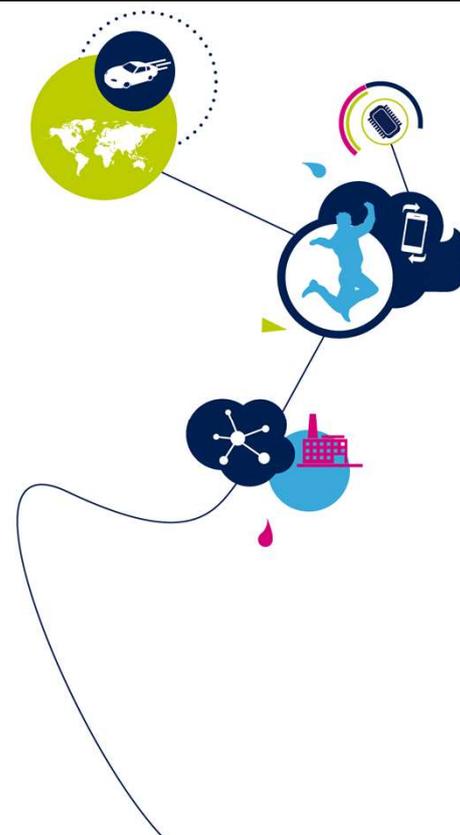


STM32WB – 超低電力 LCD

液晶ディスプレイ(LCD)コントローラ

1.0 版



こんにちは。STM32WB 液晶ディスプレイ(LCD)コントローラのトレーニングモジュールへようこそ。このコントローラは、家電、医療、自動車、工業など、幅広いアプリケーションで、多数のピクセルで構成される画像、英数字シンボルの組み合わせ、または数字、ベル、バッテリー残量シンボル、矢印、アンテナ、進捗状況バーなど、事前定義の各種の有用なシンボルの組み合わせを表示できます。



- 外部のモノクロパッシブ LCD パネルとのインタフェースを提供
 - 詳細な設定が可能
 - 最大 176 (44x4) または 320 (40x8) LCD セグメントを駆動可能
 - 低電力モードの完全サポート

アプリケーション側の利点

- 組み込みの低コストソリューション
- 外部アナログコンポーネントが不要
- 外部ドライバのため、余分な消費電力なし
- 高負荷 LCD ディスプレイの駆動に最適



STM32WB 製品に内蔵されている LCD コントローラは、外部のセグメント化 LCD パネルを駆動するための制御インタフェースを提供します。このインタフェースは詳細な設定が可能であり、現在市販されている既存のモノクロパッシブ LCD パネル (最大 320 セグメント) を容易に制御できます。

STM32WB により、LCD コントローラは、あらゆる低電力モードで動作できますが、STANDBY および SHUTDOWN モードではオフになります。

アプリケーションにとって、外部コントローラも外部アナログコンポーネントも必要としない組み込みの低コストソリューションとなります。すべての中間電圧を専門に生成する V_{LCD} 電圧および抵抗回路網を供給するステップアップコンバータが、コントローラの両側にあります。内蔵コントローラの利点は、外部コントローラからの余分な消費電力を必要としないことと、STM32WB の超低電力モードを完全にサポートして、高い電力効率を実現できることです。柔軟で高レベルな駆動能力により、容量性負荷が高いものも含め、幅広い LCD ディスプレイをサポートできます。

- LCD ディスプレイは、可視または不可視の複数のセグメント(ピクセルまたは完全な記号)で構成されます。
- 各セグメントは 2 つの電極(1 つの COM 端子と 1 つの SEG 端子)間に揃えられた液晶分子で構成されます。これはコンデンサに相当します。
- 閾値電圧より大きな電圧が液晶の両端に印加されると、セグメントは可視になります。
- DC 電流を避けるためにはセグメントの波形が交互でなければならず、そうしないと LCD の寿命が短くなることがあります。



LCD ディスプレイは、可視または不可視の複数のセグメント(ピクセルまたは完全な記号)で構成されます。

各セグメントは 2 つの電極(1 つの COM 端子と 1 つの SEG 端子)間に揃えられた液晶分子で構成されます。これはコンデンサに相当します。

閾値電圧より大きな電圧が液晶の両端に印加されると、セグメントは可視になります。

DC 電流を避けるためにはセグメントの波形が交互でなければならず、そうしないと LCD の寿命が短くなることがあります。

- 柔軟性の高いフレームレート制御
- プログラム可能なデューティとバイアス
 - デューティ: 静的、1/2、1/3、1/4、1/8 [1/<COM端子の数> として定義]
 - バイアス: 静的、1/2、1/3、1/4、[1/<使用される電圧レベルの数 -1> として定義]
- 中間電圧レベルを生成するためのデュアル駆動抵抗回路網
- 内蔵電圧出力バッファ

