

## Application Note

## 使用 MSPM0L211x 微控制器的分离式 LCD 配置



Sakshi Biyani, Kalyan Gajjala, Srinivasa Chakravarthy

## 摘要

本应用手册介绍了使用两个 MSPM0L211x 微控制器 (MCU) 实现的主/辅助双液晶显示器 (LCD) 配置设计和实现。此拓扑使设计人员能够通过一个简单的三信号接口来同步两个 MCU，从而驱动超出单个器件分段驱动能力的多段显示器。主 MCU 生成所有 LCD 时序信号；辅助 MCU 锁定到这些信号并驱动其他 LCD 段，使其与主 MCU 实现完美的相位对齐。保持两个器件之间的交流波形完整性对于防止 LCD 玻璃板上的直流偏置造成不可逆转的损坏至关重要。相较专用 LCD 驱动器 IC 或引脚数更多的 MCU 等替代方案，主/辅助双器件方法的系统成本降低大约 20%。

## 内容

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 1 简介.....                     | 2  |
| 2 主要特性.....                   | 2  |
| 2.1 范围.....                   | 2  |
| 3 详细说明.....                   | 3  |
| 3.1 MSPM0L211x LCD 控制器概览..... | 3  |
| 3.2 主器件和辅助器件拓扑.....           | 3  |
| 3.3 主要 MCU.....               | 3  |
| 3.4 同步的重要意义.....              | 3  |
| 4 系统架构.....                   | 4  |
| 4.1 方框图.....                  | 4  |
| 4.2 信号流程图.....                | 4  |
| 5 硬件实现.....                   | 4  |
| 5.1 信号互连.....                 | 4  |
| 6 工作原理.....                   | 5  |
| 6.1 时钟同步.....                 | 5  |
| 6.2 帧同步.....                  | 5  |
| 6.3 使能同步.....                 | 5  |
| 6.4 COM 和 SEG 波形相位关系.....     | 5  |
| 7 软件配置.....                   | 6  |
| 7.1 建议的启动序列.....              | 6  |
| 7.2 辅助器件初始化代码.....            | 6  |
| 7.3 主器件初始化代码.....             | 6  |
| 7.4 在运行时更新显示.....             | 7  |
| 7.5 配置参数必须相互匹配.....           | 7  |
| 8 LaunchPad 连接.....           | 8  |
| 9 同步信号的时序.....                | 9  |
| 10 成本分析.....                  | 9  |
| 11 总结.....                    | 10 |
| 12 参考资料.....                  | 10 |

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 简介

许多嵌入式应用需要的液晶显示器 (LCD) 所能显示的信息量高于单个低引脚数微控制器所能驱动的信息量。示例包括：

- 具有多费率段阵列的工业电能表
- 同时显示区域状态、计划和故障指示的高级恒温器
- 在一块玻璃面板上显示患者数据、波形状态和警报状态的医疗设备
- 将速度、燃油和指示灯图标组合在一个显示屏上的汽车仪表组

MSPM0L211x 系列集成了一个硬件 LCD 控制器，能够驱动多达 4 路复用或 8 路复用的显示器。对于超过此段数预算的系统，最直接的设计包括采用引脚数更多的 MCU、独立式 LCD 驱动器 IC 或 I<sup>2</sup>C/SPI LCD 扩展器，但都会相应增加成本、PCB 面积或固件复杂性。

本应用报告介绍了另一种选择：在主/辅助双器件拓扑中连接两个 MSPM0L211x 器件。主 MCU 驱动显示器的一部分并生成所有同步信号。辅助 MCU 接收这些信号并与主器件同步驱动其余段，从而将可用段数增加一倍。而在成本方面，这种方法仅增加了第二个 MSPM0L211x 和三条 PCB 布线的成本。

## 2 主要特性

- 将段数扩展到超出单个 MSPM0L211x 器件的物理限制
- 在所有 COM/SEG 对上保持交流波形完整性和零净直流偏置
- 仅使用三个 GPIO 信号实现器件间完全同步
- 辅助器件上无需外部振荡器或时钟源
- 与 MSPM0 SDK DriverLib 初始化模型兼容

