

# 电子变压器漏感的计算

杜锦华

(西安交通大学电气工程学院, 陕西 西安 710049)

摘要: 推导了电子变压器漏感的计算方法, 并介绍了一种简化算法。

关键词: 电子变压器; 漏感; 计算

中图分类号: TM401+.1

文献标识码: B

文章编号: 1001-8425(2009)01-0010-03

## Calculation of Leakage Inductance of Electronic Transformer

DU Jin-hua

(Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: The method to calculate leakage inductance of electronic transformer is derived. A simplified method is presented.

Key words: Electronic transformer; Leakage inductance; Calculation

### 1 前言

电子变压器是电源设备中的重要元件, 它的漏感对整流电路、变压器的发热情况和周围电路等都有较大影响, 高频时的影响更加显著。因此, 在设计电子变压器过程中, 漏感计算的准确度就成为衡量一个设计方案优劣的主要指标之一。电子变压器和电力变压器的工作都基于电磁感应原理, 因此可借助电力变压器中计算漏感的思路计算电子变压器的漏感, 但是它们无论在铁心、绕组, 还是绝缘结构的设计上, 都有显著的差别, 这就决定了它们之间计算的差别。

电子变压器容量小且电压低, 所以为方便生产加工, 其铁心通常设计成矩形截面, 气道的设置如图 1 所示。图 1 中, 以三相变压器的主气道为例, 主气道只留在了绕组的两个端侧。若中柱 B 相绕组两侧留气道, 很大一部分被上下铁轭厚度部分挡住, 所以两侧留气道散热效果不好。另外, 若两侧留气道, 绕组的平均匝长增加了, 铜耗和用铜量也会增加, 用铁量和铁耗增加更加显著, 且对降低 A、C 相温升是没有意义的。所以, 可以把三相绕组都做成不设两侧散热气道, 只设端侧散热气道的结构。这时由于散热面减小, 应适当降低电流密度, 这样会增加用铜量。但由于三相绕组都不设两侧散热气道, 节省了铜、铁的

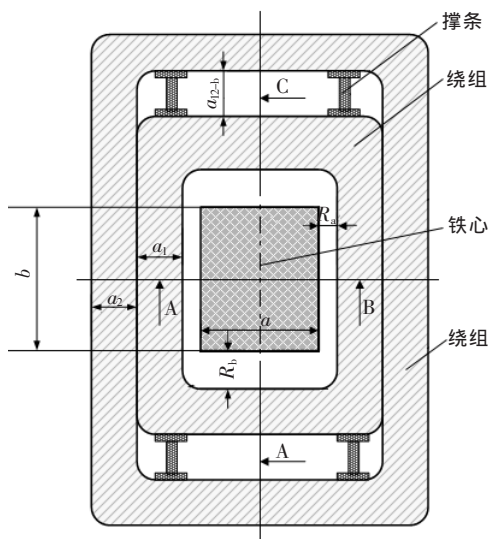
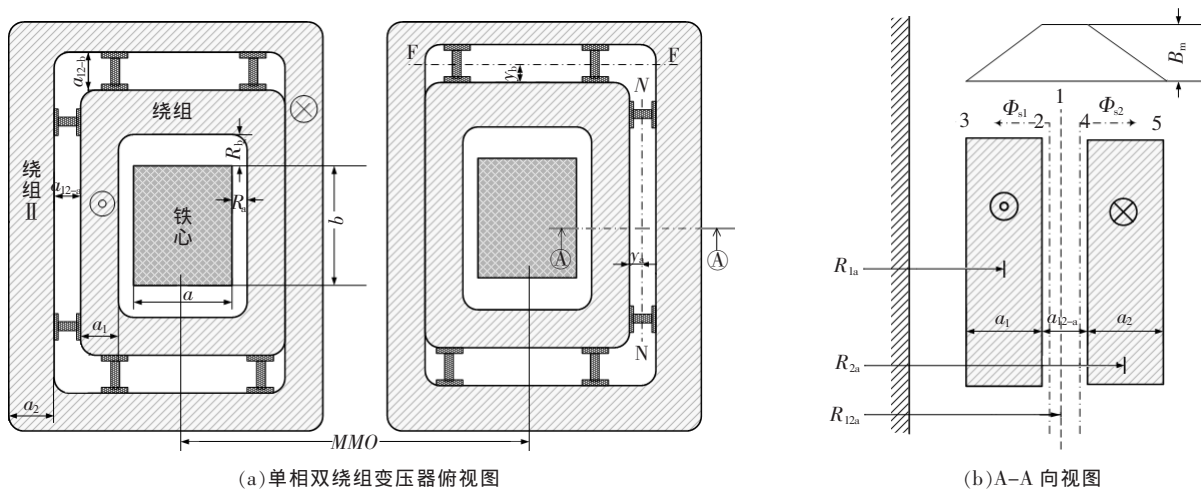


