

参数不同变压器并列运行时负荷分配计算

黄明华,李红,伏祥运,衡思坤

(江苏省电力公司连云港供电公司,江苏 连云港 222004)

摘要:结合地区实际,分析了多种不同情况下变压器并列时的负荷计算,推导出负荷分配和环流功率的计算公式,并根据推导的计算公式,利用 Visual Basic 6.0 编制计算程序。采用该计算程序进行算例分析,结果表明计算精度能够满足工程需要。

关键词:变压器;并列;变比;环流

中图分类号: TM76

文献标志码: B

文章编号: 1009-0665(2012)01-0052-04

随着经济的发展,社会对电能的需求量越来越大,原有的变压器容量已经不能满足现有用电的要求,主变增容是解决该问题的有效手段。增容后的变压器短路电压百分比、分接头档位及变比经常存在一定的差异。变电所在操作过程中常常需要将变压器短时并列。根据变压器运行规程的规定,变压器并列时要求其变比、短路电压百分比和连接组别相同。短路电压百分比不同将造成并列变压器功率分配不合理;变比不同时将造成并列变压器之间产生较大的环流,容易造成并列变压器过负荷^[1]。鉴于变压器存在参数及变比等方面的差异,变压器在并列前需要进行核算,确保并列后主变均不超过功率限额。

变压器参数不匹配时的变压器并列问题已有报道^[2-4],但研究多针对2台双绕组变压器的并列问题。然而,在实际运行过程操作过程中经常涉及三绕组变压器与两绕组变压器的并列、2台三绕组变压器中、低压侧并列等较为复杂的情况。另外,目前的研究多仅对变比不同的环流进行计算。而在实际运行过程中,不能仅仅通过环流大小作为变压器能否并列的依据,负荷大小以及变压器的短路电压百分比差异也将给主变的负荷分配带来较大的影响。因此针对本地区的实际情况,对变压器并列后的负荷分配进行深入分析,编制相应的计算软件,以实现快速有效的计算校核。

1 2台变压器并列运行负荷分析

图1(a)给出2台两绕组变压器并列的情况,其中 T_1, T_2 为2台参数及分接头档位存在差异的变压器,2台主变所带负荷为 $P+jQ$, 设2台主变的容量分别为 S_1, S_2 。

图1(b)给出了相应的等效电路, $X_1, 1:k_1$ 为 T_1 的短路阻抗及分接头在某一档位时的变比; 同样,

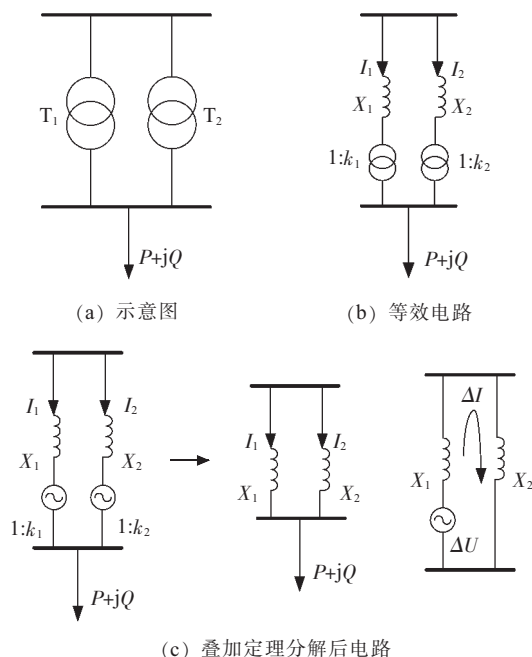


图1 2台双绕组变压器并列运行

$X_2, 1:k_2$ 为 T_2 的短路阻抗及分接头在某一档位时的变比。为分析方便,认为短路阻抗为常数,忽略档位变化对其影响。

根据叠加定理,2台主变并列后的负荷可以近似看作是变比相同时负荷分配与变比不同时造成环流之和,如图1(c)所示。设高压侧母线电压为 U , 可以分别求出2台变压器的分配负荷和环流功率 Q_h 如下所示:

$$\begin{cases} P_{1f} + jQ_{1f} = \frac{X_2/S_2}{X_1/S_1 + X_2/S_2} P + jQ \\ P_{2f} + jQ_{2f} = \frac{X_1/S_1}{X_1/S_1 + X_2/S_2} P + jQ \end{cases} \quad (1)$$

$$Q_h = \Delta I \dot{U} = \frac{\Delta \dot{U}}{X_1 + X_2} \dot{U} = \frac{k_1 - k_2}{k_1 k_2 (X_1 + X_2)} |\dot{U}|^2 \quad (2)$$

