

无线电罗盘的天线信号模拟器的电路设计

岳伟平^{1,2}, 唐金元¹, 于 皓¹, 邢根斌²

(1. 海军航空工程学院 青岛分院, 山东 青岛 266041; 2. 中国人民解放军 91525 部队, 广东 廉江 524400)

摘要: 根据无线电罗盘的工作原理, 设计了此无线电罗盘的天线信号模拟器电路, 它模拟无线电罗盘的组合天线对地面导航台无线电信号的接收功能, 为无线电罗盘接收电路提供含有低频方位的高频信号; 在该天线信号模拟器中, 采用了单片机、GPIB 等技术, 重点解决了在不同频率上飞机纵轴与导航台之间的夹角可在一定的精度上的任意控制, 从而实现对某型无线电罗盘的主要性能参数的自动测试任务。

关键词: 无线电罗盘; 天线信号模拟器; 自动测试; 电路设计

Design of Antenna Signal Simulator Circuit on Radio Compass

Yue Weiping^{1,2}, Tang Jinyuan¹, Yu Lu¹, Xing Genbin²

(1. Naval Aeronautical Engineering Academy Qingdao Branch, Qingdao 266041, China;

2. Unit 91525 of PLA, Lianjiang 524400, China)

Abstract: An antenna signal simulator circuit of the radio compass is designed, which is based on the operational principle of the radio compass. It simulates the work of the combined antenna of the radio compass with a ground navigation, which offers high frequency signals including the antenna bearings signal for the radio compass receiver. In the process of the antenna signal simulator circuit design, the techniques of Single Chip Micropy and GPIB are adopted. It solves the difficulty of the efficient control of the inclination between the y-axis of a plane and the aerial electromagnetic wave from a ground navigation station and realizes the automatic detection role of the main radio compass performance figure.

Key words: radio compass; antenna signal simulator; automatic test; circuit design

0 前言

无线电罗盘是飞机导航系统中诸多导航设备中的一员, 其功能是利用无线电技术进行测向, 尽管随着机上导航设备的不断现代化、综合化、一体化, 其在导航系统中的地位会有所降低, 但由于它的某些功能而使它在相当长时期内不易被其它设备所替代, 致使检测无线电罗盘的工作状态对保障飞机作战训练、飞行安全起着重要的作用。

无线电罗盘主要有复合天线、天线信号变换电路、接收电路、指示电路、频率合成电路、控制电路和电源电路等组成, 如图 1 所示。其中接收电路、指示电路、频率合成电路、控制电路和电源电路安装在飞机舱台内, 受外界环境的影响小, 易拆卸和安装; 但垂直天线和环形天线(合称为组合天线)安装在飞机机舱外部, 对安装位置、安装角度和接地电阻都有精确的要求, 并对环境的电磁干扰敏感, 致使它的安装和拆卸存在一定的难度, 并且它是一个固化单元, 其可靠性高, 故障率低, 致使此部件经飞机厂家安装调试后, 很少对其拆卸; 但无线电罗盘其它电路的故障较多, 当出现故障进行测试和维修时, 需加载天线信号进行测试和调试, 这使无线电罗盘天线信号模拟器的制作成为无线电罗盘测试或维修的前提和基础^[1-2]。

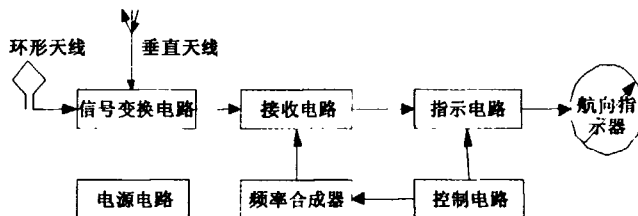


图 1 无线电罗盘电路的组成框图

1 无线电罗盘的天线信号模拟器

1.1 天线信号模拟器的电路结构

无线电罗盘天线信号模拟器用来模拟无线电罗盘天线的实际工作, 产生组合天线的模拟信号, 为无线电罗盘其它电路测试提供必要的天线激励信号, 以实现对被测罗盘性能的测试。因此天线信号模拟器由天线信号产生模块和天线信号处理模块两部分组成, 如图 2 所示。在信号产生模块中, 射频信号源产生的模拟信号与程控直流信号源产生的直流信号之间的相乘通过单片机实现, 具体如图 3 所示。天线信号产生模块输出的高频信号为满足无线电罗盘接收电路, 需通过天线信号处理模块处理, 成为高频调幅方位信号, 具体如图 4 所示。其中移相 90°通过图 5 电路实现。

