

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.04.020

引用格式:张翼周.一种船舶自动识别系统甚高频信道的低成本设计[J].电讯技术,2014,54(4):480-485.[ZHANG Yi-zhou.Low-cost Design of VHF Channel in Automatic Identification System[J].Telecommunication Engineering,2014,54(4):480-485.]

一种船舶自动识别系统甚高频信道的低成本设计*

张翼周**

(成都天奥信息科技有限公司,成都 611731)

摘要:随着船舶自动识别系统(AIS)市场竞争的日益激烈,低成本化是 AIS 产品研制的必然趋势。根据国际海事组织(IMO)有关标准,给出了一种 AIS 甚高频(VHF)信道的低成本设计方案。介绍了 AIS 工作原理及其 VHF 信道的工作过程,给出了简洁实用的发射机和接收机设计,并对调制器、VHF 功放、解调器等核心单元设计方法、器件选择进行了详细阐述。测试和外场实用表明该 VHF 信道各项指标均已达到规定要求,并且该 VHF 信道硬件成本低,性能可靠。

关键词:船舶自动识别系统;VHF 信道;VHF 功放;调频解调;高斯滤波最小移频键控;低成本设计中图分类号:TN962 文献标志码:A 文章编号:1001-893X(2014)04-0480-06

Low-cost Design of VHF Channel in Automatic Identification System

ZHANG Yi-zhou

(Chengdu Spaceon Technology Co., Ltd., Chengdu 611731, China)

Abstract: With increasing competition in Automatic Identification System(AIS) market, low-cost design is the inevitable trend in AIS product development. This paper presents a low-cost Very High Frequency(VHF) channel design scheme of AIS system according to the International Maritime Organization(IMO) standards. The working principle of AIS and working process of its VHF channel are introduced briefly, a concise and practical transmitter and receiver design is given. And the design method, components selection of some core units, such as modulator, VHF power-amplifier and demodulator are elaborated. The test and field practice show that all indexes of the VHF channel meet the specified requirements, further more, the VHF channel has low hardware cost and has reliable performance.

Key words: AIS; VHF channel; VHF power-amplifier; FM demodulation; GMSK; low-cost design

1 引言

较早的船舶识别及避碰方式是在无线电所覆盖水域或 VTS(Vessel Traffic System)作用区域,控制中心通过无线电话询问或由船舶无线电话向控制中心报告而获得船舶的信息后,再用人工方式将船舶信息录入 VTS 监控系统,以实现船舶的跟踪管理。在船舶往来密集的区域,这种人工方式向系统录入信息,不仅工作强度大,且易出现操作差错。AIS 的

使用,可以实现船舶交通管理系统的船-岸、船-船间的自动通信及辅助导航,避免船舶间的碰撞,提高航行的安全。AIS 系统工作在 VHF 频段,采用 GMSK 调制,以自组织时分多址(SOTDMA)方式发射船舶位置、航速、航向等船舶动态信息以及船名、识别码等船舶静态信息^[1-2]。

VHF 信道作为 AIS 中的一个重要组成单元,其性能直接影响 AIS 设备最远作用距离、最大侦收船

* 收稿日期:2014-01-23;修回日期:2014-03-14 Received date:2014-01-23;Revised date:2014-03-14

** 通讯作者:cd_zyz@sina.com Corresponding author:cd_zyz@sina.com

舶数等组网性能。国内多家 AIS 厂商均自主开发其 AIS 产品,各家各有长短,主要的缺陷集中在产品可靠性差,部分射频指标不达标。目前国内 AIS 市场竞争日益激烈,市场不仅要求研制性能稳定可靠的 AIS 产品,而且也提出了低成本化的要求。为实现这一目标,除尽可能选用多功能、高集成度元器件外,还需要优选频率源、调制解调等方案,以减少器件用量,简化电路。

2 AIS 基本组成及原理

AIS 系统由 AIS 主机、天线系统、显示系统组成。其中 AIS 主机包含了 VHF 信道、GPS 接收机、基带处理单元和电源单元组成。AIS 原理框图如图 1 所示。