由式(1)和式(2)可以得到2台主变并列后的负荷分别为:

$$\begin{cases} P_1 + jQ_1 = \frac{(P + jQ)X_2/S_2}{X_1/S_1 + X_2/S_2} - \frac{(k_1 - k_2)}{k_1 k_2 (X_1 + X_2)} |\dot{U}|^2 \\ P_2 + jQ_2 = \frac{(P + jQ)X_1/S_1}{X_1/S_1 + X_2/S_2} + \frac{(k_1 - k_2)}{k_1 k_2 (X_1 + X_2)} |\dot{U}|^2 \end{cases} \quad (3)$$

2 2 台三绕组变压器并列运行负荷分析

2 台三绕组变压器中、低压侧同时并列时的电路如图 2 所示,中压侧负荷为 $P_{L2} + jQ_{L2}$, 低压侧负荷为 $P_{L3} + jQ_{L3}$, 变压器参数如表 1 所示。

表 1 变压器参数说明

T ₁		T ₂	
参数	符号	参数	符号
短路电压 % (高-中)	u_{112}	短路电压 % (高-中)	u_{212}
短路电压 % (高-低)	u_{113}	短路电压 % (高-低)	u_{213}
短路电压 % (中-低)	u_{123}	短路电压 % (中-低)	u_{223}
容量	S_1	容量	S_2

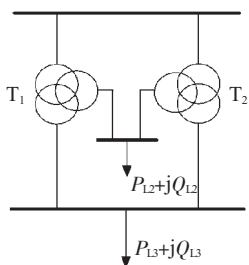
为分析方便, 首先将 T₂ 的参数折算为以 S₁ 为基准的标么值:

$$\begin{cases} u'_{212} = u_{212} S_1 / S_2 \\ u'_{213} = u_{213} S_1 / S_2 \\ u'_{223} = u_{223} S_1 / S_2 \end{cases} \quad (4)$$

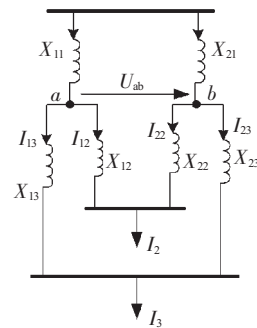
利用上表中变压器参数及式(4)中折算后的数据, 可以计算出图 2(b)中等效电路中的参数:

$$\begin{cases} X_{11} = \frac{1}{200} (u_{112} + u_{113} - u_{123}) \\ X_{21} = \frac{1}{200} (u'_{212} + u'_{213} - u'_{223}) \\ X_{12} = \frac{1}{200} (u_{112} + u_{123} - u_{113}) \\ X_{22} = \frac{1}{200} (u'_{212} + u'_{223} - u'_{213}) \\ X_{13} = \frac{1}{200} (u_{113} + u_{123} - u_{112}) \\ X_{23} = \frac{1}{200} (u'_{213} + u'_{223} - u'_{212}) \end{cases} \quad (5)$$

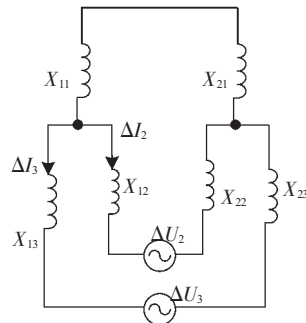
在不考虑变比差异的情况下, 求解主变负荷分配。由图 2(b)中等效电路, 根据电流电压定律可以



