

# 单端正激变压器的设计

吕银芳<sup>1</sup>, 许会玲<sup>2</sup>, 王侃权<sup>1</sup>

(1. 陕西金山电器有限公司 陕西 咸阳 712021; 2. 陕西凌华电子有限公司 陕西 宝鸡 721006)

**摘要:**开关电源非常广泛地应用在通讯、计算机、汽车和消费电子产品等领域。开关电源主要有两种模式,一种是AC/DC模式,一种是DC/DC模式。作为开关电源核心元件的变压器主要起隔离、变压、能量转换的作用。磁芯是变压器的关键元件,他的选择尤为重要,他对变压器的效率、稳定性等起着决定性的作用。变压器的发展方向是高频化、小型化。主要论述了高频小功率DC/DC变压器的设计方法及低损耗磁芯的选用原则。

**关键词:**高频;单端正激变压器;低功耗铁氧体;设计

**中图分类号:**TM402

**文献标识码:**B

**文章编号:**1004-373X(2007)08-019-02

## Design of Single Ended Forward Transformer

LV Yinfang<sup>1</sup>, XU Huiling<sup>2</sup>, WANG Kanquan<sup>1</sup>

(1. Shaanxi Jinshan Electric Appliances Ltd., Xianyang, 712021, China; 2. Shaanxi Linghua Electronics Ltd., Baoji, 721006, China)

**Abstract:** The switch mode power supply is widely used in communication, computer, automobile and electric products. It has two series, one is AC/DC, the other is DC/DC. The transformer plays an important role in the switch mode power supplies, such as isolating, voltage changing and energy transferring. The ferrite core is the key component for the transformer, its property decides the efficiency and reliability of a transformer. The developing trend is high frequency and small-sized to a transformer. This paper introduces how to design a single ended forward transformer and how to choose the lower losses power ferrite core to meet the performance requirements of DC/DC transformer.

**Keywords:** high frequency; single ended forward transformer; lower losses ferrite; design

开关电源变压器是高频开关电源的核心元件。其作用为:磁能转换、电压变换和绝缘隔离。开关变压器性能的好坏不仅影响变压器本身的发热和效率,而且还会影响到高频开关电源的技术性能和可靠性。高频开关变压器的设计主要包括两部分:绕组设计及磁芯设计。本文将对应用在高频下的单端正激变压器的设计方法及磁芯的选择给出较为详细的论述。

### 1 单端正激变压器原理

单端正激变压器的原理图如图1所示。

单端正激变压器又称“buck”转换器。因其在原边绕组接通电源 $V_i$ 的同时把能量传递到输出端而得名。正激式变压器的转换功率通常在50~500W之间。输出电压 $V_o$ 由匝比 $n$ 、占空比 $D$ 和输入电压 $V_i$ 确定。

$$V_o = (N_s/N_p) * D * V_i$$

当PWM控制器输出正脉冲,功率开关导通,变压器的初级绕组通过电流,此电流由两部分组成,一部分为磁化电流即流经等效开环电感上的电流,另一部分是与输出电流等效的初级电流,他和初次级匝比成正比,和输出电流成正比。储存在电感上的能量必须在功率开关关断后下一次开启前泄放掉,以便使磁通复位。 $N_s$ 为去磁绕组。

### 2 变压器磁芯的选用原则

高频开关电源中的变压器从性能价格比考虑,MnZn功率铁氧体材料是最佳的选择。应用于高频开关电源变压器中的铁氧体应具有以下磁特性:高饱和磁通密度或高的振幅磁导率,在工作频率范围有低的磁芯总损耗,较低的温度系数,较高的居里温度。

