

文章编号: 2095-4980(2014)06-0842-04

微波磁控管功率合成中基于 LabWindows/CVI 实现移相控制

刘 玲, 黄何平, 刘长军

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

摘 要: 为实现基于注入锁频磁控管的微波功率合成, 提出一种使用虚拟仪器软件控制注入锁频磁控管相位的方法。基于 LabWindows/CVI 软件开发的功率合成自动化操作与控制模块, 实现注入锁频磁控管的微波功率合成系统的数据采集、分析处理、反馈控制等功能。系统最小移相步进为 5.6° , 移相范围为 $-180^\circ \sim 180^\circ$, 系统处理速度达到 ms 量级。实验表明, 控制系统工作准确可靠, 满足微波磁控管功率合成控制的需求。

关键词: LabWindows/CVI 软件; 微波功率合成; 移相; 鉴相; 数据采集

中图分类号: TN62

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201406.0842

Phase shifting control based on LabWindows/CVI for microwave magnetrons power combining

LIU Ling, HUANG He-ping, LIU Chang-jun

(School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: A novel method for the phase-shift control of an injection-locked magnetron with Virtual Instrument Software is presented to enhance the microwave power combining from injection-locked magnetrons. An automatic power combining operation and control module based on a LabWindows/CVI program is presented as well. A few functions, such as data collection, analysis, and feedback control, are realized with the module. The minimum phase shift step and the phase shift range are 5.6° and from -180° to 180° , respectively. The processing rate of the system reaches the order of milliseconds. It is shown that the module works well and the system is reliable according to experiments results.

Key words: LabWindows/CVI; microwave power combining; phase shift; phase detect; data collection

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越来越多。很多工业用高效微波源都是采用磁控管作为核心器件^[1]。由于物理机制和器件本身固有结构的限制, 单个连续波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。基于注入锁定理论^[2-3]对多支微波磁控管的微波频率和相位进行锁定, 提高了微波源的工作效率, 减小频率的离散, 提高了微波源的输出功率, 突破了单支磁控管的功率容量限制。在多路微波功率合成中, 相位调节是最基本的技术。相位差直接影响多路注入锁频磁控管的微波功率合成的效率^[4]。LabWindows/CVI 是美国国家仪器公司(NI)的产品, 主要用于仪器控制、数据采集、数据分析、数据显示等领域^[5]。本文将虚拟仪器技术与微波功率合成技术相结合, 完成了对基于注入锁频磁控管的移相系统的自动化操作, 实现了对相位的跟踪锁定。

1 系统的基本结构

本文中设计的移相控制系统主要通过通用接口总线(General-Purpose Interface Bus, GPIB)和串行总线实现仪器与计算机、仪器与仪器之间的相互通信, 从而组成由多台仪器构成的自动测试系统。实现注入锁频磁控管的相位调节, 相位调节范围为 $-180^\circ \sim +180^\circ$ 。系统组成框图见图 1。

工作时, 鉴相器将 2 路信号的相位差转换成电压信号, 数据采集仪对电压信号数字化并进行采集^[6], 通过

收稿日期: 2014-06-09; 修回日期: 2014-07-18

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2013CB328902); 自然科学基金资助项目(NSFC 61271074)

GPIB 总线^[7-8]传输至上位机中。上位机对采集的数据进行计算、分析、处理后得到移相步进,并通过 USB-I/O 总线对移相器传输移相指令,实现对注入锁频磁控管输出信号的相位调节。上位机不断判定移相结果,直至 2 路信号相位差异调节达到设定值,移相精确度为 5.6° ,电路处理速度达到 ms 量级。

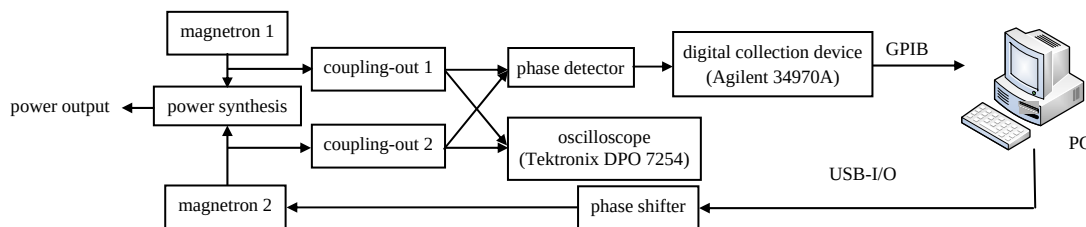


Fig.1 Schematic diagram of system composition

图 1 系统组成框图

2 功率合成自动化操作与控制系统

实现注入锁频功率合成的移相控制功能,需要完成对鉴相器、移相器、数据采集仪、数字量控制卡等硬件设备的软件调用与控制、测试数据的采集与分析、数据的反馈与自动调节等操作^[9]。

