

TI TAS5815 功放在 TV 应用中的设计

Jesse Ji, Anderson Cheng

Audio

摘要

TI TAS58xx 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：

$$PVDD = 20V$$

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

(0dBFS 输入，输出 29.5v 是 TAS5815 功放的最大增益)

$$\text{Output Power} = 15W$$

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

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

考虑到实际应用过程中，功放 **Rdson**, 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：

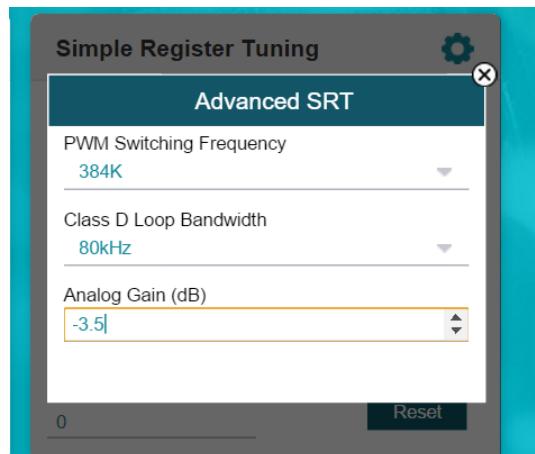


图 1 TAS5815 Analog Gain 配置

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。

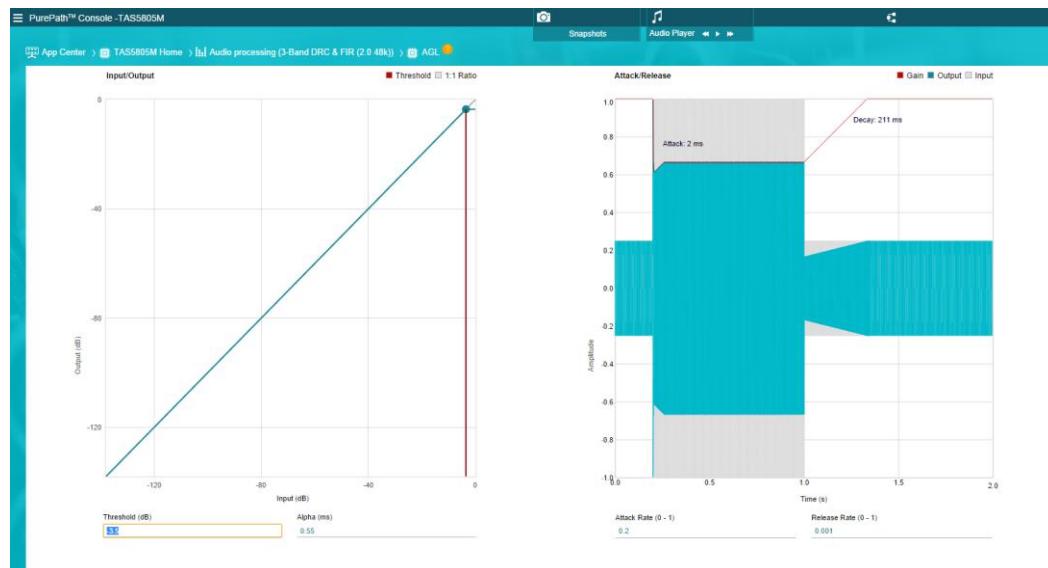


图 2 在 TAS5815 AGL 中配置 Digital Gain

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/FAULT pin with proper settings for I²C 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 PDN to High and wait 5ms at least, then start SCLK, LRCLK.
4. Once I²S clocks are stable, set the device into HiZ state and enable DSP via the I²C 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.

