



MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

超低功耗设计 —— XLP工具、 设计技巧与实现

C11L07 XLP

作者: *Stu Chandler, Pr. TTE*
Brant Ivey, AE
Eric Yang, AE

基于nanoWatt XLP的低功耗设计 目标

完成本课程后，您将能够：

- 定义低功耗、它的各种模式，以及如何管理它们。
- 区分nanowatt、 nanoWatt XLP技术、深度休眠和其他低功耗特性。
- 分析并设计功耗最低的系统。
- 为应用确定并选择支持nanowatt技术的最佳PIC[®] MCU。

采用nanoWatt XLP的低功耗设计 课程安排

- 定义低功耗
- 功耗预算与规划
 - 演示1: 功耗曲线分析
- nanoWatt XLP技术
- 系统注意事项
 - 演示2: 规划一个系统
- 深度休眠
- 总结和参考资料



MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

定义低功耗

定义低功耗 有用的关系式

- 瓦特定律:

$$\text{功耗 (瓦特)} = V \text{ (伏特)} \times I \text{ (安培)}$$

- 焦耳定律:

$$\text{能量 (焦耳)} = V \text{ (伏特)} \times I \text{ (安培)} \times t \text{ (秒)}$$

- 电量:

$$q \text{ (库伦)} = I \text{ (安培)} \times t \text{ (秒)}$$

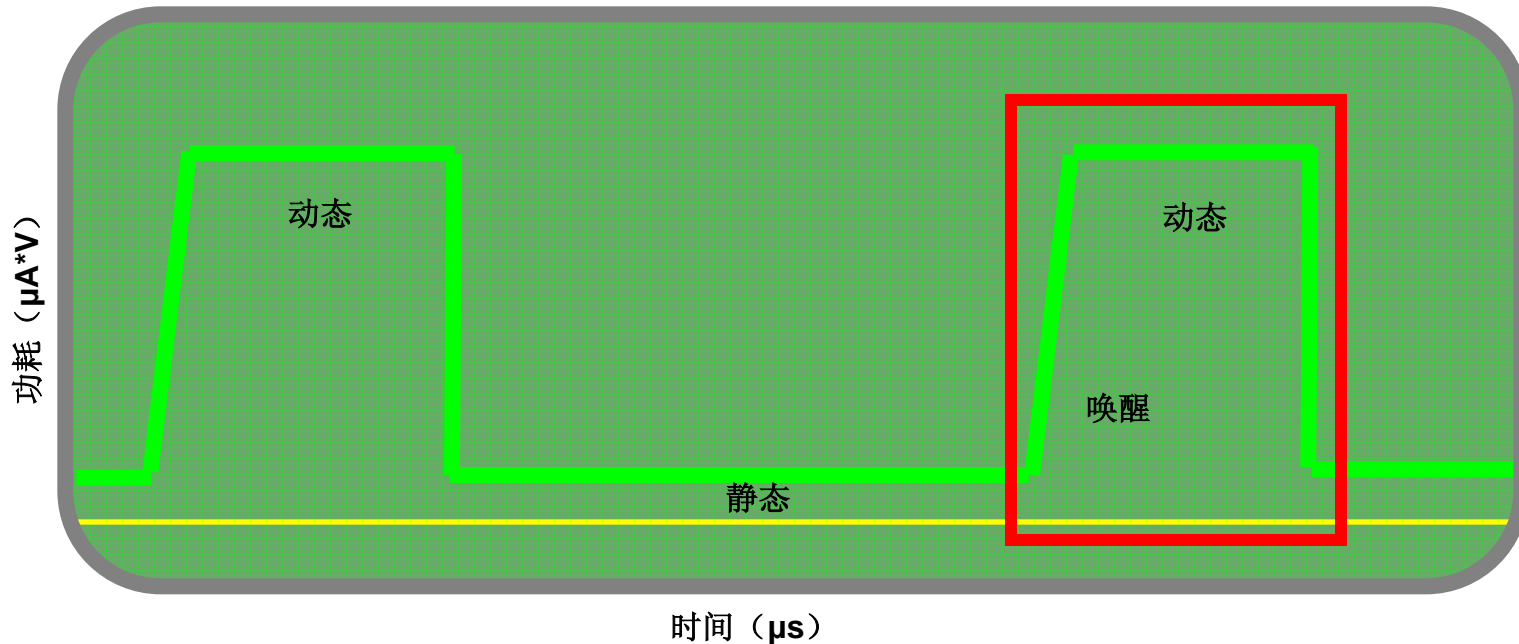
定义

电量 (安培*秒) 指给定时间段内所使用的电流。这对于计算应用中每个阶段的功耗或电池的总容量十分有用。

定义低功耗 功耗模式

- 在微处理器应用中，存在几种功耗模式：
 - 动态（也称为活动）
 - 系统时钟开启并工作
 - 寄生、时钟、外设、内核和I/O功耗
 - 静态
 - 系统时钟关闭
 - 寄生和I/O功耗
 - 平均
 - 应用的一个完整周期中功耗的积分与时间之比

定义低功耗 动态功耗

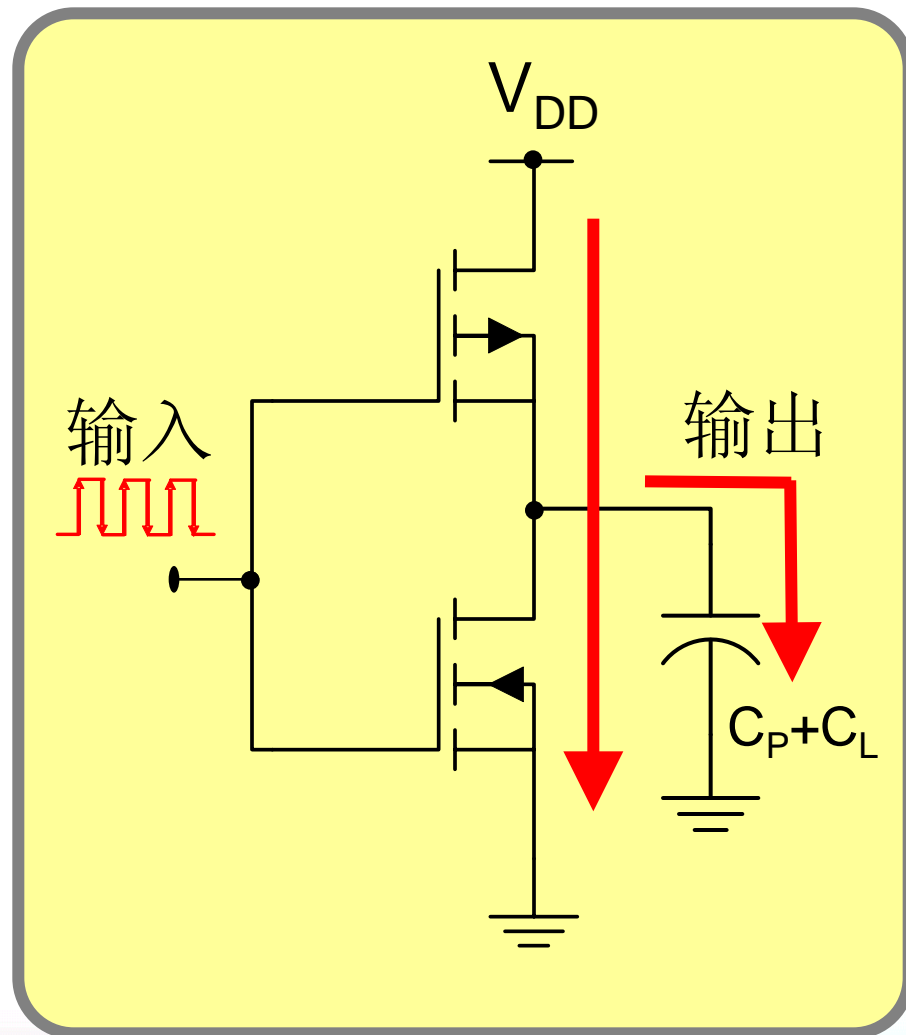


定义

动态（活动）功耗指在应用处于活动状态并执行任务时产生的功耗。该功耗主要由CMOS开关电流产生，该开关电流是执行频率和电压的函数。其他动态功耗由外设或I/O引脚产生。

定义低功耗 动态功耗的产生来源

- **CMOS晶体管开关损耗**
 - 在转换期间两个开关会短暂导通
 - 开关频率更快 = 导通时间更长 = 泄漏电流更大
- **栅极电容**
 - 负载会增加电容 (C_L)
 - 总是存在~5-10 pF的寄生电容 (C_p)
- **供电电压**
 - 电压越低，功耗越低



定义低功耗 动态功耗的产生来源

电容 (C) 受以下因素影响

- 芯片设计
- 外设选择

电压 (V) 受以下因素影响

- 元件选择

频率 (f) 受以下因素影响

- 系统时钟
- 代码效率
- 功耗曲线
- 应用需求

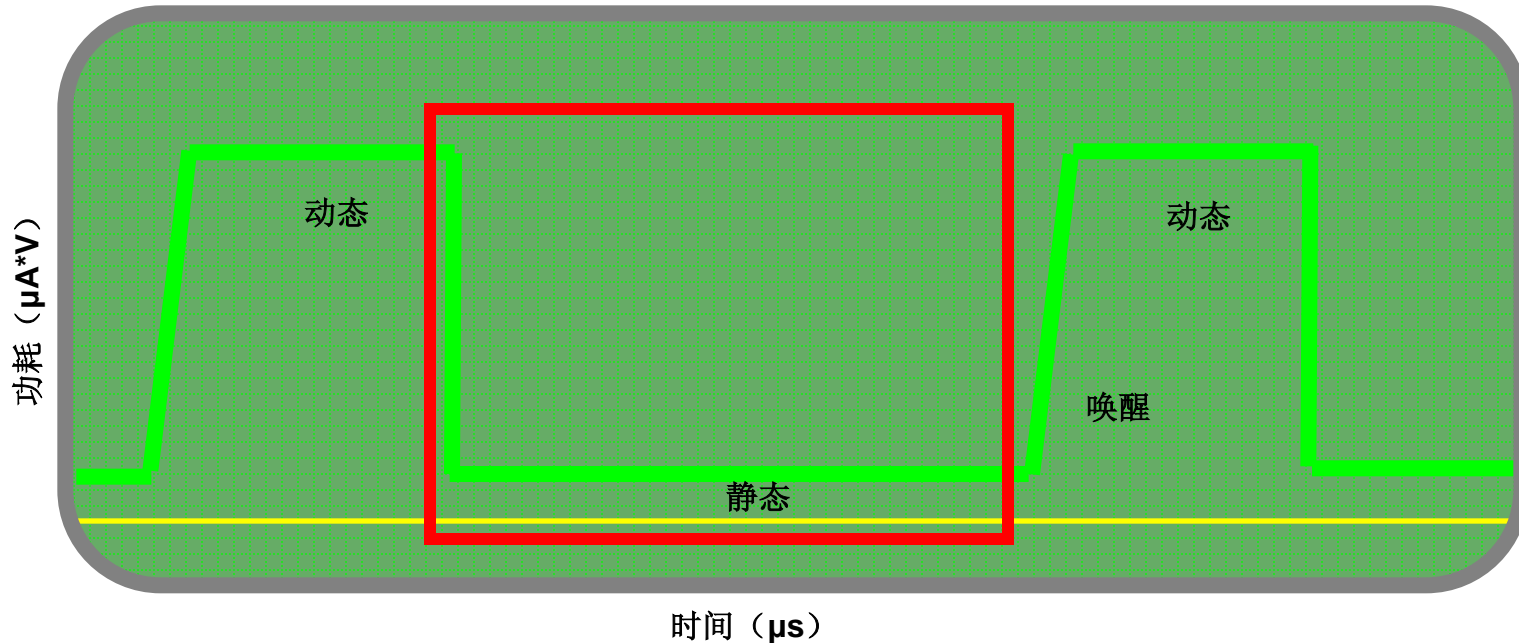
$$I = C \frac{dV}{dt}$$

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

对于固定的V:

$$P = CV^2 f$$

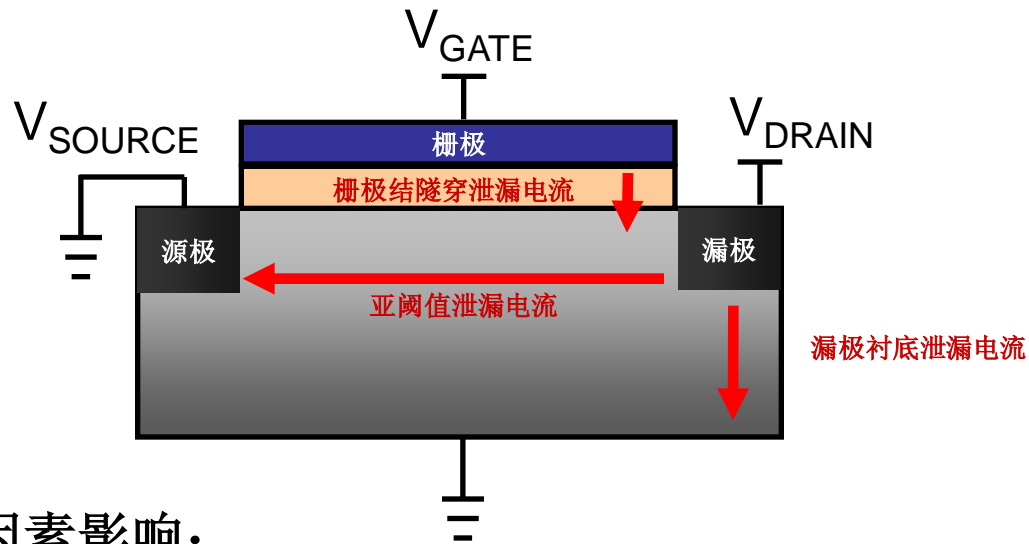
定义低功耗 静态功耗



定义

静态功耗指在应用已开启但不处于活动状态（即系统时钟关闭）时产生的功耗。该功耗来自于CMOS制造工艺所固有的晶体管泄漏电流、休眠期间运行的用于计时的实时时钟、系统电压监视器、看门狗定时器电路、I/O泄漏电流和类似来源。

定义低功耗 静态功耗的产生来源



泄漏电流受以下因素影响：

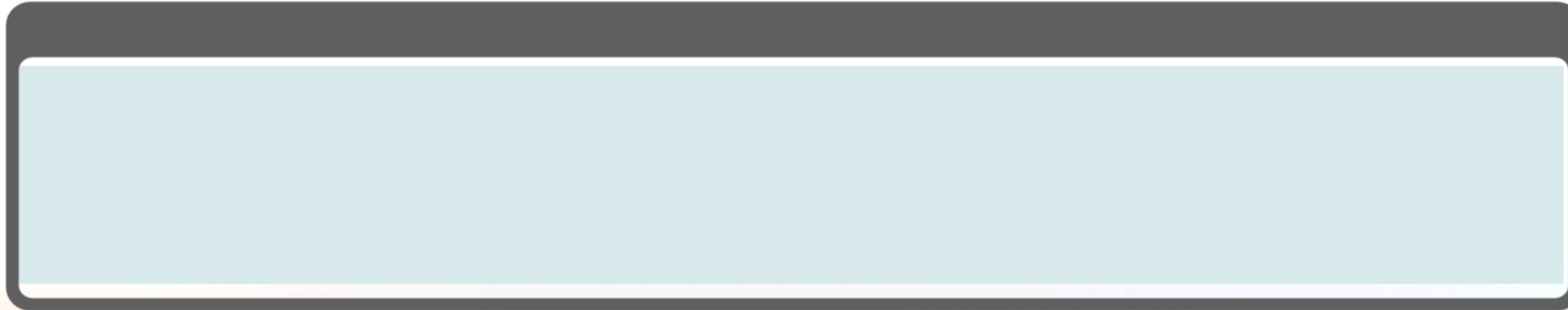
- 制造工艺尺寸——晶体管越小，意味着泄漏电流越高
- 电压——电压越低，意味着泄漏电流越低
- 温度——温度越高，泄漏电流上升越快



晶体管尺寸越小，静态功耗就越大，但是降低动态功耗可抵消这一点，因为它们可以在较低的电压下工作。

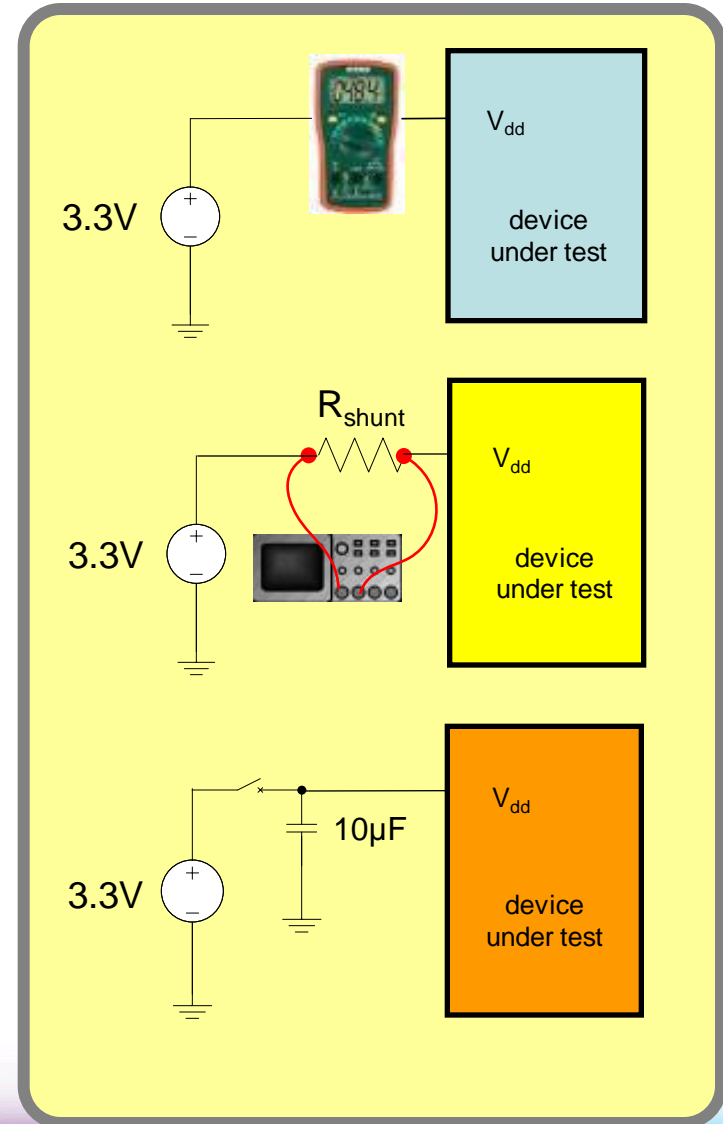
低功耗设计就是在设计及应用层面进行的一系列权衡。

定义低功耗 平均功耗



定义低功耗 测量功耗

- 万用表
 - 测量RMS电流
 - 精度低至20 nA-100 nA（典型值）
- 使用示波器和 V_{DD} 上的分压电阻
 - 测量和显示功耗曲线
 - 必须谨慎选择 R_{shunt} 的阻值
 - **10 Ω -100 Ω**
 - R_{shunt} 太大可能导致BOR
- V_{DD} 电容放电
 - 测量 $I=C(\Delta V/\Delta t)$ 放电速率
 - 对于极低电流的测量很有用





MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

功耗预算与规划



功耗预算与规划 工作模式总结



- 运行 [动态功耗]
 - 内核与外设都运行于系统时钟速度
 - 典型电流值为**50-360 $\mu\text{A}/\text{MHz}$** (3V, 25° C)
 - 使用LP INTRC (31 kHz) 时, 电流低至**8 μA** (1.8V, 25° C, PIC24F04KA201)



- 打盹 (某些器件) [动态功耗]
 - 内核速度明显低于外设, 外设处于全速状态
 - 电流为运行模式的**35%-75%** (典型值)



- 空闲 (某些器件) [动态功耗]
 - 内核关闭, 外设打开
 - 电流为运行模式的**25%** (典型值)



- 休眠 [静态功耗]
 - 典型电流值为**100 nA** (3V, 25° C)
 - 85° C规范下的电流低至**1.35 μA** (1.8V, 85° C, PIC24F04KA201)



- 深度休眠 (某些器件) [静态功耗]
 - SRAM、VREG、VBOR和RTCC关闭
 - 典型电流值为**35 nA** (3V, 25° C)

