



こんにちは。このプレゼンテーションでは、STM32U5 のリセットおよびクロックコントローラ(または RCC)について説明します。

主な機能

内部クロックソース (6 個)

16 MHz のハイスピード内部 RC オシレータ (HSI16)
システムクロック用およびペリフェラルカーネルクロック (MSIS および MSIK) 用のマルチスピード内部 RC オシレータ
32 kHz のロースピード内部 RC オシレータ (LSI)
48 MHz のハイスピード内部 RC オシレータ (HSI48)
SAES 専用の 48 MHz のセキュアなハイスピード RC オシレータ (SHSI)

外部オシレータ (2 個)

クロックセキュリティシステム付きで 4 ~ 50 MHz のハイスピード外部オシレータ (HSE)
クロックセキュリティシステム付きで 32.768 kHz のロースピード外部オシレータ (LSE)

PLL (3 個、独立出力各 3 個付き)



Life. augmented

2

STM32U5 リセットおよびクロックコントローラは、システムクロックとペリフェラルクロックを管理します。

STM32U5 マイクロコントローラには、6 個の内部オシレータ、外部クリスタルまたは共振子用の 2 個のオシレータ、および 3 個のフェーズロックループ (PLL) が内蔵されています。

多くのペリフェラルには、システムクロックから独立した固有のクロックがあります。

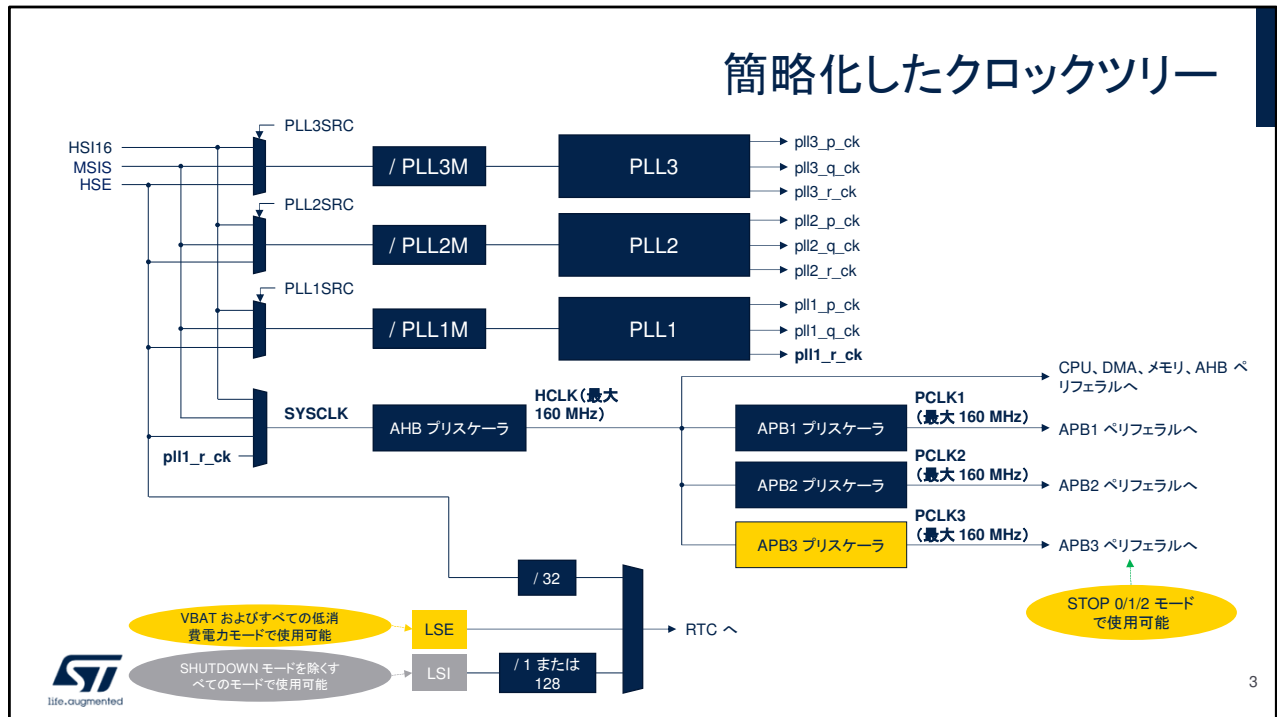
RCC は、デバイスに存在するさまざまなリセットも管理します。

STM32U5 RCC では、選択したクロックソースに高い柔軟性を与えることができますので、システム設計者は消費電力と精度の両方の要件を満たすことができます。

多数の独立したペリフェラルクロックにより、設計者は通信ボーレートに影響を与えることなくシステムの消費電力を調整でき、一部のペリフェラル低消費電力モードでアクティブに保つことができます。

