



# Микропотребляющие Микроконтроллеры

## XLP

# Низкое потребление

## Батарейное питание

- Минимальный рабочий цикл
- Минимальное потребление в Sleep

## Питание от сети

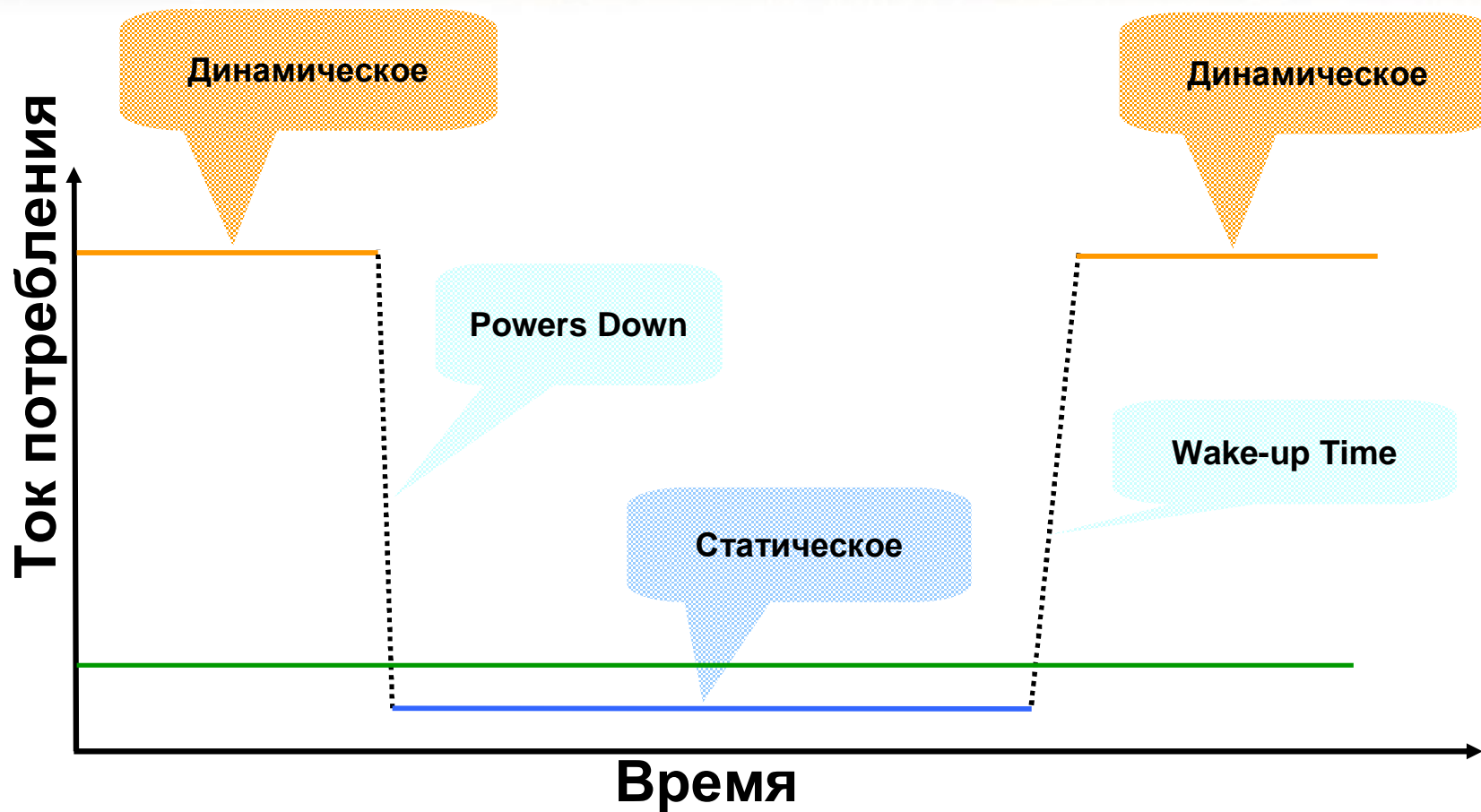
- Эффективные вычисления
- Минимальное динамическое потребление
- Уменьшенные частоты



# Типы потребления

- | **Динамическое**
  - | Потребление в активном режиме при наличии тактового сигнала
- | **Статическое**
  - | Потребление, получаемое при подаче питания на схему
  - | Не зависит от режимов работы

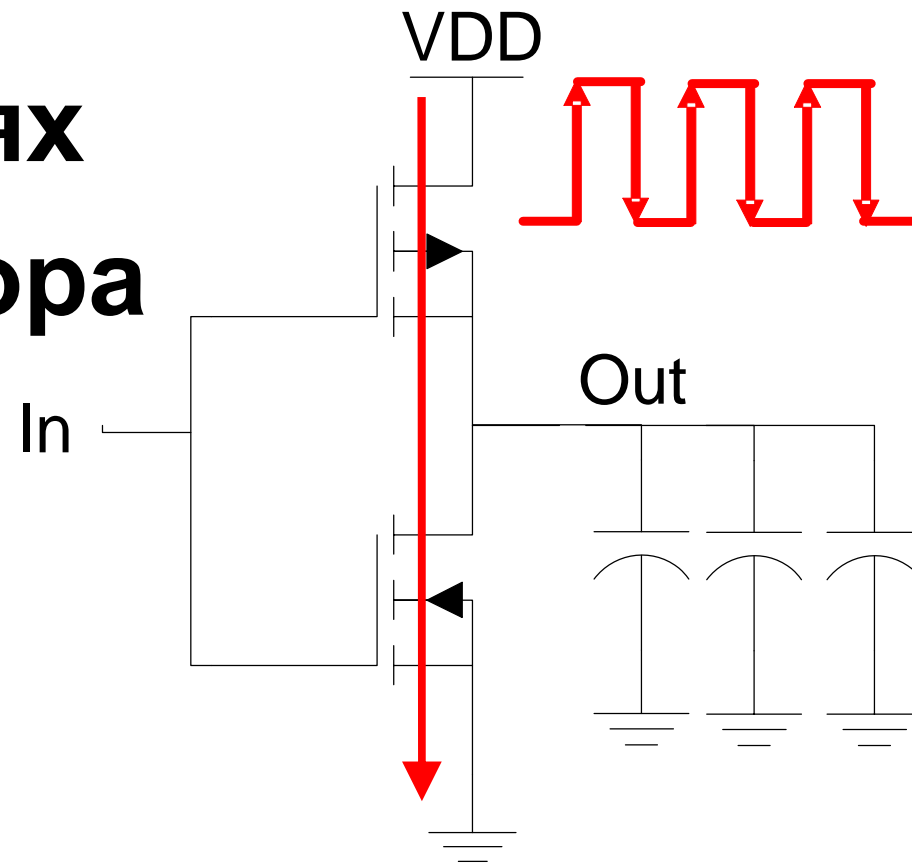
# Среднее потребление



$$\text{Средний ток} = \frac{I_{\text{active}} \times t_{\text{active}} + I_{\text{powerdown}} \times t_{\text{powerdown}}}{t_{\text{active}} + t_{\text{powerdown}}}$$

# Динамическое потребление

- Потери на переключениях
- Емкость затвора



# Динамическое потребление

- Контроль над
  - Напряжение
  - Частота

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

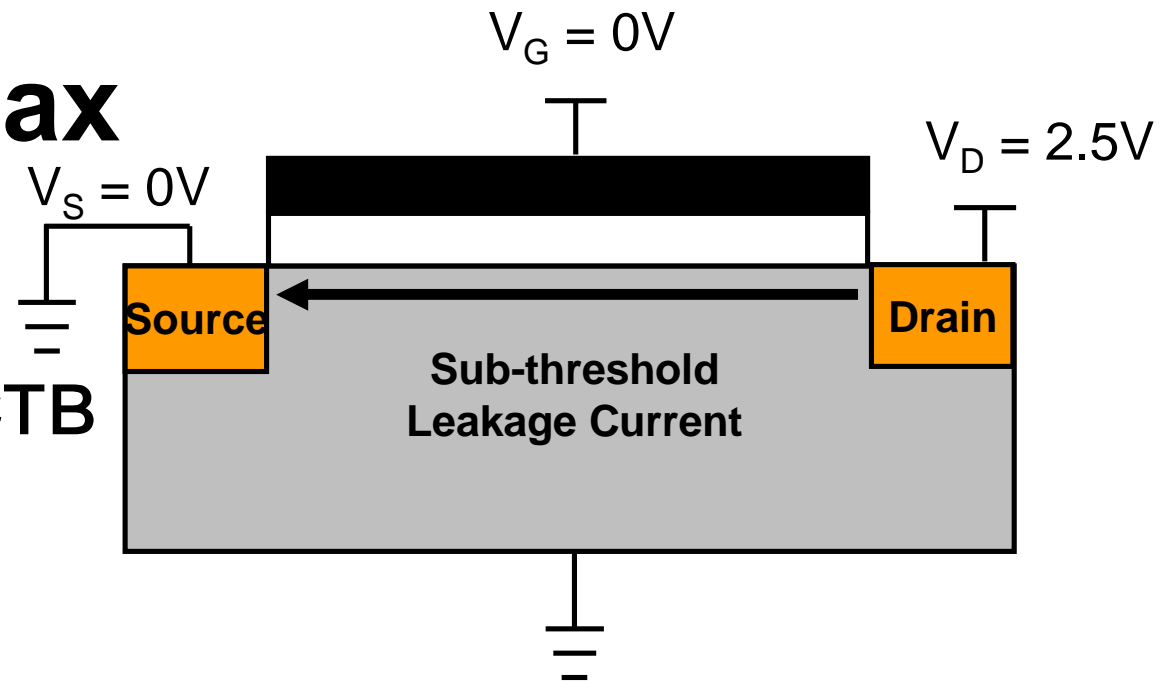
$$I = C V f$$

Зависит от  
компонентов,  
схемы и т.д.

Можно  
управлять

# Статическое потребление

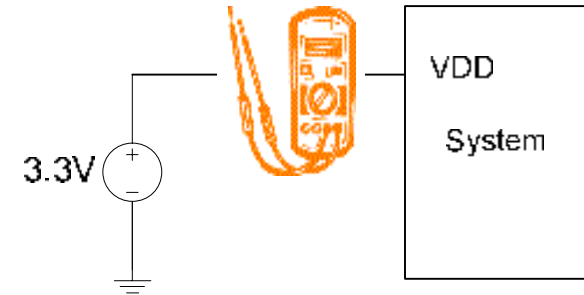
- Утечки в транзисторах
- Зависит от
  - Производственный процесс
  - Напряжение
  - Температура



# Измерение потребления

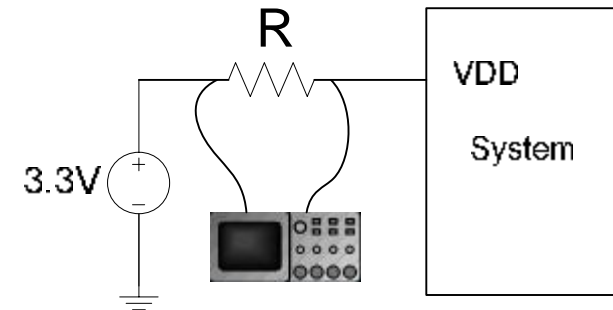
## Мультиметр

- Обычная точность - 0.1 мкА
- Только усредненные значения



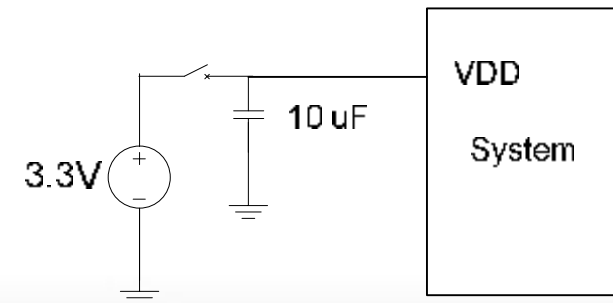
## Шунт

- Сопротивление может зависеть от тока
- Слишком большой R может вызвать BOR



## Разряд конденсатора

- Для очень маленьких токов





# Особенности PIC®

# Важные особенности MCU

- | **Гибкость**
  - | Множественные источники тактирования
  - | Настройки периферии для низкопотребляющих режимов
- | **Малопотребляющие генераторы**
  - | Для WDT, Timer1, RTCC
- | **Низкой ток утечек портов по входу**
- | **Быстрое время пробуждения**

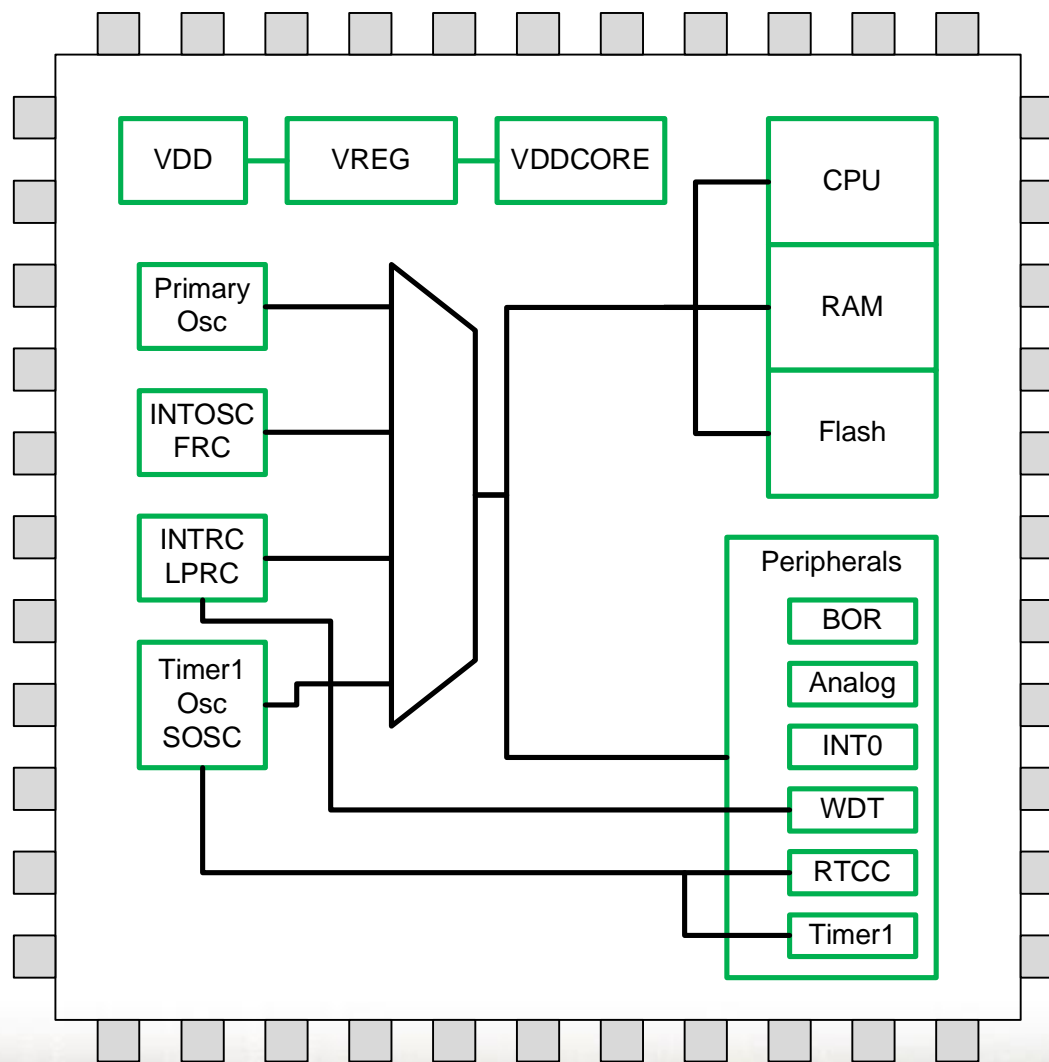
# Технологии nanoWatt и nanoWatt XLP

- | **nanoWatt XLP - eXtreme Low Power**
  - | Sleep < 100 нА
  - | RTCC/Timer1 < 800 нА
  - | WDT < 800 нА
- | **Особенности**
  - | Режим Deep sleep
  - | Малые утечки портов
  - | Малопотребляющий BOR
  - | Режим Ultra low power wakeup
  - | 2-скоростной старт

