

特点

- 电源：5V 电源供电，电压输入范围 3.0 ~ 5.5V
- 基准电压：1.188V（典型温度系数 10ppm/°C）
- 低功耗设计：正常工作时芯片典型功耗约 1.5mA
- 计量特点：
 - 2 路独立的过采样 Σ/Δ ADC：1 路电压和 1 路电流
 - 计量精度：
 - ✧ 满足 GB/T 17215.321-2008/IEC 62053-21:2003、GB/T 17215.322-2008/IEC 62053-22:2003 和 GB/T 17215.323-2008/IEC 62053-23:2003 的要求
 - ✧ 5000:1 动态范围内，有功能量计量误差小于 0.1%
 - ✧ 3000:1 动态范围内，无功能量计量误差小于 0.1%
 - 提供各种测量数据：
 - ✧ 电压/电流信号直流分量
 - ✧ 全波/基波电压/电流有效值的原始值/瞬时值/平均值
 - ✧ 全波/基波有功/无功功率的原始值/瞬时值/平均值
 - ✧ 频率
- 支持电流检测
- 电流输入：锰铜分流器或 CT
- 晶振输入频率为 6.5536MHz 或 3.2768MHz
- 内置硬件看门狗定时器（WDT）
- 支持 UART 接口
- 工作温度：-40~+85°C
- 储存温度：-40~+125°C
- 封装：16-SOP

声明

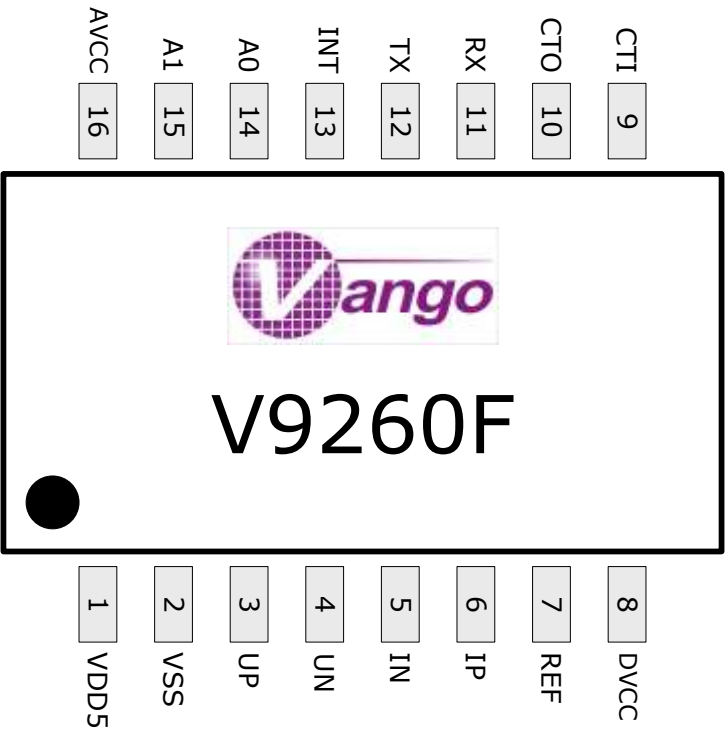
杭州万高科技股份有限公司保留对本手册所涉及的产品及相关的技术信息进行补正或更新的权利。使用本手册时，请您从我们的销售渠道或登录公司网站 <http://www.vangotech.com> 获取最新信息。

目录

| | |
|------------------------------|----|
| 特点 | 1 |
| 声明 | 2 |
| 目录 | 3 |
| 引脚分布图 | 5 |
| 性能参数 | 7 |
| 绝对最大额定值 | 9 |
| 功能框图 | 10 |
| 第 1 章 寄存器列表 | 11 |
| 1.1 模拟控制寄存器 | 11 |
| 1.2 系统配置寄存器 | 14 |
| 1.3 计量控制寄存器 | 17 |
| 1.4 计量数据寄存器 | 20 |
| 1.5 校表参数寄存器 | 24 |
| 1.6 校验和寄存器 | 25 |
| 第 2 章 复位 | 26 |
| 2.1 复位相关寄存器 | 26 |
| 2.2 上电复位 (POR) | 26 |
| 2.3 RX 复位 | 27 |
| 2.4 软件复位 | 28 |
| 2.5 WDT 溢出复位 | 28 |
| 第 3 章 时钟 | 31 |
| 3.1 晶体振荡电路 | 33 |
| 3.2 高频 RC 振荡电路 | 33 |
| 3.3 低频 RC 振荡电路 | 34 |
| 第 4 章 工作模式 | 35 |
| 4.1 计量模式 | 36 |
| 4.2 休眠模式 | 37 |
| 4.3 电流检测模式 | 38 |
| 4.4 功耗影响因素 | 38 |
| 第 5 章 电源系统 | 41 |
| 5.1 掉电监测电路 | 41 |
| 5.2 数字电源电路 (DVCCLD0) | 42 |
| 5.3 上电复位电路 | 42 |
| 第 6 章 电压基准电路 (BandGap) | 43 |
| 第 7 章 UART | 44 |
| 7.1 字节结构 | 44 |
| 7.2 波特率 | 44 |
| 7.3 通信协议 | 45 |
| 7.3.1 写操作 | 46 |
| 7.3.2 读操作 | 47 |

| | | |
|--------|---------------------|----|
| 7.3.3 | 广播写操作..... | 48 |
| 第 8 章 | 信号处理 | 50 |
| 8.1 | 模拟信号输入..... | 50 |
| 8.2 | 模拟/数字转换 | 51 |
| 8.3 | 角差校正 | 52 |
| 8.4 | 数字信号输入及去直流 | 53 |
| 8.5 | 有效值计算 | 55 |
| 8.5.1 | 有效值计算..... | 55 |
| 8.5.2 | 有效值校正..... | 56 |
| 8.6 | 功率计算和校正..... | 56 |
| 8.7 | 电压频率测量..... | 58 |
| 第 9 章 | 中断..... | 60 |
| 9.1 | 系统配置寄存器自检错误中断 | 62 |
| 9.2 | 参数配置自检错误中断 | 62 |
| 9.3 | 电压过零点中断 | 63 |
| 9.4 | 电流检测中断..... | 64 |
| 第 10 章 | 封装尺寸图 | 65 |
| 图索引 | | 66 |
| 表索引 | | 67 |
| 版本更新说明 | | 69 |

引脚分布图



| 编号 | 名称 | 类型 | 引脚描述 |
|----|------|---------|--|
| 1 | VDD5 | 输入 | 5V 电源输入。外部应连接一个 $\geq 0.1\mu\text{F}$ 解耦电容。 |
| 2 | VSS | 输入 | 地 |
| 3 | UP | 输入 | 电压 P 端输入。 |
| 4 | UN | 输入 | 电压 N 端输入。 |
| 5 | IAN | 输入 | 电流 N 端输入。 |
| 6 | IAP | 输入 | 电流 P 端输入。 |
| 7 | REF | 输入 / 输出 | 片上基准电压。应连接一个 $1\mu\text{F}$ 解耦电容后再接地。 |
| 8 | DVCC | 输出 | 内部数字电源输出。外部应连接一个由一个 $\geq 4.7\mu\text{F}$ 和一个 $0.1\mu\text{F}$ 解耦电容组成的并联电路后，再接地。 |
| 9 | CTI | 输入 | 6.5536MHz 晶振输入和输出。内部起振电路上固定的电容为 12pF，选择晶振时，要求晶振的负载电容为 12pf，ESR<100 Ω |
| 10 | CTO | 输出 | |

| 编号 | 名称 | 类型 | 引脚描述 |
|----|------|----|---|
| 11 | RX | 输入 | UART 接收数据输入。 RX 引脚输入低电平持续时间大于 64ms 会使芯片内部产生 RX 复位。 在休眠模式下，发生低电平到高电平的跳变（低电平至少保持 250μs）时，系统被唤醒进入电流检测模式。 |
| 12 | TX | 输出 | UART 发送数据输出。 |
| 13 | INT | 输出 | 中断信号输出，高电平有效。 该引脚总是输出 系统配置寄存器自检错误中断 和 参数配置自检错误中断 ，可选择输出过零点中断、电流检测中断、掉电中断、WDT 中断或外部晶体失效中断。 |
| 14 | A0 | 输入 | 当外部 MCU 需要与多颗芯片通信时，可通过这两个引脚设置每颗芯片（从机）的地址。外部 MCU 最多可与 4 颗 V9260F 通信。 |
| 15 | A1 | 输入 | |
| 16 | AVCC | 输出 | 3.3V 电源去耦输出。外部应连接一个由一个 $\geq 4.7\mu\text{F}$ 和一个 $0.1\mu\text{F}$ 解耦电容组成的并联电路后，再接地。 |

性能参数

如无另外说明，表中所有最大/小值规格适用于整个推荐工作范围内（ $T=-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$ ， $V_{DD5}=5\text{V} \pm 10\%$ ）。所有典型值规格在 $T=25^{\circ}\text{C}$ ， $V_{DD5}=5\text{V}$ 条件下测得。如无特别说明，所有电压值均为对地（VSS）的相对值。

| 参数 | 最小 | 典型 | 最大 | 单位 | 说明 |
|--------------|----|------------|-----------|-----|------------------------------------|
| 通道间相差 | | | | | |
| PF=0.8 容性 | | ± 0.05 | | 度 | |
| PF=0.5 感性 | | ± 0.05 | | 度 | |
| 全波有功能量计量误差 | | 0.1 | | % | 动态范围 5000:1 @ 25°C |
| 全波有功能量计量带宽 | | 1.6 | | kHz | |
| 全波无功能量计量误差 | | 0.1 | | % | 动态范围 3000:1 @ 25°C |
| 全波无功能量计量带宽 | | 1.6 | | kHz | |
| 基波有功能量计量误差 | | 0.1 | | % | 动态范围 5000:1 @ 25°C |
| 基波有功能量计量带宽 | | 65 | | Hz | |
| 基波无功能量计量误差 | | 0.1 | | % | 动态范围 3000:1 @ 25°C |
| 基波无功能量计量带宽 | | 65 | | Hz | |
| 全波秒平均电压有效值误差 | | 1 | | % | 动态范围 1000:1 @ 25°C |
| 全波电压有效值带宽 | | 1.6 | | kHz | |
| 基波秒平均电压有效值误差 | | 1 | | % | 动态范围 5000:1 @ 25°C |
| 基波电压有效值带宽 | | 65 | | Hz | |
| 全波秒平均电流有效值误差 | | 1 | | % | 动态范围 1000:1 @ 25°C |
| 全波电流有效值带宽 | | 1.6 | | kHz | |
| 基波秒平均电流有效值误差 | | 1 | | % | 动态范围 5000:1 @ 25°C |
| 基波电流有效值带宽 | | 65 | | Hz | |
| 电流检测速度 | 15 | 25 | 30 | ms | |
| 频率测量 | | | | | |
| 范围 | 40 | | 70 | Hz | |
| 误差 | | 0.01 | | Hz | |
| 模拟输入信号 | | | | | |
| 单端输入信号 | | | ± 200 | mV | 峰值 |
| ADC 性能 | | | | | |
| 直流失调 | | | 10 | mV | |
| 有效位数 | | 23 | | BIT | 包括符号位 |

| 参数 | 最小 | 典型 | 最大 | 单位 | 说明 |
|--------------------------|----------|------------------------|-------|--------|---|
| 信号带宽 (-3dB) | | 1.6 | | kHz | |
| 片上参考电压 | | | | | |
| 偏差 | -10 | | 10 | mV | @ 25°C |
| 输出电压 | | 1.188 | | V | |
| 电源抑制比 | | 80 | | dB | |
| 温度系数 | | 10 | 30 | ppm/°C | |
| 电源输入 (VDD5) | 3.0 | 5 | 5.5 | V | |
| 模拟电源输出 (AVCC) | | | | | |
| 电压 | 2.8 | 3.3 | 3.5 | V | VDD5≥4V, I _{L33} =16mA。 |
| 负载电流 (I _{L33}) | | | 30 | mA | |
| 掉电检测门限 | | 2.8 | | V | 偏差为±5% |
| 数字电源输出 (DVCC) | | | | | |
| 电压 | | 1.8 | | V | 可编程, 偏差为±10% |
| 电流 | | | 35 | mA | |
| POR 检测门限 | | 1.45 | | V | 偏差为±10% |
| CTI/CTO 引脚 | | | | | |
| 输入晶体频率 | | 3.2768MHz 6.5536MHz | | MHz | |
| 晶体等效串联电阻 (ESR) | 30 | | 100 | Ω | 适用于 6.5536MHz 晶体 |
| | 30 | | 200 | Ω | 适用于 3.2768MHz 晶体 |
| 数字 IO, 输出 | TX/INT | | | | |
| 输出高电平, V _{OH} | 1.7 | | | V | |
| I _{SOURCE} | | | 8 | mA | 8mA 电流短时间内不会对芯片造成损坏; 长时间大于 8mA 的电流会对芯片造成损坏。 |
| 输出低电平, V _{OL} | 0 | | 0.7 | V | |
| I _{SINK} | | | 8 | mA | |
| 数字 IO, 输入 | RX/A0/A1 | | | | |
| 输入高电平, V _{INH} | 2.0 | | 3.6 | V | |
| 输入低电平, V _{INL} | -0.3 | | 0.7 | V | |
| 输入电流, I _{IN} | | | 1 | μA | |
| 输入电容, C _{IN} | | | 20 | pF | |
| UART 通信速率 | 1200 | 2400 | 38400 | bps | |

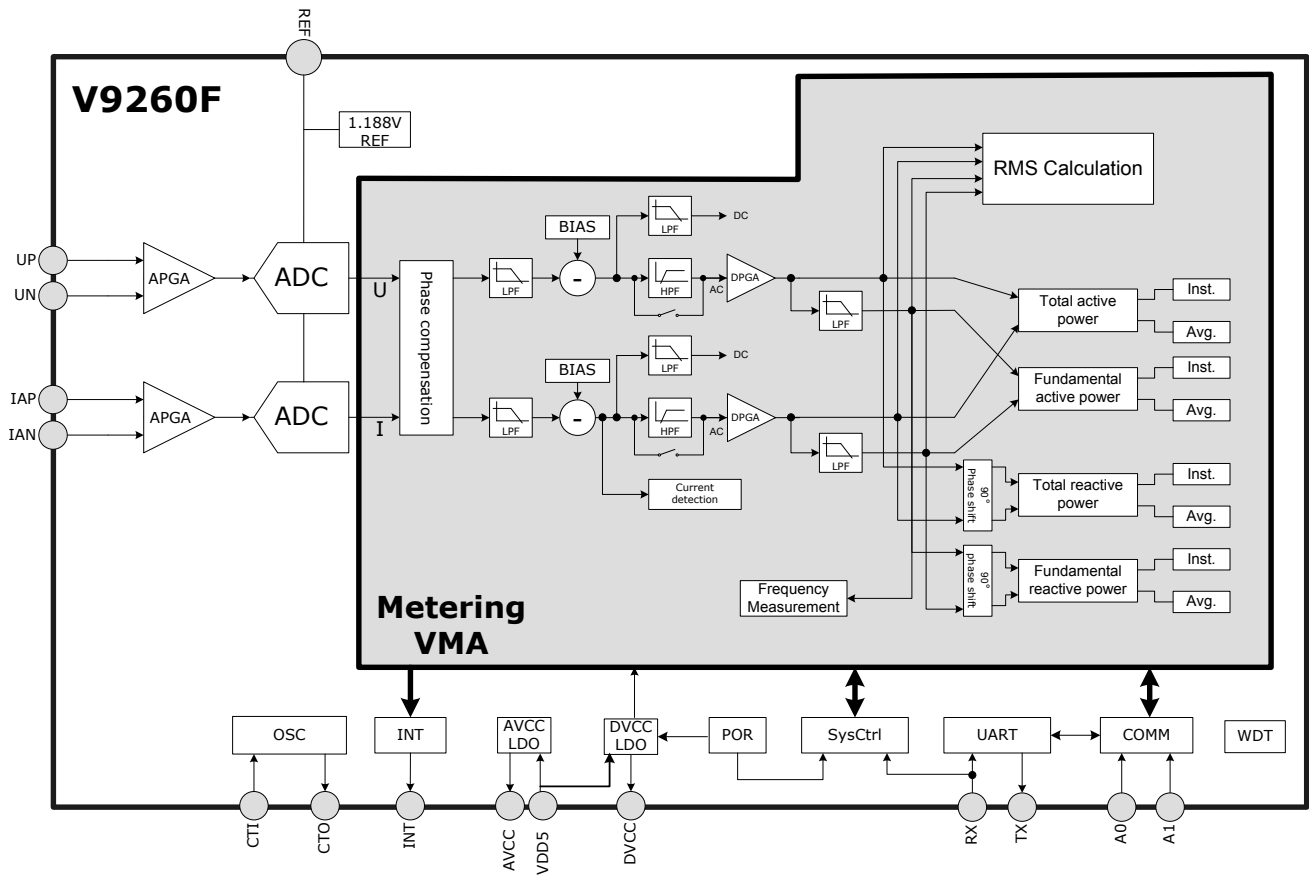
绝对最大额定值

超出下列最大/最小值的工作条件可能会造成芯片的永久性损伤。

| 参数 | 最小 | 最大 | 单位 | 说明 |
|------------|------|------|----|------|
| 数字电源电压 | -0.3 | +5.0 | V | 相对于地 |
| 模拟电源电压 | -0.3 | +5.0 | V | 相对于地 |
| 电流采样通道输入电压 | -0.3 | +5.0 | V | 相对于地 |
| 电压采样通道输入电压 | -0.3 | +5.0 | V | 相对于地 |
| 工作温度 | -40 | +85 | °C | |
| 存储温度 | -40 | +125 | °C | |



功能框图



第1章 寄存器列表

1.1 模拟控制寄存器

在发生 POR 复位、RX 复位，或软件全局复位时，所有模拟控制寄存器被复位为默认值。以下表格中所有“默认值”均为十六进制数值。

模拟控制寄存器的地址范围为 0x0185~0x0187，均可读可写。其中，为了保证系统正常工作，寄存器 0x0186（ANCtrl1）必须配置为 0x30000000。

所有模拟控制寄存器均需要参与参数配置自检校验。

表 1-1 模拟控制寄存器 0（0x0185, ANCtrl0, R/W）

| 0x0185, R/W, 模拟控制寄存器 0, ANCtrl0 | | | |
|---------------------------------|---------|-----|---|
| 位 | | 默认值 | 功能说明 |
| Bit[31:30] | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作，必须写入默认值。 |
| Bit29 | PDRCLK | N/A | 将该位清零可以开启 3.2MHz RC 时钟。在开启 3.2MHz RC 时钟之前，必须先开启 BandGap 电路和偏置电路。系统启动后，该位数值不确定。为了获取最佳性能，建议在正常计量时对该位写 1，即关闭该时钟。 在休眠模式下，该时钟自动关闭；在电流检测模式下，该时钟自动开启。 |
| Bit28 | BIASPDN | 0 | 将该位置 1，使能偏置电路产生全局偏置电流，为各路 ADC 和 3.2MHz RC 时钟提供偏置电流，所以，开启 ADC 和 3.2MHz RC 时钟之前，必须优先或同时将该位置 1。该电路默认关闭。 在休眠模式下，该电路自动关闭；在电流检测模式下，该电路自动开启；正常计量时，该电路必须开启。 |
| Bit27 | BGPPDN | 0 | 将该位置 1 开启电压基准（BandGap）电路，为 ADC 和 3.2MHz RC 时钟提供基准电压和偏置电压，所以，在开启 ADC 和 3.2MHz RC 时钟之前，必须优先或同时开启 BandGap 电路。该位默认为 0，即关闭 BandGap 电路。 在休眠模式下，BandGap 电路自动关闭；在电流检测模式下，BandGap 电路自动开启。正常计量时，必须开启 BandGap 电路。 |
| Bit26 | ADCUPDN | 0 | 将该位置 1 开启电压（U）通道 ADC。在开启 ADC 之前，必须优先或同时开启 BandGap 电路。U 通道 ADC 默认关闭。 无论在休眠模式还是电流检测模式下，U 通道 ADC 自动关闭。 |
| Bit25 | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作，必须写入默认值。 |



