

野战数字音响系统音质优化设计

潘志祥

(四川湖山电器股份有限公司, 绵阳 621000)

摘要: 野战数字音响系统主要用于在各种复杂条件下的户外使用。该产品主要运用了 D 类功率放大技术、智能控制技术、触摸操控技术等。经过实验发现, 在使用 D 类功率放大和经数字化处理后的声音在听感上存在生硬的感觉, 为改善系统的听感, 从产品研制的实际出发, 对音频驱动器 IRS2092 增加了音色补偿电路, 结合扬声器选用、滚塑音箱号角曲线设计与声相位的调试来全面提升野战数字音响系统的音质, 使其能与传统场馆系统的音质媲美。

关键词: 音色补偿电路; 滚塑音箱号角曲线设计; 声相位

中图分类号: TN02

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2018)-05-0453-04

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2018.05.009

Sound quality optimization of field digital audio system

PAN Zhi-xiang

(Sichuan Hushan Electric Co., Ltd., Mianyang 621000, Sichuan, China)

Abstract: The field digital audio system is mainly used in various complicated conditions. This product integrates some advanced techniques such as D-class power amplifier, intelligent control and touch control. Experiments found that the sound has a stiff sense of hearing via D-class amplifier and digital processing. Starting from the actual situation of product development, a timbre compensation circuit is added in audio driver ISR2092, and by combining it with loudspeaker selection, horn curve design of rotational molding sound box and acoustic phase debugging, the sound quality of the field digital audio system is overall improved, so that the proposed digital audio system can match the sound-reinforcement system of traditional stadiums in sound quality.

Key words: timbre compensation circuit; horn curve design of rotational molding loudspeaker; acoustic phase

0 引言

经过近 10 年的研制, 野战专用音响系统^[1]已进入第六代, 在功能上充分运用 D 类功率放大技术、智能控制技术、高清解码播放技术、触摸操控技术、高清图像显示技术、滚塑包装工艺技术、模块化设计、便携式折叠思路, 功能上全面实现了实用化、一体化、集中化控制, 其显示直观、操作简捷, 质量稳定可靠、坚固耐用等性能也得以提升。该户外音响系统非常适合部队在各种复杂条件下使用。

专业的音响系统, 本质上是对声音的真实再现。但使用 D 类功率放大技术, 经数字化处理后的声音, 存在一个比较严重的问题, 就是在听感上没有模拟的声音自然、好听, 总有一种生硬的感觉, 这就是通常业内所说的“数码声”^[2]。如何克服数码声, 进一步优化野战数字影音系统的音质, 并增

强声音的指向性, 是下一代产品研制中的重点。

在本系统中, 提升音质最重要的技术包括:

- (1) 功放芯片的选用与外围电路的改善;
- (2) 滚塑音箱^[3]高音号角与音腔设计。

下面分别从 D 类数字功率放大器与音箱系统在研制过程的具体解决方案作介绍。

1 D 类功率放大器

1.1 数字音频与数码声产生的原因

众所周知, 信息信号的数字化处理是现代科技的一个重大里程碑。对音频信号的数字化处理, 取代了传统的模拟处理方式。这是因为数字化具有前所未有的诸多优势, 如: 输出级功率效率高、功耗低、体积小、成本低、过载能力高、可靠性高、一致性好、生产调试简单等, 但音频信号的数字化会存在前述所说的数码声。这是由于对模拟信号的数字化处理必须进行压缩, 根据奈奎斯特采样定律来对信号进行采样, 并对每个样点的幅度进行线性或适应性的量化、编码调制(如脉冲编码调制(Pulse Code Modulation, PCM)、自适应差分脉冲编码调制

