



MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

Разработка низкопотребляющих устройств

Микроконтроллеры XLP

Разработка с nanoWatt XLP

Цели

После данного класса вы будете знать:

- ~ Что такое микропотребляющие микроконтроллеры, какие режимы микропотребления существуют и как ими управлять
- ~ Различия между технологиями nanoWatt и nanoWatt XLP, Deep Sleep и другими режимами уменьшения потребления
- ~ Анализировать и проектировать системы, удовлетворяющие требованиям микропотребления
- ~ Как выбрать наиболее подходящий PIC[®] микроконтроллер с функцией nanoWatt для вашего устройства

Разработка с nanoWatt XLP

План

- ~ **Что такое низкое потребление**
- ~ **Бюджет потребления и его планирование**
 - ~ *Профиль потребления*
- ~ **Технология nanoWatt XLP**
- ~ **Соображения по разработке системы**
 - ~ *Планирование системы*
- ~ **Deep Sleep**
- ~ **Итоги и Ссылки**



MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

Низкое потребление. Определения

Определения Low Power используемые отношения

~ **Мощность:**

$$Power \text{ (Watts)} = V \text{ (volts)} \times I \text{ (amperes)}$$

~ **Закон Джоуля:**

$$Energy \text{ (Joules)} = V \text{ (volts)} \times I \text{ (amperes)} \times t \text{ (sec)}$$

~ **Заряд:**

$$q \text{ (coulombs)} = I \text{ (amperes)} \times t \text{ (sec)}$$

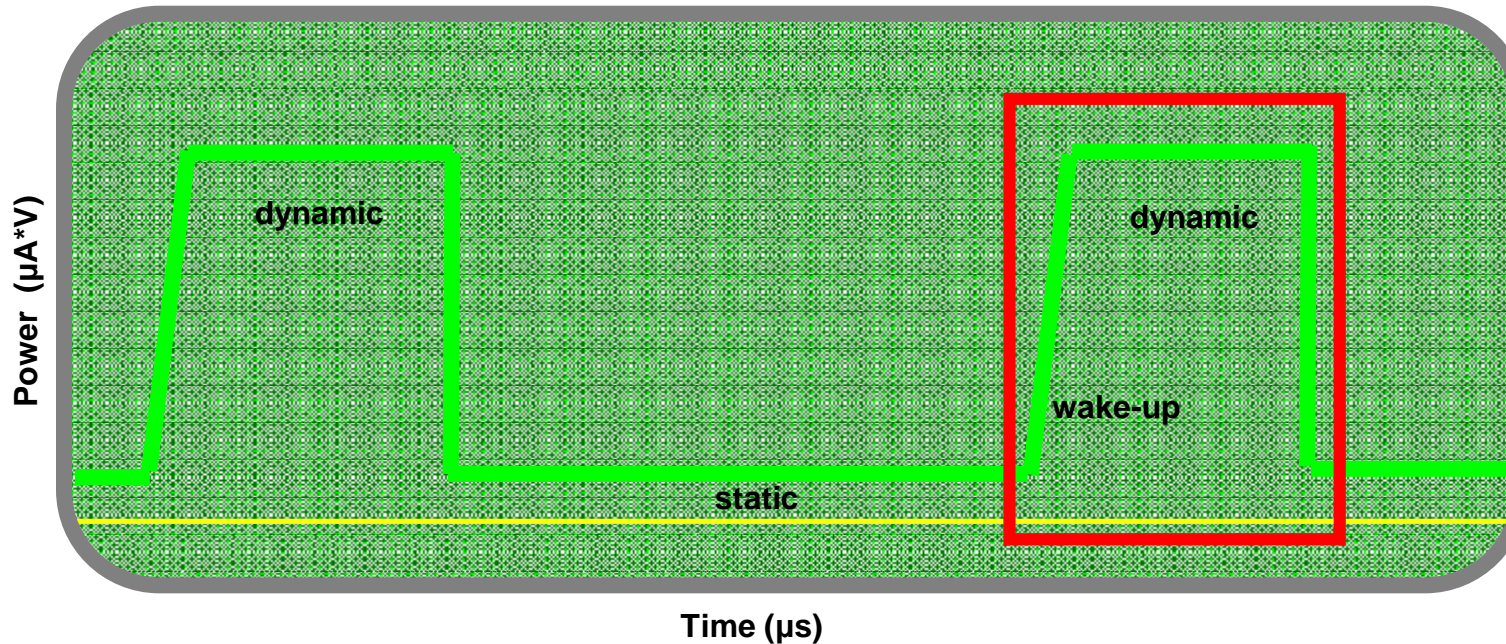
Definition

Заряд (А–сек) это ток за данный промежуток времени. Используется для расчета мощности на каждой фазе работы приложения или для полной емкости батареи.

Определения Low Power Power Modes

- ~ Существуют несколько режимов работы микроконтроллеров:
 - ~ Динамический (или Активный)
 - ~ Системный генератор запущен
 - ~ Паразитное, Генератор, Периферия, Ядро, Порты
 - ~ Статический
 - ~ Системный генератор выключен
 - ~ Паразитное, Порты
 - ~ Среднее потребление
 - ~ Интегральное потребление за цикл работы устройства

Определения Low Power *Динамическое потребление*

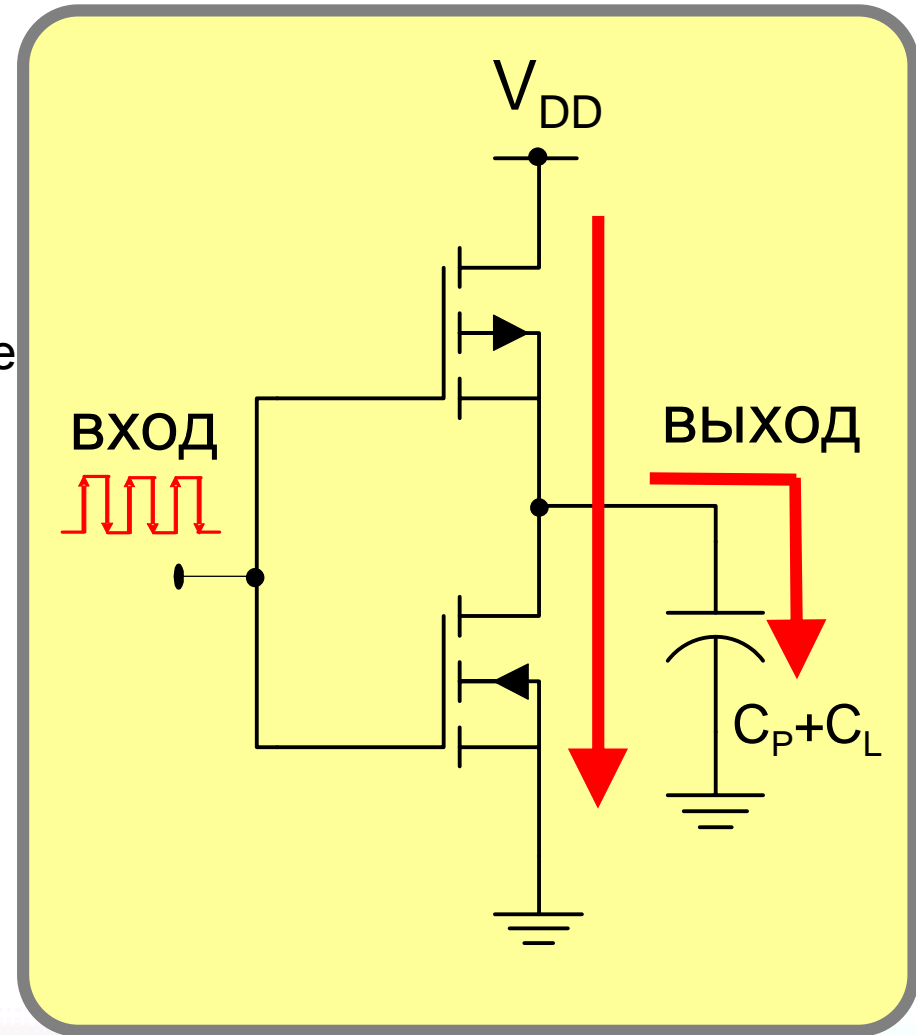


Definition

Динамическое (Активное) потребление это мощность, потребляемая пока приложение активно и выполняет задачи. Эта мощность в основном образуется токами переключения КМОП-структур и является функцией частоты и напряжения. Дополнительная мощность потребляется периферией и портами.

Определения Low Power Элементы динамического потребления

- ~ **Потери переключения КМОП транзисторов**
 - ~ Во время переключения оба открыты на некоторое время
 - ~ Частота переключения = дольше вкл = больше потери
- ~ **Емкость затвора**
 - ~ Нагрузка добавляет емкость (C_L)
 - ~ Всегда есть паразитная емкость (C_P) ~5-10pF
- ~ **Напряжение питания**
 - ~ Ниже напряжение значит меньше потребление



Определения Low Power Элементы динамического потребления

Емкость (C) зависит от

- ~ Дизайна микросхемы
- ~ Выбранной периферии

Напряжение (V) зависит от

- ~ Выбранных компонентов

Частота (f) зависит от

- ~ Системной частоты
- ~ Эффективности кода
- ~ Профиля потребления
- ~ Требований задачи

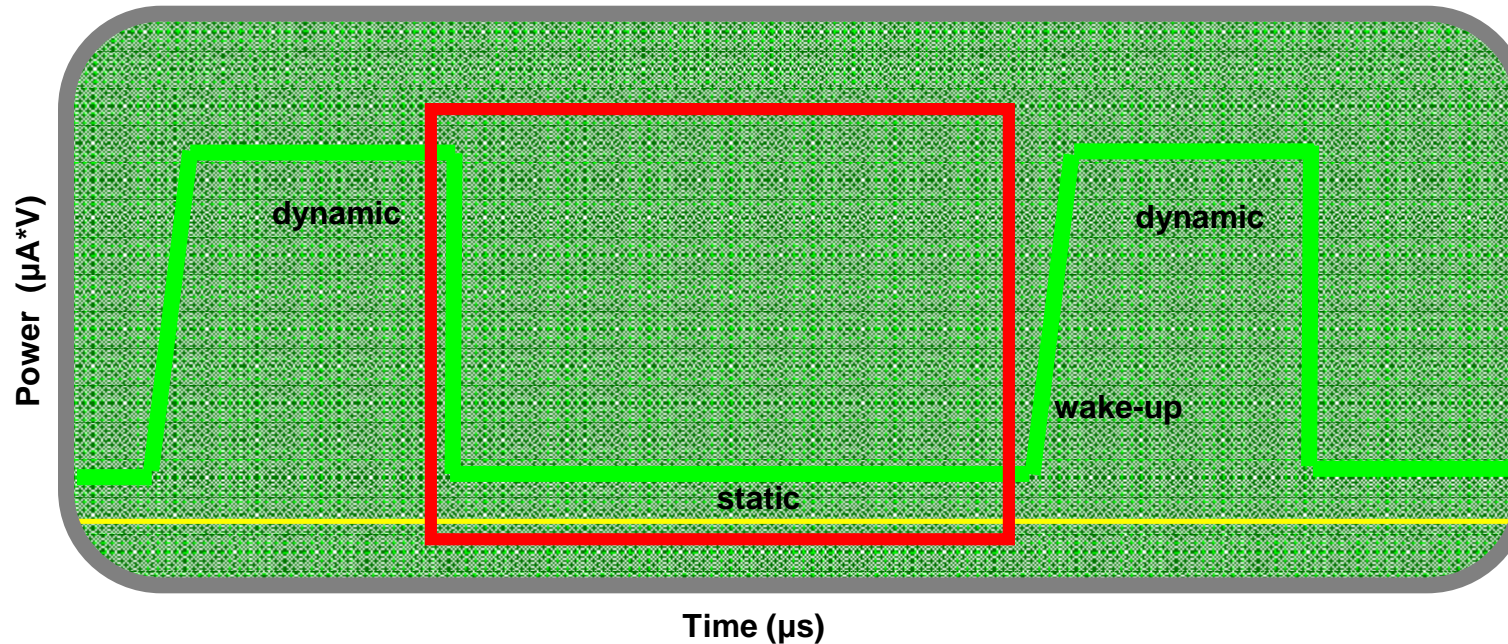
$$I = C \frac{dV}{dt}$$

$$P = VI = VC \frac{dV}{dt}$$

При постоянном V:

$$P = CV^2f$$

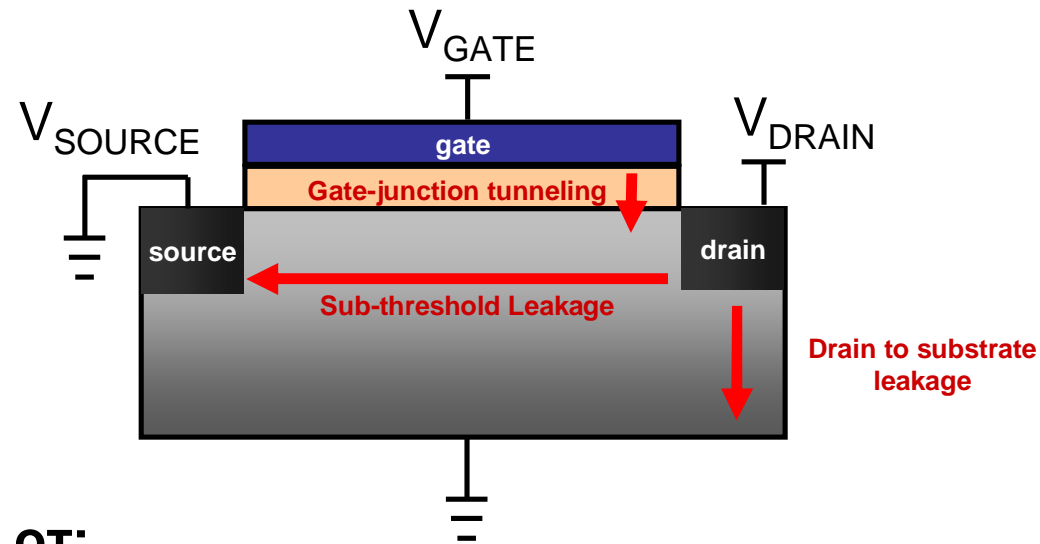
Определения Low Power *Статическое потребление*



Definition

Мощность в статике это потребление в режиме когда прибор включен, но не активен (например выключен генератор). Потребление определяется утечками в КМОП структурах, работой Часов Реального Времени, супервизорами, сторожевым таймером, утечками портов ввода-вывода и т.п. процессами.

Определения Low Power элементы потребления в статическом режиме



Утечки зависят от:

- ~ Технологических норм – меньше транзисторы – больше утечки
- ~ Напряжение – ниже напряжение меньше утечки
- ~ Температура – выше температура – сильно больше утечки

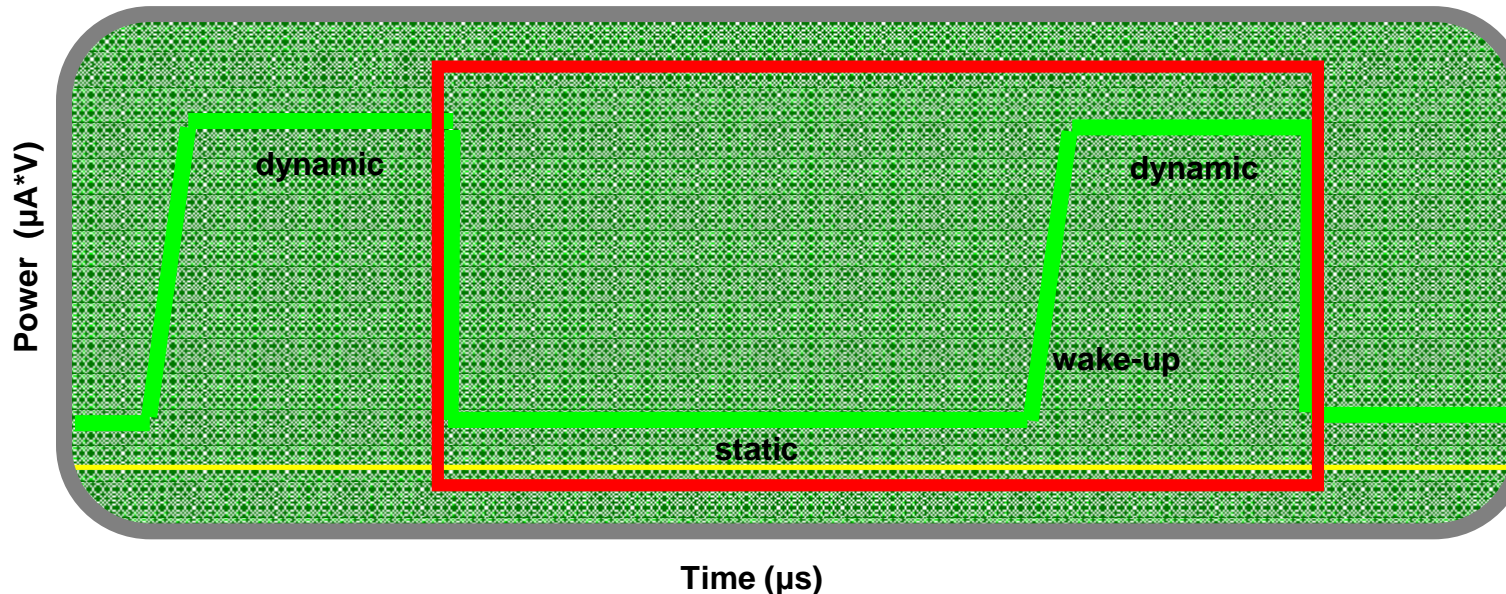


Маленькие транзисторы увеличивают статическое потребление но меньше динамическое потребление и могут работать при более низком напряжении. Малопотребляющий дизайн это серия компромиссов на уровне дизайна и приложения в целом.

Определения Low Power

Среднее потребление

$$P_{avg} = \frac{1}{t_{cycle}} \int (V_{active} \times I_{active} \times t_{active}) + (V_{static} \times I_{static} \times t_{static})$$

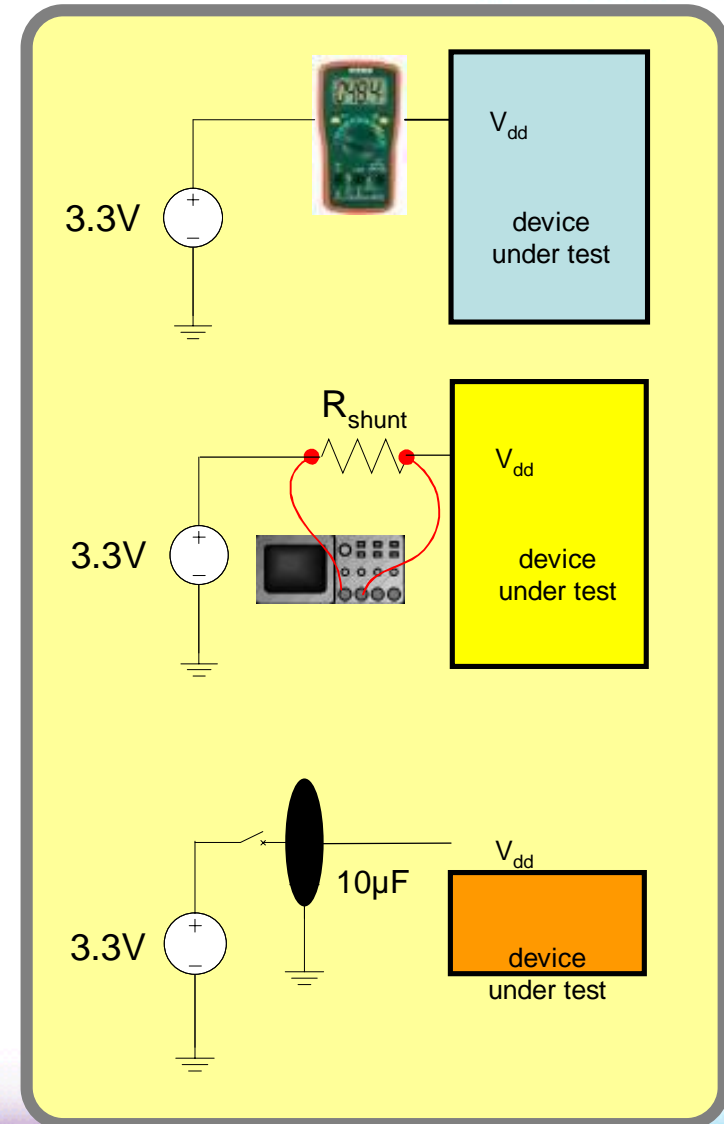


Definition

Средняя мощность это мощность, потребленная за полный цикл работы устройства, работающего в активном и статическом режимах. Средняя мощность включает мощность за все время, включая время переключения между активным и статическим режимом.

Определения Low Power Измерение потребления

- ~ **Мультиметр**
 - ~ измеряет ток (RMS)
 - ~ Обычно точный до 20nA-100nA
- ~ **Осциллограф с шунт-резистором на V_{DD}**
 - ~ Для измерения и отображения профиля потребления
 - ~ Значение R_{shunt} нужно выбрать правильно
 - ~ **10Ω-100Ω**
 - ~ **Большой R_{shunt} может вызвать сброс (BOR)**
- ~ **Разряд конденсатора на V_{DD}**
 - ~ Измеряет $I=C(\Delta V/ \Delta t)$
 - ~ Используется для измерения очень малых токов





MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

Бюджет потребления и его планирование

Бюджет потребления и Планирование режимы работы



RUN [активное потребление]

- ~ Тактируются Ядро и Периферия
- ~ Типовой ток $50-360\mu\text{A}/\text{MHz}$ (3В, 25°C)
- ~ LP INTRC (31kHz) до $8\mu\text{A}$ (1.8В, 25°C, PIC24F04KA201)



DOZE (для некоторых контроллеров) [активное потребл.]

- ~ Ядро тактируется пониженной частотой, периферия - полной
- ~ Обычно $35\%-75\%$ от тока в режиме RUN



IDLE (для некоторых контроллеров) [активное потребление]

- ~ Ядро не тактируется, Периферия тактируется и включена
- ~ Обычно 25% от потребления в режиме RUN



SLEEP [статическое потребление]

- ~ Обычно 100nA (3В, 25°C)
- ~ 85°C до $1.35\mu\text{A}$ (1.8В, 85°C, PIC24F04KA201)



DEEP SLEEP (для некоторых контроллеров) [статич.потр.]

- ~ SRAM, VREG, VBOR, RTCC - выключены
- ~ Обычно 35nA (3В, 25°C)

Увеличение срока
работы от
батарей

Бюджет потребления и Планирование

Анализ приложения

- ~ **Разбить работу на несколько фаз**
 - ~ Рассчитать ток на каждой фазе
 - ~ Определить сколько времени затрачивается на каждой стадии
 - ~ Рассчитать потребление на каждой фазе

- ~ **Рассчитать среднюю мощность всего устройства**
 - ~ Может она быть уменьшена за счет меньшего времени в активном режиме?
 - ~ Можно ли изменить напряжение, тактовую частоту, режим работы на менее потребляющий на любой из стадий работы?