2.1 鉴相器控制模块

鉴相器在系统电路中起到相位相互比较的作用,鉴相器内部将相位差转换成误差电压输出。鉴相器数据采集的流程见图 2。

按照系统框图搭建测试平台,主控计算机将判定仪器(数据采集仪)是否连接,并给出相应提示,在 LabWindows/CVI 中连接数据采集仪的程序如下:

```
GetCtrlVal(panelHandle,PANEL_comport,&comport_address);
DAQ_DEVICE=ibdev(0,comport_address,NO_SAD,T3s,1,0); //
```

打开 GPIB 设备

```
if(ibsta & ERR||DAQ_DEVICE<0) //
连接失败,弹出对话框
```

```
MessagePopup("提示!", "数据采集仪不能连接,请检查设备!");
```

```
GPIBWrite(DAQ_DEVICE,"SYSTEM:REMOte"); //
```

仪器界面置为远程控制界面

```
GPIBWrite(DAQ_DEVICE,"DISPLAY {OFF}");
```

当仪器连接正常后,进行数据采集的操作。本程序中使用定时器按钮,由定时器产生 EVENT_TIMER_TICK 事件,控制事件的产生进度,速率为 1 ms/次。

```
SetCtrlAttribute(panelHandle,PANEL_TIMER,ATTR_INTERVAL,0.001);
```

```
SetCtrlAttribute(panelHandle,PANEL_TIMER,ATTR_ENABLED,1); //设置定时器
```

2.2 移相器控制模块

数字移相器广泛应用于微波系统中,它是注入锁频大功率合成系统的重要组成部分,数控移相器^[10]的准确性、延迟性直接影响微波功率合成的效率。

本文中设计的移相器控制模块包含自动控制和手动控制 2 种模式,程序流程图见图 3。

2.3 数字量控制模块

功率合成自动化控制操作系统利用 USB-I/O 总线将上位机与数字量控制卡连接,USB 线不仅实现信号的输入输出,而且也作为数字量控制卡提供电源。

数字量控制卡具有数据实时输入输出的功能,为了确保整个系统的稳定性,数字量控制卡的驱动已经封装在硬件内部,

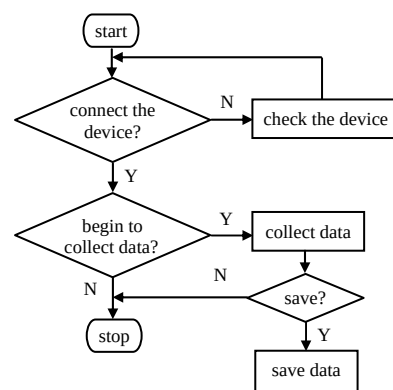


Fig.2 Flow chart of data collection in phase detector system

图 2 鉴相器数据采集流程图

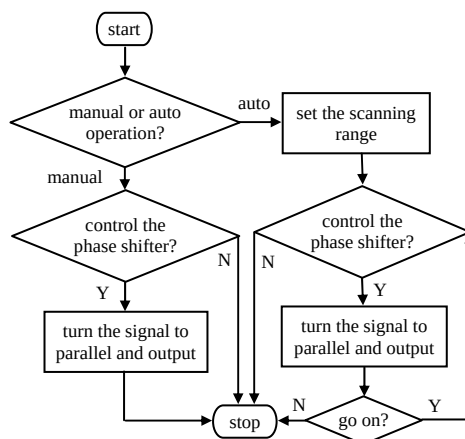


Fig.3 Flow chart of data collection in phase shifter system

图 3 移相器控制流程图

在 LabWindows/CVI 中调用动态链接库, 实现对数字量控制卡的控制。调用动态链接程序如下:

```
HINSTANCE DIGITAL;
DIGITAL = NULL;
DIGITAL = LoadLibrary("PIC_HID_DLL.dll");
void (__stdcall *p) (void);
p = (void (__stdcall *) (void))GetProcAddress(DIGITAL, "OpenDevice");
(*p)(); //打开设备
void (__stdcall *p)(unsigned char, unsigned char);
p2 = (void (__stdcall *) (unsigned char, unsigned char))GetProcAddress(D12dll, "PortIO");
(*p2)(port, ioModle); //设置设备输出
```

