

一种双绕组变压器经济运行的实用方法

杨 佳,丁晓群

(河海大学 电气工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:介绍了并列运行双绕组变压器经济运行方式优化的方法。提出了一种变压器经济运行的时段控制法:根据短期负荷预测的数据确定未来 1 日的日负荷曲线,并将该曲线分段,再结合变压器经济运行理论,设置变压器在各个时段内的动作次数,最终确切地给出变压器经济投切的时机。最大限度地降低了变压器自身的综合功率损耗,同时减少了设备动作次数。实例分析表明该方法具有较好的经济效益。

关键词:变压器;经济运行;短期负荷预测;时段控制法

中图分类号: TM 406; TM 732

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2006)02-0040-03

0 引言

变压器经济运行是指在技术条件允许并能保证安全生产的条件下,通过优选运行方式、合理调整负载及改善运行条件,使变压器在电能损耗较低的状态下运行。变压器经济运行方面的研究在我国开展得较早,取得了很多成果。例如,对多台并列变压器运行的变电所,按负荷变化规律选择最佳组合运行方式运行;若有备用变压器,应选择综合功率损耗小的变压器投入运行等^[1]。但由于种种原因,用户和电网配置的变压器容量与实际负荷相差较大,而且日常负荷变化较大,往往使得常规变压器经济运行方法难以达到预期效果。

基于以上原因,本文提出了时段控制法,用于变电站的变压器运行方式控制。依照已知的次日负荷预测值划分次日的负荷变化趋势,以变压器设备动作次数最少为限制,实现变压器经济运行。具体实例表明该方法效益明显。

1 变压器运行方式优化^[2-4]

1.1 综合功率损耗

以综合功率损耗为判定指标,既考虑了用电单位的节电,又考虑了供电网损的降低。任一台双绕组变压器的综合功率损耗为

$$\Delta P_Z = (P_0 + k_Q Q_0) + \beta^2 (P_k + k_Q Q_k) \quad (1)$$

式中 β 为负载系数, $\beta = S/S_e$ (S_e 为变压器额定容量, S 为变压器实际负荷); P_0 为空载有功损耗; P_k 为短路有功损耗; Q_0 为空载无功损耗, $Q_0 = 0.01 I_0 \% S_e$ ($I_0 \%$ 为空载电流百分数); Q_k 为短路无功损耗, $Q_k = 0.01 U_k \% S_e$ ($U_k \%$ 为短路电压百分数); k_Q 为无功经济当量,通常取值范围为 0.01~0.08。

1.2 经济运行的控制策略^[5-8]

1.2.1 变压器间技术特性优劣的判定

判定标准是:在相同负载条件下,损耗小的变压器技术特性优,反之则其特性劣。对于双绕组变压器,由式(1),变压器 A 和 B 之间综合功率技术特性优劣的临界负载功率 S_{LZ1} 为

$$S_{LZ1} = S_{eA} S_{eB} \sqrt{\frac{P_{0A} - P_{0B} + k_Q (Q_{0A} - Q_{0B})}{S_{eA}^2 (P_{kB} + k_Q Q_{kB}) - S_{eB}^2 (P_{kA} + k_Q Q_{kA})}} \quad (2)$$

当 $S < S_{LZ1}$ 时, $(P_0 + k_Q Q_0)$ 值小的运行较为经济;当 $S > S_{LZ1}$ 时, $(P_0 + k_Q Q_0)$ 值大的运行较为经济。

1.2.2 并列运行方式优化

判定方法是:在相同负载条件下,在不同的变压器运行方式中(包括不同台数和相同台数运行方式之间),损耗最小的运行方式就是经济运行方式。

设有 A、B 2 台双绕组变压器并列运行, A 变单台运行时的临界负荷值为 S_{LZ2} 。

根据 $\Delta P_Z = \Delta P_{ZAB}$ (ΔP_{ZAB} 为 A 和 B 2 台变压器综合损耗之和)可求出经济运行的负载为

$$S_{LZ2} = \left[\frac{P_{0B} + \frac{k_Q Q_{0B}}{(P_{kA} + k_Q Q_{kA}) + P_{kB} + k_Q Q_{kB}}}{(P_{kA} + k_Q Q_{kA}) / S_{eA}^2 - \frac{k_Q Q_{0B}}{(P_{kA} + k_Q Q_{kA}) + P_{kB} + k_Q Q_{kB}} / (S_{eA} + S_{eB})^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

