

Design Guide: TIDA-010264

基于 MCU 且具有超级电容器备用电源的医用警报参考设计

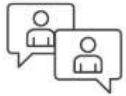


说明

此参考设计是一个采用 MSPM0G1507 或 MSPM0G3507 微控制器 (MCU) 的非专用医疗警报示例, 演示了主警报、备用警报和视觉警报功能, 可帮助遵循 IEC 60601-1-8 进行开发。MCU 通过内部或外部闪存读取音频, 并将数模转换器 (DAC) 波形输出到音频放大器。在系统断电期间, 备用压电式蜂鸣器和具有集成式实时时钟 (RTC) 的 MCU 仍由超级电容器供电。

资源

TIDA-010264	设计文件夹
MSPM0G1507	产品文件夹
MSPM0G3507	产品文件夹
TPS61094 、 TPA6211A1	产品文件夹



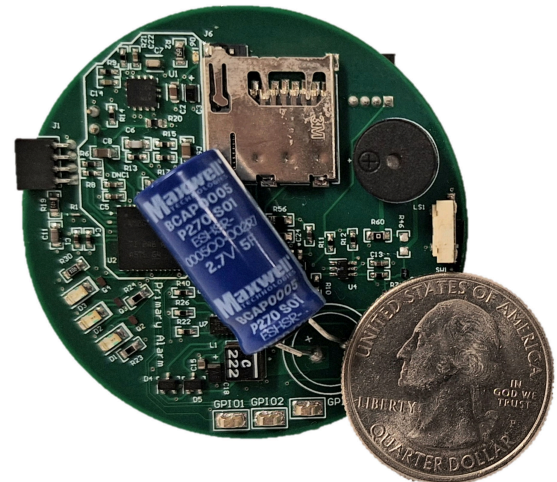
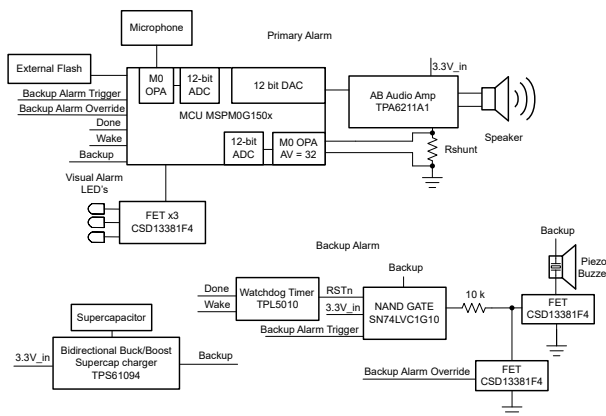
请咨询我司 TI E2E™ 支持专家

特性

- 基于 IEC 60601-1-8 的主、备用和视觉警报系统
- 可通过 128KB 内部闪存和外部闪存播放标准及自定义警报
- 采用集成式 DAC 提供 12 位可调频率 (支持 48kHz+) 高保真音频
- 备用警报通过超级电容器备用电源可持续 3 分钟以上
- 3 个视觉警报 LED : 高、中和低优先级
- 49mm 直径 - 小巧外形适合空间受限的医疗应用

应用

- 输液泵
- 多参数患者监护仪
- 呼吸机
- 透析器
- 麻醉给药系统



1 系统说明

医用警报系统是大多数医疗设备（尤其是在重症监护室 (ICU) 中使用的那些设备）所需的子系统。为确保患者安全，这些医疗设备必须符合国际电工委员会 (IEC) 制定的要求。IEC 60601-1-8 标准详细介绍了这些系统所需的警报相关元素，包括主警报、冗余供电备用警报和视觉警报指示灯。此设计利用 MSPM0G1507 或 MSPM0G3507 微控制器提供主警报、备用警报和视觉警报功能，从而提供符合 IEC 60601-1-8 标准的医用警报。图 2-1 所示为设计方框图。

