

Application Note

TAX5XXX-Q1 中基于动态电压和温度跟踪的限制器

Daveon Douglas

摘要

TAx5xxx-Q1 系列的音频转换器用于需要暴露在高温条件下以及电池电源电压 (VBAT) 会突然波动的汽车应用。TAx5xxx-Q1 系列的德州仪器 (TI) 音频转换器引入了失真限制器、欠压保护和热折返功能，可监测电池电压和裸片温度水平。该监测功能通过自动衰减输出信号来帮助保护器件免受这些不利因素的影响。

失真限制器可降低输出信号的峰值，而欠压保护器以电源电压的函数形式对输出信号应用恒定增益衰减。此外，如果裸片温度超过可编程限制，而输出端仍存在音频，则热折返功能会通过减小增益来自动衰减输出信号。

失真限制器、欠压保护器和热折返功能是 TAx5xxx-Q1 器件 DAC 信号链限制器组内的算法。本应用手册介绍如何为以下器件配置这些功能：

- TAC5411-Q1
- TAC5412-Q1
- TAC5311-Q1
- TAC5312-Q1
- TAC5212-Q1
- TAC5211-Q1
- TAC5111-Q1
- TAD5212-Q1

内容

1 引言.....	4
2 信号处理链.....	4
3 失真限制器.....	5
3.1 失真限制器参数.....	6
3.2 限制器响应.....	9
4 欠压保护.....	10
4.1 欠压保护参数.....	11
4.2 欠压保护响应.....	13
5 热折返.....	14
5.1 热折返参数.....	15
6 示例.....	19
7 总结.....	20
8 参考资料.....	20

插图清单

图 2-1. DAC 信号链.....	4
图 2-2. 限制器组信号链.....	5
图 3-1. 失真限制器输出配置.....	5
图 3-2. 失真限制器示例.....	6
图 3-3. 失真限制器 PPC3 配置.....	9
图 3-4. 失真限制器启动曲线.....	9
图 3-5. 失真限制器两级响应.....	10
图 4-1. BOP 输出配置.....	10
图 4-2. 欠压保护示例.....	11
图 4-3. BOP PPC3 配置.....	13
图 4-4. 两级 BOP 响应.....	14
图 5-1. 热折返输出配置.....	14
图 5-2. 热折返示例.....	15
图 5-3. 热折返 PPC3 配置.....	18
图 5-4. 热折返 - 环境温度.....	18
图 5-5. 热折返 - 附加了最终温度数据.....	18

表格清单

表 3-1. 失真限制器参数列表.....	6
表 3-2. 用于阈值最大值的可编程系数寄存器.....	6
表 3-3. 用于阈值最小值的可编程系数寄存器.....	7
表 3-4. 用于拐点的可编程系数寄存器.....	7
表 3-5. 用于斜率的可编程系数寄存器.....	7
表 3-6. 用于启动速率的可编程系数寄存器.....	8
表 3-7. 用于释放速率的可编程系数寄存器.....	8
表 3-8. 用于保持计数器的可编程系数寄存器.....	9
表 4-1. 欠压保护参数列表.....	11
表 4-2. 用于临界电平的可编程系数寄存器.....	11
表 4-3. 用于增益级别的可编程系数寄存器.....	12
表 4-4. 用于启动速率的可编程系数寄存器.....	12
表 4-5. 用于释放速率的可编程系数寄存器.....	13
表 4-6. 用于保持计数器的可编程系数寄存器.....	13
表 5-1. 热折返参数.....	15
表 5-2. 用于温度阈值的可编程系数寄存器.....	15
表 5-3. 用于最大衰减的可编程系数寄存器.....	16
表 5-4. 用于斜率的可编程系数寄存器.....	16
表 5-5. 用于启动速率的可编程系数寄存器.....	17
表 5-6. 用于释放速率的可编程系数寄存器.....	17
表 5-7. 用于保持计数器的可编程系数寄存器.....	17
表 6-1. 带有参数的示例脚本.....	19

商标

PurePath™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

更大限度提高电池供电型应用的效率对于延长电池寿命和保持高质量音频至关重要。接近 DAC 动态范围极限的音频信号可能会造成输出信号失真和音频削波。TAx5xxx-Q1 器件允许用户将 VBAT 映射到输出峰值以降低失真风险并改善功耗，因为该器件会使用限制器组算法持续监测输出信号电平。

VBAT 的压降会降低防止音频削波所需的电源余量，并且当电池电压继续下降时，器件提供电流的能力也会受到限制。如果音频转换器继续将大电流驱动到扬声器或扬声器放大器中，系统电池电压会降至正常的系统工作电平以下。这种持续电压下降可能会对共用同一电源的器件造成电气损坏，或导致系统关闭。这种类型的事件通常被称为欠压。针对这一问题，德州仪器 (TI) 的音频方案就是加入欠压保护器和失真限制器来减少输出信号的峰值或增益。这些特性可让用户根据电源电压来控制衰减水平，从而有效管理器件功耗。

汽车音频应用要求器件能够在高环境温度条件下完全正常工作。该器件系列具有过热检测电路，可在检测到故障时关闭 DAC_FLT_CFG (P1_R80) 和 INT_CFG 寄存器 (P0_R66) 中指定的输入通道、MICBIAS 和片上升压。热折返功能根据编程的温度限值来衰减音频信号，并播放音频以进一步防止器件损坏。

2 信号处理链

限制器组算法是一种存在于 TAx5xxx-Q1 器件 DAC 信号路径中的数字信号设计。此算法控制着失真限制器、欠压保护器和热折返功能 (图 2-1)。

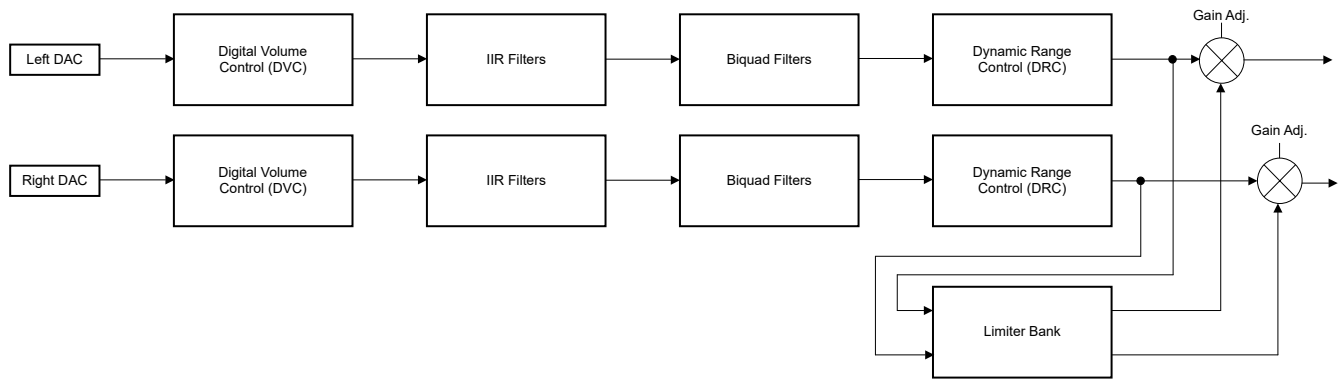


图 2-1. DAC 信号链

左右 DAC 通道信号电平是限制器组的输入。用户可以在 LIMITER_CFG (P1_R35_D6:7) 寄存器中选择哪个信号被失真限制器更改。限制器组的输入多路复用器可以配置为接收存在的最大信号、DAC 通道的左侧信号、DAC 通道的右侧信号或这两个通道的平均信号电平。

