

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.07.018

引用格式:高岸梅.时间同步系统短波校时失败分析及解决方法[J].电讯技术,2014,54(7):964-968.[GAO An-mei. Timing Failure of Short-wave Receiver in Time Synchronization System:Reason Analysis and Solution[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(7):964-968.]

时间同步系统短波校时失败分析及解决方法^{*}

高岸梅^{**}

(中国西南电子技术研究所,成都 610036)

摘要:针对时间同步系统短波校时失败的现象,给出了一种数模结合实现的相关自动增益控制(AGC)电路模型。短波校时接收机采用超外差接收机方案,结合短波授时的特点,找到校时失败的原因。介绍了短波授时的信号格式,分析了模拟非相关自动增益控制电路对接收机的影响——模拟的自动增益控制电路容易使传输信号的幅度和相位发生畸变,并且对输入信号的响应时间慢。最后通过分析计算,建立了数模结合的相关自动增益控制电路模型。实验测试结果表明,采用此设计的短波校时接收机能解决信号格式及信道失真引起的短波校时的不同问题,对短波校时接收机的设计具有指导作用。

关键词:时间同步;短波校时接收机;自动增益控制;信号格式
中图分类号:TN911 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)07-0964-05

Timing Failure of Shortwave Receiver in Time Synchronization System:Reason Analysis and Solution

GAO An-mei

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

Abstract: The model of coherent automatic gain control(AGC) circuit combining digital and analog method is given to solve the failure of time calibration in the synchronization system. The shortwave receiver adopts the scheme of super heterodyne receiver to find out the reasons of failure according to the characteristics of shortwave timing service. The signal format of shortwave timing service is introduced, the effect of analog noncoherent AGC circuit on the receiver is analyzed that the AGC circuit may distort the amplitude and phase of signal while the response time of the input signal appears to be slowed. The coherent AGC circuit model combining digital and analog method is established through analysis and calculation. The test results prove the effectiveness of the designed shortwave timing receiver. The method provides reference for designing shortwave timing receivers.

Key words: time synchronization; shortwave timing receiver; AGC; signal format

1 引言

很多军民用电子系统中均采用时间同步技术,精确的时间是一个很重要的参数,当系统时间校准一旦失败,就不能提供精确的时间信息,导致整个时

间同步系统无法正常工作,而校时接收机则扮演了这个很重要的角色。

采用短波授时用于时间同步系统,其优点是短波授时利用电离层对短波无线电信号的反射,将标

^{*} 收稿日期:2014-06-06;修回日期:2014-07-14 Received date:2014-06-06;Revised date:2014-07-14

^{**} 通讯作者:gaoanmei@sina.com Corresponding author:gaoanmei@sina.com

准化时间频率信号发送至远方,这使得短波授时的覆盖面大;其缺点是由于反射电离层高度变化、电离层电子密度随时间的变化以及自然条件变化对里层的扰动等影响,会造成短波电波传播时延的不稳定,使短波传播时延误差达到毫秒量级。由于电离层的影响,短波时号(无线电台发播时间信号,简称时号)的传播存在明显的衰落,多径效应、多普勒频移等都给短波时号的传播带来影响,使短波授时的精度限制在毫秒量级。

由于短波授时频率范围为 2.5 ~ 25 MHz,广泛地应用在气象、商业等场合,工业频率的干扰较大。短波授时存在的多种衰落和多径延时使其接收信号存在随机性和不稳定性,尤其是接收信号时强时弱,幅度变化大,背景噪声大,信噪比低,波形失真较为严重,这都给短波接收机设计带来一定困难。

随着短波通信技术的成熟和发展,短波频段间的干扰越来越严重,传统的模拟接收机的数字化成为必然趋势,能否正确接收、解调得到高质量的短波信号已经成为一个非常重要的现实问题。随着信号处理技术的发展和器件性能的提升,模拟器件正逐渐被数字芯片取代,同时传统的短波接收机正朝着先进的数字接收机方向发展。本文主要介绍时间同步系统短波校时接收机采用数模结合的相关 AGC 模型,其中 AGC 和信号处理均采用数字化实现,解决了不同信号格式及信道失真引起的短波校时失败的问题。

2 短波授时信号格式及校时失败原因分析

时间同步系统校时接收机采用短波校时,由短波接收机和信号处理两部分完成对短波时号的处理。短波校时接收机是时间同步系统中的一个重要组成部分,主要是为时间同步系统提供精确时间信息。

在系统校时过程中,采用天线直接接收短波授时台发送的短波时号。时号分为世界时(UT1)和协调时(UTC)。短波时号是键控调幅信号,信号格式如下:

世界时秒信号格式为:以 1 kHz 音频信号中的 100 个周波去调制其发射载频,以产生长度为 100 ms 的音频信号,其起点为世界时的秒起点,每秒产生一个这样的时号,两个时号起始之间的间隔为时间时的 1 s^[1];

协调时秒信号格式为:1 kHz 音频信号,10 个周

波(10 ms 音频信号),其起点为协调时的秒起点。每秒产生一次,两起点间隔为 1 s;

世界时分信号格式为:以 1 kHz 音频信号中的 300 个周波去调制其发射载频,以产生长度为 300 ms 的音频信号,其起点为世界时的分起点;

协调时整分信号格式为:以 1 kHz 音频信号中的 300 个周波去调制其发射载频,以产生长度为 300 ms 的音频信号,起点为协调时整分信号。

时间同步系统短波校时接收机采用超外差接收机方案,如图 1 所示。将天线接收到的短波信号经窄带滤波器、放大、混频、中频滤波,再放大、检波^[2]。因为信号在空中传播,以及经放大、混频后,波形中存在噪声及干扰,所以必须对其进行预处理。本方案有以下三个特点:

(1)利用窄带滤波可大幅衰减工业频率的干扰和带外噪声,使在接收机输出端获得较干净的信号,以便信号处理时利用时域选通措施将标准秒和标准分提取出来;

(2)由于短波时号存在波形失真严重,我们在信号处理中通过数字化实现方案完成对宽度的鉴别,通过不同的鉴别标准并扣除电波的传播时延、接收机时延和软件处理等带来的误差,就可以输出标准秒同步信号和标准整分同步信号;

(3)短波接收机在接收信号时,由于电离层的变化、衰落和接收信号条件等不同,其输入端信号电平在很大范围内变化,引起输出电平是随外来信号的大小而变化的,接收机的输出端会出现强弱非常悬殊的信号电平。

为此,短波接收机中非常强调自动增益控制(AGC)电路,AGC 电路是一种在输入信号幅度变化很大的情况下,使输出信号幅度保持恒定或仅在较小范围内变化的自动增益控制电路^[3]。

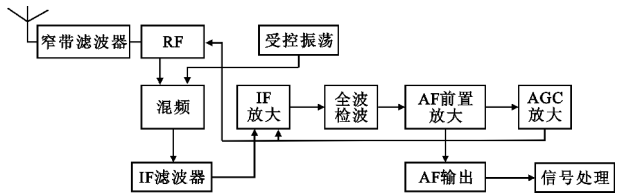


图 1 短波接收机组成原理框图
Fig.1 Block diagram of shortwave receiver

时间同步系统中,短波校时成功的判决为:接收短波授时台 BPM 时号后,经过鉴宽、整形以后输出的整分信号及秒信号如图 2 所示。解调后信号幅度大于 4 V,并且有连续两个以上的秒信号(信号宽度

符合要求,信号间隔符合要求)及分信号(信号宽度符合要求,信号间隔符合要求),即满足校时成功的条件。

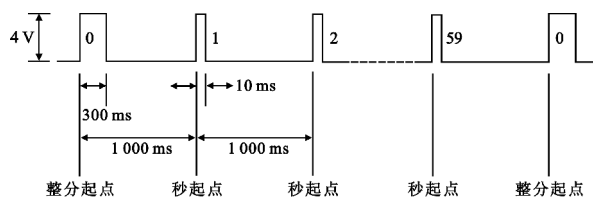


图2 理想输出波形

fig. 2 The ideal output waveform

当 AGC 响应时间不够快时,会造成短波接收机在接收短波授时台 BPM 时号时出现解调波形失真,有 3 种状态:一是经过鉴宽、整形后幅度不够;二是经过鉴宽、整形后波形畸变;三是经过鉴宽、整形后丢失脉冲个数,最后造成判决校时失败。

3 数字模拟相关 AGC 方案的实现

在接收机中使用 AGC 电路的主要目的是在满足系统接收灵敏度要求的同时,提高系统的动态范围,并且要及时响应输入信号的强弱变化,防止接收机前端电路在强信号时被阻塞或小信号时丢失。实现接收机动态范围的功能是接收机中的自动增益控制电路,它是接收机中最重要的功能电路之一。