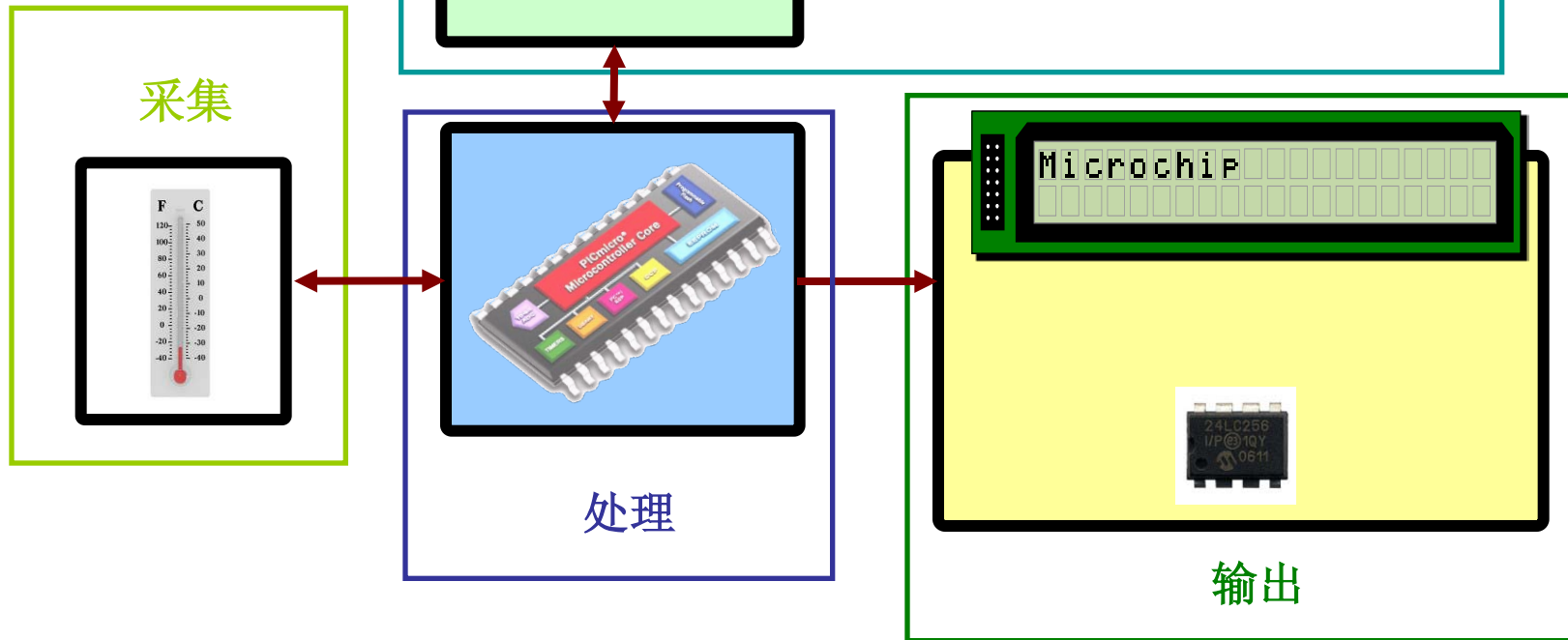
电池使用寿命
不断延长

功耗预算与规划 分析应用

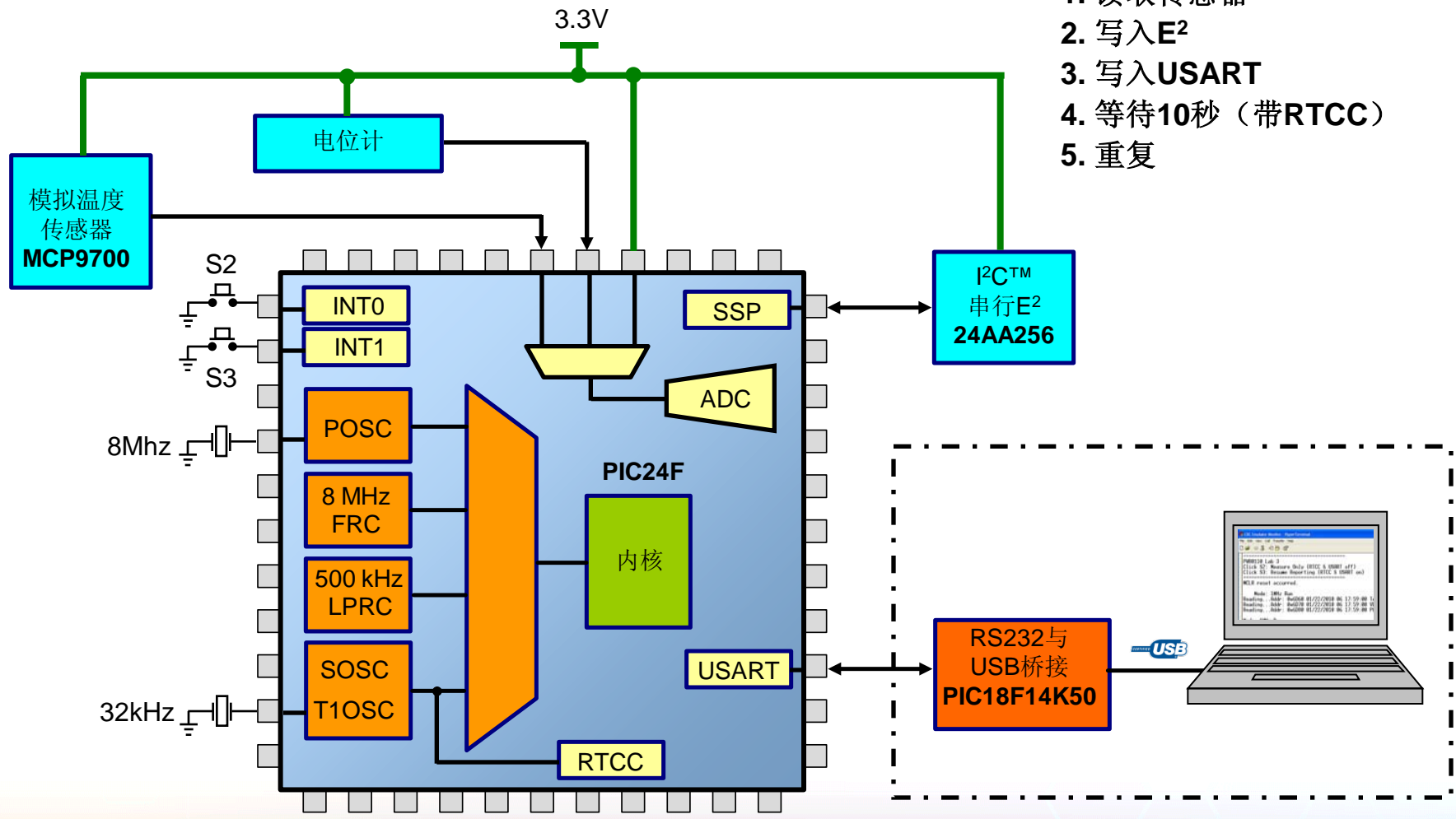
- 将应用划分为多个阶段
 - 计算在这些阶段中使用的电流
 - 确定在每个阶段中必须花费多少时间
 - 计算每个阶段的功耗
- 计算整个应用的平均功耗
 - 是否可以通过减少处于活动模式的时间来降低功耗？
 - 是否可以改变各阶段的电压、时钟源或低功耗模式？
- 确定最坏情况并重新分析
 - 是否可以使用不同的模式组合？
- 画出功耗曲线
- 建立、测量和确认功耗曲线

功耗预算与规划 分析应用

将应用划分为
多个阶段



功耗预算与规划 典型应用框图

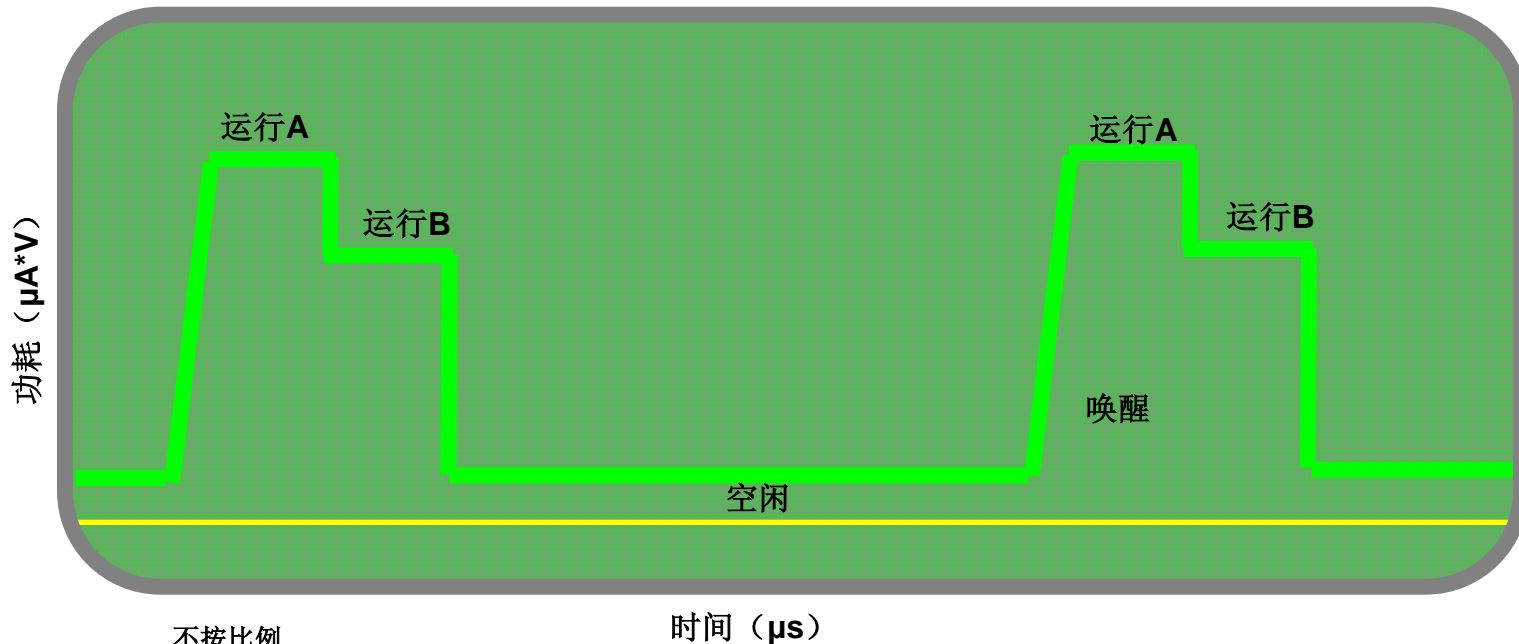


1. 读取传感器
2. 写入E²
3. 写入USART
4. 等待10秒 (带RTCC)
5. 重复

功耗预算与规划

功耗曲线

最小化曲线下方的区域



- 运行A——采样温度传感器 (800 μs)
- 运行B——写入EEPROM (5 ms)
- 循环/休眠/空闲/深度休眠 (10s)
- 运行时钟可动态改变
- 工作电压也可动态改变

功耗预算与规划 nanoWatt XLP 电池寿命估算器



选择器件和参数

新版本将提供新器件的数据，
或者您可自行建立数据文件。
例如：“PIC18LFxxJ11.csv”

选择电池

可通过修改“CustomBattery.csv”
添加新的电池数据。

输入功耗曲线模式

检查并保存

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 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)

Buttons: Add, Modify, Remove

Estimated Battery Life: 23 years 245 days 13 hours

Estimated Average Current: 0.835 uA

Estimated Peak Current: 0.835 uA

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



MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

演示1

采用nanoWatt XLP 电池寿命估算器 分析功耗曲线



目的

以框图的形式介绍功耗分析的概念。



目标

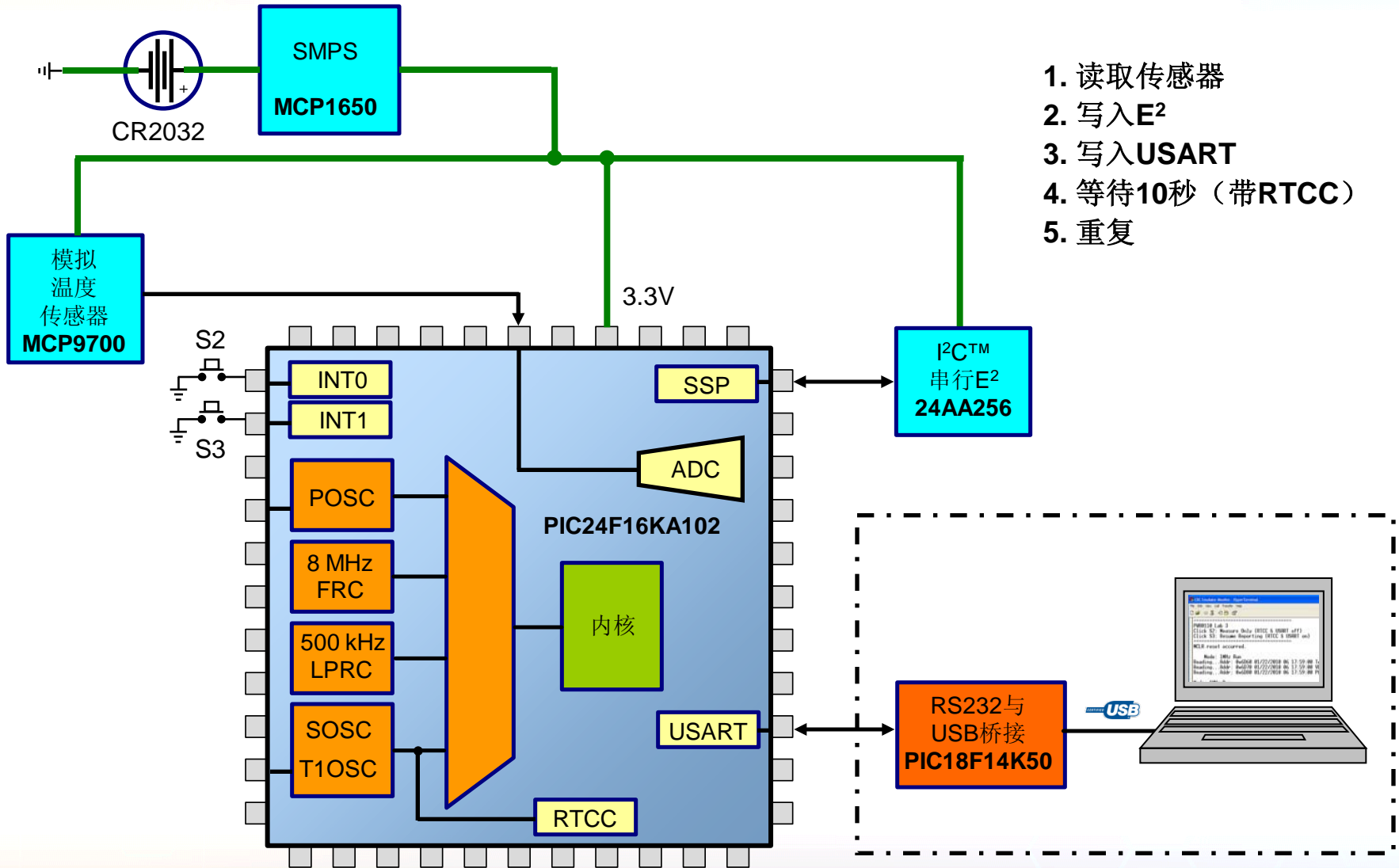
练习创建总功耗预算。通过实验分析各种电池选择、功耗模式控制和外设选择所产生的结果。



步骤

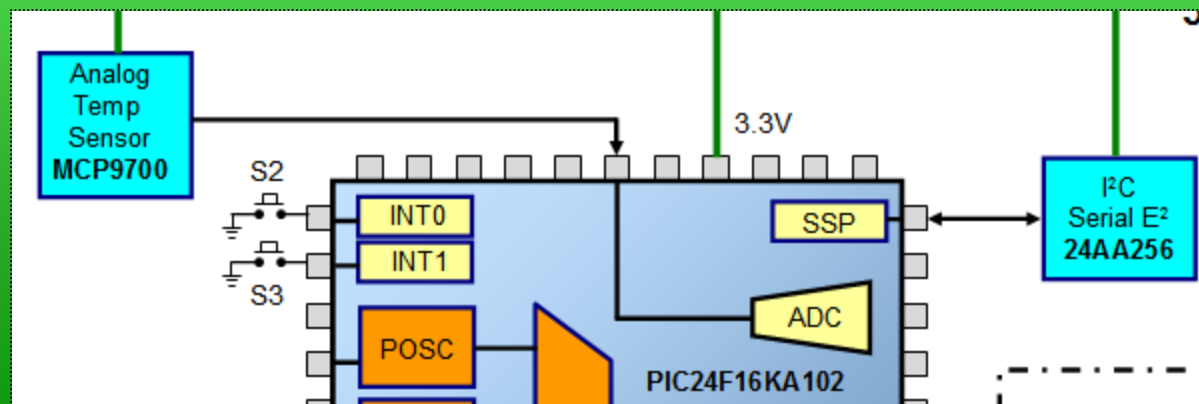
- 1:** 创建功耗曲线。
- 2:** 将功耗曲线输入nanoWatt XLP电池寿命估算器。计算应用产生的功耗。
- 3:** 通过对不同模式组合的实验，来获得最低的功耗。

演示#1 应用分析



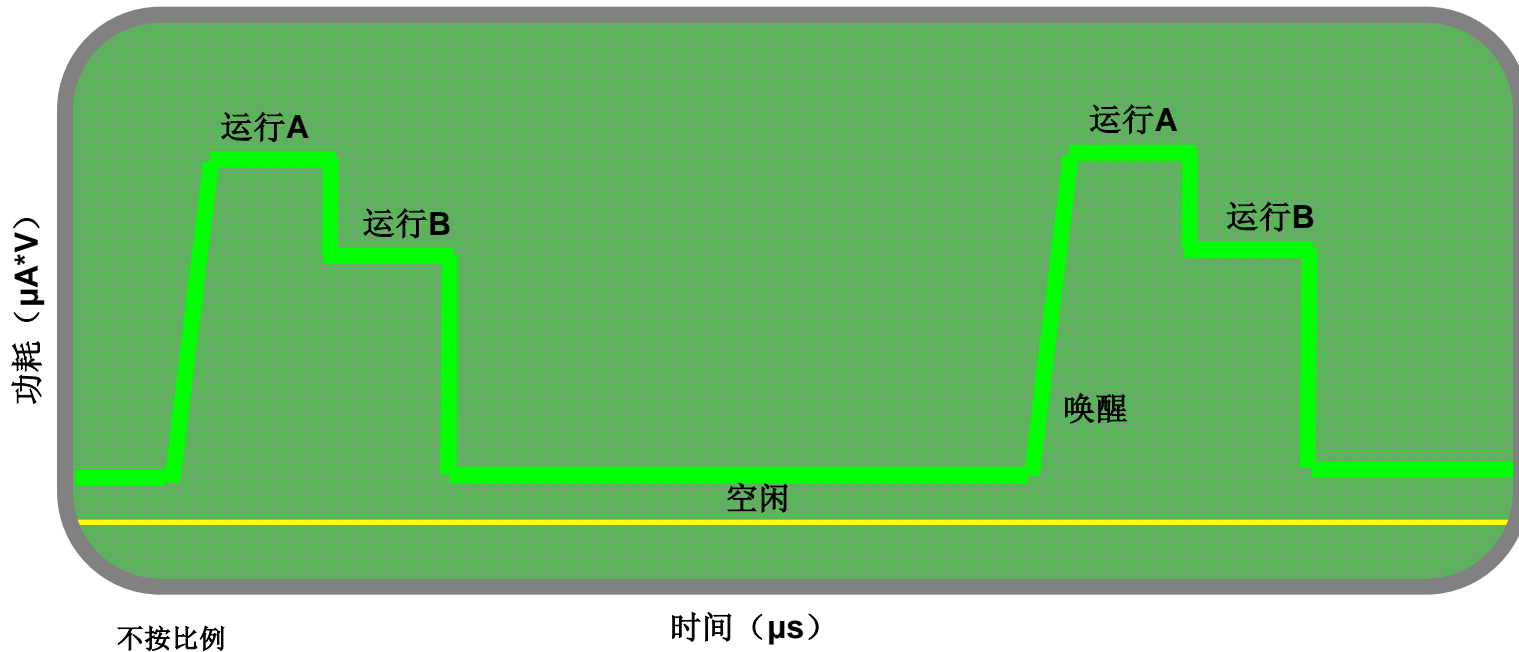
演示#1 规范

供电电压	3.3V @ 25°C
PIC24F16KA102主时钟 (FRC)	8 MHz @ 3.3V
PIC24F16KA102辅助时钟 (LPRC)	31 kHz @ 3.3V
PIC24F16KA102 RTCC 闹钟周期	10s
PIC24F16KA102 电流消耗	来自电池寿命估算器
MCP9700 温度传感器读周期时间和电流	800µs @ 6 µA
24AA256 EEPROM 写周期时间和电流	5ms @ 3mA



演示#1

功耗曲线——简单示例



- 运行A——读MCP9700温度传感器 ($800 \mu\text{s} @ 6 \mu\text{A}$)
- 运行B——写入EEPROM ($5 \text{ ms} @ 3 \text{ mA}$)
- 循环/休眠/空闲/深度休眠 (10s)

演示#1 nanoWatt XLP 电池寿命估算器

选择器件

选择电池

选择

Microchip XLP Battery Life Estimator

Step 1: Select Device
PIC24F16KA102

Step 2: Select Parameters
Voltage: 3.3V

Step 3: Select Battery

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	*	*
Alkaline (C)	8250 mAh	0.3 %/mo(11.875 uA)	1.5 V	*	*

Step 4: Add/Modify Operational Mode

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

Enter power profile modes

Add Modify Remove

Estimated Battery Life: 3 days 1 hour

Estimated Average Current: 3.057 mA (> cont. battery current)

Estimated Total Current: 3.057 mA

Load Settings Save Settings Create Report

Quit

检查

保存

Add/Modify mode

Mode Settings

Duration: 0.8 ms

Additional System Current (optional): 6 uA

Name (optional): RUN A - READ MCP9700

PIC Microcontroller Settings

PIC Operating Mode: RUN

Clock Frequency: 8 MHz (FRC)