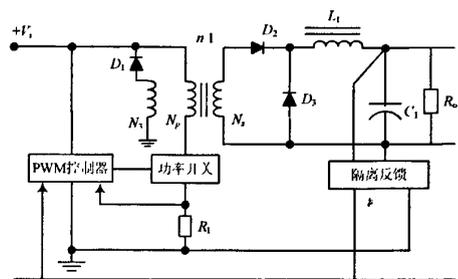


图1 单端正激变压器的原理图

磁芯损耗 $P_c$ 主要由磁滞损耗 $P_h$ 和涡流损耗 $P_e$ (包括剩余损耗 $P_r$ )组成,即:

$$P_c = P_h + P_e$$

磁滞损耗 $P_h$ 正比于直流磁滞回线的面积,并与频率成正比关系。即:

$$P_h = f \oint B dH$$

对于工作频率在 100 kHz 以下的功率铁氧体磁芯,降低磁滞损耗是最重要的,为降低损耗,即要降低矫顽力  $H_c$ 、剩余磁感应强度。要达到此目的,须从两方面着手,一是从配方成分方面,尽量使磁晶各项异性常数  $k \rightarrow 0$ ,磁滞伸缩常数  $\rightarrow 0$ ;二是在工艺上要做到高密度、大晶粒、均匀完整、另相少、内应力小、气孔少。

### 3 单端正激变压器的设计步骤

- (1) 了解变压器的各项指标要求;
- (2) 选取磁芯材质确定  $\Delta B$  值;
- (3) 计算磁芯的  $AP$  值,确定磁芯型号规格;
- (4) 计算初次级绕线匝数;
- (5) 计算线径  $d_w$ 。

### 4 设计举例

(1) 变压器相关参数

INPUT: DC, 48 V, 50 W;

工作频率: 100 kHz;

传输效率: 75%;

OUTPUT: 5 V;

风冷散热:  $J = 400 \text{ A/cm}^2$ 。

(2) 根据变压器对铁氧体磁芯高  $B_s$ 、低功耗的要求,可选用 TDK 的 PC40, PC44, PC50 或飞利浦的 3F3, 3F4 材料。综合考虑性价比因素,选用 TDK 的 PC40 材质。因为罐型磁芯具有较好的屏蔽,有利于解决 EMI 中的棘手问题——辐射,所以磁芯形状选用罐型。同时不能使局部温度太高,必须均衡放置发热元件,另外还要求较低的纹波和较高的效率,所有这些考虑使得采用正激式比较合适。

TDK PC40 材料的相关参数:

$P_{cv}: 410 \text{ kW/m}^3 @ 100 \text{ kHz}$ ;

$\mu_r = 2300 \pm 25\%$ ;

$B_s: 390 \text{ mT}; B_r: 55 \text{ mT} @ 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

$\Delta B = 390 - 55 = 335 \text{ mT}$ 。

考虑磁芯实际使用中由于高温效应、瞬间情况等引起  $B_s, B_r$  的变化,使  $\Delta B$  动态范围变小而出现饱和,因此设计时一般必须留出一定的安全空间,即选择:

$$\Delta B = 75\% \Delta B_m$$

则  $\Delta B = 75\% * 335 \text{ mT} \triangleq 250 \text{ mT} = 0.25 \text{ T}$

(3) 计算磁芯  $AP$  值,决定磁芯规格型号

$$AP = A_w * A_c = (P_s * 10^4) / (2 * \Delta B * f * J * K_u)$$

式中:  $A_w$ : 磁芯铜窗面积 ( $\text{cm}^2$ );

$A_c$ : 磁芯有效截面积 ( $\text{cm}^2$ );

$P_s$ : 变压器传递视在功率 (W);

$\Delta B$ : 磁感应增量 (T);

$f$ : 变压器工作频率 (Hz);

$J$ : 电流密度;

$K_u$ : 铜窗占用系数取 0.2。

将  $\Delta B = 0.25 \text{ T}, f = 10^5 \text{ Hz}, J = 400 \text{ A/cm}^2$  代入上式得:

$$AP = 0.29 \text{ cm}^4$$

查阅有关 TDK DATA 选用 PC40P26/16Z-52H 罐型磁芯,其参数如表 1 所示。

表 1 PC40P26/16Z-52H 罐型磁芯参数表

参数	$C_1$	$l_c$	$A_c$	$V_c$	$A_w$
单位	$\text{mm}^{-1}$	mm	$\text{mm}^2$	$\text{mm}^3$	$\text{mm}^2$
数值	0.4	37.6	94	3 534	57.7

(4) 计算  $N_p, N_s$

设:  $D_{max} = 0.4$ ;

匝比  $n$ ;

$$n = N_p / N_s = V_i / V_o = (V_{in} * D_{max}) / (V_o + V_r)$$

$V_r$ : 二极管正向压降;