一部のペリフェラルは自律モードをサポートしています。これらは、STOP モードでもステータスレジスタを操作し、更新するために、必要に応じてカーネルクロックリクエストと AHB/APB バスクロックリクエストを生成できます。

簡略化したクロックツリー



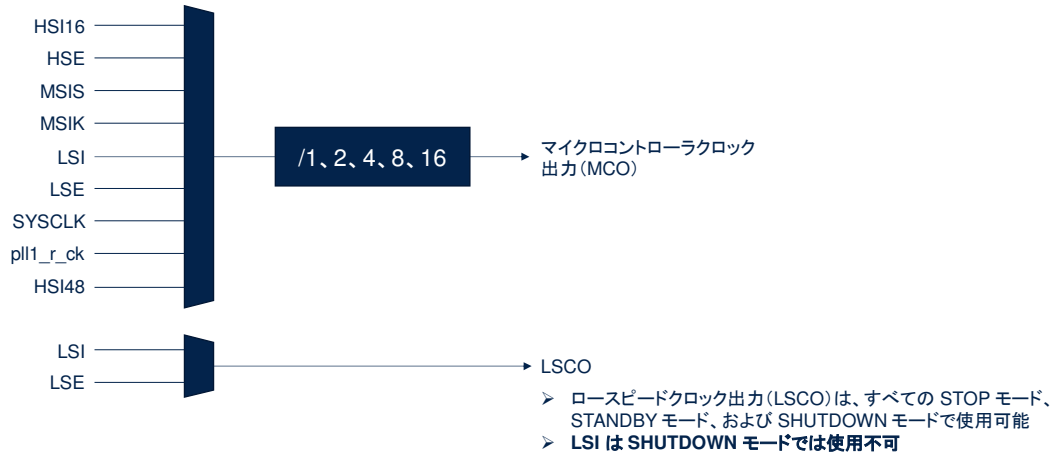
システムクロックは、16 MHz のハイスピード内部 RC オシレータ(HSI16)、4 ~ 50 MHz のハイスピード外部オシレータ(HSE)、マルチスピードオシレータシステム(MSIS)、または PLL1 の pll1_r_ck 出力のから生成できます。HCLK と呼ばれる AHB クロックは、システムクロックをプログラム可能なプリスケラで分周することによって生成されます。

PCLK1、PCLK2、および PCLK3 と呼ばれる APB クロックは、プログラム可能なプリスケラによって AHB クロックを分周することによって生成されます。RTC クロックは、32.768 kHz のロースピード外部オシレータ(LSE)、32 kHz のロースピード内部 RC オシレータ(LSI)、または 32 分周された HSE によって生成されます。この選択は、バックアップドメインをリセットしない限り変更できません。

LSE は、すべての低消費電力モードおよび VBAT モードで有効のままにすることができます。

LSI は、SHUTDOWN と VBAT モードを除くすべてのモードで有効のままにすることができます。

クロック信号出力



- LSI クロック周波数は、RCC バックアップドメイン制御レジスタ (RCC_BDCR) の LSIPREDIV ビットに応じて、32 kHz または 250 Hz



4

I/O パッドからは、さまざまなクロックを出力できます。

マイクロコントローラクロック出力機能は、HSI16、HSE、MSI システム、MSI カーネル、LSI、LSE、SYSCLK、pll1_r_ck、および HSI48 の 9 個のクロックのいずれかの外部出力を有効にします。

ロースピードクロック出力機能は、ロースピード出力クロックまたは LSCO パッドに出力される、LSI または LSE クロックの外部出力を有効にします。この出力は、すべての STOP モード、STANDBY モード、および SHUTDOWN モードで使用できますが、VBAT モードでは使用できません。

LSI は SHUTDOWN モードでは使用できず、LSI 周波数 (32 kHz または 250 Hz) は制御レジスタを介して選択できることに注意してください。250 Hz を選択すると、消費電力を削減できます。

