

## ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### 1. Что такое супервизор и монитор питания? Их назначение и отличие.

**! Монитор изменения напряжения SVM только отслеживает выход за пороговое значение, супервизор SVS еще и генерирует сигнал сброса. !**

Супервизор (монитор сброса) обычно является маленьким интегральным устройством, предназначенным для контроля и обеспечения надежного питания микроконтроллера или другой электронной системы. Его основная задача – отслеживать напряжение питания и обнаруживать неполадки, такие как падение напряжения или перенапряжение. Когда супервизор обнаруживает низкое или неправильное напряжение питания, он может сгенерировать сигнал сброса (reset) для перезапуска системы или выполнения других действий, необходимых для предотвращения повреждения.

Монитор питания – это устройство, предназначенное для измерения различных параметров питания, таких как напряжение, ток и мощность, в электронной системе. Он обычно используется для контроля энергопотребления и оценки электрических характеристик системы. Монитор питания может обнаруживать аномалии в параметрах питания, такие как перенапряжение, перегрузка или короткое замыкание, и в зависимости от его функциональности, может предпринимать меры для защиты системы, например, генерировать прерывание или сигнал тревоги, чтобы предупредить о проблемах с питанием.

### 2. Какие есть режимы пониженного энергопотребления?

Таблица 3.1. Режимы пониженного энергопотребления

Режим	Сигналы				Биты SR			
	V <sub>core</sub>	CPU/MCLK	FLL	ACLK	CPUOFF	OSCOFF	SCG0	SCG1
LPM0	On	Off	On	On	1	0	0	0
LPM1	On	Off	Off	On	1	0	1	0
LPM2	On	Off	Off	On	1	0	0	1
LPM3	On	Off	Off	On	1	0	1	1
LPM4	On	Off	Off	Off	1	1	1	1

**+ LPM3.5 & LPM4.5**

### 3. Характеристика LPM0 и LPM4 (что отключается и по каким сигналам можно выйти из LPM) – Частично вопрос сверху (выделенно жёлтым)

Во всех режимах отключается ЦПУ. При этом в LPM0 и в LPM1 тактирование периферии разрешено, DCO разрешен, если является источником для частот ACLK или SMCLK; в LPM2 и LPM3 разрешена только одна тактовая частота периферии ACLK (SMCLK отключена), DCO разрешен, если является источником для частоты ACLK; в LPM4 – все тактовые частоты запрещены, отключены SMCLK, ACLK, DCO. Самоактивация возможна для режимов LPM0 – LPM3, в этих режимах доступны следующие источники прерываний: таймеры, включая WDT и RTC, АЦП, DMA, USART, цифровые входы-выходы, компаратор, внешние прерывания, USCI, а также другая периферия микроконтроллера и внешние прерывания. В режиме LPM4 самоактивация невозможна, доступны только внешние прерывания.

Установка любого из вышеназванных битов регистра состояния сразу же переводит микроконтроллер в требуемый режим. Предыдущий режим сохраняется в стеке (так как это регистр состояния) при выполнении прерывания. Биты CPUOFF, OSCOFF, SCG1 автоматически сбрасываются при обработке прерывания. Управление вернется к предыдущему режиму, если в обработчике прерываний сохраненное значение SR не изменяется, иначе при возврате установится новый режим. Периферия может быть отключена не только общим запретом тактирования, но и индивидуально установками в своих регистрах управления. В режимах LPM цифровые порты ввода-вывода и ОЗУ и регистры не изменяются.

В режимах LPMx.5 (LPM3.5, LPM4.5) отключается регулятор напряжения блока управления питанием PMM, содержимое регистров и ОЗУ теряется, но состояние цифровых входов-выходов сохраняется. Выход из этих режимов возможен включением питания, сигналом сброса, а также отдельными периферийными модулями. LPM3.5, в отличие от LPM4.5, позволяет выйти из режима по сигналу от RTC. Выход из LPMx.5 приводит к сбросу, поэтому требуется повторное конфигурирование устройств. Режим LPMx.5 устанавливается битом PMMREGOFF и битами регистра статуса LPM4.