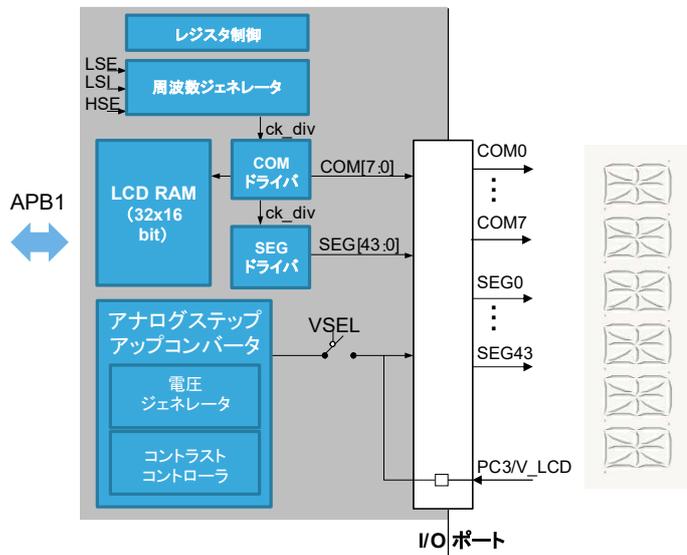


LCD コントローラは、幅広い LCD ディスプレイを制御するための、詳細にプログラム可能なインタフェースを提供します。柔軟な周波数発生器により、フレーム周波数のスケールリングと微調整が容易です。LCD コントローラは、いくつかのデューティ比とバイアスレベルをサポートして、幅広い LCD ディスプレイ特性に対応します。抵抗回路網の構造はソフトウェアによって設定可能であり、使用される LCD ディスプレイへの駆動電流に対応します。電圧出力バッファにより、容量性負荷の高い LCD ディスプレイの駆動能力を高めることができます。

- 内部と外部の VLCD 電圧ソースをソフトウェアで選択
- ダブルバッファリング
 - LCD_RAM レジスタをアプリケーションによっていつでも更新でき、表示されるデータの整合性に影響を与えない
- 未使用のセグメントとコモンピンを汎用 I/O として、またはもう 1 つの代替ペリフェラル機能に使用可能
- STANDBY モードおよび SHUTDOWN モードを除き、低電力モードを完全サポート



LCD コントローラは、アプリケーションの制約に応じて内部または外部 V_LCD 電源を使用するオプションを備えています。ダブルバッファメモリにより、ピクセル情報を含んでいる LCD_RAM レジスタをアプリケーションソフトウェアによっていつでも更新でき、表示されるデータの整合性に影響を与えません。未使用のセグメントとコモンピンを汎用 I/O として、またはもう 1 つのペリフェラルに使用できます。最後に重要なこととして、LCD コントローラは、STANDBY および SHUTDOWN モード以外のすべての STM32WB 低電力モードをサポートして、アプリケーションの電力効率を最適化します。



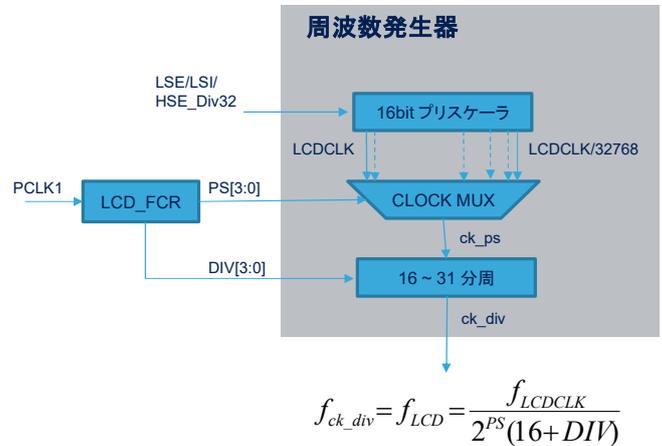
- 最大 176 (44x4) または 320 (40x8) の LCD ピクセルを駆動可能
 - 最大 8 つのコモン端子
 - 最大 44 のセグメント端子
- 追加の外部コンポーネントは不要