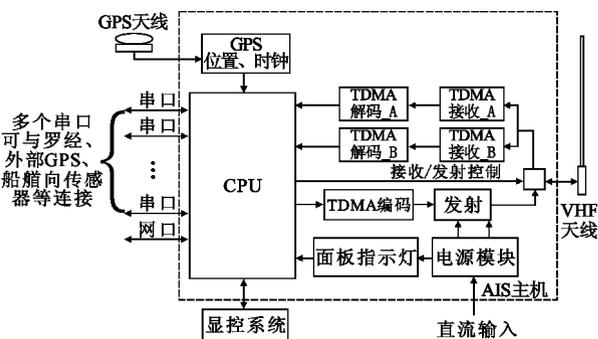


图 1 AIS 原理框图
Fig. 1 Block diagram of AIS

基带处理单元通过 GPS 接收机获取当前的地理位置和世界时间,实现 SO-TDMA 协议,并通过与 VHF 信道的协作,完成对 AIS 基带信号的调制、解调和信息解析,供显控系统显示。显控系统可内置电子海图软件,通过外部串口、网口接入罗经、外部 GPS、计程仪、雷达等信息,结合自身的 AIS 信息,在海图上综合显示。VHF 信道完成射频信号与基带信号的转换,最终经过 VHF 天线,进行射频信号收发。

3 AIS 的 VHF 信道设计

通常 VHF 信道包括两个可同时工作的独立接收通道(国际通用频点为 161.975 MHz 和 162.025 MHz)和一个可交替工作在以上两个频点的发射通道^[3]。虽然国际通用频点仅规定了两个频点,但根据 IMO 相关标准规定,VHF 信道的专用频率应覆盖 156.025 ~ 162.025 MHz,信道间隔 25 kHz。

3.1 VHF 信道基本组成

VHF 信道由发射机、接收机、控制单元组成。发射时,发射机将基带处理单元提供的模拟信号调制,并变频至射频信号再经功率放大,然后通过收发开关馈入 VHF 天线发射出去。在接收状态,VHF 天线接收到的信号经过收发开关后送入接收机进行放大、变频和解调后,输出模拟解调信号给基带处理单元解析。

3.2 发射机设计

发射机主要由调制器、锁相环、分频器、声表滤波器、驱动放大器、功率放大器、收发开关及滤波器构成。调制器将从基带处理单元送来的基带信号调制到 4 倍发射频率的载波上,再经过四分频器(该方案,发射杂散指标较容易实现),然后送入放大器,经滤波送入末级功放放大,最后通过大功率射频开关和低通滤波器发送到天线发射。发射机原理图如图 2 所示。

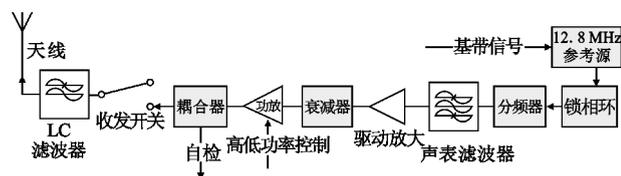


图 2 发射机原理框图
Fig. 2 Block diagram of transmitter

由原理图可见,本发射机的设计十分简洁。与传统设计比较,省去了变频所需要的混频器和本振电路,节约了成本。

3.2.1 调制器设计

调制器是本发射机的核心单元。按照标准规定,AIS 系统应采用 GMSK 调制,BT 值 0.4。若采用数字方式完成调制,要求采用相对昂贵的数字处理芯片才能完成。最简单的产生 GMSK 信号的方法是将不归零信号信息比特流通过高斯基带滤波,其后送入 FM 调制器^[4]。这种调制技术如图 3 所示。

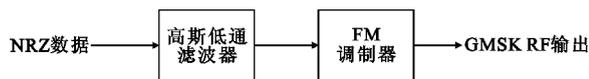


图 3 采用直接 FM 构成的 GMSK 发射机框图
Fig. 3 Block diagram of GMSK transmitter formed with FM modulator

发射基带信号由基带处理单元产生,高斯滤波过程由 AIS 专用芯片完成,信道数据速率为

9.6 kb/s时,其高斯滤波的3 dB带宽计算如下:

$$B_c = \frac{0.4}{T} = 0.4 \times 9.6 \times 10^3 = 3.84 \text{ kHz} \quad (1)$$