当 $S < S_{LZ2}$ 时, A 变单台运行时较为经济;当 $S > S_{LZ2}$ 时, A、B 变并列运行较为经济。

同理,设有 A、B 2 台双绕组变压器并列运行, B 变单台运行时的经济负荷点为 S_{LZ3} 。

$$S_{LZ3} = \left[\frac{P_{0A} + \frac{k_Q Q_{0A}}{(P_{kB} + k_Q Q_{kB}) + P_{kA} + k_Q Q_{kA}}}{(P_{kB} + k_Q Q_{kB}) / S_{eB}^2 - \frac{k_Q Q_{0A}}{(P_{kB} + k_Q Q_{kB}) + P_{kA} + k_Q Q_{kA}} / (S_{eA} + S_{eB})^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

当 $S < S_{LZ3}$ 时, B 变单台运行时较为经济;当 $S > S_{LZ3}$ 时, A、B 变并列运行较为经济。

2 变压器经济运行的时段控制法^[9-10]

在实际运行中,一个变电所的负荷因负载性质不同随时间有明显的变化规律。若完全根据负荷变化,在经过最佳经济运行转折点时,频繁地切换变压器选择经济运行状态,这对变电站的安全稳定运行、变压器及开关的使用寿命都有负面影响。为了兼顾以上 2 个因素,本文提出的时段控制法可根据短期负荷预报值,设置变压器的动作次数限制,即可提前分配变压器投切次数。

短期负荷预报主要预测未来 1 天的负荷水平,在零点时刻预测当天 48 点负荷值,并对预测的负荷进行高峰、低谷、腰荷 3 个分段。首先,根据预测日的日类型(工作日/休息日),从历史负荷数据库中取最相似的若干天历史负荷,采用线性外推法,得到 1 天 48 点(每隔 30 min 取 1 点数据)的负荷预测值。

为了对负荷预报结果构成的一组数列 $x=\{x(0),x(1),\cdots,x(47)\}$ 进行比较分析,首先定义规则如下:

- a. 当 $x(i+1)-x(i)>(x_{\max}-x_{\min})/48$ 时,值 M 为 1,表示负荷上升;
- b. 当 $|x(i+1)-x(i)|<(x_{\max}-x_{\min})/48$ 时,值 M 为 0,表示负荷不变;
- c. 当 $x(i+1)-x(i)<-(x_{\max}-x_{\min})/48$ 时,值 M 为 -1,表示负荷下降。

形成由 -1,0,1 构成的一组数列 $y=\{y(0),y(1),\cdots,y(47)\}$,表征负荷的变化情况。

以某 220 kV 变电所 2000 年 10 月 22 日负荷为例,预测的负荷曲线和负荷初步划分情况如图 1,2 所示。

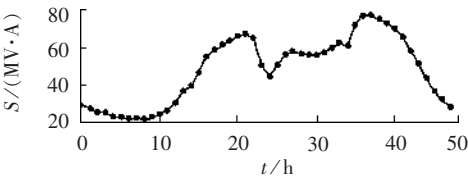


图 1 短期预测负荷曲线

Fig.1 Short-term load forecast curve

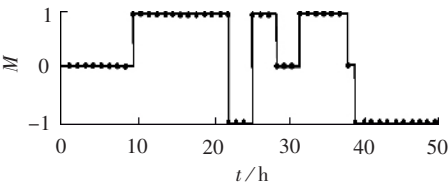


图 2 负荷初步划分情况

Fig.2 Preliminary division of load curve

观察图 2 发现,负荷初步划分以后,中间仍然有少量波动存在。为处理波动定义规则如下:

- a. 当 $|y(i)|>0$ 且 $y(i+1)=0$ 时,令 $y(i+1)$ 的值和 $y(i)$ 的值一致;