### 2.1 范围

本文档涵盖：

- 系统级架构和信号说明
- LaunchPad 硬件引脚连接
- 使用 MSPM0 DriverLib 的软件初始化序列
- 同步信号的时序

## 3 详细说明

### 3.1 MSPM0L211x LCD 控制器概览

MSPM0L222x 集成了具有以下特性的全功能 LCD 控制器：

- 支持静态、2 路复用、3 路复用、4 路复用、5 路复用、6 路复用、7 路复用和 8 路复用驱动模式
- 采用内部电荷泵实现独立于 VDD 的对比度控制
- 提供低功耗波形模式，适用于常开型显示应用
- 内部低频时钟 (LFCLK) 源自 32kHz 振荡器或 LFOSC
- 无需 CPU 干预，由硬件生成 COM 和 SEG 驱动波形

在独立设计中，LCD 控制器在内部生成 *LCD\_LFCLK*、*LCDSON* ( 帧起始 ) 和 *LCD\_EN*。在此处描述的主/辅助双器件配置中，这些相同的信号从主 MCU 外部路由到辅助 MCU，将辅助 MCU 的内部时序源替换为主 MCU 的内部时序源，从而确保同步。

### 3.2 主器件和辅助器件拓扑

#### 3.3 主要 MCU

- 生成 *LCD\_LFCLK*——为 LCD 状态机提供时钟的低频时钟 ( 通常为 32.768kHz 或分频后的次级频率 )
- 将 *LCDSON* 置为有效——用于标记每个 LCD 帧开始的帧同步脉冲
- 驱动 *LCD\_EN*——门控两个器件上 LCD 操作的外设使能信号
- 用作整个显示系统的唯一时序基准

##### 3.3.1 辅助 MCU

- 旁路其内部 LFCLK 源，并接受主器件的“*LCD\_LFCLK*”作为外部时钟输入
- 将其内部帧计数器锁定到主器件的“*LCDSON*”脉冲
- 使用来自主器件的“*LCD\_EN*”信号来与主器件同步启用和禁用其 LCD 外设
- 驱动一组连接到附加 LCD 玻璃板段的独立段引脚

#### 3.4 同步的重要意义

LCD 是一种容性交流负载。如果由两个独立控制器驱动的 COM 和 SEG 波形不同相，则在某些 LCD 单元上会出现净直流电压。哪怕这种直流失调电压较小，但持续数小时后也会导致液晶材料的电化学特性退化，从而永久降低对比度并最终损坏显示器。主/辅助双器件方法通过确保两个器件上的 COM 和 SEG 转换发生在同一个时钟沿上，在每个单元上产生零净直流偏置，消除了上述风险。

## 4 系统架构

### 4.1 方框图

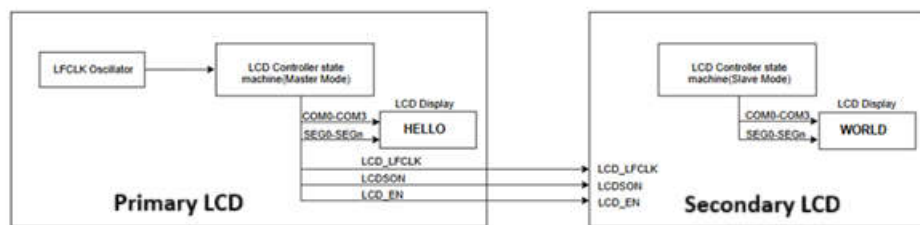


图 4-1. 分离式 LCD 配置的系统方框图

### 4.2 信号流程图

主 MCU 产生“LCD\_LFCLK”。LCD 外设使用该时钟对 COM 引脚进行时序控制，并在每帧开始时生成“LCDSON”。所有三个信号（“LCD\_LFCLK”、“LCDSON”和“LCD\_EN”）都路由到 GPIO 输出引脚，并直接连接到辅助 MCU 上的相应输入引脚。

辅助 MCU 的 LCD 外设配置为接受外部时钟和外部帧同步。它绝不会为 LCD 时序启用其内部振荡器。因此，两个 LCD 状态机在相同的时钟边沿上前进，并且每次 COM/SEG 波形转换在两个器件上同时进行。