图 1 三相双绕组变压器单柱俯视图

Fig.1 Single limb vertical view of three-phase double-winding transformer

用量, 减小了损耗, 对总体来说还是有利的。同理, 单相变压器的气道可设在两端侧和外侧, 但外侧和端侧的气道尺寸可以不等。

笔者采用磁路法推导了电子变压器漏感的计算公式, 并介绍了一种简化的计算方法。下面以图 2 所示同心式单相双绕组变压器的漏磁分布情况为例, 推导漏感的计算表达式。由于横向漏磁比纵向漏磁小得多, 这里只考虑纵向漏磁。



(a) 单相双绕组变压器俯视图

(b) A-A 向视图

图 2 单相双绕组变压器漏磁分布图

Fig.2 Leakage magnetic distribution of single-phase double-winding transformer

## 2 电子变压器漏感计算公式的推导

在图 2 中, 设  $\Phi_{s1}$  和  $\Phi_{s2}$  的分界线位于绕组的主空道, 以 FF 和 NN 表示。有了漏磁分界线, 就可用磁路法求出绕组 I 和绕组 II 的磁链数  $\Phi_w$ , 再求出漏电势  $E_s$ , 最后求出短路电抗  $x_k$ , 然后得到漏感  $L_k$ 。

绕组 I 在 1~2 之间的磁链数为:

$$\begin{aligned} \Phi_{s11}N = & B_m N [2ay_b + by_a + \frac{1}{2} \pi (R_a + a_1 + y_a)(R_b + a_1 + y_b) - \\ & \frac{1}{2} \pi (R_a + a_1)(R_b + a_1) + \frac{1}{2} \pi (R_a + a_1)(R_b + a_1 + \\ & y_b) - \frac{1}{2} \pi (R_a + a_1)(R_b + a_1)] \end{aligned} \quad (1)$$

绕组 II 在 2~3 之间的磁链数为:

$$\begin{aligned} \Phi_{s12}N = & \int_0^{a_1} \frac{B_m}{a_1} x \cdot \frac{N}{a_1} x [2a + 2b + 2\pi(R_a + x) + 4(R_b - \\ & R_a)] dx = \\ & \frac{1}{3} B_m N a_1 (2a + 2b + 2\pi R_a + 4R_b - 4R_a) + \\ & \frac{\pi}{2} B_m N a_1^2 \end{aligned} \quad (2)$$

其中  $R_a$  和  $R_b$  是在实际绕线时  $\frac{1}{4}$  的圆周过渡, 由于端侧和外侧的气道尺寸不同, 因此, 将与它们有关的计算都近似看作椭圆的几何尺寸计算。