0x0185, R/W, 模拟控制寄存器 0, ANCtrl0

| 位 | | 默认值 | 功能说明 |
|------------|---------------|-----|---|
| Bit24 | ADCIPDN | 0 | 将该位置 1 开启电流 (I) 通道 ADC。在开启 ADC 之前, 必须优先或同时开启 BandGap 电路。I 通道 ADC 默认关闭。 在休眠模式下, I 通道 ADC 自动关闭; 在电流检测模式下, I 通道 ADC 自动开启。 |
| Bit[23:22] | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作, 必须写入默认值。 |
| Bit21 | XRSTEN | 0 | 将该位置 1 使能晶体停振刺激功能, 即当晶体停振时, 芯片内部的晶体停振监测/激励电路会以 1s 为周期产生一个 1ms 宽度的刺激信号, 激励起振电路重新起振。该功能默认关闭。 正常计量时, 为了获取最佳性能, 建议置 1。 |
| Bit20 | XTALPD | 0 | 晶体起振电路默认开启, 将该位置 1 可以关闭该电路。 无论是在休眠模式下还是在电流检测模式下, 该电路均自动关闭。 |
| Bit19 | XTAL3P2M | 0 | 当芯片外部连接 6.5536MHz 的晶体时, 该位必须写入默认值。 当芯片外部连接 3.2768MHz 晶体时, 必须将此位置 1。 |
| Bit18 | XTALLP | 0 | 使用 3.2768MHz 晶体时, 必须将此位置 1, 将晶体振荡电路的功耗降低约一半。 使用 6.5536MHz 晶体时, 该位必须写入默认值。 |
| Bit[17:16] | ADCLKSEL<1:0> | 0 | 配置过采样 ADC 时钟频率 (采样频率)。正常计量时, 必须保证 ADC 采样频率是电能计量时钟频率的四分之一或八分之一。 00: 819.2kHz; 01: 409.6kHz; 10: 204.8kHz; 11: 102.4kHz。 在电流检测模式下, 应配置为 0b10, 以降低功耗; 正常计量时, 为了获取最佳的计量性能, 建议写入默认值。 |
| Bit15 | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作, 必须写入默认值。 |
| Bit[14:12] | REST<2:0> | 0 | 电压基准 (BandGap) 电路的温度系数微调节。正常计量时, 为了获取最佳的计量性能和温度性能, 用户必须根据计算结果进行调整。计算方法见电压基准电路章节。 000: 0ppm; 001: +10ppm; 010: +20ppm; 011: +30ppm; 100: -40ppm; 101: -30ppm; 110: -20ppm; 111: -10ppm。 |

0x0185, R/W, 模拟控制寄存器 0, ANCtrl0

| 位 | | 默认值 | 功能说明 |
|------------|------------|-----|--|
| Bit[11:10] | IT<1:0> | 0 | 调节全局偏置电流。00: 1; 01: -33%; 10: -66%; 11: -75%。 在电流检测模式下, 建议配置为 0b10, 同时将 ADC 时钟频率降至 204.8kHz (电能计量时钟可以不降低) 以提高检测速度。 正常计量时, 为获取最佳性能, 建议配置为 0b01。 |
| Bit[9:8] | RESTL<1:0> | 0 | 电压基准 (BandGap) 电路的温度系数粗调节。正常计量时, 为了获取最佳的计量性能和温度性能, 用户必须根据计算结果进行调整。计算方法见电压基准电路章节。 00: 0ppm; 01: +70ppm; 10: -140ppm; 11: -70ppm。 |
| Bit7 | GU | 0 | U 通道 ADC 模拟增益控制。0: ×4; 1: ×1。 正常计量时, 为获取最佳的计量性能, 建议写入默认值。 |
| Bit6 | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作, 必须配置为 1。 |
| Bit[5:2] | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作, 必须写入默认值。 |
| Bit[1:0] | GI<1:0> | 0 | I 通道 ADC 模拟增益控制。用户应根据传感器的输出信号大小确定 PGA, 应保证最大信号与 PGA 的乘积小于基准电压。 00: ×32; 01: ×16; 10: ×4; 11: ×1。 |

表 1-2 模拟控制寄存器 2 (0x0187, ANCtrl2, R/W)

0x0187, R/W, 模拟控制寄存器 2, ANCtrl2

| 位 | | 默认值 | 功能说明 |
|------------|-------------|-----|--|
| Bit[31:30] | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作, 必须写入默认值。 |
| Bit[29:24] | RCTRIM<5:0> | 0 | 调节 3.2MHz RC 时钟周期。默认 0b0000000 为不调整。正常计量时, 为获取最佳性能, 建议写入默认值。 在 0b0000000~0b1000000 区间逐步增加时, 以 0b0000000 对应周期为基础, 每增一档, RC 时钟周期降低 1%; 在 0b1000001~0b1111111 区间逐步增加时, 以 0b0000000 对应周期为基础, 每增一档, RC 时钟周期增加 1%。 |
| Bit[23:20] | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作, 必须写入默认值。 |

0x0187, R/W, 模拟控制寄存器 2, ANCtrl2

| | | | |
|------------|--------------|---|---|
| Bit19 | XRSEL<1> | 0 | 调节内部晶体起振电路上的负性电阻大小。 XRSEL<1>置 1 将使内部起振电路的功耗增加约 18μA，不建议使用。 |
| bit18 | - | 0 | 可读可写。为了保证系统正常工作，必须写入默认值。 |
| Bit[17:16] | XCSEL<1:0> | 0 | 内部起振电路上固定的负载电容为 12pF，用户可通过该位增加负载电容大小。 00: +0pF; 01: +2pF; 10: +4pF; 11: +6pF。 |
| Bit15 | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作，必须写入默认值。 |
| Bit[14:12] | LDOVSEL<2:0> | 0 | 调节 LDO 输出电压。 000: 不调整; 001: -0.1V; 010: +0.2V; 011: +0.1V; 100: -0.4V; 101: -0.5V; 110: -0.2V; 111: -0.3V。 |
| Bit11 | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作，必须写入默认值。 |
| Bit10 | SHORTU | 0 | 当 U 通道输入直流信号时，可将该位置 1 将 U 通道放大器端短路，获得 ADC 本身的偏置值。该功能默认关闭。 正常计量时，为获取最佳性能，建议写入默认值。 |
| Bit9 | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作，必须写入默认值。 |
| Bit8 | SHORTI | 0 | 当 I 通道输入直流信号时，可将该位置 1 将 I 通道放大器端短路，获得 ADC 本身的偏置值。该功能默认关闭。 正常计量时，为获取最佳性能，建议写入默认值。 |
| Bit[7:0] | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作，必须写入默认值。 |

1.2 系统配置寄存器

发生上电复位（POR）、RX 复位或软件复位时，系统配置寄存器被复位为默认值。下表中的“默认值”均为十六进制数值。

在 V9260F 中，系统配置寄存器 SysCtrl（0x0180）的 bit[8:0]用于配置系统工作的关键信息，bit[24:16]是对 bit[8:0]的备份。为了保证系统正常工作，上电后，寄存器 SysCtrl 即进行自检校验：比较 bit[8:0]和 bit[24:16]的信息。如果后者是前者一一对应的取反值，则说明配置正确；如果后者不是前者一一对应的取反值，则说明配置错误，系统会产生**系统配置寄存器自检错误中断**，并在引脚 INT 上输出高电平。

为了保证系统正常工作，用户应向 bit[24:16]一一对应地写入 bit[8:0]配置值的取反值，从而保证**系统配置寄存器自检校验**通过。在初始状态下，**系统配置寄存器自检校验**始终报错，引脚 INT 上始终输出高电平。



表 1-3 系统配置寄存器（0x0180, SysCtrl）

| 0x0180，系统配置寄存器，SysCtrl | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|---------|-------|-----------------------------------|---|-------|-------|-------|----|---|---|---|-----------------------------------|---|---|---|-----------------------------------|---|---|---|----------------------------------|---|---|---|-----|---|---|---|--------------------------------|
| 位 | | R/W | 默认值 | 功能说明 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bit[31:30] | 保留 | R | N/A | 读出值不确定且无意义。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bit29 | BISTERR | R | 0 | 系统发生复位后，RAM 即进行自检，耗时约 1.25ms。自检通过后 RAM 才能被自由访问。 如果该位读出值为 1，表明 RAM 自检失败。此时，用户应重新复位系统。如果复位后该标志位被清空，表明 RAM 自检通过。如果重新复位后该标志位读出值仍为 1，则表明芯片的 RAM 可能存在质量问题。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bit28 | PDN | R | 0 | 掉电中断标志位。当系统发生掉电时，即 AVCC 引脚上的电平低于（2.8±0.14）V 时，该位读出值为 1。当掉电事件消失后，该标志位读出值为 0。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bit27 | HSEFAIL | R | 0 | 外部晶体失效中断标志位。当外部晶体停振时，该位置 1 并保持置位，直至外部晶体恢复工作后，该标志位才会自动清零。 外部晶体停振时，CLK2 为 UART 接口提供时钟源，因为该时钟频率不精确，UART 接口无法正常工作，所以外部 MCU 可能无法有效读取 HSEFAIL 位的状态。此时，用户可使能外部晶体失效中断输出，从而通过 INT 引脚上的电平高低来判断晶体是否失效。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bit[26:25] | RSTSRC | R | 0 | 复位原因标志位。Bit[26:25]只读。Bit24 可读可写。 <table><tr><th>Bit26</th><th>Bit25</th><th>Bit24</th><th>说明</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>系统发生 POR 复位时，bit[26:24]复位为 0b001。</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>发生 WDT 溢出复位时，bit[26:24]复位为 0b000。</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>系统发生 RX 复位时，bit[26:24]复位为 0b011。</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>保留。</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>系统发生软件复位时，bit[26:24]复位为 0b100。</td></tr></table> 对 Bit[26:24]进行读操作可以判断复位原因。 为保证系统正常工作，在 bit24 写入 bit8 的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。 | Bit26 | Bit25 | Bit24 | 说明 | 0 | 0 | 1 | 系统发生 POR 复位时，bit[26:24]复位为 0b001。 | 0 | 0 | 0 | 发生 WDT 溢出复位时，bit[26:24]复位为 0b000。 | 0 | 1 | 1 | 系统发生 RX 复位时，bit[26:24]复位为 0b011。 | 0 | 1 | 0 | 保留。 | 1 | 0 | 0 | 系统发生软件复位时，bit[26:24]复位为 0b100。 |
| Bit26 | | Bit25 | | Bit24 | 说明 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 1 | 系统发生 POR 复位时，bit[26:24]复位为 0b001。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 发生 WDT 溢出复位时，bit[26:24]复位为 0b000。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 1 | 系统发生 RX 复位时，bit[26:24]复位为 0b011。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 0 | 保留。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 0 | 系统发生软件复位时，bit[26:24]复位为 0b100。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bit24 | R/W | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| bit23 | 保留 | R/W | 0 | 读出值始终为 0。 为保证系统正常工作，应在 bit[23]写入 bit[7]的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| 0x0180, 系统配置寄存器, SysCtrl | | | | |
|--------------------------|--------|-----|-----|--|
| 位 | | R/W | 默认值 | 功能说明 |
| bit22 | PDN_R | R/W | N/A | <p>PDN 的锁存, 复位发生时为 0, 复位发生后, 数值由工作环境决定</p> <p>如果 PDN 为高, 那么 PDN_R 置高,</p> <p>如果 PDN 为低, 那么 PDN_R 保持。</p> <p>如果对 0x180 进行写操作, 无论写入任何数据, 均使得 PDN_R 置低</p> <p>为保证系统正常工作, 应在 bit[22]写入 bit[6]的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。</p> |
| bit21 | REF | R/W | N/A | <p>当 REF 外接电容开始漏电时, 该位置高。否则该位为低。读写操作不会改变此位的电平。</p> <p>默认值与工作环境有关</p> <p>为保证系统正常工作, 应在 bit[21]写入 bit[5]的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。</p> |
| Bit20 | SYSERR | R/W | 1 | <p>系统配置寄存器自检错误中断标志位。复位后读出值为 1。</p> <p>对该位进行读操作判断是否发生系统配置寄存器自检错误中断。如果 bit[8:0]和 bit[24:16]互为取反值, 则系统配置寄存器自检校验通过, 该位读出值为 0; 否则, 自检失败, 该位读出值为 1。当该位读出值为 1 时, 在 bit[24:16]写入正确的值使系统配置寄存器自检通过, 该标志位的读出值自动变为 0。</p> <p>为保证系统正常工作, 在该位写入 bit4 的取反值使系统配置寄存器自检校验通过。</p> |
| Bit19 | CHKERR | R/W | 0 | <p>参数配置自检错误中断标志位。读出值每 5ms 刷新一次。</p> <p>对该位进行读操作判断是否发生参数配置自检错误中断。系统对所有计量控制寄存器、模拟控制寄存器的配置值和校验和寄存器的配置值进行累加, 如果它们的累加和为 0xFFFFFFFF, 则参数配置自检校验通过, 该位读出值为 0; 否则, 自检失败, 该位读出值为 1。当该标志位读出值为 1 时, 只有使上述寄存器配置值的累加和为 0xFFFFFFFF, 参数配置自检校验通过, 该标志位才会自动清零。</p> <p>为保证系统正常工作, 在该位写入 bit3 的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。</p> |
| Bit18 | DETCST | R/W | 0 | <p>电流检测中断标志位。</p> <p>对该位进行读操作判断是否发生电流检测中断。当前瞬时电流信号的绝对值超过预设的电流检测门限值时, 该位读出值为 1。当电流信号的绝对值低于电流检测门限值时, 向该位写入 “0” 才能清空该标志位。</p> <p>为保证系统正常工作, 在该位写入 bit2 的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。</p> |

| 0x0180, 系统配置寄存器, SysCtrl | | | | |
|--------------------------|--------|-----|-----|---|
| 位 | | R/W | 默认值 | 功能说明 |
| Bit17 | USIGN | R/W | 0 | 对该位进行读操作判断电压信号符号。该标志位不可清空，会跟随电压符号位翻转。1：负号；0：正号。 为保证系统正常工作，应在该位写入 bit1 的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。 |
| Bit16 | 保留 | R/W | N/A | 读出值不确定且无意义。 为保证系统正常工作，应在该位写入 bit0 的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。 |
| Bit[15:9] | 保留 | R | N/A | 读出值不确定且无意义。 |
| Bit[8:5] | 保留 | R/W | 0 | 复位后读出值为 0。可写，但是写入操作无意义。 为保证系统正常工作，应将 bit[8:5]实际写入值取反并写入 bit[24:21]以保证系统配置寄存器自检校验通过。 |
| Bit[4:2] | CKUDIV | R/W | 1 | 设置 UART 通讯波特率。 000: 1200bps; 001: 2400bps (默认); 010: 4800bps; 011: 9600bps; 100: 19200bps; 101: 38400bps; 110/111: 1200bps。 注意：如果芯片外部连接的是 3.2768MHz 晶体，那么，在初始状态下，实际的波特率是预期波特率的一半。此时，用户必须先将 XTAL3P2M 位 (Bit19, 0x0185, ANCtrl0) 置 1 禁用二分频电路才能使 UART 接口在预期波特率下工作。发生 WDT 溢出复位后，UART 通讯波特率复位为 2400bps，但是 CKUDIV 保持原来的配置值不变。 为保证系统正常工作，应将 bit[4:2]取反并写入 bit[20:18]以保证系统配置寄存器自检校验通过。 |
| Bit1 | CKMDIV | R/W | 0 | 选择电能计量时钟频率。1：819.2kHz；0：3.2768MHz (默认)。 为保证系统正常工作，应将 bit1 取反并写入 bit17 以保证系统配置寄存器自检校验通过。 |
| Bit0 | SLEEP | R/W | 0 | 休眠控制位。1：关闭高频时钟 (CLK1 和 CLK2)，系统进入休眠状态。 为保证系统正常工作，应将 bit0 取反并写入 bit16 以保证系统配置寄存器自检校验通过。 |

1.3 计量控制寄存器

发生上电复位 (POR)、RX 复位或软件复位时，所有计量控制寄存器均会被复位为默认值。下表中的“默认值”均为十六进制数值。
所有的计量控制寄存器均需要参与参数配置自检校验。



表 1-4 计量控制寄存器 0 (0x0183, MTPARA0)

0x0183, R/W, 计量控制寄存器 0, MTPARA0

| 位 | | 默认值 | 功能说明 |
|------------|---------|-----|--|
| Bit[31:18] | 保留 | N/A | 为保证系统正常工作，必须写入 0。 |
| Bit[17:15] | WDT | 0 | <p>设置 WDT 溢出复位间隔 (T)。</p> <p>复位间隔计算公式为：$T = \frac{2^{WDT}}{f_{CLK3}}$，其中，WDT 为 bit[17:15]的配置值，f_{CLK3} 为实际的 CLK3 时钟频率。</p> <p>000: 16; 001: 17; 010: 18; 011: 19; 100: 20; 101: 21; 110: 22; 111: 23</p> <p>实际使用中，f_{CLK3} 以 32768Hz 计算。但是，因为 CLK3 的离散程度为±50%，实际复位间隔会有±50%的偏差，所以建议用户在看门狗最快溢出前，即在 $\frac{T}{2}$ 之前喂狗。</p> |
| Bit[14:13] | BPFSFT | 0 | <p>设置带通滤波器的移位系数。移位量越小，滤波器响应越快，对频偏敏感程度越低。</p> <p>00: 8 位; 01: 9 位; 10: 10 位; 11: 11 位。</p> |
| Bit12 | IDETEN | 0 | 使能电流检测。1: 使能; 0: 禁止。 |
| Bit[11:8] | IDETLEN | 0 | <p>电流检测使能时，为了提供电流检测的可靠性，用户可通过该位设置电流检测的窗口宽度。</p> <p>0000~1111: 分别表示窗口长度为 1~16。</p> <p>例如：当 IDETLEN 配置为 0b0011 时，电流检测的窗口宽度即设为 4，表示当且仅当连续 4 个电流信号瞬时值的绝对值均超过电流检测门限值时，判定为电流超门限。</p> |
| Bit[7:6] | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作，必须写入默认值。 |
| Bit5 | IEWDT | 0 | <p>使能 WDT 中断输出。</p> <p>1: 使能; 0: 禁止。</p> |
| Bit4 | IEHSE | 0 | <p>使能外部晶体失效中断输出。</p> <p>1: 使能; 0: 禁止。</p> |
| Bit3 | IEPDN | 0 | <p>使能掉电中断输出。</p> <p>1: 使能; 0: 禁止。</p> |

| 0x0183, R/W, 计量控制寄存器 0, MTPARA0 | | | |
|---------------------------------|--------|-----|------------------------------|
| 位 | | 默认值 | 功能说明 |
| Bit2 | IEIDET | 0 | 使能电流检测中断输出。 1: 使能; 0: 禁止。 |
| Bit1 | IESUL | 0 | 使能电压符号位输出。 1: 使能; 0: 禁止。 |
| bit0 | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作, 必须写入默认值。 |

