

· 工艺应用 ·

基于 LabVIEW 的 S 波段注入锁频磁控管功率合成监测保护系统

李 果, 龙 卓, 位 宇, 刘长军

(四川大学电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘要:在四路注入锁频 15 kW 连续波磁控管的相干功率合成实验中,为保证实验系统安全,本文基于 LabVIEW 平台开发了一套微波功率合成系统控制保护程序。本程序每 40 ms 采集一次波导中各路微波入射功率和反射功率,如果功率异常,上位机控制磁控管电源的 PLC 切断磁控管的高压供电,防止大功率反射损伤磁控管微波源。另外,实验系统中水负载、磁控管、环行器都需要水冷散热。本程序每 200 ms 采集一次大功率水负载、磁控管和环行器的冷却水流量和水温,能够在实验系统发生故障时及时报警。基于 LabVIEW 的数据自动采集克服了传统分布式测量仪器相互独立运行,无法进行数据交互的缺点。该监控系统实现了对大功率磁控管功率合成系统保护的功能。

关键词:数据采集; 磁控管; LabVIEW; 功率合成

中图分类号: TN123 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-8935(2018)05-0069-04

doi: 10.16540/j.cnki.cn11-2485/tn.2018.05.15

A Safety Guarantee System for Power Combining of S-Band Injection-Locked Magnetrons Based on LabVIEW

LI Guo, LONG Zhuo, WEI Yu, LIU Chang-jun

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: In a microwave coherent power combining system based on four injection-locked 15 kW continuous wave magnetrons, a safety guarantee sub-system is developed with the LabVIEW software. The incident and reflected microwave power are acquired every 40 ms. Once the microwave power is abnormal, the high voltage supply for magnetrons will be cut off by the PLC, which prevents the magnetrons from being damaged. Cooling water is applied to dump load, magnetrons, and circulators. The water flow rate and temperature are acquired every 200 ms. When there is any system failure, the program may present an alarm. The automatic data acquisition overcomes the disadvantages of conventional distributed measurement instruments, which run independently and cannot exchange data from each other. This safety guarantee system realizes the protection for power combining of high power magnetrons.

Key words: Data acquisition, Magnetron, LabVIEW, Power combining

随着现代微波能技术的发展,工业上对于大功率、长寿命的微波源的需求日益增多,目前阻碍微波能大规模工业应用的一大瓶颈是缺乏可靠的工业用大功率微波源^[1]。磁控管因为其效率高、成本低、体积小等优势,已经被证明是适合大规模工业应用的微波能发生器,但是由于物理机制和器件本身的限

制,单支磁控管的输出功率有限,难以满足工业应用对大功率微波源的需求,多路连续波注入锁定磁控管通过微波相干功率合成,是获取高输出功率作为大功率微波源使用的一种有效方式^[2-4]。

与小功率磁控管相比,本实验磁控管工作时处于 12 kV 高压、1.8 A 大电流的工作状态,因此其安全防护至关重要。

LabVIEW 由于其开发效率高、程序修改维护

基金项目: 973 计划项目 (2013CB328902)

方便、开发周期短、具有丰富的库函数、拥有可视化界面和集成性强,成为现在流行的虚拟仪器开发平台,已经广泛应用于数据采集、仪器控制、工业自动化等领域。本文基于 LabVIEW 平台,设计了一款对大功率磁控管功率合成实验系统的控制保护程序,实现了在实验进行过程中对各路实验数据实时采集并对实验系统加以保护。

