

## TI TAS5815 功放在 TV 应用中的设计

Jesse Ji, Anderson Cheng

Audio

### 摘要

TITAS58xx 系列功放，尤其是 TAS5815 在 TV 中又非常广泛的应用，但是由于 TV 产品设计的一些局限性，在发挥 TAS5815 的性能上，有一些需要注意的地方，来防止产品量产过程中出现问题。

本文章将主要从 TV 应用场景的软件和硬件参数设计，声学调音流程，Layout 和散热设计等方面来介绍 TV 产品在使用 TAS5815 时，需要注意的一些细节。

### 目录

1. TAS5815 在 TV 应用中的软件配置和硬件设计 .....	2
2. 声学调音的注意点.....	12
3. Layout 设计时的注意事项 .....	14
4. 散热设计的注意点.....	15
参考文献 .....	16

### 图例

图 1 TAS5815 Analog Gain 配置 .....	2
图 2 在 TAS5815 AGL 中配置 Digital Gain .....	3
图 3 TAS5815 开机配置时序要求 .....	4
图 4 TAS5815 BTL 模式磁珠滤波参考原理图 .....	5
图 5 TAS5815 BTL 模式 LC 滤波参考原理图 .....	5
图 6 TAS5815 PBTL 模式 LC 滤波参考原理图 .....	6
图 7 规格书中的 LC 推荐选择 .....	7
图 8 Class-D LC filter design 工具中的幅度频率响应仿真图 .....	8
图 9 电容直流偏压效应.....	9
图 10 电容 C1608X7R1V474K080A 的直流偏压曲线.....	9
图 11 喇叭 1 的阻抗特性曲线.....	10
图 12 10uH+2.2uF 的 LC 滤波器频响特性.....	11
图 13 喇叭 2 的阻抗曲线.....	11
图 14 10uH+2.2uF+40ohm 的频响特性 .....	12
图 15 规格书中 PWM 开关频率和内部闭环环路带宽的设置建议 .....	13
图 16 功放 DSP 信号链路中的数据格式.....	13
图 17 TAS5815 PCB Layout 注意事项 .....	14
图 18 TI 关于 TAS5805 热测试的试验结果 .....	15
图 19 TAS5815 vs TAS5805 热测试的试验结果 .....	15

## 1. TAS5815 在 TV 应用中的软件配置和硬件设计

### 1.1 关于 TAS5815 的软件配置

根据客户的实际应用场景不同而设置，比如是 **BTL** 模式还是 **PBTL** 模式，但是基础的配置可以按照 TI 应用指导文档 [General Tuning Guide for TAS58xx family](#) 中进行基础的 **Gain** 等配置。

假设供电电压 20V, 输出功率要求 15W, 6ohm 喇叭负载的应用场景，Gain 计算方式如下：

$$PVDD = 20V$$

$$Analog\ Gain = 20 * \log\left(\frac{PVDD}{29.5v}\right) = 20 \log\left(\frac{20}{29.5}\right) = -3.38dB \approx -3.5dB$$

(0dBFS 输入，输出 29.5v 是 TAS5815 功放的最大增益)

$$Output\ Power = 15W$$

$$Output\ Peak\ Voltage = \sqrt{2 * OutputPower * Load\ Resistance} = \sqrt{2 * 15 * 6} = 13.4V$$

$$Digital\ Gain = 20 \log\left(Peak \frac{Voltage}{PVDD}\right) = -3.47dB \approx -3.5dB$$

考虑到实际应用过程中，功放  $R_{dson}$ ，电感等都会分掉一部分输出电压，详细的计算方式可以参考 [General Tuning Guide for TAS58xx family](#) 中的说明。除此之外，也可以实际使用 Audio Precision 来测试输出的最大电压，来进行 Gain 的细微调整。

当计算完成 Gain 的值后，PPC3 中的配置可以参考如下图：

Analog Gain 的配置：

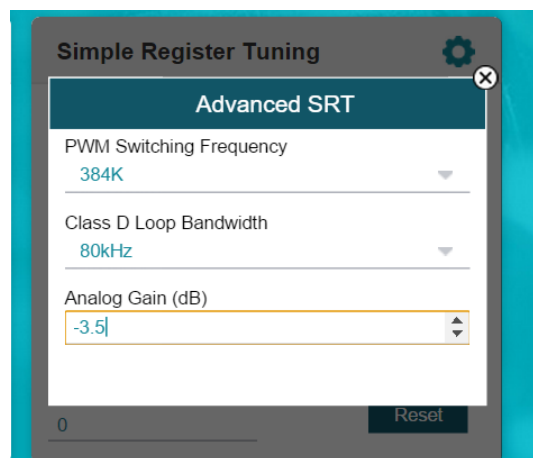


图 1 TAS5815 Analog Gain 配置

关于 Analog gain 的配置，可以有效的控制功放模拟放大部分的增益，TAS5815 中的固定模拟增益时 0dBFS 信号输入，放大到 29.5V 峰值，所以根据实际的 PVDD 来配置模拟增益，可以比较有效的防止输出削波失真（clipping）。

Digital Gain 的配置，这里 Digital Gain 的配置，推荐设置在 AGL 模块里。这样可以保持中小信号的音量不降低的情况下，限制大信号的输出，来避免削波失真，保护喇叭。

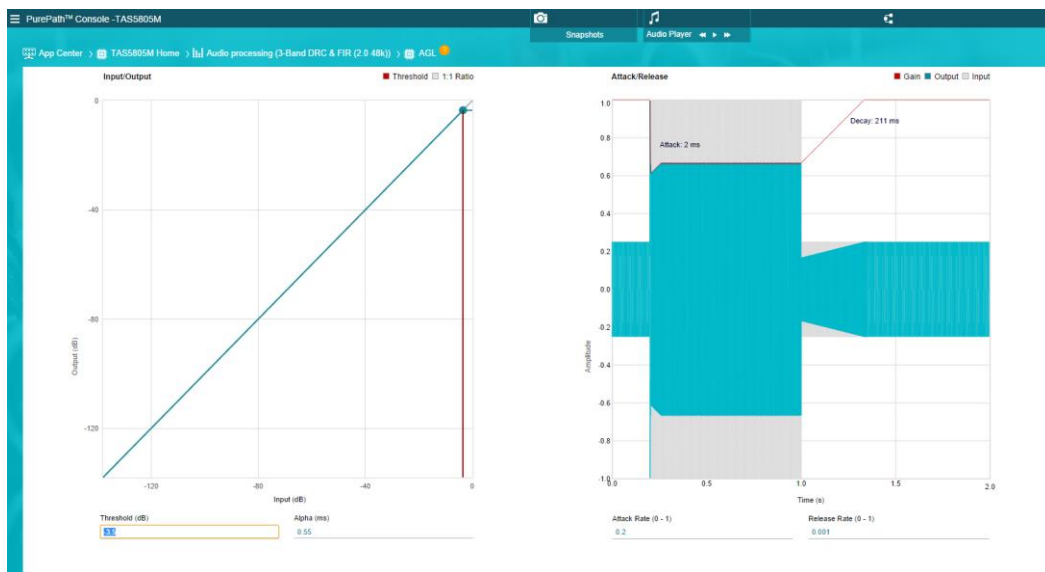


图 2 在 TAS5815 AGL 中配置 Digital Gain

## 1.2 软件控制注意事项

在完成上述软件增益配置，以及后续的调音等工作之后，在软件对 TAS5815 进行软件配置写入时需要注意写入的时序配合，TAS5815 对开机写配置时的 I2S 时钟是有明确要求的，一定要注意符合时序要求，否则 DSP 参数写入可能会出错，具体参考如下时序：

1. Configure ADR/  $\overline{\text{FAULT}}$  pin with proper settings for I<sup>2</sup>C device address.
2. Bring up power supplies (it does not matter if PVDD or DVDD comes up first).
3. Once power supplies are stable, bring up  $\overline{\text{PDN}}$  to High and wait 5ms at least, then start SCLK, LRCLK.
4. Once I<sup>2</sup>S clocks are stable, set the device into HiZ state and enable DSP via the I<sup>2</sup>C control port.
5. Wait 5ms at least. Then initialize the DSP Coefficient, then set the device to Play state.
6. The device is now in normal operation.

