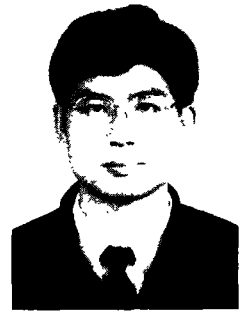
维普资讯 http://www.cqvip.com

开关变换器高频磁元件 PSPICE 仿真模型*



林维明，　林慧聪　　(福州大学 电气工程系,福建 福州　350002)

摘　要：建立了磁元件 PSPICE 仿真模型。对磁元件的磁特性、铁芯结构和铜绕组的布置及其开关电源特性的影响进行了计算机辅助分析,并用 VB 语言编制了可视化对话设置、铁芯结构和绕线布置的操作,同时模拟阻抗分析仪进行了特性曲线分析。这种分析手段有助于对磁元件深入分析和有效设计,提高电力电子开关变换器的性能指标。

关键词：仿真模型；高频磁元件；开关变换器

中图分类号：TP211⁺.53　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-5531(2004)03-0008-04

第一作者：林维明(1964－)，男，副教授，博士，研究方向为电力电子技术和电器动态过程。

PSPICE Model of Magnetic Components in High Frequency Switching Converters

LIN Wei-ming,　*LIN Hui-cong*

(Department of Electrical Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: The PSPICE simulating model of magnetic component was set up in this paper. The effect of magnetic characteristics, core structure and winding arrangement on power supplies can be obtained by computer simulation. It is very helpful to improve the property of converters by using PSPICE model and simulation

Key words: simulation model; high frequency magnetic components; switching converters

1　概　述

开关变换器中的磁元件的应用非常广泛,例如,滤波电感,谐波电感,吸收电路中的限流电感,自饱和电感,隔离或升、降压变压器,阻抗变换、电流/电压检测、磁调节元件(磁放大器)等,在开关变换中完成能量储存与转换、滤波与电气隔离等功能,是关键的组成部分。为了既能保证变换器的性能良好,又能减少磁元件的体积、重量和成本,对开关变换器中高频磁元件进行研究分析是十分必要的。

因为电磁过程的复杂,影响性能的因素和参数太多,分析高频电磁现象很困难。随着集成电路与计算机的迅速发展,以电子计算机辅助设计为基础的电子设计自动化技术已经渗透到电力电子开关变换器设计的各个领域,如 PSPICE、SABER、MATLAB、PSIM 等电力电子装置计算机仿真软件在广泛地应用并不断完善。但高频开关变换器中的磁元件工作条件较为特殊,制造业很难提供高频电感和变压器的标准产品,而是要按应用的特殊要求进行非标准设计。因此,电力电子研究人员应当了解磁芯结构及磁元件的制造工艺等。本文结合 PSPICE 仿真平台,应用 VB 编程,对磁材料特性、磁芯结构和线圈的绕制进行计算机辅助分析。

2　磁材料特性 PSPICE 仿真模型及分析

高频磁元件由磁芯和铜绕组构成。开关变换器常用的磁材料有:① 铁氧体。高频损耗小、B_S 小、温度稳定性差;② 坡莫合金。电阻率低,高频损耗大;③ 金属磁粉芯。工作频率 < 300 kHz;④

* 福建省教育厅(JA03003)和福州大学科技发展基金资助项目(2002-XQ-07)

维普资讯 http://www.cqvip.com

非晶态软磁合金;⑤ 超微晶软磁合金。

磁材料的磁特性,即 *B-H* 间的关系,在 *B-H* 平面上表示,称为 *B-H* 曲线。一般用磁滞回线来表征,如图 1 所示。图 1 中 B_S 为饱和磁感应强度,H_C 为矫顽力。其特点是非线性、对称性、非单值性。特性曲线上各点的斜率(动态磁导率)和各点到坐标原点连线的斜率(静态磁导率)不同。通常,磁芯磁阻不是一个常数,其数值与磁状态工作点有关。磁材料特性与磁材料类型、磁芯结构、处理工艺以及激磁信号类型等有关。因此对磁元件的计算机分析,首先应建立磁特性的分析。

