

Application Note

使用 MSPM0™ MCU 和段式 LCD 进行设计



Hao Mengzhen

摘要

从智能电表到电子货架标签 (ESL)，再到医疗设备，各式各样的应用中都使用段式液晶显示器 (LCD) 来为用户提供相关信息。新款 MSPM0™ 微控制器内置低功耗 LCD 驱动电路，支持 MSPM0 MCU 直接控制段式 LCD 玻璃。本应用手册介绍了段式 LCD 的工作原理、MSPM0 MCU 上 LCD 模块的特性、LCD 硬件布局技巧以及编写高效易用型 LCD 驱动软件的指南。

内容

1 引言：MSPM0 和 LCD 最终应用	2
2 MSPM0 LCD 产品系列	2
3 段式 LCD 的工作原理	2
3.1 LCD 结构 (简化).....	2
3.2 LCD 驱动基础知识.....	3
4 MSPM0 LCD 特性	4
4.1 多路复用.....	4
4.1.1 多路复用实例.....	5
4.2 电压生成.....	6
4.2.1 电荷泵.....	8
4.2.2 对比度控制.....	9
4.3 LCD 时钟.....	10
4.4 LCD 存储器和闪烁模式.....	11
4.4.1 LCD 存储器组织方式.....	12
4.4.2 闪烁.....	12
4.5 LCD 输出引脚配置.....	13
4.6 低功耗模式特性.....	13
5 LCD 布局和软件考量	15
5.1 LCD 布局技巧.....	15
5.1.1 硬件驱动的布局.....	15
5.1.2 软件驱动的布局.....	16
5.1.3 通用布局规则.....	17
5.2 LCD 软件提示.....	18
5.2.1 创建查询表.....	18
5.2.2 使用 #defines.....	19
5.2.3 高效清除 LCD 存储器.....	19
5.2.4 使用双显示存储器双重缓冲显示缓冲器.....	19
6 其他资源	20

商标

MSPM0™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言：MSPM0 和 LCD 最终应用

很多常见的应用都很适合使用内置有 LCD 驱动器的 MSPM0 微控制器，尤其是那些既需要段式 LCD 显示屏，又对电池寿命或电流消耗有限制的应用，如低功耗 LCD 手持设备（如手表或者其它设备）、血糖检测仪、电器、水表、电子货架标签和一次性密码令牌等。MSPM0 器件提供丰富的模拟和外设接口组合，具有内置段式 LCD 显示驱动器，能够用来实现诸多不同的应用，并将许多出色的功能整合到同一个片上系统 (SOC) 上。

2 MSPM0 LCD 产品系列

表 2-1 介绍了 MSPM0 MCU 上提供的 LCD 模块特性。

表 2-1. MSPM0 LCD 模块特性表

参数	LCD
支持的段数 ⁽¹⁾	408/8 路复用
支持的多路复用模式	8、7、6、5、4、3、2、静态
针对端口引脚选择的分段功能	单独选择
可灵活配置 COM 和段引脚	是
LCD 时钟选择	LFCLK
LCD 时钟分频器可用性	1 至 32
中断功能	是 (3 个源)
整个显示屏闪烁	是
可编程闪烁频率	是
单个段闪烁功能以及单独的存储器	是 (静态和 2 至 4 路复用模式)
双存储器显示	是
偏置模式	静态、1/3 和 1/4
使用电阻式网络生成 LCD 偏置	外部或内部
若使用电荷泵，LOADCAP 上未连接电容时的器件保护情况	无需保护 (必须从 LOADCAP0 何 LOADCAP1 引脚连接一个 0.1 μ F 或更大的电容器)
具有外部电压基准的电荷泵电压	3 或 4 $\times V_{ref}$ 取决于偏置模式
低功耗波形模式	是

(1) LCD 引脚数随器件和封装而变化。更多详细信息，请参阅具体器件的数据表。

3 段式 LCD 的工作原理

以下各节介绍了所有 LCD 的基本操作，以便为 MSPM0 LCD 驱动器特性提供背景说明。

3.1 LCD 结构 (简化)

图 3-1 给出了段式 LCD 显示屏结构的简化版。该显示屏由两个互成 90 度的偏光板 (偏振入射到显示屏的光线)、带通电电极的液晶 (两个偏光片之间) 和一个反射背板 (反射穿过显示屏所有层的光线) 组成。

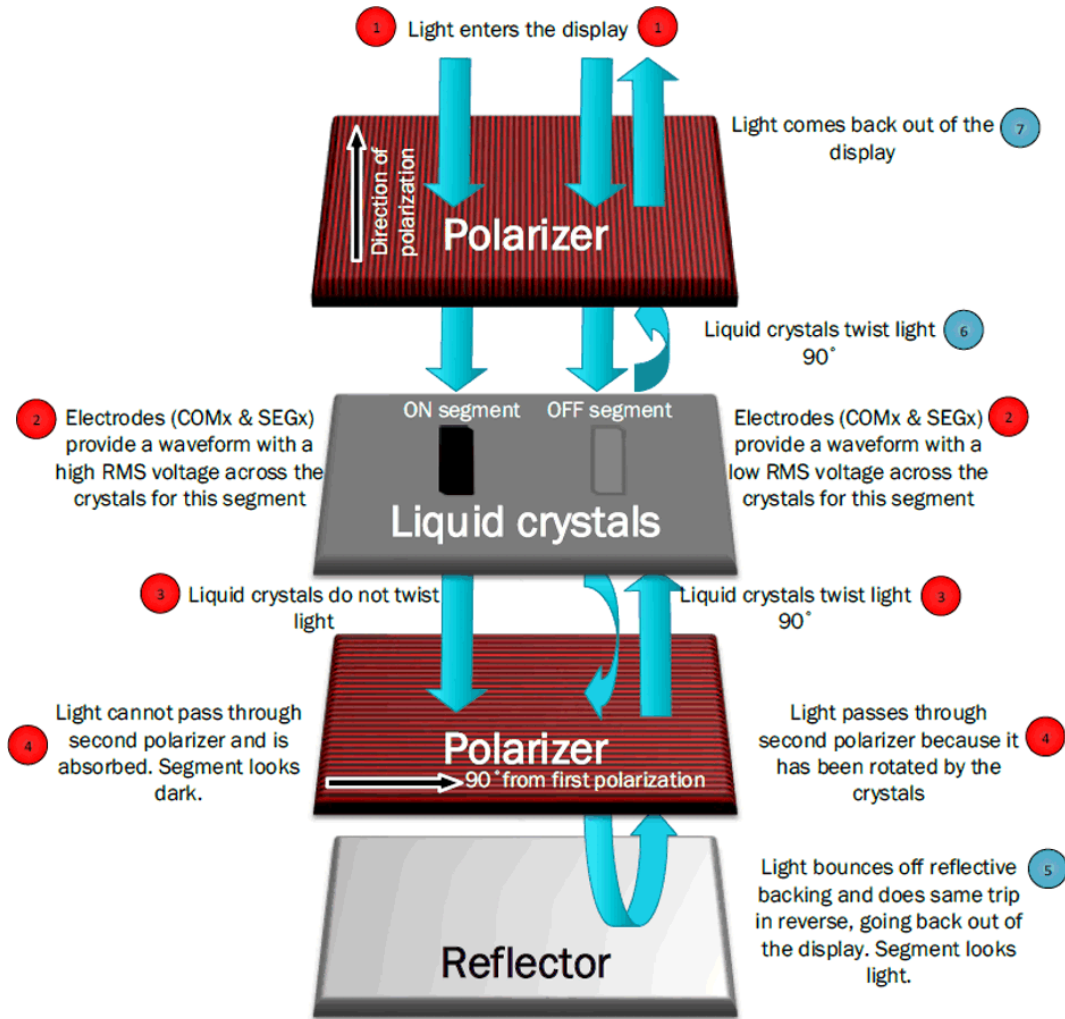


图 3-1. 段式 LCD 的结构和原理

当某个特定段的电极不通电时，该段“关闭”或呈灰色。在此正常状态下，液晶具有可以将光偏转 90 度的扭曲结构。在未通电时，光线首先入射到第一层偏光板上并在偏转后从同一方向射出。然后，在光线通过液晶时，液晶使光线偏转 90 度。由于此时的光线相对于经过第一层偏光板时发生了偏转，因此光线能够穿过第二层偏光板。最后，光线经反射背板反射并经过相同的过程返回。由于光线反射回来，所以该 LCD 段看起来是亮的或者灰色的。

当某个段的电极通电时，该段“打开”或呈黑色。在通电状态下，液晶不发生扭转，从而光线不会发生偏转而是会直接通过。在通电时，光线首先入射到第一层偏光板上并在偏转后从同一方向射出。然后，光线只是直接通过液晶而不发生偏转。由于第二层偏光板与第一层成 90 度夹角，所以光线无法通过并被吸收。这使得该段看起来是暗的。