表 1-5 计量控制寄存器 1 (0x0184, MTPARA1)

| 0x0184, R/W, 计量控制寄存器 1, MTPARA1 | | | |
|---------------------------------|-------|-----|---|
| 位 | | 默认值 | 功能说明 |
| Bit[31:23] | 保留 | 0 | 为保证系统正常工作, 必须写入默认值。 |
| Bit22 | CKSUM | 1 | 当该位配置为 1 时, 系统关闭其它运算, 仅作 参数配置自检校验 。当该位清零时, 系统同时进行参数配置自检运算和其它运算。 在电流检测模式下, 该位自动置 0。 |
| Bit21 | IDET | 0 | 当 CKSUM 位 (bit22) 为 0 时, 将该位置 1, 系统关闭其它运算, 仅作 参数配置自检校验 和电流检测; 将该位清零时, 系统可同时作 参数配置自检校验 、电流检测和其它运算。 在电流检测模式下, 该位自动置 1。 |
| Bit20 | BPHPF | 0 | 使能去直高通滤波器。 1: 禁止, 此时, 电压/电流信号的直流和交流分量均参与有效值/功率计算; 0: 使能, 此时, 仅电压/电流信号的交流分量参与有效值/功率计算。 |
| Bit19 | ENPHC | 0 | 使能角差校正。 1: 使能; 0: 禁止。 |
| Bit18 | PHCIU | 0 | 设置角差校正符号位。 1: 延时电压信号; 0: 延时电流信号。 |



0x0184, R/W, 计量控制寄存器 1, MTPARA1

| 位 | | 默认值 | 功能说明 |
|-----------|------|-----|--|
| Bit17 | ONI | 0 | 使能电流（I）通道数字信号输入。 1：使能；0：禁止，此时，该通道数字信号输入恒为 0。 |
| Bit16 | ONU | 0 | 使能电压（U）通道数字信号输入。 1：使能；0：禁止，此时，该通道数字信号输入恒为 0。 |
| Bit[15:8] | PHC | 0 | 设置角差校正值的绝对值。 当角差校正电路的采样频率（ f_{smp1} ）为 3.2768MHz 时，角差校正的分辨率为 0.005°/bit，总校正量（绝对值）为 1.4°。 |
| Bit[7:4] | PGAI | 0 | 配置电流（I）通道数字增益。 0000: ×1; 0001: ×1/2; 0010: ×1/4; 0011: ×1/8; 0100: ×1/16; 0101: ×1/32; 1000: ×1; 1001: ×2; 1010: ×4; 1011: ×8; 1100: ×16; 1101: ×32。 |
| Bit[3:0] | PGAU | 0 | 配置电压（U）通道数字增益。 0000: ×1; 0001: ×1/2; 0010: ×1/4; 0011: ×1/8; 0100: ×1/16; 0101: ×1/32; 1000: ×1; 1001: ×2; 1010: ×4; 1011: ×8; 1100: ×16; 1101: ×32。 |

1.4 计量数据寄存器

发生上电复位（POR）、RX 复位或软件复位时，所有计量数据寄存器被复位。

表 1-6 直流分量寄存器（R/W）

| 地址 | 寄存器 | R/W | 数据格式 | 说明 |
|--------|-----|-----|-----------|--------------|
| 0x0114 | DCU | R/W | 32-bit 补码 | 存储电压（U）直流分量。 |
| 0x0115 | DCI | R/W | 32-bit 补码 | 存储电流（I）直流分量。 |

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，信号的直流分量的更新时间为 160ms，稳定时间为 300ms。

当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，信号的直流分量的更新时间为 640ms，稳定时间为 1200ms。



表 1-7 频率寄存器

| 地址 | 寄存器 | R/W | 数据格式 | 说明 |
|--------|--------|-----|-----------|--|
| 0x019A | FREQ | R | 32-bit 补码 | 存储频率的瞬时值。 当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值每 20ms 更新一次，其稳定时间取决于信号的幅度和质量。 当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，该寄存器的值每 80ms 更新一次，其稳定时间取决于信号的幅度和质量。 |
| 0x011D | SAFREQ | R/W | 32-bit 补码 | 存储频率的秒平均值。 当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值每 1.28s 更新一次，其稳定时间取决于信号的幅度和质量。 当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，该寄存器的值每 5.12s 更新一次，其稳定时间取决于信号的幅度和质量。 |
| 0x011E | AFREQ | R/W | 32-bit 补码 | 存储频率的平均值。 当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，该寄存器的值每 10.24s 更新一次，其稳定时间取决于信号的幅度和质量。 当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，该寄存器的值每 40.96s 更新一次，其稳定时间取决于信号的幅度和质量。 |

表 1-8 电压/电流有效值寄存器（R/W）

| 地址 | 寄存器 | R/W | 数据格式 | 说明 |
|--------|-------|-----|-----------|----------------|
| 0x0105 | ARRTI | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波电流有效值的原始值。 |
| 0x0104 | ARRTU | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波电压有效值的原始值。 |
| 0x0109 | BRRTU | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波电压有效值的原始值。 |
| 0x010A | BRRTI | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波电流有效值的原始值。 |
| 0x010E | ARTI | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波电流有效值的瞬时值。 |
| 0x010D | ARTU | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波电压有效值的瞬时值。 |
| 0x0112 | BRTU | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波电压有效值的瞬时值。 |
| 0x0113 | BRTI | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波电流有效值的瞬时值。 |
| 0x011B | AARTU | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波电压有效值的平均值。 |

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，所有电压/电流有效值的原始值和瞬时值寄存器的更新时间为 160ms，稳定时间为 500ms。

当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，所有电压/电流有效值的原始值和瞬时值寄存器的更新时间为 640ms，稳定时间为 2000ms。

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，基波电压/电流有效值寄存器的更新时间为 160ms，稳定时间为 500ms。

当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，基波电压/电流有效值寄存器的更新时间为 640ms，稳定时间为 2000ms。

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，所有电压/电流有效值平均值寄存



| 地址 | 寄存器 | R/W | 数据格式 | 说明 | |
|--------|-------|-----|-----------|----------------|--|
| 0x011C | AARTI | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波电流有效值的平均值。 | 器的更新时间为 1.28s，稳定时间为 3s。 当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，所有电压/电流有效值平均值寄存器的更新时间为 5.12s，稳定时间为 12s。 |
| 0x0121 | ABRTU | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波电压有效值的平均值。 | |
| 0x0122 | ABRTI | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波电流有效值的平均值。 | |

表 1-9 有功/无功功率寄存器（R/W）

| 地址 | 寄存器 | R/W | 数据格式 | 说明 | |
|--------|-----|-----|-----------|--------------|--|
| 0x0102 | RAP | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波有功功率原始值。 | 当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，所有功率原始值和瞬时值寄存器的更新时间为 160ms，稳定时间为 500ms。 |
| 0x0103 | RAQ | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波无功功率原始值。 | |
| 0x0107 | RBP | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波有功功率原始值。 | |
| 0x0108 | RBQ | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波无功功率原始值。 | 当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，所有功率原始值和瞬时值寄存器的更新时间为 640ms，稳定时间为 2000ms。 |
| 0x010B | IAP | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波有功功率瞬时值。 | |
| 0x010C | IAQ | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波无功功率瞬时值。 | |
| 0x0110 | IBP | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波有功功率瞬时值。 | |
| 0x0111 | IBQ | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波无功功率瞬时值。 | 当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，所有功率平均值寄存器的更新时间为 1.28s，稳定时间为 3s。 当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，所有功率平均值寄存器的更新时间为 5.12s，稳定时间为 12s。 |
| 0x0119 | AAP | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波有功功率平均值。 | |
| 0x011A | AAQ | R/W | 32-bit 补码 | 存储全波无功功率平均值。 | |
| 0x011F | ABP | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波有功功率平均值。 | |
| 0x0120 | ABQ | R/W | 32-bit 补码 | 存储基波无功功率平均值。 | |

1.5 校表参数寄存器

发生上电复位（POR）、RX 复位或软件复位时，所有设置校表参数的寄存器均被复位为默认值。下表中的“默认值”为十六进制数值。所有校表参数寄存器均需参与**参数配置自检校验**。

表 1-10 预设直流偏置值寄存器（R/W）

| 地址 | 寄存器 | 默认值 | R/W | 数据格式 | 说明 |
|--------|-------|-----|-----|-----------|---|
| 0x0123 | ZZDCI | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 预设电流信号的直流偏置值。该寄存器需要参与 参数配置自检校验 。 |
| 0x0124 | ZZDCU | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 预设电压信号的直流偏置值。该寄存器需要参与 参数配置自检校验 。 |

表 1-11 电压/电流有效值校正寄存器（R/W）

| 地址 | 寄存器 | 默认值 | R/W | 数据格式 | 说明 |
|--------|-------|-----|-----|-----------|----------------|
| 0x012C | WARTI | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置全波电流有效值的比差值。 |
| 0x0132 | WARTU | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置全波电压有效值的比差值。 |
| 0x0126 | WBRTI | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置基波电流有效值的比差值。 |
| 0x012B | WBRTU | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置基波电压有效值的比差值。 |

寄存器读数与 2^{31} 比值即为比差值的实际值。所有比差寄存器均需参与**参数配置自检校验**。

表 1-12 全波有功/无功功率校正寄存器（R/W）

| 地址 | 寄存器 | 默认值 | R/W | 数据格式 | 说明 |
|--------|-------|-----|-----|-----------|----------------|
| 0x012E | WAPT | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置全波有功功率比差值。 |
| 0x0130 | WAQT | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置全波无功功率比差值。 |
| 0x012F | WWAPT | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置全波有功功率二次补偿值。 |
| 0x0131 | WWAQT | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置全波无功功率二次补偿值。 |
| 0x0127 | WBPT | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置基波有功功率比差值。 |
| 0x0129 | WBQT | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置基波无功功率比差值。 |
| 0x0128 | WWBPT | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置基波有功功率二次补偿值。 |



| 地址 | 寄存器 | 默认值 | R/W | 数据格式 | 说明 |
|---|-------|-----|-----|-----------|----------------|
| 0x012A | WWBQT | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置基波无功功率二次补偿值。 |
| 寄存器读数与 2^{31} 比值即为补偿值的实际值。所有全波/基波有功/无功功率校正寄存器均需参与 参数配置自检校验 。 | | | | | |

表 1-13 门限值寄存器 (R/W)

| 地址 | 寄存器 | 默认值 | R/W | 数据格式 | 说明 |
|--------|--------|-----|-----|-----------|---|
| 0x0134 | IDETTH | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置电流检测门限值。该寄存器需要参与 参数配置自检校验 。 当电流检测使能时，即 IDETEN 位 (bit12, MTPARA1) 置 1，电流检测电路将电流 (I) 通道的瞬时电流信号的绝对值与预设的电流检测门限值进行比较。在 IDETLEN 位 (bit[11:8], MTPARA0, 0x0183) 设置电流检测的窗口宽度，只有当连续[IDETLEN]个电流信号的绝对值大于预设的 IDETTH 的值时，表明检测到电流。 |

表 1-14 带通滤波器系数寄存器 (BPF PARA, R/W)

| 地址 | 寄存器 | 默认值 | R/W | 数据格式 | 说明 |
|--------|----------|-----|-----|-----------|---|
| 0x0125 | BPF PARA | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 设置带通滤波器系数。该寄存器需要参与 参数配置自检校验 。 用户通过配置带通滤波器系数和移位量来调整带通滤波器的响应速度，对频偏的敏感程度，以及对谐波、噪声的抑制能力。一般配置为 0x811D2BA7。 |

1.6 校验和寄存器

表 1-15 校验和寄存器 (CKSUM, R/W)

| 地址 | 寄存器 | 默认值 | R/W | 数据格式 | 说明 |
|--------|-------|-----|-----|-----------|--|
| 0x0133 | CKSUM | 0 | R/W | 32-bit 补码 | 该寄存器需要参与 参数配置自检校验 。该寄存器与其它 24 个寄存器（ 计量控制寄存器 、 模拟控制寄存器 和 错误!表格结果无效。 ）一起参与 参数配置自检校验 。如果上述所有寄存器值的累加和为 0xFFFFFFFF 时，参数配置自检通过。 为保证参数配置自检成功，该寄存器应写入 0xFFFFFFFF 与其它 24 个寄存器配置值和的差值。 |



第2章 复位

V9260F 有 4 个复位来源：

- 上电复位（POR）、RX 复位和软件复位：复位全部电路；
- WDT 溢出复位：复位 UART 接口。

2.1 复位相关寄存器

表 2-1 复位相关寄存器

| 寄存器 | bit | 默认值 | 功能描述 |
|----------------------------|----------------------|-----|---|
| 0x0180 SysCtrl | Bit[26:24] RSTSRC | 0 | Bit26 Bit25 Bit24 说明 |
| | | | 0 0 1 发生了 POR 复位。 |
| | | | 0 0 0 发生了 WDT 溢出复位。 |
| | | | 0 1 1 发生了 RX 复位。 |
| | | | 0 1 0 保留。 |
| | | | 1 0 0 发生了软件复位。 |
| 0x0183 MTPARA0 | Bit[17:15] WDT | 0 | 设置 WDT 溢出复位间隔（T）。复位间隔计算公式为： $\tau = \frac{2^{WDT}}{f_{CLK3}}$ ，其中，WDT 为 bit[17:15]的配置值， f_{CLK3} 为实际的 CLK3 时钟频率。 000: 16; 001: 17; 010: 18; 011: 19; 100: 20; 101: 21; 110: 22; 111: 23 实际使用中， f_{CLK3} 以 32768Hz 计算。因为 CLK3 的离散程度为±50%，实际复位间隔会有±50%的偏差，所以建议用户在看门狗最快溢出前，即在 $\frac{T}{2}$ 之前，清零 WDT 计数器。 |
| | Bit5 IEWDT | 0 | 使能 WDT 复位中断输出。1：使能；0：禁止 |
| 0x01BF 软件复位控制寄存器，SFTRST | | | 32-bit 补码，可读可写。向该寄存器写入 0x4572BEAF，系统发生软件复位，复位所有电路。 |

2.2 上电复位（POR）

内部上电复位电路会监测 DVCC 的输出电压。当 DVCC 的输出电压低于 1.45V 时，系统发生 POR 复位并一直处于复位状态；当 DVCC 输出电压高于 1.45V 时，复位信号释放，500μs 后，系统退出复位状态，进入初始状态。

发生 POR 复位时，RSTSRC 位（bit[26:24]，0x0180，SysCtrl）被复位为 0b001。

在复位状态，外部 MCU 及计量 VMA 不能访问 RAM。系统退出复位状态后，RAM 会进行自检，持续时间约为 1.25ms，自检通过后 RAM 可被自由访问。

在复位状态，UART 接口处于 IDLE 模式。系统退出复位状态后，UART 接口立即工作。

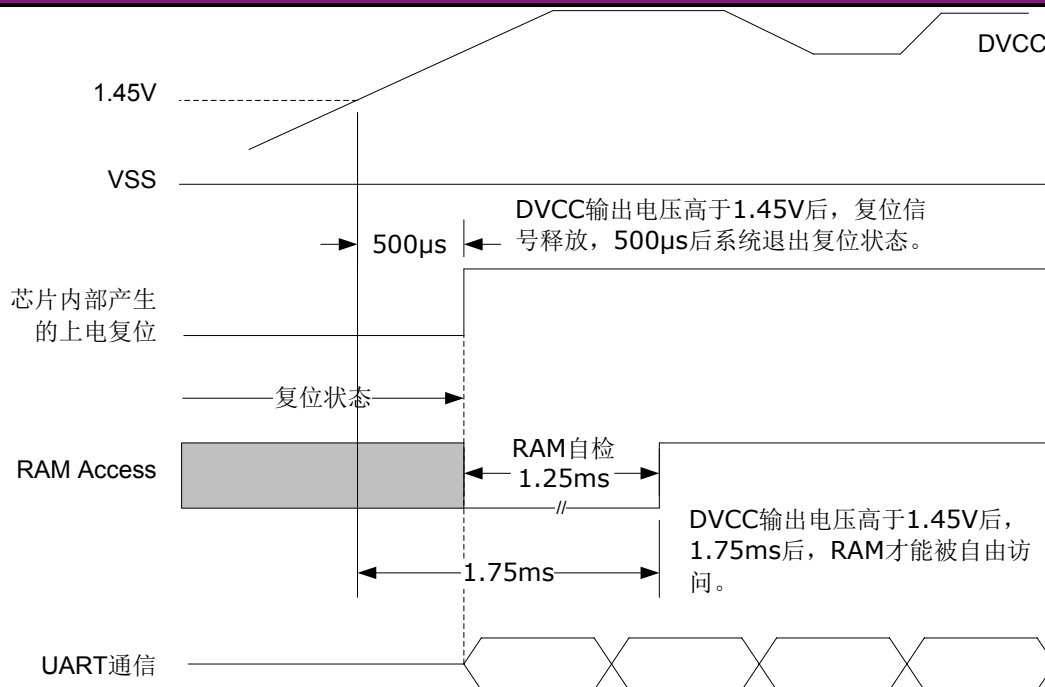


图 2-1 POR 时序图

2.3 RX 复位

当 RX 引脚持续输入 64ms 的低电平时，芯片内部会产生复位。之后，RX 引脚输入高电平，900µs 后，系统退出复位状态，进入初始状态。

发生 RX 复位时，RSTSRC 位 (bit[26:24], 0x0180, SysCtrl) 被复位为 0b011。

在复位状态，外部 MCU 及计量 VMA 不能访问 RAM。系统退出复位状态后，RAM 会进行自检，持续时间约为 1.25ms，自检通过后 RAM 可被自由访问。

在复位状态，UART 接口处于 IDLE 模式。系统退出复位状态后，UART 立即工作。

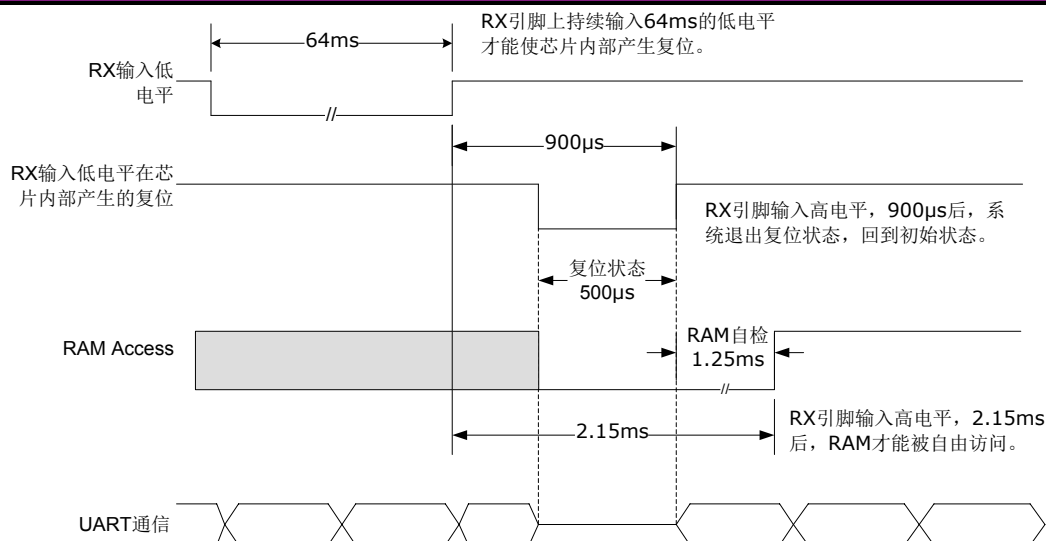


图 2-2 RX 复位时序图

2.4 软件复位

外部 MCU 向寄存器 SFTRST (0x01BF) 写入 0x4572BEAF 可以使芯片内部产生复位，650μs 后，系统退出复位状态，进入初始状态。

发生软件复位时，RSTSRC 位 (bit[26:24], 0x0180, SysCtrl) 被复位为 0b100。

在复位状态，外部 MCU 及计量 VMA 不能访问 RAM。系统退出复位状态后，RAM 会进行自检，持续时间约为 1.25ms，自检通过后 RAM 可被自由访问。

