



C10L03 LPC

利用PIC[®] MCU创建低功耗应用

课程目标

- 完成本课程后，您将知道：
 - 设计最佳的低功耗应用
 - 什么是nanoWatt XLP技术
 - 如何使用PIC[®] MCU上所具备的低功耗特性
 - 许多降低应用功耗的技巧和诀窍

课程安排

- 低功耗应用入门
- **nanoWatt和nanoWatt XLP技术简介**
- **PIC[®] MCU低功耗模式**
- **实现低功耗的技巧和诀窍**
- **演示**

低功耗应用入门

什么是低功耗？

- 电池供电应用
 - 工作周期最短
 - 休眠电流最小
- 电源供电应用
 - 高效执行
 - 动态功耗最低
 - 降低时钟速度



什么是低功耗？ 功耗类型

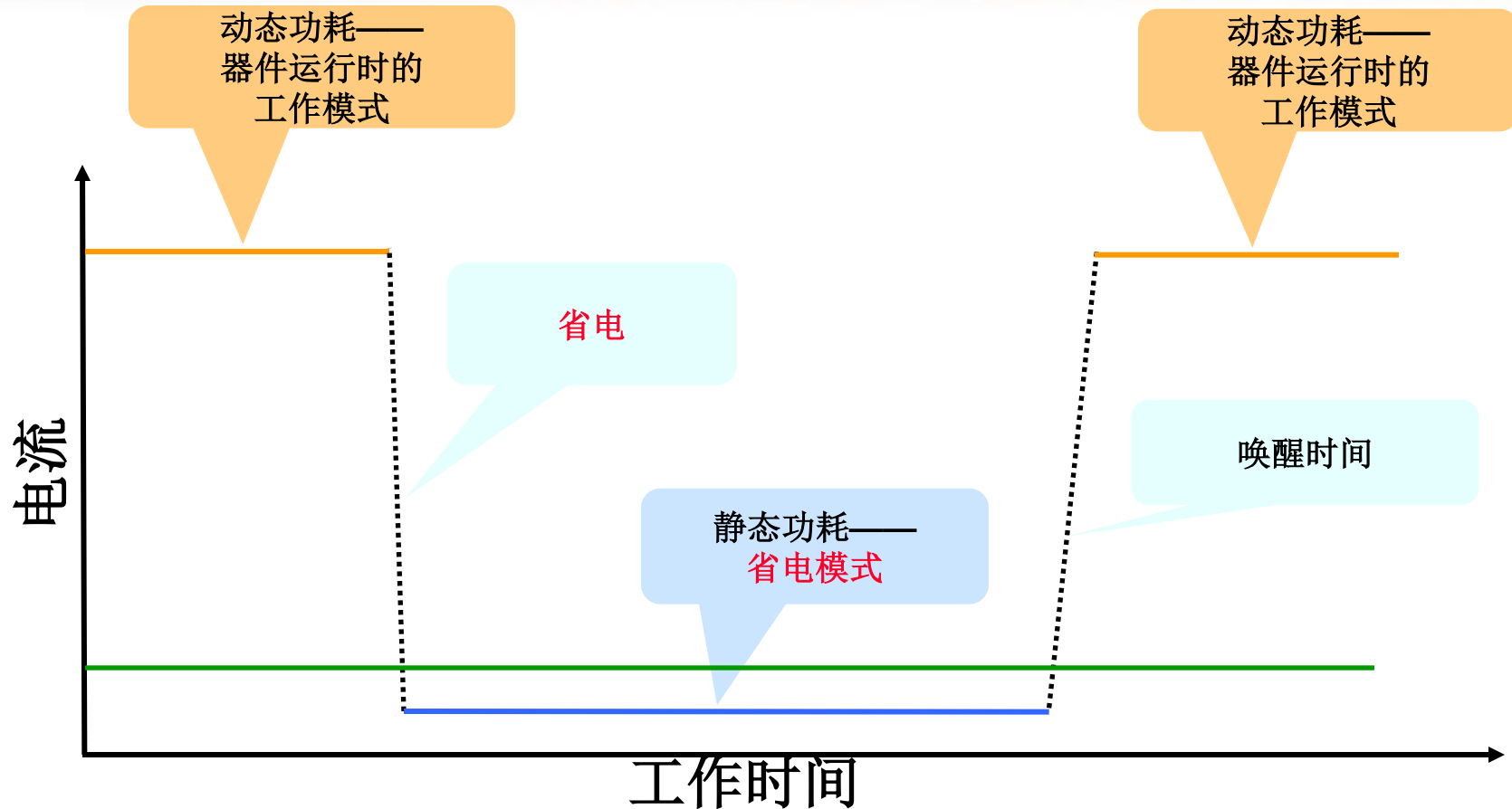
□ 动态功耗

- 电路工作且时钟运行时的功耗

□ 静态功耗

- **VDD**给电路供电时的功耗
- 无论电路是否使用均会产生静态功耗

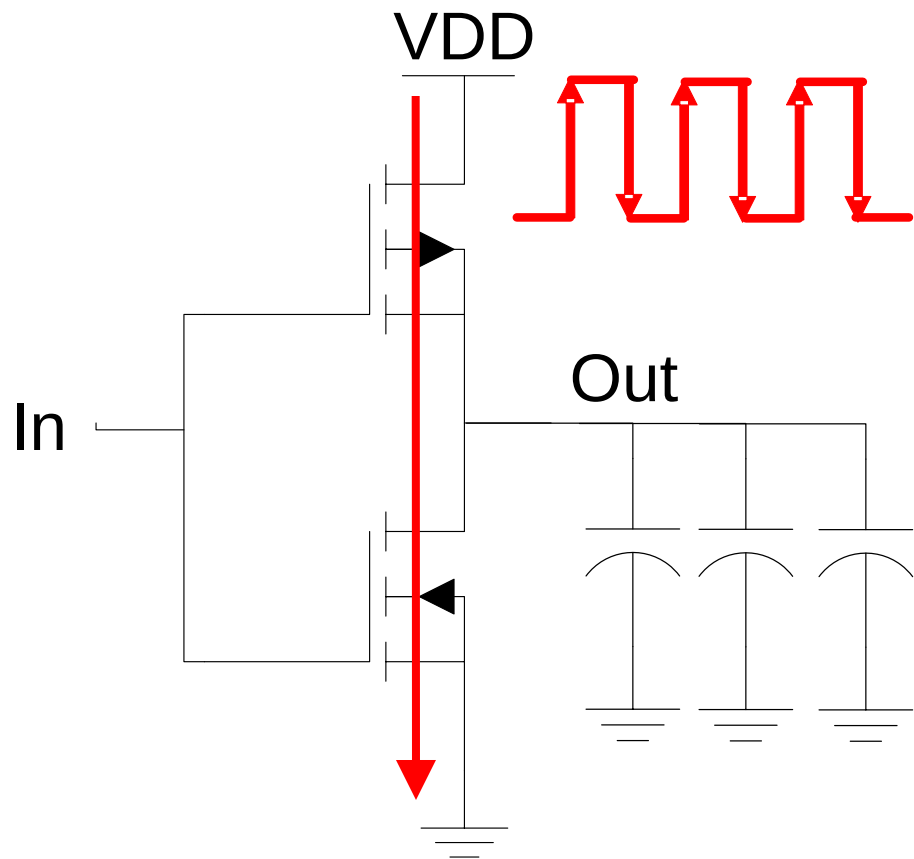
什么是低功耗？ 计算功耗



$$\text{平均电流} = \frac{I_{\text{工作}} \times t_{\text{工作}} + I_{\text{省电}} \times t_{\text{省电}}}{t_{\text{工作}} + t_{\text{省电}}}$$

