

扫频法测量音频系统频率响应的原理及实践 · 技术分析 ·

孙岩君

(江苏广播电视总台广播传媒中心 技术部播控部, 江苏 南京 210002)

【摘 要】介绍了系统频率响应的概念,详细分析了扫频法测量系统频响的原理,最后给出了音频测试仪测量调音台单机频响曲线的实例。

【关键词】扫频法; 频率响应; 频响曲线; 音频系统

【中图分类号】TB52

【文献标识码】B

Principle and Practice of Testing Frequency Response of Audio System with Frequency Sweeping Method

SUN Yan-jun

(Broadcasting Control Center, Jiangsu Broadcasting Corp., Nanjing 210002, China)

【Abstract】In this paper, the concept of frequency response is introduced, and the principle of testing system frequency response with frequency sweeping method is analysed. Finally, a example of testing frequency response of Audio Console using audio test instrument is given.

【Key words】frequency sweeping; frequency response; frequency response curves; audio system

1 引言

频率响应(简称频响)是音频系统的重要性能参数,对频响曲线的测量是广播播控系统维护的重要工作。理解频响的概念、熟悉频响曲线测量的原理对音频工程师开发和维护音频系统有着重要的意义。

笔者在频响定义的基础上,给出了无失真系统的频响曲线特性;详细阐述了扫频法测频响的原理;最后给出了用音频测试仪测量广播播控系统中调音台设备频响曲线的实例。

2 频响的概念以及无失真系统的频响曲线特性

2.1 频响的概念

系统的频响定义为系统冲激响应的傅里叶变换。频率响应的物理意义是:在正弦信号激励下,达到稳态后输出和输入之间的关系^[1]。

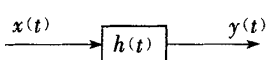


图1 线性系统的输入输出示意图

图1为线性系统的输入输出示意图。对于线性时不变系统,系统输入 $x(t)$ 、系统输出 $y(t)$ 和系统冲激

应 $h(t)$ 满足如下卷积关系

$$y(t)=x(t)*h(t) \quad (1)$$

对式(1)进行傅里叶变换,得

$$Y(\omega)=H(\omega)X(\omega) \quad (2)$$

$$H(\omega)=\frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \quad (3)$$

系统的频响通常为复函数,可表示为 $H(\omega)=|H(\omega)|e^{j\Phi(\omega)}$,幅度函数 $|H(\omega)|$ 对应的曲线称为系统的幅频特性曲线,相位函数 $\Phi(\omega)$ 对应的曲线称为系统的相频特性曲线^[1]。

2.2 无失真传输系统的频响曲线

在广播播控系统中,要求调音台设备对音频信号传输无失真,即:输出信号和输入信号之间的幅度成一定的倍数,且通过系统产生的延时为固定值。要达到无失真传输,任意输入信号 $x(t)$ 和输出信号 $y(t)$ 必须满足^[1]

$$y(t)=Gx(t-t_0) \quad (4)$$

其中增益 G 和时延 t_0 为常数。

由傅里叶变换得

$$Y(\omega)=GX(\omega)e^{-j\omega t_0} \quad (5)$$

$$H(\omega)=\frac{Y(\omega)}{X(\omega)}=Ge^{-j\omega t_0} \quad (6)$$

式(6)为无失真传输所要求的频响函数,下面分析该频响函数的特性: $|H(\omega)|=|Ge^{-j\omega t_0}|=G$,无失真系统的幅频

特性曲线如图 2(a)所示,幅度值为常数; $\Phi(\omega)=-\omega t_0$,无失真系统的相频特性曲线如图 2(b)所示,是一条过原点且斜率为 $-t_0$ 的直线^[1]。

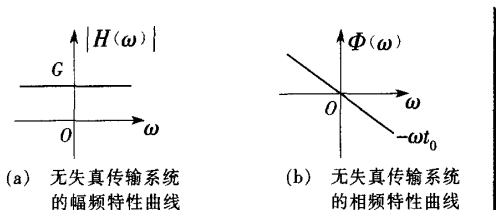


图 2 无失真传输系统的频响特性

在工程中可以将实测的频响曲线和图 2 中的曲线相比较来分析被测系统的性能和失真情况。对幅频曲线而言,曲线越平直,系统的失真越小。

对于幅度失真人耳较容易觉察到,而对于相位失真反应并不敏感^[1],在音频设备的设计与维护工作中人们主要关心的是音频系统的幅频特性,因此在下面笔者将重点讨论系统幅频特性曲线的测量。