将各参数值代入得:

$$n = (48 * 0.4) / (5 + 1) = 3.2 \rightarrow \text{取整数 } 3;$$

初级绕线匝数  $N_p$ ;

$$N_p = V_m * t_{on} / (\Delta B * A_c)$$

$$t_{on} = D_{max} * T_s (\mu\text{s})$$

$$= 0.4 * 10$$

$$= 4 \mu\text{s}$$

$$T_s = 1 / f \mu\text{s};$$

$A_c$ :  $\text{mm}^2$

将各数值代入得:

$$N_p = 48 * 4 / (0.25 * 94)$$

$$= 8.17 \rightarrow \text{取整数 } 8;$$

次级绕线匝数  $N_s$ ;

$$N_s = N_p / n = 8 / 3 = 2.7 \rightarrow \text{取整数 } 3。$$

(5) 检查  $\Delta B$  选择合理性

$$\Delta B = (V_m * D_{max} * T_s) / (N_p * A_c)$$

$$= (48 * 0.4 * 10) / (8 * 94)$$

$$= 0.255 \text{ T}$$

其中  $T_s$ :  $\mu\text{s}$ ,  $A_c$ :  $\text{mm}^2$ ;

$$\Delta B + B_r = 0.255 + 0.055 = 0.31 \text{ T}$$

$$B_s: 0.39 \text{ T}$$

$$\Delta B + B_r < B_s,$$

故  $\Delta B$  的选择是合理的。

(6) 计算线径  $d_{up}, d_{ws}$

原边电流  $I_p$ ;

$$I_p = P_i / (D_{max} * V_i) = 50 / (0.4 * 48) = 2.6 \text{ A}$$

$$J = 400 \text{ A/cm}^2 = 4 \text{ A/mm}^2$$

$$\text{原边绕组截面积 } S_p = I_p / J = 2.6 / 4 = 0.65 \text{ mm}^2$$

(下转第 23 页)

义,在大规模数模混合集成电路中很有应用潜力。

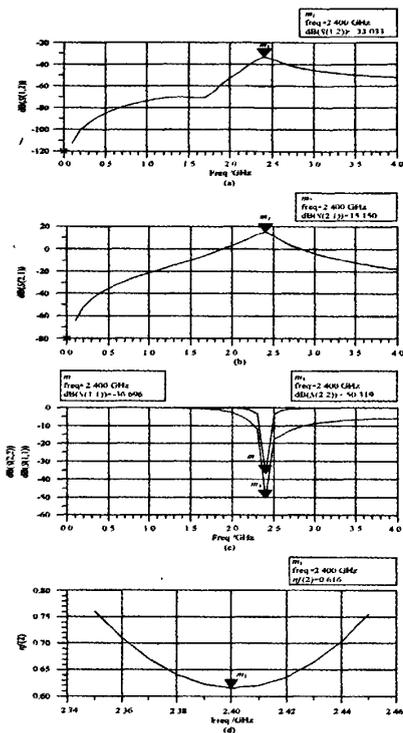


图2 ADS仿真结果

参 考 文 献

[1] Sungkyung Park, Wonchan Kim. Design of a 1.8 GHz Low -

noise Amplifier for RF Front End in a 0.8 μm CMOS Technology [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2001, 47(1); 10 - 15.

[2] Thomas Lee H. CMOS 射频集成电路设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

[3] Egels M, Gaubert J, Pannier P, et al. Design Method for Fully Integrated CMOS RF LNA [J]. Electronics Letters, 2004, 40(24); 1 513 - 1 514.

[4] Kim H S. A 2.4 GHz CMOS Low Noise Amplifier Using an Inter - stage Matching Inductor [J]. Circuits and Systems, 42nd Midwest Symposium on, 2000(2); 1 040 - 1 043.

[5] Jie Long, Robert Weber J. A Low Voltage Low Noise CMOS RF Receiver Front end [A]. Proceedings of the 17th International Conference on VLSI Design [C]. 2004; 393 - 397.

[6] Ali F, Hutchinson C, Podell A. A Novel Cascode Feedback GaAs MMIC LNA with Transformer Coupled Output Using Multiple Fabrication Process [J]. IEEE Microwave and Guided Wave Lett., 1992(2); 70 - 72.