什么是低功耗？ 动态功耗

- CMOS开关损耗
- 门电容
 - 时钟门控！



什么是低功耗？ 动态功耗

□ 可控因素

□ 电压

□ 速度

□ V和f影响开关电流和电容损耗

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

$$I = C V f$$

主要由芯片设计决定，外设也会造成部分影响

根据应用进行选择和控制

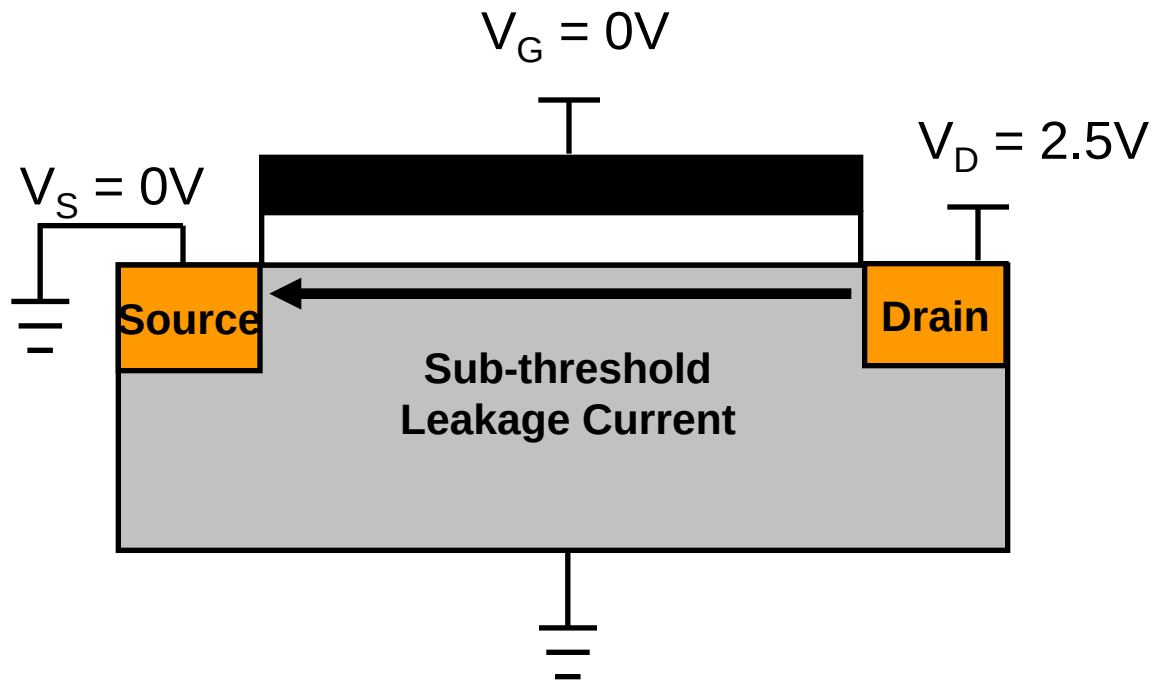
什么是低功耗？

静态功耗

- 由晶体管泄漏电流所致

- 受下列影响

- 工艺的
- 几何结构
- 电压
- 温度

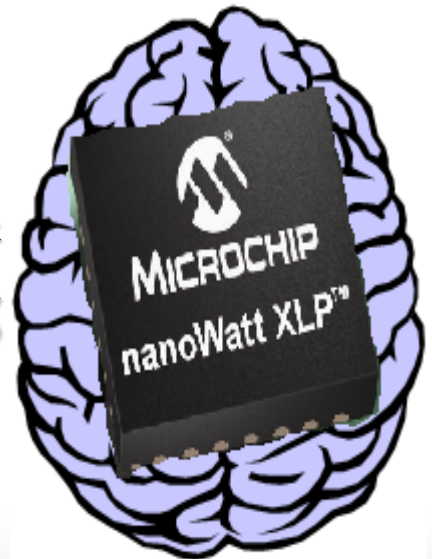


低功耗流程

1. 初始的应用决定与选择
2. 进行功耗测算
3. 降低最坏情况下的功耗

- ☐ 电源
- ☐ 元件
- ☐ 电路板设计
- ☐ 算法

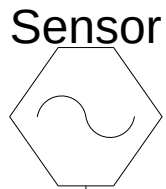
MCU就像
大脑控制着
应用许多部
分！



4. 评估功耗

应用范例

输入信号测量



Wakeup
Sources

指示何时进行测量或显示结果

32 kHz晶振、WDT和外部中断

PIC MCU

Storage or
Display

采样并处理数据

将输出写入存储单元

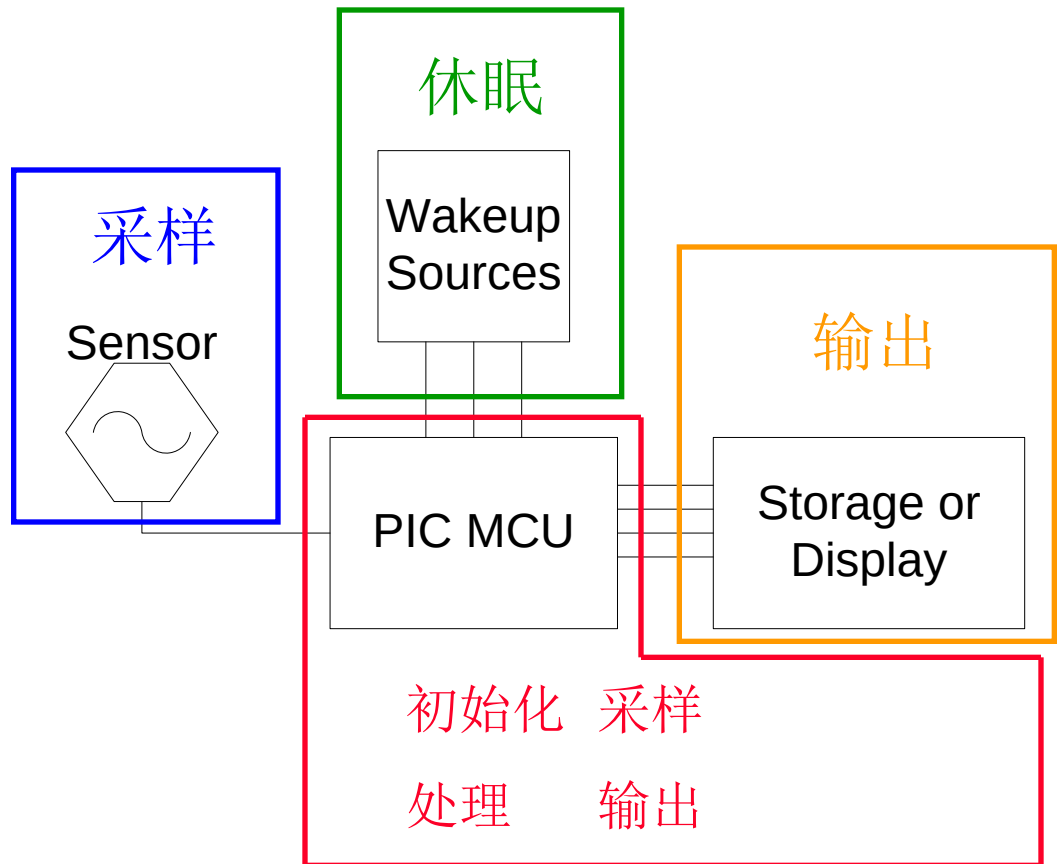
控制系统使电流最小

输出测量信号

EEPROM、LCD、RF、
USB和SD卡

示例应用的模式

- ☐ 初始化
- ☐ 采样
- ☐ 处理
- ☐ 输出
- ☐ 休眠



入门 功耗测算

模式	器件		电流 (uA)		时间 (mS)	电量 (uA*mS)
休眠	传感器	关	0	0.6	987	592.2
	MCU	休眠	0.1			
	唤醒	开	0.5			
	存储	关	0			
初始化	传感器	关	0	100	1	100
	MCU	运行	100			
	唤醒	关	0			
	存储	关	0			
采样	传感器	开	2000	2100	1	2100
	MCU	运行	100			
	唤醒	关	0			
	存储	关	0			
处理	传感器	关	0	100	1	100
	MCU	运行	100			
	唤醒	关	0			
	存储	关	0			
输出	传感器	关	0	2100	10	21000
	MCU	运行	100			
	唤醒	关	0			
	存储	开	2000			