HSE、HSI16、HSI48、SHSI、LSI



HSE: 4 ~ 50 MHz
HSI への自動切り替え付きの CSS



HSI16: ユーザトリミング付きの 16 MHz の内部 RC

ウェイクアップからの STOP クロックソースとして、また STOP 0、1、2 モード (RCC_CFGR1_STOPWUCK=1) 中にも使用できます。



HSI48: USB (CRS 付き OTG_FS)、SDMMC、および RNG に使用されている 48 MHz オシレータ

レンジ 4 で使用する場合の RNG のオプションの 2 分周



SHSI: SAES 専用のカーネルクロック、48 MHz +/- 15% ジッタ



LSI: 32kHz または 250kHz、RCC_BDCR LSIPREDIV によって選択

SHUTDOWN モードを除くすべての電力モードと VBAT モードで使用可能



5

このスライドでは、5 つのオシレータの機能について説明します。

- 安全なクリスタルシステムクロックを提供するハイスピード外部オシレータ。

HSE は、4 ~ 50 MHz の外部クリスタルまたはセラミック振動子に加え、バイパスモードの外部ソースをサポートしています。

クロックセキュリティシステムは、HSE の障害を自動的に検出します。この場合、ノンマスカブル割込みが生成され、モータ制御などの重要なアプリケーションを安全な状態にするために、タイマにブレーク入力を送信できます。HSE の障害が検出されると、システムクロックは内部オシレータ (HSI16 または MSIS) に自動的に切り替えられます。これにより、クリスタル振動子に障害が発生した場合でもアプリケーションソフトウェアは停止しません。

- 1% の精度と高速ウェイクアップ時間を提供する、16 MHz の RC オシレータであるハイスピード内部オシレータ。 HSI16 は、生産試験中にトリミングされますが、温度や電圧の変化を考慮するためにユーザがトリミングすることもできます。

HSI16 は、システムクロックとして使用されないときにペリフェラルが使用できるよう、STOP モード終了時に自動的にウェイクアップすることができます。

- 48 MHz の内部 RC オシレータから生成される HSI48。

48 MHz は USB モジュールの標準周波数です。

HSI48 は、RNG および SDMMC モジュールのリファレンスクロックとして使用することもできます。

HSI48 は、USB フレーム開始パケット、LSE、または外部信号の受信によって周波数を動的に調整する、特殊なクロックリカバリシステム (CRC) 回路に関連付けられています。

- セキュアな AES コプロセッサ (SAES) を駆動する 48 MHz のセキュアなハイスピード内部 SHSI オシレータ。

- 独立型ウォッチドッグ固有のクロックであり、RTC のクロックである場合もあるロースピード内部 (LSI) オシレータ。すべての STOP および STANDBY モードで動作を続けることができます。

クロック周波数は 32 kHz または 250 Hz です。独立型ウォッチドッグを使用する場合は、32 kHz 動作が選択され、強制的にオンになります。

HSI16 ターゲットの電気特性

パラメータ	状態	最小値	典型的な値	最大値	単位
周波数	VDD=3 V、TA=30 ° C	15.92	16	16.08	MHz
	TJ = -10 ° C ~ 100 ° C、1.58 ≤ VDD ≤ 3.6 V	15.84	-	16.16	
	TJ = -40 ° C ~ 130 ° C、1.58 ≤ VDD ≤ 3.6 V	15.65		16.25	
ユーザトリミングステップ		18	29	40	kHz
起動時間			2.5	3.6	μs
安定時間	ターゲット周波数 1% 時		4	6	
消費電力			150	210	μA



6

この表は、HSI16 オシレータの機能を示しています。値は STM32U585xx データシートの DS13086 リビジョン 0.3 を参照しました。

30 °C での動作、ならびに -10 から +100 °C の温度範囲での動作について、最小周波数、標準周波数、および最大周波数が示されています。

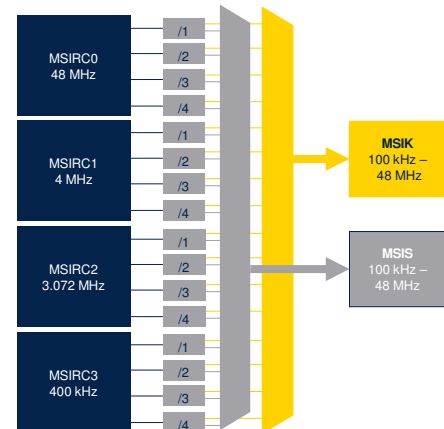
29 kHz の標準的なステップにより、アプリケーションで HSI16 周波数をトリミングできます。