これは LCD コントローラのブロック図であり、LCD ディスプレイとのインタフェースも示しています。このコントローラは 176 (44x4) または 320 (40x8) の LCD ピクセルを駆動できます。LCD ディスプレイを駆動する正しいクロック周波数を生成するための周波数発生器、COM および SEG ドライバ、ピクセル情報 (アクティブ / 非アクティブ) を含む LCD RAM、およびコントラストの調整に使用されるアナログステップアップコンバータから成ります。外部コンポーネントがなくてもコントローラは機能しますが、ステップアップコンバータが使用される際には (VSEL 閉)、V_LCD に接続された外部コンデンサが必要です。

柔軟性の高いフレームレート制御

- RTCCLK と同じクロック
 - LSE、LSI、または HSE を 32 分周
- LCDCLK 入力クロックは、32kHz から 1MHz の範囲内でなければなりません
- LCDCLK は 16 ~ 215x31 の任意の値で分周可能
 - LCDCLK は 2^{PS[3:0]} で分周
 - ck_ps も 16 ~ 31 分周して、分解能を調整



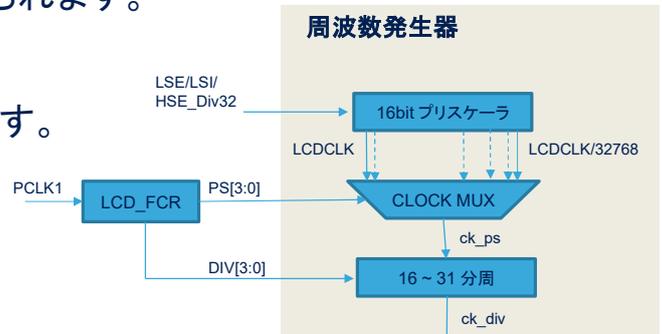
LCD コントローラは、柔軟性の高い周波数発生器が特長です。LCD クロックソースは RTC クロックと同じであり、低速外部 32.768kHz オシレータ (LSE)、低速内部 32kHz RC オシレータ (LSI)、または高速外部 32MHz オシレータ (HSE) のいずれかの 32 分周です。周波数発生器により、32kHz から 1MHz までの LCD クロックソースから開始されるさまざまな LCD フレームレートを達成できます。このクロックソースが安定していなければ、正確な LCD タイミングが得られず、LCD セグメント間の DC 電圧オフセットを最小化できません。入力クロック LCDCLK は、16 から $2^{15} \times 31$ までの値で分周できます。この周波数発生器は、プリスケアラ (16bit リップルカウンタ) と 16 ~ 31 のクロック分周器で構成されます。LCDCLK は、まず、 $2^{PS[3:0]}$ で分周されます。よりきめ細かな分解能が必要な場合は、DIV[3:0] bit を使用して、クロックをさらに 16 ~ 31 分周できます。このように周波数を大まかに調整した後、クロックをカウンタで直線的に調整することによって微調整できます。周波数発生器の出力 (f_{ck_div}) は、LCD コントローラ全体のタイムベースを形成します。LCD 位相周波数に相当します。

柔軟性の高いフレームレート制御

- フレーム周波数(f_{Frame})は fLCD から得られます。
- 一般的なフレーム周波数は～30Hz から～100Hz までの範囲内である必要があります。
 - 低い周波数が使用された場合、LCD はちらつきます。
 - 高い周波数が使用された場合、消費電力が増加します。

フレームレートの計算例

LCDCLK	PS[3:0]	DIV[3:0]	比	デューティ	f_{Frame}
32.768kHz	3	1	136	1/8	30,12Hz
32,768kHz	4	6	352	1/3	31,03Hz
32,768kHz	2	4	80	1/4	102,4Hz
1,00MHz	6	3	1216	1/8	102,80Hz



