

# 基于 Labview 的雷达发射机磁控管老炼系统设计

黄 奇, 蔡昌新, 赵承志

(长江大学 电子信息学院, 湖北 荆州 434023)

**摘要:** 为了提高雷达发射机磁控管老炼测试的效率和自动化水平, 加强磁控管合理的检测和老炼, 设计了一种基于 Labview 的雷达发射机磁控管老炼测试系统; 该系统主要由多功能嵌入式工控机、动态信号采集卡、脉冲调制器、定向耦合器、功率计、频谱分析仪、等效负载等组成, 系统利用 Labview 实现磁控管信号实时采集, 并进行数据显示、分析、处理和对比, 自动监测磁控管的实时状态; 这种基于 Labview 的雷达发射机磁控管老炼系统, 可以直接操作上位机, 不用到现场, 保证了操作人员的人身安全, 对于保持磁控管的稳定运行, 确保发射机正常工作有了更加重要的保障。

**关键词:** 磁控管; 老炼; 采集卡; Labview; 自动监控

## Design of Magnetron Aging System for Radar Transmitter Based on Labview

Huang Qi, Cai Changxin, Zhao Chengzhi

(School of Electronics and Information, Yangtze University, Jingzhou 434023, China)

**Abstract:** In order to improve the efficiency and automation level of the radar transmitter aging test, and to strengthen the reasonable detection and aging of the magnetron, a Labview-based radar transmitter magnetron aging test system was designed. The system is mainly composed of multi-function embedded industrial computer, dynamic signal acquisition card, pulse modulator, directional coupler, power meter, spectrum analyzer, equivalent load, etc. The system uses Labview to realize real-time acquisition of magnetron signals and carry out data display, analysis, processing and comparison, automatically monitor the real-time status of the magnetron. The Labview-based radar transmitter magnetron aging system can directly operate the host computer, without going to the site, ensuring the personal safety of the operator, and for the stable operation of the magnetron, it is more important to ensure the normal operation of the transmitter.

**Keywords:** magnetron; aging; acquisition card; Labview; automatic monitoring

## 0 引言

磁控管是雷达发射机的重要组成部分之一, 其工作时的性能指标直接影响雷达的运行状态, 进而影响军队的作战效率<sup>[1]</sup>。两种情况会影响磁控管的性能: 1) 新磁控管由于阴极没有充分分解和激活, 导致良好的发射表面不能形成; 2) 旧磁控管因为长期未使用, 电极中的残余气体被慢慢释放, 导致真空度慢慢降低。在这两种情况下, 阴极再施加高压进行工作, 轻则会出现打火, 造成磁控管的损坏, 重则会出现一定的安全事故。因此, 对于新磁控管和旧磁控管, 必须在使用之前进行“老炼”测试<sup>[2]</sup>。“老炼”是指接通磁控管灯丝电压, 使管子长时间预热, 然后逐步加高压, 多次反复直到磁控管在额定工作电压、电流下能稳定地工作为止。老炼的目的是为了提高真空度、稳定磁控管参数、提高磁控管工作的可靠性, 同时还可以发现磁控管存在的问题, 以便及时解决<sup>[3]</sup>。正常工作的磁控管每几个月就要加压一次, 因为随着磁控管工作, 管体内的残留气

体引起电弧减少, 会影响磁控管的使用<sup>[4]</sup>。因此, 必须逐渐向阴极施加高压来提高电极的温度, 直到气体被电极完全吸收。在老炼期间需要严格控制灯丝电压, 不同时期生产的磁控管性能指数不一样, 磁控管输出电流的数值范围也不相同, 这样就需要雷达发射机老炼系统具有脉冲电压可调、脉冲宽度可调、脉冲周期可调。基于 Labview<sup>[5]</sup>以上要求本文介绍一种基于的雷达发射机磁控管老炼系统, 通过采集卡数据采集、上位机显示两部分, 实现对磁控管老炼过程和磁控管性能数据的实时采集、分析、处理、显示和读取, 来判断磁控管的状态。