起動時間と安定時間も示しています。HSI16 は HSE クリスタルオシレータよりも起動時間が短いことに注意してください。

最後に、この表は HSI16 の標準および最大消費電力を示していません (HSI16 は、HSION ビットを使用してスイッチをオフにできることを考慮)。

MSI (MSIK および MSIS) - 概要

- 100 kHz ~ 48 MHz の 16 個の周波数
 - MSI は 4 つの RC オシレータで構成されている
 - 各 MSIRCx は 1、2、3、または 4 分周を行うプリスケラに供給される
 - オーディオ周波数の 3.072MHz RC
 - 各 MSIRCx にユーザトリミングコードがある
- 2 つの出力クロックを生成:
 - **MSIS**: システムクロックとして選択可能
 - **MSIK**: 一部のペリフェラルがカーネルクロックとして選択可能
 - MSIS および MSIK の周波数は、RCC_ICSCR1[MSISRANGE,MSIKRANGE] によって個別に選択される



7

STM32U5 は、MSI システム (MSIS) と MSI カーネル (MSIK) という 2 つのマルチスピード内部オシレータをサポートします。MSIS は、PLL の入力クロックとして選択できるオシレータの 1 つです。

MSIK はシステムクロックから独立したクロックを生成するため、固定クロックを必要とするペリフェラルに便利ですが、システムクロックは動的な電圧および周波数のスケールリングによって時間の経過とともに変化します。

MSI は、4 つの内部 RC オシレータで構成されています。48 MHz の MSIRC0、4 MHz の MSIRC1、3.072 MHz の MSIRC2、および 400 kHz の MSIRC3 です。各オシレータは 1、2、3、または 4 分周を行うプリスケラに供給されます。

MSIS および MSIK の周波数は、制御レジスタ RCC_ICSCR1 をプログラムすることで、個別に選択します。

さらに、PLL モードで LSE と使用する場合、MSI は OTG_FS ペリフェラルで使用可能な、非常に高精度のクロックソースを提供します。

MSI (MSIK および MSIS) と MCU モードの比較

- リセットからの再起動後、STANDBY/SHUTDOWN モードからのウェイクアップ後のシステムクロック
 - リセット時または SHUTDOWN モードの終了時、MSIS および MSIK = 4 MHz
 - STANDBY モードからのウェイクアップ時の MSIS および MSIK の周波数は、1 ~ 4 MHz の範囲でソフトウェアによって選択できます。
- ウェイクアップからの STOP システムクロックとして、また STOP 0、1、2 モード (RCC_CFGR1[STOPWUCK]=0) 中にも最大 24 MHz の MSI を使用可能
- MSI モード:
 - RCC_ICSCR1[MSIBIAS]=1 (低精度/低電力) の場合、MSI はレンジ 4 のサンプリングモードおよび低消費電力モード
 - MSI は以下の場合に連続モード:
 - レンジ 1、2、3
 - レンジ 4 および低消費電力モード (RCC_ICSCR1[MSIBIAS]=0 の場合)



8

MSIS クロックは、リセットからの再起動後、および STANDBY および SHUTDOWN 低消費電力モードからのウェイクアップ後に、システムクロックとして使用されます。

リセットからの再起動後、または SHUTDOWN モード終了時、MSIS および MSIK の周波数はデフォルト値の 4 MHz に設定されます。

STANDBY モード終了時の MSIS および MSIK の周波数範囲は 1 ~ 4 MHz です。

割込みまたはウェイクアップイベントの発行によって STOP 0、1、2 モードを終了する場合、STOPWUCK ビットがセットされると、システムクロックとして HSI16 が選択されます。