- b. 当 $|y(i)-y(i-1)|+|y(i+1)-y(i)|=4$ 时,令 $y(i)$ 的值和 $y(i-1),y(i+1)$ 的值一致。

处理波动后,负荷的划分情况如图 3 所示。

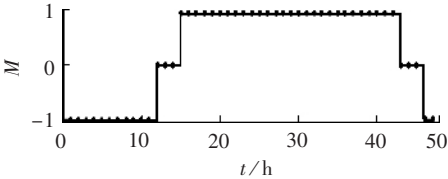


图 3 负荷的划分情况

Fig.3 Division of load curve after treatment

由图 3 可看出,全天负荷可以划分为 3 个时段(“时刻 n ”表示从第“ n ”点到第“ $n+1$ ”点之间的时间段):时刻 15~42,负荷上升时段;时刻 0~11 和时刻 46~47,负荷下降;时刻 12~14 和时刻 43~45,负荷不变。在负荷上升时段 15~42 内,负荷高于临界负荷值时,允许投入备用变压器 1 次,此时段内不再退出;在负荷下降时段内,负荷低于临界负荷值时,允许退出备用变压器 1 次,此时段内不再投入;在负荷不变时刻内,负荷值等于临界值,变压器依照负荷发展趋势,判断是否改变运行状态,若需要改变,此时段内仅允许投入或退出 1 次。

根据以上的控制方法,变压器每天的分、合操作次数较少,长期运行不会降低变压器、开关的机械强度和绝缘强度。

控制流程如图 4 所示。

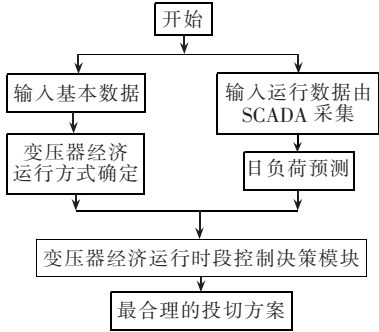


图 4 控制流程图

Fig.4 Control flowchart

3 实例分析

根据实际 220kV 变电所的变压器技术参数和动态负荷,对其运行方式进行了优化选择。已知变压器 A 和 B 的参数如表 1 所示,并且满足它们的并列运行条件。

表 1 变压器 A,B 的参数

Tab.1 Parameters of transformer A and B

台号	产品型号	P_0/kW	P_k/kW	$I_0\%$	$U_k\%$
A	SFP9-63000/220	58	221	0.70	12~14
B	SFP9-90000/220	76	288	0.63	12~14

根据式(2)(3)(4),无功经济当量取经验值 $k_Q=0.045$,计算得到 3 个临界负荷值 $S_{LZ1}=19.841 \text{ MV}\cdot\text{A}$,

$S_{LZ2}=32.481\text{ MV}\cdot\text{A}$, $S_{LZ3}=46.944\text{ MV}\cdot\text{A}$, 可画出变压器在不同运行方式下的综合功率损耗与负载的关系曲线, 从而确定该变电所内变压器经济运行区。如图5中箭头所示。

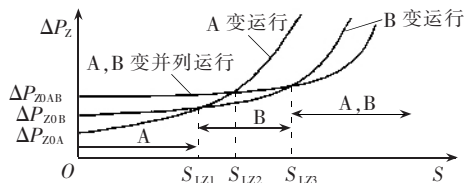


图5 变压器经济运行区

Fig.5 Transformer economic operation areas

由图1可知,该变电所22日的负荷变化范围大约为20~65 MV·A, 负荷波动较大。由于 $S_{LZ1} < S_{\min}$, 因此变压器B作为常用变压器,A作为备用变压器; 又因 $S_{LZ3} < S_{\max}$, 在负荷上升过程中, 需将A投入, 运行方式改为A和B并列运行。但从图1中可看出, 负荷值多点等于 S_{LZ3} , 完全从经济性出发, 理论上需要投切A多次, 这显然不符合工程实际。

由本文提出的控制方法, 根据图3, 在时刻0~14内, 负荷值均大于 S_{LZ3} , 单台B运行。在时刻15~42负荷上升阶段内, 此间A仅允许投入1次, 并且不允许退出, 负荷值第1次等于 S_{LZ3} 时发生在第15个时间段内(第15点和第16点之间)。因此, 选择在时刻16时投入A, 采用A和B并列运行。时刻43~46为负荷不变时段, 负荷值已低于 S_{LZ3} , 下个时刻段为负荷下降段, 选择在时刻43时退出A, 单台B运行是合理的。因此, 最终得到的22日变压器经济运行方案是: 时刻0~15(共16个时段), 单台B运行; 时刻16~42(共27个时段), A和B并列运行; 时刻43~47(共5个时段), 单台B运行。