式中, T 为数据的周期时间。

传统的 FM 调制采用两点调制方式,即基带信号同时送入发射基准源和发射本振压控振荡器。由于晶振和压控振荡器对调节电压的频率响应特性可以互补,这样可以在最终的调制波形上获得很好的调制频响,但是这种设计的缺点是设计困难,后期调试量大。本方案中我们仅将基带信号作用于 12.8 MHz 压控晶振 (VCXO) 的压控端,完成 FM 调制,即单点调制。图 4 给出了用晶振单点调制方式产生的调制信号在电台综合测试仪解调得到的基带信号,图 5 给出了数字信号源产生的 GMSK 调制信号对应的解调波形。

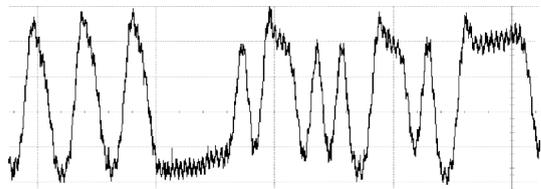


图 4 晶振单点调制信号解调时域波形
Fig. 4 The demodulated time-domain signal of VCXO single point modulation

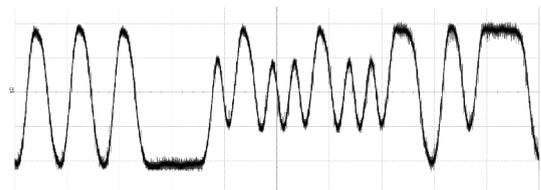


图 5 信号源 GMSK 调制信号解调时域波形
Fig. 5 The demodulated time-domain signal of GMSK signal generator

从解调波形对比看,晶振单点 FM 调制的低频响略差,但就 AIS 的应用要求讲,该失真在可接受的范围。AIS 通信的数据传输率为 9.6 kb/s,连续出现 0 或者 1 的个数最多为 6 个,因此只要保证调制频响在 800 Hz ~ 4.8 kHz 音频范围内的平坦度,该单点调制方案就是可行的。

晶振单点 FM 调制使晶振的选择显得尤为重要。除关注晶振频率准确度以满足射频频率准确度要求外,我们还必须关注晶振拉偏范围这个指标。如果晶振拉偏范围不够,将直接限制本调制器的最大调制频偏,从而影响 GMSK 的调制参数,最终导致通信距离不够,甚至无法通信。GMSK 是 MSK 的

特例,MSK 作为一种特殊的连续相位的频移键控,其最大频移为比特率的 1/4,即 MSK 是调制系数为 0.5 的连续相位的 FSK。FSK 信号的调制系数类似于 FM 调制系数^[5],因此 AIS 信道的 FM 最大频偏应为 2.4 kHz。该最大频偏对应射频中心频率 159 MHz,约为 1.5×10^{-5} ,即我们选择的 VCXO 最大拉偏值应超过 $\pm 1.5 \times 10^{-5}$ 。

用以上调制方案产生的信号带宽可用下式计算:

$$B_r = 2(\beta_f + 1)f_m \quad (2)$$

式中, β_f 为调制指数,此处取 0.5; f_m 为调制频率,由于数字信号速率为 9.6 kb/s,对应音频频率为 4.8 kHz,因此 $B_r = 14.4$ kHz。

3.2.2 VHF 功放设计

AIS 标准要求 Class A 设备,输出功率 12.5 W \pm 1.5 dB^[6];Class B 设备,输出功率 2 W \pm 1.5 dB。

早期的功放设计选择单片式功放,输入输出均需要进行阻抗匹配设计,电路复杂,可靠性差,且功放本身抗烧毁能力差。经比较,本方案选择三菱公司 RA 系列集成功放,该芯片专为非线性 FM 调制设计,输入输出端均已完成 50 Ω 阻抗匹配。经验证,在 AIS 突发工作状态下,该功放可以保持长期开路发射,不损坏。