## 5 硬件实现

### 5.1 信号互连

表 5-1 详细说明了主 MCU 和辅助 MCU 之间的信号连接：

表 5-1. 主 MCU 和辅助 MCU 引脚分配

| 信号名称      | 主要功能 | 辅助 MCU 功能 | 方向          | 说明                            |
|-----------|------|-----------|-------------|-------------------------------|
| LCD_LFCLK | 输出   | 输入        | 主器件 -> 辅助器件 | 驱动 LCD 状态机的低频时钟。32.768kHz 典型值 |
| LCDSON    | 输出   | 输入        | 主器件 -> 辅助器件 | LCD 段打开信号。指示新 LCD 帧的开始并同步帧时序。 |
| LCD_EN    | 输出   | 输入        | 主器件 -> 辅助器件 | LCD 使能信号。控制 LCD 外设的整体使能状态。    |
| VSS (GND) | 公共端  | 公共端       | 双向          | 共用接地参考。为确保正确的信号完整性和时序精度，必须具备。 |

## 6 工作原理

### 6.1 时钟同步

辅助器件的 LCD 外配置为从“LCD\_LFCLK”输入引脚而不是内部 LFOSC 获取时钟源。这使得辅助器件的 LCD 状态机在频率上直接跟随主器件。两个器件在“LCD\_LFCLK”的每个上升沿前进一个 LCD 时钟周期。由于时钟来自单个振荡器，因此随着时间的推移，两个 LCD 控制器之间不会出现频率偏差或相位累积。

### 6.2 帧同步

“LCDSON”是主器件的 LCD 控制器在每个 LCD 帧中生成一次的周期性脉冲。

主器件和辅助器件均使用此脉冲来：

- 将其内部帧计数器复位为零
- 同时开始 COM0 驱动阶段
- 确保 COM0、COM1、COM2 和 COM3 转换发生在两个器件的同一 LCD 时钟沿上

如果没有“LCDSON”同步，即使时钟频率完全匹配，两个 COM 序列发生器也会在下电上电或温度变化时发生相位漂移，最终导致出现直流偏置。

### 6.3 使能同步

“LCD\_EN”控制每个器件的 LCD 外设何时处于活动状态。使用来自主器件的单个“LCD\_EN”信号可确保：

- 两个 MCU 都会在启动时同时将其 LCD 驱动输出置为有效，从而防止期间只有一个器件驱动玻璃板的不完整帧
- 两个 MCU 在关断时同时置为无效，使 LCD 玻璃板上不会残留电荷
- 在主器件的同步信号有效之前，辅助器件无法无意中启用其 LCD 外设

### 6.4 COM 和 SEG 波形相位关系

当三个同步信号正确连接且配置参数相匹配（参阅节 7.4）时，主器件和辅助器件的 COM 波形将周期对齐。任一器件上的任何 SEG 引脚仅在所分配的 COM 相位期间转换，从而在每个 LCD 单元上产生正确的双相交流驱动波形。每个单元上的净直流分量为零。

## 7 软件配置

### 7.1 建议的启动序列

初始化顺序至关重要。在启用主器件的 LCD 外设之前，辅助器件必须完全初始化并等待同步信号。如果首先启用主器件，辅助器件可能会错过第一个“LCDSON”脉冲，并开始从任意帧偏移驱动，从而引入一帧直流偏置。

建议的序列：

1. 为两个 MCU 加电（建议同时上电；辅助器件的 LCD 外设保持禁用状态，直到主器件将“LCD\_EN”置为有效）
2. 在辅助器件上：在外部时钟模式下配置和初始化 LCD 外设；加载段存储器；**请勿**设置辅助器件 LCD 寄存器中的 LCDSON 或 LCD\_EN 控制位（这些位由主器件的输出驱动）
3. 在主器件上：配置 LCD 外设（先不启用）；启用 LCD 模块，这将把 LCD\_EN 置为有效并开始生成 LCD\_LFCLK 和 LCDSON。
4. 两个器件现在将同步运行。

---

在第 3 步之前，辅助器件的段存储器必须已加载有效数据。一旦主器件启用 LCD，两个器件就会立即开始驱动玻璃板。辅助器件上任何未初始化的段存储器都会在第一个帧期间表现为显示伪影。