3.2 LCD 驱动基础知识

LCD 必须使用交流信号驱动。在 LCD 段上施加直流电平可能损坏 LCD，通常允许低于 50mV 的直流电压。MSPM0 LCD 模块会自动生成这些类型的交流波形，因此用户仅需要指定段是打开还是关闭，内部硬件将完成余下的工作。

LCD 段具有一个施加到两个电极 (COMx 线和 Sx 段线) 之间液晶的电荷。这两个电极施加的电势差即为通过 LCD 段观察到的波形。

LCD 段上是否存在 RMS 电压决定该 LCD 段为打开还是关闭状态。图 3-2 中展示了一个打开状态段和一个关闭状态段的示例波形 (COMx 和 Sx 引脚信号的组合)。打开状态段比关闭状态段上施加了更大的 RMS 电压。请注意，这两个段都具有净零直流电压的波形，但打开状态段上的 RMS 电压较高，这使得该段打开并且呈深色。

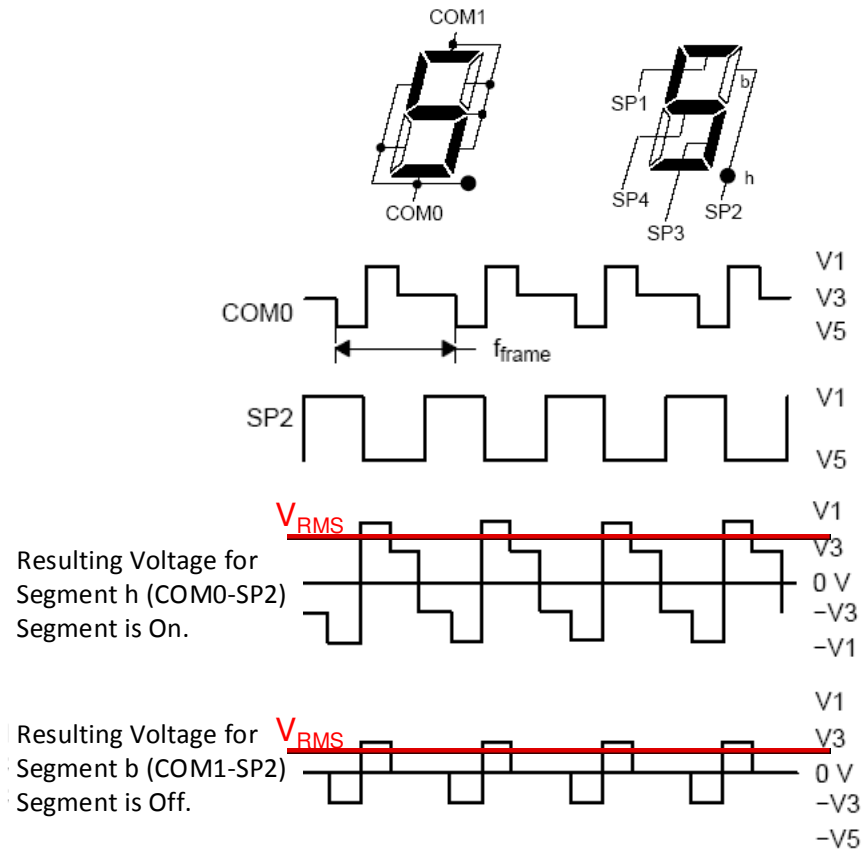


图 3-2. 示例 LCD 交流波形

4 MSPM0 LCD 特性

本节说明了各 MSPM0 LCD 模块上的功能。由于 MSPM0 系列正在迅速发展，因此务必要查看具体器件的数据表以查看器件中提供的 LCD 功能以及为 LCD 输出所提供的引脚数。

4.1 多路复用

段式 LCD 使用多路复用技术来限制控制引脚的数量。显示屏的类型包括静态（不复用）、2 路至 8 路复用。N 路复用符号表示每个段引脚 S_x 可以驱动显示屏上的 N 个段 - 这同样意味着有 N 个公共 (COMx) 引脚。显示屏上的每个 LCD 段都由一个 COMx 引脚和一个 S_x 引脚组合为该段的液晶提供电势差进行驱动。

利用多路复用技术可实现用有限的引脚控制更大数量的段。一个 8 路复用 LCD 显示屏有 8 个 COM 引脚并且每个段 (S_x) 引脚驱动 8 个段。因此，使用支持 8 路复用并有 51 个 S_x 引脚 (S_0 - S_{50}) 的 MSPM0 时，MSPM0 能够仅通过 8 个 (COMx) + 51 个 (S_x) = 59 个引脚来控制 408 个段。

支持 8 路复用模式的 MSPM0 器件最多可支持 408 段的显示。不过，务必要查看具体器件的数据表以确定相应器件所支持的段数，原因是所支持的段数不但受 LCD 模块复用能力的限制，而且还受限于具体器件在特定的引脚封装下所能提供的 LCD 引脚数。

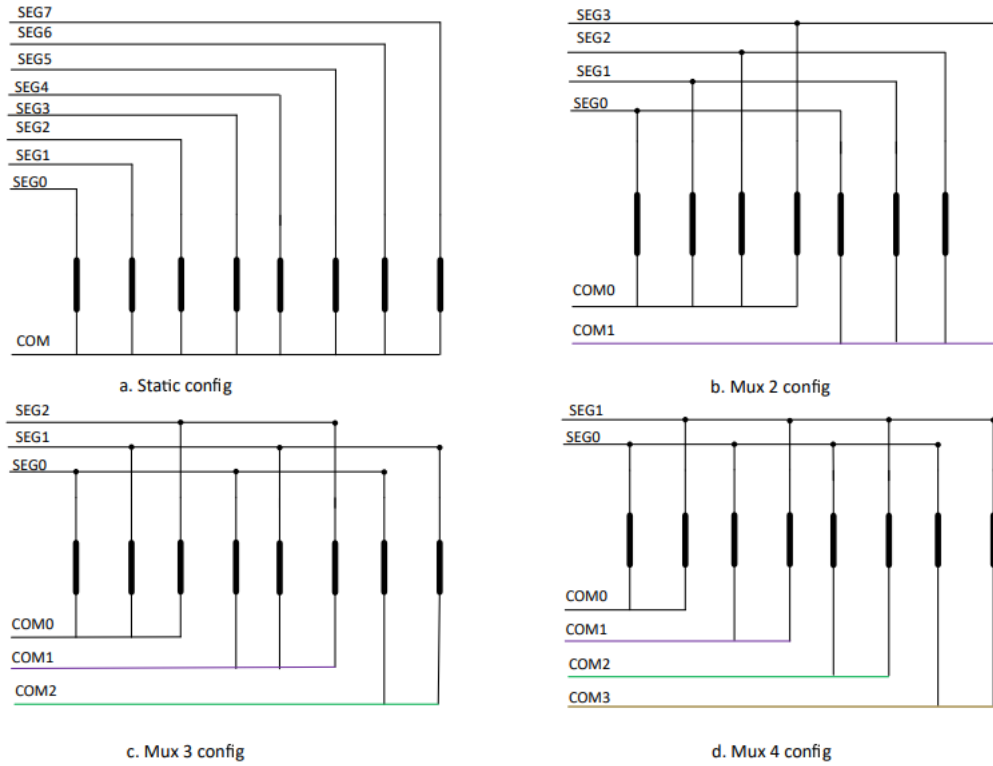


图 4-1. 多路复用配置

4.1.1 多路复用实例

图 4-2 显示了一个 4 路复用、1/3 偏置波形。每个段由 2 个引脚 (一个 COMx 引脚和一个 Sx 段引脚) 的信号进行控制。所示信号是施加到相应段的电极上的波形, 因此 Sx 和 COMx 信号之间的电势差即是施加到此区域液晶上的电压。该电势差是图 4-2 (COM0-S0 和 COM1-S1) 中所示合成波形的电压。

在本示例中, COM0-S0 的波形具有高 RMS 电压, 尽管该波形具有净零直流电压, 该段仍然为打开状态。COM1-S1 波形的 RMS 电压较低, 因此该段关闭。虽然这些波形看起来有些复杂, 但请记住, 它们由 MSPM0 LCD 模块自动生成。用户只需要指定 LCD 的基本设置, 然后指定哪些段打开或者关闭。