针对 Class A 设备,选用三菱公司 RA13H1317M 集成功放,该功放工作在 135 ~ 175 MHz,漏极供电电源 12.5 V,最大输出功率 13 W。针对 Class B 设备,本发射机为提高最大通信距离,设置高低功率状态,低功率状态满足 2 W \pm 1.5 dB,增加 6 W 的高功率状态。选用三菱公司 RA07M1317M 集成功放,该功放工作在 135 ~ 175 MHz,漏极供电电源 7.2 V,最大输出功率 6.5 W,通过调节栅压,可以控制输出功率。以上两款功放可用相同推动功率驱动,这意味着,只要更换功放和供电电压而不必重新设计发射前端,就可以得到满足 Class A 和 Class B 的产品,或设计兼容两种类型的产品。

3.3 接收机设计

接收机由限幅器、声表滤波器、低噪放、功分器、下变频器、中频放大器、中频晶体滤波器和解调器等构成。两个 AIS 接收信道在功分器前共用一个信道,功分器后分为两个结构相同的 AIS-A 接收信道和 AIS-B 接收信道。

图 6 给出了单路接收单元原理框图。从接收机原理框图看,本接收机为经典的超外差式接收机,经过两次变频、FM 解调,将射频信号还原为基带信号。

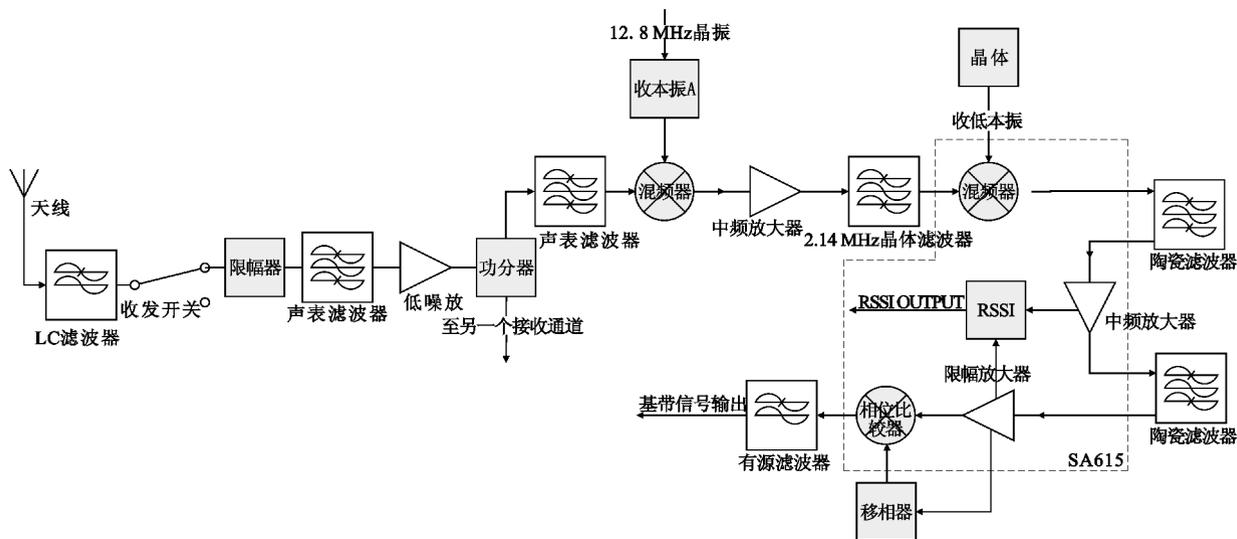


图 6 接收机原理框图

Fig. 6 Block diagram of receiver

3.3.1 接收前端设计

AIS 标准要求接收机灵敏度为 -107 dBm, 兼顾大信号误码率指标、互调响应抑制指标, 初级放大器应选择噪声系数低、增益高、 P_{1dB} 高的放大器。本设计选择安华高科技公司 (Avago) 的低噪声放大器 MGA-62563, 它是一款经济、易用的砷化镓微波集成放大器, 该放大器噪声系数典型值 0.9 dB, 在 AIS 频率范围内增益可达到 24 dB, 输出 P_{1dB} 为 18 dBm。该放大器电路采用先进的 E-pHEMT 技术, 性能可靠, 外围电路简单, 使用方便。

