

如何测量 MSP430 的功耗？

作者 Lina Lian 发表于 2013-6-25 22:15

http://www.deyisupport.com/question_answer/microcontrollers/msp430/f/55/t/24347.aspx

众所周知，MSP430 以其超低功耗而著称。但是很多用户反应，在实际应用中，测量 MSP430 的功耗时，测量结果和 MSP430 数据手册相差甚远。其实这里主要涉及到两方面的内容：

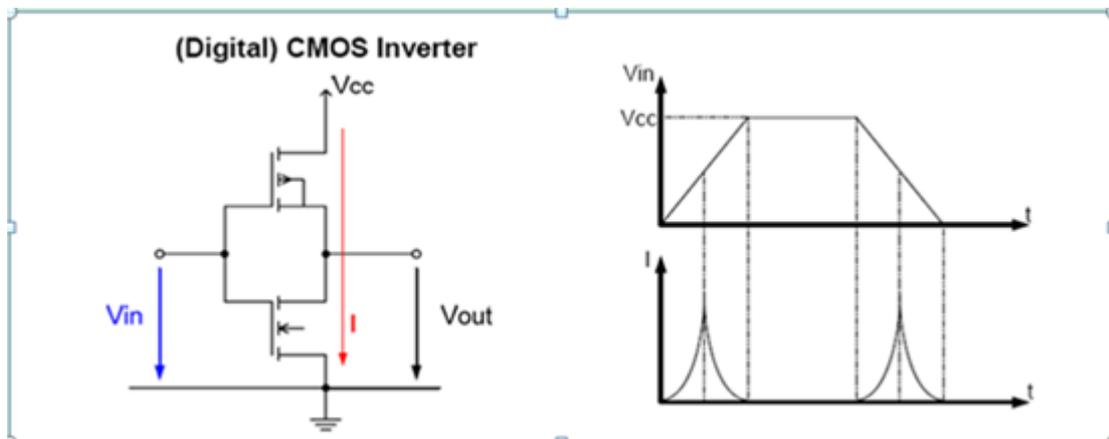
1. 如何使用 MSP430 合理的设计硬件和软件，使整个应用最大限度的达到低功耗？
2. 如何测量 MSP430 的功耗？

就如何测量 MSP430 功耗，我来分享一下我个人的经验。

一、未使用的 GPIO 的处理

为了使 MSP430 最大限度的达到低功耗，对于 MSP430 未使用的 GPIO 而言，应该将其设置为输出；或者是设置为输入，但是将管脚的电平固定，可以通过外部电路将管脚连接至 V_{CC} 或者 GND，也可使能内部上下拉电阻，将管脚电平固定。

对于 MSP430 而言，大部分情况下，测量到的功耗与 datasheet 不符均是由对 MSP430 未使用的 GPIO 处理不当引起的。默认情况下，MSP430 的 GPIO 是作为输入的，其等效电路如下图所示，为推挽模式：



当 GPIO 管脚配置为输入管脚且外部电平处于浮动状态时 ($0 < V_{in} < V_{CC}$)，那么内部的 MOSFETs 管的导通电流本身就处于一个不稳定的值，会导致整体功耗的升高，示意图见上图右半边。另外过高或过低的温度更会加剧这种不稳定，且当供电电压升高时，本身 MOSFETs 管的导通电流也会变大。故在高压和低温双重作用下，就会出现功耗攀升现象。

二、前提条件的确定

MSP430数据手册各种模式下功耗的提供，均注明了相关的前提条件的，具体包括：测量温度，供电电压，系统时钟的时钟源，系统时钟的大小，CPU 主频，MSP430工作模式以及 active 的模块（例如 Brownout: BOR, WDT）等。故要验证 MSP430在特定模式下的功耗时，一定要注意这些前提条件。

如果要与别家的 MCU 比较功耗时，切记一定要在相同的前提条件下比较才有意义。而 MSP430的 BOR 功能在7种 LPM mode 下均是打开的，且几乎是零功耗的。