Peripherals:

- BOR <less than 4.5 uA>
- HLVD <less than 6.2 uA>
- LPBOR <95 nA>
- RTCC (w/ SOSOC) <0.8 uA>**
- Timer1 (w/ SOSOC) <0.73 uA>
- WDT <0.87 uA>

Power Consumption

Microcontroller Charge: 0.678 nAh

Microcontroller Current: 3.051 mA

Total Charge (uC + System): 0.679 nAh

Total Current (uC + System): 3.057 mA

OK Cancel



演示#1

众多可行解决方案之一

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

这是最佳的可行解决方案吗？



能否做得更好？



MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

nanoWatt XLP技术

nanoWatt XLP

有用的功耗管理特性

- **灵活性**
 - 多种时钟选项
 - 可动态配置速度和时钟源
 - 配备了用于低功耗模式的外设
 - 用于低功耗模式的外设与唤醒源配置选项
- **低功耗振荡器**
 - 支持通过WDT、Timer1或RTCC进行计时，而不会超出功耗预算
- **低数字输入泄漏电流**
 - 典型值 < 50 nA，更有些低至5 nA
 - 最大程度降低静态功耗
- **唤醒速度快**
 - 最大程度降低转换区域中的时间损失

nanoWatt XLP

nanoWatt技术 (2003)

nanoWatt
Technology

- nanoWatt技术
 - 于2003年引入
 - 从2003年起作为所有新的Microchip MCU的标准
 - 受芯片设计、制造工艺、外设与时钟混合，以及测试能力的影响
- 定义为：
 - 待机（休眠模式）功耗 $< 1 \mu\text{W}$
 - @3V $I_{\text{pd}} < 333 \text{ nA}$ (PIC24H)
 - @2V $I_{\text{pd}} < 500 \text{ nA}$ (PIC16、PIC18和PIC24F)

定义

nanoWatt技术

Microchip用于设计微处理器的专有设计技术套件，使微处理器在处于待机模式 (I_{pd}) 时的功耗低于 $1 \mu\text{W}$ 。

nanoWatt XLP

nanoWatt技术 (2003)



nanoWatt
Technology

- 空闲模式
 - CPU关闭，外设开启
- 提供了带有**PLL**和可编程后分频器的片上高速内部**RC**振荡器 (**INTRC**)。这支持：
 - 快速启动 (1 μ s-5 μ s)
 - 双速启动 (由**INTRC**启动，然后根据需要切换到晶振上)
 - 动态可选时钟速度
- 延长的**WDT**超时时间间隔
 - 最大超时从18 ms延长至131s
- 针对**Timer1 (TMR1)**和**32 kHz**辅助振荡器 (**SOSC**)进行低功耗的重新设计
- 可由软件控制的低功耗**BOR**
 - 重新设计了标准**BOR**，以降低功耗
 - 不需要时可用软件关闭，如处于休眠期间

nanoWatt XLP

nanoWatt XLP技术 (2009)

- nanoWatt XLP (eXtreme Low Power, 超低功耗)
 - 作为新一代nanowatt技术于2009年引入
 - 完全采用低泄漏电流栅极设计
 - 对芯片设计和制造工艺进行了细微调整, 以实现低功耗
 - 引入了专用的低功耗外设

定义为:	要求	目前为止实现的最佳规范
● 休眠:	100 nA或更低	13 nA @1.8V
● 实时时钟/日历 (RTCC):	800 nA或更低	500 nA @1.8V
● 看门狗定时器 (WDT):	800 nA或更低	200 nA @2.0V

定义

nanoWatt XLP (eXtreme Low Power, 超低功耗) 技术

Microchip用于设计微处理器的专有技术, 其功耗在待机模式下低于100 nA、运行RTCC时低于800 nA, 以及运行WDT时低于800 nA。

nanoWatt XLP

nanoWatt XLP技术 (2009)

引入专用的功耗管理特性:

- 深度休眠 (DS)
- 深度休眠欠压复位 (DSBOR)
- 深度休眠看门狗定时器 (DSWDT)
- 低输入泄漏电流
- 为指定电池应用提供便利的60° C规范



- **延长电池寿命的示例 (25° C)**

- 电池类型: 纽扣电池 (CR2032)
- 1 ms运行 (1 MHz时), 然后进入使能RTCC的深度休眠

- 采用**nanoWatt XLP**的**PIC24FXXKA**——**最高可达20年**



nanoWatt XLP

包含双欠压复位的器件

- 欠压复位（**BOR**）
 - 标准nanoWatt BOR
 - 在某些器件中称之为LPBOR
 - 可配置为4种电压等级
 - 典型功耗为 $\sim 5 \mu A$



- 深度休眠**BOR**（**DSBOR**）




- 在具有深度休眠模式的器件上，除了提供BOR之外，还提供DSBOR
- 固定跳变点 $\sim 1.8V$
- 某些器件电流低至 $\underline{5 nA}$

nanoWatt XLP

包含双看门狗定时器的器件

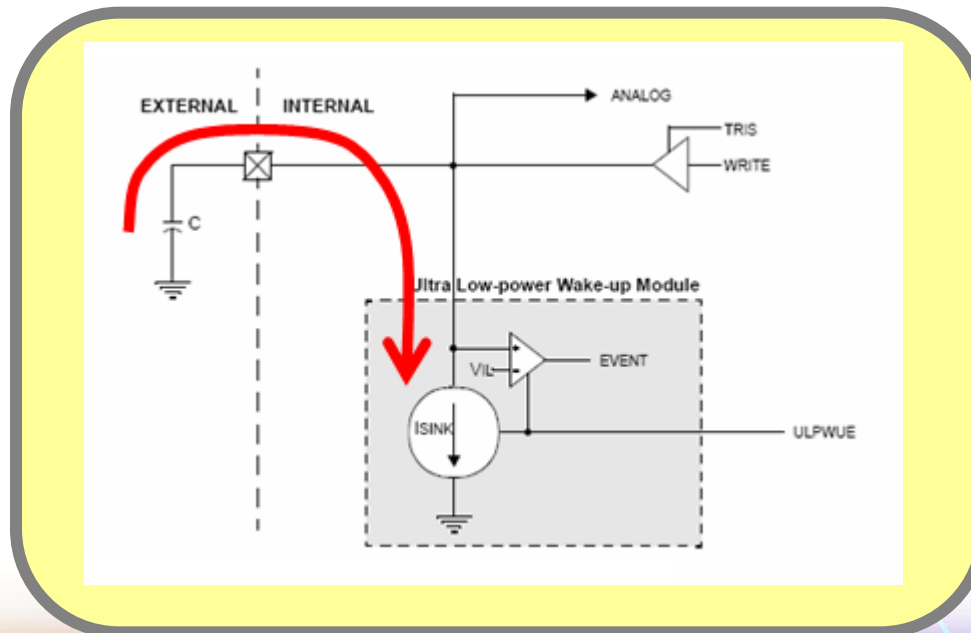
- 看门狗定时器 (WDT)
 - 标准nanoWatt WDT
 - $I_{\Delta WDT}$ 低至 **500 nA**
 - 超时周期范围: **1 ms–131s**



- 深度休眠WDT (DSWDT) 
 - 在具有深度休眠模式的器件上, 除了提供WDT之外, 还提供**DSWDT**
 - 对于需要很长时间处于不活动状态的应用很有用
 - **DSWDT**在深度休眠模式下保持运行
 - $I_{\Delta WDT}$ 低至 **370 nA**
 - 超时周期范围: **2.1 ms-25.1天**

nanoWatt XLP 超低功耗唤醒 (ULPWU) 模块

- 大多数器件上的标准模块
- 内部电流源带外部电容，支持极长的低功耗唤醒周期
- 工作电流为75 nA-160 nA
- 超时周期与DSWDT相当，但电流最高可降低80%
- 与标准I/O引脚不同，不会悬空和过度消耗电流
- 唤醒时间随温度与湿度而异



nanoWatt XLP

外设模块控制

- 外设使能位
 - 位于各外设的控制SFR内
 - 禁止/使能外设功能
 - 控制寄存器仍可用于读写
 - 示例：AD1CON1<ADON>

- 某些器件系列具有额外的外设模块禁止（PMD）控制位
 - 位于PMD寄存器内
 - 禁止所有用于外设的时钟源
 - 相关控制和状态寄存器不产生功耗
 - 示例：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



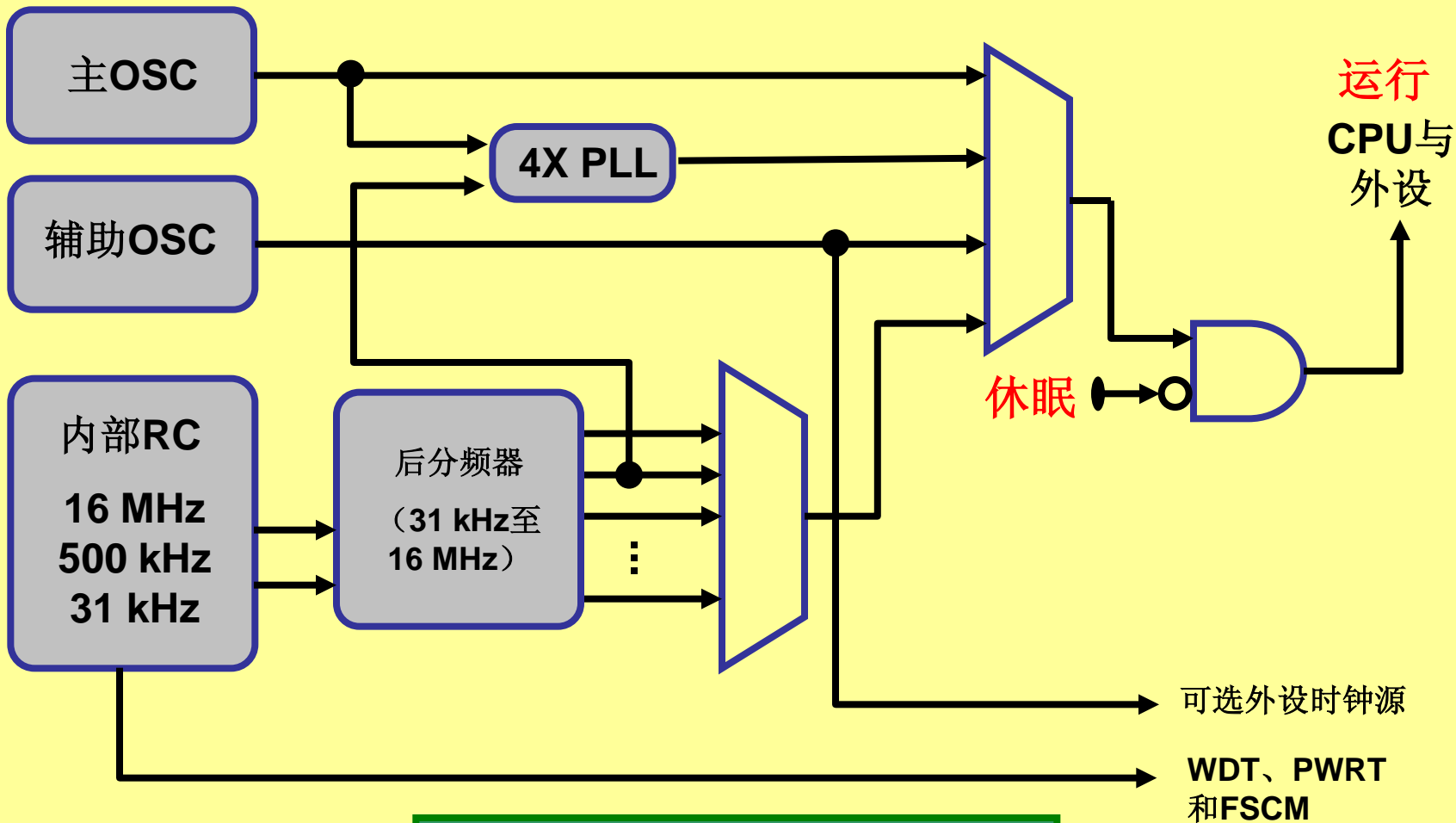
nanoWatt XLP

工作模式——进一步了解

	PIC16	PIC18	PIC24
运行 所有系统运行	✓	✓	✓
打盹 CPU速度慢于外设			✓
空闲 CPU关闭, Peripherals开启		✓	✓
休眠 系统时钟关闭	✓	✓	✓
深度休眠 RAM关闭, Vreg关闭		✓	✓