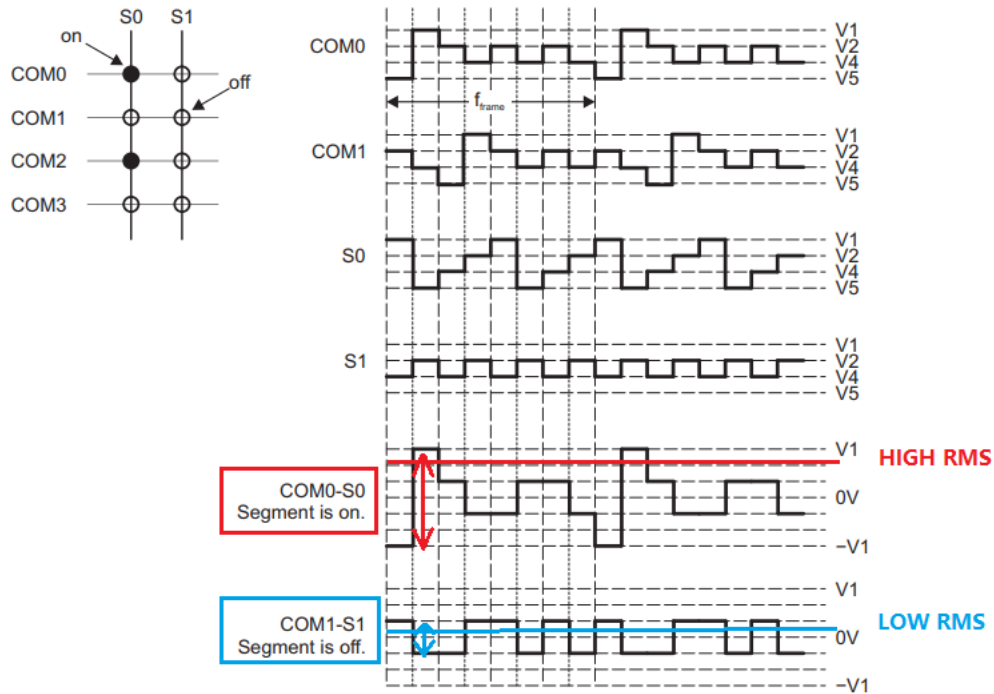


图 4-2.4 路复用 1/3 偏置

4.2 电压生成

这里使用 5 个电压电平 (V1、V2、V3、V4 和 V5) 来在段和公共引脚上生成不同的波形，具体取决于偏置模式。请查看表 4-1，了解不同偏置模式下的电压电平。

表 4-1. 不同偏置模式下的电压电平

电压电平	静态	1/3 偏置模式	1/4 偏置模式
V1(V_{LCD})	V_{LCD}	V_{LCD}	V_{LCD}
V2	不适用	$V_{LCD} \times 2/3$	$V_{LCD} \times 3/4$
V3	不适用	不适用	$V_{LCD} \times 1/2$
V4	不适用	$V_{LCD} \times 1/3$	$V_{LCD} \times 1/4$
V5	0	0	0

最高电平 V1 由 V_{LCD} 生成。如节 4.2.1 所述， V_{LCD} 可以来自外部源或内部电荷泵。要产生 LCD 波形 V2 至 V5 中的其余电压电平，模块需要能够在 V_{LCD} 部分产生偏置电压。

偏置电压 V2 至 V5 可以从 V_{LCD} 内部或者使用外部电阻网络分出。客户可以在其应用中选择使用 V_{LCD} 源和偏置电压生成方法的任意组合。表 4-2 显示其中一个 LCD 模块中不同 V_{LCD} 源可能的内部和外部偏置选项示例。

表 4-2. 电压生成模式

模式	说明
0	从外部基准和外部电阻分压器生成电压
1	从 AVDD 和外部电阻分压器生成电压
2	从外部基准和内部电阻分压器生成电压
3	从 AVDD 和内部电阻梯生成电压
4	从具有外部电源的电荷泵生成电压
5	使用 AVDD 从电荷泵生成电压
6	从 R13 上带有外部基准的电荷泵生成电压
7	从 R13 上具有内部基准的电荷泵生成电压

内部生成偏置电压较为简单，不需要任何外部元件，仅在模块内部进行分压。不过，外部生成偏置电压的功耗可能更低。外部偏置需要用户提供外部电阻分压器来生成电压 V2 至 V5 - 所使用的电阻分压器取决于偏置模式（静态、1/3 偏置或 1/4 偏置，如图 4-3 所示）。分压器中的电阻必须具有相同的阻值，但阻值规格可取决于设计中所用的具体显示屏。

更改外部电阻值会影响电流消耗和对比度。电阻器越大，电阻梯中的电流消耗越低，从而可以降低功耗。但是，如果电阻器过大，对比度可能不好，甚至可能对所有段都是如此。通常需要在设计中实验不同规格的电阻以在性能与电流消耗之间找到最佳平衡点。

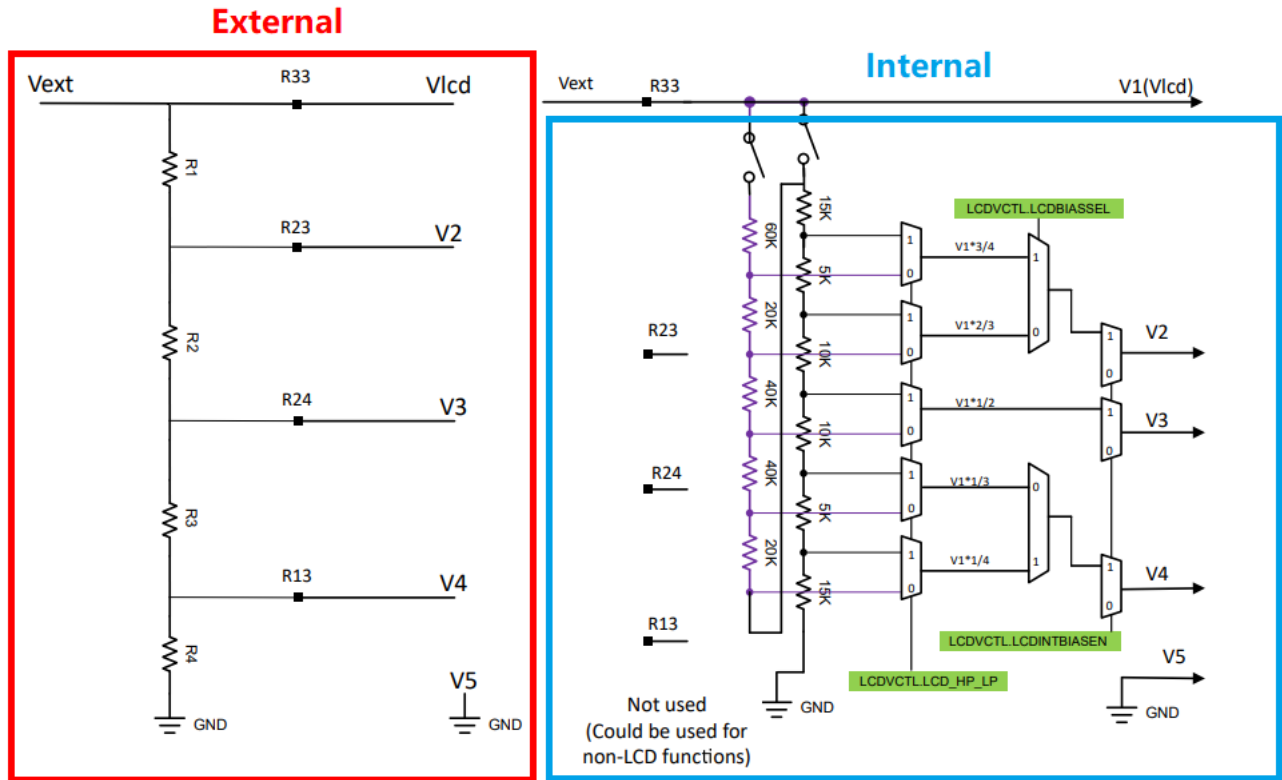


图 4-3. 电压生成配置

4.2.1 电荷泵

V_{LCD} 电压设置 V1 (波形中最高的 LCD 电压) 的电压电平。可以在软件中设置这个电压是来源于 AVDD、内部电荷泵还是外部源。MSPM0 LCD 模块内置一个电荷泵。

使用电荷泵生成 V_{LCD} 电压具有多种优势。首先，电荷泵为 LCD 提供稳定的电压，以保持显示屏的稳定电压输出。其次，使用电荷泵可以将 V_{LCD} 设置为独立于 D_{VCC} 的不同电压电平。因此， V_{LCD} 会设定为针对特定 LCD 显示屏的最佳电平，并且保持良好的对比度，即使系统中的电池电量耗尽时也是如此。

内置的电荷泵具有可编程的电压电平，可与不同的段式显示屏配合使用。允许的最大工作电压来自特定 LCD 玻璃的设计。设置不同的 V_{LCD} 可以更改对比度，因此支持用软件配置电荷泵的电压电平可实现通过软件控制对比度。例如，使用较低的 V_{LCD} 会降低对比度，但也会减少电流消耗；用户可以在最终设计中尝试这种权衡。

