

# MFSK 水声通信接收系统中的幅度均衡设计\*

许肖梅 陈东升 童 峰

(厦门大学海洋学系 361005)

**摘要** 为了抗幅度随频率的衰减,提出了一种基于多频移频键控(MFSK)调制方式的水声通信接收系统中的幅度均衡技术,介绍了构成幅度均衡电路的基本原理以及在厦门港浅海域中的实验结果。实验结果表明,该技术能有效克服接收系统中的声信号幅度随频率的衰减问题,使接收到的图像清晰易读。

**关键词** 声衰减,幅度均衡,灵敏频率控制,自动增益控制

海洋声信道是一种极其复杂的随机时-空-频变的多途信道,不同频率的声波在这样的信道中传播,其幅度衰减系数将随与频率有关的吸收变化而迅速变化。目前,在浅海中,远程距离,多途严重,位相快速变化的信道中,往往采用FSK调制方式的非相干检测方式传输信息,当要传输的信息量足够大时,采用多进制移频键控(MFSK)方式,即以频率码元代表一个多位二进制代码的信息,其优点之一是大大地提高了信息的传输速率。然而,对于以MFSK调制方式的信号接收系统,由于不同频率的信号在水下的传输中其幅度的衰减系数不同,而MFSK信号所占用的频带相对较宽,因此由于频率的变化而在接收端产生的幅度动态变化范围也较大。这样,压缩由信号的频率变化而引起的接收端幅度动态变化范围是十分关键的技术。

## 1 海水中声衰减和传播损失

海水介质中一般含有各种杂质,如气泡、微小硬粒子、浮游生物以及湍流形成的温度不均匀区域等,声波在这种信道中传播规律也必然是十分复杂的。造成海水中声波声强衰减的主要原因有:(1)由于海水的黏滞或其他原因而使声能改变为热能的声吸收;(2)海水介质不均匀对声波的散射;(3)声传播过程中声波波振面的扩大;(4)海水中声速的不均匀而引起的异常衰减,在浅海中还有海面、海底反射时所引入的附加衰减。

对于水声通信系统来说,水声信道的波导特性使得接收器收到的信号强度与其所处的空间位置有关,另外声吸收将严重地限制发射的载波频率以及系统的工作频率带宽,随着载波频率的增高,声强将迅速

衰减。图1是综合了许多学者测量的结果绘出的海水的声吸收系数随频率的变化曲线<sup>[1]</sup>。

Sheehy 和 Halley 曾总结出一个海水衰减系数  $a$  (dB/km) 随频率  $f$  (kHz) 变化的简单近似表达式:

$$a = 0.036 f^{1.2}$$

由于各个实际的海区中海水的成分不一,汽泡、悬浮粒子等的大小、浓度不同,因而各海区的声衰减系数也不同。图2为1997年5月在厦门港浅海域,距离10 km,发射频率为15~21 kHz时测量到的声强平均衰减系数。

当只要求传播损失的粗略近似时,可用球面扩展加吸收损失作为近似。传播损失  $L_T$  (dB) 等于:<sup>[1]</sup>

$$L_T = 20 \lg r + ar \times 10^{-3}$$

式中,距离  $r$  的单位为 m。从图2看出,在15~21 kHz之间的频率范围内,频率的变化与其声强的幅度衰减系数近似成线性关系。这样,当发射的频率越高、传输距离越远时,则接收到的信号幅度也越小。如在传输距离为10 km时,在15 kHz与21 kHz之间声波的幅度衰减约相差15 dB。在作者所研究的以多频移频键控调制方式的视频图像水下声传输系统中,以  $M$  个频率代表  $M$  个灰度级,发射的脉冲序列是不间断的。如图像灰度16级,加上同步信息,共需17种频率,换能器的频段为15~21 kHz(带宽为6.5 kHz)。因此,对于以MFSK调制信号的水声通信系统来说,在接收端应采用幅度均衡的方法,用来压缩在MFSK信号中由于频率的变化而引起的接收信号幅度的动态变化范围。

