

磁损测试平台数字激励源的软启动电路设计

周岩, 张俊波

南京邮电大学自动化学院, 江苏南京 210023

摘要: 正弦激励信号源是高频磁芯损耗自动测试系统的核心装置, 直接决定了测试系统的精度和可靠性。本文研究了基于DDS的波形生成技术实现正弦信号源频率、幅值的实时控制方法, 提出了一种软启动电路可有效克服DDS芯片输出信号瞬间的暂态过程和滤波电路关断延时过程, 消除了后级功率放大器出现的过电压和过电流等暂态现象。实验验证了软启动电路工作的有效性。

关键词: 磁芯损耗, 自动测试系统, DDS, 过电压, 软启动

Research on the Soft Start Method of Digital Excitation Source for Magnetic Loss Test Platform

ZHOU Yan, ZHANG Jun-bo

Nanjing University of Posts and Telecommunications, Jiangsu 210023

Abstract: Sinusoidal excitation signal source is the core device of a high frequency core loss automated test system, which directly determines the accuracy and reliability of the test system. Waveform generation technology based on DDS was studied to control frequency and amplitude of sinusoidal signal source in time in this paper. A soft-start circuit presented can overcome transient process of DDS chip output signal, delete time delay generated by filter circuit, eliminate over-voltage and over-current which is appearing after power amplifiers. Experiments demonstrate the effectiveness of soft-start circuit.

Keywords: core losses, automatic test system, DDS, over-voltage, soft start

0 引言

磁性元件是电气设备中的核心器件, 起到储能、电能隔离等作用。磁性元件温升过高将显著影响电气设备的性能与可靠性, 因而对磁性材料损耗进行测试并获得相关激励条件下的损耗数据非常重要^[1-2]。厂家一般需要提供磁芯在正弦激励下的损耗数据, 因此正弦信号源是整个磁损测量系统的核心装置。

通过模拟电路产生正弦信号虽然具有较好的精确度, 但稳定性相对较低且不易调节, 电路系统体积庞大。直接数字频率合成技术(DDS)具有频率分辨率高、频率转换速度快、相对带宽宽等优点^[3]。采用DDS技术生成正弦信号智能化程度高, 通过软件控制便于实时控制。但是基于

DDS技术生成的信号瞬间, 电路的动态响应时间长, 经过后级功率放大器放大后对测试元件产生较大的冲击电压、过电流等现象, 对测试设备的可靠工作产生严重危害。同时, 磁芯元件的功耗对激励波形较敏感, 畸变的暂态波形会影响测试精度。为了克服以上缺点, 本文提出了一套软启动控制装置, 能有效克服DDS芯片输出信号瞬间的暂态过程和关断延时过程, 使被测磁性元件获得较好的激励波形。

1 高频磁损自动测试系统

本文采用基于功率放大器和功率分析仪直接测量法测试磁性元件损耗^[4-6], 实验架构如图1所示。

高频磁芯损耗测量系统可分成四个主要部分: 第一部

基金项目: 国家自然科学基金项目资助(51307088)

分是通过 LabView 软件构建上位机系统。上位机系统可以与信号发生器通信产生所需的频率、幅值等控制信息。同时上位机系统也可以与功率分析仪通信，实时分析所测电压、功率数据，进而调整信号发生器模块的控制信号，形成一个闭环的控制系统；