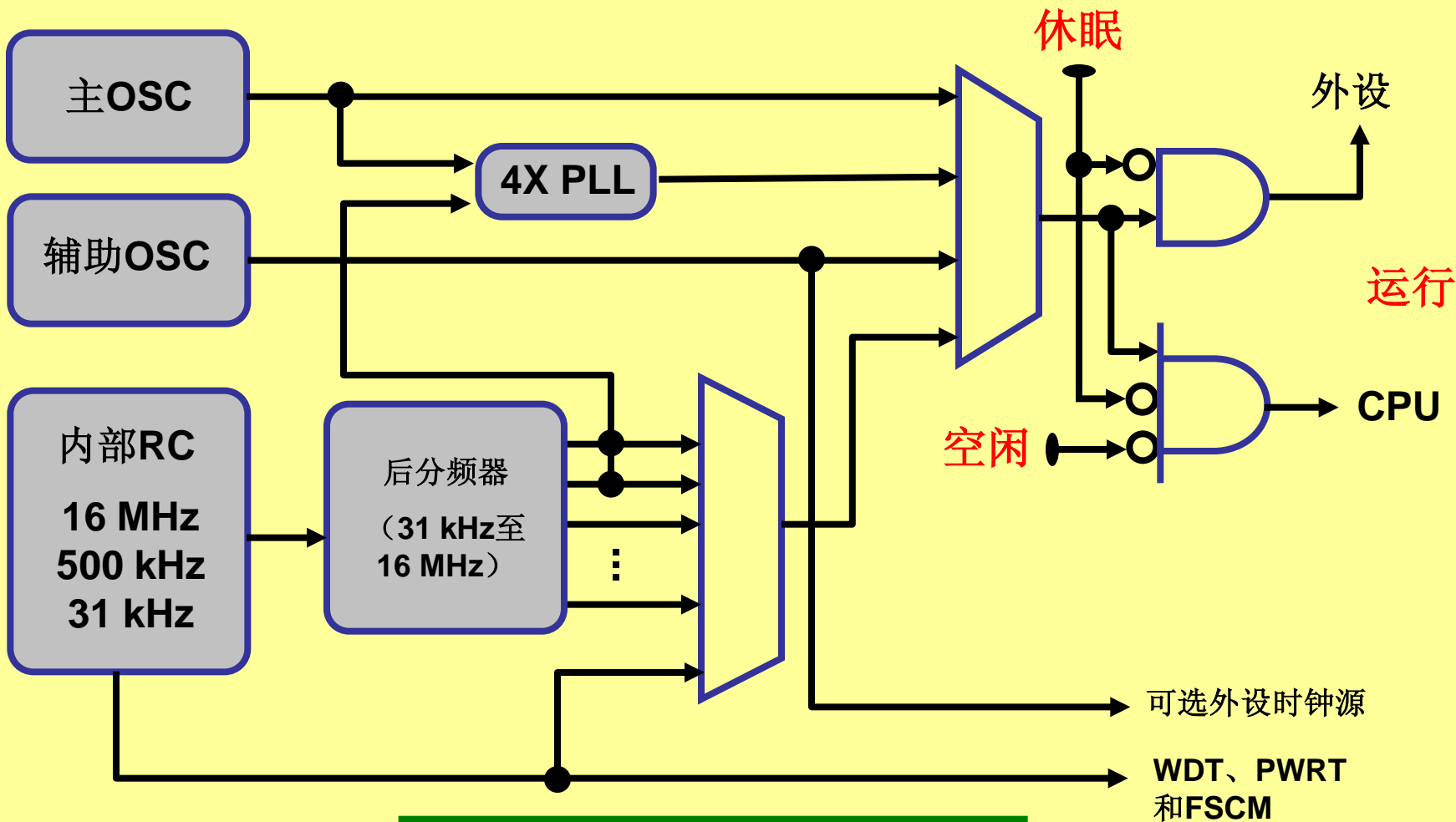
nanoWatt XLP PIC16 XLP时钟选项



PIC16 XLP时钟选项



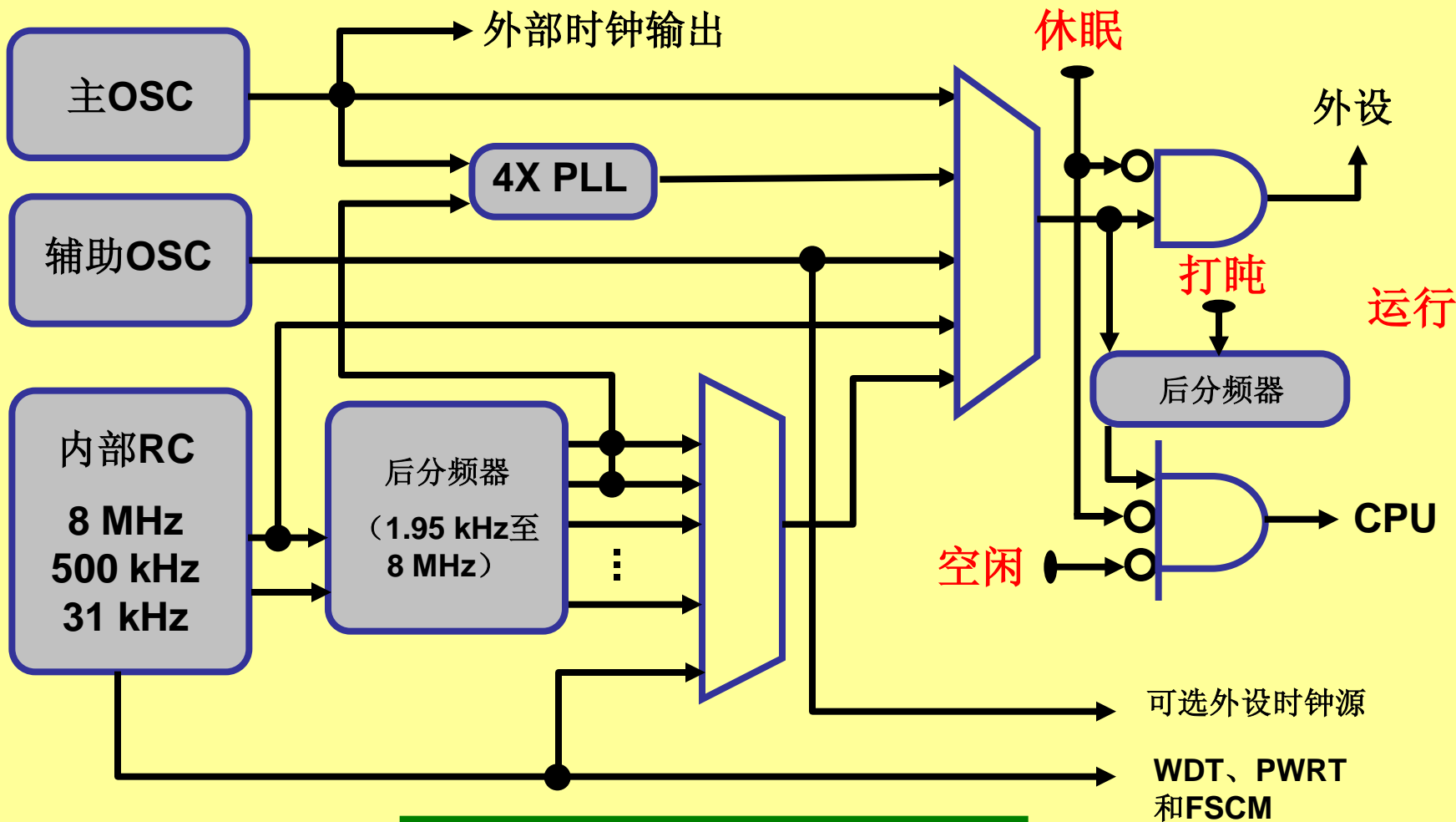
nanoWatt XLP PIC18 XLP时钟选项



PIC18 XLP时钟选项



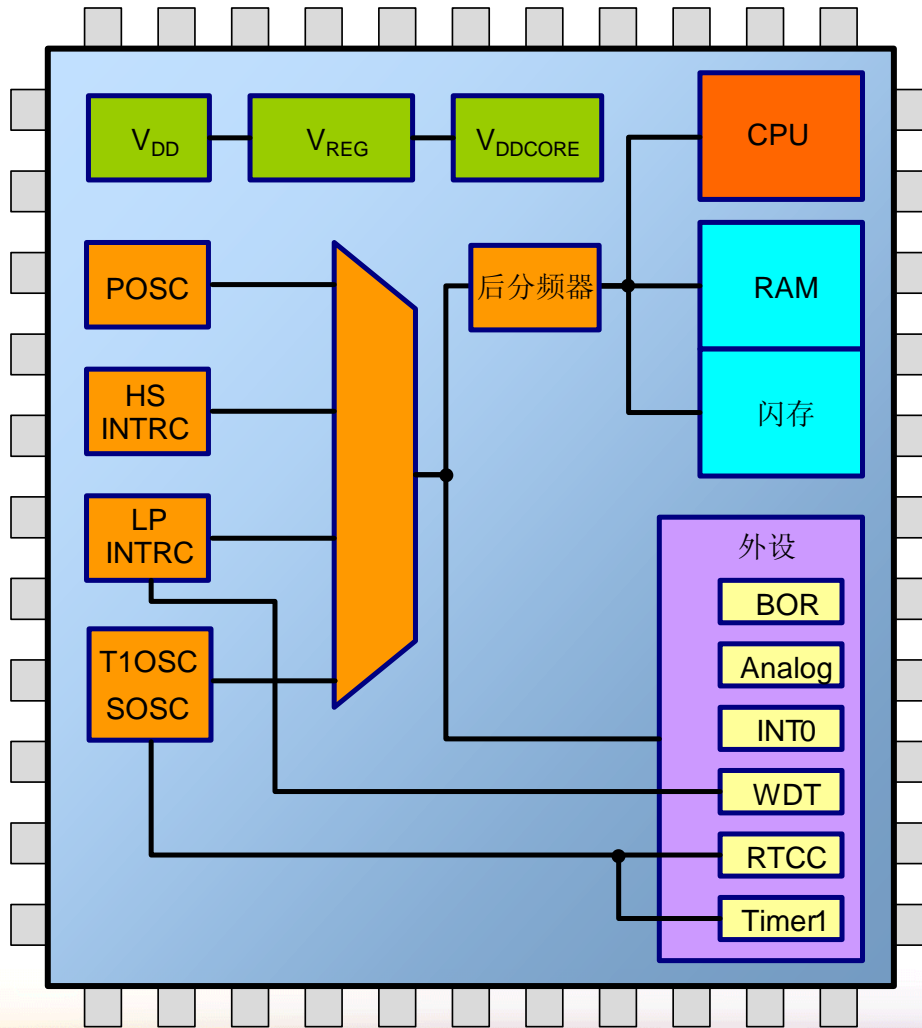
nanoWatt XLP PIC24 XLP时钟选项



PIC24 XLP时钟选项

nanoWatt XLP

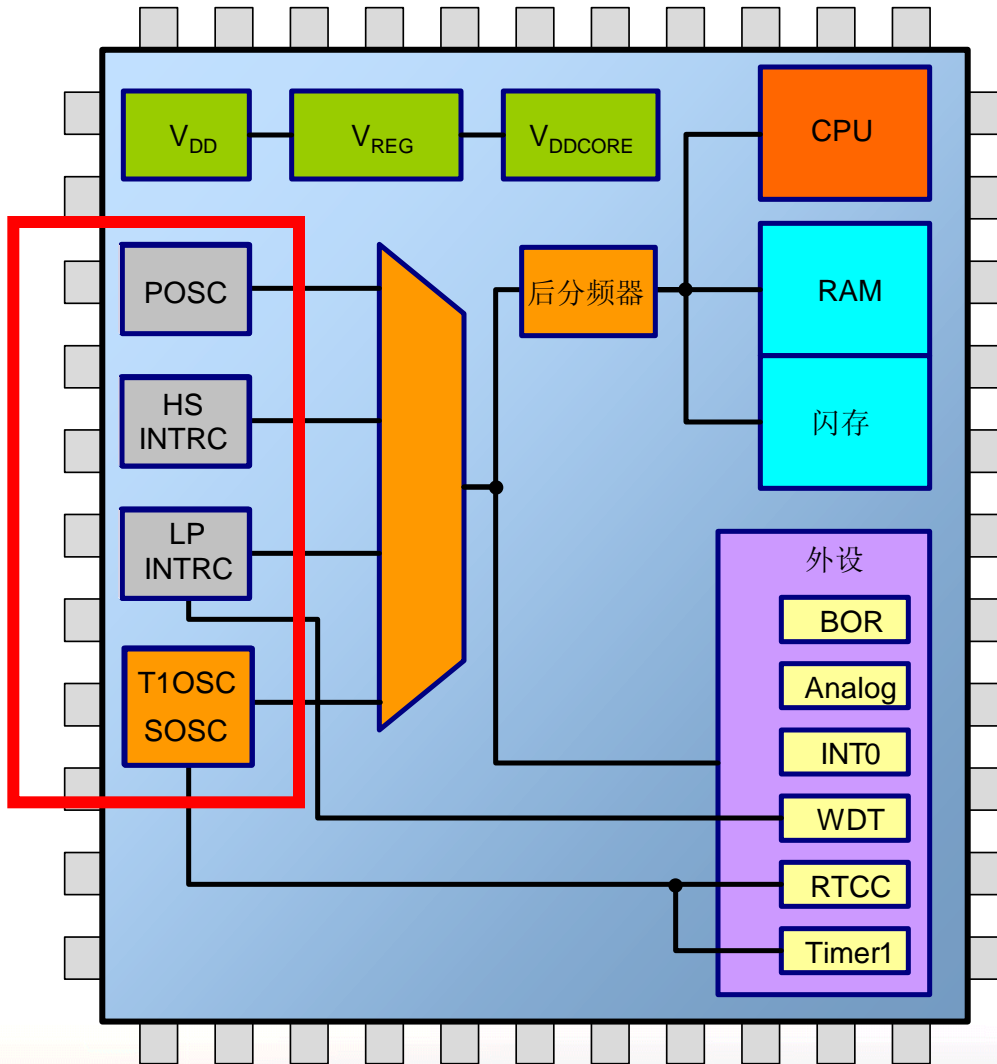
运行模式



- 所有资源都处于活动状态
- 可动态配置系统时钟

nanoWatt XLP

时钟切换



- 多个时钟源
- 可动态切换
- 会影响芯片的所有部分

nanoWatt XLP

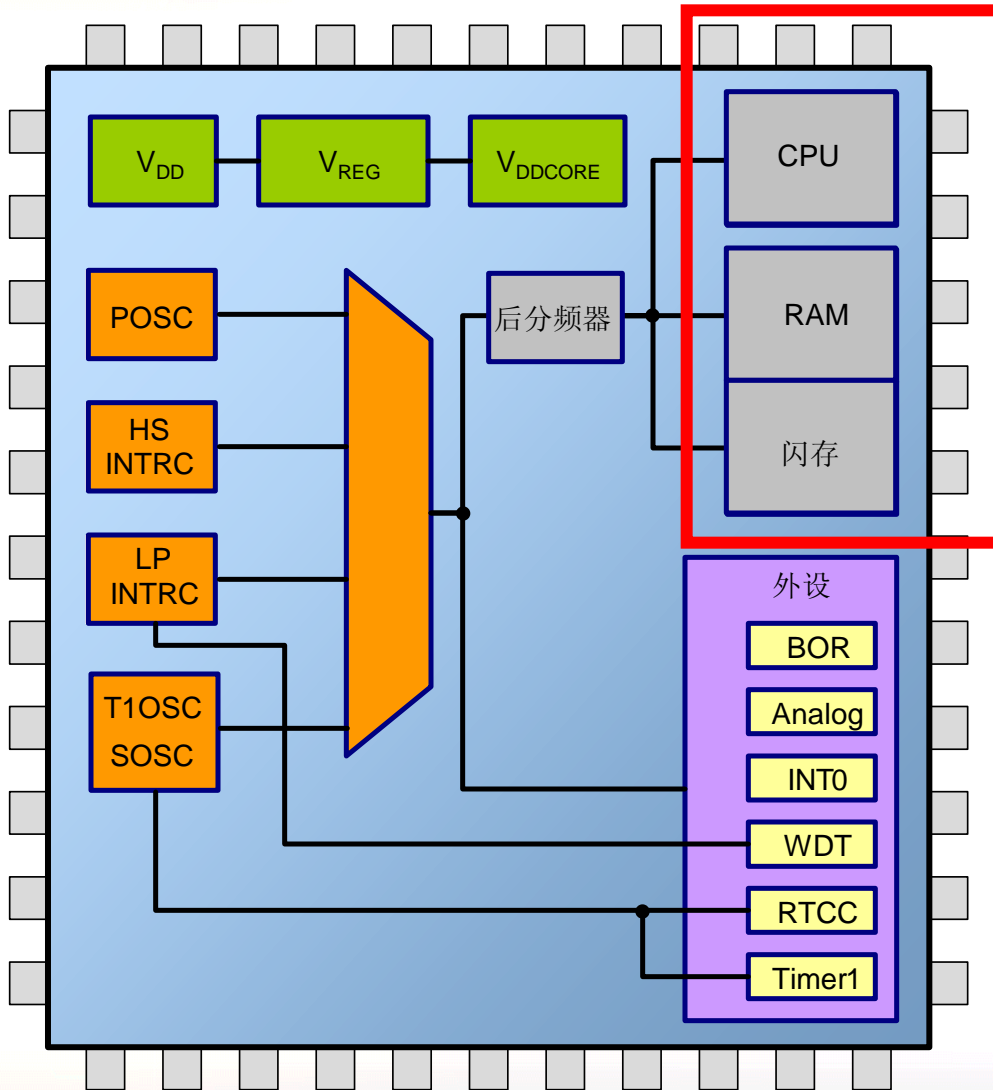
时钟切换

- 降低时钟速度节省的电能耗比空闲/打盹模式节省的更多
 - 降低时钟速度会影响芯片的所有部分
- 双速启动
 - INTRC启动的时间为1 μ s-5 μ s
 - 根据需要可切换为晶振模式
 - 在等待PLL锁定时可使用INTRC运行
- 在需要等待外部事件或慢速外设（如ADC、比较器和通信端口等）时很有用



nanoWatt XLP

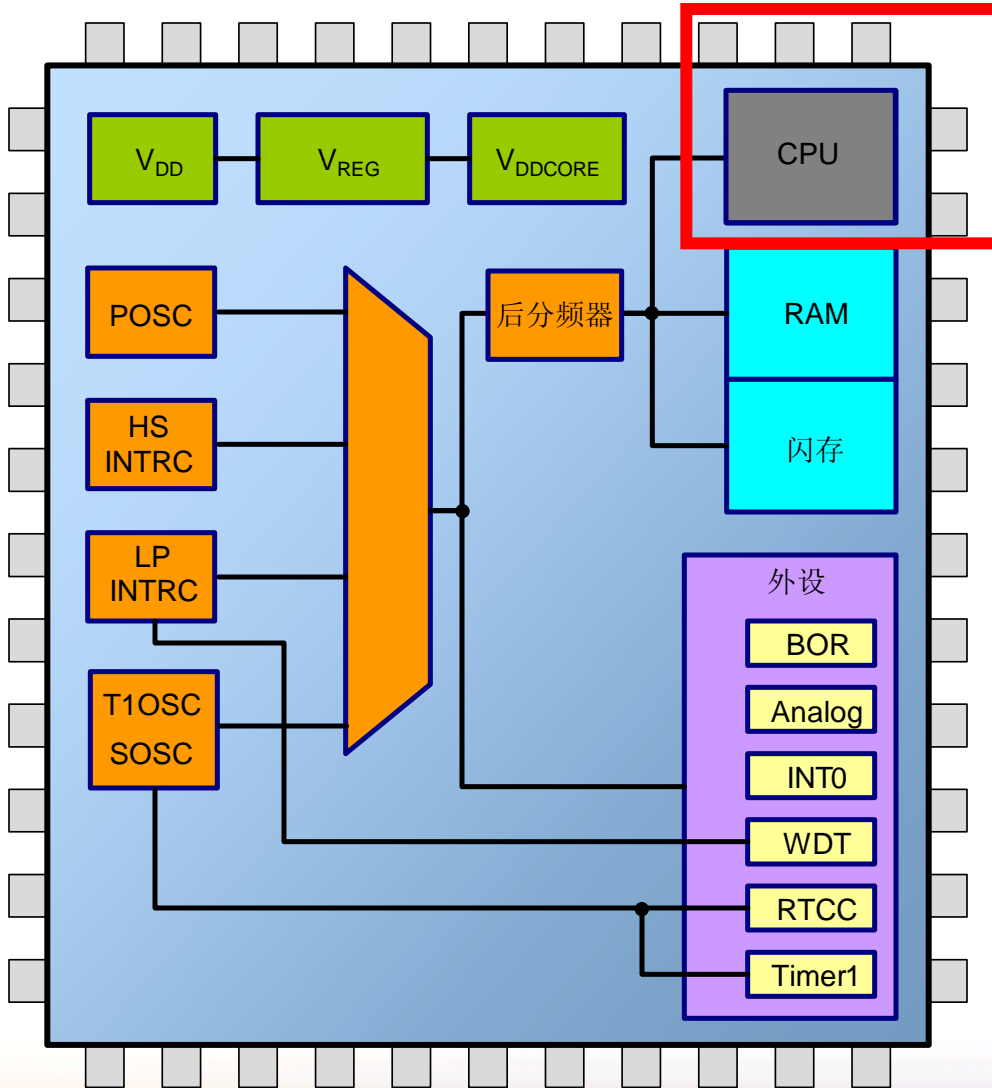
打盹模式



- CPU与存储器以较慢时钟运行
- 外设仍然使用全速系统时钟运行
- 电流为运行模式的35-75%

nanoWatt XLP

空闲模式



- CPU关闭
- 外设保持开启
- 电流为运行模式的25%

nanoWatt XLP

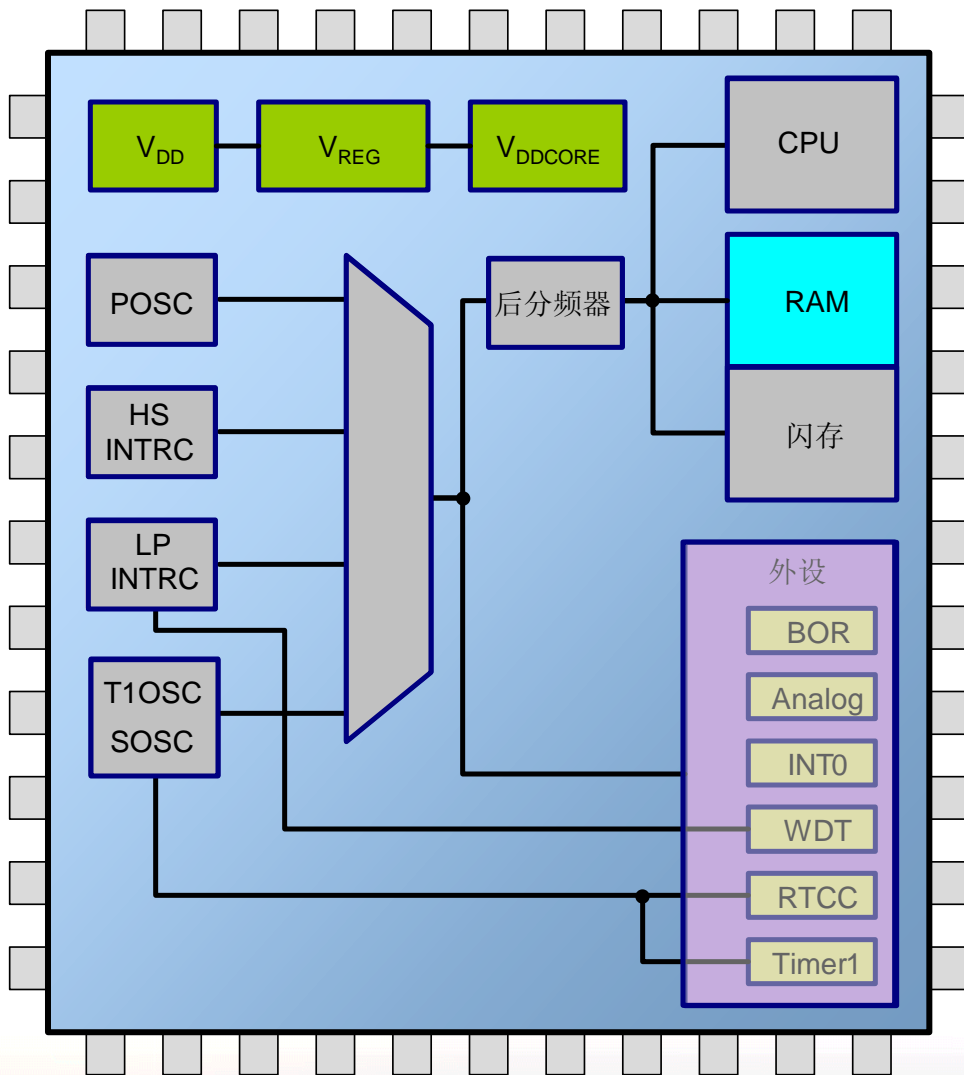
空闲和打盹模式

- 应何时使用空闲或打盹模式？
 - 替换while(!Interrupt)循环
 - 在等待外设事件或中断时降低速度
 - 处于低功耗模式时间短，要求非常快速的唤醒
 - 例如，唤醒时间小于~1个指令周期
 - 转换过渡时间最短
 - 在DMA传输期间
 - 当应用必须连续采样或通信时



nanoWatt XLP

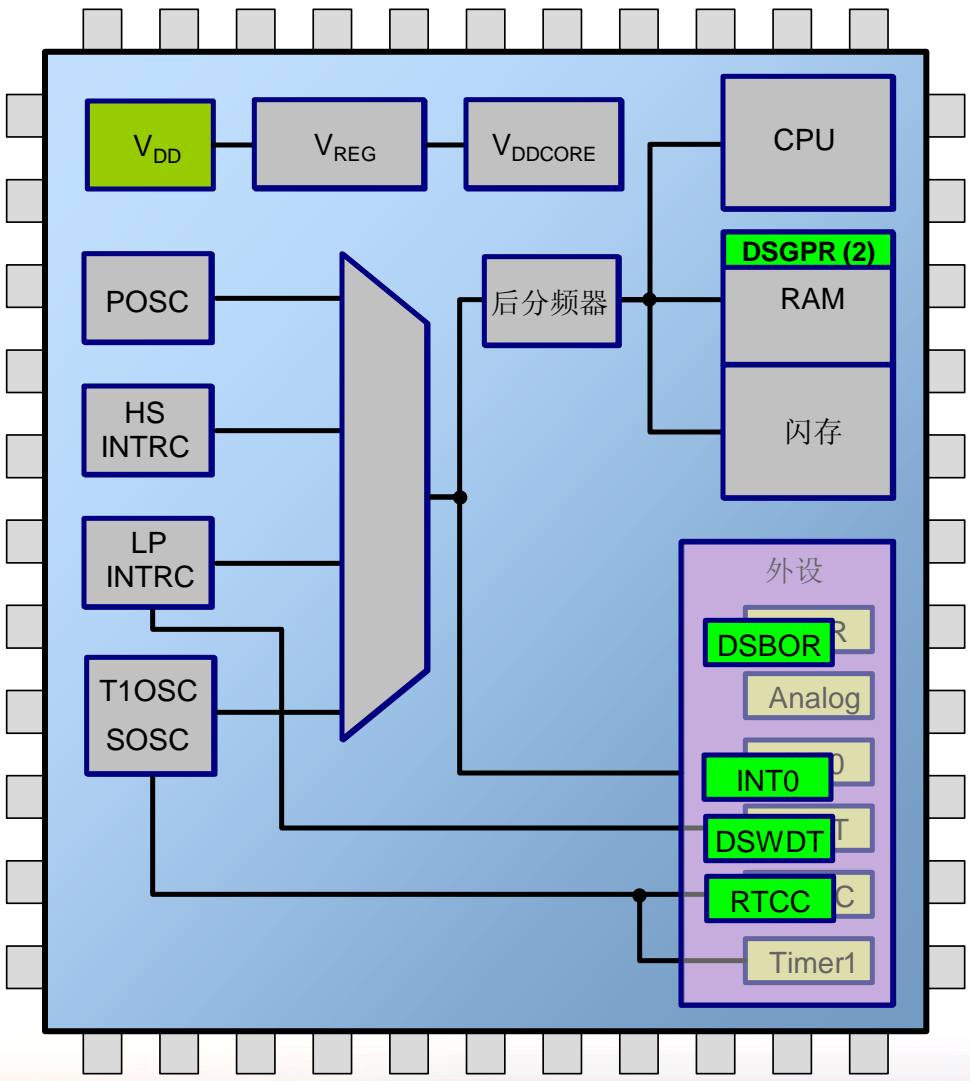
休眠模式



- 不使用内部稳压器时
电流为**50-100 nA**
- 使用内部稳压器时电
流为**3-5 μ A**
- 系统时钟和**CPU**关闭
- **RAM**保持供电
- 稳压器保持供电
- 一些外设可配置为在
休眠模式下运行

nanoWatt XLP

深度休眠模式



- 50 nA
- RAM掉电
- 稳压器掉电
- 一些外设设计为在深度休眠模式下运行
 - DSBOR
 - DSWDT
 - RTCC
 - INT0

nanoWatt XLP

深度休眠模式

- 内核电源被移除
 - 这导致RAM、SFR和程序计数器内容丢失
 - 提供了两个DSGPR寄存器，用于在深度休眠期间保存变量
 - 唤醒时间包括用于稳压器重新上电的时间（使用内部Vreg时）
- 唤醒会导致上电复位（POR）
 - 标准休眠
 - 从进入休眠时所处的位置开始继续执行
 - 深度休眠不会
 - 唤醒时程序计数器会清零
- I/O状态会维持不变



nanoWatt XLP

节能模式总结

模式	活动的时钟	活动的外设	唤醒源	典型电流	典型用途
运行	全部	全部			
打盹	全部	全部	全部 软件唤醒	~50%的运行电 流	具有高速外设、很少需要使用 CPU的应用
空闲	外设时钟 Timer1 辅助振荡器 INTRC LPRC ADC RC	全部	全部	~25%的运行电 流	器件需要等待事件的任何时候
休眠	Timer1 辅助振荡器 INTRC LPRC ADC RC	RTCC Timer1 WDT INTx BOR ADC HLVD CVREF 比较器 UART-RX	全部	50-100 nA (基本电流) 使用内部稳压器 时为3-5 uA	大多数低功耗应用
深度 休眠	辅助振荡器 LPRC	RTCC DSWDT DSBOR INT0	RTCC DSWDT DSBOR INT0 MCLR ULPWU	< 50 nA (基本电流) 外设将增加电流 消耗	基于长寿命电池的应用，具有 很长休眠时间的应用



nanoWatt XLP 功耗比较

	PIC16LF1827	PIC16LF1937	PIC16LF727	PIC18LF14K22	PIC18LF14K50	PIC18LF46J11	PIC18LF46J50	PIC18LF46K20	PIC24F04KA201	PIC24F16KA102	PIC24FJ64GA104	PIC24FJ64GB004
深度休眠 (nA)						13	15		20	20	20	20
休眠 (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
32 kHz SOSC/RTCC (nA)	600	600	600	650	790	850	830	600	500	500	500	500
1 MHz运行 (μA)	80	93	80	131	125	275	275	131	195	195	250	250
最小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