(a) 接线图



(b) 负荷分配等效电路



(c) 考虑变比不同时的等效电路

图 2 2 台三绕组变压器并列运行

列写如下方程:

$$\begin{cases} -(\dot{I}_{12} + \dot{I}_{13})X_{11} + (\dot{I}_{22} + \dot{I}_{23})X_{21} = \dot{U}_{ab} \\ X_{13}\dot{I}_{13} - X_{23}\dot{I}_{23} = \dot{U}_{ab} \\ X_{12}\dot{I}_{12} - X_{22}\dot{I}_{22} = \dot{U}_{ab} \\ \dot{I}_{12} + \dot{I}_{22} = \dot{I}_2 \\ \dot{I}_{13} + \dot{I}_{23} = \dot{I}_3 \end{cases} \quad (6)$$

求解可得:

$$\dot{I}_{13} = \frac{(CX_{21} - AX_{22})\dot{I}_2 + [C(X_{21} + X_{23}) + AX_{23}]\dot{I}_3}{BC + AD} \quad (7)$$

式中: $A = X_{11} + X_{21}$; $B = X_{11} + X_{21} + X_{13} + X_{23}$; $C = X_{12} + X_{22}$; $D = X_{13} + X_{23}$ 。将式(7)代入式(6)可得:

$$\begin{cases} \dot{I}_{23} = \dot{I}_3 - \dot{I}_{13} \\ \dot{I}_{21} = (X_{22}\dot{I}_2 - X_{23}\dot{I}_3 + D\dot{I}_{31})/C \\ \dot{I}_{22} = \dot{I}_2 - \dot{I}_{21} \end{cases} \quad (8)$$

忽略 X_{11} , X_{21} 上的电压, 式(7)两侧乘高压侧母线电压 U 后可化简为:

$$P_{13} + jQ_{13} = \frac{(CX_{21} - AX_{22})(P_{L2} + jQ_{L2})}{BC + AD} + \frac{[C(X_{21} + X_{23}) + AX_{23}](P_{L3} + jQ_{L3})}{BC + AD} \quad (9)$$

同样方法可以求得 T₁, T₂ 中、低压侧的其他功率, 在此计算公式不一一给出。

图 2(c)给出了考虑变比不同时等效电路, T_1 的高-中变比为 $1:k_{1hm}$, 高-低变比为 $1:k_{1hl}$; T_2 的高-中变比为 $1:k_{2hm}$, 高-低变比为 $1:k_{2hl}$ 。设 高压侧电压为 U_h 。计算环流可得:

$$\begin{cases} \Delta I_2 = \frac{\Delta \dot{U}_2 (X_{1\Sigma} + X_{3\Sigma}) + \Delta \dot{U}_3 X_{1\Sigma}}{X_{1\Sigma} X_{2\Sigma} + X_{1\Sigma} X_{3\Sigma} + X_{2\Sigma} X_{3\Sigma}} \\ \Delta I_3 = \frac{\Delta \dot{U}_2 X_{1\Sigma} + \Delta \dot{U}_3 (X_{1\Sigma} + X_{2\Sigma})}{X_{1\Sigma} X_{2\Sigma} + X_{1\Sigma} X_{3\Sigma} + X_{2\Sigma} X_{3\Sigma}} \end{cases} \quad (10)$$

式中: $\Delta \dot{U}_2 = \frac{k_{2hm} - k_{1hm}}{k_{1hm} k_{2hm}} U_h$; $\Delta \dot{U}_3 = \frac{k_{2hl} - k_{1hl}}{k_{1hl} k_{2hl}} U_h$; $X_{1\Sigma} = X_{11} + X_{21}$; $X_{2\Sigma} = X_{12} + X_{22}$; $X_{3\Sigma} = X_{13} + X_{23}$ 。

式(10)两侧乘高压侧电压后可得环流功率:

$$\begin{cases} Q_{h2} = \Delta I_2 U_h \\ Q_{h3} = \Delta I_3 U_h \end{cases} \quad (11)$$