2 系统概述

2.1 方框图

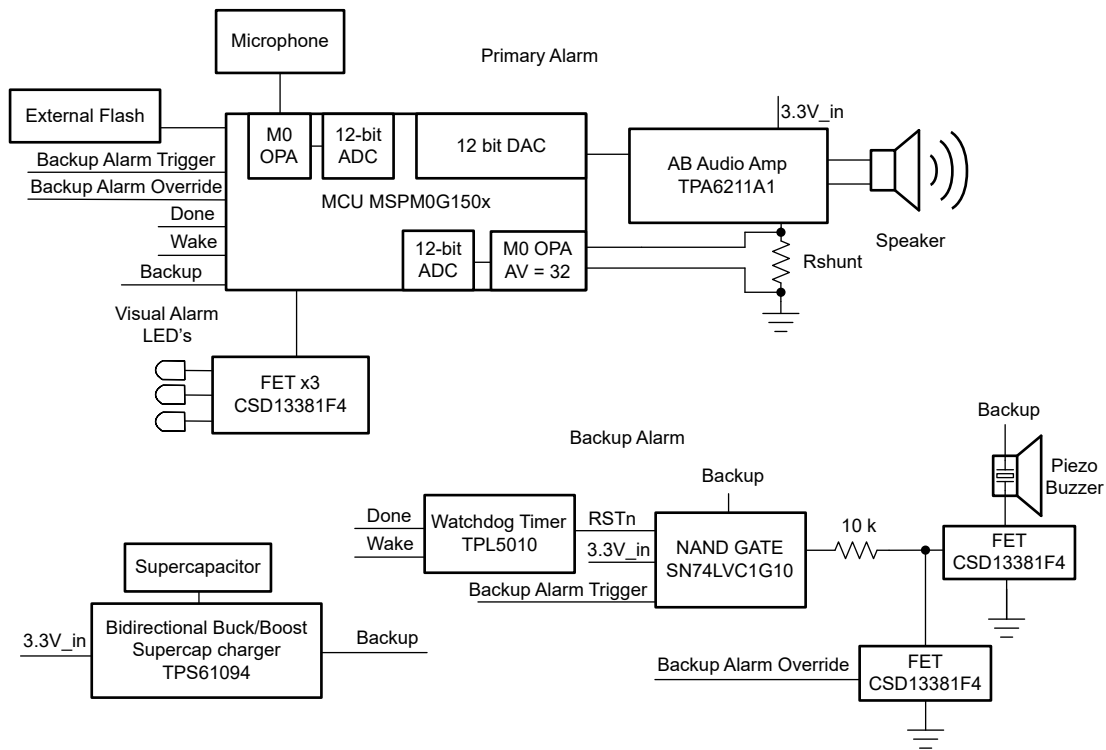


图 2-1. TIDA-010264 方框图

2.2 设计注意事项

2.2.1 主警报电路 - 电流检测

图 2-2 显示了使用 TPA6211A1 AB 类音频放大器的主警报电路。

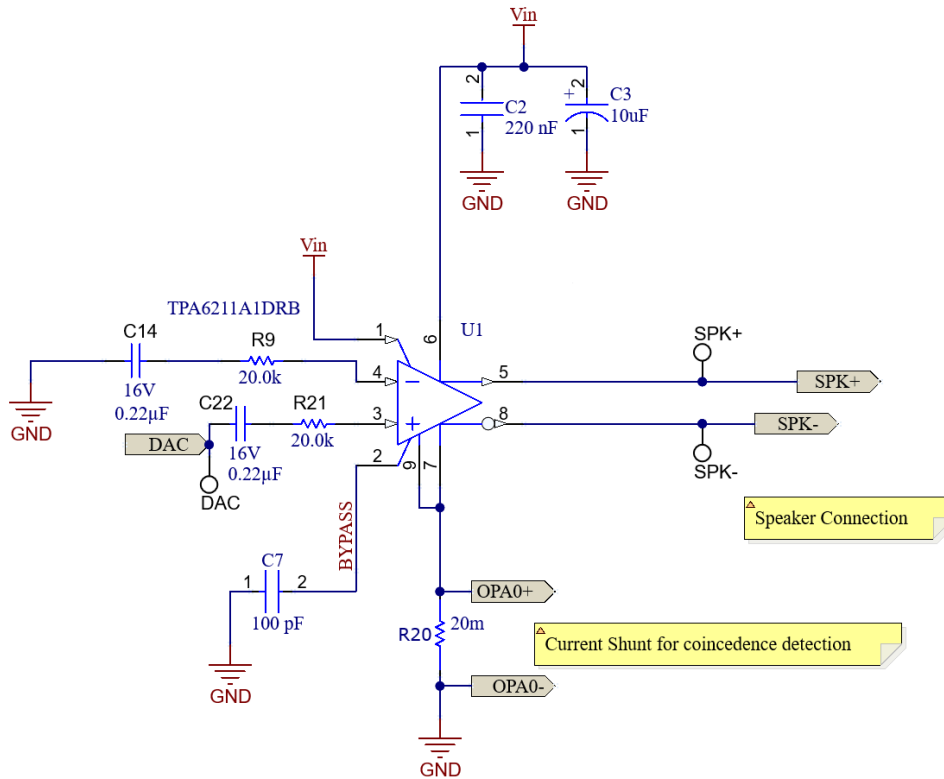


图 2-2. 主警报放大器电路

分流电阻 R20 用于实施低侧电流检测，其电压由 MSPM0 MCU 的内部运放以 32 的内部配置同相增益进行放大。然后，MCU 的 12 位 ADC 将该值数字化。该数据可用于检测音频放大器上播放音频时是否连接了扬声器。测试期间，在警报高电平状态、4 Ω 扬声器和 3.3V 输入电压下测得的最大电流约为 0.6A。有关模拟电流波形，请参阅图 3-5。

对于分流电阻，我们测试了 20mΩ 分流器，产生约 496 个 ADC 阶跃，其中 0.6A 电流通过分流器。如果需要额外的增益，可以使用更大的分流电阻，也可以使用外部电阻来设置增益。

方程式 1 显示了在给定分流电阻和电流下的最大 ADC 输出电压摆幅和 ADC 阶跃计数。

$$V_{\text{shunt}} = R_{\text{shunt}} \times I_{\text{shunt}}$$

$$V_{\text{ADC}} = 32 \times (R_{\text{shunt}} \times I_{\text{shunt}})$$

$$\{R_{\text{shunt}} = 20 \text{ m}\Omega, I_{\text{shunt_max}} \cong 0.6 \text{ A}\} \rightarrow V_{\text{ADC_max}} = 0.384 \text{ V}$$

$$\text{Max \# ADC Steps} = \frac{V_{\text{ADC_max}}}{V_{\text{REF}}} \times 4095$$

$$\{V_{\text{REF}} = 3.3 \text{ V}\} \rightarrow \text{Max \# ADC Steps} = 496$$

(1)

2.2.2 麦克风电路 - 重合检测

为了获得来自环境的额外反馈（例如环境噪声或来自自主警报的声音反馈），我们添加了一个可选麦克风。图 2-3 显示了麦克风电路以及与 MSPM0 已配置运放的连接。

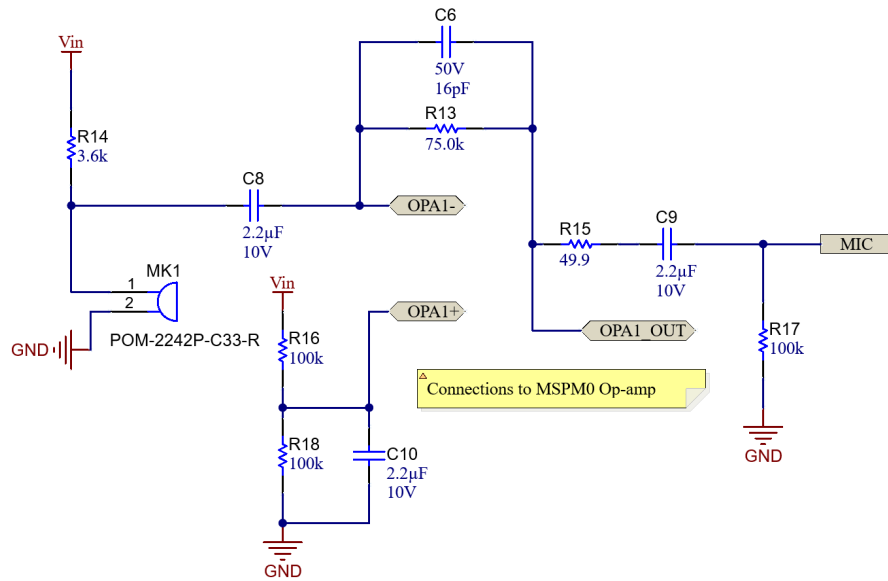


图 2-3. 麦克风电路

2.2.3 备用警报电路

图 2-4 所示为备用警报电路。如果主电源断电或 MCU 触发警报，该电路会触发备用警报。如果系统停止响应，TPL5010 外部看门狗计时器将复位 MCU。如果 MCU 将二级警报覆盖 Q5 栅极拉至高电平，则无论与非门 U4 的其他输入如何，备用警报都将关闭。这使得 MCU 能够在必要时完全控制警报电路，例如，可在规定的 3 分钟后禁用警报。