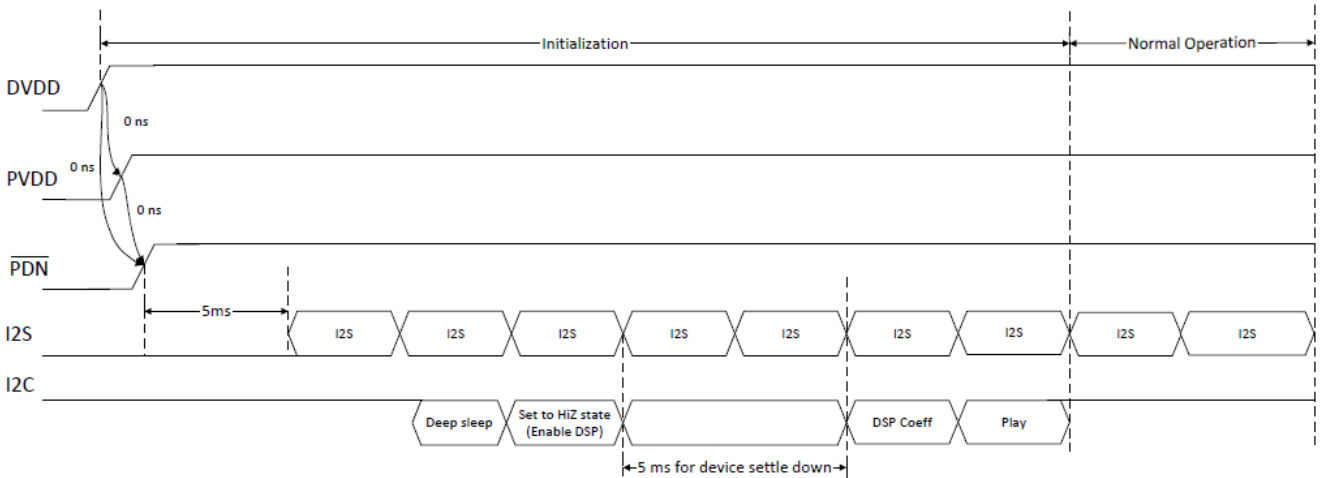


图 3 TAS5815 开机配置时序要求

### 1.3 关于 TAS5815 硬件原理图设计，

TI 一般推荐参考规格书中的典型应用原理图。其中相关的元器件的设计可以参考 EVM 板的原理图。

TAS5815 的典型应用原理图分为三种 BTL 模式磁珠滤波接法（见图 3），BTL 模式电感电容 LC 滤波的接法（见图 4），以及为了达到更大输出功率的 PBTL 并联桥接模式的接法（见图 5），PBTL 接法单喇叭理论最大功率可以达到比 BTL 功率翻倍的效果，当然得考虑喇叭负载阻抗和功放供电电压。