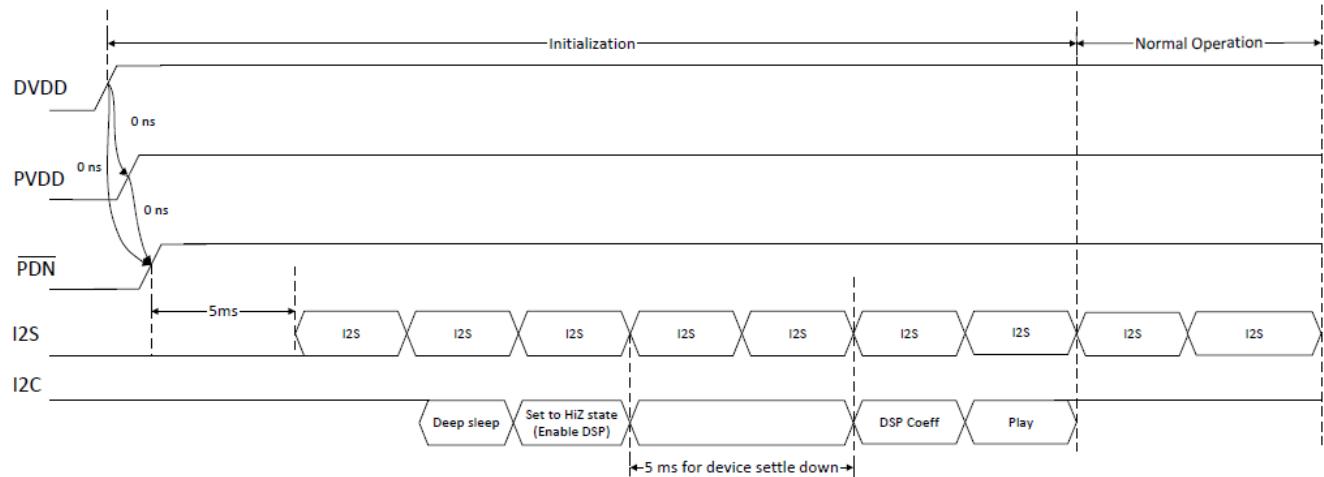


图 3 TAS5815 开机配置时序要求

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。

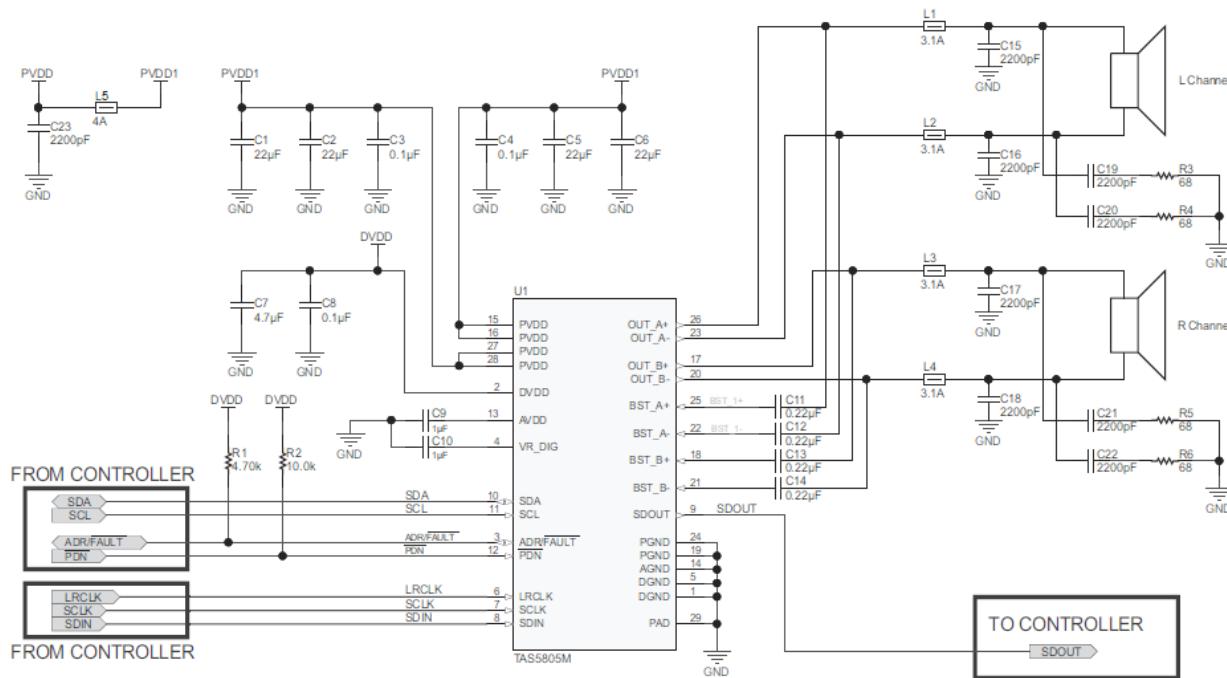


图 4 TAS5815 BTL 模式磁珠滤波参考原理图

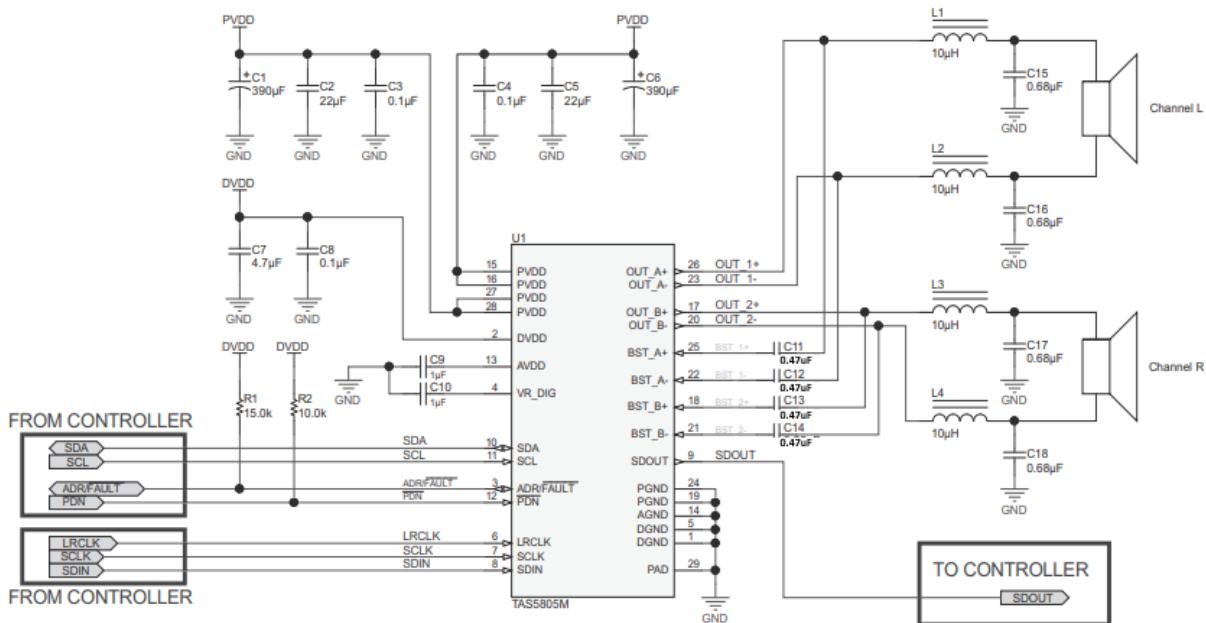


图 5 TAS5815 BTL 模式 LC 滤波参考原理图

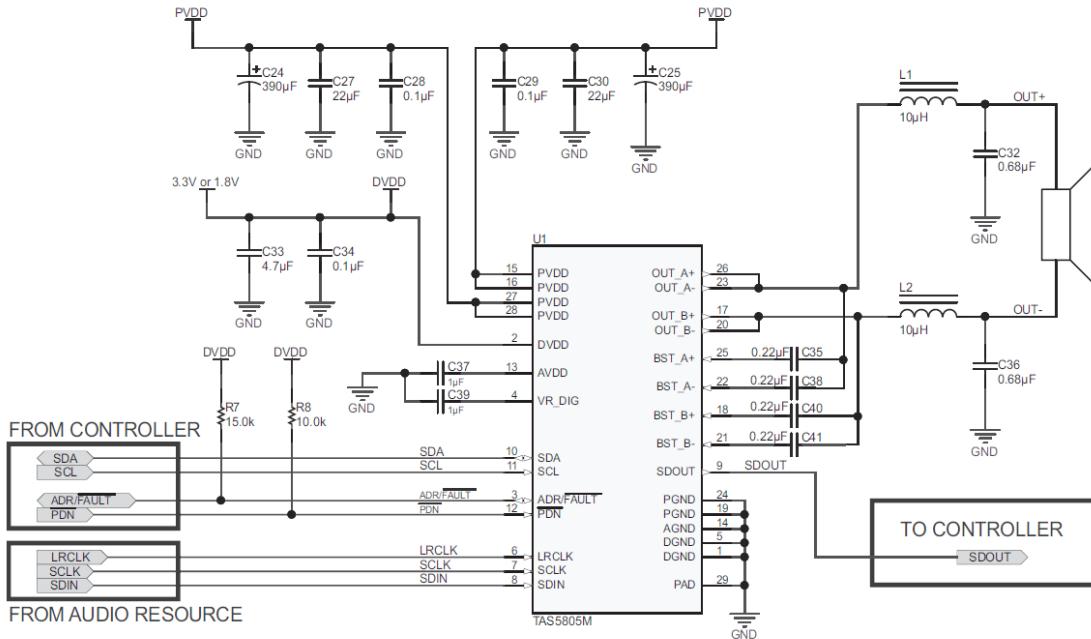


图 6 TAS5815 PBTL 模式 LC 滤波参考原理图

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，需要从一下几点确认：

- 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 _{peak_power_up}
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
$I_{SAT} \geq \max(I_{peak_power_up}, I_{peak_clipping}, I_{peak_output_power})$	2.24A	2.51A

