

文章编号:1001-893X(2010)03-0069-04

某型机载近距导航设备检测仪的设计与实现^{*}

马二涛,李建海,刘保华,王 平

(空军工程大学 工程学院,西安 710038)

摘要:为满足部队和大修厂对航空无线电近距导航系统的检测需求,设计了以 PC104 嵌入式计算机为核心的自动检测仪硬件与软件程序,详细阐述了主要功能模块的工作原理。采用高精度的恒温晶振源,通过延时电路模拟地面信标产生方位、距离模拟信号以检测机载设备的导航精度及抗噪性能,其检测精度达到 0.01PPM。

关键词:机载设备;近距导航;检测仪;方位模拟;距离模拟

中图分类号:TP273;TN964 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2010.03.015

Design and Realization of Check-UP Equipment of an Airborne Short-Rang-Navigation System

MA Er-tao, LI Jian-hai, LIU Bao-hua, WANG Ping

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

Abstract: To meet the checking requirement of aviation radio Short-Rang-Navigation system in military and overhaul works, the hardware and software of check-up equipment are designed based on PC104 embedded computer, and the functions of major parts are illustrated in detail. The constant temperature oscillator source is adopted and the orientation and distance signals are generated through the way of delayed circuit simulating ground radio beaconing to detect the navigation precision and resistance performance to noise. The detection precision can reach 0.01PPM.

Key words: airborne equipment; short-rang-navigation; check-up equipment; orientation simulation; distance simulation

1 引言

航空无线电近距导航系统用于飞机的导航、着陆,以及飞机间导航,地面信标台显示空中情况,是航行驾驶综合体的无线电设备之一,其性能好坏将直接影响战机飞行安全和战术性能的发挥^[1],但近距导航系统信号交联关系复杂,其故障不易判断。文献[2]介绍的机载近距导航信标模仿仪在功能上模拟地面信标台,只能检查机载信标接收机的好坏;另外,俄制近距导航检测设备存在数量少、效率低、可维护性差、维修和升级困难等问题。为此,新研制

了一种模块化、自动化、智能化高的导航精度检测仪,可以对近距导航设备组件进行检测,又可以与其它检测设备交联对航行驾驶综合系统进行故障分析检查。

2 原理简介

检测仪用于近距导航设备定期检修工作以及各项参数、性能测试,校准和显示近距导航设备所测得的方位角和距离值。模拟方位角信号和距离信号都是通过延时电路实现的,分别由“北”信号脉冲和接收距离询问信号的译码脉冲启动延时电路,最后计

* 收稿日期:2009-11-15;修回日期:2009-12-09

数脉冲变成相应的交流信号送到方位、距离指示器，从而达到测量的目的。其电路原理如图 1 所示。

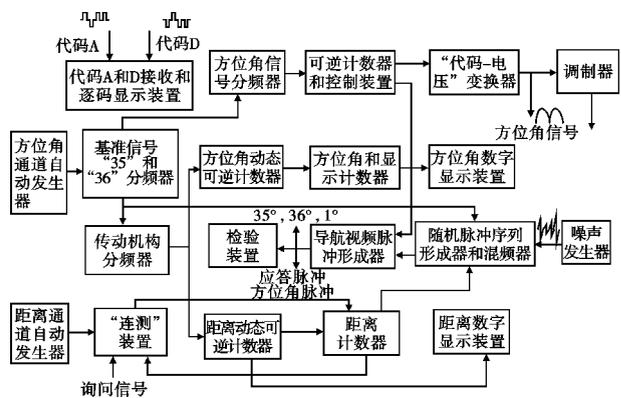


图 1 近距离导航检测仪电路原理图

Fig. 1 Short-range-navigation check-up equipment circuit principium

3 硬件设计

以 PC104 嵌入式计算机为平台，采用自顶而下的模块化结构，按检测仪的功能分为电源模块、CPU 模块、时钟模块、方位模块、距离模块、噪声模块、串码接收译码显示模块和检验模块，通过 PC104 数据和地址总线连接各功能模块完成检测任务。其功能框图如图 2 所示。

