

TI 低功率 Smart PA 调试系列之一：

扬声器工作原理及软件调试入门

Anjin Du/Ding Wei/Xiangyan Xue

摘要

本系列汇集了关于 TI 低功率 Smart PA 的四篇应用笔记，分别从扬声器基础、软件调试、算法等方面介绍了 TI 低功率 Smart PA 技术。本文是这个系列的第一篇，主要介绍了扬声器的基础知识和工作原理，以及 TI 低功率闭环 Smart PA 器件的架构和调试入门，是后续文章的基础。随后的系列应用笔记还包括《TI Smart PA 基础调音指南》、《TAS25xx Smart AMP Anti-Clipper 模块的音效调试》、《TI Smart PA 算法介绍》。

目录

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | 扬声器工作原理及结构 | 2 |
| 1.1 | 电动式扬声器的工作原理: | 2 |
| 1.2 | 电动式扬声器的结构: | 3 |
| 1.3 | 扬声器的音质的评判 | 6 |
| 2 | 扬声器的主要参数 | 6 |
| 3 | 低功率 Smart PA 的引入及其对扬声器性能的提升 | 10 |
| 3.1 | 传统应用中扬声器参数对其性能的限制 | 10 |
| 3.2 | 低功率 Smart PA 的工作原理及其对扬声器性能的提升 | 10 |
| 4 | PPC3 软件的使用以及喇叭参数的获取 | 12 |
| 4.1 | PPC3 (Pure Path Console 3) 软件介绍 | 12 |
| 4.2 | 扬声器参数的建模提取 | 13 |
| 5 | 总结 | 15 |
| 6 | 参考资料 | 15 |

图

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| Figure 1 | 电动式扬声器工作原理示意图 | 3 |
| Figure 2 | 电动式扬声器结构框图 | 4 |
| Figure 3 | 扬声器的主要组成构件 | 4 |
| Figure 4 | 传统功放和低功率闭环 Smart PA 功放的工作原理比较 | 11 |
| Figure 5 | Smart PA 架构 | 12 |
| Figure 7 | PPC3 典型界面 | 13 |
| Figure 8 | 扬声器参数提取的硬件环境 | 14 |
| Figure 9 | Smart PA 参数界面 | 15 |

表

Table 1 扬声器参数列表..... 15

1 扬声器工作原理及结构

随着通信技术以及多媒体技术的发展，用户对于移动多媒体设备（智能手机，平板电脑）的音质效果有了越来越高的要求。而与此同时，移动设备受限于空间体积，扬声器的体积非常地小而薄，传统的音频功放技术很难实现好地音质。为了最大限度的提升这种小功率扬声器的效果，TI 推出了 smart PA，可以在保证扬声器工作安全的情况下，达到最大的响度和最佳的音质，提升用户的体验。在这个过程中，理解必要的小功率扬声器的工作原理以及结构，对于研发人员优化 TI smart PA 的算法参数以及调音参数会有很大的帮助，也是项目能够顺利进行的一个必要前提。

扬声器（Speaker）是一种把电信号转变为声信号的换能器件：音频电能通过电磁，压电或静电效应，使扬声器内的纸盆或膜片振动并与周围的空气产生共振（共鸣）而发出声音，从而完成了电能→机械能→声能转化过程。

扬声器在音响设备或者电子设备的多媒体模块中是一个相对复杂的器件，而对于音响效果而言，它又是一个最重要的部件，它的好坏决定了整个设备音质的的好坏，不同的扬声器的音质会有很大的差异，一般设计者会根据实际应用的尺寸，成本以及对音质的要求不同选择不同的扬声器。

扬声器的种类繁多，而且价格相差很大。按振膜与辐射器形状分类：锥形扬声器、平板扬声器、球顶扬声器、号筒扬声器、带状高音扬声器、薄片扬声器等；按换能工作原理分类：电动式（即动圈式）、静电式（即电容式）、电磁式（即舌簧式）、压电式（即晶体式）；其中电动式扬声器因为具有电声性能好、结构牢固、成本低等优点，广泛应用在移动多媒体设备中。本文将主要介绍电动式扬声器的工作原理和结构。

1.1 电动式扬声器的工作原理：

一个物体能够发声，必需具备一定的振动频率以及传播这个振动波的传播介质，扬声器能够发声，必须解决这两个前提条件。

根据法拉第定律，当具有导通电流的导体垂直于磁场时，会受到一个电动力，其方向符合弗来明左手定则（Fleming's rule），力与电流、磁场方向互相垂直，受力大小与电流、导线长度、磁通密度成正比。扬声器就是根据这个原理，把音圈（导体）置于一个磁场中并向其输入交变的音频电流，音圈受到一个交变推动力产生往复运动，带动鼓纸盆振动（振动频率），反复推动空气（传播介质）而发声。

