

Application Note

使用 SimpleLink CC2340R5 MCU 上的 GPIO 实现具有对比度控制的段式 LCD



摘要

七段式液晶显示器 (LCD) 在水表和热量计等超低功耗计量应用中非常受欢迎，也可以在厨房电器等多种支持家庭自动化的产品中找到。它们通常由 MCU 中的专用片上 LCD 控制器模块控制，但本应用报告探索了通过增加一个电阻电路，仅靠软件独立控制 LCD 的可能性。本文档中涵盖的材料将证明 SimpleLink CC2340R5 MCU 不仅能够完成此任务，还能结合其片上电池监测器实现实时对比度控制。

本文档提供的解决方案使用可在 TI.com 上购买的 LP-EM-CC2340R5 EVM 和 SimpleLink 低功耗 F3 演示 GitHub 上免费提供的固件。要复制此示例，需要连接线、电阻器和来自外部的 LCD。文档还提供了有关运行条件的额外信息，以便读者能够修改源项目，满足其特定的 LCD 需求并进一步开发应用。

内容

1 简介.....	2
1.1 CC2340R5.....	2
1.2 七段 LCD.....	2
2 硬件设置.....	4
2.1 LCD 原理图.....	4
2.2 CC2340R5 连接图.....	4
3 运行示例.....	6
3.1 依赖项.....	6
3.2 加载固件.....	6
4 固件设计.....	7
4.1 代码描述.....	7
4.2 计时器 ISR.....	7
4.3 硬件回调.....	8
5 测试和结果.....	9
6 总结.....	10
7 参考资料.....	11

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

SimpleLink™ CC2340R5 是一款功能强大的低成本微控制器单元 (MCU)，具有 512kB 闪存和 36kB 或 64kB SRAM，并且配有 Arm® Cortex®-M0+ 和 2.4GHz 无线电。鉴于该功能集，它能够在单芯片设计中实现适用于各种无线电协议的多种终端应用。本应用报告将重点介绍一个实例，证明该器件的用途较广。

液晶显示器 (LCD) 是一种使用液晶和可选背光的显示器，通过调制光来控制各个像素，从而创建图像。许多低成本家庭和工业应用都需要七段 LCD 功能，因为这些显示器功耗极低、成本低且尺寸小。所有这些基于 LCD 的应用都可以使 LCD 始终开启，也可以允许暂时停用 LCD 以节省电量。

1.1 CC2340R5

CC2340R 系列器件是 SimpleLink™ MCU 平台的一部分，该平台包括 Wi-Fi®、低功耗蓝牙、Thread、Zigbee、Sub-1GHz MCU 和主机 MCU，它们共用一个易于使用的通用开发环境，其中包含单核软件开发套件 (SDK) 和丰富的工具集。这些器件针对低功耗无线通信进行了优化，并支持无线下载 (OAD) 功能，适用于楼宇自动化 (无线传感器、照明控制、信标)、资产跟踪、医疗、零售 EPOS (电子销售终端)、ESL (电子货架标签) 和个人电子产品 (玩具、HID、触控笔) 市场。

LP-EM-CC2340R5 开发套件可借助支持低功耗蓝牙 5 和 2.4GHz 专有协议的 SimpleLink 低功耗蓝牙 MCU 加快开发速度。软件支持由 **SimpleLink 低功耗 F3 软件开发套件 (SDK)** 提供，后者可使用免费提供的 **Code Composer Studio (CCS)** IDE 构建。具体功能包括通过 **BoosterPack™** 插件模块连接器访问所有 I/O 信号以及使用 TI SimpleLink Connect 将 LaunchPad 开发套件连接到智能手机。**LP-XDS110ET** 或 LP-XDS110 调试器 (单独出售) 能用于编程、调试和评估射频。