1. 计算平均电流

$$\text{Average Current} = \frac{\text{Total Charge}}{\text{Total Time}} = \frac{23,892 \text{ uA} \cdot \text{mS}}{1000 \text{ mS}} = 23.89 \text{ uA}$$

2. 注意峰值电流

$$\text{Peak Current} = 2.1 \text{ mA}$$

3. 确定最坏情况

演示——nanoWatt XLP技术 电池寿命估算器

- 寻找可改善的项目
 - 降低稳压器输出电压
 - 更高效率的稳压器
- 选择正确的电池！
 - 了解化学权衡
 - 脉冲和恒定电流的限制

入门 组件选择

- 不要只看数据手册
 - uA/MHz并不是全部
- 计算或测量应用任务所需的电流

MHz/周期的数值？
周期/指令的数值？

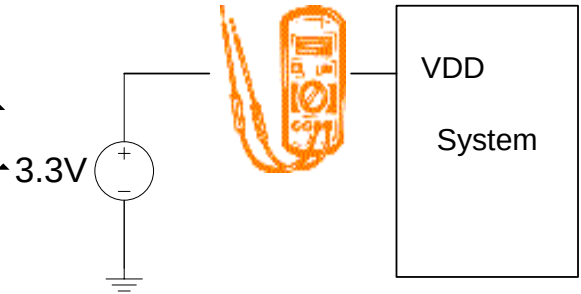
其他问题：

模拟精度是否下降了？
是否需要更多的外部组件？
部件之间的差异是否严重？

入门 测量功耗

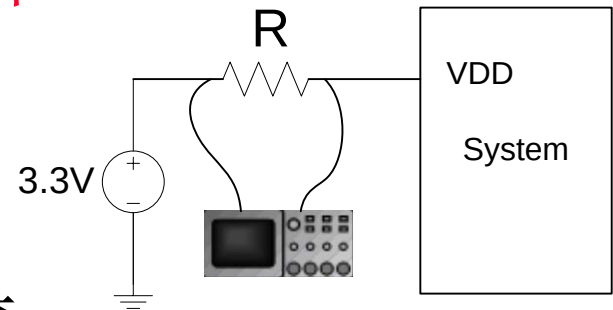
□ 万用表

- 手持式万用表精度的最小值一般为~0.1 μA
- 只显示平均值，不显示尖峰



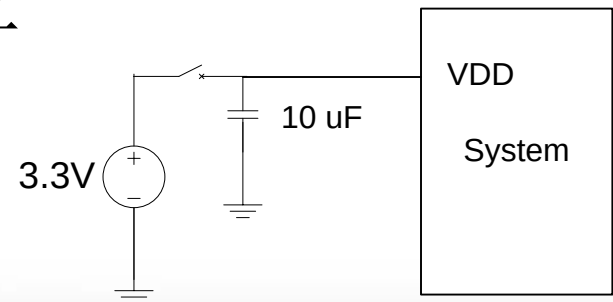
□ VDD分流电阻

- R值可根据电流而改变
- R值太大可能导致欠压复位



□ VDD电容放电

- 有助于测量非常低的电流



PIC[®] MCU的低功耗特性

重要的MCU功耗特性

- 灵活性
 - 多种时钟选项
 - 用于低功耗模式的多种外设和唤醒源配置选项
- 低功耗振荡器
 - 用于保持WDT、Timer1和RTCC的时序
- 低数字输入泄漏电流
- 适当的唤醒时间

nanoWatt和nanoWatt XLP技术

- 满足超低功耗需求的nanoWatt XLP技术
 - 休眠电流 $< 100 \text{ nA}$
 - RTCC/Timer1 $< 800 \text{ nA}$
 - WDT $< 800 \text{ nA}$
- nanoWatt XLP技术特性
 - 深度休眠
 - 低输入泄漏电流
 - 低功耗欠压复位
 - 超低功耗唤醒
 - 双速启动

具有nanoWatt XLP技术的器件

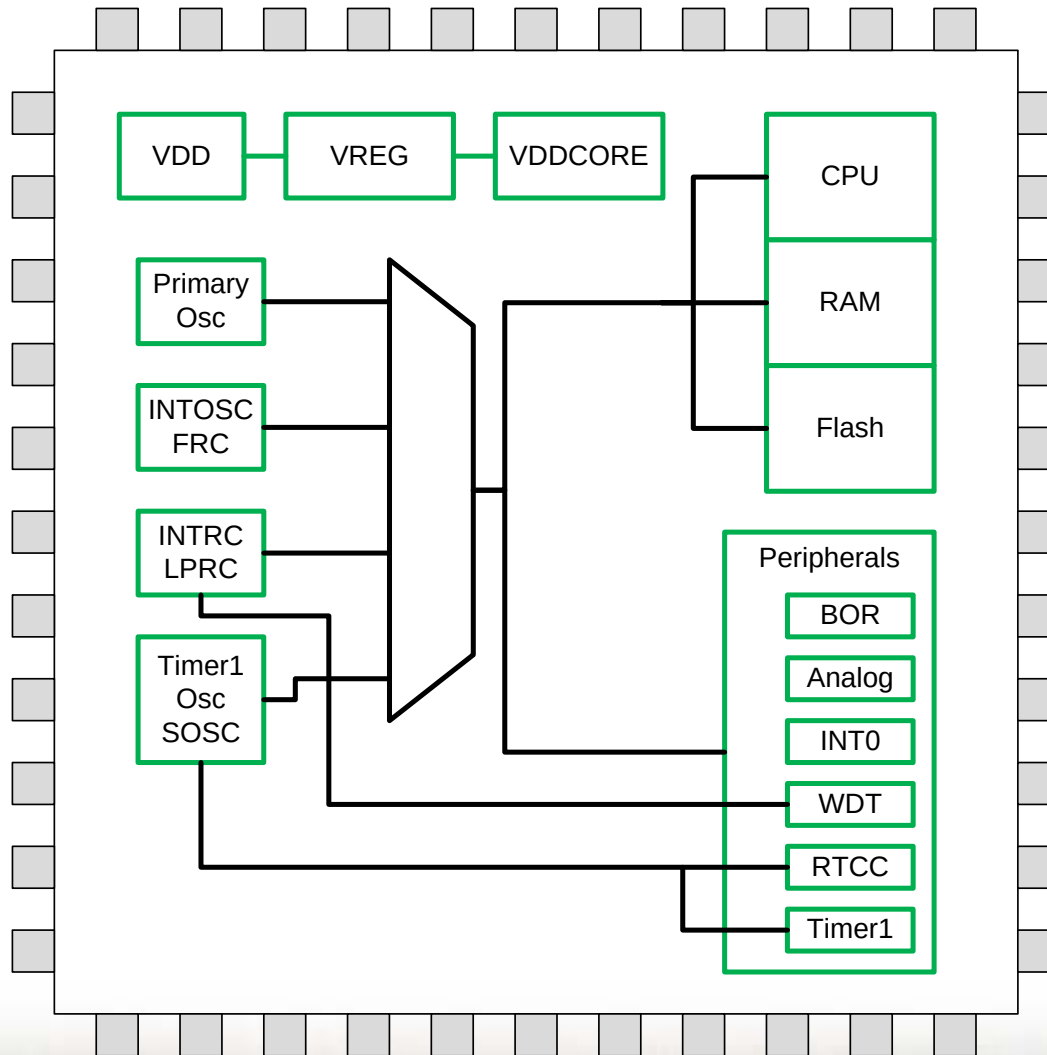
	PIC16LF72X	PIC18F46K20	PIC18(L)F46J11	PIC16LF193X	PIC18LF14K50	PIC24F16KA102	Atmel ATmega48/88/ 168/328P	MSP430F21X1/ MSP430F21X2/ MSP430F22X2/4
深度休眠 (nA)	-	-	13*	-	-	20	-	-
休眠 (nA)	20	100	54*	60	24	25	100	100
WDT (nA)	500	500	830	500	450	420	4200	300-700
32 kHz Osc/RTC (nA)	600	500	820	600	790	520	800	700
I/O端口泄漏电流 (nA)	5	5	5	50	5	50	1000	50
1 MHz下工作电流 (uA)	110	300	272	150	170	195	300	200-270
VDD最小值	1.8	1.8	2	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8