限制器组算法会监测 VBAT 引脚电平和裸片内部温度，以便对左右 DAC 通道输出信号电平应用更改。用户可以在 MISC_CFG0 寄存器 (P1_45) 中单独激活或停用失真限制器、欠压保护器 (BOP) 和热折返功能。

如果 VBAT 低于目标电平，失真限制器和 BOP 会对输出信号施加衰减。这些算法通过配置 MISC_CFG0 (P1_R45_D1) 和 DIAG_CFG13 (P1_R83_D2) 寄存器在限制器组中作为 VBAT、默认配置或 AVDD 的函数使用。如果裸片温度超过寄存器映射第 26 页中系数控制的阈值，热折返会使输出信号衰减。此外，限制器组在算法的启动和释放期间使用小步长来减少输入和输出信号中的失真。

然后，限制器组将所有增益调整中的最小值应用于 DAC 的输出信号。增益调整可以应用于这两个输出通道，可以单独应用于任一通道，也可以在 LIMITER_CFG (P1_R35_D4:5) 寄存器中完全不应用。

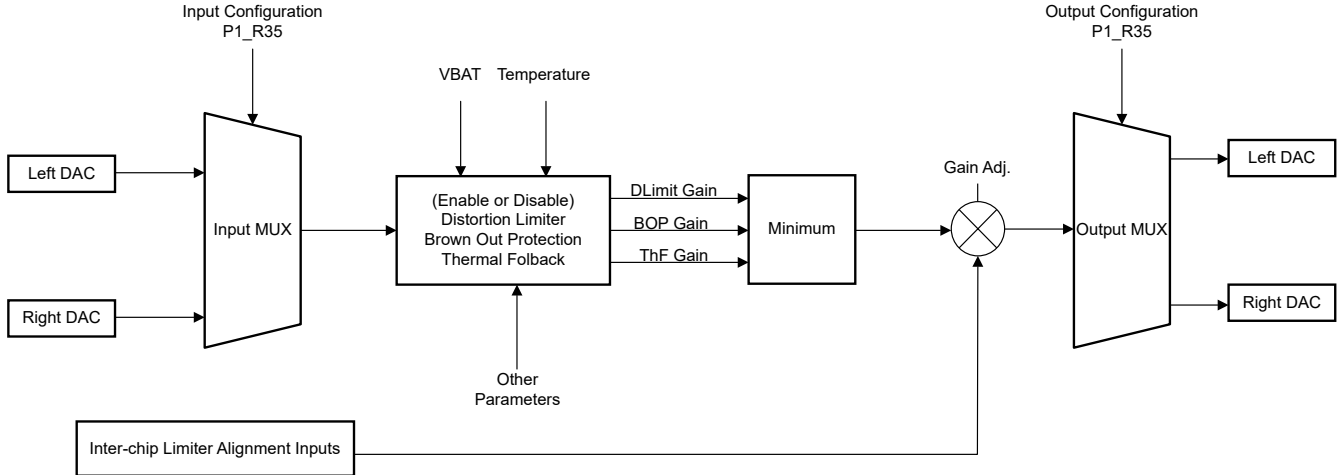


图 2-2. 限制器组信号链

3 失真限制器

失真限制器的工作原理是以电池电压和输入信号电平的函数形式对输出信号进行降低。当 VBAT 或 AVDD 降至拐点以下时，输出信号的峰值从阈值最大值降低到阈值最小值。当电池电平在长时间使用期间开始下降时，此功能很有用，可防止消耗的电源电压超过为达到期望峰值输出电压而需要的电源电压。一旦电源恢复，增益将恢复至编程的运行条件。当输入信号增加到超过满量程输入信号范围的电平时，此设计可防止输出超过阈值最大值，从而防止音频削波。

TAx5xxx-Q1 系列的输出信号高达 10Vrms (差分输出) 和 5Vrms (单端输出)。失真限制器允许用户配置阈值最大值和阈值最小值 (以 dBFS 为单位) 以及电源电压的拐点。图 3-1 展示了限制器模块的配置如何将电池电压映射到输出峰值。

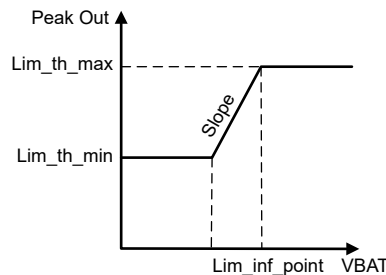


图 3-1. 失真限制器输出配置

图 3-2 突出显示了 VBAT 波动时的峰值输出信号响应。默认情况下，输入与输出信号比为 1:1（相对于满量程）。

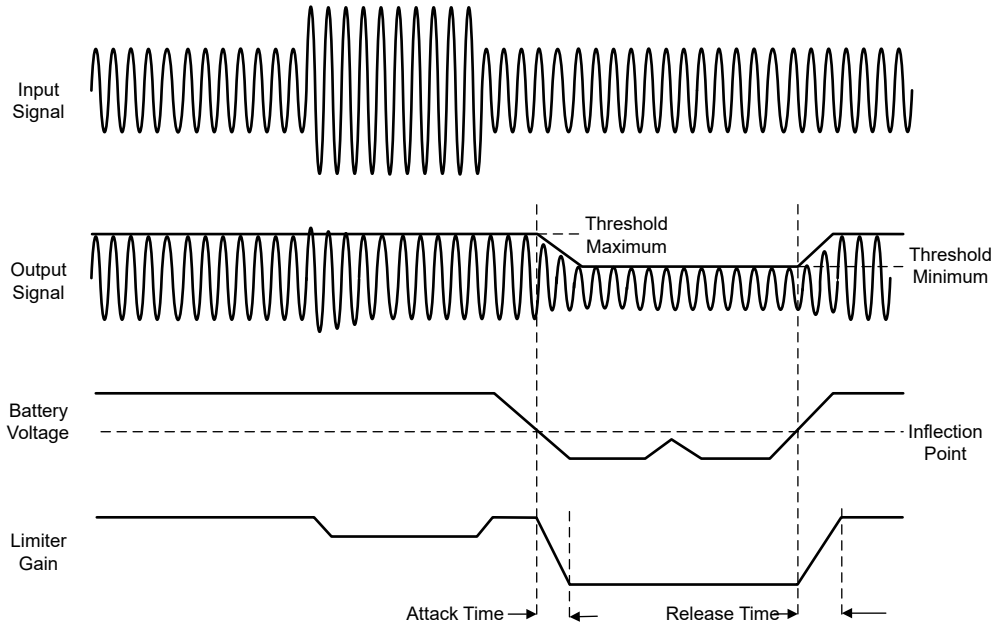


图 3-2. 失真限制器示例

失真限制器可以根据终端应用的电源规格进行定制，不会影响收听体验。用户可以配置限制器的参数，通过限制输出峰值并随着 VBAT 降低而逐渐减小增益来优先延长电池寿命。相反，用户可以在设置较低的 VBAT 拐点阈值时创建更陡的斜率。更陡的斜率在低电池电压条件下强调音频信号范围。