\* 福建省自然科学基金资助项目 D9910007号。

收稿日期:2000-04-20;修回日期:2000-06-13

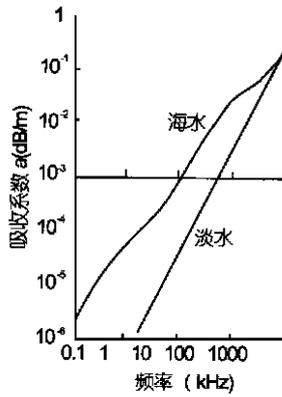


图1 淡水和海水的吸收系数

Fig. 1 Absorption coefficient of freshwater and seawater

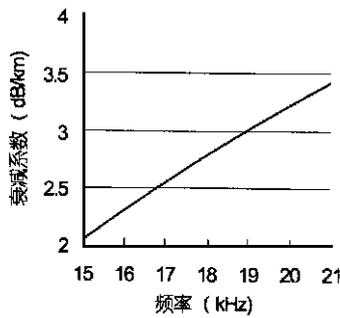


图2 厦门港浅海域海水声衰减系数

Fig. 2 Acoustic attenuate coefficient of seawater in Xiamen Harbor

## 2 幅度均衡原理

### 2.1 灵敏度频率控制(SFC)电路的设计

灵敏度频率控制 SFC 电路的设计与一般的放大器电路设计不同,一般的放大器大都要求其带内幅频特性平坦,而在 SFC 电路的设计中却要求带内幅频特性按一定的斜率上升,即将放大器的增益作为频率的函数来实现控制。SFC 电路上升频率响应的斜率可根据实际海区海水衰减系数的曲线来推算,从测量数据可知一般约在 +3 dB 倍频程 ~ +6 dB 倍频程左右,因此,其传递函数形式为:

$$K(s) = K_0(1 + t_D s)$$

其中:  $K(s)$  为放大器增益;  $s$  为复频率;  $K_0$ ,  $t_D$  为常数。

根据上式可得如图 3 所示的频率特性曲线,图 4 为它的电路图,其为比例-微分电路,它具有反相结构<sup>[2]</sup>。

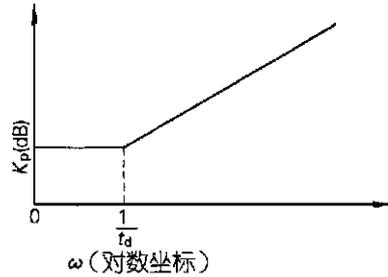


图3 频率特性曲线

Fig. 3 Frequency characteristic curve

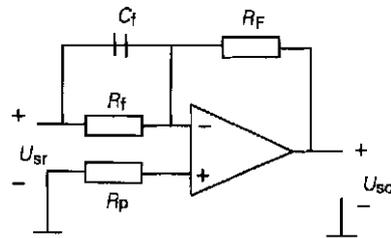


图4 电路原理

Fig. 4 Electric circuit diagram

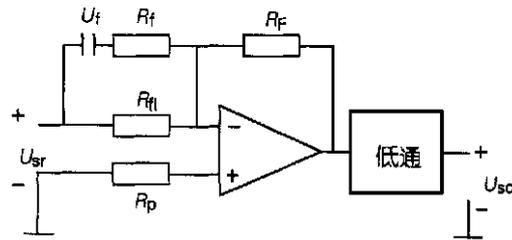


图5 改进后的电路

Fig. 5 Circuit diagram of improve ment

该电路的主要特征是在低频段它的增益低,在高频段它的增益高,即增益随频率升高而增高,而这点正是电路设计所需要;另外其输出超前于输入,但相位超前对于 MFSK 信号没有影响,因此可以此作为 SFC 电路的理论模型。该电路的主要缺点是高频噪声过大,即时输入信号不包含这种高频分量,然而运算放大器本身的高频噪声在这样的微分电路中将被放大。为克服高频噪声,应避免出现共振峰,这可通过将阻尼系数加大到等于或接近于 1 来使系统处于临界阻尼状态,从而消除斜坡响应中的振荡,达到抑制噪声的目的。此外同时选用高输入阻抗、低噪声运算放大器及高精密度阻容元件构成电路,改进后的电路如图 5 所示。其中:  $K_0$  为比例增益;  $K_D$  为微分增益;  $t_D$  为微

分时间。

改进后的频率特性与原性电路在主要频段上的特性基本相同。但改进后的频率特性在出现共振峰之前高频端增益就开始受到限制,这样高频噪声就得到有效的抑制。

### 2.2 AGC 电路的设计

对于以 MFSK 调制信号的水声通信接收机来说,在某一接收距离上接收到的信号幅度大小除了与发射的频率有关外;在不同的接收距离上接收到的信号幅度大小变化也很大,由声传播损失可知,同一频

率信号在 1 km 与 10 km 处接收到的信号幅度变化可达 50 ~ 60 dB。这样,除了 SFC 电路外,在不同的接收距离处,还需要设计自动增益控制 AGC 电路。