已知, 该变电所常年采用单台B运行,A备用。若采用本文方法, 1天中有13.5个小时采用A和B并列运行, 1年中, 按照150个类似负荷日计算, 售电价取0.5元/kW·h, 则仅该变电站减少的有功损耗折合人民币约 0.67×10^4 元, 若进一步考虑减少的无功损耗, 经济效益则更加可观。并且在此控制方法下, 由于限制了设备的动作次数, 对变压器、开关的使用寿命的负面影响也较小。

4 结语

本文针对双绕组变压器提出了一种较为实用的变压器经济运行时段控制法。根据变压器经济运行理论, 通过处理短期负荷预测数据, 合理地对变压器的运行方式进行优化。实例表明, 本控制方法运算简单, 在实际运行的变电所中易于实现, 能够较好地解决变压器投切时机的选取问题。最大限度地降低了变压器自身的综合损耗, 也延长了变压器设备的使用寿命, 既提高了自动化水平, 又减少了投资, 做到了经济运行, 满足工程应用的要求。

参考文献:

- [1] 国家技术监督局. GB/T13462-92 工矿企业电力变压器经济运行导则[S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [2] 张喜林, 张帆. 2台双绕组主变压器优化运行[J]. 中国电力, 2001, 34(2): 29-31.
ZHANG Xi-lin, ZHANG Fan. Optimal operation of 2 main transformers with two-winding[J]. **Electric Power**, 2001, 34(2): 29-31.
- [3] 石新春, 朱晓容, 杨梅玲. 变压器运行方式优化计算机辅助设计[J]. 电力情报, 1999(2): 13-16.
SHI Xin-chun, ZHU Xiao-rong, YANG Mei-ling. Optimal computer aided design for transformer economic operation[J]. **Information on Electric Power**, 1999(2): 13-16.
- [4] 胡景生. 变压器经济运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [5] 赵平山. 电力变压器经济运行[J]. 河南电力, 1996(1): 15-17.
ZHAO Ping-shan. Power transformers economic operation[J]. **Henan Electric Power**, 1996(1): 15-17.
- [6] 史丽丽. 变压器经济运行的研究[J]. 安徽电力, 1997(4): 21-24.
SHI Li-li. The study of transformers economic operation[J]. **Anhui Electric Power**, 1997(4): 21-24.
- [7] 黄向前. 浅谈变电所内变压器的经济运行[J]. 电网技术, 2000, 24(3): 66-69.
HUANG Xiang-qian. On economic operation of transformers in substations[J]. **Power System Technology**, 2000, 24(3): 66-69.
- [8] 王建华. 变压器经济运行探讨[J]. 江西能源, 1999(1): 40-43.
WANG Jian-hua. Research on transformers economic operation[J]. **Jiangxi Electric Power**, 1999(1): 40-43.
- [9] 徐建政, 凌云. 并列变压器经济运行模式分析[J]. 电力自动化设备, 2001, 21(9): 46-48.
XU Jian-zheng, LING Yun. Analysis on economic operation mode parallel transformers[J]. **Electric Power Automation Equipment**, 2001, 21(9): 46-48.
- [10] 余文辉, 张山, 胡铁斌. 基于SCADA系统的变压器经济运行程序的二次开发[J]. 广东电力, 2002, 14(1): 31-32, 43.
YU Wen-hui, ZHANG Shan, HU Tie-bin. Development of transformer economic operation program based on SCADA system[J]. **Guangdong Power**, 2002, 14(1): 31-32, 43.

(责任编辑: 康鲁豫)

作者简介:

杨佳(1980-), 女, 江苏溧水人, 硕士研究生, 从事变压器经济运行方面的研究(E-mail: ivy_jia@163.com);

丁晓群(1956-), 男, 江苏丹阳人, 教授, 从事人工智能在电力系统中的应用、电气设备故障诊断及配电自动化等领域的教学和科研工作。

Practical economic operation method of two-winding transformer

YANG Jia, DING Xiao-qun

(College of Electrical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Principle to optimize the economic parallel operation of two-winding transformers is introduced and the time-interval control method is presented. It divides the daily load curve into intervals according to short-term load forecast data. The transformer action times within each interval are set according to transformer economic operation principle, and the optimal switch-on/off time are then determined. Both the complex power loss and action times of transformers are deduced. Example analysis shows that it brings great benefit.

Key words: transformer; economic operation; short-term load forecast; time-interval control method