

MAX9814 芯片在 MFSK 水声通信抗幅度衰落中的应用*

李爽^{1,2,3}, 邱逸凡^{1,2,3}, 童峰^{1,2,3}

(1. 厦门大学 水声通信与海洋信息技术教育部重点实验室, 福建 厦门 361005;

2. 厦门大学 海洋与地球学院, 福建 厦门 361005; 3. 厦门大学深圳研究院, 广东 深圳 518000)

摘要: 在集群海洋观测、海洋物联网(IoT)等应用对低成本、小尺寸水声通信设备的需求日益广泛。低复杂度、高可靠性的多进制移频键控(MFSK)调制提供了一种有效的技术方案。针对水声信道恶劣时-空-频变特性给 MFSK 水声通信带来的严重幅度衰落, 采用芯片 MAX9814 带有的自动增益控制功能对 MFSK 水声通信进行抗衰落处理, 具有小尺寸、高集成的特点。浅海信道海试实验结果表明, 采用 MAX9814 芯片够有效地抑制水声信道所造成的幅度衰落, 改善水声通信性能。

关键词: 频率选择性衰落; MAX9814; 抗衰落处理

中图分类号: TN929.3

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.201098

中文引用格式: 李爽, 邱逸凡, 童峰. MAX9814 芯片在 MFSK 水声通信抗幅度衰落中的应用[J]. 电子技术应用, 2021, 47(2): 41-44.

英文引用格式: Li Shuang, Qiu Yifan, Tong Feng. Application of chip MAX9814 in MFSK underwater acoustic communication anti-amplitude fading processing[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(2): 41-44.

Application of chip MAX9814 in MFSK underwater acoustic communication anti-amplitude fading processing

Li Shuang^{1,2,3}, Qiu Yifan^{1,2,3}, Tong Feng^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Underwater Acoustic Communication and Marine Information Technique of the Ministry of Education, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. College of Earth and Ocean Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

3. Shenzhen Research Institute, Xiamen University, Shenzhen 518000, China)

Abstract: With the rapidly increasing interests in ocean observation and ocean Internet of Things, low-cost underwater acoustic communication equipment draws more and more attention from the research community. The low complexity and high reliability multi frequency shift keying(MFSK) modulation provides an effective technical solution. However, the typical time-space-frequency characteristic of the underwater acoustic channel will cause severe amplitude fading to the MFSK underwater acoustic communication. Considering that the chip MAX9814 has a large-range automatic gain adjustment capability, it is adopted for anti-fading processing of underwater MFSK communication. The experimental results show that MAX9814 can effectively suppress the amplitude fading caused by the underwater acoustic channel, thus improve the performance of the underwater acoustic MFSK communication.

Key words: frequency selective fading; MAX9814; anti-fading treatment

0 引言

水声信道是无线通信领域中最复杂的信道之一。水声信道的复杂性和不稳定性导致信号在传输过程的损耗以及多径效应, 接收端接收到原始信号幅度衰落^[1], 影响通信系统的解调和误码率。因此, 在接收端经常采用自动增益(Auto Gain Control, AGC)的电路^[2], 可以将接收到的原始信号的幅度调整到限定的输入范围内, 保证

信号的完整性和通信的稳定性^[3]。目前, 自动增益电路在水声通信机中应用广泛, 当前对于 AGC 放大器的设计研究越来越多, 一般分为模拟方式和数字方式。王永龙等人^[4]研究的基于自动增益控制的声信号处理电路, 依靠硬件电路实现放大信号作用, 属于模拟方式, 复杂度低; 赖小强等^[5]研究的数字闭环自动增益控制系统, 一般依靠算法实现, 性能好, 属于数字方式。本文依靠电

* 基金项目: 国家自然科学基金(11274259); 装备预研声纳技术重点实验室基金(6142109180303); 深圳虚拟大学园扶持经费研发机构建设项目(YFJGJS1.0)

路实现抑制幅度衰落,属于模拟方式。

针对集群海洋观测^[6]、海洋物联网(IoT)^[7]、微小型水下无人航行器^[8]等应用背景下,对低成本水声通信设备有大量的需求,并且要求水声通信系统低复杂度、小尺寸、低成本、稳健可靠,MFSK 提供了一种有效技术方案。传输过程中,MFSK 属于低速率、低复杂度、稳健可靠的通信体制。

孙柏昶等^[9]对 8FSK 解调方式进行深入研究,从抗频偏性能和解调误码性能的数据结果来看,FSK 适用于极低速通信,适合衰落信道;岳玲等^[10]将 Turbo 编码与基于 MFSK 的水声通信系统相结合,提出软判决统计量提取算法,进行湖上实验,根据实验结果表明该系统通信稳定、有效。

