

# 基于 PowerEsim 的开关电源的高频变压器设计

杨文广, 杨玉岗, 李洪珠, 高 奇

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

**摘要:** 高频开关电源中, 变压器受更多寄生参数的影响, 对开关电源的影响也越来越大。因此, 高频开关电源设计时, 高频变压器的设计是重中之重。本文对高频变压器的设计进行了分析, 应用 PowerEsim 软件对变压器的参数进行了优化, 提高了开关电源的效率。

**关键词:** 高频开关电源; 高频变压器; PowerEsim  
**中图分类号:** TM4   **文献标识码:** B

## Design of high-frequency transformer for switching power supply based on PowerEsim

YANG Wen-guang, YANG Yu-gang, LI Hong-zhu, GAO Qi  
(College of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

**Abstract:** In high-frequency switching power supply, influence on switching power supply by the more parasitic transformer parameters is increasing. Therefore, during high-frequency switching power supply design, high-frequency transformers design is top priority. In this paper, the design of high-frequency transformers is analysed, the parameters of the transformer is optimized to improve the efficiency of a switching power supply by applying Software PowerEsim.

**Key words:** high-frequency switching power supply; high-frequency transformers; PowerEsim

## 0 引言

开关电源的体积、重量主要是由储能元件(磁性元件、电容)决定, 因此开关电源小型化实质就是减小储能元件的体积。在允许的范围内提高开关电源频率, 不仅能有效地减小磁性元件及电容的大小, 还能抑制干扰, 改善系统的动态性能。因此, 高频化是开关电源的主要发展方向。

## 1 开关电源磁性器件铁心材料的选择<sup>[1]</sup>

软磁铁氧体在开关电源中的作用:

1) 抑制电磁干扰: 将不希望有的高频信号滤掉, 而让希望有的信号通过, 这对于现代电子设备抑制电磁干扰和满足电磁兼容性指标越来越重要。对铁氧体材料的要求是在所覆盖的频率范围要有很高的阻抗。

2) 滤波及储能: 在开关电源中, 可以用电感来储存能量, 当开关器件导通时, 电感器储存能量; 当开关器件关断时, 将电感器中储存的能量传给负载, 对铁氧体材料的要求是饱和磁密要高。

3) 脉冲变压器: 用于传输脉冲信号或交流信号, 起升压或降压作用, 以满足安全要求或进行阻抗匹配, 对铁氧体材料的要求是饱和磁密要高, 为了减小信号的失真度而要求磁滞损耗系数要小。

4) 电源变压器: 用电源变压器传输能量、变压及隔离(安全需要)等, 对铁氧体材料的要求是损耗低、饱和磁密要高。

## 2 变压器线圈绕组的设计

变压器的设计不仅包括磁芯的设计, 也包括绕组的设计。磁性器件的特性为磁芯和绕组的综合特性。在低频时, 寄生参数如漏感和激磁电感对变压器影响较小, 主要根据线圈的

直流电阻引起的允许损耗设计线圈。在高频开关电源中, 损耗仍然是高频磁性元件设计的重要依据。随着频率增加, 高频电流在线圈中产生严重的高频效应, 加之寄生电感、电容的影响, 大大地影响了开关电源电路的性能、降低效率、产生电压尖峰、寄生振荡和电磁干扰等。因此, 要正确地确定绕组结构、绕组的匝数、导线的种类和直径、绕制方式以及安装方法等。绕组的面积是由磁芯的窗口面积确定的。当绕组面积确定后, 就可进一步确定绕组的匝数, 该匝数不仅决定于选用导线的直径, 而且与下列因素有关:

- 1) 线圈的绕组方式;
- 2) 每层线圈之间的隔离介质膜;
- 3) 绕制线圈过程中的张力;
- 4) 各个绕组线圈的独立线圈数目以及它们之间的连接方式。

图 1 为导线的两种理想排列形状。

六角形排列比正方形排列更为密集。实际绕组中, 很难排列成理想的正方形排列方式和六角形排列方式, 但是如果在线圈绕制过程中, 操作仔细, 而且线圈层间没有其他绝缘体, 则可以绕制成六角形的排列方式。

按六角形排列绕制线圈, 为了把漏电感、集肤效应和邻近效应减到尽可能小的程度, 变压器线圈采用“三明治”绕法结构, 如图 2 所示。此绕法可以减小变压器初级与次级绕组形成的磁动势, 从而减小了变压器漏感、集肤效应及邻近效应, 同时也减小了铜损。