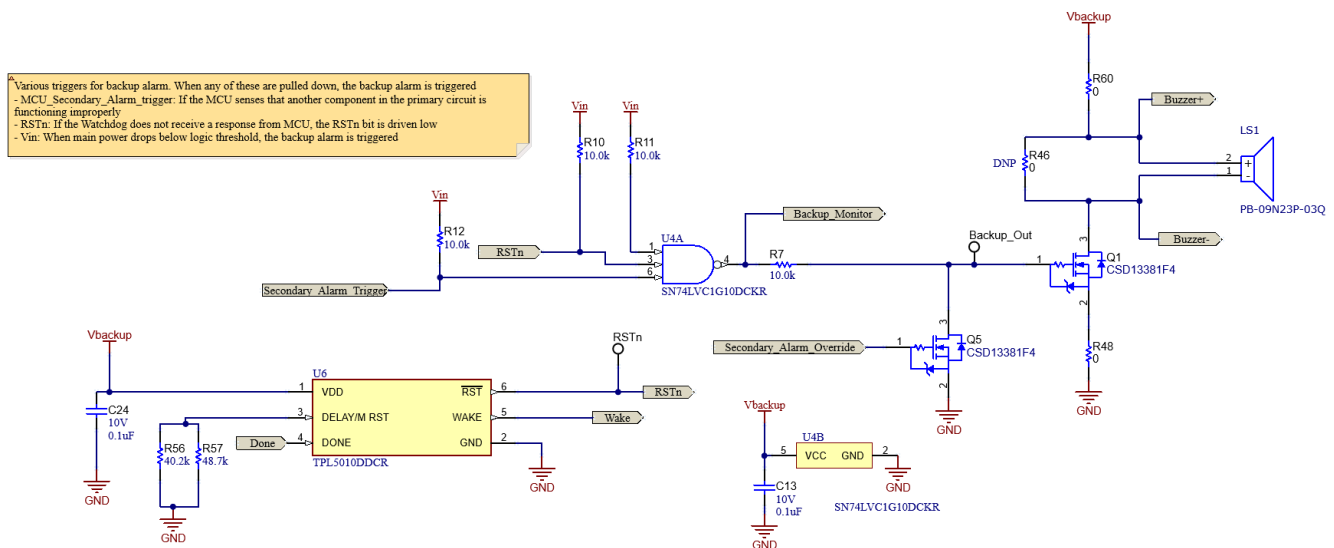


图 2-4. 备用警报电路

2.2.4 超级电容器充电电路

图 2-5 所示为超级电容器充电和备用电源电路原理图。

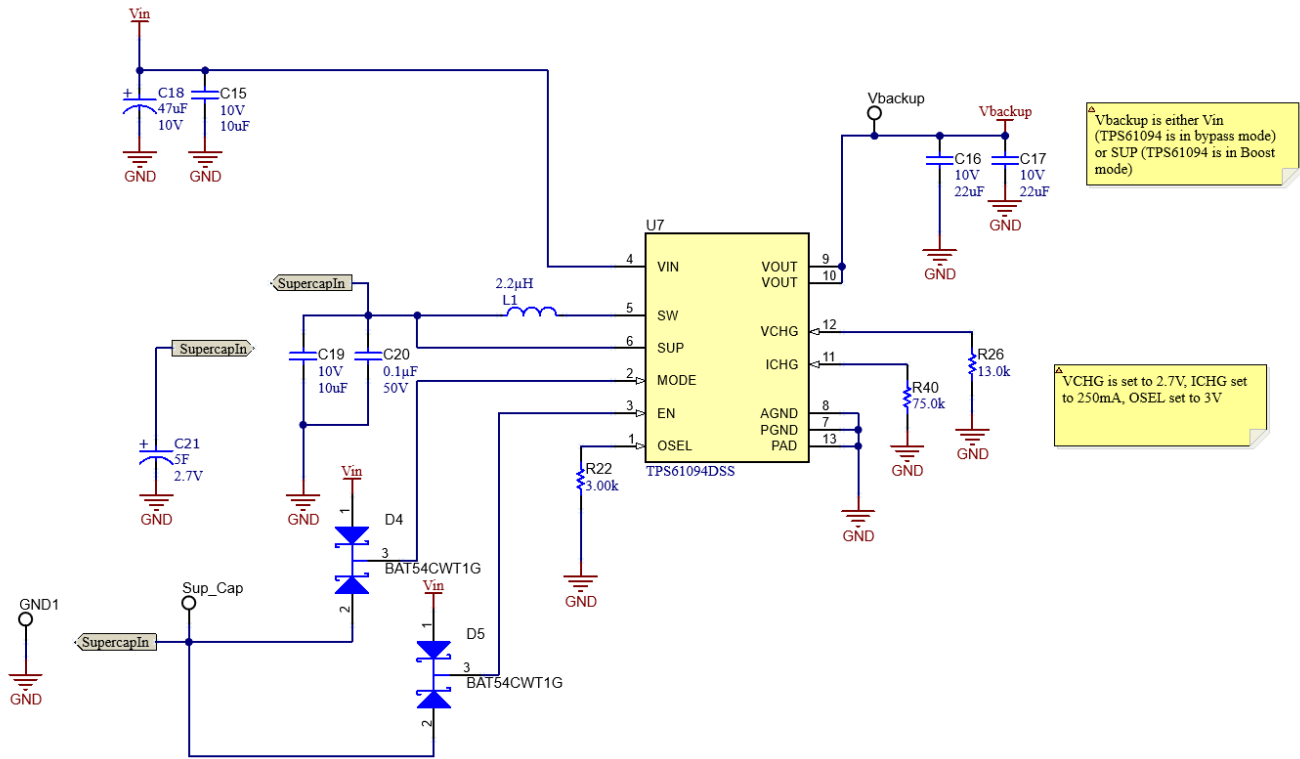


图 2-5. 超级电容器充电电路

由于 TPS61094 运行所需的超级电容器最小电压为 0.7V，因此部分超级电容器能量无法使用。

方程式 2 显示了额定电压小于 5V 的超级电容器的可用储能。

$$E_{\text{Joules}} = \frac{1}{2} \times C \times V^2 - \frac{1}{2} \times C \times (0.7 \text{ V})^2 \quad \{\text{Supercapacitor } V_{\text{CHG}} < 5 \text{ V}\}$$

$$E_{\text{Joules}} = \frac{1}{2} \times C \times V^2 - 0.245 \times C \quad \{\text{Supercapacitor } V_{\text{CHG}} < 5 \text{ V}\} \quad (2)$$

在该设计中，超级电容器具有 2.7V 电压和 5F 电容，可储能 17 焦耳。使用 TPS61094 时，超级电容器的最大充电电压为 5V。方程 3 显示了所选超级电容器的额定电压为 5V 或更高时的可用储能。

$$E_{\text{Joules}} = \frac{1}{2} \times C \times (5 \text{ V})^2 - 0.245 \times C \quad \{\text{Supercapacitor } V_{\text{CHG}} \geq 5 \text{ V}\}$$

$$E_{\text{Joules}} = 12.255 \times C \quad \{\text{Supercapacitor } V_{\text{CHG}} \geq 5 \text{ V}\} \quad (3)$$

如表 2-1 所示， V_{IN} 必须比目标 V_{OUT} 高 100mV，才能进入自动降压模式并为超级电容器充电。因此，目标 V_{OUT} 设置为 3V。通过将 3kΩ 电阻连接到 OSEL 引脚来设置该值。一旦输入电压 V_{IN} 下降至低于目标电压，即开始进行升压操作。有关电源转换波形，请参阅图 3-7 和图 3-8。

表 2-1. 运行模式

模式	EN	模式	BYPASS	升压	BUCK	功能
强制旁路	0	0	√	×	×	导通旁路 MOSFET，关断升压或降压， $V_{\text{OUT}} = V_{\text{IN}}$
真正关断	0	1	×	×	×	旁路断开，关断升压或降压， $V_{\text{OUT}} = 0\text{V}$
强制降压	1	0	√	×	√	启用降压，导通旁路 MOSFET， $V_{\text{OUT}} = V_{\text{IN}}$ ，同时为超级电容器或备用电池充电
自动降压或升压	1	1	√	×	√	启用降压，当 $V_{\text{IN}} > \text{目标 } V_{\text{OUT}} + 100\text{mV}$ 且 $V_{\text{OUT}} > \text{目标 } V_{\text{OUT}}$ 时，超级电容器通过降压充电
	1	1	√	√	×	启用升压和旁路；当 $V_{\text{OUT}} + 100\text{mV} > V_{\text{IN}} > \text{目标 } V_{\text{OUT}}$ 并且 $V_{\text{OUT}} = \text{目标 } V_{\text{OUT}}$ 时， V_{OUT} 由 V_{IN} 通过旁路供电以及由超级电容器通过升压供电。
	1	1	×	√	×	启用升压；当 $V_{\text{IN}} < \text{目标 } V_{\text{OUT}}$ 时， V_{OUT} 由超级电容器通过升压供电。