STOPWUCK ビットがクリアされると、システムクロックとして MSIS オシレータが選択されます。

HSI16 がウェイクアップシステムクロックとして選択される場合、ウェイクアップ時間が短くなります。

MSI を選択すると、より高い周波数 (最大 24 MHz) でウェイクアップできます。

最後の箇条書きは、MSI モードの機能について説明しています。オルタネートモードは、PLL モードと呼ばれています。これについては、次のスライドで説明します。

MSI モードには、サンプリングと連続の 2 つのサブモードがあります。

内部レギュレータが電圧レンジ 1、2、または 3 のとき、MSI は連続モードです。

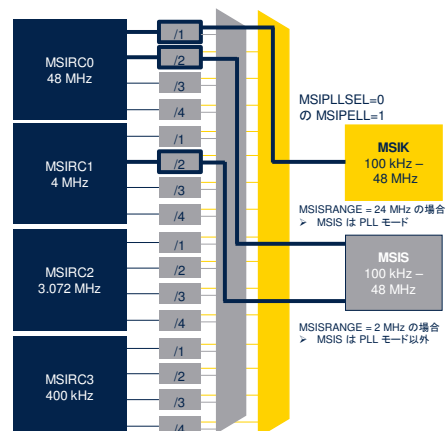
レギュレータが電圧レンジ 4 のとき、またはデバイスが STOP 1 または STOP 2 モードのとき、MSI はサンプリングモードです。

出カクロックの精度を維持するため、デフォルトでは MSI は連続モードです。

MSIBIAS ビットをセットすると、レンジ 4 の MSI の消費電力が削減されますが、精度が低下します。レンジ 4 では、このビットがセットされるとサンプリングモードが有効になります。

MSI (MSIK および MSIS) – PLL モード

- MSI-PLL モード (RCC_CR.MSIPLLEN=1) : MSIK (MSIPLLSEL=0) または MSIS (MSIPLLSEL=1) のいずれかを LSE で自動較正可能
 - 4 つの MSIRCx ソースのうちの 1 つだけが較正される
 - 同じソースを共有している場合、MSIK と MSIS の両方が較正される
- 安定時間:
 - RCC_CR.MSIPLLFAST=0
 - MSIPLLEN=1 セット後の安定時間 (LSE がすでに有効になっている場合を含む)
 - RCC_CR.MSIPLLFAST=1
 - LSE がすでに有効で、事前に安定化が行われている場合 (STOP モード終了時に有用)、MSIPLLEN=1 セット後の安定時間はほぼないが、余分な消費電力がかかる



アプリケーションに 32.768 kHz の外部オシレータが存在する場合、MSIS または MSIK を PLL モードに設定することができます。

MSIS および MSIK のレンジが同じ MSIRC ソースから生成されている場合、PLL モードは MSIS と MSIK の両方に適用されます。

PLL モード設定時、MSIS または MSIK は LSE によって自ら自動較正を行います。したがって、MSI の精度は LSE クリスタルの精度です。

48 MHz では、PLL モードの MSIK を OTG_FS デバイスに使用でき、外部ハイスピードクリスタルは不要となります。

右の図は、周波数が 24 MHz の場合に、MSIK および MSIS の MSI-PLL モードが有効であることを前提としています。この場合、MSIRC0 オシレータクロックが較正されます。MSIS に選択できる 2 番目の周波数 (2 MHz) は、MSIRC1 によって提供されるため、PLL モードは使用できません。

PLL モードで設定された MSI オシレータの安定時間は、MSIPLLFAST ビットに依存します。

このビットがゼロの場合は、0.8 ミリ秒が必要です。このビットが 1 で、LSE がすでに有効になっており、事前に安定化が行われている場合は、この時間は 2 サイクルに短縮されます。

MSI ターゲットの電気特性

パラメータ	状態	最小値	典型的な値	最大値	単位
周波数	VDD=3 V、TA=30 ° C	98.3 kHz ~ 48 MHz の 16 個の周波数			MHz
ユーザトリミングステップ			0.3		%
30° C の温度に対する周波数ドリフト	連続モード	-4		2	
	サンプリングモード MSIBIAS=1			0.2	
3V の VDD に対する周波数ドリフト	連続モード	-4		1	
周波数ドリフトのサンプリングモード	MSIBIAS=1 (レンジ 4、LP モード)			0.2	
起動時間	MSIRC0 48 MHz		13		サイクル
	その他		4		
安定時間 1%	PLL モード、MSIPLLFAS=0			0.8	ms
	PLL モード、MSIPLLFAS=1	2			サイクル

