad (4)$$

拟合后，其均方误差为 808 kW，远小于平均负荷，

式(4)是有效的拟合。

2) 由临界点法划分经济运行区间。 $0 < P < 2952$, 变2运行; $2952 < P < 11377$, 变1运行; $11377 < P$, 变1、2并列运行。用临界负荷 $P_1=2952$ 、 $P_2=11377$ 分别与负荷曲线 $g(t)$ 相交, 得到所有可能的投切点 15、28、30、43、99、116、122、167、189、212、252、266、319、336, 则可能的投切方案有 $C_{14}^4=1001$ 种。

3) 投切方案优化。遗传算法参数设置为: 变异率 0.15; 杂交比例 0.8; 群体规模 20; 最大进化代数 150。经过 150 代繁殖后, 适应度最大的个体为 $[t_2, t_4, t_5, t_6]$, 即最优投切时刻为第 28、43、99、116 天。得到最优投切方案为(假设未经投切时, 变电站两台变压器并列运行): 在第 28 天, 退出变压器 2, 改为变 1 单台运行; 在第 43 天, 投入变压器 2, 改为变压器 1、变压器 2 并列运行; 在第 99 天, 退出变压器 2, 改为变压器 1 单台运行; 在第 116 天, 投入变压器 2, 改为变压器 1、变压器 2 并列运行。该投切方案的节电效益为 17.4254 万元。

算例表明通过遗传算法计算得出配电变压器 T 时段内的优化投切方案是可行的, 并且能获得可观的节电效益。

4 结论

1) 基于变电站经济运行区间, 提出了一种投切方案表示方法, 清晰陈述了何时投切及其投切动作, 便于优化计算。

2) 与文献[15]中计算有功电能损耗的公式相比, 本文采用的投切方案节电效益计算公式步骤较多, 但更为准确, 便于程序实现。

参考文献

- [1] 胡景生. 变压器经济运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998: 1-9.
- [2] 杨佳, 丁晓群. 一种双绕组变压器经济运行的实用方法[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(2): 40-42.
Yang Jia, Ding Xiaoqun. Practical economic operation method of two-winding transformer[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(2): 40-42(in Chinese).
- [3] 卫志农, 常宝立, 汪方中, 等. 地区电网变压器经济运行实时控制[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(1): 86-88.
Wei Zhinong, Chang Baoli, Wang Fangzhong, et al. Real-time control system for economical operation of transformers in the area power network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2006, 30(1): 86-88(in Chinese).
- [4] Chen X Y, Guo Z Z. Economic operation of power transformer based on real time parameter checking[C]. IEEE Power Engineering Society General Meeting, Montreal, Que, 2006: 12-15.

- [5] Zhang W J, Cheng H Z, Xiong H G, et al. The economic operation of transformer based on fuzzy decision[J]. WSEAS Transactions on Circuits and Systems, 2006, 5(3): 422-427.
- [6] 施文幸, 曹国民. 提高变压器运行经济性的专家系统[J]. 供用电, 2007, 24(4): 34-36.
Shi Wenxing, Cao Guomin. The expert system to improve economic efficiency of transformer operation [J]. Distribution and Utilization, 2007, 24(4): 34-36(in Chinese).
- [7] Kovacs J P. Economic considerations of power transformer selection and operation[J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1980, IA-16(5): 595-599.
- [8] 刘方, 颜伟, Yu D C. 基于遗传算法和内点法的无功优化混合策略[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(15): 68-74.
Liu Fang, Yan Wei, Yu D C. A hybrid strategy based on GA and IPM for optimal reactive power flow[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(15): 68-74(in Chinese).
- [9] 赵亮, 睢刚, 吕剑虹. 一种改进的遗传多目标优化算法及其应用[J]. 中国电机工程学报, 2008, 28(2): 96-103.
Zhao Liang, Ju Gang, Lü Jianhong. An improved genetic algorithm in multi-objective optimization and its application[J]. Proceedings of the CSEE, 2008, 28(2): 96-103(in Chinese).
- [10] 张粒子, 舒隽, 林宪枢, 等. 基于遗传算法的无功规划优化[J]. 中国电机工程学报, 2000, 20(6): 6-10.
Zhang Lizi, Shu Jun, Lin Xianshu, et al. Reactive power planning based on genetic algorithm[J]. Proceedings of the CSEE, 2000, 20(6): 6-10(in Chinese).
- [11] 郭卉. 改进遗传算法在牵引变压器优化涉及中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(4): 120-125.
Guo Hui. Application of modified genetic algorithm to the optimum design of traction transformer[J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(4): 120-125(in Chinese).
- [12] 陈奋, 马宏忠, 张利民, 等. 基于遗传算法的直流电机风力发电系统最优励磁控制技术[J]. 电网技术, 2008, 32(3): 47-52.
Chen Fen, Ma Hongzhong, Zhang Limin, et al. A genetic algorithm based optimal excitation control for wind power system using DC generator[J]. Power System Technology, 2008, 32(3): 47-52(in Chinese).
- [13] 盛四清, 王浩. 用于配电网规划的改进遗传算法[J]. 电网技术, 2008, 32(17): 69-74.
Sheng Siqing, Wang Hao. An improved genetic algorithm for distribution network planning[J]. Power System Technology, 2008, 32(17): 69-74(in Chinese).
- [14] 王超学, 李昌华, 崔杜武, 等. 一种新的求解配电网重构问题的免疫遗传算法[J]. 电网技术, 2008, 32(13): 25-31.
Wang Chaoxue, Li Changhua, Cui Duwu, et al. A new immune genetic algorithm for distribution network reconfiguration[J]. Power System Technology, 2008, 32(13): 25-31(in Chinese).
- [15] GB/T 13462—2008, 电力变压器经济运行[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.



王承民

收稿日期: 2009-06-07。

作者简介:

王承民(1969—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为电力市场与电力系统经济运行;

余楚云(1986—), 女, 硕士研究生, 研究方向为变压器经济运行, E-mail: nancy-ssl@163.com。

(编辑 蒋毅恒)