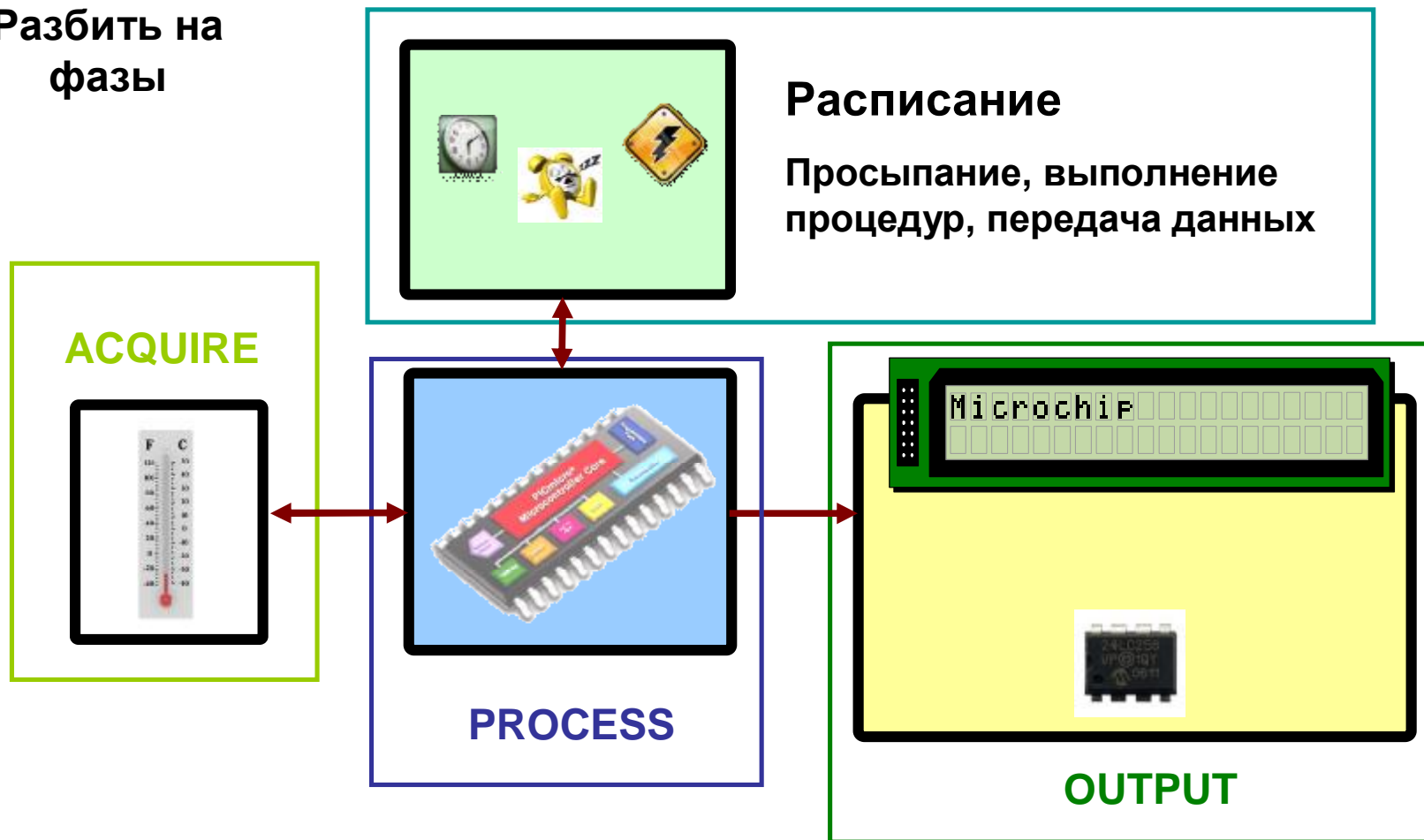
- ~ **Определить худший случай и пересмотреть**
 - ~ Могут быть использованы другие комбинации режимов?

- ~ **Построить график потребления**

- ~ **Собрать, измерить и подтвердить профиль потребления**

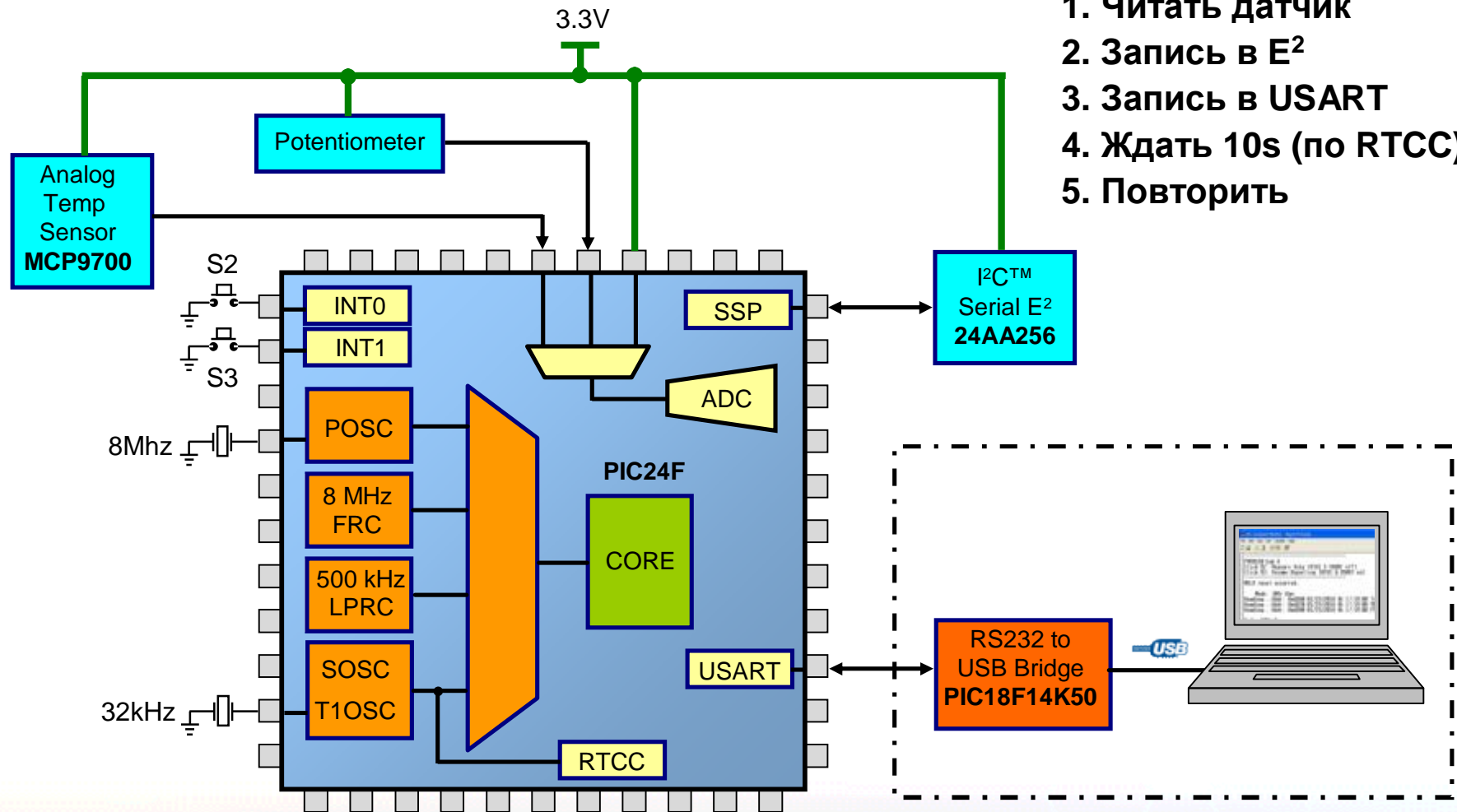
Бюджет потребления и Планирование Анализ приложения

Разбить на
фазы



Бюджет потребления и Планирование

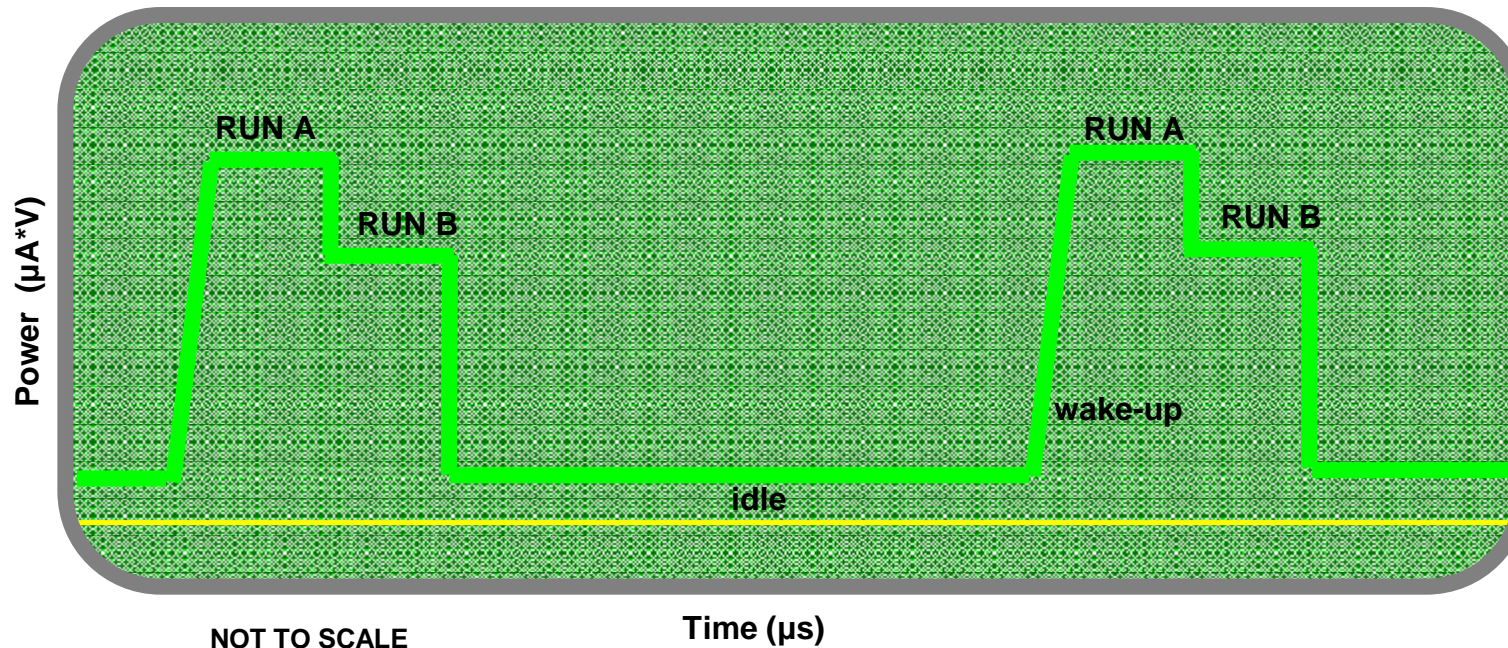
Typical Application Block Diagram



1. Читать датчик
2. Запись в E²
3. Запись в USART
4. Ждать 10s (по RTCC)
5. Повторить

Бюджет потребления и Планирование Профиль потребления

Минимизировать площадь под кривой



- ~ Run A – Измерение температуры ($800\mu\text{s}$)
- ~ Run B – Запись в EEPROM (5ms)
- ~ Loop/Sleep/Idle/Deep Sleep (10s)
- ~ Тактовая частота может меняться динамически
- ~ Рабочее напряжение также может меняться динамически

Бюджет потребления и Планирование *nanoWatt XLP Battery Life Estimator*



Выбрать МК и параметры

Параметры могут обновляться при обновлении программы, или вы можете задать данные сами.

Пример: "PIC18LFxxJ11.csv"

Выбрать батарейку

Новые данные по батареям могут быть добавлены модификацией "CustomBattery.csv"

Выбрать режим

Проверить и сохранить

Microchip XLP Battery Life Estimator

Step 1: Select Device
 PIC24F16KA102 Device Notes Voltage: 3.3V Temperature: 25

Step 3: Select Battery

Description	Capacity	Self-discharge	Nominal V	Max cont. I	Max pulse I	Notes
LiMnO2 (CR2032)	225 mAh	0.08 %/mo(0.25 uA)	3.0 V	1.8 mA	12 mA	*
Li(CF)n (BR2032)	190 mAh	0.04 %/mo(0.106 uA)	3.0 V	0.2 mA	2 mA	*
LiFeS2 (AAA)	1150 mAh	0.05 %/mo(0.799 uA)	1.5 V	750 mA	750 mA	*
LiFeS2 (AA)	3000 mAh	0.05 %/mo(2.083 uA)	1.5 V	2000 mA	2000 mA	*
Li-ion (Approx. 'A')	2250 mAh	5 %/mo(0.156 mA)	3.6 V	2250 mA	2250 mA	*
Alkaline (AAA)	1150 mAh	0.3 %/mo(4.792 uA)	1.5 V	*	*	Drain rate affe
Alkaline (AA)	2850 mAh	0.3 %/mo(11.875 uA)	1.5 V	*	*	Drain rate affe

Step 4: Add/Modify Operational Mode

Label	Mode	Frequency	Time	Current	Charge	Peripherals
SLEEP w/RTCC	DEEP SLEEP	*	10 S/100%	0.835 uA	2.319 nAh	RTCC (w/ SOSC)

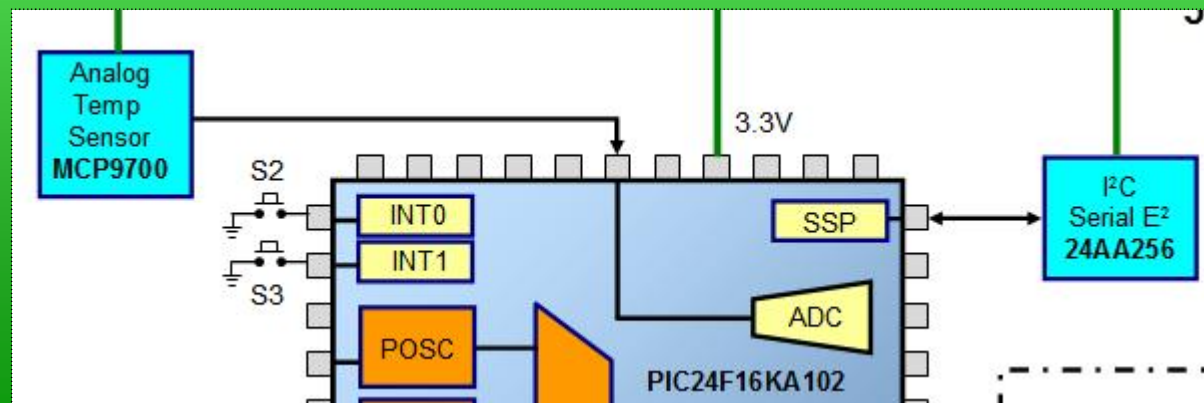
Estimated Battery Life: 23 years 245 days 13 hours
 Estimated Average Current: 0.835 uA
 Estimated Peak Current: 0.835 uA

Load Settings Save Settings Create Report Quit

Пример #1

Спецификация

Supply Voltage	3.3V @ 25°C
PIC24F16KA102 Primary Clock (FRC)	8 MHz @ 3.3V
PIC24F16KA102 Secondary Clock (LPRC)	31 kHz @ 3.3V
PIC24F16KA102 RTCC alarm period	10s
PIC24F16KA102 current consumption	<i>from Battery Life Estimator</i>
MCP9700 Temp Sensor read cycle time & current	800µs @ 6 µA
24AA256 EEPROM write cycle time & current	5ms @ 3mA



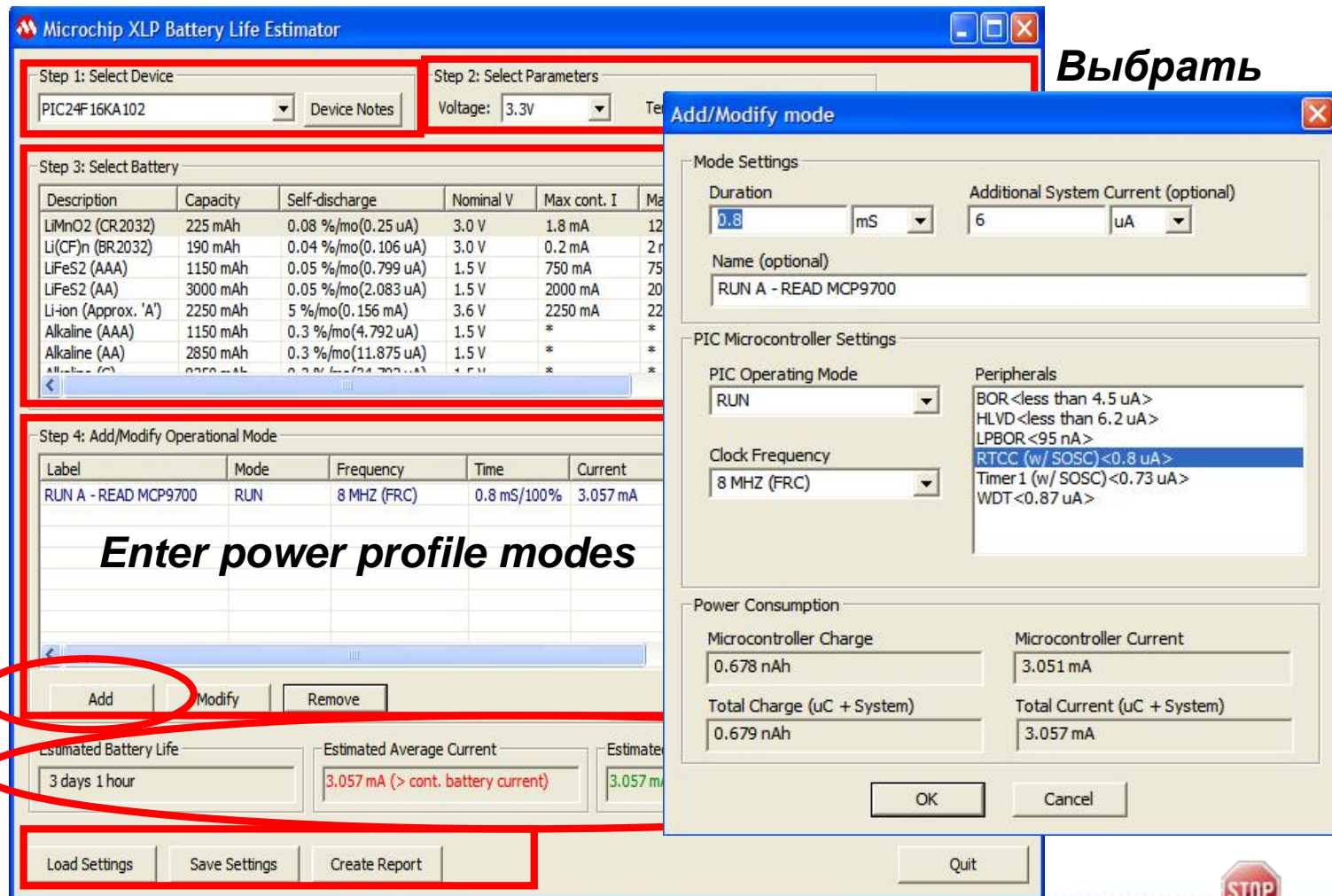
Пример #1

nanoWatt XLP Battery Life Estimator

Выбрать МК

Выбрать
батарею

Выбрать



The screenshot shows the 'Microchip XLP Battery Life Estimator' application. It is divided into four steps: Step 1: Select Device (PIC24F16KA102), Step 2: Select Parameters (Voltage: 3.3V), Step 3: Select Battery (a table of battery types), and Step 4: Add/Modify Operational Mode (a table with one entry: RUN A - READ MCP9700). A dialog box titled 'Add/Modify mode' is open, showing mode settings for 'RUN A - READ MCP9700', including duration (0.8 ms), additional system current (6 uA), PIC operating mode (RUN), clock frequency (8 MHz), and various peripheral current requirements. The 'Add' button in Step 4 is circled in red. At the bottom, the 'Save Settings' button is also circled in red. Estimated battery life is shown as 3 days 1 hour, and estimated average current is 3.057 mA.

Description	Capacity	Self-discharge	Nominal V	Max cont. I	Max
LiMnO2 (CR2032)	225 mAh	0.08 %/mo(0.25 uA)	3.0 V	1.8 mA	12
Li(CF)n (BR2032)	190 mAh	0.04 %/mo(0.106 uA)	3.0 V	0.2 mA	2
LiFeS2 (AAA)	1150 mAh	0.05 %/mo(0.799 uA)	1.5 V	750 mA	75
LiFeS2 (AA)	3000 mAh	0.05 %/mo(2.083 uA)	1.5 V	2000 mA	20
Li-ion (Approx. 'A')	2250 mAh	5 %/mo(0.156 mA)	3.6 V	2250 mA	22
Alkaline (AAA)	1150 mAh	0.3 %/mo(4.792 uA)	1.5 V	*	*
Alkaline (AA)	2850 mAh	0.3 %/mo(11.875 uA)	1.5 V	*	*

Label	Mode	Frequency	Time	Current
RUN A - READ MCP9700	RUN	8 MHz (FRC)	0.8 mS/100%	3.057 mA

Enter power profile modes

Оценить

Сохранить



Solution Ahead

Пример #1

Одно из Многих возможных решений

Microchip XLP Battery Life Estimator

Step 1: Select Device
 PIC24F16KA102 Device Notes

Step 2: Select Parameters
 Voltage: 3.3V Temperature: 25

Step 3: Select Battery

Description	Capacity	Self-discharge	Nominal V	Max cont. I	Max pulse I	Notes
LiMnO2 (CR2032)	225 mAh	0.08 %/mo(0.25 uA)	3.0 V	1.8 mA	12 mA	*
Li(CF)n (BR2032)	190 mAh	0.04 %/mo(0.106 uA)	3.0 V	0.2 mA	2 mA	*
LiFeS2 (AAA)	1150 mAh	0.05 %/mo(0.799 uA)	1.5 V	750 mA	750 mA	*
LiFeS2 (AA)	3000 mAh	0.05 %/mo(2.083 uA)	1.5 V	2000 mA	2000 mA	*
Li-ion (Approx. 'A')	2250 mAh	5 %/mo(0.156 mA)	3.6 V	2250 mA	2250 mA	*
Alkaline (AAA)	1150 mAh	0.3 %/mo(4.792 uA)	1.5 V	*	*	Drain rate affects capacity
Alkaline (AA)	2850 mAh	0.3 %/mo(11.875 uA)	1.5 V	*	*	Drain rate affects capacity

Step 4: Add/Modify Operational Mode

Label	Mode	Frequency	Time	Current	Charge	Peripherals
RUN A - READ MCP9700	RUN	8 MHZ (FRC)	0.8 mS/<1%	3.057 mA	0.679 nAh	RTCC (w/ SOSC)
RUN B - WRITE EEPROM	RUN	31 KHZ	5 mS/<1%	3.016 mA	4.189 nAh	RTCC (w/ SOSC)
LOOP	DEEP SLEEP	*	10 S/99%	0.835 uA	2.319 nAh	RTCC (w/ SOSC)

Buttons: Add, Modify, Remove

Estimated Battery Life: 9 years 20 days 18 hours

Estimated Average Current: 2.586 uA

Estimated Peak Current: 3.057 mA

Buttons: Load Settings, Save Settings, Create Report, Quit

Это наилучшее решение?