第二部分是信号发生装置模块。根据上位机下达的频率、幅值等控制命令产生相应的正弦波信号，并送给功率放大器产生功率驱动信号；

第三部分是被测量元件电路。磁芯上均匀分布并绕两组相同匝数的绕组。通过测量被测磁芯上一次侧激励绕组电流和二次侧感应绕组电压，排除线圈绕组的损耗影响；

第四部分是功率分析仪 FLUKE4000CN。功率分析仪直接测量电压和电流的瞬时值数据，同时处理被测磁芯的损耗，并将相关信息传递给上位机。

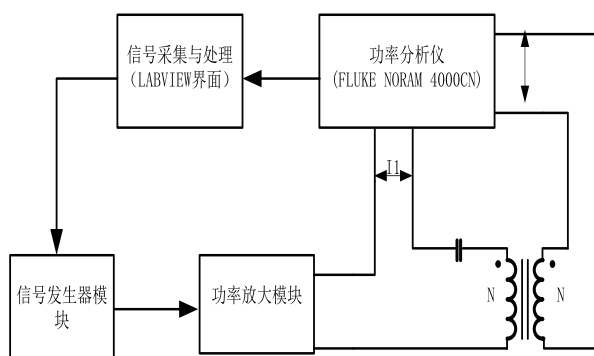


图1 磁损自动测试装置框图

2 DDS 技术原理

从图2可以看出，正弦波幅度与时间呈非线性关系，不易生成。而角度与时间是呈线性关系，在相同的时间内相位角度的增量是一样的，信号的频率决定角速度 ω 。

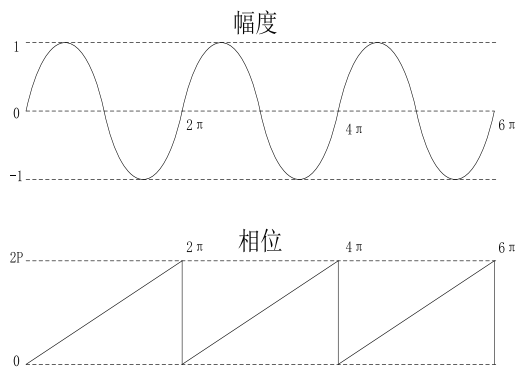


图2 正弦波幅值和相位图

由正弦波相位角度与时间的线性关系可知，根据参考时间间隔，就可确定周期内的相位旋转情况，即

$$\Delta Phase = \omega \Delta t \quad (1)$$

如果参考时间间隔用 DDS 芯片时钟频率替代，即

$$\Delta t = 1 / f_{MCLK} \quad (2)$$

由(1)和(2)可得

$$\Delta Phase = 2\pi f / f_{MCLK} \quad (3)$$

确定相位信息后，可以通过查表的方式将相位信息转化为幅度信息，经过数模转换后就可得到期望的正弦波输出信号^[7-8]。

3 信号发生装置

3.1 基于 DDS 技术的信号源设计

整个信号发生装置如图3所示，主要包括单片机(MCU)模块、AD9834 波形产生模块、AD5620 调幅模块、滤波电路、软启动模块以及信号调理模块^[9-10]。

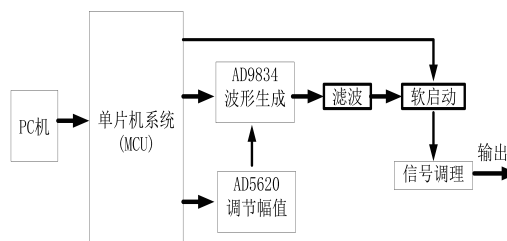


图3 信号发生装置框图

单片机接受从上位机发出的控制命令，把频率信息发送给 AD9834，把幅值信息发送给 AD5620。AD9834、AD5620 与单片机采用三线制 SPI 串口连接，如图4所示。

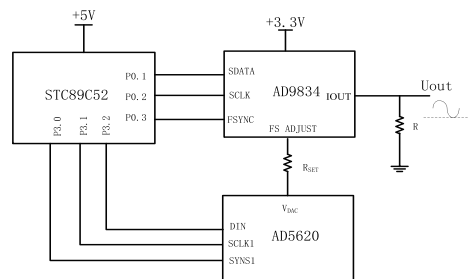
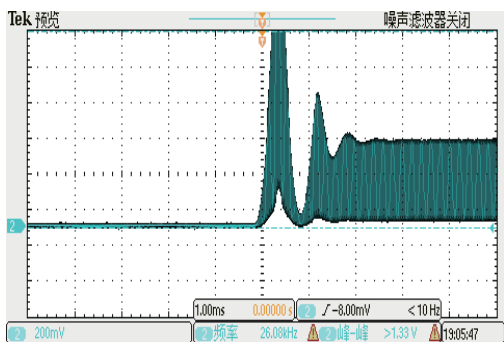