3 扫频法测量系统频响的原理

音频测试仪采用扫频法(frequency sweeping)测量系统的频响。测试模型如图 3 所示。扫频法的基本思想是:在关注的频率范围内,逐点扫描测出各频率点的频响,再拟合生成频响曲线。

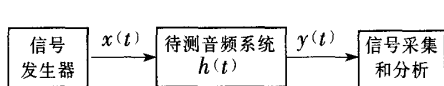


图 3 扫频法测频响的测试模型

首先说明如何测量频响函数 $H(\omega)$ 在频率点 ω_0 处的值 $H(\omega_0)$ 。

设待测系统的输入是幅度为 A 、频率为 ω_0 的正弦信号 $x(t)$,输出信号为 $y(t)$ 。输入信号 $x(t)$ 可表示为

$$x(t) = A \sin(\omega_0 t) = A \frac{e^{j\omega_0 t} - e^{-j\omega_0 t}}{2j} \quad (7)$$

其傅里叶变换为

$$X(\omega) = A \frac{2\pi\delta(\omega - \omega_0) - 2\pi\delta(\omega + \omega_0)}{2j} \quad (8)$$

根据式(2)有

$$Y(\omega) = X(\omega) \times H(\omega) =$$

$$\pi A \frac{H(\omega_0)\delta(\omega - \omega_0) - H(-\omega_0)\delta(\omega + \omega_0)}{j} =$$

$$\frac{\pi A}{j} \left[|H(\omega_0)| e^{j\Phi(\omega_0)} \delta(\omega - \omega_0) - |H(\omega_0)| e^{-j\Phi(\omega_0)} \delta(\omega + \omega_0) \right] =$$

$$\frac{\pi A}{j} |H(\omega_0)| \left[e^{j\Phi(\omega_0)} \delta(\omega - \omega_0) - e^{-j\Phi(\omega_0)} \delta(\omega + \omega_0) \right] \quad (9)$$

对式(9)作傅里叶反变换,得

$$y(t) = A |H(\omega_0)| \frac{\pi}{j} \left[e^{j\Phi(\omega_0)} \frac{e^{j\omega_0 t}}{2\pi} - e^{-j\omega_0 t} \frac{e^{-j\omega_0 t}}{2\pi} \right] =$$

$$A |H(\omega_0)| \sin[\omega_0 t + \Phi(\omega_0)] \quad (10)$$

由以上推导可知,对于待测的线性时不变系统,测试输入为正弦信号时,输出信号为同频率的正弦信号。并且输出信号和输入信号的幅度比值就是系统幅频特性曲线在被测频率点的值,即

$$|H(\omega_0)| = y(t) \text{ 的幅度} / x(t) \text{ 的幅度}$$

通过示波器观测输入、输出正弦构成的李沙育图,可以得到系统在频率点 ω_0 的相频响应值。

音频测试仪在需要测试的频率范围(音频设备通常为 20 Hz~20 kHz)内扫频,即:改变测试仪输出正弦信号的频率,可以测得函数 $|H(\omega)|$ 在各频率点的取值,将所有测试点拟合就可以得到被测系统的幅频特性曲线。

4 用音频测试仪测试调音台单机频响

下面给出用音频测试仪测试 NUMIX 调音台幅频特性曲线的实例。

4.1 调音台

调音台是整个广播播控系统的心脏,负责每一路音源的调控及输出分配。

4.2 音频测试仪

音频测试仪是一种双通道(标记为 A CHANEL 和 B CHANEL,对应立体声设备的左、右声道)音频测量仪器,能测试音频系统的幅频特性曲线、谐波失真、噪声等性能指标。

4.3 幅频特性曲线测试过程

利用笔者阐述的扫频法,用音频测试仪来测量系统的幅频响应。测试时系统连接如图 4 所示。

4.3.1 测试步骤

根据图 5 所示的流程图进行测量,需要说明的是测试结果中单位 dBr 的参考电平的确方法。当 A 通道输出幅度为 4 dBu,频率为 1 kHz 的正弦测试信号 $x(t)$ 时,该信号经过调音台输出频率相同但幅度不同的正弦