2.2.5 软件流程图

图 2-6 所示为软件流程图。

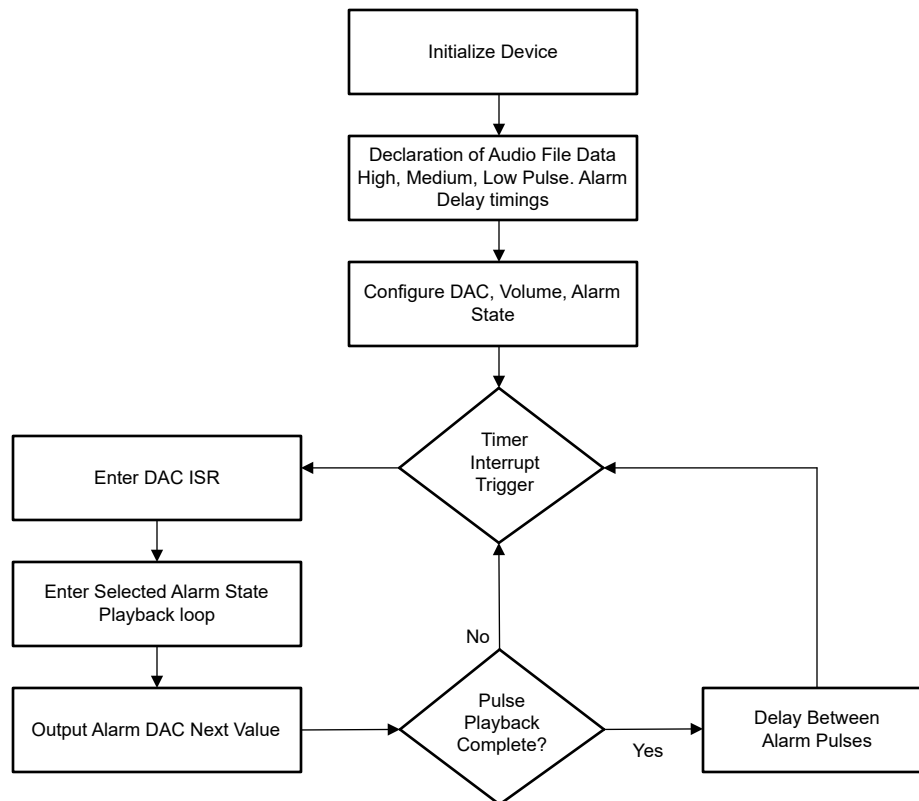


图 2-6. 软件流程图

2.3 重点产品

2.3.1 MSPM0G150x

MSPM0G150x 微控制器 (MCU) 属于 MSP 高度集成的超低功耗 32 位 MCU 系列，基于增强型 Arm® Cortex®-M0+ 32 位内核平台，工作频率最高可达 80MHz。这些低成本 MCU 提供高性能模拟外设集成，支持 -40°C 至 125°C 的工作温度范围，并在 1.62V 至 3.6V 的电源电压下运行。

MSPM0G150x 器件提供具有内置纠错码 (ECC) 且高达 128KB 的嵌入式闪存程序存储器，以及具有 ECC 和硬件奇偶校验选项且高达 32KB 的 SRAM。这些 MCU 还包含一个存储器保护单元、7 通道 DMA、数学加速器和各种高性能模拟外设，例如两个 12 位 4MSPS ADC、一个可配置内部共享电压基准、一个 12 位 1MSPS DAC、三个具有内置基准 DAC 的高速比较器、两个具有可编程增益的零漂移零交叉运放和一个通用放大器。这些器件还提供智能数字外设，例如两个 16 位高级控制计时器、五个通用计时器 (具有一个用于 QEI 接口的 16 位通用计时器、两个用于待机模式的 16 位通用计时器和一个 32 位通用计时器)、两个窗口式看门狗计时器以及一个具有警报和日历模式的 RTC。这些器件提供数据完整性和加密外设 (AES、CRC、TRNG) 以及增强型通信接口 (四个通用异步接收器和发送器 (UART)、两个 I2C、两个串行外设接口 (SPI))。

TI MSPM0 系列低功耗 MCU 包含具有不同模拟和数字集成度的器件，可让客户找到满足其工程需求的 MCU。MSPM0 MCU 平台将 Arm Cortex-M0+ 平台与超低功耗整体系统架构相结合，使系统设计人员能够在降低能耗的同时提高性能。

2.3.2 TPS61094

TPS61094 是具有超级电容器管理的 60nA I_Q 升压转换器。该器件可为智能仪表和超级电容器备用电源应用提供电源设计。

TPS61094 具有宽输入电压范围和高达 5.5V 的输出电压。当 TPS61094 在降压模式下为超级电容器充电时，可通过两个外部电阻对充电电流和终止电压进行编程。当 TPS61094 在升压模式下工作时，可使用一个外部电阻器对输出电压进行编程。

在自动降压或升压模式下 (EN = 1 , MODE = 1)，施加输入电源后，该器件会将输入电压旁路到输出，同时还能备用超级电容器充电。当输入电源已断开或低于输出目标电压时，TPS61094 将进入升压模式，并通过备用超级电容器调节输出电压。TPS61094 在此模式下消耗 60nA 静态电流。

TPS61094 支持真关断模式 (EN = 0 , MODE = 1) 和强制旁路模式 (EN = 0 , MODE = 0)。在真正关断模式下，TPS61094 将负载与输入电源完全断开。在支持强制旁路模式时，TPS61094 通过旁路开关直接将负载连接到输入电压并且仅消耗 4nA 电流，从而延长电池寿命。

2.3.3 TPA6211A1

TPA6211A1 是一款 3.1W 单声道全差分放大器，用于驱动阻抗至少为 3Ω 的扬声器，而在大多数应用中仅占用 20mm² 的总印刷电路板 (PCB) 面积。此器件在 2.5V 至 5.5V 电压范围内运行，仅消耗 4mA 静态电源电流。TPA6211A1 采用节省空间的 3mm × 3mm SON (DRB) 和 8 引脚 MSOP-PowerPAD™ (DGN) 集成电路封装。

TPA6211A1 具有 -80dB 的电源电压抑制 (20Hz 至 2kHz)、改进的射频整流抗扰度、较小的 PCB 面积以及杂音极低的快速启动特性，非常适合 PDA 和智能手机应用。

3 硬件、软件、测试要求和测试结果

3.1 硬件要求

表 3-1 详细说明了所需的测试设备。

表 3-1. 用于测试的设备

设备	额定值	说明
直流电源	3.3 V, 1 A	器件输入电源
扬声器	4 Ω	主警报声音输出
SPI 闪存编程器	-	用于将自定义音频编程到 SPI 闪存
MSPM0 编程器	-	任何 MSPM0 LaunchPad™ 或 XDS110 调试编程器

3.2 软件要求

3.2.1 软件概述

3.2.1.1 MSPM0 MCU 编程

要对 MCU 进行编程，请将 MSPM0 编程器 GND、NRST、SWDIO 和 SWCLK 引脚连接到 J3 连接器。将外部 3.3V 直流电源连接到警报板上的 V_{IN} 和 GND 连接。将编程器连接到主机后，使用 [Code Composer Studio™](#) 集成开发环境 (IDE) 对其进行编程。

3.2.1.2 外部 SPI 闪存编程

需要使用 SPI 闪存编程器将音频写入外部闪存。将编程器连接到 J2 连接器。刷写音频之前，请确保 SPI 编程器的工作电压为 3.3V。

3.3 测试设置

表 3-2 所示为 TIDA-010264 电路板连接。

表 3-2. TIDA-010264 用于测试的电路板连接

连接器	说明
V _{IN} , GND	连接到直流电源，3.3V
SPK+, SPK -	连接到 4 Ω 扬声器
SPI 闪存编程器	连接到 J2
MSPM0 编程器	连接到 J3