三、测量 MSP430处于 LPM4/LPM3 mode 下的功耗

为了更准确的测量整个用户应用的功耗并且使得最大限度的降低整个应用的功耗，建议先对 MSP430处于 LPM4/LPM3模式下时，板子的整体功耗进行测量。在 LPM4, LPM3模式下，将 MSP430功耗与数据手册调至一致后，在此基础上，再进行其他情况下功耗的测量。

1. 低功耗测试程序的编写

a. LPM4 低功耗测试程序编写

LPM4低功耗测试程序的编写，建议参考 Wolverine [MSP430FR5969 LPM4 code example](#)，如下图所示，**注意事项主要有**：当作为输入时，将 GPIO 状态固定，不使其受外部浮动电平的影响。示例中，GPIO 设置为输入，但是使其内部下拉电阻将 GPIO 的状态固定了。当然也可以直接将 GPIO 配置为输出。另外，注意将不必要的模块均关掉，以避免不必要的功耗增加。例如：[MSP430FR5739](#)，在 LPM4下，记得将参考源 REF 关闭。

```
REFCTL0 |= REFTCOFF;
```

```
REFCTL0 &= ~REFON;
```

```

65 #include <msp430.h>
66
67 int main(void)
68 {
69     WDICTL = WDIPW | WDT HOLD;           // Stop WDT
70
71     P1DIR = 0;
72     P1OUT = 0;
73     P1REN = 0xFF;
74
75     P2DIR = 0;
76     P2OUT = 0;
77     P2REN = 0xFF;
78
79     P3DIR = 0;
80     P3OUT = 0;
81     P3REN = 0xFF;
82
83     P4DIR = 0;
84     P4OUT = 0;
85     P4REN = 0xFF;
86
87     PJDIR = 0xFFFF;
88     PJOUT = 0;
89
90     CSCTL0_H = 0xA5;
91     CSCTL1 = DCOFSEL_6;                 // Set max. DCO setting
92     CSCTL2 = SELM_DCOCLK + SELS_DCOCLK + SELA_VLOCLK; // set ACLK = VLO; MCLK = DCO
93     CSCTL3 = DIVA_1 | DIVS_1 | DIVM_1; // set all dividers
94
95     CSCTL4 = LFXIOFF | HFXIOFF;
96     CSCTL5 &= ~(LFXIOFFG | HFXIOFFG);
97
98     __bis_SR_register(LPM4_bits);
99     __no_operation();                 // For debugger
100 }

```

b. LPM3 低功耗测试程序编写

首先需要明白,对于 LPM3 mode 下功耗的测试,需要选定 ACLK 的时钟源,是内部 VLO 还是 LFX1。因为在 LPM3下, MSP430的系统时钟只有 ACLK 可用, MCLK 和 SMCLK 均不可用。而当 ACLK 的时钟源选择不同时, LPM3 mode 下, MSP430的功耗是不同的。以 MSP430G2553为例,其数据手册中写明, LPM3下, ACLK=LFX1时, 功耗约为0.7uA;而 LPM3下, ACLK=VLO 时, 功耗约为0.5uA。

		OSCOFF = 0					
$I_{LPM3,LFX1}$	Low-power mode 3 (LPM3) current ⁽⁴⁾	$f_{DCO} = f_{MCLK} = f_{SMCLK} = 0$ MHz, $f_{ACLK} = 32768$ Hz, CPUOFF = 1, SCG0 = 1, SCG1 = 1, OSCOFF = 0	25°C	2.2 V	0.7	1.5	μ A
$I_{LPM3,VLO}$	Low-power mode 3 current, (LPM3) ⁽⁴⁾	$f_{DCO} = f_{MCLK} = f_{SMCLK} = 0$ MHz, f_{ACLK} from internal LF oscillator (VLO), CPUOFF = 1, SCG0 = 1, SCG1 = 1, OSCOFF = 0	25°C	2.2 V	0.5	0.7	μ A
I_{LPM4}	Low-power mode 4 (LPM4) current ⁽⁵⁾	$f_{DCO} = f_{MCLK} = f_{SMCLK} = 0$ MHz, $f_{ACLK} = 0$ Hz, CPUOFF = 1, SCG0 = 1, SCG1 = 1, OSCOFF = 1	25°C	2.2 V	0.1	0.5	μ A
			85°C		0.8	1.7	

- (1) All inputs are tied to 0 V or to V_{CC} . Outputs do not source or sink any current.
- (2) The currents are characterized with a Micro Crystal CC4V-T1A SMD crystal with a load capacitance of 9 pF. The internal and external load capacitance is chosen to closely match the required 9 pF.
- (3) Current for brownout and WDT clocked by SMCLK included.
- (4) Current for brownout and WDT clocked by ACLK included.
- (5) Current for brownout included.