3.1 失真限制器参数

表 3-1 展示了失真限制器算法的参数。这些参数驻留在器件的 32 位宽系数存储器（第 25 页的寄存器）中。

表 3-1. 失真限制器参数列表

失真限制器参数	功能和说明
阈值最大值 (dB)	相对于满量程输出电压的最大峰值输出信号电平
阈值最小值 (dB)	失真限制器衰减到的最小峰值输出信号
拐点 (V)	输出峰值开始降至阈值最大值以下时的电池电平
斜率 (V/V)	输出峰值从阈值最大值下降的速率
启动速率 (dB/步)	当失真限制器触发增益降低操作时的步进速率响应
释放速率 (dB/步)	当失真限制器触发增益增加操作时的步进速率响应
保持计数器 (ms)	在 VBAT 变化后由失真限制器对输出信号电平进行调整之前所需的时间量

3.1.1 阈值最大值

阈值最大值是最大峰值输出信号。阈值电平是相对于 DAC 输出的满量程 (dBFS) 表示的。该阈值由 YRAM_LIM_TH_MAX 系数控制。方程式 1 展示了如何根据所需 dB 值来计算参数。最大峰值范围为 -50dB 至 24dB，支持以 1×10^{-6} dB 的步长进行编程，其中 PO 是峰值输出电平（以 dB 为单位）。

$$\text{YRAM_LIM_THR_MAX} = \text{round}\left(10^{((\text{PO} + 3)/20)} \times 2^{24}\right) \quad (1)$$

表 3-2 列出了对应于 YRAM_LIM_TH_MAX 的寄存器。默认值 (0x1699C0F) 对应于 3dB。

表 3-2. 用于阈值最大值的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
yram_lim_th_max	0x19	0x6C	0x00	RDAC_SF1_BYT1[31:24]

表 3-2. 用于阈值最大值的可编程系数寄存器 (续)

系数	页	寄存器	复位值	说明
yram_lim_th_max	0x19	0x6D	0x00	RDAC_SF1_BYT2[23:16]
yram_lim_th_max	0x19	0x6E	0x00	RDAC_SF1_BYT3[15:8]
yram_lim_th_max	0x19	0x6F	0x00	RDAC_SF1_BYT4[7:0]

3.1.2 阈值最小值

阈值最小值是失真限制器衰减到的最小峰值输出信号。阈值电平是相对于 DAC 输出的满量程 (dBFS) 表示的。该阈值由 YRAM_LIM_TH_MIN 系数控制。方程式 2 展示了如何根据所需 dB 值来计算参数。最大峰值范围为 -50dB 至 24dB，支持以 1×10^{-6} dB 的步长进行编程，其中 MP 是信号的最小峰值电平 (以 dB 为单位)。

$$\text{YRAM_LIM_THR_MIN} = \text{round}\left(10^{\left(\frac{\text{MP} + 3}{20}\right)} \times 2^{24}\right) \quad (2)$$

表 3-3 列出了对应于 YRAM_LIM_TH_MIN 的寄存器。默认值 (0x007259DB) 对应于 -7dB。

表 3-3. 用于阈值最小值的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_LIM_TH_MIN	0x19	0x70	0x00	LDAC_SF1_BYT1[31:24]
YRAM_LIM_TH_MIN	0x19	0x71	0x00	LDAC_SF1_BYT2[23:16]
YRAM_LIM_TH_MIN	0x19	0x72	0x00	LDAC_SF1_BYT3[15:8]
YRAM_LIM_TH_MIN	0x19	0x73	0x00	LDAC_SF1_BYT4[7:0]

3.1.3 拐点

拐点设置失真限制器开始将增益降低到阈值最大值以下的 VBAT 电平。受监控的 VBAT 电平下降到拐点以下的时间必须长于保持计数器。该阈值由 YRAM_LIM_INF_PT 系数控制。方程式 3 展示了如何根据所需电压值来计算参数。阈值范围为 0.01V 至 15V，支持以 1×10^{-6} V 的步长进行编程，其中 V 是电压电平最大值 (以伏特为单位)。

$$\text{YRAM_LIM_INF_PT} = \text{round}\left(V \times 2^{11}\right) \quad (3)$$

表 3-4 列出了对应于 YRAM_LIM_INF_PT 的寄存器。默认值 (0x0000199A) 对应于 3.2V。

表 3-4. 用于拐点的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_LIM_INF_PT	0x19	0x74	0x00	RDAC2_SF1_BYT1[31:24]
YRAM_LIM_INF_PT	0x19	0x75	0x00	RDAC2_SF1_BYT2[23:16]
YRAM_LIM_INF_PT	0x19	0x76	0x00	RDAC2_SF1_BYT3[15:8]

3.1.4 斜率

斜率是输出峰值从阈值最大值下降的速率 (作为电池电压下降的函数)。随着电池电压降低，可编程斜率会降低峰值输出功率电平 (以 V/V 为单位)。该阈值由 YRAM_LIM_SLOPE 系数控制。方程式 4 展示了如何根据以 V/V 为单位的所需斜率来计算参数。阈值范围为 1V/V 至 7.99V/V，支持以 1×10^{-6} V/V 的步长进行编程，其中 S 是斜率 (以 V/V 为单位)。

$$\text{YRAM_LIM_SLOPE} = \text{round}\left(S \times 2^{28}\right) \quad (4)$$

表 3-5 列出了对应于 YRAM_LIM_SLOPE 的寄存器。默认值 (0x10000000) 对应于 1V/V。

表 3-5. 用于斜率的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_LIM_SLOPE	0x19	0x78	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]

表 3-5. 用于斜率的可编程系数寄存器 (续)

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_LIM_SLOPE	0x19	0x79	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_LIM_SLOPE	0x19	0x7A	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_LIM_SLOPE	0x19	0x7B	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

3.1.5 启动速率

启动速率是失真限制器触发增益降低操作时的步进速率响应。信号的稳定时间随着速率的增加而缩短。该阈值由 YRAM_ATTACK_COEFFI_LIM 系数控制。方程式 5 展示了如何根据以 dB/步为单位的所需衰减速率来计算参数。阈值范围为 -6dB/步至 0dB/步，支持以 1×10^{-6} dB 的步长进行编程，其中 AR 是输出信号的衰减速率 (以 dB/步为单位)。

$$\text{YRAM_ATTACK_COEFFI_LIM} = \text{round}\left(10^{(\text{AR}/20)} \times 2^{31}\right) \quad (5)$$

表 3-6 列出了对应于 YRAM_ATTACK_COEFFI_LIM 的寄存器。默认值 (0x78D6FC9F) 对应于 -0.5dB/步。

表 3-6. 用于启动速率的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_ATTACK_COEFFI_LIM	0x19	0x60	0x00	ADC_CH3_SF1_BYT1[31:24]
YRAM_ATTACK_COEFFI_LIM	0x19	0x61	0x00	ADC_CH3_SF1_BYT2[23:16]
YRAM_ATTACK_COEFFI_LIM	0x19	0x62	0x00	ADC_CH3_SF1_BYT3[15:8]
YRAM_ATTACK_COEFFI_LIM	0x19	0x63	0x00	ADC_CH3_SF1_BYT4[7:0]

3.1.6 释放速率

释放速率是失真限制器触发增益增加操作时的步进速率响应。信号的稳定时间随着用户定义的此速率的增加而缩短。该阈值由 YRAM_REL_COEFFI_LIM 系数控制。方程式 6 展示了如何根据以 dB/步为单位的所需衰减速率来计算参数。阈值范围为 -1×10^6 dB/步至 6dB/步，支持以 1×10^{-6} dB 的步长进行编程，其中 RR 是输出信号的释放速率 (以 dB/步为单位)。

$$\text{YRAM_REL_COEFFI_LIM} = \text{round}\left(10^{(\text{RR}/20)} \times 2^{30}\right) \quad (6)$$