3.4 测试结果

本节介绍用于验证该设计功能的测试程序。

3.4.1 主警报波形

图 3-1 显示了播放警报高电平状态时在 MSPM0 12 位 DAC 输出端测得的波形。关键波形特性 (包括基频、上升时间、下降时间、脉冲间隔等) 均在内部进行测量，以满足 IEC 60601-1-8 要求。

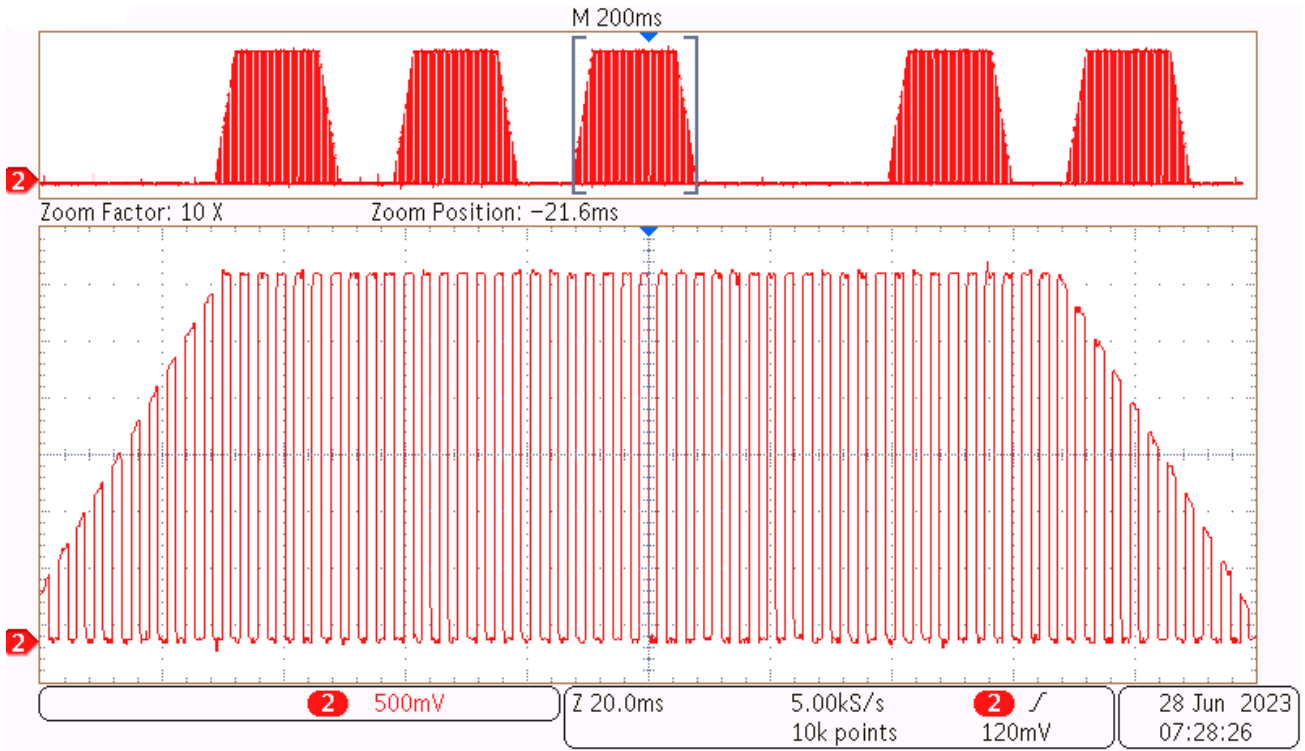


图 3-1. 警报高电平状态 DAC 波形

图 3-2 显示了从扬声器正极端子和负极端子测得的高优先级警报波形。

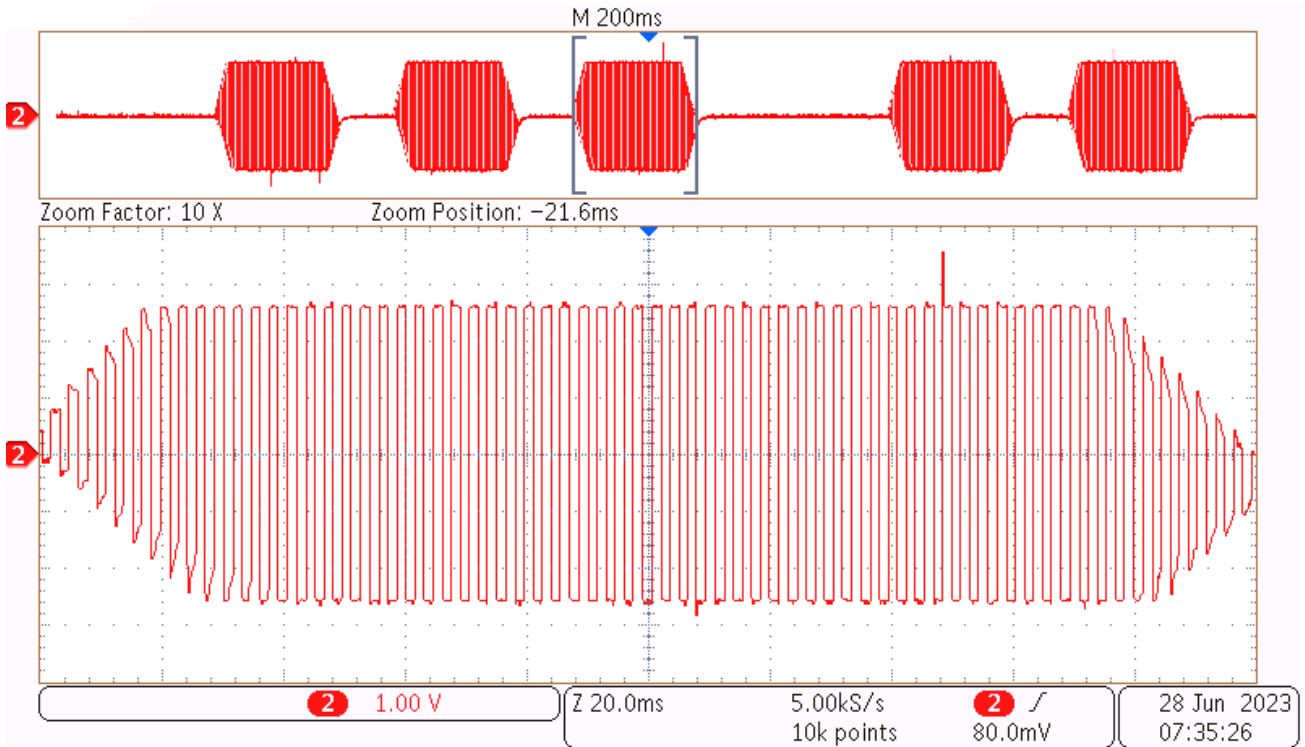


图 3-2. 警报高电平状态扬声器波形

图 3-3 显示了从扬声器正负极端子测得的自定义音频波形示例。

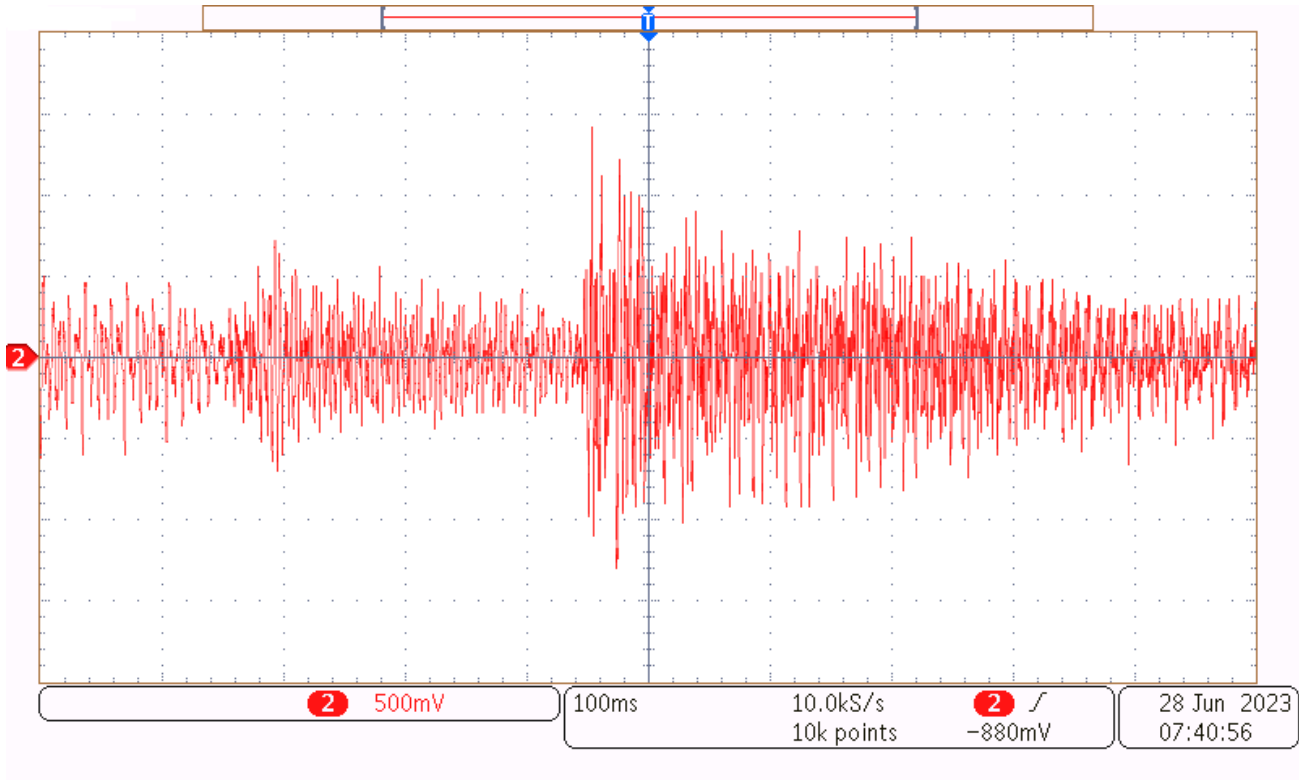


图 3-3. 自定义音频扬声器波形

3.4.2 主警报谐波测试

图 3-4 显示了警报高电平状态下的谐波含量。为了满足 IEC 60601-1-8 要求，至少 4 个谐波需要与基频振幅相差 $\pm 15\text{dB}$ 。在这项警报高电平状态测试所需的范围内测量了 8 个谐波。

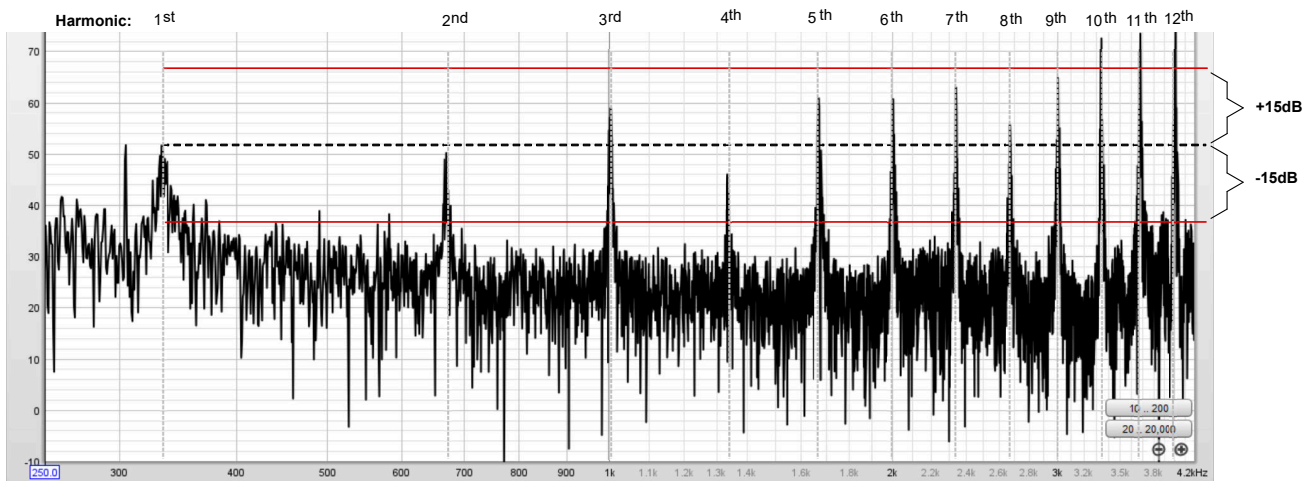


图 3-4. 谐波测试高警报状态

3.4.3 重合检测

通过测量 MSPM0G150x 内部运放输出，对重合检测电路进行了测试。通过测量 TPA6211A1 电流消耗，图 3-5 中所示的脉冲显示了警报高电平状态的波形。如果扬声器出现故障（例如断开连接），电流波形会显著减小。