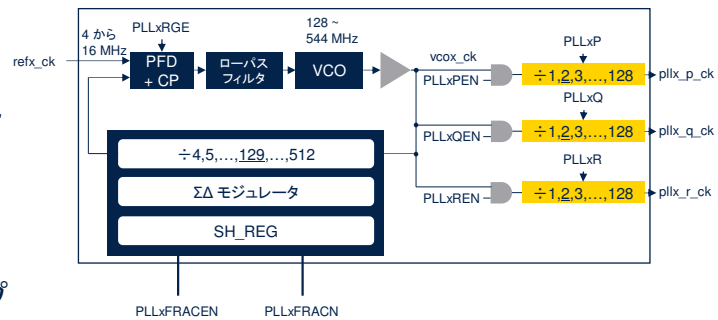


10

この表は、MSI オシレータの機能を示しています。
 周波数の最小値、標準値、および最大値は、30 °C で動作したときの値です。
 周波数の 0.3% という標準的なステップにより、アプリケーションで MSI 周波数をトリミングできます。
 温度や電圧の変化によるドリフトが表示されます。これらの変化は、校正パラメータを動的に更新するために監視できます。
 起動時間と安定時間も提供されます。

PLL

- 3つのPLL:
 - CPUおよび特定のペリフェラルのメインPLL
 - ペリフェラルのカーネルクロックのその他の2つのPLL
- 4 ~ 16 MHz の入力周波数
- 128 ~ 544 MHz のVCO
- 13ビットの分数逡倍数、動作中にプログラム可能
- 各PLLに3個の出力(VCO分周器範囲1 ~ 128)



Life. augmented

11

RCC に統合された 3 個の PLL は、完全に独立しています。

これらの入力ステージは同じで、入力クロックは HSI16、MSIS、または HSE のいずれかです。

PLL を使用して、これらのリファレンスクロックの周波数を逡倍できます。

PLL 入力周波数は 4 ~ 16 MHz である必要があり、VCO の周波数は 128 ~ 544 MHz である必要があります。

クロックマルチプレクサの後にある分周器の値は、それに応じて選択する必要があります。図の PLLxRGE パラメータを参照してください。

PLL は、STM32U5 の重要な新機能である整数モードまたは分数モードで動作することができます。

13 ビットのシグマデルタ ($\Sigma \Delta$) モジューレータでは、11 ~ 0.3 ppm のステップで VCO 周波数を微調整することができます。

$\Sigma \Delta$ モジューレータは、PLL 出力上で周波数のオーバーシュートを生成することなく、動作中に更新できます。

クロック周波数

電圧範囲	SYSCLK	MSIK/MSIS	HSI16	HSI48	SHSI	HSE	PLL 出力 (VCO 最大)
1	160 MHz	すべての範囲	許可	許可	許可	50 MHz	208 MHz* (128 から 544 MHz)
2	110 MHz	すべての範囲	許可	許可	許可	50 MHz	110 MHz (128 から 544 MHz)
3	55 MHz	すべての範囲	許可	許可	許可	50 MHz	55 MHz (128 から 330 MHz)
4	25 MHz	最大 24 MHz	許可	許可 (2 分周)	許可 (2 分周)	24 MHz	設定禁止

* 200 MHz OCTOSPI カーネルクロックを使用可能



12

この表は、電圧レンジに従って、最大周波数を示しています。
 電圧レンジ 1 では、最大性能 160 MHz のシステムクロックが得られます。OCTOSPI カーネルクロックの場合は 200 MHz の可能性があります。
 電圧レンジ 2 および 3 では、最大システム周波数はそれぞれ 110 MHz および 55 MHz です。
 電圧レンジ 4 では、最大周波数は 25 MHz であり、1 つのオシレータが提供する必要があります。
 PLL は無効です。

- 32.768 kHz の LSE (3 個のドライブ/電力レベル)
- すべての電力モードと VBAT モードで使用可能
- デフォルトで、LSE は RTC/TAMP にのみ伝達される
 - LSE が他のペリフェラル (UART、ペリフェラルトリガなど) または別の RCC 機能 (PLL モードの LSCO、MCO、MSI) で使用される場合は、RCC_BDCR[LSESYSEN]=1 をプログラムする
 - LSESYSEN=1 の場合、LSE の消費電力が増加する