在模拟的短波接收机中,增益控制是通过可变增益放大器实现的,根据实际情况下的动态范围和噪声图完成增益控制的分配^[4]。当输入信号变化时,增益可以由人工调节或由反馈控制系统自动完成。在反馈控制系统中,信号的强度经平方律器件检波后,反馈到可变增益级,控制信道增益的变化。这种反馈电路是一个经典的控制系统,电路的动态平衡是靠 AGC 的“充电”和“放电”来实现的^[5],在短波接收机的 AGC 电路中,使用较为普遍的是闭环延迟式 AGC,利用信号包络产生的控制电压来实现对接收机放大系统增益的自动调节,如图 3 所示。

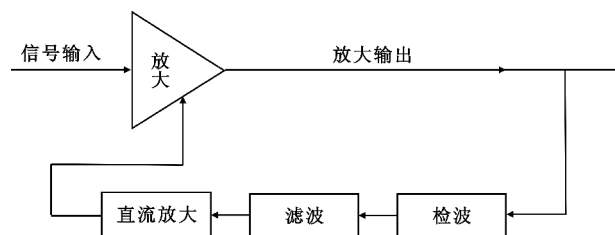


图 3 模拟 AGC 框图

Fig. 3 Block diagram of analog AGC

如果采用模拟电路来实现 AGC, 不仅电路比较复杂, 使用器件较多, 而且模拟器件对干扰信号很敏感, 容易使得传输信号的幅度和相位发生畸变, 这对短波校时是十分不利的。更严重的是, 由于非相关模拟 AGC 对输入信号的响应时间慢, 引起时间同步系统短波校时的失败。

随着数字信号处理技术及集成电路的发展,数字相关 AGC 的应用越来越成熟。为了保证 AGC 电路的稳定性和可靠性,考虑到数字技术高可靠性、强灵活性等优点,采用数字相关 AGC 系统进行理论分析和设计^[6]。图 4 为基于数字相关 AGC 设计的接收机框图。

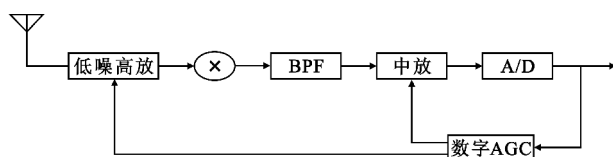


图4 数字相关 AGC 接收机框图

Fig. 4 Block diagram of digital AGC receiver

在 AGC 设计时, AGC 的控制量必须满足动态范围的要求,例如在接收通道需要实现 80 dB 控制量,我们参考 AD 公司的 AD83 系列可控放大器增益变化量一般在 40 dB 左右,因此必须采用多级 AGC 级联电路才能确保控制范围^[7]。同时,为了确保整个接收机通道各级放大器不会被大信号阻塞,我们采取高放 AGC 和中放 AGC 两级控制方案。AGC 控制电压统一由中频信号检波后得到,再分别控制高放的增益和中放的增益。

图 5 为数模结合实现的相关 AGC 的模型, AGC 和信号处理均采用数字化实现。在 ADC 后数字中频进行包络检波或者平方律检波, 得到输出信号的能量信息, 该信号与参考信号进行比较, 得到误差电压, 误差电压经过环路滤波等处理清除干扰信号后得到所需的 AGC 控制信号, 控制信道的增益, 最终得到稳定的中频信号。幅度检波、直流信号比较以及环路滤波和控制信号产生均采用在数字域实现。环路带宽的设计, 必须考虑短波时号的变化速率。短波时号变化快, 在上一时隙信号强度可能是 -63 dBm , 而在下一时隙信号强度可能已经变为 -94 dBm 。不仅变化范围大, 而且变化速率快, 环路带宽宜为变化速率的 10 倍左右, 带宽设计太小, 环路响应的速率变慢; 带宽设计过大, 会引入过多的噪声。在这个环路中采用负反馈设计, 以保持放大后