1.2 天线信号模拟器的工作原理

程控直流信号源经程控计算机 GPIB 总线输出的 $\cos\theta$ 和 $\sin\theta$ 值控制, 输出两路电压各为 $B_1 \cos\theta$ 和 $K_1 \sin\theta$ 的直流信号。射频信号源通过程控计算机在幅度和频率上的控制, 输出特定幅度和频率的正弦信号 $A_1 \sin\omega t$, 通过高于两倍频的时钟进行抽样、量化, 成为数字信号。此数字信号受单片机内预存程序

收稿日期: 2010-12-10; 修回日期: 2011-01-20。

作者简介: 岳伟平(1979-), 男, 河南睢县人, 硕士研究生, 主要从事信息与通信系统专业方向的研究。

唐金元(1965-), 男, 山东莱阳人, 教授。

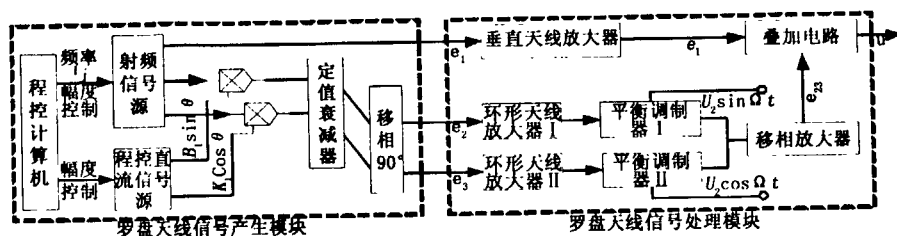


图2 无线电罗盘天线信号模拟器的电路组成框图

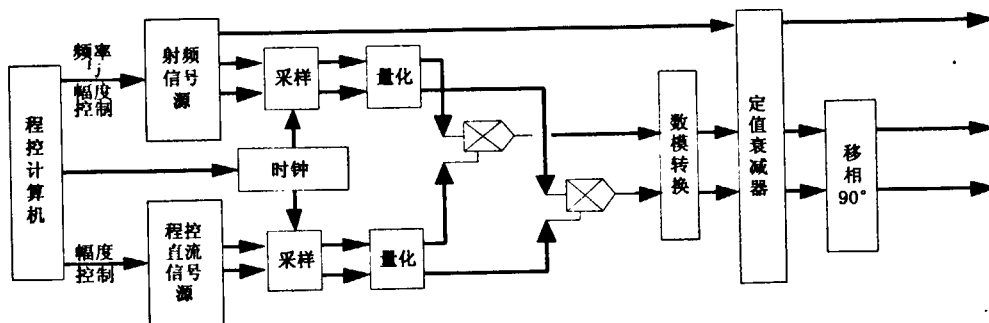


图3 无线电罗盘天线信号模拟器的信号产生电路

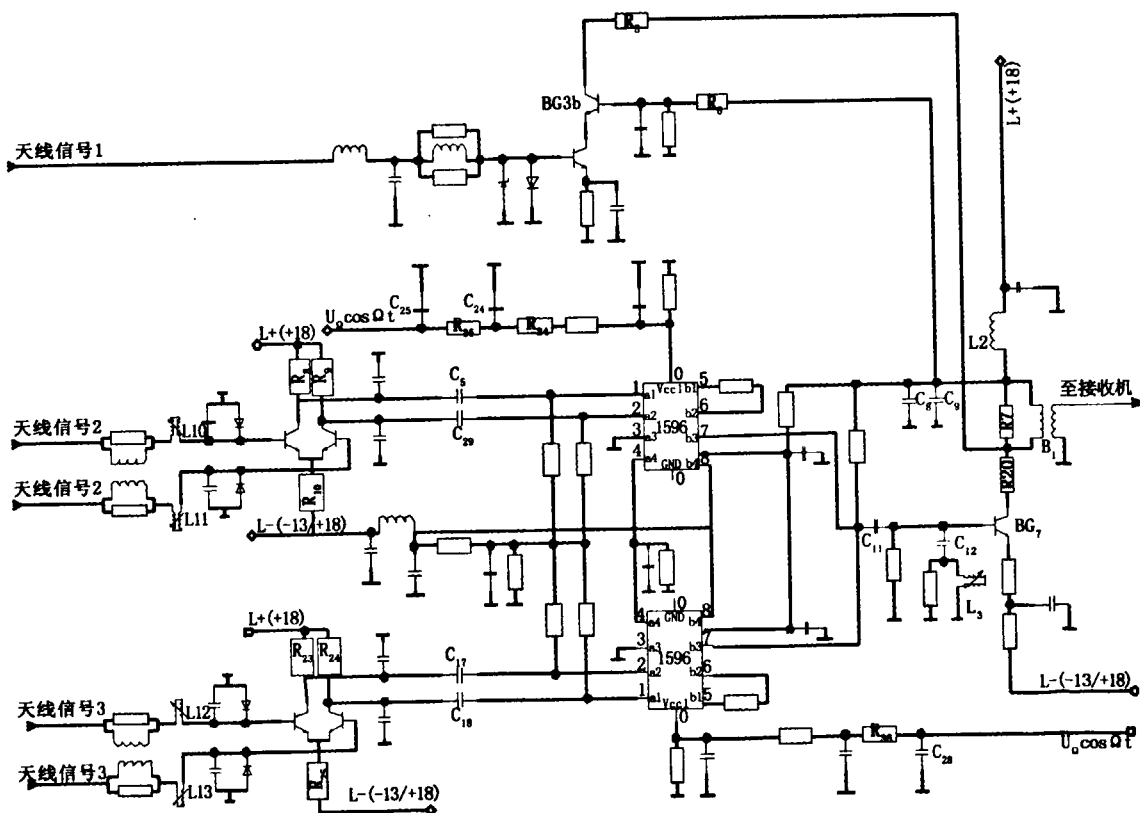


图4 罗盘天线信号处理电路