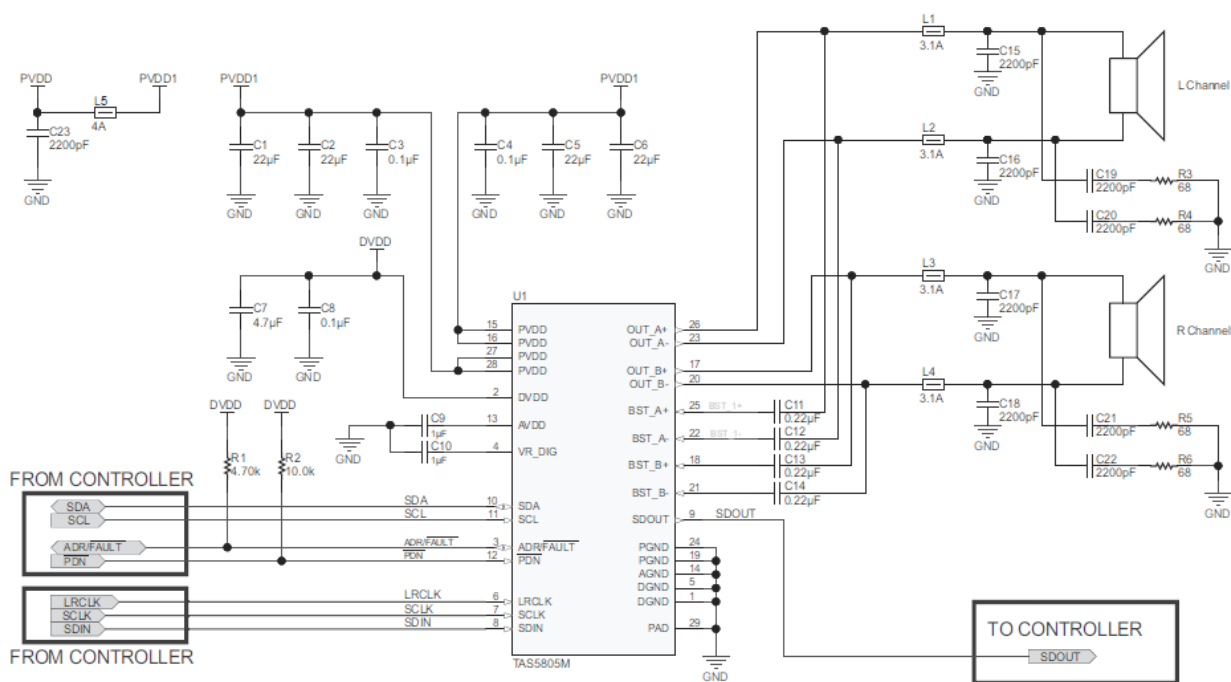


图 4 TAS5815 BTL 模式磁珠滤波参考原理图

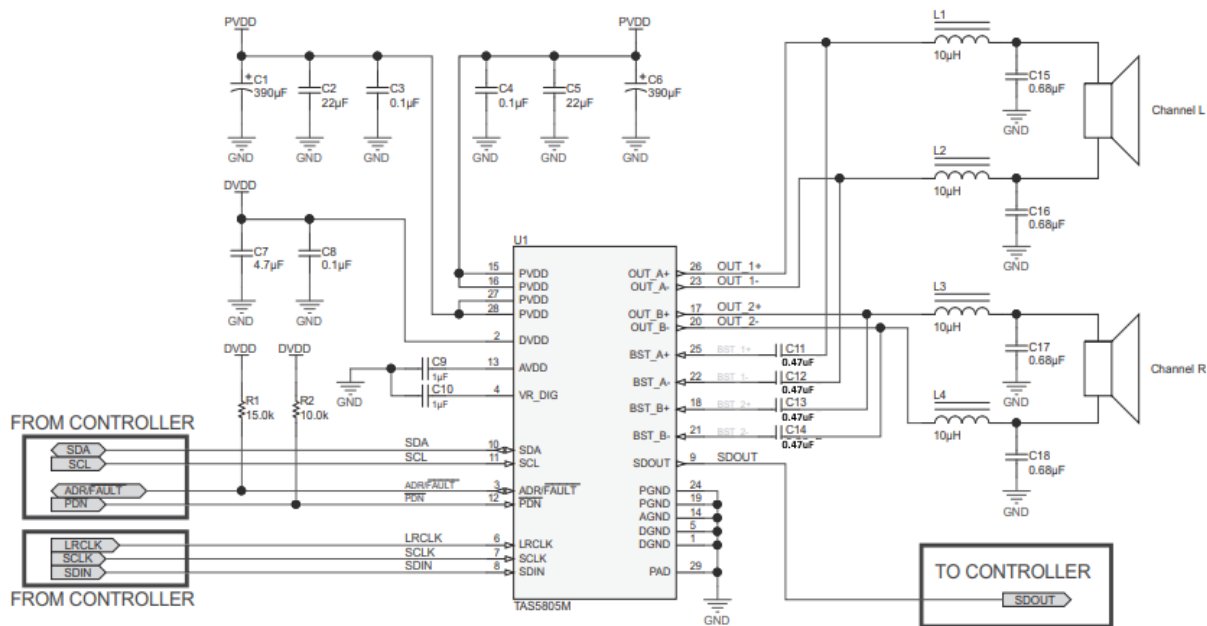


图 5 TAS5815 BTL 模式 LC 滤波参考原理图

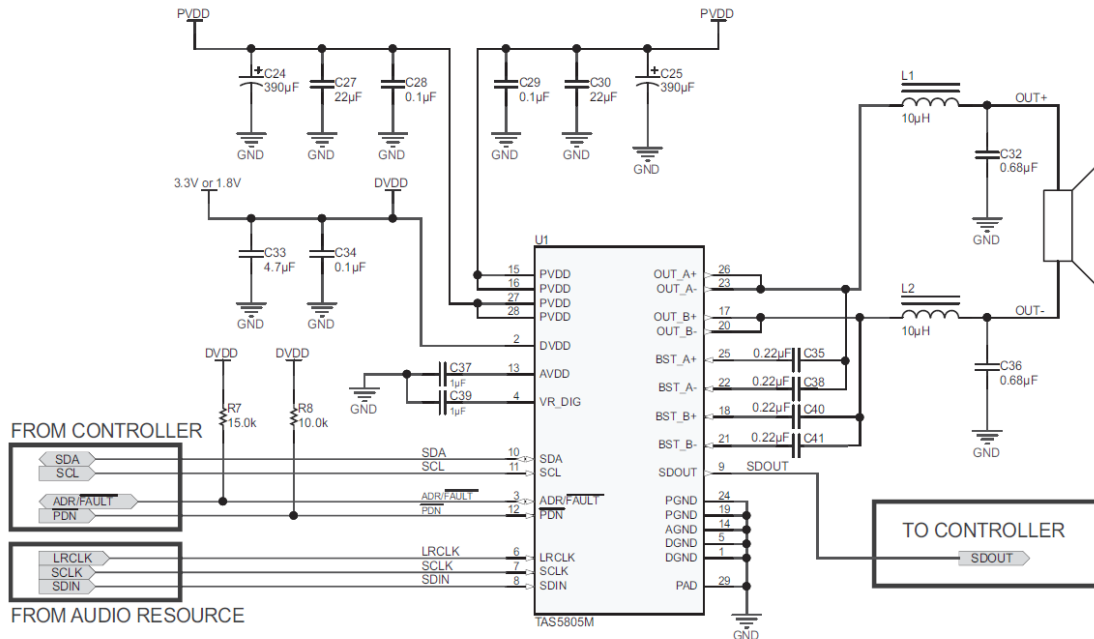


图 6 TAS5815 PBT 模式 LC 滤波参考原理图

## 1.4 外围硬件电路参数的选择

### 1.4.1 输出 LC 滤波器参数选型以及注意点

关于 LC 滤波器的电感电容取值计算，可以参考 TI 的设计文档 [LC Filter Design](#) 以及设计计算工具 [Class-D LC Filter Designer](#)。

在电视机的应用中，出于性价比的考虑，电感的选择往往比较苛刻。当更换不同电感的时候，需要从以下几点确认：

- 电感的饱和电流

关于饱和电流的确定，可以参考 datasheet 中的 8.1.2 Inductor Selections 中的最大电流计算公式，取三个公式中，电流最大的值作为阈值。LC 滤波器需要选择饱和电流大于阈值的电感。

其次参考 datasheet 中如下的两个表格也可以做一个初步的电感筛选：

**Note**

$\theta=0.5$  (BD Modulation), 0.14 (1SPW Modulation), 0.14 (Hybrid Modulation). This formula just provide a rough estimation, suggest to measure the start-up current based on your LC filter.

**Table 8-1. Peak current during power up**

PVDD	L (uH)	C (uF)	Fsw (kHz)	I <sub>peak_power_up</sub>
24	4.7	0.68	384	6.07A (>5A OCP), not recommended
24	4.7	0.68	768	3.25A
24	10	0.68	384	3A
24	10	0.68	768	1.55A
12	4.7	0.68	384	3.32A
12	10	0.68	384	1.55A

**Table 8-2. LC filter recommendation**

PVDD (V)	Switching Frequency (kHz)	Modulation Scheme	Recommended Minimum Inductance (uH) for LC filter design
≤12	384	BD	4.7uH + 0.68uF
>12			10uH + 0.68uF
≤12	384	1SPW/Hybrid	10uH + 0.68uF
>12			15uH + 0.68uF

**图 7 规格书中的 LC 推荐选择**

- 电感的温升电流  
电感温升电流是指电感温度上升到 40 度时，对应的通过电感的电流值。这里需要注意的是，当温度上升，感值会下降，而感值下降，会导致流过电感的峰值电流也会产生变化，故需要参考电感规格书的具体数值，计算电感下降后，导致的峰值电流上升，此时电感饱和电流是否依然有余量。
- LC 滤波器的截止频率以及 Q  
如 TI 的设计文档 [LC Filter Design](#) 中，考虑到电感的选择，会影响 LC 滤波器的截止频率以及 Q 的变化。截止频率和 Q 的共同影响，有可能会影响 20kHz 或者 40kHz 频响的变化：

举例：

假设我们使用 22uH+1uF 作为 LC 滤波器的输出。PWM 开关频率选择使用 384kHz，调制模式选择 1SPW 模式。其他条件参考上文的描述条件。

饱和电流的计算以及温升对感值影响的考虑：

那么使用 TAS5815 Datasheet 8.1.2 Inductor Selections 中的计算公式，计算出的峰值电流值如下表，其次，考虑温升电流，假设电感值随着温度变化 20%。则 22uH 电感的变化范围是 17.6-26.4uH，如果电感是 17.6uH，则峰值电流值会变大：