使电动式扬声器的振膜发生振动的力，即为磁场对载流导体的作用力，这个效应我们称它为电动式换能器的力效应，其大小由下式规定：

$$F = BLI$$

式中： B 为磁隙中的磁感应密度（强度），其单位为 $N/(A \cdot m)$ ，又称为特斯拉（T）

L 为音圈导线的长度，单位：米

I 为流经音圈的电流，单位：安培

F 为磁场对音圈的作用力，单位：牛顿

一个典型的扬声器的内部示意结构图如图 1 所示：

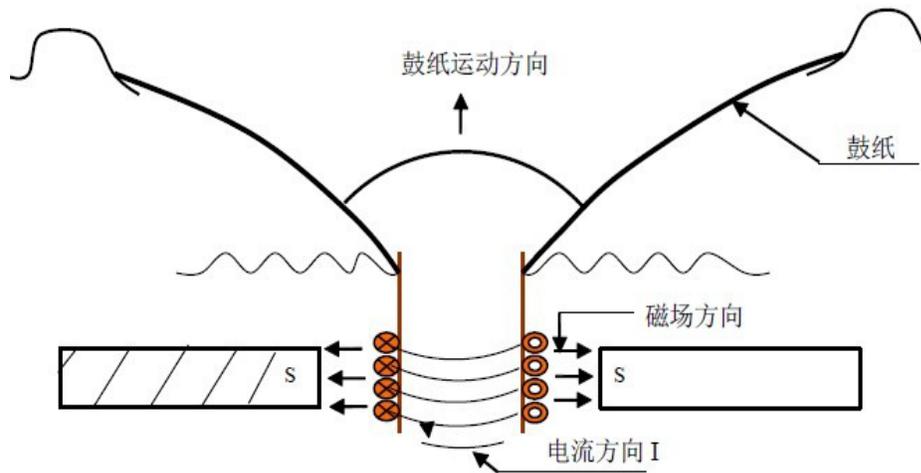


Figure 1 电动式扬声器工作原理示意图

1.2 电动式扬声器的结构：

如图 2 所示，这是一个标准的电动式扬声器的架构，主要包括了电动系统，磁路系统以及支撑系统三大模块，每个模块又是由若干组件构成，详见图 3。本章中将详细介绍各个主要构件及其功能

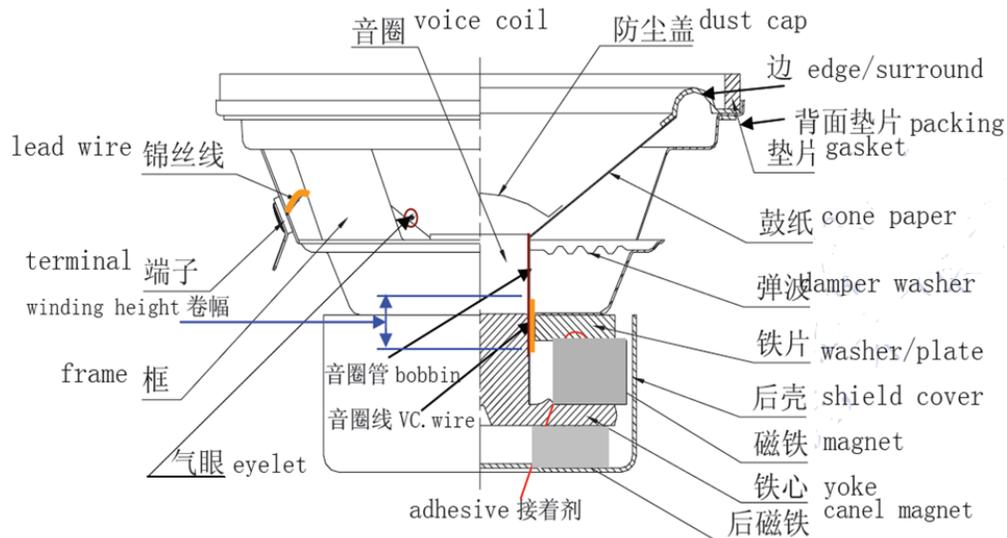


Figure 2 电动式扬声器结构框图

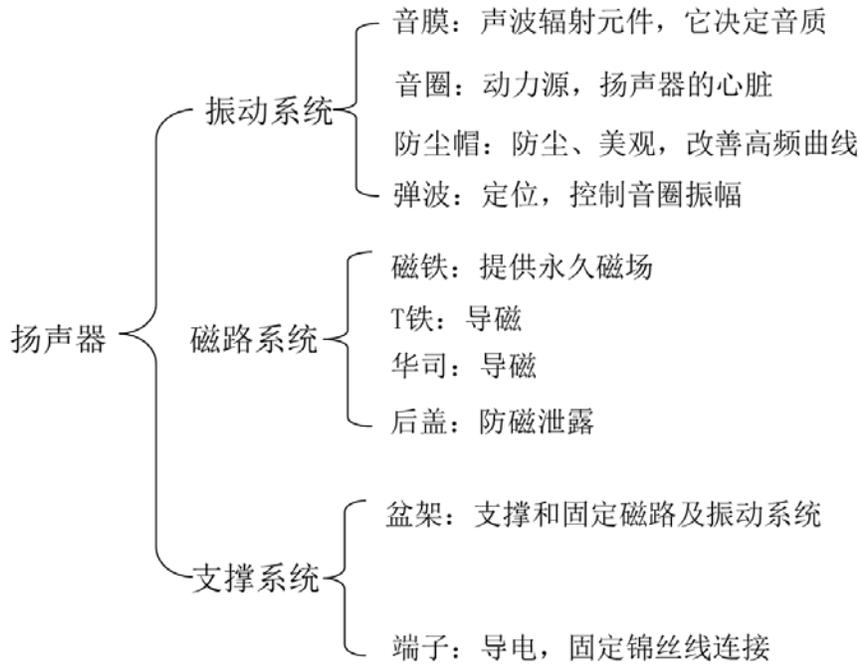


Figure 3 扬声器的主要组成构件

振动系统主要包括:

- 音膜: 音膜又叫纸盆、锥盆、鼓纸、振动板, 它是扬声器的主要部件之一, 音膜特性直接影响着扬声器各种电声参数、音质和使用寿命, 其性能主要取决于使用材料、设计形状、制造工艺等。音膜材料一般要求具有下述三种基本特性:
 - 1) 质量要轻, 即要求材料密度要小, 这可以提高扬声器的效率、同时改善瞬态特性。
 - 2) 强度要高, 即要求材料杨氏模量 E 要大, 这可以改进扬声器的效率、瞬态特性, 拓宽高频响应。
 - 3) 阻尼适当, 即要求材料内部损耗适中, 这可以有效地抑制分割振动, 藉以降低高频共振的峰谷, 使频率响应平坦、过渡特性良好, 同时改善失真。

- 音圈: 音圈可以说是扬声器的核心, 也是扬声器的重要组成部分之一。音圈导电后, 在磁场之内, 根据佛来明左手定则产生运动, 带动音膜振动。音圈的直径根据磁路结构确定, 同时要考虑功率承受能力以及扬声器的灵敏度、品质因数等电声参数。音圈直径太小, 则其功率承受能力必然有限, 因为线径决定了其允许通过的电流大小, 同时 T 铁中柱太小又影响到其散热能力; 音圈直径太大, 则导致其质量加重, 同时 B_g (工作气隙中的磁感应密度) 下降, 从而导致灵敏度降低, 并且增加了材料成本。