的控制,与幅值各为 $B_1 \cos \theta$ 和 $K_1 \sin \theta$ 的两路直流信号经采样量化后形成的数字信号相乘,成为幅值各为 $A_1 B_1 \cos \theta \sin \alpha t$ 和 $A_1 K_1 \sin \theta \sin \alpha t$ 的数字信号,此数据信号经数模转换得到模拟信号。为了后续电子元件可以承受和适应接收电路,模拟信号 $A_1 \sin \alpha t$ 、 $A_1 B_1 \cos \theta \sin \alpha t$ 和 $A_1 K_1 \sin \theta \sin \alpha t$ 需经过一个预定数值的衰减器,成为 $a A_1 \sin \alpha t$ 、 $a A_1 B_1 \cos \theta \sin \alpha t$ 和 $a A_1 K_1 \sin \theta \sin \alpha t$

的模拟信号; $a A_1 \sin \alpha t$ 既为信号产生电路的输出信号,也为天线信号处理电路中的第一路输入信号。信号 $a A_1 B_1 \cos \theta \sin \alpha t$ 和 $a A_1 K_1 \sin \theta \sin \alpha t$ 再经过 90° 移相,形成信号产生电路输出的 $a \beta A_1 B_1 \cos \theta \cos \alpha t$ 和 $a \beta A_1 K_1 \sin \theta \cos \alpha t$ (其中 β 为移相 90° 电路的变换系数),这也是天线信号处理电路中的第二路和第三路输入信号。