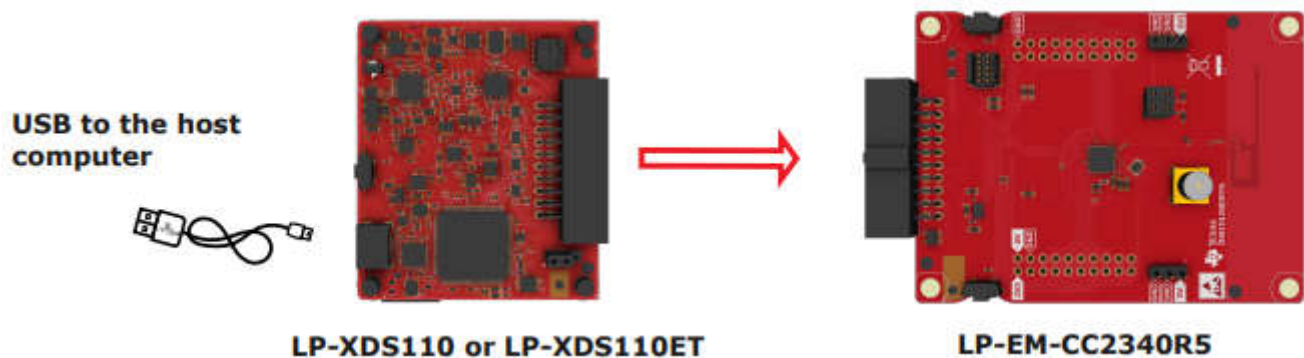


图 1-1. LP-XDS110ET 和 LP-EM-CC2340R5 连接

1.2 七段 LCD

本文档选择了具有三个 COM 线和七段线的 1/3 占空比、1/3 偏置 LCD 作为演示。因此，可以在该器件上控制 21 个单独的 LCD 段，包括两个七段字符和七个单段辅助符号。电阻网络需要两个额外的控制引脚，需要一个额外的引脚来驱动背光。因此，用于控制该 LCD 的 GPIO 总数为 13 个，进一步扩展 LCD 段需要更多的 GPIO。

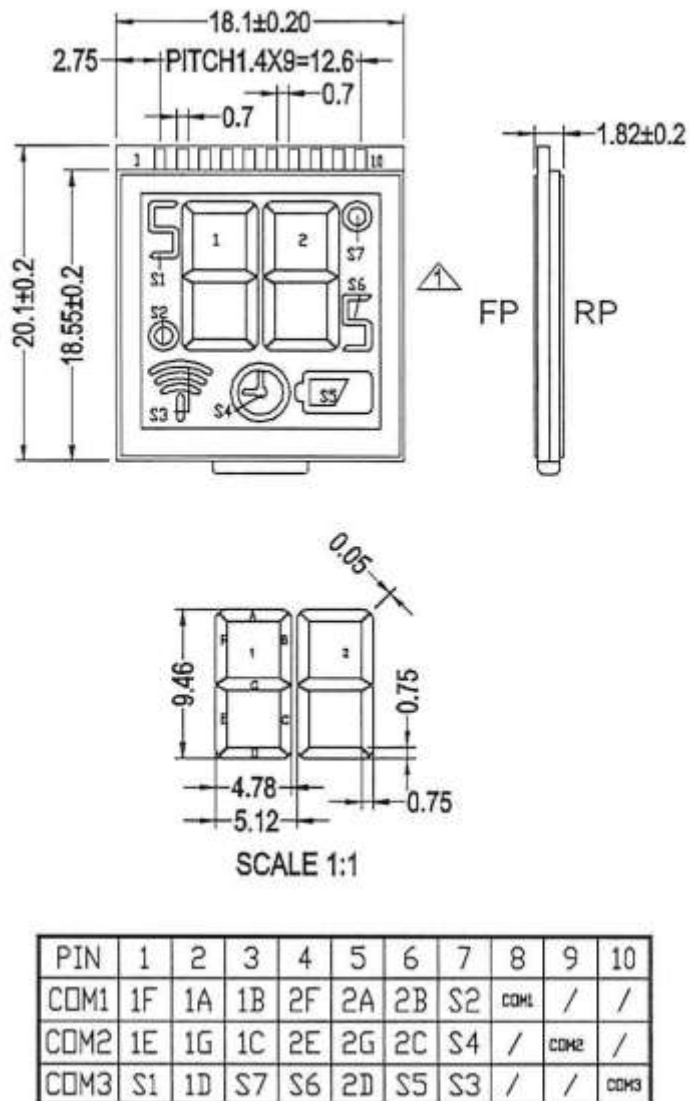


图 1-2. 七段 LCD 引脚阵列

2 硬件设置

以下各节将介绍必须构建的电阻网络硬件和 CC2340R5 GPIO 连接，以确保 LCD 得到。

2.1 LCD 原理图

下图描述了为了驱动 LCD 必须构建的电阻网络。这可以在试验电路板、原型板或 PCB 设计上实现。未显示可选背光，这大大有助于查看 LCD 上的段。乘法器（即“x3”和“x7”）表示对于特定的“COM”或“SEG”引脚，元件必须重复的次数。