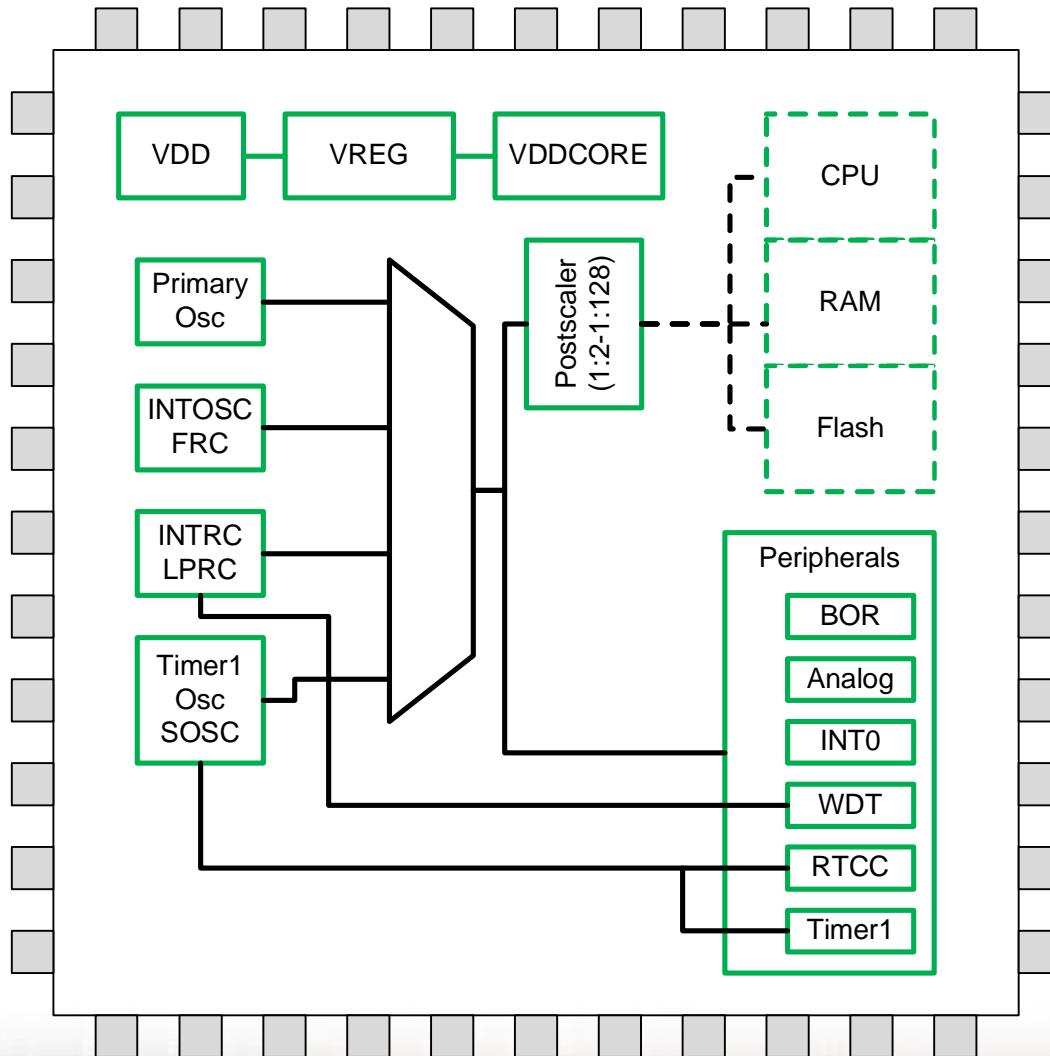
# Особенности PIC

- | **Динамическое потребление**
  - | Doze
  - | Idle
  - | Управление тактированием
- | **Статическое потребление**
  - | Sleep
  - | Deep Sleep