32.768 kHz のロースピード外部オシレータは、外部水晶発振器または振動子、またはバイパスモードの外部クロックソースと組み合わせで使用できます。

時計／カレンダー、その他のタイミング機能のためのリアルタイムクロックペリフェラル (RTC) に、低電力ながら高精度のクロックソースを供給できるという利点があります。

オシレータ駆動機能はプログラム可能です。消費電力がわずか 350 ナノアンペアの超低電力モードから高駆動モードまで、3 つのモードを使用できます。

LSE が RTC や TAMP 以外のペリフェラルまたは機能によって使用されている場合は、LSESYSEN ビットをセットする必要があります。

LSE によってクロックすることができるペリフェラルは、USART、低電力 UART 1、低電力タイマ 2、Cortex-M33 systick、および DAC1 です。

LSE の CSS

- VBAT モードで使用可能
- クロックの損失またはオーバー周波数を検出
- 検出器 + グリッチフィルタの消費電力: 80 nA
- CSS 検出信号はタンパに接続されている
 - 割込みは TAMP 割込み
 - 注意
 - CSS 検出の場合: タンパ (SRAM2 を含む) によって保護されている機密情報には、タンパフラグがソフトウェアによってクリアされるまでアクセスできない



14

クロックセキュリティシステムが、LSE オシレータの障害を監視します。損失したクロックまたはオーバー周波数を検出します。LSE の CSS は、VBAT を含むすべてのモードで動作します。システムリセット中 (パワーオンリセットを除く) でも機能します。LSE の CSS 障害は、タンパイイベントに接続します。障害が発生した場合、アプリケーションは RTC クロックを LSI に切り替えることができます。これは自動処理されません。タンパフラグは、このタンパによって保護されている機密情報にアクセスする前に、クリアする必要があります。

ペリフェラルクロックのハイライト

ADC1、ADC4、および DAC1 クロックは、同じクロックソースを共有することで、同時変換時の VREF+ の摂動を回避する

OCTOSPI クロックは、PLL 使用時に最大 200 MHz まで使用可能

ICLK は、OTG_FS および SDMMC で使用されるクロックで、HSI48、PLL、または MSIK から選択可能



15

このスライドでは、STM32U5 クロックアーキテクチャの興味深い機能をいくつか紹介します。

まず、ADC1、ADC4、および DAC1 モジュールは、SYSCLK、HCLK、pll2_r_ck、HSE、HSI16、および MSIK を入力とするマルチプレクサの出力である同じクロックを共有します。この共有クロック構成により、同時変換の場合の VREF+ の摂動が最小化されます。

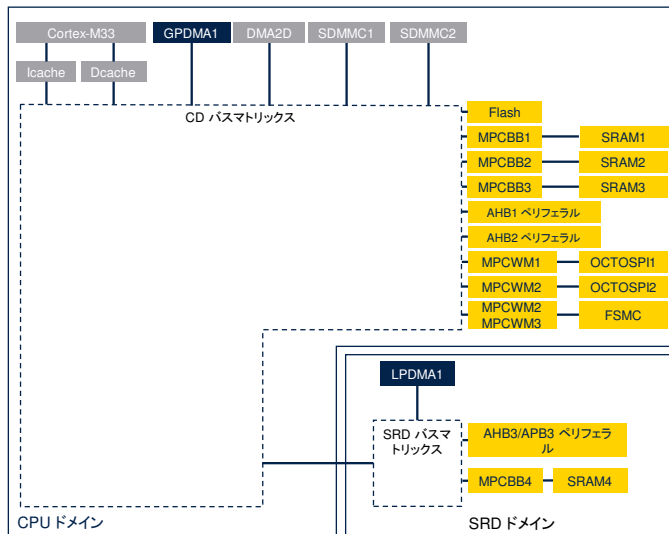
OCTOSPIx カーネルクロックは、pll1_q_ck を使用した場合、最大 200 MHz です。

このクロックは Cortex-M33 クロックより速いです。これは、コアが外部 OCTOSPI メモリからコードを実行するときに高い性能を維持するためです。

ICLK は USB OTG フルスピードモジュールのクロックで、SD MMC コントローラ用に選択可能なクロックの 1 つです (もう 1 つは pll1_p_ck)。