#### 4. Какие есть внутренние тактовые генераторы? Их частоты

- внутренний генератор низкой частоты со сверхмалым потреблением (VLO), около 9,4 КГц;
- внутренний низкочастотный генератор (REFO), 32 КГц;
- 32 КГц кварцевый генератор (XT1 LF);
- интегрированный внутренний цифровой управляемый генератор (DCO), стабилизируется с помощью цифровой автоподстройки частоты (FLL – frequency locked loop);
- высокочастотный кварцевый генератор (XT2) 4 – 32 МГц. На плате используется резонатор 4 МГц. (XT2 HF)

#### 5. Какие есть тактовые частоты? что они тактируют.

- вспомогательная тактовая частота (ACLK) (обычно используется для тактирования периферийных модулей с низким энергопотреблением и устройств, требующих точного временного счета);
- главная частота (MCLK), используется для тактирования процессора;
- SMCLK (Sub-Main), используется для тактирования периферии;
- буферный выход частоты ACLK/n (n = 1, 2, 4, 8, 16, 32) (для распределения или деления частоты ACLK).

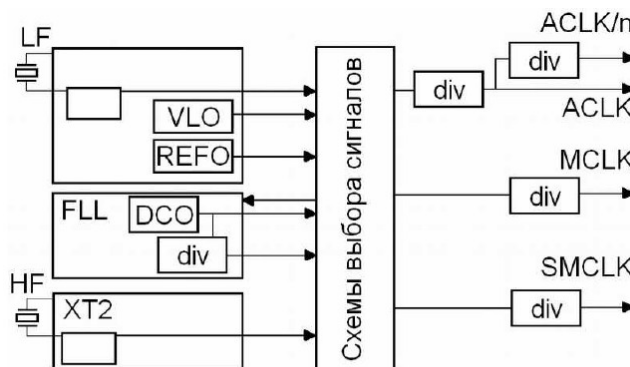


Рис. 3.6 Структура схемы тактирования

#### 6. Принцип работы блока автоподстройки частоты (FLL)

Генератор DCO имеет широкий диапазон перестраиваемых частот, его структура показана на рис. 3.8. Входная частота FLLREFCLK для FLL выбирается битами SELREF регистра UCSCTL3. Поле FLLREFDIV задает делитель (/n) этой частоты: 1,2,4,...,16. Поле DCORSEL (регистр UCSCTL1) задает один из 8 диапазонов частот. Поле FLLN (регистр UCSCTL2) задает множитель, определяющий 1 из 32 уровней N внутри диапазона. Поле FLLD (регистр UCSCTL2) задает делитель D = 1, 2, 4, ..., 32 для частоты DCOCLKDIV на выходе. На выходе блока генерируются следующие частоты:

$$\text{DCOCLK} = \text{FLLREFCLK} / n \cdot (N + 1) \cdot D;$$

$$\text{DCOCLKDIV} = \text{FLLREFCLK} / n \cdot (N + 1).$$

Следует обратить внимание, что обязательно должен быть установлен соответствующий диапазон DCORSEL, иначе блок автоподстройки частоты установит нижнюю (либо верхнюю) границу диапазона, не достигнув заданной частоты. Для ускорения подстройки частоты используются поля MOD и DCO, устанавливающие начальную частоту блока автоподстройки. Время подстройки на один уровень DCO равно  $32 \cdot n$  тактов FLLREFCLK, и

в худшем случае может составить  $32 \cdot 32 \cdot n$  тактов FLLREFCLK. Дождаться стабилизации частоты можно, используя проверку флагов ошибок.