由于水声信道的复杂性和不稳定性,信号散射、反射、损耗等现象很常见。在多径严重的信道中,接收信号受到的影响主要表现在幅度上,会出现幅度衰落,时域上表现为码间干扰,频域上表现在频率选择性衰落。接收端收到的信号幅度出现衰落,信噪比降低,解调过程受到影响,提高了误码率,如果两端距离拉长,衰落现象更加严重,接收信号不够完整,会出现完全解调错误的状态。MFSK 占用频带较宽,在水声信道传输过程中频率变化会引起幅度衰落,因此自动增益控制是抑制频率选择性衰落的有效手段。

吴剑明等人^[11]设计了两级放大反馈自动增益控制电路,幅度均衡性能良好,提高了水声通信质量。但从硬件实现角度,利用运放、滤波器搭建的自动增益控制电路集成度仍有提高的余地。

MAX9814 是一款低成本、高质量的放大元器件,具有优良的自动增益控制功能和较大的增益调整范围,已广泛应用于助听器^[12]、声频检测^[13]和发射机^[14]。本文应用芯片 MAX9814 抑制水声信道对 MFSK 通信造成的频率选择性衰落,并在厦门五缘湾海域进行了实验验证。

1 MAX9814 芯片介绍

MAXIN 公司的 MAX9814 芯片是一个小尺寸、低成本、高质量的放大元器件,该芯片具有低噪声前置放大器(Low Noise pre-Amplifier, LNA)、可变增益放大器(Variable Gain Amplifier, VGA)、AGC(Automatic Gain Control)控制电路和输出放大器,如图 1 所示^[15]。

低噪声前置放大器的增益固定在 12 dB,而 VGA 增益自动调整从 20 dB 到 0 dB,这取决于输出电压和 AGC 阈值。输出放大器提供可选择的增益为 8 dB、18 dB 和 28 dB。在没有压缩的情况下,级联放大器的整体增益为 40 dB、50 dB 和 60 dB。调节三挡增益主要是通过控制 GAIN 的引脚,当 GAIN= V_{DD} 时,增益为 40 dB;当 GAIN=GND 时,增益为 50 dB;当 GAIN=Unconnected 时,即 GAIN 引脚悬空,增益为 60 dB^[15]。