电荷泵需要一个外部电容才能工作。MSPM0 LCD 模块上的电荷泵电容器连接在两个引脚之间，而不是直接接地，因此不存在电容器不会损坏 MCU (尽管电荷泵无法正常工作)。

当电荷泵以内部基准源为基准时，内部基准电路能够在连续模式或采样模式下运行。在连续模式下，如果 LCDREFEN 位被置位，则会生成一个连续基准。在采样模式下，R13 引脚上的电压由电容器维持，以降低功耗。

让电荷泵以外部源为基准运行。在使用多个 MSPM0 MCU 一同控制一个使用一个器件进行控制的大段式显示屏时，使用外部源很实用。

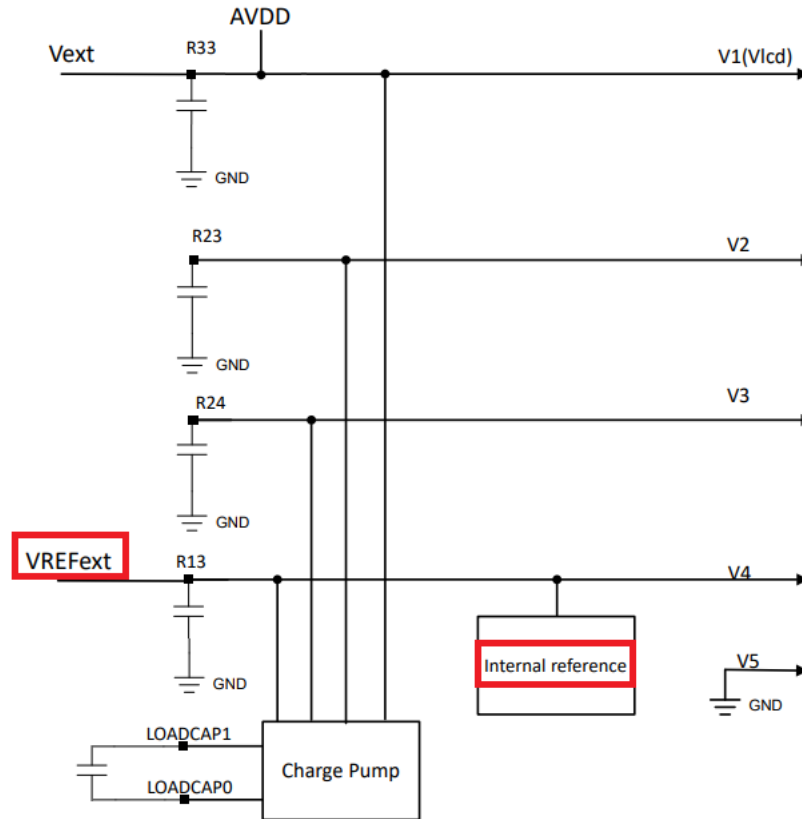


图 4-4. 电荷泵基准

4.2.2 对比度控制

如节 4.2.1 中所述，当使用电荷泵时，软件控制显示屏的 V_{LCD} 。 V_{LCD} 让用户可以在软件中轻松调节对比度。无论是内部还是外部偏置，更改 V_{LCD} 也将调整所有其他 LCD 电压，因为所有其他电压都是由 V_{LCD} 分压得出的。

若使用外部偏置电阻梯生成偏置电压，则 R 大小会影响对比度。如果所有段的对比度并不均匀，应减小偏置电阻梯中的电阻值，但同时会增加电流消耗（请参阅节 4.2 有关偏置的说明）。

不同偏置模式和具体使用的 LCD 也会影响对比度。如表 4-3 所示，对比度表示为 $V_{RMS,ON}/V_{RMS,OFF}$ ，即打开状态段波形的 RMS 电压除以关闭状态段波形的 RMS 电压。对比度越高，打开状态段和关闭状态段的外观差异越大。表 4-3 展示了对比度的好坏取决于显示屏的偏置配置和多路复用模式，这是因为这些设置会影响输出波形的特性。如表 4-3 所示，较高的多路复用率通常会降低对比度，因此性能对影响对比度的任何权衡都更加敏感。这些比率意味着，要获得所需的 LCD 性能，需要更灵敏的 LCD 玻璃，并需要具有更好的阈值或者可通过其他方式（例如更高的 V_{LCD} 、更小的偏置电阻器或驱动大型 LCD 中介绍的技术）提高对比度。

要确定 V_{LCD} 以获得良好对比度，一种常用方法是使用对比度为 10% 时的阈值电压和用户指南表格中的 $V_{RMS,OFF}/V_{LCD}$ 比率来使用方程式 1 计算推荐的 V_{LCD} 。

$$V_{LCD} = V_{th,10\%} \div (V_{RMS,OFF}/V_{LCD}) \quad (1)$$

$V_{th,10\%}$ 是 LCD 显示屏中所用液体的特性，该值随显示屏而变化。制造商提供的显示屏信息通常会列出 10% 对比度时的视觉阈值电压。

一些配置用牺牲对比度的方式来降低所用的满量程 LCD 电压 V_{LCD} 。例如，对于一些模块，1/3 偏置能够提供更好的对比度，但是 1/3 偏置模式可能也需要使用更高的 V_{LCD} 。有关特定 LCD 模块和对比度的更多信息，请参阅 MSPM0 L 系列 32MHz 微控制器 技术参考手册中特定于 LCD 模块的部分。用户指南中包含类似表 4-3 的表格，其中包含特定于该模块的多路复用和偏置选项相关信息。

表 4-3. LCD 电压和偏置对对比度的影响

模式	偏置配置	电压电平	$V_{RMS,OFF}/V_{LCD}$	$V_{RMS,ON}/V_{LCD}$	对比度 $V_{RMS,ON}/V_{RMS,OFF}$
静态	静态	V1、V5	0	1	1/0
2 路复用	1/3	V1、V2、V4、V5	0.333	0.745	2.236
2 路复用	1/4	V1、V2、V3、V4、V5	0.395	0.729	1.846
3 路复用	1/3	V1、V2、V4、V5	0.333	0.638	1.915
3 路复用	1/4	V1、V2、V3、V4、V5	0.356	0.612	1.719
4 路复用	1/3	V1、V2、V4、V5	0.333	0.577	1.732
4 路复用	1/4	V1、V2、V3、V4、V5	0.331	0.544	1.643

4.3 LCD 时钟

MSPM0 LCD 模块包含一个内部时序生成电路，不需要计时器模块。图 4-5 是 MSPM0 器件中的 LCD 时钟模块图。

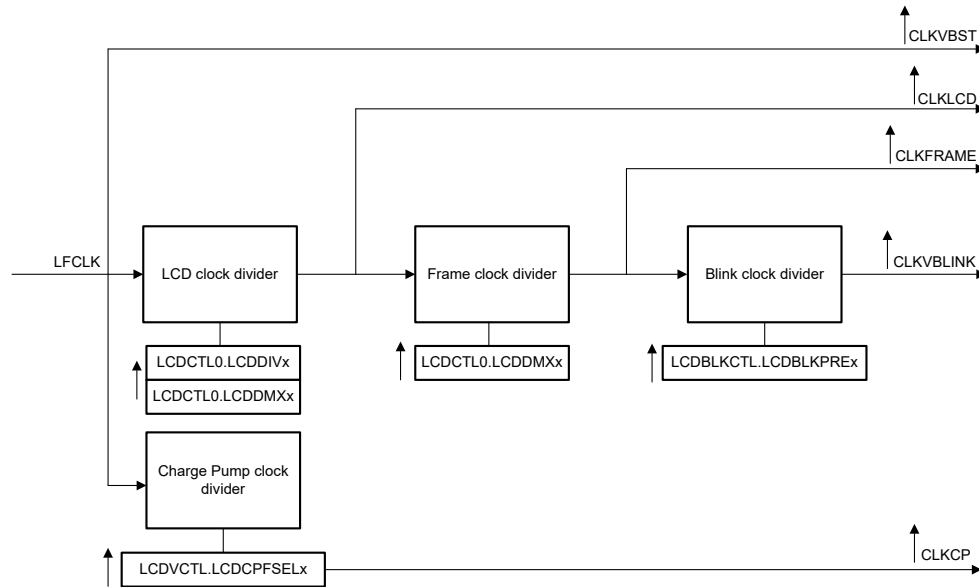


图 4-5. LCD 时钟模块图

LCD 模块以 LFCLK 为时钟源。为了实现 f_{CLKLCD} 所需的频率，应在模块内进行缩放和分频。 f_{CLKLCD} 频率通常较低 (<1kHz)，因此模块的时序通常来自低频 LFCLK，该时钟通常也处于低功耗模式（关断模式除外）。 f_{CLKLCD} 是为公共 COMx 和 Sx 段信号生成时序的频率。如以下表 4-4 所示，设置多路复用模式 (LCDDMXx) 后，MUXDIVIDER 会根据 LCDDMXx 自动设置。用户可以通过更改 LCDCTL0.LCDDIVx 来控制 f_{CLKLCD} 的输出频率。

