

基于 LabVIEW 的宽频铁磁共振 自动化测试系统

Wide-Band Ferromagnetic Resonance Automatic Test System Based on LabVIEW

栗畅, 周勇, 武剑

电子科技大学 微电子与固体电子学院 四川 成都 610054

摘要: 铁磁共振测试是研究磁化动力学的重要实验手段, 传统的铁磁共振测试由于所需仪器复杂繁多, 因此在操作测试需要大量人力物力的情况下通常还不能保证精确性。为克服上述问题, 我们基于 LabVIEW 的虚拟仪器技术构建了铁磁共振全自动化测试系统。

中图分类号: TM274 文献标识码: B 文章编号: 1606-7517(2015)08-4-105

1 引言

近年来, 随着记录速度, 密度需求和体积的要求越来越高, 市场对于 MRAM 等超快磁记录器件展现出了更高的需求, 将这些器件的操作频率推到了 GHz 频段, 在这个高频段下, 磁弛豫成为器件性能极为重要的一方面, 人们对磁阻尼机理的深入研究产生了兴趣, 为了对磁化进动的转换进行最优化, 磁性材料阻尼因子的具体系统控制变得十分重要。而铁磁共振测试作为研究材料高频动态磁化过程的有利表征工具引起了人们的越来越多的关注。

传统的铁磁共振测试是在人为操作中完成的, 这样不仅需要大量的人力物力, 而且精确性也得不到保证。而 LabVIEW 的虚拟仪器技术融合测试理论、仪器原理和技术、计算机接口技术、高速总线技术以及图形化编程技术于一体, 实现了测量仪器的智能化、多样化、模块化和网络化。通过该技术构建的铁磁共振自动化测试系统可以实现铁磁共振线宽的更加简便、可信、高精度的测试, 对磁化动力学的研究有着直接指导意义。

2 LabVIEW 平台

LabVIEW 的全称是 Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench, 是一种用图标代替文本行创建应用程序的图形化编程语言。与传统编程语言根据语句和指令的先后顺序决定程序执行顺序不同, LabVIEW 采用数据流编

程方式, 程序中节点之间的数据流向决定了程序的执行顺序。

LabVIEW 最鲜明的特点是界面控件与操作模拟了现实世界中的仪器, 因此使用它编制的程序被称为 VI (Virtual Instrument), 即虚拟仪器。一个完整的 VI 包含前面板与程序框图, 前者是程序的操作面板与用户界面, 而后者是图形化编程语言编写的程序源代码, 由连线、节点、图框和端口组成。

LabVIEW 不仅提供了大量的函数与工具用于数据采集、分析、显示和存储, 还提供了大量常用于自动化测试测量领域的图形控件, 所以它在测试、测量和自动化领域具有巨大优势。

3 铁磁共振 (FMR) 测试原理

3.1 铁磁共振现象

铁磁共振是指铁磁体在相互垂直的恒定磁场和微波微扰磁场共同作用下, 在某一频率附近会产生对微波场的共振吸收现象。微观过程是铁磁材料在恒定外磁场作用下发生磁化, 材料中的元磁矩要绕外场进动。由于存在阻尼现象, 这种进动将会不断衰减, 此时若外加的微波场频率与进动频率一致, 就会从微波场中吸收能量用以维持该进动。

3.2 矢量网络分析仪铁磁共振测试

基于矢量网络分析仪的铁磁共振测试技术是一种研究材料高频动态磁特性的新方法, 与传统铁磁共振相比, 该

技术的核心部件是宽频带共面波导而不是固定谐振频率的谐振腔,这使得该技术不仅可以在任意固定频率下扫磁场测试,还可以在任意固定磁场下扫频率测试。前者可以提供阻尼因子等磁化动力学信息,后者由于磁化状态的保守性而利于交换偏置等效果的研究。