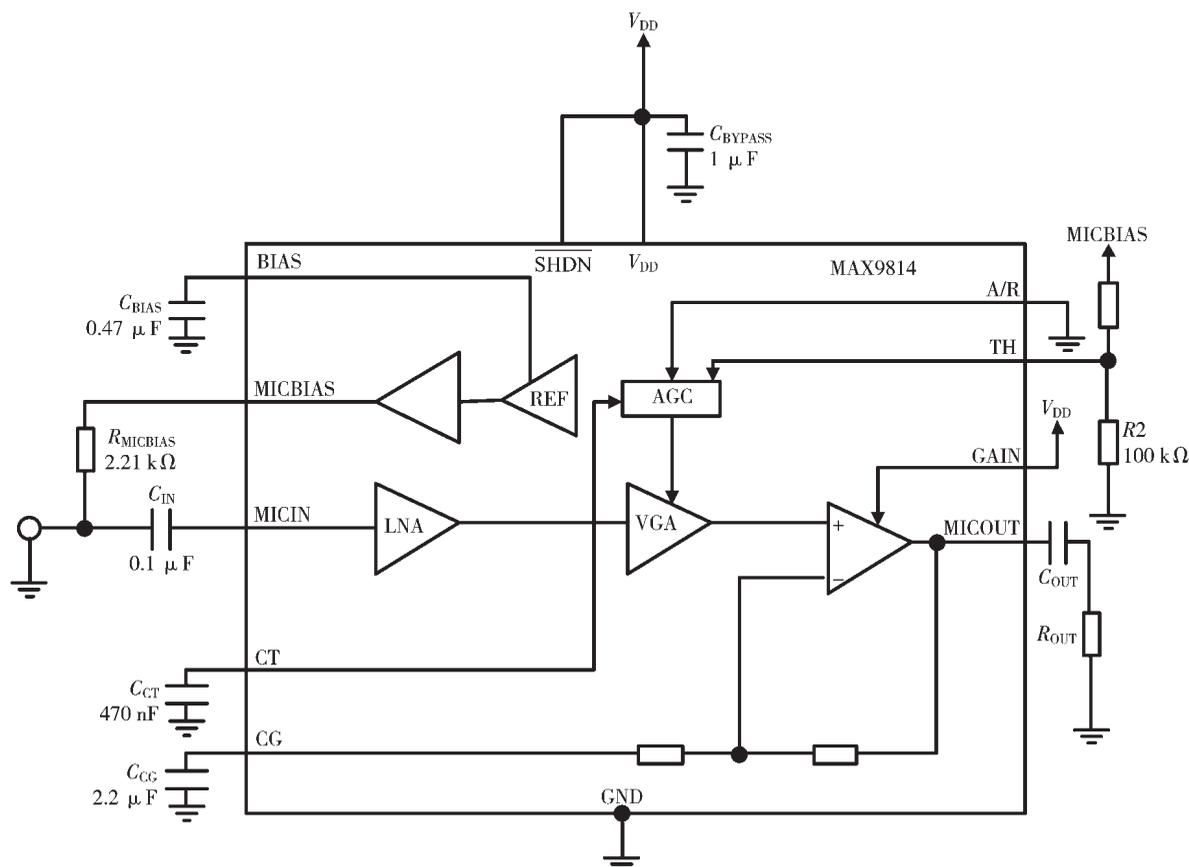


图 1 MAX9814 内部结构示意图

MAX9814 的特点就在于它能够自动增益控制,当接收端接收到的信号增益过大,出现信号截止时,会自动降低增益;当信号幅度衰落时,可以进行抗衰落处理。这一特点主要取决于其内部的 AGC 模块检测,当输入信号超过阈值后,芯片会花费时间降低增益,这个时间内增益衰减为指数型,定义时间常数,被称为“Attack Time”。当输入信号低于阈值,增益在一段时间内保持减小状态,一般称这段时间为“Hold Time”,内部设置为 30 ms 且不可调整。增益返回到它的正常水平需要的时间称为“Release Time”。其中 Attack Time 为 $2400 \times C_{CR}(s)$, C_{CR} 为外部定时电容^[15]。

芯片 MAX9814 的增益和频率的关系如图 2 所示^[15]。从图中可以看出,当信号的频率在 10 kHz~20 kHz 时,具有 20 dB 的幅度调整范围,可有效抑制此范围内的频率选择性衰落。

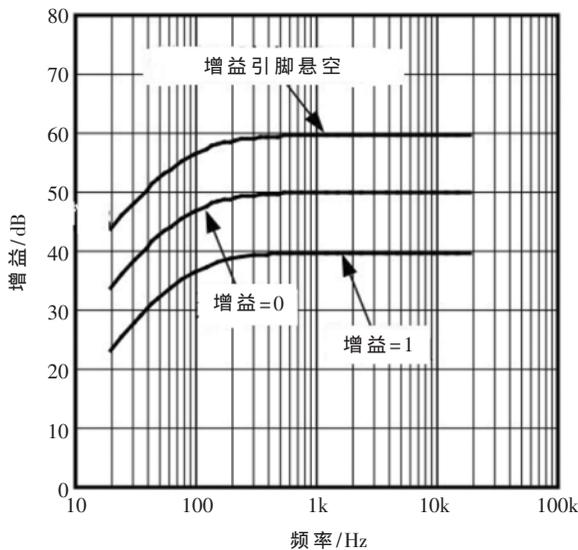


图 2 MAX9814 增益-频率关系曲线

2 应用 MAX9814 的水声通信前置处理电路

图 3 所示为应用 MAX9814 的水声通信系统前置处理电路结构,输入信号依次经过前置放大、带通滤波、MAX9814,然后进入后续电路。前置放大采用芯片 AD603,构建自动增益控制电路;带通滤波器采用芯片 MAX274,构建八阶 Chebyshev 带通滤波器^[16],旨在滤除带外噪声;带通滤波后信号进入芯片 MAX9814,用于抑制水声信道导致的频率选择性幅度衰落。即:信号幅度被严重衰落时,利用 MAX9814 的自动增益控制功能保证输出信噪比;当发射端调节增益过大时,MAX9814 自动调节增益功能可保证输出信号不会出现“削峰”现象^[17]。带有 MAX9814

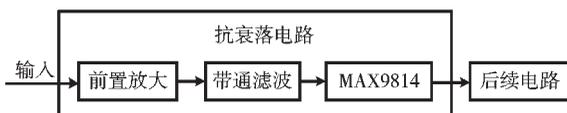


图 3 带有 MAX9814 前置处理电路结构示意图

抗衰落处理系统,结构复杂度低,尺寸小。

3 海试实验

3.1 实验设置

为了验证本文抗衰落电路的有效性,在厦门五缘湾海域进行了 MFSK 水声通信海试实验。其中实验海域水深 10 m,通信距离 800 m。换能器的带宽为 13 kHz~18 kHz,信号调制方式为八进制移频键控调制(8FSK),载波频率范围在 13 kHz~18 kHz,8 个频点均匀分布在 13 kHz~18 kHz 范围内,码元长度为 13.6 ms,通信数据率为 219.7 b/s。每一帧信号包含同步信号和 MFSK 调制信号;其中同步信号由扫频信号组成,扫频信号时长为 27.3 ms,带宽为 13 kHz~18 kHz。