マルチプレクサが、ICLK のソース (MSIK、HSI48、pll1_q_ck、または pll2_q_ck のいずれか) を選択します。

CPU ドメイン (CD) および SmartRun ドメイン (SRD)



- STOP 0 および STOP 1:
 - 完全に電力が供給された CD および SRD
 - すべての自律型ペリフェラルが GPDMA1 および LPDMA1 によって機能するようになった
- STOP 2:
 - 保持された CD (低リーク電流モード)
 - 実行可能な動的な動作なし
 - 完全に電力が供給された SRD
 - SRD 自律型ペリフェラルが LPDMA1 によって機能するようになった



一部のペリフェラルは自律モードをサポートしています。これらは、マイクロコントローラが低電力 STOP モードの間はアクティブなままです。

これらのペリフェラルは、STOP モードでもステータスレジスタを操作し、更新するために、必要に応じてカーネルクロックリクエストと AHB/APB バスクロックリクエストを生成します。ペリフェラルの設定に応じて、DMA リクエストまたは割り込みをペリフェラルイベントに関連付けることができます。

自律型ペリフェラルからの AHB または APB バスクロックリクエストが発生すると、MSI または HSI16 オシレータがウェイクアップされます。

自律型ペリフェラルが DMA リクエストを有効にして設定されている場合、データ転送は AHB/APB クロックによって実行されます。

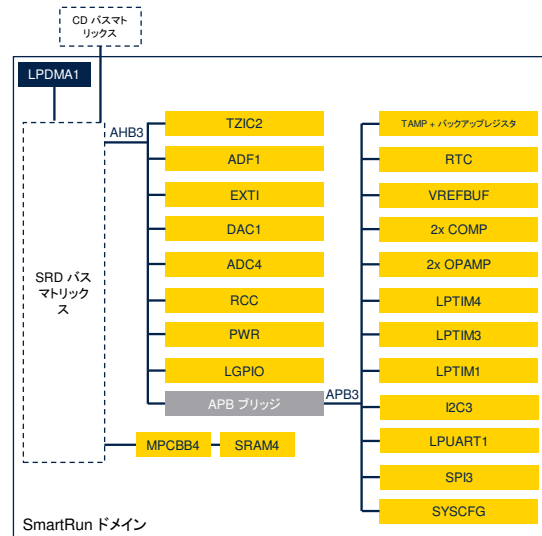
バスクロックとオシレータ (HSI16 または MSI) は、他のペリフェラルからのリクエストがなければ、転送が終了し次第自動的にオフになります。

デバイスは自動的に STOP モードに戻ります。

AHB1、AHB2、APB1、および APB2 に配置された自律型ペリフェラルは、CD と呼ばれる CPU ドメインに属しており、GPDMA1 と SRAM1、SRAM2、SRAM3、または SRAM4 がある場合のみ、STOP 0 と STOP 1 では自律的です。

AHB3 または APB3 に配置された自律型ペリフェラルは、SRD と呼ばれる SmartRun ドメインに属しており、LPDMA1 と SRAM4 がある場合、STOP 0、STOP 1、および STOP 2 では自律的です。

SmartRun ドメイン



17

この図は、SmartRun ドメインに属するメモリ、マスタ、およびペリフェラルを示しています。このドメインは STOP 2 低消費電力モードでも完全に機能を維持します。

SRD には、AHB3 と APB3 に接続されたペリフェラルが含まれます。マスタは STOP 2 モードでアイドルである CD バスマトリックスと低電力 DMA1 で、CPU ドメインをウェイクアップすることなく、ペリフェラルから SRAM4 へ、または SRAM4 からペリフェラルへのデータ転送に使用できます。

電源管理の説明では、DMA や自律モードで動作するペリフェラルを含むさまざまなシナリオについて説明していることに注意してください。

Our technology starts with You

© STMicroelectronics - All rights reserved.

ST logo is a trademark or a registered trademark of STMicroelectronics International NV or its affiliates in the EU and/or other countries.

For additional information about ST trademarks, please refer to www.st.com/trademarks.

All other product or service names are the property of their respective owners.



詳細については、アプリケーションノート AN2867 と、STM8S、STM8A、および STM32 マイクロコントローラ用オシレータ設計ガイド、ならびに STM32U5 内部 RC オシレータの較正方法について説明しているアプリケーションノート AN5676 を参照してください。