1 单路注入锁频磁控管系统

四路 S 波段 15 kW 磁控管的微波相干功率合成系统是以单路注入锁频磁控管子系统为基础,流程框图如图 1 所示。

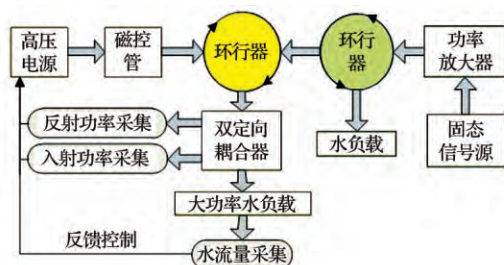


图 1 单路注入锁频磁控管系统

经过直流预热后,开启直流高压电源,磁控管正常起振并输出功率为 15 kW 微波能量,经过环行器和双定向耦合器后被大功率水负载吸收。

正常情况下,对于注入锁频磁控管系统,磁控管持续输出的 15 kW 微波能量会被大功率水负载吸收。大功率水负载的水流量大小决定了其对微波的吸收效率。其次,在本注入锁频磁控管功率合成实验系统中,由于功率较大,磁控管、环行器等微波器件都要依靠水冷散热,一旦冷却水流量不足聚集的热量将会损伤微波器件。因此,迫切需要一套可以实时监控微波入射反射功率、水流量、水温等参数的集成控制系统。传统的分布式测量仪器相互独立,在系统故障时难以快速做出反应,基于 LabVIEW 的数据采集系统能够实现自动关闭磁控管电源高压或者调整磁控管输出功率以保证安全加热和相干功率合成系统的安全。

2 水温、水流量采集系统设计

在实验进行中,流经磁控管功率合成实验系统

中水负载和各器件的冷却水流量和水温数据都需要进行实时监测采集,本文对此进行了相关设计。这些数据可以反映实验进行过程中的各个微波器件的状态以及实验是否存在异常,为后续实现实验系统的控制和保护提供了基础和参照。

2.1 硬件选型

基于 LabVIEW 的多路水温、水流量采集系统主要是通过单片机与 PC 的串口通信来实现的,其系统原理如图 2 所示。

温度传感器采用 DALLAS 半导体公司的数字化温度传感器 DS18B20,它采用单总线协议,即与单片机接口仅需占用一个 I/O 端口,直接将环境温度转化成数字信号,以数字码方式串行输出;测温范围为 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$;分辨率为 0.1°C ,以 USB 接口作为供电放置,采用 RS-232 串口通信;它具有微型化、低功耗、高性能、抗干扰能力强等优点。

流量计采用赛盛尔电子科技有限公司的 SEN-HZ21FA,它是脉冲式水流量传感器,输出的脉冲信号与流经传感器的水流量形成一定的线性比例关系,具体的脉冲频率与流量对照如表 1 所示。

表 1 流量计水流量与输出脉冲频率对照

流量/L/min	2.0	2.9	4.0	4.9	6.1	7.0	8.1	9.1
频率/Hz	20	31	41	51	62	73	84	94

根据表 1 拟合得到水流量与脉冲频率的关系式:

$$Q = 0.094f + 0.122 \quad (1)$$

式中, Q 表示水流量, f 表示输出脉冲频率。根据式 (1) 监测输出频率即可算出检测到实时流量。

2.2 水温、水流量采集系统上位机设计

水温、水流量采集系统上位机设计步骤类似。上位机用户界面采用 LabVIEW, LabVIEW 有两个基本窗口,分别是前面板和程序框图,前面板用来放置控件与显示对象,程序框图呈现了具体的图形化编程语言。

基于 LabVIEW 的水温、水流量采集系统是一个典型的串口通信过程,其基本步骤如下: ① 串口初始化,利用 VISA Configure Serial Port 函数来设



(a) 水温采集



(b) 水流量采集

图 2 水温、水流量采集系统框图

置串口通信的串口号;②串口读写,利用 VISA Write 和 VISA Read 函数分别发送和读取数据命令帧;③读出数据后处理,水温数据采集还需进行字符串的截取,数据格式转换后得到,水流量信息通过脉冲计算得到,另外利用文件 I/O 函数库下的写入电子表格函数,通过设置文件存储路径实现数据的自动存储,通过函数面板的布尔量设置当水流量等于 0 时发出停水警告;④关闭串口。