电流规范均为最小V_{dd}时的典型值



MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

系统注意事项



系统注意事项 指令效率

- 执行一项任务需要多少个指令周期？
- 不是所有的架构都具有相同的效率
 - 评估基准，如用于初次分析的EEMBC CoreMark套件
 - 使用模拟器编译和评估基准
 - 编译和测量硬件
 - 诸如16位nanoWatt XLP评估板的开发工具，便设计用以此类分析
- 不要仅仅依据数据手册
 $\mu\text{A}/\text{MHz}$ 并不能代表所有方面！



系统注意事项 指令效率示例

- 除了乘法运算，PIC16和PIC18中的大部分指令是一样的
 - PIC18具有单周期硬件8x8乘法器
 - PIC16在指令级上模拟乘法运算
- 执行8x8乘法运算需要消耗多少能量？
 - PIC16LF727 @1 MHz @1.8V @ 25° C
 - 80 μ A/MHz
 - 指令周期 @1 MHz = 4 μ s
 - 62个指令周期 = 248 μ s
 - 80 μ A * 1.8V = 144 μ W
 - 144 μ W * 248 μ s = 35.7 nJ
 - PIC18LF46J11 @1 MHz @2.0V @25° C
 - 275 μ A/MHz
 - 指令周期@1 MHz = 4 μ s
 - 5个指令周期 = 20 μ s
 - 2.0V * 275 μ A = 550 μ W
 - 550 μ W * 20 μ s = 11 nJ