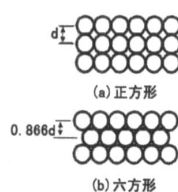


图 1 导线理想排列形状

图 2 线圈“三明治”绕制图

在开关电源中, 高频变压器有两个主要的作用: 第一、实现输入和输出之间的电隔离; 第二、升高或降低经脉宽调制以后的交流输入电压幅值。由于本次开关电源设计是基于 PowerEsim 软件辅助设计的, 变压器设计所需要求的参数都由软件来实现, 所以在此对变压器的设计过程未代入实际值, 但经过计算所得的值是近似的, 为了更好的优化设计参数, 所以采用软件设计的结果做为依据, 具体数据参照表 2。

所设计的高频变压器基本参数输入: 176 ~ 264VAC, 50Hz; 输出: 12V / 4A, DC。

### 1) 工作频率的确定

工作频率高, 输出电压高, 响应速度快, 调整范围大, 但是场效应管、整流二极管以及变压器等发热多, 损耗大, 噪声大。现用 100kHz, 电源效率取 80%。

### 2) 最大导通时间 $T_{on(max)}$ 的确定

正激式的占空比  $D_{max}$  应低于 0.5, 现选用  $D_{max} = 0.45$ ,  $D_{min} = 0.2$ , 则  $T_{on} = T \times D_{max}$ 。

变压器及扼流圈的相关参数如表 1、表 2、表 3 所示。

表 1 变压器线圈的匝数表

线圈名称	$N_0$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
匝数	45	45	11	11

表 2 变压器的损耗

型号	传导损耗	磁芯损耗	漏磁损耗	损耗百分比	总损耗
EE-42530	299.9 mW	185.8 mW	79.08 $\mu$ W	5.761%	485.7 mW

表 3 变压器及扼流圈参数表

编号	器件名称	详细说明
1	T1	6.95 mH EE - 42530 Main Transformer
	Magnetic Core	EE - 42530 M in Ae = 0.794 cm <sup>2</sup> ; MAGNETICS
	Wire	0.417 mm 155deg UBW - 80 Heavy Build AW G27 Cu Magnet Wire BCWire
	Varnish	31 - 398 (D IP & BAKE) ELANTAS
	Tape	0.05 mm 1PEN2 155 PEN Tape
2	L2	3.01 mH EE - 41208 Auxiliary output filtering inductor
	Magnetic Core	EE - 41208 M in Ae = 0.115 cm <sup>2</sup> ; MAGNETICS
	Wire	0.198 mm 155deg PEW 155 Heavy Build AW G34 Cu Magnet Wire BCWire
	Varnish	31 - 398 (D IP & BAKE) ELANTAS
3	L3	95.8 uH T80 - 26B Input Differential Mode Choke
	Magnetic Core	T80 - 26B M in Ae = 0.347 cm <sup>2</sup> ; MCROMETALS
	Wire	0.5156 mm 155deg UEW 155F Heavy Build AW G25 Cu Magnet Wire BCWire
	Varnish	31 - 398 (D IP & BAKE) ELANTAS
4	L4	95.8 uH T80 - 26B Input Differential Mode Choke
	Magnetic Core	T80 - 26B M in Ae = 0.347 cm <sup>2</sup> ; MCROMETALS
	Wire	0.5156 mm 155deg UEW 155F Heavy Build AW G25 Cu Magnet Wire BCWire
	Varnish	31 - 398 (D IP & BAKE) ELANTAS
5	L5	95.8 uH T80 - 26B Input Differential Mode Choke
	Magnetic Core	T80 - 26B M in Ae = 0.347 cm <sup>2</sup> ; MCROMETALS
	Wire	0.5156 mm 155deg UEW 155F Heavy Build AW G25 Cu Magnet Wire BCWire
	Varnish	31 - 398 (D IP & BAKE) ELANTAS
6	L6	6.44 mH EE - 42211 Input Common Mode Choke
	Magnetic Core	EE - 42211 M in Ae = 0.246 cm <sup>2</sup> ; MAGNETICS
	Wire	0.6426 mm 155deg UEW - 80 Heavy Build AW G23 Cu Magnet Wire BCWire
	Varnish	31 - 398 (D IP & BAKE) ELANTAS