所有数据均来自器件数据手册

PIC[®] MCU的低功耗特性

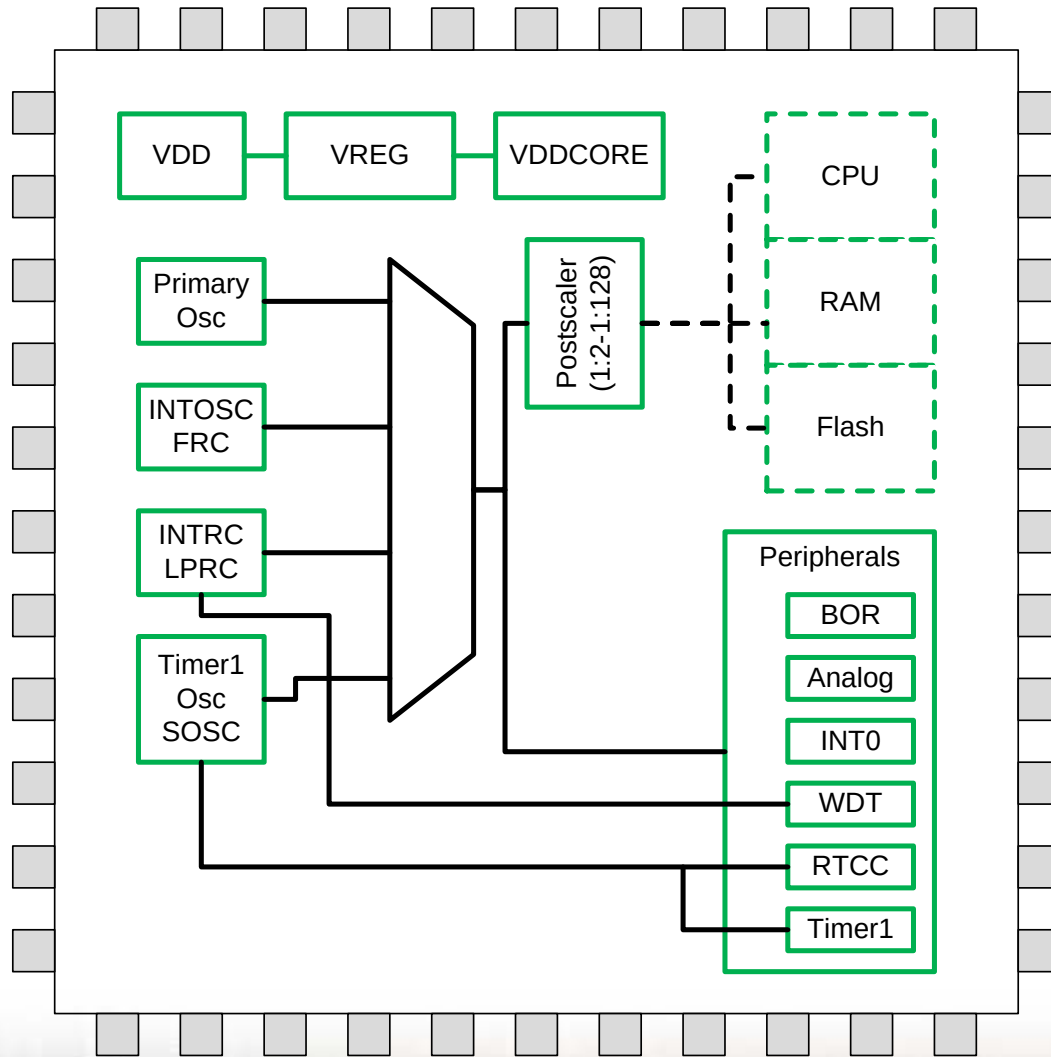
- 深入观察功耗管理特性
- 动态功耗模式
 - 打盹
 - 空闲
 - 时钟切换
- 静态功耗模式
 - 休眠
 - 深度休眠