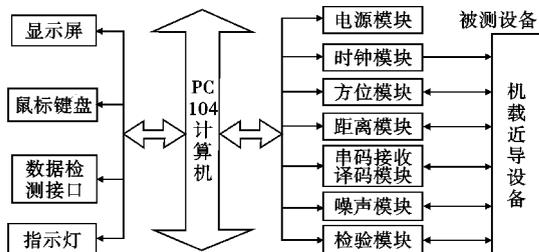


图 2 检测仪功能模块

Fig. 2 The equipment function modules

3.1 方位模块

方位模块用于产生 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围内的方位模拟信号以及方位脉冲信号。由于方位信号是一个双钟形信号，其中间零值代表真正的方位，因此产生方位信号应在方位真值点之间开始。不同的信标类型，其双钟形方位信号宽度不同，所以要根据信标类型来决定方位信号起点相对于方位真值点的提前量，为此，采用了一种特殊的计算方法。功能框图如图 3 所示。

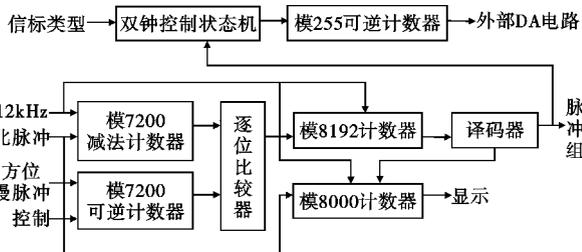


图 3 模拟方位角产生原理

Fig. 3 Simulated orientation circuit principium

时钟模块产生的方位慢脉冲送到模 7200 可逆计数器，在外部控制信号的作用下对该慢脉冲进行加、减计数，以及停止、清零操作；同时，模 7200 减法计数器在北脉冲的触发下将 6253 值预置到计数器中，同时启动对 12 kHz 脉冲信号进行减计数。这两个计数器的计数值在逐位比较器中进行比较，当两者相等时，产生一个相等脉冲。相等脉冲送到模 8192 计数器，进行加计数，根据其计数值的不同，由译码器产生各种方位信号。

译码器产生的方位角起始脉冲及基准脉冲送到双时钟控制状态机，在其控制下，模 255 可逆计数器对两种频率的脉冲分阶段进行加/减计数，在 DA 电路输出端得到双钟形方位角信号。DA 电路采用 AD558 数模转换芯片，输出电压范围 $0 \sim 10 \text{ V}$ ，通过面板上的电位器进行幅度调节后送到其它电路中。

另外，北脉冲除了触发模 7200 减法计数器，还触发模 8000 加法计数器进行加计数，直到模 8192 计数器的译码器送给它一个停止信号，它才停止计数，同时将计数值送到外部显示单元，其计数值代表从北脉冲开始到方位脉冲产生的时间间隔。

3.2 距离模块

距离模块的基本原理也是将数码变换成时间间隔。距离模块主要用来对机载设备送来的距离询问脉冲进行可变延时以模拟不同的距离，同时产生相互坐标询问回答脉冲、零距离检验脉冲。选用 14. 989 58 MHz 晶振源，其节拍周期相当于 10 m 的模拟距离。距离模拟通过形成 T_4 延时来实现，如图 4 所示。

延时从询问脉冲计到应答脉冲，由 T_1 、 T_2 、 T_3 延时相加而成。其中 $T_1 + T_3$ 是固定延时，在全向状态下， $T_1 + T_3 = \tau_1 \mu\text{s}$ ，在定向状态下， $T_1 + T_3 = \tau_2 \mu\text{s}$ 。模拟距离值由可逆计数器给定，以并行二—十进制码形式写入距离计数器。随着询问脉冲到达，定位测量置打开，自激振荡器脉冲送到 T_1 延时计数器输入端开始计数，在 T_1 结束时，产生一个加载脉冲，将慢计数器的计数值预置到快计数器中，并

启动减计数,经过一定延迟时间 τ_3 ,节拍脉冲序列送到距离计数器上以形成 T_2 延时,而 T_2 是模拟距离产生的延时,当快计数器减到零时,产生溢出脉冲,触发 T_3 延时, T_3 延时结束时产生距离为 τ 的回答脉冲。

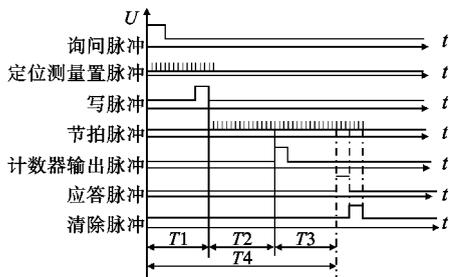


图 4 距离模拟工作时序图

Fig. 4 Simulated distance work time

3.3 噪声模块^[3-4]