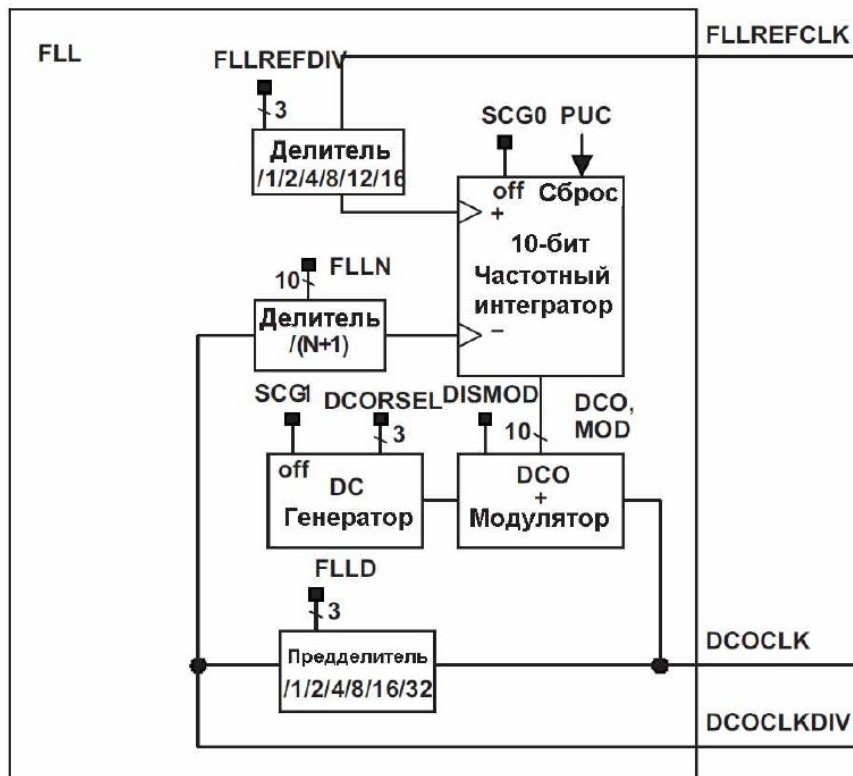


Рис. 3.8 Структура управляемого цифрового генератора

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

### 1. Принципы программирования устройств с низким энергопотреблением (и их использование в коде ЛРЗ)

- максимально длительное время нахождения в режимах пониженного энергопотребления (особенно LPM3 и LPM4);
- использование прерываний для управления ходом выполнения программ;
- включение периферии только по мере необходимости;
- использование интегрированной периферии с низким потреблением энергии вместо программного выполнения функций;
- вычисление ветвей и использование таблиц значений вместо опроса флагов и длительных программных вычислений;
- избегать частого вызова функций и процедур из-за дополнительных затрат;
- использовать одноктактные регистры ЦПУ в длинных процедурах;
- отключать недоступные и неиспользуемые сегменты памяти при помощи регистра управления ОЗУ RCCTL0.

### 2. Тактирование (внутренние генераторы и кварцевые резонаторы и условия их работы, работа управляемого цифрового генератора и блока автоподстройки частоты, синхросигналы и их назначение)

На этот вопрос ответы уже даны. Добавлю только то, что...

Генератор VLO активен, если он используется в качестве источника для любой из частот MCLK, SMCLK, ACLK. REFO — если он установлен как источник: для частоты ACLK в активном режиме, либо LPM0 – LPM3; частоты MCLK в активном режиме; частоты SMCLK в активном режиме и LPM0, LPM1; частоты FLLREFCLK и при этом DCO выбран источником для трех вышеперечисленных вариантов. XT1 и XT2 разрешаются для тех же 6 вариантов, что и REFO, а также в случаях, когда поля XT1OFF = 0 (запрещено отключение

XT1) либо XT2OFF = 0 соответственно. При переключении MCLK или CLK с одного источника на другой, момент переключения синхронизируется для избегания возникновения гонок (см. рис. 3.7).