图4 波形生成模块原理图

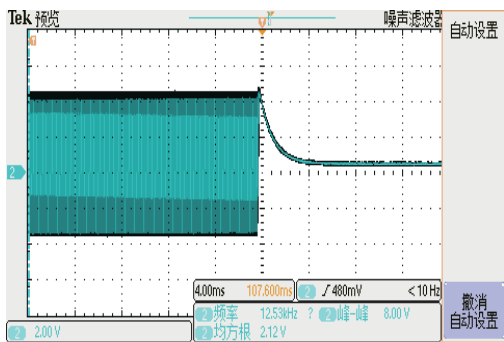
通过 AD5620 的输出电压调节 AD9834 的输出波形幅值。调理电路通过两级运放电路对信号进行放大，产生幅值在 0~8V 幅度的正弦波信号。

基于 DDS 技术生成的信号在输出瞬间具有较大的超调和暂态过程，会导致后级功率放大器在被测磁芯上产生严重的暂态冲击电压，如图 5 (a) 所示。同时，由于磁芯损耗自动测试系统是通过上位机监测被测磁芯状态，实时调节信号发生器的输出，这样的暂态过程严重影响测试结果的准确性。

同时由于滤波电路的影响，当测试结束时信号源输出并不能立刻关断为零，存在较长的响应时间，如图 5 (b) 所示。在信号源输出衰减为零的过程中，功率放大器同样将这一暂态过程放大，产生功率驱动叠加在被测磁性元件上，导致磁芯饱和并产生过电流，严重威胁功率放大器的安全工作。



(a)



(b)

图 5 信号源开通和关断瞬间波形

3.2 软启动设计

为了克服 DDS 芯片输出信号瞬间的暂态过程和滤波电路引入的关断延时过程，消除后级功率放大器出现的过电压和过电流等暂态现象，我们提出了一种软启动电路。

软启动电路工作原理如图 6 所示。Q1 是 MosFET 管 2N7002，漏极接在 AD9834 输出端口与由 THS4051 构成的后级放大电路之间。Q1 管的导通与关断由单片机控制端口

P21 控制。当 P21 置高电平，Q1 管导通，屏蔽 AD9834 的输出信号。当需要信号发生模块输出信号时，P21 置低电平，Q1 管关闭，可以将 AD9834 的输出信号提供给后级运算放大电路。当晶体管完全关断时，AD9834 产生的信号经过信号调理装置输出。

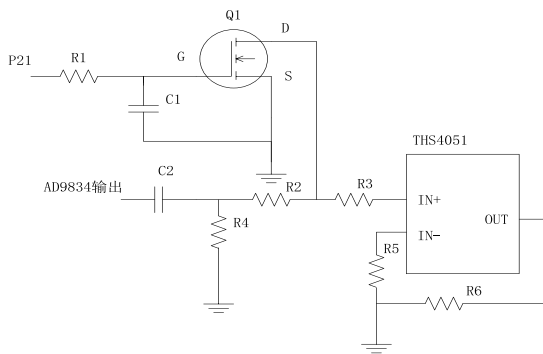


图 6 软启动电路原理图

软启动装置工作流程如图 7 所示。在整个自动测试流程中，通过软启动电路引入适当的延时环节，给 DDS 信号芯片和滤波电路提供充分的响应时间，从而避免信号生成瞬间的暂态响应过程和关断过程的信号衰减过程。

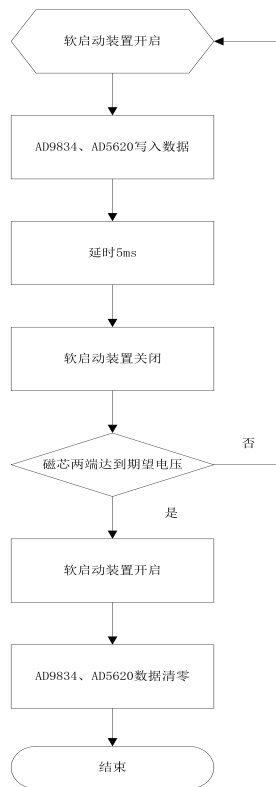
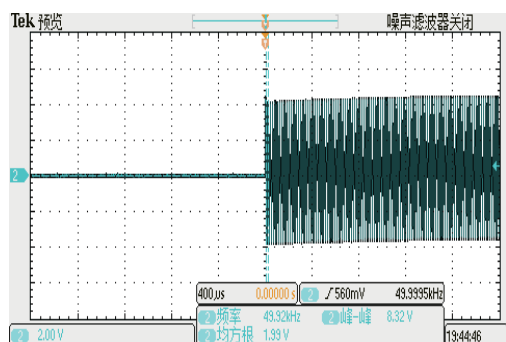


