

# S11 及合封 VBG 校准 VCC 应用笔记

文档编号：AN00005

撰写日期：2023.11.27

睿兴科技（南京）有限公司

版本：V1.0

## 目录

1	前言.....	4
2	VBG 校准 VCC .....	4
2.1	计算 VCC 的公式推导 .....	4
2.2	ADC 配置.....	4
2.3	读取 ADC 检测到 VBG 的值以及 ADC offset.....	5
2.4	读取 info 区中的 VBG 的值 .....	5
2.5	获取 VCC .....	5
3	误差推算.....	6
3.1	实际 VBG 值减去 ADC 的 offset: .....	6
3.2	实际 VBG 值不减去 ADC 的 offset: .....	7
4	版本历史.....	9

---

## 表目录

表 1.1 适用产品.....	4
表 4.1 版本历史.....	9

## 1 前言

由于 LDO 输出不稳定，导致 VCC 的误差较大，本文主要介绍用 VBG 来校准 VCC 的方法。

表 1.1 适用产品

系列	型号
RX32S11	所有型号
RX32SD2x	所有型号

## 2 VBG 校准 VCC

之所以选择用 VBG 来校准 VCC，是因为虽然 VBG 本身存在 3% 的误差，但是记录在 info 区的 0x0004\_0228 位置上的值，是在生产过程中，在  $5V \pm 1\%$  的条件下测量的减去 ADC 的 offset 后的 VBG 值，精度在  $\pm 1\%$ ，并且 VBG 的温漂很小。

### 2.1 计算 VCC 的公式推导

1. VBG 的电压值等于  $(VBG\_LSB/4096) * VCC$ ;
2. Info 区 VBG 的电压值等于  $(VBG\_info/4096) * 5$ ;
3. 因为同一个芯片 VBG 的值是相等的，得到等式  

$$(VBG\_LSB/4096) * VCC = (VBG\_info/4096) * 5;$$
4. 所以推导得出  $VCC = (VBG\_info/VBG\_LSB) * 5$ ;
5. 因为 info 区的 VBG 值是减去 ADC 的 offset 的，所以为了保证精度 VBG\_LSB 也要减去 ADC 的 offset (ADC 的 offset 的测试方法详见 S1x 及合封\_ADC\_offset 应用笔记)，得到最终的公式  

$$VCC = (VBG\_info / (VBG\_LSB - ADC\_offset)) * 5$$

### 2.2 ADC 配置

使能 ADC，将通道 1 和通道 11 (VBG 的专属通道) 添加到序列中，开启扫描模式，通道一用于检测 ADC 的 offset (测试 ADC offset 的方法详见 S1x 及合封\_ADC\_offset 应用笔记)，通道 11 用于检测 VBG 的值。

```
void ADC_Initial(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure = {0};
    CMU_Enable_CLKCTRL1(CMU_CLKCTRL1_SADCEN); //打开 ADC 时钟

    //PC3-AD1 配置成输入下拉，用于测试 ADC offset
    GPIO_InitStructure.Pin = GPIO_PIN_3;
    GPIO_InitStructure.Mode = GPIO_MODE_INPUT;
    IO_InitStruct.Pull = GPIO_PULL_DOWN;
    GPIO_Init(GPIOC, &GPIO_InitStructure);

    if (SADC_Get_SADCON(SADC) == 0) {

        SADC_RankInitTypeDef SADC_RankInitStruct = {0};
        SADC_RankInitStruct.Length = SADC_SEQLENG_2; //序列长度
        SADC_RankInitStruct.Rank[1].Channel = SADC_CHANNEL1; //将通 1 道添加到序列
        SADC_RankInitStruct.Rank[1].SamplingTime = SADC_SAMPLINGTIME_256CYCLES; //采样
        时间
    }
}
```

时间

```

SADC_RankInitStruct.Rank[0].Channel = SADC_CHANNELVBG; //将通道 11 添加到序列
SADC_RankInitStruct.Rank[0].SamplingTime = SADC_SAMPLINGTIME_256CYCLES; //采样

SADC_RankInit(SADC, &SADC_RankInitStruct);

SADC_InitTypeDef SADC_InitStruct = {DISABLE,0};
SADC_InitStruct.State = ENABLE; //使能 ADC
SADC_InitStruct.TriggerSource = SADC_ADTRIG_SADCSTR; //触发源
SADC_InitStruct.ContMode = SADC_CONV_CONTINUOUS; //连续模式
SADC_InitStruct.ScanMode = SADC_SADCSCAN_ENABLE; //开启扫描模式
SADC_InitStruct.Prescaler = SADC_SADCCLK_DIV3; //预分频
SADC_InitStruct.Discen = DISABLE;
SADC_Init(SADC, &SADC_InitStruct);

//等待 ADC 准备好
if (SADC_Get_SADCON(SADC) == 1) {
    SADC_Start(SADC); //ADC 开始工作
}
}
}
}