## 1 磁控管老炼系统的硬件设计

磁控管老炼系统根据不同的磁控管型号设计不同的程序, 通过上位机选择相应的型号自动执行相应的程序, 自动完成老炼测试过程, 并对其测试过程进行监控。

### 1.1 磁控管老炼系统的硬件组成和工作原理

磁控管老炼系统主要是工控机 FLB96A2、PCI8211 动态信号采集卡、脉冲调制器、定向耦合器、功率计、频谱分析仪、等效负载等组成, 整个系统框图如图 1 所示。

FLB96A2 是一款多功能、高性能无风扇嵌入式工控整机, 带有 PCI 插槽, 支持 64 路模拟量输入、数字量输入、输出各 8 路的 PCI8211 直接插入工控机, 组成采集控制系统, 它结构坚固, 抗冲击, 抗振, 并能够防止数据在移动

收稿日期: 2019-01-25; 修回日期: 2019-03-05。

基金项目: 湖北省教育厅教学研究项目(2016258)。

作者简介: 黄 奇(1994-), 男, 湖北仙桃人, 硕士研究生, 主要从事嵌入式系统开发、Labview 图形化编程方向的研究。

蔡昌新(1974-), 男, 湖北松滋人, 硕士生导师, 副教授, 主要从事智能仪器设计、油气田测控技术方向的研究。

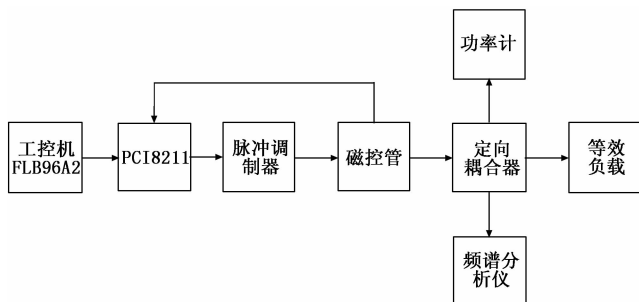


图 1 磁控管老炼系统组成框图

时丢失。

PCI8211 支持多路 AD 异步数据采集, 可实现 64 路单端采集或 32 路双端采集, AD 采集带 8 K 字 FIFO 存储器; 同时该卡支持四路 12 位 DA 输出, 该卡还带 CNT 定时/计数器功能, 具有 8 路 DI/DO 功能, 直接插在 FLB96A2 工控机内的任一 PCI 插槽中, 构成整个采集和控制系统。

系统开始工作时, 工控机直接调用 PCI8211 动态信号采集卡数字量输出 DO0 通道发出指令让脉冲调制器输出高压脉冲, 它被施加到磁控管的阴极以振荡磁控管。在磁控管工作期间形成的磁控管电流信号经调理后, 由 PCI8211 模拟量采集通道 AI0 采集, 然后输入到工控机显示, 通过 PID 算法<sup>[6]</sup>调节电流信号, 上位机再通过 PCI8211 数字量输出 DO0 通道发出指令调节高压脉冲, 以达到脉冲高压 1~30 KV 可调, 脉冲周期 1~400 Hz 可调 (步进 1 Hz), 脉冲宽度 1~5  $\mu\text{s}$  可调 (步进 0.5  $\mu\text{s}$ ), 以适应不同的磁控管老炼需求。系统工作时, 过压、故障信号、调制脉冲等信号, 都通过 PCI8211 模拟量通道采集传到工控机显示, 这样就可以很直观的自动监控整个老炼系统。

磁控管老炼系统分为两部分, 一部分是磁控管电气性能测试, 另一部分是磁控管射频性能测试; 电气性能测试是对磁控管阴极通电, 使磁控管工作, 然后再通过射频性能测试, 来判断磁控管性能是否正常, 以对磁控管状态进行判定。

磁控管电气性能测试主要通过 PCI8211 数字量通道控制脉冲调制器调节脉冲高压, 以及脉冲宽度、脉冲周期等参数。根据雷达发射机工作要求, 按上位机预定程序完成对发射机系统的灯丝预热、高压通断、故障指示以及功率控制和工作电流指示等功能。