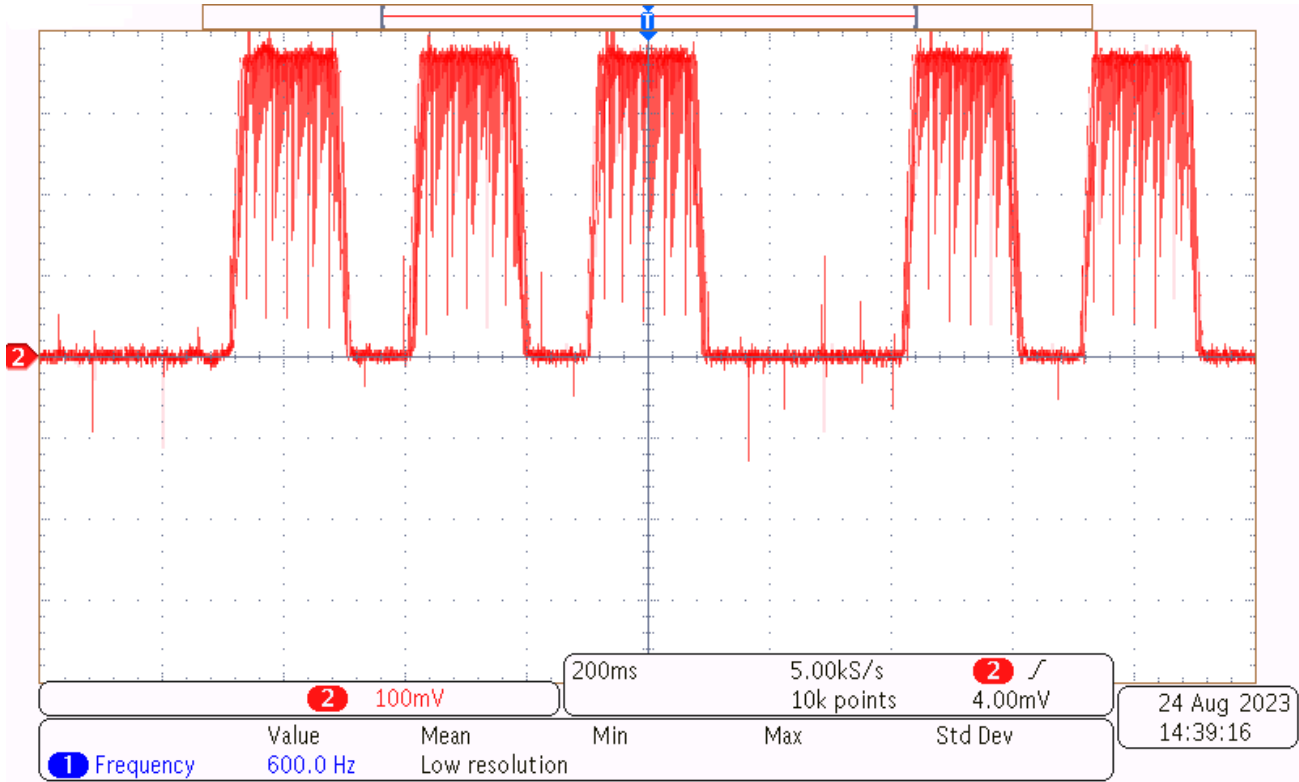


图 3-5. 警报高电平状态电流检测波形

图 3-6 显示了警报高电平状态下麦克风的模拟信号输出。MSPM0 的 ADC 可以对该信号进行数字化处理，从而可以对主警报信号进行声学测量。麦克风还可以测量环境噪声水平，从而可以调整主警报音量。