另外，在测量时，为确保程序成功跑到 LPM3 模式下。最好能够在进入 LPM3 之前有个指示，譬如让某个 LED 灯亮 0.5s 再灭掉。一定要记得进入 LPM3 时，灭掉 LED，因为一个 LED 灯亮，本身就很耗电的，有时会高达 2mA。而为什么要有指示呢？是因为当采用 LFXT1 作为 ACLK 时钟源时，在程序中需要 check LFXT1 是否成功起振，万一用户忘记焊 LFXT1，或者是低频晶体没有起振，那么就会导致程序一直处于 check flag，而不会进入 LPM3。在这些情况下，如果没有指示，当对功耗测量时，就会发现测量结果与数据手册上 LPM3 下的功耗不符。

另外，切记判断 LFXT1 是否起振，千万不要直接用示波器测量低频晶体的管脚，因为 LFXT1 本身是非常脆弱的，一旦外部有波动，就会停振。建议将 LFXT1 作为 ACLK 时钟源，然后将 ACLK 从对应管脚输出后，用示波器进行观察。

2. MSP430 低功耗的测量硬件注意事项

为保证功耗测试的准确性，请尽量少接外围电路，除非是想测量特定外设的功耗。如果使用 MSP430 value line 的 launchpad 进行测量时，记得将其 EMULATION 部分的 5 个跳线去掉，直接从板下端的 Vcc, GND 进行供电和功耗测量。因为如果不去掉的话，EMULATION 部分的电路也会耗电的。

如果硬件电路时用户自己设计的，测量 LPM3, LPM4 下面的功耗时，最好不要焊接 MSP430 相关的其他电路。如果已经焊接了的话，那么 MSP430 GPIO 的状态配置一定要根据外部硬件电路的设计来配置。如果功耗大于 MSP430 数据手册上处于 LPMx 的功耗的话，可以尝试更改 GPIO 的配置，来时系统功耗达到最低。

四. MSP430 功耗的测量

无论何种情况下，MSP430 的功耗测量，一定要注意前提条件。对想要测试的 MSP430 的工作状态进行规划，确定此时 MSP430 工作的供电电压，温度，主频，可用资源等，然后再测量。使用 Power Supply 输出固定电压给测试板，例如 3V。

1. 固定工作模式（固定功耗的测量）

如果用户程序的编写，MSP430 一直处于某种固定的模式下的话，即其功耗是固定的话，可以将**万用表调至测试电流档直接串联进入供电线路**，即可直接观察到此时电流值。

我曾经用过测量精度为 6 位半的仪器：Agilent 34401A Digit Multimeter 和 RIGOL DM3061 Digital Multimeter，均可以精确的测量到 [MSP430FR5969](#) 处于 LPM3 下 0.7uA 的电流。

2. MSP430 在 active 和 LPMx mode 下切换时功耗以及上电初始化功耗的测量

虽然高级万用表，有对电流进行累计测量求平均的功能，但是其测量结果还是不够精确，并且一般而言，用户的程序在开始一般都有初始化过程，有时初始化过程还分很多段，当用户想要测量初始化过程不同时间段对应的功耗时，将万用表串联入供电线路就无法完成这个功能了。此时，**建议用户使用示波器测量串联入供电线路精密电阻两端的电压的方法**，来对系统的功耗有个更直观，精确且有说服力的测量。

具体的方法是，用一个约为10~20欧的精密电阻（误差为1%甚至更低）串联入供电线路中，然后用示波器直接观察此电阻两端电压的变化，测出各个阶段，各个工作模式下电阻两端的电压值，而后除以电阻值即可得到对应的工作电流。

上面仅是个人经验分享，若大家有补充和更正，欢迎发表您的意见。0(∩_∩)0~