矢量网络分析仪(下简称矢网)作为该技术核心组成,主要负责微波射频信号的提供与检测。定场扫频时,当频率达到该磁场下的共振频率时,样品开始吸收微波能量以维持进动,对于定频扫场模式同理。在这种测试中,微波能量的吸收通过矢网检测端口射频信号而读取到的S参数表现出来,具体表现为在共振发生区域内,S参数的幅值会下降,相位会发生相移。

4 系统的搭建

4.1 系统的硬件组成

根据前述工作原理,系统硬件由三大部分构成:(1)直流磁场部分。由程控电源,霍尔探头,数据采集卡以及电磁线圈组成,负责为样品提供偏置磁场;(2)微波部分。由矢网和射频传输同轴线缆组成,负责为样品提供微波微扰信号并检测;(3)测试夹具部分。由共面波导和射频连接器组成,负责搭载样品。

如图1所示是系统组建原理图。微波信号从矢量网络分析仪的端口1发出,在共面波导表面产生一个与直流偏置场垂直的微扰场,当偏置场达到一定值时即可发生铁磁共振,样品吸收微波场能量,而端口2可以检测到衰减后

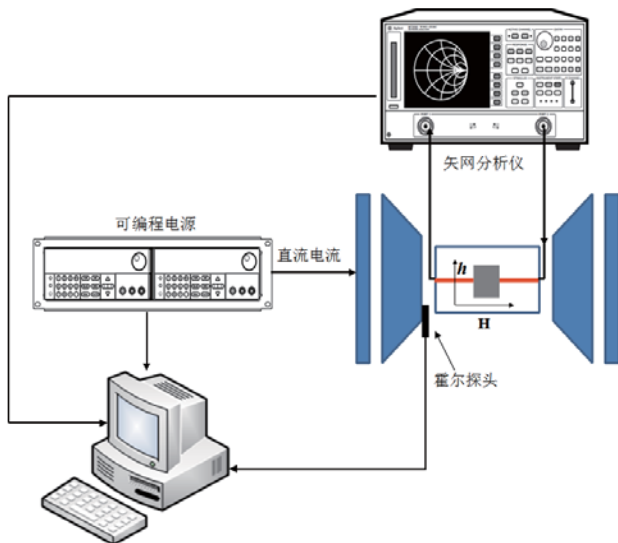


图1 系统组建原理图

的信号,从而实现铁磁共振测量。

在FMR测试系统的具体构建中,用到了艾德克斯公司的IT6953A多功能可编程直流电源(带USB接口),安捷伦8720d矢量网络分析仪(带GPIB接口),电磁线圈,霍尔探头与数据采集卡。各仪器通过各自的接口与计算机连接,通过测试软件就可以实现自动化控制。

4.2 系统软件编制

软件的工作流程根据前述组建原理设计,如图2所示。根据LabVIEW采用大量集成化功能模块的编程特点,我们将测试软件划分为磁场控制,矢网控制与数据实时显示与保存三大模块。

4.2.1 磁场控制模块

磁场的控制是由PID控制算法实现的。通过数据采集卡采集到霍尔传感器的电压值,按一定系数将其转换为当前磁场值并与目标磁场(即设定值)比对,两者的偏差值经过PID算法处理得到控制磁场,将其按一定系数转换为电流加在原有输出电流值上,计算机控制电源输出这个电流值,然后数据采集卡再次采集电压值转换为磁场,直到与目标磁场偏差在控制精度内,则实现磁场控制。如图3所示是该模块的程序实现。