可以采用并行采集的方式实现多路数据的采集。

3 微波功率采集系统设计

采集波导中微波入射功率、反射功率是判断微波功率是否异常的基础,功率异常时上位机会及时切断高压电源。基于 LabVIEW 的多路微波功率采集系统主要是通过 PC 与 USB 设备的 USB 通信来实现的。单路微波功率采集系统如图 3 所示。

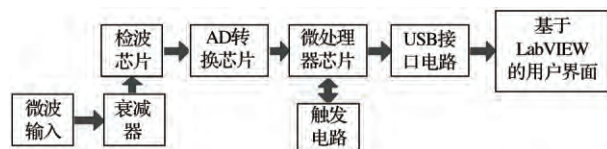


图 3 微波功率采集系统

微波信号经过衰减器进行衰减,通过检波芯片将微波信号转换成低频信号,经 AD 转换芯片获得数字信号,方便数据后处理。微处理器控制 AD 转换芯片进行数据的采集,并将转换后的数据通过 USB 接口和上位机 PC 进行通信,微处理器每 40 ms 向上位机发送一次数据,并且响应上位机的请求。触发电路保证微处理器正常工作^[5]。

3.1 硬件选型

3.1.1 检波芯片选型

因为对数检波器动态范围大,带宽优良,所以本文采用对数检波法测量微波功率。对于对数检波器,其输出电压 U_{out} 与输入功率 P_{in} 的关系为:

$$U_{out} = k(P_{in} - b) \quad (2)$$

式中, k 和 b 为常数。依据测量的输出电压和公式(2)推算出输出功率的值。

检波芯片采用 ADI 公司的 AD8318 对数检波器,能够精确的将输入的微波信号的分贝数转换成相应的电压输出。

3.1.2 微处理器芯片选型

微处理器芯片采用 ST 公司的 STM32F103,该芯片属于 32 位 ARM 微处理器,它有 128 k 字节

Flash,拥有 2 个 12 位模数转换器,9 个通信接口,包含 USB 2.0 全速接口,可以满足与上位机 USB 通信的要求^[6]。

微波功率采集模块的内部结构图如图 4 所示。



图 4 微波功率采集模块内部结构图

3.2 USB 功率计与上位机的通信

本设备属于 USB RAW 设备,USB 数据传输方式是中断传输^[7]。LabVIEW 是无法直接识别 USB RAW 设备的,需要利用 NI-VISA 工具创建 USB RAW 设备的驱动程序并设计上位机程序。

3.3 微波功率采集系统上位机设计

LabVIEW 通过 VISA 函数与 USB 设备通信,USB 是基于消息的通信通道,每个 USB 设备都有其命令集。LabVIEW USB 通信程序框图编程的基本步骤为^[8]:①利用 VISA 打开函数对输入 VISA 资源名称函数的 USB 设备进行打开操作;②使用 VISA 启用事件函数对 USB 设备进行设置中断时间获取,通过 VISA 等待事件函数设置等待事件;③利用 VISA 获取中断数据函数来获取 USB 数据并存储至数组存储区中,测得电压值后根据公式(2)计算即得微波瞬时功率;求平均值即得微波平均功率;④通过 VISA 关闭函数关闭 USB 设备。

四路基于注入锁频磁控管的微波相干功率合成系统共有 8 路数据需要采集,程序框图通过 8 个循环并执行完成 8 路采集。

4 磁控管电源控制系统设计

当前述采集的数据经过判断发现其异常时,LabVIEW 通过控制磁控管电源的 PLC 来切断对磁控管的高压供电。本实验采购的磁控管电源是用西门子公司 S7-200 PLC 来控制的。LabVIEW 可以通过 PLC 上的 RS-485 通信接口访问 PLC 寄存器,实现对 PLC 的读写^[9]。因此,实现 LabVIEW 与 PLC 的数据通信,是建立基于 PLC 的上位机控制系统的核心^[10]。

LabVIEW 与 PLC 通信是通过 OPC(OLE for Process Control)技术实现的,OPC 是基于 Windows NT 技术的 OLE/COM/DCOM 接口的扩展,本质是 OPC Client 用一种开放的、标准化的通讯方