表 3-7 列出了对应于 YRAM_REL_COEFFI_LIM 的寄存器。默认值 (0x40BDB7C0) 对应于 0.1dB/步。

表 3-7. 用于释放速率的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_REL_COEFFI_LIM	0x19	0x64	0x00	ADC_CH4_SF1_BYT1[31:24]
YRAM_REL_COEFFI_LIM	0x19	0x65	0x00	ADC_CH4_SF1_BYT2[23:16]
YRAM_REL_COEFFI_LIM	0x19	0x66	0x00	ADC_CH4_SF1_BYT3[15:8]
YRAM_REL_COEFFI_LIM	0x19	0x67	0x00	ADC_CH4_SF1_BYT4[7:0]

3.1.7 保持计数器

保持计数器是在 VBAT 变化后由失真限制器对输出信号电平进行调整并启用失真限制器之前所需的时间量。该阈值由 YRAM_RESET_COUNTER_LIM 系数控制。方程式 7 展示了如何根据以毫秒为单位的所需衰减速率来计算参数。阈值范围为 1ms 至 1000ms，支持以 1ms 的步长进行编程，其中 T 是失真限制器激活前的时间 (以毫秒为单位)。

$$\text{YRAM_RESET_COUNTER_LIM} = \text{round}\left(T \times 2^0\right) \quad (7)$$

表 3-8 列出了对应于 YRAM_RESET_COUNTER_LIM 的寄存器。默认值 (0x00000060) 对应于 2 毫秒。

表 3-8. 用于保持计数器的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_RESET_COUNTER_LIM	0x19	0x7C	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
YRAM_RESET_COUNTER_LIM	0x19	0x7D	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_RESET_COUNTER_LIM	0x19	0x7E	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_RESET_COUNTER_LIM	0x19	0x7F	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

3.2 限制器响应

失真限制器验证的设置 (如图 3-3 所示) 可以通过直接的 I²C 通信进行编程, 并可以在 PurePath™ Console 3 软件中进行配置。

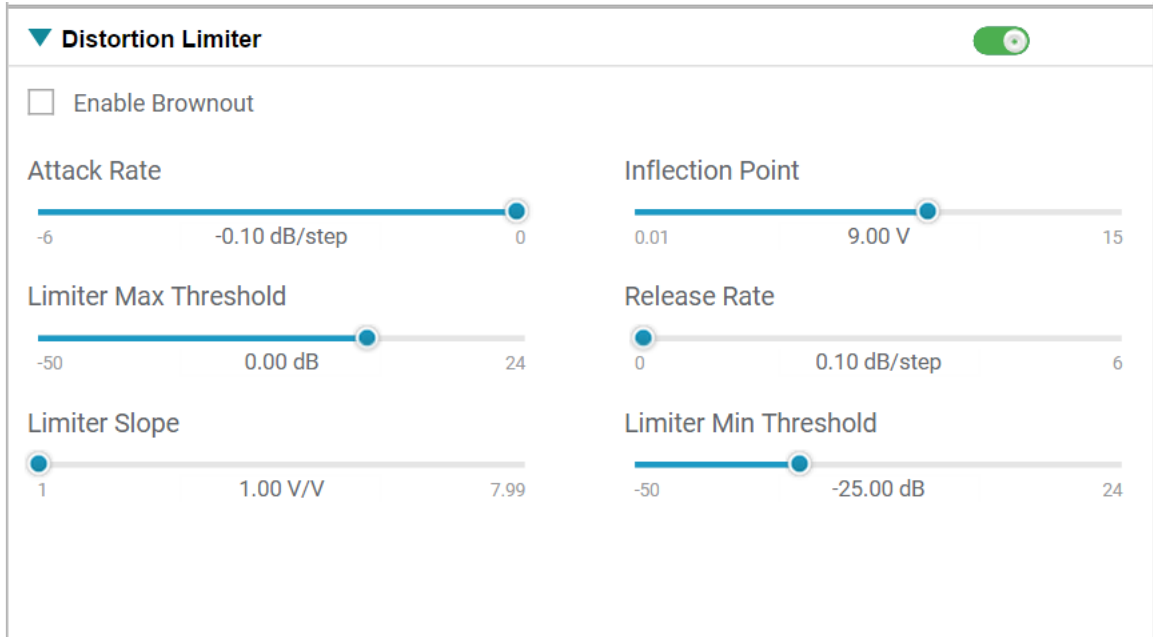


图 3-3. 失真限制器 PPC3 配置

图 3-4 的示波器截图显示了限制器主动调整增益的示例。在该示例中, 由台式电源提供并在通道 2 上表示的 VBAT 随着时间的推移而斜降, 从而使限制器生效。在拐点之前, 通道 1 上的输出信号为满量程 2Vrms 信号, 随着 VBAT 下降而衰减到大约 120mVrms。

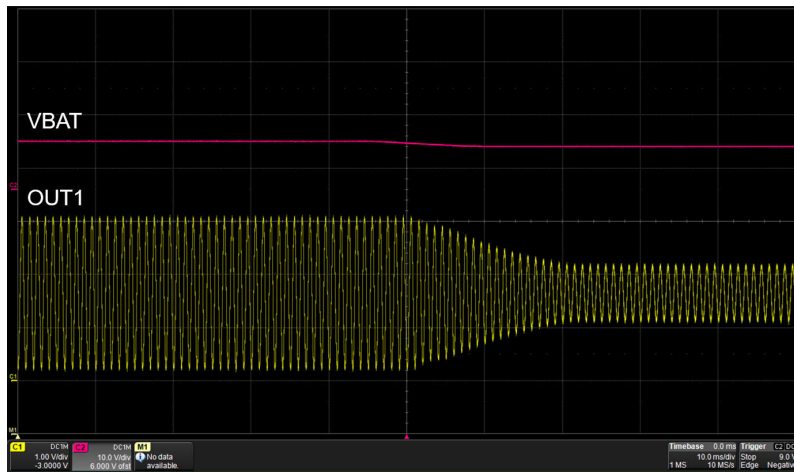


图 3-4. 失真限制器启动曲线

图 3-5 所示为随着 VBAT 下降并突然回升至高于拐点的水平而产生的限制器启动和释放速率的一个示例。

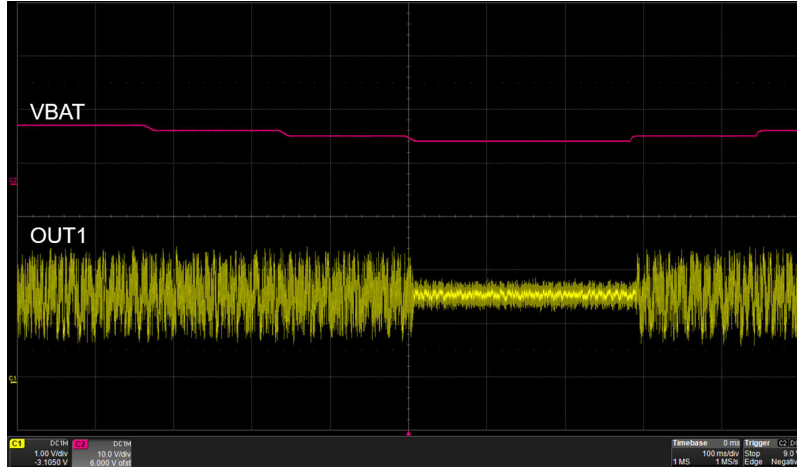


图 3-5. 失真限制器两级响应

4 欠压保护

欠压保护技术的工作原理是根据用户定义的临界 VBAT 电平对输出信号施加恒定衰减。无论音频输入信号如何，都可以对衰减程度和临界 VBAT 电平进行编程并应用于信号路径。当用户希望在电池电压突然下降的情况下将输出信号降低至定义的信号电平时，此功能非常有用。随着电池电压恢复并大于临界电平参数，输出信号可能会上升回原始状态。图 4-1 展示了该模块的配置如何衰减输出信号（作为电池电压电平的函数）。