**Table 1 电感峰值电流计算公式和示例**

计算公式	电流值 (22uH)	电流变化值 (17.6uH)
$I_{peak\_power\_up} \approx PVDD \times \sqrt{C/L} \times \sin(1/\sqrt{L \times C} \times \theta / F_{sw})$	0.35A	0.44A
$I_{peak\_clipping} \approx PVDD \times (1 - \theta) / (F_{sw} \times L)$	2.01A	2.51A
$I_{peak\_output\_power} \approx \sqrt{2 \times Max\_Output\_Power / R_{speaker\_Load}}$	2.24A	2.23A
$I_{SAT} \geq \max(I_{peak\_power\_up}, I_{peak\_clipping}, I_{peak\_output\_power})$	<b>2.24A</b>	<b>2.51A</b>



所以参考如上的计算，饱和电流需要选择大于 2.51A 的电感。根据经验，预留 1.4 倍左右的余量，选择  $2.51 \times 1.4 = 3.5A$  的饱和电流电感，是比较安全的。

#### LC 滤波器幅度频率响应的影响：

根据 22uH，1uF 的电感电容值，使用 TI 的 LC 滤波器设计工具 [Class-D LC Filter Designer](#)，可以得到不同负载情况下的频率响应图：

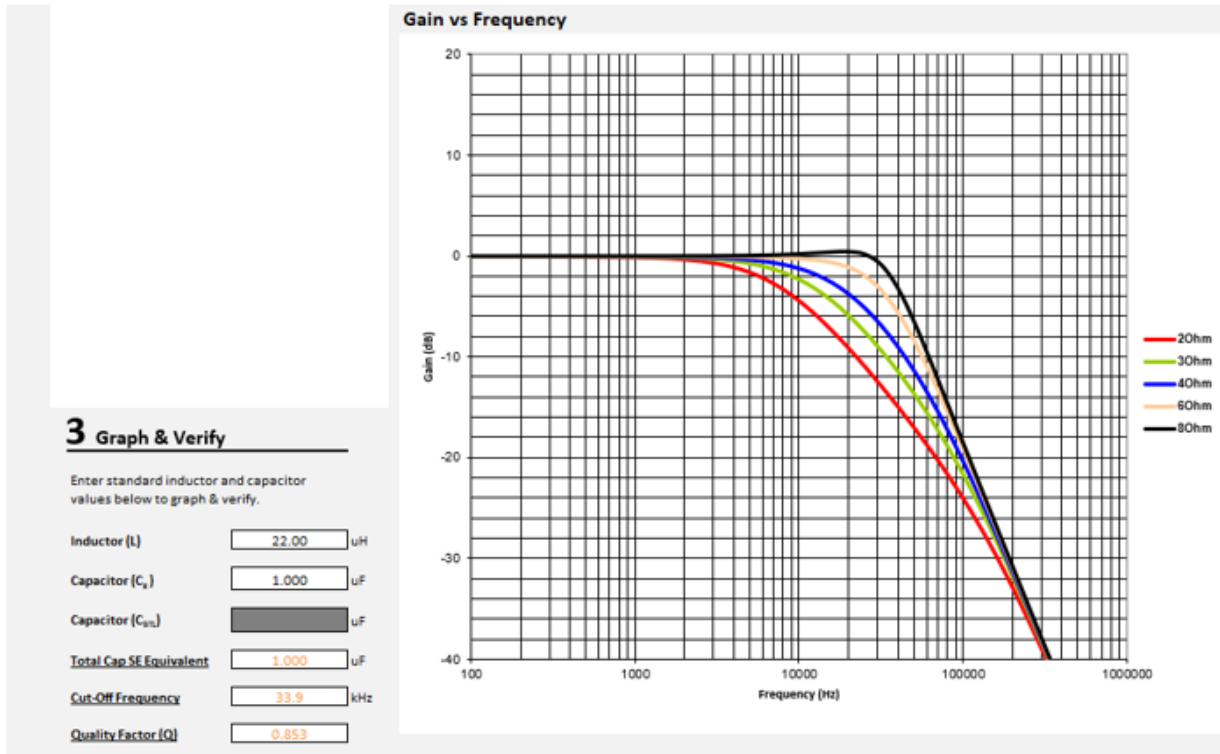


图 8 Class-D LC filter design 工具中的幅度频率响应仿真图

可以看到当使用 22uH，1uH 配置时，截止频率在 33.9kHz，对于一般的音频系统设计，只需要满足 20-20kHz 的输出信号，33.9kHz 的截止频率大于 20kHz 时可以接受的。但是如果对于 High resolution 的设计，需要满足输出 40kHz 信号的要求，那么截止频率在 33.9kHz 的 LC 滤波器，就可能会影响带内的输出信号。这种设计是不推荐的。

其次，考虑到我们的负载是 60ohm，观察橙色的曲线，可以看到 LC 的频响增益，在 20kHz 时候已经开始下降，下降如果超过 0.5dB，则需要考虑 LC 的合适性，因为有可能会影响整个系统的高频输出性能。这个可以根据客户的实际情况，来确定该电感电容是否符合实际应用的要求。

另外还要注意的是如果 LC 选型不正确，Q 值过高，可能会导致在高频的幅度相应抬升，这个时候就会容易出现高频功率突增而导致过流保护。

### 1.4.2 关于 Bootstrap 电容的选择

关于 BST 电容的功能以及选择，TI 有如下的资料可以作为参考 [TPA31xxDx Bootstrap Circuit](#)

功放工作时，如果下管打开，GVDD 给 BST 电容充电。当上管打开，BST 电容的电量被消耗。每当上管需要打开时，BST 电容两端都需要有足够的电压。电压较低时，会导致上管无法完全导通。由于过流检测会通过检测 V<sub>gs</sub> 电压间接推断流过 MOSFET 的电流。若 MOSFET 无法完全导通，导致 V<sub>gs</sub> 偏大，从而出现误报 OC 的问题。这个时候由于 MOSFET 并没有完全打开，其实际并没有大电流流过，因此是一种假 OC。当 PVDD 电压较大，负载



阻抗大或者空载，且输出非常大低频信号的情况下容易误触发。此时选择较大的 BST 的电容可以解决此问题。TI 推荐使用 0.47 $\mu$ F 0603 (C1608X7R1V474K080A)的电容，在大部分应用中可以预防该问题的发生。

在选择该电容的时候需要注意以下几点：

### 1. 电容的直流偏压值

由于 BST 电容两端需要保持一定的电压值，才能保证 MOS 管能够正常打开。TAS5815 的 BST 电压值需要 5V。所以 5V 处的电容值是需要关注的点。参考如下图 8，在 5V 处，电容值大概偏差-40%以上，如果使用 0.22 $\mu$ F 的电容，偏差后的值是 0.13 $\mu$ F。所以在 TAS5815 的设计中，如果选择如下特性的电容，则有可能会出现问题。