射频性能测试主要是对磁控管的参数进行测试, 通过耦合器输出, 用功率计和频谱分析仪进行功率测试和频谱测试。判断磁控管性能是否正常, 从而对磁控管状态进行判断。

## 1.2 脉冲调制器的设计

脉冲调制器的设计是该系统的重点之一, 脉冲调制器主要由 3 部分组成: 直流开关电源部分、刚性调制部分、脉冲变压器部分。直流开关电源部分的作用是把初级电源 (例如市电) 变换成符合要求的 0~3 500 V 直流高压; 刚性调制部分是由 IGBT 模块、控制模块、电容模块和预调模块

等组成, 控制对负载 (射频发生器) 放电, 提供电压、脉冲宽度及脉冲波形等都满足要求的高压脉冲; 脉冲变压器是把刚性调制脉冲高压通过 10 变比变压输出, 满足磁控管要求的 30 kV 高压脉冲。结构图如图 2 所示。

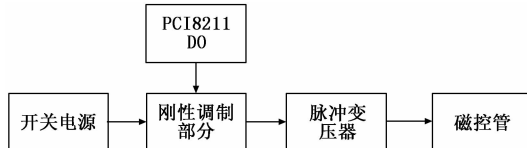


图 2 脉冲调制器结构图

开关电源部分主要将三相交流电经共模滤波电路滤除共模干扰后, 送至整流滤波电路将交流电转换成平滑的直流电, 然后通过 PWM 逆变电路将直流电转换成 20 kHz 的双极性交流电, 高频变压整流滤波电路再将 20 kHz 的双极性交流电转换成电压在 DC 0V~3 500 V 范围变化的平滑直流电输出。

刚性调制部分主要 IGBT 模块、控制模块、储能元件和预调模块等组成, 上位机 PID 算法处理过的电流信号通过控制模块控制预调模块进行预调, 然后用 IGBT 进行斩波, 生成可调的脉冲高压。组成框图如图 3 虚线框内所示。

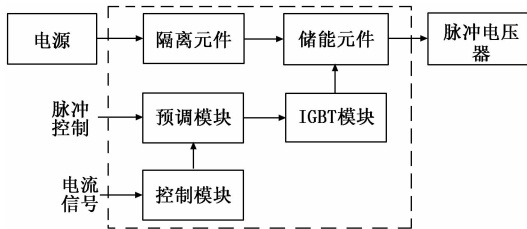


图 3 刚性调制部分组成框图

IGBT 属于场控型的器件, 其栅极特性为容性, 因此必须采用图腾驱动方式, 其可以得到较好的前后沿。我们采用的 IGBT 需要结电容较大, 又要求前后沿较好, 所以必须采用较大驱动电流的驱动器 M57962L。其可驱动 400 A 的 IGBT, 可以得到较好的驱动前后沿; 定时控制电路采用光耦作为输入, 非常简单, 可直接采用 TTL 电路进行控制, 输入输出的延时也较短, 具有 IGBT 过流检测和保护输出功能<sup>[7]</sup>。

脉冲变压器对从刚性调制部分输出的低压高功率调制脉冲执行功率合成, 并将其转换为磁控管所需的脉冲幅度的高压调制脉冲。采用超微晶软磁铁做变压器铁芯, 把 3 000 V 的脉冲电压通过 10 变比转换为 30 kV 左右的脉冲高压。

## 2 磁控管老炼系统软件设计

由于不同型号的雷达发射机磁控管老炼过程具有差异, 因此不同的磁控管老炼程序也有稍有不同。在测试过程中, 选择要测试的磁控管, 上位机自动识别相应的程序, 配置好各参数, 点击开始测试, 自动执行老炼过程。不同的老炼程序都包含了主程序和子程序, 主程序控制整个老炼过

程, 子程序是实现每个模块的运行, 整个程序控制磁控管的工作状态, 并根据磁控管的电流和工作电压等参数的变化, 通过反馈控制施加到磁控管阴极的电压, 直至增加到正常工作电压。