利用式(9)和式(11)可计算出并列变压器各侧功率。

3 三绕组变压器和两绕组变压器并列分析

1 台三绕组变压器和 1 台两绕组变压器并列时的接线和等效电路如图 3 所示。利用上节所述方法, 根据变压器 T_1 参数计算出 X_{11}, X_{12}, X_{13} ; 将变压器 T_2 的短路电压折算到以 T_1 容量为基准的标么值 X_2 。设 T_1 的高-中变比为 $1:k_{1hm}$, 高-低变比为 $1:k_{1hl}$; T_2 变比为 $1:k_2$; 高压侧电压为 U_h 。

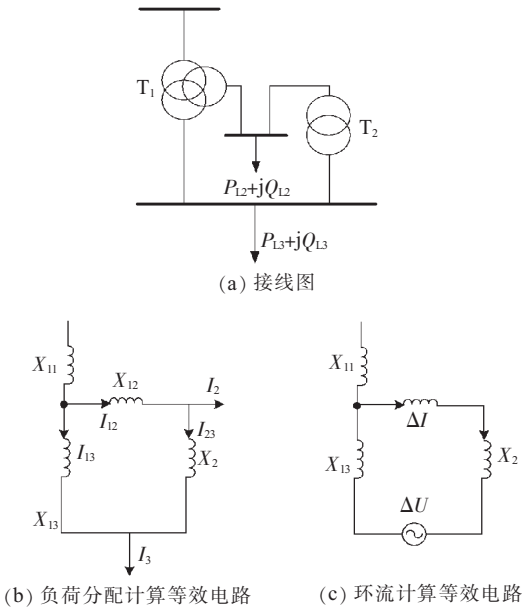


图 3 三绕组和两绕组变压器并列运行

根据等效电路图可得方程:

$$\begin{cases} \dot{I}_{13} X_{13} = \dot{I}_{12} X_{12} + \dot{I}_{23} X_2 \\ \dot{I}_{12} - \dot{I}_{23} = \dot{I}_2 \\ \dot{I}_{13} + \dot{I}_{23} = \dot{I}_3 \end{cases} \quad (12)$$

上式求解得:

$$\dot{I}_{13} = \frac{\dot{I}_2 X_{12} + (X_2 + X_{12}) \dot{I}_3}{X_{12} + X_2 + X_{13}} \quad (13)$$

将式(13)代入式(12)可求得 T_1, T_2 各侧负荷电流。利用上节方法可计算出相应功率。

由图 3(c)可以计算环流为:

$$\Delta \dot{I} = \frac{\Delta \dot{U}}{X_{12} + X_2 + X_{13}} = \frac{(k_{1hl} - k_2 k_{1hm}) U_h}{k_2 k_{1hm} k_{1hl} (X_{12} + X_2 + X_{13})} \quad (14)$$

上式两侧同乘 U_h 可得环流功率:

$$Q_h = \Delta \dot{I} U_h \quad (15)$$

将主变压器各侧分配负荷和环流功率叠加可以得出综合考虑变压器参数和变比不同时变压器并列的实际功率。

4 程序设计及应用

根据上述分析, 利用 Visual Basic 6.0 编写变压器并列时负荷计算程序。图 4 给出了计算程序的主界面。



图 4 计算程序主界面

计算后以记事本文档格式给出 2 台变压器不同档位下并列时的无功功率环流。同时, 该程序还可以在给定的负载情况下, 计算变比不同时变压器并列后的变压器的功率。计算条件为:

1 号主变变比为 $(110 \pm 8) \times 1.25\% : 10.5$, 2 号主变变比为 $(115 \pm 8) \times 1.25\% : 10.5$; 1 号主变短路阻抗为 10%, 2 号主变短路阻抗为 11%。计算结果见表 2。

表 2 计算结果

总负荷 / (MW, MVar)	分接头档位		变压器负荷 / (MW, MVar)	
	1 号	2 号	1 号	2 号
50+j10	9	9	26+j16	24-j6
50+j30	9	9	26+j26	24+j4
50+j30	5	9	26+j15	24+j15

5 结束语

文中结合本地区特点, 变压器参数及变比不同时, 对 2 台两绕组变压器并列、2 台三绕组变压器并

列及 1 台三绕组和 1 台两绕组变压器并列时变压器的负荷计算方法进行了分析,详细推导了其计算公式。根据推导的计算公式,利用 Visual Basic 6.0 编制计算程序。

