

Charlie Xiao

TI Class D 音频功放 IC 在消费电子以及 Auto 中有着广泛的应用场景。其中 TAS5805M, TAS5802M, TAS5815M 广泛用于 TV 市场。为了满足 TV 行业日益严苛的散热条件，工程师在应用 TAS5805M 时，可选择不同的工作模式以及工作频率使得 IC 温升满足要求。本文主要针对 TAS5805M 在不同频率及模式下的启动电流的机理做分析，并指出最小启动电流的配置方式。

在应用文档 [Thermal design considerations for TAS5805M Class-D audio amplifier](#) 中介绍了针对不同工作模式 BD Mode/1SPW Mode 及工作频率 384kHz/768kHz 下的效率。而不同的工作模式以及效率对应不同的启动电流。电视行业中应用的 PVDD 较大，通常为 12V, 20V, 24V. 较大的 PVDD 使得 IC 启动时的电感电流较大，容易触发芯片内部的过流保护机制。因此将最大启动电流控制在 Over-Current Error Threshold 之下至关重要。

## IC 启动时的等效电路图

下图是 Class D 的典型应用框图。BD Mode 下，Q1 与 Q3 同时导通，同时关闭，工作在 50% 占空比模式下；1SPW Mode 下则工作在 14% 占空比模式下。在 Idle mode 下启动，全桥电路左右两端电路参数以及工作方式完全对称，因此可将全桥电路等效为两个完全一样的工作在空载 FCCM mode 下的 Buck Converter。

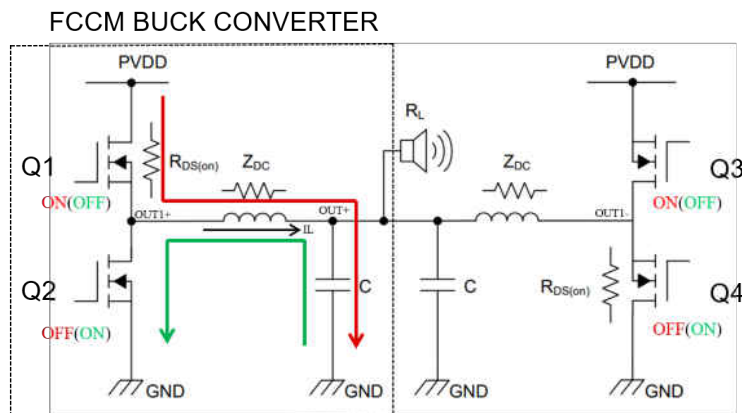


图 1. IC 启动时的等效电路图

以上 Buck Converter 电路可简化为以下 RLC 串联电路。t=0 时，电感电容上的储能均为 0，因此初始条件为： $u_c(0^-) = u_c(0^+) = i_L(0^-) = i_L(0^+) = 0$ 。

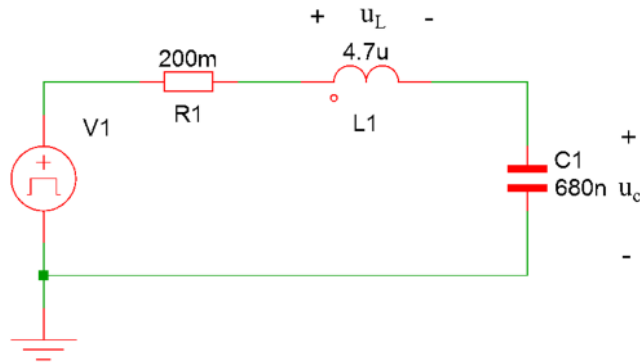


图 2. 等效 RLC 串联电路

### 启动电流的计算

1. 当 TAS5805M 配置为 HIZ to Play 时，开始第一个驱动信号，Q1 打开，PVDD 对 LC 网络充电，电感电流上升，电容电压上升，电路等效为求解 LC 二阶零状态响应。此时， $V1=PVDD$ . 对以上 RLC 串联电路可列以下

$$\text{非齐次微分方程：} LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + RC \frac{du_c}{dt} + u_c = V_1$$