- **防尘帽：**防尘盖又叫防尘罩、防尘网。主要是防止灰尘等杂物从振动板前面进入磁隙内而造成杂音，同时有补强高音之作用，其材质大都是纸、布、Mylar，PEI 和金属薄膜，但由于纸、Mylar、PEI 和金属薄膜都对音膜有补强作用，而且从防尘盖也有声音的辐射，故其大小和形状对扬声器特性都有影响；塑料薄膜或金属膜防尘盖盖，因材质本身有一定的弹性，其厚度对声音有影响，一般高功率振动强烈的扬声器，防尘盖的厚度要相应的厚一点，以防止产生共振，同时耐温要高。
- **弹波：**弹波又称阻尼器,定心支片，弹波主要作用有二：一是固定音圈的中心位置，使音圈保持在磁间隙中间，避免音圈与磁路碰触；二是控制扬声器的低频共振频率，限制音圈的最大位移，避免音圈跳出磁路，同时对振动系统提供适当的阻尼，改善低频响应及品质因数。一般要求弹波应该具有很大的径向刚性和很大的轴向顺性，以保证良好的机械强度和较低的共振频率及较小的失真。

磁路系统的作用是为扬声器系统提供磁场，主要包括：

- **磁铁：**主要材质为永久磁石大致分为 Alnico 系永久磁石、Ferrite 系永久磁石及稀土类永久磁石三种。目前大多数扬声器由于成本的原因主要采用后面两种磁石。
- **轭铁（Yoke）：**在磁气回路中起主要起导磁作用，根据其形状可分为 U 形轭与 T 形两种。
- **华司：**又叫上板或上片，在磁气回路中，华司与轭铁都起导磁作用，它们能将磁铁的 N 极与 S 极通过回路集中到间隙，使间隙产生较强的磁场。
- **防磁罩：**又叫后磁壳或后盖，它的主要作用是防磁，防止磁铁向外辐射磁场。

支撑系统是扬声器的结构框架，主要包括：

- **盆架：**盆架是安装振动部分、磁气回路和其它零件的框架。小型 SPK 的支架都是钢板，塑料成型的支架亦很多，塑料框的材质多为 ABS 或 ABS 加纤以增高耐及强度，主要用于移动设备的多媒体模块中。
- **端子：**端子的作用是将外界的信号传送到导线，进入音圈，使音圈获得电流，一般都有标准规格利于外界的插具直接插入。

需要注意的是，在手机、平板等便携设备中使用的扬声器，是以上介绍的传统电动式扬声器架构的一种简化版本，主要是为了适配便携设备的紧凑空间和厚度；但两者的工作原理和架构基本一致。便携式设备的扬声器上主要有以下特点：膜片多为非常轻的透明膜片，非常薄；驱动音圈一般相对较大，10-15 芯；磁铁我稀土磁钕铁硼，磁性能较强。

1.3 扬声器的音质的评判

任何声音都具有一定的振动频率,人能听到声音是耳膜与外界声波共振产生。一般人耳实际响应频率的范围为 20Hz~ 20kHz, 在这个范围之外的振动波型人耳并不能听到。所以扬声器的设计主要是针对 20Hz~ 20kHz 的频率进行优化。

业界对一个扬声器的音质的评价主要从三个方面来评判: 音调、音色、音量, 而这三个方面分别由声音的频率, 波形以及幅度决定, 而在实际产品设计中, 这三个方面往往又是相互影响, 相互制约, 需要设计者的平衡折中。

与此同时, 在人类可以听到的频率范围内, 人们对于不同频段的声音的感受也有很大不同, 大致可以分为浑厚度 (20Hz~200Hz)、力度 (200Hz~800Hz)、清晰度 (800Hz~2000Hz)、明亮度 (2000Hz~5000Hz)、透明度 (5000Hz 以上) 等几个方面。扬声器的设计者以及调音人员需要结合音乐和受众的偏好来调整扬声器的频率响应, 以达到预期的音质效果。

2 扬声器的主要参数

扬声器性能是电学、力学、声学、磁学等物理参数共同作用的结果, 由鼓纸、弹波、音圈、磁路等关键零部件的性能共同确定, 其中一些参数相互制约相互影响, 因而在扬声器的设计和调音时必须综合考虑, 以求达到最佳的音质效果。目前业界一般采用 T/S 指标来定标扬声器参数 (T/S 指标是由澳大利亚人 A.N. Thiele 和 Richard Small, 在 70 年代初发明的扬声器系统数学模型的基本参数), 主要的 T/S 指标有如下几个关键参数:

- 直流电阻 R_e /额定阻抗 Z_{nom}

扬声器的主流阻抗, 主要由音圈决定, 可直接用万用表直接测量。

额定阻抗 Z_{nom} 在扬声器设计之初就已确定, 在移动终端中主要有 6ohm/8ohm/32ohm 等, 额定阻抗与直流阻抗的关系如以下公式:

$$Z_{nom} = (1.05 \sim 1.1) * R_e$$

- 等效辐射面积 SD :

扬声器的等效辐射面积只与扬声器的口径(等效半径 a)有关; 一般扬声器都是圆形, 等效辐射面积的具体计算公式为:

$$SD = \pi * a^2$$

- 等效振动质量 M_{ms}

扬声器的振动质量由音圈质量 M_{m1} 、鼓纸等效质量 M_{m2} 、辐射质量 M_{mr} 共同决定:

$$M_{ms} = M_{m1} + M_{m2} + 2 * M_{mr}$$

其中辐射质量 M_{mr} 只与口径(等效半径 a)有关:

$$M_{mr} = 2.67 * \rho_0 * a^3$$

$\rho_0=1.21\text{kg/m}^3$ 为空气密度, a 为扬声器等效半径。

- 等效顺性 C_{ms}

是指扬声器振动系统的支撑部件的柔顺度, 由鼓纸顺性 C_{m1} 、弹波顺性 C_{m2} 共同决定, 其值越大, 扬声器的整个振动系统越软, 顺性一般由音圈的变位来表征, 单位:毫米/牛顿(mm/N):

$$C_{ms} = \frac{C_{m1} * C_{m2}}{C_{m1} + C_{m2}}$$

- 共振频率 F_0

为喇叭在自由场下的谐振点频率, 由扬声器的等效振动质量 M_{ms} 和等效顺性 C_{ms} 决定, F_0 一般可直接用 F_0 测试仪测量或通过测量阻抗曲线获得。