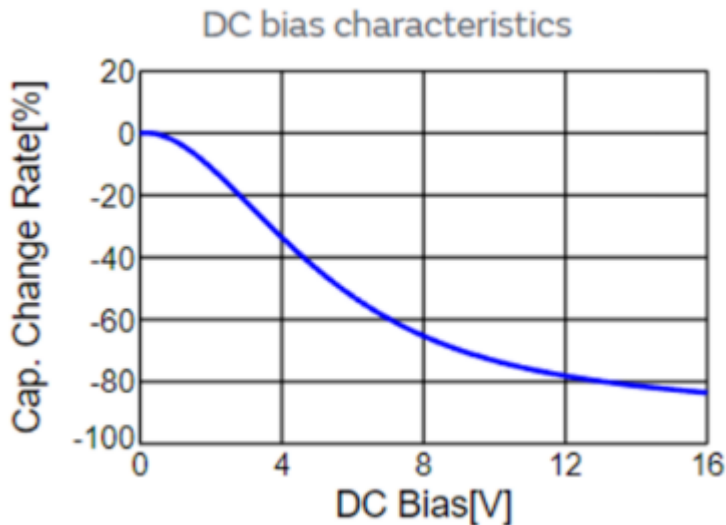


图 9 电容直流偏压效应

TI 推荐的电容的 DC bias 如下图，在 5V 情况下，电容值大致为 0.44 $\mu$ F，相对于 0.47 $\mu$ F 标准值，大约下降了 6%。

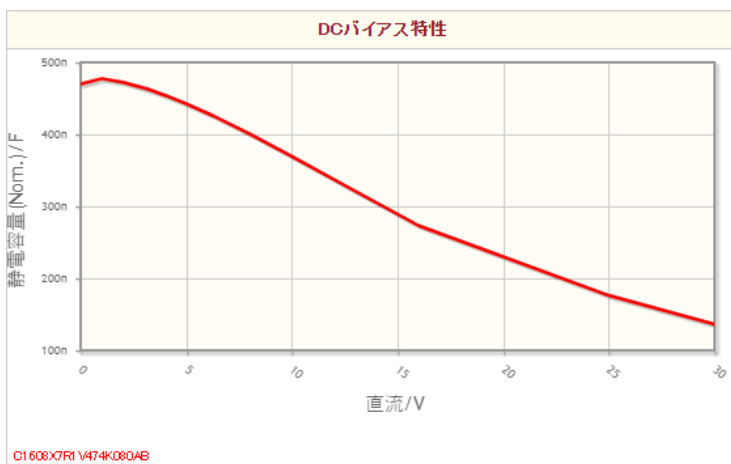


图 10 电容 C1608X7R1V474K080A 的直流偏压曲线

### 2. 电容尺寸大小

小尺寸的电容，其容量误差也会比较大。0402 尺寸的电容一般误差都会比 0603 尺寸电容的误差大。故如果使用 0.22 $\mu$ F 0402 的电容，发生问题的可能性也会增加。TI 推荐使用 0603 尺寸以上的电容。

### 1.4.3 针对不同负载喇叭的注意事项

关于负载对系统的影响，需要注意的是 LC 滤波器的  $Q$  的变化。比如参考如下配置， $10\mu\text{H}+2.2\mu\text{F}$  的情况，随着负载的变化， $Q$  值的变化会影响  $20\text{kHz}$  以内的频响特性。随着负载的增加，比如  $8\text{ohm}$ ，图中黑色的频响曲线，使得  $30\text{kHz}$  的增益被抬高了  $6\text{dB}$ 。如果输出的信号的高频较大，则会导致实际输出到喇叭两端的信号室超过最大峰值电压的。

如果考虑实际的喇叭情况，则需要对喇叭系统的阻抗曲线进行确认。比如下图中的喇叭 1 的阻抗曲线图，在  $20\text{kHz}$  的点的阻抗达到  $40\text{ohm}$ ，那么计算 LC 滤波器频响曲线时，则需要将  $40\text{ohm}$  代入计算，则会发现最高的增益或可达到  $16\text{dB}$ ， $16\text{dB}$  的高频增益极有可能导致功放发生过流的问题。

当因为高频谐振导致过流时，需要注意使用更小电感或者电容，将截止频率移到更高点，这样可以有效防止谐振导致 OC。或者可以增加 Snubber 电路，来抑制高频端的阻抗来防止高频谐振。

除了需要考虑高频的阻抗导致的 LC 滤波器  $Q$  增加，也需要观察最小阻抗是否会出现比直流电阻更小的情况。比如参考如下喇叭 2 的阻抗曲线，是一个标称  $4\text{ohm}$  的喇叭，但是实际由于喇叭的阻抗误差，以及多个喇叭并联的情况，导致实际喇叭的阻抗最小值是  $3.5\text{ohm}$ ，故计算输出电流值时，需要用最小值作为计算值。