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：

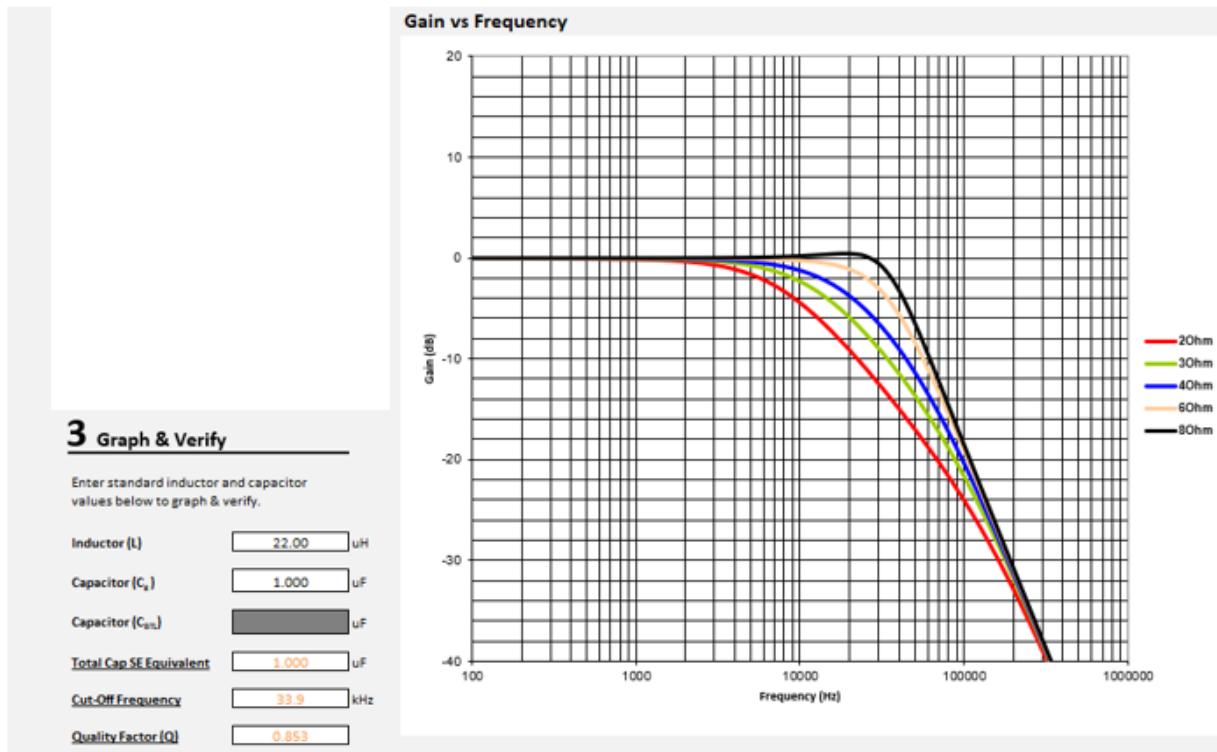


图 8 Class-D LC filter design 工具中的幅度频率响应仿真图

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 6ohm，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 Vgs 电压间接推断流过 MOSFET 的电流。若 MOSFET 无法完全导通，导致 Vgs 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 0.47uF 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 0.22uF 的电容，偏差后的值是 0.13uF。所以在 TAS5815 的设计中，如果选择如下特性的电容，则有可能会出现假 OC 的问题。

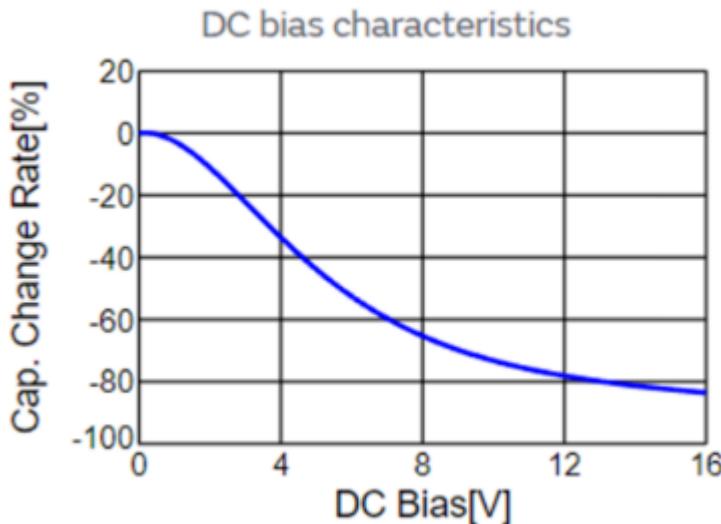


图 9 电容直流偏压效应

TI 推荐使用的电容的 DC bias 如下图，在 5V 情况下，电容值大致为 0.44uF，相对于 0.47uF 标准值，大约下降了 6%。

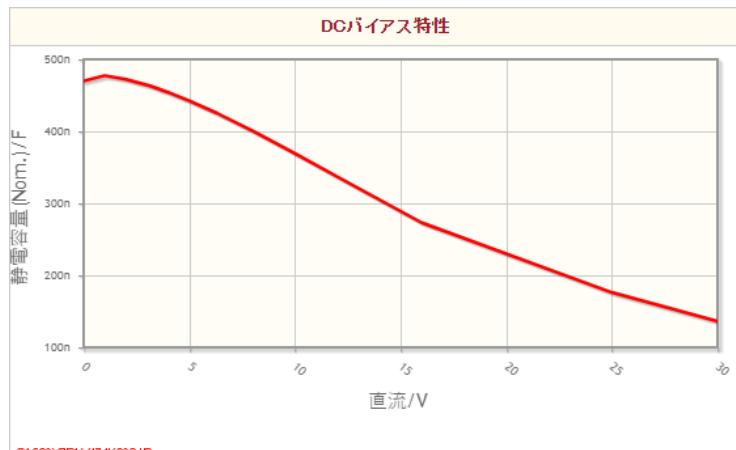


图 10 电容 C1608X7R1V474K080A 的直流偏压曲线

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 0.22uF 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 20kHz 以内的频响特性。随着负载的增加，比如 8ohm ，图中黑色的频响曲线，使得 30kHz 的增益被抬高了 6dB 。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 20kHz 的点的阻抗达到 40ohm ，那么计算 LC 滤波器频响曲线时，则需要将 40ohm 代入计算，则会发现最高的增益或可达到 16dB ， 16dB 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 4ohm 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 3.5ohm ，故计算输出电流值时，需要用最小值作为计算值。