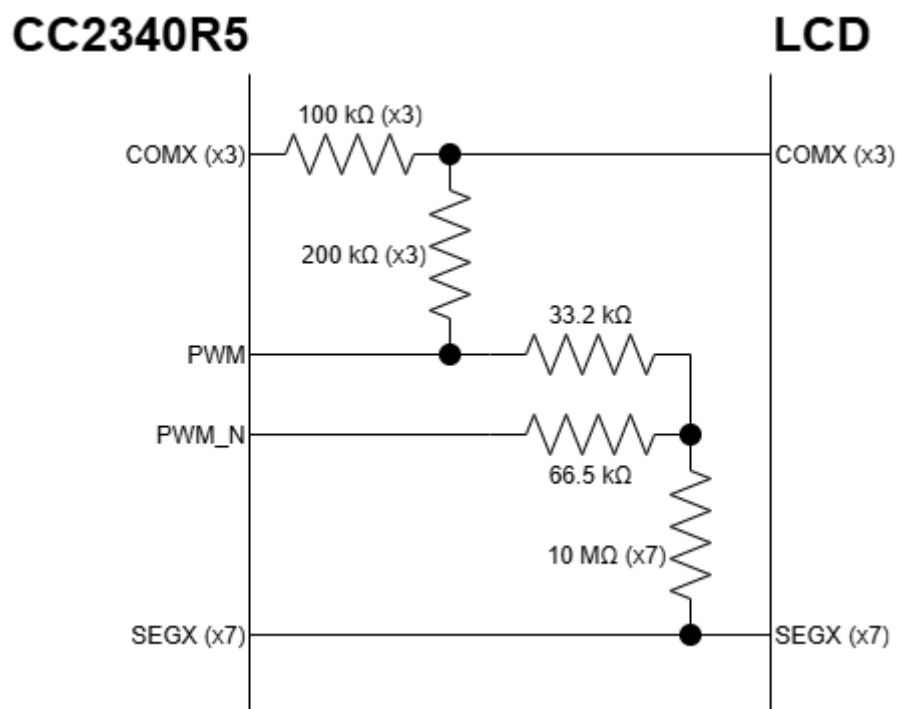


图 2-1. DRV8329A 硬件设置

2.2 CC2340R5 连接图

下表展示了 CC2340R5 和 LCD 电路之间的连接。每个 CC2340R5 DIO 仅用作数字输出，可以从固件工程 SysConfig 文件的 GPIO 模块内部进行修改。

表 2-1. CC2340R5 和 LCD 之间的连接

CC2340R5 引脚	LCD 连接	SysConfig 名称
DIO8	COM1	CONFIG_GPIO_COM1
DIO19	COM2	CONFIG_GPIO_COM2
DIO21	COM3	CONFIG_GPIO_COM3
DIO23	SEG1	CONFIG_GPIO_SEG1
DIO25	SEG2	CONFIG_GPIO_SEG2
DIO7	SEG3	CONFIG_GPIO_SEG3
DIO14	SEG4	CONFIG_GPIO_SEG4
DIO6	SEG5	CONFIG_GPIO_SEG5
DIO12	SEG6	CONFIG_GPIO_SEG6
DIO5	SEG7	CONFIG_GPIO_SEG7
DIO11	PWM	CONFIG_GPIO_PWM
DIO13	PWM_N	CONFIG_GPIO_PWM_N

表 2-1. CC2340R5 和 LCD 之间的连接 (续)