为提高接收灵敏度, 保证接收前端的低噪声系数是非常关键的。低噪放之前的 LC 滤波器、声表滤波器的插损指标应严格控制。由于 LC 滤波器的主要功能是滤除发射谐波, 为了降低其插损, 可选择三级低通滤波器形式, 插损可以控制在 0.2 dB 以内。声表滤波器选择 Colledge 公司的声表滤波器 MA06510, 该声表滤波器通带恰好与 AIS 频段吻合, 通带内插损典型值仅 2.3 dB。

接收机的总噪声系数根据以下公式计算:

$$NF = NF_1 + \frac{NF_2 - 1}{G_1} + \frac{NF_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots \quad (3)$$

式中, NF 代表各级器件的噪声系数, G 代表各级的增益。代入各级噪声系数和增益, 可得到本接收机的总噪声系数为 5.4 dB。根据以下公式可估算出灵敏度:

$$p_{\min} = -174 + NF + 10 \lg B_T + SNR \quad (4)$$

其中, NF 为信道噪声系数, 此处取 5.4 dB; B_T 为信道带宽, 此处取 15 kHz; SNR 为接收机输出信噪比, 这里

取 $SNR = 12$ dB。最终可得灵敏度约 -114.8 dBm, 满足最低输入电平 -107 dBm 的要求。

3.3.2 本振设计

由于两个接收通道需独立同时工作, 而本接收机采用二次变频的方案, 因此共需要四路本振。中频方案的选择, 兼顾避免组合频率干扰和低成本。两个通道的一中频分别选为 21.4 MHz 和 21.7 MHz, 两个通道的二中频均选为 455 kHz。以上中频频率均为标准值, 中频滤波器可以很容易得到。这样, 一本振为变本振, 需在 $134.325 \sim 140.635$ MHz 间可调; 二本振为定本振, 频率分别为 20.945 MHz、 21.245 MHz。

一本振选用亚德诺公司 (AD) 的 ADF4208, 该芯片是 AD 公司双频综器家族的成员, 其内部的每个频综器都包括各自的低噪声数字鉴相器、精密电荷泵、可编程参考分频器、A 和 B 寄存器、双模预分频器, 且两个环都可工作于以上一本振频率范围内, 同时为两个接收通道分别提供本振。

二本振可用晶振提供固定频率, 不仅成本低, 相噪指标也较高。

3.3.3 邻道抑制分析

邻道抑制要求不小于 70 dB。该指标是指位于有用信号频率一个相邻波道的干扰信号, 在经过混频后, 其相位噪声落入中频, 造成有用信号信噪比下降, 最终造成接收机灵敏度下降的容忍度。所以邻道指标可理解为当邻道干扰信号比有用信号大 70 dB 时, 灵敏度允许下降 6 dB (以原灵敏度为 -107 dBm 计), 该指标与干扰信号的相位噪声、接收机本振的相位噪声和中频带宽都有密切关系。

干扰信号的相噪无法通过信道改善,要提高邻道抑制的测试结果,只能尽量在测试时选用相噪好的干扰信号源。其次,信道的中频带宽已经由整个系统决定。根据公式(2)得到,AIS 发射信号带宽 14.4 kHz,即 98% 的传输功率集中在以上带宽内,与此带宽最接近的标准中频滤波器带宽为 ± 7.5 kHz。若考虑邻道抑制指标,可适当选择带宽稍窄的滤波器,但定制的中频滤波器会带来成本的增加。因此,要提高接收机邻道抑制指标,能做的主

要工作就是改善本振信号的相噪。

3.3.4 解调器设计

FM 解调采用恩智浦公司 FM 中频系统集成芯片 SA615,该芯片包含有源混频器、线性放大器、限幅放大器、鉴频器,图 6 虚线框的部分即是该器件的框图。通过外部本振输入、两级晶体滤波器、移相器的配合,SA615 便可以完成二中频处理的全过程,输出 FM 解调后的基带信号。