# Режим Run

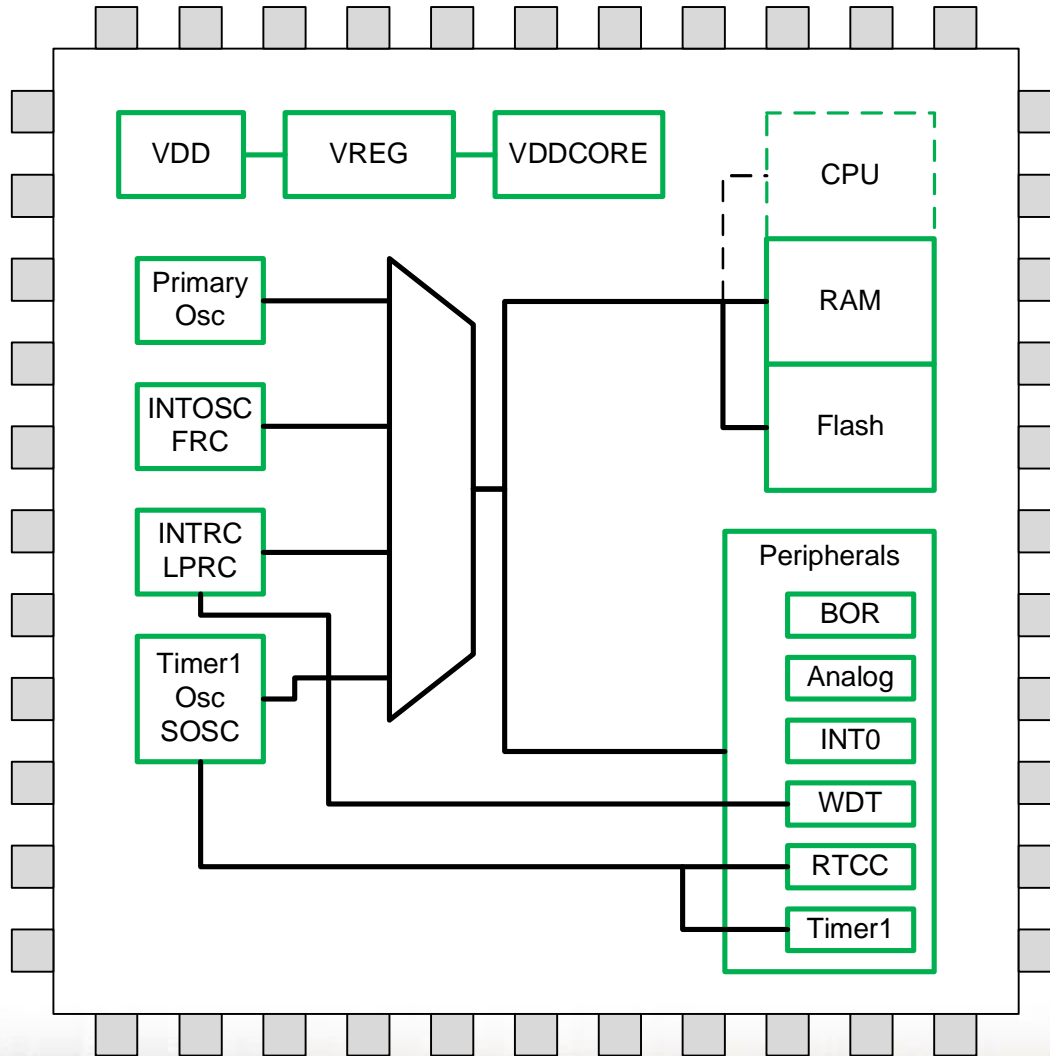


# Режим Doze



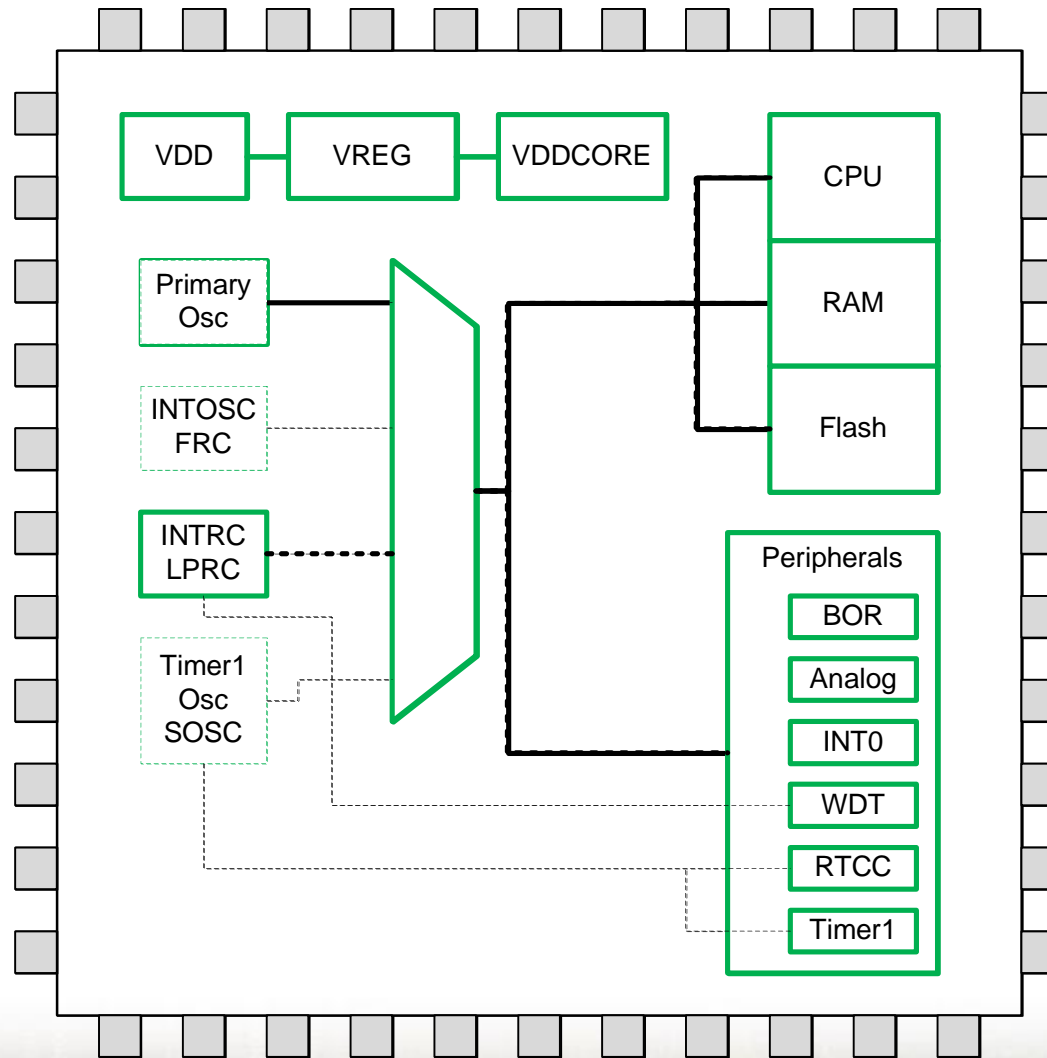
35-75% от  
потреблен  
ия в Run

# Режим Idle



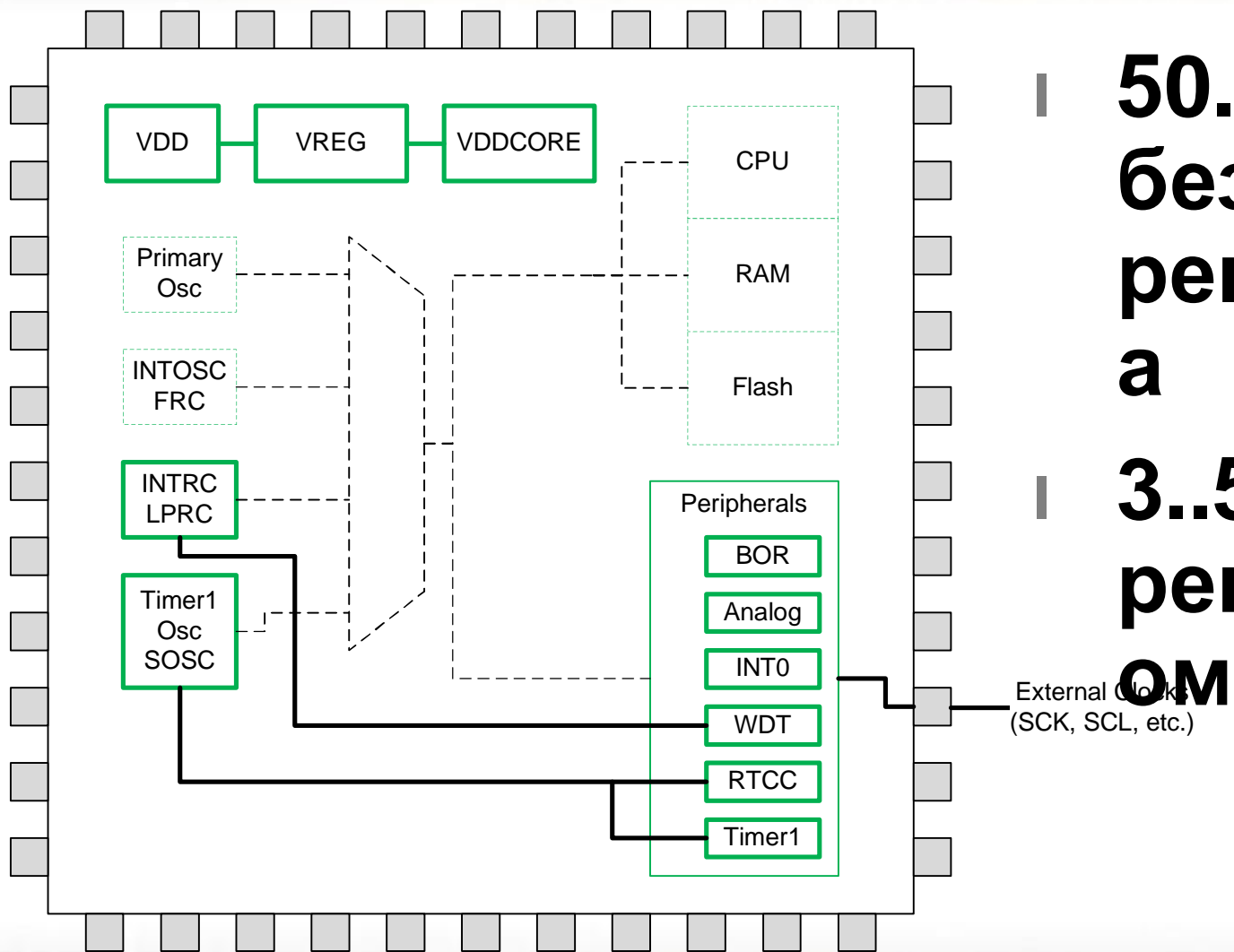
25% от  
потреблен  
ия в Run

# Управление тактированием





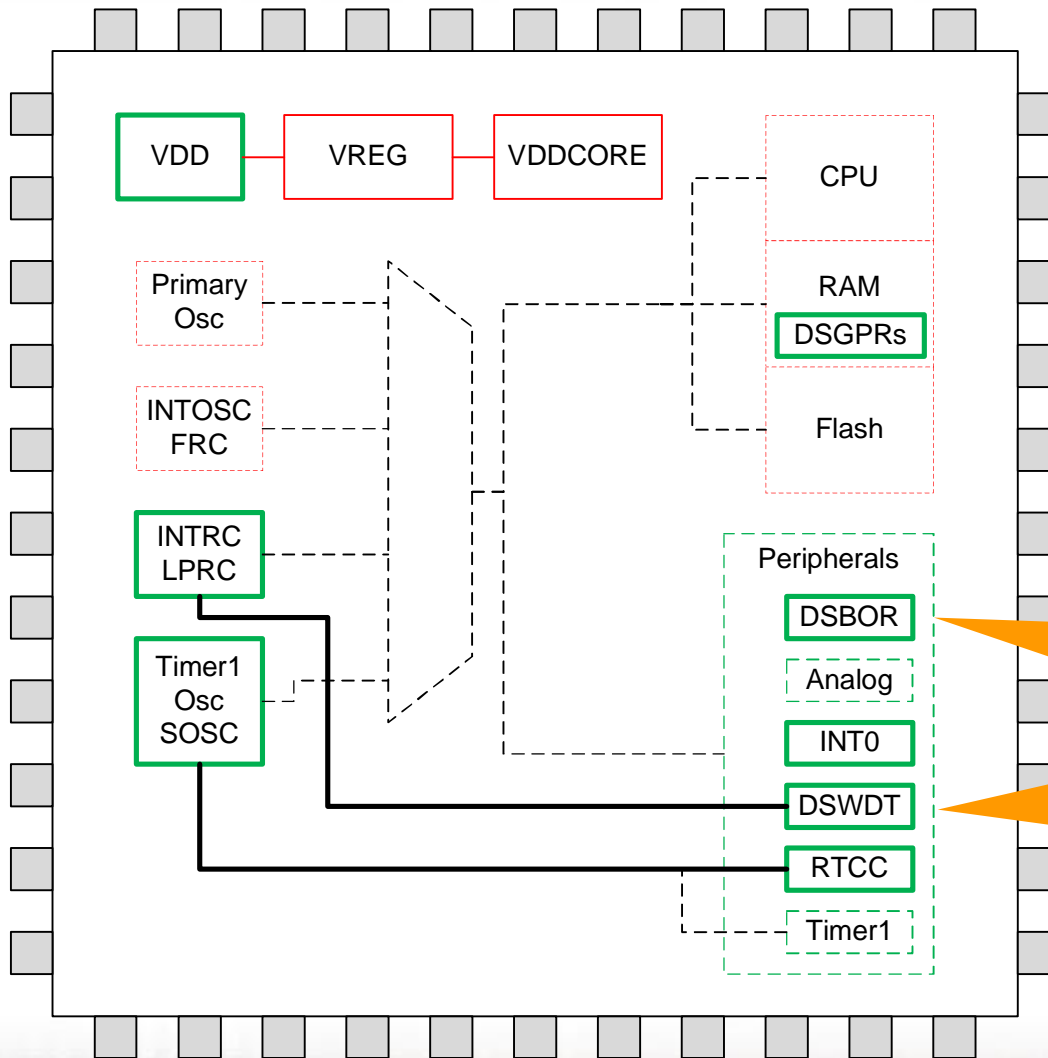
# Режим Sleep



50..100 нА  
без  
регулятор  
а

3..5 мкА с  
регулятор  
ом

# Режим Deep Sleep



I <50 нА

Специальная  
периферия

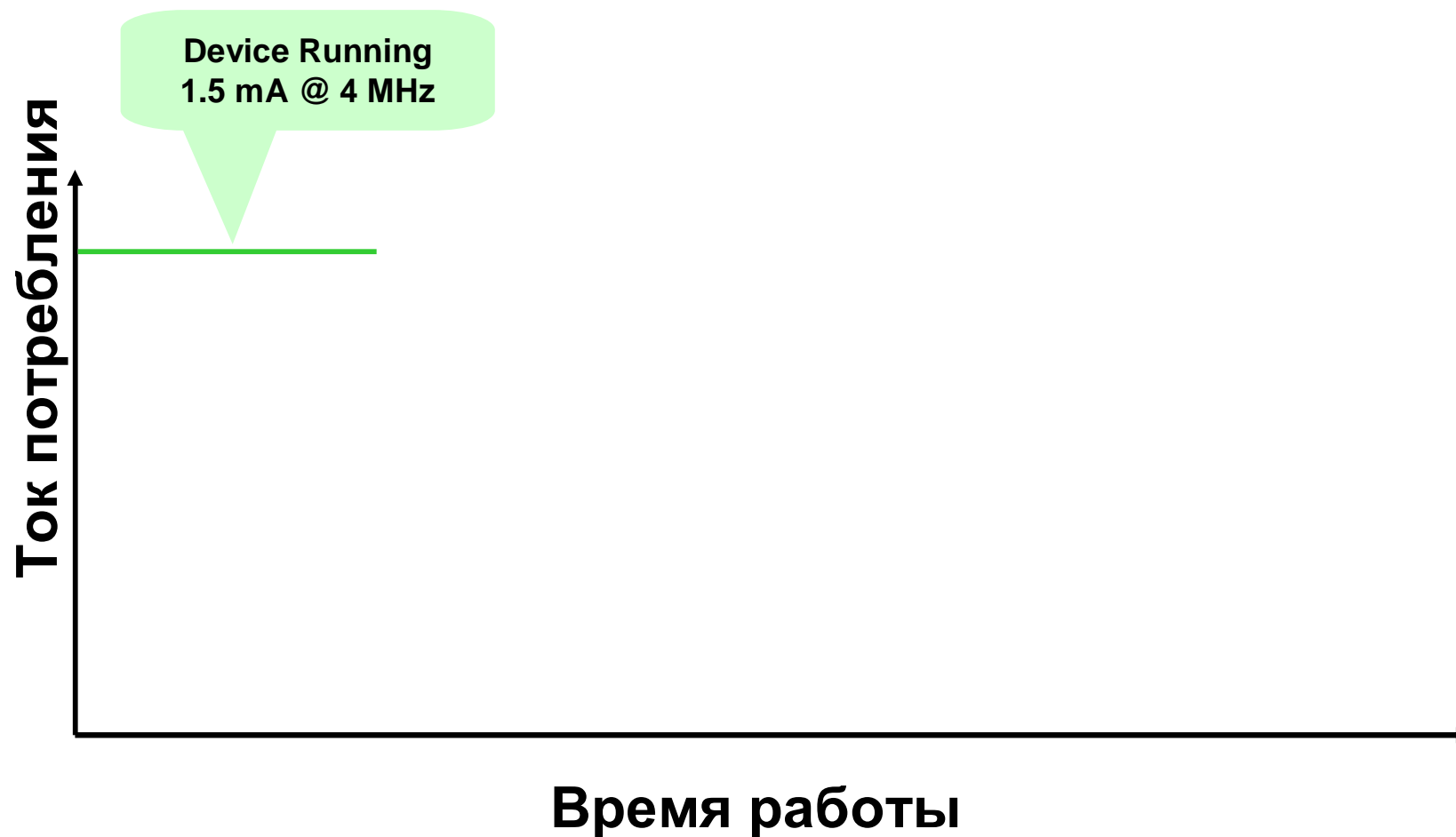


# Deep Sleep

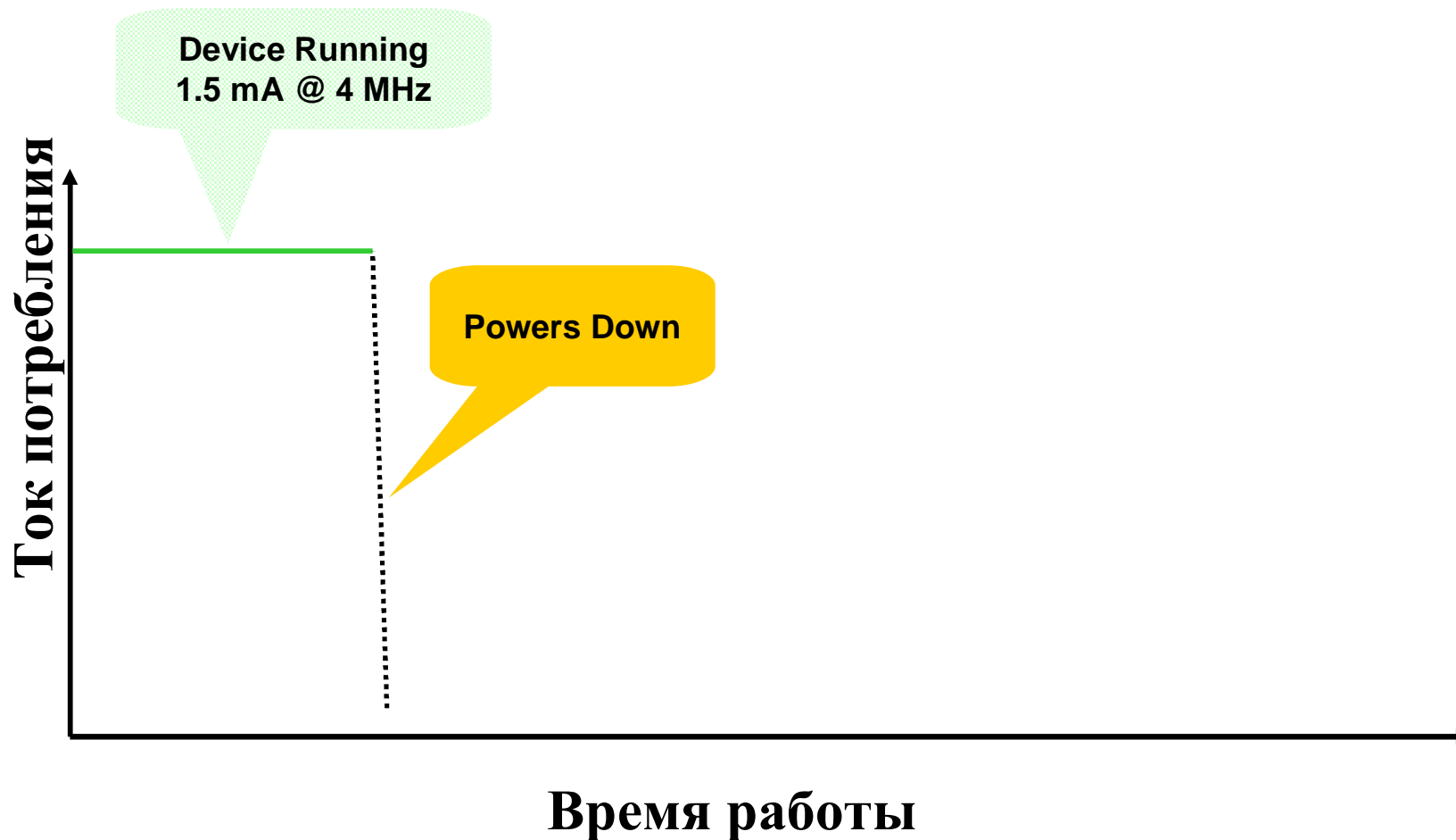
Наименьшее потребление



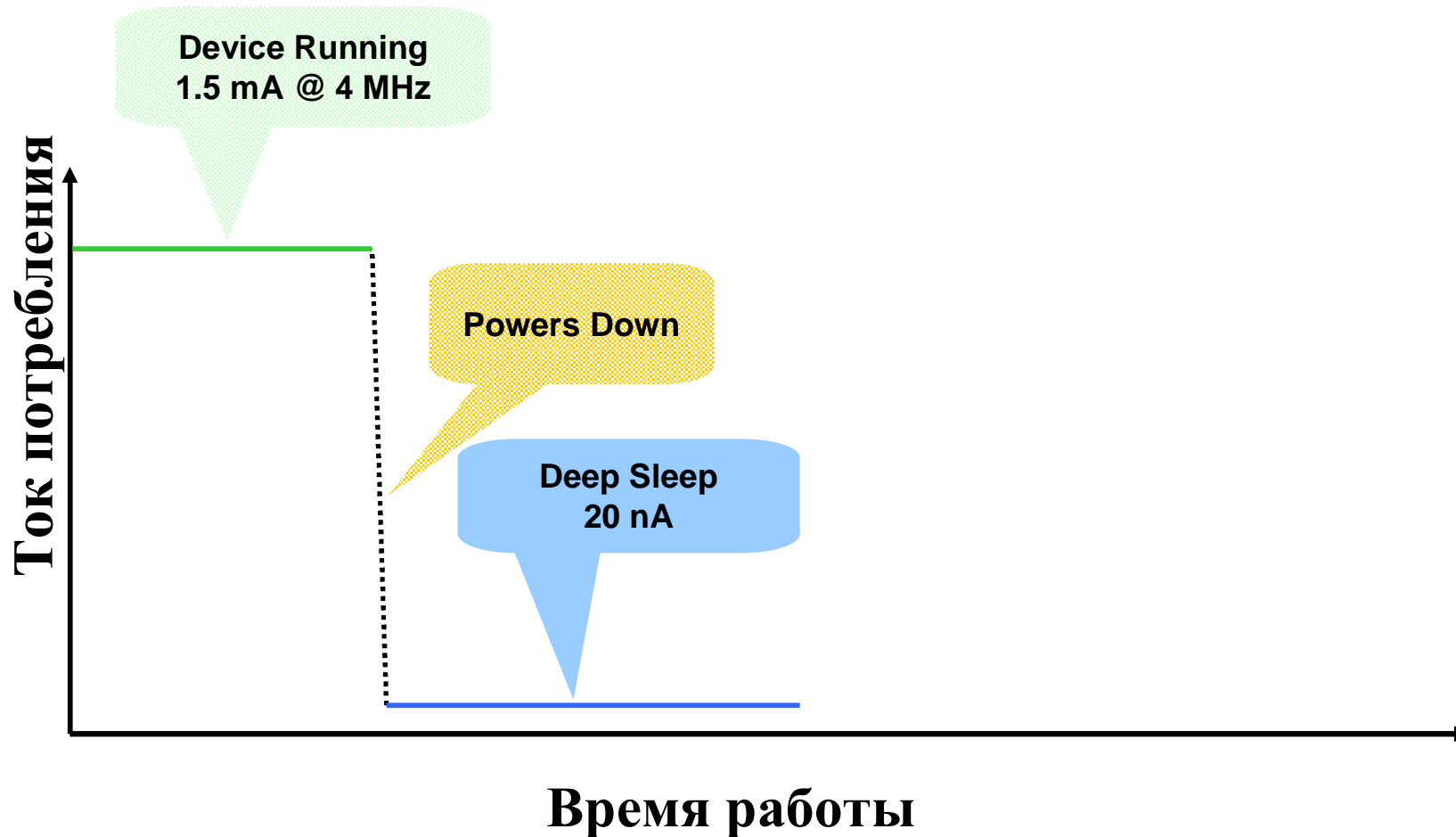
# Что означает низкое потребление?



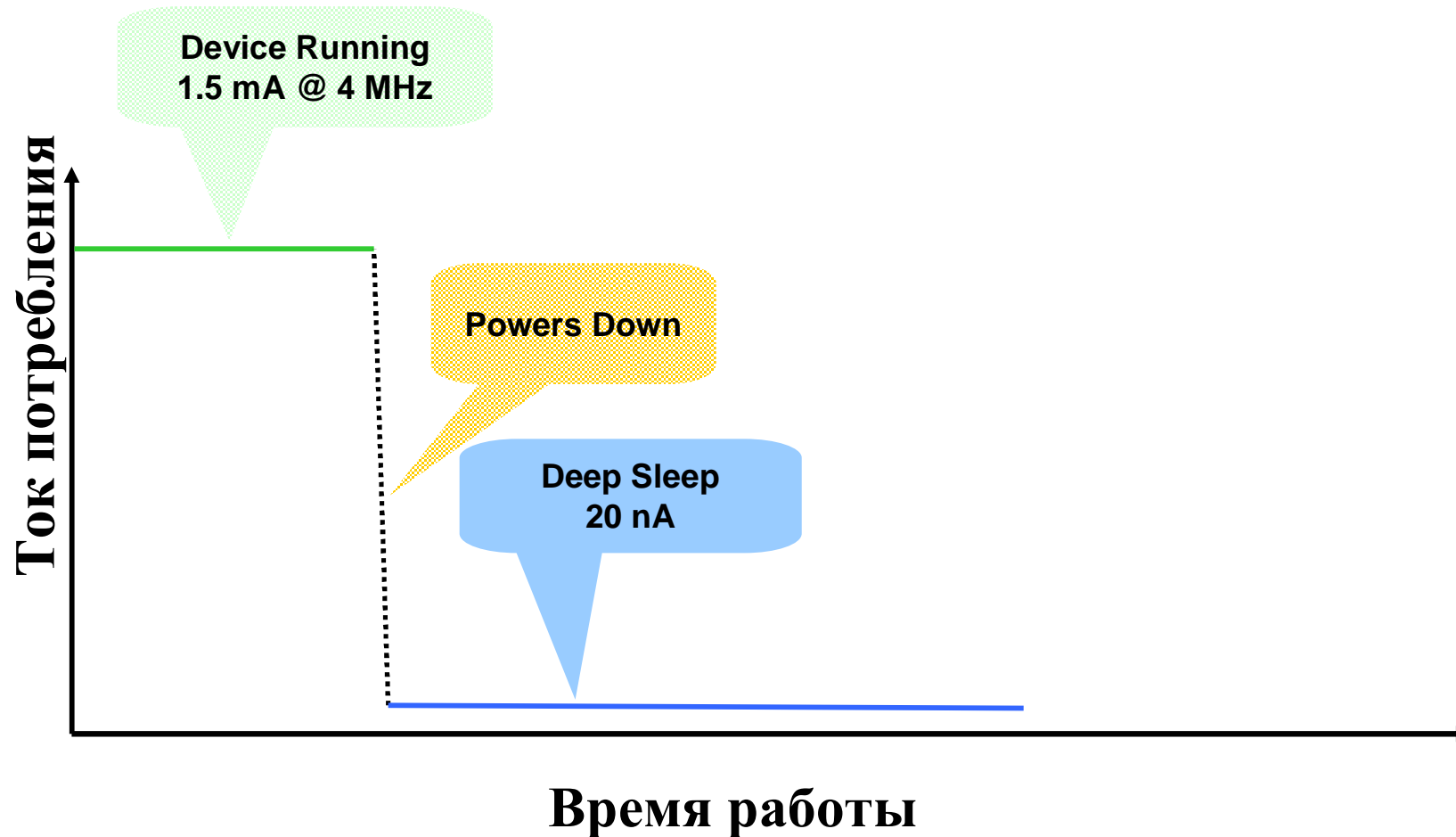
# Что означает низкое потребление?



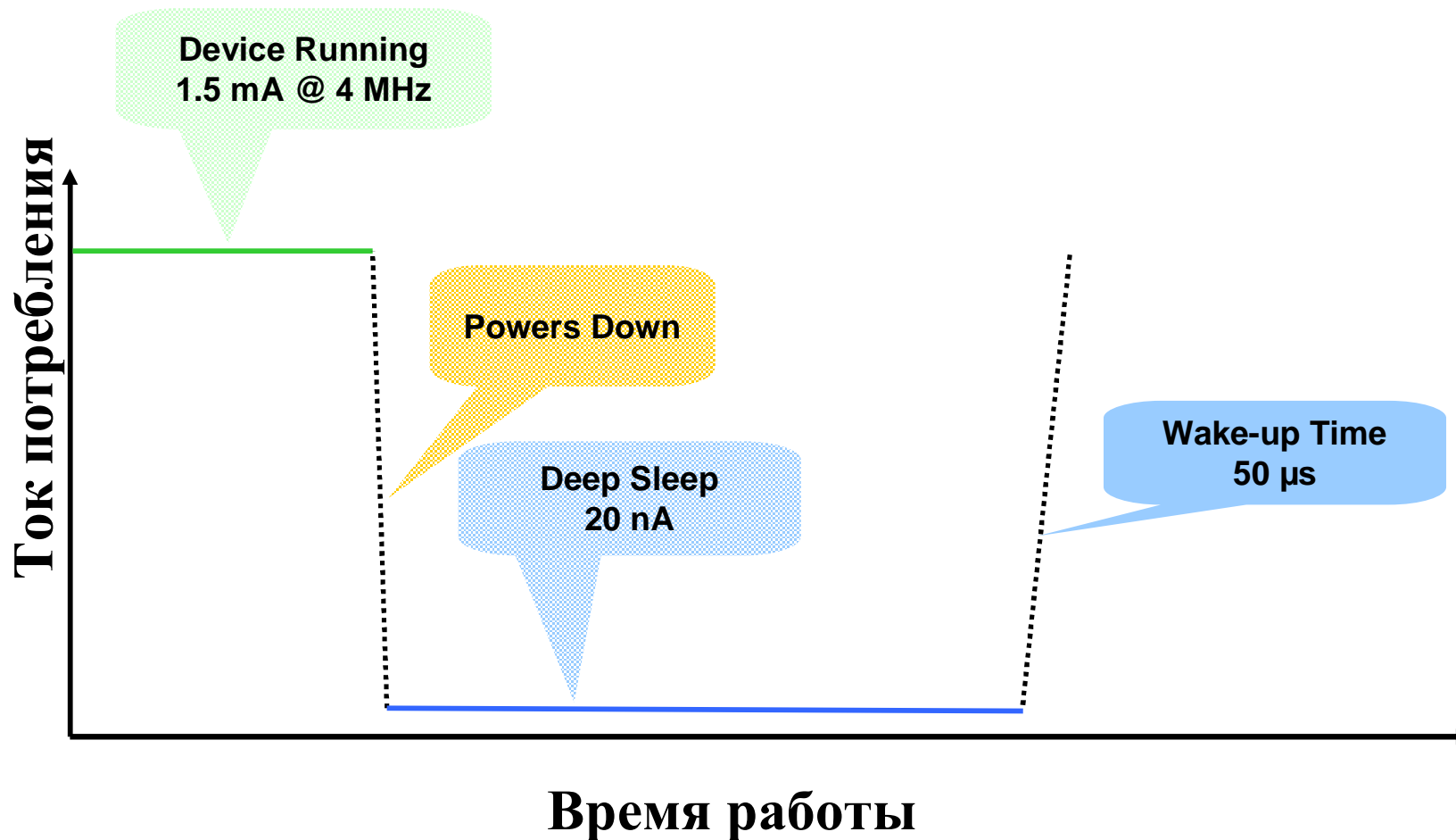
# Что означает низкое потребление?