CC2340R5 引脚	LCD 连接	SysConfig 名称
DIO15	LED 背光	CONFIG_GPIO_LED_BACKLIGHT

最终结果与下图类似。请注意，LED 接头跳线已从 LP-EM-CC2340R5 上移除，因为这些 GPIO 用于 LCD。
XDS110 能够在 3.3V 下为 LCD 和 CC2340R5 提供足够的功率，但需要使用工作台电源来测试整个电源电压范围内的对比度调整。使用两个与 LED 串联的电阻器来驱动单个 CC2340R5 GPIO 的背光。



图 2-2. 物理硬件设置

3 运行示例

以下各节将讨论 LP-EM-CC2340R5 固件项目依赖项，以及在 CCS 中导入项目、构建代码和将映像加载到 CC2340R5 器件中。

3.1 依赖项

低功耗 [SimpleLink F3 演示 GitHub](#) 上提供的代码工程使用 SimpleLink F3 SDK v9.11.0.18、[SysConfig v1.23.2](#) 和 [TI CLANG v4.0.3 编译器](#)。在尝试将项目导入到 Code Composer Studio (CCS) v20 或更高版本之前，请确保计算机上已安装所有这些依赖项。有关设置环境的更多示例，请参阅这些 [SimpleLink Academy Lab](#)。请注意，用户有责任迁移和支持上面未列出的任何依赖项版本。

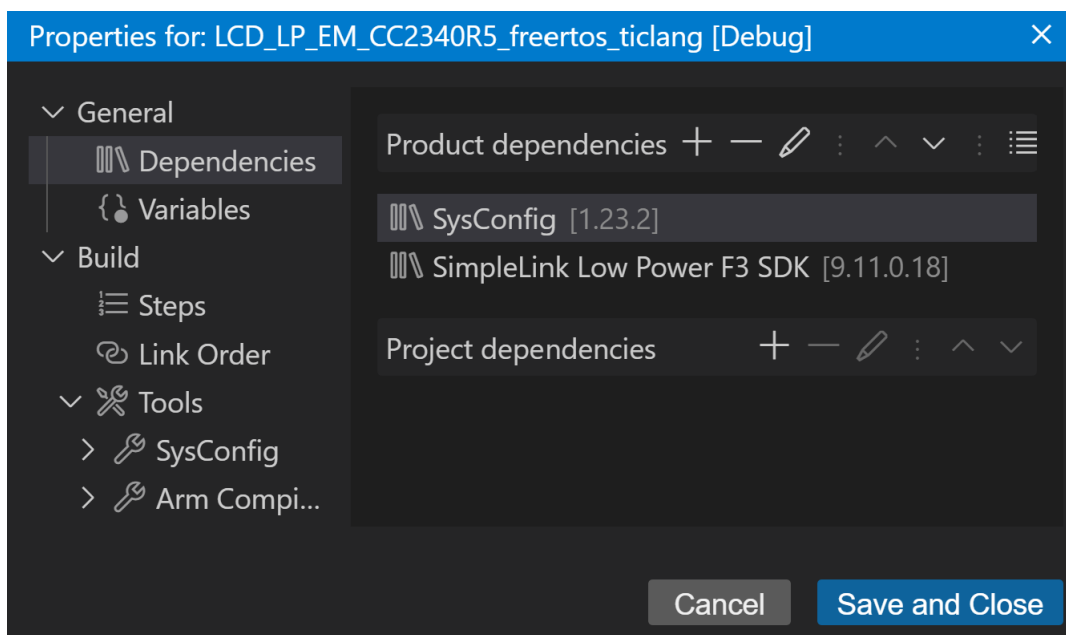


图 3-1. CCS 属性

3.2 加载固件

通过选择 Run -> Flash Project (Ctrl + F5) 或 Debug Project (F5)，可以直接在该 IDE 中加载在 CCS 内构建的项目。建议在没有主动调试项目时退出调试模式，让其自由运行。此外，还应考虑使用 [Uniflash](#) 软件工具来加载二进制映像。

