

高频变压器在同步电动机励磁上的应用

曾 兴, 张泰山, 于峰昌

(中南大学 湖南 长沙 410083)

摘要:针对晶闸管相控整流式同步电动机励磁装置的问题,提出了一种新型的同步电动机励磁电源。对新型励磁电源所用的高频变压器的设计和控制进行了详细阐述,着重从高频变压器的磁芯材料选择,频率确定,绕组计算,软启动策略和以C8051F020为主控制器的电源启动和控制方案,实验证明,新型励磁电源的重量体积小、损耗低,是传统励磁电源的理想替代品

关键词:励磁电源;高频变压器;非晶态合金;软启动

中图分类号:TM311.4 文献标识码:B 文章编号:1003-7241(2007)10-0089-03

The Application of High-Frequency Transformer in the Synchronous Motor exciter

ZENG Xing, ZHAGN Tai-shan, YU Feng-chang

(Central South University changsha 410083 China)

Abstract: This paper introduces a high-frequency transformer used in a new exciter for the synchronous motor. The choice of magnetic core, the design of the winding, the soft-starting and the strategy of control based on C8051F020 are described in detail. Comparing with the old type of exciter, the new one has many advantages and can easily be used.

Keywords: exciter; high-frequency transformer; amorphous alloy; soft-starting

1 引言

在同步电动机励磁控制系统中,要求励磁电源输出电压和电流都较大,电源的功率要求较高。目前,大功率的励磁电源多采用晶闸管相控整流方式,其缺点是体积大,效率低,输出纹波大,动态响应慢等。随着高频逆变技术的发展及大功率IGBT器件等新型功率器件的应用,开发出适用于同步电动机励磁的大功率高频开关电源已成为可能。一般这种新型励磁电源主要由整流装置、IGBT逆变桥、高频变压器和控制电路组成。

作为励磁电源中重要部件的高频变压器,其主要功能是双向或单向脉冲的电压变换,功率传递和实现隔离。它性能的好坏直接影响着励磁电源的质量,从而进一步影响同步电动机的运行,因此,对其进行全面有效的设计是极其重要的。

2 磁芯选择

为了改进传统晶闸管相控励磁电源,主要有三个方面的考虑因素:减小线圈匝数,缩小变压器外形体积、提高效率,而此将成为我们选择变压器铁芯的重要依据。上述三个因素其实是有一定联系的。变压器输出功率

$$P_o = 1.16 B_m f j S_c S_o * 10^{-5} \quad (1)$$

式中, B_m 为铁芯最大磁通(对于高频变压器, B_m 值应比铁芯的饱和磁通密度 B_s 稍低一些), f (Hz)为变压器工作频率, j (A/mm²)为导线电流密度, S_c (cm²)为磁芯的有效截面积, S_o (cm²)为磁芯的窗口面积。

由式(1)可知,在一定的输出功率下,磁芯的体积与工作频率、饱和磁通是成反比的,因此,要减少变压器体积,首要任务就是选取一款饱和磁通和工作频率尽可能高的铁芯。

变压器的损耗分为铜损和铁损,即导线损耗和磁芯损耗,而一次侧的导线匝数

$$N_p = U * 10^4 / K f S_c \quad (2)$$

式中, U 为一次侧电压, K 为系数,对于正弦波为4.44,对于矩形波为4.0,在此我们取 $K = 4.0$ 。由式(2)可知,导线匝数也是与频率密切相关的,当导线匝数减少,铜耗必然相应降低。

综上所述,选取一款合适的磁芯对于提高变压器的性能是多么的重要。

表1 磁芯基本性能对比表^[1]

基本参数	超微晶磁芯	非晶磁芯	铁氧体磁芯
饱和磁感/T	1.25	1.6	0.5
导磁率(20kHz)(Gs/Oe)	>20000	>15000	2000
电阻率 p/μΩ*cm	80	130	10 ⁶
铁损(20kHz,0.5T)/W/kg	<35	<25	不能使用