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{M_{ms}*C_{ms}}} \quad M_{ms} \text{ 单位是 Kg, } C_{ms} \text{ 单位是 m/N}$$

- 共振频率处的最大阻抗 Z_0

共振频率处的最大阻抗 Z_0 主要由音圈、磁路、振动系统(鼓纸、弹波)共同决定, 可通过测量阻抗曲线获得, 公式表达为:

$$Z_0 = R_e + \frac{BL^2}{R_{ms} + R_{mr}}$$

- 等效容积 V_{as}

等效容积 V_{as} 为等同于喇叭顺性时的空气容积, 只与等效顺性、等效辐射面积有关:

$$V_{as} = \rho_0 * c^2 * S D^2 * C_{ms}$$

此处 c 为空气中的声速, $c=344\text{m/s}$

- 机械品质因数 Q_{ms}

机械品质因数 Q_{ms} 反映了扬声器在处于 F_0 时机械结构方面的谐振能力, 数值越低, 阻尼越强; Q_{ms} 主要由振动系统的等效振动质量 M_{ms} 、等效顺性 C_{ms} 、机械力阻 R_{ms} 共同决定, Q_{ms} 可由阻抗曲线的测量获得。

$$Q_{ms} = \frac{1}{R_{ms}} * \sqrt{\frac{M_{ms}}{C_{ms}}} = \frac{F_0}{\Delta f} * \frac{Z_0}{R_e}$$

Δf 是在阻抗曲线上等于 $\sqrt{\frac{Z_0}{R_e}}$ 所对应的两个频率的差值

- 电气品质因数 Q_{es}

Q_{es} 为喇叭的电气 Q 值, 它反映了单元在 F_0 时于电磁控制下的谐振能力, 数值越低, 阻尼越强, 谐振能力越低; 由振动系统的等效振动质量 M_{ms} 、等效顺性 C_{ms} 、机电耦合因子 BL 共同决定, 由阻抗曲线的测量获得。

$$Q_{es} = \frac{Re}{BL^2} * \sqrt{\frac{Mms}{Cms}} = \frac{F0}{\Delta f} * \frac{\sqrt{Z0}}{Z0 - Re}$$

- 总品质因数 Q_{ts}

Q_{ts} 为喇叭的总 Q 值(由 Q_{ms} 和 Q_{es} 并联耦合而成),它反映了单元在 $F0$ 处的谐振能力, 数值越低, 阻尼越强,它由机械品质因数 Q_{ms} 和电气品质因数 Q_{es} 共同决定。

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms} * Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}}$$

- 机电耦合因子 BL

由磁路磁通密度 B 和音圈线有效长度 L 决定, 也可通过测量电气品质因数 Q_{es} 后用下列公式计算:

$$BL^2 = \frac{Re}{Q_{es}} * \sqrt{\frac{Mms}{Cms}}$$

- 参考电声转换效率 η_0

由机电耦合因子 BL 、等效辐射面积 S_d 、等效振动质量 Mms 共同决定。

$$\eta_0 = \frac{\rho_0}{2\pi c} * \frac{(BL * \frac{SD}{Mms})^2}{Re}$$

- 参考灵敏度级 SPL_0

SPL_0 参考电声转换效率 η_0 直接相关:

$$SPL_0 = 112 + 10 \log \eta_0$$

扬声器单元是一种电信号与声音之间的换能器, 要求它能以相对较小的输入功率转达换成很宏亮的声音, 这就要求扬声器有较高的声压灵敏度, 灵敏度实质上是一种[转换效率]的体现, 各类扬声器系统由于采用的设计技术, 选用的材料和生产工艺等多方面的差异, 灵敏度的差异也很大。参考灵敏度是指输入扬声器单元 1 瓦的电功率, 在扬声器轴线方向离开 1 米远的地方测得的声压级大小, 如果两种扬声器的参考灵敏度相差 3dB, 要达到同样大的声压级输出, 需要增加电输入功率一倍, 因此参考灵敏度较高的扬声器能发出较大的声音。

扬声器系统的输入功率能力一般都远远大于 1 瓦 (一般都在 100 瓦-2000 瓦之间) 因此实际使用时都可输入这个最大允许的电功率, 以额定最大功率, 输入扬声器, 在扬声器轴向 1 米处产生的声压级称为最大声压级 SPL_{max} 例, 参考灵敏度=100dB, 1w/1m 扬声器, 若具最大功率承受能力为 1000W, 则 $SPL_{max}=100dB + 30dB=130dB@1m$ 。

$$SPL = SPL_0 + 20 * \log(D) - 10 \log(P)$$

D: 实际测试距离和参考测试距离的比值

P: 实际测试功率和参考测试功率的比值

- 参考振幅 ξ
参考振幅 ξ 与参考电声转换效率 η_0 、电功率 P_e 、等效半径 a 、频率 f 有关:

$$\xi = 0.481 * \frac{\sqrt{P_e * \eta_0}}{(a * f)^2}$$

- **Xmax:** 最大线性位移, 或叫最大线性冲程, 计算为全冲程位移值的 1/2; 而一些厂家采用全程的 P-P 值(peak-to-peak)表示, 此时要注意在对比时减半。
- **THD:** 扬声器的失真, 主要由振动系统的非线性和磁路系统的非线性产生。在大振幅情况下, 由折环及弹波所组成的振动系统悬挂体, 不再符合线性的虎克定律; 磁间隙内磁感应密度沿轴向的不均匀性和导磁材料的非线性特性等都会产生非线性失真。其主要衡量指标是总谐波失真, 主要分为以下几类:

互调失真: 输入一个低频 f_1 和一个高频 f_2 信号, 输出 $a*f_2+b*f_1$ 的信号

瞬态失真: 扬声器对猝发信号的“跟随”以及“停顿”能力. 及前沿和后沿失真

相位失真: 频率之间的相位差, 例如一个扬声器有装高低音 3 个喇叭单元, 但 3 个单元距离人耳距离并不相同, 就会造成相位失真.