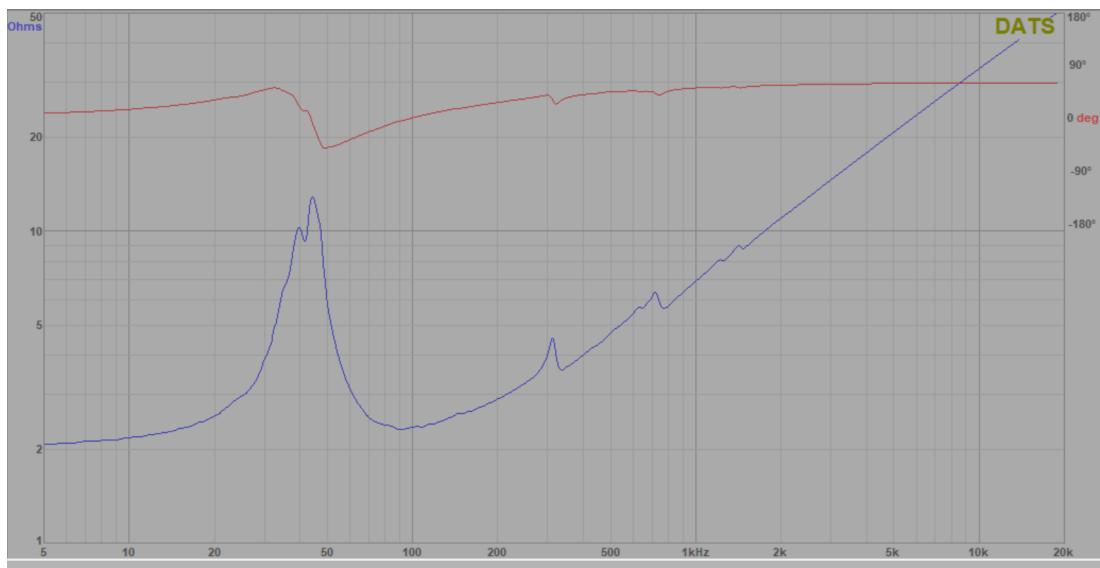


图 11 喇叭 1 的阻抗特性曲线

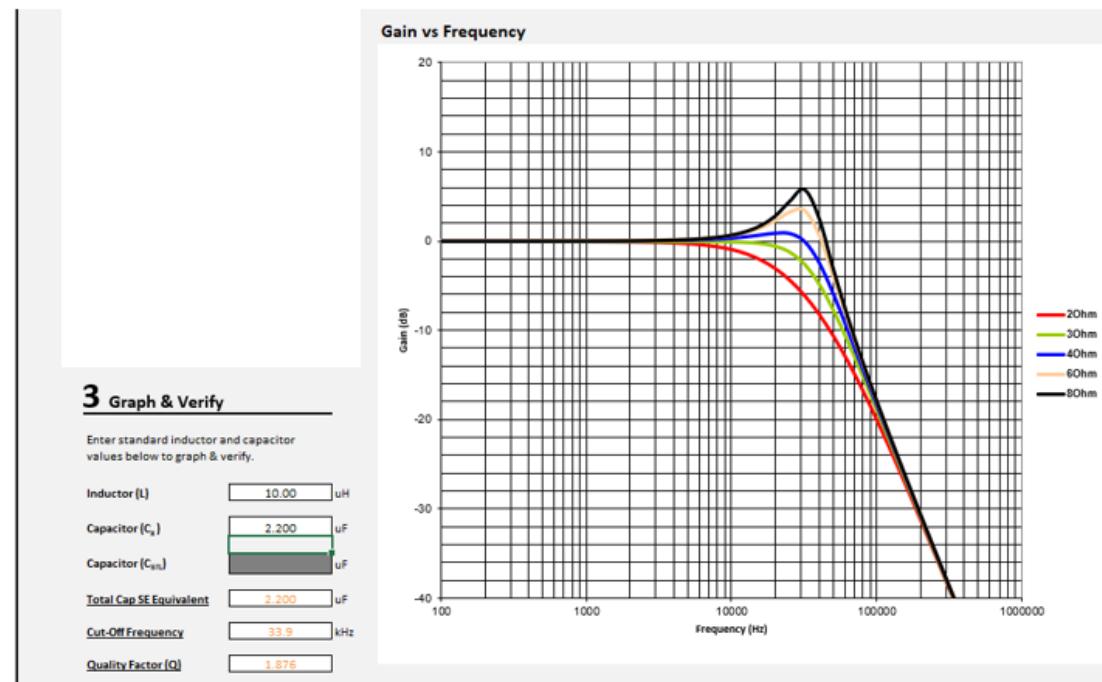


图 12 10uH+2.2uF 的 LC 滤波器频响特性

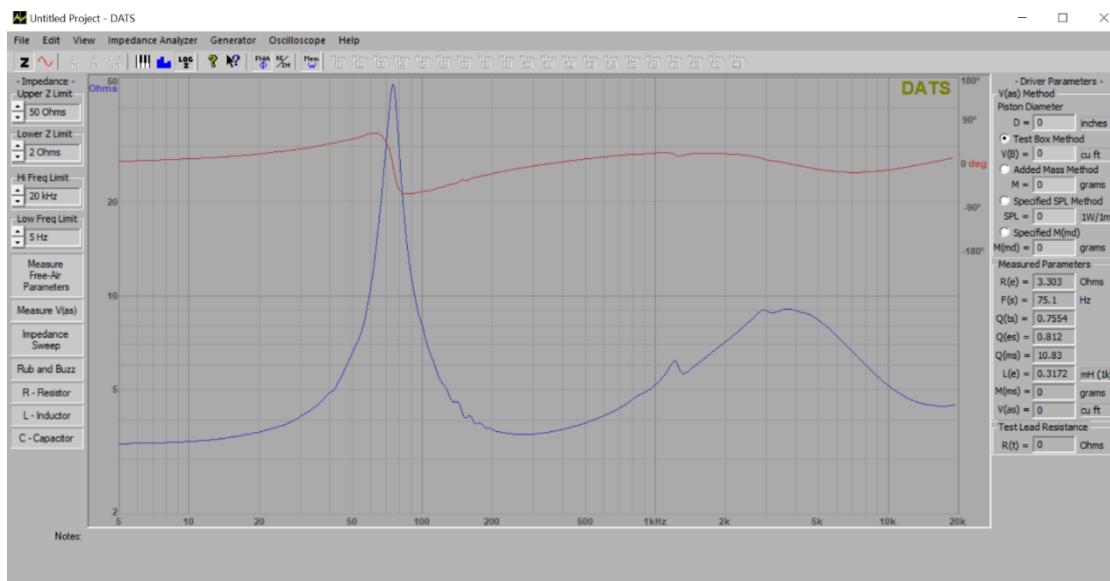


图 13 喇叭 2 的阻抗曲线