Можно ли сделать лучше?



MICROCHIP *2010*

MASTERS Conference

nanoWatt XLP Technology

nanoWatt XLP

Востребованные особенности Power Management

~ Гибкость

- ~ Различные варианты тактирования
- ~ Динамически изменяемая частота и источники
- ~ Периферия разработана для малопотребляющих режимов
- ~ Конфигурирование периферии и источников пробуждения

~ Малопотребляющие генераторы

- ~ Позволяют отсчитывать время с помощью WDT, Timer1 или RTCC без нарушения профиля потребления

~ Малая утечка цифровых входов

- ~ Обычно < 50nA, для некоторых до 5nA
- ~ Минимизировано статическое потребление

~ Быстрое пробуждение

- ~ Уменьшает нерабочие потери времени

nanoWatt XLP

nanoWatt Technology (2003)

~ nanoWatt Technology



nanoWatt
Technology

- ~ Появилась в 2003
- ~ Стандарт для всех новых МК Microchip с 2003
- ~ Заключение в дизайне МК, тех.процессе, периферии и тактовых генераторах и процедурах тестирования

~ Итоги:

- ~ В покое (Sleep mode) мощность $< 1\mu\text{W}$
 - ~ @3V $I_{pd} < 333\text{nA}$ (PIC24H)
 - ~ @2V $I_{pd} < 500\text{nA}$ (PIC16, PIC18, PIC24F)

Определения

nanoWatt Technology

Набор методов проектирования и разработки микроконтроллеров, обеспечивающий возможность потребления микроконтроллером менее $1\mu\text{W}$ в ждущем режиме (I_{pd}).

nanoWatt XLP

nanoWatt Technology (2003)



nanoWatt
Technology

- ~ **IDLE mode**
 - ~ CPU Выкл, Периферия Вкл.
- ~ **Встроенный, высокоскоростной RC генератор (INTRC) с PLL и программируемым делителем. Позволяет:**
 - ~ Быстрый старт 1мксек-5мксек
 - ~ Двухскоростной старт (стартует INTRC, затем переключение на кварц если нужно)
 - ~ Переключение частоты на ходу
- ~ **Расширенный WDT**
 - ~ Максимальное время увеличено от 18мс до 131сек
- ~ **Микропотребляющий Timer1 (TMR1) и 32 КГц второй генератор (secondary oscillator - SOS)**
- ~ **Малопотребляющий, программно контролируемый BOR**
 - ~ стандартный BOR переработан для меньшего потребления
 - ~ Можно программно выключать если не нужен, например в Sleep

nanoWatt XLP

nanoWatt XLP Technology (2009)

~ nanoWatt XLP (eXtreme Low Power)

- ~ Появилась в 2009 как следующее развитие технологии nanoWatt
- ~ Low leakage gate design employed throughout
- ~ Разработка и техпроцесс проработан для низкого потребления
- ~ Специализированная малопотребляющая периферия

~ Итоги:

- ~ Sleep: 100nA или меньше 13nA @1.8V
- ~ Real-Time Clock Calendar (RTCC): 800nA или меньше 500nA @1.8V
- ~ Watchdog Timer (WDT): 800nA или меньше 200nA @2.0V

Definition

nanoWatt XLP (eXtreme Low Power) Technology

Набор методов проектирования и разработки микроконтроллеров, обеспечивающий ток потребления менее 100nA в ждущем режиме, ток RTCC 800nA и 800nA ток WDT.

nanoWatt XLP

nanoWatt XLP Technology (2009)

Обзор свойств малопотребляющей периферии:

- ~ Deep Sleep (DS)
- ~ Deep Sleep Brown-Out Reset (DSBOR)
- ~ Deep Sleep Watchdog Timer (DSWDT)
- ~ Низкий ток утечки входов
- ~ Специфицированы так же при 60°C для батарейных применений



- ~ **Пример работы от батареи (25°C)**
 - ~ Тип батареи: Coin Cell (CR2032)
 - ~ 1ms RUN при 1MHz, и Deep Sleep с разрешенным RTCC
- ~ **PIC24FXXKA с nanoWatt XLP - до 20 лет**

nanoWatt XLP

МК с двумя *Brown-Out Resets*

~ **Brown-Out Reset (BOR)**

- ~ стандартный nanoWatt BOR
- ~ В некоторых контроллерах называется LPBOR
- ~ Конфигурируется на 4 уровня напряжений
- ~ Типовое потребление ~5мкА



~ **Deep Sleep BOR (DSBOR)**




- ~ Доступен в дополнение к BOR в контроллерах с режимом Deep Sleep
- ~ Фиксированный порог ~1.8В
- ~ В некоторых контроллерах до 5нА

nanoWatt XLP

МК с двумя сторожевыми таймерами (WDT)

- ~ Сторожевой таймер (Watchdog Timer WDT)
 - ~ Стандартный nanoWatt WDT
 - ~ $I_{\Delta WDT}$ до 500nA
 - ~ Период: 1ms–131s

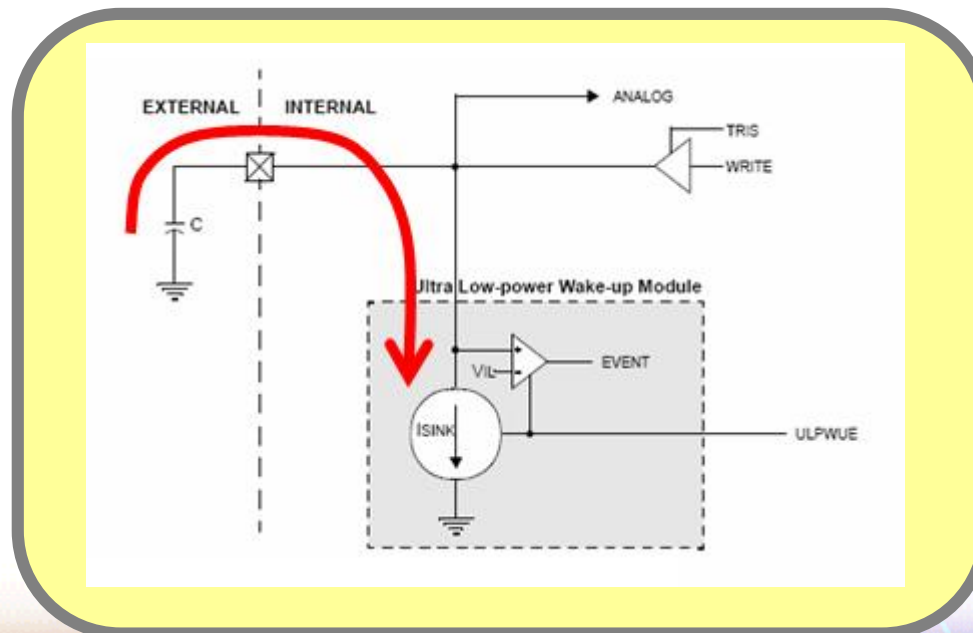


- ~ Deep Sleep WDT (DSWDT) 
 - ~ доступен в дополнение к WDT в контроллерах с режимом Deep Sleep
 - ~ Применим для приложений, которые не активны долгое время
 - ~ DSWDT продолжает тикать в Deep Sleep режиме
 - ~ $I_{\Delta WDT}$ до 370nA
 - ~ Период: 2.1мсек - 25.1 дней

nanoWatt XLP

Модуль *Ultra Low-Power Wake-Up* (ULPWU)

- ~ Стандартный модуль для некоторых контроллеров
- ~ Внутренний источник тока и внешний конденсатор позволяют реализовать аппаратный таймер с низким потреблением
- ~ Ток 75нА-160нА
- ~ Возможно сформировать временные интервалы подобные DSWDT, но на 80% меньше ток потребления
- ~ Потребление тока не как у стандартного порта V/B (между лог.уровнями)
- ~ Время зависит от температуры и влажности



nanoWatt XLP Peripheral Module Control

- ~ **Биты разрешения периферии**
 - ~ В регистре управления периферией SFRs
 - ~ Вкл/Выкл функционирования периферии
 - ~ Пример: AD1CON1<ADON>

- ~ **Некоторые контроллеры имеют дополнительные биты выключения периферии Peripheral Module Disable (PMD)**
 - ~ Расположены в PMD регистрах
 - ~ Запрещают тактирование выбранной периферии
 - ~ Снимают напряжение питания с выбранной периферии
 - ~ Пример: PMD1<ADC1MD>

TABLE 4-23: PMD REGISTER MAP

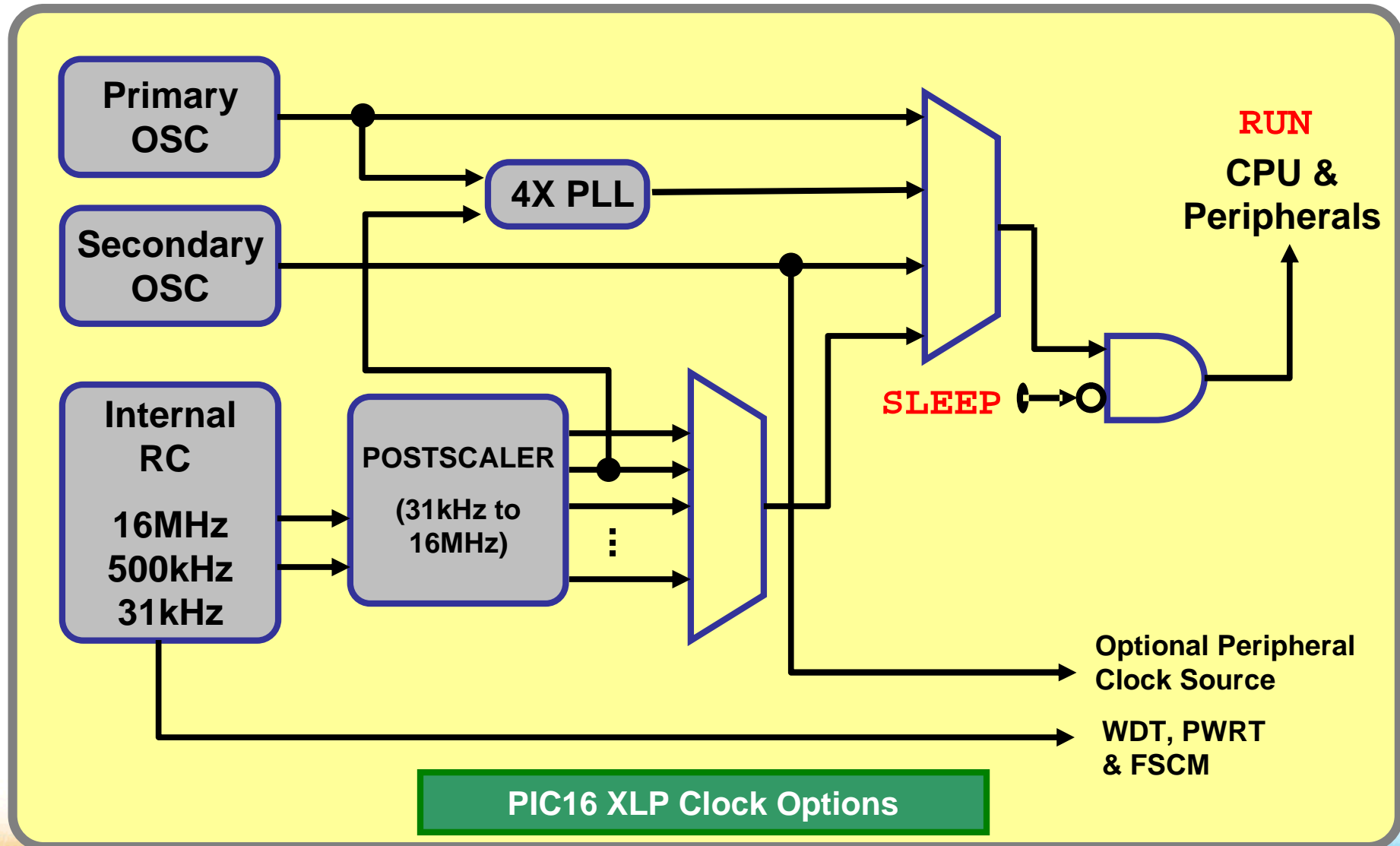
File Name	Addr	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	All Resets
PMD1	0770	—	—	T3MD	T2MD	T1MD	—	—	—	I2C1MD	U2MD	U1MD	—	SPI1MD	—	—	ADC1MD	0000
PMD2	0772	—	—	—	—	—	—	—	IC1MD	—	—	—	—	—	—	—	OC1MD	0000
PMD3	0774	—	—	—	—	—	CMPMD	RTCCMD	—	CRCPMD	—	—	—	—	—	—	—	0000
PMD4	0776	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	EEMD	REFOMD	CTMUMD	HLVDM	—	0000

nanoWatt XLP

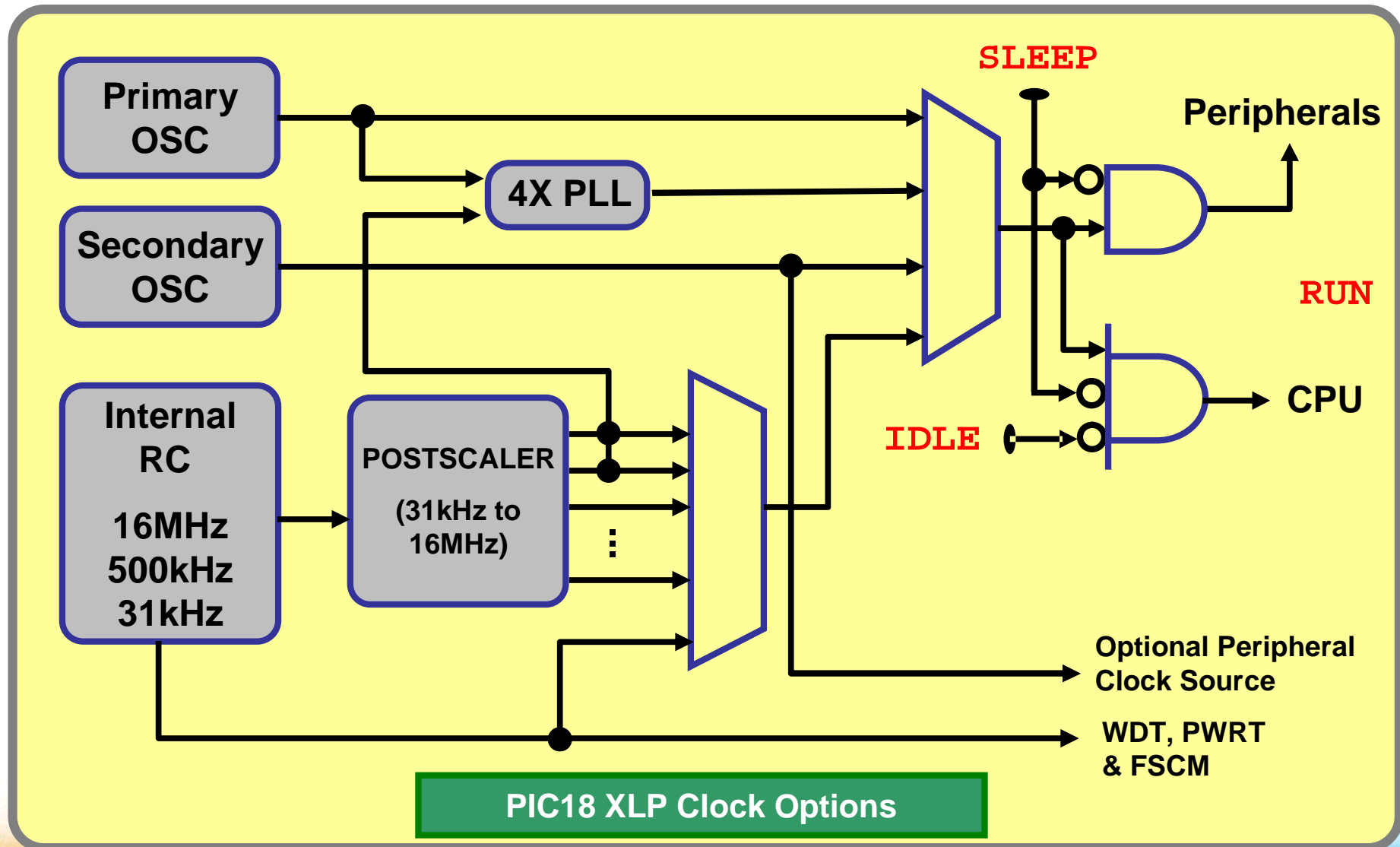
Режимы работы

	PIC16	PIC18	PIC24
RUN <i>All systems running</i>	ü	ü	ü
DOZE <i>CPU slower than peripherals</i>			ü
IDLE <i>CPU off, Peripherals on</i>		ü	ü
SLEEP <i>System clock off</i>	ü	ü	ü
DEEP SLEEP <i>RAM off, Vreg off</i>		ü	ü