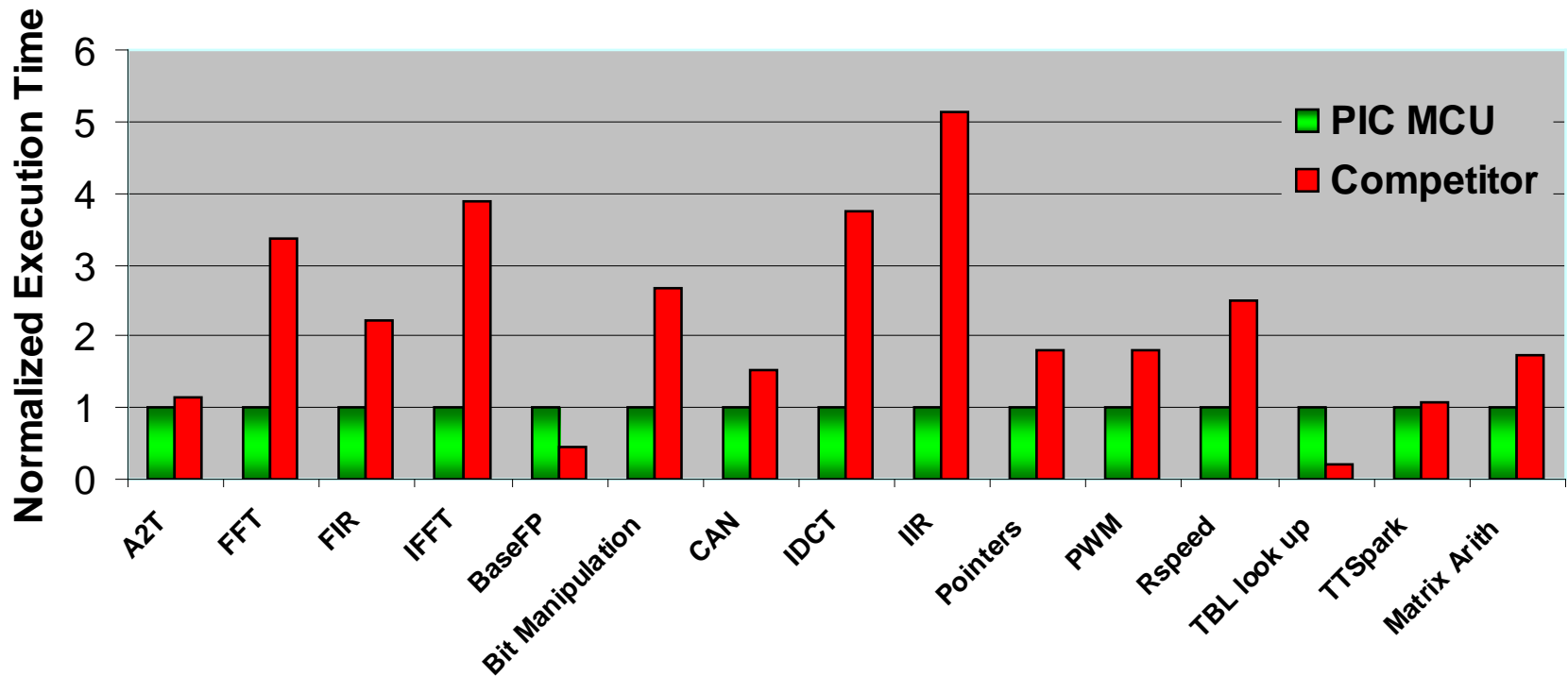
```
#include <htc.h>

unsigned char A,B;
unsigned int C;

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


系统注意事项 指令效率

使用编译器和带跑表功能、精度达周期级的软件模拟器对应用执行时间进行基准测量



注:

竞争产品的16位MCU系列以16 MIPS工作——速度与代码长度折衷值= 5

PIC24F系列以16 MIPS工作，使用用于PIC24F的MPLAB® C编译器，优化级别为O3

Industry Standard Benchmark Algorithms

系统注意事项

电池选择

- 电池的化学类型非常关键

- 纽扣型锂电池

- 自放电电流非常低，保存时间长
- 最大电流限制非常低
- 内阻高。高峰值电流会降低电压，并影响电池使用寿命

- 新！AAA锂电池

- 使用范围与大多数单片机的电压范围相匹配
- 低内阻。支持高峰值电流
- 自放电电流低——保存时间长

- 碱性电池

- 容量高，支持高电流消耗
- 容量会随电流输出上升而降低

- 蓄电池（可充电的镍镉和镍氢电池等）

- 自放电电流高
- 即使应用功耗非常低，也需要频繁充电

系统注意事项 60° C 电池规范

- 大部分化学电池均定义在60° C上
- nanoWatt XLP 器件如今在数据手册中包含60° C规范

PIC24F16KA102 FAMILY

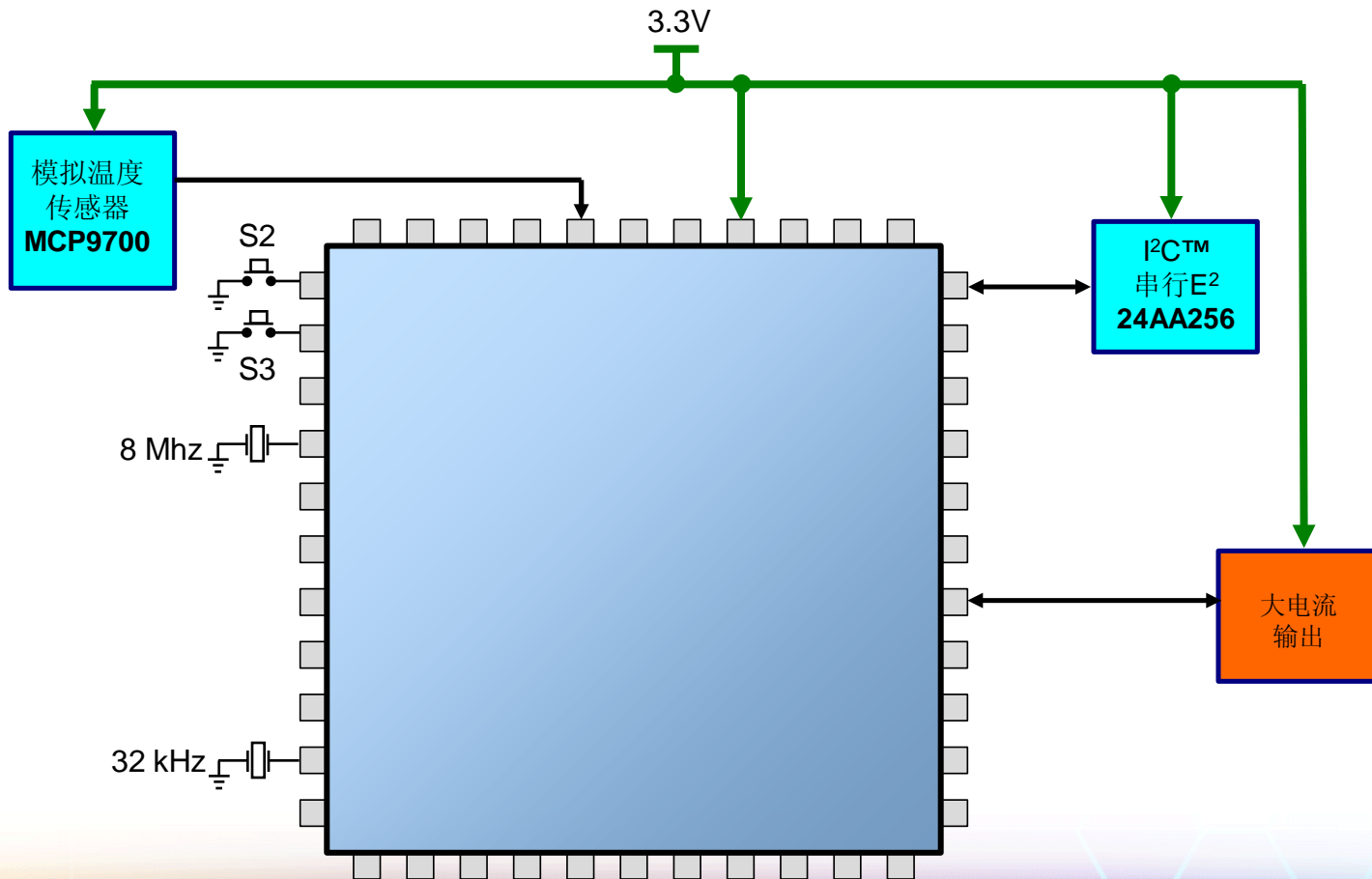
TABLE 29-8: DC CHARACTERISTICS: POWER-DOWN CURRENT (IPD)

DC CHARACTERISTICS			Standard Operating Conditions: 1.8V to 3.6V (unless otherwise stated) Operating temperature $-40^{\circ}\text{C} \leq \text{TA} \leq +85^{\circ}\text{C}$ for Industrial		
Parameter No.	Typical ⁽¹⁾	Max	Units	Conditions	
Power-Down Current (IPD): PMD Bits are Set, PMSLP Bit is '0' ⁽²⁾					
DC60	0.025	0.200	μA	-40°C	1.8V
DC60a		0.200		+25°C	
DC60b		0.870		+60°C	
DC60c	0.105	1.350	μA	+85°C	3.3V
DC60d		0.540		-40°C	
DC60e		0.540		+25°C	
DC60f		1.680		+60°C	
DC60g		2.450		+85°C	
DC70	0.020	0.150	μA	-40°C	1.8V
DC70a		0.150		+25°C	
DC70b		0.420		+60°C	

Base Power-Down Current (Sleep)⁽³⁾

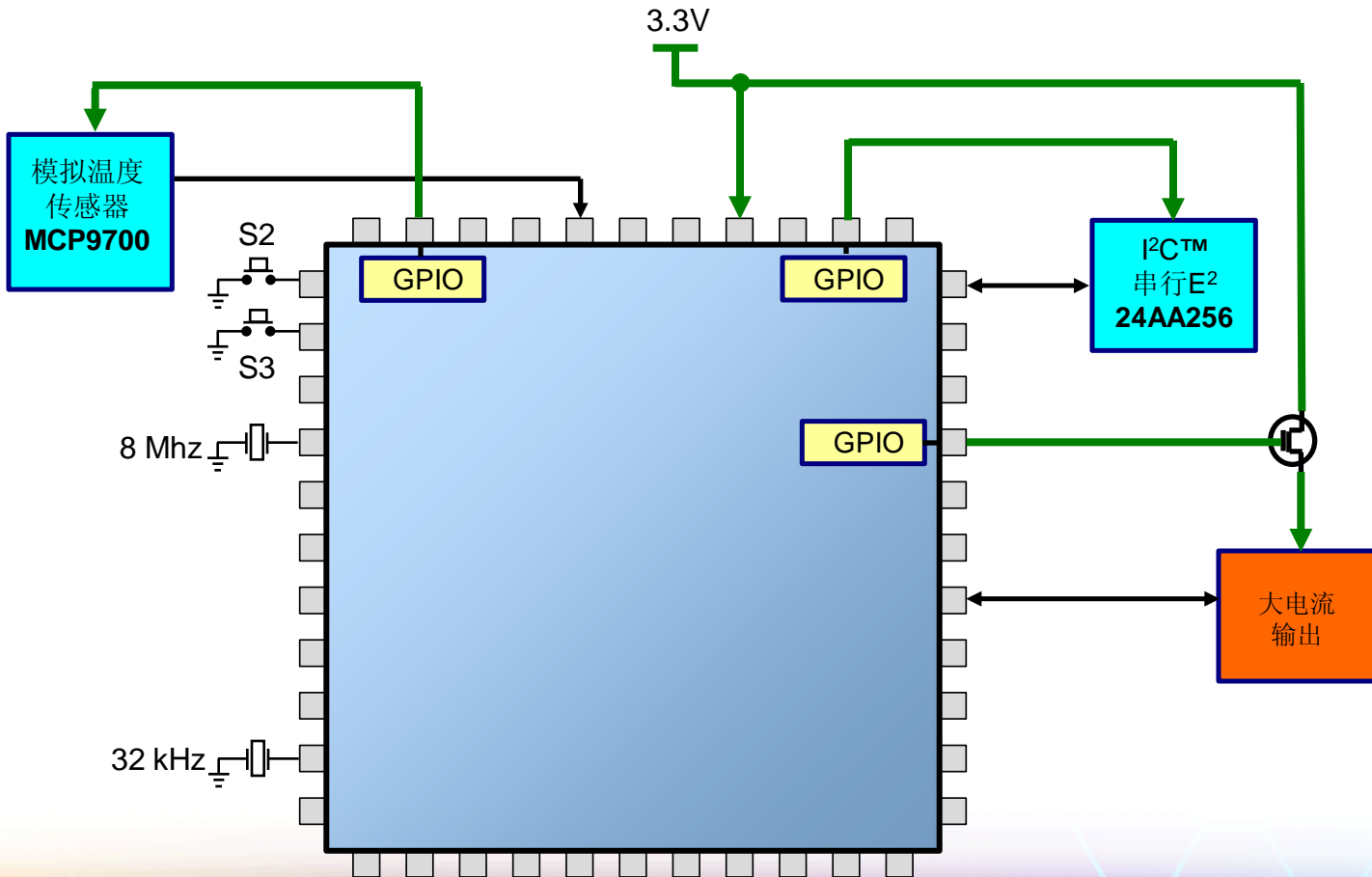
系统注意事项 管理外部电路功耗

- 所有电路始终供电
- 功耗管理依靠各种独立的待机模式



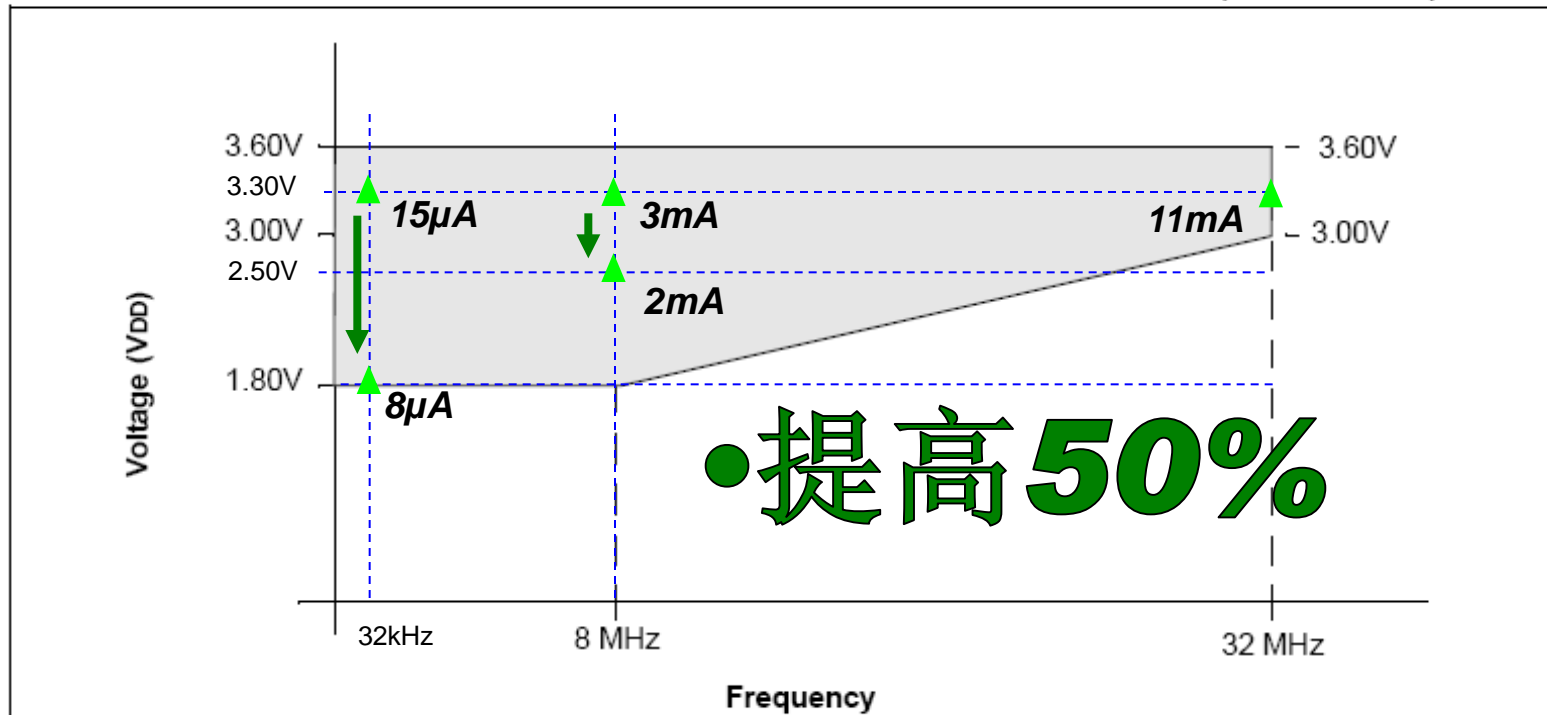
系统注意事项 管理外部电路功耗

- PIC[®] MCU可根据需要直接从I/O引脚供电
- 对于大电流电路或不同电压可使用外部晶体管



系统注意事项 降低电压

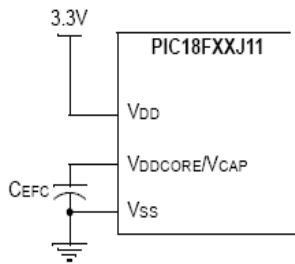
FIGURE 26-1: PIC24F04KA201 FAMILY VOLTAGE-FREQUENCY GRAPH (INDUSTRIAL)



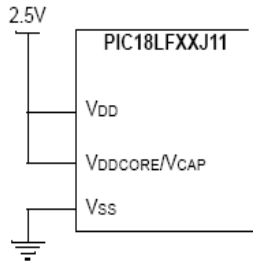
- 降低系统电压会影响动态与静态电流
- 针对所需的性能，使用输出电压最低的稳压器
- 处于休眠或空闲模式时，通过可编程稳压器降低V_{DD}

系统注意事项 电源

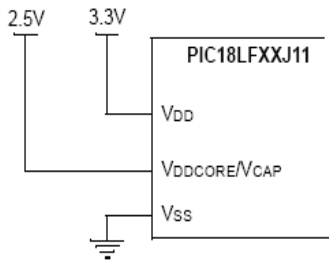
PIC18FXXJ11 Devices (Regulator Enabled)



PIC18LFXXJ11 Devices (no Regulator)



OR

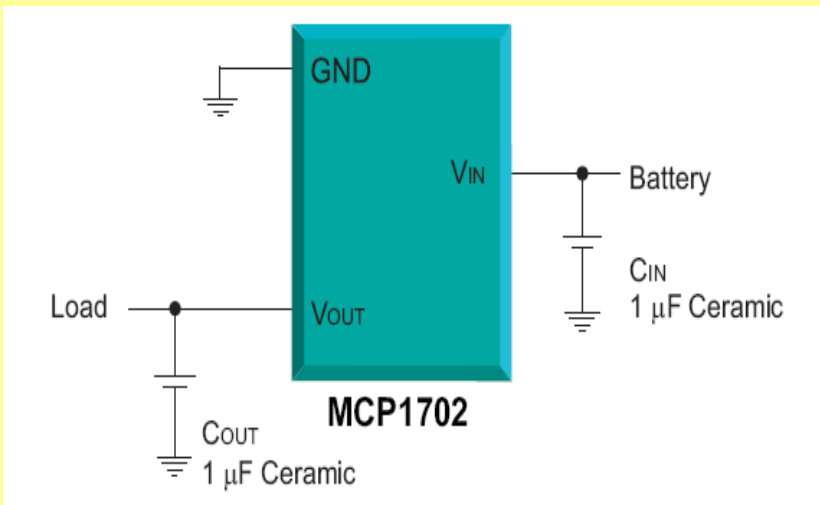


- 一些nanoWatt XLP器件基于低电压工艺：
 - 内核需要2.5V或1.8V电压
 - 连接至3.3V电源或I/O逻辑时需要低压差稳压器（LDO）
 - 一些F系列器件包含内部LDO
 - LF系列器件通常不包含LDO

- 选择有：
 - 使用具有内部LDO的F系列器件
 - 设计用于2.5V（或1.8V）I/O和电源
 - 采用多个电源

系统注意事项 管理V_{ddcore}

- 仔细选择系统低压差稳压器可以产生较低的静态电流
 - PIC18F46J11 LDO的静态电流为~3 μA
 - MCP1702外部LDO的静态电流为~2 μA
- 对于低电流应用，外部**LDO**可能是更好的选择



MCP1702线性稳压器规范:

- 2.0 μA 典型静态电流
- 2.7V-13.2V 输入电压
- 低压差: 650 mV (典型值) @ 250 mA
- 0.2%/V 线性调整度
- 短路与热关断保护

系统注意事项 最大程度减少RAM访问

- 读RAM的功耗高于读闪存的功耗

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

19.1 mA

- 每次执行循环时，以上程序会读_T1IF（Timer1中断标志）和写i。
- 32 MHz时：
 - 循环时间为187 ns
 - 处于该循环中时，测量到的平均电流为19.1 mA
 - 它每隔187 ns读/写RAM两次
 - 应用是否真的需要这样的响应时间？

系统注意事项

最大程度减少RAM访问

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

16.4 mA

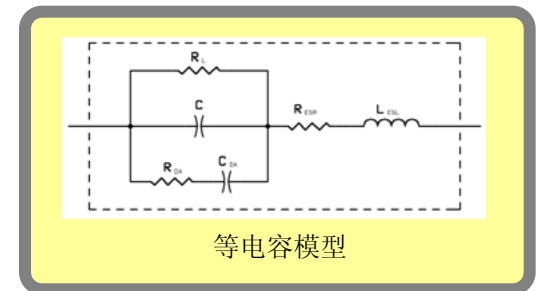
- **32 MHz时的循环时间为500 ns**
 - 每隔500 ns读/写RAM两次
- 可以注意到平均电流降低了**2.5 mA**
- 通过增加**5条NOP指令**，功耗降低了**~13%!**

系统注意事项 I/O建议

- 对按钮使用内部上拉电阻
 - 在进行检测之后，可以禁止内部上拉电阻
- 使用软件去抖
 - 以动态处理器电流为代价，消除RC去抖网络静态泄漏电流
- 使用高功率LED
 - 以远低于额定电流的电流驱动
 - 通过PWM驱动，而不是直接驱动
 - 以低电流驱动的高功率LED仍然会点亮
 - 额定电流为**25 mA**的LED在电流降至**100 uA**时仍然会点亮

系统注意事项 I/O建议

- 使用可能的最大上拉电阻
- 控制对梯形电阻网络的供电
 - 通过I/O引脚供电，仅在必要时开启
- 使用低泄漏电流电容
 - 钽电容的泄漏电流通常很高
 - **10 μF 时可高至1 μA**
 - 陶瓷电容的泄漏电流最低
 - **10 μF 时为~20 nA**
- 节制使用旁路电容
 - 每个电容都会增加泄漏电流
- 保持走线很短
 - 走线短意味着阻抗低



系统注意事项 消除悬空I/O

	典型情况	最糟情况
1个悬空引脚	35 μ A	0.5 mA
2个悬空引脚	65 μ A	1 mA
10个悬空引脚	305 μ A	5 mA

- **悬空CMOS引脚**
 - 悬空为 $V_{DD}/2$
 - 高泄漏电流
 - 外部信号会在悬空引脚上产生感应
- **消除悬空输入引脚**
 - 将未用的I/O引脚设为输出
 - 将其驱动为低电平

系统注意事项 缩短唤醒时间

- **晶振:**
 - 需要1024个周期才能可靠起振
 - 确保晶振起振并稳定
 - 是各种温度和起振条件下保证可靠性的*极其重要的特性*
 - **32 kHz时至少需要32 ms，8 MHz时需要64 μ s**
 - 起振时间可能会大大增加——在某些环境条件下可延长至**1s**
- **内部RC (INTRC) 振荡器:**
 - 通过INTRC，某些器件的唤醒时间可缩短至1 μ s-5 μ s
- **双速启动模式**
 - 采用INTRC唤醒
 - 某些器件的INTRC精度为**0.25%**
 - 当需要PPM级精度时，待稳定后可切换至晶振

系统注意事项 降低动态电流

- 禁止未用外设

- 所有片上外设均具有一些用于禁止的控制位或PMD位

- 优化编译器代码

- 尝试对各种速度、代码长度和RAM使用组合进行优化
- 寻找在最短代码长度和最少RAM访问下的最快执行速度

- 对算法的执行时间进行基准测量

- 示例：
 - 在不同平台上，以**32 MHz**工作时的执行时间可能不同
 - 超过**90%**的**PIC[®] MCU**指令以单周期执行
- 随**MPLAB[®] IDE**免费提供器件软件模拟器

系统注意事项 降低动态电流

- 考虑使用**SPI**外设代替**I²C™**
 - 对于上拉电阻值较不敏感
 - 速度更快
 - 动态功耗较低
 - 缩短服务程序的时间
 - 许多外设（如**EEPROM**）同时提供这两种类型





MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

演示2

在原理图上规划系统



目的

在原理图层面上介绍功耗分析的概念。



目标

练习在原理图层面上分析整个系统。选择使功耗最低的系统配置。

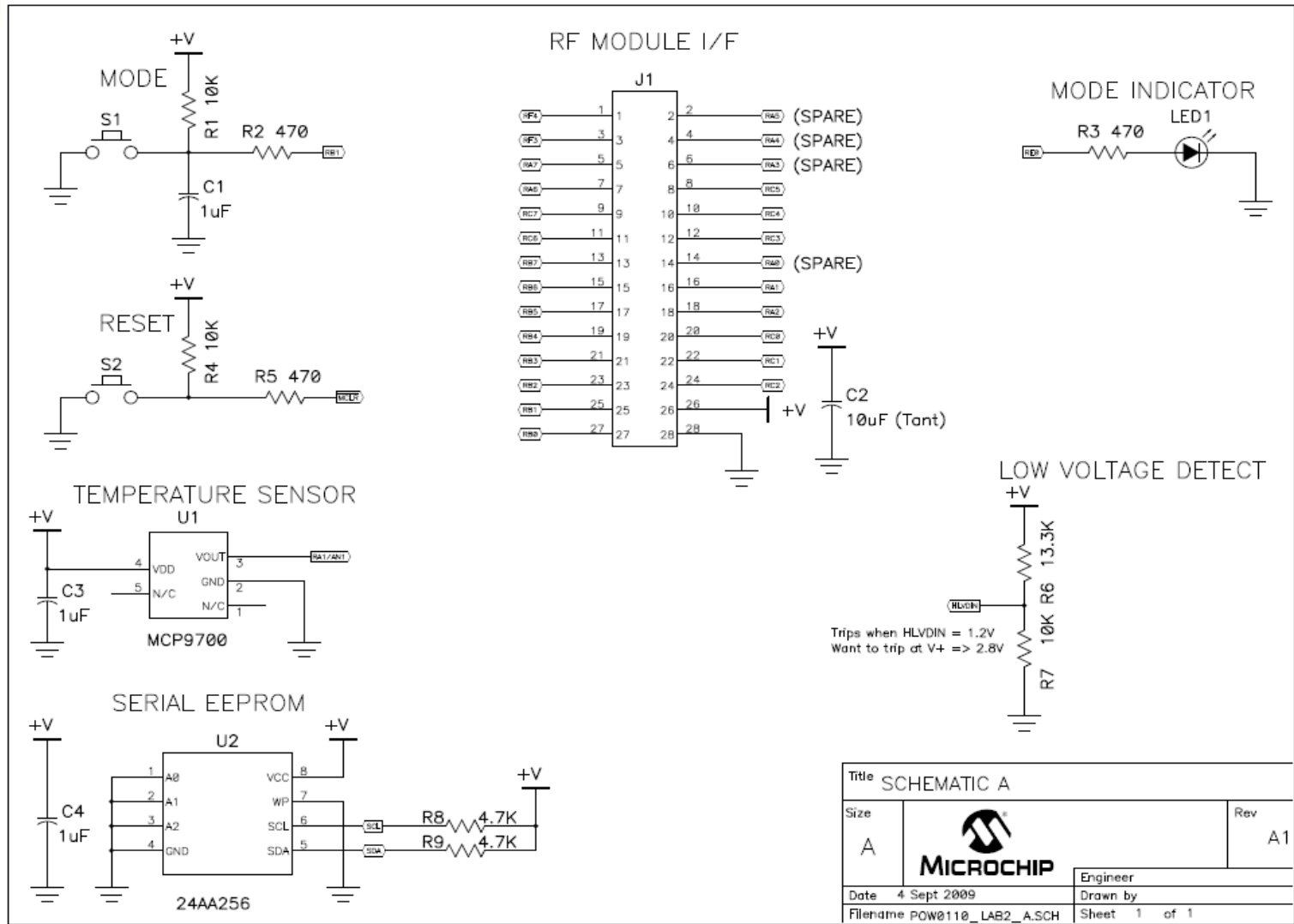


步骤

使用讲座中所描述的一些技巧，分析所提供的原理图，并在原理图上标识出建议的改进方案。

演示#2

如何改进呢?

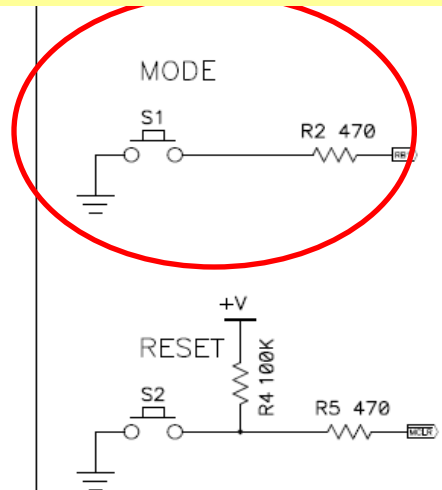


演示#2

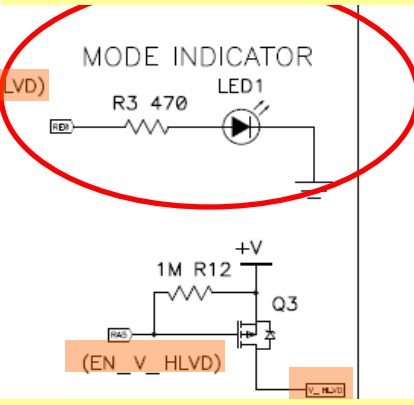
可能的解决方案



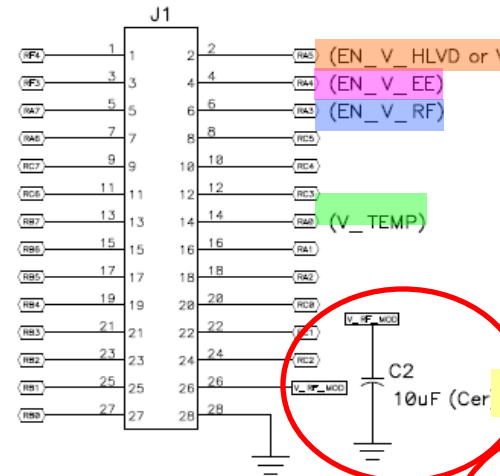
- 1) 使用内部上拉电阻
- 2) 使用软件去抖



- 1) 计算可以使用的最大电阻值
- 2) 使用PWM驱动代替直接驱动
- 3) 欠驱动高亮度LED

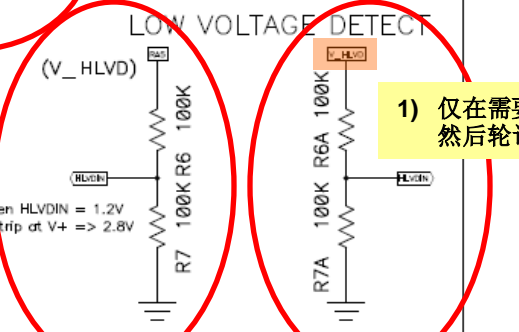
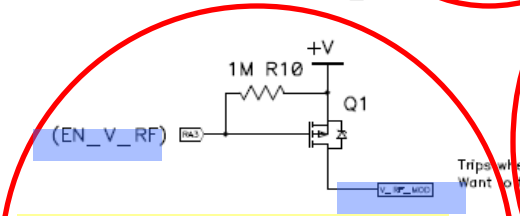