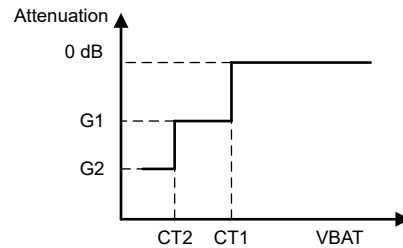


图 4-1. BOP 输出配置

图 4-2 展示了 VBAT 超过或回归 VBAT 临界电平时欠压保护模块的响应。

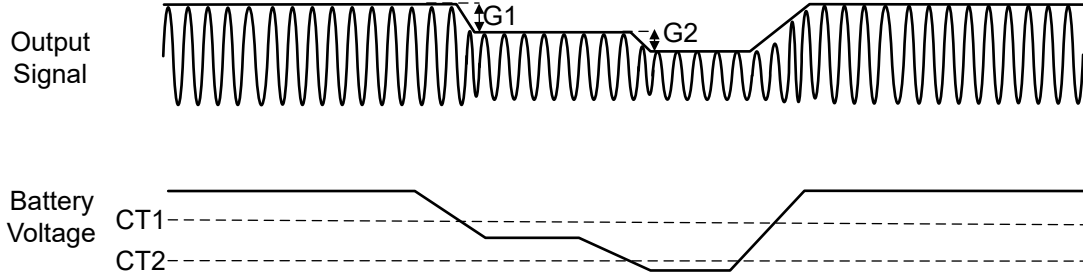


图 4-2. 欠压保护示例

如果 VBAT 低于临界电平 1 (CT1) 而高于临界电平 2 (CT2)，则会对输出信号应用增益级别 1 (G1) 衰减。如果 VBAT 小于 CT1 和 CT2，则输出信号会降低至 G2 级别。欠压保护模块会在 VBAT 恢复时将输出信号增加至定义的峰值输出。

4.1 欠压保护参数

表 4-1 展示了欠压保护算法的参数。这些参数驻留在器件的 32 位宽系数存储器 (第 0 个地址簿, 第 26 页) 中。

表 4-1. 欠压保护参数列表

欠压参数	功能和说明
临界电平(V)	一个由用户定义的 VBAT 电平参数, 用于启动输出信号的增益增减
增益电平 (dB)	触发临界 VBAT 电平时应用于输出信号电平的增益量
启动速率 (dB/步)	BOP 触发增益降低操作时的步进速率响应
释放速率 (dB/步)	BOP 触发增益增加操作时的步进速率响应
保持计数器 (ms)	在 VBAT 变化后由欠压保护器对输出信号电平进行衰减之前所需的时间量

4.1.1 临界电平

临界电平是一个由用户定义的 VBAT 电平参数, 用于启动输出信号的增益增减。该上限和下限阈值分别由 YRAM_VSUP_TH1 和 YRAM_VSUP_TH2 系数进行控制。方程式 8 展示了如何根据所需电压值来计算参数。阈值范围为 0.01V 至 15V, 支持以 $1 \times 10^{-6} \text{V}$ 的步长进行编程, 其中 VS 是电池电源电压临界电平。

$$\text{YRAM_VSUP_TH}(1/2) = \text{round}(\text{VS} \times 2^{11}) \quad (8)$$

表 4-2 列出了对应于 YRAM_VSUP_TH(1/2) 的寄存器。阈值 1 的默认值 (0x0000199A) 对应于 3.2V, 阈值 2 的默认值 (0x00001666) 对应于 2.8V。

表 4-2. 用于临界电平的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_VSUP_TH1	0x1A	0x20	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
	0x1A	0x21	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
	0x1A	0x22	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
	0x1A	0x23	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]
YRAM_VSUP_TH2	0x1A	0x28	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
	0x1A	0x29	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
	0x1A	0x2A	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
	0x1A	0x2B	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

4.1.2 增益级别

增益级别是触发临界电平时应用于输出信号电平的增益量。增益下降值是恒定值，取决于受监测的 VBAT 电平相对于临界电平阈值的下降程度。该上限和下限阈值分别由 YRAM_BOP_TH1 和 YRAM_BOP_TH2 系数进行控制。方程式 9 展示了如何为所需的恒定增益调整值计算参数。阈值范围为 $-1 \times 10^{-6} \text{dB}$ 至 0dB ，支持以 $1 \times 10^{-6} \text{dB}$ 的步长进行编程，其中 GL 是应用于输出信号的增益级别降低量（以 dB 为单位）。

$$\text{YRAM_BOP_TH}(1/2) = \text{round}\left(10^{\text{GL}/20} \times 2^{30}\right) \quad (9)$$

表 4-3 列出了对应于 YRAM_BOP_TH(1/2) 的寄存器。阈值 1 的默认值 (0x2D4EFBD6) 对应于 -3dB ，阈值 2 的默认值 (0x143D1362) 对应于 -10dB 。

表 4-3. 用于增益级别的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_BOP_TH1	0x1A	0x24	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
	0x1A	0x25	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
	0x1A	0x26	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
	0x1A	0x27	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]
YRAM_BOP_TH2	0x1A	0x2C	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
	0x1A	0x2D	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
	0x1A	0x2E	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
	0x1A	0x2F	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

4.1.3 启动速率

启动速率是欠压保护器触发增益降低操作时的步进速率响应。信号的稳定时间随着用户定义的此速率的增加而缩短。该阈值由 YRAM_ATTACK_COEFFI_BOP 系数控制。方程式 10 展示了如何根据以 dB/步为单位的所需衰减速率来计算参数。阈值范围为 -6dB/步 至 0dB/步 ，支持以 $1 \times 10^{-6} \text{dB}$ 的步长进行编程，其中 AR 是输出信号的启动速率（以 dB/步为单位）。

$$\text{YRAM_ATTACK_COEFFI_BOP} = \text{round}\left(10^{\text{AR}/20} \times 2^{31}\right) \quad (10)$$

表 4-4 列出了对应于 YRAM_ATTACK_COEFFI_BOP 的寄存器。默认值 (0x78D6FC9F) 对应于 -0.5dB/步 。

表 4-4. 用于启动速率的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_ATTACK_COEFFI_BOP	0x1A	0x14	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
YRAM_ATTACK_COEFFI_BOP	0x1A	0x15	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_ATTACK_COEFFI_BOP	0x1A	0x16	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_ATTACK_COEFFI_BOP	0x1A	0x17	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

4.1.4 释放速率

释放速率是欠压保护器触发增益升高操作时的步进速率响应。信号的稳定时间随着用户定义的此速率的增加而缩短。该阈值由 YRAM_REL_COEFFI_BOP 系数控制。方程式 11 展示了如何根据以 dB/步为单位的所需衰减速率来计算参数。阈值范围为 $-1 \times 10^6 \text{dB/步}$ 至 6dB/步 ，支持以 $1 \times 10^{-6} \text{dB}$ 的步长进行编程，其中 RR 是输出信号的释放速率（以 dB/步为单位）。

$$\text{YRAM_REL_COEFFI_BOP} = \text{round}\left(10^{\text{RR}/20} \times 2^{30}\right) \quad (11)$$