# Что означает низкое потребление?

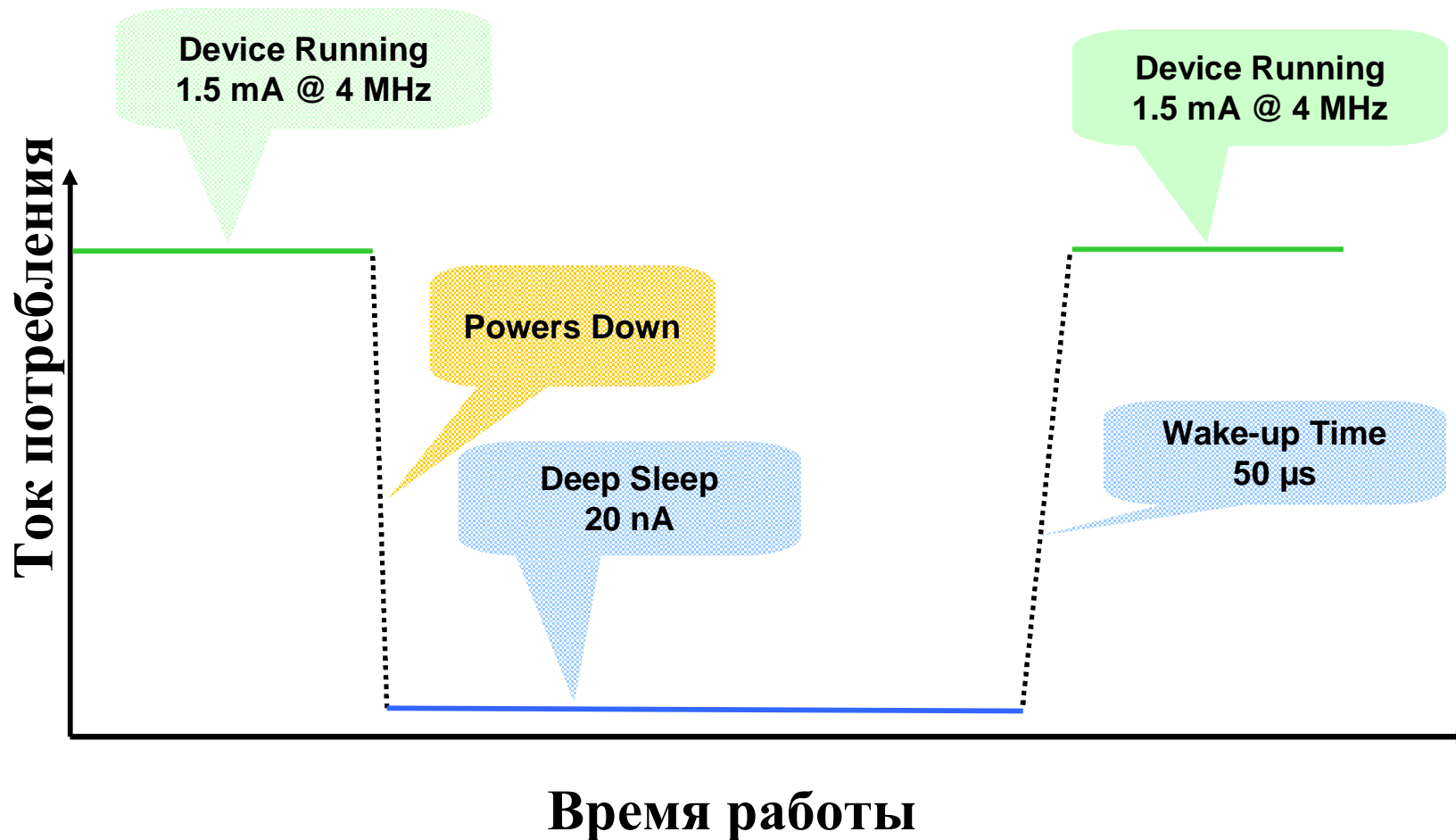


# Что означает низкое потребление?

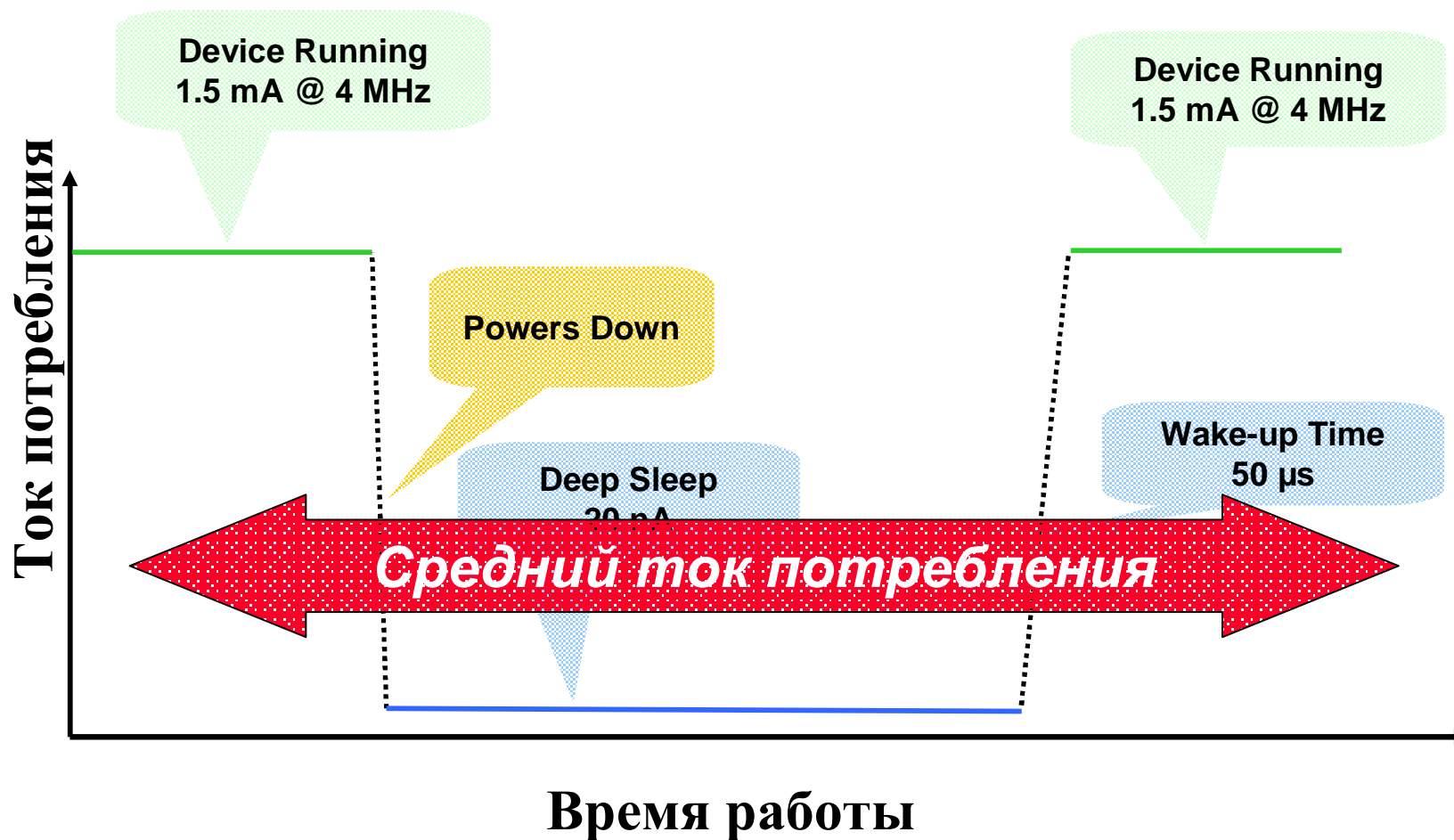




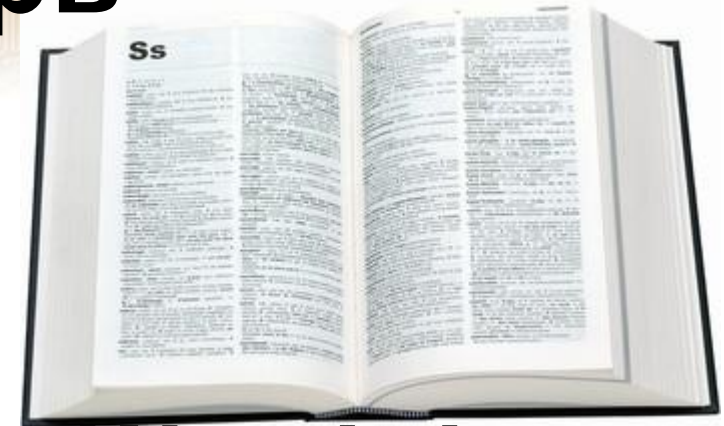
# Что означает низкое потребление?



# Что означает низкое потребление?



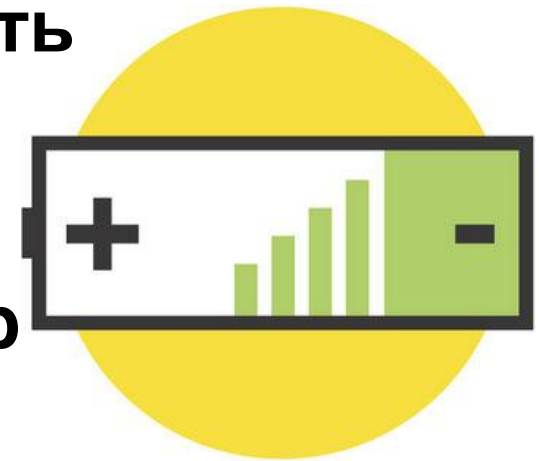
# Словарь



- | **RTCC – Real-Time Clock/Calendar**
- | **DSWDT – Deep Sleep Watchdog Timer**
- | **ULPWU – Ultra Low-Power Wake-Up**
- | **DSBOR – Deep Sleep Brown-Out Reset**

# Сохранение энергии батареи

- Конкурирующие контроллеры требуют внешней батареи или выделенного вывода для RTCC
- RTCC может продолжать работать в Deep Sleep, питается от VDD
- Контроллер в режиме Deep Sleep может работать многие годы от одной батареи!



# Что может работать в режиме DSleep?

- | **RTCC Продолжает считать время**
  - | Вывод RTCC может выдавать секундные импульсы
- | **Порты ввода-вывода сохраняют состояние**
- | **Специальные регистры Deep Sleep сохраняют значения (DSGPR0, DSGPR1, RTCC время/дата)**
- | **DSBOR**



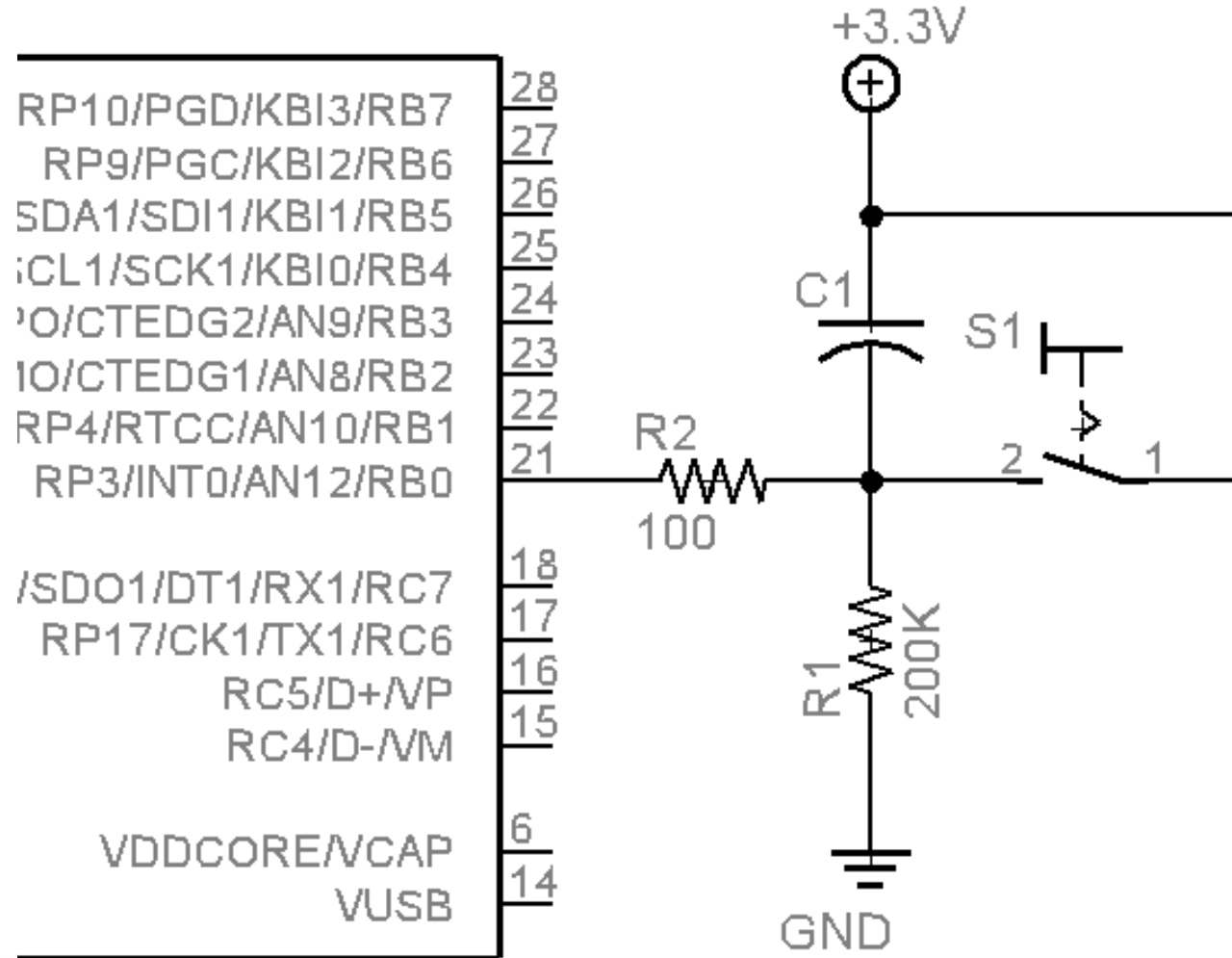


# Просыпание из Deep Sleep

- | **INT0**
  - | **Deep Sleep Watchdog Timer**
  - | **RTCC Alarm**
  - | **Ultra Low-Power Wake-Up**
- 
- | **MCLR**
  - | **(power off / power on)**

# Просыпание по INT0

## INT0



# Просыпание по DSWDT

## Deep Sleep Watchdog Timer (DSWDT)

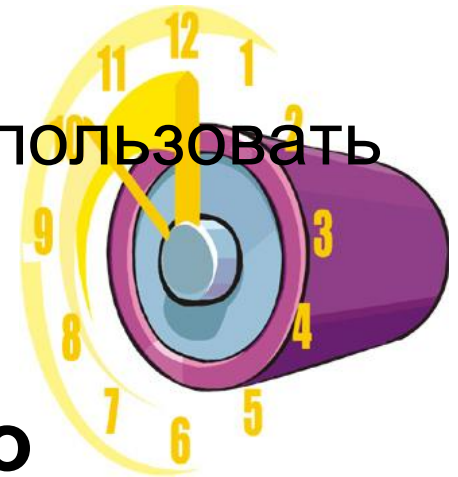
- | **Не требует внешних компонентов, внутренний RC генератор**
  - | Может использоваться для определения выхода из строя внешнего генератора
  
- | **Как источник тактирования может использоваться Secondary Oscillator**
  
- | **Доступны 16 различных периода**
  - | 2.1 ms, 8.3 ms, 33 ms, 132 ms,
  - | 528 ms, 2.1s, 8.5s, 34s,
  - | 135s, 9m, 36m, 2.4h,
  - | 9.6h, 38.5h, 6.4d, 25.7d



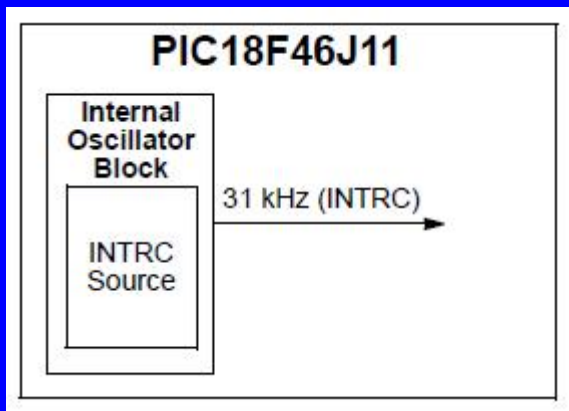
# Просыпание по RTCC Alarm

## RTCC Alarm

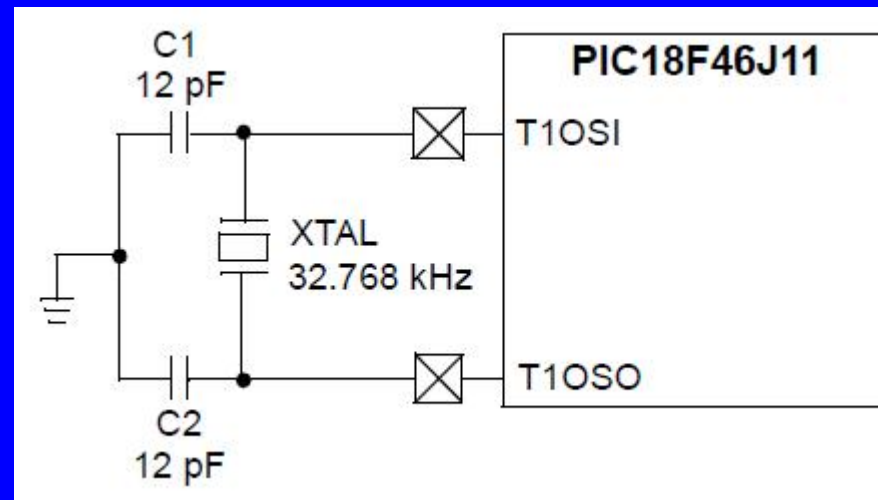
- | Точность будильника от секунд, до дня или года.
- | Может использовать тот же источник тактирования как и DSWDT
  - | Сохранение энергии: не нужно использовать 2 источника тактирования
- | В режиме Deep Sleep возможно выдавать на выход сигнал будильника или импульсы от RTCC