收稿日期: 2017-12-21; 修回日期: 2018-03-02

作者简介: 潘志祥(1969-), 男, 四川绵阳人, 研究方向为音响扩声系统的设计、调试与安装。

通讯作者: 王丽华, E-mail: wlh470@126.com

(Adaptive Differential Pulse Code Modulation, ADPCM)、 Δ - Σ 、连续可变斜率增量调制(Continuous Variable Slope Delta Modulation, CVSD)等)处理,实现模拟信号的数字化——模数转换(Analog to Digital converter, AD)过程。只要经过一套适当的反变换——数模转换(Digital to Analog converter, DA),就可恢复出原信号。但是,音乐信号有很丰富的谐波,数字化过程中因为压缩信息的数据量,采样频率、量化精度受限,在高频就会丢失许多信息(例如小提琴、钢琴的泛音);丢失信息越多,声音的数码声就必然越严重。

1.2 目前解决 D 类功率放大器数码声的相关技术

新型 D 类放大技术,采用闭环负反馈架构,不仅有助于提高音频性能,增强音频子系统对扬声器的控制能力,也有助于改进低音响应,更精准地复制声音。此外,还实现了出色的电源抑制比(Power Supply Rejection Ratio, PSRR),降低耦合至音频段的电源噪声。

通过集成高性能采样率转换器(Sample Rate Converter, SRC)和 Δ - Σ 处理技术,使总谐波失真+噪声(Total Harmonic Distortion+Noise, THD+N)得到了更大的改善,而且动态范围也得到了大幅扩展。例如,美国德州仪器公司数字功放技术已可实现高达 100 dB 以上的信噪比。该技术集成了诸如动态范围控制、噪声消除、响度补偿、喇叭频响补偿^[4]等数字技术。

美国 Crown 公司设计的 Class-I 数字功率放大器,采用平衡电流放大器(Balanced Current Amplifier, BCA)^[5]技术和高采样频率 250 kHz 及精细量化 16 bit 编码调制技术,使低通滤波器的工作效率更高、内阻更小、阻尼系数更大,同时还可减少滤波器的相位偏移,得到更丰满、更清晰细腻、更平滑、更悦耳的声音。

通过以上技术,频谱图得到了较大的改善,听感上也会丰富些,但音色方面仍会给人“偏硬”(或冷冰冰)的感觉。

1.3 音色补偿电路改善“数码声”

为进一步改善这一状况,决定从产品研制的实际出发,结合所使用的音频驱动器 IRS2092,通过大量外围电路实验后,决定增加一个音色补偿电路来改善数码声。为说明起见,下面的图 1 和图 2,分别给出了先前使用的 D 类功率放大器和增加的音色补偿电路。

该音色补偿电路(见图 2)应用于产品后,重点从以下三个方面改善了音质:

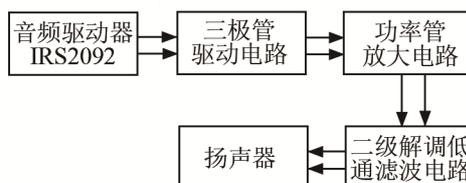


图 1 D 类功率放大器基本框图

Fig.1 The block diagram of Class D power amplifier

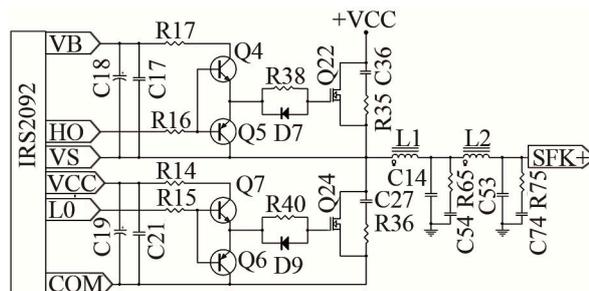


图 2 音色补偿电路

Fig.2 The timbre compensation circuit.

