

锥形绕组在超高压脉冲变压器中的应用

The application of cone-shaped windings in ultra-high voltage pulse transformers

邹祖娇, 江磊, 周伟

合肥华耀电子工业有限公司 安徽 合肥 230031

摘要: 本文简要地介绍了锥形绕组结构在超高压脉冲变压器应用中的优势, 并通过工程实践加以说明。

关键词: 锥形绕组, 脉冲变压器

中图分类号: TM4 文献标识码: B 文章编号: 1606-7517(2009)05-2-111

1 引言

高压脉冲变压器广泛应用在高能物理、激光、雷达、直线电子加速器等技术领域内, 由于电压越来越高, 对波形的要求也越来越严, 工程实施起来也就越来越难。对于脉冲电压几百千伏的超高压脉冲变压器来说, 传统意义上的圆筒式绕组结构已不能满足其要求, 或者说如果要满足其要求就必须使用更大的铁芯, 占用更大的体积, 其经济性不好。因此, 非常有必要尝试采用新型的绕组结构, 锥形结构绕组就是其中较理想的一种。

2 锥形绕组结构介绍

普通脉冲变压器绕组的层间绝缘厚度是不变的, 一般来说, 初级绕组绕制一层, 次级绕组绕制一层或几层, 而初次级间的绝缘距离由加在它们之间的最高电压决定。这种结构在电压 50kV 以下的脉冲变压器中应用较合适, 如果脉冲电压高达几百千伏, 其最大绝缘距离较大, 如果还采用普通绕组结构的话, 首先就要求铁芯有较大的窗宽以满足最高电压几百千伏的绝缘, 这样铁芯体积较大, 在低压段部分利用率很低, 采用锥形绕组结构就可以避免这种情况。所谓锥形绕组, 就是指初次级绕组间的绝缘厚度 δ 在整个绕组长度 h 上按电压线性变化, 保持电压梯度不变, 如图 1 所示

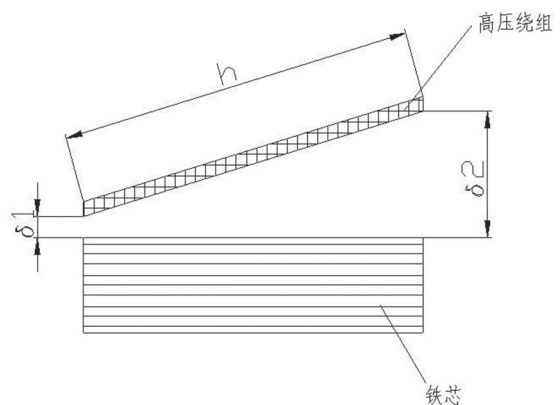


图1 锥形绕组示意图

3 锥形结构绕组优势

(1) 漏感小: 设计脉冲变压器的工程师都知道, 漏感是脉冲变压器的重要参数之一, 漏感的大小直接影响着输出脉冲波形的前沿特性。要减小漏感, 除了减小初级匝数和绝缘距离外, 增加初次级绕组交替绕制组数 M 也是比较有效的方法之一, 但对于几百千伏的超高压脉冲变压器而言, 初次级绕组交替绕制对耐压绝缘处理很难实现。通过对比普通结构绕组与锥形绕组的漏感计算公式式1-1和1-2

$$L_s = \frac{0.4\pi N_1^2 l_{m1} \times 10^{-8}}{M h_m} \left(\delta + \frac{\sum d_{mi}}{3} \right) \quad (\text{H}) \quad \text{式1-1}$$

锥形绕组漏感计算公式：

$$L_s = \frac{0.4\pi N_1^2 l_{m2} \times 10^{-8}}{Mh_m} \left(\frac{\delta_1 + \delta_2}{2 \sim 3} + \frac{\sum d_{mi}}{3} \right) \text{ (H)} \quad \text{式1-2}$$

不难看出，由于 δ_1 很小， δ 与 δ_2 相等， $l_{m2} < l_{m1}$ ，因此锥形结构绕组漏感减小约 1/2。另一重要参数分布电容增加不大，由于其计算较复杂，在这就不详述了。

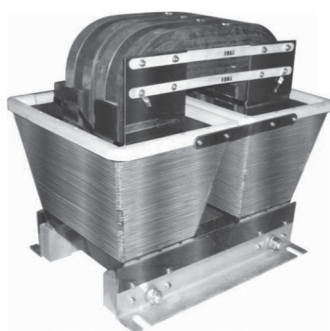
(2) 经济性好：

锥形绕组的绝缘厚度按电压线性变化，电压梯度不变，因此，铁芯窗宽比普通绕组要小，铁芯重量减少。另外，绕组导线的平均匝长减小，使用铜线也就减少了，相应地主绝缘材料的用量也比普通绕组少了。

因此，相比与普通绕组，锥形绕组使用了更少的铁、铜和绝缘材料，自然价格更低，经济性更好。

4 工程实施验证

我公司成功研制了一台采用锥形绕组结构，应用在直线加速器中的超高压脉冲变压器，输出电压 300kV，实物图片如下图所示。



我们采用不切开铁芯，初次级绕组环氧骨架单层刻槽绕制，初级绕组 20kV 绕在铁芯上，次级高压采用锥形绕组架空结构。初次级绕组全部用 TEX-E 三层绝缘高压线绕制，避免匝间短路。

成功研制超高压脉冲变压器，设计保证是一方面，加工过程中的工艺处理也至关重要。对高压元件来说，细微处的尖角或毛刺就可以使变压器击穿，在此，工艺过程就不详述了。

5 结束语

超高压脉冲变压器中采用锥形绕组结构，不仅能大大减小漏感，降低脉冲前沿的畸变，改善脉冲波形，而且还能减小铁芯体积及脉冲变压器的外形尺寸，提高变压器的功率密度，成本也更低。因此可以说，锥形绕组结构是超高压脉冲变压器中比较理想的一种绕组结构。本文得到樊岳良高级工程师的热心指点，在此深表感谢！

参考文献

- [1] 王瑞华，脉冲变压器设计，科学出版社，电子变压器手册，辽宁科学技术出版社
- [2] C. F. Wilds, The Cone-shaped Windings of Pulse Transformer