式与 OPC Server 进行通讯^[11]。

4.1 基于 OPC 实现 LabVIEW 与 PLC 通信

基于 OPC 实现 LabVIEW 与 PLC 通信过程为:用 NI OPC Server 软件为 S7-200PLC 建立 OPC Server Channel,并配置好通信参数和地址,在 OPC Server 中为 PLC 的每个变量建立一个标签,基于 LabVIEW 的用户界面通过 Data Socket 技术访问 OPC Server 的标签,此时 LabVIEW 作为 OPC Client 通过对 OPC Server 的访问间接实现了对 S7-200 PLC 的控制。

4.2 磁控管保护系统上位机设计与编程方法

LabVIEW 程序框图编程时通过对前面板输入输出控件的数据绑定实现对 S7-200 PLC 数据的访问。用户可以通过输入控件或者设置条件判断给共享变量赋值实现对磁控管电源的控制,通过输出控件读取共享变量来读取 PLC 变量的值。

所需要控制的变量根据其访问模式一共有三种类型:只读、只写、可读可写。对于故障显示、数据显示类的只读变量,在其显示端创建显示控件。对于用来控制电源具体操作的开关量这种只写变量,利用 LabVIEW 自带的事件结构和循环结构对其进行赋值,同时在前面板添加合适的布尔控件,当值改变时进行对应的开关操作。对于磁场设置,功率设置类的可读可写变量,同时创建输入控件和显示控件,完成此类变量的读写功能。

当实验系统开启时,此套数据采集保护控制程序可以实时采集实验系统各处的水温、水流量、入射和反射微波功率数据。当数据异常时,磁控管电源控制保护程序及时响应,进行相应的控制操作,保护实验系统平稳安全运行。

5 结论

安全监测控制保护程序对于四路基于注入锁频连续波磁控管的微波相干功率合成实验具有十分重要的意义。本文基于 LabVIEW 开发的综合多路水温、水流量、波导中功率采集实现的磁控管电源控制保护系统,能够实现数据的自动采集、存储和交互。上位机采用 LabVIEW 可视化界面,方便用户观察

和保存数据。该系统响应迅速,能够满足本系统安全防护的需要,对于整个实验的成功具有重要的价值。

参 考 文 献

- [1] 杨宋寒,刘友春,王荣川,等.大功率长寿命连续波磁控管注入锁频技术[J].真空电子技术,2013,(5):96-98.
- [2] 吴群.磁控管的研究现状与发展趋势[J].哈尔滨工业大学学报,2000,32(5):9-12.
- [3] 岳松,张兆传,高冬平.阻抗匹配条件下磁控管的注入锁频[J].物理学报,2013,(5):1-8.
- [4] 刘长军,吴昕.微波能工业应用研究进展[J].信息与电子工程,2012,10(4):451-455.
- [5] 梁天周.基于 USB 接口的微波功率计模块研制[D].陕西:西安科技大学,2009:10-16.
- [6] 唐伟,于平,李峥辉.STM32F103 的 USB 多路数据采集系统设计[J].新器件新技术,2009,8(2):39-45.
- [7] 蔡磊.基于 STM32F103 芯片的 USB 接口的研究与实现[D].上海:复旦大学,2009:17.
- [8] 李维聪,孙海蓉.基于 LabVIEW 的 USB 无线数据采集仪[J].计算机仿真,2015,32(2):455-458.
- [9] 孙小权,何喜玲.基于 PLC 的液压实验台控制系统改造设计[J].应用科技,2006,33(11):23-25.
- [10] 曾璐亚.基于 OPC 技术的 PLC 与 LabVIEW 通信实现[J].微计算机信息,2009,16:52-53.
- [11] 尹伟伟,姜琛,闫保中.OPC 技术在工业控制网络集成中的应用研究[J].应用科技,2009,36(3):42-45.

收稿日期:2017-07-30

作者简介:



李果(1994-),男,四川大学电子信息学院在读研究生,研究方向为微波系统与工程,Email:273480462@qq.com。