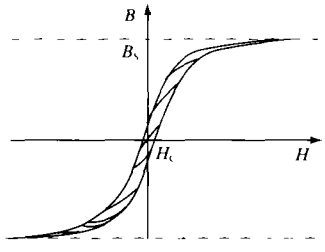


图 1　磁材料磁滞回线

本文以磁芯 EP10-3F3 为例,分析应用磁元件 PSPICE 仿真模型,并进行磁元件磁特性的分析,建立如图 2 所示的仿真电路,设置的磁芯材料结构参数如图 3 所示。

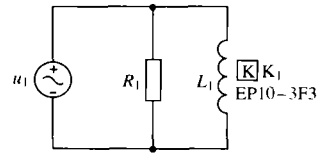


图 2　PSPICE 磁元件库及其仿真电路

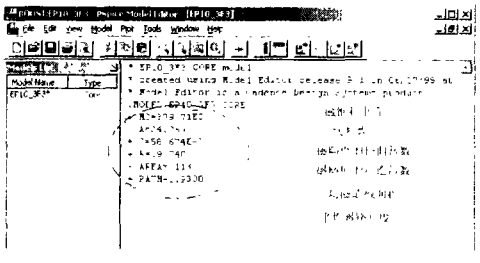
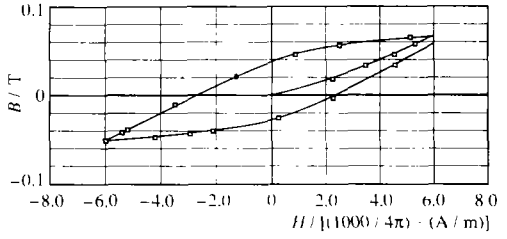
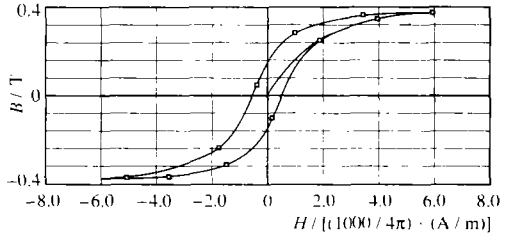


图 3　磁元件结构参数设置

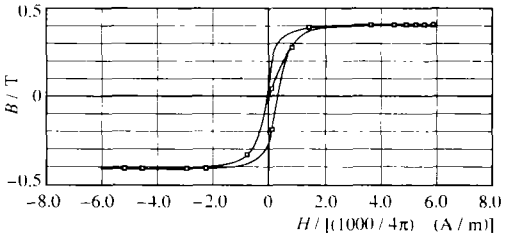
应用 PSPICE MODEL EDITOR,改变磁芯模型参数值 *A*、*K*、*C*,通过仿真可得到如图 4 所示的磁滞特性曲线。通过分析可知:*A* 值减少,磁滞特性曲线膝点上升;*K* 值影响曲线的宽度;*C* 值影响磁滞特性曲线的回差大小。同样,应用该电路模型可以改变磁铁芯尺寸参数,分析其对磁滞特性曲线的影响。



(a) 磁芯模型参数值 *A*



(b) 磁芯模型参数值 *K*



(c) 磁芯模型参数值 *C*

图 4　PSPICE 仿真 *B-H* 曲线

3　磁芯结构形式与绕组的布置

应用在高频开关变换器中的磁芯结构形式有许多种(见图 5),主要有环形、EI 形、UU 形、PC 形、T 形及罐形。设计人员根据绕线方便,EMI、温升和散热通风等情况选择对磁铁芯结构进行计算机辅助分析。首先选定磁芯结构,本文建立用户界面(见图 6)进行设置铜绕组的绕线布置,对高频磁元件具有重要影响。