其中 R 包含 MOSFET 导通电阻以及电感直流电阻。R 较小，因此该二阶电路为欠阻尼充放电电路。对应电容电压  $u_c$  以及电感电流  $i_L$  的零状态响应为：

$$i_L(t) = \frac{V_1}{\omega L} e^{-\delta t} \sin \omega t \approx PVDD \times \sqrt{\frac{C}{L}} \times \sin\left(\frac{1}{\sqrt{L \times C}} \times t\right)$$

$$u_c(t) = PVDD \times \left[1 - \cos\left(\frac{1}{\sqrt{L \times C}} \times t\right)\right]$$

$$\text{其中，} \delta = R/2L, \omega_0 = 1/\sqrt{LC} \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \approx \omega_0$$

该阶段结束后，对应的电感电流，电容电压分别为  $U_1, IL_1$ .

2. 当第一个驱动信号结束后，Q1 关闭，Q2 打开，此时， $V1=0$ . 电感电流通过 Q2 进行续流继续对电容充电。电感电流下降，电容电压继续上升。此时，电路对应的零输入响应如下。初始条件为： $u_c0=U_1, IL_0=IL_1$ .

$$u_c(t) = U_1 \cos(\omega t) + \frac{IL_1}{\omega C} \sin(\omega t)$$

$$i_L(t) = IL_1 \cos(\omega t) - \omega C U_1 \sin(\omega t)$$

该阶段结束后，对应的电感电流，电容电压分别为  $U_2, IL_2$

3. 当一个周期结束时，第二个驱动信号到达。此时，Q1 打开，Q2 关闭，此时， $V1=PVDD$ . 电感电流上升，电容电压上升。若  $u_c$  仍然较小，则上一阶段，电感电流下降较小，这一阶段电感电流上升较快，则这一阶段的电感电流会超过第一个脉冲末端的电流，行成更大的电流。此时，电路对应为全响应。

$$i_L(t) = PVDD \times \sqrt{\frac{C}{L}} \times \sin\left(\frac{1}{\sqrt{L \times C}} \times t\right) + IL_2 \cos(\omega t) - \omega C U_2 \sin(\omega t)$$

$$u_c(t) = PVDD \times \left[1 - \cos\left(\frac{1}{\sqrt{L \times C}} \times t\right)\right] + U_2 \cos(\omega t) + \frac{IL_2}{\omega C} \sin(\omega t)$$

该阶段结束后，对应的电感电流，电容电压分别为  $U_3, IL_3$ .

### 理论及测试结果

以下是基于 TAS5805MEVM 在  $PVDD=20V$ ， $LC=0.68\mu H+4.7\mu F$ ， $R_{load}=6\Omega$  条件下的启动电流计算及测试波形。在  $Fsw=768kHz$  下， $IL_3 > IL_1$

PVDD	L	C	Fsw	Mode	$U_1$	$IL_1$	$U_2$	$IL_2$	$U_3$	$IL_3$
20	4.7	0.68	384k	BD	5.07	5.06	12.64	2.50	18.98	3.73
20	4.7	0.68	384k	1SPW	0.41	1.54	3.98	0.33	4.48	1.56
20	4.7	0.68	768k	BD	1.31	2.71	3.76	2.36	7.03	4.41

20	4.7	0.68	768k	1SPW	0.10	0.77	1.27	0.60	1.52	1.32
----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

观察以下波形，无论是在 BD mode 下还是 1SPW 下，在  $F_{sw}=384\text{kHz}$  时，电感电流在第一个锯齿波末端达到最大值。在  $F_{sw}=768\text{kHz}$  时，电感电流在第二个锯齿波末端达到最大值；但 1SPW Mode 的启动电流总小于 BD Mode。