表 4-4. CLKLCD 计算

时钟	公式	
CLKLCD	$f_{CLKLCD} = f_{CLKLFCLK} \div (LCDCTL0.LCDDIVx + 1) \times MUXDIVIDER$	
	LCDDMXx	MUXDIVIDER
	0	64
	1	32
	2	16
	3	16
	4	12
	5	8
	6	8
7	8	

$f_{CLKFRAME}$ 是 LCD 显示屏数据表中提供的帧频率。显示屏具有多个允许的帧频率可供用户在选择 f_{CLKLCD} 时进行选择。使用较低的频率时，电流消耗更少，但是使用较高的频率时，显示器的闪烁更少。使用不同的 f_{CLKLCD} 频率进行实验，以确定哪种设置可在 LCD 上产生可接受的显示效果并保持电流消耗最低。使用 [方程式 2](#) 计算所需的 $f_{CLKFRAME}$ 。

$$f_{CLKFRAME} = f_{CLKLCD} \div [(LCDCTL0.LCDMXx + 1) \times 2] \quad (2)$$

例如，[方程式 3](#) 和 [方程式 4](#) 显示了 4 路复用模式的结果，其中 LCDCTL0.LCDMXx 为 3，LCDCTL0.LCDDIVx 为 0。

$$f_{CLKLCD} = 32768 \div [(0 + 1) \times 16] = 2048h = Hz \quad (3)$$

$$f_{CLKFRAME} = 2048 \div [(3 + 1) \times 2] = 256Hz \quad (4)$$

当闪烁处于启用状态时， f_{CLKBLK} 用于控制段的闪烁。当 CLKBLK 为 0 时，段被关闭。所需的 f_{CLKBLK} 可以使用 [方程式 5](#) 计算得出。

$$f_{CLKBLK} = f_{CLKFRAME} \div [2^{(LCDBLKPREx + 1)}] \quad (5)$$

当电荷泵处于启用状态时， f_{CLKCP} 用于为电荷泵模块生成四相时钟。电荷泵的工作原理是将电荷从 LOADCAP0 和 LOADCAP1 引脚之间连接的负载电容器转移到 R33、R23、R24、R13 和接地之间连接的其他电容器。电荷泵需要 4 个非重叠时钟来控制这些开关。所需的 f_{CLKCP} 可以使用 [方程式 6](#) 计算得出。

$$f_{CLKCP} = f_{CLKLCLK} \div (LCDVCTL.LCDCPFSELx + 1) \quad (6)$$

$f_{CLKVBST}$ 用于提升开关控制信号的电压，其频率与 LFCLK 相同。

4.4 LCD 存储器和闪烁模式

软件通过使用两个存储块 LCDMx 和 LCDBMx 来控制段。如 [图 4-6](#) 所示，这两个存储器通过 VBUSP 总线（系统总线）写入，并且其内容通过内部逻辑进行读取。在将 64 位 LCDVAL 传递到 IO 缓冲区之前，从这两个存储器块读取的内容会通过闪烁覆盖逻辑传递。使用 LCDCSSELx 寄存器可以将 64 个 LCD 引脚中的每个引脚配置为公共线或段线。

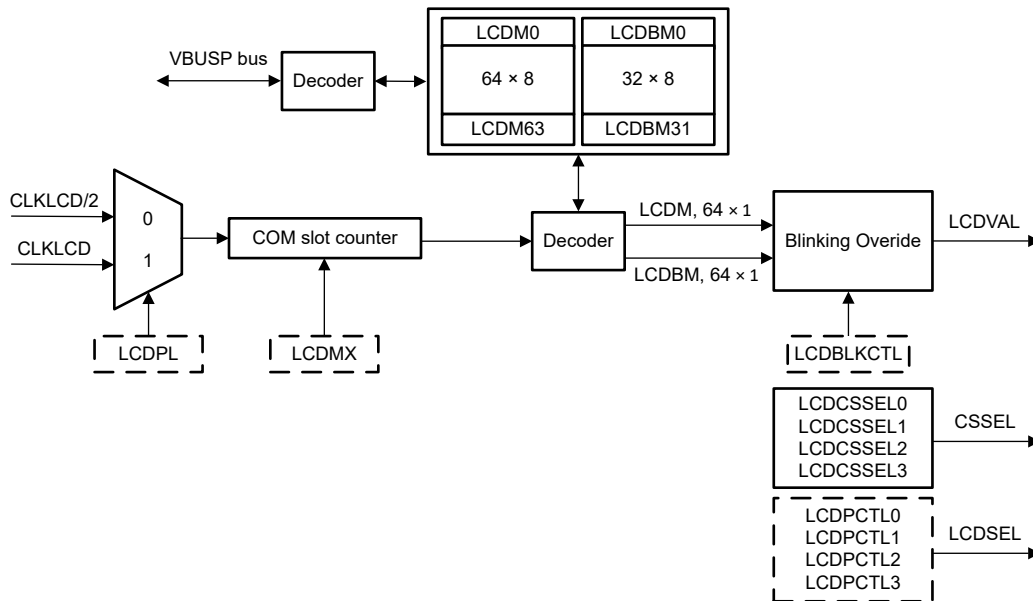


图 4-6. LCD 存储器图

4.4.1 LCD 存储器组织方式

用户软件通过使用 LCD 的存储寄存器来选择要打开或关闭的段。每一位代表一个连接了一对 COMx 和 Sx 引脚的 LCD 段。行 (或字节) 对应 Sx 引脚，列 (或者字节中的每一位) 对应 COMx 引脚。在 2 路复用至 4 路复用模式下，每一行的高四位和低四位对应不同的 Sx 引脚。在这种情况下，由于最多只有 4 条 COMx 线，因此只需使用字节中的 4 位即可，一个字节负责设置两个 Sx 引脚。在 5 路复用至 8 路复用模式下，由于 COMx 线多于 4 根，所以需要使用整个行 (字节) 来设置各段的 Sx 引脚。

图 4-7 给出了 4 路复用模式的存储器配置示例。此示例中的 L2 和 L3 段引脚对应 LCD 存储器偏移 1 处字节中的低四位和高四位。要控制连接 COM0 + L2 或 COM0 + L3 的段，软件会将高亮显示的位设为 1 或者 0 以表示所需的 LCD 段状态为“打开”或“关闭”。

Memory Row	COM3 (MSB-7)	COM2	COM1	COM0	COM3	COM2	COM1	COM0 (LSB-0)
0	L1	L1	L1	L1	L0	L0	L0	L0
1	L3	L3	L3	L3	L2	L2	L2	L2
2	L5	L5	L5	L5	L4	L4	L4	L4
3	L7	L7	L7	L7	L6	L6	L6	L6
4	L9	L9	L9	L9	L8	L8	L8	L8
5	L11	L11	L11	L11	L10	L10	L10	L10
6	L13	L13	L13	L13	L12	L12	L12	L12
7	L15	L15	L15	L15	L14	L14	L14	L14
8	L17	L17	L17	L17	L16	L16	L16	L16
9	L19	L19	L19	L19	L18	L18	L18	L18
10	L21	L21	L21	L21	L20	L20	L20	L20
11	L23	L23	L23	L23	L22	L22	L22	L22
12	L25	L25	L25	L25	L24	L24	L24	L24
13	L27	L27	L27	L27	L26	L26	L26	L26
14	L29	L29	L29	L29	L28	L28	L28	L28
15	L31	L31	L31	L31	L30	L30	L30	L30
16	L33	L33	L33	L33	L32	L32	L32	L32
17	L35	L35	L35	L35	L34	L34	L34	L34
18	L37	L37	L37	L37	L36	L36	L36	L36
19	L39	L39	L39	L39	L38	L38	L38	L38
20	L41	L41	L41	L41	L40	L40	L40	L40
21	L43	L43	L43	L43	L42	L42	L42	L42
22	L45	L45	L45	L45	L44	L44	L44	L44
23	L47	L47	L47	L47	L46	L46	L46	L46
24	L49	L49	L49	L49	L48	L48	L48	L48
25	L51	L51	L51	L51	L50	L50	L50	L50
26	L53	L53	L53	L53	L52	L52	L52	L52
27	L55	L55	L55	L55	L54	L54	L54	L54
28	L57	L57	L57	L57	L56	L56	L56	L56
29	L59	L59	L59	L59	L58	L58	L58	L58
30	L61	L61	L61	L61	L60	L60	L60	L60
31	L63	L63	L63	L63	L62	L62	L62	L62