运行模式



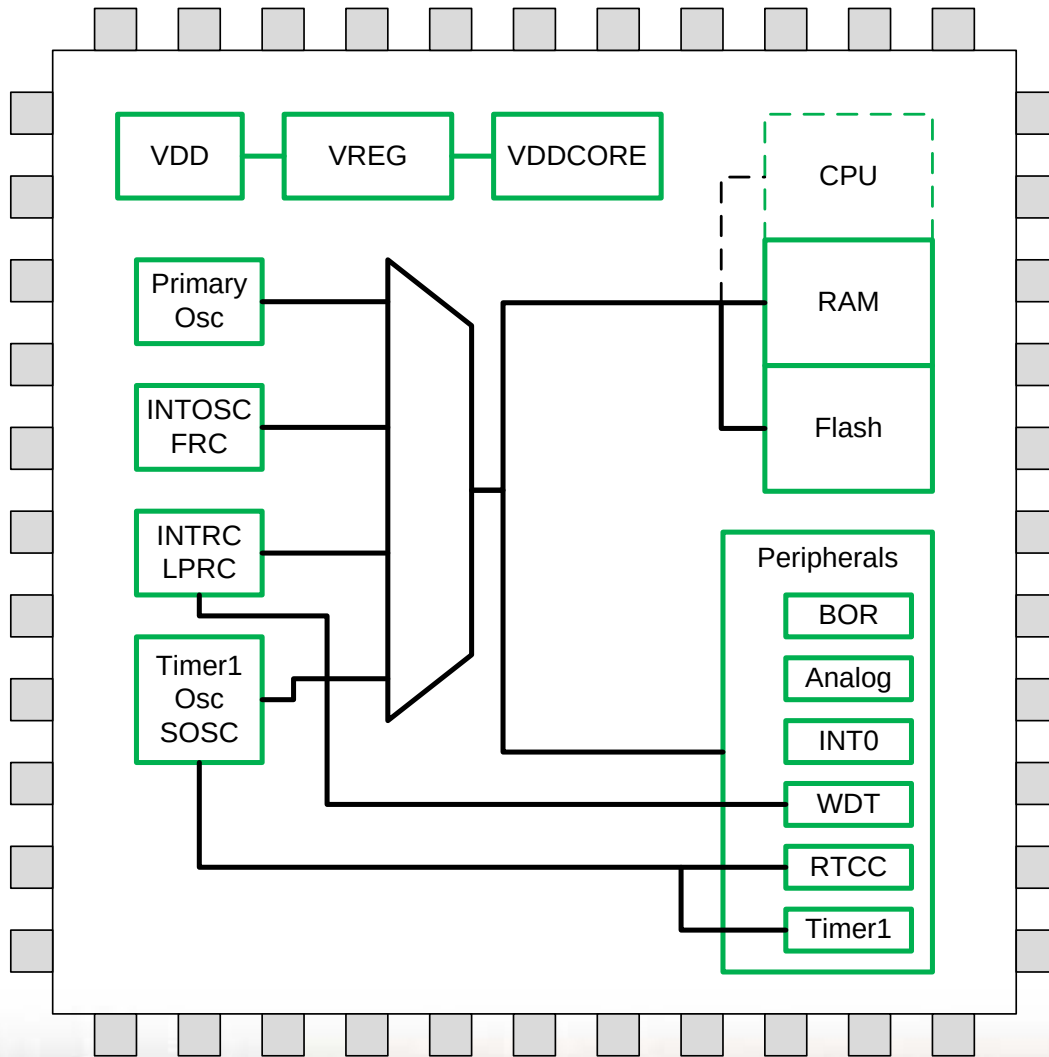
打盹模式

电流为运行
模式时的**35-75%**



空闲模式

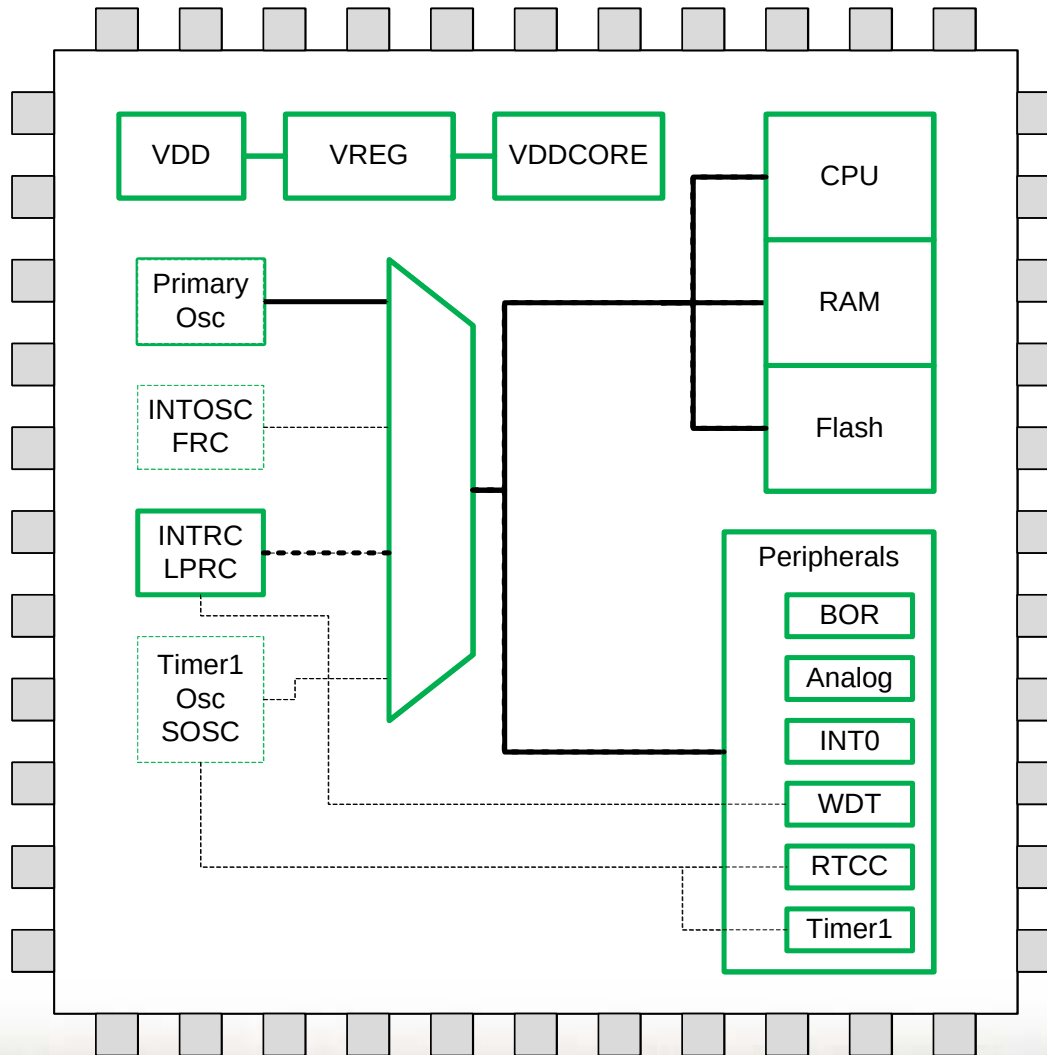
□ 电流为运行模式时的
25%



空闲和打盹模式

- 何时应使用空闲/打盹模式？
 - 取代while(!Interrupt)循环
 - 功耗下降的时间短且要求非常快速地唤醒（~1个指令周期）
 - 执行DMA传输
- 示例应用
 - 电表——在降低功耗的同时持续测量和通信