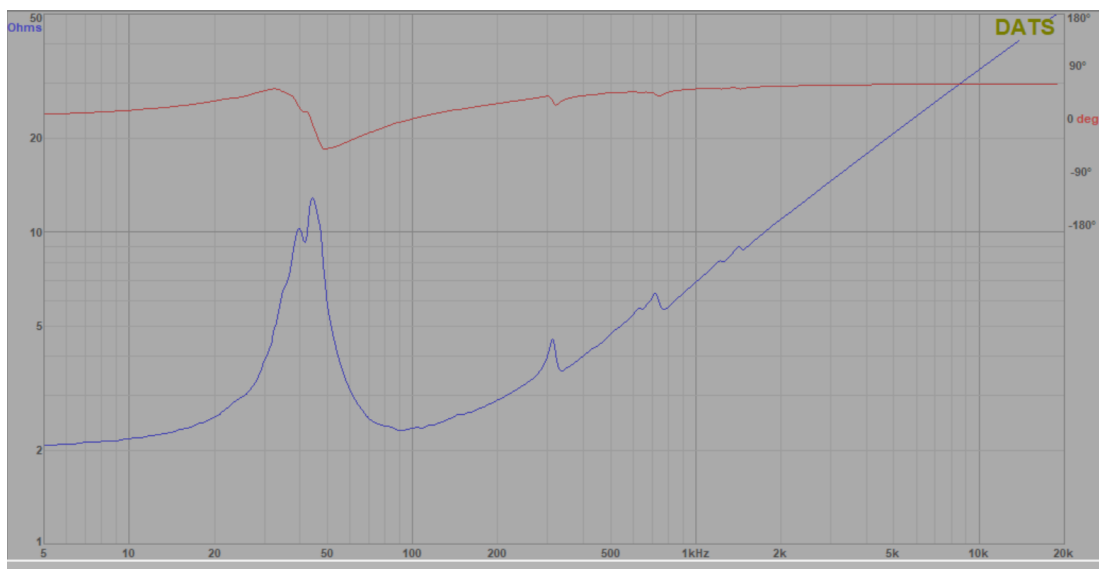


图 11 喇叭 1 的阻抗特性曲线

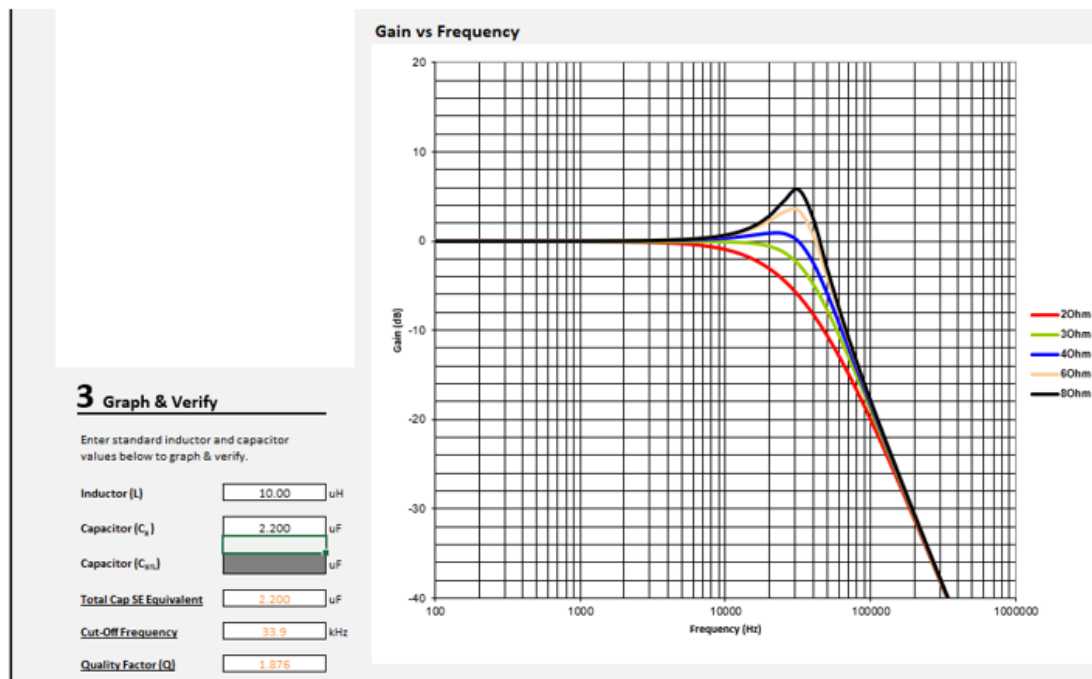


图 12 10 $\mu\text{H}$ +2.2 $\mu\text{F}$  的 LC 滤波器频响特性

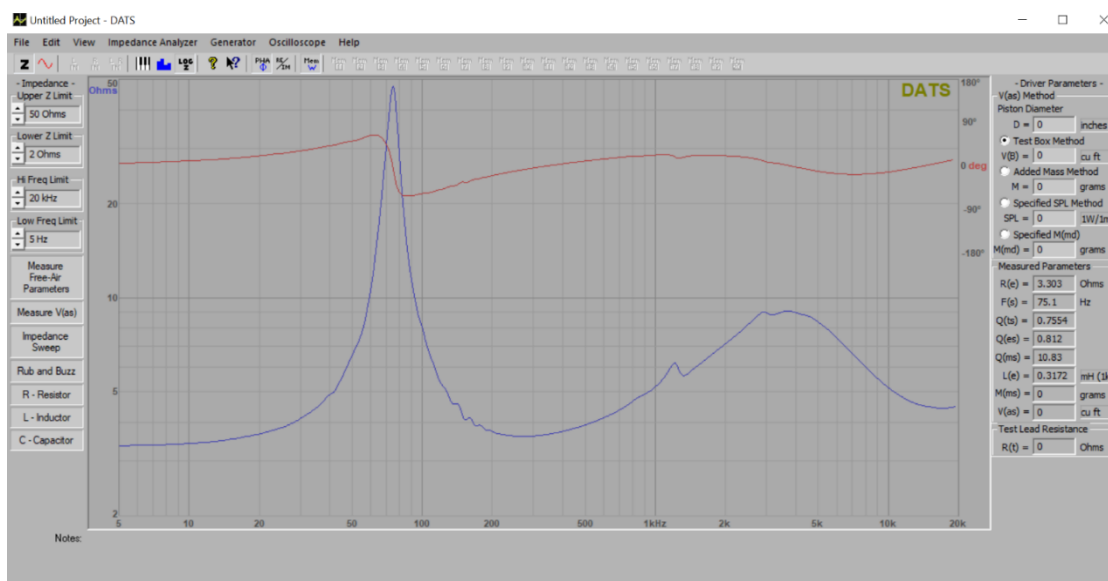


图 13 喇叭 2 的阻抗曲线

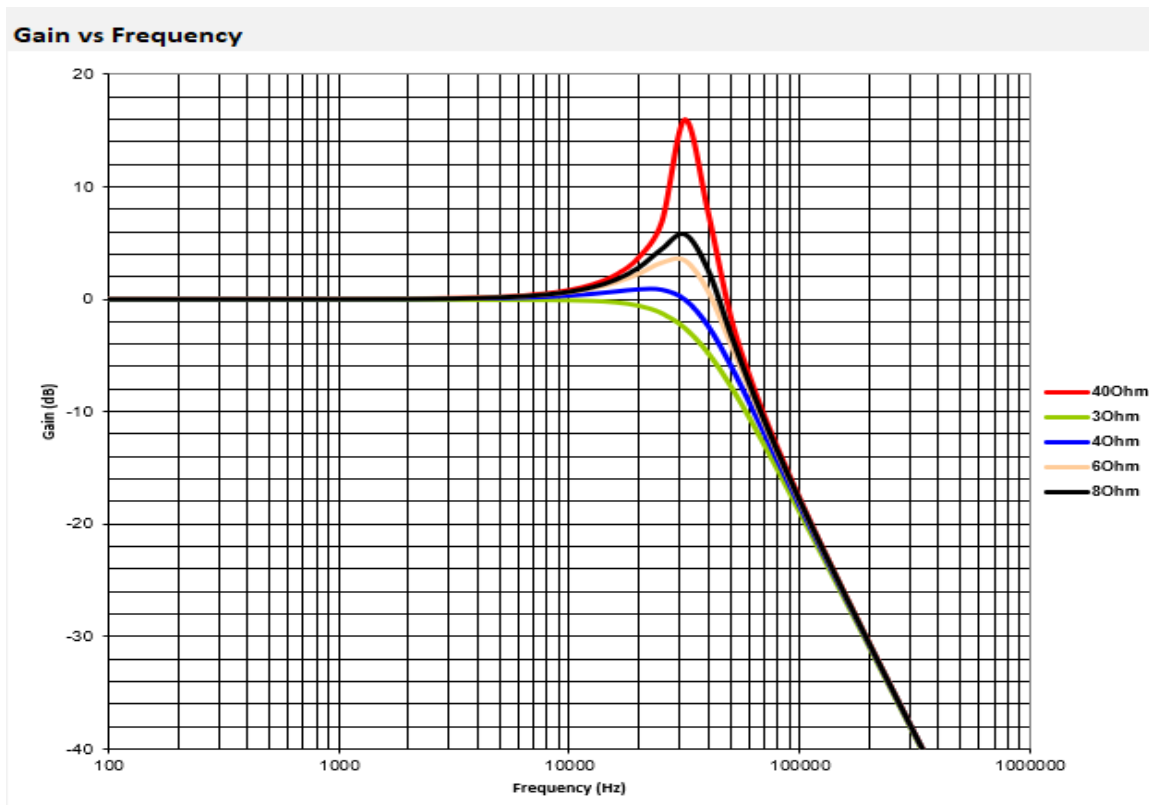


图 14 10uH+2.2uF+40ohm 的频响特性

## 2. 声学调音的注意事项

### • 功放载波 PWM 调制模式选择

在 TI 的调制模式中，有 1SPW，BD，Hybrid 三种模式。这三种模式如何选择，主要是从功耗，THD 性能，发热三个角度来选择。

首先功耗情况，1SPW 由于 idle 时候占空比较小，空载电流纹波最小，所以是最省功耗的。而在大功率的时候，由于只有一个半桥在进行开关，另外一个半桥是完全关闭，所以开关损耗最小，效率更高，并且对热也是有帮助，但是会对 THD 有一些影响。BD 模式情况下，两个半桥都会在进行开关动作，无论是空载还是大功率负载，功耗都是最大的，但是 THD 会好一些。Hybrid 模式是根据音乐信号大小和 PVDD 电压大小选择几个共模电压档位再进行占空比的调整，但是两个半桥都是保持在开关动作的，所以是一个性能平衡的方案，轻载 idle 的时候占空比较小，轻载电流比较小，而在功率增大时占空比增大，并且保持两个半桥都是在开关动作的所以不会牺牲 THD 性能，但同样的功耗就会比 1SPW 更大，总体发热情况介于 1SPW 和 BD 模式之间，根据信号大小不同而表现不同。