```

### 2.3 读取 ADC 检测到 VBG 的值以及 ADC offset

1. 获取 VBG 的值。

定义一个 uint32\_t 的变量读取数据寄存器中的值。

读取哪个数据寄存器取决于将通道添加到序列几；

与上 0x00000FFF 是因为 SD22 的 ADC 的数据寄存器的 16bit~19bit 显示通道位，想获取 ADC 检测到的实际数值就要将这些位清零。

```

uint32_t VGB_LSB;

for (i=0; i<10; i++)
{
    VGB_LSB += (SADC->SADC0DAT & 0x00000FFF);
}
VGB_LSB = VGB_LSB/10; //获取 VGB_LSB 值

```

2. 获取 ADC 的 offset 方法同上。

### 2.4 读取 info 区中的 VBG 的值

定义一个 uint16\_t 的变量读取存放在 0x00040228 这个位置上的值。

```

uint16_t VBG_info = 0;
VBG_info = *((uint16_t *) 0x00040228); //获取 info 区的 VBG 的值

```

注意：info 区的 VBG 值的高位和低位是互补的，如果 info 区的 VBG 值的高位和低位不互补则说明这个值异常。

### 2.5 获取 VCC

```

while (1){
    WDT_FeedDog();

    VCC = (((uint32_t) VBG_info * 1000 / (VGB_LSB - ADC_offset)) * 5); //算出电压值
}

```

}

注：VBG\_info\*1000 是因为 SD22 是 M0，本身没有浮点运算，虽然可以通过其他方式实现浮点运算但是那样对 CPU 的消耗比较大，VBG\_info \* 1000 则可以巧妙的代替浮点运算，可以精确到小数点后三位，节省了 CPU 资源。

### 3 误差推算

#### 3.1 实际 VBG 值减去 ADC 的 offset:

$$VCC = \frac{VBG_{info\_LSB}}{VBG'_{LSB}} * 5$$

考虑到 ADC 存在 offset, 所以:

$$VCC = \frac{VBG_{info\_LSB} - offset}{VBG'_{LSB} - offset} * 5$$

Info 区中的 VBG 值是减去 offset 后的值，其 Offset 的测试方法是 VCC 供电 5V 下，给某个 ADC 通道灌入 1.2V 的电压，根据 ADC 的采样值和理论值 0x3D7 进行比较得到 offset。所以:

$$VCC = \frac{VBG_{info\_LSB} - (1.2\_LSB - 0x3D7)}{VBG'_{LSB} - offset} * 5$$

注: 1.2\_LSB 表示 VCC 供电 5V 下被灌入 1.2V 的 ADC 通道的采样值。但是实际上灌入的 1.2V 是有 ±(0.5%+20mV) 的误差的所以实际灌入的电压值是 1.174V~1.226V, 所以:

$$VCC' = \frac{VBG_{info\_LSB} - (1.2\_LSB - 0x3D7 \pm 0.026\_LSB)}{VBG'_{LSB} - offset} * 5$$

$$VCC' = \frac{VBG_{info\_LSB} - (1.2\_LSB - 0x3D7)}{VBG'_{LSB} - offset} * 5 \pm \frac{0.026\_LSB}{VBG'_{LSB} - offset} * 5$$

因为:

$$VCC = \frac{VBG_{info\_LSB} - offset}{VBG'_{LSB} - offset} * 5$$

所以:

$$VBG_{info\_LSB} - offset = \frac{VCC}{5} * (VBG'_{LSB} - offset)$$

所以:

$$VCC' = \frac{\frac{VCC}{5} * (VBG'_{LSB} - offset)}{VBG'_{LSB} - offset} * 5 \pm \frac{0.026\_LSB}{VBG'_{LSB} - offset} * 5$$

$$VCC' = VCC \pm \frac{0.026\_LSB}{VBG'_{LSB} - offset} * 5$$

因为 0.026\_LSB 是在 5V 下 0.026mV 的 LSB 值, 所以

$$\frac{0.026\_LSB}{4096} * 5 = \frac{0.026'_{LSB}}{4096} * VCC$$

所以:

$$0.026\_LSB = \frac{0.026'_{LSB} * VCC}{5}$$

所以:

$$VCC' \approx VCC \pm \frac{0.026'_{LSB} * VCC}{5} * 5$$

$$VCC' \approx VCC \pm \frac{0.026'_{LSB}}{VBG'_{LSB} - offset} * VCC$$

$$VCC' \approx VCC \pm \frac{0.026}{VBG} * VCC$$

VBG 的取值范围为 1.19V~1.3V

所以由于灌入的 1.2V 是有 ± (0.5%+20mV) 的误差, 导致反算 VCC 的误差为: ±2.2%

### 3.2 实际 VBG 值不减去 ADC 的 offset:

$$VCC = \frac{VBG_{info\_LSB}}{VBG_{LSB}} * 5$$

考虑到 ADC 存在 offset, 所以:

$$VCC = \frac{VBG'_{info\_LSB} - offset}{VBG'_{LSB} - offset} * 5$$

Info 区中的 VBG 值是减去 offset 后的值, 其 Offset 的测试方法是 VCC 供电 5V 下, 给某个 ADC 通道灌入 1.2V 的电压, 根据 ADC 的采样值和理论值 0x3D7 进行比较得到 offset。所以:

$$VCC = \frac{VBG'_{info\_LSB} - (1.2_{LSB} - 0x3D7)}{VBG'_{LSB} - offset} * 5$$

注: 1.2\_LSB 表示 VCC 供电 5V 下被灌入 1.2V 的 ADC 通道的采样值。但是实际上灌入的 1.2V 是有 ± (0.5%+20mV) 的误差的所以实际灌入的电压值是 1.174V~1.226V 并且实际 VBG 值不减去 ADC 的 offset, 所以:

$$VCC' = \frac{VBG'_{info\_LSB} - (1.2_{LSB} - 0x3D7 \pm 0.026_{LSB})}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} * 5$$

$$VCC' = \frac{VBG'_{info\_LSB} - (1.2_{LSB} - 0x3D7)}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} * 5 \pm \frac{0.026_{LSB}}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} * 5$$

因为:

$$VCC = \frac{VBG'_{info\_LSB} - offset}{VBG'_{LSB} - offset} * 5$$

所以:

$$VBG'_{info\_LSB} - offset = \frac{VCC}{5} * (VBG'_{LSB} - offset)$$

所以:

$$VCC' = \frac{\frac{VCC}{5} * (VBG'_{LSB} - offset)}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} * 5 \pm \frac{0.026_{LSB}}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} * 5$$

$$VCC' = VCC * \left( \frac{(VBG'_{LSB} - offset)}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right) \pm \frac{0.026_{LSB}}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} * 5$$

因为 0.026\_LSB 是在 5V 下 0.026mV 的 LSB 值, 所以

$$\frac{0.026_{LSB}}{4096} * 5 = \frac{0.026'_{LSB}}{4096} * VCC$$

所以:

$$0.026\_LSB = \frac{0.026'_{LSB} * VCC}{5}$$

所以:

$$VCC' \approx VCC * \left( \frac{(VBG'_{LSB} - offset)}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right) \pm \frac{0.026'_{LSB} * VCC}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} * 5$$

$$VCC' \approx VCC * \left( \frac{(VBG'_{LSB} - offset)}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right) \pm \frac{0.026'_{LSB}}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} * VCC$$

$$VCC' \approx VCC * \left( \left( \frac{(VBG'_{LSB} - offset)}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right) \pm \frac{0.026'_{LSB}}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right)$$

$$VCC' \approx VCC * \left( \left( \frac{(VBG'_{LSB} - offset)}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right) \pm \frac{0.026'_{LSB}}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right)$$

所以:

$$VCC - VCC' \approx VCC * \left( 1 - \left( \frac{(VBG'_{LSB} - offset)}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right) \pm \frac{0.026'_{LSB}}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right)$$

$$VCC - VCC' \approx VCC * \left( 1 - \frac{((VBG'_{LSB} - offset) + offset) - offset}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \pm \frac{0.026'_{LSB}}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right)$$

$$VCC - VCC' \approx VCC * \left( \frac{offset}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \pm \frac{0.026'_{LSB}}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right)$$

$$VCC - VCC' \approx VCC * \left( \frac{offset \pm 0.026'_{LSB}}{(VBG'_{LSB} - offset) + offset} \right)$$

$$VCC - VCC' \approx VCC * \left( \frac{offset \pm 0.026'_{LSB}}{VBG_{LSB} + 16} \right)$$

$VBG_{LSB}$ 表示 VBG 的标准值。

取 offset 的值为 16:

$$VCC - VCC' \approx VCC * \left( \frac{16 \pm 0.026'_{LSB}}{VBG_{LSB} + 16} \right)$$

因为 VBG 的取值范围为 1.19~1.24, 对应 LSB 值为 983~1015, 0.026'\_{LSB}的值为 21, 带入计算可得误差值为: -0.5%~3.7%。



## 4 版本历史

表 4.1 版本历史

日期	版本	更改内容
2023/11/27	V1.0	新版