由表1^[1]可知,超微晶磁芯和非晶磁芯都符合我们的要求,但

考虑到超微晶磁芯成本太高,而非晶磁芯在性能和经济指标上都符合我们的要求,是同步电动机励磁电源的一个很好的选择。

3 绕组计算

由式(1)和式(2)可知,要得到磁芯体积和一次侧匝数,首先应该确定的是变压器的工作频率,而此工作频率完全是由我们的控制器决定的。由图1可知,只要我们控制Q1、Q2、Q3、Q4的导通和截止就能控制励磁绕组的电压,而Qj (j=1,2,3,4)的导通频率即为变压器的工作频率。由于我们选用的C8051f020单片机,通过他内部产生的PWM波来控制Qj管得导通,导通频率约为20kHz(具体计算过程将在下文阐述),得到工作频率后就可以通过式(1)和式(2)计算出变压器及其绕组的参数,当然,关于变压器的参数还很多,如铁芯形状,窗口面积等,主要由经验决定。

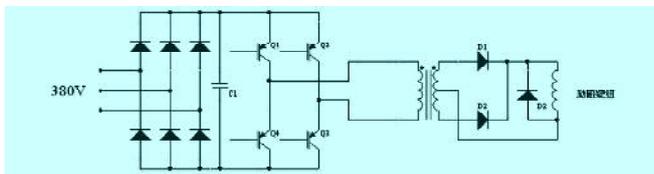


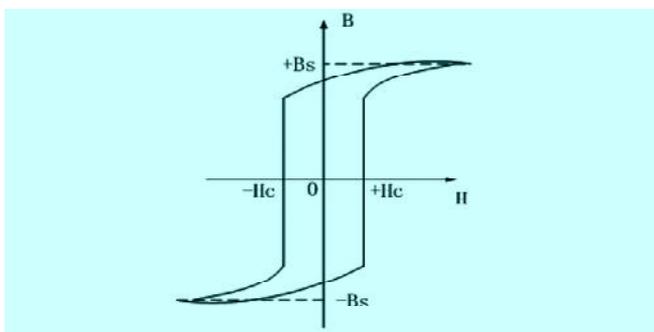
图1 变压器主结构图

由图1可知,与传统的晶闸管式励磁电源比较,主回路采用了三相不控整流,从而大大降低了电网侧的谐波,净化了电网,而且将变压器一次侧的电压升高到600V,有效降低了一次侧的电流,进而降低了线路损耗。由于高频变压器线圈匝数少,铜损大大降低,体积更是大大减少。

4 软启动策略

对于高频变压器而言,如果工作磁通密度选择较大,在通电瞬间就会发生磁饱和^[2]。由于高频变压器和功率开关管直接相连,并加有较高的电压,变压器的饱和,即使是很短的几个周期,也会导致功率开关管的损坏,这是不允许的,所以我们采用了高频变压器的软启动控制来解决这个问题。

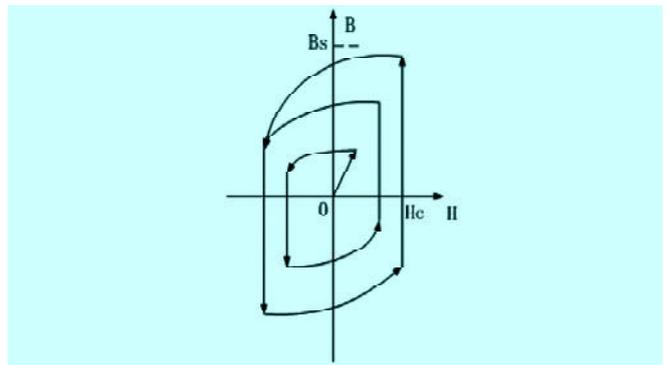
由于高频变压器的工作是通过控制功率管的通断来实现的,为了防止磁化曲线从原点直接过渡到饱和和磁通点,可以在变压器的启动阶段控制功率管的脉冲宽度从最小开始递增,梯度控制在一定范围内,直到变成占空比为设定要求的方波信号,启动结束。



a 铁芯的磁化曲线

启动过程中,变压器铁芯的磁通量变化过程如图2(b)^[2]所示。磁化曲线从原点出发,磁感应强度B在正负之间反复变化,开始强度较小,然后逐渐递增,这样铁芯就沿着一次比一次大的磁化曲线过渡到