由于 TAS5815 的  $R_{ds(on)}$  较大，故在大功率情况下，导通损耗占比更大，因此发热会较严重，在电视机的应用中 2 层板的情况较多，PCB 散热条件并不好，而电视机对于 THD 失真没有那么高的要求，通常 TV 行业要求额定功率下  $THD+N < 7\%$  即可，故通常推荐使用 1SPW 模式。

### • 开关频率的选择以及对实际应用的影响

对于开关频率的选择，首先需要满足规格书中的表格来进行配置。

Table 7-3. Loop Bandwidth and Switching Frequency Setting

Modulation Scheme	Fsw	BW (Loop Band Width)	Notes
Hybrid, 1SPW	384kHz	80kHz	Principle: Fsw (Switching Frequency) $\geq 4.2 \times$ Loop Bandwidth
	480kHz	80kHz, 100kHz	
	576kHz	80kHz, 100kHz, 120kHz	
	768kHz	80kHz, 100kHz, 120kHz, 175kHz	
BD	384kHz	80kHz, 100kHz, 120kHz	Principle: Fsw (Switching Frequency) $\geq 3 \times$ Loop Bandwidth
	480kHz	80kHz, 100kHz, 120kHz	
	576kHz	80kHz, 100kHz, 120kHz, 175kHz	
	768kHz	80kHz, 100kHz, 120kHz, 175kHz	

图 15 规格书中 PWM 开关频率和内部闭环环路带宽的设置建议

### • 调音参数调整时的注意点

在对系统进行调音时，需要注意以下几个问题：

1. 确保每个模块的增益不能超过模块能够计算的最大增益

参考 TI 的 [General Tuning Guide for TAS58xx family](#) 文档，DSP 内部的配置需要满足如下要求：

$$S_{in} \times G_1 \times G_2 \times \dots \times G_n \leq -0.5 \text{ dB}$$

$$G_1 \times \dots \times G_n \leq 24 \text{ dB}$$

$$G_i \leq G_{i\_max} \text{ (determined by the data format)}$$

需要满足的要求有 3 点：

- 1) 需要保证整体的输出信号小于 -0.5dB。
- 2) 需要保证整体的增益小于 24dB。
- 3) 3 需要确保每一个模块的增益不超过该模块的最大增益。

每一个模块能够放大的最大增益可以参考如下框图：

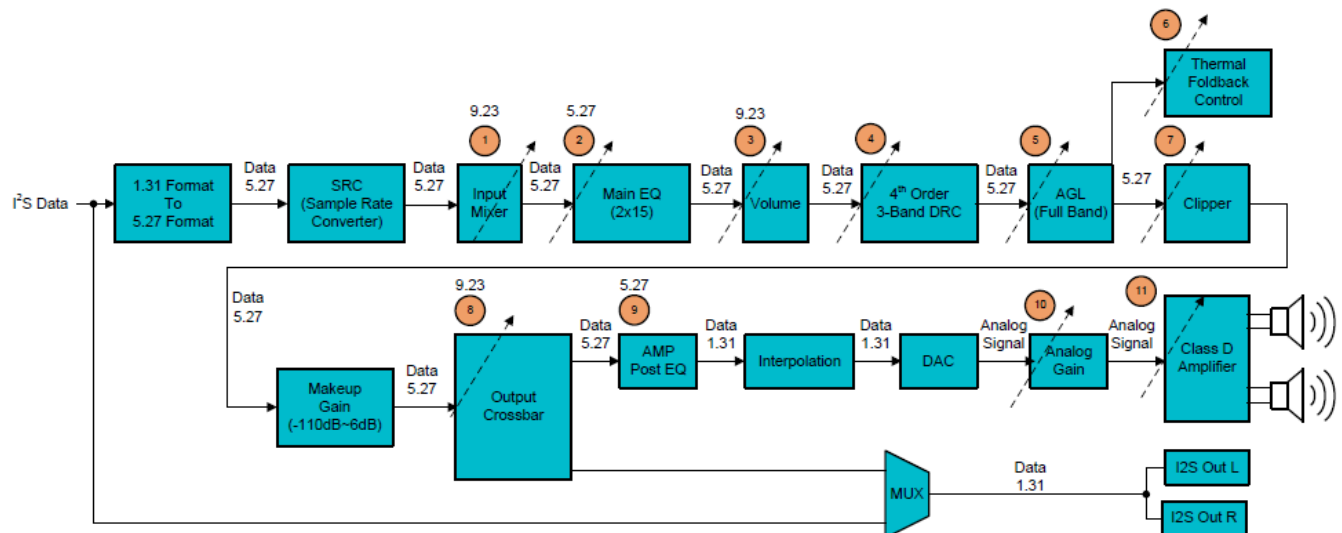


图 16 功放 DSP 信号链路中的数据格式

具体数据格式计算方式请参考 [General Tuning Guide for TAS58xx family](#)。

2. DRC 和 AGL 的参数配置

关于 DRC 和 AGL 的参数，需要注意如果配置过大的 Alpha，Attack 时间，可能会导致信号检测和抑制无法即刻响应，从而会输出超出阈值的信号。

此时，一般可以使用 Audio Precision 中的 Continues Sweep 来对输入电压信号进行扫描，可以观察输出的功率可以达到多大功率。如果该功率大于喇叭能够承受的最大功率，则需要对 Alpha 或者 Attack 时间进行缩小或者增大阈值的余量。