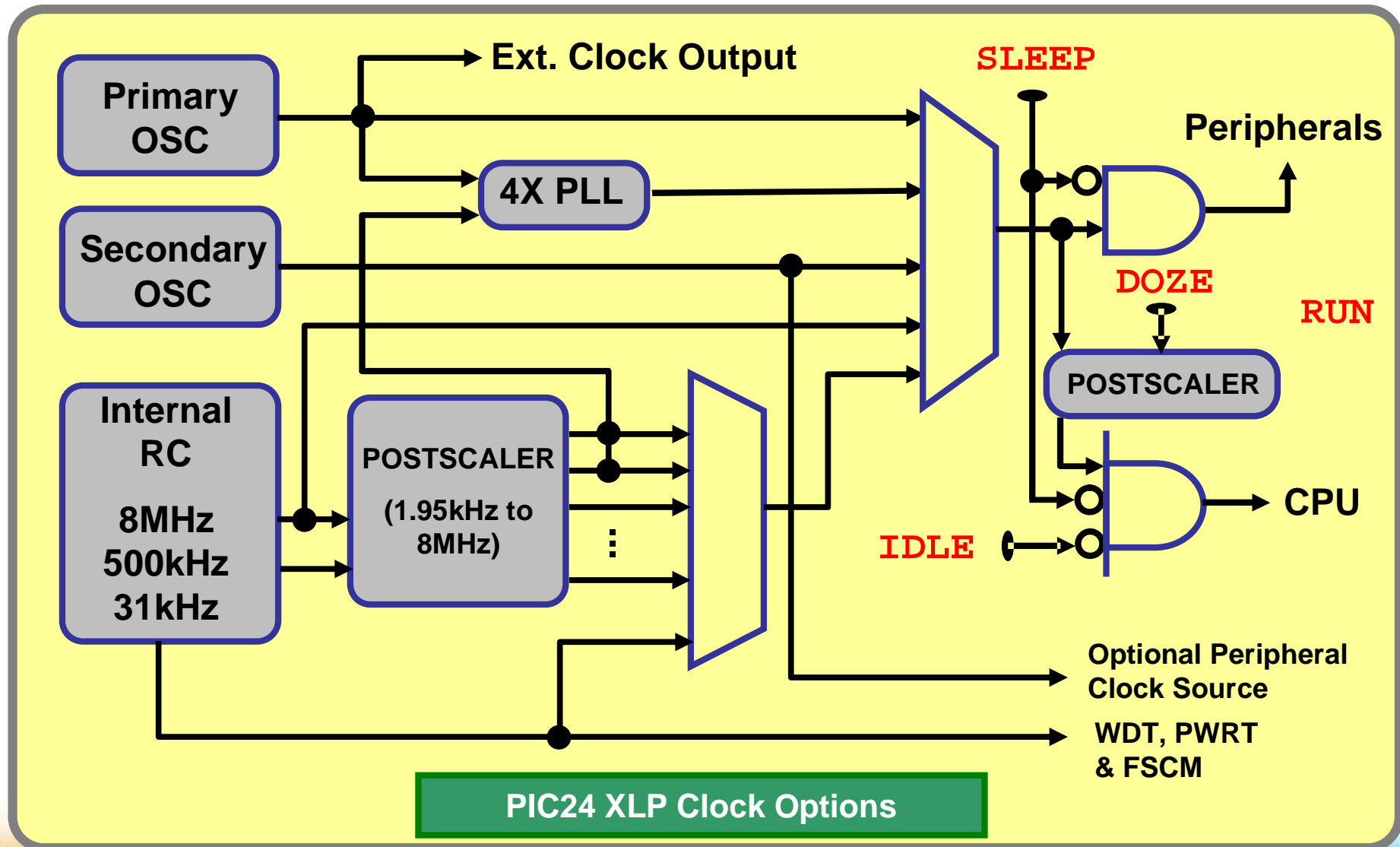
nanoWatt XLP PIC16 XLP генератор



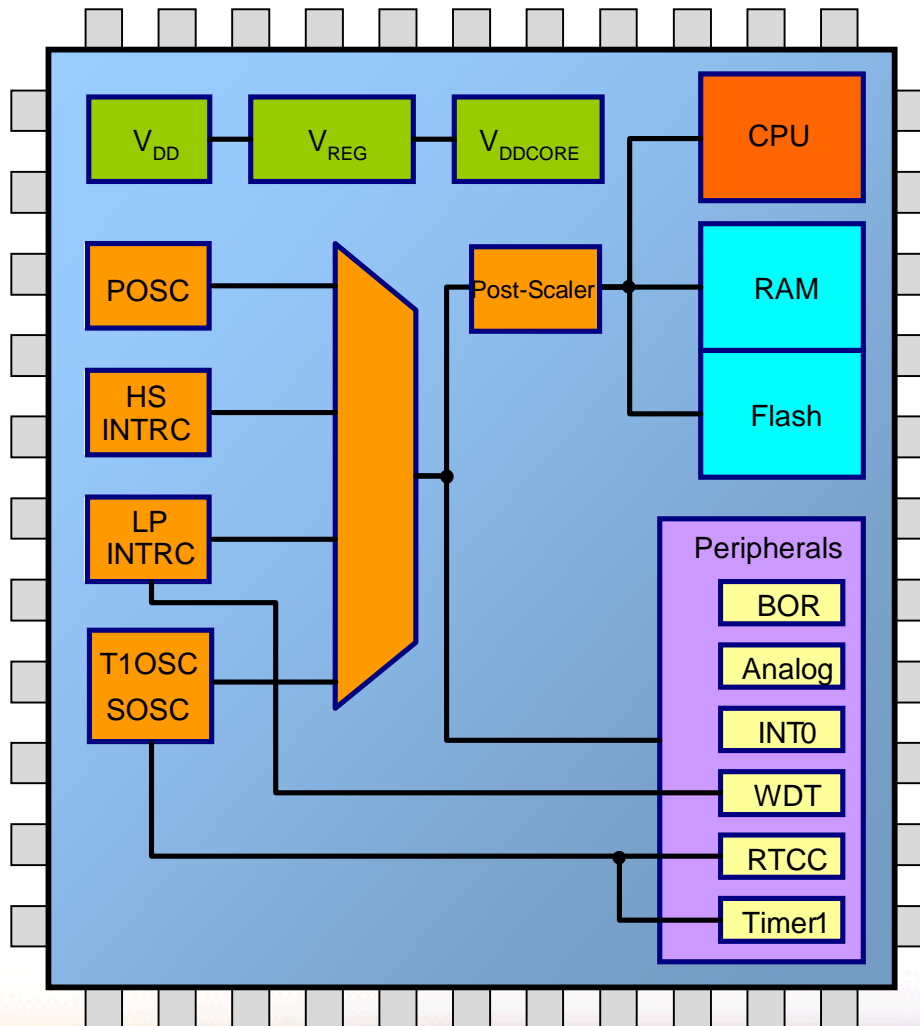
nanoWatt XLP PIC18 XLP генератор



nanoWatt XLP PIC24 XLP генератор



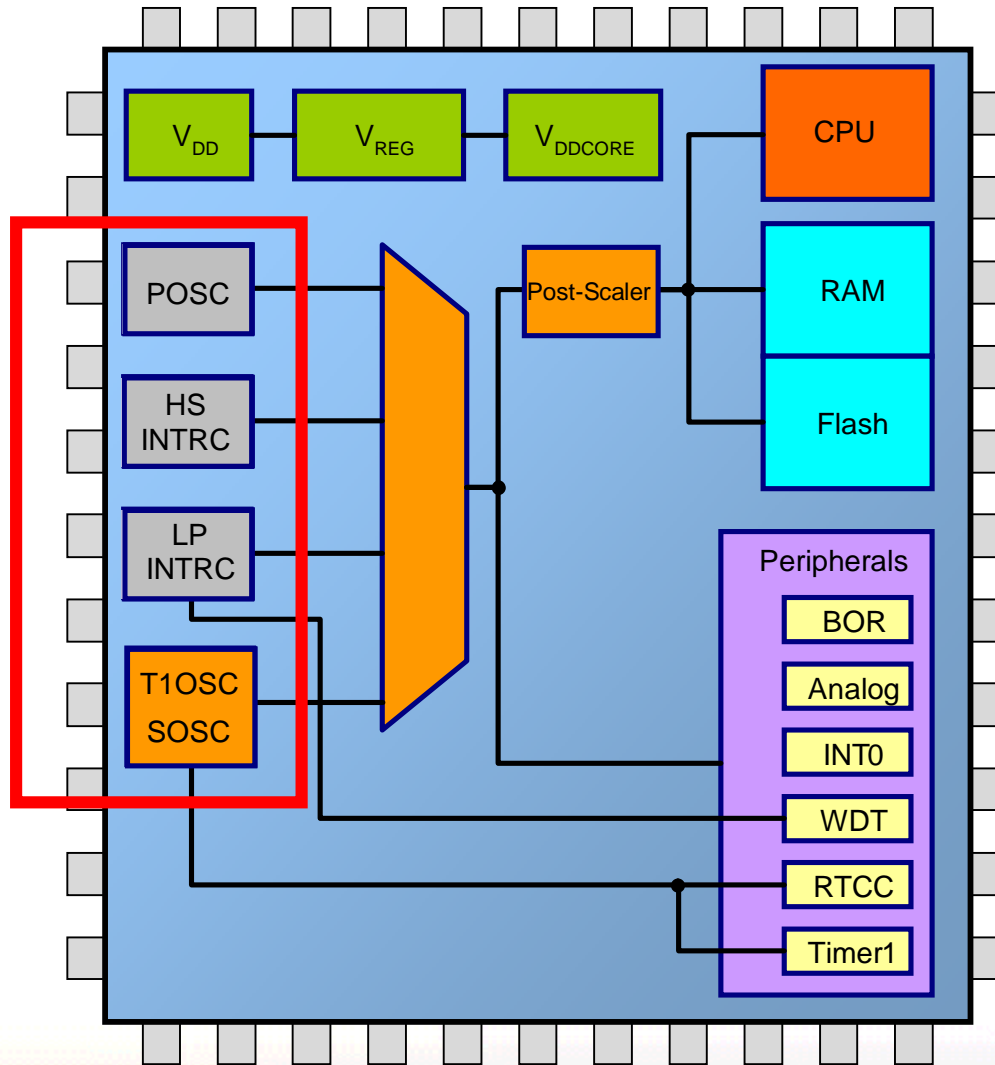
nanoWatt XLP *Run Mode*



- ~ Все ресурсы активны
- ~ Динамически реконфигурируемые источники тактирования

nanoWatt XLP

переключение частоты



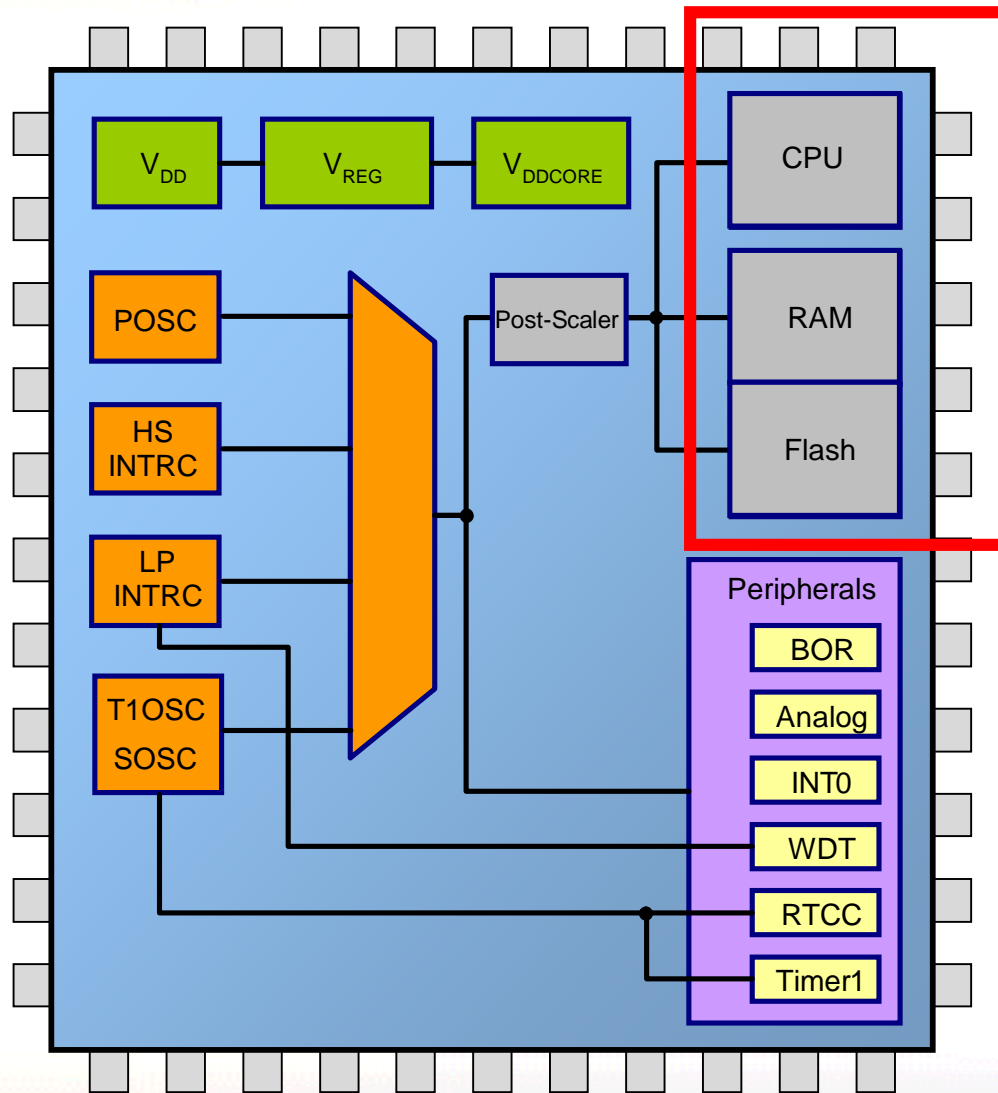
- ~ Несколько источников тактирования
- ~ Динамическое переключение
- ~ Действует на все части МК

nanoWatt XLP

переключение частоты

- ~ **Низкая частота может сохранить больше энергии чем использование режимов Idle/Doze**
 - ~ Низкая тактовая действует на весь кристалл
- ~ **Двойной запуск**
 - ~ Старт на INTRC за $1\mu\text{s}$ - $5\mu\text{s}$
 - ~ Переключение на кварц (если нужно)
 - ~ Работа на INTRC пока запустится PLL
- ~ **Используется когда ожидается внешнее событие или работа с медленной периферией (АЦП, компараторы, коммуникационные порты и т.п.).**

nanoWatt XLP *Doze Mode*

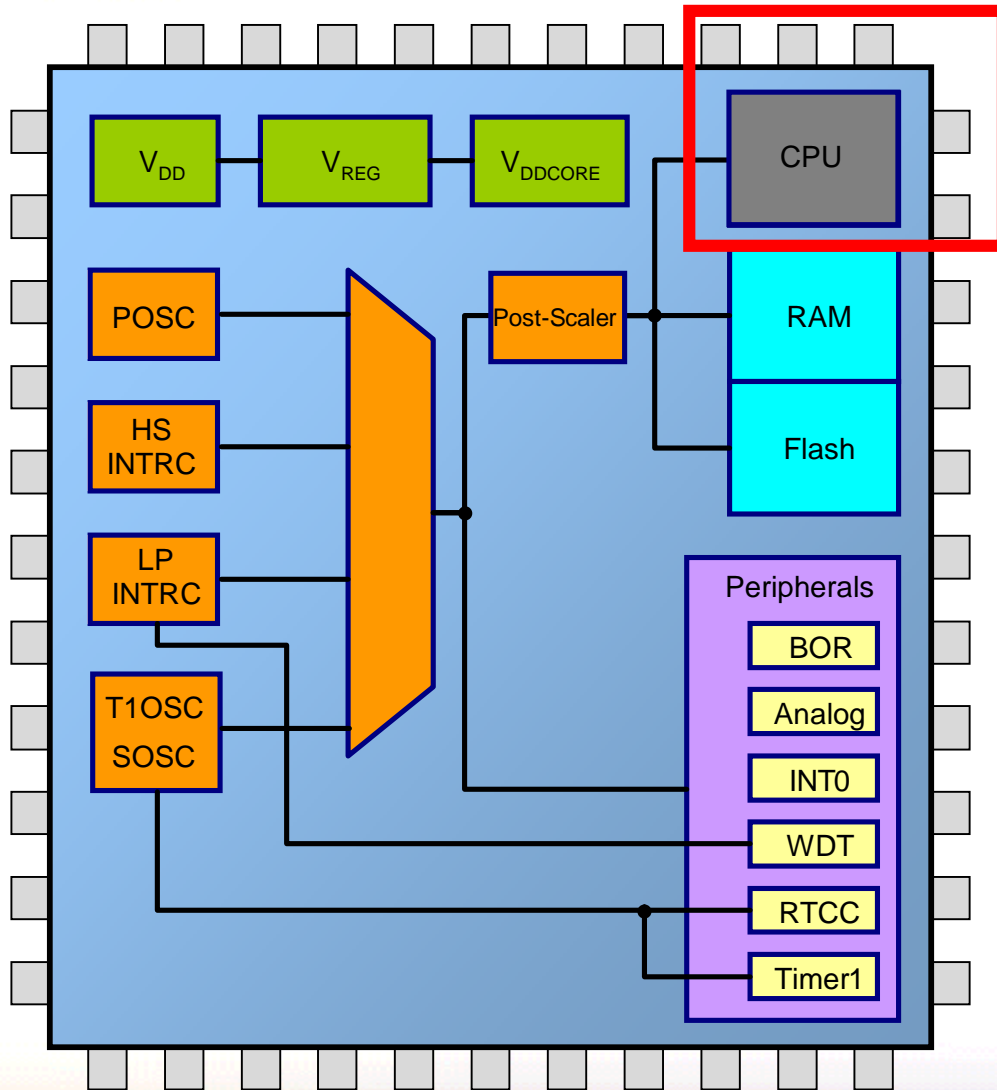


~ ЦПУ и Память
работают на
пониженной
частоте

~ Периферия
работает на
полной
частоте

~ Ток ниже на
35-75% от Run

nanoWatt XLP Idle Mode



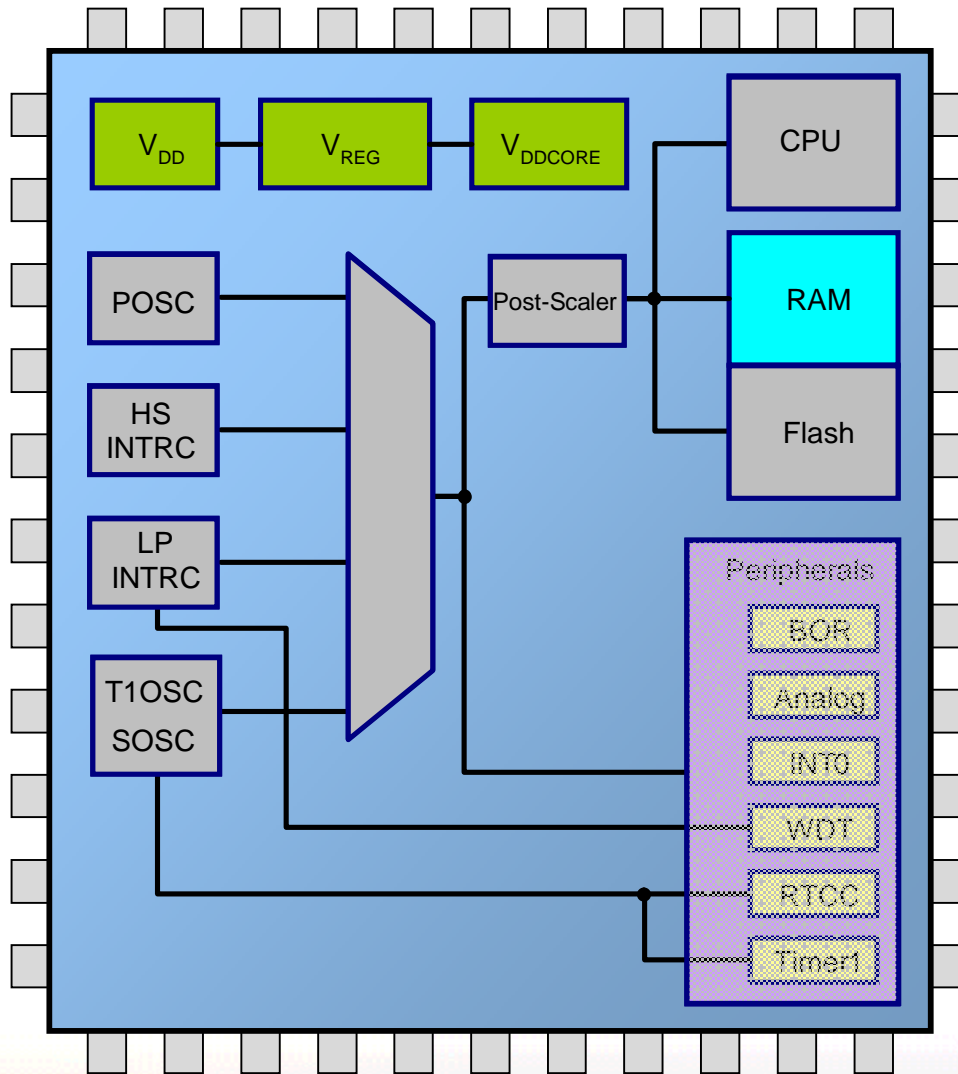
- ~ ЦПУ
выключен
- ~ Периферия
включена
- ~ Потребление
до **25%** от
Run

nanoWatt XLP

Режимы *Idle* и *Doze*

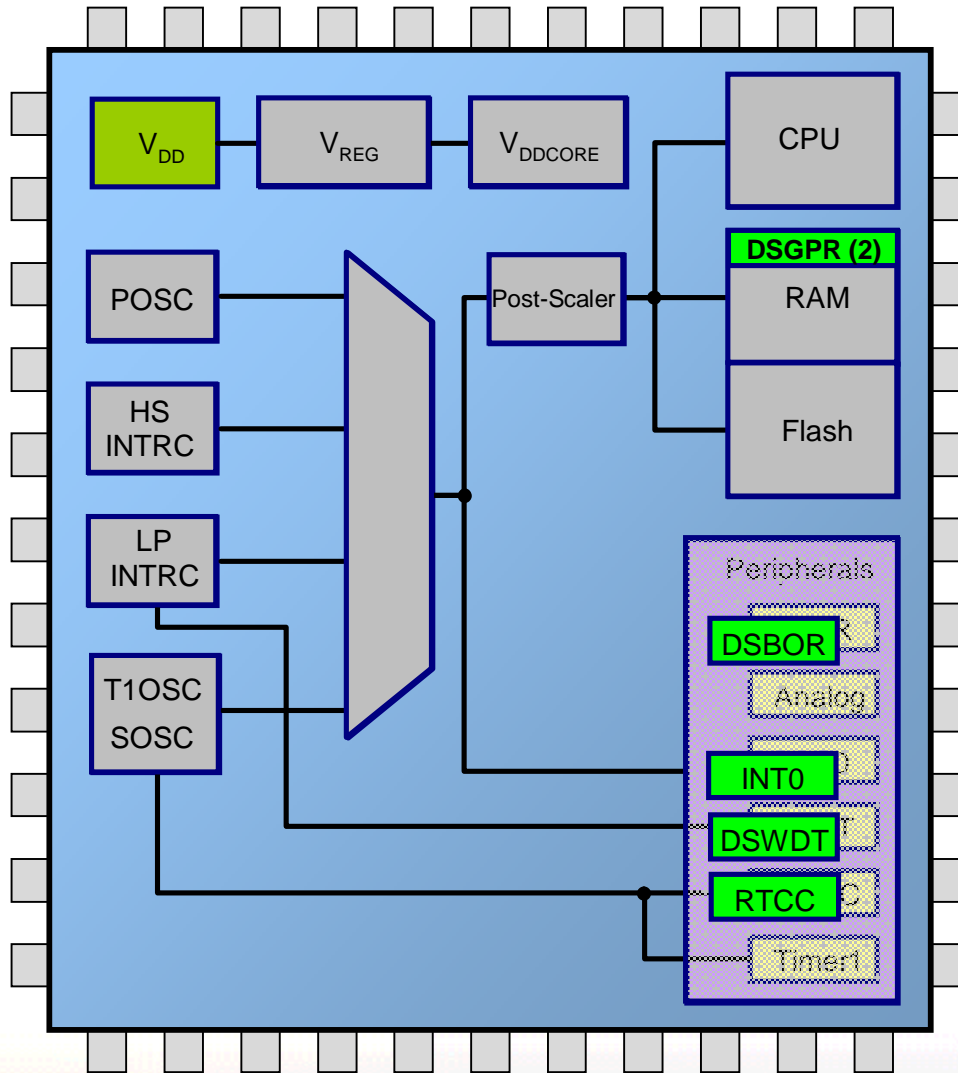
- ~ **Когда нужно использовать *Idle* или *Doze*?**
 - ~ Замена цикла `while(!Interrupt)`
 - ~ **Замедляемся в ожидании прерывания**
 - ~ Когда нужно очень быстрая реакция на событие и быстрое пробуждение.
 - ~ **Например нужно пробуждение за время соизмеримое с одной инструкцией**
 - ~ Во время передачи по DMA
 - ~ Когда устройство должно постоянно опрашивать что-то или находиться на связи

nanoWatt XLP Режим Sleep



- ~ **50-100nA** без регулятора
- ~ **3-5μA** с встроенным регулятором
- ~ Системный генератор и ЦПУ выключены
- ~ RAM остается запитанной
- ~ Регулятор питается
- ~ Некоторая периферия может работать в Sleep

nanoWatt XLP Режим *Deep Sleep*



- ~ **<50nA**
- ~ **RAM не запитывается**
- ~ **Регуляторы не работают**
- ~ **Некоторая периферия работает в Deep Sleep**
 - ~ DSBOR
 - ~ DSWDT
 - ~ RTCC
 - ~ INTO

nanoWatt XLP

Режим *Deep Sleep*

- ~ **Питание ядра выкл.**
 - ~ Это означает потерю данных в RAM, SFR-ов и программного счетчика
 - ~ Два DSGPR регистра предоставляют возможность хранения данных в Deep Sleep
 - ~ Время пробуждения включает время на установление напряжения на регулятора (если вкл. внутренний Vreg)
- ~ **Просыпание вызывает Power-On Reset (POR)**
 - ~ Стандартный Sleep
 - ~ **Возможно выполнение программы из входа в sleep**
 - ~ Deep Sleep
 - ~ **Просыпание очищает программный счетчик**
- ~ **Порты В/В не меняют состояние**

nanoWatt XLP

Итого по режимам

Modes	Active Clocks	Active Peripherals	Wakeup Sources	Typical Current	Typical Usage
RUN	All	All			
DOZE	All	All	All Software wake-up	~50% of Run Current	Applications with high-speed peripherals requiring low CPU use
IDLE	Peripheral Clocks Timer1 Secondary OSC INTRC LPRC ADC RC	All	All	~25% of Run Current	Anytime device is waiting for an event
SLEEP	Timer1 Secondary OSC INTRC LPRC ADC RC	RTCC Timer1 WDT INTx BOR ADC HLVD CVREF Comparators UART-RX	All	50-100 nA base 3-5 uA with Internal Regulator	Most low-power apps
DEEP SLEEP	Secondary OSC LPRC	RTCC DSWDT DSBOR INT0	RTCC DSWDT DSBOR INT0 MCLR ULPWU	< 50 nA base Peripherals add incremental current	Long-life battery based applications, applications with long sleep times

nanoWatt XLP

Сравнение сохранения энергии

	PIC16LF1827	PIC16LF1937	PIC16LF727	PIC18LF14K22	PIC18LF14K50	PIC18LF46J11	PIC18LF46J50	PIC18LF46K20	PIC24F04KA201	PIC24F16KA102	PIC24FJ64GA104	PIC24FJ64GB004
Deep Sleep (nA)						13	15		20	20	20	20
Sleep (nA)	20	60	20	34	24	54	60	100	25	25	200	200
WDT (nA)	500	500	500	460	450	820	780	600	400	400	200	200
32kHz SOSC/RTCC (nA)	600	600	600	650	790	850	830	600	500	500	500	500
1 MHz Run (µA)	80	93	80	131	125	275	275	131	195	195	250	250
Minimum V _{dd} (V)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0	1.8	1.8	1.8	2.0	2.0



Указаны типовые (TYP) значения при минимальном V_{dd}




MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

Системный подход



Системный подход Эффективность команд

- ~ Сколько команд нужно для выполнения задачи?
- ~ Каждая архитектура имеет свои особенности
 - ~ Изучите оценки производительности, например EEMBC's CoreMark для приблизительного анализа 
 - ~ Проверьте на симуляторе
 - ~ Проверьте в железе
 - ~ Отладочная плата 16-bit nanoWatt XLP Evaluation board спроектирована для такого анализа
- ~ Не сравнивайте только по первой странице даташита!
 μ A/MHz не покажут вам правдивые результаты!