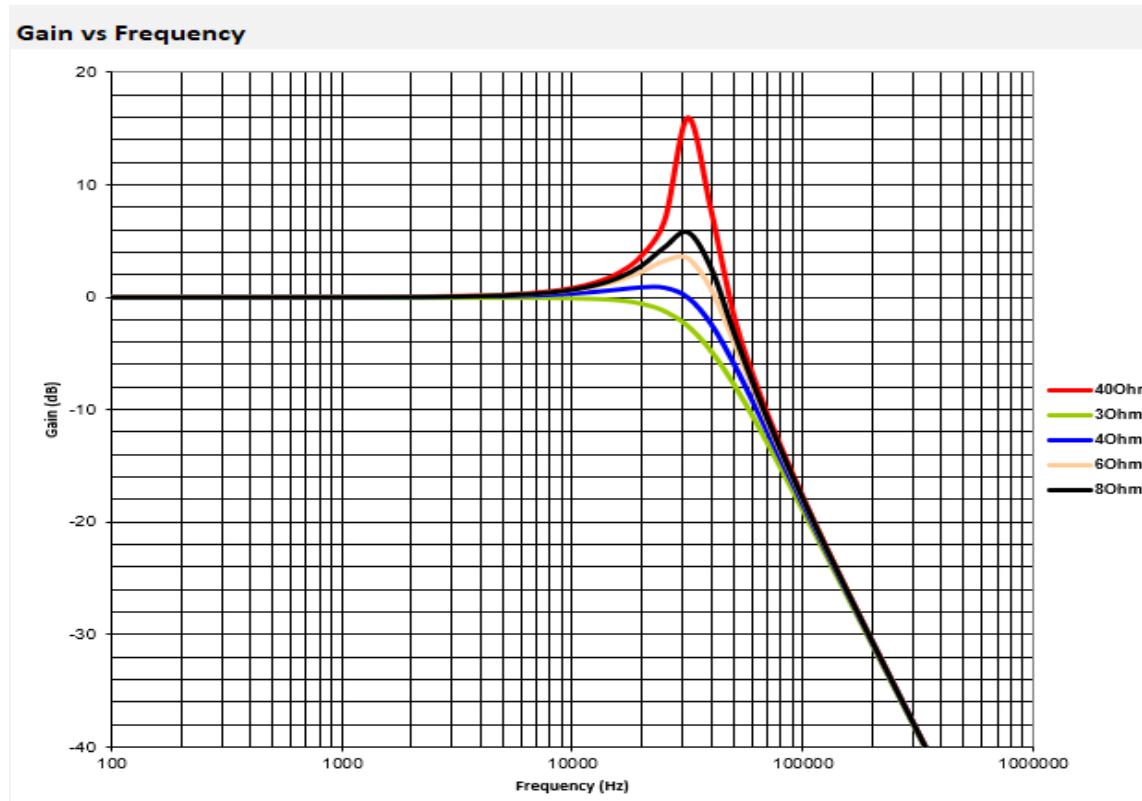


图 14 10uH+2.2uF+40ohm 的频响特性

2. 声学调音的注意点

- 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_{dson} 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：