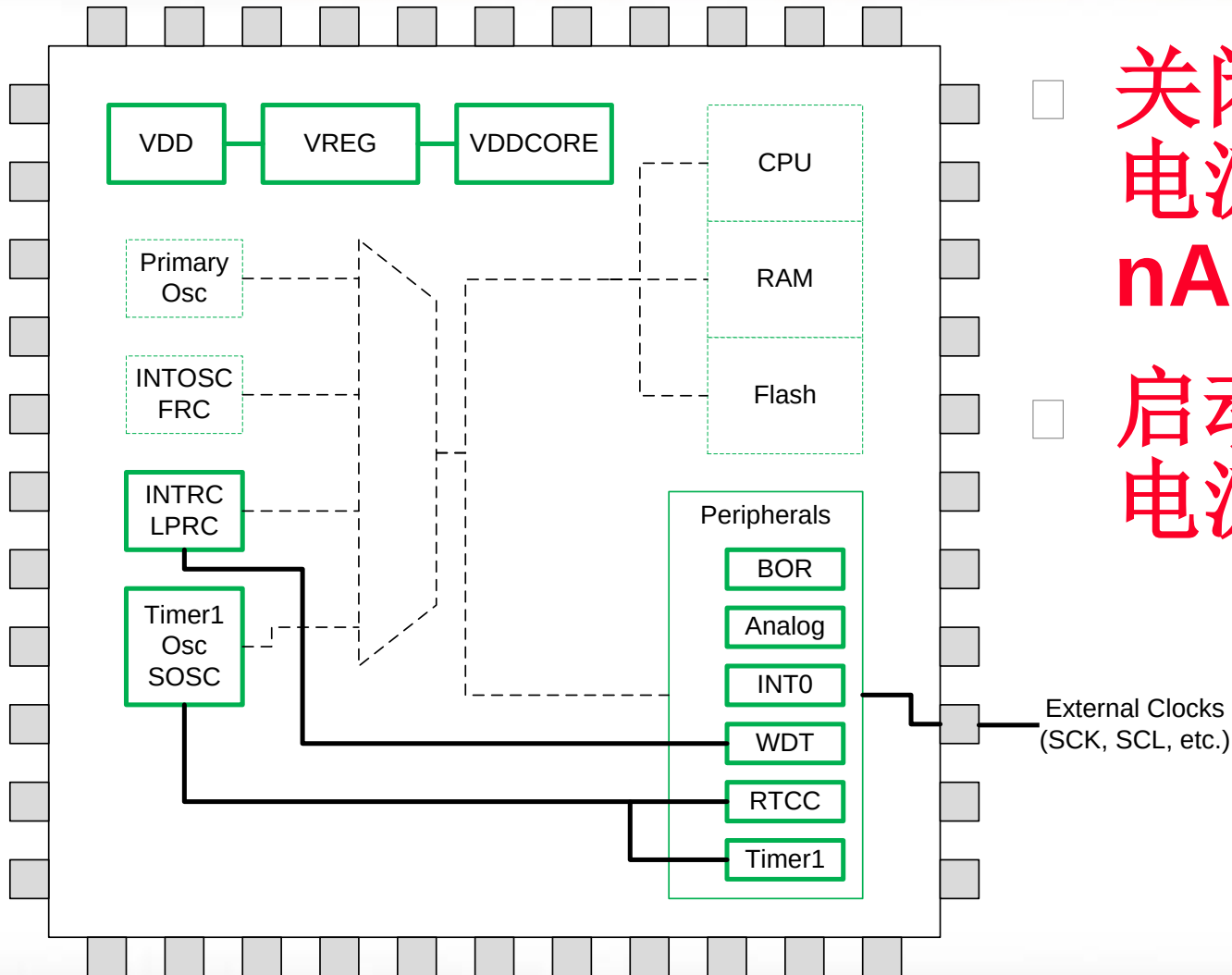
时钟切换



时钟切换

- 较慢的时钟比空闲/打盹模式更能节省功耗
- 用于带**PLL**的快速启动
- 在等待无高速外设的事件时使用
 - 模拟外设
- 应用范例
 - 低采样速率计量

休眠模式



关闭稳压器的
电流为**50-100
nA**

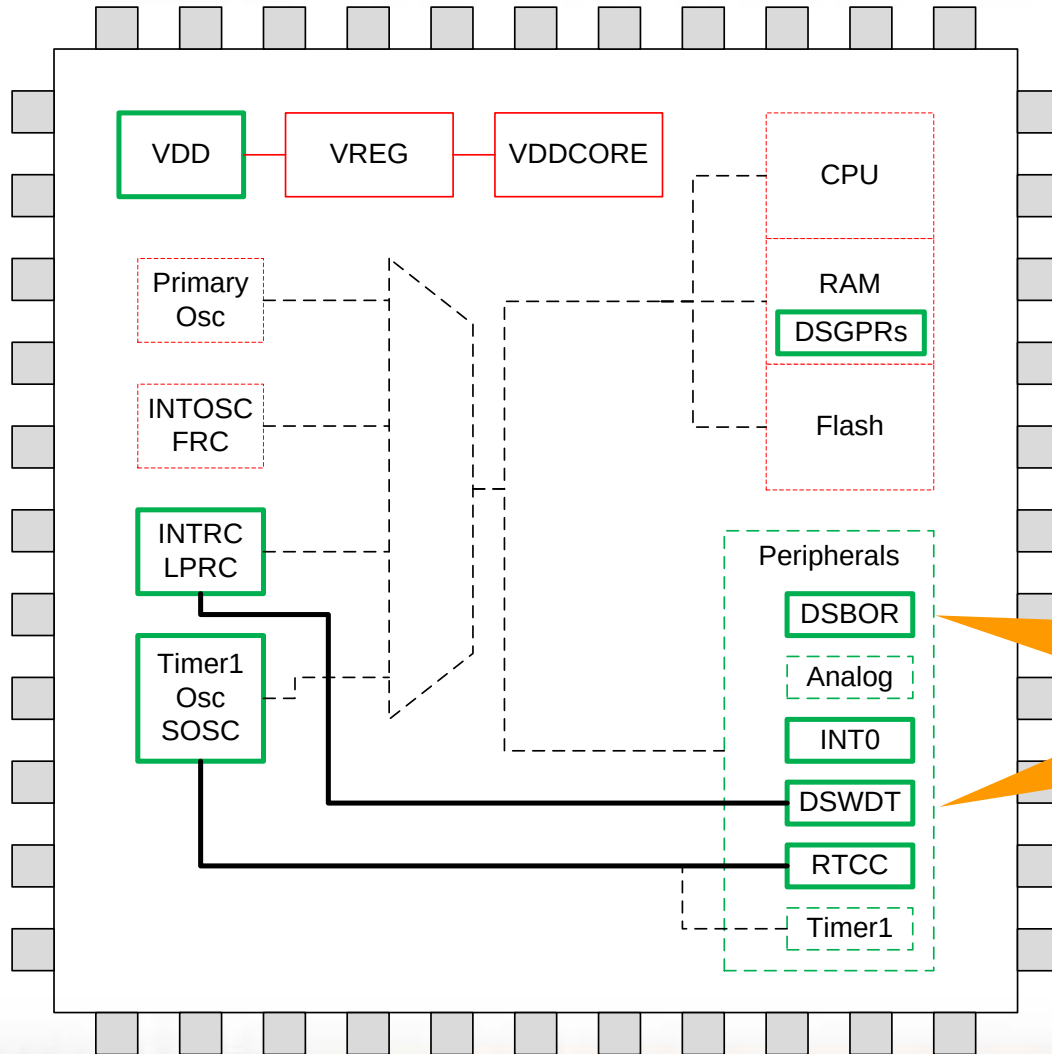
启动稳压器的
电流为**3-5 uA**

休眠模式

- 休眠模式是最常用的低功耗模式
 - 不丢失任何数据或功能
 - 快速唤醒
 - 节能功能显著
- 可用于大多数应用
 - MCU随时处于等待事件状态

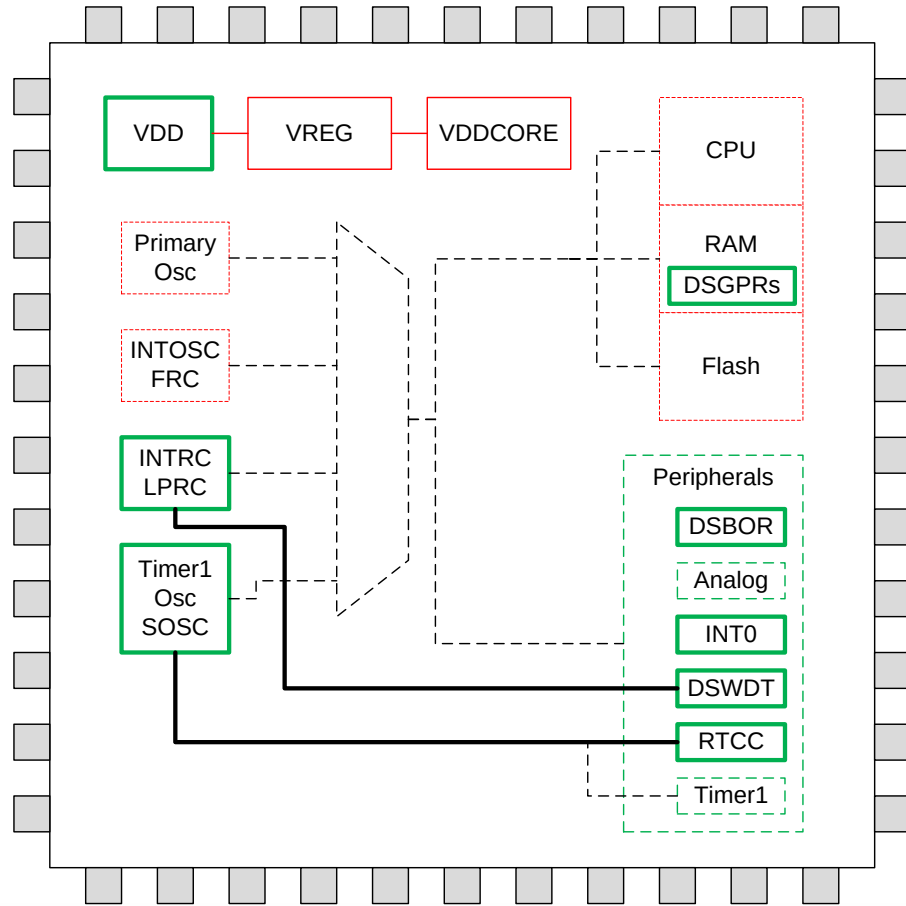
深度休眠模式

□ **<50 nA**



深度休眠专
用的低功耗
模块

深度休眠模式



- 节省内核功耗，从而丢失**RAM**、**SFR**和程序计数器中的数据
- 唤醒引起上电复位
- 维持原有**I/O**引脚状态

深度休眠模式

- **DPSLP**需要重新初始化
- 何时应使用**DPSLP**?