# Источник тактирования RTC/DWDT



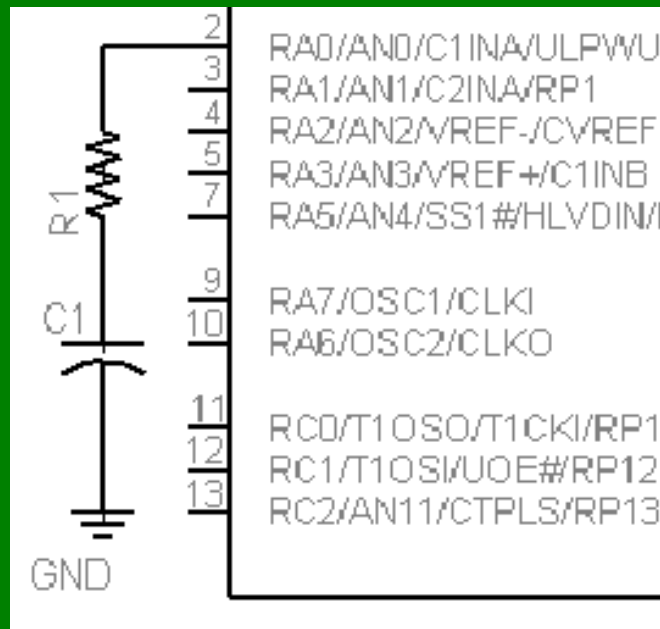
**31 kHz Internal RC**



**Secondary Oscillator**

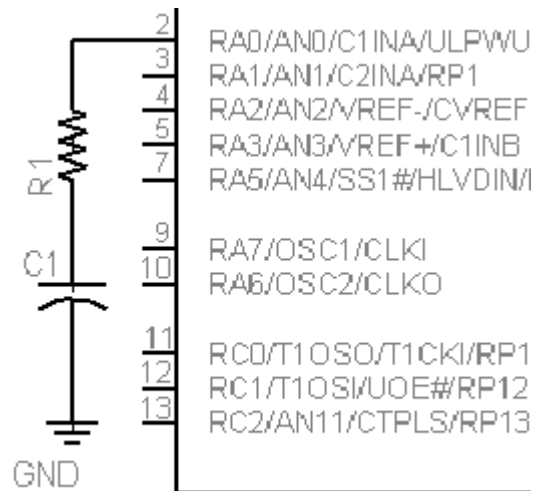
# Просыпание по ULPWU

## Ultra Low-Power Wake-Up



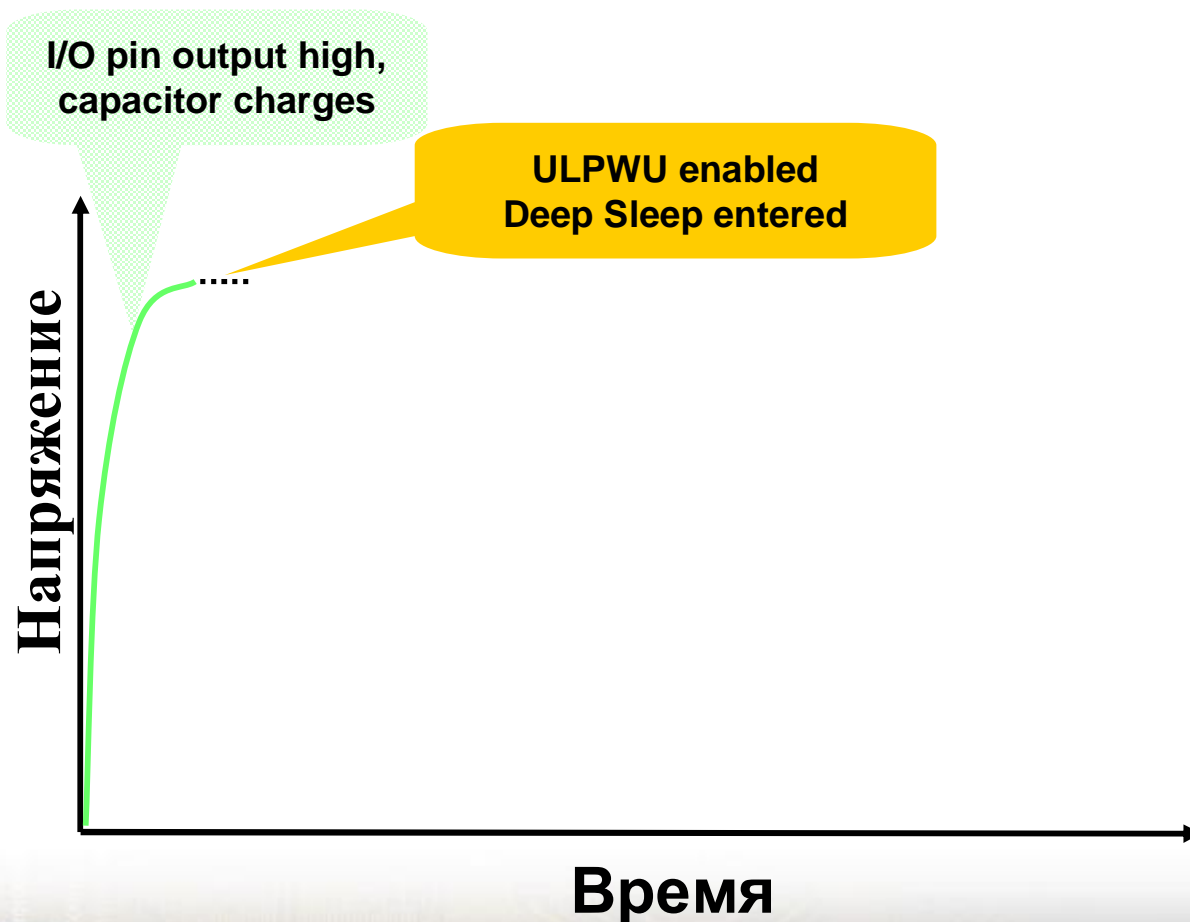
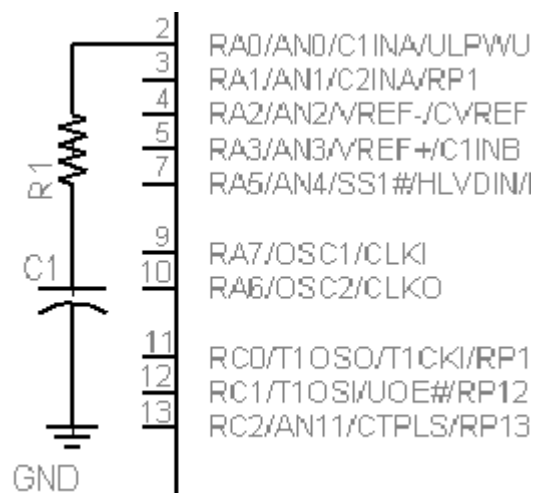
# Просыпание по ULPWU

## Ultra Low-Power Wake-Up



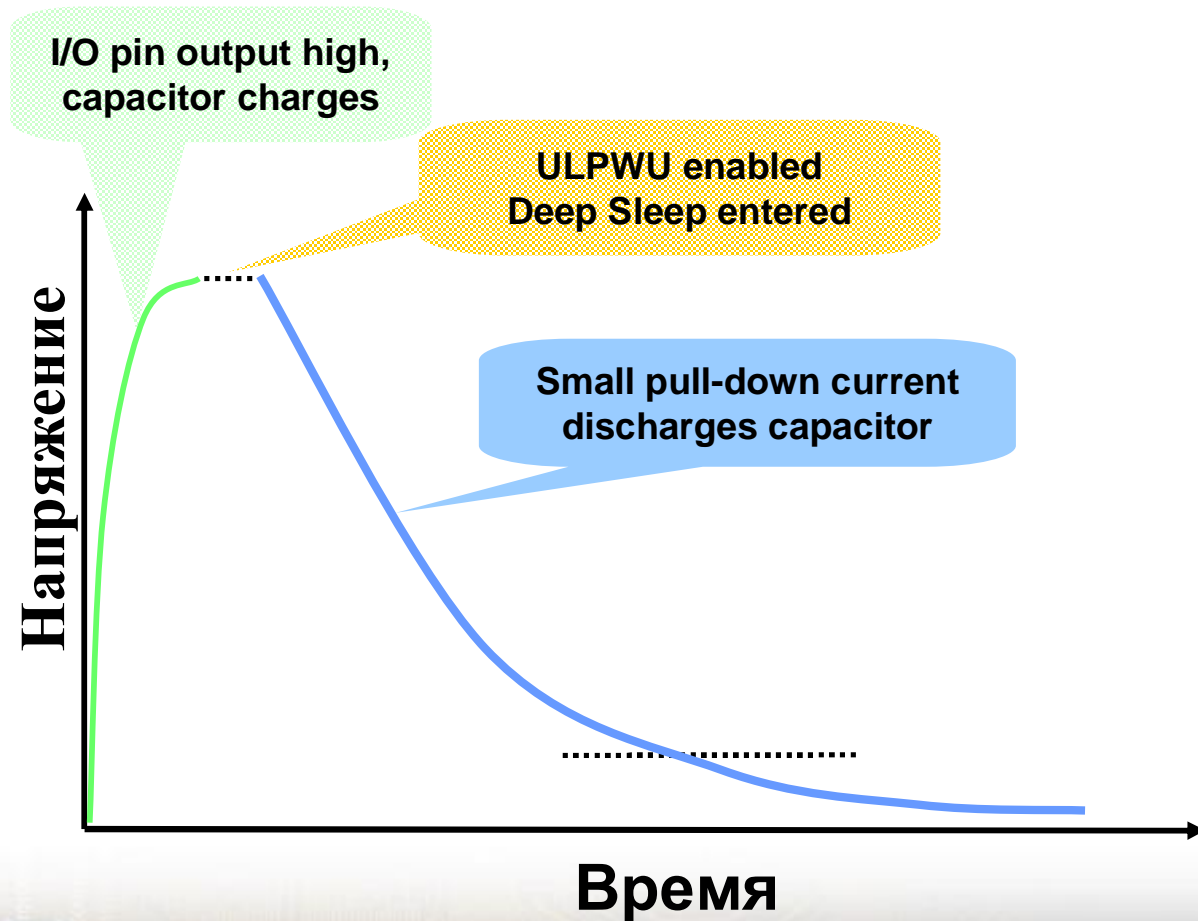
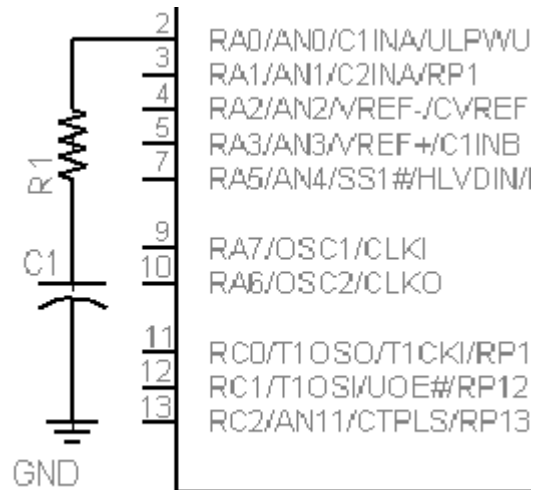
# Просыпание по ULPWU

## Ultra Low-Power Wake-Up



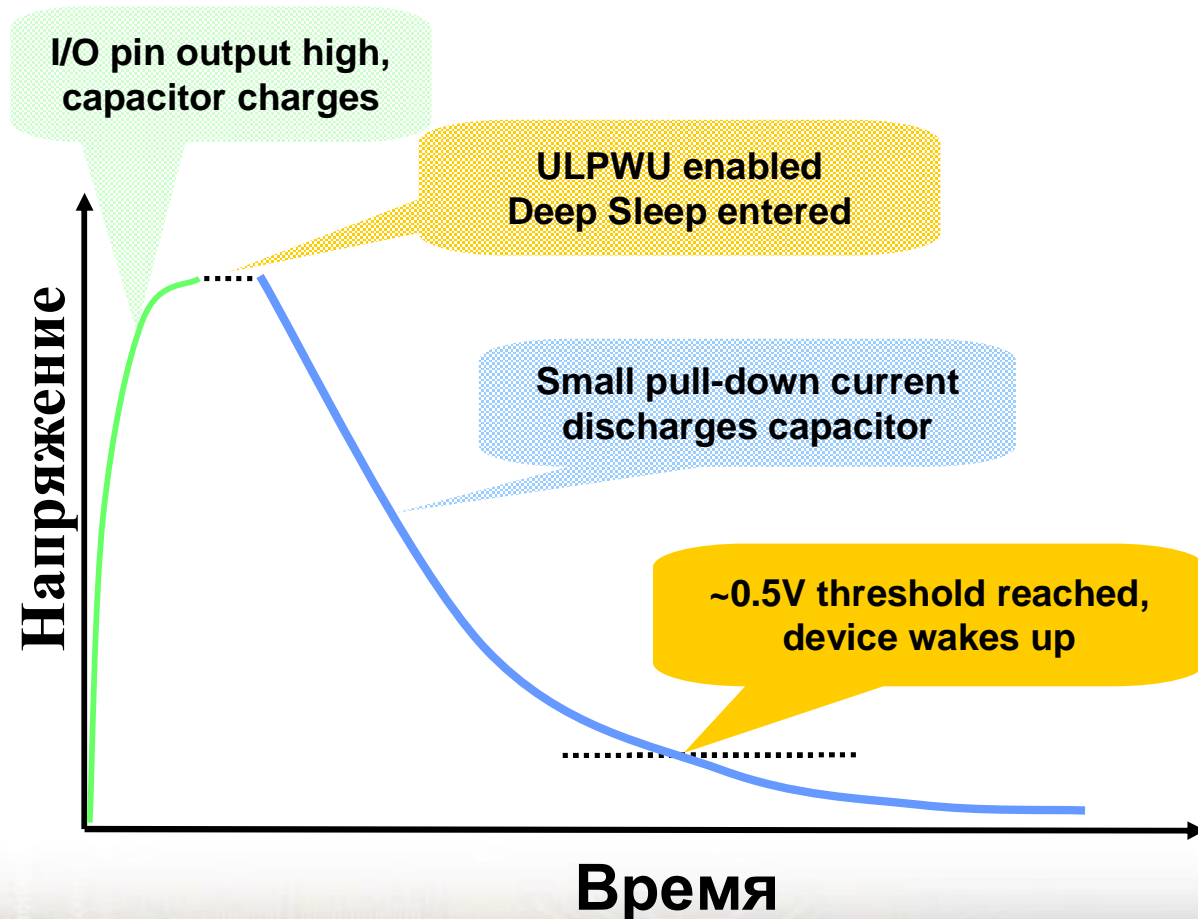
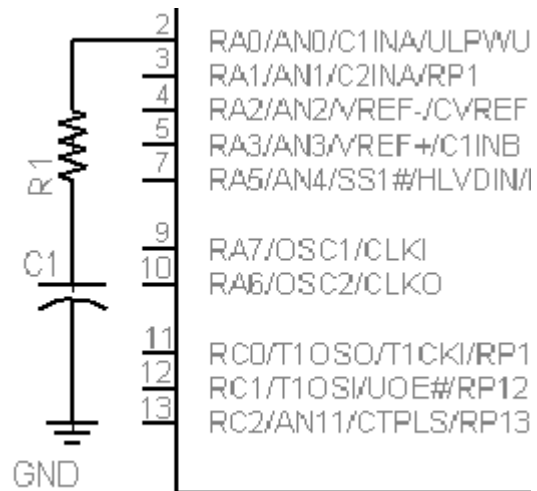
# Просыпание по ULPWU

## Ultra Low-Power Wake-Up



# Просыпание по ULPWU

## Ultra Low-Power Wake-Up





# 16 Новых nanoWatt XLP™ Микроконтроллеров

- | Самые микрopotребляющие в мире контроллеры, с током в Sleep 20 nA
- | 16 новых микроконтроллеров
  - | Два семейства 8-и битных и одно семейство 16-битных
- | Идеальны для батарейных приборов или приборов с требованием минимального потребления
- | Совместимость по режимам энергосбережения, периферии и средств разработки для легкого перехода на новые семейства
- | Обширная периферия и одновременно микрopotребление
  - | USB и емкостные сенсоры mTouch™