系统的软件主要是上位机 Labview 程序。程序主要包括磁控管灯丝、高压的开、停控制子程序、故障显示子程序、脉冲调制制子程序、磁控管选择子程序、PID 算法子程序、频谱分析仪显示子程序、自检子程序等。软件界面如图 4 所示。

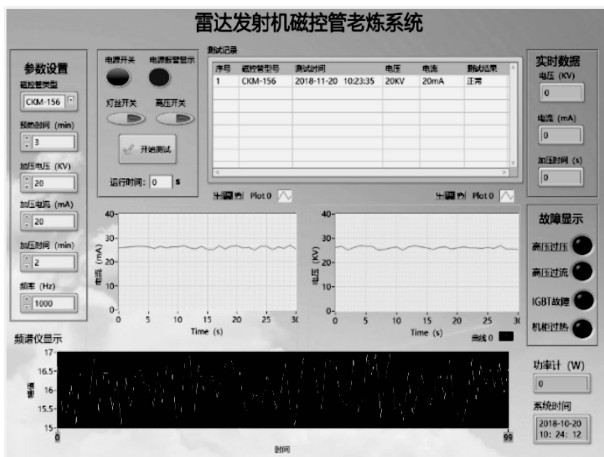


图 4 软件测试界面

磁控管灯丝、高压的开、停控制子程序调用 PCI8211 数字量输出 DO1、DO2 通道用来控制灯丝和高压的通断; 故障显示子程序用于在测试期间显示故障信息; 脉冲调制器子程序调用 PCI8211 数字量 DO0 通道用来调节脉冲输出; 磁控管选择子程序是上位机用来根据雷达发射机磁控管型号选择相应的程序, 对不同的磁控管进行老炼; PID 算法子程序是根据 PCI8211 模拟量输入通道 AI0 采集的磁控管电流信号来调节控制脉冲调制器进行输出的程序, 从而控制施加到磁控管阴极的电压大小。由于每种磁控管型号所施加高压不同, 每种磁控管的 PID 算法是不同的; 频谱分析仪显示子程序是通过 PCI8211 模拟量通道 AI1 把频谱分析仪数据显示在上位机上, 方便直接观察; 自检子程序用于检测各支路、各器件是否正常。在子程序的设计中, 要遵守单入单出的结构化原则, 避免子程序执行过程中出现长时间的等待, 导致程序崩溃, 而影响系统中其他程序的实时性, 还在其中加入防干扰语句避免程序出现死循环。测试流程如图 5 所示。

上位机采集卡的接口为 Labview 中的函数, DAQ 助手函数通过配置通道数、采集信号类型和模拟的输出与输出等来实现上位机与采集卡的连接, 该系统中, 主要配置各磁控管所需要的电压或电流信号实现对它的老炼, 还需要采集各反馈信号, 实现测试的自动控制。

软件采用结构化编程, 具有较好的模块性和可扩展性。软件系统具有以下特点:

1) 程序编程设计的模块化: 软件程序设计时, 需要对

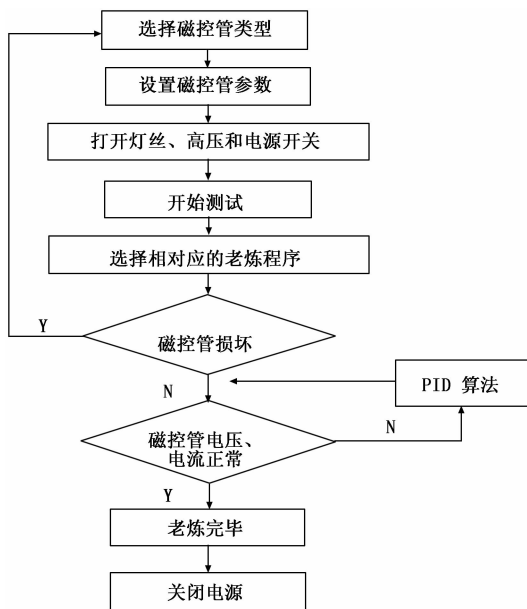


图 5 软件测试流程图

被测信号输入和模拟信号输入、输出进行详细分类, 设计出 I/O 控制、模拟量输出、数据采集和处理等函数功能模块。这样软件程序结构就比较简单、清晰, 具有良好的易维护性和可读性, 对于程序的设计提供了便利。