图 4-7. LCD 存储映射示例

4.4.2 闪烁

MSPM0 LCD 模块支持闪烁模式。可以将一些或者所有段配置为闪开和闪关 (闪烁)。闪烁模式仅适用于多路复用模式 1 至 4。

对于既支持全屏闪烁又支持单独段闪烁的器件，闪烁会以特定频率自动发生。闪烁频率 f_{CLKBLK} 可配置，但必须低于帧频率。

当使用单独段闪烁时，闪烁存储器控制段是否闪烁。软件通过使用两个存储块 LCDMx 和 LCDBMx 来控制段。如图 4-8 所示，这两个存储器通过 VBUSP 总线 (系统总线) 写入，并且其内容通过内部逻辑进行读取。在将 64 位 LCDVAL 传递到 IO 缓冲区之前，从这两个存储器块读取的内容会通过闪烁覆盖逻辑传递。闪烁存储器用作第二显示存储器，LCDMEMCTL.LCDDISP 位用于控制显示屏使用的存储器。

MSPM0 器件支持三种闪烁模式。

1. **闪烁选定**：LCDBM 存储器中的位决定参与闪烁的 LCD 输出。如果 LCDBM 存储器中有一个位置位，相应的输出会闪烁，而如果该位为 0，那么相应的位不会闪烁。
2. **全部闪烁**：所有段均参与闪烁。
3. **闪烁切换**：给定段的状态在 LCDM 和 LCDBM 存储器位中设定的值之间交替变化。

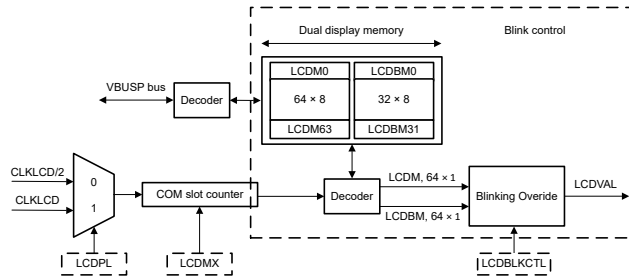


图 4-8. LCD 闪烁和双显示存储器

4.5 LCD 输出引脚配置

MSPM0 的 LCD 引脚与模拟和数字 I/O 功能进行多路复用。当应用并未使用所有 LCD 引脚时，这些引脚可以在软件中配置用于其他功能。每个引脚都可以使用 IOMUX 寄存器中的设置单独配置为用于 GPIO 或 LCD 功能。

在 MSPM0 器件中，每个引脚不但可以配置为用于 GPIO 或者 LCD 功能，而且设置为用于 LCD 功能的每个引脚可以进一步配置为 COMx 或 Sx 引脚。这种额外的可配置性使 LCD 引脚完全可配置，这意味着用户可以获得超高的布线灵活性。这证明了 LCD 布局可以在单层中实现。由于 MSPM0 侧的 COMx 引脚不再固定到特定的引脚组上，因此这些引脚可以根据显示屏侧的 COMx 引脚位置进行配置。此外，可以在软件中修复一些布局错误，而不用重新制作新的 PCB 设计。有关 LCD 布局的更多信息，请参阅节 5.1。有关 LCD 灵活引脚配置的更多详细信息，请参阅 *MSPM0 L 系列 32MHz 微控制器* 技术参考手册。

4.6 低功耗模式特性

MSPM0 LCD 模块的主要特性是功耗低。除了前述几节讨论过的一些低功耗选项（例如，可调节电荷泵电平和外部偏置选项）外，电荷泵仅在模块总体运行的一小部分时间打开。电荷泵以低占空比运行，仅在 LCD 总工作时间的一小部分时间中出现峰值电流，这意味着 LCD 将平均电流维持在很低的水平。

电荷泵峰值电流可以在所用具体器件的数据表中找到。通常还有一个关于在电容放电后为 C_{LCD} 电荷泵电容充电所需时间的规格，峰值电流和充电时间则有助于确定 LCD 模块的平均电流。最坏的情况是，当 C_{LCD} 放电后，电荷泵在 $t_{LCD,CP,on}$ 时间内处于峰值电流 $I_{CC,Peak,CP}$ 。模块在其余时间处于低电流状态。另外，使用低泄漏电容作为 C_{LCD} 有助于使电荷泵以更低的占空比运行，从而也有助于降低功耗。

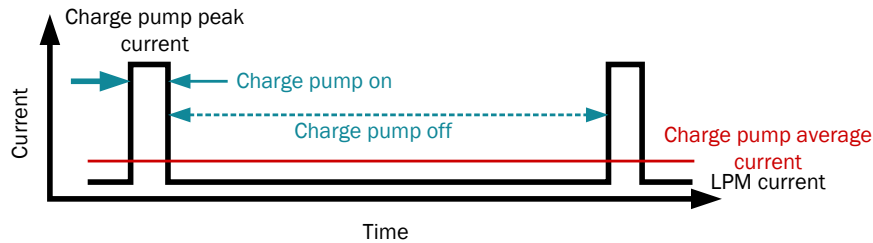


图 4-9. 低电荷泵占空比

MSPM0 LCD 模块也具有相应设置来使用低功耗版本的 LCD 波形。低功耗版本的波形将电压序列重新排列，使得特定时间槽组合在一起。这使得每个引脚的开关事件更少并且流耗更低。通过减少给定 LCD 帧中开关控制上的切换次数，降低了功耗。图 4-10 给出了 8 路复用模式下正常版本和低功耗版本波形的示例。

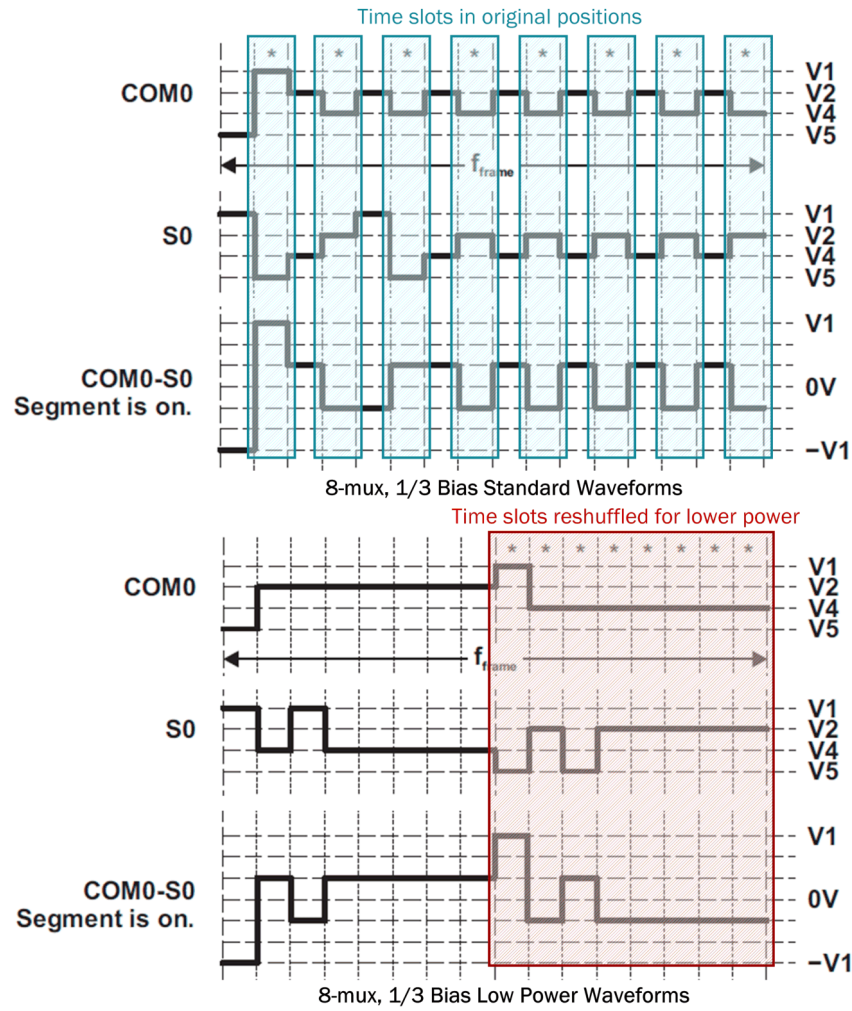


图 4-10. 低功耗波形示例

LCD 模块可在除关断模式之外的所有功耗模式下工作，从而可实现新的超低功耗水平，并支持电源非常有限的新型 LCD 应用。有关各种低功耗模式下 LCD 电流消耗的更多详细信息，请参阅具体器件的数据表。

5 LCD 布局 and 软件考量

选择正确的 LCD 并谨慎选择连接至显示屏具体引脚的 MSPM0 引脚对于代码的易用性和代码的效率非常重要。这个效率关乎到显示屏如何将同一个段引脚复用至不同区域，以及段上显示的内容（例如，字母字符或者数字）。在决定布局时，需要考虑不同复用模式下的 MSPM0 LCD 存储器结构，以确保软件的使用既简单又高效。