正常工作状态。在整个过程中,变压器铁芯的B-H曲线不会进入磁饱和区,因此可以有效地抑制上述启动时出现地过电流现象。



b 软启动中铁芯的磁化过程

图2 磁化曲线

启动过程对脉冲有严格的要求,即脉冲宽度的分辨率应该尽可能高。传统的51系列单片机已经满足不了要求,因此,我们选用了CYGNAL公司的C8051f020 MCU作为我们的控制芯片,此芯片比标准8051快20倍以上,具有丰富的外设,完全可以满足我们的要求。

在启动过程中,我们用到了其可编程计数器阵列PCA。PCA包括一个专用的16位计数器时间基准和5个可编程的捕捉/比较模块。5个捕捉/比较模块可以独立工作在6种工作方式之下:边沿触发捕捉、软件定时器、高速输出、频率输出、8位脉宽调制器、16位脉宽调制器,每个模块都有自己的特殊功能寄存器,其PCA0CPMn寄存器用于设置PCA的工作方式,在此我们用PCA模块0作为PWM输出,为了可以得到较高的脉冲频率,使其工作在8位脉宽调制器状态。

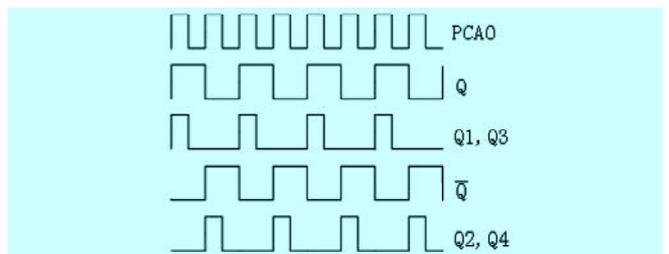


图3 各脉冲时序图

PCA的计数脉冲源有5种,分别是系统时钟的12分频、系统时钟的4分频、定时器0溢出,系统时钟、外部振荡源8分频。同样,为了得到尽可能高的脉冲频率,我们选用了系统时钟作为计数脉冲源,而系统时钟约为12MHz,因此,我们得到的PWM频率为 $12M/256 = 46kHz$ 。

在PCA作为PWM输出时,使用模块的比较/捕捉寄存器可以改变PWM输出信号的占空比,当PCA0定时器的低字节(PCA0L)与PCA0CPLn中的值相等时,输出高电平;当PCA0L定时器溢出时,输出高电平,而当PCA0L溢出时,保存在PCA0CPHn中的值将自动装入PCA0CPLn,不需软件干预,因此当我们要改变占空比时,只需要更新PCA0CPHn中的值就可以了,当输出恒定占空比的PWM时,甚至可以使CPU处于待机状态,PCA模块能自动输出。当需要输出0%的占空比时,可以通过对ECOMn位清零来实现。

(下转第66页)

之所以用以上结构,是因为如果直接把add1-add7相加,产生的硬件加速器结构是八输入的加法器,导致硬件速度降低^[2]。最后add1和add2结果相加写入输出缓冲区,进行向右移位,得到此次循环的结果,共循环length次。

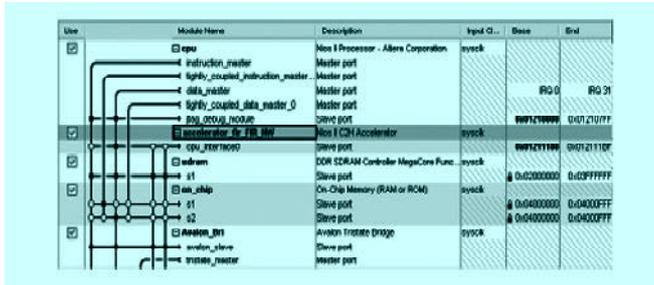


图2 SOPC Builder中相关模块

5 结果分析

为验证与比较该系统的效果,我们采用了EP2C35F672C6芯片对系统进行开发,通过Altera公司的综合开发工具Quartus II 6.1和Nios II 6.1进行系统设计与实现。设计的输入是两正弦波叠加而成,正弦波1:幅度为100,频率为2.5MHz,正弦波2:幅度为1000,频率为156.25kHz。经过A/D的采样,通过UART终端显示值为:

198, 195, 190, 383, 571, 556, 534, 707, 873, 831, 782, 924, 1057, 981, 895, 1000, 1095, 981, 857, 924, 982, 831, 673, 707, 734, 556, 371, 383, 390, 195, -2, 0, 2, -195, -390, -383, -371, -556, -734, -707, -673, -831, -982, -924, -857, -981, -1095, -1000, -895, -981, -1057, -924, -782, -831, -873, -707, -534, -556, -571, -383, -190, -195, -198。