Системный подход пример эффективности системы команд

- ~ **Большинство команд для PIC16 и PIC18 эквивалентны, за исключением умножения**
 - ~ PIC18 имеет одноцикловый 8x8 умножитель.
 - ~ PIC16 есть процедуры умножения

- ~ **Как много энергии требуется для выполнения 8x8 умножения?**
 - ~ PIC16LF727 @1MHz @1.8V @25°C
 - ~ 80µA/MHz
 - ~ Instruction cycle @1MHz = 4µs
 - ~ 62 instruction cycles = 248µs
 - ~ 80µA * 1.8V = 144µW
 - ~ 144µW * 248µs = 35.7nJ

 - ~ PIC18LF46J11 @1MHz @2.0V @25°C
 - ~ 275µA/MHz
 - ~ Instruction cycle @1MHz = 4µs
 - ~ 5 instruction cycles = 20µs
 - ~ 2.0V * 275µA = 550µW
 - ~ 550µW * 20µs = 11nJ

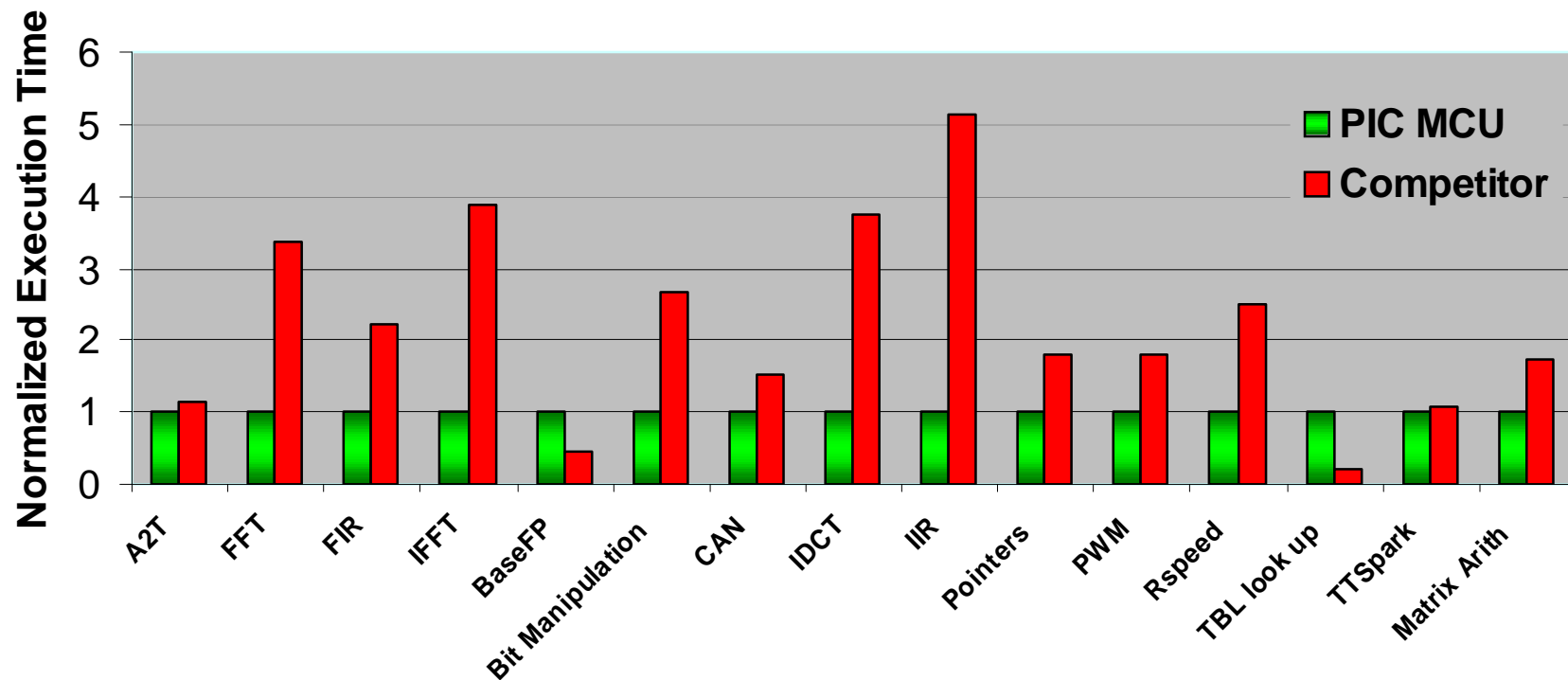
```
#include <htc.h>

unsigned char A,B;
unsigned int C;

void main (void)
{
    A = 2;
    B = 4;
    C = (unsigned int)A * (unsigned int)B;
}
```

Системный подход Эффективность команд

Benchmark execution time for your application using compiler
and a cycle-accurate simulator with stop watch features



Note:

Competitor 16-bit MCU family at 16 MIPS - Speed & Size trade off = 5

PIC24F family at 16 MIPS using MPLAB® C Compiler for PIC24F with Optimization level O3

Industry Standard Benchmark Algorithms

Системный подход

Выбор батареи

- ~ **Выбор типа батареи имеет важное значение**
 - ~ Литиевые батареи
 - ~ **Очень низкий саморазряд**
 - ~ **Низкий ток**
 - ~ **Высокое внутреннее сопротивление. Высокий импульсный ток вызывает просадку напряжения и уменьшает время работы**
 - ~ Новинка! Литиевые AA элементы
 - ~ **Подходящий диапазон напряжений для микроконтроллерных применений**
 - ~ **Низкое внутреннее сопротивление. Высокий вых. ток**
 - ~ **Низкий саморазряд**
 - ~ Щелочные элементы
 - ~ **Высокая емкость и высокий ток**
 - ~ **Уменьшение емкости при увеличении тока**
 - ~ Перезаряжаемые NiCd, NiMH и т.п.
 - ~ **Высокий саморазряд**
 - ~ **Требуют частого перезаряда даже при низком токе потребления**

Системный подход Спецификация батарей при 60°C

- ~ Большинство батарей специфицируются до 60°C
- ~ nanoWatt XLP теперь так же имеют спецификацию при 60°

PIC24F16KA102 FAMILY

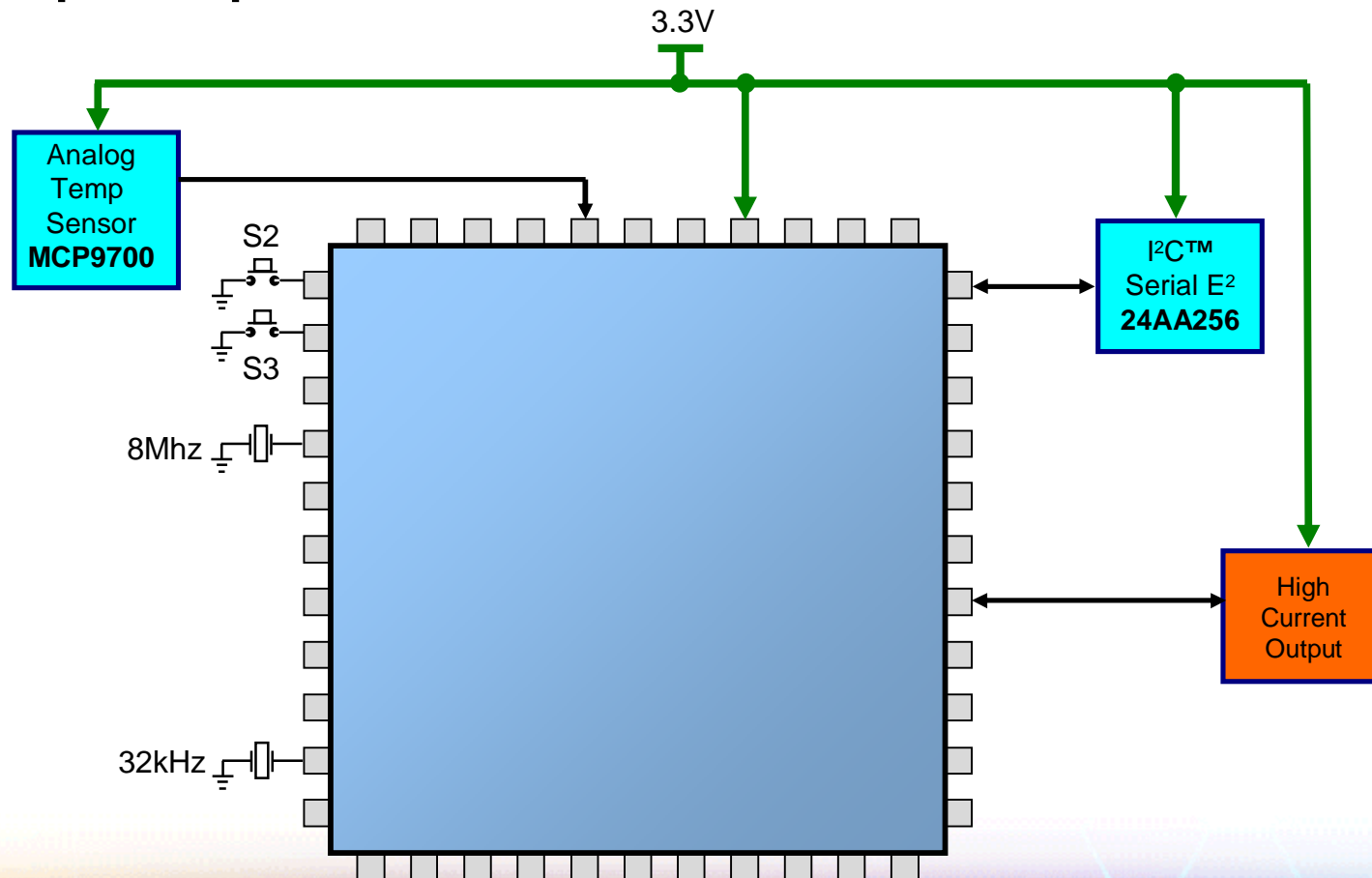
TABLE 29-8: DC CHARACTERISTICS: POWER-DOWN CURRENT (IPD)

DC CHARACTERISTICS			Standard Operating Conditions: 1.8V to 3.6V (unless otherwise stated) Operating temperature -40°C ≤ TA ≤ +85°C for Industrial		
Parameter No.	Typical ⁽¹⁾	Max	Units	Conditions	
Power-Down Current (IPD): PMD Bits are Set, PMSLP Bit is '0' ⁽²⁾					
DC60		0.200		-40°C	1.8V
DC60a		0.200		+25°C	
DC60b	0.035	0.375	μA	+60°C	
DC60c		1.350		+85°C	3.3V
DC60d		0.540		-40°C	
DC60e	0.105	0.540	μA	+25°C	
DC60f		1.680		+60°C	1.8V
DC60g		2.450		+85°C	
DC70		0.150		-40°C	1.8V
DC70a	0.020	0.150	μA	+25°C	
DC70b		0.420		+85°C	

Base Power-Down Current (Sleep)⁽³⁾

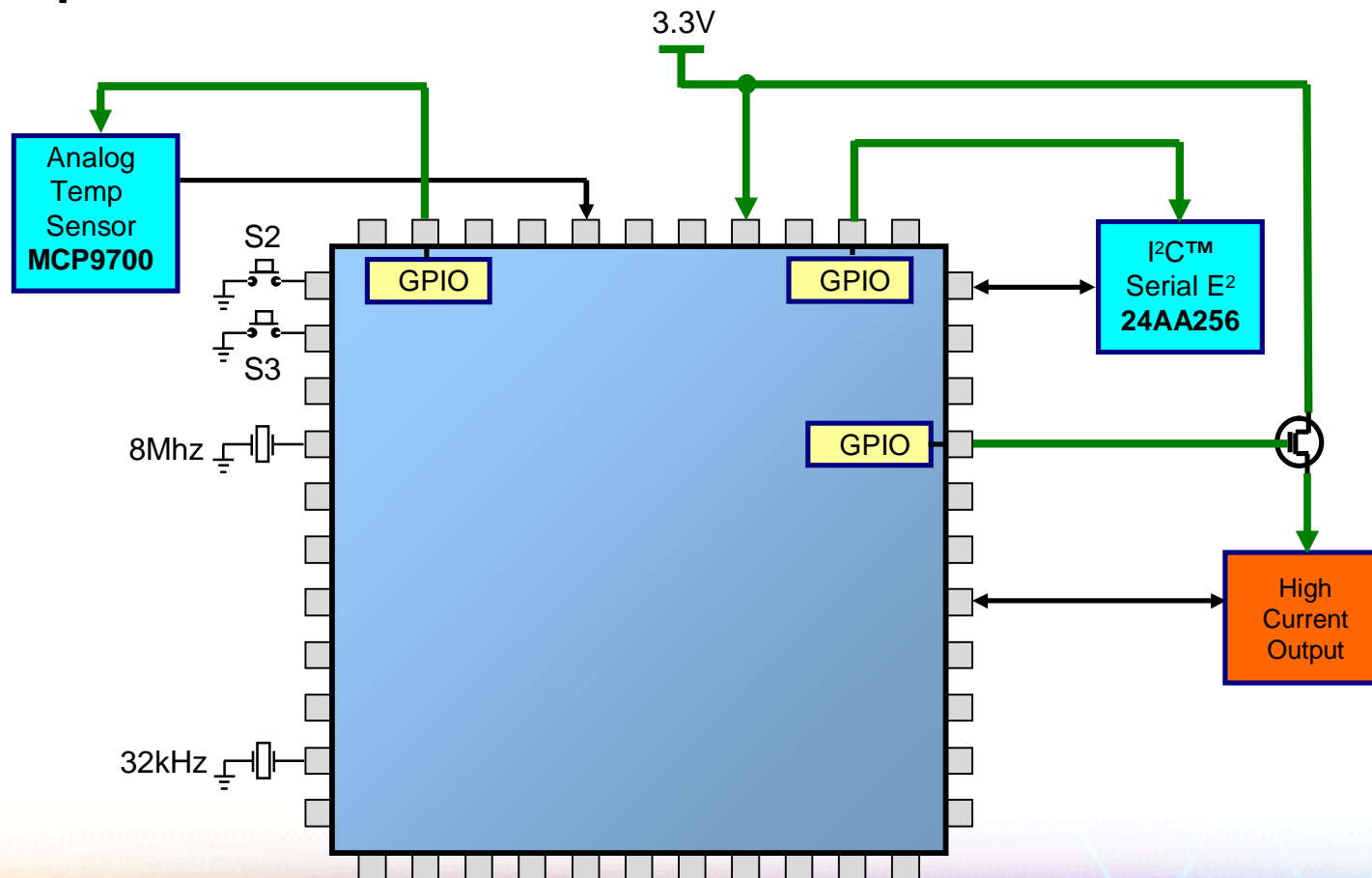
Системный подход Управление внешними цепями

- ~ Все элементы всегда под напряжением
- ~ Управление питанием с помощью индивидуальных режимов энергосбережения



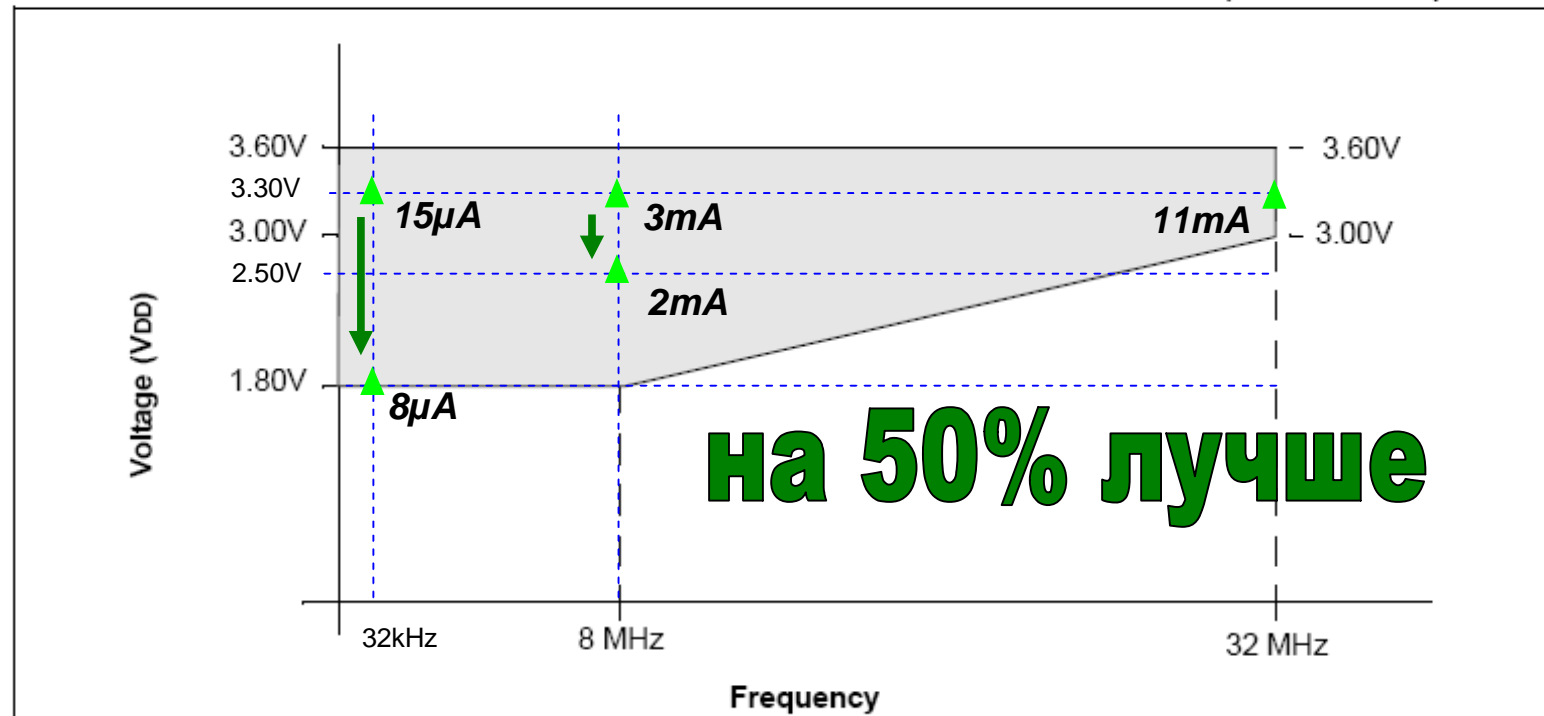
Системный подход Управление внешними цепями

- ~ PIC[®] MCU могут питать внешние микросхемы от порта V/B
- ~ FET-ы могут использоваться для запитки мощных потребителей



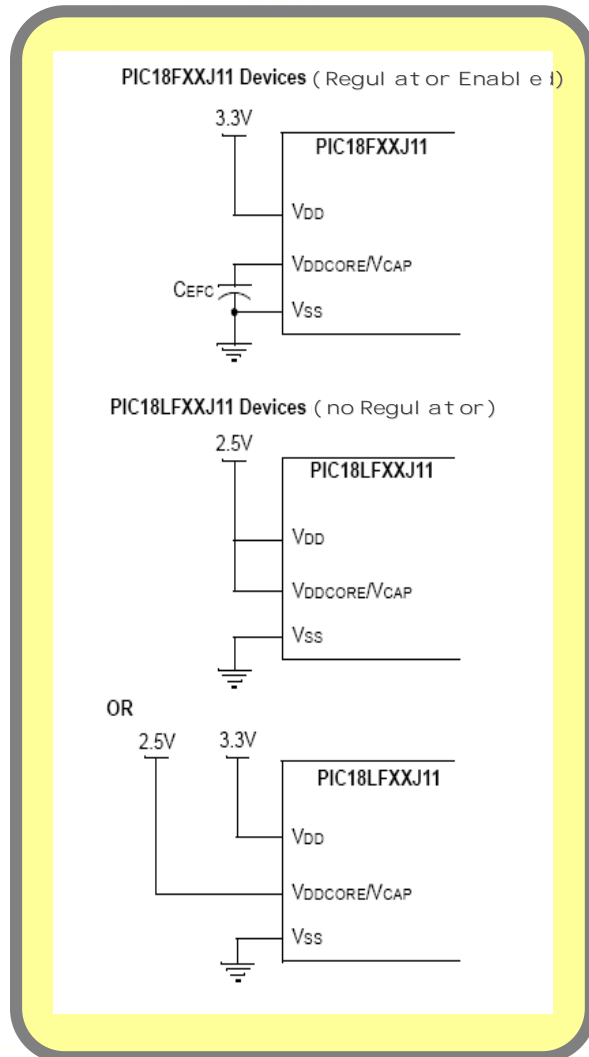
Системный подход уменьшение потребления

FIGURE 26-1: PIC24F04KA201 FAMILY VOLTAGE-FREQUENCY GRAPH (INDUSTRIAL)



- ~ Уменьшение напряжения влияет на активное и статическое потребление
- ~ Используйте минимальное напряжение
- ~ Попробуйте уменьшить V_{DD} находясь в Sleep

Системный подход Источник питания

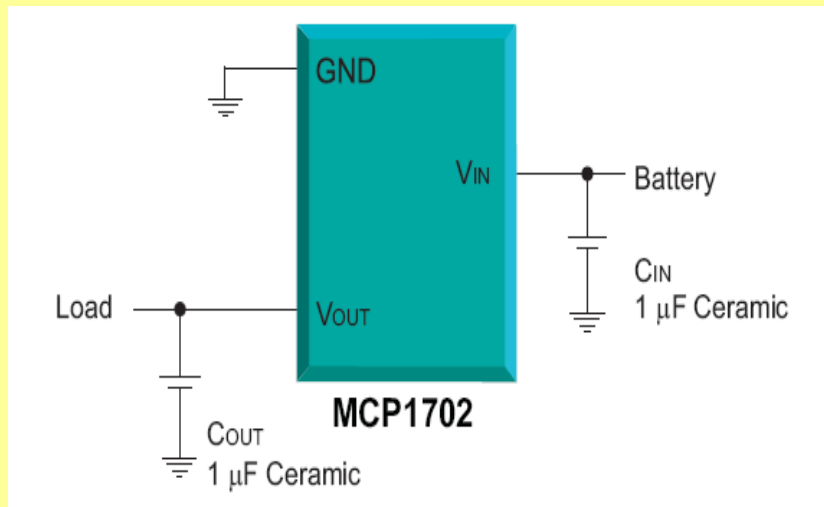


- ~ **Некоторые nanoWatt XLP контроллеры выполнены по низковольтному процессу:**
 - ~ Ядро требует 2.5V или 1.8V
 - ~ подключение 3.3V обвязки требует (LDO)
 - ~ **Некоторые F контроллеры имеют LDO**
 - ~ **LF обычно нет**

- ~ **Выбор:**
 - ~ Используйте F контроллеры с внутр. LDO
 - ~ Используйте 2.5V (или 1.8V) периферию и источник питания
 - ~ Используйте несколько источников

Системный подход управление V_{ddcore}

- ~ **Правильный выбор регулятора может снизить статическое потребление**
 - ~ PIC18F46J11 ток потребления LDO $\sim 3\mu A$
 - ~ MCP1702 - внешний LDO, ток менее $\sim 2\mu A$
- ~ **Для малопотребляющих применений внешний LDO может быть лучшим выбором**



MCP1702 Linear Regulator Specifications:

- § 2.0 μA typical quiescent current
- § 2.7V-13.2V input voltage
- § Low Dropout Voltage: 650mV (typ) @250mA
- § 0.2%/V Line regulation 0.2%/V
- § Short Circuit & Thermal Shutdown protection

Системный подход минимизировать доступ к RAM

- ~ Чтение RAM требует больше мощности чем чтение FLASH

```
Standard_Routine:           // compiles to 3 instructions  
  
while(!_T1IF) i++;
```

19.1 mA

- ~ Таким способом мы читаем `_T1IF` (флаг прерывания `Timer1`) и записываем `i` все время в цикле.
- ~ На 32MHz:
 - ~ Время цикла 187нсек
 - ~ Средний ток потребления в цикле 19.1mA
 - ~ Тут мы читаем и записываем RAM дважды каждые 187нс
 - ~ Нам действительно нужно такая скорость реакции?