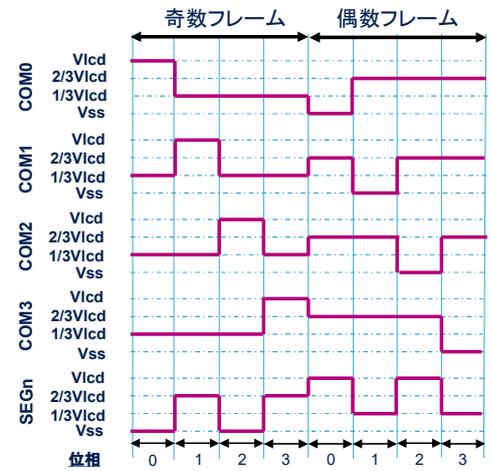
$$f_{ck_div} = f_{LCD} = \frac{f_{LCDCLK}}{2^{PS}(16 + DIV)}$$

$$f_{Frame} = f_{LCD} * duty$$



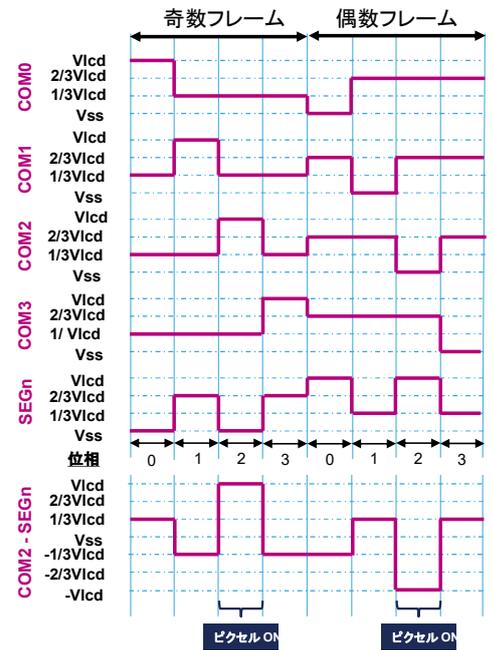
フレーム周波数(f_{Frame})は、 f_{ck_div} (f_{LCD}) をアクティブなコモン端子の数で除算して(またはデューティ比を乗算して)求められます。一般的なフレーム周波数は、約 30～100Hz の範囲内で選択される必要があります。選択される周波数は、ちらつきを避ける許容可能なリフレッシュレートと、周波数とともに増加する消費電力の間で妥協しなければなりません。次の表は、異なる LCDCLK 周波数について PS[3:0] および DIV[3:0] 値を指定することによるフレームレート計算の例を示しています。

- タイプ B の波形は、ODD フレームとその後に続く EVEN フレームで構成されます。
- すべての COM 信号が同一の波形を持ちますが、EMI を減らすために異なる位相を持ちます。
- COM[X] は、フレームサイクルの位相 X でのみ最大振幅 (VLCD または VSS) を持ちます。
 - COM[X] = 奇数フレームの位相 X で VLCD
 - COM[X] = 偶数フレームの位相 X で VSS



LCD コントローラはタイプ B のフレームフォーマットを生成し、これは 2 つの奇数および偶数フレームにわたって 0V DC を維持します。すべての COM 信号が同一の波形を持ちますが、電磁妨害を減らすために異なる位相を持ちます。COM[X] は、フレームの位相 X でのみ最大振幅を持ちます。つまり、奇数フレームでは V_LCD、偶数フレームでは V_SS です。

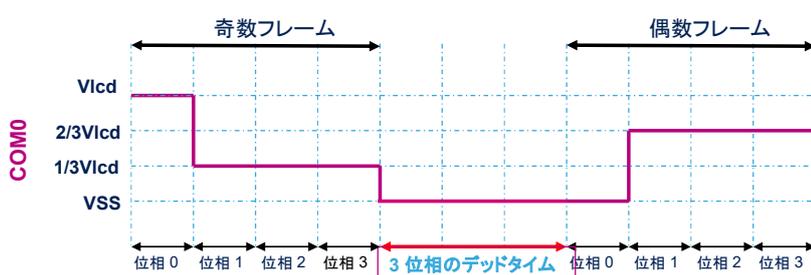
- 他の位相での信号振幅は次のとおりです。
 - 1/4 バイアスの場合、 $1/4V_{LCD}$ または $3/4V_{LCD}$
 - 1/3 バイアスの場合、 $1/3V_{LCD}$ または $2/3V_{LCD}$
 - 1/2 バイアスの場合、 $1/2V_{LCD}$
- セグメント端子は多重化され、それぞれが最大 8 画素を制御します。
- COM2 に接続された pixel[n] をアクティブ化するには、SEGn は以下のとおりでなければなりません。
 - 奇数フレームの位相 2 で非アクティブ (VSS)
 - 偶数フレームの位相 2 でアクティブ (VLCD)