增益的相对稳定,使得放大增益在短波信号大小不稳定情况下保持稳定输出的效果。

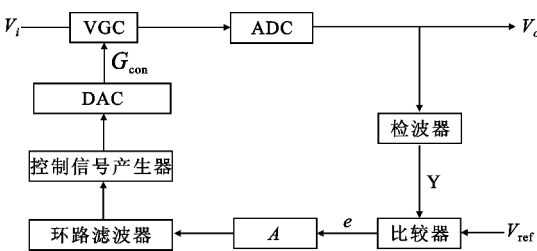


图 5 数模结合实现的相关 AGC 模型

Fig.5 Coherent AGC model combining digital and analog implementation

从图 5 中可以得到 AGC 环路的等效模型,如图 6 所示。

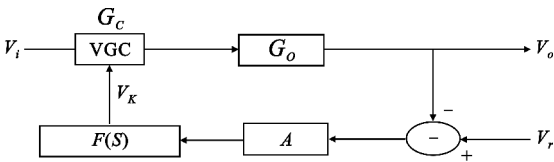


图 6 AGC 环路等效模型

Fig.6 Equivalent model of AGC circuit

由图 6 可以得到

$$G_c = K_c \cdot V_k \tag{1}$$

式中, K_c 为 AGC 电压控制增益系数,量纲为“倍/伏”。

信道增益为 $G_c \cdot G_o$,从图 6 中可以得到

$$V_o = G_c \cdot G_o \cdot V_i \tag{2}$$

$$V_o = A \cdot F(S) \cdot K_c \cdot G_o \cdot (V_r - V_o) \tag{3}$$

则

$$V_o = \frac{A \cdot F(S) \cdot K_c \cdot G_o}{1 + A \cdot F(S) \cdot K_c \cdot G_o} V_r \tag{4}$$

式中, $F(S)$ 为环路滤波器的传递函数, A 为反馈支路增益常数。当 $A \cdot F(S) \cdot K_c \cdot G_o \gg 1$ 时, $V_o \approx V_r$ 。

由于短波授时台发送的短波时号是键控调幅信号,环路响应时间应该适应解调后各种时号的信号宽度(解调后秒信号宽度约为 10 ms,分信号宽度约为 300 ms),一般情况下,响应时间的设计应小于解调后最窄的信号宽度的 10%。在接收机用作不同功能时,我们可以通过设定不同的放大倍数和环路带宽满足各功能的要求,达到 AGC 环路的最佳设计。

4 试验与分析

我们对 AGC 响应时间不够快和响应时间足够

快这两种状态进行了实验。

使用模拟 AGC 系统能提供对输出的振幅连续监测和对可变增益放大器的连续调整,但是由于短波授时台的短波时号是间断地输出调幅信号,这种 AGC 系统没有输出电压对输入端的反馈,虽在输入信号幅度发生变化时,仍能使输出幅度不变,但是响应时间相对较慢,对系统参数的变化敏感。AGC 控制电压是直流电压,RC 低通滤波器的时间常数应该根据信号的形式来选择,RC 时间常数太大,AGC 控制电压跟不上信号的变化。而使用数模结合实现的相关 AGC 系统可以监测输出信号,并在间断期间迅速调节增益,在其余时间环路增益保持恒定。这种数模结合实现的相关 AGC 系统输出电压对输入端有反馈作用,能准确地保持接收机的输出电压不变,同时具有更快的响应时间。环路的收敛时间即收敛系数可以通过计算得到。

用采样示波器对波形进行监测,分别观察并采集一个秒信号和一个分信号图形。在模拟 AGC 系统中响应时间不够快的情况下,测得 3 种异常的波形分别如图 7~9 所示,通过运用数模结合实现的相关 AGC 系统后响应时间足够快,得到正常的波形如图 10 所示。