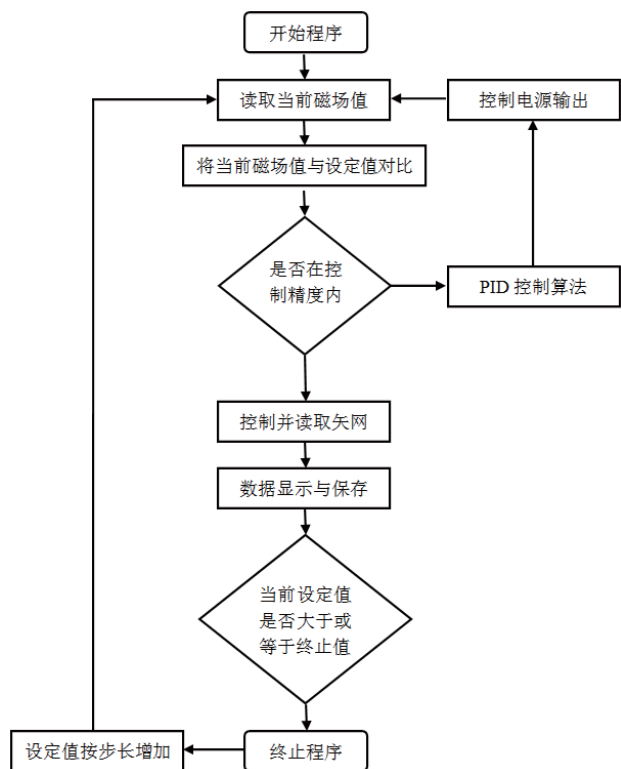


图2 系统组建原理图

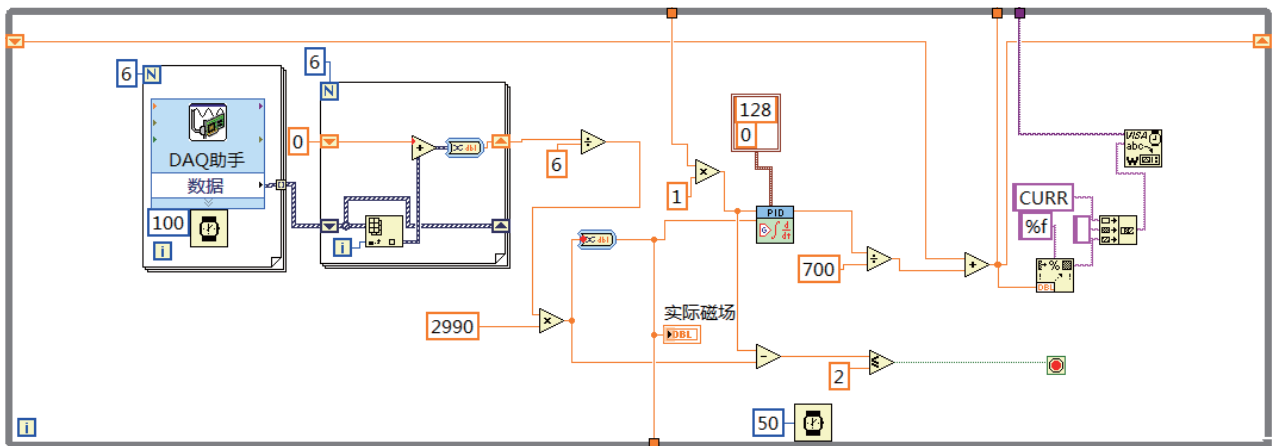


图3 磁场控制的实现

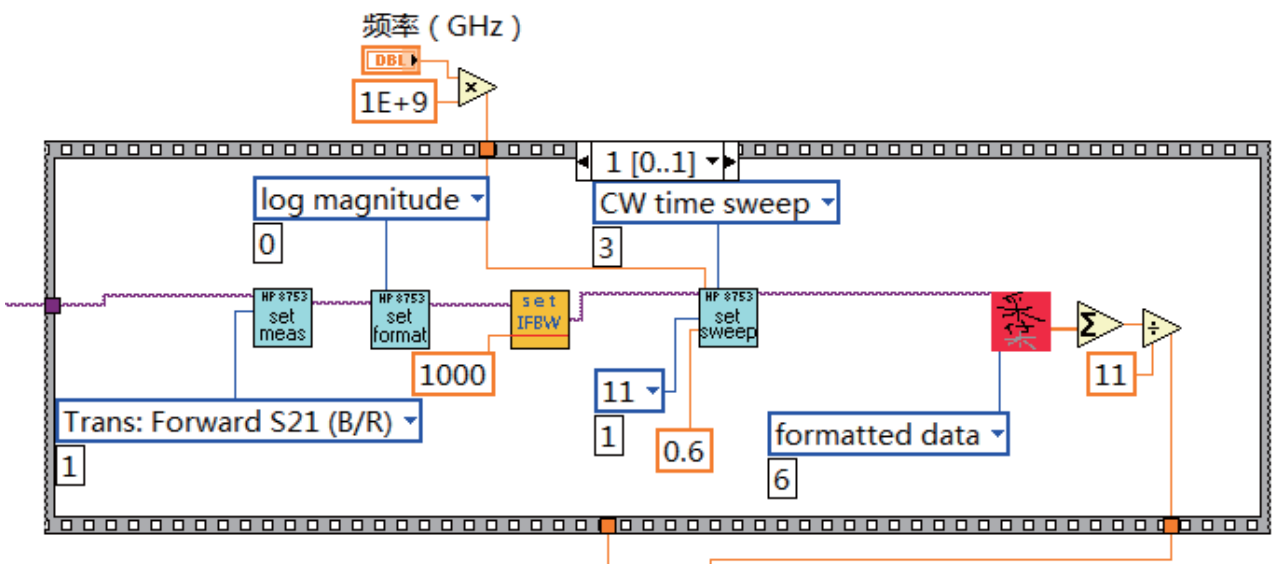


图4 矢量网控制的实现

4.2.2 矢量网控制模块

矢量网络分析仪的控制是通过 LabVIEW 中的 VISA 库函数实现的。如图 4 所示是该模块的程序实现。通过 VISA 写入函数向仪器发送相应功能的 SCPI 指令就可以自动控制矢量网。该模块的控制功能是：(1) 设置测试参数。本系统通常测试传输参数 S21 或 S12；(2) 设置参数模式。常见的模式有幅值、相位、虚部和实部等，本系统通常采用幅值与相位；(3) 设置中频带宽 (IFBW)。这个参数是影响测试信噪比的重要因素；(4) 设置测试扫描模式。与通常在某一个频段内扫频测试不同的是，由于本系统测试模式通常是定频扫磁场，因此，我们设置扫描模式为恒定功率时间 (CW time) 扫描，是在恒定频率下在一定时间内测试一定数量的