绕组 I 的总磁链数为:

$$\Phi_{s1} = \Phi_{s11} + \Phi_{s12}$$

同理, 绕组 II 在 1~4 之间的磁链数为:

$$\begin{aligned} \Phi_{s11}N = & B_m N [2a(a_{12-b} - y_b) + b(a_{12-a} - y_a) + \frac{1}{2} \pi (R_a + a_1 + \\ & a_{12-a})(R_b + a_1 + a_{12-b}) - \frac{1}{2} \pi (R_a + a_1 + y_a)(R_b + a_1 + \\ & y_b) + \frac{1}{2} \pi (R_a + a_1)(R_b + a_1 + a_{12-b}) - \frac{1}{2} \pi (R_a + \end{aligned}$$

$$a_1)(R_b + a_1 + y_b)] \quad (3)$$

绕组 II 在 4~5 之间的磁链数为:

$$\begin{aligned} \Phi_{s12}N = & \int_0^{a_2} \frac{B_m}{a_2} x \cdot \frac{N}{a_2} x [2a + 2b + 2\pi(R_a + a_1 + a_2 + \\ & a_{12-a} - x) + 4(R_b - R_a)] dx = \\ & \frac{1}{3} B_m N a_2 [2a + 2b + 2\pi(R_a + a_1 + a_2 + a_{12-a}) + \\ & 4(R_b - R_a)] + \frac{\pi}{2} B_m N a_2^2 \end{aligned} \quad (4)$$

绕组 II 的总磁链数为:

$$\Phi_{s2} = \Phi_{s21} + \Phi_{s22} \quad (5)$$

总的漏电势为:

$$\begin{aligned} E_s = & E_{s1} + E_{s2} = 4.44f\Phi_{s1}N \times 10^{-8} + 4.44f\Phi_{s2}N \times 10^{-8} = \\ & 4.44fB_m N \Sigma D \end{aligned}$$

式中  $E_{s1}$ 、 $E_{s2}$ ——分别为漏磁通在绕组 I 和绕组 II 中换算到同一绕组匝数的感应电势

$$\begin{aligned} \Sigma D = & -\pi(R_a + a_1)(R_b + a_1) + \frac{2}{3}(a_1 + a_2)(a + b + \pi R_a + \\ & 2R_b - 2R_a) + 2aa_{12-b} + ba_{12-a} + \frac{1}{2} \pi(2R_a + 2a_1 + \\ & a_{12-a})(R_b + a_1 + a_{12-b}) + \frac{2}{3} a_2 [\pi(a_1 + a_2 + a_{12-a}) + \\ & 2(a_{12-b} - a_{12-a})] + \frac{\pi}{2}(a_2^2 + a_1^2) \end{aligned}$$

最大漏磁密  $B_m$  的计算方法随变压器绕组形式的不同而不同, 这里以普通双绕组结构为例进行推导。

由介质的性能方程  $B_m = \mu_0 H_m$ , 以及全电流定理作为包围安匝  $NI$  的矩形框回路, 认为磁势仅降落在  $H_k/\rho$  的一段长度上, 则得:

$$B_m = \mu_0 H_m = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N\sqrt{2} I \rho}{H_k} = \frac{1.78NI\rho}{H_k} \times 10^{-4}, T$$

式中  $I$ ——电流(方均根), A  
 $H_k$ ——电抗高度(假设两个绕组高度相同),  
 cm  
 $N$ ——匝数  
 $\rho$ ——洛氏系数

漏电感为:

$$L_k = \frac{X_k}{\omega} = \frac{E_s}{\omega I} = \frac{1.257 \cdot 8N^2 \sum D \rho}{H_k \times 10^8}, \text{H} \quad (7)$$

【实例】绕组排线情况如图 1 所示(未注明的单位均为 mm)。 $a=30.5$ ;  $R_a=3.75$ ;  $a_1=12$ ;  $a_2=12$ ;  $b=80$ ;  $R_b=5$ ;  $a_{12-a}=14$ ;  $a_{12-b}=0$ ;  $H_k=118$ ; 匝数  $N=176$ ; 相间距离=8。