(1) 该电路提高了信噪比(THD+N),输出的功率信号更加干净,从而大大提高了 D 类功率放大器保真度;

(2) 三极管驱动提高了功放的驱动能力,功放力度更好,避免了 D 类功放音质较软的缺点,听觉更加丰满;

(3) 两级解调低通滤波电路,滤去部分高次谐波,使系统的发声更加圆润、平衡。

以上电路改善了 D 类功率放大器的音色,也提高了其稳定性。

以 2×200W 数字功率放大器为样本,增加音色补偿电路前后做了客观测试与系统主观听音评测^[6],测评结果分别如表 1 和表 2 所示。

表 1 客观测试指标对比
Table 1 Objective test index contrast

测试项目	无音色补偿电路		有音色补偿电路	
	左	右	左	右
总谐波失真%	0.09	0.091	0.068	0.068
串音衰减/dB	92~77	90~73	94~82	94~85
阻尼系数	536	544	648	652
信噪比/dB	108	106	115	117

注:测试频率范围 20 Hz~20 kHz;主要测试设备 AP SYS2722

表 2 系统的主观听音评测
Table 2 Subjective audition evaluation test of the system

声源	改善前	改善后
音乐	略尖、略毛、层次清楚	平衡、层次清楚
男声	略丰满、有磁性	丰满、有磁性
女声	圆润	圆润、丰满
语音	清晰、明亮、自然、易懂	清晰、明亮、自然、易懂

注:音源主要为军歌

2 音箱系统

野战专用音响系统要求在户外达到音频信号远距离传送，同时要求音质具有很好的清晰度和可懂度。前期也做过了包括对扬声器单元系统的组合应用，以及改善单只扬声器单元灵敏度等方面的部分研究。

此次对野战数字音响系统的优化，是在此前基础上对扬声器的选用、滚塑音箱号角曲线设计与声音相位的调试上做了更深入的研究，取得了很大的突破。在滚塑音箱号角曲线与系统相位的调式上，目前没有办法建模并进行理论演算，只能通过调音师的反复对比调试得出优化的结果。

2.1 扬声器选择碳纤维交叉编织振膜结构

野战数字音响的功率一般为 100~200 W，驱动一般纸盆扬声器时声音相对混沌无力，故选择碳纤维交叉振膜扬声器(见图 3)。因为其具有超轻的质量，易于驱动、瞬态响应极佳，且不会出现低音一出声就混浊的现象，而是可以听到被传声音非常丰富的低频细节。采用超强刚性结构就使得低音在超大功率驱动下，不会出现因音盆硬度不够而导致的低音发软无力的现象，有效改善了野战数字音响系统在户外扩声环境下低频力度不够的现象。



图 3 碳纤维交叉编织振膜扬声器
Fig.3 Carbon fiber inter woven diaphragm loudspeaker

2.2 滚塑音箱号角曲线设计

众所周知，不同箱体材料对音质的影响不同，塑料材料箱体容易使声音混沌不清。为此运用声学上的相位栓塞^[7]和压缩扩展技术，经过多次曲线调整，最终采用了以下形状的高、中音号角结构设计，如图 4 所示，使得声音的指向性强、高音明亮、中音结实有力，传输距离也更远。

2.3 系统的声相位调试

由于音箱体积的限制，兼顾高、中、低音之间的物理间距较小，各频段之间的声干涉会比大体积音箱严重，造成声音的清晰度下降。为解决这一问



图 4 滚塑音箱号角曲线实体结构设计
Fig.4 Horn structure design of rotational molding sound box

题，利用全消声室、KLIPPEL 电声测试设备、专业视听室等科研设备，结合调音师的调试经验，运用 KLIPPEL 测试系统对扬声器的近场频响进行测试分析^[8]，经过大量的对比调试，将每个扬声器单元的声相位尽量调整到一致，从而达到指向性强、声压级高，高、中、低音音质平衡，声音清晰度、可懂度大为提高的最终目的。野战数字音响系统经优化设计后，最大声压级对比如图 5 和图 6 所示。