表 4-5 列出了对应于 YRAM_REL_COEFFI_LIM 的寄存器。默认值 (0x40BDB7C0) 对应于 0.1dB/步 。

表 4-5. 用于释放速率的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_REL_COEFFI_BOP	0x1A	0x18	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
YRAM_REL_COEFFI_BOP	0x1A	0x19	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_REL_COEFFI_BOP	0x1A	0x1A	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_REL_COEFFI_BOP	0x1A	0x1B	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

4.1.5 保持计数器

保持计数器是在 VBAT 变化后由欠压保护器对输出信号电平进行衰减之前所需的时间量。该阈值由 YRAM_RESET_COUNTER_BOP 系数控制。方程式 12 展示了如何根据以毫秒为单位的所需保持速率来计算参数。阈值范围为 1ms 至 1000ms，支持以 1ms 的步长进行编程，其中 T 是欠压保护模块激活前的时间（以毫秒为单位）。

$$\text{YRAM_RESET_COUNTER_BOP} = \text{round}(T \times 2^0) \quad (12)$$

表 4-6 列出了对应于 YRAM_RESET_COUNTER_LIM 的寄存器。默认值 (0x00000060) 对应于 2 毫秒。

表 4-6. 用于保持计数器的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_RESET_COUNTER_BOP	0x1A	0x1C	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
YRAM_RESET_COUNTER_BOP	0x1A	0x1D	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_RESET_COUNTER_BOP	0x1A	0x1E	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_RESET_COUNTER_BOP	0x1A	0x1F	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

4.2 欠压保护响应

图 4-3 是一个涉及以下参数的 BOP 算法示例：

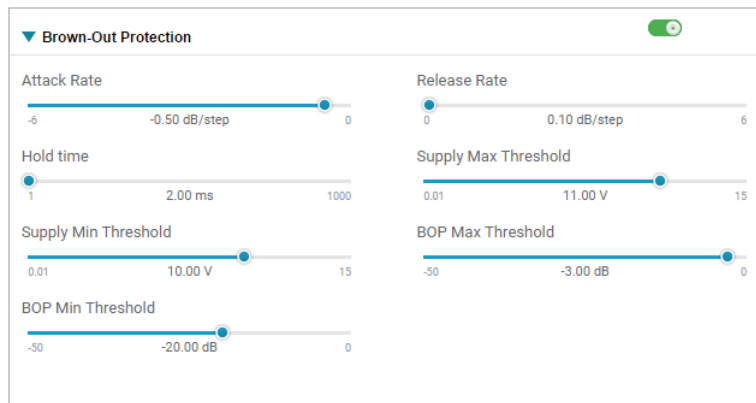


图 4-3. BOP PPC3 配置

图 4-4 展示了由 BOP 算法参数控制的传入音频信号。VBAT 在通道 2 的第一个负边沿从 11V 下降到 10V，随后模拟输出衰减到 -3dB 信号。随着 VBAT 继续降至 10V 以下，输出进一步衰减至 BOP 最小阈值，即 -20dB 信号。

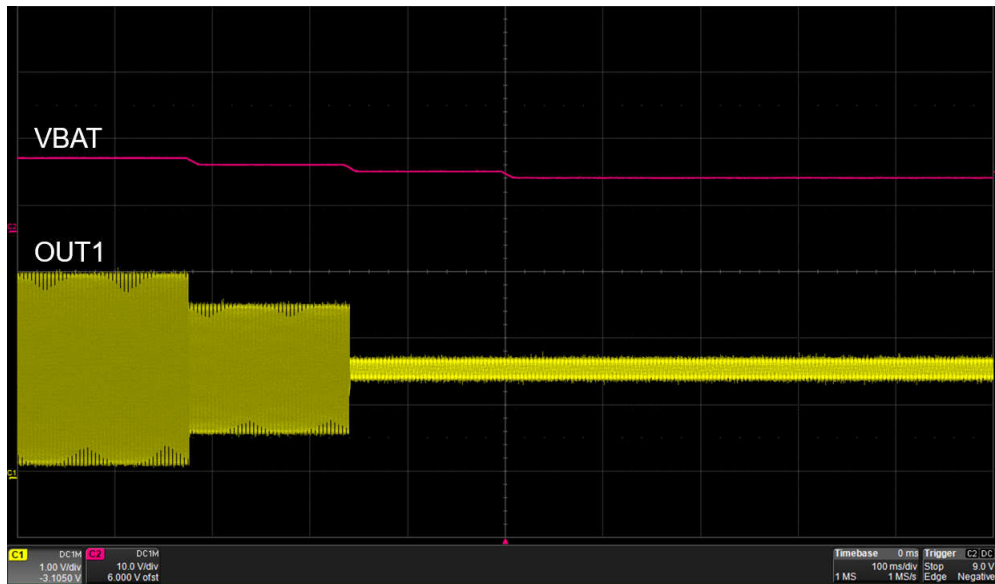


图 4-4. 两级 BOP 响应

5 热折返

当裸片温度超过用户定义的阈值时，输出信号将被施加一个衰减。用户定义此模块的斜率、最大衰减和温度阈值，如图 5-1 所示。启用热折返后，可以在 `DIAG_MON_MSB_TEMP` (`P0_R106`) 和 `DIAG_MON_LSB_TEMP` 寄存器 (`P0_R107_D7:4`) 中监测温度。12 位十六进制必须转换为十进制，然后在方程式 13 中用于计算温度（以摄氏度为单位）。

$$Temperature(^{\circ}C) = 408.815605 - 0.1225435506 \times (Read_data) \quad (13)$$

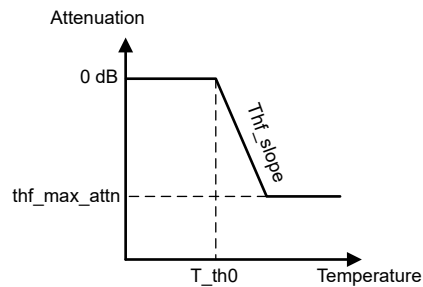


图 5-1. 热折返输出配置

图 5-2 展示了将用户定义的最大衰减施加到信号和斜率并且信号以温度的函数形式降低。

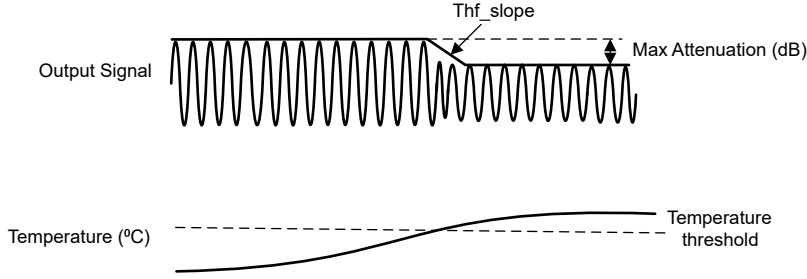


图 5-2. 热折返示例

5.1 热折返参数

表 5-1 展示了热折返算法的参数。这些参数驻留在器件的 32 位宽系数存储器 (第 0 个地址簿, 第 26 页) 中。

表 5-1. 热折返参数

热折返参数	功能和说明
温度阈值 (度)	一个由用户定义的温度水平参数, 如果超过该参数, 则会对输出信号应用增益降低操作
最大衰减阈值 (dB)	触发温度阈值时施加到输出信号的最大衰减量
斜率 (dB/度)	在达到最大衰减水平之前施加到输出信号的衰减速率 (以 dB/度为单位)
启动系数 (dB/步)	热折返触发增益降低操作时的步进速率响应
释放系数 (dB/步)	热折返触发增益增加操作时的步进速率响应
保持计数器 (ms)	在 VBAT 变化后由热折返模块对输出信号电平进行衰减之前所需的时间量

