

# 高压开关电源变压器设计及其 噪声干扰的抑制

陈勇, 于成龙

(中国工程物理研究院电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

**[摘要]** 从变压器设计的基本原理出发, 提出了一种设计开关电源变压器的简便方法, 即直接根据变压器的工作频率和所需输出的功率查表确定所需选用的磁性材料, 从而确定变压器线包各参数; 并对如何抑制电源变压器常见的噪声干扰进行了探讨。

**关键词** 高压 开关电源 变压器 噪声

## 0 引言

电源变压器是电源的重要组成部分, 其性能的好坏直接关系到整个电源的综合性能。因此, 如何设计出一个性能优良、工作稳定可靠的电源变压器就成为了整个开关电源设计环节中的关键。电源变压器的主要作用在于进行电压升降和隔离输入电压干扰, 其频率大小随功率开关管的工作频率而定。电源变压器是直接和电子元件相连接的, 在电源变压器设计过程中, 如何抑制噪声干扰也是一个必须考虑的问题。

## 1 电源变压器的设计

最常用的高频变压器的设计方法有两种, 第一种是先求出磁芯窗口面积  $A_w$  与磁芯有效截面积  $A_c$  的乘积  $A_p$  ( $A_p = A_w \times A_c$ , 称磁芯面积乘积), 根据  $A_p$  值, 查表找出所需的磁性材料的编号; 第二种方法是直接根据变压器的工作频率和所需输出的功率查表确定所需选用的磁性材料<sup>[1]</sup>。综合考虑后, 我们认为第二种方法更为简便直观, 本文将以 6000W 电源变压器设计为例进行说明。

### 1.1 技术参数要求

输入: 50Hz 三相 AC380  $\pm$  10%V;  
输出: 输出电压 7000V, 输出功率 6000W;  
工作频率: 40kHz。

### 1.2 变压器各参数的设计

(1) 磁芯的选择: 根据变压器的功率和频率, 查

表选用铁氧体 EI110 型磁芯。

该磁芯具体参数为:  $A_c = 12.25 \text{cm}^2$ ,  $A_w = 16 \text{cm}^2$ ,  $A_p = A_c A_w = 196 \text{cm}^4$ 。

(2) 绕组匝数的计算:

$$\text{原边匝数 } N_f = V_1 / (K_f f_s B_w A_c) \quad (1)$$

式中:  $f_s$  为开关工作频率, Hz;  $B_w$  为工作磁通密度, T;  $A_c$  为磁芯有效面积,  $\text{m}^2$ ;  $K_f$  为波形系数, 有效值与平均值之比, 正弦波时为 4.44, 方波时为 4。

$$\begin{aligned} \text{原边匝数 } N_p &= 450 \times 10^4 / (4 \times 40 \times 10^3 \times 0.2 \times 12.25) = 11.4 \text{ 匝, 取整 } N_p = 12 \text{ 匝, 原边电流 } I_p = I_o / (V_{in} \eta) = 6 \times 10^3 / (450 \times 0.9) = 14.8 \text{A} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{(3) 副边匝数 } N_s &= N_p V_s / V_p = 12 \times 7000 / 450 = 186.6 \text{ 匝} \end{aligned} \quad (3)$$

取整数为  $N_s = 187$  匝

$$\begin{aligned} \text{(4) 原边绕组裸线面积 } A_{xp} &= I_p / J, \text{ 其中 } J = P_T \times 10^4 / (K_0 K_f f_s B_w A_p) \end{aligned} \quad (4)$$

由于二次整流使用桥式整流, 则视在功率:

$$P_T = P_o (1 + 1/\eta) = 6000 \times (1 + 1/0.9) = 12666 \text{W} \quad (5)$$

所以电流密度

$$J = 12666 \times 10^4 / (4 \times 0.4 \times 40 \times 0.2 \times 196 \times 103) = 50.4 \text{A/cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{从而原边绕组裸线面积 } A_{xp} &= I_p / J = 14.8 / (12 \times 50.4) = 0.0245 \text{cm}^2, \text{ (采用 12 线并绕)} \end{aligned} \quad (6)$$

查导线规格表得最近线号:

$$\text{AWG\#13, } A_{xs} = 0.02626 \text{cm}^2, \mu\Omega / \text{cm} = 65.64$$

同理副边绕组裸线面积:

$$A_{xs} = I_s / J = 0.75 / 50.4 = 0.01488 \text{cm}^2 \quad (7)$$

查导线规格表得最近线号:

$$\text{AWG\#15, } A_{xs} = 0.01651 \text{cm}^2, \mu\Omega / \text{cm} = 104.3$$

(5) 变压器骨架的设计。根据磁芯的截面形状, 我们采用方形结构, 骨架上刻槽, 材料采用酚醛玻璃布棒。

(6) 变压器线包的设计。变压器线包绕线采用里

收稿日期: 2006-05-15

作者简介: 陈勇 (1977-), 硕士, 主要从事引信设计及高电压技术方面的研究。

外层结构，即初级绕组 QI 绕线在里面，次级绕组 QII 绕线在外面。为了避免绕线滑落，线包绕线成塔型结构，如图 1。

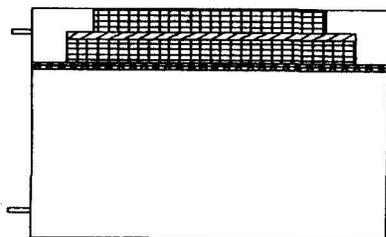


图 1 变压器线包的绕制方式

为了减小漏感和分布电容，也可以采用分段（7 段）绕制，线圈具体参数见表 1。

表 1 变压器线圈具体参数

绕组编号	导线 牌号 直径	引出线编号	匝数	绕组数据		
				层数	每层匝数	层间绝缘
QI	AWG-13 0.02626	1-1'	12	2	6	$\delta = 0.05$
						绝缘 $\delta = 0.05$ 聚酯亚胺 3 层、 $\delta = 0.05$ 电话纸 5 层
						屏蔽 紫铜箔 $\delta = 0.05$ 一层
						绝缘 $\delta = 0.05$ 聚酯亚胺 3 层、 $\delta = 0.05$ 电话纸 5 层
QII	AWG-15 0.01651	3-3'	187	5	38	$\delta = 0.05$
						绝缘 $\delta = 0.05$ 聚酯亚胺 3 层、 $\delta = 0.05$ 电话纸 5 层
						屏蔽 紫铜箔 $\delta = 0.05$ 一层
						绝缘 $\delta = 0.05$ 聚酯亚胺 3 层、 $\delta = 0.05$ 电话纸 5 层

## 2 电源变压器噪声干扰的抑制

我们发现，电网中最常见的高频尖峰脉冲噪声通过电源变压器传给下一级电子线路，其主要途径并不是初、次级间的交流电磁耦合，而是通过变压器初、次级间的分布电容，如图 2。一般变压器在高频情况下两者之间的分布电容约有数百皮法，对高频噪声呈现很低的阻抗，以致电网的噪声干扰比较容易地通过变压器对电子线路形成干扰<sup>[2]</sup>。

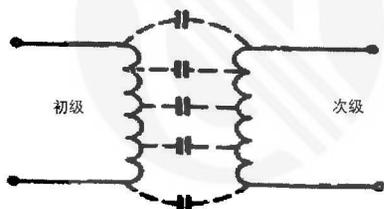


图 2 变压器初次级间的分布电容

根据调研和实验，目前常见的抑制变压器噪声干扰的措施有以下几个方面。

### 2.1 在初次级间加静电屏蔽

在绕制完变压器的初次级绕组后，在此绕组上再加用薄铜皮一层（ $\delta = 0.05\text{mm}$ ），铜皮的始端与末端要有重叠部分（重叠部分要相互绝缘）。另外，屏蔽层的引线阻抗  $Z$  的大小对屏蔽效果也有很大的影响，所以引出线要尽可能地短而粗。为了减小引出

线与屏蔽层间的接触电阻，保证电子设备长期稳定地可靠地工作，最好直接利用屏蔽层的铜皮作引线。为了减小加屏蔽层后残存的分布电容值，可采取在绕制时将绕组的宽度绕窄一些，而将屏蔽层加宽的办法以减少电力线的泄漏。

### 2.2 设置隔离变压器

为防止电网中的噪声进入电源部分，常采用初次级匝数比为 1:1 的隔离变压器。初次级绕组分开绕制，各自独立加屏蔽，以减少初次级间的分布电容。在对屏蔽层和铁心采用不同的接法时（例如屏蔽层绕在初次级上的方式不同或线包绕于铁心的部位不同等），其分布电容和直流电阻也不同。

### 2.3 采用初次级分段绕制

在对电源变压器抗干扰性能的研讨中，初次级分段绕制，对抗共模噪声有显著效果。如图 3(a)所示为一般变压器，若采用如图所示的分段绕制（分作两部分来绕），此时的共模干扰将大大降低。除此之外，该绕法还有另外的优点：假设图 3(a)和图 3(b)变压器的初次级绕组只有两层，则图 3(a)的绕组的  $a$ 、 $b$  间有 450V 电位差，而如图 3(b)将初次级线圈分两部分绕制， $a$ 、 $b$  间的电位差就只有 225V 了。很显然，前者产生的分部电容将有很大的泄漏电流，而后者只有一半的电位差，其泄漏电流就会大大减少<sup>[3]</sup>。

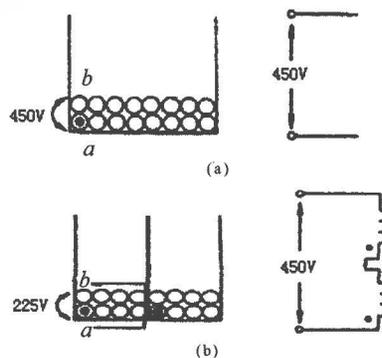


图 3 初次级平衡式绕组

## 3 结束语

本文所介绍的设计开关电源变压器的方法以及噪声干扰的抑制措施简便易行，对于刚开始设计开关电源变压器的设计人员非常适用。

### 参考文献

- [1] 张占松.开关电源的原理与设计(修订版).北京:电子工业出版社,2004
- [2] 高军,潘殿文.电源变压器噪声干扰的抑制,电工教学,1997(9)
- [3] 刘胜利.现代高频开关电源实用技术.北京:电子工业出版社,2001