在复位状态，UART 接口处于 IDLE 模式。系统退出复位状态后，UART 立即工作。

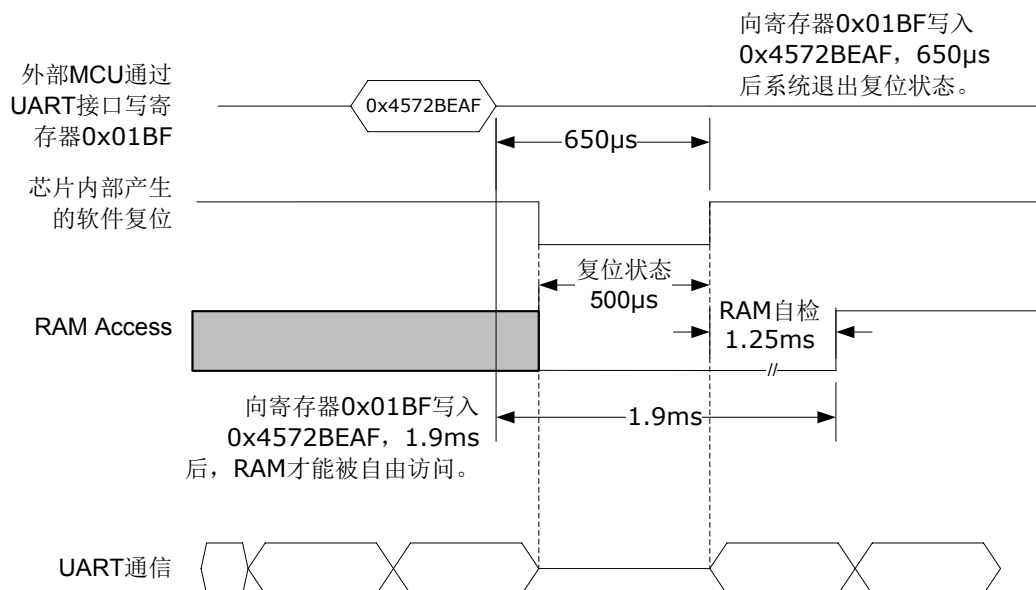


图 2-3 软件复位时序图

2.5 WDT 溢出复位

V9260F 内部集成了一个 23-bit 看门狗定时器 (Watchdog Timer)，对 32kHz ($\pm 50\%$) RC 时钟 (CLK3) 脉冲进行计数。因为 CLK3 电路在有电的情况下会一直工作，所以，芯片有电时，WDT 计数器一直工作。在工作模式下，如果程序未在设定的时间内清零看门狗计数器 (喂狗)，那么 WDT 计数溢出，发生 WDT 溢出复位。此时，UART 接口被复位，波特率复位为 2400bps。

注意：发生 WDT 溢出复位时，UART 接口的通信波特率复位为 2400bps，但是 CKUDIV (bit[4:2], SysCtrl, 0x0180) 保持原来的配置值不变。

在 V9260F 中，以下三个事件会使 WDT 计数清零：

- 芯片上电，或者，当芯片在工作时发生 POR；
- UART 接口接收到一个正确的命令帧 (读/写/广播)；
- 当芯片处于休眠模式下时，RX 引脚上发生低电平到高电平的跳变 (跳变的低电平至少持续 250 μ s)，将系统从休眠状态唤醒。

用户可通过 MTPARA0 (0x0183) 的 bit[17:15] 设置 WDT 溢出复位间隔，以适应降低功耗或快速发现问题等需求。实际使用中，CLK3 频率以 32768Hz 计算，但是，由于 32kHz RC 时钟 (CLK3) 的离散程度为 $\pm 50\%$ ，实际复位间隔的偏差为 $\pm 50\%$ ，所以，建议用户在看门狗最快溢出前喂狗。下表列出了 CLK3 频率以 32768Hz 计算时的 WDT 复位间隔和建议的喂狗间隔设置。

表 2-2 CLK3 时钟频率以 32768Hz 计算时，WDT 复位间隔设置和建议喂狗间隔

| 寄存器 | 位 | 配置 | 复位间隔 | 建议喂狗间隔 |
|-------------------|-------------------|-----|------|--------|
| 0x0183 MTPARA0 | Bit[17:15] WDT | 000 | 2s | 1s |
| | | 001 | 4s | 2s |
| | | 010 | 8s | 4s |
| | | 011 | 16s | 8s |
| | | 100 | 32s | 16s |
| | | 101 | 64s | 32s |
| | | 110 | 128s | 64s |
| | | 111 | 256s | 128s |

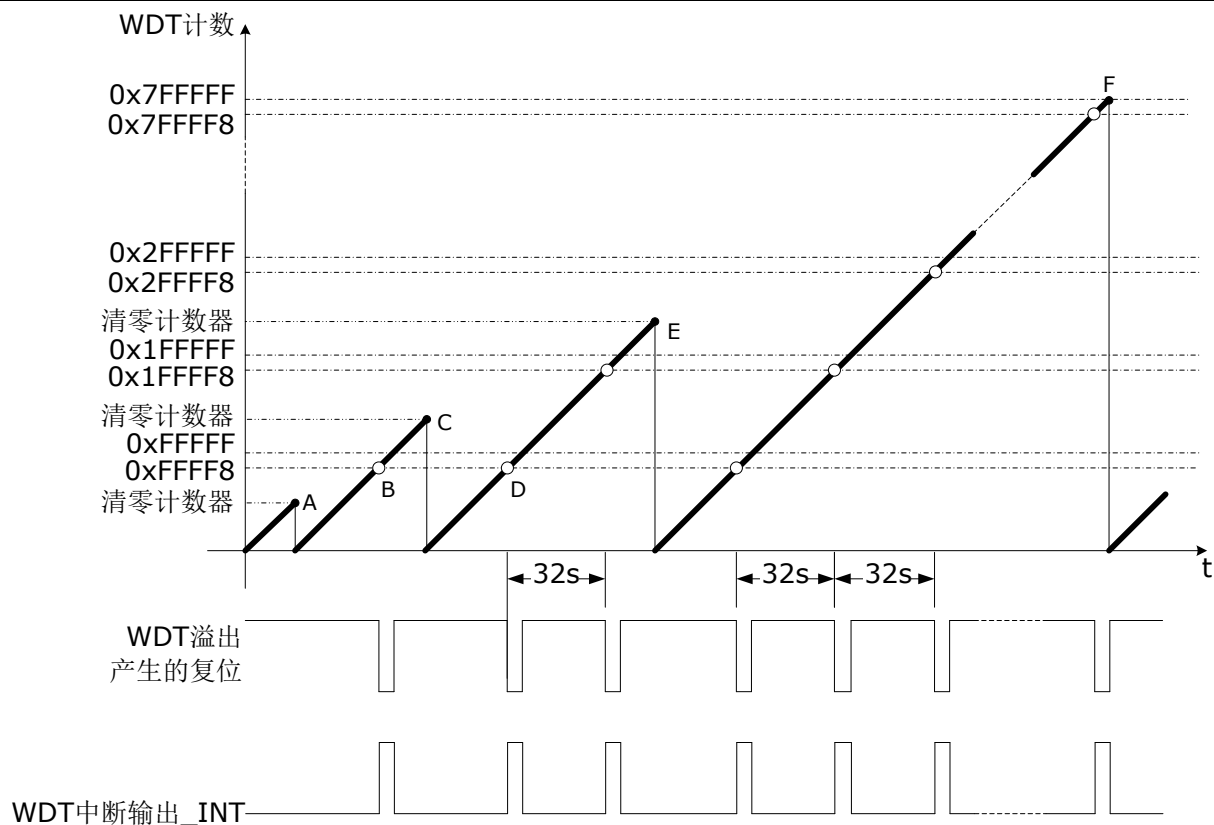


图 2-4 WDT 溢出复位原理（设溢出复位间隔为 32s）

如上图所示，WDT 计数器工作原理如下：

1. 如图中 A 所示，如果 WDT 计数至 0xFFFF8 之前 WDT 计数器被清零，那么 WDT 计数器重新从 0 开始计数。因为 CLK3 时钟的离散程度为 $\pm 50\%$ ，所以，建议用户在 16s 内喂狗以确保不会产生 WDT 因 CLK3 的偏差带来的误动作；
2. 如图中 B 或 D 所示，如果 WDT 计数至 0xFFFF8 之前未被清零，那么，当 WDT 计数至 0xFFFF8 时系统内部产生一个复位信号，持续 8 个 CLK3 时钟周期（WDT 持续计数至 0xFFFFF）。复位结束后，WDT 继续计数，之后，
 - a) 如果 WDT 计数至 0x1FFFF8 之前喂狗（如图中 C 所示），那么，WDT 计数器清零并重新从 0 开始计数；
 - b) 如果 WDT 计数至 0x1FFFF8 之前一直未喂狗，那么 WDT 计数器会持续计数，直至被清零（如图中 E 所示）或计数至 0x7FFFFF 后（如图中 F 所示）自动清零。WDT 计数器未喂狗之前系统每 32s 输出一个复位信号。

如果修改了复位间隔配置（比如，将 32s 改为 64s）：

1. 假如修改配置后一直未喂狗，那么复位间隔仍采用原来的设置，即 32s；
2. 假如修改配置后执行了喂狗操作，那么新的复位间隔配置将在喂狗之后生效，即喂狗之后复位间隔自动更新为 64s。

发生 WDT 溢出复位时，系统配置寄存器（0x0180, SysCtrl）的 RSTSRC 位（Bit[26:24]）读出值为 0b000，并产生 WDT 复位中断。当该中断输出使能时，即 IEWDT 位（bit5, MTPARA0, 0x0183）置 1 时，INT 引脚输出高电平并持续 8 个 CLK3（32kHz $\pm 50\%$ RC）时钟周期，之后，该引脚自动输出低电平。

第3章 时钟

在 V9260F 中，时钟系统包括 3 个时钟源，包括：

- 外接 6.5536MHz 或 3.2768MHz 晶体与内置起振电路组成的晶体振荡电路提供的时钟 (CLK1)：供计量 VMA、ADC 和 UART 接口使用。发生 POR、RX 复位或软件复位后，该电路自动开启。
- 内置高频 RC 振荡电路提供的 3.2MHz ($\pm 30\%$) RC 时钟 (CLK2)：当外接晶体停振时，该时钟可供计量 VMA、ADC 和 UART 接口使用。该电路可关闭。发生 POR、RX 复位或软件复位后，该电路自动关闭。
- 内置低频 RC 振荡电路提供的 32kHz ($\pm 50\%$) RC 时钟 (CLK3)：供 WDT 计数器、RX 休眠唤醒电路、内置的时钟监测/激励电路和部分 IO 滤波使用。只要系统不断电，该电路一直工作。

上述三个时钟产生电路之间的关系如下图所示。

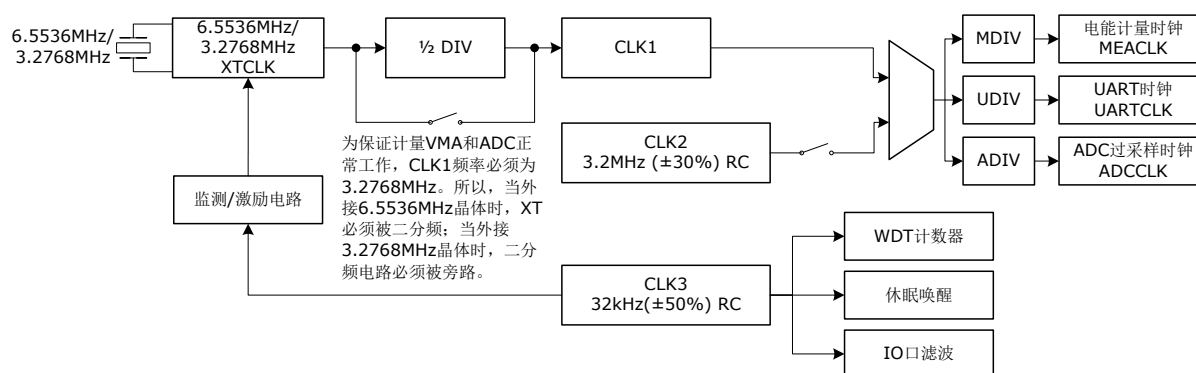


图 3-1 时钟产生电路

表 3-1 时钟产生电路相关寄存器

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-------------------|------------------|-----|--|
| 0x0185 ANCtrl0 | Bit29 PDRCLK | N/A | 将该位清零可以开启 3.2MHz RC 时钟。在开启 3.2MHz RC 时钟之前，必须先开启 BandGap 电路和偏置电路。系统启动后，该位数值不确定。为了获取最佳性能，建议在正常计量时对该位写 1，即关闭该时钟。 在休眠模式下，该时钟自动关闭；在电流检测模式下，该时钟自动开启。 |
| | Bit28 BIASPDN | 0 | 将该位置 1，使能偏置电路产生全局偏置电流，为各路 ADC 和 3.2MHz RC 时钟提供偏置电流，所以，开启 ADC 和 3.2MHz RC 时钟之前，必须先将该位置 1。 在休眠模式下，该电路自动关闭；在电流检测模式下，该电路自动开启；正常计量时，该电路必须开启。 |
| | Bit27 BGPPDN | 0 | 将该位置 1 开启电压基准 (BandGap) 电路，为 ADC 和 3.2MHz RC 时钟提供基准电压和偏置电压，所以，在开启 ADC 和 3.2MHz RC 时钟之前，必须先开启 BandGap 电路。 在休眠模式下，BandGap 电路自动关闭；在电流检测模式下，BandGap 电路自动开启。正常计量时，必须开启 BandGap 电路。 |

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-------------------|-----------------------------|-----|--|
| | Bit21 XRSTEN | 0 | 将该位置 1 使能晶体停振刺激功能，即当晶体停振时，芯片内部的晶体停振监测/激励电路会以 1s 为周期产生一个 1ms 宽度的刺激信号，激励起振电路重新起振。该功能默认关闭。 正常计量时，为了获取最佳性能，建议置 1。 |
| | Bit20 XTALPD | 0 | 晶体起振电路默认开启，将该位置 1 可以关闭该电路。 无论是在休眠模式下还是在电流检测模式下，该电路均自动关闭。 正常计量时：当外部晶体停振时，该位自动置 1；当外部晶体恢复工作后，该位自动清零。 |
| | Bit19 XTAL3P2M | 0 | 当芯片外部连接 6.5536MHz 的晶体时，该位必须采用默认值。当外部连接 3.2768MHz 晶体时，必须将此位置 1。 |
| | Bit18 XTALLP | 0 | 使用 3.2768MHz 晶体时，必须将此位置 1，将晶体起振电路的功耗降低约一半。 使用 6.5536MHz 晶体时，该位必须写入默认值。 |
| | Bit[17:16] ADCLKSEL<1:0> | 0 | 配置过采样 ADC 时钟频率（采样频率）。正常计量时，必须保证 ADC 采样频率是电能计量时钟频率的四分之一或八分之一。 00: 819.2kHz; 01: 409.6kHz; 10: 204.8kHz; 11: 102.4kHz。 在电流检测模式下，应配置为 0b10，以降低功耗；正常计量时，为了获取最佳的计量性能，建议采用默认值。 |
| 0x0187 ANCtrl2 | Bit[29:24] RCTRIM<5:0> | 0 | 3.2MHz RC 时钟周期调节。默认 0b000000 为不调整。正常计量时，为获取最佳性能，建议写入默认值。 在 0b000000 ~ 0b100000 区间逐步增加时，以 0b000000 对应周期为基础，每增一档，RC 时钟周期降低 1%； 在 0b100001~0b111111 区间逐步增加时，以 0b000000 对应周期为基础，每增一档，RC 时钟周期增加 1%。 |
| | XRSEL<1> | 0 | 调节内部晶体起振电路上的负性电阻大小。 XRSEL<1>置 1 将使内部起振电路的功耗增加约 18μA，不建议使用。 |
| | Bit[17:16] XCSEL<1:0> | 0 | 内部起振电路上固定的负载电容为 12pF，用户可通过该位增加负载电容大小。 00: +0pF; 01: +2pF; 10: +4pF; 11: +6pF。 |
| 0x0183 MTPARA0 | Bit4 IEHSE | 0 | 使能外部晶体失效中断输出。1: 使能; 0: 禁止。 |
| 0x0180 SysCtrl | Bit27 HSEFAIL | 0 | 外部晶体失效标志位（只读）。当外部晶体停振时，该位置 1 并保持置位，直至外部晶体恢复正常，该标志位自动清零。 外部晶体停振时，UART 接口采用 CLK2 作为时钟源，因为该时钟频率不精确，UART 接口无法正常工作，所以，此时外部 MCU 无法有效读取 HSEFAIL 位的状态。 |
| | Bit1 CKMDIV | 0 | 选择电能计量时钟频率。 1: 819.2kHz; 0: 3.2768MHz。 |

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-----|---------------|-----|------------------------------------|
| | Bit0 SLEEP | 0 | 1: 关闭高频时钟 (CLK1 和 CLK2), 系统进入休眠状态。 |

3.1 晶体振荡电路

V9260F 内置的晶体起振电路上固定的电容为 12pF。实际应用中, 用户可根据所选用晶体的负载电容 (CL) 大小, 通过配置 XCSEL<1:0> 位 (bit[17:16], ANCtrl2, 0x0187) 调节起振电路上的电容, 或者在 CTI/CTO 引脚外部添加额外的电容后再连接到晶体, 使加到晶体两端的等效电容与晶体的负载电容相匹配, 从而使晶体振荡频率偏差最小。

上电后, 起振电路即开始工作, 产生晶振时钟 (XTCLK) 作为 CLK1 的时钟源, CLK1 经过不同的分频后为计量 VMA、ADC 和 UART 接口提供时钟。外部 MCU 可通过配置 XTALPD 位 (Bit20, ANCtrl0, 0x0185) 使起振电路停止工作。当晶体起振电路停止工作时, 内置的高频 RC 振荡电路 (3.2MHz RC) 即自动开始工作, 产生 3.2MHz 的 CLK2 为计量 VMA、ADC 和 UART 接口提供时钟, 但是, 因为 CLK2 时钟频率不够精确, 所以 UART 接口无法正常工作。

V9260F 支持在外部连接 3.2768MHz 或 6.5536MHz 的晶体, 即晶振时钟 (XTCLK) 频率可以是 3.2768MHz 或 6.5536MHz。但是, 为了保证计量 VMA 和 ADC 正常工作, CLK1 频率必须只能是 3.2768MHz。所以, 外接 6.5536MHz 晶体时, 必须保证 XTCLK 被二分频; 而外接 3.2768MHz 晶体时, 必须保证该二分频电路被禁用。用户可通过配置 XTAL3P2M 位 (Bit19, 0x0185, ANCtrl0) 使能或禁用该二分频电路。

注意

发生 POR、RX 复位或软件复位后, 上述二分频电路默认使能。所以, 如果芯片外部连接的是 3.2768MHz 晶体, 那么此时的 UART 通讯波特率是预期的一半。用户必须先将 XTAL3P2M 位 (Bit19, 0x0185, ANCtrl0) 配置为 1 才能得到预期的波特率。

用户可通过 ADCCLKSEL<1:0> (bit[17:16], ANCtrl0, 0x0185) 和 CKMDIV (bit1, SysCtrl, 0x0180) 配置 ADCCLK 和 MEACLK 的时钟频率; 通过 CKUDIV (bit[4:2], SysCtrl, 0x0180) 配置波特率。

晶体起振电路的典型功耗为 130μA。如果使用 3.2768MHz 的晶体, 必须配置 XTALLP 位 (bit18, ANCtrl0, 0x0185) 将晶体振荡电路的功耗降低约一半 (注意: 该方法不适用于 6.5536MHz 的晶体)。

在以下 2 种情况下, 晶体振荡电路自动关闭:

- 系统进入休眠模式时, 即 SLEEP 位 (bit0, SysCtrl) 置 1 时, 该电路自动关闭。在休眠模式下, RX 引脚上发生低电平到高电平的跳变 (跳变的低电平至少持续 250μs), 系统被唤醒, 进入电流检测模式, 此时, 该电路仍然处于关闭状态;
- 计量模式下, 晶体振荡电路默认开启, 但是, 该电路可能会因为各种原因停振。V9260F 内置晶体停振监测/激励电路, 当检测到晶体停振时, 该电路会以 1s 为周期产生一个 1ms 宽度的刺激信号, 激励晶体振荡电路重新起振。晶体停振刺激功能默认关闭。