---

### 7.2 辅助器件初始化代码

```
/* Configure IOs for Synchronization signals shared between master and slave, slaves gets synchronized these signals */
DL_GPIO_initPeripheralInputFunction(IOMUX_PINCM38, IOMUX_PINCM38_PF_LCD_LCDSON); //LCDSON -PA16
DL_GPIO_initPeripheralInputFunction(IOMUX_PINCM39, IOMUX_PINCM39_PF_LCD_LCDLFCLK); //LCDLFCLK -PA17
DL_GPIO_initPeripheralInputFunction(IOMUX_PINCM40, IOMUX_PINCM40_PF_LCD_LCDEN); //LCDEN -PA18

/* Enable slave mode */
DL_LCD_enableExternalSync(LCD);

/* Write slave contents into MMRs */
LCD_showChar(LCD, 'W', gLCDPinPosition1);
LCD_showChar(LCD, 'O', gLCDPinPosition2);
LCD_showChar(LCD, 'R', gLCDPinPosition3);
LCD_showChar(LCD, 'L', gLCDPinPosition4);
LCD_showChar(LCD, 'D', gLCDPinPosition5);
```

### 7.3 主器件初始化代码

```
/* Configure IOs for Synchronization signals shared between master and slave, master drives these signals */
DL_GPIO_initPeripheralOutputFunction(IOMUX_PINCM38, IOMUX_PINCM38_PF_LCD_LCDSON); //LCDSON -PA16
DL_GPIO_initPeripheralOutputFunction(IOMUX_PINCM39, IOMUX_PINCM39_PF_LCD_LCDLFCLK); //LCDLFCLK -PA17
DL_GPIO_initPeripheralOutputFunction(IOMUX_PINCM40, IOMUX_PINCM40_PF_LCD_LCDEN); //LCDEN -PA18

/* Write master contents into MMRs */
LCD_showChar(LCD, 'H', gLCDPinPosition1);
LCD_showChar(LCD, 'E', gLCDPinPosition2);
LCD_showChar(LCD, 'L', gLCDPinPosition3);
LCD_showChar(LCD, 'L', gLCDPinPosition4);
LCD_showChar(LCD, 'O', gLCDPinPosition5);

/* Master controls turn ON LCD Segments for both Master and slave */
DL_LCD_turnSegmentsOn(LCD);
/* Master controls the LCD Enable for both master and slave */
DL_LCD_enable(LCD);
```

## 7.4 在运行时更新显示

若要在运行时更新段内容，应通过正常的应用程序固件路径（例如，通过 UART 接收 ISR 或定期定时器回调）独立写入每个 MCU 的段存储器。LCD 硬件在相应的 COM 相位中，每帧读取一次段存储器；无需在两个 MCU 之间进行额外同步即可完成内容更新。在完成初始时钟同步建立后，每个 MCU 都会自主管理自己的段数据。

## 7.5 配置参数必须相互匹配

表 7-1 中的参数必须在主器件和辅助器件之间保持相同。这些字段中出现任何一个不匹配都会导致 COM 时序控制或电压电平不兼容，从而产生可见的显示伪影或直流偏置。

**表 7-1. 配置参数——主器件和辅助器件之间必须匹配**

| 参数       | 主器件值                       | 辅助器件值                      | 不匹配时的影响   |
|----------|----------------------------|----------------------------|-----------|
| muxRate  | DL_LCD_MUX_RATE_4          | DL_LCD_MUX_RATE_4          | COM 时序不同步 |
| biasMode | DL_LCD_BIAS_MODE_3         | DL_LCD_BIAS_MODE_3         | 电压电平不兼容   |
| waveMode | DL_LCD_WAVE_MODE_LOW_POWER | DL_LCD_WAVE_MODE_LOW_POWER | 波形形状不匹配   |

## 8 LaunchPad 连接

图 8-1 展示了使用两个 MSPM0L211x LaunchPad 的 LCD 主/辅助双器件连接，其中主 MCU 在其 LCD 上显示“HELLO”，辅助 MCU 在其 LCD 上显示“WORLD”。