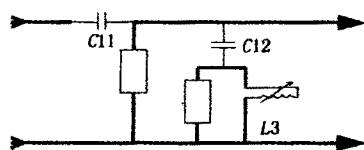


图 5 移相 90° 电路图

三路信号输入到天线信号处理模块后，为得到无线电罗盘接收电路需要的高频调幅方位信号，需对第一路信号进行放大、阻值匹配，对第二路、第三路信号分别进行放大、平衡调制、移相放大等处理，最后把三路信号叠加，形成天线信号模拟器的输出。具体过程如下。

(1) 天线信号处理模块输入信号为：

$$\begin{aligned} e_1 &= aA_1 \sin \omega t \\ e_2 &= a\beta A_1 B_1 \cos \theta \cos \omega t \\ e_3 &= a\beta A_1 K_1 \sin \theta \cos \omega t \end{aligned}$$

(2) 放大后的信号为：

$$\begin{aligned} e_1^1 &= aA_1 A_2 \sin \omega t \\ e_2^1 &= a\beta A_1 B_1 B_2 \cos \theta \cos \omega t \\ e_3^1 &= a\beta A_1 K_1 K_2 \sin \theta \cos \omega t; \end{aligned}$$

式中， A_2 、 B_2 和 K_2 分别为三路放大电路的放大系数；(3) 平衡调制后的信号为：

$$\begin{aligned} e_2^2 &= a\beta A_1 B_1 B_2 B_3 U_n \cos \theta \cos \omega t \sin \Omega t \\ e_3^2 &= a\beta A_1 K_1 K_2 K_3 U_n \sin \theta \cos \omega t \cos \Omega t \\ e &= e_2^2 + e_3^2 = \\ &= a\beta A_1 B_1 B_2 B_3 U_n \cos \theta \cos \omega t \sin \Omega t + \\ &+ a\beta A_1 K_1 K_2 K_3 U_n \sin \theta \cos \omega t \cos \Omega t \end{aligned}$$

式中， $U_n \sin \Omega t$ 、 $U_n \cos \Omega t$ 为无线电罗盘指示电路中的低频基准信号电路的输出， B_3 、 K_3 为平衡调制电路的变换系数；

为保证无线电罗盘测向的准确性，需保持 $a\beta A_1 B_1 B_2 B_3 U_n$ 与 $a\beta A_1 K_1 K_2 K_3 U_n$ 相等，令 $A = a\beta A_1 B_1 B_2 B_3 U_n = a\beta A_1 K_1 K_2 K_3 U_n$ ，则输出为：

$$\begin{aligned} e &= e_2^2 + e_3^2 = \\ &= a\beta A_1 B_1 B_2 B_3 U_n \cos \theta \cos \omega t \sin \Omega t + \\ &+ a\beta A_1 K_1 K_2 K_3 U_n \sin \theta \cos \omega t \cos \Omega t = \\ &= A \cos \theta \cos \omega t \sin \Omega t + A \sin \theta \cos \omega t \cos \Omega t = A \sin(\Omega t + \theta) \cos \omega t \end{aligned}$$

(4) 移相放大后的信号为：

$$\begin{aligned} e_{23} &= K_{23} A \sin(\Omega t + \theta) \cos(\omega t + 90^\circ) = \\ &= -K_{23} A \sin(\Omega t + \theta) \sin \omega t \end{aligned}$$

式中， K_{23} 为电路变换系数；

(5) 信号 e_1^1 与信号 e_{23} 通过电感线圈 B_1 和电阻 R_7 进行叠加，输出为：

$$\begin{aligned} u &= e_1^1 + e_{23} = \\ &= aA_1 A_2 \sin \omega t - K_{23} A \sin(\Omega t + \theta) \sin \omega t = \\ &= aA_1 A_2 [1 - \frac{K_{23} A}{aA_1 A_2} \sin(\Omega t + \theta)] \sin \omega t \end{aligned}$$