一个好的喇叭单元额定功率的失真一般会低于 5%, 并且失真很大一部分由 2 次和 3 次谐波失真构成.

- 额定功率
扬声器的额定正弦功率以及纯音检听功率, 基本上由低频最大振幅 ξ_0 决定。一般低频最大振幅是在共振频率 F_0 处。扬声器的低频最大振幅主要取决于磁路结构和音圈卷宽, 当然与振动系统也有很大的关系。扬声器正常工作时, 音圈不能跳出磁间隙, 即有 $\xi_0 \leq X_{max}$, 否则会产生很大的非线性失真(表现为振幅异常音)、甚至会导致音圈损坏(卡死或烧毁)。 F_0 处最大振幅 ξ_0 可由下列公式计算:

$$\xi_0 = 1.414 * BL * I * C_{ms} * Q_{ts}$$

式中 I 为馈给扬声器的电流, $I = \sqrt{\frac{P_e}{R_e}}$ 。

如果扬声器的基本机电参数(BL 、 C_{ms} 、 Q_{ts})确定, 其电流 I 决定的功率 $P_e = I^2 * R_e$, 就受到低频最大振幅 $\xi_0 \leq X_{max}$ 的限制。反之, 假使扬声器在一定振幅的情况下功率必需达到一定值, 根据前面的公式, 则扬声器的等效顺性就不能太大, 即 F_0 不能太小。当有 $\frac{BL^2}{R_e} \gg R_{ms}$ 时, 公式(25)又可简化如下:

$$\xi_0 = 0.225 * \frac{V}{BL * F_0}$$

式中 V 为馈给扬声器的电压, $V = \sqrt{\frac{P_e}{R_e}}$ 。此式更直观地显示出最大振幅 ξ_0 与电压 V 、机电耦合因子 BL 、共振频率 F_0 的关系。一般所称的总品质因数 Q_{ts} 对低频振幅的控制能力就由公式 ()、() 体现和反映, 其中 BL 值的作用更明显。

扬声器的低频声功率 P_a 同样也受到限制：

$$P_a = P_e * \eta_o = 4.33 * \xi^2 * a^4 * f^4$$

可见，声功率 P_a 既与电功率 P_e 有关、又与电声转换效率 η_o 直接相关，实际上最终与扬声器的振幅、口径、频率有关。为了达到一定的声功率 P_a ，在频率一样的条件下，口径越小、则其振幅越大，而振幅一般都受到限制，所以口径就不能太小。亦即，小口径扬声器不可能产生很大的声功率，因为小口径扬声器一般都受到结构限制，其振幅较小，效率较低，而音圈不会很大、所用线径有限、所能承受的电功率也有限。

扬声器额定噪声功率和长期最大功率，既与低频最大振幅有关，又与音圈的线径、材料和系统的散热条件、使用的胶水等直接相关。大功率扬声器，一般均使用高强度耐高温的音圈线、音圈骨架、胶水，采用大冲程、散热良好的磁路结构，音圈采用较宽的卷宽和线径，弹波采用强度高、抗疲劳性能好的材料，当然一般也采用大口径系列。扬声器额定噪声功率和长期最大功率，最终只能通过负荷试验获得和验证。

3 低功率 Smart PA 的引入及其对扬声器性能的提升

3.1 传统应用中扬声器参数对其性能的限制

目前用户对于多媒体设备中的音频外放的音质以及响度要求越来越高。从前面章节的介绍可以看出，扬声器的音质主要取决于扬声器的频域特性（尤其是低频）以及线性失真，其中参考振幅以及 THD 是关键参数；扬声器的响度取决于扬声器的输入功率以及转换效率。

传统的扬声器开环驱动电路中，为了得到最佳的低频效果和响度，只能加大扬声器的驱动功率以及低频响应调音参数，使扬声器获得较大的高频功率以及振幅冲程。

但扬声器的驱动功率以及低频冲程不能无限放大，当达到一定数值后，扬声器进入了非线性范围，音质出现恶化，极端情况下，冲程过大导致扬声器的弹波拉断，造成结构永久性损伤；同时平均功率过高，造成扬声器过热，也可能导致扬声器的烧坏。

为了规避这类扬声器的过载损坏问题，一般设计者都会使扬声器的驱动功率和低频幅度回退

（DRC 和 EQ filter）或者削峰处理，确保扬声器工作在一个安全范围（safe operation area）；但这又使扬声器在绝大多数情况下工作在欠负载情况下，扬声器的潜力也无法发挥，音质以及响度都无法满足客户需求；客户如果对音质以及响度有进一步的诉求，只能加大扬声器的尺寸，但这又对多媒体设备的结构设计提出挑战，尤其是智能手机这类对结构尺寸比较敏感的便携式终端。

3.2 低功率 Smart PA 的工作原理及其对扬声器性能的提升

低功率闭环 Smart PA 的概念是由 TI 在 2010 左右提出，主要原理是针对扬声器的性能参数进行建模并且监控扬声器的 I/V 反馈，从而通过软件算法预测在输入音频信号下扬声器的工作状态和行为模式，并且动态调整算法输出，驱动扬声器，确保扬声器在安全范围的前提下使其长时间内工作在最大冲程以及最大的平均功率下，从而实现在相同扬声器尺寸的情况下最佳的音质以及响度。