5.1.1 温度阈值

温度阈值是用户定义的温度水平参数, 如果超过温度阈值, 则会对输出信号应用增益降低操作。该阈值由 YRAM_TEMP_TH 系数控制。方程式 14 展示了如何根据以摄氏度为单位的所需温度来计算参数。阈值范围为 0°C 至 255°C, 支持以 1 度的步长进行编程, 其中 T 是温度阈值 (以摄氏度为单位)。

$$\text{YRAM_TEMP_TH} = \text{round}(T \times 2^7) \quad (14)$$

表 5-2 列出了对应于 YRAM_TEMP_TH 的寄存器。默认值 (0x00002380) 对应于 71°C。

表 5-2. 用于温度阈值的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_TEMP_TH	0x1A	0x3C	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
YRAM_TEMP_TH	0x1A	0x3D	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_TEMP_TH	0x1A	0x3E	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_TEMP_TH	0x1A	0x3F	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

5.1.2 最大衰减阈值

最大衰减阈值是触发温度阈值时施加到输出信号的最大衰减量。该阈值由 YRAM_GAIN_MAX_ATTEN_THF 系数控制。方程式 15 展示了如何根据以 dB 为单位的所需最大衰减量来计算参数。阈值范围为 0dB 至 -70dB，支持以 1dB 的步长进行编程，其中 MA 是最大衰减水平（以 dB 为单位）。

$$\text{YRAM_GAIN_MAX_ATTEN_THF} = \text{round}\left(10^{\text{MA}/20} \times 2^{31}\right) \quad (15)$$

表 5-3 列出了对应于 YRAM_GAIN_MAX_ATTEN_THF 的寄存器。默认值 (0x2D6A866F) 对应于 -9dB。

表 5-3. 用于最大衰减的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_GAIN_MAX_ATTEN_THF	0x1A	0x40	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
YRAM_GAIN_MAX_ATTEN_THF	0x1A	0x41	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_GAIN_MAX_ATTEN_THF	0x1A	0x42	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_GAIN_MAX_ATTEN_THF	0x1A	0x43	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

5.1.3 斜率

斜率是在达到最大衰减水平之前施加到输出信号的衰减速率（以 dB/度为单位）。该阈值由 YRAM_THF_SLOPE 系数控制。方程式 16 展示了如何根据以 dB/度为单位的所需斜率来计算参数。阈值范围为 -0.01dB/°C 至 -8dB/°C，支持以 $1 \times 10^{-4} \text{V}$ 的步长进行编程，其中 S 是斜率（以 V/V 为单位）。

$$\text{YRAM_LIM_SLOPE} = \text{round}\left(S \times 2^{28}\right) \quad (16)$$

表 5-4 列出了对应于 YRAM_THF_SLOPE 的寄存器。默认值 (0xE0000000) 对应于 -2dB/度。

表 5-4. 用于斜率的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_THF_SLOPE	0x1A	0x44	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
YRAM_THF_SLOPE	0x1A	0x45	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_THF_SLOPE	0x1A	0x46	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_THF_SLOPE	0x1A	0x47	0x00	ASIOOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

5.1.4 启动系数

启动系数是热折返触发增益降低操作时的步进速率响应。信号的稳定时间随着用户定义的此速率的增加而缩短。该阈值由 YRAM_ATTACK_COEFFI_THF 系数控制。方程式 17 展示了如何根据以 dB/步为单位的所需衰减速率来计算参数。阈值范围为 -6dB/步至 0dB/步，支持以 1×10^{-6} 的步长进行编程，其中 AR 是输出信号的启动速率（以 dB/步为单位）。

$$\text{YRAM_ATTACK_COEFFI_THF} = \text{round}\left(10^{\text{AR}/20} \times 2^{31}\right) \quad (17)$$

表 5-5 列出了对应于 YRAM_ATTACK_COEFFI_THF 的寄存器。默认值 (0x78D6FC9F) 对应于 -0.5dB/步。

表 5-5. 用于启动速率的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_ATTACK_COEFFI_THF	0x1A	0x30	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
YRAM_ATTACK_COEFFI_THF	0x1A	0x31	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_ATTACK_COEFFI_THF	0x1A	0x32	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_ATTACK_COEFFI_THF	0x1A	0x33	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

5.1.5 释放系数

释放系数是热折返触发增益增加操作时的步进速率响应。信号的稳定时间随着用户定义的此速率的增加而缩短。该阈值由 YRAM_REL_COEFFI_THF 系数控制。方程式 18 展示了如何根据以 dB/步为单位的所需衰减速率来计算参数。阈值范围为 -1×10^6 dB/步至 6dB/步，支持以 1×10^{-6} 的步长进行编程，其中 RR 是输出信号的启动速率（以 dB/步为单位）。

$$\text{YRAM_REL_COEFFI_THF} = \text{round}\left(10^{\text{RR}/20} \times 2^{30}\right) \quad (18)$$

表 5-6 列出了对应于 YRAM_REL_COEFFI_THF 的寄存器。默认值 (0x40BDB7C0) 对应于 0.1dB/步。

表 5-6. 用于释放速率的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_REL_COEFFI_THF	0x1A	0x34	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
YRAM_REL_COEFFI_THF	0x1A	0x35	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_REL_COEFFI_THF	0x1A	0x36	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_REL_COEFFI_THF	0x1A	0x37	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

5.1.6 保持计数器

保持计数器是在温度变化后由热折返模块对输出信号电平进行衰减之前所需的时间量。该阈值由 YRAM_RESET_COUNTER_THF 系数控制。方程式 19 展示了如何根据以毫秒为单位的所需保持速率来计算参数。阈值范围为 1ms 至 1000ms，支持以 1ms 的步长进行编程，其中 T 是欠压保护模块激活前的时间（以毫秒为单位）。

$$\text{YRAM_RESET_COUNTER_THF} = \text{round}\left(T \times 2^0\right) \quad (19)$$

表 5-7 列出了对应于 YRAM_RESET_COUNTER_THF 的寄存器。默认值 (0x00000060) 对应于 2 毫秒。

表 5-7. 用于保持计数器的可编程系数寄存器

系数	页	寄存器	复位值	说明
YRAM_RESET_COUNTER_THF	0x1A	0x38	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT1[31:24]
YRAM_RESET_COUNTER_THF	0x1A	0x39	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT2[23:16]
YRAM_RESET_COUNTER_THF	0x1A	0x3A	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT3[15:8]
YRAM_RESET_COUNTER_THF	0x1A	0x3B	0x00	ASIOUT_BUF_VARS_BYT4[7:0]

5.1.6.1 热折返响应

此测试在 50°C 温度阈值下启用热折返，并使用温度监测寄存器观察到 28°C 初始裸片温度。热气流用于加热器件。为器件使用热气流时，温度会上升到温度阈值以上，从而触发热折返算法来施加输出衰减。图 5-3 展示了以下示例的 PPC3 参数。