その他の位相では、信号振幅は、1/4 バイアスが選択された場合、 $1/4V_{LCD}$ または $3/4V_{LCD}$ 、1/3 バイアスが選択された場合、 $1/3V_{LCD}$ または $2/3V_{LCD}$ 、1/2 バイアスが選択された場合、 $1/2$ です。各セグメント端子は多重化されます。選択されたデューティ比に応じて、それぞれが最大 8 画素を制御できます。この例で示されている 1/4 のデューティ比の場合、1 つのセグメント端子に 4 つのコモン端子が関連付けられるため、4 画素を制御できます。多重化率が高いほど、特定の数のセグメント端子で駆動できるセグメント、つまり画素が多くなります。たとえば、COM2 に接続されたピクセル [n] をアクティブにするには、SEGn は奇数フレームの位相 2 では非アクティブ (V_{SS})、偶数フレームの位相 2 ではアクティブ (V_{LCD}) でなければなりません。実際、ピクセルは、対応する SEGn ラインが COM ライン (この例では COM2) と反対の電圧の場合にアクティブであり、電圧が等しいときには非アクティブです。結果として、COM2 と SEGn の間に印加される電圧 (COM2 - SEGn 波形で見られます) は、奇数フレームの位相 2 では $+V_{LCD}$ であり、偶数フレームの位相 2 では $-V_{LCD}$ です。

コントラストは2つの方法で調整可能

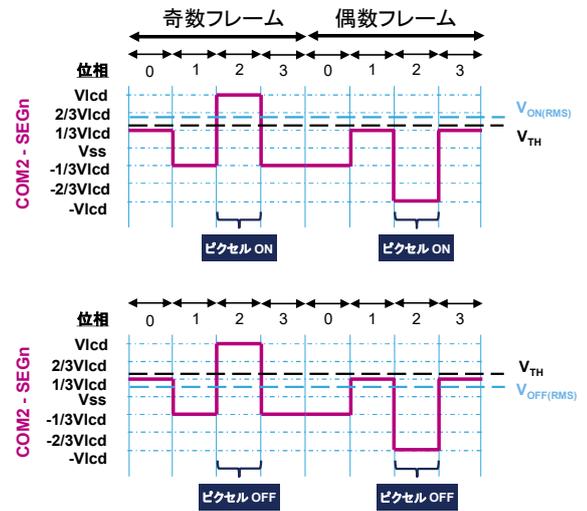
- 方式 1
 - 内部電圧を使用して:ファームウェアは VLCD を 2.6V と 3.6V の間で 8 段階調整できます。
- 方式 2
 - 外部電圧供給を使用して:COM および SEG 値が同時に VSS に結び付けられる各フレームカップル間のデッドタイム(最大 8 位相周期)をプログラミングすることによって調整できます。



LCD コントローラは柔軟性の高いコントラスト制御を提供します。コントラストを調整するための方法は、LCD の供給元によって異なります。ステップアップコンバータが VLCD ソースとして選択されたときには、 V_{LCD} 値は、2.6 ボルトから 3.6 ボルトまでの幅広い値のセットから選ぶことができ、LCD_FCR レジスタのコントラスト制御ビットで選択できます。ただし、外部 LCD 供給元を使用するときには、コントラストレベルはプログラム可能なデッドタイムを使用して調整され、両方ともアクティブな COM および SEG 端子は、各奇数フレームと各偶数フレーム間に同時に V_{SS} に結び付けられます。結果として、フレーム全体(奇数+偶数)の LCD RMS 電圧は下がり、コントラストが低くなります。もちろん、デッドタイム周期が長いほど、コントラストは低くなります。

コントラストレベルは選択されたデューティ比に依存

- LCD セグメントを ON にするには
 - $V_{ON(RMS)}$ は V_{TH} (LCD 閾値電圧) より高くなければなりません。
- コントラストレベルは以下に依存
 - $V_{ON(RMS)}$ と $V_{OFF(RMS)}$ の差
 - $V_{ON(RMS)}$ 対 V_{TH} のレベル
- $V_{ON(RMS)}$ と $V_{OFF(RMS)}$ はデューティ比に依存します。
 - デューティ比が低いほど、光学的コントラストは高くなります。