	A-B 向视图	A-C 向视图
半铁心尺寸	$30.5/2=15.25$	$80/2=40$
$R_a$ 和 $R_b$	$+3.75$	$+5$
$R_{1a}$ 和 $R_{1b}$	$=19$	$=45$
$a_1$	$+12$	$+12$
	$=31$	$=57$
$a_{12-a}$ 和 $a_{12-b}$	$+0$	$+14$
$R_{2a}$ 和 $R_{2b}$	$=31$	$=71$
$a_2$	$+12$	$+12$
	$=43$	$=83$
	$\times 2$	$\times 2$
	$=86$	$=166$
相间距离	$+8$	
中心距 $MMO$	$=94$	

由式(7)计算可知,  $L_k=1.519 \ 154\text{mH}$ 。

### 3 电子变压器漏感的简化计算方法

根据电力变压器计算漏抗的思路推演,可以得到一种基于以下公式的简化计算方法。

$$L_k = \frac{7.894 \cdot 1N^2 \sum D' \rho}{H_k \times 10^8}, \text{H} \quad (8)$$

将矩形绕组按边长等效的原则等效为圆形按式(8)进行计算,这样唯一不同的就只剩下漏磁空道面积  $\sum D'$  的计算。下面以实例来计算。

$$R_1 = \frac{(19+45) \times 4 + 12\pi}{2\pi} = 46.74\text{mm}$$

$$R_2 = \frac{(31+71) \times 4 + 12\pi}{2\pi} = 70.94\text{mm}$$

$$a_{12} = \frac{31}{31+57} \times 14 + \frac{57}{31+57} \times 0 = 4.93\text{mm}$$

$$R_{12} = \frac{(31+57) \times 4 + 4.93\pi}{2\pi} = 58.49\text{mm}$$

$$\sum D' \approx \frac{1}{3} a_1 R_1 + \frac{1}{3} a_2 R_2 + a_{12} R_{12} = 7.590 \ 757\text{cm}^2$$

$$\rho = 1 - \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\lambda}{H_k} = 1 - \frac{1}{\pi} \cdot \frac{a_1 + a_2 + a_{12}}{H_k} = 0.954$$

$$L_k = \frac{7.894 \cdot 1N^2 \sum D' \rho}{H_k \times 10^8} = 1.50\text{mH}$$

式中  $R_1$ 、 $R_2$ ——等效的圆形绕组半径(到裸线)  
 $R_{12}$ ——绕组 和绕组 间气道的等效平均半径  
 $a_{12}$ ——绕组 和绕组 间等效气道的宽度(铜到铜)

$R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_{12}$  和  $a_{12}$  分别是图 2b 中矩形绕组的  $R_{1a}$ 、 $R_{2a}$ 、 $R_{12a}$ 、 $a_{12-a}$  按边长等效的原则等效为圆形绕组对应的尺寸。

### 4 结论

利用式(8)和式(7)计算的结果与工厂实测结果  $L_k=1.51\text{mH}$  近似,由此可验证两个推导公式的正确性和可行性。计算其他绕组形式电子变压器的漏感,也可借助上述思路。

### 参考文献:

- [1] 刘传彝. 电力变压器设计计算方法与实践[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,2002.
- [2] 电子变压器专业委员会编. 电子变压器手册[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1998.
- [3] 王瑞华. 电子变压器设计手册[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [4] 占庆一,谭朔. 矩形绕组变压器短路阻抗的计算[J]. 变压器,1998,35(9):10-12.

收稿日期:2007-09-28

作者简介:杜锦华(1984-),女,陕西西安人,西安交通大学电气工程学院在读硕士,主要从事电磁装置的分析及设计软件的研发工作。

### 广东长园吉斯安电气有限公司四种新产品通过省级鉴定

2008年10月25日,广东省经贸委委托广东电网公司和广东省机械行业协会在佛山召开产品鉴定会。会上,广东长园吉斯安电气有限公司生产的 S13-M·RL-30~1600/10、S11-M·RL-30~1600/10、S11-M·R-30~1600/10、YBP□-12/0.4(F·R)/T-800 四种新产品通过了鉴定。(吕道贤)