DPSLP的额外开销

$$T_{\text{Breakeven}} = \frac{T_{\text{POR}} \times I_{\text{POR}} + T_{\text{Init}} \times I_{\text{Init}}}{I_{\text{Sleep}} - I_{\text{DS}}}$$

受益于DPSLP 的电流
减小

- **省**电时间越长，**DPSLP**的节能效果越显**著**

深度休眠模式

□ 应用范例

□ 手持式医疗设备

- 温度计、紧急医疗报警器和血糖监测仪
- 人工采集
- 无需保留**RAM**中的数据

节能模式总结

模式	工作时钟	工作外设	唤醒源	典型电流值	典型用途
深度休眠	Timer1/SOSC INTRC/LPRC	RTCC DSWDT DSBOR INT0	RTCC DSWDT DSBOR INT0 MCLR	< 50 nA	长期由电池供电的应用； 长时间处于休眠状态的应用
休眠	Timer1/SOSC INTRC/LPRC A/D RC	RTCC WDT BOR HLVD 比较器 Timer1 INTx ADC CVREF	所有的器件唤醒源， 详情请参见器件数据手册	50-100 nA 3-5 uA（带内部稳压器）	大多数低功耗应用
空闲	外设时钟 Timer1/SOSC INTRC/LPRC A/D RC	所有外设	所有的器件唤醒源， 详情请参见器件数据手册	电流为运行模式时的25%	器件随时处于等待事件状态
打盹	所有时钟	所有外设	所有的器件唤醒源， 或者通过软件唤醒	电流为运行模式时的35-75%	具有高速外设且对CPU使用要求较低的应用
运行	所有时钟	所有外设	无	参见数据手册	常规操作

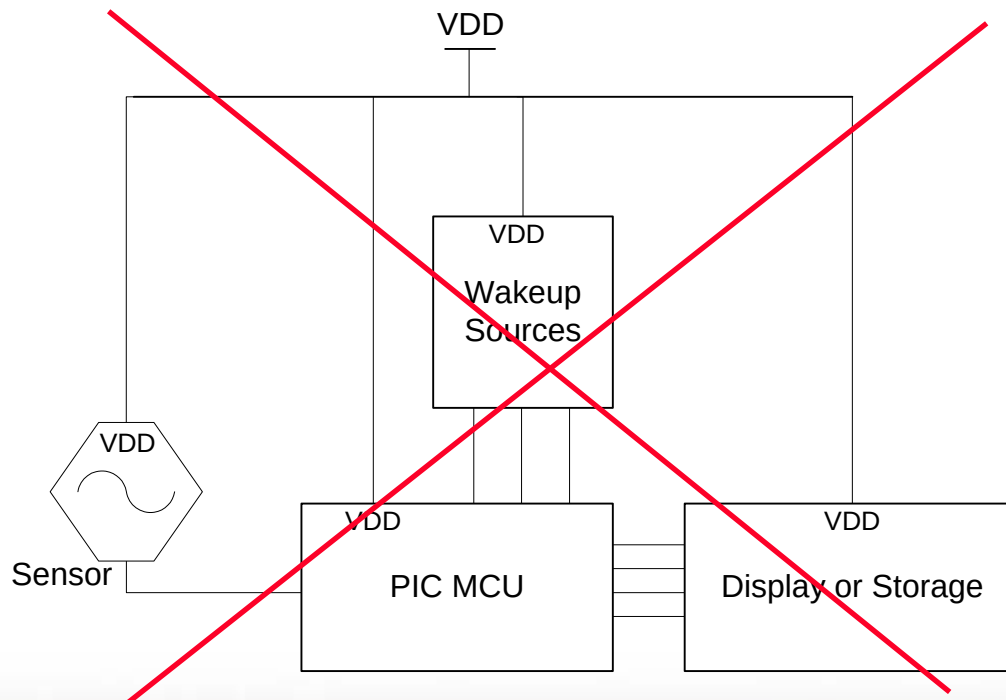
其他节能特性

- ☐ **DMA/FIFO**
- ☐ **双速启动**
- ☐ **超低功耗唤醒 (ULPWU)**
- ☐ **WDT/DSWDT**
- ☐ **BOR/DSBOR**
- ☐ **外设模块禁止位 (PMD)**