$$D = \frac{V_{ON(RMS)}}{V_{OFF(RMS)}}$$

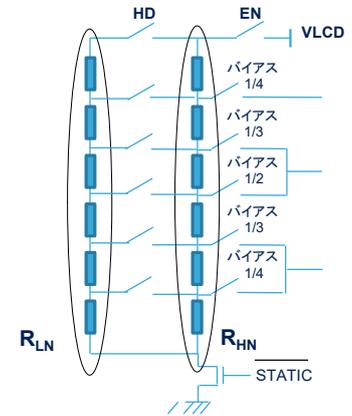


LCD ディスプレイは、電圧レベルの二乗平均平方根 (RMS) に敏感です。セグメントを ON にするには、このセグメントに印加される RMS 電圧は (この例では、COM2 と SEGn の電位差) は LCD ディスプレイの閾値電圧 (V_{TH}) より高くなければなりません。LCD 閾値電圧は、LCD パネルに使用される液晶の品質と温度に依存します。参考までに、光学的コントラストは、ON (暗い) の LCD セグメントと OFF (透明) の LCD セグメントの透明度の差によって定義されます。言い換えると、LCD セグメント ON の RMS 電圧 ($V_{ON(RMS)}$) と LCD セグメント OFF の RMS 電圧 ($V_{OFF(RMS)}$) の差によって定義されます。 $V_{ON(RMS)}$ と $V_{OFF(RMS)}$ の差が大きいほど、光学的コントラストは高くなります。同様に、コントラストは $V_{ON(RMS)}$ のレベル対 LCD 閾値電圧にも依存します。 $V_{ON(RMS)}$ と V_{TH} の差が大きいほど、光学的コントラストは高くなります。

ただし、 $V_{ON(RMS)}$ と $V_{OFF(RMS)}$ は LCD ディスプレイの駆動に使用されるマルチプレクス比 (またはデューティ比) に直接関連します。LCD ディスプレイの駆動に必要な COM 端子の数が増えると、判別比 (D) (LCD ディスプレイが達成できるコントラストレベル) は下がります。これは、 $V_{ON(RMS)}$ と $V_{OFF(RMS)}$ の分離が減り、コントラストが低下するためです。結果として、より高いコントラストと、 $V_{ON(RMS)}$ と $V_{OFF(RMS)}$ のより高い分離を提供するには、マルチプレクス比が増加したときには、LCD 電圧を高める必要があります。セグメントとコモン端子の点で、LCD コントローラ設定が LCD ディスプレイのニーズに一致することを確認してください。そうしないと、コントラストが低くなる可能性があります。

駆動レベルと消費電力の最適化の間のトレードオフ

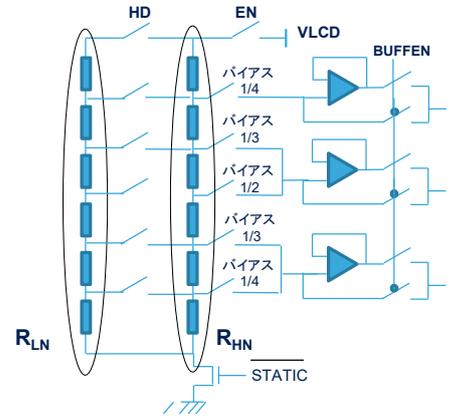
- LCD 電圧の生成
 - 内蔵のステップアップコンバータを使用
 - 外部からVLCD ピンに電源を接続
- 抵抗回路網は中間電圧レベルを生成するために使用
 - RLN は遷移時の電流を増加
 - RHN は静的状態での電力消費を削減



LCD コントローラでは、電源は、内部ステップアップコンバータから、または V_{LCD} ピンに印加される外部電圧ソースから得ることができます。ステップアップコンバータが V_{LCD} ソースとして選択されたときには、 V_{LCD} 値は、 VDD 値とは無関係に、 LCD_FCR レジスタのコントラスト制御ビットで選択できます。外部ソースが選択された場合、内部ブースト回路（ステップアップコンバータ）は自動的に無効になり、消費電力を削減します。いずれの場合も、コモンおよびセグメント波形に必要な中間電圧レベルは、抵抗回路網によって生成されます。高駆動能力のための低値レジスタ (R_{LN}) と、低駆動能力のための高値レジスタ (R_{HN}) は、それぞれ、遷移時に電流を増加するためと、静的状態の消費電力を削減するために使用されます。 R_{LN} 分周器は、高駆動抵抗ブリッジが閉じているときに有効です。高駆動抵抗ブリッジは、 HD ビットがセットされているときには永続的にオンにでき、または、Pulse ON 期間 (PON) 機能により短時間だけオンにできます。PON ビットは、コモンおよびセグメントラインのレベルが変わるたびに、 HD スイッチを通じて、 R_{LN} が有効な時間を設定します。