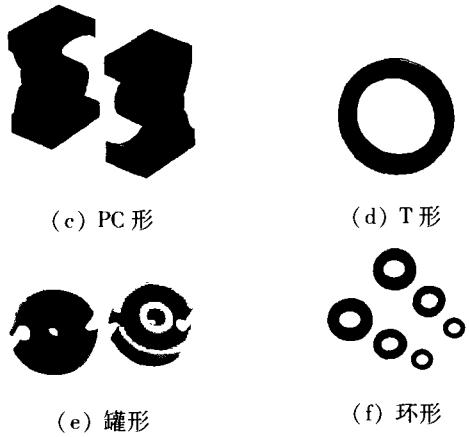


(a) EI 形



(b) UU 形

维普资讯 http://www.cqvip.com



(c) PC 形　　(d) T 形

(e) 罐形　　(f) 环形

图 5　磁铁芯结构

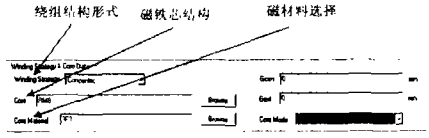


图 6　磁铁芯设计界面

本文对一变压器进行举例设计,设计其绕线布置如下:① 原边绕组;② 绝缘;③ 副边绕组;④ 绝缘;⑤ 副边绕组。在本文设计的程序中可以进行本例变压器的原副边绕组的绕制,如图 7 所示。

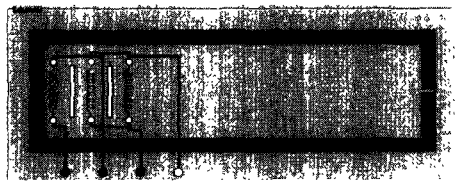


图 7　铜绕组绕线布置

通常磁元件绕制后需要进行测试,以便了解变压器的交流电阻和漏电感是否合理,实际工作可以通过阻抗分析仪来完成,本文通过计算机程序来完成阻抗分析仪仿真分析。考虑分布电容,设定扫描频率带宽。为了获得绕组交流电阻和漏电感,需要短接副边绕组,输入计算机后,可以获得阻抗分析的特性曲线,如图 8 所示。这样可以获得 100 kHz 时的交流电阻是 334 mΩ、漏电感是 400 nH。

为了改进所获得的绕组阻抗特性,继续对导线布置进行重新设计,在本例的变压器绕制中,采取绕组交错绕制方法,即将原边绕组布置在两个

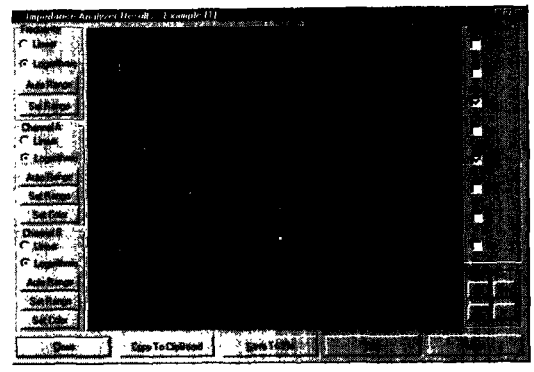


图 8　阻抗特性

副边绕组之间,如图 9 所示。由此得到磁铁芯元件的阻抗特性如图 10 所示,交流电阻减少为 297 mΩ,漏电感为 200 nH,改善了前次设计。

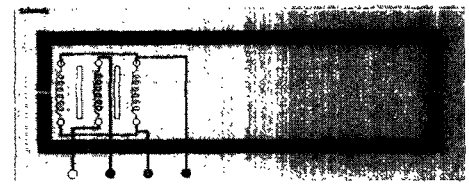


图 9　绕组绕线的重新布置

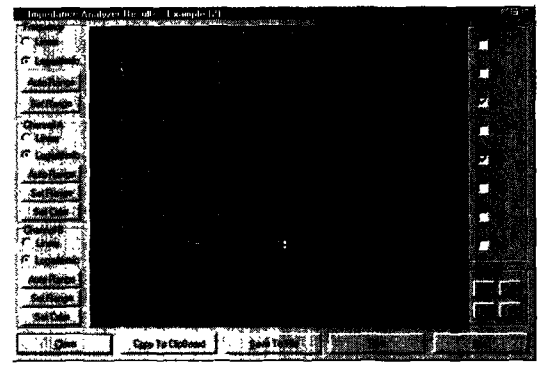


图 10　新设计的阻抗特性

4　考虑铁芯结构的开关电源仿真

OrCAD PSPICE 是广泛应用于电力电子装置的计算机分析仿真软件,如何应用 PSPICE 来分析磁元件材料、结构、绕组布置对开关变换器的影响是本文着手解决的问题。PSPICE 中,*.CIR 是电路主文件,内容包含 SPICE 规格要求的固定形式和仿真指令,是文本文件。因此,可以用记事本编辑磁元件材料、结构和绕组布置等 Transformer.CIR 文件。