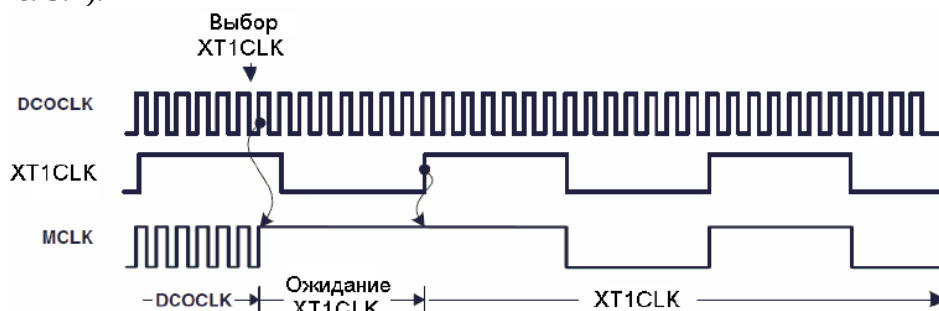


Рис. 3.7 Безопасное переключение частоты MCLK, SMCLK

Генератор XT1 в MSP430F5529 поддерживает только низкочастотный (LF) режим. Ток потребления генератора в этом режиме регулируется полем XT1DRIVE. Частотный сигнал можно подавать непосредственно с резонатора (поле XT1BYPASS), в этом случае собственно генератор отключен. Кроме того, в этом случае необходимо установить диапазон выходного напряжения битом XT1BYPASSLV. Кроме того, поскольку резонатор внешний, а выводы разделяются с цифровыми, то необходимо установить нужный режим портов ввода-вывода (P5.4 – XIN, P5.5 – XOUT).

### 3. Режимы пониженного энергопотребления (характеристика режимов, условия входа/выхода)

На этот вопрос ответы уже даны. Добавить нечего.

### 4. Управление питанием (режимы, работа супервизора и монитора, алгоритм изменения напряжения)

Модуль управления питанием PMM обладает следующими характеристиками:

- входное напряжение 1,8-3,6 В;
- 4 уровня напряжения для питания ядра ( $V_{core}$ ), задаваемых программно;
- супервизор уровня напряжения (SVS - Supply Voltage Supervisor) с программируемым порогом как для выходного, так и для входного напряжения;
- монитор уровня напряжения (SVM - Supply Voltage Monitor) с программируемым порогом как для выходного, так и для входного напряжения;
- сброс при низком питании (BOR);
- программно доступные индикаторы сбоя питания;
- защита выводов от сбоя по питанию.

Структура модуля PMM изображена на рисунке:

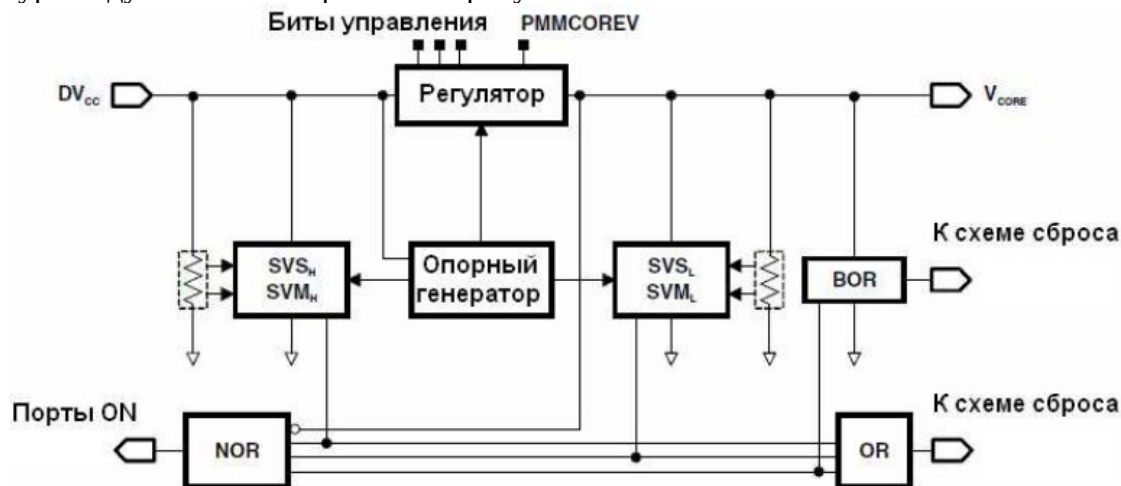


Рис. 3.1 Структура модуля управления напряжением

Повышение частоты тактирования MCLK требует повышения напряжения питания Vcore. Уровень питания определяется битами PMMCOREV. При переключении на более высокую частоту необходимо убедиться, что уровень напряжения питания достаточен для нее. Несоблюдение этого правила может привести к непредсказуемым результатам. Допустимые параметры для разных значений уровня питания приведены на рис. 3.2 и в таблице 3.2. На рисунке цифрами 1, 2, 3, 4 обозначены допустимые значения бит PMMCOREV.

Таблица 3.2. Допустимые режимы

Входное напряжение DVCC, не ниже, В	Напряжение питания процессора Vcore, В активный / LPM	Биты PMMCOREV [1:0]	Максимальная тактовая частота Fsys max, МГц
1,8	1,4 / 1,44	00	8
2,0	1,6 / 1,64	01	12
2,2	1,8 / 1,84	10	20
2,4	1,9 / 1,94	11	25

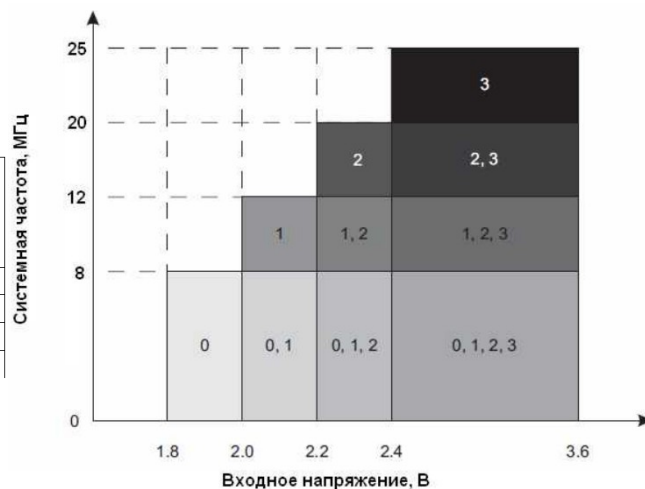


Рис. 3.2 Допустимые режимы

При изменении уровня Vcore нельзя увеличивать частоту MCLK, пока не установится новый уровень напряжения. Для проверки уровня Vcore используется SVM<sub>L</sub>. При снижении уровня питания необходимо убедиться, что его будет достаточно для установленной частоты. Vcore можно изменять только на один уровень за 1 раз.

При увеличении уровня напряжения необходимо выполнить следующую последовательность действий (см. рис. 3.5):

1. Устанавливаются новые уровни SVM<sub>H</sub>, SVSH, чтобы убедиться, что входное напряжение DVCC выше планируемого Vcore. Установить новый уровень SVM<sub>L</sub>, дождаться установки флага SVSMLDLYIFG.
2. Установить PMMCOREV для определения нового уровня Vcore.
3. Дождаться установки флага SVMLVLRIFG.
4. Установить новый уровень SVS<sub>L</sub>.

При снижении уровня напряжения необходимо выполнить следующее:

1. Устанавливаются SVM<sub>L</sub>, SVSL для нового уровня и ожидается установка флага SVSMLDLYIFG.
2. Программируем новый уровень Vcore, задав PMMCOREV.