如 Figure 4 所示，针对一些大动态的声音，比如鼓声、枪炮声，动态达到 80dB 以上，传统的音频功放只能使用 DRC 控制，使声音变得刺耳；而在闭环的低频 Smart PA 应用中，算法会监控扬声器的实际冲程，从而实时控制信号的压缩比，最大限度的使用扬声器的冲程范围，从而达到传统扬声器达不到的动态和低音效果。又比如一些动态不大，但高频分量比较高音源，会使扬声器的音圈温度快速升温；传统的音频功放无法得知扬声器的音圈温度，所以一直存在烧毁音圈的风险；使用低功率闭环的 Smart PA，可以实时的监控扬声音圈的温度，从而调节 Smart PA 的增益，实现扬声器的音量大小和安全之间的一个平衡。

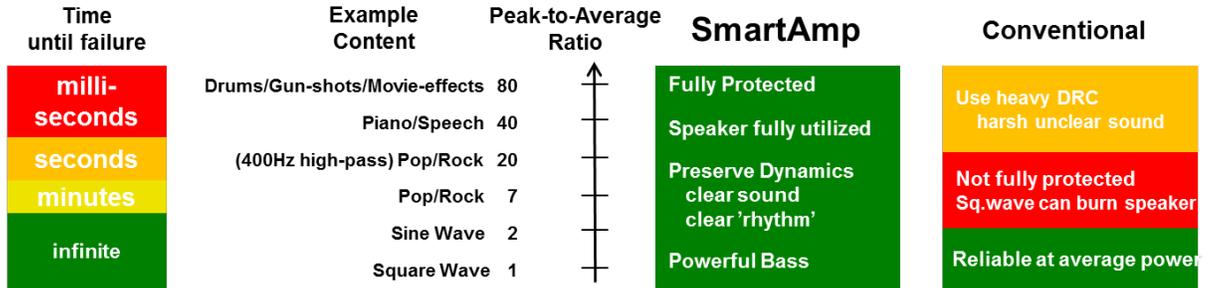


Figure 4 传统功放和低功率闭环 Smart PA 功放的工作原理比较

低功率 Smart PA 与传统的扬声器驱动放大器最大的三点不同是：

1. 低功率 Smart PA 驱动环路为闭环结构，需要监控扬声器的工作电压电流。
2. 芯片的 ASIC 上需要运行扬声器的保护算法。
3. 系统工作之前，需要对扬声器进行参数提取建模，供保护算法计算控制 smart PA 使用。

低功率 Smart PA 的架构图所示：在实际的产品中，保护算法可以运行在 Smart PA 芯片集成的 DSP 上（如 TAS2557），也可以运行在便携设备系统的 SOC 上（如 TAS2560）。Figure 5 是针对 TAS2557 的应用框图。

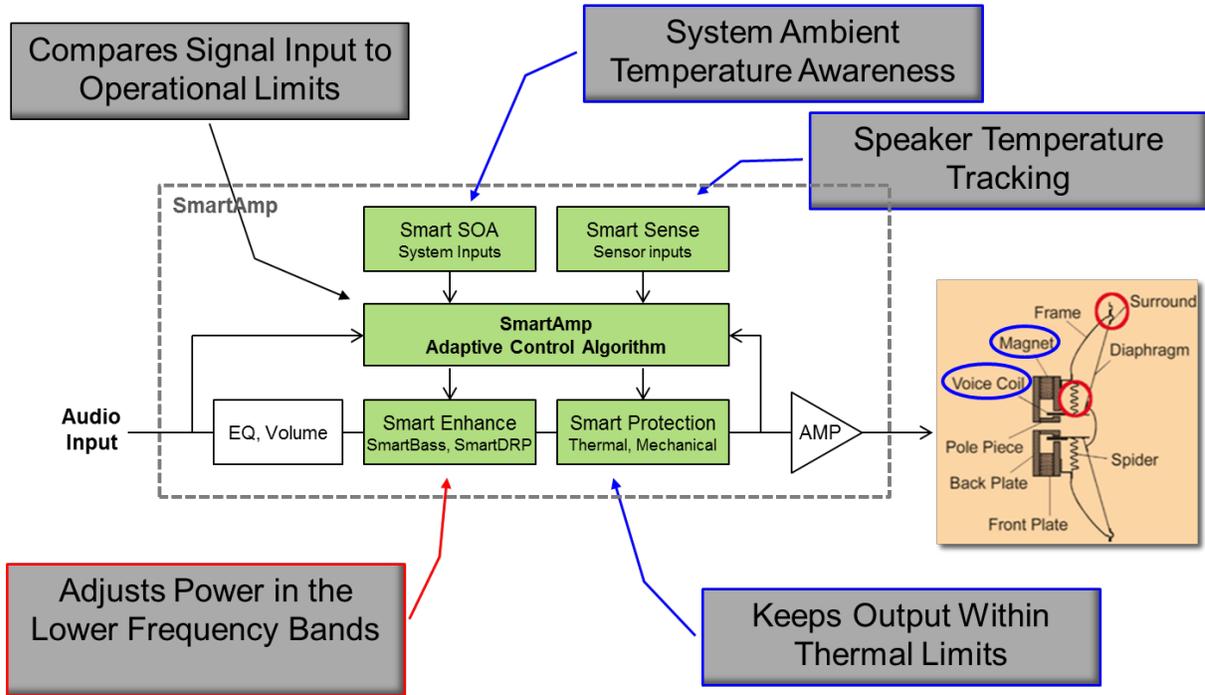


Figure 5 Smart PA 架构

4 PPC3 软件的使用以及喇叭参数的获取

在前面两章中，主要介绍了扬声器的工作原理、内部结构以及关键参数的定义。了解这些基本原理和参数之间的内在关系对于实际的研发工作中对扬声器的使用和调音将会大受裨益。根据这些基本原理，TI 开发了 PPC3 用户软件（Pure Path Console 3），不仅可以用于针对 TI 的音频器件的算法参数调音，还可以用于扬声器喇叭的参数提取，使用者只需要利用扬声器厂家提供的几个主要参数，就可以获得扬声器的完整参数，大大简化了音频设备的调试难度，提高了开发效率。

4.1 PPC3（Pure Path Console 3）软件介绍

PPC3 是 TI 针对音频放大器开发的客户端控制软件，主要的功能模块包括：

- 扬声器参数的建模
- TI smart PA 器件的寄存器配置
- TI smart PA 算法参数的调整优化
- TI smart PA 音效效果的调节
- 扬声器温度及振幅的监控
- 生成 Smart PA 算法参数、音效参数文件