当晶体停振时, HSEFAIL 位 (bit27, SysCtrl) 置标志位, 系统产生外部晶体失效中断。此时, 如果外部晶体失效中断输出使能, 即 IEHSE 位 (bit4, MTPARA0) 置 1, 则 INT 引脚输出高电平, 直到外部晶体恢复工作后, HSEFAIL 位自动清零, INT 引脚输出低电平。

注意

外部晶体停振时, UART 接口采用 CLK2 作为时钟源, 因为 CLK2 时钟频率不精确, UART 接口无法正常工作, 所以, 此时外部 MCU 可能无法有效读取 HSEFAIL 位的状态。

3.2 高频 RC 振荡电路



V9260F 内置一个高频 RC 振荡器，产生一个 3.2MHz（批量芯片之间偏差在 $\pm 20\%$ 以内，单个芯片-40~85 摄氏度范围内偏差在 $\pm 3\%$ 以内）的 RC 时钟。

在计量模式下，当晶体振荡电路停止工作时，该电路自动开启，产生 CLK2，供计量 VMA、ADC 和 UART 接口使用。但是，因为 CLK2 时钟频率不够精确，所以 UART 接口无法正常工作。当晶体恢复工作后，该电路自动关闭。

发生 POR 复位、RX 复位或软件复位时，该电路自动关闭。因为偏置电路和 BandGap 电路分别为高频 RC 振荡器提供偏置电流和基准电压，所以，开启 3.2MHz RC 时钟前，必须先开启 BandGap 电路和偏置电路。

系统进入休眠模式时，即 SLEEP 位（bit0, SysCtrl）置 1 时，该电路自动关闭。当系统从休眠模式下被唤醒进入电流检测模式时，该电路自动开启。

3.3 低频 RC 振荡电路

V9260F 内置一个低频 RC 振荡器，产生一个 32kHz（ $\pm 50\%$ ）的 RC 时钟（CLK3），供 WDT 计数器、RX 休眠唤醒电路、晶体停振监测/激励电路和部分 IO 口（引脚 RX）输入信号滤波使用。

只要系统不掉电，该电路一直工作。

第4章 工作模式

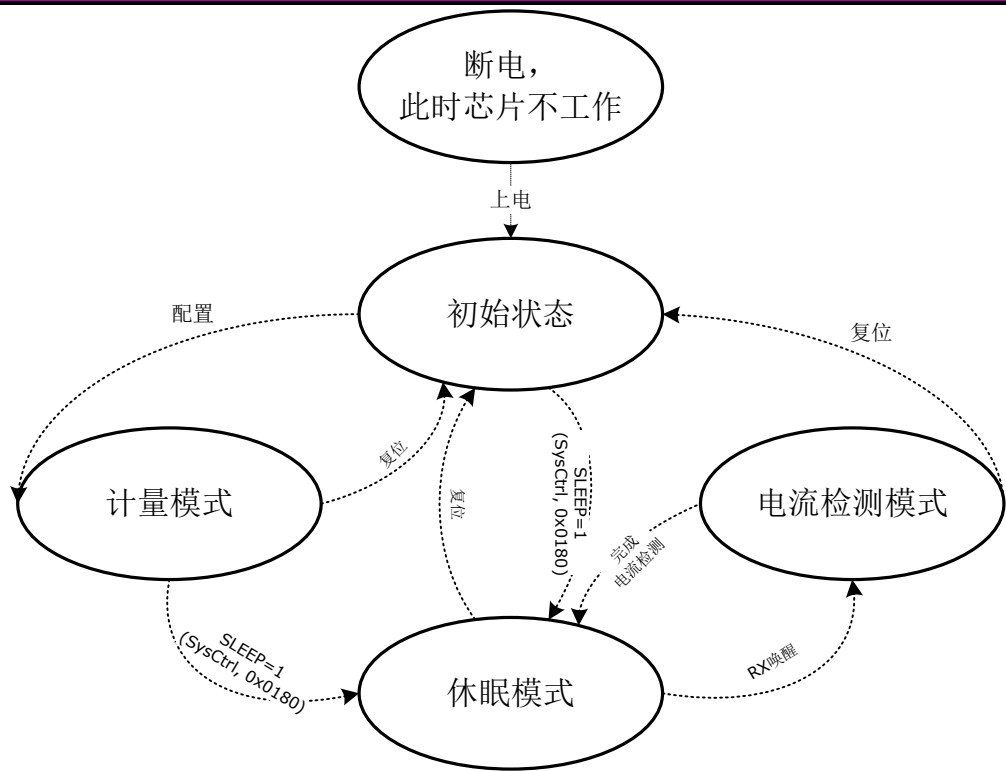
芯片上电时，或者，当芯片在工作时发生 POR、RX 复位或软件复位时，V9260F 进入**初始状态**。此时，各功能模块的工作状态如下表所示。

初始状态下，系统功耗较低，典型功耗为 500μA。用户只需要做简单的配置，系统即可进入计量模式或休眠模式。

表 4-1 初始状态下各功能模块的工作状态

| 功能模块 | 是否可关闭 | 初始状态 |
|----------------|---------------|--|
| RAM | 否 | 清零 |
| 晶体振荡电路 | 是 | 开启 |
| 3.2MHz RC 振荡电路 | 是 | 关闭 |
| 32kHz RC 振荡电路 | 否 | 工作 |
| BandGap | 是 | 关闭 |
| 偏置电路 | 是 | 关闭 |
| 掉电监测电路 | 否 | 工作 |
| 上电复位电路 | 否 | 工作 |
| LDO | 否 | 工作 |
| ADC | 是 | 关闭 |
| 计量 VMA | 是 | 开启，但是仅作参数配置自检校验。 |
| 中断电路 | 否，但是可以屏蔽中断输出。 | 工作。仅系统配置寄存器自检错误中断和参数配置自检错误中断始终输出高电平，其它中断输出可以被屏蔽。 |
| UART | 否 | 工作。外部连接 3.2768MHz 晶体时，实际的波特率是预期波特率的一半。用户必须先将 XTAL3P2M 位（Bit19，0x0185，ANCtrl0）置 1 禁用二分频电路才使 UART 接口在预期波特率下工作。 |
| WDT | 否 | 工作 |





*图中标注的“复位”是指POR复位、片外输入RSTN复位、RX复位或软件复位。

图 4-1 工作模式转换

4.1 计量模式

在初始状态下，配置以下参数使系统进入计量模式：

- 电能计量时钟/UART 工作时钟/过采样 ADC 时钟来源：固定为晶振时钟（CLK1）；
- ADC：开启/关闭，配置采样频率为 819.2kHz 或 204.8kHz，并可通过调整偏置电流大小降低 ADC 功耗；
- 计量 VMA：电能计量时钟频率配置为 3.2768MHz 或 819.2kHz；工作模式可配置为仅开启参数配置自检、仅检测电流或实现全部功能等；
- 通过 CKUDIV 位（bit[4:2]，SysCtrl，0x0180）配置波特率。

在计量模式下，发生 POR、RX 复位或软件复位时，芯片回到初始状态。

表 4-2 计量模式下各功能模块的工作状态

| 功能模块 | 是否可关闭 | 计量模式 |
|----------------|-------|----------------------------|
| 晶体振荡电路 | 是 | 默认开启。需要开启晶体停振检测功能。 |
| 3.2MHz RC 振荡电路 | 是 | 建议关闭，以降低功耗。当晶体停振时，该电路自动开启。 |
| 32kHz RC 振荡电路 | 否 | 工作 |
| BandGap | 是 | 必须开启 |



| 功能模块 | 是否可关闭 | 计量模式 |
|--------|---------------|---|
| 偏置电路 | 是 | 必须开启 |
| 掉电监测电路 | 否 | 工作 |
| 上电复位电路 | 否 | 工作 |
| LDO | 否 | 工作。 |
| ADC | 是 | 根据应用需求开启所需要的 ADC，并配置 ADC 采样频率，也可以通过配置寄存器调整全局偏置电流大小，以降低 ADC 的功耗。 |
| 计量 VMA | 是 | 必须开启，并根据应用需求配置寄存器实现所需要的计量功能。 |
| 中断电路 | 否，但是可以屏蔽中断输出。 | 工作。系统配置寄存器自检错误中断和参数配置自检错误中断输出不可被屏蔽，还可根据应用需求使能其它所需要的中断输出。 |
| UART | 否 | 工作，根据应用需求配置波特率。 |
| WDT | 否 | 工作，根据应用需求配置 WDT 溢出复位间隔。 |

4.2 休眠模式

在计量模式或初始状态下，将 SLEEP 位（bit0，SysCtrl，0x0180）置 1，可使系统进入休眠模式，此时，各功能模块的工作状态如下表所示。

表 4-3 休眠模式下各功能模块的工作状态

| 功能模块 | 是否可关闭 | 休眠模式 |
|----------------|---------------|--|
| 晶体振荡电路 | 是 | 关闭 |
| 3.2MHz RC 振荡电路 | 是 | 关闭 |
| 32kHz RC 振荡电路 | 否 | 工作 |
| BandGap | 是 | 自动关闭 |
| 偏置电路 | 是 | 自动关闭 |
| 掉电监测电路 | 否 | 工作 |
| 上电复位电路 | 否 | 工作 |
| LDO | 否 | 工作 |
| ADC | 是 | 自动关闭 |
| 计量 VMA | 是 | 自动关闭 |
| 中断电路 | 否，但是可以屏蔽中断输出。 | 工作。建议在进入休眠之前屏蔽所有中断输出，但是系统配置寄存器自检错误中断输出不可被屏蔽。 |
| UART | 否 | IDLE |
| WDT | 否 | 工作，根据应用需求配置 WDT 溢出复位间隔。 |

在休眠模式下，仅低频 RC 振荡电路（CLK3）工作，晶体振荡电路和 3.2MHz RC 振荡电路均停止工作，所以，计量 VMA 和 ADC 均停止工作，UART 通信电路处于 IDLE 状态，但是中断电路仍然工作。此时，TX 引脚输出高电平，INT 引脚将根据实际配置输出中断，芯片的典型功耗为 10 μ A。从计量模式进入休眠模式，所有校表参数寄存器的配置保持不变。

建议在进入休眠模式前屏蔽所有中断输出，但是系统配置寄存器自检错误中断输出不可被屏蔽。

在休眠模式下，当 RX 引脚上发生低电平到高电平的跳变（跳变的低电平至少持续 250μs）时，系统会被唤醒进入电流检测模式；发生 POR、RX 复位或软件复位时，系统回到初始状态。

4.3 电流检测模式

在休眠模式下，当 RX 引脚上发生低电平到高电平的跳变（跳变的低电平至少持续 250μs）时，系统进入电流检测模式。

在电流检测模式下：

- 3.2MHz RC 振荡电路自动工作，产生 CLK2，作为计量 VMA、ADC 和 UART 接口的时钟源。该电路保证在 1ms 内自动完成起振；
- 电能计量时钟频率固定为 3.2768MHz，每个周波采样 256 个点；
- 电流（I）通道 ADC 自动开启（其它 ADC 自动关闭）。为了降低功耗并提高检测速度，可以考虑将 ADC 采样频率设置为 204.8kHz，全局偏置电流降低 66%，同时将 LDO 输出电压下调 0.2V。通过这些配置，系统典型功耗降为 0.85mA。

因为 3.2MHz RC 时钟频率离散程度为±30%，所以，完成一次电流检测最长为 30ms。完成电流检测后，系统自动回到休眠模式。

在电流检测模式下，始终输出电流检测中断、系统配置寄存器自检错误中断和参数配置自检错误中断，其它中断输出均自动被屏蔽。关于电流检测中断的描述，详见“电流检测中断”。

表 4-4 电流检测模式下各功能模块的工作状态

| 功能模块 | 是否可关闭 | 电流检测模式 |
|----------------|-------------|--|
| 晶体振荡电路 | 是 | 关闭 |
| 3.2MHz RC 振荡电路 | 是 | 自动开启 |
| 32kHz RC 振荡电路 | 否 | 工作 |
| BandGap | 是 | 自动开启 |
| 偏置电路 | 是 | 自动开启。建议将全局偏置电流降低 66%，以降低功耗。 |
| 掉电监测电路 | 否 | 工作 |
| 上电复位电路 | 否 | 工作 |
| LDO | 否 | 工作，可通过配置寄存器调整 DVCCLDO 电压输出（建议降低 0.2V），以降低计量 VMA 的功耗。 |
| ADC | 是 | 仅 I 通道 ADC 开启。如果全局偏置电流降低了 66%，则必须将 ADC 采样频率配置为 204.8kHz，以提高检测速度。 |
| 计量 VMA | 是 | 自动开启，并自动配置为仅作参数配置自检和电流检测。 |
| 中断电路 | 否，但可屏蔽中断输出。 | 工作。始终输出电流检测中断、系统配置寄存器自检错误中断和参数配置自检错误中断，其它中断输出自动屏蔽。 |
| UART | 否 | 因时钟来源是 3.2MHz RC，频率不精确，所以 UART 接口无法正常工作。 |
| WDT | 否 | 工作，根据应用需求配置 WDT 溢出复位间隔。 |

4.4 功耗影响因素

V9260F 各功能模块的功耗可能受以下几个因素影响：DVCCLDO 输出电压、ADC 采样频率（ADCCLK）、电能计量时钟频率（MEACLK）和 ADC 偏置电流。



表 4-5 各功能模块的功耗影响因素

| 功能模块 | 影响因素 | | | | 功耗 μA |
|----------------|----------------|----------|----------|------------|----------|
| | DVCCLDO 输出电压调整 | ADC 采样频率 | 电能计量时钟频率 | ADC 偏置电流调整 | |
| BandGap 电路 | × | × | × | × | 79 |
| 偏置电路 | × | × | × | × | 69 |
| 电压 ADC | × | ● | × | ● | - |
| 电流 ADC | × | ● | × | ● | - |
| 计量 VMA | ● | × | ● | × | - |
| 晶体振荡电路 | × | × | × | × | 130 |
| 3.2MHz RC 振荡电路 | × | × | × | × | 40 |

× 表示因素的变化不会影响功能模块的功耗；● 表示因素的变化会影响功能模块的功耗。

表 4-6 ADC 功耗的影响因素

| 功能模块 | ADC 采样频率 | 全局偏置电流调整 | 功耗 (μA) |
|--------|----------|----------|---------|
| 电压 ADC | 819.2kHz | 0 | 289 |
| | | -33% | 215 |
| | 204.8kHz | -66% | 113 |
| 电流 ADC | 819.2kHz | 0 | 420 |
| | | -33% | 309 |
| | 204.8kHz | -66% | 155 |

表 4-7 计量 VMA 功耗的影响因素

| 功能模块 | 电能计量时钟频率 | DVCCLDO 输出电压调整 | 功耗 (μA) |
|--------|-----------|----------------|---------|
| 计量 VMA | 3.2768MHz | 0 | 720 |
| | | -0.2V | 620 |

尽管降低电能计量时钟频率 (MEACLK) 可以降低计量 VMA 的功耗, 但是, 在计量模式下, 降低 MEACLK 会影响部分计量功能, 同时也会使电压/电流有效值的更新速度变慢, 所以, 在计量模式下, 一般不建议使用该方法降低系统的整体功耗。

由上可知, 用户可根据实际的应用情况采用不同的方式降低芯片的整体功耗:

- 降低 DVCCLDO 输出电压, 以降低计量 VMA 的功耗;
- 降低 ADC 采样频率, 并下调全局偏置电流, 从而降低 ADC 的功耗。需要注意: 当全局偏置电流下调约 66% 时, 必须同时将 ADC 的采样频率降为 204.8kHz;
- 在不同的工作模式下, 关闭不需要的功能模块以降低芯片的整体功耗。比如, 当外部晶体工作时, 用户可通过配置关闭 3.2MHz RC 振荡电路来降低芯片的整体功耗;
- 当使用 3.2768MHz 的晶体时, 必须将 XTALLP 位 (bit18, ANCtrl0, 0x0185) 置 1, 使晶体起振电路的功耗降低约一半。

表 4-8 不同的工作模式下的功耗

| 工作模式 | | 计量模式 | | | 电流检测模式 | 休眠模式 |
|------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| | | 配置 1 | 配置 2 | 配置 3 | | |
| 测试条件 | LDO 电压输出调整 | 0 | 0 | 0 | -0.2V | 0 |
| | ADC 时钟频率 | 819.2kHz | 819.2kHz | 204.8kHz | 204.8kHz | - |
| | 计量时钟频率 | 3.2768MHz | 3.2768MHz | 3.2768MHz | 3.2768MHz | - |
| | 全局偏置电流调整 | -33% | -33% | -66% | -66% | 0 |
| | 晶体振荡电路 | 6.5536MHz | 3.2768MHz | 3.2768MHz | 关闭 | 关闭 |
| | 3.2MHz RC 振荡电路 | 关闭 | 关闭 | 关闭 | 开启 | 关闭 |
| 典型功耗 | | 1.45mA | 1.39mA | 1.14mA | 0.85mA | 10μA |

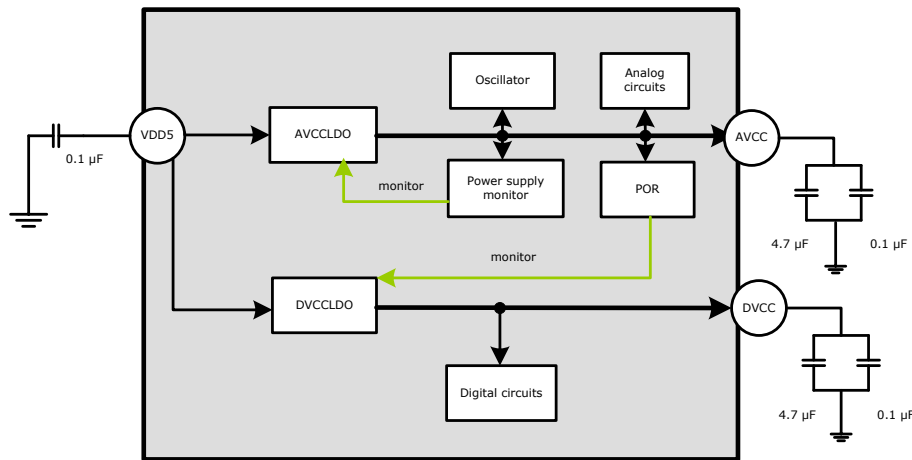
第5章 电源系统

- V9260F 采用 5V 单电源供电，电压输入范围：3.0~5.5V；
- AVCCCLDO 为内部模拟电路供电；
- DVCCCLDO 为内部数字电路供电；
- 可控的基于掉电报警的 CF 保护机制。
- 支持掉电监测。

采用 5V 单电源供电。如果外电源大于 3.3V 时，其内部的 3.3V LDO 电路（AVCCCLDO）保持 3.3V 的输出电压，避免因 VDD5 波动带来的模拟电路性能变化。当外电源小于等于 3.3V 时，AVCCCLDO 自动关闭，此时 AVCC 跟随 VDD5 电源，以降低功耗。

AVCC 具有 30mA 的驱动能力，即，当模拟电路消耗的电流小于 30mA 时，AVCC 能保持输出电压稳定，当负载电流大于 30mA，AVCC 输出电压随着负载电流的上升而下降。

AVCC 在片外需连接一个由一个 $\geq 4.7\mu\text{F}$ 和一个 $0.1\mu\text{F}$ 的去耦电容组成的并联电路。



5.1 掉电监测电路

V9260F 内置掉电监测电路，可以实时监测引脚 AVCC 的输出电压。当 AVCC 引脚上的电压低于 $2.8\text{V}(\pm 5\%)$ 时，系统掉电，并发生掉电中断，掉电检测标志位 PDN（bit28, SysCtrl）置 1。此时 PDN 锁存寄存器 PDN_R(bit22, 0x0180)也置 1，如果此时 CF_PROT (Bit7, 0x0183) 置 1，则 CF 输出固定为 0，而能量计数器/CF 个数计数器会保持工作，从而对 CF 输出实现欠压保护。当掉电事件消失后，中断标志位 PDN 自动清零，PDN_R 标志位保持，需要通过 0x180 寄存器写操作进行清零。