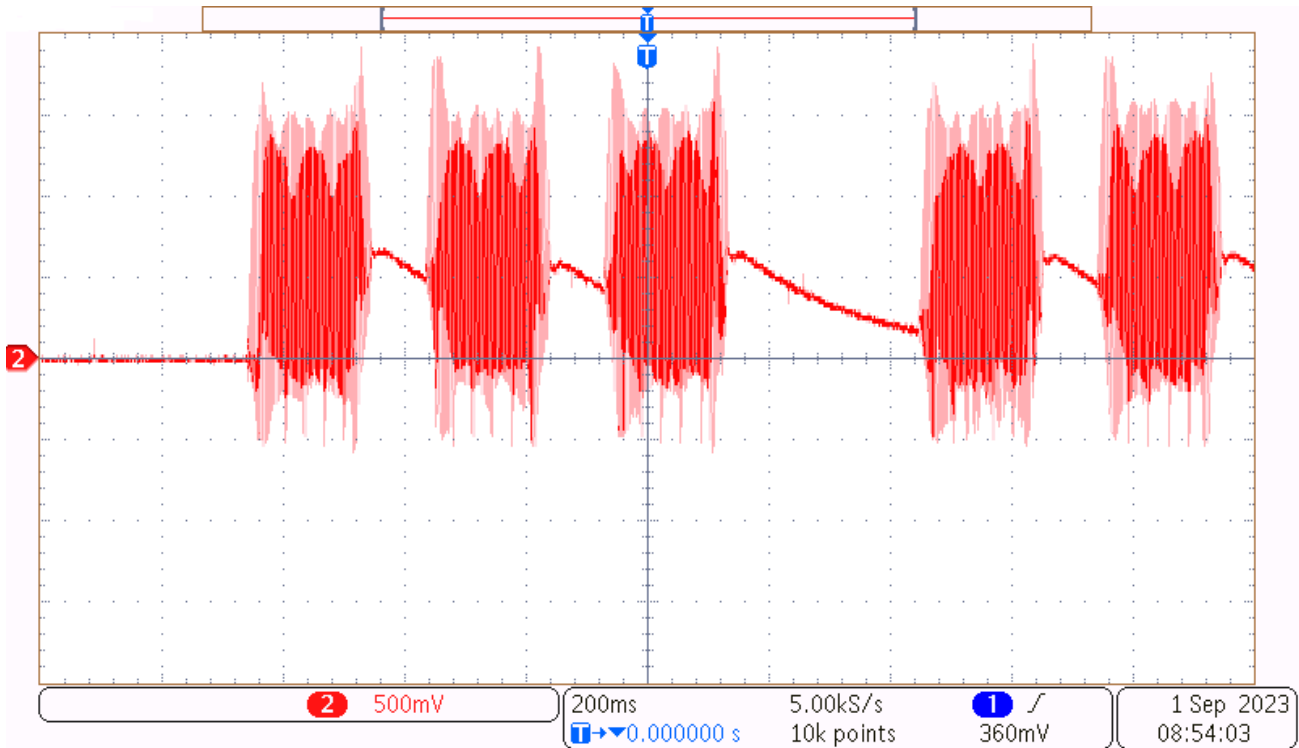


图 3-6. 警报高电平状态麦克风波形

3.4.4 备用电源转换

图 3-7 显示了从 3.3V 外部电源到 3V 超级电容器备用电源的转换。

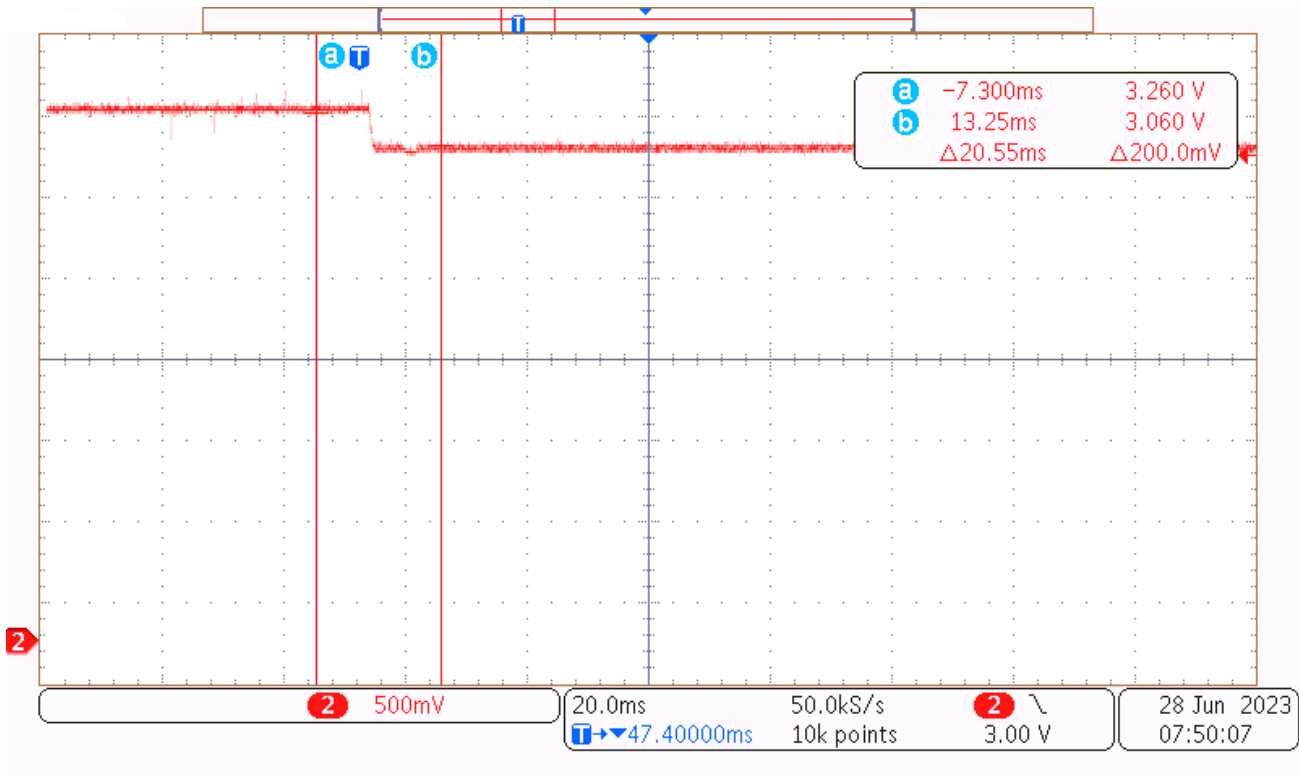


图 3-7. 外部电源转换为备用电源

图 3-8 显示了从 3V 超级电容器备用模式到 3.3V 外部电源的转换。

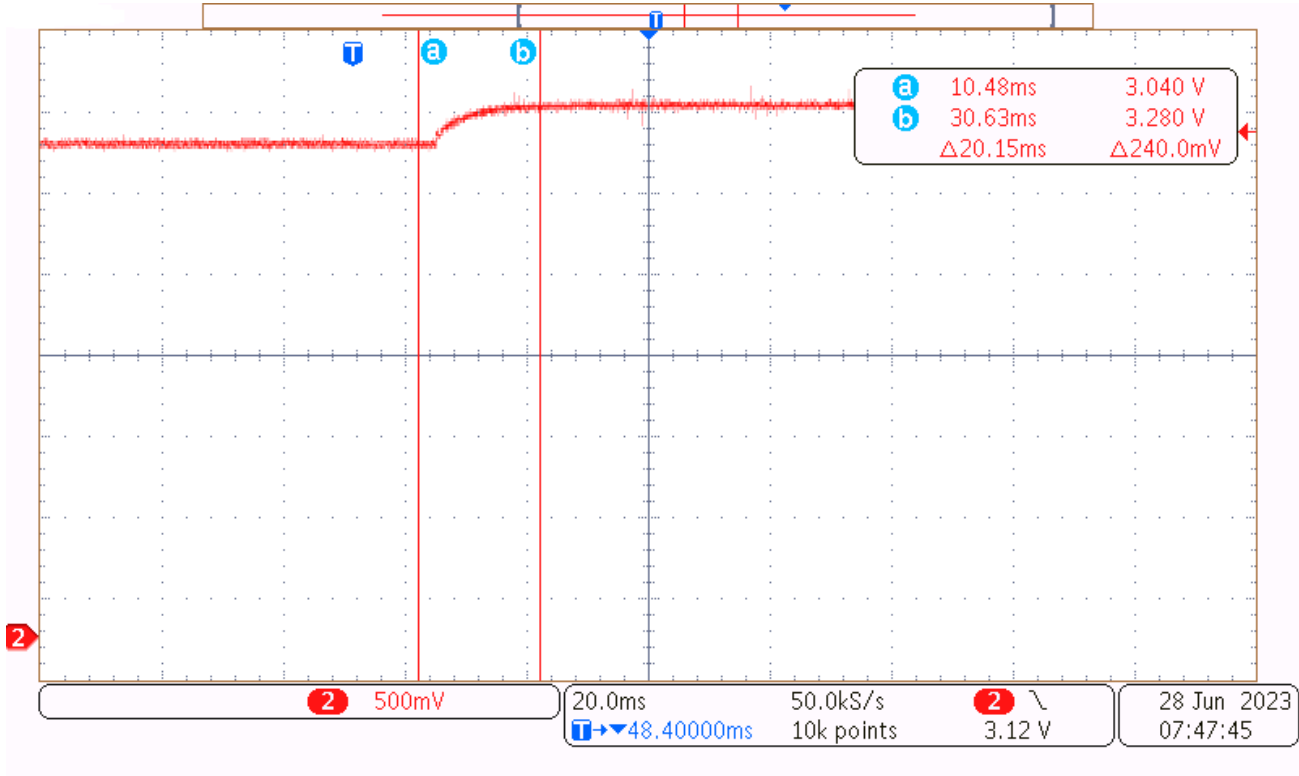


图 3-8. 备用电源转换为外部电源

3.4.5 警报声级和备用警报运行时间

表 3-3 显示了在距离声源一米处测得的主警报和备用报警声级 (以 dBA 为单位)。该表还显示了与备用警报蜂鸣器相连的给定串联电阻的警报运行时间。

表 3-3. 主警报和备用警报声级

警报类型	声级 (1m 处的 dBA)	运行时间
主	73.3	连续 (线路电源)
备用 (0Ω 串联电阻)	68.8	2 分 50 秒, 来自 2.7V、5F 超级电容器
备用 (43Ω 串联电阻)	66.3	3 分 52 秒, 来自 2.7V、5F 超级电容器

4 设计和文档支持

4.1 设计文件

4.1.1 原理图

要下载原理图，请参阅 [TIDA-010264](#) 中的设计文件。

4.1.2 BOM

要下载物料清单 (BOM)，请参阅 [TIDA-010264](#) 的设计文件。

4.2 工具与软件

工具

Code Composer Studio™

Code Composer Studio 是适用于 TI 微控制器和处理器的集成开发环境 (IDE)。Code Composer Studio (代码调试器) 包含一整套用于开发和调试嵌入式应用的工具。Code Composer Studio 可在 Microsoft® Windows®、Linux® 和 macOS® 桌面上进行下载。此外，可以通过访问 [TI 开发人员专区](#) 在云中使用该产品。

软件

[TIDA-010264-MSPM0G150x-FW](#)

该可下载固件和 [TIDA-010264](#) 参考设计上的板载 MSPM0G150x 可帮助开发符合 IEC 60601-1-8 标准的医用警报设计。

4.3 文档支持