由于 Smart PA 音频算法和客户产品开发平台以及 smart PA 型号紧密相关，所以针对不同的平台版本和器件型号，PPC3 会有不同的对应开发版本，以适应各种平台不同的软件音频接口和算法需求；同时 PPC3 针对不同平台下，为了达到最佳的扬声器音效，提供了各种算法参数、音效参数的调整优化选项；这几部分内容将并不在本文涉及，会在随后的其他应用文档中展开详细介绍。

对于扬声器参数的提取，PPC3 并不区分各种开发平台或者 smart PA 器件型号，都使用同一个基础的 PPC3 版本，比较常用的如 PPC3 V3.0.8；如何实现扬声器参数的提取，将在下一小节中详细讨论。

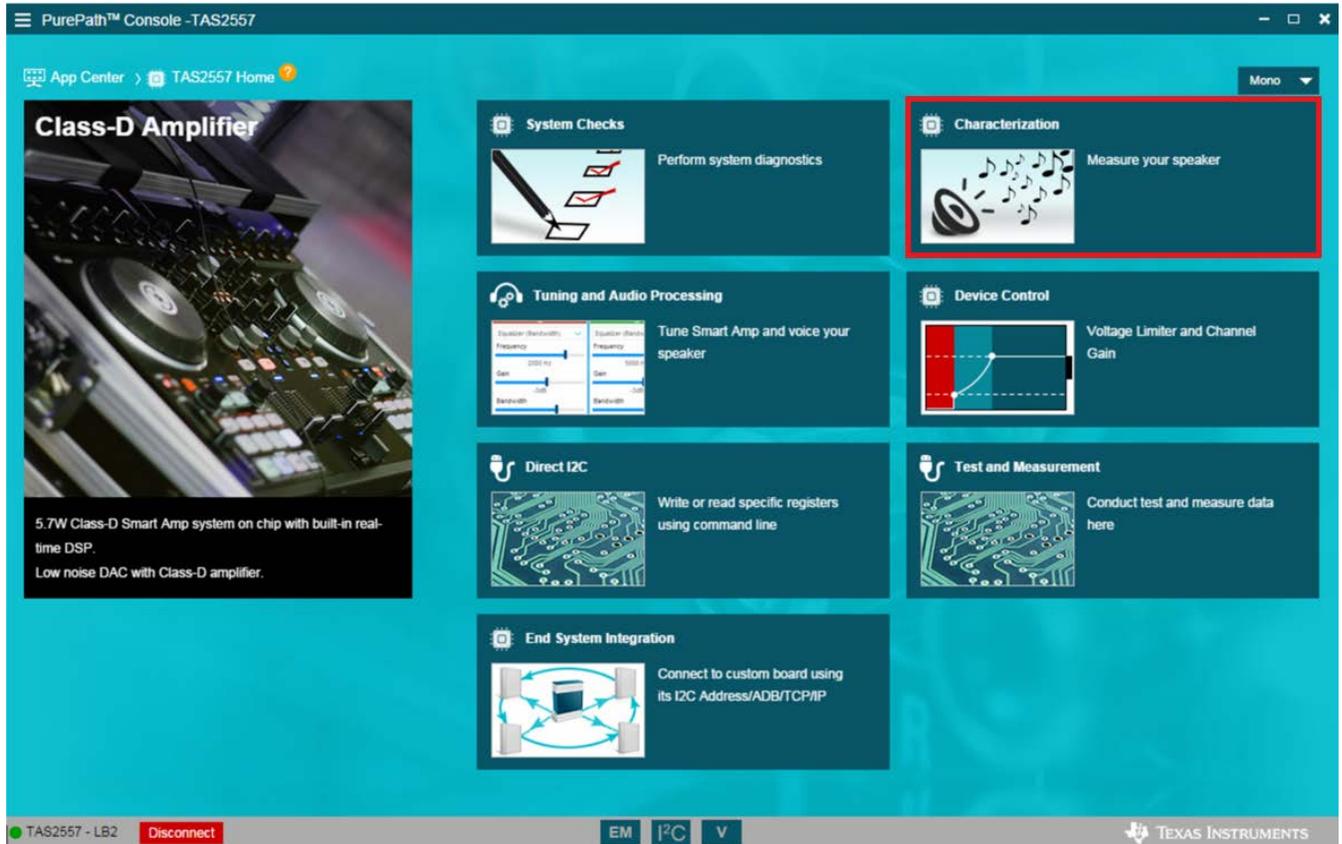


Figure 6 PPC3 典型界面

4.2 扬声器参数的建模提取

在详细描述扬声器参数提取过程之前，首先介绍一下硬件环境。TI 提供了两块硬件板卡，连接关系如图所示；上面的板卡为 Smart Amp Learning Board 2 (LB2)，主要包括如下功能：

- 生成对于扬声器参数提取必须的信号源：扫频信号源用于幅频曲线的测量，高频信号源用于温度系数的测量。
- Microphone 输入
- 激光测试仪的输入端口，用于扬声器振幅的测量
- SPDIF (optical and coaxial)
- 电压电流测量：测量 AMP IN 的输入电压幅度；测量 AMP OUT 的输出电流