如果掉电中断输出使能，即 IEPDN 位（bit3, MTPARA0）置 1，当系统发生掉电中断时，引脚 INT 输出高电平。

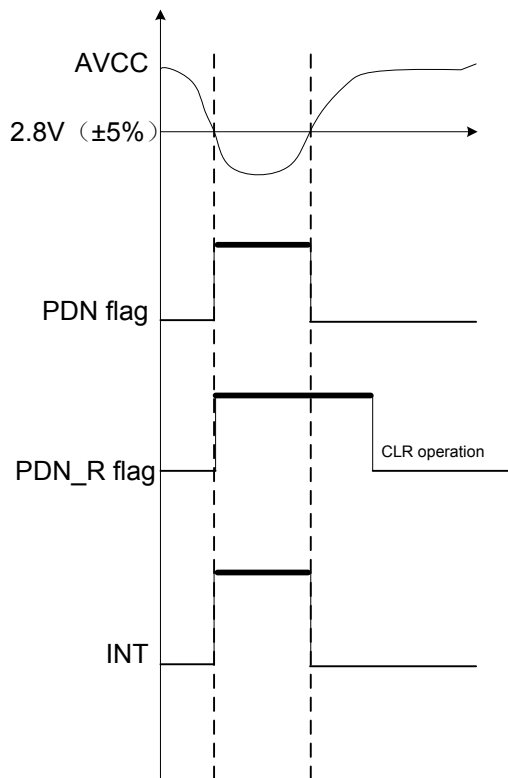


图 5-1 掉电中断

5.2 数字电源电路（DVCCLDO）

V9260F 内部集成了一个数字电源电路 DVCCLDO，为数字电路供电。在掉电状态下，该电路仍能正常工作，从而保证其在输入电压变化的情况下也能稳定地为数字电路供电。该电路在片外需连接一个由一个 $\geq 4.7\mu\text{F}$ 和一个 $0.1\mu\text{F}$ 的去耦电容组成的并联电路。

数字电源电路具有 35mA 的驱动能力，即，当数字电路上的负载电流小于 35mA 时，该电路能保持稳定的电压输出；当负载电流大于 35mA 时，该电路的输出电压会随着负载电流的增加而明显下降。

表 5-1 DVCCLDO 输出电压调整

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-------------------|----------------------------|-----|---|
| ANCtrl2 0x0187 | Bit[14:12] LDOVSEL<2:0> | 0 | 调节 DVCCLDO 输出电压。 000: 不调整; 001: -0.1V; 010: +0.2V; 011: +0.1V; 100: -0.4V; 101: -0.5V; 110: -0.2V; 111: -0.3V。 |

5.3 上电复位电路

上电复位（POR）电路监测 DVCC 引脚的输出电平。当 DVCC 引脚上的输出电压低于 1.45V 时，POR 复位信号持续低电平，产生复位信号。高于 1.45V 后，复位信号释放。

该电路始终工作。

第6章 电压基准电路 (BandGap)

电压基准电路 (BandGap) 输出一个随温度变化较小的 (典型温度漂移 10ppm/°C) 约 1.188V 的基准电压, 为 ADC 和 3.2MHz RC 时钟提供基准电压和偏置电压。所以, 在开启各路 ADC 和 3.2MHz RC 时钟之前, 必须保证已开启 BandGap 电路。该电路负载电流约 0.08mA (典型)。

BandGap 电路默认关闭, 用户可以通过配置 BGPPDN 位 (bit27, ANCtrl0, 0x0185) 开启该电路。

在休眠模式下, BandGap 电路自动关闭; 在电流检测模式下, BandGap 电路自动开启。

用户可以通过配置 ANCtrl0 (0x0185) 中的 bit[14:12] 和 bit[9:8] 对 BandGap 电路的温度系数进行调整, 以便与系统 (如片外元器件等) 带来的温度系数相抵消。具体步骤如下:

1) 先确定现有温度系数寄存器的配置, 假设当前细调寄存器 RESTL<2:0>='010', 粗调 RESTL<1:0>='00', 那么查表知道目前对应的温度系数调节幅度为 +20ppm;

2) 实验确定电表的高低温误差。例如 20°C 时误差为 0, 高温 80°C 误差为 0.6%, 低温 -40°C 为 -0.4%。那么需要调节的误差幅度是 $(0.6\% - (-0.4\%))/2$, 为 0.5%, 调节方向以高温为基准, 应该将高温误差往负调。对应 ppm 是 $-0.5\%/(80-20) = -5000/60 = -83\text{ppm}$, 四舍五入取 -80ppm;

3) 误差和 REF 的变化幅度是负两倍关系, 因此对应要将 REF 往正方向调节 40ppm。考虑到现有配置已经是 +20ppm, 那么最终要调 +60ppm。查表知道当 RESTL<1:0>='01' 时, 对应 70ppm, RESTL<2:0>='111' 时, 对应 -10ppm, 组合起来等于 60ppm。

注意: 对 ref 温度参数的调节会影响到基本误差, 因此, 客户每设计一款新的产品时, 首先确认 ref 的温度参数, 再对电能表进行误差校正。

当 BandGap 温度系数的调整幅度为 x 时, 电表计量误差的温度系数调整幅度为 -2x。

表 6-1 BandGap 电路相关寄存器

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-------------------|-------------------------|-----|--|
| ANCtrl0 0x0185 | Bit27 BGPPDN | 0 | 将该位置 1 开启电压基准 (BandGap) 电路, 为 ADC 和 3.2MHz RC 时钟提供基准电压和偏置电压, 所以, 在开启 ADC 和 3.2MHz RC 时钟之前, 必须先开启 BandGap 电路。该位默认为 0, 即关闭 BandGap 电路。 在休眠模式下, BandGap 电路自动关闭; 在电流检测模式下, BandGap 电路自动开启。正常计量时, 必须开启 BandGap 电路。 |
| | Bit[14:12] REST<2:0> | 0 | 电压基准 (BandGap) 电路的温度系数微调。 000: 0ppm; 001: +10ppm; 010: +20ppm; 011: +30ppm; 100: -40ppm; 101: -30ppm; 110: -20ppm; 111: -10ppm。 正常计量时, 为了获取最佳的计量性能和温度性能, 用户必须根据计算结果进行调整。计算方法见电压基准电路章节。 |
| | Bit[9:8] RESTL<1:0> | 0 | 电压基准 (BandGap) 电路的温度系数粗调。 00: 0ppm; 01: +70ppm; 10: -140ppm; 11: -70ppm。 正常计量时, 为了获取最佳的计量性能和温度性能, 用户必须根据计算结果进行调整。计算方法见电压基准电路章节。 |

第7章 UART

V9260F 支持通过 UART 串行端口与外部 MCU 通信。UART 端口具有如下特点：

- 异步半双工通信；
- 接收或发送的字节组成：1-bit 开始位，8-bit 数据，1-bit 校验位（奇校验）和 1-bit 停止位；
- 不管接收还是发送，都是最低位（LSB）在前；
- 波特率可软件配置。

当发生 POR 复位、WDT 溢出复位、RX 复位或软件复位时，UART 串行端口被复位。在休眠模式下，UART 串行端口处于 IDLE 状态。

7.1 字节结构

UART 串行端口采用固定长度的字节进行通信。如下图所示，UART 接收和发送的每个字节都包括 11 位，由 4 部分组成，从低位到高位分别是开始位（“0”，1-bit，START）、数据（8-bit，B0~B7）、奇校验位（1-bit，P）和停止位（“1”，1-bit，STOP）。无论发送还是接收，总是最低位（LSB）在前，最高位（MSB）在后。

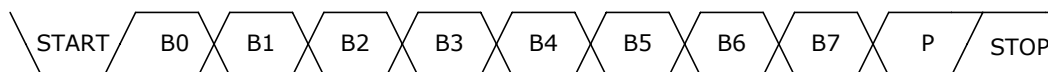


图 7-1 UART 通信的字节结构

7.2 波特率

当晶体振荡电路正常工作时，UART 工作时钟的时钟源为 CLK1。在 V9260F 中，CLK1 经过 2~64 次分频后产生 UART 工作时钟（UARTCLK），该时钟被 43 次分频后产生波特率。所以，在不同 UART 工作时钟下，UART 通信的实际波特率如下表所示。

注意：

当晶体振荡电路停止工作时，3.2MHz RC 振荡电路产生的 CLK2 即为 UART 接口提供时钟，但是，因为 CLK2 频率不够精确，所以，UART 接口无法正常工作。

表 7-1 不同 UART 工作时钟下的实际波特率

| f _{UARTCLK} (kHz) | 理想波特率 (bps) | 实际波特率 (bps) |
|----------------------------|-------------|-------------|
| 51.2 | 1200 | 1190.70 |
| 102.4 | 2400 | 2381.40 |
| 204.8 | 4800 | 4762.79 |
| 409.6 | 9600 | 9525.58 |
| 819.2 | 19200 | 19051.16 |
| 1638.4 | 38400 | 38102.33 |

在 V9260F 中，用户可通过 CKUDIV 位（bit[4:2]，0x0180，SysCtrl）配置波特率。

表 7-2 UART 通信波特率配置

| 寄存器 | 位 | 功能说明 |
|-------------------|--------------------|--|
| SysCtrl 0x0180 | Bit[4:2] CKUDIV | 设置波特率（bps）。 000: 1200; 001: 2400（默认值）; 010: 4800; 011: 9600; 100: 19200; 101: 38400; 110/111: 1200 |

注意：如果外部连接的是 3.2768MHz 晶体，那么，在初始状态下实际的波特率是预期波特率的一半。用户必须先将 XTAL3P2M 位（Bit19, 0x0185, ANCtrl0）置 1 禁用二分频电路，才能使 UART 接口在预期波特率下工作。发生 WDT 溢出复位后，UART 通讯波特率复位为 2400bps，但是 CKUDIV 位保持原来的配置不变。

7.3 通信协议

外部 MCU 对 V9260F 内一个 32-bit 的数据进行读/写/广播操作均需要发送一个由 8 个字节组成的命令帧(结构如下图所示)。各个字节的说明详见“写操作”、“读操作”和“广播写操作”。

| | | | | | | | |
|----|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 帧头 | 控制字节 | 地址字节 | 数据字节0 | 数据字节1 | 数据字节2 | 数据字节3 | 校验字节 |
|----|------|------|-------|-------|-------|-------|------|

图 7-2 读/写/广播写操作时外部 MCU 对 V9260F 发送的命令帧（8 个字节）

进行读/写操作时，在收到外部 MCU 发送的命令帧后，V9260F 会针对不同的操作向外部 MCU 发送不同结构的应答帧，各个字节的说明详见“写操作”和“读操作”。进行广播写操作时，在收到外部 MCU 发送的命令帧后，V9260F 不会向外部 MCU 发送应答帧，以免发生通信冲突。

下图是 V9260F 的 UART 接口（RX 和 TX）接收与发送一个字节帧的时序。

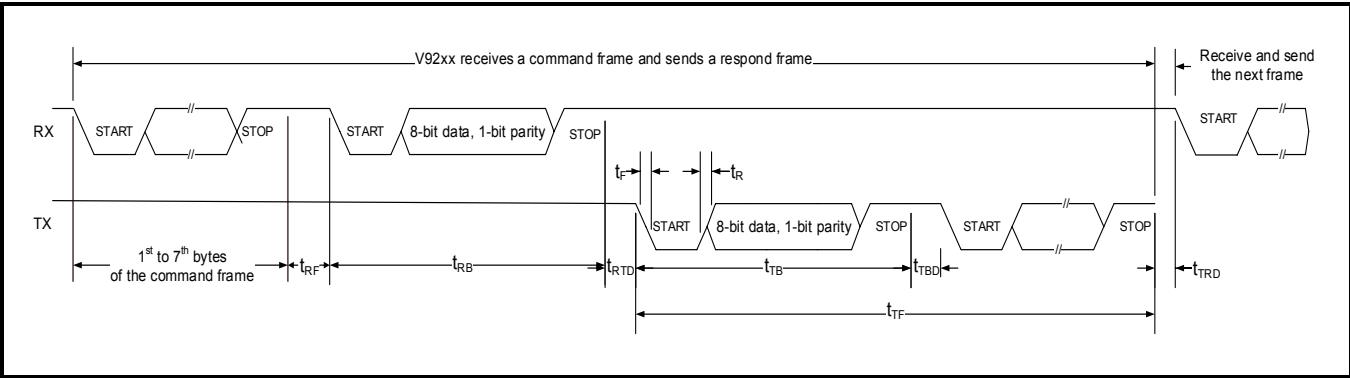


图 7-3 V9260F 的 UART 接口接收与发送一个字节帧的时序

表 7-3 UART 接口时序参数说明

| 时序参数 | 说明 |
|-----------------|---|
| t _{RB} | V9260F 的 RX 引脚接收完一个字节实际所需的时间。 $t_{RB} = \frac{11}{\text{baudrate}}$ 其中，baudrate 为 V9260F 的 UART 接口实际的波特率。 |

| 时序参数 | 说明 |
|-----------|--|
| t_{RF} | <p>V9260F 的 RX 引脚接收时两个字节间的最大间隔时间：</p> $t_{RF} = \frac{16}{\text{baudrate}}$ <p>其中，baudrate 为 V9260F 的 UART 接口实际的波特率。当理想波特率为 4800bps 时，$t_{RF}=3.33\text{ms}$。如果 RX 引脚接收一帧数据字节之间，存在大于等于 t_{RF} 的时间间隔，则认为发生字节超时。发生超时后，UART 接口进入 IDLE 模式，等待下一个命令帧。</p> |
| t_{RTD} | <p>V9260F 的 RX 引脚完成一个命令帧的接收与 TX 引脚开始发送应答帧之间的延时。</p> $0\text{ms} \leq t_{RTD} \leq 20\text{ms}$ <p>注意：广播写操作时，不发送应答帧。外部 MCU 对 V9260F 进行连续两次广播写操作之间，建议至少等待 2ms。</p> |
| t_{TF} | V9260F 的 TX 引脚发送一个应答帧实际所需的时间。进行读操作或写操作时， t_{TF} 由读操作与写操作的应答帧的结构决定。广播写操作时，不发送应答帧。 |
| t_{TB} | <p>V9260F 的 TX 引脚发送完一个字节实际所需的时间。</p> $t_{TB} = \frac{11}{\text{baudrate}}$ <p>其中，baudrate 为 V9260F 的 UART 接口实际的波特率。</p> |
| T_{TBD} | <p>V9260F 的 TX 引脚发送的一个应答帧里连续两个字节之间的延时。</p> $0\text{ms} \leq t_{TBD} \leq 20\text{ms}$ |
| t_{TRD} | <p>V9260F 的 TX 引脚完成一个应答帧的发送与 RX 引脚开始接收下一个命令帧之间的延时。</p> <p>建议大于 2ms。</p> |
| t_R | 波形上升沿的时间，约为 300ns。 |
| t_F | 波形下降沿的时间，约为 300ns。 |

7.3.1 写操作

外部 MCU 对 V9260F 内一个 32 位数据进行写操作需要发送一个由 8 个字节组成的命令帧；收到信息后，V9260F 会向外部 MCU 发送一个由 4 个字节组成的应答帧。接收与发送的各字节中，START 位为 0，STOP 位为 1，P 位根据整个字节的实际情况确定，数据位（B7:B0）的内容分别如下表所示。无论发送还是接收，都是最低位（LSB）在前，最高位（MSB）在后。

在控制字节中，B3:B2 为从机地址，由引脚 A1/A0 决定，最多可同时支持 4 颗芯片。

表 7-4 写操作时外部 MCU 向 V9260F 发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

| 顺序 | 字节 | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 |
|----|--------|-----------------|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 帧头 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 控制字节 | 写操作目标地址的高 4-bit | | | | A1 | A0 | 1 | 0 |
| 3 | 地址字节 | 写操作目标地址的低 8-bit | | | | | | | |
| 4 | 数据字节 0 | 目标数据的 bit[7:0] | | | | | | | |
| 5 | 数据字节 1 | 目标数据的 bit[15:8] | | | | | | | |

| 顺序 | 字节 | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 |
|----|--------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 6 | 数据字节 2 | 目标数据的 bit[23:16] | | | | | | | |
| 7 | 数据字节 3 | 目标数据的 bit[31:24] | | | | | | | |
| 8 | 校验字节 | 校验和。计算方法：将上述 7 个字节按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。 | | | | | | | |

表 7-5 写操作时 V9260F 向外部 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

| 顺序 | 字节 | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 |
|----|------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 帧头 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 控制字节 | 写操作目标地址的高 4-bit | | | | A1 | A0 | 1 | 0 |
| 3 | 地址字节 | 写操作的目标地址的低 8-bit | | | | | | | |
| 4 | 校验字节 | 校验和。计算方法：将上述 3 个字节按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。 | | | | | | | |

7.3.2 读操作

外部 MCU 对 V9260F 内一个 32 位数据进行读操作需要发送一个由 8 个字节组成的命令帧；收到信息后，V9260F 会向外部 MCU 发送一个由 $(4 \times N + 4)$ ($1 \leq N \leq 255$ ，定义见下表) 个字节组成的应答帧。接收与发送的各字节中，START 位为 0，STOP 位为 1，P 位根据整个字节的实际情况确定，数据位 (B7:B0) 的内容分别如下表所示。无论发送还是接收，都是最低位 (LSB) 在前，最高位 (MSB) 在后。

在控制字节中，B3:B2 为从机地址，由引脚 A1/A0 决定，最多同时支持 4 颗芯片。

表 7-6 读操作时外部 MCU 向 V9260F 发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

| 顺序 | 字节 | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 |
|----|--------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 帧头 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 控制字节 | 读操作目标地址 (D_1) 的高 4-bit | | | | A1 | A0 | 0 | 1 |
| 3 | 地址字节 | 读操作的目标地址 (D_1) 低 8-bit | | | | | | | |
| 4 | 数据字节 0 | 表示读操作的数据长度 (N)。 仅对目标地址 (D_1) 进行读操作时，N 等于 1。数据字节 0 为零的时候，按照 N 等于 1 进行读取。 对从目标地址开始的多个连续地址进行读操作时，N 等于地址的个数。一次最多可读取 255 个连续地址的数据，即 $N \leq 255$ 。 | | | | | | | |
| 5 | 数据字节 1 | 无实际意义。 | | | | | | | |
| 6 | 数据字节 2 | | | | | | | | |
| 7 | 数据字节 3 | | | | | | | | |
| 8 | 校验字节 | 校验和。计算方法：将上述 7 个字节按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。 | | | | | | | |

表 7-7 读操作时 V9260F 向外部 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

| 顺序 | 字节 | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

| 顺序 | 字节 | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 |
|-------|---------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 帧头 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 控制字节 | 读操作目标地址 (D ₁) 的高 4-bit | | | | A1 | A0 | 0 | 1 |
| 3 | 长度字节 | 表示读操作的数据长度 (N)。 | | | | | | | |
| 4 | 数据字节 10 | 目标地址 (D ₁) 寄存器的 bit[7:0] | | | | | | | |
| 5 | 数据字节 11 | 目标地址 (D ₁) 寄存器的 bit[15:8] | | | | | | | |
| 6 | 数据字节 12 | 目标地址 (D ₁) 寄存器的 bit[23:16] | | | | | | | |
| 7 | 数据字节 13 | 目标地址 (D ₁) 寄存器的 bit[31:24] | | | | | | | |
| 8 | 数据字节 20 | 地址 D ₂ (D ₂ =D ₁ +1) 寄存器的 bit[7:0] | | | | | | | |
| 9 | 数据字节 21 | 地址 D ₂ (D ₂ =D ₁ +1) 寄存器的 bit[15:8] | | | | | | | |
| ... | ... | | | | | | | | |
| 4×N+0 | 数据字节 N0 | 地址 D _N (D _N =D ₁ +N-1) 寄存器的 bit[7:0] | | | | | | | |
| 4×N+1 | 数据字节 N1 | 地址 D _N (D _N =D ₁ +N-1) 寄存器的 bit[15:8] | | | | | | | |
| 4×N+2 | 数据字节 N2 | 地址 D _N (D _N =D ₁ +N-1) 寄存器的 bit[23:16] | | | | | | | |
| 4×N+3 | 数据字节 N3 | 地址 D _N (D _N =D ₁ +N-1) 寄存器的 bit[31:24] | | | | | | | |
| 4×N+4 | 校验字节 | 校验和。计算方法：将上述 4×N+3 个字节按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。 | | | | | | | |