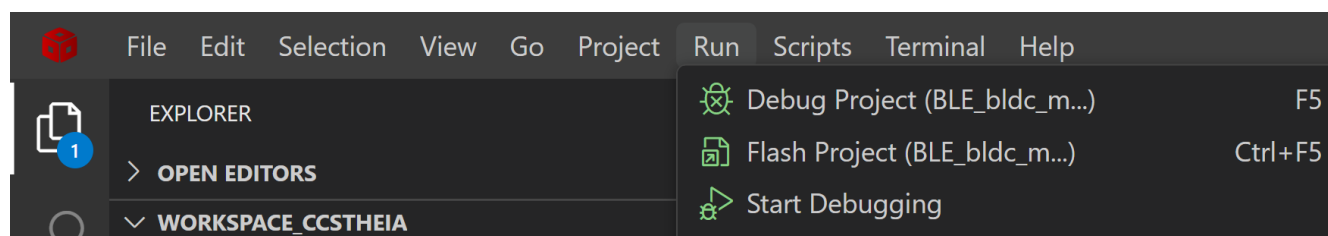


图 3-2. CCS 加载选项

4 固件设计

接下来，将对固件本身进行进一步分析，重点关注用于修改 LCD 交互的 CC2340R5 片上外设及相关代码定义。

4.1 代码描述

示例项目中的所有代码函数都在 `lcd.c` 文件中实现，该文件内包含了下文所述的可配置定义。`lcd.syscfg` 文件对于配置器件配置、TI 驱动程序和 FREERTOS 设置也很重要。

表 4-1. LCD 应用定义

定义	默认值	单位	功能
LIGHT_STRENGTH	2	整数	背光强度范围从零 (0%) 到四 (100%)，以 25% 为增量
LIGHT_FREQUENCY	1000	Hz	背光频率
REFRESH_RATE	120	Hz	LCD 刷新率
THRESHOLD_*	200	mV	对比度控制使用的电池监控电压阈值
NUM_SEGMENTS	7	整数	要显示的段数
NUM_DIGITS	10	整数	要显示的位数量
TEMP_UPDATE	10000000	μs	从片上温度传感器进行温度测量的时间间隔
USE_TEMP	不适用	布尔	如果不需要每个 TEMP_UPDATE 都有温度读数，则删除

main 函数将初始化所有 TI 驱动程序，包括片上温度传感器、电池监测器和 GPIO，以及 LCD 示例运行所必需的 RTOS 信标和计时器。然后，后续操作会附加到以下软件中断和硬件回调服务例程上，我们将通过以下各节详细介绍所有这些例程。

- lightUpdateHandler：LCD 的背光 PWM 控制
- lcdUpdateHandler：LCD 段和对比度控制
- tempUpdateHandler：温度传感器读数
- deltaNotificationFxn：电池监控器阈值更新
- gpioButtonFxn[0/1]：LaunchPad 按钮

4.2 计时器 ISR

这些是在周期性 ClockP 计时器到期时调用的软件中断服务例程 (ISR)。

4.2.1 lightUpdateHandler

当频率为 LIGHT_FREQUENCY Hz 时，该函数会评估 LIGHT_STRENGTH 并确定是将 CONFIG_GPIO_LED_BACKLIGHT 驱动为高电平还是低电平。与通用计时器 (LGPT) 脉宽调制 (PWM) 相比，这种方法对功耗更友好，因为通用计时器要求高频时钟保持开启状态，从而不允许待机低功耗模式。

4.2.2 lcdUpdateHandler

该函数借鉴了 [TIDA-00848 参考设计](#)，使用八个 case 语句以接近 REFRESH_RATE Hz 的频率驱动 LCD (由于存在对比度死区时间，实际频率略低)。对于每条语句，引脚 PWM、PWM_N、COM1、COM2 和 COM3 的驱动均遵循 TIDA-00848 设计指南中所述的 LCD 波形。除非根据所用 LCD 的 COM 线数量添加或删除 case 语句对，否则建议不要更改这些引脚的写入命令。

Case 0/1 用作“死区时间”，在特定时间段内将每个 LCD 段驱动至高电平，该时间基于 CC2340R5 的供电电压水平。其目的是在 2.2V 至 3.8V 的电源电压范围内为 LCD 提供对比度控制。在较低电压下，死区时间必须更长，以便在电压较低时为指定的 LCD 段提供额外的驱动强度；而在较高电压下，死区时间应尽可能短，以避免过驱不需要的 LCD 段。