# Контроллеры с nanoWatt XLP™



# PIC24F16KA

## Идеальны для батарей

### Deep Sleep (DS)

20 нА

### RTCC

500 нА

### DSWDT

400 нА

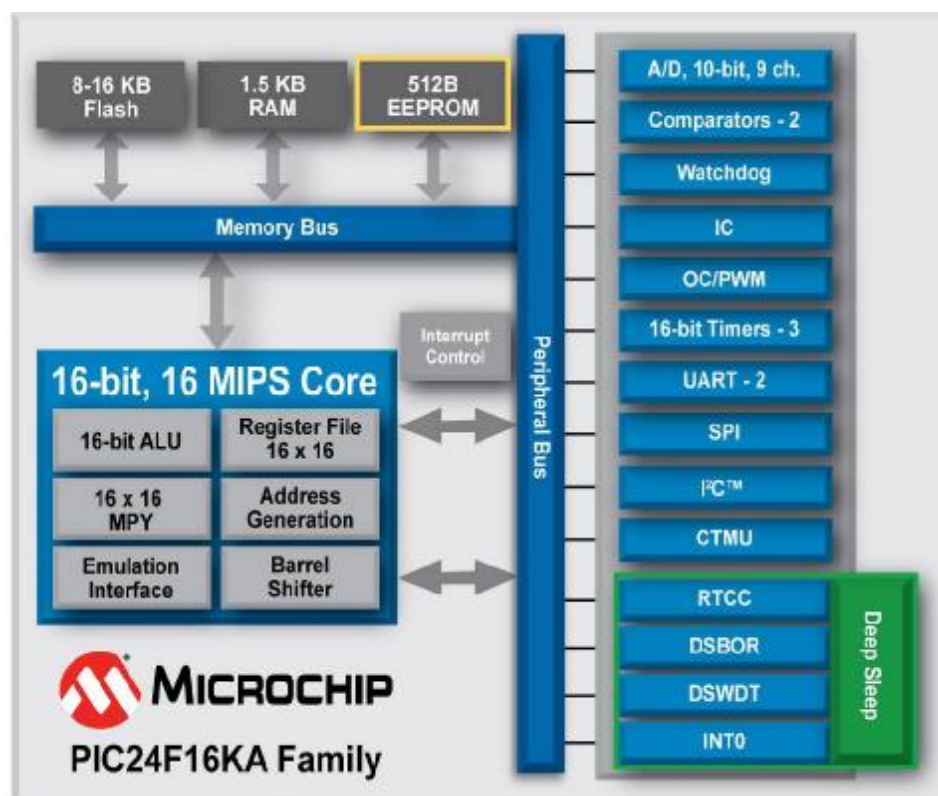
### DSBOR

50 нА

Гибкие режимы пробуждения

## EEPROM

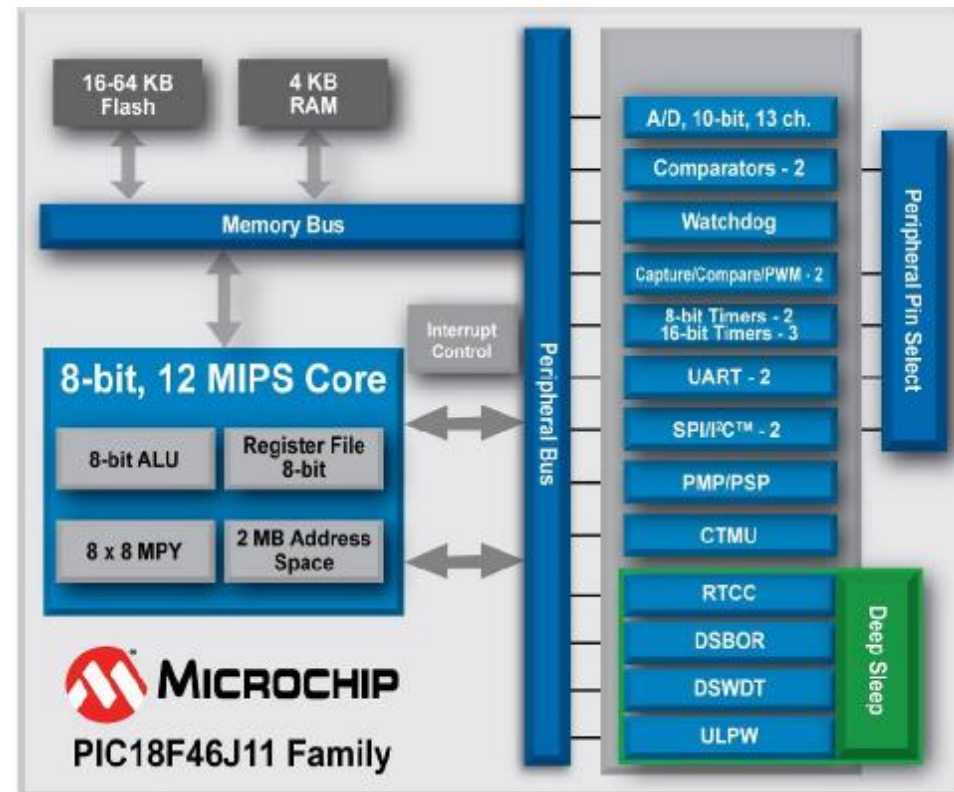
## CTMU/ mTouch™



*Доступны в 20- и 28-выводных корпусах*

# PIC18F46J11

- | Deep Sleep (DS)
  - | менее 20 нА
  - | DSBOR, DSWDT, RTCC
- | Большой набор периферии
  - | PPS
  - | CTMU / mTouch™
  - | До 4 послед. портов
  - | До 5 таймеров, 8 ШИМ
  - | 64 KB Flash и 4 KB RAM

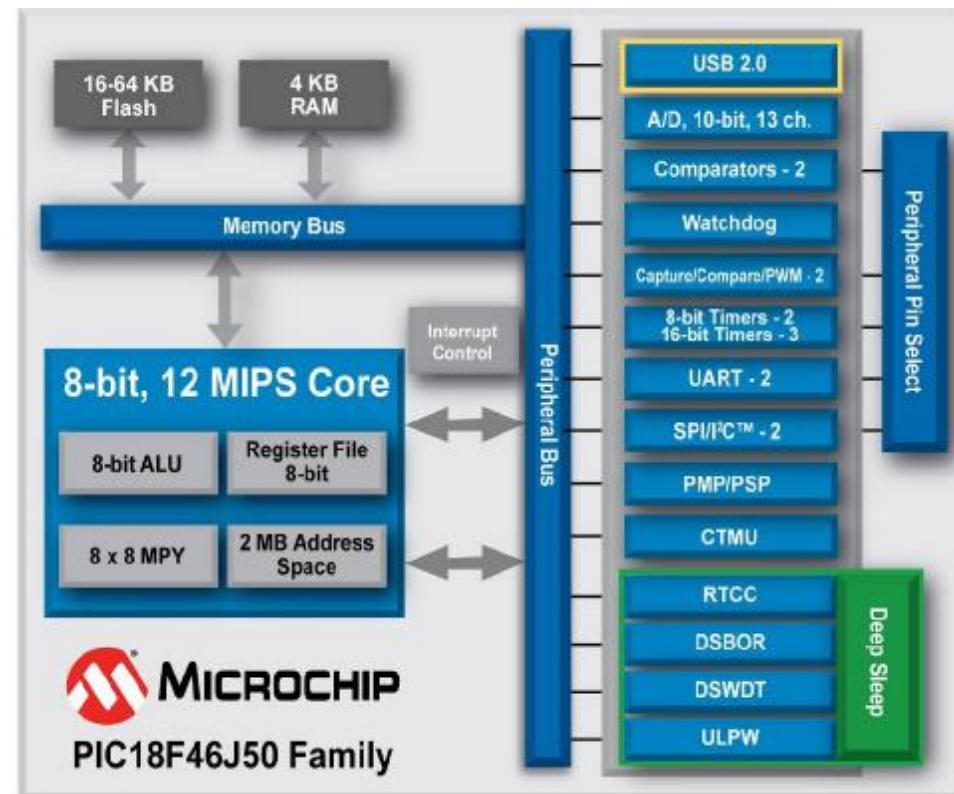


- | Внутренний генератор +/- 1%

*Доступны в 28- и 40-выводных корпусах*

# PIC18F46J50

- | Deep Sleep (DS)
  - | менее 20 нА
  - | DSBOR, DSWDT, RTCC
- | Большой набор периферии
  - | PPS
  - | CTMU / mTouch™
  - | До 4 послед. портов
  - | До 5 таймеров, 8 ШИМ
  - | 64 KB Flash и 4 KB RAM
  - | USB 2.0 Full speed
- | Внутренний генератор +/- 1%

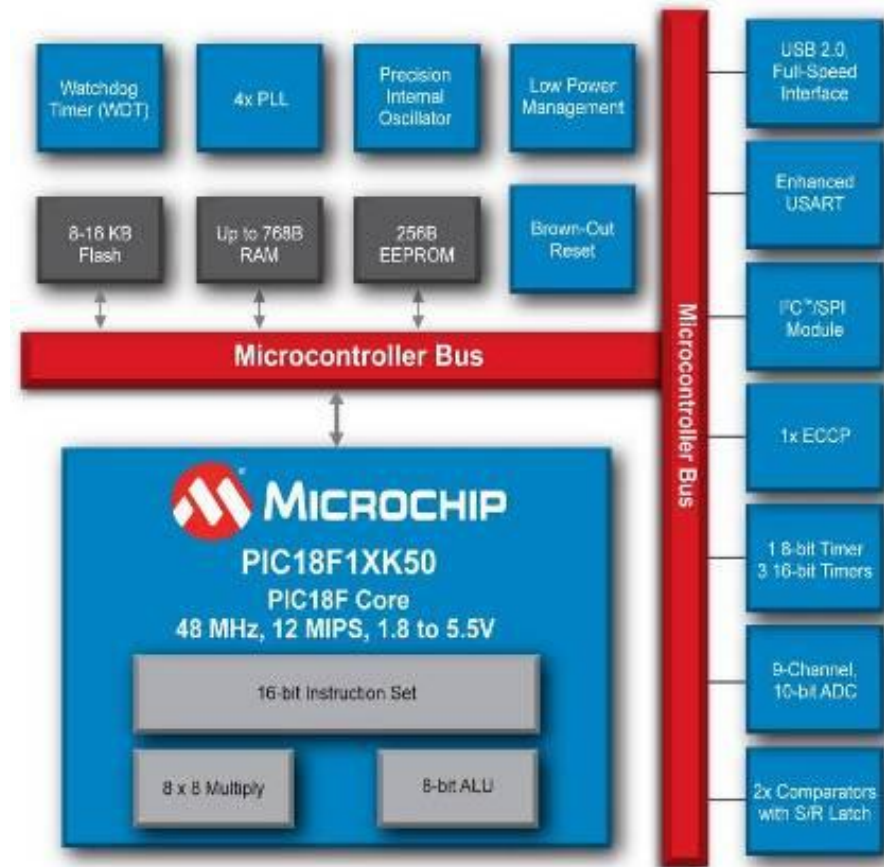


*Доступны в 28- и 40-выводных корпусах*



# PIC18F13K50 / PIC18F14K50

- ▮ USB 2.0 + Богатая периферия
  - ECSP, I<sup>2</sup>C/SPI, 10-бит АЦП
- ▮ Доступен в корпусе 5x5mm QFN
  - Самое компактное решение с USB
- ▮ Низкая цена



[www.microchip.com/USB](http://www.microchip.com/USB)



# PIC16F72X

- | **Low power nanoWatt technology**
  - | Low power Timer 1: 480nA
  - | Low power WDT current 480nA
  - | Sleep current as low as 20nA
  - | Active current as low as 7 $\mu$ A (32kHz, 1.8V)
- | ***mTouch*<sup>TM</sup> Capacitive touch**  
**Up to 16 Channels**
- | **1.8 - 5.5V** with Analog operation across the whole voltage range
- | **28 - 44 pin package options**



PICKIT™ 2 Starter Kit  
Part# DV164120

# Микроконтроллеры nanoWatt XLP™

PIC MCU Family	Flash Memory KB	Pins	Sleep (nA)	Deep Sleep (nA)	WDT* (nA)	RTC* (nA)	I/O Pin Leakage (nA)	1MHz Run (µA)
PIC16LF72X	3.5-14	28/44	20	-	500	500	5	110
PIC16LF193X (LCD)	7-28	28/44	60	-	500	600	50	150
PIC18F1XK50 	8-16	20	24	-	450	790	5	170
PIC18F14K22	8-16	20	34	-	460	650	5	150
PIC18FXXK20	8-64	28/44	100	-	600	600	5**	300
PIC18(L)F46J11	16-64	28/44	54	13	813	813	5**	272
PIC18(L)F46J50 	16-64	28/44	54	13	813	813	5**	272
PIC24F16KA102 (Cap Touch)	8-16	20/28	25	20	420	520	50	195



All numbers are typical values at minimum V<sub>dd</sub>, taken from the datasheet.

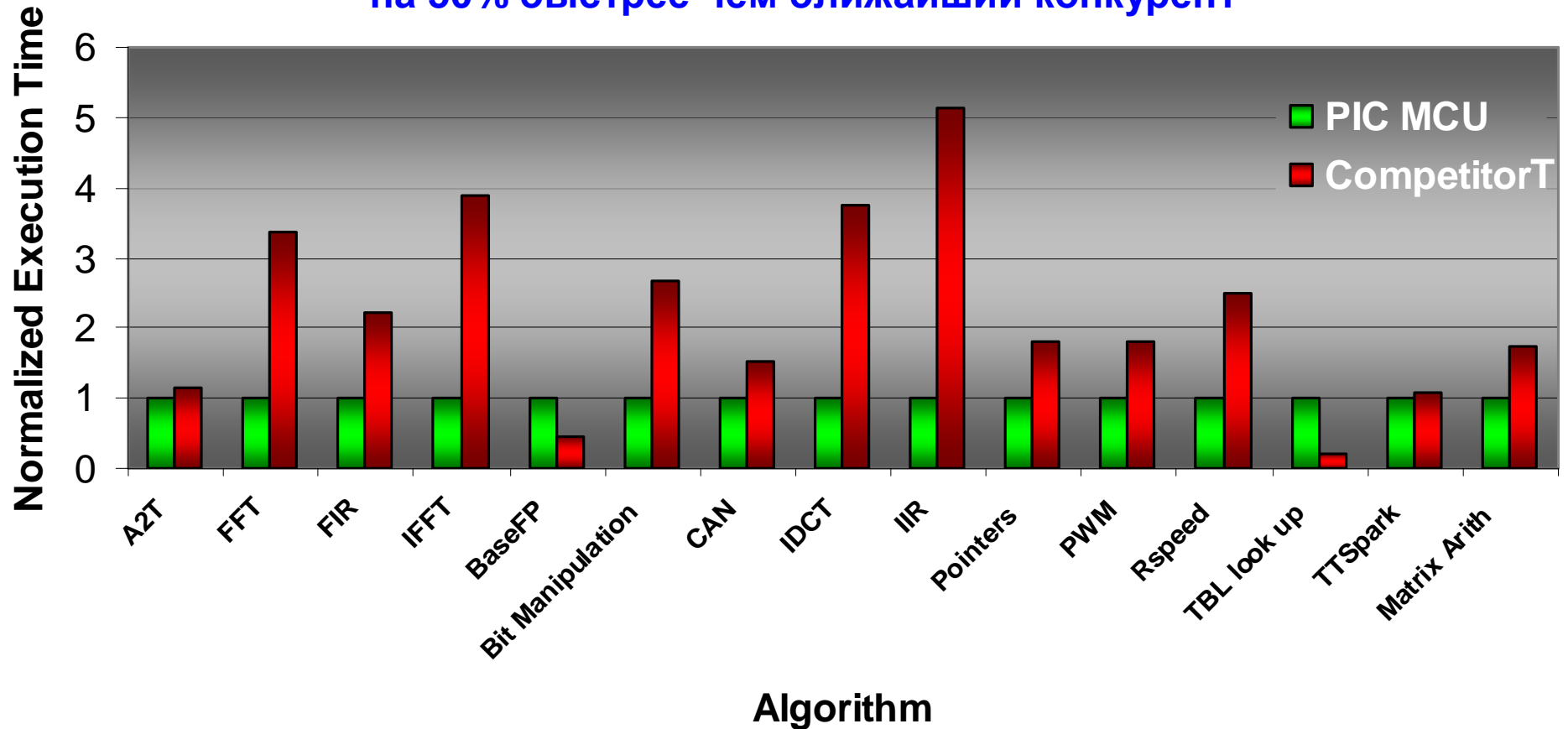
•Base Sleep current included in WDT and/or RTC numbers.

\*\* = Pending datasheet update



# Industry Standard Performance Benchmarks Время выполнения

**ПИС контроллеры 50% алгоритмов выполняют как минимум на 50% быстрее чем ближайший конкурент**



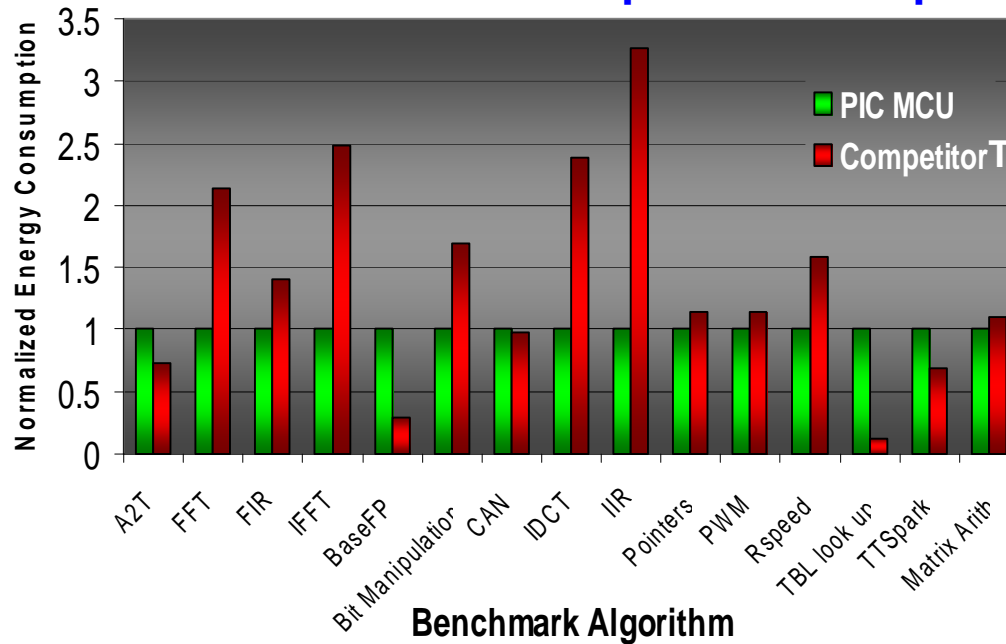
Note:

1. Competitor 16-bit MCU family at 16 MIPS - Speed & Size trade off = 5
2. PIC24F family at 16 MIPS using MPLAB® C Compiler for PIC24F with Optimization level O3



# Industry Standard Performance Benchmarks Потребление Энергии

**Быстрое выполнение кода контроллером PIC  
означает большее сохранение энергии!**

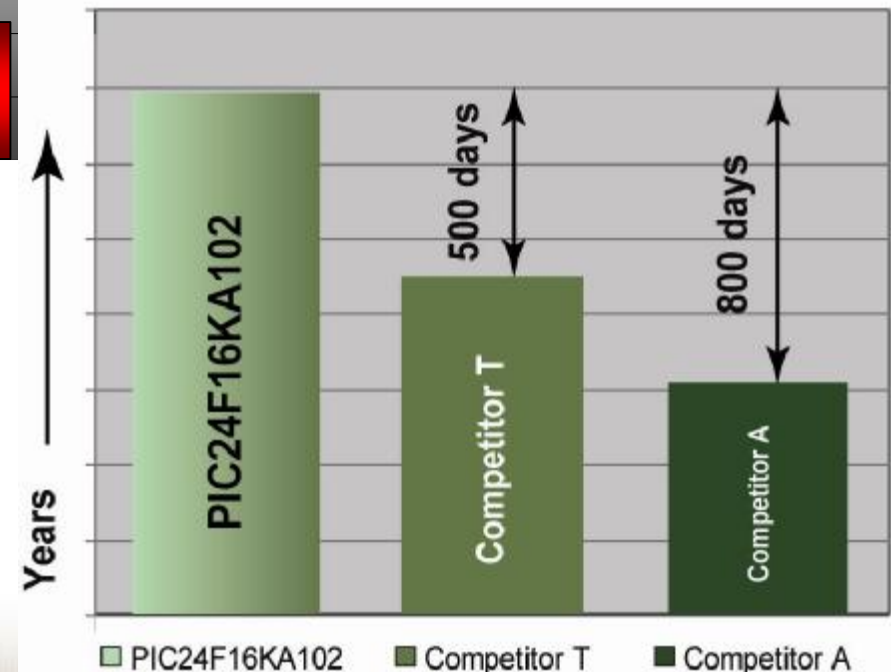


Note:

Competitor 16-bit family at 16 MIPS Vdd=3.3V, Typical values for Idd  
PIC24F16KA102 family at 16 MIPS using MPLAB C Compiler for PIC24F with  
Optimization level O3 – Vdd=3.3V, Typical values for Idd

**Меньшее потребление энергии  
означает более длительную  
работу от батареи**

**Battery Life  
nanoWatt XLP™ vs. Competition**  
(RTCC on, Run 1 ms/min., CR2032 Lithium Button Cell Battery)

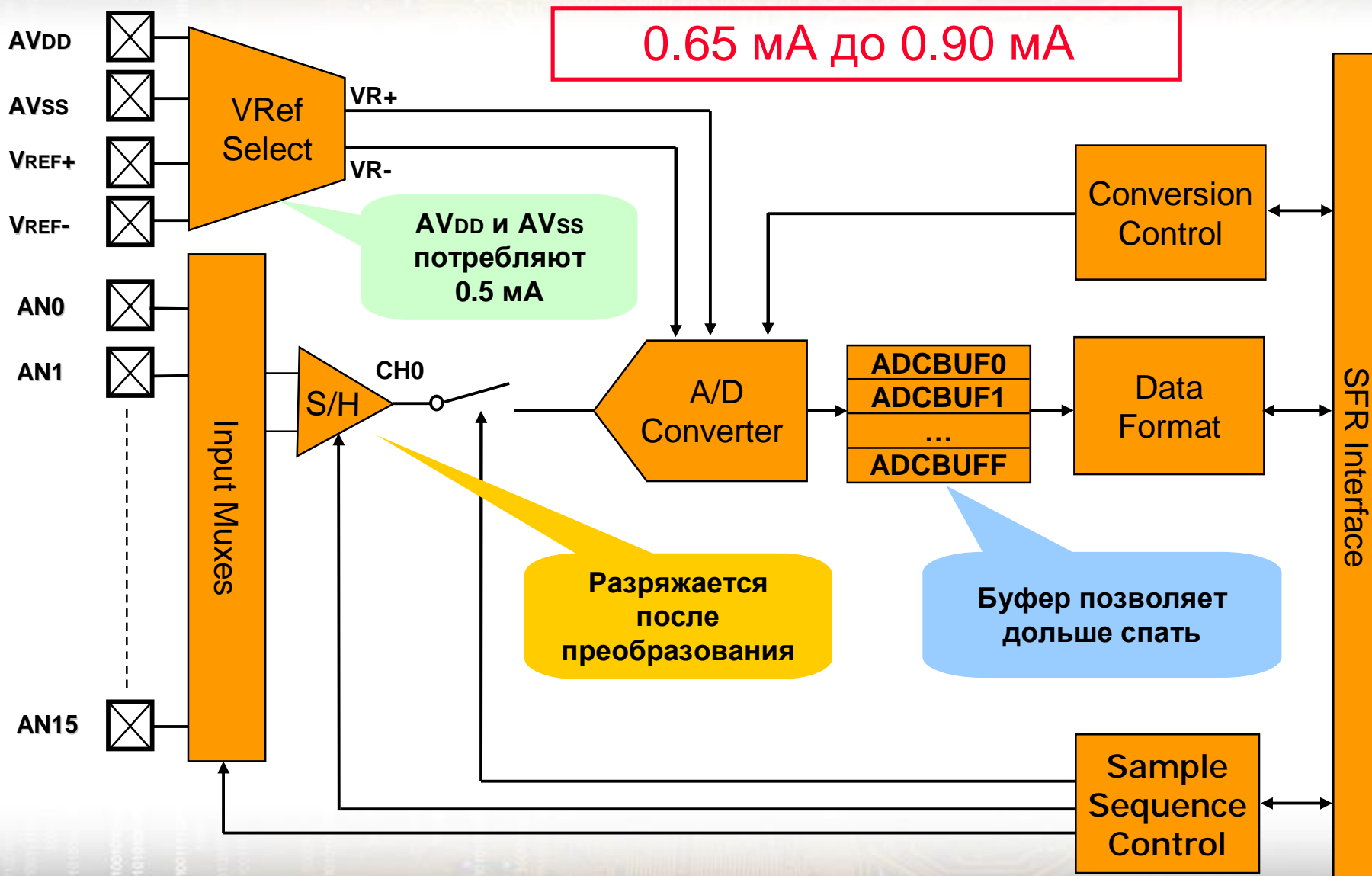


# Потребление периферии и советы по снижению

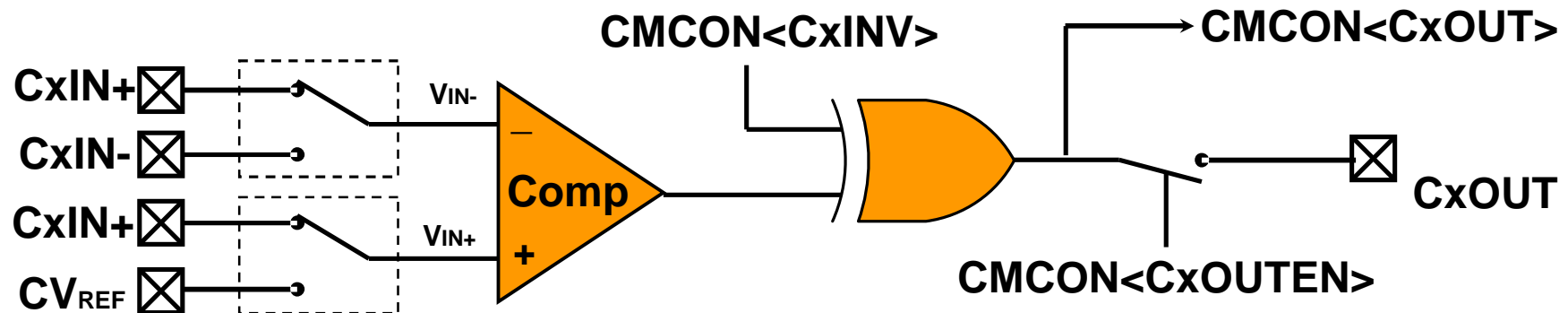


# Аналоговая периферия

# Потребление АЦП



# Потребление компаратора



## Базовый ток 20 мкА

- Плавание уровня входного сигнала + 20 мкА
- Высокая частота + 20..100 мкА
- Выход компаратора на вывод: 0 мкА..0.5 мА

## ИОН

- Около 65 мкА

# Советы

- | **Используйте внешние источники опоры**
- | **Используйте высшие скорости АЦП**
  - | До 50% экономии (0.7 мА)
- | **Используйте буфер АЦП для увеличения времени Sleep**



# Последовательные порты

# Потребление

- И Включение модуля не увеличивает потребление
- И Чем больше скорость, тем выше потребление

## И UART

- И Самый малопотребляющий
- И Скорость не сильно влияет

### Обмен TX/RX

4 MIPS

200 мкА

16 MIPS

300 мкА



# Потребление I<sup>2</sup>C

## Ток модуля

- 50..200 мкА, зависит от скорости

## Ток шины

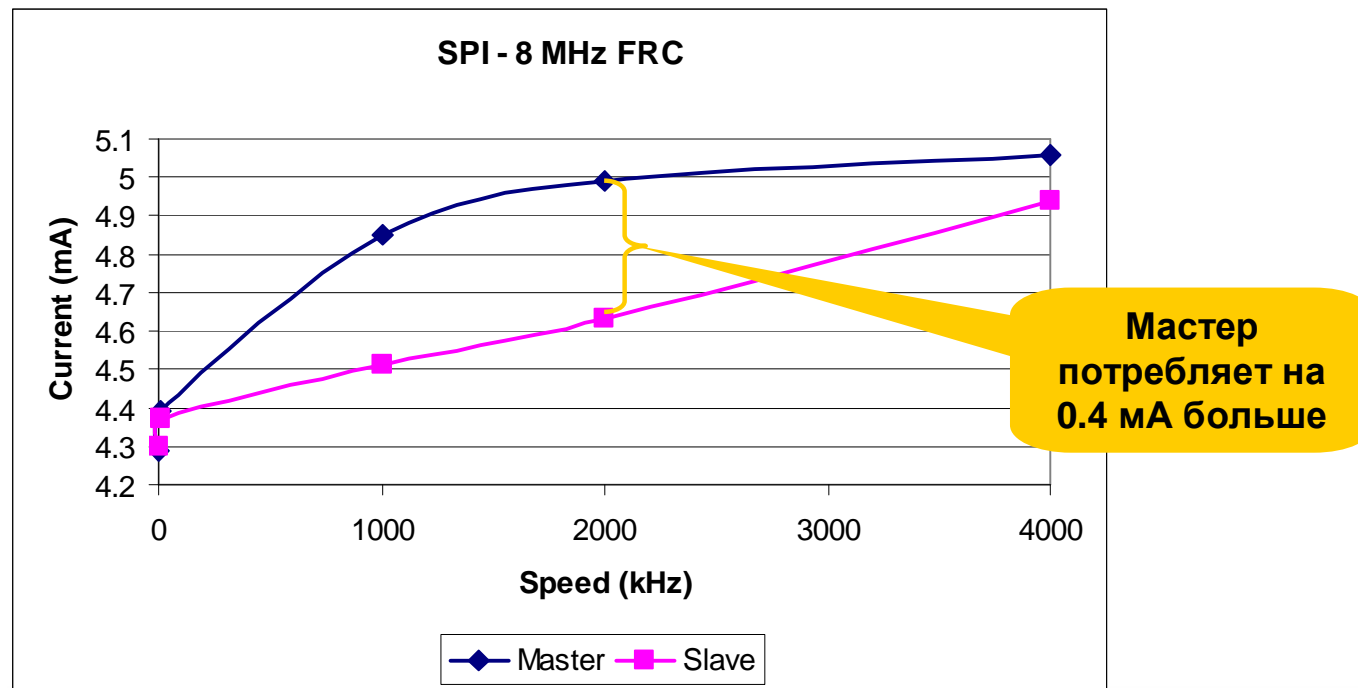
- Зависит от подтягивающих резисторов и передаваемых данных

$3.3\text{ V} \div 4.7\text{ k}\Omega = 0.7\text{ mA}$   
 $0.7\text{ mA} * 2\text{ lines} = 1.4\text{ mA}$   
Typical Data = 50% active  
 $1.4\text{ mA} * 50\% = 0.7\text{ mA}$

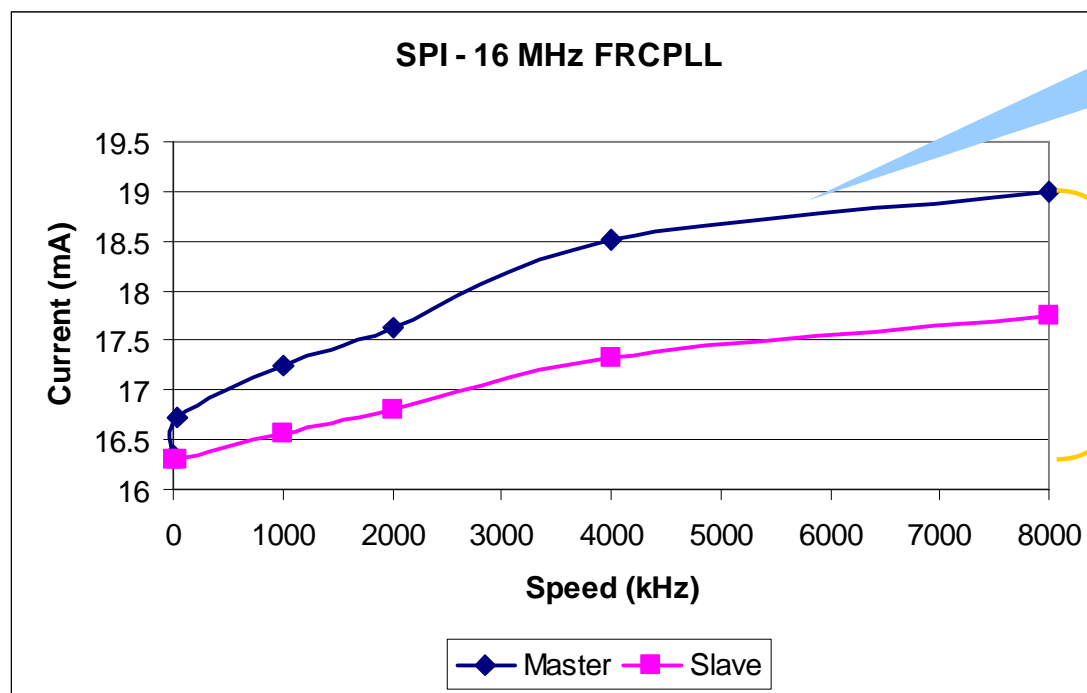
1 MHz I <sup>2</sup> C, 4.7k pull-ups	
Модуль	0.2 mA
Шина	0.7 mA
Всего	~0.9 mA

# Потребление SPI

- Самый потребляющий протокол
- В режиме Slave потребление ниже



## I Зависимость потребления от частоты нелинейная



Удвоение скорости = +20% потребления

2.65 мА на 8 МГц

# Советы

- | **Быстрый короткий обмен данными предпочтительнее**
- | **I<sup>2</sup>C**
  - | Используйте большие подтягивающие резисторы

**Лучше передавать 1, чем 0**

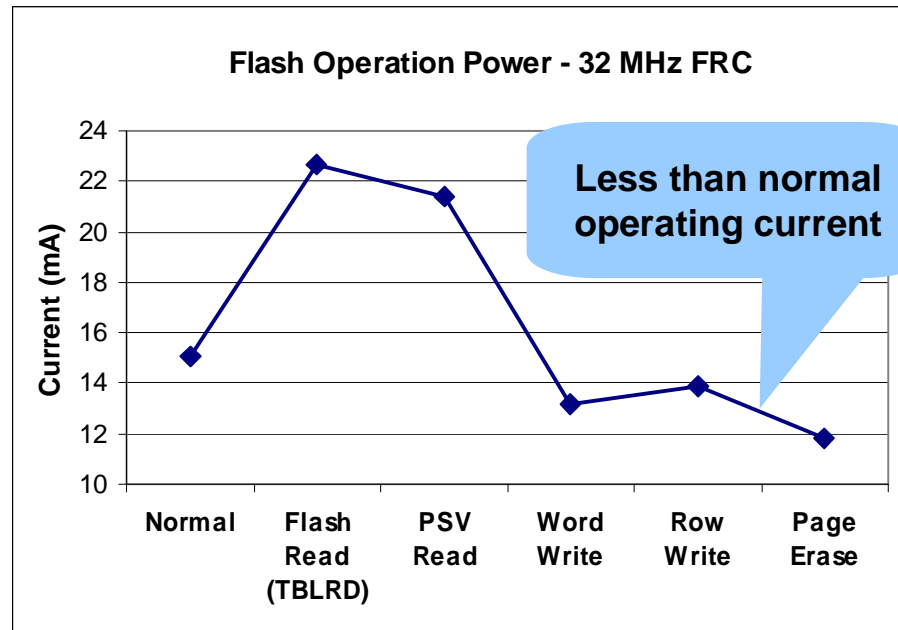
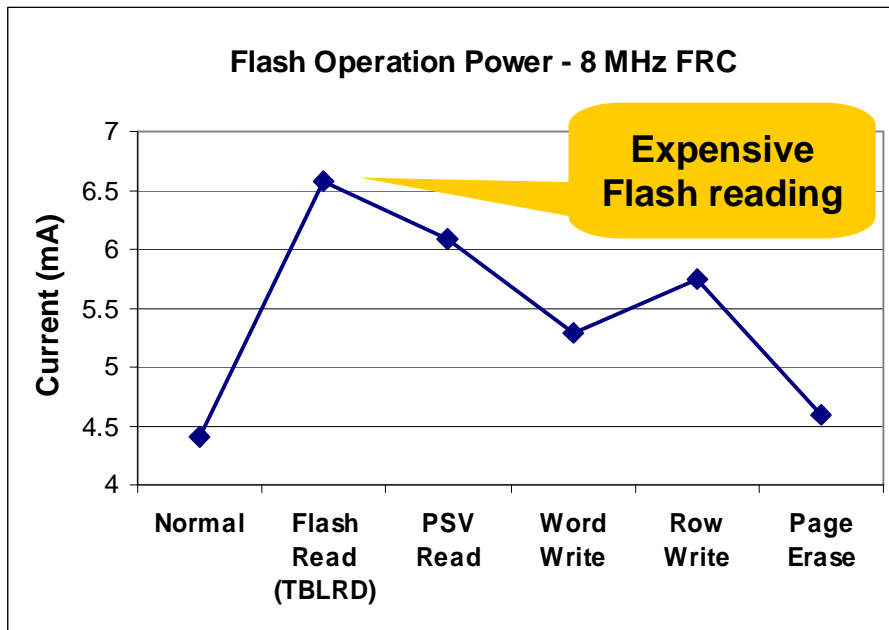
## I SPI

- I Мастер потребляет больше, чем слэйв
- I Следите за разводкой
  - I **3 высокоскоростных линии!**