3 系统测试

搭建实验平台对功率合成自动化控制操作模块进行实验测试, 数据采集仪为 Agilent 34970A, 微波示波器为 Tektronix DPO 7254, 微波信号源为 Hittite HMC-T2220, 以及自制的微波鉴相器模块和微波移相器模块。微波示波器用于直接显示 2 路微波信号的相位差异。实验中以数字量控制卡作为转换单元连接移相器与上位机, 利用 GPIB-USB 总线连接数据采集仪和上位机, 搭建移相器与鉴相器自动调节的平台。注入锁频磁控管后端的输出信号经过移相器的移相操作后产生的输出信号与基准信号在鉴相器中不断进行比较, 比较的结果在上位机中进行分析与处理。上位机根据算法计算出移相器的移相步进, 再经过数字量控制卡向移相器传输指令, 移相器按照接收的指令进行移相操作。程序将在 2 路信号之间的相位差达到可接受的误差范围内时停止循环操作。最小的移相步进为 5.6° , 移相范围为 $-180^\circ \sim 180^\circ$, 数据采集仪每秒钟采集 1 000 次数据, 整个电路处理速度可以达到 ms 量级。移相步进与移相度数之间的关系见表 1。

表 1 数字移相器真值表

Table Truth table of digital phase shifter

phase shifting degree/($^\circ$)	D6	D5	D4	D3	D2	D1
0	0	0	0	0	0	0
5.6	0	0	0	0	0	1
11.2	0	0	0	0	1	0
22.5	0	0	0	1	0	0
45.0	0	0	1	0	0	0
90.0	0	1	0	0	0	0
180.0	1	0	0	0	0	0
354.4	1	1	1	1	1	1

运行系统程序, 设置调相编码, 使其按照设定规律变化。测试效果见图 4, 测试时调相编码从 1 依次增加至 25, VI 程序前面板显示鉴相器输出电压测量值及实时变化曲线。从电压实时变化曲线可知, 随着调相编码的变化, 注入锁频信号的相位发生相应的变化, 测试结果表明微波功率合成自动化控制系统可以实现对注入锁频信号的相位调节, 并且实时监测。

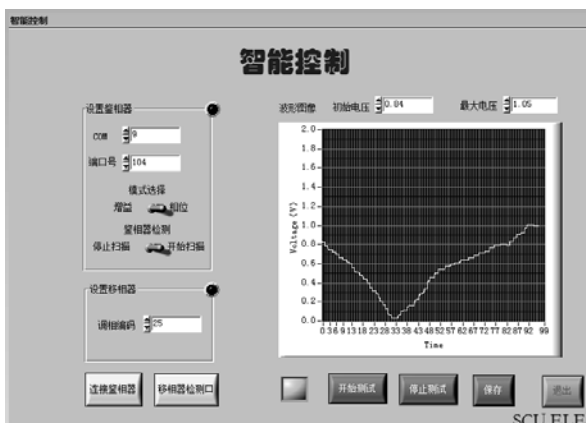


Fig.4 User interface and test result of control system
图 4 用户界面及实验测试结果显示

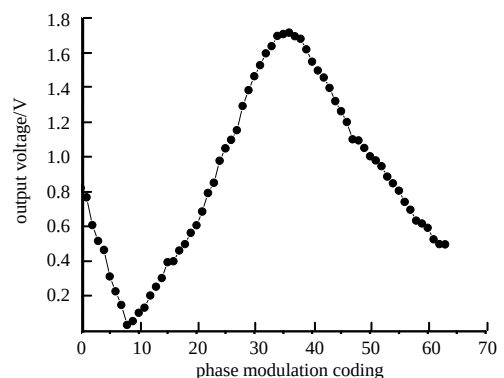


Fig.5 Influence on phase modulation coding due to the output voltage
图 5 输出电压对调相编码值的影响