实际机载设备与地面设备通信中存在各种衰落、干扰和噪声。噪声模块产生一定密度的随机噪声,叠加到各种信号上,以检测设备的抗干扰性能;同时形成一定概率的选通脉冲对距离回答脉冲进行控制,以检测设备测距通道的跟踪记忆性能。其原理如图 5 所示。

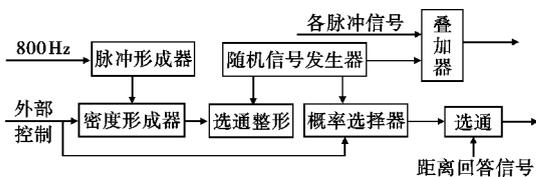


图 5 噪声产生及控制原理框图

Fig. 5 Noise generation and control

随机信号发生器中,选取 $r=7$ 、反馈系数为 235 的序列,对应的特征多项式为

$$f(x) = x^7 + x^4 + x^3 + x^2 + 1 \quad (1)$$

根据伪随机序列产生的原理,采用行为描述方式用 VHDL 语言对该逻辑进行硬件描述,由 Quartus II 进行时序仿真,结果如图 6 所示。

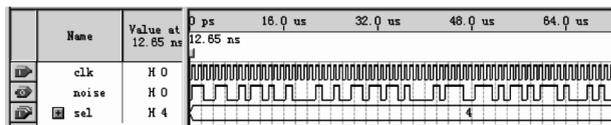


图 6 伪噪声序列仿真图

Fig. 6 Pseudo noise sequence simulation

伪随机序列发生器使用 FPGA 器件,与由多个分立元件和集成块构成的信号发生器相比,克服了易受温度变化和电磁干扰影响的缺点,且有可控性

强、调试方便、性能稳定的特点。可以根据需求随时调整序列长度以及时钟脉冲周期,从而达到与真实噪声相似的干扰效果。

通过选用不同宽度、不同频率的选通脉冲对噪声序列进行控制,实现不同的噪声密度与选通概率,将这些序列与方位信号、距离回答信号等脉冲信号进行叠加,以检测抗噪性能。

3.4 时钟模块

检测精度主要决定于计数振荡器的频率和频率稳定度。因此,选用了型号为 OX3627B 的恒温晶体振荡器。其工作电压为 12 V,最大功耗为 3.6 W,在 25℃ 条件下恒定功耗不超过 1.2 W,其频率稳定度达到 10^{-9} 。由于晶振源输出标准正弦波,峰一峰值为 1.6 V,因此需要增加外围电路将其转化为 TTL 波形,为此我们设计了转换电路。晶振信号到放大器放大后再和参考源经比较器输出。放大器选用压摆率为 $300 \text{ V}/\mu\text{s}$ 的高速电压负反馈集成放大器 OPA355,比较器选用传输延迟为 4.5 ns 的 TLV3501,保证转换波形的带宽,参考电源选用 LM4140r 的 1.25 V 参考电压源,以确保转换信号的频率稳定性。

3.5 其它模块

电源模块采用温漂非常小的军品高精度稳压管、电容、电阻、三极管、电压比较器组成的保护电路。外部输入的 27 V 直流电压防欠压、防过压、防过流保护进行 DC-DC 转换为检测仪工作所需的各种电压。

时钟模块是检测系统的基础模块,产生各种脉冲信号是其它功能模块工作的基准,主要产生的信号有 35/36 基准脉冲、北脉冲、 $0.25^\circ/0.5^\circ/1^\circ/2^\circ$ 脉冲、方位/距离慢计数脉冲,以及 100 Hz/700 Hz/12 kHz/60 kHz 等其它一些时钟信号。

送到串码接收译码显示模块的串码有两种,一种是机载设备送来的 4 类串码数据,另一种是由外部测试孔引入的串码数据,用于测试。这两种码源可以通过软件面板进行选择,被选中的串码数据经过单极化处理后由节拍形成器形成移位节拍,辅助串并转换单元对串码进行移位形成 32 位并码,根据选择的不同信息字地址进行输出显示。

检验模块用于对检测仪产生的主要信号以及外部机载近距导航设备送来的信号进行检验,用指示灯状态来表明检验结果。

4 软件设计

利用面向对象的编程方法,借助 Visual C++

6.0 可视化开发工具,采用多线程技术,保证了软件实现的实时性;并用 WinDriver 开发了在 Windows XP 下运行的硬件底层接口驱动程序,其流程如图 7 所示。