参考文献:

- [1] 国家电力调度通信中心.电网调度运行实用技术问答[M].北京:中国电力出版社,2000.
- [2] 张德本,陈慧,罗树权.2 台变压器并列环流计算[J].电工技术,2002(4):17-18.
- [3] 李志平,王彦峰.有载调压分接头不匹配的变压器并联运行分析[J].广东输电与变电技术,2006(1):61-64.
- [4] 魏涛,张洪涛,袁卫国,等.2 台电压比相近的变压器并列运行优化分析[J].河南电力,2008(2):29-31.

作者简介:

黄明华(1960),男,江苏灌云人,工程师,从事电力工程的监督管理、输变电工程验收工作;

李红(1980),女,江苏连云港人,工程师,从事电网规划、设计及分析等相关工作;

伏祥运(1977),男,江苏赣榆人,高级工程师,从事电力系统调度运行、电力系统分析等工作;

衡思坤(1963),男,江苏徐州人,高级工程师,从事中压电网接地方式、电力设备管理等动作。

Calculation of Load Allocation for Various Transformers Paralleled Operation

HUANG Ming-hua, LI Hong, FU Xiang-yun, HENG Si-kun
(Lianyungang Power Supply Company, Lian Yungang 222004, China)

Abstract: Based on the actual situation, load calculation when transformers are operated in parallel under different conditions is studied. The calculation formulas of load allocation and circulating current are deduced, and then an applied computer program is developed based on Visual Basic 6.0. Application in practice shows that the calculation accuracy of the program can meet operation practice requirements.

Key words: transformer; parallel; ratio; circumfluence current

(上接第 51 页)

经过傅里叶分析各次谐波的无功功率可以看出在电力机车中低次谐波的无功功率较大而高次谐波的无功功率较小,可作为中频炉、变频器等非线性负载无功功率测量的参考,具有较高的实用价值。

参考文献:

- [1] 李伟,朱凌,马志国.基于 Matlab/Simulink 的 SS8 型电力机车供电系统建模与仿真[J].大功率变流技术,2009(6):6-10.
- [2] 张广东,李欣然.基于 SIMULINK 的电力机车负荷特性仿真研究[A].中国高等学校电力系统及其自动化专业第二十四届学术年会论文集(下册)[C].2008.
- [3] SHENOY U J, SHESHADRI K G, PARTHASARATHY K, et al. MATLAB/PSB Based Modeling and Simulation of 25 kV AC Railway Traction System. A Particular Reference to Loading and Fault Conditions [C]. 2004 IEEE Region 10 Conference, 2004.
- [4] 李建华,豆风梅,夏道止.韶山 IV 型电力机车谐波电流的分析计算[J].电力系统自动化,1999,23(16):10-13.
- [5] 李欣然,张广东,朱湘友,等.基于 SIMULINK 的电力机车负荷特性研究[J].湖南大学学报(自然科学版),2009,36(5):42-46.

作者简介:

关巧莉(1986),女,安徽宿州人,硕士研究生,从事电能质量方面的研究工作;

王宝安(1978),男,江苏扬州人,讲师,从事电能质量方面的研究工作;

孙健(1978),男,安徽人,工程师,从事电测计量与测试技术方面的研究工作。

Harmonics Analysis and Reactive Power Simulation Analysis of Electric Locomotives

GUAN Qiao-li¹, SUN Jian², WANG Bao-an¹

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

2. Jiangsu Electric Power Company Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: Improving the accuracy of measurement of nonlinear systems' reactive power can meet the requirements of improving power quality management and safe operation. System structure and function of electric locomotive is introduced in this paper. Simulation model is built in Matlab to analyze its current and voltage harmonic content. The reactive power of electric locomotives is measured by several typical measurement algorithms. The simulation results show that the relative error is small by Hilbert algorithm and Fourier algorithm while measurement of reactive power is accurate, and measurement error of RMS algorithm exist big error.

Key words: harmonics analysis; Matlab; electric locomotives; reactive power simulation