作者采用了高速高精度模拟乘法器构成了一个精密自动增益控制(AGC)电路。如图 6 所示。

图 6 中,输入信号  $v_i$  的峰值幅度可为 10 mV ~ 10 V,频率为 100 Hz ~ 500 kHz,加在 X 输入端;控制直流电压  $V_c$  可为 1 ~ 10 V,加在 Y 输入端。 $A_2$  与其外围元件  $R_1, R_2, C_2, D_2$  构成具有嵌位功能的比较积分器, $A_2$  输出电压  $U$  加在 AD 734 的外控分母电压

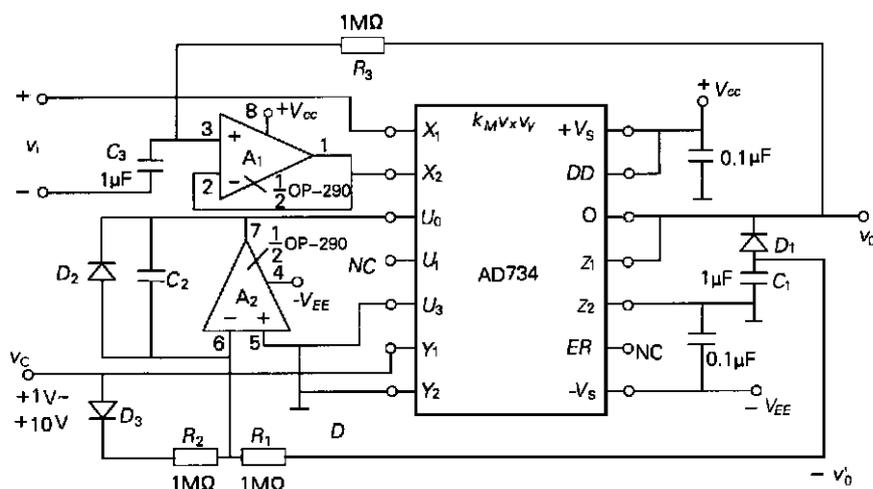


图 6 模拟乘法器构成 AGC 电路

Fig. 6 AGC circuit using analog multiplier



图 7 不同距离的图像传输

Fig. 7 Image transmission at different distances

端。设  $v_i = V_m \sin \omega t$ , 则

$$v_o = \frac{V_c}{U} v_i = \frac{V_c}{U} V_m \sin \omega t$$

当  $V_c = 10$  V 时,增益为  $G = 10 / U$ ,当  $v_i$  幅度增大时,只要控制  $U$  相应增大,就可以自动调节增益保持不变。由于  $D_1$  和  $C_1$  构成对  $v_o$  的负峰值检波器,输出电压为  $-V_o$ 。 $-V_o$  与  $+V_c$  各经 1 M $\Omega$  电阻在  $A_2$  反相端叠加,当  $R_1$  和  $R_2$  中电流平衡时, $A_2$  输出 ( $U$ ) 保

持常数;当  $v_i$  幅度变大时, $| -V_o |$  增大,使  $U$  增大,从而可维持增益不变。

### 3 实验结果

在以 MFSK 调制方式的水声通信接收系统中,采用此方案的幅度均衡技术,在图像像素为 160  $\times$  100,图像灰度级为 16 级,换能器的带宽为 6.5 kHz 时,图像信息的全方向传输距离可达 10 km。图 7 为 1998 年 5 月在厦

## 研究报告 *REPORTS*

门港水浅海域,水平传输距离为 3 和 10 km 等处进行的水下图像传输,均获得了令人满意的结果,收到的图像清晰、稳定。👉

参考文献

- 1 刘伯胜、雷家煜。水声学原理。哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1993。68 ~ 71
- 2 李清泉、黄昌宁。集成运算放大器原理及运用。北京:科学出版社,1982。477 ~ 480

# DESIGN OF AMPLITUDE EQUALIZER FOR UNDER WATER ACOUSTIC COMMUNICATION RECEIVING SYSTEM USING MFSK

Xu Xiaomei    Chen Dongsheng    Tong Feng  
( Department of Oceanography , Xiamen University ,361005)

Received : Apr.20 ,2000

**Key Words :** Acoustic attenuation , Amplitude equalizer , Sensitivity Frequency Control , Automatic Gain Control

## Abstract

Marine acoustic channels are described as random variability in time-space-frequency and severe multipath channels . Acoustic transmission attenuation is governed by frequency-dependent absorption in such channels . The paper introduces an amplitude equalizer technique for underwater acoustic communication receiving system using MFSK modulation , presents the principle of the electronic circuits of an amplitude equalizer and its experimental results in Xiamen Harbor .

( 本文编辑 :张培新)