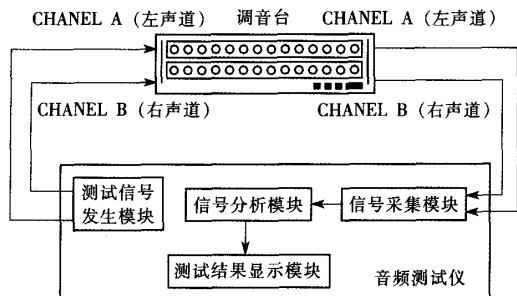


图4 测试设备连接图

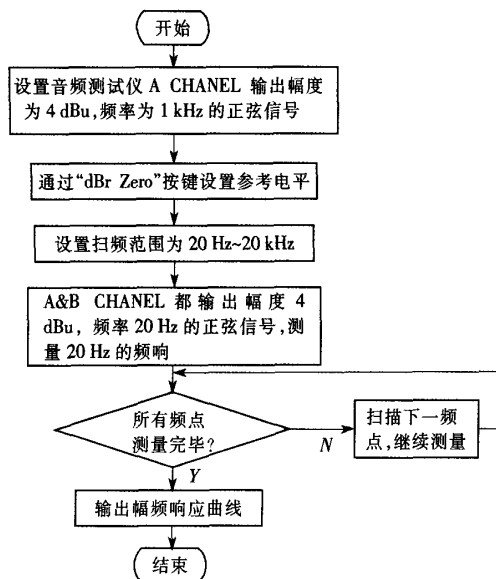


图5 测试流程图

信号 $y(t)$ 。测试中通过“dBr Zero”按键设定 dBr 的参考电平为 $y(t)$ 的幅度电平值。

测试结果如图6、图7和表1所示。

4.3.2 测试数据分析

分析4.3.1节测试所得的数据和曲线,在20 Hz~20 kHz 频率范围内,幅频特性曲线在中部较为平直,高频和低频部分略有下降,其动态范围为+0.02~-0.50 dBr。广播声频通路立体声运行技术指标甲级标准要求幅频特性范围为-1~+1 dBr,因此该调音台的频响特性已达到国家广电总局颁布的甲级水平。

5 结束语

测量和分析音频设备频响曲线是广播播控系统开发和维护的重要工作。笔者详细阐述的扫频法测量系

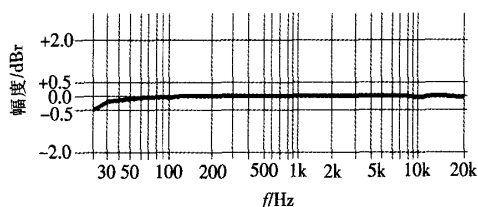


图6 NUMIX 调音台的幅频特性曲线(A通道)

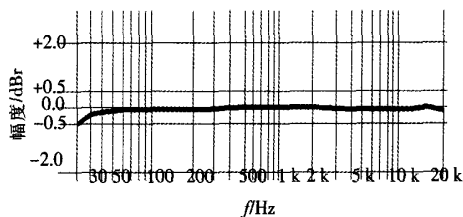


图7 NUMIX 调音台的幅频特性曲线(B通道)

表1 各频率点的幅频响应值

频率/Hz	A CHANEL/dBr	B CHANEL/dBr
20	-0.50	-0.48
31.5	-0.20	-0.20
40	-0.14	-0.14
63	-0.06	-0.07
100	-0.03	-0.05
125	-0.02	-0.04
250	-0.01	-0.03
500	0.00	-0.02
1 k	0.00	-0.02
2 k	0.00	-0.02
4 k	-0.01	-0.04
6.3 k	-0.02	-0.05
8 k	-0.02	-0.05
10 k	-0.03	-0.06
12.5 k	0.00	-0.04
16 k	0.02	-0.02
20 k	-0.03	-0.09

统频响的原理是音频测试仪测试系统频响的依据。文中讨论的无失真传输系统的频响曲线特征,是判断分析被测音频系统性能和失真情况的重要依据。文中提出的用音频测试仪测试调音台 NUMIX 频响曲线的方法,可以作为其它音频系统频响测量的重要参考。

参考文献

- [1] 吴新余,周井泉,沈元隆. 信号与系统——时域、频域分析及 MATLAB 软件的应用[M]. 北京:电子工业出版社, 1999.

[收稿日期] 2006-03-10