在一个相位周期内采集数据, 得出调相编码与鉴相器输出电压的关系, 见图 5。依据鉴相器输出电压的变化可以实现相位检测。

4 结论

本文将虚拟测试仪器系统与微波磁控管功率合成系统相结合,开发了一款虚拟仪器运用软件,并实现期望的功能。基于 LabWindows/CVI 软件开发的微波功率合成自动化控制操作软件对硬件电路和设备直接进行控制,实现对多路信号进行采集、分析处理与反馈调节等功能。整个系统操作简单快捷,过程稳定可靠,充分发挥虚拟仪器所具有灵活性好、扩展性强、性价比高等优点。实验表明,在微波磁控管功率合成系统中,基于 LabWindows/CVI 实现移相控制可快速实现注入锁频信号相位的调节,有效提高微波功率合成的效率。

参考文献:

- [1] David E E. RF phase control in pulsed magnetrons[J]. Proceedings of the IRE, 1952,40(6):669-685.
- [2] CHEN S C, Bekefi G, Temkin R J. Injection locking of a long-pulse relativistic magnetron[J]. Conference Record of the 1991 IEEE, 1991(2):751-753.
- [3] 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, 2013,22(5):96-98. (YANG Song-han, LIU You-chun, WANG Rong-chuan, et al. The injection locked technology for high-power long-life CW-magnetron[J]. Vacuum Electronics, 2013,22(5):96-98.)
- [4] 谢文楷,刘盛纲. 微波毫米波功率合成中的锁频和锁相[J]. 电子与信息学报, 1994,16(4):416-422. (XIE Wen-kai, LIU Sheng-gang. Phase and frequency locking of microwave and millimeter wave power combining[J]. Journal of Electronics, 1994,16(4):416-422.)
- [5] 田湛君. 动态数据采集系统中虚拟仪器的设计与实现[J]. 基础自动化, 2002,9(2):30-33. (TIAN Zhan-jun. The design and realization of virtual instrument in dynamic data collecting & analyzing system[J]. Basic Automation, 2002,9(2):30-33.)
- [6] 陈张良. 基于 LabWindows/CVI 的网络化虚拟仪器软件系统的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学, 2007. (CHEN Zhang-liang. The design and realization of networked virtual instrument software system based on LabWindows/CVI[D]. Chengdu, Sichuan, China: University of Electronic Science and Technology of China, 2007.)
- [7] 周军涛,陈怀民,吴成富,等. 基于 GPIB 和 Agilent34970A 的数据采集系统软件设计[J]. 测控技术, 2007,27(4):71-73. (ZHOU Jun-tao, CHEN Huai-min, WU Cheng-fu, et al. Design of data collection system software based on GPIB and Agilent34970A[J]. Measurement & Control Technology, 2007,27(4):71-73.)
- [8] 李亦君. 基于 PXI 和 GPIB 总线电路测试系统的开发与设计[J]. 现代电子技术, 2010,33(22):35-37. (LI Yi-jun. Design of circuit test system based on PXI and GPIB[J]. Modern Electronics Technique, 2010,33(22):35-37.)
- [9] 周承仙,李仰军,武锦辉,等. 基于 LabWindows/CVI 的多路高速数据采集系统设计[J]. 电子测量技术, 2007,30(12):66-69. (ZHOU Cheng-xian, LI Yang-jun, WU Jin-hui, et al. Design for multi channel high speed data acquisition system based on LabWindows/CVI[J]. Electronics Measurement Technology, 2007,30(12):66-69.)
- [10] 刘玥玲,康小克,王永帅. 基于加载线型 Ka 频段的五位数字移相器[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2010,8(2):163-168. (LIU Yue-ling, KANG Xiao-ke, WANG Yong-shuai. Design of 5-bit digital phase shifter in Ka-band using tandem stub[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2010,8(2):163-168.)

作者简介:



刘 玲(1989-),女,湖南省邵阳市人,在读硕士研究生,主要研究方向为电磁场与微波技术。

黄何平(1987-),女,河南省南阳市人,在读博士研究生,主要研究方向为电路与系统、无线电物理。

刘长军(1973-),男,河北省邢台市人,教授,博士生导师,主要研究方向为电磁场与微波技术, email: cjliu@scu.edu.cn.