

### 30kHz 高频开关电源变压器的设计

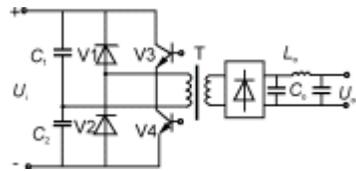
Design of 30kHz High-frequency SMPS Transformer

南京电子技术研究所冯掇(南京 210013)

在传统的高频变压器设计中,由于磁心材料的限制,其工作频率较低,一般在 20kHz 左右。随着电源技术的不断发展,电源系统的小型化,高频化和高功率比已成为一个永恒的研究方向和发展趋势。因此,研究使用频率更高的电源变压器是降低电源系统体积,提高电源输出功率比的关键因素。本文根据超微晶合金的优异电磁性能,通过示例介绍 30kHz 超微晶高频开关电源变压器的设计。

#### 1 变压器的性能指标

电路形式:半桥式开关电源变换器原理见图 1:



工作频率  $f$ : 30kHz

变换器输入电压  $U_i$ : DC300V

变换器输出电压  $U_0$ : DC2100V

变换器输出电流  $I_0$ : 0.08A

整流电路: 桥式整流

占空比  $D$ : 1%~90%

输出效率  $\eta$ :  $\geq 80\%$

耐压: DC12kV

温升: +50°C

工作环境条件: -55°C ~ +85°C

#### 2 变压器磁心的选择与工作点确定

从变压器的性能指标要求可知,传统的薄带硅钢、铁氧体材料已很难满足变压器在频率、使用环境方面的设计要求。磁心的材料只有从坡莫合金、钴基非晶态合金和超微晶合金三种材料中来考虑,但坡莫合金、钴基非晶态价格高,约为超微晶合金的数倍,而饱和磁感应强度  $B_s$  却为超微晶合金 2/3 左右,且加工工艺复杂。因此,综合三种材料的性能比较(表 1),选择饱和磁感应强度  $B_s$  高,温度稳定性好,价格低廉,加工方便的超微晶合金有利于变压器技术指标的实现。

图 1 (1) 钴基非晶态合金和超微晶合金的主要磁性能比较

材料	饱和磁感应强度/T	矫顽力/A·m-1	居里温度/°C	比损耗 20kHz0.5T/W·kg-1	工作频率/kHz	工作温度/°C
超微晶合金	1.2	0.48~1.2		25	~150	~150
钴基非晶态	0.8	1.2	340	20	~100	~120
坡莫合金	0.7	1.99	480	30	~50	~200

磁心工作点的选择往往从磁心的材料, 变压器的工作状态, 工作频率, 输出功率, 绝缘耐压等因素来考虑。超微晶合金的饱和磁感应强度  $B_s$  较高约为 1.2T, 在双极性开关电源变压器的设计中, 磁心的最大工作磁感应强度  $B_m$  一般可取到 0.6~0.7T, 经特别处理的磁心,  $B_m$  可达到 0.9T。在本设计中, 由于工作频率、绝缘耐压、使用环境的原因, 把最大工作磁感应强度  $B_m$  定在 0.6T, 而磁心结构则定为不切口的矩形磁心。这种结构的磁心与环形磁心相比具有线圈绕制方便、分布参数影响小、磁心窗口利用率高、散热性好、系统绝缘可靠、但电磁兼容性较差。

### 3 变压器主要参数的计算

#### 3.1 变压器的计算功率

半桥式变换器的输出电路为桥式整流时, 其开关电源变压器的计算功率为:

$$P_t = U_o I_o (1 + 1/\eta) \quad (1)$$

将  $U_o=2100V, I_o=0.08A, \eta=80\%$  代入式 (1), 可得  $P_t=378W$ 。

#### 3.2 变压器的设计输出能力

变压器的设计输出能力为:

$$A_p = (P_t \cdot 10^4 / 4 B_m f K W K J) 1.16 \quad (2)$$

式中: 工作频率  $f$  为 30kHz, 工作磁感应强度  $B_m$  取 0.6T, 磁心的窗口占空系数  $KW$  取 0.2, 矩形磁心的电流密度 (温升为 50°C 时)  $KJ$  取 468。经计算, 变压器的设计输出能力  $A_p=0.511cm^4$ 。

#### 3.3 变压器的实际输出能力

铁基超微晶铁心及超微晶软磁合金通过省级技术鉴定

1999 年 10 月 24 日, 由江西省科委等机关委托主持的对江西大有科技有限公司研制的新产品 DY-ON 型铁基超微晶磁铁心和超微晶软磁合金通过了省级技术鉴定, 获得与会专家学者的高度评价, 一致认为这两项产品性能稳定, 各项技术指标分别达到美国 UL94-P 标准和国标 GBm292-89 技术要求, 在国内同类产品中具有特色。