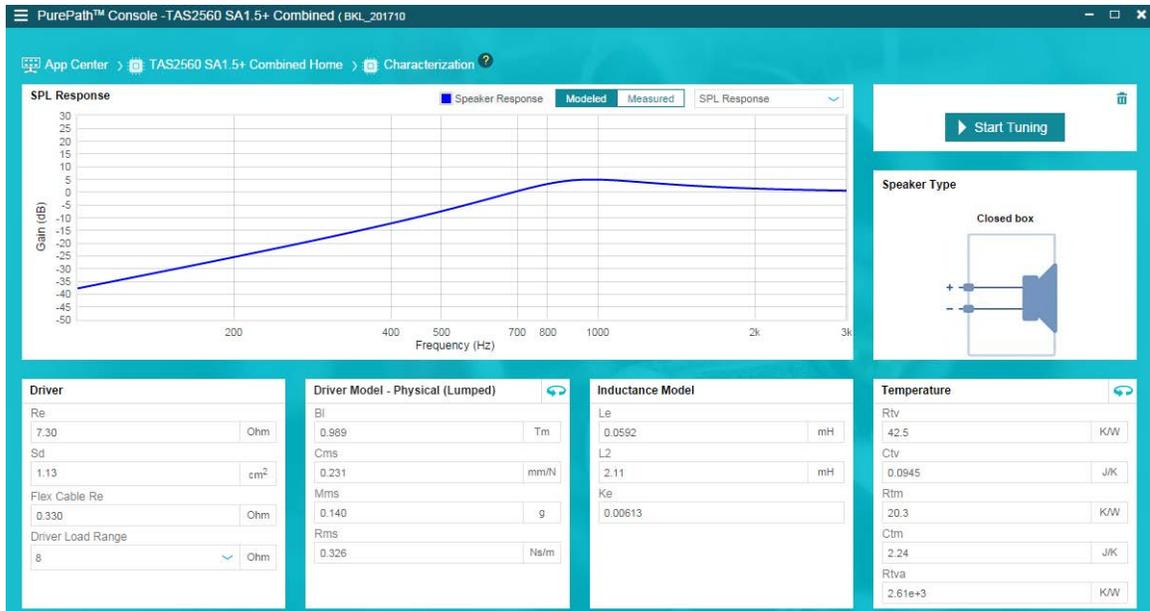


Figure 8 Smart PA 参数界面

| Key Parameters | Obtained From Speaker Vendor Data Sheet | Obtained From Learning Board Characterization |
|--|---|---|
| Xmax (mm) | Yes | No |
| Tmax (°C) | Yes | No |
| Temperature Coefficient (K ⁻¹) | Yes | No |
| Sd (cm ²) | Yes | No |
| Bl | Yes | No |
| Re (Ω) | Yes | Yes |
| f0 (Hz) | Yes | Yes |
| Tolerances of Re | Yes | No |
| Impedance transfer function | Yes | Yes |
| Excursion transfer function | Yes | Yes |

Table 1 扬声器参数列表

5 总结

本文主要介绍了扬声器的基础知识和工作原理；初步介绍了了 TI Smart PA 器件的架构和以及如何最大限度的提升和发挥扬声器的效能。在文章的最后，简要介绍了利用 TI 的 PPC3 工具对喇叭的建模，为后续的工作提供基础。

6 参考资料

1. TAS2560 Datasheet
2. SLAA757 “Smart Amp Quick Start Guide”

有关 TI 设计信息和资源的重要通知

德州仪器 (TI) 公司提供的技术、应用或其他设计建议、服务或信息，包括但不限于与评估模块有关的参考设计和材料（总称“TI 资源”），旨在帮助设计人员开发整合了 TI 产品的应用；如果您（个人，或如果是代表贵公司，则为贵公司）以任何方式下载、访问或使用了任何特定的 TI 资源，即表示贵方同意仅为该等目标，按照本通知的条款进行使用。

TI 所提供的 TI 资源，并未扩大或以其他方式修改 TI 对 TI 产品的公开适用的质保及质保免责声明；也未导致 TI 承担任何额外的义务或责任。TI 有权对其 TI 资源进行纠正、增强、改进和其他修改。

您理解并同意，在设计应用时应自行实施独立的分析、评价和判断，且应全权负责并确保应用的安全性，以及您的应用（包括应用中使用的 TI 产品）应符合所有适用的法律法规及其他相关要求。您就您的应用声明，您具备制订和实施下列保障措施所需的一切必要专业知识，能够 (1) 预见故障的危险后果，(2) 监视故障及其后果，以及 (3) 降低可能导致危险的故障几率并采取适当措施。您同意，在使用或分发包含 TI 产品的任何应用前，您将彻底测试该等应用和该等应用所用 TI 产品的功能而设计。除特定 TI 资源的公开文档中明确列出的测试外，TI 未进行任何其他测试。

您只有在为开发包含该等 TI 资源所列 TI 产品的应用时，才被授权使用、复制和修改任何相关单项 TI 资源。但并未依据禁止反言原则或其他法律授予您任何 TI 知识产权的任何其他明示或默示的许可，也未授予您 TI 或第三方的任何技术或知识产权的许可，该等许可包括但不限于任何专利权、版权、屏蔽作品权或与使用 TI 产品或服务的任何整合、机器制作、流程相关的其他知识产权。涉及或参考了第三方产品或服务的信息不构成使用此类产品或服务的许可或与其相关的保证或认可。使用 TI 资源可能需要您向第三方获得对该等第三方专利或其他知识产权的许可。

TI 资源系“按原样”提供。TI 兹免除对 TI 资源及其使用作出所有其他明确或默示的保证或陈述，包括但不限于对准确性或完整性、产权保证、无复发故障保证，以及适销性、适合特定用途和不侵犯任何第三方知识产权的任何默认保证。

TI 不负责任何申索，包括但不限于因组合产品所致或与之有关的申索，也不为您辩护或赔偿，即使该等产品组合已列于 TI 资源或其他地方。对因 TI 资源或其使用引起或与之有关的任何实际的、直接的、特殊的、附带的、间接的、惩罚性的、偶发的、从属或惩戒性损害赔偿，不管 TI 是否获悉可能会产生上述损害赔偿，TI 概不负责。

您同意向 TI 及其代表全额赔偿因您不遵守本通知条款和条件而引起的任何损害、费用、损失和/或责任。

本通知适用于 TI 资源。另有其他条款适用于某些类型的材料、TI 产品和服务的使用和采购。这些条款包括但不限于适用于 TI 的半导体产品 (<http://www.ti.com/sc/docs/stdterms.htm>)、[评估模块](http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm)和样品 (<http://www.ti.com/sc/docs/sampters.htm>) 的标准条款。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2018 德州仪器半导体技术（上海）有限公司