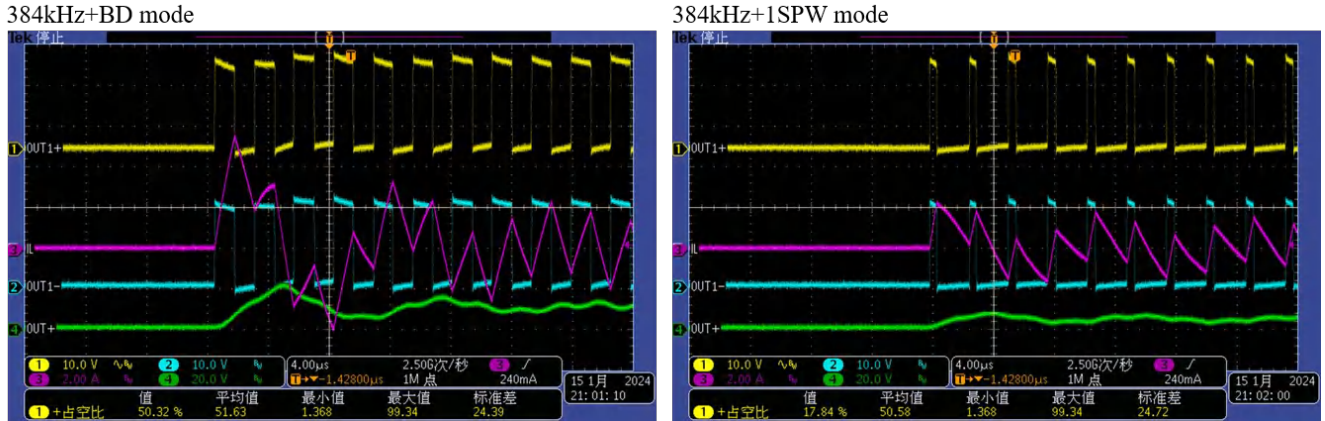


图 3. 768kHz 下启动电流

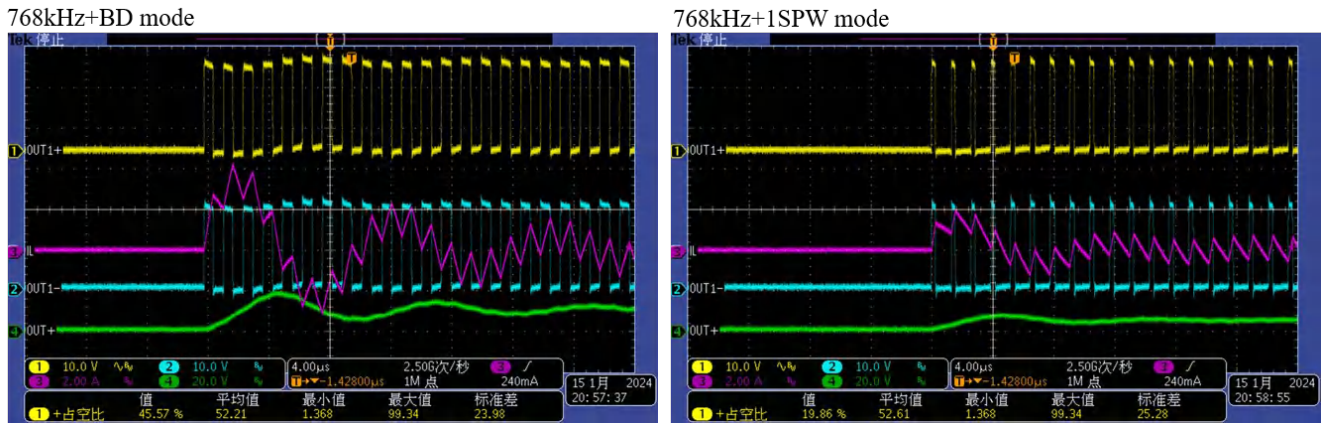


图 4. 384kHz 下启动电流

### 结语

在音频功放启动时，当频率较低时，电感电流在第一个方波结束时达到最大值。频率较高时，电感电流在第二个方波结束时达到最大值。若要维持较小的启动电流，可将 IC 设置为 1SPW Mode。由于电路参数与 IC 配置的不同会导致不同的最大启动电流，且最大启动电流可能在第一个或第二个方波结束时出现，该过程较难精确计算。因此，建议根据实际电路的 LC 滤波器测试启动电流的大小。

## 重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司