PIC[®] MCU低功耗 技巧和诀窍

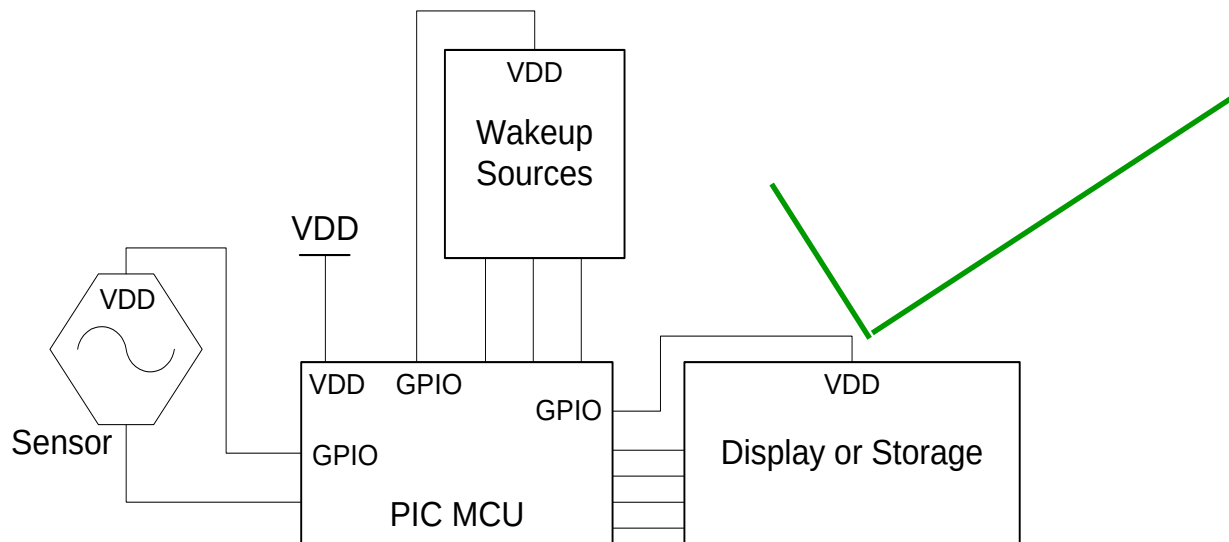
技巧1: 外部电路功耗控制

- 所有电路始终处于供电状态
- 必须依靠各自的待机模式



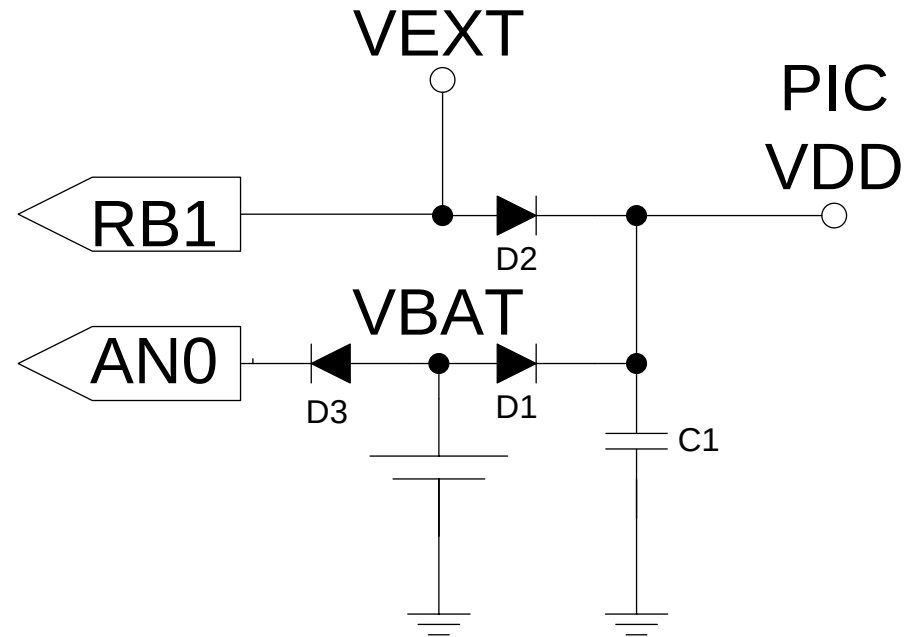
技巧1: 外部电路功耗控制

- **PIC® MCU用I/O引脚来控制模块功耗**
- **FET可用于大电流电路或差分电压**



技巧2： 电池备份

- 由二极管组成的简单或（OR）电路，可用于备用电池
- 模拟输入用于测量电池电压
- 数字输入用于检测外部电源



技巧3：悬空I/O引脚

悬空引脚数	较坏的情形	最坏的情形
悬空1个引脚	35 uA	0.5 mA
悬空2个引脚	65 uA	1 mA
悬空10个引脚	305 uA	5 mA

- 不要悬空输入引脚
 - 将未使用的GPIO引脚设为输出
 - 将引脚上拉或下拉

技巧4：降低电压

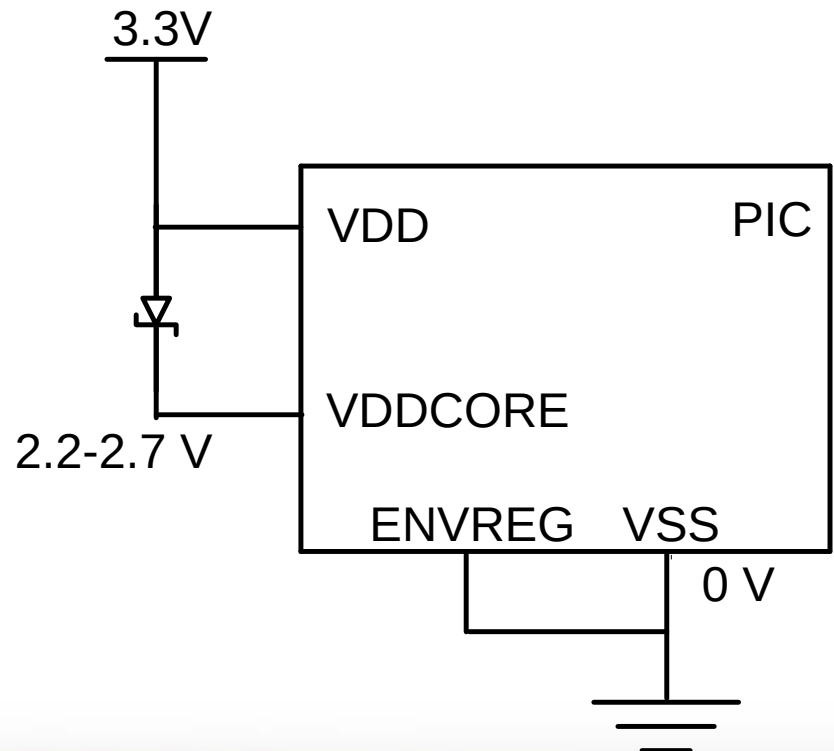
- 系统电压降低影响动态和静态电流
- 使用低压差稳压器
- 通过二极管降低电压
- IC的工作电压范围
 - 3V器件的工作电压低至~2V
 - 5V器件的工作电压低至~3V

技巧5: 禁止内部稳压器

- **VREG**消耗更多静态电流
- 降低**VDDCORE**以减少动态电流

V _{DD}	V _{DDCORE}	I _{PD}	VREG
3.3V	2.5V	3.5 μ A	开
3.3V	2.5V	0.3 μ A	关
3.3V	2.0V	0.2 μ A	关

V _{DD}	V _{DDCORE}	I _{DD}	VREG
3.3V	2.5V	3.6 mA	开
3.3V	2.0V	2.2 mA	关



技巧6：避免过度使用RAM

□ 访问RAM和SFR 所需功耗大于使用 NOP

- 在某些部分插入
NOP以降低平均
功耗

高功耗： 19.1 mA

```
while(!_T1IF) i++;
```

低功耗： 16.4 mA

```
while(!_T1IF){  
    i++;  
    Nop();  
    Nop();  
    Nop();  
    Nop();  
    Nop();  
}
```

其他技巧

- 按鍵使用内部上拉电阻
 - 检测到信号之后可禁止内部上拉电阻
- 使用大功率LED
 - 由低电流驱动的大功率LED仍清晰可见
 - CREE LC503FPG1系列

其他技巧

- 使用高阻抗的上拉电阻
- 使用低泄漏电流的电容
 - 钽电容的泄漏电流通常较大
 - 陶瓷电容的泄流电流最小
- 尽量少用旁路电容
- 引线短 = 阻抗低

演示

开发工具

- 本课程所使用的工具
 - 带16位单片机PIC24F16KA102 的 nanoWatt XLP 演示板
- 其他可用工具
 - PIC18F4XK20低功耗入门工具包
 - 用于Explorer 16的PIC24F16KA102 PIM
 - 用于PICDEM HPC Explorer的 PIC18F46J11 PIM

资源

- **www.microchip.com/XLP**
 - 低功耗应用笔记，如：
AN1267 – nanoWatt XLP Technology Intro
 - 技巧与诀窍（第2章）——低功耗技巧与诀窍
- 区域培训中心
- 电池制造商信息
 - www.data.energizer.com
 - www.panasonic.com/industrial/battery

总结

- 今天我们讨论了：
 - 最佳的低功耗应用
 - 什么是nanoWatt XLP技术？
 - PIC[®] MCU低功耗模式
 - PIC低功耗的技巧与诀窍
 - 低功耗技术演示

问题



商标

Microchip的名称和徽标组合、Microchip徽标、dsPIC、KeeLog、KeeLog徽标、MPLAB、PIC、PICmicro、PICSTART、rfPIC和UNI/O均为Microchip Technology Inc.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、SEEEVAL和The Embedded Control Solutions Company 均为Microchip Technology Inc.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、Octopus、Omniscient Code Generation、PICC、PICC-18、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICKtail、PIC32徽标、REAL ICE、rfLAB、Select Mode、Total Endurance、TSHARC、UniWinDriver、WiperLock和ZENA均为Microchip Technology Inc.在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP是Microchip Technology Inc.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。

© 2009, Microchip Technology Inc.版权所有。