S 参数；(5) 将前一步中测试得到的一定数量的 S 参数从矢量网络分析仪中读取出来求其平均值。

4.2.3 数据实时显示与保存模块

本系统使用 LabVIEW 中的图表用于测试数据的实时显示。因为图表中的 XY 曲线图极为灵活，它的 X、Y 轴均能自定义，坐标分别由输入两轴的数据决定，在本系统中就是磁场强度和传输参数幅值或相位。虽然图表需要对采集数据做事后处理，再得到所有数据后才会一次性的将所有数据显示出来，这使得直接使用图表并不能实现实时显示，但通过在测试循环中多次采用移位寄存器与创建数组技术可以解决该问题，如图 5 所示。与之类似，使用相同的技术同样可以实现测试数据实时保存为 TXT 文件，此处不再赘述。

4.2.4 系统程序

程序设计中使用的是 LabVIEW 8.20 软件，测试软件的用户界面如图 6 所示。用户在设置所需磁场范围，频率与数据保存路径以后就可以一键测量，测试数据会实时显示在界面右边两个 XY 曲线图中，操作十分简便。

5 测量结果

本系统目前已经投入实验室使用，在实际测试中展现出了较高的稳定性，如图 6 界面右边所示是对某磁控溅射 YIG 薄膜在 6GHz 下的测试结果，通过洛伦兹曲线拟合即可得到其共振线宽与共振磁场。