# Работа с Flash

# Потребление Flash

- Чтение – энергозатратная процедура
- Запись – приостанавливает ядро



# Таймеры, ШИМ



# Потребление RTCC

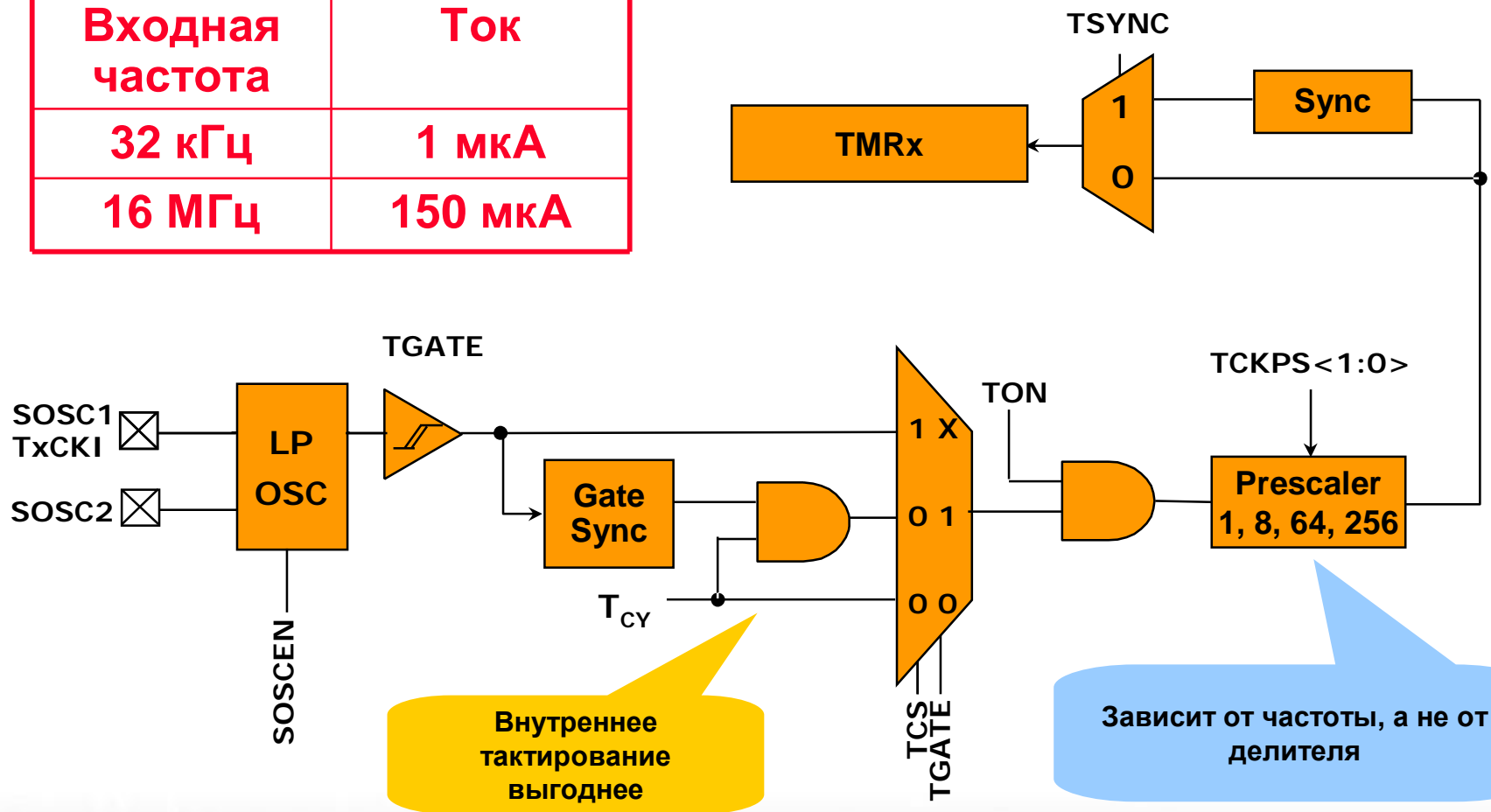
- Потребление зависит от вторичного OSC

<b>Sleep без RTCC</b>	<b>4 мкА</b>
<b>Sleep с RTCC</b>	<b>7.5 мкА</b>

- Незаметно для динамического потребления

# Потребление таймера

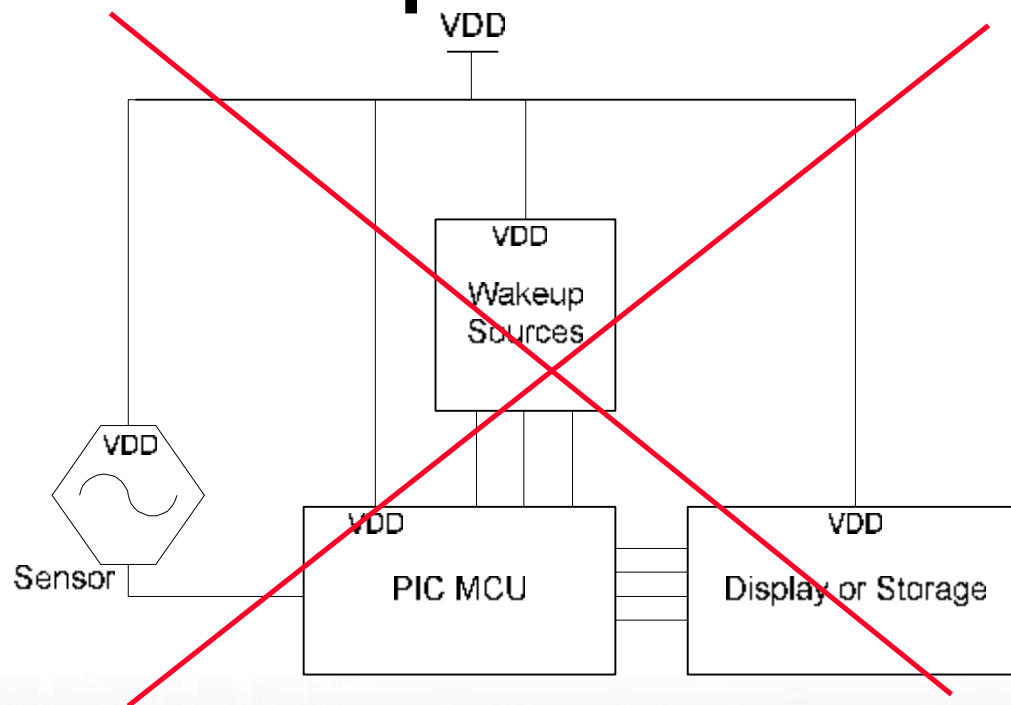
Входная частота	Ток
32 кГц	1 мкА
16 МГц	150 мкА



# Потребление микроконтроллера

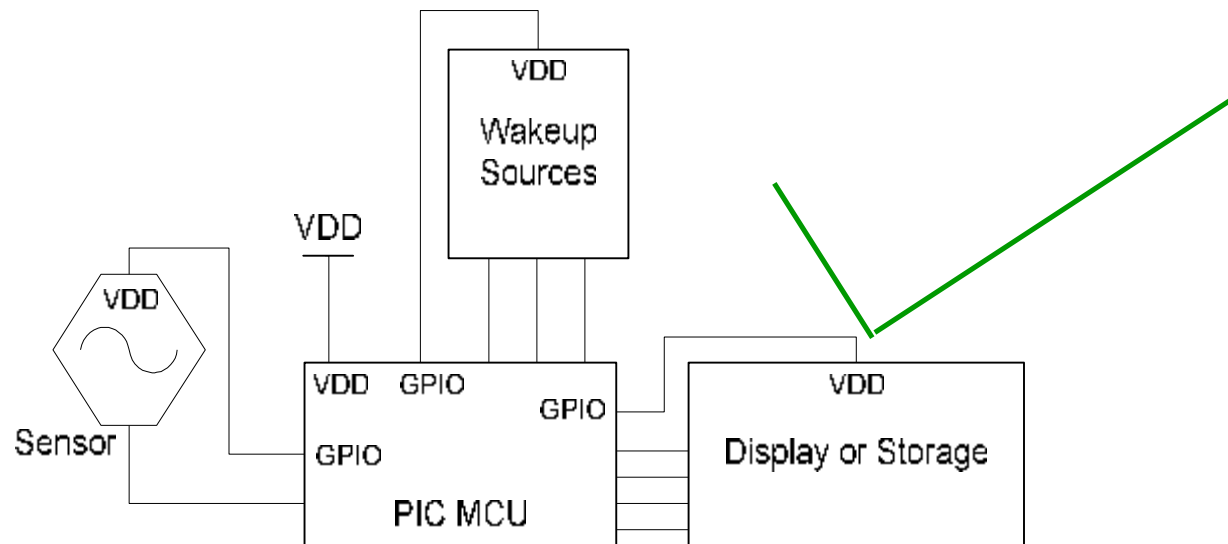
# Совет 1: Питание внешней схемы

- И Все устройства постоянно запитаны
- И Должны иметь собственные режимы сбережения энергии



# Совет 1: Питание внешней схемы

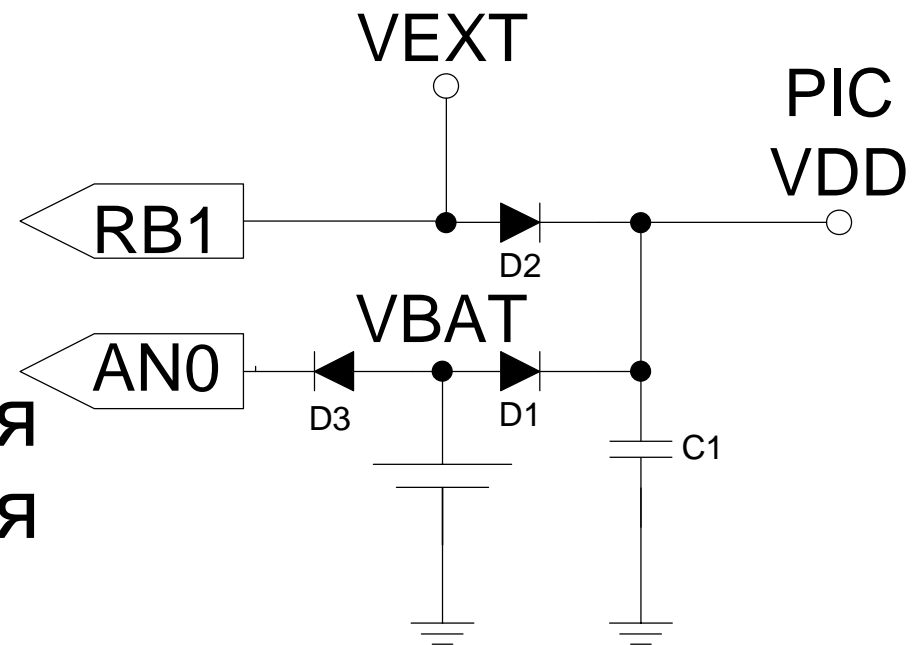
- ❑ PIC питает внешние устройства через порты
- ❑ Можно использовать внешние ключи



# Совет 2: подключение батарейки

## I Простая диодная схема

- I Измерение напряжения батарейки
- I Контроль наличия внешнего питания



## Совет 3: висящие ноги

Кол-во висящих ног	Плохой случай	Худший случай
1 нога	35 мкА	0.5 мА
2 ноги	65 мкА	1 мА
10 ног	305 мкА	5 мА

- И **Никогда не оставляйте «висящих ног»**
  - И Неиспользуемые порты – на вывод
  - И Подтяжка

# Совет 4: снижайте напряжение

- | **Уменьшение потребления**
- | **Используйте диоды для уменьшения напряжения**
- | **Микросхемы работают в диапазоне:**
  - | **3-вольтовые – до 2В**
  - | **5-вольтовые – до 3В**

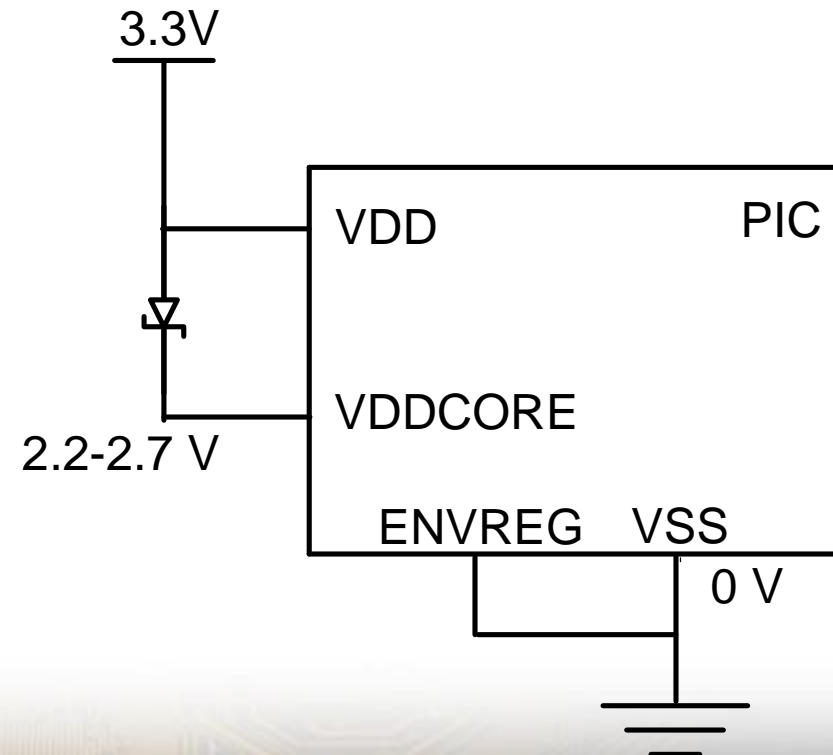


# Совет 5: отключите внутренний регулятор

- ▮ **VREG имеет большое статическое потребление**
- ▮ **Уменьшение питания ядра снижает динамическое потребление**

V <sub>DD</sub>	V <sub>DDCORE</sub>	I <sub>PD</sub>	VREG
3.3V	2.5V	3.5 $\mu$ A	On
3.3V	2.5V	0.3 $\mu$ A	Off
3.3V	2.0V	0.2 $\mu$ A	Off

V <sub>DD</sub>	V <sub>DDCORE</sub>	I <sub>DD</sub>	VREG
3.3V	2.5V	3.6 mA	On
3.3V	2.0V	2.2 mA	Off



# Совет 6: не нагружайте ОЗУ

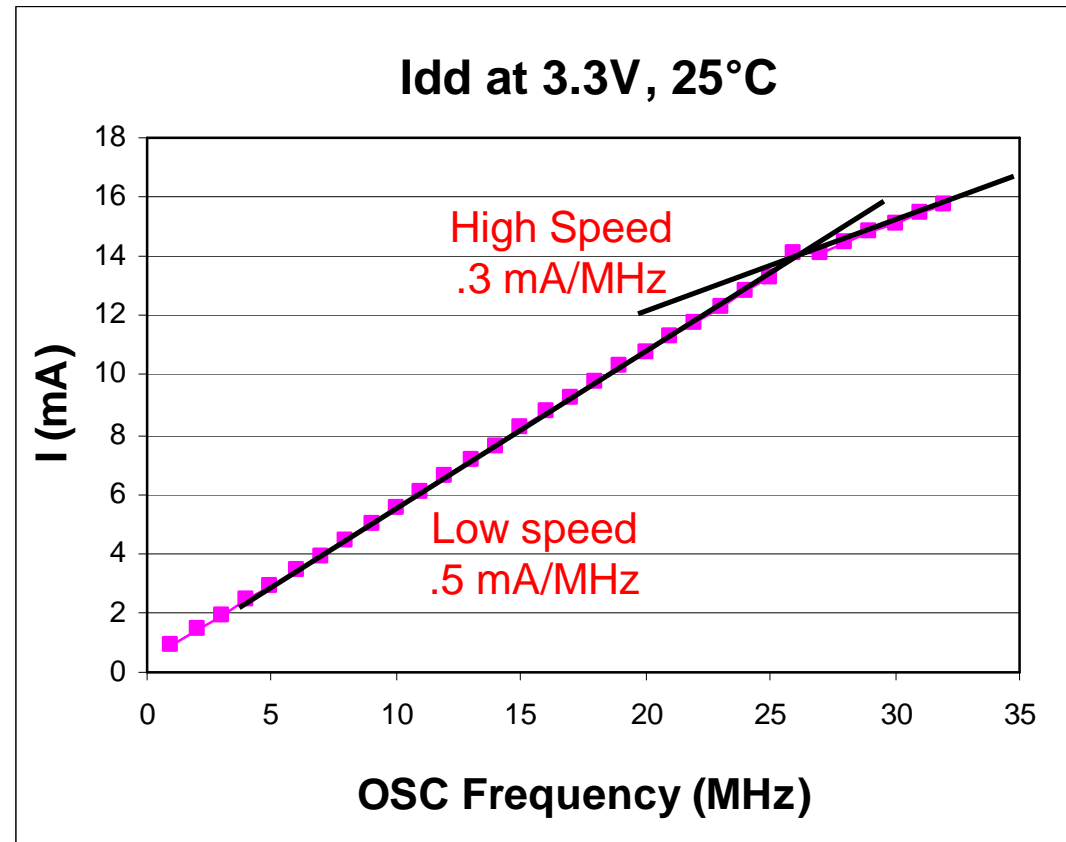
- ОЗУ и регистры потребляют больше, чем NOR
  - Вставляйте NOR в некритические участки

**Высокое:** 19.1 мА  
`while(!_T1IF) i++;`

**Низкое:** 16.4 мА  
`while(!_T1IF){  
 i++;  
 Nop();  
 Nop();  
 Nop();  
 Nop();  
 Nop();  
}`

# Совет 7: работайте быстрее

I 32 МГц +  
Sleep,  
а не  
ПОСТОЯННО  
8 МГц



## Еще советы

- ┆ **Используйте внутренние подтяжки для кнопок**
  - ┆ Можно отключать подтяжки после опроса
- ┆ **Используйте сверхяркие светодиоды**
  - ┆ На низком токе они светятся гораздо лучше

## Еще советы

- | **Используйте более высокие резисторы в подтяжках**
- | **Используйте конденсаторы с малыми утечками**
  - | Танталовые имеют большую утечку, чем керамические
- | **Не переусердствуйте с блокировочными конденсаторами**
- | **Короче проводники – меньше сопротивление**



**Спасибо!**