2) 容错和防错功能: 容错是主要指对操作人员在使用软件测试系统时, 如果出现误操作导致的自锁或者屏蔽功能。防错是指每测试完一个磁控管时, 软件自动对硬件设备进行初始化设置, 保证上次的设置不对下次测试产生影响, 对每个继电器、A/D 通道进行复位, 避免出现错测和短路现象, 从而造成磁控管的损坏。

3) 自检功能: 测试系统是不是能正常工作, 直接影响到磁控管老炼设备的工作状态。为了保证系统的稳定正常运行, 系统需要具备自检测试功能, 直接由软件自检测试程序来自动完成诊断。

4) 可扩展性: 软件做稍微改变就可扩展对其他系统及部件的自动检测。

### 3 与传统雷达发射机老炼系统的比较

传统雷达发射机使用软性脉冲调制器, 通过发射机高压电源加至高压脉冲调制器, 经充电变压器、人工线、脉冲变压器进行直流谐振充电, 充电电平受开关的控制, 人工线充电储能后, 脉冲调制器处于待机状态。当触发脉冲激励预调器后, 输出满足氢闸流管要求的开关脉冲, 闸流管导通, 人工线上的能量经闸流管和脉冲变压器完全放出, 并在脉冲变压器升压后, 获得符合磁控管要求的调制。随着雷达发射机的功率越来越高, 调制器的工作电压和电流越来越高, 传统雷达发射机老炼系统中的软性脉冲调制器已不能满足要求。

该系统采用基于 IGBT 的刚性脉冲调制, 运用了新型开关功率器件 IGBT (绝缘栅双极晶体管) 作为为其开关管以

替代氩闸流管，脉冲高压、脉冲周期、脉冲宽度通过 IGBT 直接调节。采用 IGBT 作为开关的刚性脉冲调制器具有效率高，重量轻、体积小、可靠性高、易于模块化设计，且不存在电子管的寿命问题。高电压、大电流已成为 IGBT 主要发展方向。高压 IGBT 的新结构、新工艺，使它具有低的开关损耗和低的通态压降，且使其通态特性和关断特性达到了最优，这样刚性脉冲调制器在雷达发射机磁控管老炼发挥更大的作用，与传统雷达发射机老炼系统相比，性能得到了很大提高。

该系统采用全数控的操作模式，不需要到现场进行老炼，只需要把磁控管放在磁控管底座上，就可以在上位机上进行操作，并实时观察老炼情况及系统各组件的工作情况，如果发生故障，上位机会发出故障显示，采集的所有数据都可以通过 Labview 中的数据库访问工具包模块存储在数据库中，可以随时查看，LabSQL 的使用使得所有的测试结果都可以交给专业的数据库管理系统，利用各种数据库模块的优势可以更加高效地获取和处理数据，而且还能够方便地将数据导出到其他的数据处理工具中，如。而传统雷达发射车老炼系统，需要去现场调节各参数，以满足老炼要求，手动记录测试数据，现场处于微波环境，现场调节具有一定的危险性，本系统很好的解决了这些安全问题。

#### 4 测试结果

通过对比以下两个界面可以看出，测试同一类型的磁控管，设置一样的参数，正常的磁控管测试出来的结果与真实情况基本一致，而有故障的磁控管则出现了较大的偏差，本系统可以真实的检测出磁控管的工作状态，来判断雷达发射机磁控管的好坏，这样可以减少了磁控管带来的经济损失。测试结果表明，该系统能很好的直观显示磁控管的工作状态，故障信息可以显示在界面上，操作人员能清楚的对磁控管的好坏进行判断，并对雷达发射机磁控管进行更换，避免了由于磁控管状态给发射机带来的损失。