维普资讯 http://www.cqvip.com

PSPICE 具有 *.INC 包含文件,内容是一些用户定义的 PSPICE 指令或用户想要在输出内出现的文字注解,是一个 ASCⅡ文本文件,故可使用记事本程序之类的文字编辑程序或使用 MODEL EDITOR 的 MODEL TEXT VIEW 来产生。这样一来,应用 *.INC,可将变压器子电路包含在开关电源 PSPICE 描述电路中。图 11 为一个反激式隔离直流开关电源。

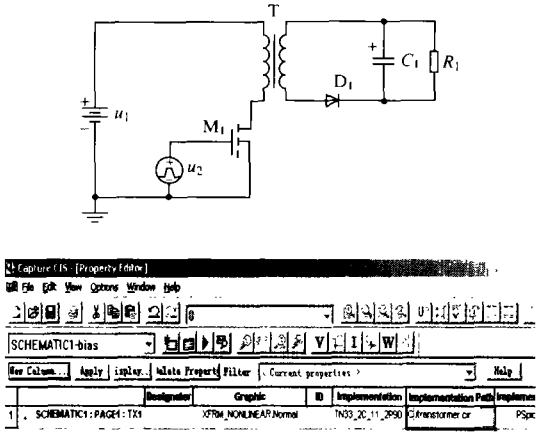


图 11　反激式开关电源及其隔离变压器仿真模型

必须将开关电源变压器模型对应上所设置磁元件结构的相应路径中的文件,这可以在模型特性设置时设定。应用 PSPICE 仿真,可方便地获得反激式开关电源开关管的电压和输出二极管电流的波形,如图 12 所示。

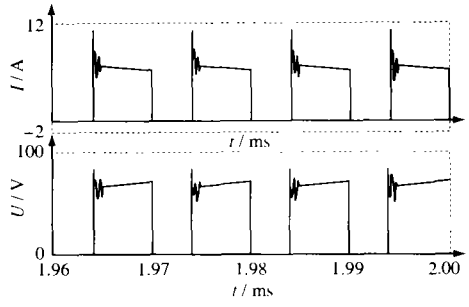


图 12　反激式开关电源开关管的电压和输出二极管的电流波形

5　结　论

由于电磁过程复杂,分析高频电磁现象有一定困难。本文应用 PSPICE 仿真软件平台,结合 VB 语言编制设计可视化界面,对磁元件的磁特性、铁芯结构和铜绕组的布置进行计算机辅助分析,同时模拟阻抗分析仪进行特性曲线分析。在此基础上,分析在整体开关电源的磁元件参数的影响,这种分析手段有助于对磁元件深入分析和有效地设计,提高开关变换器的性能指标,进一步提高电力电子装置计算机仿真设计能力。

【参 考 文 献】

[1]　蔡宣三. 高频功率电子学[M]. 北京:科学出版社,1993.

[2]　高文焕,汪　蕙. 模拟电路的计算机分析与设计[M]. 北京:清华大学出版社,1999.

[3]　Ned Mohan. Power Electronics: Computer Simulation, Analysis, and Education Using Pspice[M]. USA: John Wiley & Sons, 1999.

收稿日期:2003-07-21

施耐德万高(天津)电气设备有限公司成立

2004 年 2 月 17 日,施耐德电气(中国)投资有限公司与天津市万高电力成套技术有限公司在天津举行了题为"携手并进,再铸辉煌"的签约仪式,宣布两家合作建立的施耐德万高(天津)电气设备有限公司正式成立。施耐德电气公司作为一个专业致力于电力与控制领域的跨国电气公司,拥有悠久的历史和强大的实力,天津市万高电力成套技术有限公司是国内生产 ATS 的专业厂家,双方的合作在确保对客户服务的承诺保持不变的同时,也将成就国际跨国电气公司与中国民营高新技术企业强强联合的典范。

(施耐德电气(中国)投资有限公司 供稿)