[7] Jihak Jung, Kyungho Chung, Taeyeoul Yun, et al. Hoontae Kim. Ultra Wideband Low Noise Amplifier Using a Cascode Feedback Topology [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2006; 203 - 205.

[8] 林嘉锐. 模拟高频电子电路 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1986.

[9] Shaeffer D K, Lee T H. A 1.5 V 1.5 GHz CMOS Low Noise Amplifier [J]. IEEE Solid - State Circuits, 1997(32); 745 - 759.

作者简介 张君玲 女, 1981年出生, 福建省厦门市人, 在读硕士研究生。主要从事 CMOS 射频集成电路的设计与研究。

(上接第 20 页)

查阅有关 AWG 导线规格可用 AWG19 线, 其  $A_p = 0.785 \text{ mm}$ ,  $0.65 \text{ mm}^2$ 。副边绕组:

$$P_o = P_i * \eta = 50 * 0.75 = 37.5 \text{ W}$$

$$I_o = P_o / V_o = 37.5 / 5 = 7.5 \text{ A};$$

副边绕组截面积  $S_s$ :

$$S_s = I_o / J = 7.5 / 4 = 1.88 \text{ mm}^2$$

导线直径  $d_w = (4 * S_s / 3.14)^{1/2} / r_p$ ;

$r_p$ : 并联根数取 2;

将数据代入得:  $d_w = 0.77 \text{ mm}$ ;

查阅有关 AWG 导线规格可用 AWG21, 其  $d =$

5 结 语

变压器磁芯的  $\Delta B$  的取值对磁芯体积、损耗工作稳定性都有直接影响, 导线的电流密度取值受磁芯  $AP$  值限制, 决定于散热方式。最优化设计应同时考虑体积、温升、成本因素来确定。

参 考 文 献

[1] 张占松, 蔡宣三. 开关电源的原理与设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

作者简介 吕银芳 女, 1989年毕业于华中理工大学, 工程师。从事铁氧体材料, 变压器, 滤波器等器件的研究开发工作。

许会玲 女, 1992年毕业于成都电子科技大学, 工程师, 从事电子分配器, 调谐器的设计工作。

王侃权 男, 1989年毕业于电子机械高等专科学校, 助工。从事专用设备设计制造工作。

# 单端正激变压器的设计

作者: [吕银芳](#), [许会玲](#), [王侃权](#), [LV Yinfang](#), [XU Huiling](#), [WANG Kanquan](#)  
作者单位: [吕银芳, 王侃权, LV Yinfang, WANG Kanquan \(陕西金山电器有限公司, 陕西, 咸阳, 712021\)](#),  
[许会玲, XU Huiling \(陕西凌华电子有限公司, 陕西, 宝鸡, 721006\)](#)  
刊名: [现代电子技术](#) **ISTIC**  
英文刊名: [MODERN ELECTRONICS TECHNIQUE](#)  
年, 卷(期): 2007, 30 (8)  
被引用次数: 3次

## 参考文献(1条)

1. [张占松](#); [蔡宣三](#) [开关电源的原理与设计](#) 2004

## 本文读者也读过(3条)

1. [王全](#), [姜卫东](#), [于洋](#) [利用固定电话网实现远程电器控制](#)[期刊论文]-[现代电子技术](#)2002 (5)
2. [张振起](#) [电话机组成防盗报警系统](#)[期刊论文]-[现代电子技术](#)2000 (8)
3. [陈佳果](#), [王卫国](#), [CHEN Jia-guo](#), [WANG Wei-guo](#) [单端正激型开关电源的谐振去磁技术](#)[期刊论文]-[电力电子技术](#) 2007, 41 (8)

## 引证文献(3条)

1. [陈玉兰](#), [郭东兰](#) [绝缘粘结剂对铁硅铝磁粉芯软磁性能的影响](#)[期刊论文]-[科技创新导报](#) 2009 (17)
2. [王牧之](#), [王君艳](#) [反激式高频变压器的分析与设计](#)[期刊论文]-[现代电子技术](#) 2011 (8)
3. [刘芝福](#), [李学勇](#), [高思远](#) [一种推挽逆变器用高频变压器的研制方法](#)[期刊论文]-[现代电子技术](#) 2008 (19)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_xddzjs200708007.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xddzjs200708007.aspx)