7.3.3 广播写操作

外部 MCU 对多颗的 V9260F 内一个 32 位数据进行广播写操作需要发送一个由 8 个字节组成的命令帧，各字节中，START 位为 0，STOP 位为 1，P 位根据整个字节的实际情况确定，数据位 (B7:B0) 的内容分别如下表所示。发送时，最低位 (LSB) 在前，最高位 (MSB) 在后。广播写操作时，V9260F 无需向外部 MCU 发送应答帧，以避免发生通信冲突。

外部 MCU 对 V9260F 进行连续两次广播写操作之间，建议至少等待 2ms。

表 7-8 广播写操作时外部 MCU 向 V9260F 发送的命令帧结构 (仅列出各字节的数据位 B7:B0)

| 顺序 | 字节 | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 |
|----|--------|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 帧头 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 控制字节 | 写操作目标地址的高 4-bit | | | | X* | X* | 0 | 0 |
| 3 | 地址字节 | 写操作目标地址的低 8-bit | | | | | | | |
| 4 | 数据字节 0 | 目标数据的 bit[7:0] | | | | | | | |
| 5 | 数据字节 1 | 目标数据的 bit[15:8] | | | | | | | |
| 6 | 数据字节 2 | 目标数据的 bit[23:16] | | | | | | | |
| 7 | 数据字节 3 | 目标数据的 bit[31:24] | | | | | | | |
| 8 | 校验字节 | 校验和。计算方法：将上述 7 个字节按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。 | | | | | | | |

| 顺序 | 字节 | B7 | B6 | B5 | B4 | B3 | B2 | B1 | B0 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

*X 可以是 0 或 1。

第8章 信号处理

电能计量时钟（MEACLK）信号来源为晶体振荡电路（CLK1）或高频 RC 振荡电路（CLK2）。

8.1 模拟信号输入

V9260F 支持 1 路电流信号输入。

电流可以采用电流传感器（CT，Current Transformer）输入信号，采用双端完全差动输入方式，接线方式如下图所示；也可以采用锰铜电阻分流网络输入电流，采用 AGND 接地。

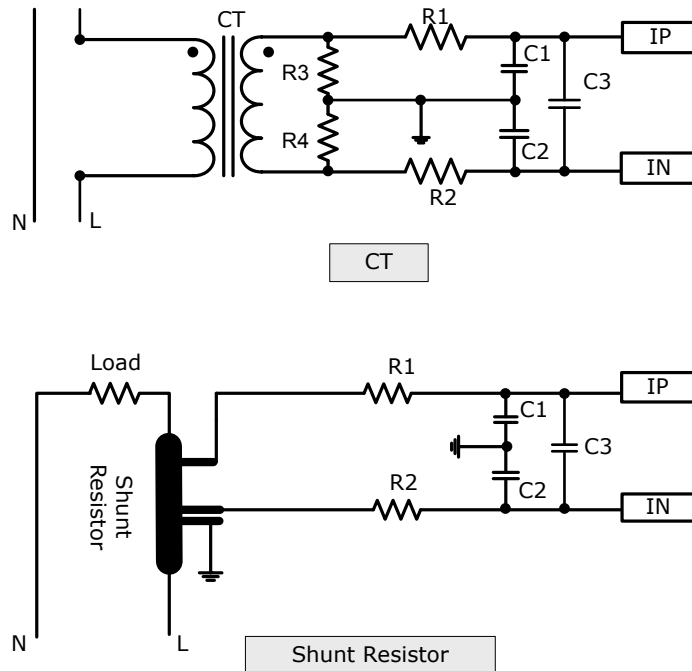


图 8-1 电流输入方式

V9260F 支持采用电压互感器方式或电阻分压方式输入电压信号，采用伪差分输入方式，相对于 UN 接地，UP 为正端。

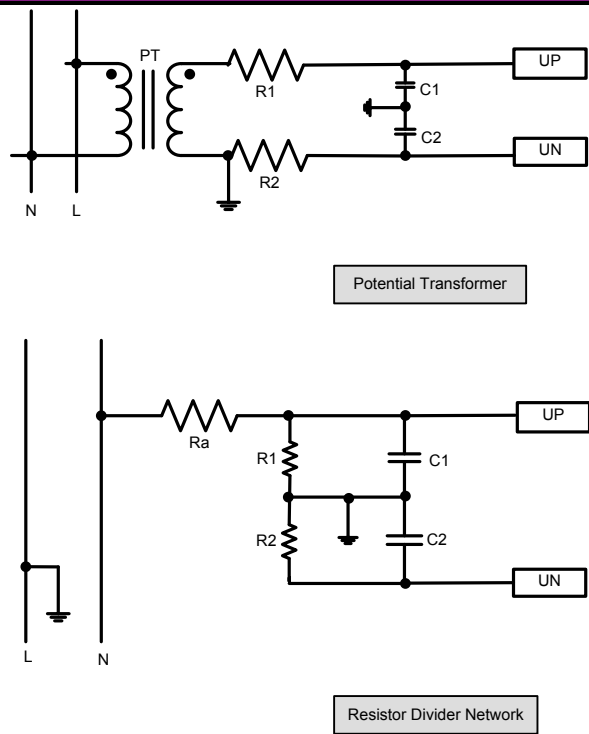


图 8-2 电压输入方式

在 V9260F 中，电流和电压通道的单个信号引脚输入的最大电压范围是±200mV，双端差分输入的最大信号是±400mV，而 ADC 的满量程信号与基准电压相等，所以，为了使传感器输出信号与模数转换器（以下简称 ADC）之间的量程相匹配，用户应通过模拟控制寄存器 0（0x0185，ANCtrl0）对电流/电压进行模拟增益配置，而片外输入信号与 PGA 的乘积不能超过 ADC 的满量程信号。经此处理，各通道的模拟信号变为：

$$\begin{aligned}U' &= \text{PGA}_u \times (A_u \times \sin\omega t + \text{DC}_u) \\I' &= \text{PGA}_i \times [A_i \times \sin(\omega t + \psi) + \text{DC}_i]\end{aligned}\quad \text{公式 8-1}$$

其中，PGA_u 和 PGA_i 分别是电压和电流的模拟增益，A_u 和 A_i 为输入信号的幅度（V），DC_u 和 DC_i 分别是电压和电流原始信号中所带的直流分量。

表 8-1 电压/电流通道模拟增益配置

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-------------------|---------------------|-----|---|
| 0x0185 ANCtrl0 | Bit7 GU | 0 | 电压通道（U）ADC 模拟增益控制。 0：×4；1：×1。 正常计量时，为获取最佳的计量性能，建议采用默认值。 |
| | Bit[1:0] GI<1:0> | 0 | 电流通道（I）ADC 模拟增益控制。 用户应根据传感器的输出信号大小确定 PGA，应保证最大信号与 PGA 的乘积小于基准电压。 00：×32；01：×16；10：×4；11：×1。 |

8.2 模拟/数字转换



V9260F 中的电压/电流通道 ADC 均采用二阶 $\Sigma-\Delta$ ADC 结构。默认情况下，所有 ADC 均关闭。

表 8-2 电压/电流 ADC 开启与关闭

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-------------------|------------------|-----|---|
| 0x0185 ANCtrl0 | Bit26 ADCUPDN | 0 | 将该位置 1 开启 U 通道 ADC。在开启 ADC 之前，必须先开启 BandGap 电路。 U 通道 ADC 默认关闭。 无论在休眠模式还是电流检测模式下，U 通道 ADC 自动关闭。 |
| | Bit24 ADCIPDN | 0 | 将该位置 1 开启 I 通道 ADC。在开启 ADC 之前，必须先开启 BandGap 电路。 I 通道 ADC 默认关闭。 在休眠模式下，I 通道 ADC 自动关闭；在电流检测模式下，I 通道 ADC 自动开启。 |

模拟信号经 ADC 转换为数字信号后被输入角差校正模块进行角差校正，以消除因采样电路和 ADC 的失配而引起的电压/电流信号之间的相位差。

8.3 角差校正

在 V9260F 中，电压（U）/电流（I）信号输入一个由延时链组成的角差校正电路，根据电压和电流之间的相位超前或滞后关系，选择将其中一路信号送入延时电路进行角差校正。在寄存器 MTPARA1（0x0184）中，用户可通过配置 ENPHC(bit19)使能角差校正功能；配置 PHCIU(bit18)选择需要被校正的信号；配置 PHC(bit[15:8])设置角差校正量。

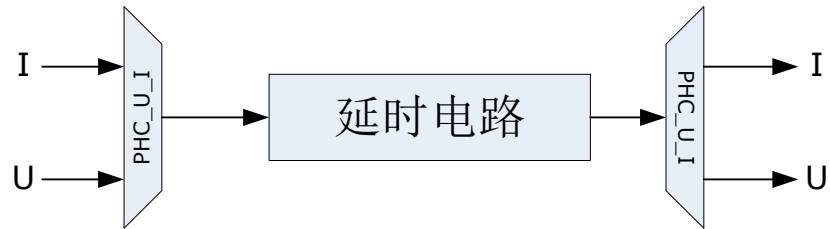


图 8-3 角差校正原理图

表 8-3 角差校正相关寄存器

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-------------------|------------------|-----|---|
| 0x0184 MTPARA1 | Bit19 ENPHC | 0 | 使能角差校正。默认为 0。 1：使能；0：禁止。 |
| | Bit18 PHCIU | 0 | 设置角差校正值符号位。默认为 0。 1：延时电压信号；0：延时电流信号。 |
| | Bit[15:8] PHC | 0 | 设置角差校正值的绝对值。 角差校正的分辨率默认为 0.005°/bit，总校正量（绝对值）默认为 1.4°。 |

角差校正电路的采样频率（ f_{smp1} ）默认为 3.2768MHz，此时，角差校正分辨率为 0.005°/lsb，总校正量为 $\pm 1.4^\circ$ 。角差校正电路的采样频率（ f_{smp1} ）由 CKMDIV 位（bit1，SysCtrl，0x0180）的配置决定。

角差校正需要在 $PF=0.5L$ 的时候进行，写入角差校正控制寄存器的值（N）的可通过以下公式计算得到（对计算结果四舍五入取整）：

$$N = Round(\frac{3011}{2} \times E \times \frac{f_{smp1}}{819200})$$

公式 8-2

其中，

N 为写入角差校正相关寄存器的值，带符号。当 N 为正值时，应在 PHCIU 位写入“0”；当 N 为负值时，应在 PHCIU 位写入“1”。N 的绝对值写入寄存器 MTPARA1（0x0184）的 bit[15:8]；

f_{smp1} 的值由 MECLKSEL 位（bit1，SysCtrl，0x0180）的配置决定，Hz；

E 为台体显示的误差。

表 8-4 不同 f_{smp1} 下的角差分辨率和校正范围

| N 取值范围 | 频率控制位配置 | f_{smp1} (Hz) | 角差分辨率 (°/lsb) | 校正范围 (°) |
|--------------|--------------|-----------------|---------------|----------|
| [-255, +255] | CKMDIV | 0 | 3276800 | 1.4 |
| | bit1, 0x0180 | 1 | 819200 | 5.6 |

8.4 数字信号输入及去直流

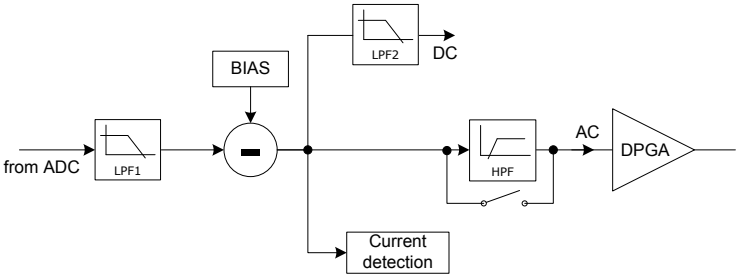


图 8-4 数字信号输入和去直流信号处理（以 I 通道为例）

过采样 Σ/Δ ADC 输出 1bit 码流伴有大量的高频噪声，在 V9260F 中，用低通滤波器（LPF1）来抑制该噪声，并进行降采样处理，最终得到 23-bit（bit[22:21]为符号位）的信号原始波形。在 I 通道和 U 通道里，电压和电流信号原始波形被输入一个减法器，通过在寄存器 ZZDCI（0x0123）和 ZZDCU（0x0124）中设置的直流偏置值，消掉由外部器件及 ADC 引入的直流漂移。之后，信号分别进行了如下处理：

- 信号被输入另一个低通滤波器（LPF2），得到各通道信号的直流分量，并存于相应的直流分量寄存器中；
- 默认情况下，信号被输入一个高通滤波器，去除各通道原始输入信号本身所带的直流分量，从而得到相应信号的交流分量，并将该交流分量送入后续电路参与功率/有效值计算，提高计算结果的准确度。
- 在电流通道中，电流信号会被输入一个内置的电流检测电路，用于电流检测（详见“电流检测中断”）。

通过配置计量控制寄存器 1（MTPARA1，0x0184）中的 bit27 和 bit[17:16]，用户可以决定是否将 ADC 输出的数字信号输入低通滤波器中进行降采样处理。开启该功能时，ADC 的输出信号被累加进入低通滤波器；关闭该功能时，低通滤波器输出为常数。用户可通过配置 BPHPF 位（bit20，MTPARA1，0x0184）寄存器关闭去直流用的高通滤波器。

表 8-5 各通道数字信号输入使能

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-------------------|--------------|-----|--|
| 0x0184 MTPARA1 | Bit17 ONI | 0 | 使能电流（I）通道数字信号输入。 1：使能；0：禁止，此时，该通道数字信号输入恒为 0。 在电流检测模式下，该位自动置 1。 |

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-----|--------------|-----|--|
| | Bit16 ONU | 0 | 使能电压（U）通道数字信号输入。 1：使能；0：禁止，此时，该通道数字信号输入恒为 0。 在电流检测模式下，该位自动置 0。 |

电压/电流信号的直流分量寄存器的数据格式均为 32-bit 补码，读操作有效，写入操作无意义。

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，直流分量寄存器的数据更新时间为 160ms，稳定时间为 300ms。

当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，直流分量寄存器的数据更新时间为 640ms，稳定时间为 1200ms。

表 8-6 直流分量计算相关寄存器

| 寄存器 | | 说明 |
|--------|-------|--------------|
| 0x0123 | ZZDCI | 电流预设直流偏置值寄存器 |
| 0x0124 | ZZDCU | 电压预设直流偏置值寄存器 |
| 0x0114 | DCU | 电压直流分量寄存器 |
| 0x0115 | DCI | 电流直流分量寄存器 |

用户可通过计量控制寄存器 1（MTPARA1，0x0184）配置各通道信号的数字增益，将信号的交流分量放大，最大可配置为 32 倍，但应保证最大输入信号与总增益的乘积小于基准电压。推荐使用模拟增益进行增益调节。

表 8-7 各路信号的数字增益配置

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-------------------|------------------|-----|---|
| 0x0184 MTPARA1 | Bit[7:4] PGAI | 0 | 电流通道（I）数字增益控制。 0000: ×1; 0001: ×1/2; 0010: ×1/4; 0011: ×1/8; 0100: ×1/16; 0101: ×1/32; 1000: ×1; 1001: ×2; 1010: ×4; 1011: ×8; 1100: ×16; 1101: ×32。 |
| | Bit[3:0] PGAU | 0 | 电压通道（U）数字增益控制。 0000: ×1; 0001: ×1/2; 0010: ×1/4; 0011: ×1/8; 0100: ×1/16; 0101: ×1/32; 1000: ×1; 1001: ×2; 1010: ×4; 1011: ×8; 1100: ×16; 1101: ×32 |

经上述处理后得到的电压/电流信号的值分别根据如下公式计算得到：

$$U = PGA_{du} \times \frac{PGA_u \times A_u \times \sin \omega t}{1.188}$$
$$I = PGA_{di} \times \frac{PGA_i \times A_i \times \sin(\omega t + \varphi)}{1.188}$$

公式 8-3

其中，

PGA_{du} 或 PGA_{di} 为电压/电流的数字增益；

PGA_u 或 PGA_i 为电压/电流的模拟增益；

A_u 或 A_i 为电压/电流的输入信号的幅度（V）；

1.188 为基准电压。

8.5 有效值计算

在 V9260F 中，当 CKSUM 位和 IDET 位（bit22 和 bit21，MTPARA1，0x0184）均清零时，电压和电流信号的交流分量信号进行有效值计算：

- 1 电压和电流信号的交流分量直接用于各通道信号的全波有效值计算；
- 2 电压和电流信号的交流分量经过低通滤波器（LPF，增益为 0.85197）处理后，输出基波信号，用于基波有效值计算。

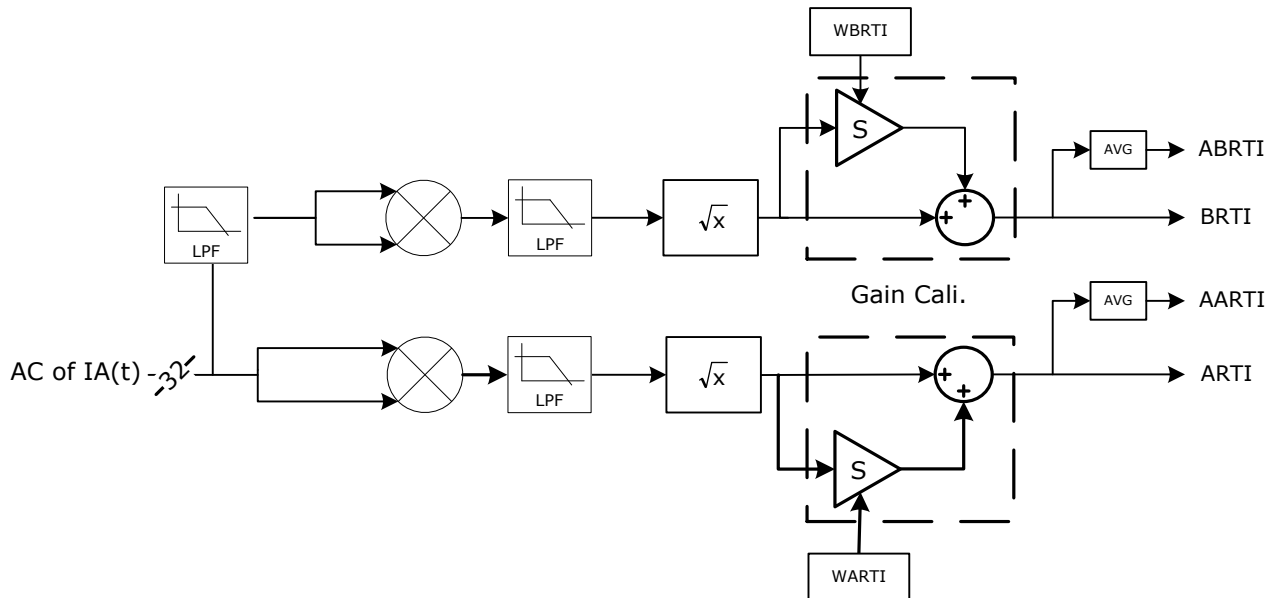


图 8-5 全波/基波有效值计算

8.5.1 有效值计算

在 V9260F 中，全波或基波电压/电流有效值的计算公式（以电流为例）：

$$\text{全波电流有效值: } I_{rms} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 0.99992 \times PGAdi \times \frac{PGAi \times Ai}{1.188} \quad \text{公式 8-4}$$

$$\text{基波电流有效值: } BI_{rms} = \frac{\sqrt{2}}{2} \times 0.85197 \times PGAdi \times \frac{PGAi \times Ai}{1.188} \quad \text{公式 8-5}$$