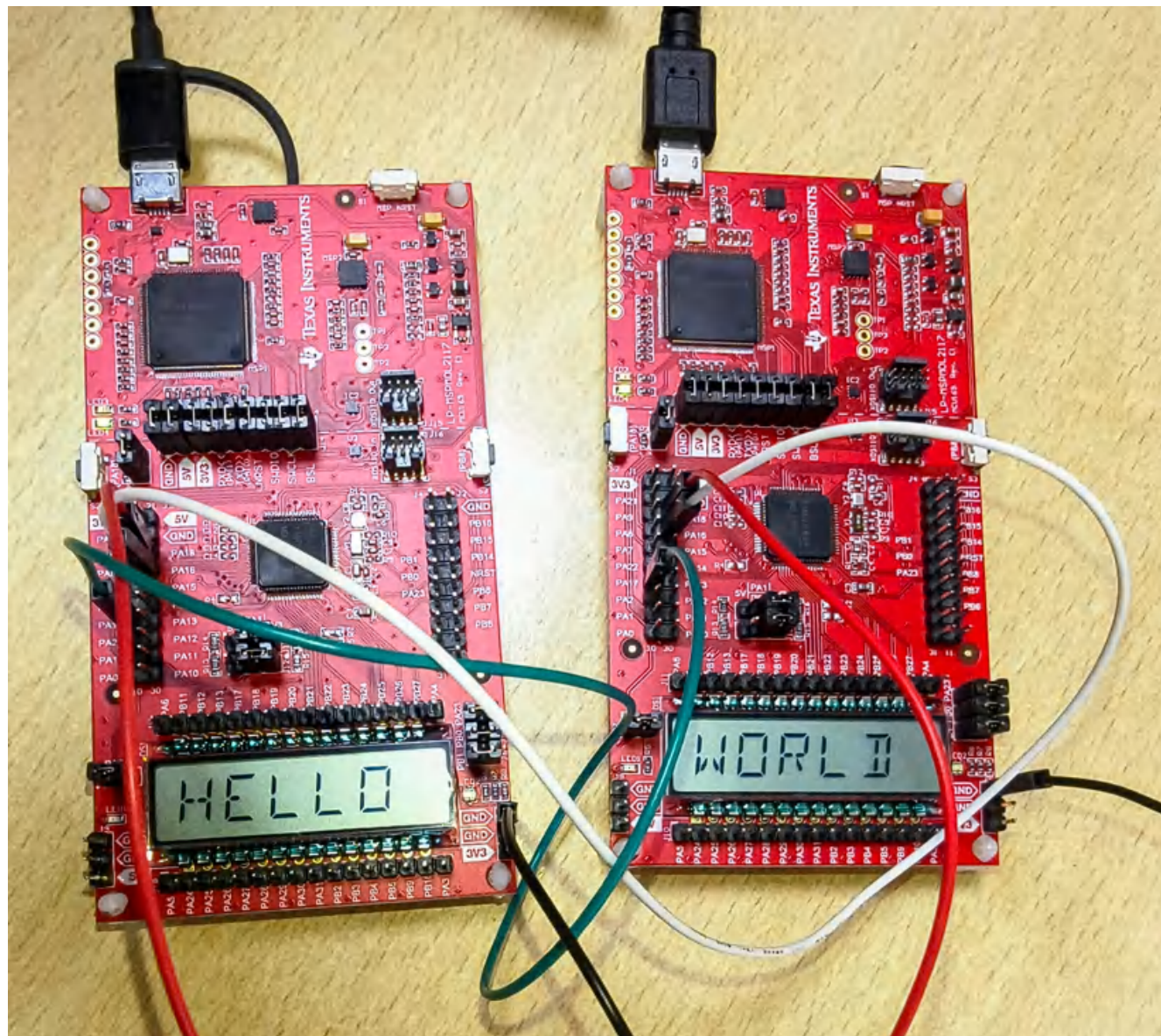


图 8-1. 主 MCU 和辅助 MCU 的 LaunchPad 连接

## 9 同步信号的时序

图 9-1 显示了从主 MCU 输出到辅助 MCU 输入的“LCD\_LFCLK”、“LCDSON”和“LCD\_EN”示波器捕获波形。

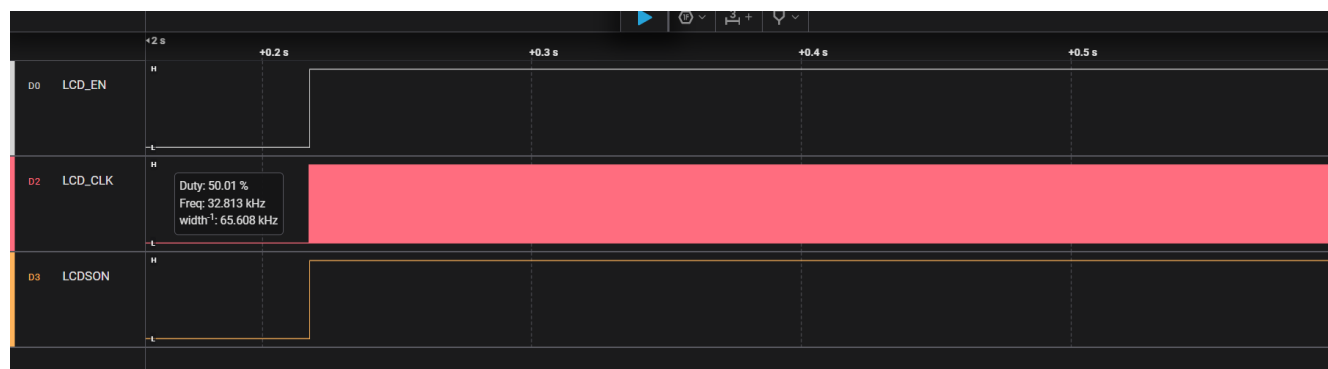


图 9-1. 同步信号时序波形

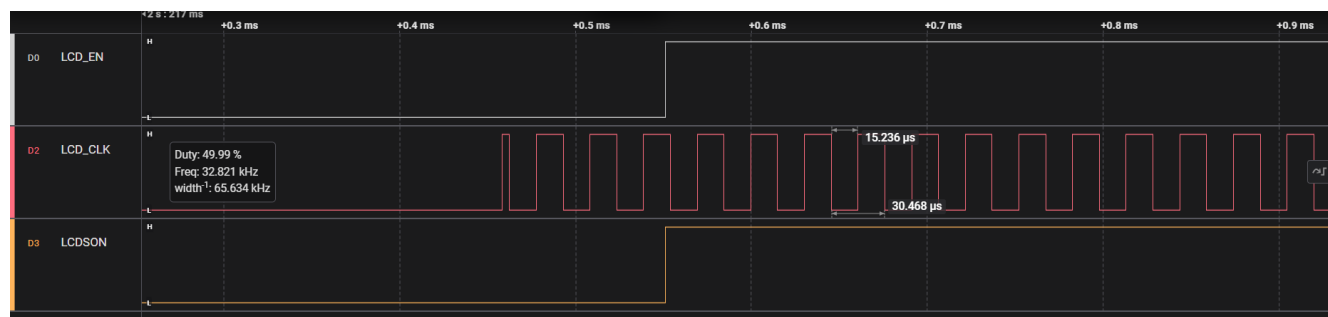


图 9-2. 同步信号捕获波形的放大图

## 10 成本分析

主/辅助双器件方法以更低的物料清单 (BOM) 总成本实现与成本更高的替代方案相同的有效段数。表 10-1 比较了标准化为单个 MCU 基线的相对系统成本。

表 10-1.

| 方法        | 元件             | 相对成本  |
|-----------|----------------|-------|
| 单个 MCU    | 1 个 MSPM0L211x | 1.0×  |
| 主/辅助双器件   | 2 个 MSPM0L211x | 1.8×  |
| 更大规格的 MCU | 1 个引脚数更多的 MCU  | >2.0× |