5.1 LCD 布局技巧

根据所使用的复用模式，在屏幕上显示整个数字或字符可能要多个 Sx 引脚。哪些显示区域一起复用引脚取决于具体的 LCD 玻璃以及 LCD 如何将这些段映射到驱动引脚。选择正确的 LCD 显示屏可以降低软件的复杂性。例如，如果显示屏将 Sx 引脚映射到段后，只要使用一或两个 Sx 引脚，该段便可显示任何数字，这样就能简化代码的编写工作。可以在相应 LCD 的数据表中找到引脚至 LCD 段之间的映射关系。

图 5-1 给出了 LP-MSPM0L2228 Launchpad 开发套件上 LCD 玻璃（一个 4 路复用显示屏）的数据表中的一些信息。除简单的数字外，该显示屏还可以显示字母数字字符。从显示屏数据表中的引脚映射可以看出，要用来显示数字 0-9 的段需要两个 Sx 引脚 - LCD 的引脚 1 和 2。要显示任何字母字符，请使用 4 个段引脚。

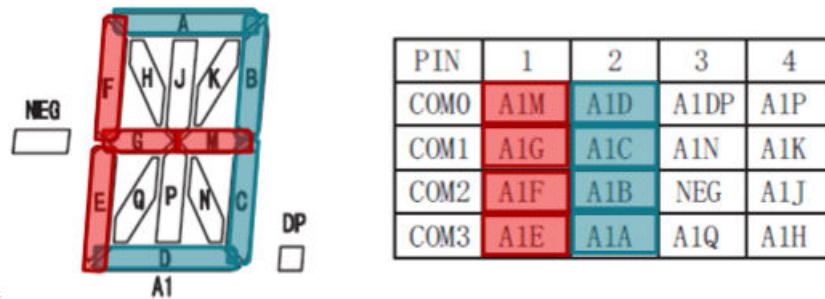


图 5-1. 4 路复用显示屏的数据表示例

除了 LCD 玻璃本身的映射之外，请谨慎选择 MSPM0 上用于连接到 LCD 玻璃上相应 LCD 段引脚的 Sx 段引脚，因为这将在很大程度上影响布局与软件。

5.1.1 硬件驱动的布局

在硬件驱动的布局方法中，可以选择将引脚连接到 MSPM0 上最近的 LCD 功能引脚，以尽可能减少布线交叉并尝试布板在同一层上。不过，硬件驱动的布局方法可能导致引脚散乱地映射到 MSPM0 LCD 存储器，从而在编写代码时引发更多的软件工作和开销。

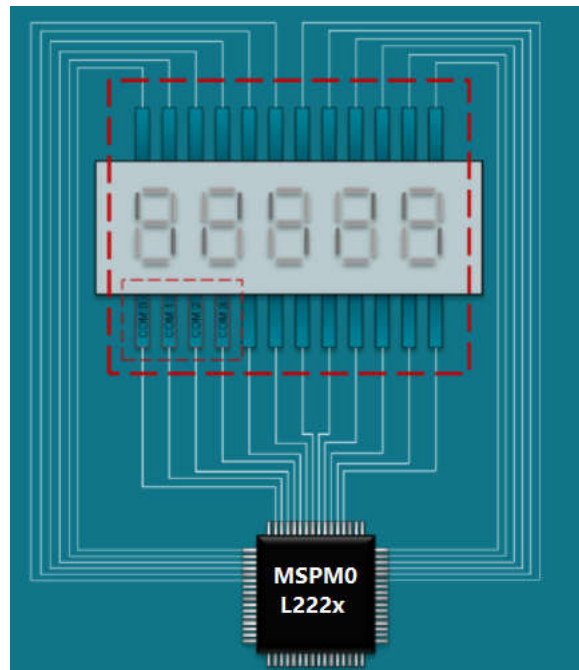


图 5-2. 在同一层上以总线形式组合 LCD 线路的布线示例

5.1.2 软件驱动布局

使用软件驱动的引脚选择方法时，通过向存储器一次性写入一个字节或字，MSPM0 即可完成设置要用来显示数字和字母所需的全部段。例如，对于图 5-1 中的 4 路复用显示屏，使用 2 个引脚控制所有显示数字 0-9 的段，使用 4 个引脚控制显示字母数字字符的段。在 4 路复用模式下，MSPM0 LCD 存储器的每个字节控制 2 个 Sx 引脚。因此，在小心连接 MSPM0 与此 LCD 屏幕后，通过一个字节访问（一次写 2 个引脚）即可在显示屏上设置一个完整数字，通过一个字访问（一次写 4 个引脚）即可在显示屏设置一个完整字母。图 5-3 给出了一个示例，说明如何在同一 LCDMx 存储寄存器内选择 MSPM0 Sx 引脚，以便可通过一个字节访问设置两个 Sx 引脚所控制的全部段。此外，务必确保显示每个数字的相同段在字节中分配了相同的顺序并且在存储器中以相同的格式排列，以确保无论要设置哪个显示数字，都可以调用相同的函数，从而能够极大地节省软件开销。

但是，根据应用的不同，连接会更加复杂或需要多层电路板。在集成 LCD 模块的器件上，任何引脚都可以用作 COM 引脚或段引脚，以使布板更加简单，这在一定程度上可以缓解布局问题。

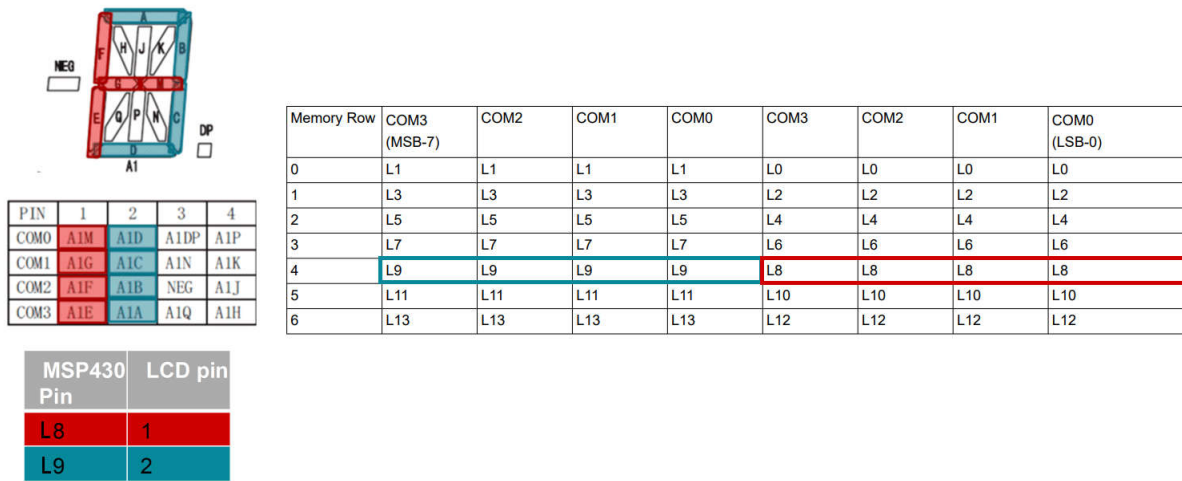


图 5-3. 软件驱动布线的引脚选择示例

5.1.3 通用布局规则

LCD 信号线将持续开关以保持显示屏上的画面，因此这些线路应该远离任何噪声敏感线路（如外部晶振连接）。可以使用防护环来屏蔽晶体连接或 ADC 输入等噪声敏感线路，从而避免出现噪声耦合。LCD 布线和防护布线下方的接地平面还提供了屏蔽。

一个好的做法是将所有 LCD 信号布线（段线和公共线）放在一起，类似于数据总线。将 LCD 布局保持在单层非常有用，这样 LCD 布线就不会从潜在的敏感布线上或下方走线。应使用短走线使 LOADCAP 引脚上的电荷泵电容尽可能靠近 MCU。

图 5-4 给出了部分水表设计，其中显示了 LCD 连接。该布局顶部的 LCD 信号组合在一起，并且不是在晶体振荡器 X1 和 X2 的下方走线，而是围绕它们走线以防止噪声干扰晶振。晶振电路也包括自身的接地层，以进一步屏蔽来自 LCD 和其它源的噪声。