SA615 及外围详细电路如图 7 所示。

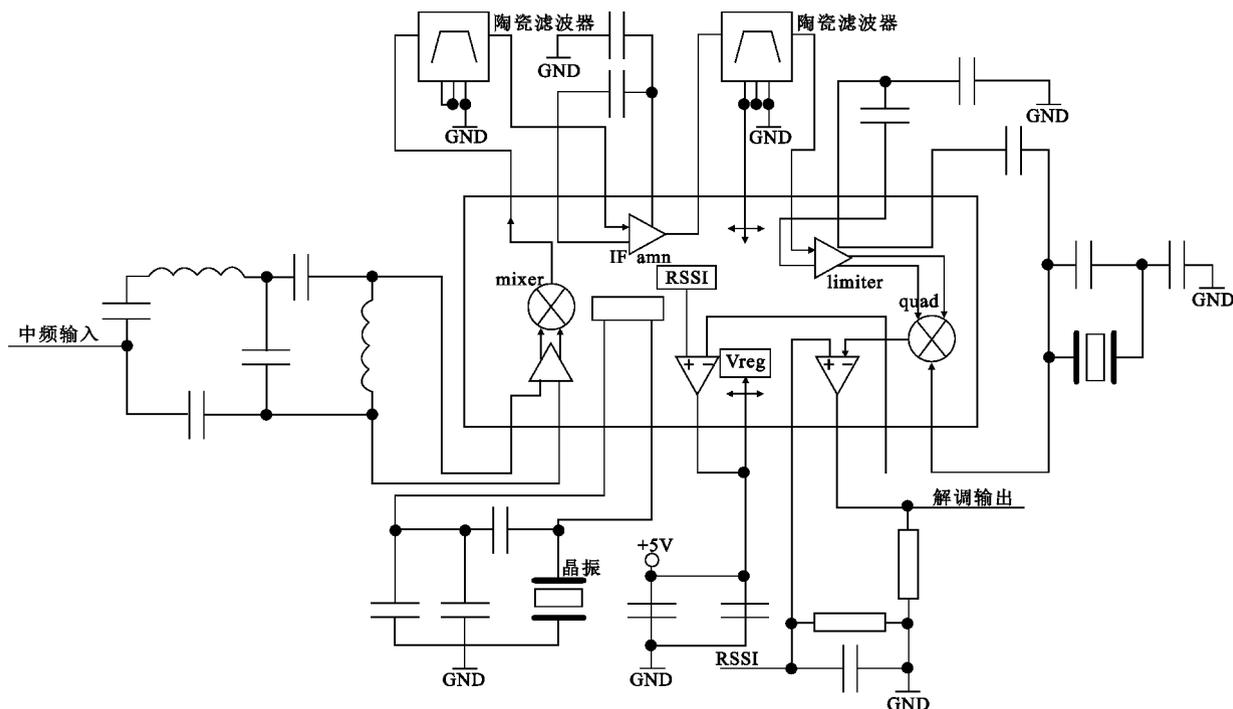


图 7 SA615 详细电路
Fig. 7 Detailed circuit of SA615

SA615 采用非相干解调,核心部件就是其正交鉴频器。FM 信号经过相移网络后,生成与 FM 信号电压正交的参考信号电压,它与输入的 FM 信号电压同时加入相乘器,相乘器的输出再经过低通滤波器,便可还原出基带信号。

4 结构布局

本信道方案大量选用高集成度的器件,可实现轻量化和小型化。将 VHF 信道与基带处理单元、GPS 接收机、电源单元设计在一个单板上,可以进一步简化生产流程,节约成本。但单板设计会带来电磁兼容问题,需要加以考虑。

通过多次改版,本信道形成如图 8 所示的布局。

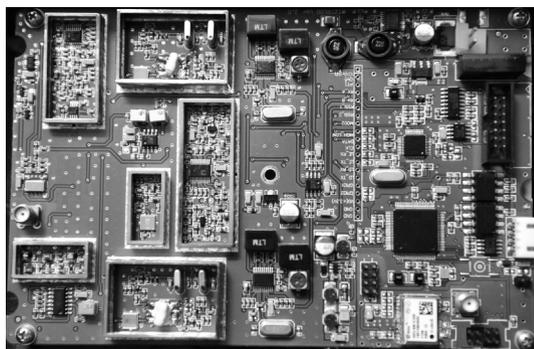


图 8 VHF 信道实物照片
Fig. 8 Photograph of VHF channel

将发射功放、接收前端、收发本振分别置于独立的屏蔽腔内。功放与接收电路分别置于印制板两面,采用多层板、中间地层与屏蔽盒体共同作用,有

效分隔各功能单元,实现了 VHF 信道与基带处理单元、GPS 接收机、电源单元的单板设计,有效避免了数字电路对信道的干扰和信道单元间干扰。

5 系统测试

IMO 的标准不仅对 AIS 的指标作出了明确规定,也给出了详细的测试方法。表 1 给出了常温条件下对 10 套 AIS Class B VHF 信道主要指标进行测试后的平均结果。