Системный подход минимизировать доступ к RAM

```
Low_Power_Routine:           // compiles to 8 instructions  
    while(!_T1IF){  
        i++;  
        Nop();  
        Nop();  
        Nop();  
        Nop();  
        Nop();  
    }
```

16.4 mA

- ~ **На 32МГц время цикла 500нс**
 - ~ Чтение и запись ram дважды каждые 500нс
- ~ **Уменьшили потребление на 2.5mA**
- ~ **Уменьшили потребление ~13% путем добавления пяти NOP-ов!**

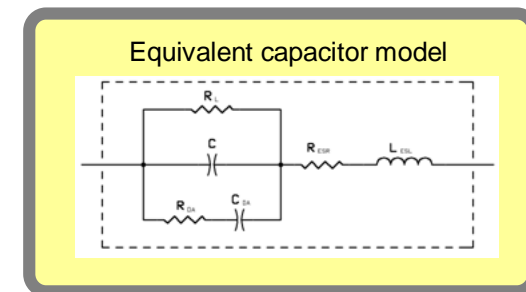
Системный подход рекомендации по портам В/В

- ~ **Используйте встроенные pull-ups для кнопок**
 - ~ Встроенные резисторы могут быть выключены после детектирования

- ~ **Используйте высокояркие светодиоды**
 - ~ Требуют меньше тока для той же яркости
 - ~ **25mA – светодиоды видны при токе 100мкА**
 - ~ Используйте ШИМ вместо прямого управления

Системный подход рекомендации по портам В/В

- ~ **Используйте подтяжку с высоким сопротивлением**
- ~ **Используйте конденсаторы с малой утечкой**
 - ~ Танталовые имеют большую утечку
 - ~ Может быть больше чем 1мкА @10мкФ
 - ~ Керамические имеют наименьшую утечку
 - ~ ~20нФ @10мкФ
- ~ **Разумно ставьте блокировочные конд.**
 - ~ Каждый добавляет ток утечки
- ~ **Короткие проводники**
 - ~ Короткие проводники – меньше сопротивление



Системный подход избегайте висящих входов!!!

	Typical Case	Worst Case
1 висящий вход	35 μ A	0.5 mA
2 висящий вход	65 μ A	1 mA
10 висящий вход	305 μ A	5 mA

~ Висящий КМОП вход

- ~ Болтается вокруг $V_{DD}/2$
- ~ Высокий ток утечки
- ~ Антенна – наводки от внешних сигналов

~ Избегайте висящих входов

- ~ Установите неиспользуемые выводы на выход
- ~ Установите в 0

Системный подход Уменьшение времени просыпания

- ~ **Кварц:**
 - ~ 1024 цикла затрачивается на стабилизацию частоты
 - ~ **Необходимо чтобы генератор стартовал и вышел на стабильный режим**
 - ~ **Очень важно для надежного запуска во всех температурных режимах**
 - ~ **32мс @32кГц, 64мкс @ 8МГц**
 - ~ **Может быть существенно больше – при некоторых условиях до 1с**

- ~ **Внутренний RC (INTRC) генератор:**
 - ~ Обычно МК стартуется за 1мкс-5мкс от INTRC

- ~ **Двухскоростной старт**
 - ~ Просыпание от INTRC
 - ~ **У некоторых МК генератор INTRC имеет точность до 0.25%**
 - ~ Переключение на кварц если необходима его точность

Системный подход Уменьшение активного тока

- ~ **Выключить ненужную периферию**
 - ~ Вся периферия имеет управляющие биты или PMD биты для выключения
- ~ **Оптимизация кода**
 - ~ Экспериментируйте с комбинацией скорости, размером кода и необходимым ОЗУ и используйте оптимизатор кода
 - ~ Быстрое выполнение кода с минимизацией доступа к ОЗУ уменьшит потребление
- ~ **Оцените время выполнения вашего алгоритма**
 - ~ Для примера:
 - ~ **32MHz на различных PIC МК даст различное время выполнения кода**
 - ~ **Более 90% команд PIC[®] контроллеров выполняются за 1 цикл**
 - ~ Бесплатный симулятор в MPLAB[®] IDE

Системный подход Уменьшение активного тока

- ~ **Используйте SPI периферию вместо I²C™**
 - ~ Меньше чувствительность к подтягивающим резисторам
 - ~ Быстрее
 - ~ Меньше динамическое потребление
 - ~ Меньше время на обработку интерфейса
 - ~ Многая периферия, такая как EEPROM, имеет оба типа интерфейса



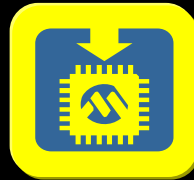


MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

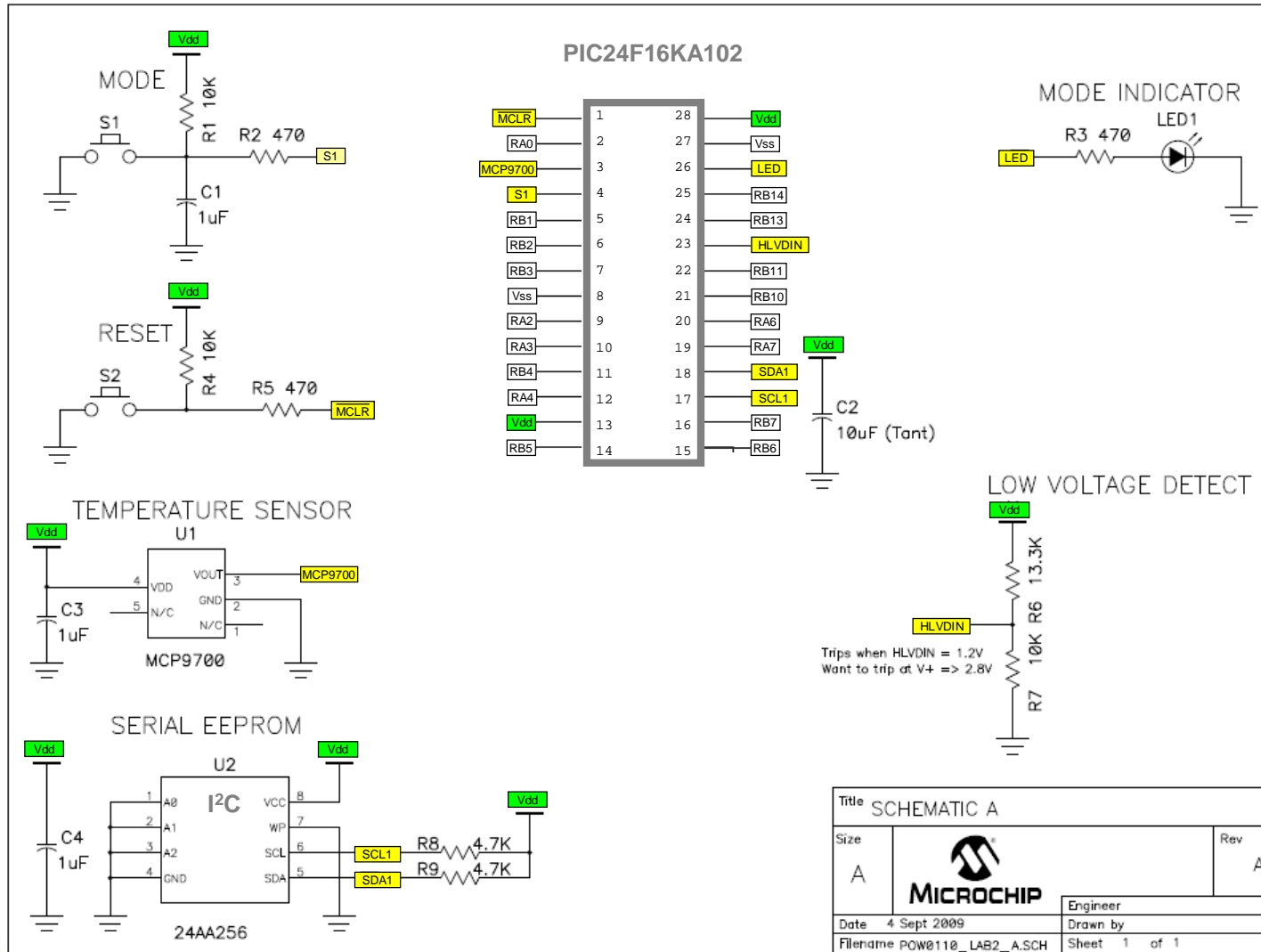
Пример 2

Планирование на уровне схемотехники



Пример #2

Что можно улучшить?



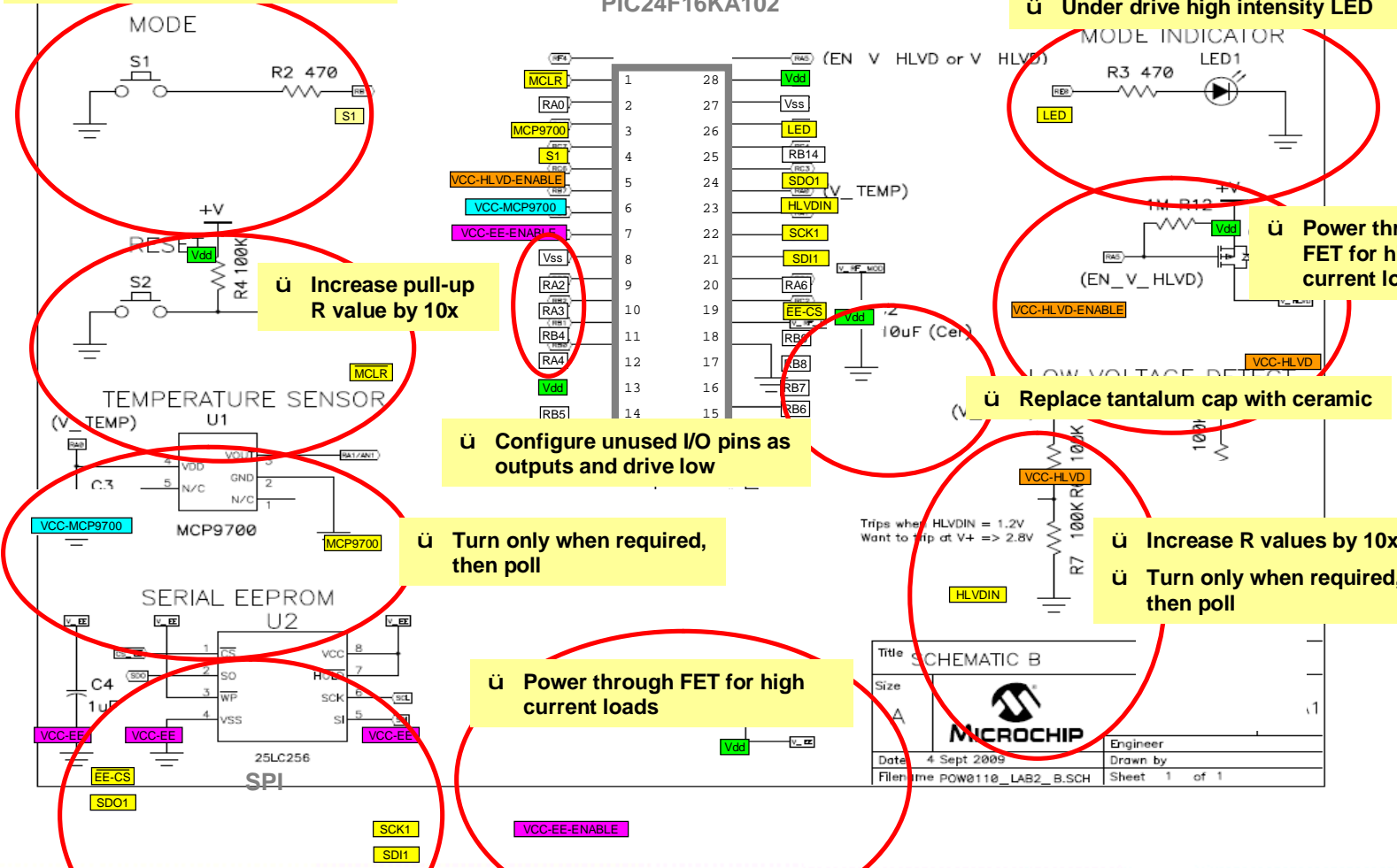
Пример #2

Возможные решения



- ü Use internal pull-ups
- ü Use software debouncing

- ü Calculate highest possible R
- ü PWM instead of direct drive
- ü Under drive high intensity LED



ü Increase pull-up R value by 10x

ü Power through FET for high current loads

ü Replace tantalum cap with ceramic

ü Turn only when required, then poll

ü Increase R values by 10x
ü Turn only when required, then poll

ü Power through FET for high current loads

ü Use SPI instead of I²C™
ü Power via I/O pins or FET

Title	SCHEMATIC B		
Size	.1		
Date	4 Sept 2009	Engineer	
Filename	POW0110_LAB2_B.SCH	Drawn by	
		Sheet	1 of 1



MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

Deep Sleep



Deep Sleep

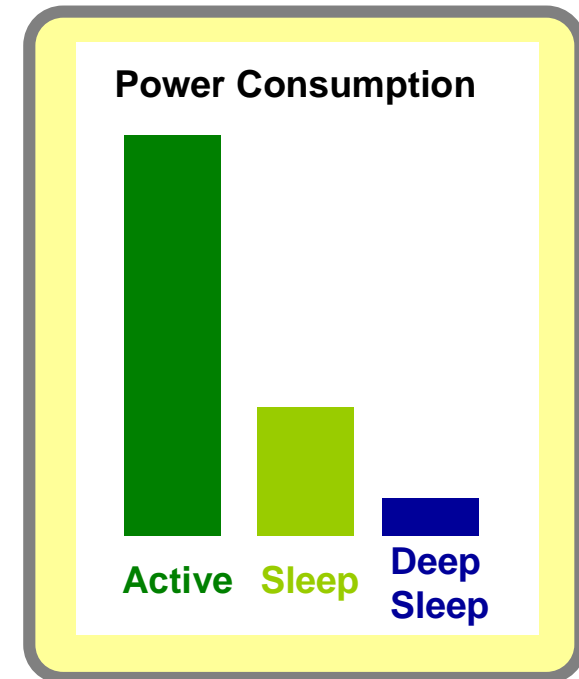
Что такое *Deep Sleep* (DS)?

- ~ **Выключает питание от:**
 - ~ Ядро, Периферия, SRAM & регулятор напряжения
- ~ **Наименьшее напряжение:**
 - ~ До **13 нА**
 - ~ RTCC в режиме DS до **500 нА**
- ~ **Порты В/В остаются запитаны и не меняют состояние в Deep Sleep**
- ~ **Выберите периферию которая будет продолжать работать и может пробудить МК из Deep Sleep**



Deep Sleep в чем отличие от Sleep?

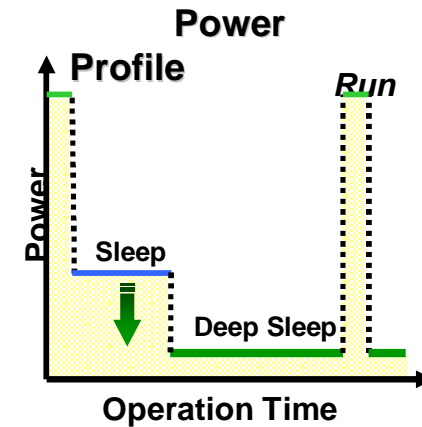
- ~ Может сохранить до 90% от Sleep
- ~ **SRAM выключена**
 - ~ Регистры не сохраняют состояние в DS
- ~ **Есть специальные регистры для сохранения контекста**
 - ~ Два регистра хранят данные в DS
 - ~ FLASH или EEPROM можно использовать для хранения данных
- ~ **Внутренний регулятор (LDO) выключен**
 - ~ Не все МК имеют LDO
- ~ **DS вызывает Power-On Reset**
 - ~ Контроллер стартует с 0-го адреса
 - ~ SFR-ы устанавливаются в значение по умолчанию
 - ~ RCON<DPSLP> биты устанавливаются аппаратно



Deep Sleep

Sleep vs. Deep Sleep. Сравнение

<i>Low Power Mode</i>	SLEEP	DEEP SLEEP
Definition	Core powered off, Some peripherals can operate, RAM retained	Core, Peripherals, SRAM & Voltage regulator powered off
Wake-Up Sources	RTCC Watch-Dog Timer Brown-out Reset Interrupt Pins ULPWU Power-On Reset Reset Pin (MCLR) Peripherals UART (RX)	DS RTCC DS Watch-Dog Timer DS Brown-out Reset INT0 ULPWU Power-On Reset Reset Pin (MCLR)
Wake-Up Time	Shorter (~1 μ S-5 μ S typ)	Longer (same as POR)
Pin State	Maintained	Maintained
RAM State	Maintained	Two words maintained



Deep Sleep

Когда DS эффективен?

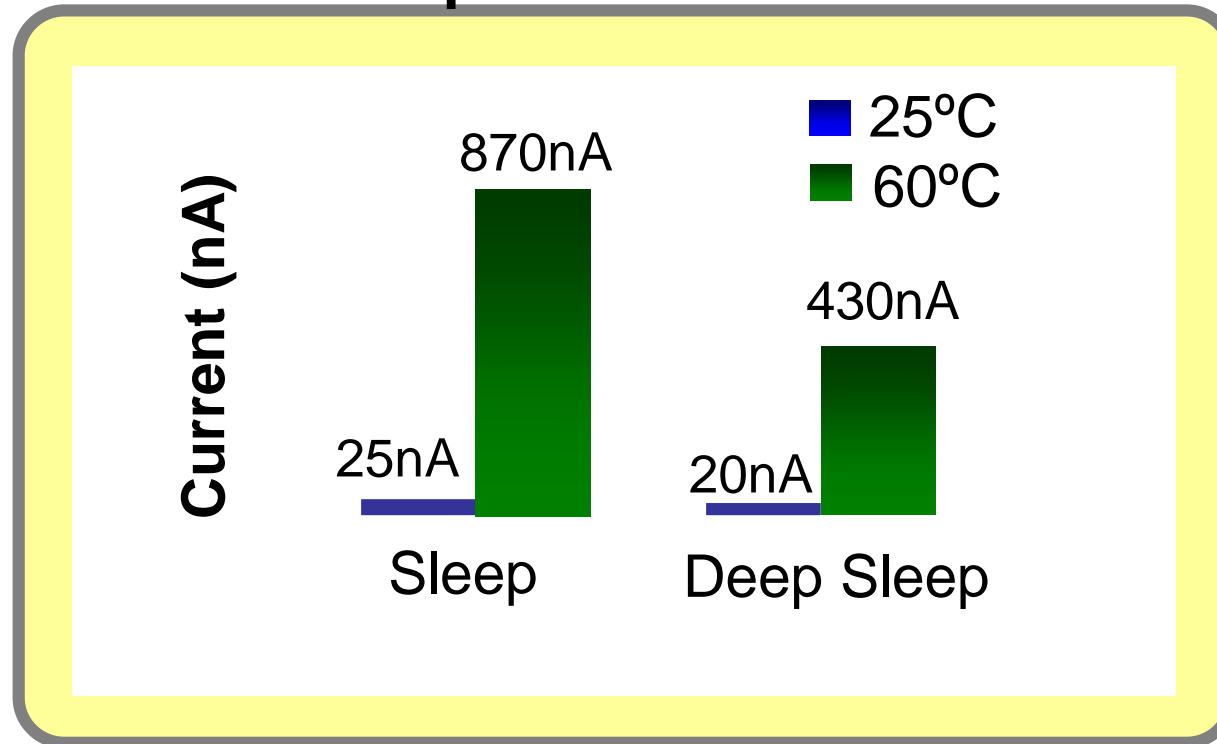
- ~ Когда приложение:
 - ~ Неактивно длительное время
 - ~ Более 1сек
 - ~ Требуются точные временные интервалы с минимальным потреблением
 - ~ Работа при экстремальных температурах
 - ~ Нужна активная в DS периферия (которая может работать в DS)



Deep Sleep

Когда DS эффективен?

В высокотемпературных приложениях:



PIC24F16KA102

25°C specifications - Typ I_{pd} @ 1.8V

60°C specifications - Max I_{pd} @ 1.8V

Deep Sleep

Что работает в DS?

~ RTCC

- ~ Продолжает считать время
- ~ RTCC может выдавать импульсы на выход



~ I/O Pins

- ~ Сохраняют состояние

~ Специальные Deep Sleep регистры хранят состояние:

- ~ DSGPR0 – DS General Purpose Register 0
- ~ DSGPR1 – DS General Purpose Register 1
- ~ RTCC – Real-Time Clock Calendar



~ DSBOR (Deep Sleep Brown-Out Reset)

- ~ Мониторинг V_{DD} в DS

~ DSWDT (Deep Sleep Watchdog Timer)

Deep Sleep какие МК имеют DS?