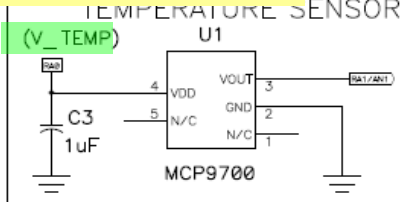


RF MODULE I/F

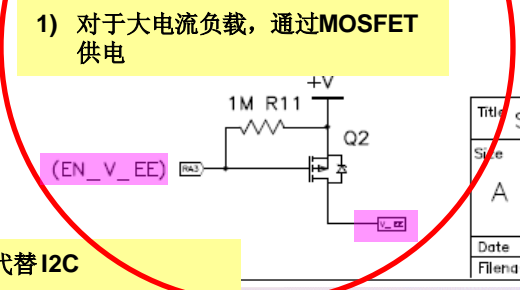
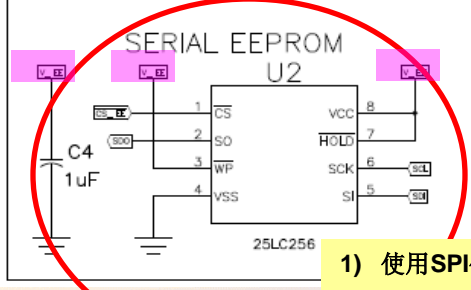


- 1) 用陶瓷电容替代钽电容

- 1) 通过 I/O 引脚直接供电



- 1) 仅在需要时才供电，然后轮询 (poll)



- 1) 将电阻值增大10倍

- 1) 使用SPI代替I2C
- 2) 通过 I/O 引脚直接供电

Title: SCHEMATIC		Rev: A1
Size: A	Engineer:	
Date: 4 Sept 2009		Drawn by:
Filename: POW0110_LAB2_B.SCH		Sheet: 1 of 1



MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

深度休眠



深度休眠

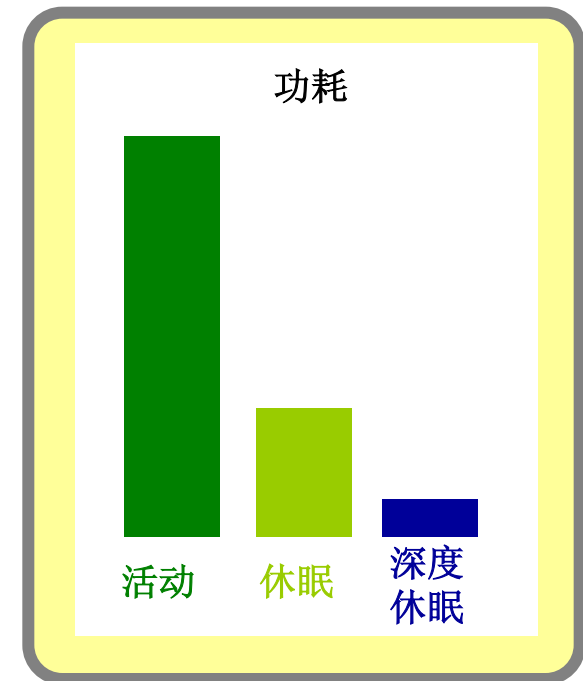
什么是深度休眠 (DS) ?

- 功耗管理的最后一张王牌
- 关闭以下部分的电源：
 - 内核、外设、SRAM和稳压器
- 最低功耗模式：
 - 电流低至13 nA
 - 深度休眠期间开启RTCC的电流低至500 nA
- I/O引脚保持供电，并在深度休眠期间保持引脚状态
- 特定外设仍然工作，并且可以从深度休眠中唤醒



深度休眠 它与休眠有何区别？

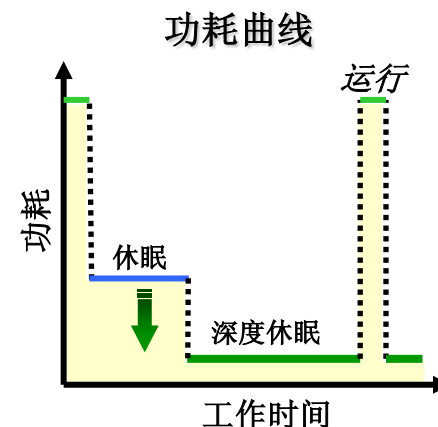
- 消耗的功耗可比休眠时低**90%**
- 禁止**SRAM**
 - 深度休眠期间不保留寄存器
- 用于现场保护的**特殊寄存器**
 - 深度休眠期间提供两个寄存器以保留数据
 - 闪存或**EEPROM**仍可使用
- 内部**低压差稳压器 (LDO)** 关闭
 - 不是所有器件都有LDO
- 从深度休眠唤醒会导致**上电复位**
 - 从复位向量处继续执行
 - **SFR**复位为默认值
 - **RCON<DPSLP>**位由硬件置1





深度休眠 休眠与深度休眠比较

低功耗模式	休眠	深度休眠
定义	内核电源关闭，一些外设可以工作，RAM数据保留	内核、外设、SRAM和稳压器电源关闭
唤醒源	RTCC 看门狗定时器 欠压复位 中断引脚 ULPWU 上电复位 复位引脚 (MCLR) 外设 UART (RX)	DS RTCC 深度休眠看门狗定时器 深度休眠欠压复位 INT0 ULPWU 上电复位 复位引脚 (MCLR)
唤醒时间	较短 (~1 μ -5 μ S, 典型值)	较长 (与POR相同)
引脚状态	保持	保持
RAM状态	保持	保持2个字



深度休眠

深度休眠何时有用？

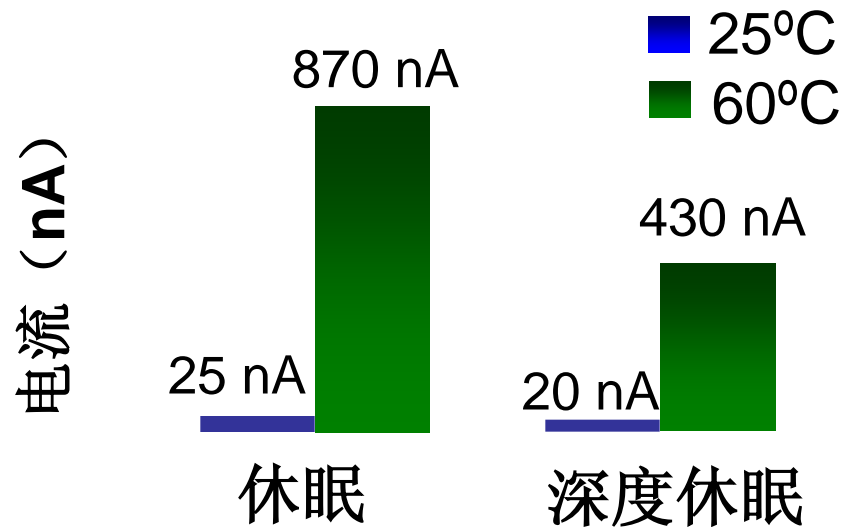
● 当应用：

- 在应用周期中不活动状态比例高
 - 一般为超过**1s**
- 长时间处于不活动状态
- 需要精确计时的同时使电流最低
- 运行在极端温度下
- 需要较少的工作外设



深度休眠 深度休眠何时有用？

在高温应用中：



PIC24F16KA102

25°C规范——典型 I_{pd} @ 1.8V

60°C规范——最大 I_{pd} @ 1.8V

深度休眠

深度休眠期间哪些可继续操作？

- **RTCC**
 - 继续计时
 - RTCC引脚可选择性地每秒输出
- **I/O引脚**
 - 保持状态
- **特殊深度休眠寄存器保留数据：**
 - DSGPR0——深度休眠通用寄存器0
 - DSGPR1——深度休眠通用寄存器1
 - RTCC——实时时钟/日历
- **DSBOR（深度休眠欠压复位）**
 - 深度休眠期间监视 V_{DD}
- **DSWDT（深度休眠看门狗定时器）**



深度休眠

哪些器件支持深度休眠？

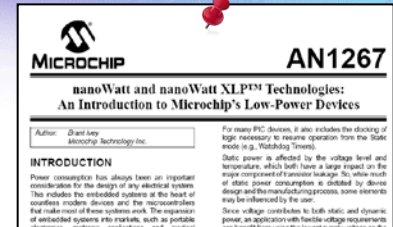


PIC MCU系列	最小 V_{dd}	系列器件数	闪存 (kB)	引脚数	休眠 (nA)	深度休眠 (nA)	WDT DSWDT (nA)	TMR1 RTCC (nA)	1MHz 运行 (μ A)
PIC18F46J11	2.0	6	16-64	28-44	54	13	820	850	275
PIC18F46J50 	2.0	6	16-64	28-44	60	15	780	830	275
PIC24F04KA201	1.8	2	4	14-20	25	20	400	500	195
PIC24F16KA102	1.8	4	8-16	20-28	25	20	400	500	195
PIC24FJ64GA104	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



电流规范均为最小 V_{dd} 时的典型值

6大系列——26款器件——正在不断扩充



● 损益平衡时间

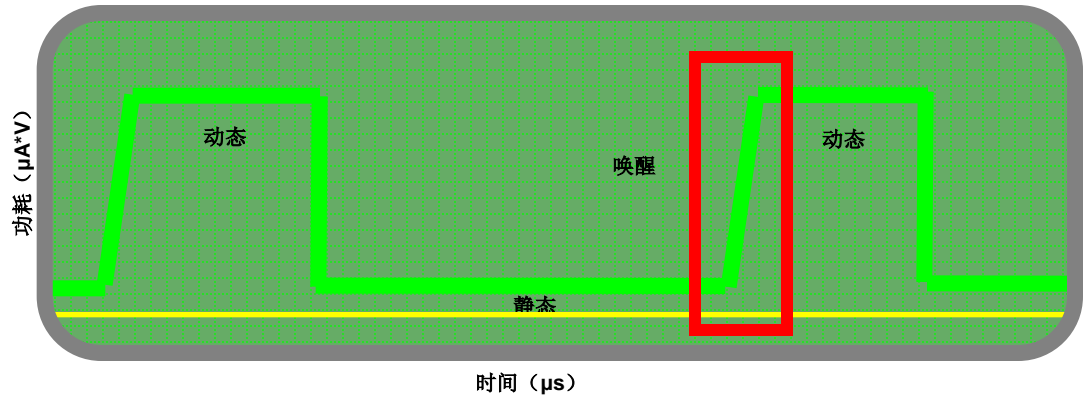
- 深度休眠会关闭内核、SRAM和稳压器的电源
- 深度休眠唤醒时：
 - 稳压器上电
 - **POR**周期完成
 - 时钟启动
 - 现场恢复
- 唤醒时间成为主要因素
- 若休眠时间较短，则标准休眠模式可能是更好的选择

定义

损益平衡时间

深度休眠总功耗低于标准休眠功耗的时间点

深度休眠 唤醒时间的组成元素



- **V_{reg} 启动时间**
 - 典型为 $10 \mu s$
 - 当使用带内部LDO的器件时需要
- **上电时间**
 - 典型为 $72 ms$
- **时钟启动时间**
 - 晶振启动需要许多ms
 - 谐振器启动时间为 $100 \mu s - 200 \mu s$
- **双速启动**
 - 快速RC振荡器启动需要 $1 \mu s - 5 \mu s$ 的时间，精度为 0.25%
 - 在等待晶振稳定的同时执行应用
 - 当晶振稳定后切换至精度为PPM级的晶振

深度休眠 损益平衡时间

- 休眠模式期间的功耗

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

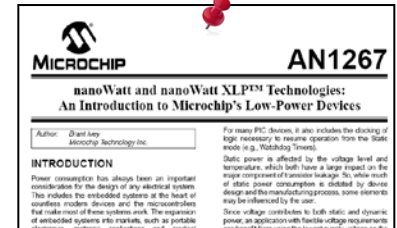
- DS + init + POR期间的功耗

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

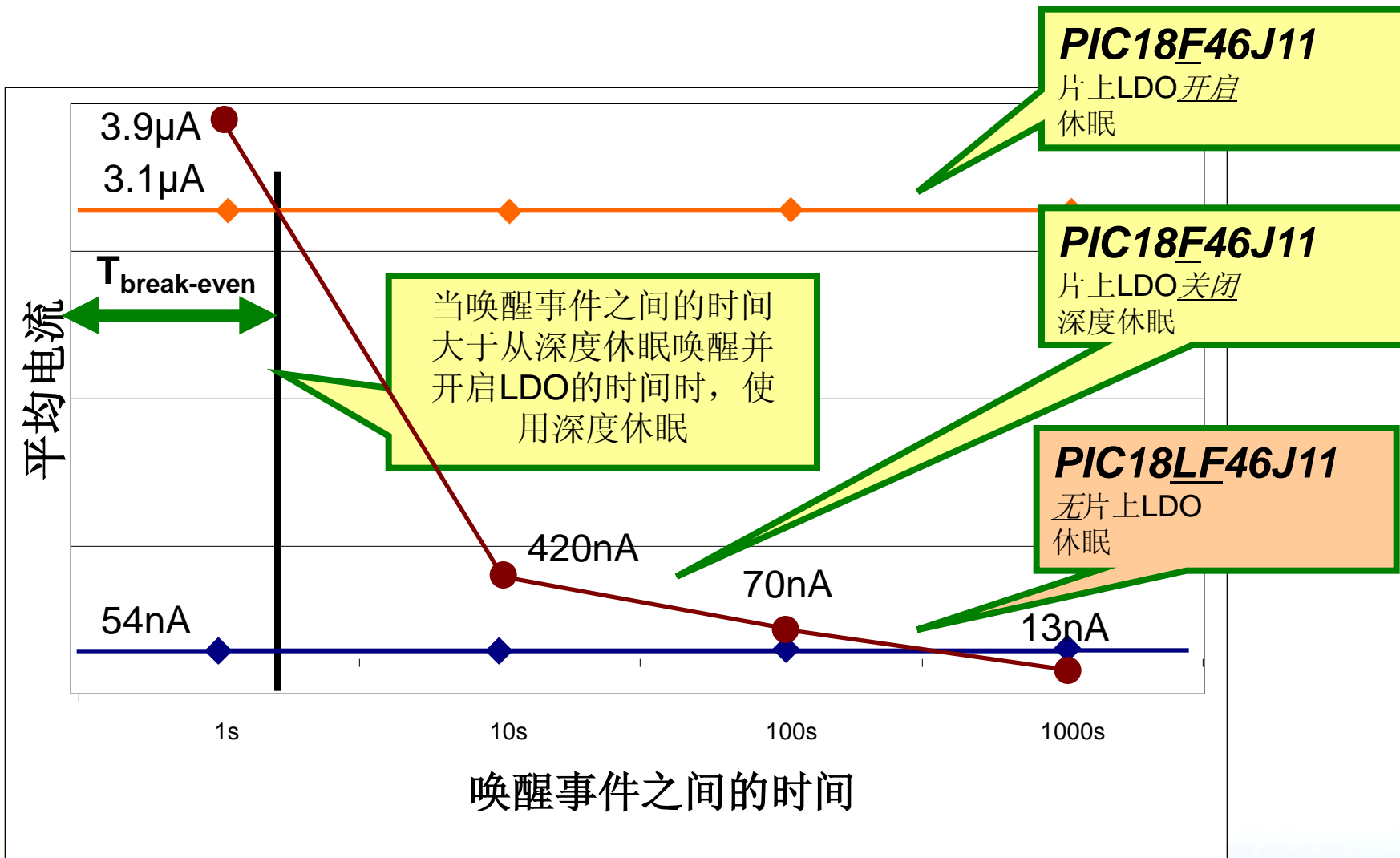
- 达到损益平衡时间时，休眠期间与深度休眠期间所使用的功耗应相等

- 选择功耗最低的模式：

- 在某个时间点以后，DS + POR + INIT使用的功耗小于休眠功耗
- 如果应用的休眠时间长于该时间点，则选择深度休眠模式
- 如果应用的休眠时间短于该时间点，则最好选择休眠模式



深度休眠 何时使用深度休眠？



深度休眠

深度休眠控制寄存器

- 在深度休眠模式下仍对以下寄存器供电：
 - DSCON
 - 深度休眠控制寄存器
 - DSWSRC
 - 深度休眠唤醒源寄存器
 - 跟踪深度休眠的唤醒源
 - 应在唤醒后才对寄存器进行轮询
 - DSGPR0和DSGPR1
 - 通用寄存器用于深度休眠时保存现场、状况或状态信息
 - **PIC24为16位寄存器**
 - **PIC18为8位寄存器**

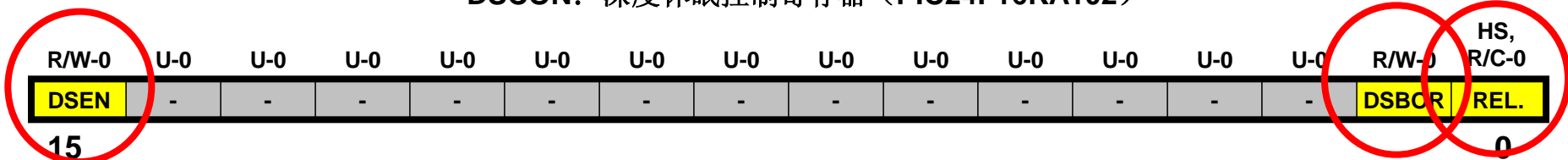
TABLE 4-21: DEEP SLEEP REGISTER MAP

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

深度休眠

深度休眠控制寄存器

DSCON: 深度休眠控制寄存器 (PIC24F16KA102)



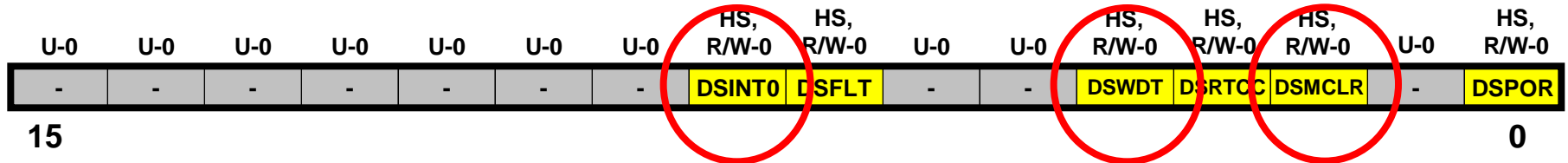
- <15> **DSEN: 深度休眠使能位**
 1 = 执行PWRSV #0时进入深度休眠
 0 = 执行PWRSV #0时进入正常休眠
- <14:2> **未实现: 读为0**
- <1> **DSBOR: 深度休眠BOR事件位**
 1 = DSBOR先前在工作, 并且在深度休眠期间检测到BOR事件
 0 = DSBOR先前不工作, 或者先前在工作, 但在深度休眠期间未检测到BOR事件
- <0> **RELEASE: I/O引脚状态释放位**
 1 = 在从深度休眠唤醒时, I/O引脚维持它们进入深度休眠之前的状态
 0 = 将I/O引脚从它们进入深度休眠之前的状态释放, 并允许TRIS与LAT位控制它们的状态

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

- **POR（上电复位）** 或从深度休眠唤醒
 - I/O端口的TRIS和LAT位复位为默认值
 - OSCCON<SOSCEN>位清零
 - 禁止**SOSC**（辅助振荡器）
 - 可禁止**RTCC**
 - 内核将TRIS、LAT和SOSCEN控制位保持为进入深度休眠模式之前的状态
 - 内核通过将**DSCON<RELEASE>**置1来实现
- **应用程序必须：**
 - 重新配置TRIS、LAT和SOSCEN
 - 清零**DSCON<RELEASE>**
 - 将对**I/O**和**SOSC**的控制返还给应用程序
 - 恢复**RAM**和现场信息

深度休眠 深度休眠唤醒源

DSWSRC: 深度休眠唤醒源寄存器 (PIC24F16KA102)



<15:9> 未实现: 读为0

<8> DSINT0: 电平变化中断位
1 = 在深度休眠期间发生了电平变化中断
0 = 在深度休眠期间未发生电平变化中断

<7> DSFLT: 深度休眠故障检测位
1 = 在深度休眠期间发生了故障, 并且某些深度休眠配置设置可能已被破坏
0 = 在深度休眠期间未检测到故障

<6:5> 未实现: 读为0

<4> DSWDT: 深度休眠看门狗定时器超时位
1 = 深度休眠WDT在深度休眠期间超时
0 = 深度休眠WDT在深度休眠期间未超时

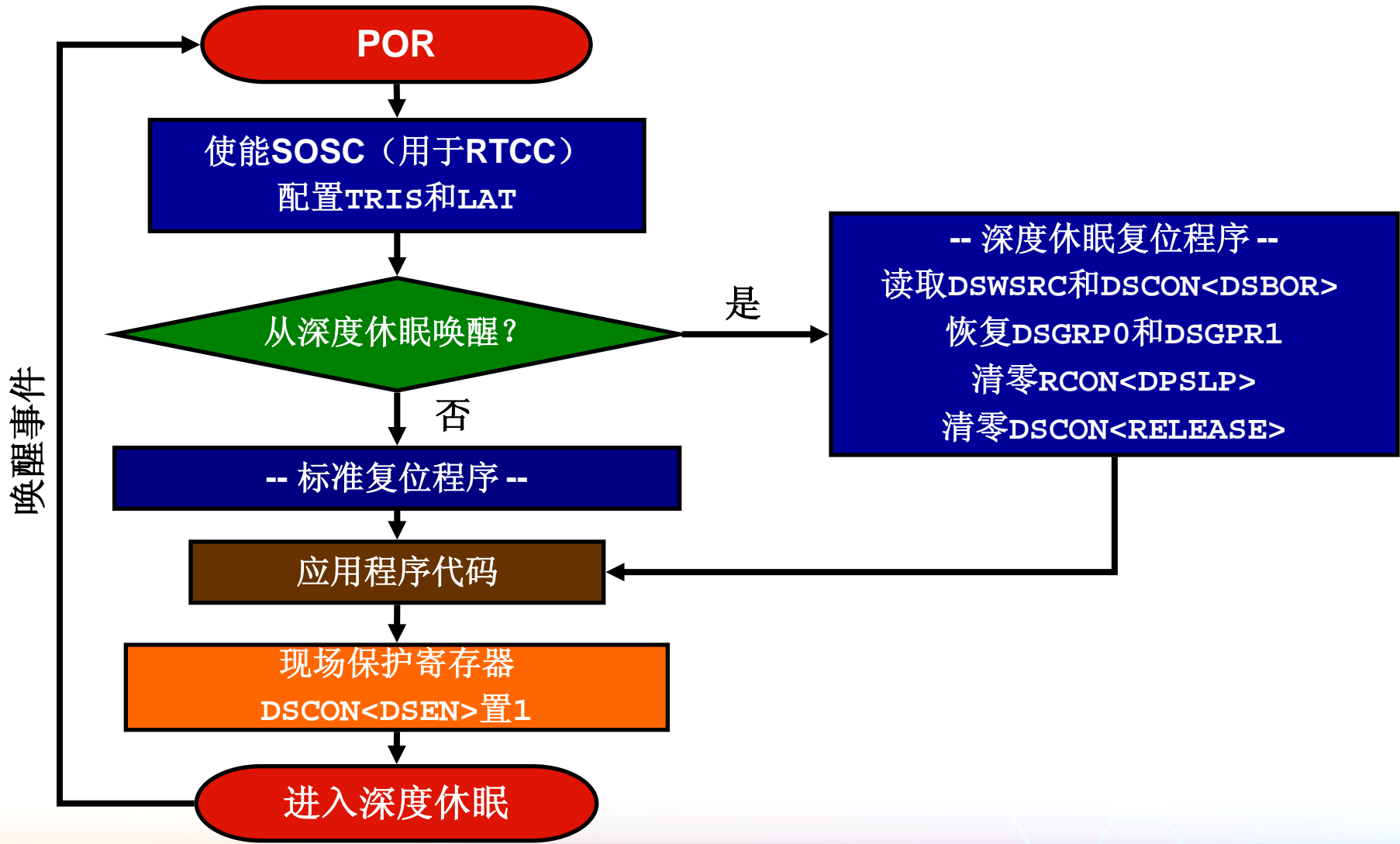
<3> DSRTCC: 深度休眠实时时钟和日历闹钟位
1 = DSRTCC在深度休眠期间触发了闹钟
0 = DSRTCC在深度休眠期间未触发闹钟

<2> DSMCLR: MCLR事件位
1 = MCLR引脚先前在工作, 并且在深度休眠期间被置为有效
0 = MCLR引脚先前不工作, 或先前在工作, 但在深度休眠期间未被置为有效

<1> 未实现: 读为0

<0> DSPOR: 上电复位位
1 = VDD电源POR电路先前在工作, 并且检测到POR事件
0 = VDD电源POR电路先前不工作, 或先前在工作, 但未检测到POR事件

深度休眠 深度休眠周期



深度休眠 进入深度休眠