3.2 实验数据分析与讨论

图 4 所示为 MAX9814 处理前后的同步信号频谱图。对比图 4(a)和图 4(b)可以看出,在同步信号 13~18 kHz 带宽范围内,无 MAX9814 系统受浅海信道多径影响呈现剧烈的频率选择性衰落;而经 MAX9814 芯片处理后,带内频谱较为平坦,幅度衰落得到有效抑制。

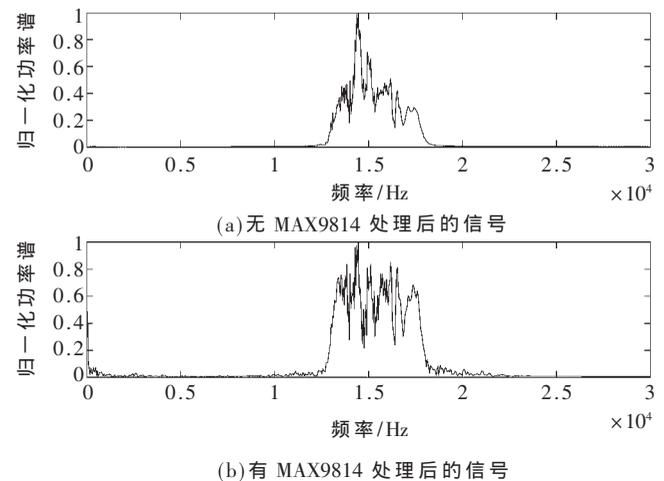


图 4 有无 MAX9814 同步信号频谱图

图 5 所示为截取的一段接收信号(包含 5 个 MFSK 符号)。图 5(a)是未经 MAX9814 处理的信号,呈现明显幅度起伏;图 5(b)是经过带有 MAX9814 抗衰落处理系统后采集的信号,幅度起伏被有效抑制。对比图 5(a)和图 5(b)可知,经 MAX9814 抗衰落处理后前置处理效果更好;具体地,图 5(a)中一些频点对应的幅度还是出现衰落,特别是在图中第 3(30~40 ms)和第 5(55~67 ms)个 MFSK 符号,幅度衰落影响最为严重。图 5(b)所示的经 MAX9814 处理后幅度衰落得到了较大改善,严重幅度衰落频点得到了有效补偿。

图 6 进一步给出了图 5 中第 3 个 MFSK 符号的频谱,该符号 MFSK 调制频率为 15.234 kHz(如图中实线箭头所示)。从图 6 中可以看出,未经 MAX9814 时调制频率频点被严重衰落,导致此时符号内频谱最高频点为