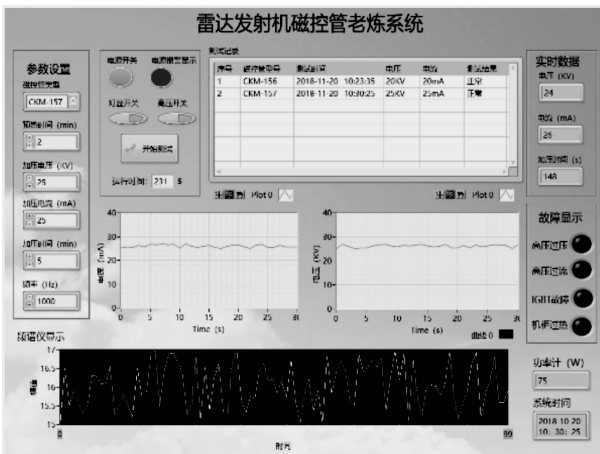


图 6 磁控管正常情况下测试结果

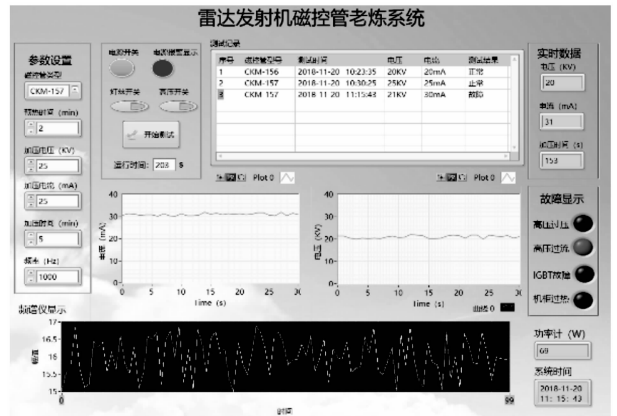


图 7 磁控管故障情况下测试结果

#### 5 结束语

不同型号的雷达发射机磁控管已经在上述方法设计的雷达发射机磁控管老炼系统中进行了测试，效果非常好，完全可以满足雷达发射机磁控管老炼的需求，与传统老炼测试系统相比，具有一定通用性。本系统采用全数控的操纵模式，只需要安装好磁控管，然后在上位机操作，设置老炼需要的参数，就可以进行测试，提高了老炼测试效率和自动化水平，大大降低了传统磁控管老炼工作的强度，具有一定的实用性，对类似微波功率电子管器件的老炼工作具有一定借鉴作用。

#### 参考文献:

- [1] 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 (10): 9-12.
- [2] 莱德诺尔 L N. 雷达总体工程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1985.
- [3] 阮翔. 浅析短波发射机中电子管的应用、检查与老炼 [J]. 数字通信世界, 2015 (6).
- [4] 雷琴. 雷达用磁控管自动老炼测试系统的设计 [J]. 舰船电子对抗, 2007, 30 (6): 108-111.
- [5] 陈树学. Labview 宝典 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2017.
- [6] 陆宁, 周伟. 基于 LabVIEW 的智能 PID 控制器的设计 [J]. 计算机技术与发展, 2005, 15 (4): 66-68.
- [7] 孙荣棣, 戴广明. IGBT 在雷达发射机调制器中的应用 [J]. 现代雷达, 2002, 24 (4): 66.
- [8] 郝丽. MAX、DAQ 助手及 DAQmx VI 之间的逻辑关系 Logical Relationship between MAX, DAQ Assistant and DAQmx VI [J]. 实验室研究与探索, 2012, 31 (6): 82-85.
- [9] 魏智. 发射机高压脉冲调制器的设计与实践 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [10] 于仕财, 马强, 李建华. 基于 IGBT 的固态脉冲调制器设计 [J]. 电子设计工程, 2011, 19 (9): 12-15.
- [11] 张璐. LabVIEW 中利用 LabSQL 对数据库访问技术的探讨 [J]. 电子测试, 2014 (s2): 84-86.
- [12] 唐治宏. 基于 LabVIEW 和 LabSQL 的煮糖参数测试数据库的设计与实现 [J]. 机械与电子, 2008 (6): 61-64.