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

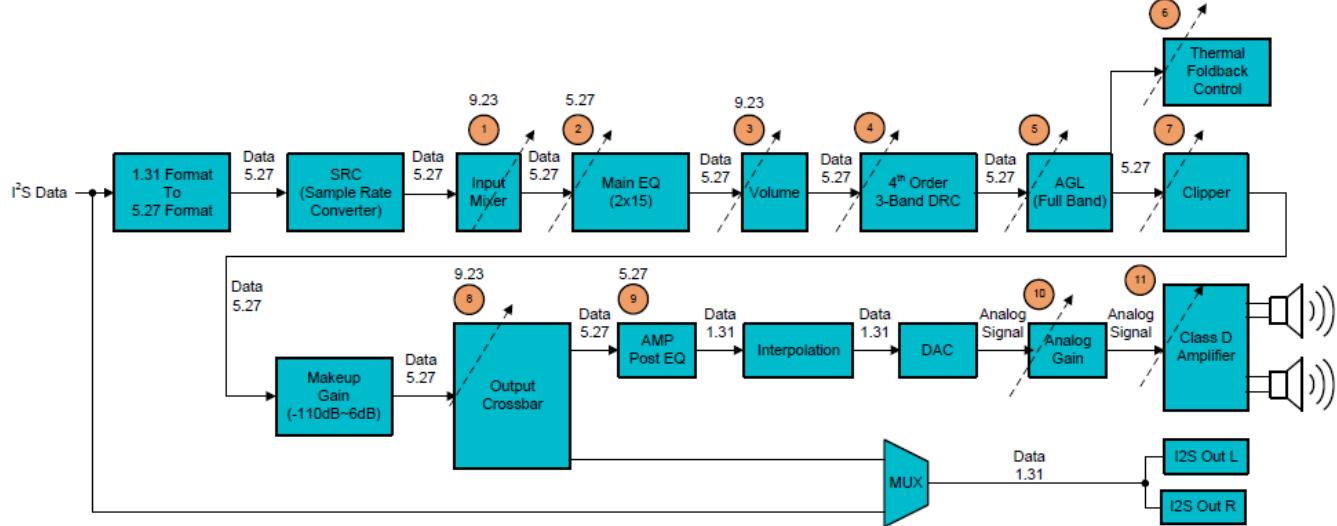
$$G_1 \times \dots \times G_n \leq 24 \text{ dB}$$

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

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) 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：