变压器的设计是高频开关电源设计的难点。此环节直接影响电源的效率。这次设计与以往不同的是采用了 PowerEsim 软件设计。通过软件进行参数调整优化,可以达到预期效果。

### 3 PowerEsim 软件介绍<sup>[5]</sup>

PowerEsim 软件是以网络为基础的设计开关电源的辅助设计软件,软件的结构主要是以实际的开关电源电路和现有的技术设计方法来满足现实工业的要求。它是一个虚拟的开关电源设计平台,使设计者更好的了解了电力电子器件和开关电源,同时也很快的证明了理论知识,PowerEsim 软件的出现,使设计者能在短时间内设计出一个性能比较好的开关电源,促进了电源业的发展。

图 3 为磁性元件建造界面,图 4 为磁性元件建造器的进阶页面,图 5 为变压器缠线结构图。

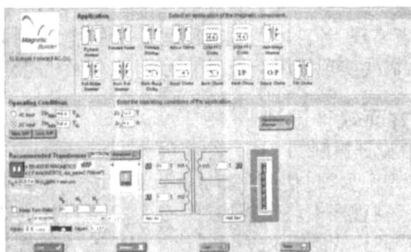


图 3 磁性元件建造界面

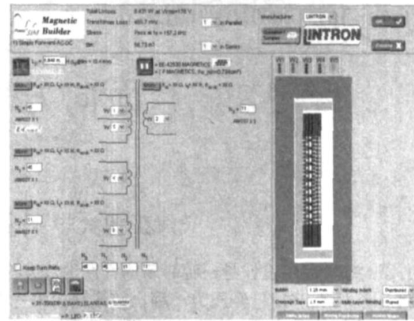


图 4 磁性元件建造器的进阶页面

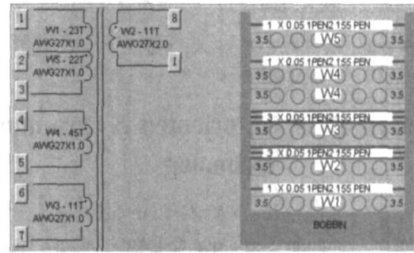


图 5 变压器缠线结构图

### 4 总结

本文用 PowerEsim 软件对高频变压器进行了优化设计。在设计变压器时,确定了铁心的材料,通过软件对高频变压器各项参数优化处理,确定了磁芯的型号为: EE - 42530。为了减小变压器的漏感,变压器线圈导线的绕制方式确定为“三明治”绕制方法。最后通过软件对变压器进行了仿真。变压器的主要性能参数为:传导损耗为 299.9 mW,磁芯损耗为 185.8 mW,漏感为 79.08  $\mu$ H。

#### 参考文献

- [1] 杨玉岗. 现代电力电子的磁技术 [M]. 科学出版社, 2003: 59-60.
- [2] 赵修科. 开关电源中磁性元器件 [M]. 南京: 南京航空航天大学出版社, 2004: 36-76.
- [3] 过壁君. 磁芯设计及应用 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 2006: 69-74.
- [4] 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, 2001: 319-404.
- [5] www.poweresim.com
- [6] 沙占友. 单片开关电源的应用 [J]. 国外电子元器件, 1996, (4): 18-20.
- [7] K Burak k Dalci, Kayhan Gulez, Galip Cansever. THE DESIGN OF A PUSH-PULL SW IICH MODE POWER SUPPLY FOR AC DRIVER. The 30Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2004
- [8] 周志敏, 周纪海. 开关电源实用技术设计与应用 [M]. 人民邮电出版社, 2006: 226-228, 262-265.

作者简介: 杨文广 (1981 - ) 男, 硕士, 主要从事电力电子及磁集成理论方面研究; 杨玉岗, 男, 清华大学博士, 教授, 主要从事电力电子及磁集成理论方面的研究; 李洪珠, 男, 硕士, 副教授, 主要从事电力电子及磁集成理论方面的研究。

收稿日期: 2008 - 09 - 25 (8474)

### 作者须知

作者在投稿前, 请先上网 (网址: www.eic.com.cn), 查询本刊对稿件的要求, 以保证稿件的质量。  
要点: 作者限 4 位, 字数限 3000 字。

仪器仪表用户杂志编辑部