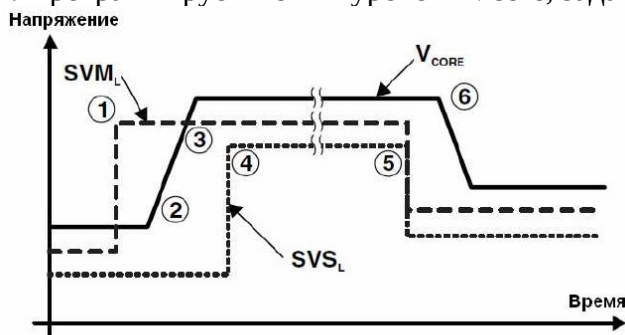


Рис. 3.5 Порядок изменения уровня напряжения питания

Для управления подсистемой питания используются регистры:

PMMCTL0 - управление PMM;  
PMMCTL1 - управление PMM;  
SVSMHCTL - управление SVS, SVM на входе;  
SVSMLCTL - управление SVS, SVM на выходе;  
PMMIFG - флаги прерываний;  
PMMIE - разрешение прерываний;  
PM5CTL0 - управление режимом LPMx.5.

## 5. Действия после подачи питания, сигналы сброса устройства и условия их генерации

После подачи питания на устройство инициируется процесс инициализации и запуска системы. Во время этого процесса могут возникать сигналы сброса, которые обеспечивают стабильное состояние и начальные условия для работы устройства. Конкретные действия после подачи питания и условия генерации сигналов сброса могут различаться в зависимости от конкретной аппаратной платформы или микроконтроллера, но вот некоторые общие аспекты:

**Power-On Reset (POR):** Сигнал Power-On Reset (сброс при подаче питания) генерируется в момент включения питания. Он обеспечивает начальный сброс и инициализацию всех компонентов системы. При активации этого сигнала устройство обычно переводится в исходное состояние, обнуляются регистры и очищаются память и регистры.

**Brown-Out Reset (BOR):** Brown-Out Reset (сброс при понижении напряжения) - это сигнал сброса, который генерируется, когда напряжение питания падает ниже допустимого порога. Это может произойти в результате скачков напряжения или неправильной работы источника питания. BOR обеспечивает стабильное начальное состояние устройства в случае понижения напряжения питания.

**Watchdog Timer Reset (WDT Reset):** Watchdog Timer (таймер аварийного сброса) - это механизм, который используется для предотвращения зависания программы. Если программа не перезагружает таймер до истечения определенного временного интервала, генерируется сигнал WDT Reset, который приводит к сбросу устройства и началу выполнения программы сначала.

**External Reset:** В дополнение к внутренним сигналам сброса, устройство также может иметь возможность получения внешнего сигнала сброса, например, с помощью кнопки сброса или внешнего сигнала. Этот сигнал может использоваться для активации сброса устройства внешними факторами или пользователем.

---

**После подачи питания и генерации сигналов сброса на устройстве выполняются следующие действия:**

**Инициализация регистров и памяти:** При сбросе системы все регистры и память обычно устанавливаются в исходное состояние. Регистры устанавливаются в определенные значения или обнуляются, а память может быть очищена или заполнена начальными данными.

**Конфигурация периферийных устройств:** После сброса системы необходимо настроить и сконфигурировать периферийные устройства, такие как таймеры, UART (универсальный асинхронный приемопередатчик), SPI (последовательный периферийный интерфейс) и другие. Это включает настройку режимов работы, выбор источников тактирования, установку битрейтов и других параметров, необходимых для работы каждого конкретного периферийного устройства.

**Настройка тактирования:** После сброса системы может потребоваться настройка источников тактирования и соответствующих делителей частоты. Это включает выбор основного тактового источника, настройку делителей частоты для получения необходимых тактовых частот и установку режимов работы тактирования для каждого компонента или периферийного устройства.

**Запуск программы:** После выполнения необходимых инициализаций и настроек система готова к запуску программы. Это может включать загрузку программного кода из памяти, настройку стека и начало выполнения основного приложения.

## 6. Механизм измерения токов и напряжений, аргументация полученных значений

Расскажем как мы измеряли и будем с пеной у рта доказывать что это правильно XD