非晶态 (超微晶) 软磁合金, 是 90 年代世界六大高科技新型材料之一, 它具有优异的特点, 目前国内市场供不应求, 前景广阔。

联系人: 江西省宜春市东风大街 62 号宜春地区粮食局 (336000) 方华平

变压器的输出能力即磁心的输出能力, 它取决于磁心面积的乘积 ( $A_p$ ), 其值等于磁心有效截面积 ( $A_c$ ) 和它的窗口截面积 ( $A_m$ ) 的乘积, 即:  $A_p = A_c A_m (3)$

在变压器的设计中, 变压器的输出能力必须大于它的设计输出能力。在设计中, 我们选用的矩形磁心的尺寸为:  $10 \times 10 \times 39 \times 13.4$  (即:  $a=10mm, b=10mm, c=13.4mm, h=39mm$ ), 实际  $A_p$  达  $3.66cm^4$  (其中磁心截面积的占空系数  $KC$  取 0.7), 大于变压器的设计输出能力  $0.511cm^4$ , 因此, 该磁心能够满足设计使用要求。

#### 3.4 绕组计算

初级匝数:  $D$  取 50%,  $T_{on} = D/f = 0.5/(30 \times 10^3) = 16.67\mu s$ ,

忽略开关管压降,  $U_{p1} = U_i/2 = 150V$ 。

$$N_1 = U_{p1} T_{on} 10^{-2} / 2 B_m A_c = (150 \times 16.67) 10^{-2} / (2 \times 0.6 \times 1 \times 1 \times 0.7) = 29.77 \text{ 匝}$$

取  $N_1 = 30$  匝

次级匝数: 忽略整流管压降,  $U_{p2} = U_o = 2100V$ 。

$$N_2 = U_{p2} N_1 / U_{p1} = (30 \times 2100) / 150 = 420 \text{ 匝}$$

取  $N_2 = 420$  匝

#### 3.5 导线线径

$$I_{p1} = U_{p2} I_{p2} / U_{p1} = 0.08 \times 2100 / 150 = 1.12A$$

电流密度:  $J = K_j A_p^{-0.14} 10^{-2} = 468 \times 0.511^{-0.14} \times 10^{-2} = 5.14A/mm^2$

考虑到线包损耗与温升, 把电流密度定为  $4A/mm^2$

(1) 初级绕组:

$$S_{m1} = I_{p1} / J = 1.12 / 4 = 0.28mm^2$$

初级绕组的线径可选  $d=0.63mm$ , 其截面积为  $0.312mm^2$  的圆铜线。

(2) 次级绕组:

$$S_{m2} = I_{p2} / J = 0.08 / 4 = 0.02mm^2$$

次级绕组的线径可选  $d=0.16mm$  的圆铜线, 其截面积为  $0.02mm^2$ 。为了方便线圈绕制也可选用线径较粗的导线。

线。

#### 4 线圈绕制与绝缘

为减小分布参数的影响，初级采用双腿并绕连接的结构，次级采用分段绕制，串联相接的方式，降低绕组间的电压差，提高变压器的可靠性，绕制后的线圈厚度约为 4.5mm。小于磁心窗口宽度 13.4mm 的一半。在变压器的绝缘方面，线圈绝缘选用抗电强度高、介质损耗低的复合纤维绝缘纸，提高初、次级之间的绝缘强度和抗电晕能力。变压器绝缘则采用整体灌注的方法来保证变压器的绝缘使用要求。

#### 5 结束语

该超微晶开关电源变压器，环氧灌注绝缘后通过了产品的电性能检测和机载条件的环境试验，已用于机载设备，变压器的温升 $<35^{\circ}\text{C}$ ，工作效率达到 90% 以上，且波形质量优异，电性能参数稳定。超微晶合金薄带是新型的软磁合金，电磁性能优异，价格低廉，环境适应能力强，在高频电磁元件领域具有广阔的应用前景，特别是在阵面雷达系统中的电源、激励变压器、电感等。在 100kHz 的使用条件下，可以取代铁氧体、坡莫合金用作磁心材料。

#### 参考文献

- 1 电子变压器专委会，电子变压器手册，沈阳：辽宁科技出版社，1998.10。
- 2 中华人民共和国电子工业部，开关电源变压器计算方法，SJ/Z2921—88 北京,1998。