共采64个点写入sdram等待处理,待处理数据分别通过软件直接滤波和硬件加速器分别处理,得到的处理数据一致:

621, 700, 772, 837, 895, 943, 981, 1011, 1032, 1042, 1041, 1031, 1012, 982, 942, 894, 838, 773, 700, 620, 536, 446, 350, 252, 153, 51, -

(上接第90页)

设置PCA控制寄存器PCAOCN可以使能比较中断,即在PCAOL和PCAOCPLn中的值相等时产生中断,我们可以在中断服务程序中改变PCAOCPLn的值,来达到改变占空比的目的。当占空比达到设定值时可以停止软启动过程。

由于在驱动IGBT时,我们需要两路互补且带有一定死区的PWM波形,但是C8051F020的PCA模块只能输出两路同周期,且高电平起点不可编程的PWM波,为了解决上述问题,在图3中,我们将PCA0的输出通过一个D触发器分频,再将PCA0的输出分别与D触发器的Q端和非Q端相与,从而得到了需要的波形。但是由于经过D触发器分频,将高频变压器的工作频率降到了20kHz左右。

5 结束语

依照上述方法,我们制作了一台50KVA/20kHz。采用铁基非晶态合金的励磁电源。试验表明,新型励磁电源的重量体积小、工作频率高、损耗低、可靠性好,启动电流峰值小,器件损耗小,与传统晶闸管

52, -154, -253, -351, -447, -537, -621, -701, -774, -839, -895, -943, -983, -1013, -1032, -1042, -1043, -1033, -1012, -982, -944, -896, -838, -773, -701, -622, -536, -446, -352, -254, -153, -51, 50, 152, 253, 351, 445, 535。

与直接加入滤波器函数(不经过C2H编译器加速)进行比较,通过调用#include 'sys/alt_timestamp.h'来测试处理函数的时间间隔,终端显示软件直接处理时间为4.666706s,硬件加速器处理时间为0.072943s,前者处理时间是后者的63.98倍,即:硬件加速后速度提高了63.98倍。

6 结束语

用C语言实现数字滤波器的方法大部分局限于教学或算法仿真,一般来说在实时系统中是达不到具体实现要求的。通过分析滤波器函数和其C语句在FPGA中的最优实现方式,结合C2H加速编译器加速滤波器函数的方法可以解决上述问题。对阶数和系数的重新设定,还可以灵活地实现高通、带阻和带通等其他数字滤波器,留出简单的接口便可以应用到各种需要去噪的基Nios II软核处理器的嵌入式系统中,提高了数字滤波系统的通用性,并可整个系统都放在一个可编程芯片中,实现SOPC。

我们将此系统模块应用到电磁无损检测设备中(基于Nios II软核处理器)对钢件的硬度、急冷铸铁件的裂纹进行检测,取得了较好的结果,滤除了A/D采样后数字信号中的低频晃动和高频噪声干扰,在一定程度上抑制噪声对检测结果的影响。

参考文献:

[1] 陈怀琛. 数字信号处理教程—MATLAB 释义与实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004. 12.
[2] Nios II C2H Compiler User Guide[Z] 2006.

作者简介:何云斌(1972-),男,博士研究生、副教授,研究方向:嵌入适数据库理论及应用。

式励磁电源比较,各方面性能大大提高(表2),可以预见,这种新型励磁电源将会逐步取代传统励磁电源。

表2 传统励磁机与新型励磁机性能比较

	效率	励磁电压	输入电压	输入电流	功率因素	重量
相控励磁机	70%	110V	220V	280A	0.5	300 千克
新型励磁机	89%	110V	380V	140A	0.9 (可控)	100 千克

参考文献:

[1] 李飞, 李中华. 同步电机励磁电源高频变压器的设计[J]. 现代电子技术, 2006, (29): 132-134
[2] 姚成刚, 孙梅生. 大功率中频非晶态变压器软起动的研究[J]. 电力电子技术, 2003, (4): 34-36

作者简介:曾兴(1984-),男,湖南人,硕士,研究方向:控制理论和控制工程。