### 3. Layout 设计时的注意事项

关于 layout 的设计，可以参考下图 16，该图是 TI EVM 板的参考设计：

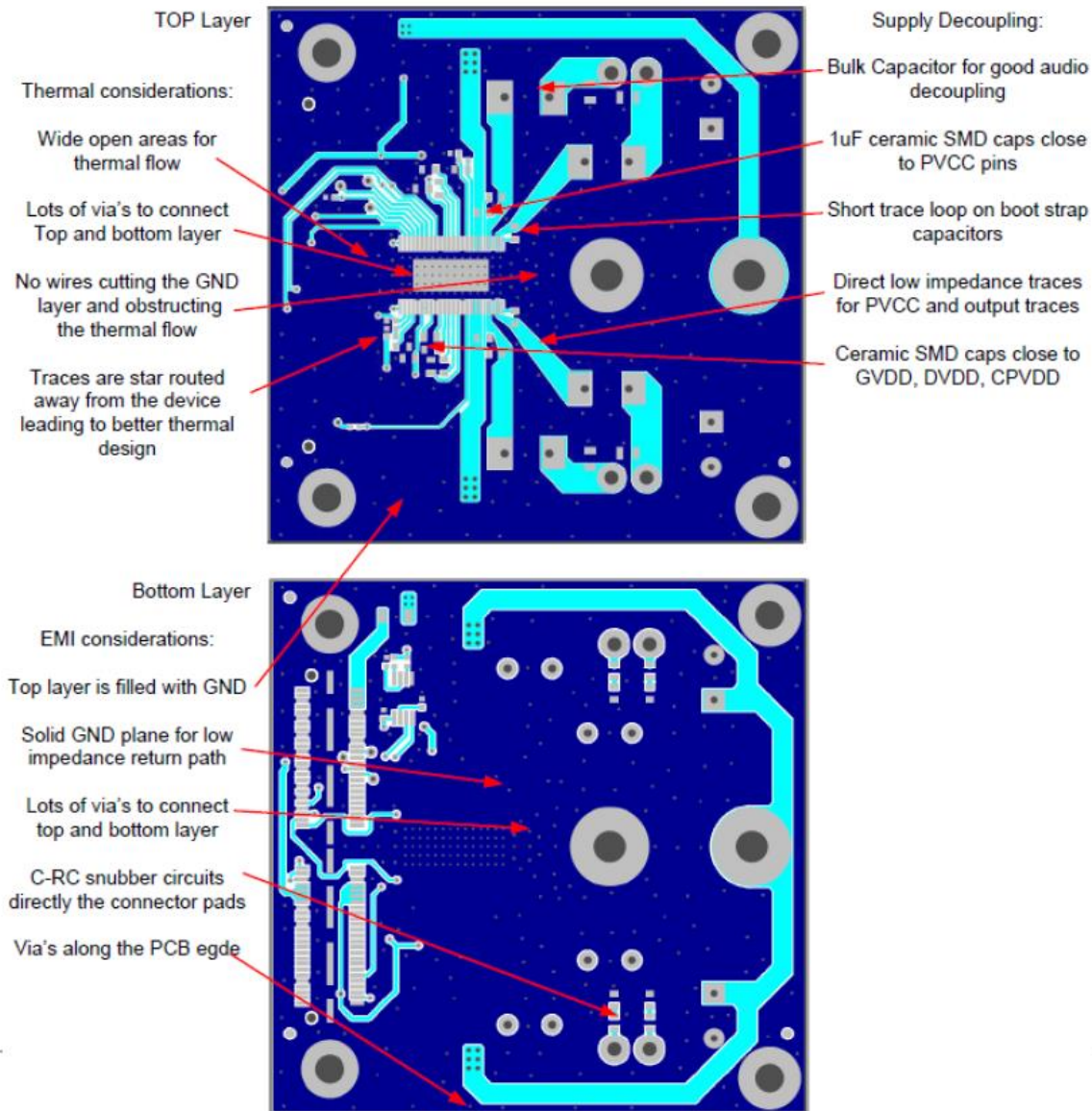


图 17 TAS5815 PCB Layout 注意事项



## 4. 散热设计的注意点

### 4.1 不同模式下的热测试结果

在考虑热设计的情况，可以从开关频率，供电电压，调制模式，PCB 层数和铜厚等几个方向进行考虑，如下图 17 是 TI 做的热测试结果，也可以作为参考：

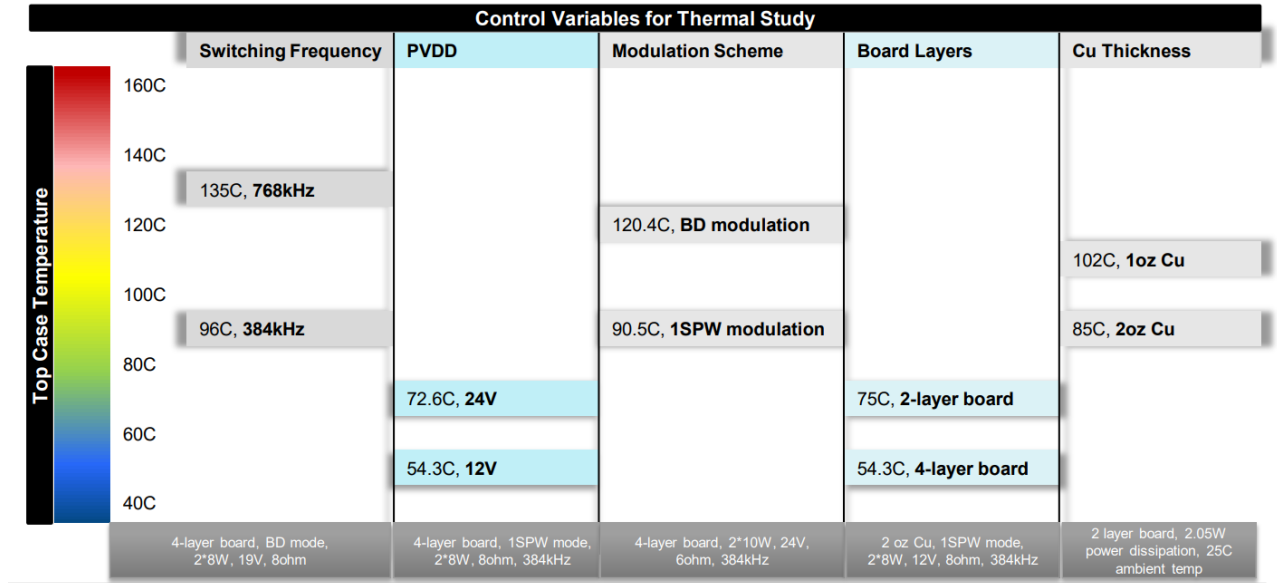


图 18 TI 关于 TAS5805 热测试的试验结果

从上面的对比中可以看出，开关频率选择 384kHz，1SPW 模式是对热非常有帮助的。

### 4.2 TAS5815 vs TAS5805 热测试结果比较

使用温枪对芯片表面的最高温度进行了测试。不同测试方法可能会有误差。下表中温度数值仅作为参考比较。

Device	PVDD	Load	调制模式	输出功率	温度
TAS5805	21v	8ohm	1spw 384k	25w	216℃
TAS5805	18v	6ohm	1spw 384k	20w	179℃
TAS5805	20v	6ohm	1spw 384k	20w	223℃
TAS5805	20v	6ohm	1spw 384k	25w	OTE
TAS5805	20v	6ohm	1spw 384k	30w	OTE
TAS5815	21v	8ohm	1spw 768k	25w	132℃
TAS5815	18v	6ohm	1spw 768k	20w	126℃
TAS5815	20v	6ohm	1spw 768k	20w	140℃
TAS5815	20v	6ohm	1spw 768k	25w	169℃
TAS5815	20v	6ohm	1spw 768k	30w	184℃

图 19:TAS5805, TAS5815 温度测试结果



## 参考文献

- [1]. TAS5815 Datasheet. <https://www.ti.com/lit/gpn/TAS5815m>
- [2]. General Tuning Guide for TAS58xx family <https://www.ti.com/lit/an/slaa894/slaa894.pdf>
- [3]. PurePath™- Console 3 (PPC3). <https://www.ti.com/video/5817768371001>
- [4]. LC Filter Design. <https://www.ti.com/lit/an/slaa701a/slaa701a.pdf>
- [5]. Class-D LC Filter Designer. <https://www.ti.com/tool/LCFILTER-CALC-TOOL>
- [6] TPA31xxDx Bootstrap Circuit <https://www.ti.com/lit/an/sloa259/sloa259.pdf>

## 重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](https://www.ti.com) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月