Case 2/3 控制由 COM1 驱动的段，case 4/5 控制 COM2，case 6/7 控制 COM3。表 3 再次提供了引脚图以供参考。SEGX 引脚在偶数 case (0、2、4 和 6) 期间被驱动，而在奇数 case (1、3、5 和 7) 期间关闭。

表 4-2. LCD 引脚图

引脚	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
COM1	1F	1A	1B	2F	2A	2B	S2	COM1	不适用	不适用
COM2	1E	1G	1C	2E	2G	2C	S4	不适用	COM2	不适用
COM3	S1	1D	S7	S6	2D	S5	S3	不适用	不适用	COM3

标有“1X”的 LCD 段控制左侧的七段显示器，而“2X”段控制右侧的七段显示器。“SX”段指的是辅助符号。为了进行代码演示，使用查找表将两位十进制数转换为用于驱动两个七段显示器的正确的段。° 符号也被点亮，用于演示片上温度传感器功能。该查找表专用于当前所使用的 LCD，若使用不同的 LCD 引脚-段映射配置，则需要对其进行修改。

```
uint8_t lookupTable[NUM_SEGMENTS][NUM_DIGITS] = {
//  0  1  2  3  4  5  6  7  8  9 <- digit to write
  {1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1}, // A  0
  {1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1}, // B  1
  {1, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1}, // C  2
  {1, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 1}, // D  3
  {1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 0}, // E  4
  {1, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1}, // F  5
  {0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 1}, // G  6
};
```

图 4-1. LCD 查找表

4.2.3 tempUpdateHandler

如果 USE_TEMP 处于定义状态，则会在每个 TEMP_UPDATE μ s 时调用此函数，以读取片上温度传感器并返回以 °C 为单位的的结果，然后将该结果分配给两个七段显示器。

4.3 硬件回调

这些是在其中一个 CC2340R5 硬件外设发生变化时操作的回调。

4.3.1 deltaNotificationFxn

当电池监控器注意到 CC2340R5 的电源电压自上次读取以来增加或降低了 THRESHOLD_DELTA_MILLIVOLT mV 时，此函数用于评估当前电压电平，调整 LCD 的对比度死区时间，并重新注册下一次通知的电压范围。

4.3.2 gpioButtonFxn

LaunchPad 的按钮配置为递增 LCD 上两个七段显示器的两位数值。BTN_LEFT 使用 DIO10，并分配给 gpioButtonFxn0，用于递增“十位”七段显示器；而 BTN_RIGHT 按键使用 DIO9，并分配给 gpioButtonFxn1，用于递增“个位”七段显示器。翻转按照两位十进制数的预期方式实现。记住，如果 USE_TEMP 处于定义状态，则无论其他操作如何，显示器都会每 TEMP_UPDATE μ s 更新一次，以显示当前片上温度（单位：°C）。

5 测试和结果

CC2340R5 LCD 解决方案的功耗是使用功率分析仪工作台工具在 3V 条件下测量的，、结果如下表所示。因此，不同的 LCD 配置和背光电源会产生不同的功耗结果，因此建议用户在建立工作环境后自行进行测量。