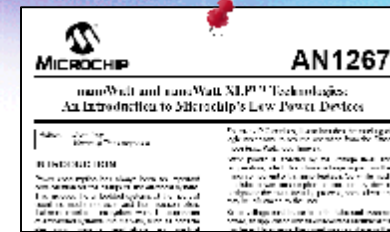
PIC MCU Family	Min. V_{dd}	Family Members	Flash kB	Pins	Sleep (nA)	DS (nA)	WDT DSWDT (nA)	TMR1 RTCC (nA)	1MHz Run (μ A)
PIC18F46J11	2.0	6	16-64	28-44	54	13	820	850	275
PIC18F46J50 	2.0	6	16-64	28-44	60	15	780	830	275
PIC24F04KA201	1.8	2	4	14-20	25	20	400	500	195
PIC24F16KA102	1.8	4	8-16	20-28	25	20	400	500	195
PIC24FJ64GA104	2.0	4	32-64	28-44	200	20	200	500	250
PIC24FJ64GB004 	2.0	4	32-64	28-44	200	20	200	500	250



Current specifications are typical (TYP) values at minimum V_{dd}

Шесть семейств – 26 контроллеров – и будущие МК

Deep Sleep *Break-Even Time*



~ Break-Even Time

- ~ DS выключает питание с ядра, SRAM и регулятора
- ~ При просыпании по DS:
 - ~ Регулятор включается
 - ~ Выполняется процедура POR
 - ~ Стартует генератор
 - ~ Восстановление контекста
- ~ Время просыпания (Wake-Up) становится доминантным
- ~ Для коротких промежутков просыпания стандартный sleep может быть эффективным

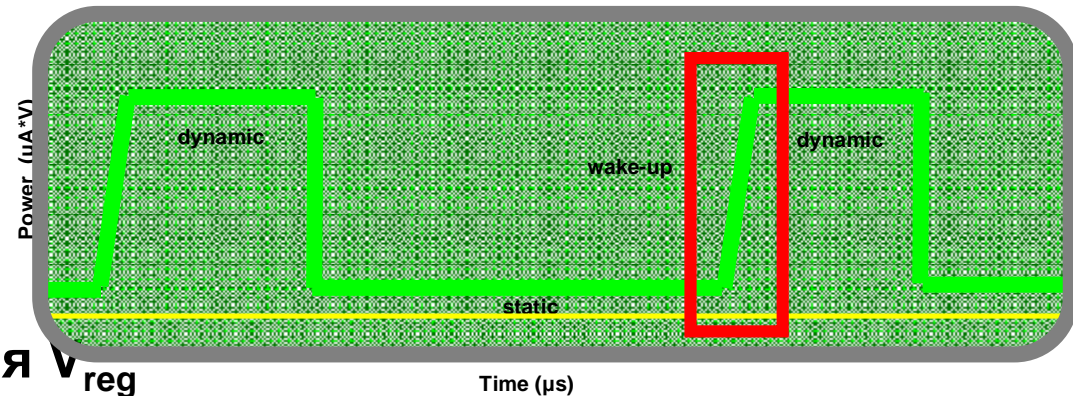
Definition

Break-Even Time

Точка, когда Deep Sleep выгоднее чем Sleep

Deep Sleep

Составляющие времени пробуждения



~ Запуск

стабилизатора напряжения V_{reg}

- ~ обычно 10мкс
- ~ Требуется для МК со встроенным LDO

~ Power-up Time

- ~ обычно 72мс

~ запуск генератора

- ~ Кварц стартует за миллисекунды
- ~ Резонатор может стартовать за 100-200мкс

~ Двухскоростной запуск

- ~ Быстрый RC генератор стартует за 1-5мкс до заданной точности
- ~ Можно работать пока не разогнался кварц
- ~ Переключение на кварц если необходима его точность

Deep Sleep

критическая точка



~ **Энергия, потребленная в режиме Sleep**

$$P_{\text{sleep}} = \left(t_{\text{sleep}} \times I_{\text{sleep}} \right) \times V_{\text{supply}}$$

~ **Энергия, потребленная в DS + инициализация + POR**

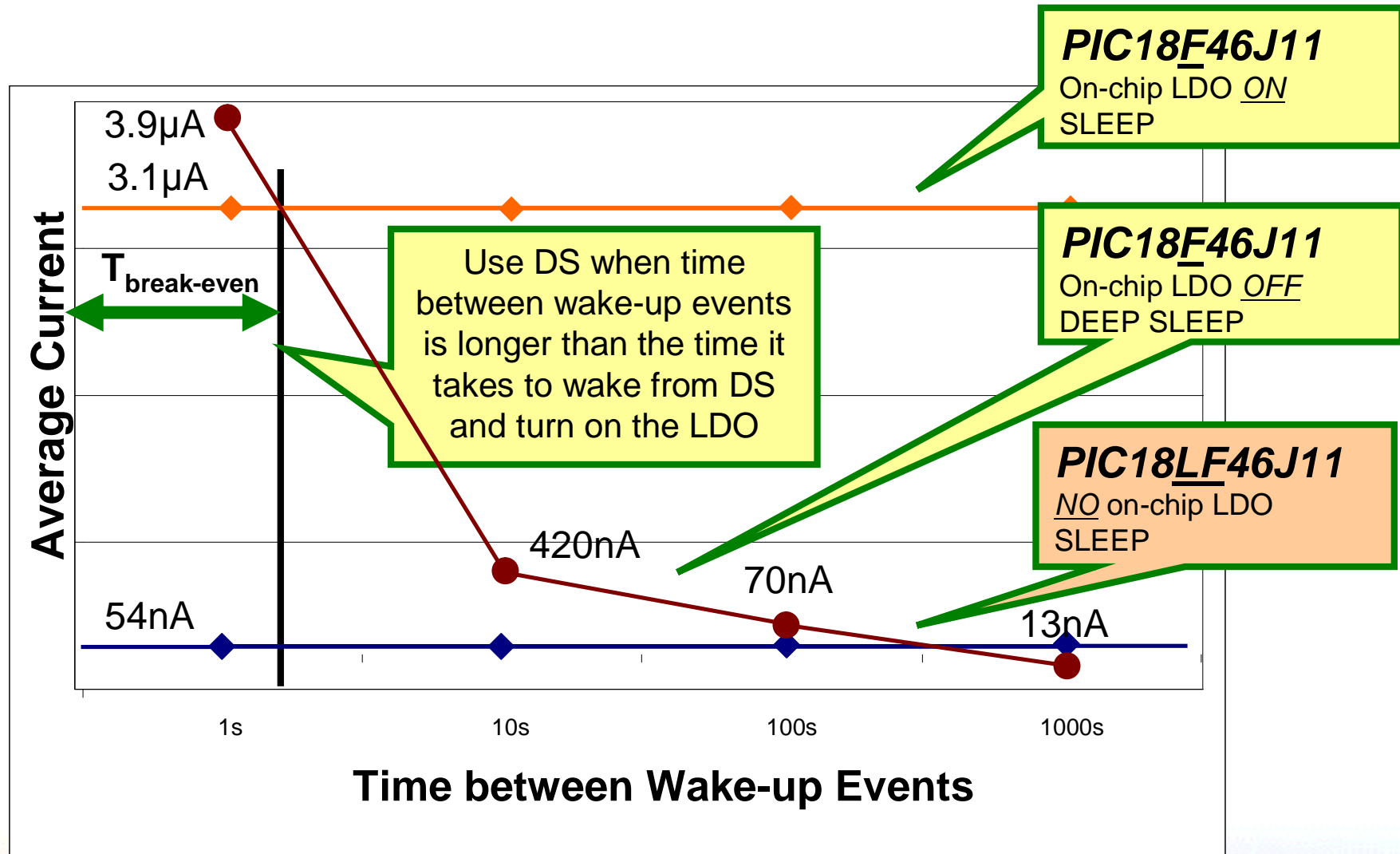
$$P_{\text{DS}} = \left(t_{\text{DS}} \times I_{\text{DS}} \right) + \left(t_{\text{init}} \times I_{\text{init}} \right) + \left(t_{\text{POR}} \times I_{\text{POR}} \right) \times V_{\text{supply}}$$

~ **Критическая точка, когда энергия, потребляемая в режиме Sleep становится такой же как в Deep Sleep**

~ **Выберите режим, при котором наименьшее потребление:**

- ~ В некоторой точке мощность DS + POR + INIT будет меньше чем в Sleep
- ~ Если прибор долго спит - используйте DS
- ~ Если прибор должен часто просыпаться, тогда Sleep может быть лучше чем Deep Sleep

Deep Sleep когда использовать Deep Sleep?



Deep Sleep Управляющие регистры DS

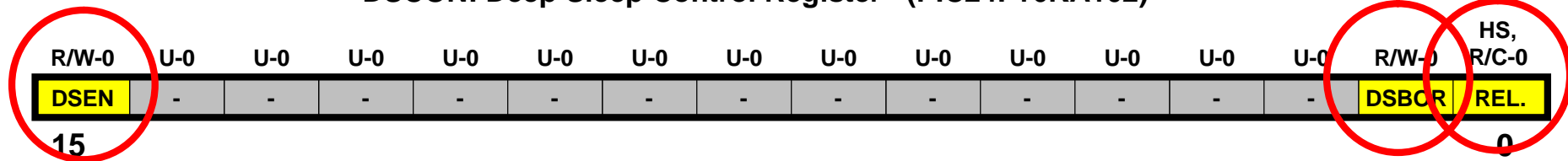
- ~ **DS сохраняет питание этих регистров:**
 - ~ DSCON
 - ~ **DS Control Register**
 - ~ DSWSRC
 - ~ **DS Wake-Up Source Registers**
 - ~ **Track source of wake-up from DS**
 - ~ **Register should be polled upon wake-up**
 - ~ DSGPR0 & DSGPR1
 - ~ **Регистры общего назначения для сохранения контекста, статуса или состояния в DS**
 - ~ **16-бит для PIC24**
 - ~ **8-бит для PIC18**

TABLE 4-21: DEEP SLEEP REGISTER MAP

File Name	Addr	Bit 15	Bit 14	Bit 13	Bit 12	Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	All Resets ⁽¹⁾
DSCON	0758	DSEN	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	DSBOR	RELEASE	0000
DSWSRC	075A	—	—	—	—	—	—	—	DSINT0	DSFLT	—	—	DSWDT	DSRTCC	DSMCLR	—	DSPOR	0000
DSGPR0	075C	Deep Sleep General Purpose Register 0																0000
DSGPR1	075E	Deep Sleep General Purpose Register 1																0000

Deep Sleep DS Control Register

DSCON: Deep Sleep Control Register (PIC24F16KA102)



<15> DSEN: Deep Sleep Enable Bit
 1 = enters Deep Sleep on PWRSV #0
 0 = enters Normal Sleep on PWRSV #0

<14:2> Unimplemented: Read as '0'

<1> DSBOR: Deep Sleep BOR Event bit
 1 = the DSBOR was active and a BOR event was detected during Deep Sleep
 0 = the DSBOR was not active, or was active but did not detect a BOR event during DS

<0> RELEASE: I/O Pin State Release bit
 1 = Upon waking from Deep Sleep, I/O pins maintain their states previous to DS entry
 0 = release I/O pins from their states previous to DS entry and allow TRIS & LAT bits to control their states

Legend:	C = Clearable bit	HS = Hardware Settable bit
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'
-n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared x = Bit is unknown

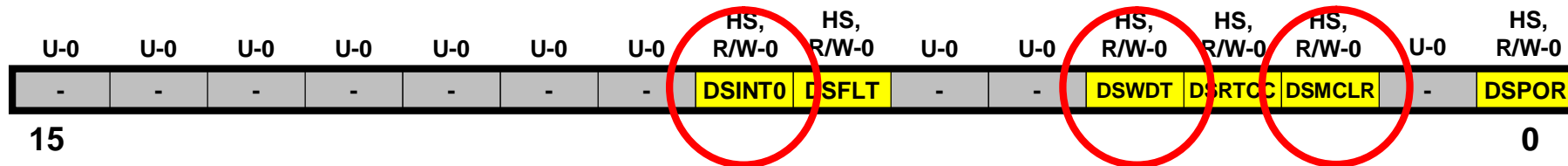
Deep Sleep

DSCON<RELEASE>

- ~ **При POR (Power-On Reset) или просыпании из DS**
 - ~ I/O port TRIS & LAT устанавливаются по умолчанию
 - ~ OSCCON<SOSCEN> очищаются
 - ~ **Выкл. SOSC (Secondary Oscillator)**
 - ~ **Обратите внимание если используется RTCC**
 - ~ Ядро сохраняет состояние TRIS, LAT & SOSCEN в состоянии до входа в DS
 - ~ **Core does this by setting DSCON<RELEASE>**
- ~ **Программа должна:**
 - ~ Реконфигурировать TRIS, LAT, & SOSCEN
 - ~ Очистить DSCON<RELEASE>
 - ~ **Turns I/O and SOSC control back over to application**
 - ~ Восстановить RAM и контекст

Deep Sleep источники пробуждения

DSWSRC: Deep Sleep Wake Up Source Register (PIC24F16KA102)



<15:9> Unimplemented: Read as '0'

<8> DSINT0: Interrupt on change bit
 1 = interrupt on change was asserted during DS
 0 = interrupt on change was not asserted during DS

<7> DSFLT: DS Fault detected bit
 1 = a fault occurred during DS and some DS config settings may have been corrupted
 0 = no fault was detected during DS

<6:5> Unimplemented: Read as '0'

<4> DSWDT: DS watch dog timer time out bit
 1 = the DS WDT timed out during DS
 0 = the DS WDT did not time out during DS

<3> DSRTCC: DS Real Time Clock Calendar alarm bit
 1 = the DSRTCC triggered an alarm during DS
 0 = the DSRTCC did not trigger an alarm during DS

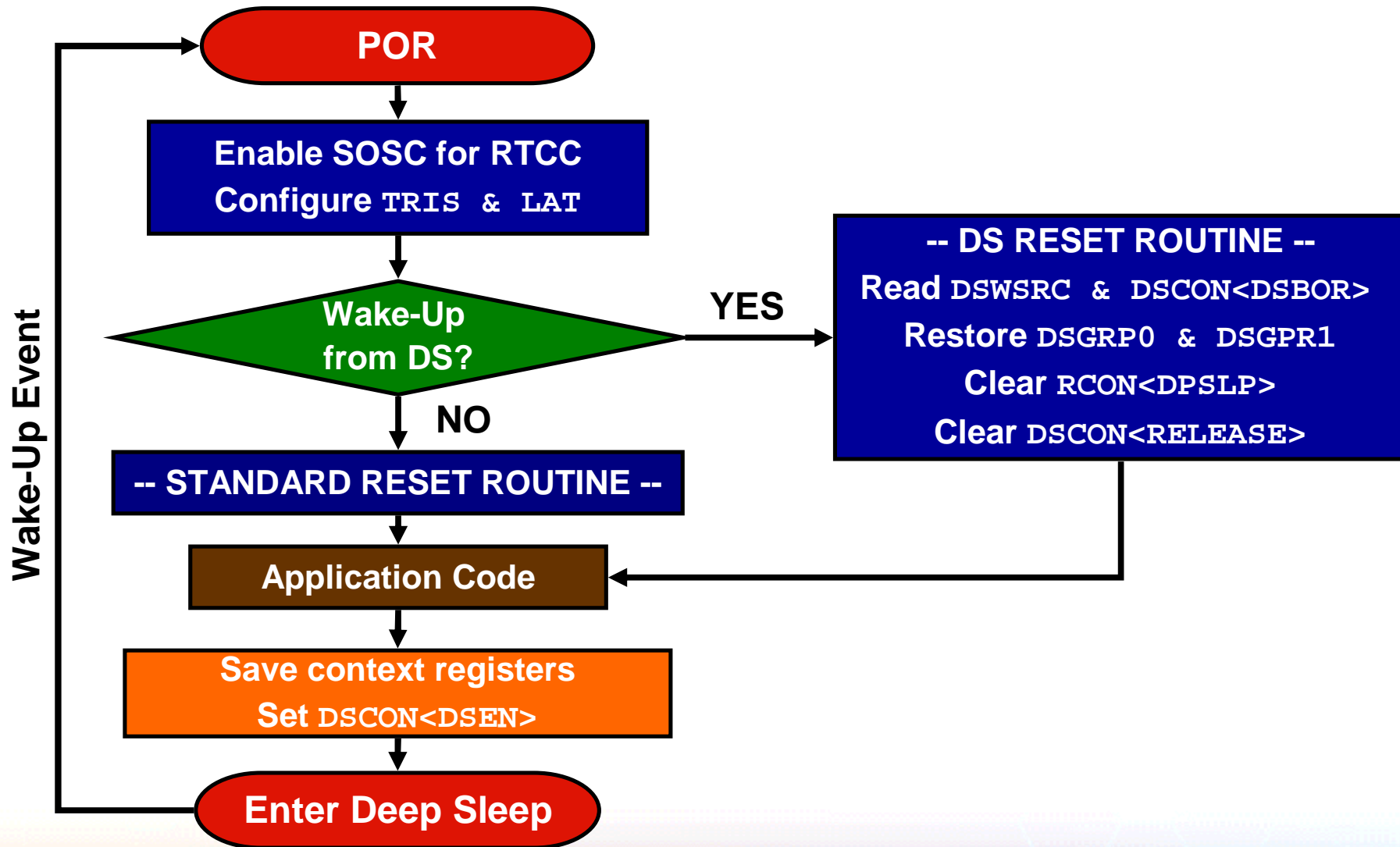
<2> DSMCLR: MCLR event bit
 1 = the MCLR pin was active and asserted during DS
 0 = the MCLR pin was not active or was active but not asserted during DS

<1> Unimplemented: Read as '0'

<0> DSPOR: Power On Reset bit
 1 = the Vdd supply POR circuit was active and a POR event was detected
 0 = the Vdd supply POR circuit was not active, or was active but did not detect a POR event

Deep Sleep

Цикл *Deep Sleep*



Deep Sleep

Засыпание в *Deep Sleep*

```
;----- entering Deep Sleep Mode PIC24F16KA102
```

```
1  _FDS(DSWDTEN_ON & DSBORN_ON & RTCOSC_SOSC & DSWDTOSC_SOSC & DSWDTPS_DSWDTPSF)  
; DSWDT & DSBOR are configured by the configuration bits (_FDS) and are not accessible at run time  
  
; enable and configure DSWDT in configuration word FDS  
; configure DSWDT clock in configuration word FDS  
  
; enable DSBORN in configuration word FDS  
  
2  CALL    ENABLE-RTCC      ; configure and enable the RTCC and clock source  
  
3  CALL    SAVE-DSGPR0     ; save context into deep sleep GPR0  
   CALL    SAVE-DSGPR1     ; save additional context into deep sleep GPR1  
   CALL    SAVE-EEPROM     ; save any context that won't fit into DSGPRs into EEPROM or FLASH  
  
4  BSET    DSCON, #DSEN    ; setting this bit means that sleep command will invoke Deep Sleep  
   PWSAV  #0              ; enter within one instruction cycle or the #DSEN bit will be cleared
```

- 1 Разрешить и сконфигурировать DSWDT & DSBORN в битах конфигурации (если нужно использовать)
- 2 Разрешить и сконфигурировать RTCC (если используется)
- 3 Сохранить контекст в DSGPR0 & DSGPR1 & EEPROM
- 4 Установить бит DSCON<DSEN> и вызвать SLEEP mode

Deep Sleep

просыпание из Deep Sleep

- ~ **DS сохраняет состояние портов В/В и регистров DS**
- ~ **Возможно проснуться из DS по**
 - ~ INT0 (Interrupt 0)
 - ~ DSWDT (Deep Sleep Watchdog Timer)
 - ~ RTCC Alarm
 - ~ ULPWU (Ultra Low-Power Wake-Up)
- ~ **Так же можно проснуться из DS, но с ограничениями:**
 - ~ Вход сброса (MCLR)
 - ~ Состояния портов В/В сбрасывается: `DSCON<RELEASE>` немедленно очищается
 - ~ Снятие питания
 - ~ Состояния портов В/В сбрасывается
 - ~ Регистры Deep Sleep не сохраняются

Deep Sleep

просыпание из Deep Sleep

```
----- exiting Deep Sleep Mode PIC24F16KA102

IF RCON<DPSLP> = 1          ; are we at the reset vector because of wake-up due to Deep Sleep?
{
1  CALL    RESTORE-DSGPR0    ; retrieve context from deep sleep GPR0
   CALL    RESTORE-DSGPR1    ; retrieve additional context from deep sleep GPR1
   CALL    RESTORE-EEPROM    ; retrieve any context saved in EEPROM

2  CALL    RESTORE-IO-PINS   ; restore I/O pin configuration
   CALL    ENABLE-RTCC      ; configure and enable the RTCC and clock source

3  BCLR    RCON, #DPSLP      ; clear the DPSLP status bit
   BCLR    DSCON, #RELEASE   ; clear the RELEASE bit and return control to the hardware
}
```

- 1 Восстановить DSGPRx регистры и контекст
- 2 Восстановить состояние портов В/В,р азрешить и конфигурировать RTCC (если используется)
- 3 Очистить биты DSLP и RELEASE и вернуться в управляющую программу

Deep Sleep просыпание по DSWDT

~ Deep Sleep Watchdog Timer (DSWDT)

- ~ Отдельный от стандартного WDT модуль



~ Доступны два источника тактирования

- ~ Secondary Oscillator (SOSC)
 - ~ Может использоваться для тактирования
- ~ INTRC
 - ~ Лучший выбор для надежного приложения
 - ~ Может пробудить при отказе кварца
 - ~ Не нужны внешние компоненты

~ Доступны Шестнадцать временных интервалов:

- 2.1ms, 8.3ms, 33ms, 132ms, 528ms
- 2.1s, 8.5s, 34s, 135s
- 9 minutes, 36 minutes
- 2.4 hours, 9.6 hours, 38.5 hours
- 6.4 days, 25.1 days