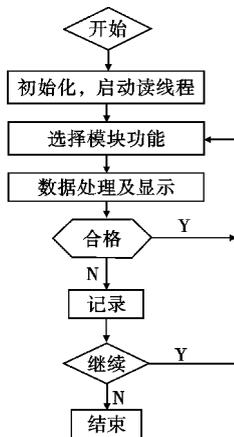


图 7 软件流程图

Fig. 7 Flow chart of software processing

4.1 基于 MFC 类^[5]

使用 MFC 类编写检测系统程序,控制灵活,效率高,可靠性强。

4.2 多线程

采用主界面、查询、操作 3 种线程:主界面线程提供友好的人机交互界面,在主界面下集中显示各种检测信息;查询线程查询各硬件寄存器的状态;操作线程完成对硬件的各种访问控制。

4.3 底层驱动

Windows XP 操作系统是基于 NT5 内核的,对硬件访问进行了保护,因此,采用 WinDriver 开发硬件驱动,实现与 Windows 底层的通信和硬件的交互,其端口读写地址范围为 0x280~0x28f,并采用 ISA 接口 8 位操作。

5 实验对比

将距离或方位清零,在不同的档位测量距离、方位在 60 s 内的变化,经过 10 次测量求其误差平均。测试结果见表 1。

表 1 误差分析
Table 2 Error analysis

设备	档位		方位速度	
	56 km/h	3 600 km/h	0.02°/s	5°/s
俄制设备	1.26	130.12	0.000 50°	0.15°
本检测仪	0.73	90.76	0.000 36°	0.12°

6 结束语

检测仪与原俄制设备相比,实现模块化、智能化升级,能快速准确地故障定位,提高了检测精度,解决了一个排故难题。其中数字电路部分全部集成在 FPGA 芯片中,器件多选用贴片式,具有结构紧凑、体积小、重量轻等特点,有较强抗冲击、抗振动能力。实际使用证明,仪器的使用性、可靠性、维修性都显著提高,本检测仪的研制对维修保障飞机以及任务的完成,具有重要现实意义。

参考文献:

[1] 李建海,毕笃彦,陈高平.综合无线电导航系统(上册)[M].西安:空军工程大学,2002.
LI Jian-hai, BI Du-yan, CHEN Gao-ping. Synthesis aviation radio navigation system [M]. Xi'an: Air Force Engineering University, 2002. (in Chinese)

[2] 范谋堂,程文聪.机载近距离导航信标模仿仪的硬件设计与实现[J].空军雷达学院学报,2005,19(1):51-53.
FAN Mou-tang, CHENG Wen-cong. The design and realization of Airborne Short-Rang-Navigation beacon emulator hardware [J]. Journal of Air Force Radar Academy, 2005, 19(1): 51-53. (in Chinese)

[3] Hans-Jurgen Zepernick, Adolf Filgen.伪随机信号处理[M].甘良才,等,译.北京:电子工业出版社,2007.
Hans-Jurgen Zepernick, Adolf Filgen. Pseudo Signal Processing [M]. Translated by GAN Liang-cai, et al. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007. (in Chinese)

[4] 辛春艳.VHDL 硬件描述语言[M].北京:国防工业出版社,2005.
XIN Chun-yan. Very High Speed Integrate Circuit Hardware Description Language[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2005. (in Chinese)

[5] 明日科技,宋坤,刘锐宁,等. Visual C++ 开发技术大全[M].北京:人民邮电出版社,2007.
MINGRI Ke-ji, SONG Kun, LIU Rui-ning, et al. Visual C++ Development Technology Complete Dictionary [M]. Beijing: People's Post & Telecommunication Press, 2007. (in Chinese)

作者简介:

马二涛(1982-),男,河南周口人,硕士研究生,主要研究方向为军事航空通信导航;

MA Er-tao (male) was born in Zhoukou, Henan Province, in 1982. He is now a graduate student. His research direction is military aviation communication and navigation.

Email: 652613812@qq.com

李建海(1964-),男,陕西乾县人,副教授、硕士生导师,主要研究方向为通信与信息系统、军事航空通信导航。

LI Jian-hai (male) was born in Qianxian, Shaanxi Province, in 1964. He is now an associate professor and the instructor of graduate students. His research interests include communication and information system, military aviation communication and navigation.