表 5-1. LCD 和背光功耗

LCD (60Hz)	背光 (50%)	CC2340R5 电源 (μA)
关闭	关闭	<1
开启	关闭	3550
关闭	开启	5750
开启	开启	7300

还使用了电源工作台工具，观察 CC2340R5 在可接受电源电压范围内 (包括最小 2.2V) 的对比度调整。

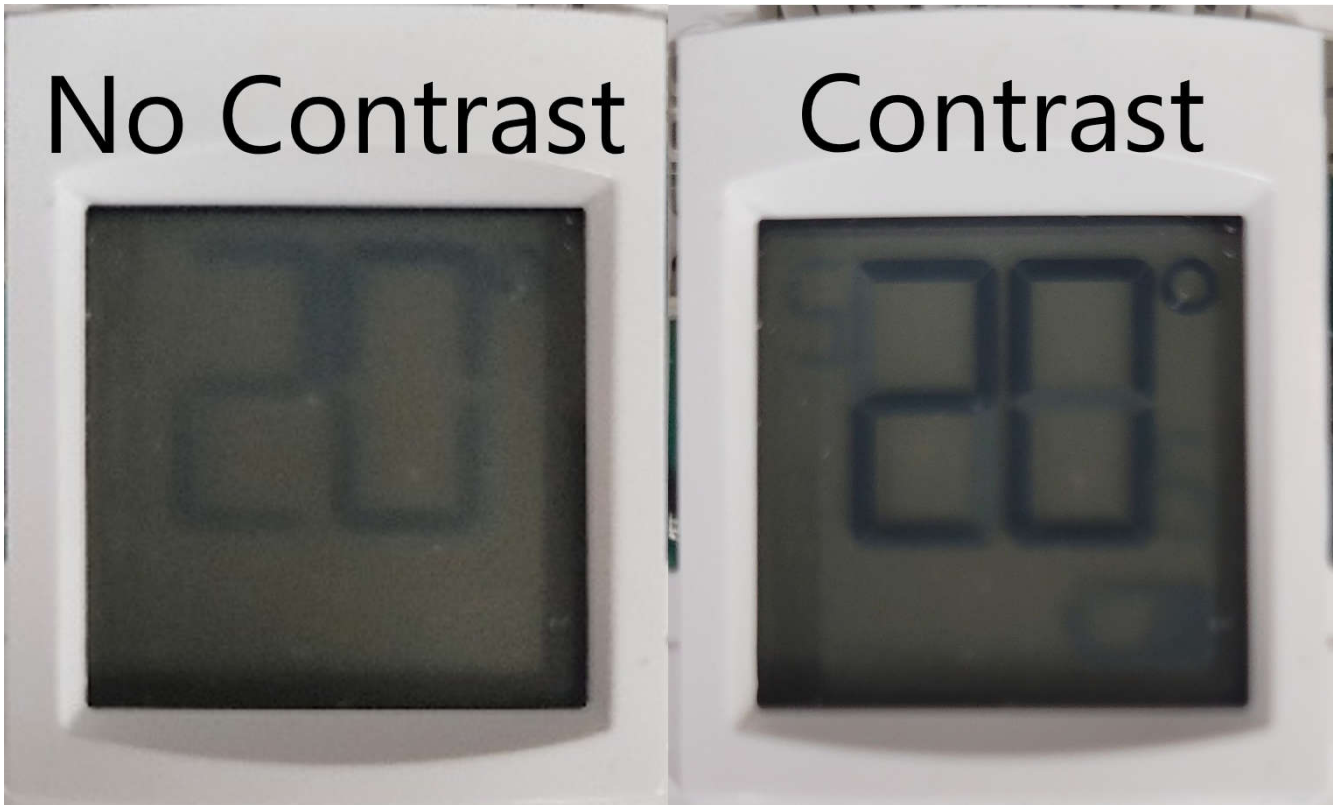


图 5-1. 2.2V 时 CC2340R5 电压电源时的 LCD 可见性

与以前一样，结果会因 LCD 选择而异，并且开发人员可以在 `lcd.c` 内调整对比度设置以实现所需的结果。

6 总结

本应用报告使用 SimpleLink CC2340R5，全面定义了具有对比调节功能的 GPIO 驱动型七段 LCD 解决方案。文中介绍了必需的电阻器网络、硬件连接和 MCU 操作代码，从而可让用户进行开箱即用演示。提供测试结果，确认实施的功耗和对比度输出。可在 [GitHub](#) 上自由访问源代码，并且已详细说明代码流，因此开发人员熟悉工程的工作原理，并能够进一步修改工程以满足其独特的应用要求。我们鼓励读者在 [E2E 论坛](#) 发帖，询问与这些资源有关的任何其他问题或支持需求。

7 参考资料

1. 德州仪器 (TI) , [CC2340R5 数据表](#)
2. 德州仪器 (TI) , [LP-EM-CC2340R5 快速入门指南](#)
3. 德州仪器 (TI) , [Code Composer Studio](#)
4. 德州仪器 (TI) , [SimpleLink Academy Lab](#)
5. 德州仪器 (TI) , [TIDA-00848 参考设计](#)
6. 德州仪器 (TI) , [SimpleLink 低功耗 F3 演示 GitHub](#)

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](#) 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 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月