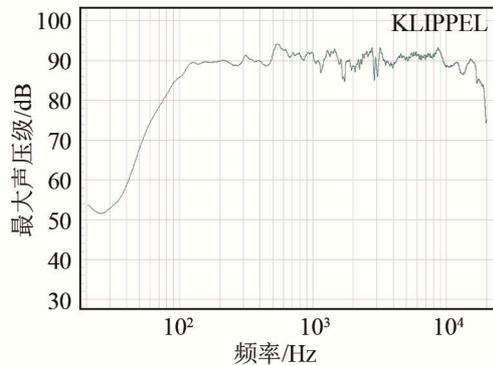


图 5 系统音质优化前的最大声压级
Fig.5 The maximum sound pressure level before sound quality optimization

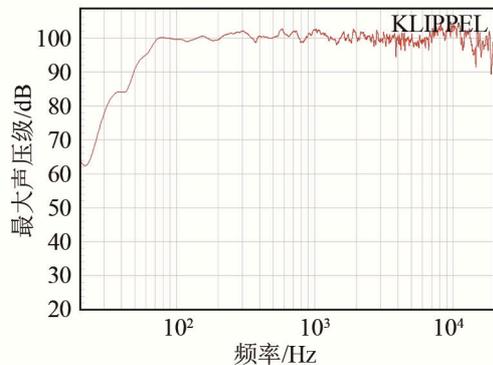


图 6 系统优化后的最大声压级
Fig.6 The maximum sound pressure level after sound quality optimization

3 结 论

采用音色补偿电路,碳纤维交叉编织振膜扬声器,滚塑音箱号角曲线设计,并对系统各频段的声相位进行一致性调试等技术处理,有效地提高了野战数字音响系统的音质,使得该音响系统的音质可与传统场馆扩声系统的音质媲美;也保证了该系统野战使用的可靠性和稳定性。

下一步的工作将赋予野战数字音响系统更多的智能化功能,并不断提高其音质特性,以期达到更高级别的保真度效果。

参 考 文 献

- [1] 周东宪,张林,郭清学,等.野战专用音响系统电声设计探讨[J].声学技术,2015,34(2):157-161.
ZHOU Dongxian, ZHANG Lin, GUO Qingxue, et al. Study of electro-acoustic design for the special field audio system [J]. 2015, 34(2): 157-161.
- [2] 张炳南.电影数码声制式的探讨[J].影视技术,1998(8):8-13.
ZHANG Bingnan. Discussion on digital sound system of films[J]. Motion Picture&Video Technology, 1998(8): 8-13.
- [3] 潘志祥.野战便携式连队音响的设计[J].电子技术与软件工程,2018(2):90.
PAN Zhixiang. Design of portable company stereo in field field[J]. Electronic Technology&Software Engineering, 2018(2): 90.
- [4] 黄瀚.频率补偿的音感效果设计[J].音响技术,1996(4):189-191,193.
HUANG Han. Frequency compensation sound effect design[J]. Audio Technology, 1996(4): 189-191, 193.
- [5] 张飞碧.数字功率放大器[J].演艺科技,2010,41(1):18-23.
ZHANG Feibi. Digital power amplifier[J]. Entertainment Technology, 2010, 41(1): 18-23.
- [6] 崔志发.关于主观音质评价听音标准的回顾[J].电声技术,2007,31(1):62-65.
CUI Zhifa. Review on the standard of the subjective assessment for sound quality[J]. Audio Engineering, 2007, 31(1): 62-65.
- [7] 王学宁,胡昭齐.实现扬声器系统高声压级与远距离清晰传声的应用探讨[C]//2009'中国西部地区声学学术交流会议论文集,2009.
- [8] 曾健.用 Klippel 系统对扬声器频响近场测试的分析[J].电声技术,2017,41(Z4):15-18.
ZHENG Jian. Analysis on speaker's frequency response measured in near field with Klippel system[J]. Audio Engineer, 2017, 41(Z4): 15-18.