表 1 AIS Class B VHF 信道主要指标测试结果
Table 1 Test results of main index of AIS Class B transceiver

测试项目	指标要求	实测结果
发射功率/W	2±1.5 dB	2.2
接收灵敏度/dBm	20% PER@ -107	20% PER@ -113
大信号误码率/dBm	10% PER@ -7	5% PER@ 0
邻道抑制/dB	20% PER@ 70	13% PER@ 70
同道抑制/dB	20% PER@ 10	5% PER@ 10
互调响应抑制/dB	20% PER@ 65	12% PER@ 65

从测试结果看,本设计以上指标均已达到或优于 IMO 标准要求。

6 结束语

AIS 在世界范围已得到广泛应用。按照通用 AIS 的安装要求,2002 年 7 月 1 日以后新造的 300 t 以上船舶和所有新造客船都必须安装 AIS 设备,在此时间之前制造的船舶,也按吨级制定了安装时间表^[7]。我国作为海洋大国、航运大国,为 AIS 的应用提供了广阔空间,其市场潜力巨大,研制具有自主知识产权的 AIS 设备,不仅是顺应我国航海科技发展的需要,也是经济发展的需要,具有十分重要的意义。

目前,本 AIS VHF 信道已通过各项射频指标详细测试,并通过中国船级社(CCS)认证,已应用于相关的 AIS 系列产品,并在我国内河、近海大面积使用。长期生产、使用证明,该 VHF 信道设计方案结构布局合理,硬件成本低,调试量小,返修率低,适于大批量生产。

参考文献:

- [1] GB/T 20068-2006, 船载自动识别系统(AIS)技术要求[S].
GB/T 20068-2006, Technical Requirements of Shipborne Automatic Identification System(AIS) [S]. (in Chinese)
- [2] 电讯技术编辑部. 船舶自动识别系统(AIS)的应用与技术研究[J]. 电讯技术, 2005, 45(增1): 1-132.
Telecommunication Engineering Agency. Study on Application and Technology of AIS[J]. Telecommunication Engineering, 2005, 45(Supp. 1): 1-132. (in Chinese)
- [3] IEC 62287-1, Class B shipborne equipment of the automatic identification system (AIS) —Part 1: Carrier-sense time division multiple access (CSTDMA) techniques[S].
- [4] 陈邦媛. 射频通信电路[M]. 2 版. 北京: 科学出版社, 2006.
CHEN Bang-yuan. RF Communication Circuit[M]. 2nd ed. Beijing: Science Press, 2008. (in Chinese)
- [5] Rappaport T S. 无线通信原理与应用[M]. 蔡涛, 李旭, 杜振民, 译. 北京: 电子工业出版社, 2012.
Rappaport T S. Wireless Communication Principles and Practice[M]. Translated by CAI Tao, LI Xu, DU Zhen-min. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2001. (in Chinese)
- [6] IEC 61993-2 Class, A shipborne equipment of the automatic identification system (AIS) —Operational and performance requirements, methods of test and required test results[S].
- [7] 时宏伟. AIS 的发展现状及其前景[J]. 电讯技术, 2005, 45(1): 1-7.
SHI Hong-wei. The development status-quo and prospects of AIS[J]. Telecommunication Engineering, 2005, 45(1): 1-7. (in Chinese)

作者简介:



张翼周(1978—),男,四川什邡人,2004 年于电子科技大学获硕士学位,现为工程师,主要研究方向为船舶自动识别系统。

ZHANG Yi-zhou was born in Shifang, Sichuan Province, in 1978. He received the M. S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2004. He is now an engineer. His research concerns automatic identification system.

Email: cd_zyz@sina.com