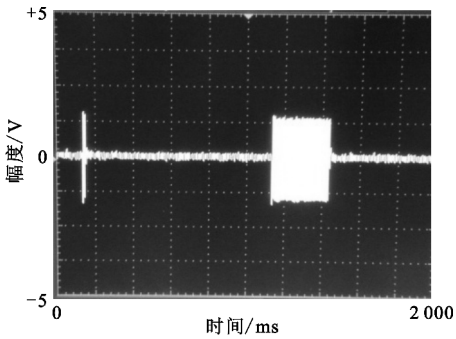


图 7 幅度不够的波形

Fig.7 The waveform whose amplitude is not enough

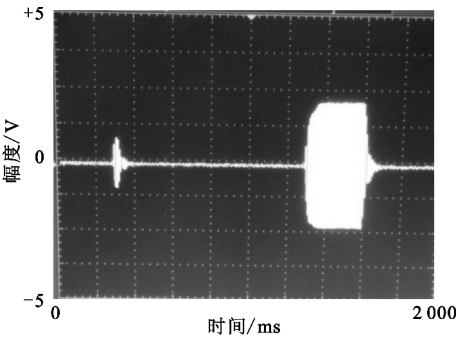


图 8 波形畸变的波形

Fig.8 The distorted waveform

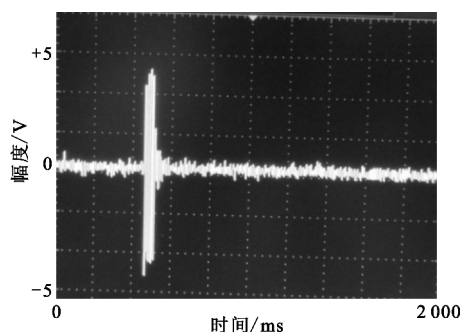


图9 个数不够的波形

Fig.9 The waveform with insufficient number

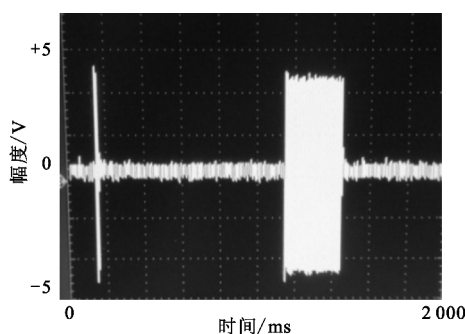


图10 正常的波形

Fig.10 The normal waveform

5 结束语

本文主要针对短波校时失败的现象,对短波校时接收机关键技术进行理论推导和分析运算,建立了数模结合实现的相关 AGC 电路模型。模型中,在 ADC 后数字中频经过包络检波的能量信息与参考信号进行比较得到误差电压,该电压经过环路滤波后得到的 AGC 控制信号来控制信道增益,通过改变环路带宽可调整环路的响应时间,最终解决了短波校时接收机在接收 BPM 时号出现的解调波形失真的问题。

本文的研究结果可用于指导时间同步系统短波校时接收机的设计与应用,同时,利用本文给出的模型和方法,下一步将研究不同类型的信号格式下接收机的设计与关键技术。

参考文献:

- [1] 焦明涛. 数字化 BPM 短波接收机基带信号处理关键技术研究[D]. 北京:中国科学院,2012:5-8.
JIAO Ming-tao. Study on the Crucial Techniques of BPM Shortwave Baseband Signal Processing Digital Timing Receiver[D]. Beijing:Chinese Academy of Sciences,2012:

5-8. (in Chinese)

- [2] Haykin S. 通信系统[M]. 4 版. 宋铁成,译. 北京:电子工业出版社.2012.
Haykin S. Communication Systems [M]. 4th ed. Translated by SONG Tie-cheng. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2012. (in Chinese)
- [3] 童智勇,陈佳民,杨汝良. 用于星载 SAR 数字 AGC 增益控制的双门限步进法[J]. 遥感技术与应用,2007,22(1):83-85.
TONG Zhi-yong, CHEN Jia-min, YANG Ru-liang. Two-Threshold Step-Tune-A Gain Control Method for Digital AGC in Space-borne Synthetic Aperture Radar[J]. Remote Sensing Technology and Application,2007,22(1):83-85. (in Chinese)
- [4] 沈小虎,郭坚,程惠霞. 遥控副载波数字化解调中 AGC 的设计[J]. 航天器工程,2009,18(2):106-107.
SHEN Xiao-hu, GUO Jian, CHENG Hui-xia. Design of a AGC in Digital Telecommand Sub-Carrier Demodulation [J]. Spacecraft Engineering, 2009, 18 (2): 106 - 107. (in Chinese)
- [5] 喻斌,陈军波,李青侠. 数字 AGC 的分析和设计[J]. 桂林电子工业学院学报,2003,23(5):35-37.
YU Bin, CHEN Jun-bo, LI Qing-xia. The Analysis and Design of the Digital AGC Model[J]. Journal of Guilin University of Electronic Technology, 2003, 23 (5): 35 - 37. (in Chinese)
- [6] 徐淑军. 短波接收机射频前端电路设计与实现[D]. 大连:大连海事学院,2011:22-36.
XU Shu-jun. The Design and Implementation of RF Front-end Circuit in the Shortwave Receiver[D]. Dalian: Dalian Maritime University,2011:22-36. (in Chinese)
- [7] 马战刚,张宇平,孙弋,等. 大动态范围 AGC 电路在接收机中的应用[J]. 半导体技术,2010,35(2):191-193.
MA Zhan-gang, ZHANG Yu-ping, SUN Yi, et al. Large Dynamic Range AGC Circuit Applied in Receiver[J]. Semiconductor Technology,2010,35(2):191-193. (in Chinese)

作者简介:



高岸梅(1979—),女,重庆人,2008 年于电子科技大学获硕士学位,现为工程师,主要从事二次雷达系统方面的研究。

GAO An-mei was born in Chongqing, in 1979. She received the M. S. degree from University of Electronic Science and Technology of China in 2008. She is now an engineer. Her research concerns secondary radar system.

Email:gaoanmei@sina.com