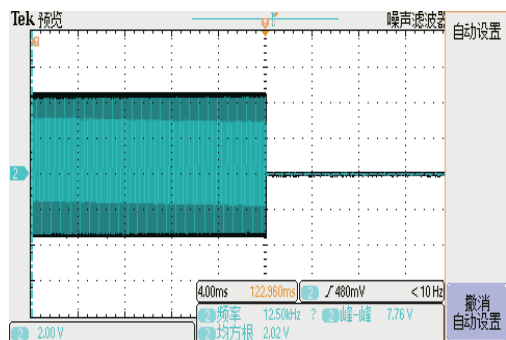
图 7 软启动装置工作流程

通过引入软启动电路，图 8 (a) 示出了信号输出模块由

0 V 生成峰峰值为 8.3 V 正弦波开通过程波形图；图 8 (b) 示出了峰峰值为 7.8 V 变化为 0 V 的关断过程波形图。实验结果表明当信号源产生驱动信号和关断信号时，没有产生启动冲击过电压，同时关断过程非常迅速。



(a)



(b)

图 8 引入软启动后的实验波形

4 结束语

本文利用 DDS 数字信号生成技术为高频磁芯损耗自动测试系统设计实时可调的信号发生装置。针对 DDS 芯片输出信号瞬间的暂态过程和滤波电路关断延时过程在后级功率放大器产生的过电压和过电流等缺点，设计了软启动电路消除了信号源产生信号瞬间和关断信号时的暂态过程，为后级电路的可靠工作提供了保证。改进后的信号发生模块电路输出信号清晰稳定，能够满足磁芯损耗自动测试系统的精度要求。

参考文献

[1] 周岩, 杨长业. 高频铁氧体功率损耗分离方法及其应用[J]. 磁性材料与器件, 2013, 44(6): 50-54.
ZHOU Yan, YANG Chang-ye. Separation of High

Frequency Ferrite Core Power Loss and its application[J]. J Magn Mater Devices, 2013, 44(6): 50-54.

[2] 陈林. 电力电子变换器中磁性元件磁芯损耗的研究[D]. 武汉: 华中科技大学硕士论文, 2012.
CHEN Lin. Research on the Core Loss of Magnetic Components in Power Electronic Converter[D]. Hua Zhong University of Science and Technology, 2012.

[3] 胡力坚. 基于 DDS 任意波形发生器设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学硕士论文, 2009.
HU Li-jian. Design and Realization of the Arbitrary Waveform Generator Based on DDS [D]. XI' AN: Xidian University, 2009.

[4] Mu Mingkai, Fred C. Lee. A High Frequency Core Loss Measurement Method for Arbitrary Excitations[P]. Applied Power Electronics Conference, 2011: 157-162.

[5] 李智华, 秦爱辉, 张青春. 基于数字示波器的高频磁芯损耗测量[J]. 电测与仪表, 2007, 44(11): 6-10.
LI Zhi-hua, QIN Ai-hui, ZHANG Qing-chun. Core Loss Measurement for High Frequency Magnetic Components Based on Digital Oscilloscope[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2007, 11: 6-10.

[6] Muhlethaler J, Biela J, Kolar J W, et al. Core Losses Under the DC Bias Condition Based on Steinmetz Parameters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2012, 27(2):953 - 963.

[7] 冯煦, 钟卫, 胡亮. 基于 DDS 的多调制功能正弦信号发生器[J]. 国外电子测量技术, 2010, 29(1):39-41.
Xu F. Multi-modulation function sine wave generator based on DDS[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2010, 29(1):39-41

[8] 李雪梅, 张宏财. 基于 DDS 技术的信号源设计[J]. 电测与仪表, 2010(1): 55-57.
LI Xue-mei, ZHANG Hong-cai. The Design of a Signal Source Based on DDS Technology[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2010(1): 55-57.

[9] 张家田, 杨忠华, 严正国. 基于 C8051F060 和 AD9834 的频率响应测试仪设计[J]. 电子元器件应用, 2010, 12(10): 12-15.