高い容量性負荷に最適

- 高負荷 LCD パネルを駆動可能
 - LCD 容量性負荷が許容できないほど抵抗ブリッジに負荷をかけるのを防止
 - 高駆動抵抗ブリッジがなくても、信号形状および VRMS が改善
- 低消費電力バッファ
- VLCD 電源から独立



この柔軟な LCD 駆動機能を補うのが低電力電圧出力バッファであり、非常に高い容量性負荷を駆動する LCD コントローラの能力も補強します。これらのバッファは、各遷移時の出力コンデンサ(ピクセル)の充放電を増加することにより、LCD 容量性負荷が許容できないほど抵抗ブリッジに負荷をかけるのを防止します。このように、電圧ノードが非常に安定しているため(電圧降下がない)、信号形状と RMS 電圧値が大幅に向上します。

これらのバッファの消費電力は最適化されています。静的フェーズでの消費は無視できる程度ですが、遷移時の LCD 負荷によって必要とされる必要電流の供給には非常に反応性が高いです。消費電力をさらに削減するために、バッファが有効なときには、中間電圧は R_{HN} によって生成されます。HD ビット または PON ビットの設定に関係なく、 R_{LN} は自動的に無効化されます。出力バッファは、選択された LCD 電源(内部または外部)に関係なく使用できます。

割り込みイベント	説明
フレーム開始	新しいフレームが開始するたびにセットされます。
ディスプレイ更新終了	表示の更新のために新しい LCD_RAM データが 2 番目のバッファレベルに移動されるとセットされます。この操作は次のフレームの始めに同期して行われます。

- デバイスが STOP モードの場合 (PCLK が供給されない)、ディスプレイ更新終了割り込みイベントは発生しません。



2 つの割り込みイベントは、LCD コントローラとともに使用できます。これらは、同じ割り込みベクタを共有します。フレーム開始割り込みは、同期ソフトウェアイベントを容易にするために、新しいフレームが開始するたびにセットされます。ディスプレイ更新終了割り込みは、ディスプレイの更新のために新しい LCD_RAM データが 2 番目のバッファレベル (LCD_DISPLAY) に移動されるとセットされます。この操作は次のフレームの始めに同期して行われます。

モード	説明
RUN	アクティブ
SLEEP	アクティブ。ペリフェラル割込みによって、デバイスは SLEEP モードを終了します。
低電力 RUN	アクティブ
低電力 SLEEP	アクティブ。ペリフェラル割込みによって、デバイスは低電力 SLEEP モードを終了します。
STOP 0 / STOP 1	停止。ペリフェラルレジスタの内容は保たれます。
STOP 2	停止。ペリフェラルレジスタの内容は保たれます。
STANDBY	パワーダウン状態です。ペリフェラルは、STANBY モード終了後に再初期化する必要があります。
SHUTDOWN	パワーダウン状態です。ペリフェラルは、STANBY モード終了後に再初期化する必要があります。



LCD コントローラはすべての STM32WB 低電力モードをサポートして、消費電力を非常に効率的にします。STANDBY および SHUTDOWN モードでは、コントローラはオフです。

- このペリフェラルに関する次のトレーニングモジュールを参照ください：
 - LCD コントローラのクロックソースの詳細については、リセットおよびクロックコントローラ(RCC)
 - LCD コントローラの割込みのマッピングの詳細については、割込み
 - LCD コントローラのセグメントおよびコモンラインと VLCD ピンの詳細については、汎用 I/O (GPIO)
 - LCD コントローラの低電力モードの説明については、電源コントローラ(PWR)



LCD インタフェースにリンクされる、以下のペリフェラルのトレーニングモジュールを参照してください。

LCD コントローラのクロックソースの詳細については、リセットおよびクロックコントローラ(RCC)。

LCD コントローラの割込みのマッピングの詳細については、割込み。

LCD コントローラのセグメントおよびコモンラインと VLCD ピンの詳細については、汎用 I/O (GPIO)。

LCD コントローラの低電力モードの説明については、電源コントローラ(PWR)。