此即为天线信号模拟器的最后输出。

2 天线信号模拟器的调试

2.1 电路工作的有效性

要保证电路工作的有效性，须避免天线信号模拟器输出的

高频调幅方位信号调制包的初相角 φ 与程控计算机程控输出角 θ 不等，即避免出现 $a\beta A_1 B_1 B_2 B_3 U_n \neq a\beta A_1 K_1 K_2 K_3 U_n$ 和电路中两次调相不是 90° 。通过调节移相 90° 电路中的 L_3 和天线信号处理电路中的 L_{10} 、 L_{11} 、 L_{12} 和 L_{13} ，可使 $a\beta A_1 B_1 B_2 B_3 U_n = a\beta A_1 K_1 K_2 K_3 U_n$ 和两次调相 90° ，相应地促使 $\varphi = \theta$ ，避免出现方位误差。

同时，通过对电路中的电子元器件的选择，可以适当调节各个电路的变换系数，相应地调整信号模拟器输出的高频调幅方位信号的调幅深度，提高无线电罗盘接收电路的测向精度。

2.2 主要性能参数的调试

(1) 工作频率。尽管射频信号源的频率范围覆盖很宽，但由于电路中采用的单片机总线频率只有 96MHz，每字符对应 16 位，致使此天线模拟器的工作频率为 $0 \sim 3$ MHz。无线电罗盘的频率范围是 $150 \sim 1750$ kHz，通过调试，此天线信号模拟器的工作频率满足无线电罗盘的测试需求。

(2) 方位精度。无线电罗盘的定向方位准确度 $\leq 3^\circ$ ，相对应的 $\cos \theta$ 和 $\sin \theta$ 的最小变化值 (0.002) ，致使 $\cos \theta$ 和 $\sin \theta$ 的值取其有效值的前三位即可满足测试需求。同时，若提高方位精度，需提高信号 $A_1 \sin \omega t$ 、 $B_1 \cos \theta$ 和 $K_1 \sin \theta$ 采样量化的精度，即增多采样量化后每个码元对应的 bit 数，因单片机的总线频率一定，则相应地要减小天线信号模拟器的工作频率范围。这样，通过确定量化精度，选择适当的工作频率，可以完成定向灵敏度、定向准确度和定向速度等无线电罗盘主要性能参数的自动测试。

(3) 收讯灵敏度。在一定的采样量化精度下，程控计算机通过 GPIB 接口，调节射频信号源的幅度 A_1 ，可以得到无线电罗盘接收机在收讯灵敏度测试中是否符合标准要求。

2.3 技术难点及解决措施

在前面的理论分析中，我们已经知道，当单片机的总线频率一定时，测试精度与天线信号模拟器的工作频率范围存在矛盾。解决这对矛盾的有效方法是，提高单片机的计算速度和总线频率，即随着采用更先进的单片机，这个难点就会随着单片机的更高频率而解决。

3 结束语

此无线电罗盘天线信号模拟器通过与无线电罗盘电源供电电路连接，获得 $L+ (+18V)$ 和 $L- (-13V/+18V)$ 的电源；通过与无线电罗盘的低频基准信号电路连接，获得 $U_n \sin \Omega t$ 和 $U_n \cos \Omega t$ 信号；通过程控计算机的 GPIB 总线连接，可控制输入信号的幅度和频率；通过对采样量化精度的设置，可以确定测试精度，设定天线信号模拟器的工作频率范围。这样，通过程控计算机对信号源强度和模拟的飞机纵轴与导航台之间夹角的控制，可以实现对无线电罗盘的收讯灵敏度、定向灵敏度、定向准确度、定向速度等主要性能参数的测试，从而完成对某型无线电罗盘的自动测试任务。

参考文献：

- [1] 王洪君. 单片机原理及应用 [M]. 济南: 山东大学出版社, 2009.
- [2] 牛军强. 基于 GPIB 仪器的航空无线电罗盘综合测试系统 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (6): 1039-1041.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>