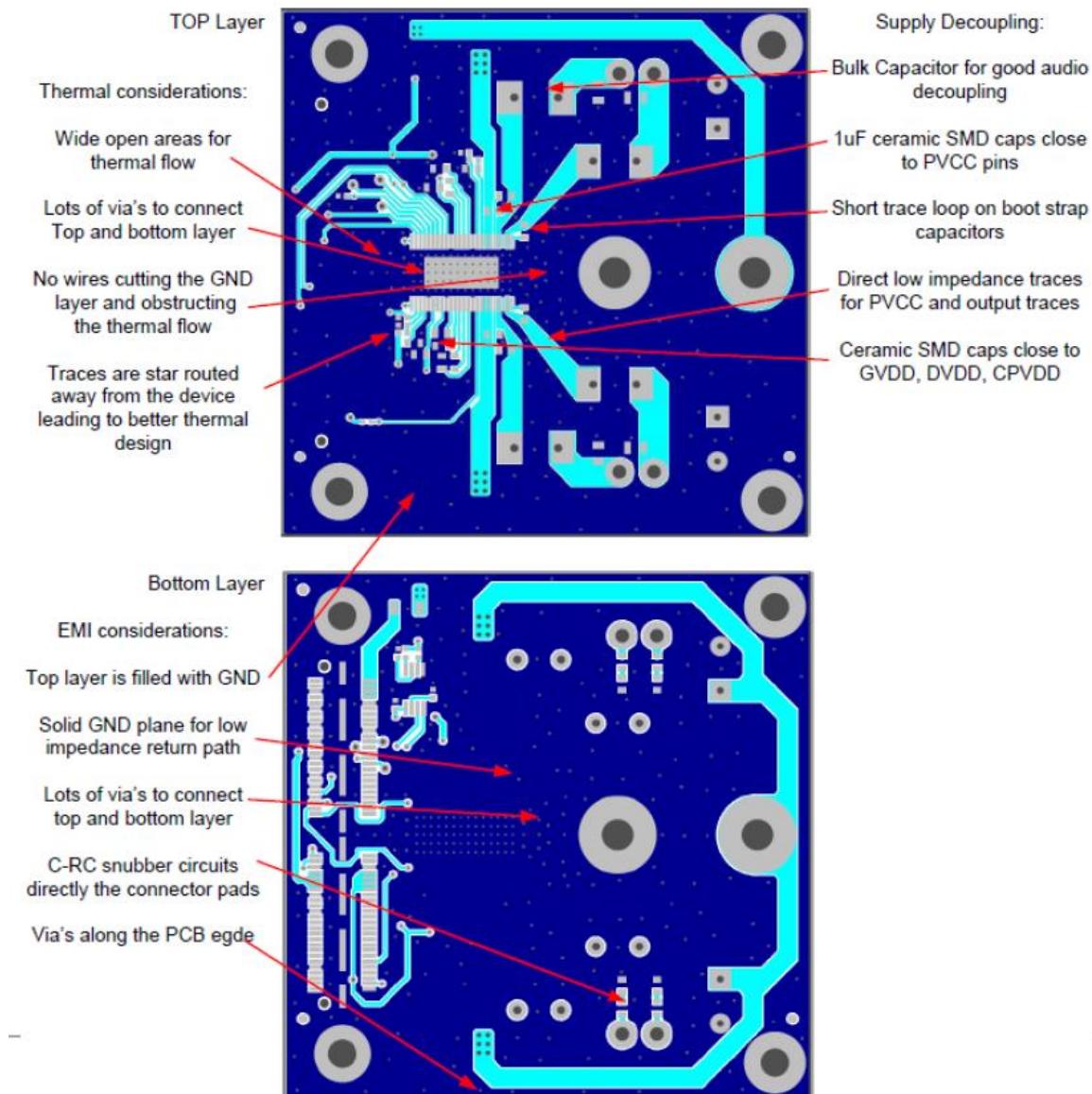


图 17 TAS5815 PCB Layout 注意事项

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：

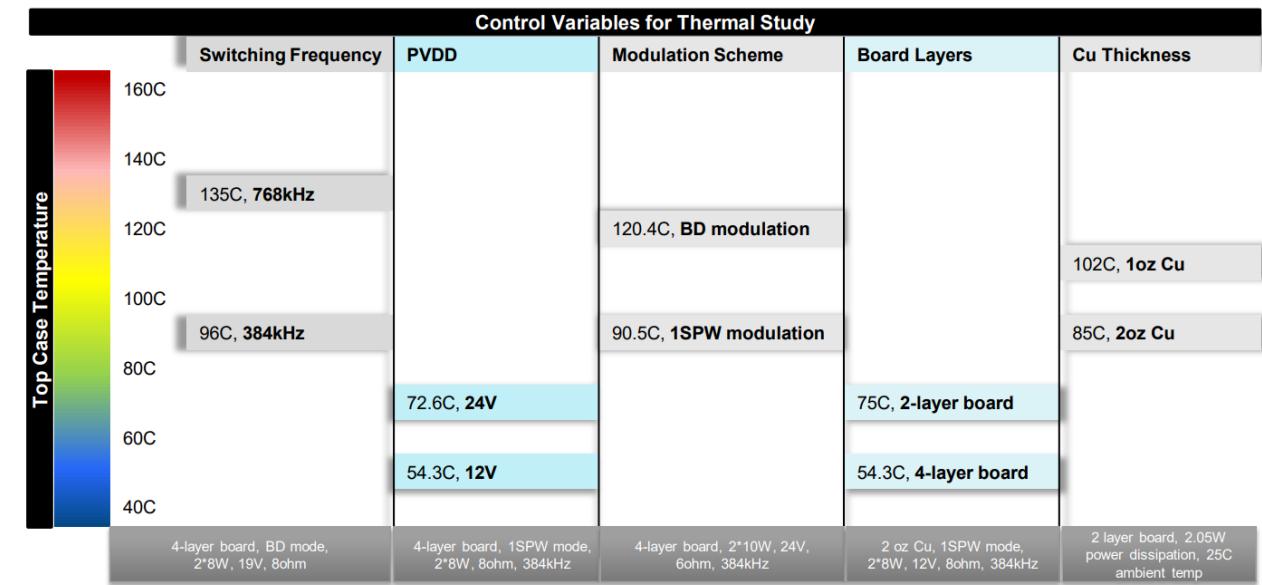


图 18 TI 关于 TAS5805 热测试的试验结果

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°C
TAS5805	18v	6ohm	1spw 384k	20w	179°C
TAS5805	20v	6ohm	1spw 384k	20w	223°C
TAS5805	20v	6ohm	1spw 384k	25w	OTE
TAS5805	20v	6ohm	1spw 384k	30w	OTE
TAS5815	21v	8ohm	1spw 768k	25w	132°C
TAS5815	18v	6ohm	1spw 768k	20w	126°C
TAS5815	20v	6ohm	1spw 768k	20w	140°C
TAS5815	20v	6ohm	1spw 768k	25w	169°C
TAS5815	20v	6ohm	1spw 768k	30w	184°C

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出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](#) 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