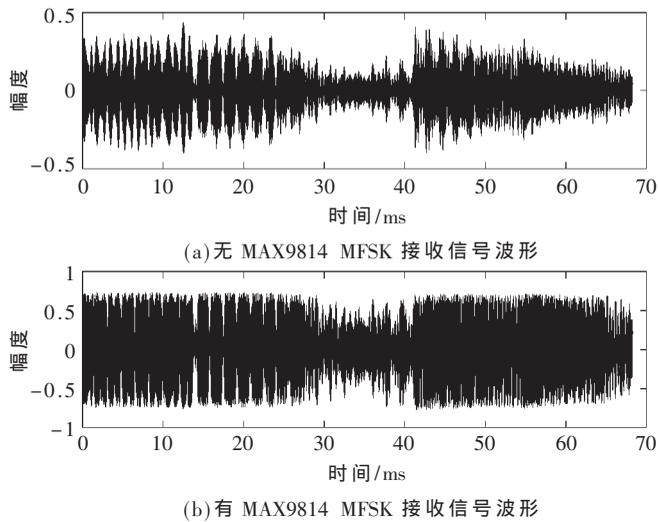


图5 有无 MAX9814 接收 8FSK 信号时域波形

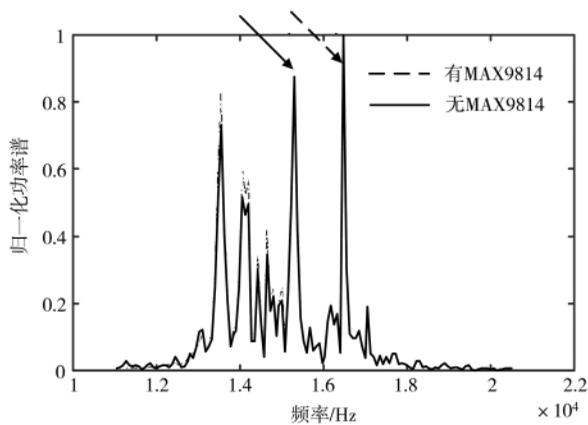


图6 有无 MAX9814 接收 8FSK 信号的频谱图

16.406 kHz(如图中虚线箭头所示),造成 MFSK 错误解码;经过 MAX9814 处理后,有效抑制了信道对该符号对应频点的频率选择性衰落,符号内频谱最高点恢复至 15.234 kHz 处,保证了严重衰落情况下 MFSK 解码的正确。

4 结论

面向海洋物联网、水下移动平台等领域对高可靠、低复杂、低成本水声通信设备的需求,本文将 MAX9814 芯片应用于抑制水声信道对 MFSK 通信造成的频率选择性衰落,以充分利用该芯片尺寸小、高集成、增益调整性能好的特点进行水声通信系统硬件实现。海试实验数据表明,该芯片能够有效抑制水声信道造成的幅度衰落,改善 MFSK 水声通信性能。

参考文献

- [1] 孙雪皓.基于统计特性的 MIMO 水声信道容量分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2015.
- [2] MARTINEZ I. Automatic gain control(AGC) circuits theory and design[D]. Toronto: University of Toronto, 2001.
- [3] 贾宁,黄建纯.水声通信技术综述[J].物理,2014,43(10): 650-657.

- [4] 王永龙,杨卫,石云波,等.基于自动增益控制的声信号处理电路[J].仪表技术与传感器,2007(12):42-43.
- [5] 赖小强,李双田.数字闭环自动增益控制系统设计与实现[J].网络新媒体技术,2013,2(3):40-45.
- [6] 解静,常江,孙家文,等.海洋水文观测实时共享技术与应用研究[J].海洋环境科学,2020,39(2):302-308.
- [7] 姜涛.基于物联网的海洋生态环境动态监测系统研究与应用[J].信息通信,2020(7):128-129.
- [8] UNDERWOOD A, MURPHY C. Design of a micro-AUV for autonomy development and multi-vehicle systems[C]. OCEANS 2017-Aberdeen. IEEE, 2017.
- [9] 孙柏昶,陈超群.MFSK 调制方式在极低速通信中的性能分析[J].无线电通信技术,2019,45(2):182-185.
- [10] 岳玲,王明洲,杨云川,等.基于 Turbo 编码的 FH/MFSK 水声通信系统研究[C].中国造船工程学会电子技术学术委员会.中国造船工程学会电子技术学术委员会 2017 年装备技术发展论坛论文集,2017.
- [11] 吴剑明,张小康,黄身钦,等.两级放大反馈自动增益控制电路设计[J].仪表技术与传感器,2016(8):97-99,104.
- [12] MALLIK S, CHOWDHURY D, CHITTOPADHYAY M. Development and performance analysis of a low-cost MEMS microphone-based hearing aid with three different audio amplifiers[J]. Innovations in Systems and Software Engineering, 2019, 15(1): 17-25.
- [13] RAHMAWATI D, HARYANTO H, SAKARIYA F. The design of coconut maturity prediction device with acoustic frequency detection using naive bayes method based microcontroller[J]. Journal of Electrical Engineering Mechatronic and Computer Science, 2019, 2(1): 15-20.
- [14] MUSA A, PAUL B S. Design of an FM transmitter powered by piezoelectric energy[C]. 2019 IEEE International Smart Cities Conference(ISC2). IEEE, 2019: 30-35.
- [15] Maxim Integrated. MAX9814ET+T 英文参考手册[EB/OL]. (2019-08-16)[2020-11-11]. https://datasheet.datasheetarchive.com/originals/dk/DKDS-7/138310.pdf.
- [16] 陈东升,许肖梅.八阶连续时间滤波器 MAX274 在浅海水声跳频通信系统中的应用[J].厦门大学学报(自然科学版),2008(2):178-181.
- [17] 叶春熙.基于麦克风阵列的声源定位系统设计与实现[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2018.

(收稿日期:2020-11-11)

作者简介:

李爽(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:水声通信和信号处理。

邱逸凡(1998-),男,硕士研究生,主要研究方向:水声通信和信号处理。

童峰(1973-),通信作者,男,教授,主要研究方向:水声通信与网络、声探测与感知、智能语音处理,E-mail: ftong@xmu.edu.cn。

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所