1. 德州仪器 (TI), [基于 MSPM0 的医用警报设计](#) 应用简报
2. 德州仪器 (TI), [基于硬件的智能 DAC 医用警报设计](#) 应用简报
3. 德州仪器 (TI), [揭秘使用智能 DAC 的医用警报设计](#) 应用简报
4. 德州仪器 (TI), [揭秘医用警报设计, 第 1 部分: IEC60601-1-8 标准要求](#) TI E2E™ 论坛
5. 德州仪器 (TI), [揭秘医用警报设计, 第 2 部分: 设计方法和现有技术](#) TI E2E™ 论坛
6. 德州仪器 (TI), [TPS61094 具有超级电容管理功能的 60nA 静态电流升压转换器](#) 数据表
7. 德州仪器 (TI), [MSPM0G150x 混合信号微控制器](#) 数据表
8. 德州仪器 (TI), [TPA6211A1 3.1W 单声道全差分音频功率放大器](#) 数据表
9. 德州仪器 (TI), [具有看门狗功能的 TPL5010 纳瓦级功耗系统计时器](#) 数据表

4.4 支持资源

[TI E2E™ 中文支持论坛](#) 是工程师的重要参考资料，可直接从专家处获得快速、经过验证的解答和设计帮助。搜索现有解答或提出自己的问题，获得所需的快速设计帮助。

链接的内容由各个贡献者“按原样”提供。这些内容并不构成 TI 技术规范，并且不一定反映 TI 的观点；请参阅 TI 的 [使用条款](#)。

4.5 商标

TI E2E™, PowerPAD™, LaunchPad™, Code Composer Studio™, and E2E™ are trademarks of Texas Instruments.

Arm® and Cortex® are registered trademarks of Arm Limited, Inc.

Microsoft® and Windows® are registered trademarks of Microsoft Corporation.

Linux® is a registered trademark of Linus Torvalds.

macOS® is a registered trademark of Apple Inc.

所有商标均为其各自所有者的财产。

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司