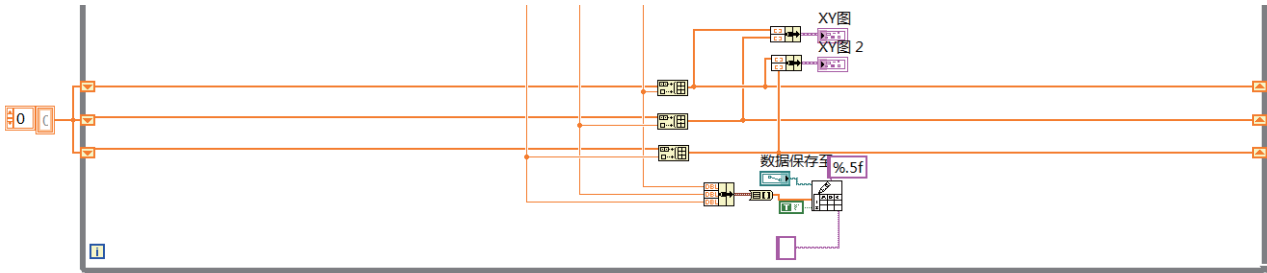


图 5 数据实时显示与保存的实现

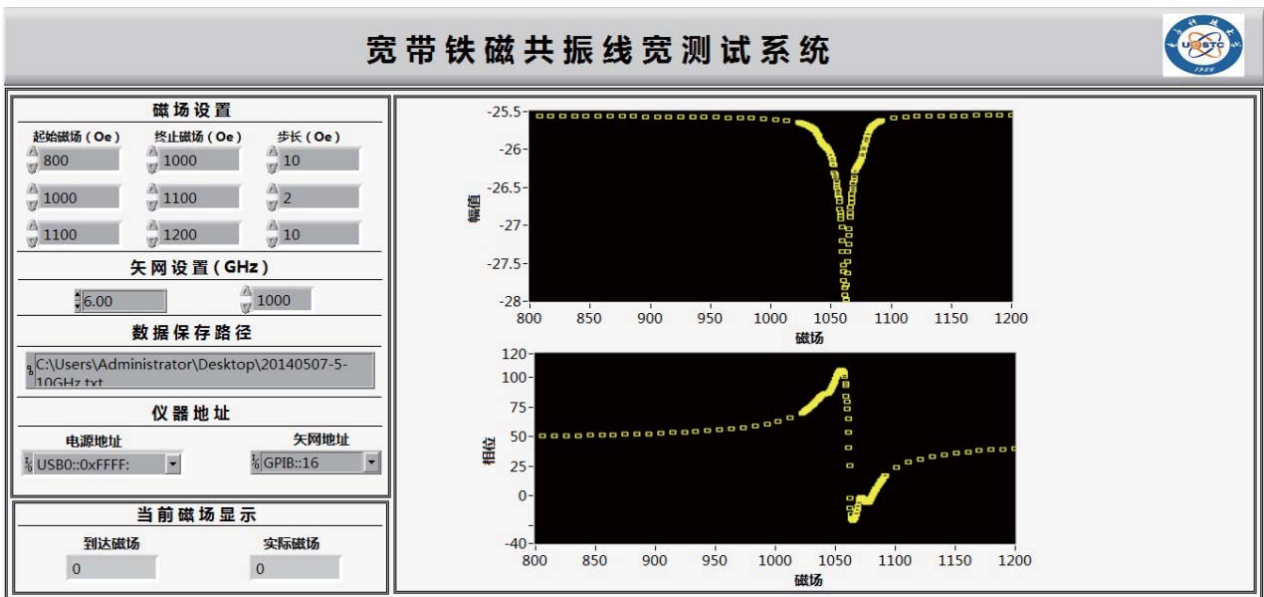


图 6 系统程序用户界面