```
;----- entering Deep Sleep Mode PIC24F16KA102  
  
1  _FDS(DSWDTEN_ON & DSBOREN_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 DSBOREN 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 在配置位中使能和配置DSWDT与DSBORN
(如果将使用这两个位)
- 2 使能和配置RTCC (如果将使用RTCC)
- 3 将现场保存至DSGPR0与DSGPR1和EEPROM中
- 4 将DSCON<DSEN> 位置1并使用休眠模式

深度休眠 从深度休眠唤醒

- 深度休眠维持I/O引脚和深度休眠寄存器
- 深度休眠唤醒选项
 - INT0（中断0）
 - DSWDT（深度休眠看门狗定时器）
 - RTCC闹钟
 - ULPWU（超低功耗唤醒）
- 可通过以下方法从休眠模式唤醒，但存在一些限制
 - 主复位引脚（MCLR）
 - I/O引脚状态不会保留，因为DSCON<RELEASE>将立即清零
 - 上电周期
 - I/O引脚状态不会保留
 - 深度休眠寄存器内容不会保留

深度休眠 从深度休眠唤醒

```
----- 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 恢复DSGPRx寄存器和现场
- ② 恢复I/O引脚配置并重新使能和配置RTCC
(如果将使用RTCC)
- ③ 清零DPSLP和RELEASE位并将控制返还给应用程序

深度休眠 由DSWDT唤醒

深度休眠看门狗定时器 (DSWDT)

- 有别于标准WDT的独立模块
- 双时钟源
 - 辅助振荡器 (SOSC)
 - 可选择作为时钟源
 - INTRC
 - 可靠系统操作的最佳选择
 - 即使晶振未起振也可唤醒
 - 无需外部元件
- 16种超时设置:
 - 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, 25.1d



深度休眠 由RTCC闹钟唤醒

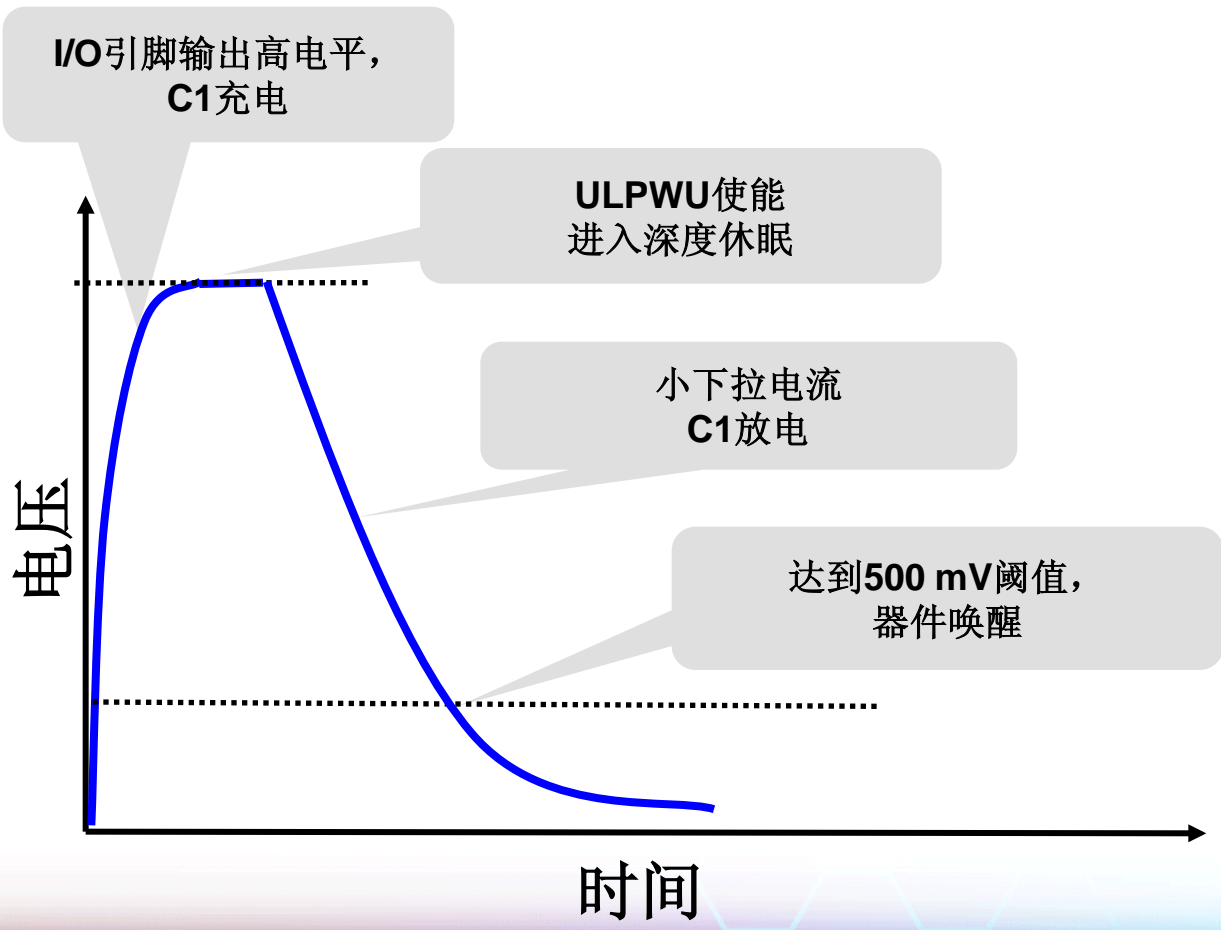
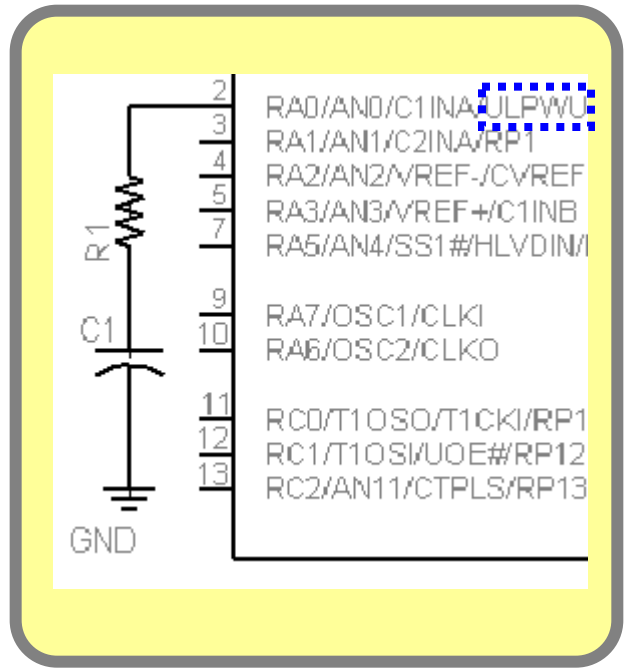
● RTCC闹钟

- 闹钟分辨率可从几秒到几天和几年
- 可以使用与DSWDT相同的时钟源
 - 节省功耗：避免使用两种不同时钟源
- 在深度休眠期间，可以选择在RTCC引脚上输出秒时钟或闹钟脉冲
 - 向外部设备提供唤醒或闹钟信号



深度休眠 由ULPWU唤醒

超低功耗唤醒





MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

总结与参考资源



nanoWatt XLP

超低功耗单片机

PIC MCU系列	最小 V_{dd}	系列器件数	闪存 (kB)	引脚数	休眠 (nA)	深度休眠 (nA)	WDT DSWDT (nA)	TMR1 RTCC (nA)	1MHz 运行 (μ A)
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



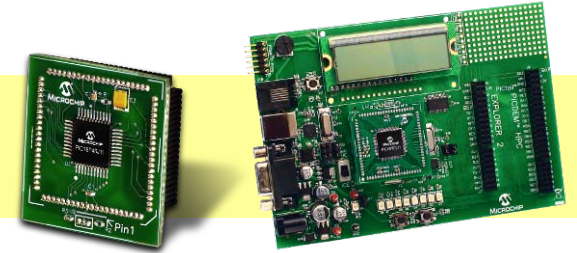
电流规范均为最小 V_{dd} 时的典型值

总结

nanoWatt XLP 工具

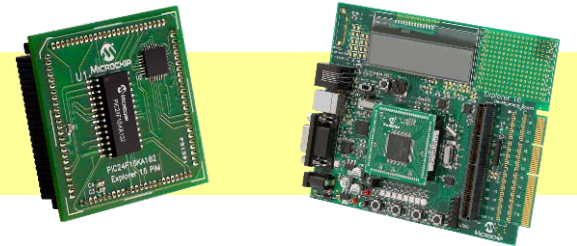
PIC18 Explorer板
PIC18F46J11 PIM

(DM183032)
(MA180023)



Explorer 16板
PIC24F16KA102 PIM

(DM240001)
(MA240017)



XLP 16位开发板


(DM240311)



C编译器

Microchip和HI-TECH均提供C编译器
提供免费评估版C编译器






MICROCHIP AN879

Using the Microchip Ultra Low-Power Wake-Up Module

Authors: Ruan Lourens
Jose Benevides

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	39-2
39.3 Instruction-Based Power-Saving Modes	39-3
39.4 Selective Peripheral Power Control	39-17
39.5 Design Tips	39-20
39.6 Related Application Notes	39-21
39.7 Revision History	39-22




MICROCHIP AN1267

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

Author: Brant Ivey
Microchip Technology Inc.

For many PIC devices, it also includes the clocking of logic necessary to resume operation from the Static



MICROCHIP AN1288

Design Practices for Low-Power External Oscillators

Author: Jonathan Dillon
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 be sufficient to stop oscillations. 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 Gain Control (AGC) 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

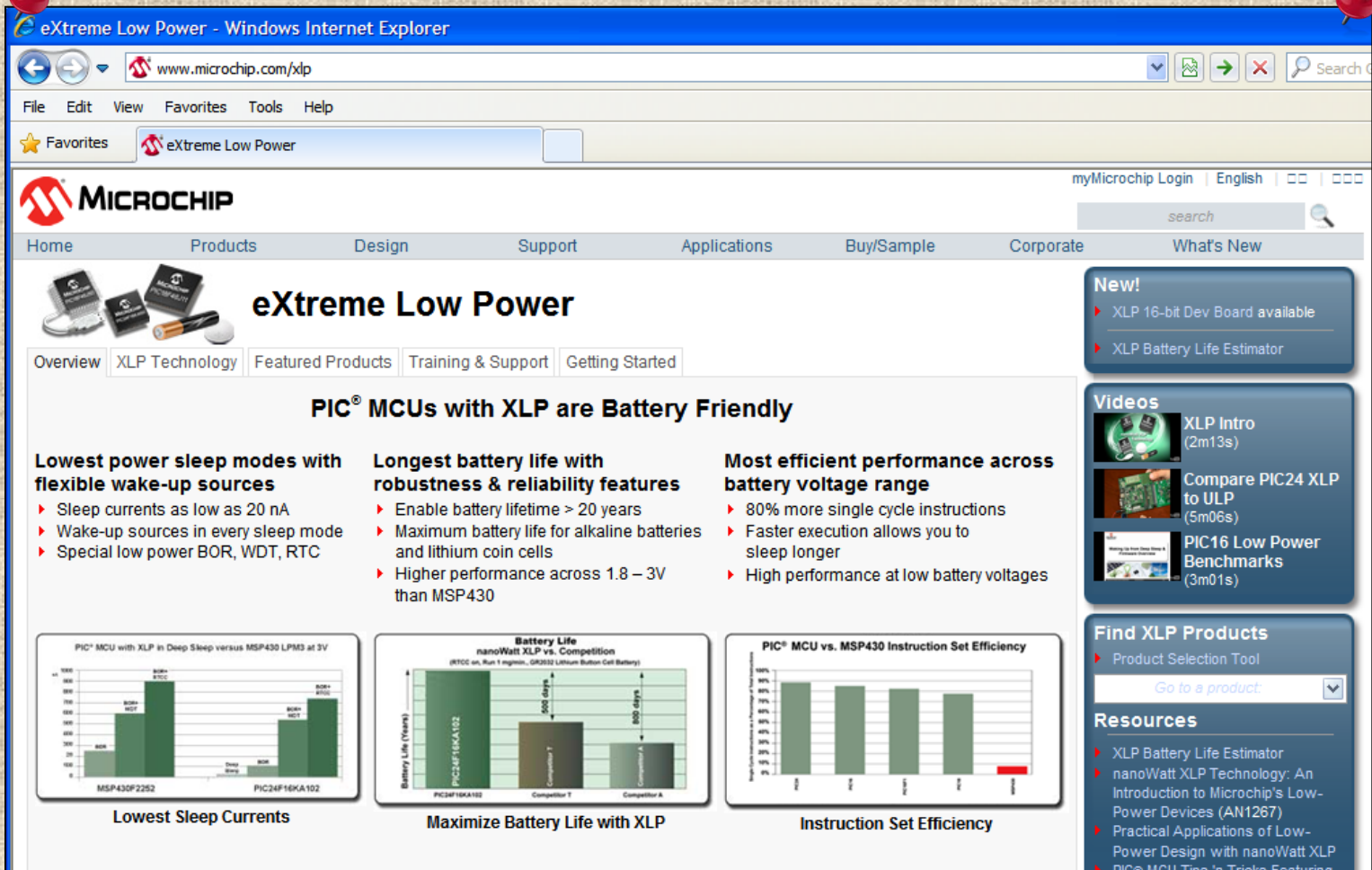
Table Of Contents

GENERAL LOW POWER TIPS 'N TRICKS	
TIP #1 Switching Off External Circuits/ Duty Cycle	2-2
TIP #2 Power Budgeting	2-3
TIP #3 Configuring Port Pins	2-4
TIP #4 Use High-Value Pull-Up Resistors	2-4
TIP #5 Reduce Operating Voltage	2-4
TIP #6 Use an External Source for CPU 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 smoke detectors, 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



eXtreme Low Power - Windows Internet Explorer

www.microchip.com/xlp

File Edit View Favorites Tools Help

★ Favorites eXtreme Low Power

MICROCHIP myMicrochip Login | English

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

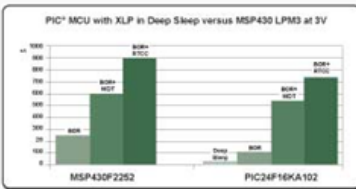
- ▶ Sleep currents as low as 20 nA
- ▶ Wake-up sources in every sleep mode
- ▶ Special low power BOR, WDT, RTC

Longest battery life with robustness & reliability features

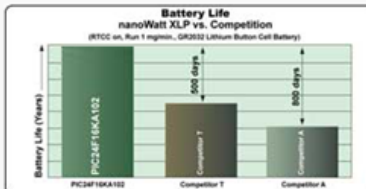
- ▶ Enable battery lifetime > 20 years
- ▶ Maximum battery life for alkaline batteries and lithium coin cells
- ▶ Higher performance across 1.8 – 3V than MSP430

Most efficient performance across battery voltage range

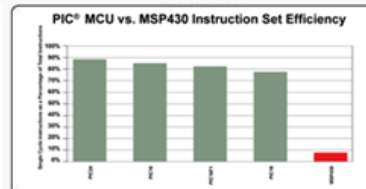
- ▶ 80% more single cycle instructions
- ▶ Faster execution allows you to sleep longer
- ▶ High performance at low battery voltages



Lowest Sleep Currents



Maximize Battery Life with XLP



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

想了解更多信息?

www.microchip.com/microsolutions



In This Issue...

1. MICROCHIP SETS NEW BENCHMARK FOR LOW-POWER MICROCONTROLLERS; SIGNIFICANTLY EXPANDS ENHANCED 8-BIT PIC® MCU PORTFOLIO
2. SYNCHRONOUS BOOST REGULATORS FROM MICROCHIP ENABLES LONGER-LASTING BATTERY APPLICATIONS
3. PRODUCT HIGHLIGHT: PIC32 WITH ENHANCE!
4. JOIN THE MICROCHIP COMMUNITY ON YOUR FAVORITE WEBSITE
5. **Non-Volatile, Quad Data:** INTRODUCING DUAL-BYTE SERIAL CONFIGURATION OF 5 MICROCONTROLLERS (MAX.)
6. **LOOKING FOR MORE RAM?**
7. **USB-to-UART PROTOCOL CONVERTER:** MEETS IT! LOOK TO ADD USB TO EXISTING SYSTEMS
8. **NEED LOW POWER ANALOG?**
9. **IMPLEMENTING I2C WITH THE PIC16F182X:** DIGITAL SIGNAL CONTROLLER
10. **FRANCE:** YOUR CODE: DRIVEN SOFTWARE ON PIC18 STARTER KIT
11. **INTERACT WITH MICROCHIP AT MCHP TALK**
12. **LOOKING TO ENHANCE YOUR ENHANCED CONTROL DESIGN?**
13. **MICROCHIP AROUND TOWN:** ESC SV 2010 - SPECIAL TRAINING
14. **MICROCHIP AROUND TOWN:** ESC SV 2010 - SPECIAL SESSIONS
15. **NEW TO MICROCHIP DIRECT**
16. **WHAT'S NEW IN MICROCHIP LITERATURE?**

eXtreme Low Power MCUs Maximize Battery Life

PIC® MCUs with XLP Technology



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 **PC™/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>

采用nanoWatt XLP技术的低功耗设计 总结

今天学到了什么？

- 低功耗应用的系统设计注意事项
- nanoWatt与nanoWatt XLP技术的区别
- 深度休眠的优势及何时使用
- 使能外设的低功耗特性
- 低功耗系统设计技巧与最佳实践
- 如何为您的应用选择最佳的nanoWatt器件
- 从何处获取更多信息！





MICROCHIP 2010

MASTERS Conference

谢谢!

商标

Microchip的名称和徽标组合、Microchip徽标、dsPIC、KeeLoq、KeeLoq徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、PIC³²徽标、rfPIC和UNI/O均为Microchip Technology Incorporated在美国和其他国家或地区的注册商标。

FilterLab、Hampshire、HI-TECH C、Linear Active Thermistor、MXDEV、MXLAB、SEEVAl和The Embedded Control Solutions Company均为Microchip Technology Incorporated在美国的注册商标。

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徽标、MPLIB、MPLINK、mTouch、Omniscient Code Generation、PICC、PICC-18、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、REAL ICE、rfLAB、Select Mode、Total Endurance、TSHARC、UniWinDriver、WiperLock和ZENA均为Microchip Technology Incorporated在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP是Microchip Technology Incorporated在美国的服务标记。
在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2010, Microchip Technology Incorporated. 版权所有。



MICROCHIP 2010

MASTERs Conference

附录

深度休眠 损益平衡时间推导 (AN1267)

- 休眠模式使用的电量 (掉电)

$$q_{PD} = \left(t_{PD} \times I_{PD} \right)$$

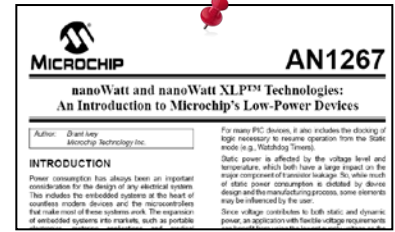
- 深度休眠 + POR期间使用的电量

$$q_{DS} = \left(t_{PD} \times I_{DS} \right) + \left(t_{INIT} \times I_{IDD} \right) + \left(t_{POR} \times I_{POR} \right)$$

- 求解 t_{PD} (POWERDOWN) 并设定其等于 t_{BE} (BREAKEVEN):

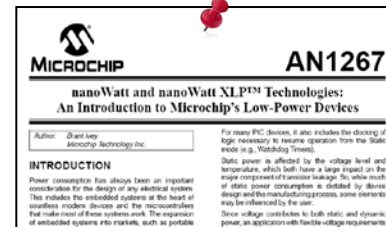
- 当 $t_{BE} = 0$, 即达到损益平衡时间
- 当 $t_{BE} > 0$, 使用休眠
- 当 $t_{BE} < 0$, 使用深度休眠

$$t_{BE} = t_{PD} = \frac{\left(t_{INIT} \times I_{IDD} \right) + \left(t_{POR} \times I_{POR} \right)}{\left(I_{PD} - I_{DS} \right)}$$





深度休眠 损益平衡时间推导 (AN1267)



$$q_{PD} = \left(t_{PD} \times I_{PD} \right)$$

$$q_{DS} = \left(t_{PD} \times I_{DS} \right) + \left(t_{INIT} \times I_{IDD} \right) + \left(t_{POR} \times I_{POR} \right)$$

$$q_{PD} = q_{DS}$$

$$\left(t_{PD} \times I_{PD} \right) = \left(t_{PD} \times I_{PDDS} \right) + \left(t_{INIT} \times I_{IDD} \right) + \left(t_{POR} \times I_{POR} \right)$$

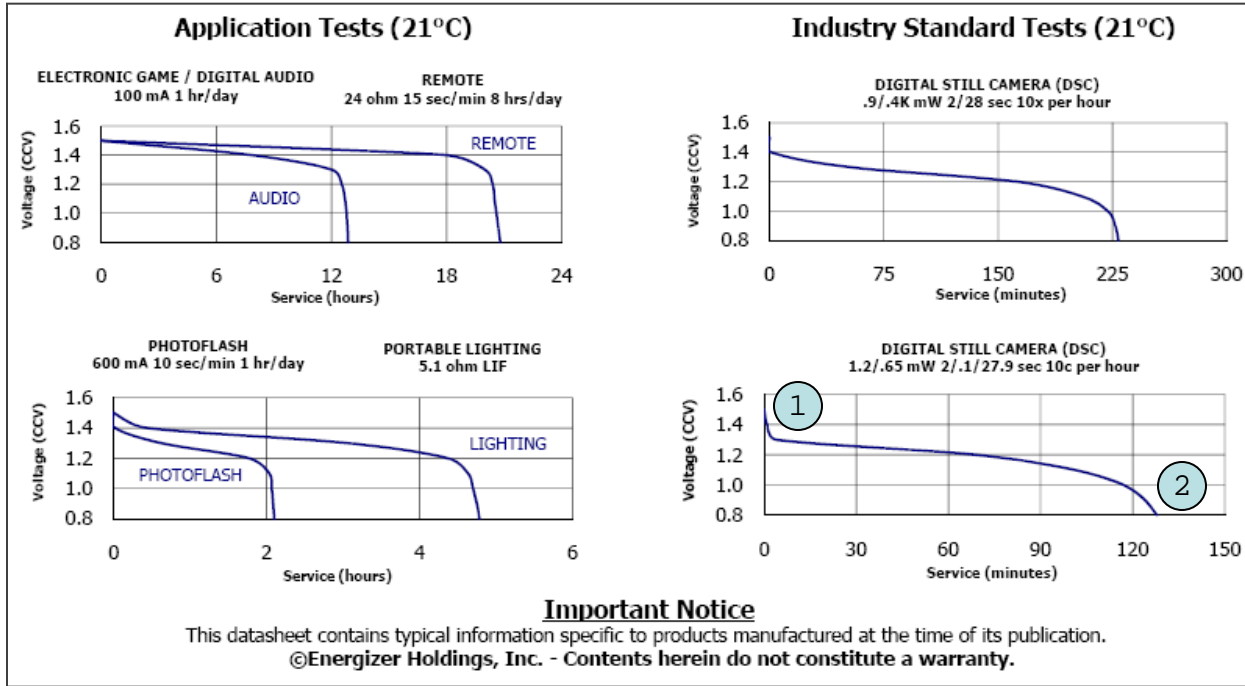
$$\left(t_{PD} \times I_{PD} \right) - \left(t_{PD} \times I_{PDDS} \right) = \left(t_{INIT} \times I_{IDD} \right) + \left(t_{POR} \times I_{POR} \right)$$

$$\left(t_{PD} \right) \times \left(I_{PD} - I_{PDDS} \right) = \left(t_{INIT} \times I_{IDD} \right) + \left(t_{POR} \times I_{POR} \right)$$

$$t_{BE} = t_{PD} = \frac{\left(t_{INIT} \times I_{IDD} \right) + \left(t_{POR} \times I_{POR} \right)}{\left(I_{PD} - I_{DS} \right)}$$

系统注意事项

AAA 锂电池



Specifications		AAA
Classification:	"Cylindrical Lithium"	
Chemical System:	Lithium/Iron Disulfide (Li/FeS ₂)	
Designation:	ANSI 24-LF, IEC-FR03	
Nominal Voltage:	1.5 Volts	
Storage Temp:	-40°C to 60°C (-40°F to 140°F)	
Operating Temp:	-40°C to 60°C (-40°F to 140°F)	
Typical Weight:	7.6 grams (0.3 oz.)	
Typical Volume:	3.8 cubic centimeters (0.2 cubic inch)	
Max Discharge:	1.5 Amps Continuous	
(single battery only)	2.0 Amps Pulse (2 sec on / 8 sec off)	
Max Rev Current:	2 uA	
Typical Li Content:	0.5 grams (0.02 oz.)	
Typical IR:	90 to 150 milliohms*	
Shelf Life:	15 years at 21°C (90% of rated capacity)	

- 对于运行在室温下（20-25°C）的典型锂电池应用：

- MCU需工作在3V及以下（2 x 1.5V）{图中1}
- 使电池寿命最长意味着可以运行在1.8V以下（2 x 0.9V）{图中2}
- 电池寿命最长= 1.8 – 3.0V工作范围内的安全操作