## 11 总结

使用两个 MSPM0L211x MCU 的主/辅助双 LCD 配置提供了一种具有成本效益且可靠的方法，可驱动多段 LCD 玻璃板，这是单个器件无法实现的。

此设计的关键成功因素包括：

1. **初始化顺序**：在主器件启用其 LCD 外设之前，辅助器件必须已完成完整配置并处于等待状态。
2. **匹配的配置**：muxRate、biasMode 和 waveMode 在两个设备上必须相同。
3. **正确的引脚多路复用**：在启用 LCD 外设之前，两个器件必须将其 LCD 同步引脚路由到正确的 IOMUX 通道。

当满足这些条件时，主/辅助双器件拓扑可提供精确到周期的相位同步，在所有 LCD 单元上实现零净直流偏置，并且相较于常见性稍逊一筹的另一种替代方案，可降低约 20% 的系统成本。

## 12 参考资料

1. 德州仪器 (TI)，[MSPM0L2116/7 和 MSPM0L1126/7 混合信号微控制器](#) 数据表。
2. 德州仪器 (TI)，[MSPM0L211x 技术参考手册](#)，技术参考手册。
3. 德州仪器 (TI)，[MSPM0L211x 评估模块](#) 用户指南。
4. 德州仪器 (TI)，[MSPM0L211x SDK DriverLib](#) 软件开发套件。

## 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