Deep Sleep

Просыпание с помощью RTCC Alarm

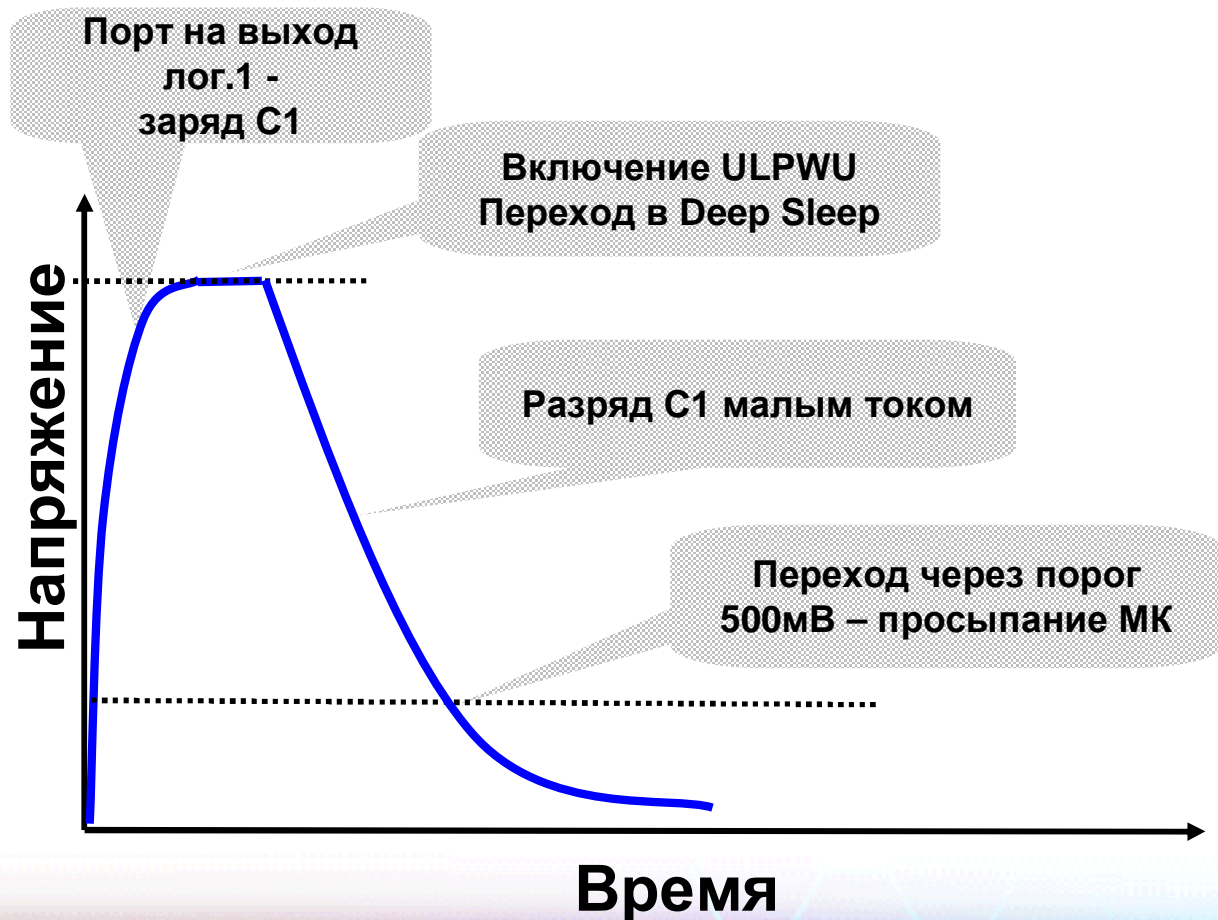
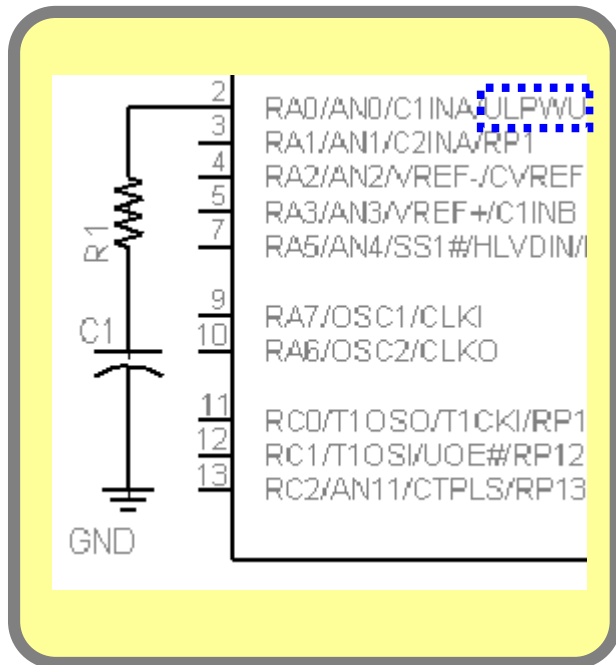
~ RTCC Alarm

- ~ Настройка будильника от секунд до дня и года
- ~ Может использоваться тот же источник, что и для DSWDT
 - ~ **Сохранение энергии: позволяет использовать два источника тактирования**
- ~ Опционально: выход секундных импульсов или сигнал будильника на вывод RTCC Pin во время Deep Sleep
 - ~ **Предоставляет просыпание или сигнал будильника для внешних устройств**



Deep Sleep просыпание с помощью ULPWU

Ultra Low-Power Wake-Up








MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

ИТОГИ

nanoWatt XLP

Extreme Low Power Microcontrollers

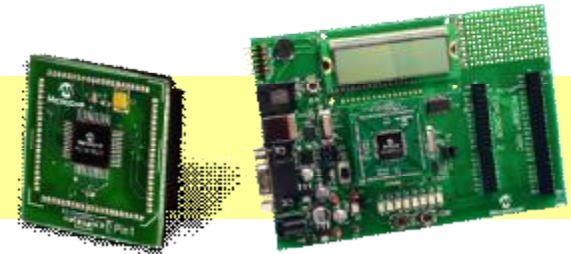
PIC® MCU Family	Min. V _{dd}	Family Members	Flash kB	Pins	Sleep (nA)	DS (nA)	WDT DSWDT (nA)	TMR1 RTCC (nA)	1MHz Run (µA)
PIC12LF1822	1.8	1	3.5	8	20	-	500	600	75
PIC16LF1827	1.8	5	3.5-7	18-28	20	-	500	600	80
PIC16LF1937 [LCD]	1.8	8	7-28	28-44	60	-	500	600	93
PIC16LF727	1.8	5	3.5-14	28-44	20	-	500	600	80
PIC18LF14K22	1.8	2	8-16	20	34	-	460	650	131
PIC18LF14K50 	1.8	2	8-16	20	24	-	450	790	125
PIC18F46J11	2.0	6	16-64	28-44	54	13	820	850	275
PIC18F46J50 	2.0	6	16-64	28-44	60	15	780	830	275
PIC18F46K20	1.8	8	8-64	28-44	100	-	600	600	131
PIC24F04KA201	1.8	2	4	14-20	25	20	400	500	195
PIC24F16KA102	1.8	4	8-16	20-28	25	20	400	500	195
PIC24FJ64GA104	2.0	4	32-64	28-44	200	20	200	500	250
PIC24FJ64GB004 	2.0	4	32-64	28-44	200	20	200	500	250



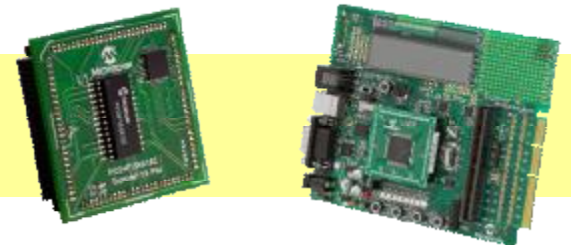
Спецификация дает типовые (TYP) значения при минимальном V_{dd}

Итоги Отладка *nanoWatt XLP*

PIC18 Explorer Board (DM183032)
PIC18F46J11 PIM (MA180023)



Explorer 16 Board (DM240001)
PIC24F16KA102 PIM (MA240017)



XLP 16-bit Development Board (DM240311)



C Compilers
Available from Microchip & HI-TECH
Available in free evaluation versions



Итоги

Solar Energy Harvesting Development Kit

- ~ **Энергия от солнечной батареи**
 - ~ Работает как от солнечного света, так и в помещении
- ~ **Заряд тонкопленочных аккумуляторов**
 - ~ Снабжение энергией в темноте
- ~ **Идеальное решение для радио-датчиков, мониторинга температуры и параметров окружающей среды, дистанционного управления и охранных датчиков**




Итоги

RF Energy Harvesting Development Solution

- ~ Передатчик 3Вт 915МГц для передачи данных и беспроводного питания оценочных плат - датчиков
 - ~ Беспроводное питание на расстоянии до 12 – 15 метров
- ~ 2шт оценочных плат - датчиков с внешними антеннами
- ~ 2шт дочерних радиомодулей для связи на 2.4ГГц
- ~ XLP 16-bit Development Board с MRF24J40MA
 - ~ Точка доступа для получения данных с датчиков



Итоги важные документы




MICROCHIP

AN879

Using the Microchip Ultra Low-Power Wake-Up Module

Authors: Ryan Lovins
Jose Hernandez

current consumption. These types of applications require a low-power periodic wake-up and can be accomplished by activating a low-power timer prior to



MICROCHIP


PIC24F Family Reference Manual

Section 39. Power-Saving Features with Deep Sleep

HIGHLIGHTS

This section of the manual contains the following major topics:

39.1 Introduction	39-2
39.2 Microcontroller Clock Manipulation	39-7
39.3 Interrupt-Driven Power-Saving Modes	39-5
39.4 Selective Peripheral Power Control	39-17
39.5 Debugging Tips	39-20
39.6 Related Application Notes	39-21
39.7 Revision History	39-22




MICROCHIP

AN1267

nanoWatt and nanoWatt XLP™ Technologies: An Introduction to Microchip's Low-Power Devices

Author: David Nay
Microchip Technology Inc.

For many PIC devices, it also includes the clocking of logic necessary to resume operation from the Stand-By mode.



MICROCHIP

AN1288

Design Practices for Low-Power External Oscillators

Author: Jonathan Allen
Microchip Technology Inc.

PROBING THE CIRCUIT

Oscillator circuits are highly sensitive to capacitance; therefore, special care needs to be taken when examining signals. A regular oscilloscope probe has 10-12 pF of capacitance, which can significantly load up oscillators. It is recommended that low capacitance probes be used, preferably with a JFET input, and that the OSC2 pin be probed instead of OSC1.

Many new devices incorporate Automatic Clean Control (ACC) for the crystal oscillator drive circuit, where, to conserve power, the amplitude of the signal is reduced when the circuit is operating as intended. When examining the waveforms, this needs to be considered.

INTRODUCTION

Many Microchip microcontrollers have internal circuitry to drive a 32.768 kHz external crystal to provide an asynchronous clock signal to the Timer1 internal counter. Timer1 is a 16 bit counter which can be used to create a Real Time Clock (RTC) with a precise, 1 second overflow interrupt for system timing.

CHAPTER 2 PIC[®] Microcontroller Low Power Tips 'n Tricks

Table of Contents

GENERAL LOW POWER TIPS 'N TRICKS	
TIP #1	Switching Off External Circuits Jelly Cycle..... 2-2
TIP #2	Power Budgeting..... 2-3
TIP #3	Configuring Port Pins..... 2-4
TIP #4	Use High-Impedance Pull-Up Resistors..... 2-4
TIP #5	Reduce Operating Voltage..... 2-4
TIP #6	Use an External Source for VPL Core Voltage..... 2-6
TIP #7	Battery Backup for PIC MCUs..... 2-6
DYNAMIC OPERATION TIPS 'N TRICKS	

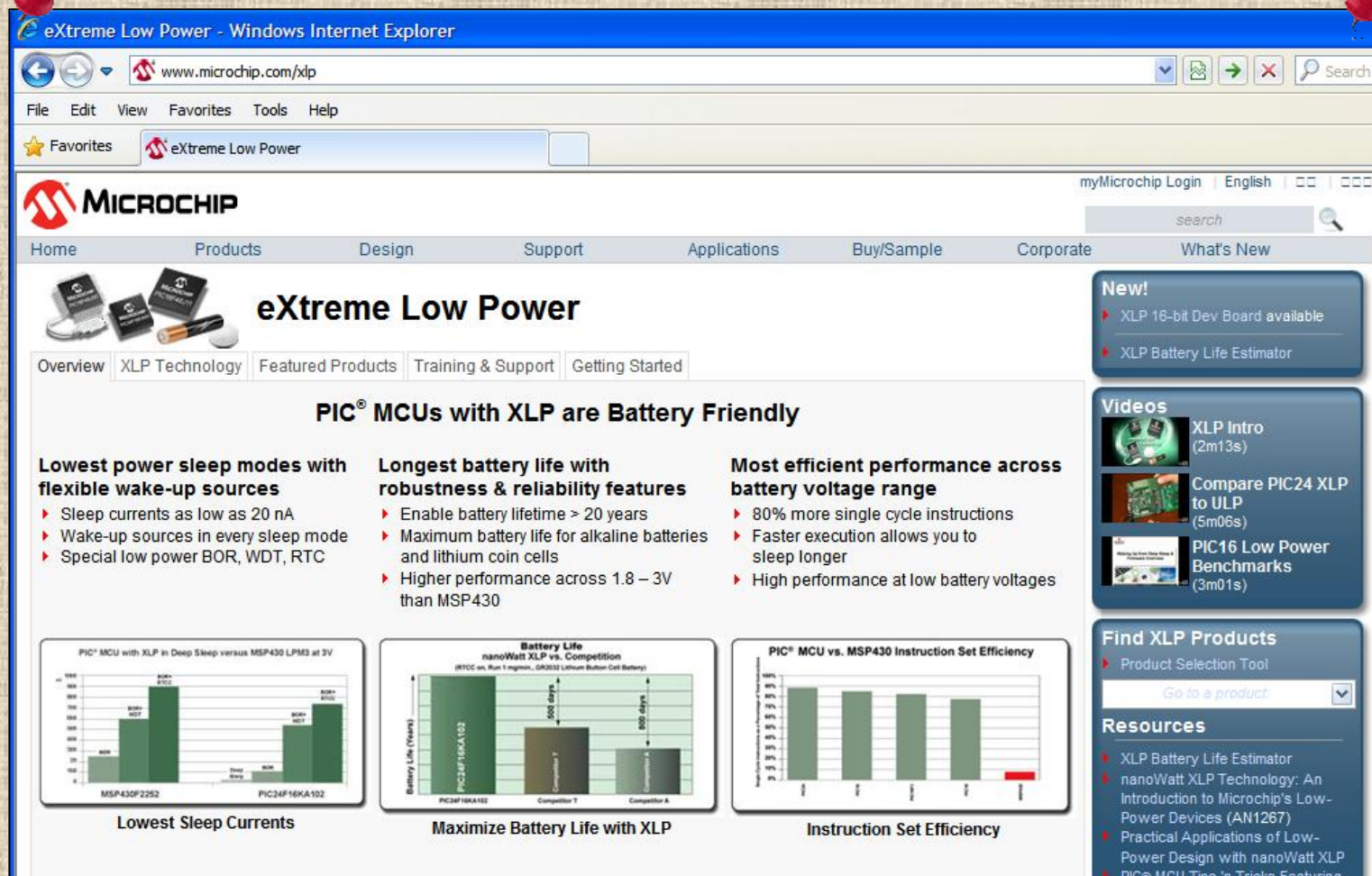
TIPS 'N TRICKS INTRODUCTION

Microchip continues to provide innovative products that are smaller, faster, easier to use and more reliable. The Flash-based PIC[®] microcontrollers (MCUs) are used in an wide range of everyday products, from simple devices, hospital ID tags and pet containment systems, to industrial, automotive and medical products.

PIC MCUs featuring nanoWatt technology implement a variety of important features which have become standard in PIC microcontrollers. Since the release of nanoWatt technology, changes in MCU process technology and

Итоги домашняя страница XLP

www.microchip.com/xlp



eXtreme Low Power - Windows Internet Explorer

www.microchip.com/xlp

File Edit View Favorites Tools Help

myMicrochip Login English

MICROCHIP

Home Products Design Support Applications Buy/Sample Corporate What's New

eXtreme Low Power

Overview XLP Technology Featured Products Training & Support Getting Started

PIC[®] MCUs with XLP are Battery Friendly

Lowest power sleep modes with flexible wake-up sources

- ▶ Sleep currents as low as 20 nA
- ▶ Wake-up sources in every sleep mode
- ▶ Special low power BOR, WDT, RTC

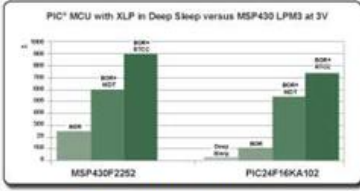
Longest battery life with robustness & reliability features

- ▶ Enable battery lifetime > 20 years
- ▶ Maximum battery life for alkaline batteries and lithium coin cells
- ▶ Higher performance across 1.8 – 3V than MSP430

Most efficient performance across battery voltage range

- ▶ 80% more single cycle instructions
- ▶ Faster execution allows you to sleep longer
- ▶ High performance at low battery voltages

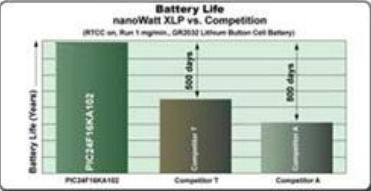
PIC[®] MCU with XLP in Deep Sleep versus MSP430 LPM3 at 3V



Device	Deep Sleep	WDT	BOR
MSP430F2252	~100 nA	~150 nA	~200 nA
PIC24F16KA102	~20 nA	~30 nA	~40 nA

Lowest Sleep Currents

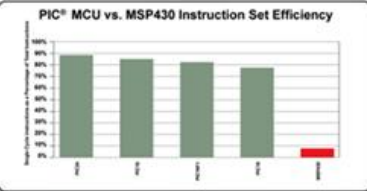
Battery Life nanoWatt XLP vs. Competition (IRTC on, Run 1 mgsm, GR2032 Lithium Button Cell Battery)



Device	Battery Life (Years)
PIC24F16KA102	> 20
Competitor 1	~100 days
Competitor A	~800 days

Maximize Battery Life with XLP

PIC[®] MCU vs. MSP430 Instruction Set Efficiency



Device	Instruction Set Efficiency (%)
PIC	~80%
MSP430	~20%

Instruction Set Efficiency

New!

- ▶ XLP 16-bit Dev Board available
- ▶ XLP Battery Life Estimator

Videos

- XLP Intro (2m13s)
- Compare PIC24 XLP to ULP (5m06s)
- PIC16 Low Power Benchmarks (3m01s)

Find XLP Products

- ▶ Product Selection Tool

Go to a product:

Resources

- ▶ XLP Battery Life Estimator
- ▶ nanoWatt XLP Technology: An Introduction to Microchip's Low-Power Devices (AN1267)
- ▶ Practical Applications of Low-Power Design with nanoWatt XLP
- ▶ PIC[®] MCU Time-to-Market Features

www.microchip.com/microsolutions



microSOLUTIONS MAR 2010

In This Issue...

1. Microchip Sets New Benchmark for Low-Power Microcontrollers; Significantly Expands Enhanced 8-bit PIC® MCU Portfolio
2. Synchronous Boost Regulator from Microchip Enables Longer-Lasting Battery Applications
3. Product Highlight: PIC32 with Ethernet
4. Join the Microchip Community on Your Favorite Websites
5. Non-Volatile, Quad-Digital Potentiometers Offer Smart Control Capabilities to 5 Microcontrollers (MCP)
6. Looking for More RAM?
7. USB-to-UART Protocol Converter Makes it Easy to Add USB to Existing Systems
8. Need Low-Power Analog?
9. Implementing Ethernet with the mTCP™ Control System Controller
10. Transfer Your Core Design Software to PIC18 SoC Kits
11. Interact with Microchip at MCHP™ Trade Shows
12. Looking to Enhance Your Embedded Control Designs?
13. Microchip Around Town: ESC SV 2010 - FREE TRAINING
14. Microchip Around Town: ESC SV 2010 - SPEAKING SOLUTIONS
15. Microchip Around Town: ESC SV 2010 - SHARING SOLUTIONS
16. New to microchipDIRECT?
17. What's New in Microchip Literature?



Microchip Sets New Benchmark for Low-Power Microcontrollers; Significantly Expands Enhanced 8-bit PIC® MCU Portfolio

New MCUs Feature Less Than 50 µA/MHz Active Current; Industry-Leading Peripheral Integration



Microchip Technology Inc. unveiled several new 8-bit PIC® microcontrollers (MCUs) that sets the industry benchmark for low-power microcontrollers and peripheral integration. These new MCUs feature active currents of less than 50 µA/MHz and sleep currents down to 20 nA. The **PIC12F182X** MCUs extend Microchip's **Enhanced Mid-range 8-bit core** product line into the 8-pin segment, and include **mTouch™** capacitive touch-sensing, and communications peripherals. The **PIC16F19XX** MCUs feature a broad range of peripherals, such as **mTouch** capacitive touch-sensing module, **LCD** drive, multiple communications and more **Pulse Width Modulator (PWM)** peripherals. All of these general-purpose MCUs are well suited for applications in the **appliance**, consumer, industrial and **automotive** markets, among others.

nanoWatt XLP technology remains the standard for battery-friendly MCUs, which, combined with the extremely low active-current consumption of these new MCUs, improves overall energy efficiency to levels currently not readily available. Microchip's **Enhanced Mid-range 8-bit architecture** provides an up to 50% increase in performance, and 14 new instructions that result in up to 40% better code execution over previous-generation **8-bit PIC16** MCUs. The **PIC1XF182X** MCUs include dual **IC™/SPI** interfaces, multiple **PWM** channels with independent time bases, a **Data Signal Modulator** and other peripherals that enable designers to combine many functions into a single MCU. The **PIC16F19XX** MCUs provide up to 28 KB of Flash program memory and numerous enhanced capabilities. The on-chip **LCD** drive supports up to 184 segments and provides a low-power drive mode for increased efficiency. The MCUs also include up to 5 **PWM** channels with independent time bases for controlling various motor types and peripherals.

Designers can use Microchip's **F1 Evaluation Platform** (part # DM164130-1, \$39.99) for developing with **Enhanced 8-bit PIC MCUs**. The platform includes a 44-pin development board populated with a **PIC16LF1937** MCU, prototyping space, 3V LCD glass, support for the **PICKIT™ 3 In-Circuit Debugger/Programmer** (part # PG164130, \$44.95) and a motor control add on. The **PIC16F1937 Plug-In Module** (part # MA160012, \$25) for Microchip's **PIC18 Explorer Board** (part # DM183032, \$99.99) is also available.

Microchip's **PICDEM™ Lab Development Kit** (part # DM163035, \$124.99) can be used with the **PIC1XF182X** MCUs. The kit comes complete with a development board containing five popular **8-bit PIC MCUs**, a bag of discrete components, a debugger/programmer and a CD containing a User's Guide, labs and application examples.

The **PIC1XF182X** and **PIC16F19XX** MCUs are available in DFN, PDIP QFN, SOIC, TQFP TSSOP and UQFN packages of varying sizes, from 8- to 64-pins; at prices ranging from \$0.69 to \$1.74 each, in 10,000-unit quantities.

For more information, visit: <http://www.microchip.com/Enhanced>

www.microchip.com

Microcontrollers • Digital Signal Controllers • Analog • Serial EEPROMs



MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

Спасибо!

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, dsPIC, KeeLoq, KeeLoq logo, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PIC³² logo, rfPIC and UNI/O are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

FilterLab, Hampshire, HI-TECH C, Linear Active Thermistor, MXDEV, MXLAB, SEEVAL and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Analog-for-the-Digital Age, Application Maestro, CodeGuard, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, dsSPEAK, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, HI-TIDE, In-Circuit Serial Programming, ICSP, Mindi, MiWi, MPASM, MPLAB Certified logo, MPLIB, MPLINK, mTouch, Octopus, Omniscient Code Generation, PICC, PICC-18, PICDEM, PICDEM.net, PICKit, PICtail, REAL ICE, rfLAB, Select Mode, Total Endurance, TSHARC, UniWinDriver, WiperLock and ZENA are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2010, Microchip Technology Incorporated, All Rights Reserved.