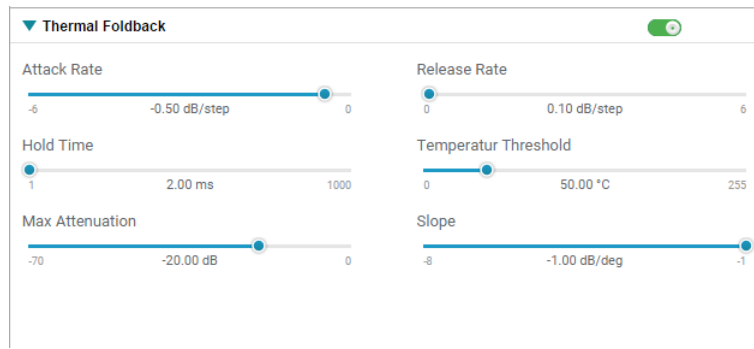


图 5-3. 热折返 PPC3 配置

在该初始温度下会播放满量程输入信号。图 5-4 展示了满量程时编解码器的输出。此图显示了差分信号的正输出，稍后会在触发热折返时将该信号的振幅与输出信号进行比较。

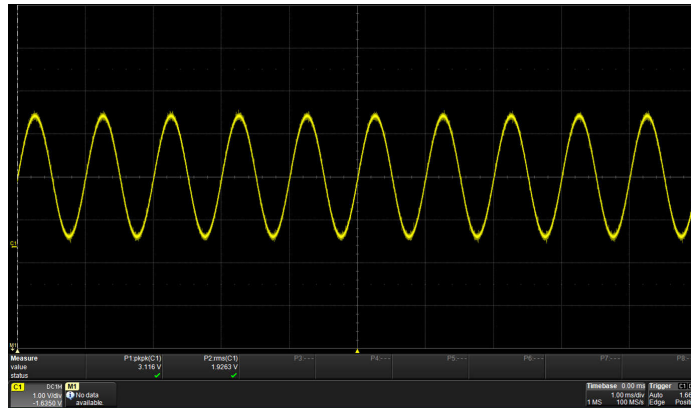


图 5-4. 热折返 - 环境温度

为器件使用热气流，并使其最终温度达到 81°C。温度监测寄存器读数为 A38h。

图 5-5 展示了初始温度和最终温度下的输出的比较情况。初始温度显示的振幅为 3.12Vpp，而最终温度显示的振幅为 640mVpp。该图显示衰减约为 -19dB，接近于基于热折返设置的预期衰减。

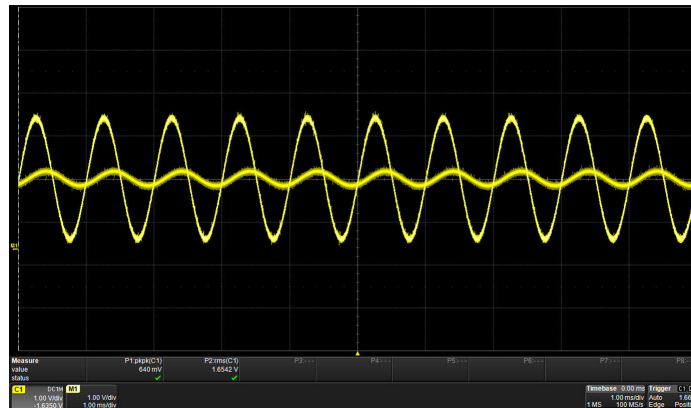


图 5-5. 热折返 - 附加了最终温度数据

6 示例

表 6-1 提供了一个与 TAx5xxx-Q1 器件兼容且带有以下参数的示例脚本。

表 6-1. 带有参数的示例脚本

失真限制器	欠压保护器	热折返
<ul style="list-style-type: none"> 启动系数：-0.2dB/步 释放系数：0.5dB/步 保持计数器：1ms 拐点：11V 最大阈值：-2dB 最小阈值：-40dB 斜率：1V/V 	<ul style="list-style-type: none"> 启动系数：-0.5dB/步 释放系数：0.1dB/步 保持计数器：2ms 临界电平 1：11V 临界电平 2：3V 增益级别 1：-3dB 增益级别 2：-20dB 	<ul style="list-style-type: none"> 启动系数：-0.5dB/步 释放系数：0.1dB/步 保持计数器：2ms 温度阈值：20°C 最大衰减：-30dB 斜率：-1V/V

```
# Key: w a0 XX YY ==> write to I2C address 0xa0, to register 0xxx, data 0xyy
# # ==> comment delimiter
#
# The following list gives an example sequence of items that must be executed in the time
# between powering the device up and reading data from the device. Note that there are
# other valid sequences depending on which features are used.
#
# See the corresponding EVM user guide for jumper settings and audio connections.
#
# Line-Out Fully-Differential 2-channel : INP1/INM1 - Ch1, INP2/INM2 - Ch2
# FSYNC = 48kHz (Output Data Sample Rate), BCLK = 12.288MHz (BCLK/FSYNC = 256)
#####
#
# Power up IOVDD and AVDD power supplies keeping SHDNZ pin voltage LOW
# wait for IOVDD and AVDD power supplies to settle to steady state operating voltage range.
# Release SHDNZ to HIGH.
# wait for 1ms
#

w a0 00 00 # Go to Page 0
w a0 02 81 # Exit Sleep mode, Enable VREG and DREG
d 10      # wait for 16ms

w a0 00 01 # Go to Page 1
w a0 ED 80 # Enable Distortion Limiter, BOP, and Thermal Foldback
w a0 5E 90 # Enable VBAT and Temperature channel for diagnostics

w a0 00 19      # Go to page 0x19
w a0 60 7d 16 1b f8 # Limiter Attack Rate
w a0 64 43 ca d0 23 # Limiter Release Rate
w a0 7c 00 00 00 30 # Limiter Hold Counter
w a0 74 00 00 58 00 # Inflection Point
w a0 6c 01 1f 3c 9a # Limiter Threshold Maximum
w a0 70 00 03 9d b8 # Limiter Threshold Minimum
w a0 78 10 00 00 00 # Limiter Slope

w a0 00 01      # Go to page 0x1a
w a0 14 78 d6 fc 9f # BOP Attack Rate
w a0 18 40 bd b7 c0 # BOP Release Rate
w a0 1c 00 00 00 60 # BOP Hold Counter
w a0 20 00 00 58 00 # BOP Voltage Threshold 1 (CT1)
w a0 28 00 00 18 00 # BOP Voltage Threshold 2 (CT2)
w a0 24 2d 4e fb d6 # BOP Threshold 1 (G1)
w a0 2c 06 66 66 66 # BOP Threshold 2 (G2)

w a0 30 78 d6 fc 9f # Thermal Attack Rate
w a0 34 40 bd b7 c0 # Thermal Release Rate
w a0 38 00 00 00 60 # Thermal Hold Counter
w a0 3c 00 00 a0 00 # Temperature Threshold
w a0 40 04 0c 37 14 # Max Attenuation Threshold
w a0 44 f0 00 00 00 # Thermal Slope

w a0 00 00 # Go to Page 0
w a0 76 0c # Enable DAC Channels
w a0 78 40 # DAC Power Up
```

7 总结

德州仪器 (TI) TAxx5xxx 系列器件集成了三项在电池供电型应用中用于音频处理的功能：*失真限制器*、*欠压保护*和*热折返*。*失真限制器*根据电池电压动态调整音频级别，在电源波动的条件下提供无失真的声音。*欠压保护*通过提供可编程的恒定增益衰减来补充*失真限制器*，允许在电池电量不足的情况下自定义音频质量保持功能。最后，*热折返*根据温度调整音频性能、防止过热和对系统的潜在损坏，从而提供额外的保护。综上所述，这些功能体现了在电池供电型应用中平衡音频卓越性与电源效率的综合方法。

8 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[电池电压跟踪限制器和欠压保护](#) 应用手册
- 德州仪器 (TI)，[智能放大器热折返的优势](#) 应用手册

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