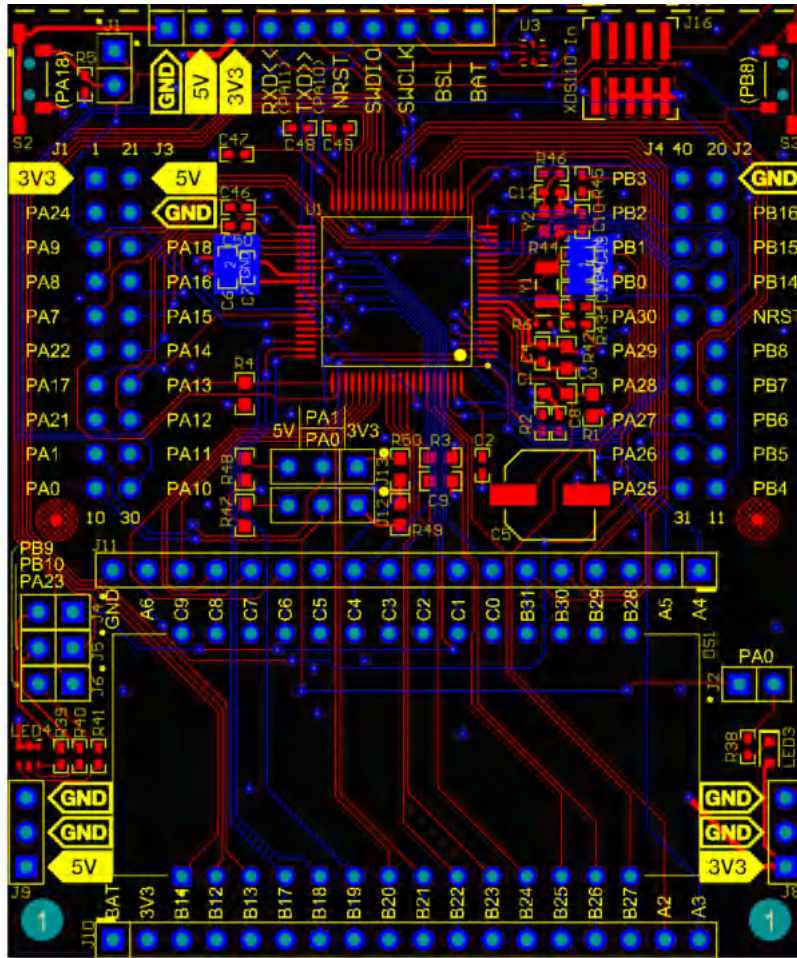


图 5-4. 显示 LCD 布局的部分 LP-MSPM0L2228 设计

5.2 LCD 软件提示

编写 LCD 驱动程序可能令人大伤脑筋，因为软件需要考虑许多硬件因素。

1. LCD 显示玻璃及其布局和属性。
2. 显示屏上的 LCD 引脚与 MSPM0 MCU 上的 LCD 引脚之间的连接选择。
3. 微控制器如何将引脚映射至显示存储器使代码晦涩难懂。
4. 如果没有完整的图片和几个数据表就很难阅读。

本节将给出一些提示，以帮助用户做到使 LCD 驱动程序更加易用和易懂，以及编写高效的 LCD 代码。

5.2.1 创建查询表

创建包含通用显示数据（如数字、字符或符号）的查询表可以使代码更加易读。例如，如果要在 LCD 上显示数字，则创建一个查询表来包含要写入 LCD 存储寄存器的值，以显示数字 0-9。在以下代码段使用查询表，显示数字的写入操作如下：`DL_LCD_writeMemory(LCD, memIdx, displayData);`

```
//lookup table for digits on LP-MSPM0L2228 segmented LCD
const char digit[10][4] = {
    {0x07, 0x09, 0x08, 0x0A}, /* "0" LCD segments a+b+c+d+e+f+k+q */
    {0x00, 0x00, 0x00, 0x0A}, /* "1" */
    {0x03, 0x0A, 0x00, 0x0C}, /* "2" */
    {0x01, 0x0A, 0x00, 0x0E}, /* "3" */
    {0x04, 0x02, 0x00, 0x0E}, /* "4" */
    {0x05, 0x0A, 0x01, 0x00}, /* "5" */
    {0x07, 0x0A, 0x00, 0x06}, /* "6" */
    {0x00, 0x08, 0x00, 0x0A}, /* "7" */
    {0x07, 0x0A, 0x00, 0x0E}, /* "8" */
    {0x05, 0x0A, 0x00, 0x0E}, /* "9" */
};
DL_LCD_writeMemory(LCD, memIdx, displayData);
```

5.2.2 使用 #defines

由于 MSPM0 MCU 上的 LCD 存储器映射到特定的 MSPM0 LCD 引脚，这些引脚又连接到 LCD 显示屏上不同的引脚，因此存储器到引脚映射优势很难判断在代码中写入哪个 LCD 存储器可以在显示屏的特定位置显示特定字符。一种实用的方法是为 LCD 创建 #defines，从而通过键入要设置的具体 LCD 显示引脚即可参考正确的 LCD 存储器。例如，根据板上的引脚连接，使用 4 个 Sx 引脚设置 LCD 数据表上位置 1 的全部数字。借助 define gLCDPinPositionx，当代码需要在位置 1 上显示数字时，软件可以直接在显示屏上的 gLCDPinPosition1 位置写入数字，使工程师能够更轻松地编写和理解代码。

```
//lookup table for digits on LP-MSPM0L2228 segmented LCD
typedef struct {
    uint32_t pin1;
    uint32_t pin2;
    uint32_t pin3;
    uint32_t pin4;
} LCD_pin;

/* Onboard LCD positions 1-6 */
LCD_pin gLCDPinPosition1;
LCD_pin gLCDPinPosition2;
LCD_pin gLCDPinPosition3;
LCD_pin gLCDPinPosition4;
LCD_pin gLCDPinPosition5;
LCD_pin gLCDPinPosition6;
```

5.2.3 高效清除 LCD 存储器

LCD 模块支持使用单个位来清除 LCD 存储器。可以使用单个指令通过 LCDCLRM (清除 LCDM 存储器) 或 LCDCLBDM (清除 LCDBM 存储器) 来清除整个 LCD 存储器 - 在 LCDCLRM 置位后，所有 LCD 显示存储寄存器均将在下一帧边界被清除。在存储寄存器被清除之后，LCDCLRM 复位，因此可以轮询 LCDCLRM 以查看清除完成的时间。LCDCLBDM 以相同方式实现相同的功能，不过 LCDCLBDM 清除的是闪烁存储寄存器。

清除功能对于高效清除整个屏幕和所有存储器寄存器很有用。因此，应为更新整个显示屏做好准备，因为代码必须只写入新显示数据中使用的存储寄存器，而不必也手动清除未使用段对应的其他寄存器。

5.2.4 使用双显示存储器双重缓冲显示缓冲器

如节 4.4.2 中所述，未选择闪烁模式时，请将 LCD 模块上的闪烁存储器用作第二显示存储器。要选择当前要显示的存储器 (LCD 存储器或者闪烁存储器)，只需将 LCDMEMCTL.LCDDISP 位设置为 0 或者 1。双显示存储器功能的优势在于可以立即更新所有 LCD 段，以在屏幕上显示新消息或图像。随着时间的推移，会对当前未使用的显示存储器进行更改，而不影响当前显示输出。在整个存储器中填充所需数据后，通过切换 LCDMEMCTL.LCDDISP 位，可以一次性更改显示。

使用此方法，可以使用较慢的 MCLK (有时为了满足低峰值流耗要求)，或者当 CPU 忙于处理其他中断，仍然可以填充该显示缓冲器，而不会在显示屏上显示任何不完整的图像。

典型流程如下：

1. 使用所需数据填充当前未显示的显示存储器。
2. 切换 LCDMEMCTL.LCDDISP 位来改变要显示的存储器。
3. 转到步骤 1 来处理下一个图像。

双显示存储器提供的另一项功能是通过将闪烁模式设置为 `LCDBLKCTL.LCDBLKMODx = 3`，能够使硬件在两个显示存储器之间自动进行切换。在闪烁模式下，LCD 以所配置的闪烁频率在两个存储器之间切换。对于无法在屏幕上完整显示的长串文本或信息，闪烁模式非常实用；可以在每个存储器中装载部分字符串，然后设置闪烁模式来实现自动在这两个存储器之间切换而无需软件干预。

例如，在一块显示 6 个字母数字字符的显示屏上，消息“Hello World”可以通过以下方法来显示：加载 LCD 存储寄存器来显示“Hello”并加载 LCD 闪烁存储寄存器来显示“World”，设置 `LCDBLKCTL.LCDBLKMODx = 3`，并将闪烁频率配置为较慢的频率，例如 1Hz，以方便用户阅读该消息。在此情况下，不使用任何额外的软件干预，显示屏即可连续显示“Hello”1 秒然后显示“World”1 秒。

6 其他资源

1. 德州仪器 (TI)，[MSPM0 L 系列 32MHz 微控制器技术参考手册](#)
2. 德州仪器 (TI)，[LP-MSPM0L2228 LaunchPad](#)
3. 德州仪器 (TI)，[LP-MSPM0L2228 软件](#)，开箱即用软件
4. 德州仪器 (TI)，[MSPM0-SDK](#)，软件开发套件

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