其中，

PGAdi 为电流通道的数字增益；

PGAi 为电流通道的模拟增益；

Ai 为电流模拟输入信号的幅度（V）；

1.188 为基准电压（V）；

0.99992 和 0.85197 为系统增益。

根据上述方法计算得到的是各通道信号的有效值原始值，经过比差校正后，得到全波有效值瞬时值（U/I）和基波有效值瞬时值（U/I），再经过秒平均，得到全波有效值平均值（U/I）和基波有效值平均值（U/I）。上述所有的值均存于相应的数据寄存器中。

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，所有电压/电流有效值原始值和瞬时值的更新时间为 160ms，稳定时间为 500ms；所有电压/电流有效值平均值的更新时间为 1.28s，稳定时间为 3s。

当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，所有电压/电流有效值原始值和瞬时值的更新时间为 640ms，稳定时间为 2000ms；所有电压/电流有效值平均值的更新时间为 5.12s，稳定时间为 12s。

8.5.2 有效值校正

在 V9260F 中，为了修正各个通道间的系统偏差，根据计算得到的电压/电流有效值均需要进行比差校正后才会存入对应的数据寄存器中。

设原始的有效值为 RMS' ，校正补偿后的有效值为 RMS ，比差校正值为 S ，则，三者之间的关系如下：

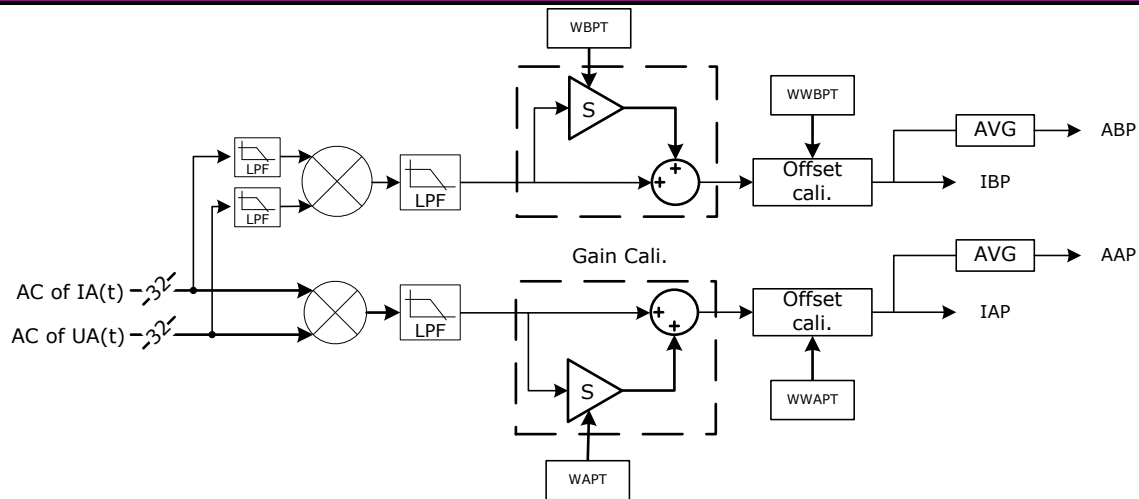
$$RMS = RMS' \times (1 + S) \quad \text{公式 8-6}$$

用户可在全波有效值比差寄存器（U/I）和基波有效值比差寄存器（U/I）中设置相应的比差校正值。

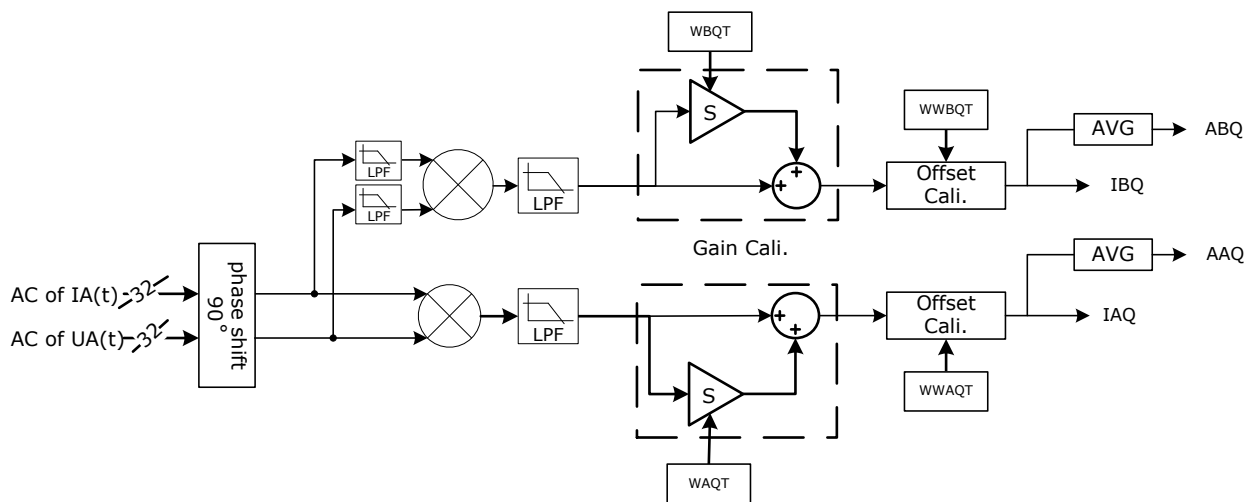
8.6 功率计算和校正

在 V9260F 中，当 CKSUM 位和 IDET 位（bit22 和 bit21，MTPARA1，0x0184）均清零时，电压和电流信号的交流分量信号可进行功率计算：

- 1 电压和电流信号的交流分量直接用于全波有功功率计算；
- 2 电压和电流信号的交流分量经过低通滤波器（LPF）处理后，输出基波信号，用于基波有功功率计算；
- 3 电压和电流信号的交流分量移相 90 度后，得到的信号直接用于全波无功功率计算；
- 4 电压和电流信号的交流分量移相 90 度，得到的信号经过低通滤波器（LPF）处理后，输出基波信号，用于基波无功功率计算。



全波/基波有功功率计算



全波/基波无功功率计算

图 8-6 有功/无功功率计算

全波/基波有功/无功功率的计算公式如下：

$$\text{全波有功功率: } P = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{Ai \times PG Ai \times PG Adi}{1.188} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{Au \times PG Au \times PG Adu}{1.188} \times \cos \theta \times 0.99985 \times 2^{31} \quad \text{公式 8-7}$$

$$\text{全波无功功率: } Q = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{Ai \times PG Ai \times PG Adi}{1.188} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{Au \times PG Au \times PG Adu}{1.188} \times \sin \theta \times 0.78402 \times 2^{31} \quad \text{公式 8-8}$$

$$\text{基波有功功率: } BP = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{Ai \times PG Ai \times PG Adi}{1.188} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{Au \times PG Au \times PG Adu}{1.188} \times \cos \theta \times 0.72585 \times 2^{31} \quad \text{公式 8-9}$$

$$\text{基波无功功率: } BQ = \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{Ai \times PG Ai \times PG Adi}{1.188} \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times \frac{Au \times PG Au \times PG Adu}{1.188} \times \sin \theta \times 0.36292 \times 2^{31} \quad \text{公式 8-10}$$

其中，

PGAdi 和 PGAdu 分别为电流和电压通道的数字增益；

PGAi 和 PGAu 分别为电流和电压通道的模拟增益；

Ai 和 Au 分别为电流和电压模拟输入信号的峰值；

θ 为电压与电流信号的相位差；

0.99985、0.78402、0.72585 和 0.36292 为系统增益。

如上图所示，电压和电流信号相乘获得功率原始值，该数据经过校正修正各个通道间的系统偏差后，得到有功/无功功率的瞬时值，存于相应的功率寄存器。另外，功率瞬时值经过低通滤波器后得到功率平均值。

当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，所有有功/无功功率瞬时值和原始值的更新时间为 160ms，稳定时间为 500ms；全波有功/无功功率平均值的更新时间为 1.28s，稳定时间为 3s。

当电能计量时钟频率为 819.2kHz 时，所有有功/无功功率瞬时值和原始值的更新时间为 640ms，稳定时间为 2000ms；全波有功/无功功率平均值的更新时间为 5.12s，稳定时间为 12s。

8.7 电压频率测量

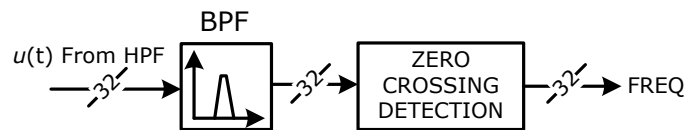


图 8-7 线电压频率测量原理

V9260F 支持电压频率测量。

系统对经过高通滤波和带通滤波处理后的基波电压信号 $u(t)$ 以 3200Hz 的频率进行采样，并对采样点做正向过零点判断，每个周波（20ms）输出一个频率测量值（即两个正向过零之间的样点个数），存于频率瞬时值寄存器（FREQ，只读）。为了提高频率测量精度，对瞬时频率进行秒平均处理，得到频率秒平均值（SAFREQ，可读可写）。为了进一步提高频率分辨率，可以对秒平均频率做进一步的平均，从而得到高分辨率的频率平均值（AFREQ，可读可写）。

因为频率测量的是基波电压的频率，所以需要电压数据进行带通滤波以消除数据中的直流、谐波和噪声。在 V9260F 中，用户可通过配置滤波器系数和移位置（见下表），从而调整带通滤波器的响应速度，对频偏的敏感程度，以及对谐波、噪声的抑制能力。用户可以根据需要选取滤波器参数组，一般移位置越小，滤波器响应越快，对频偏敏感程度越低，但是对谐波、噪声的抑制能力相应也会下降。一般采用第 0 组。

表 8-8 带通滤波器参数组合

| 序号 | 移位置系数调整（0x0183，MTPARA0） | | 带通滤波器系数调整 | 频偏 | |
|----|-------------------------|------|-----------------|------------|-----------|
| | BPFSFT（bit[14:13]） | 移位置 | BPFPARA（0x0125） | 47.5Hz(db) | 150Hz(db) |
| 0 | 00 | >>8 | 0x811D2BA7 | -4.2 | -30.5 |
| 1 | 01 | >>9 | 0x80DD7A8C | -8.9 | -36.5 |
| 2 | 10 | >>10 | 0x80BDA1FE | -14.1 | -42.6 |
| 3 | 11 | >>11 | 0x80ADB5B8 | -20 | -48.6 |

电压频率值直接从 3 个电压频率寄存器中读出，一般无需校准。根据电压频率，用户可直接计算得到信号频率：

$$f = 3200 / \text{FREQ}$$

其中，f：信号频率，Hz；

FREQ：频率瞬时值寄存器（0x019A）的值。



每 1.28s 内对 **FREQ** 进行 256 次累加，得到 **ASFREQ**（频率秒平均值寄存器的值），从而得到信号频率：

$f'=3200\times256/\text{ASFREQ}$

每 10.24s 内对 **ASFREQ** 进行 8 次累加，得到 **AFRQ**（频率平均值寄存器的值），从而得到信号频率：

$f'=3200\times256\times8/\text{AFREQ}$

当发生 **POR** 复位、软件复位或 **RX** 复位时，电压频率寄存器被复位。

表 8-9 电压频率寄存器

| 寄存器 | | 说明 |
|--------|--------|---|
| 0x019A | FREQ | 频率瞬时值寄存器。只读。当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，每 20ms 更新一次。 |
| 0x011D | ASFREQ | 频率秒平均值寄存器。可读可写。当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，每 1.28s 更新一次。 |
| 0x011E | AFREQ | 频率平均值寄存器。可读可写。当电能计量时钟频率为 3.2768MHz 时，每 10.24s 更新一次。 |

第9章 中断

V9260F 的中断电路可根据不同的事件产生 8 个中断信号，当中断输出使能时，相应的中断事件会在 INT 引脚上输出中断，向外部 MCU 提起中断。无论是否输出中断，用户均可读取中断标志位。

- 系统配置寄存器自检错误中断：不可屏蔽输出；
- 参数配置自检错误中断：不可屏蔽输出；
- 电压符号位中断：电压符号位作为中断输出，可屏蔽输出；
- 电流检测中断：在电流检测模式下，不可屏蔽输出；其它模式下，可屏蔽输出；
- 掉电中断：可屏蔽输出。详见“掉电监测电路”；
- WDT 中断：可屏蔽输出。详见“WDT 溢出复位”；
- 外部晶体失效中断：可屏蔽输出。详见“晶体振荡电路”；
- REF 电容损坏报警中断输出：可屏蔽输出。

只要系统不断电，中断电路在任何情况下均能工作。

表 9-1 中断输出使能相关寄存器（R/W）

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-------------------|--------------|-----|----------------------------------|
| 0x0183 MTPARA0 | Bit6, IEREF | 0 | 使能 REF 电容损坏报警中断输出。1：使能；0：禁止（默认）。 |
| | Bit5, IEWDT | 0 | 使能 WDT 中断输出。1：使能；0：禁止（默认）。 |
| | Bit4, IEHSE | 0 | 使能外部晶体失效中断输出。1：使能；0：禁止（默认）。 |
| | Bit3, IEPDN | 0 | 使能掉电中断输出。1：使能；0：禁止（默认）。 |
| | Bit2, IEIDET | 0 | 使能电流检测中断输出。1：使能；0：禁止（默认）。 |
| | Bit1, IESUL | 0 | 使能电压符号位输出。1：使能；0：禁止（默认）。 |

表 9-2 中断标志相关寄存器（R）

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 | | | | | | | |
|-------------------|----------------------|-------|---|-------|-------|-------|----|---|---|---|
| 0x0180 SysCtrl | Bit28 PDN | 0 | 掉电中断标志位。当系统发生掉电时，即 AVCC 引脚上的电平低于 $2.8V \pm 0.14V$ 时，该位读出值为 1。当掉电事件消失后，该标志位读出值为 0。 | | | | | | | |
| | Bit27 HSEFAIL | 0 | 外部晶体失效中断标志位。当外部晶体停振时，该位置 1 并保持置位，直至外部晶体恢复工作后，该标志位才会自动清零。 外部晶体停振时，CLK2 为 UART 接口提供时钟源，因为该时钟频率不精确，UART 接口无法正常工作，所以外部 MCU 可能无法有效读取 HSEFAIL 位的状态。此时，用户可使能外部晶体失效中断输出，从而通过 INT 引脚上的电平高低来判断晶体是否失效。 | | | | | | | |
| | Bit[26:24] RSTSRC | 0 | Bit[26:25]只读，bit24 可读可写。 在 bit24 写入 bit8 的取反值以保证系统配置寄存器自检通过。 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Bit26</th> <th>Bit25</th> <th>Bit24</th> <th>说明</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>系统发生 POR 复位时，bit[26:24]复位为 0b001。</td> </tr> </tbody> </table> | Bit26 | Bit25 | Bit24 | 说明 | 0 | 0 | 1 |
| Bit26 | Bit25 | Bit24 | 说明 | | | | | | | |
| 0 | 0 | 1 | 系统发生 POR 复位时，bit[26:24]复位为 0b001。 | | | | | | | |

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-----|-----------------|-----|---|
| | | | <p>0 0 0 发生 WDT 溢出复位时, bit[26:24]复位为 0b000。</p> <p>0 1 1 系统发生 RX 复位时, bit[26:24]复位为 0b011。</p> <p>0 1 0 保留。</p> <p>1 0 0 系统发生软件复位时, bit[26:24]复位为 0b100。</p> <p>当 bit[26:24]读出值为 0b000 时, 说明产生了 WDT 中断。WDT 中断将持续 8 个 CLK3 时钟 (32kHz±50% RC 时钟) 周期。关于 WDT 中断的描述详见“WDT 溢出复位”。</p> |
| | Bit23 | 0 | <p>读出值始终为 0。</p> <p>为保证系统正常工作, 应在 bit[23]写入 bit[7]的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。</p> |
| | Bit22 PDN_R | 0 | <p>PDN 的锁存, 复位发生时为 0, 复位发生后, 数值由工作环境决定。</p> <p>如果 PDN 为高, 那么 PDN_R 置高,</p> <p>如果 PDN 为低, 那么 PDN_R 保持。</p> <p>如果对 0x180 进行写操作, 无论写入任何数据, 均使得 PDN_R 置低。</p> <p>为保证系统正常工作, 应在 bit[22]写入 bit[6]的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。</p> |
| | Bit21 REF | 0 | <p>当 REF 外接电容开始漏电时, 该位置高。否则该位为低。读写操作不会改变此位的电平。</p> <p>默认值与工作环境有关。</p> <p>为保证系统正常工作, 应在 bit[21]写入 bit[5]的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。</p> |
| | Bit20 SYSERR | 1 | <p>系统配置寄存器自检错误中断标志位。复位后读出值为 1。</p> <p>对该位进行读操作判断是否发生系统配置寄存器自检错误中断。如果 bit[8:0]和 bit[24:16]互为取反值, 则系统配置寄存器自检校验通过, 该位读出值为 0; 否则, 自检失败, 该位读出值为 1。当该位读出值为 1 时, 在 bit[24:16]写入正确的值使系统配置寄存器自检通过, 该标志位的读出值自动变为 0。</p> <p>为保证系统正常工作, 在该位写入 bit4 的取反值使系统配置寄存器自检校验通过。</p> |
| | Bit19 CHKERR | 0 | <p>参数配置自检错误中断标志位。读出值每 5ms 刷新一次。</p> <p>对该位进行读操作判断是否发生参数配置自检错误中断。系统对所有错误!表格结果无效。、计量控制寄存器、模拟控制寄存器的配置值和校验和寄存器的配置值进行累加, 如果它们的累加和为 0xFFFFFFFF, 则参数配置自检校验通过, 该位读出值为 0; 否则, 自检失败, 该位读出值为 1。当该标志位读出值为 1 时, 只有使上述寄存器配置值的累加和为 0xFFFFFFFF, 参数配置自检校验通过, 该标志位才会自动清零。</p> <p>为保证系统正常工作, 在该位写入 bit3 的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。</p> |
| | Bit18 | 0 | <p>电流检测中断标志位。</p> |

| 寄存器 | 位 | 默认值 | 说明 |
|-----|----------------|-----|---|
| | DETCST | | 对该位进行读操作判断是否发生电流检测中断。当前瞬时电流信号的绝对值超过预设的电流检测门限值时，该位读出值为 1。当电流信号的绝对值低于电流检测门限值时，向该位写入“0”才能清空该标志位。 为保证系统正常工作，在该位写入 bit2 的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。 |
| | Bit17 USIGN | 0 | 对该位进行读操作判断电压信号符号。该标志位不可清空，会跟随电压符号位翻转。1：负号；0：正号。 为保证系统正常工作，应在该位写入 bit1 的取反值以保证系统配置寄存器自检校验通过。 |

9.1 系统配置寄存器自检错误中断

在 V9260F 中，系统配置寄存器 SysCtrl (0x0180) 的 bit[8:0] 配置系统工作的关键信息，bit[24:16] 是对 bit[8:0] 的备份。为保证系统正常工作，只要芯片不断电，内置自检电路即会对 bit[8:0] 和 bit[24:16] 的内容进行比较，如果两组数据互为取反值，则说明配置正确；否则，配置错误。为保证系统配置寄存器自检校验通过，用户应向 bit[24:16] 一一对应地写入 bit[8:0] 的取反值。

如果系统配置寄存器自检校验失败，则标志位 SYSERR (bit20, SysCtrl) 读出值为 1，同时在引脚 INT 上输出高电平，向外部 MCU 提起系统配置寄存器自检错误中断。此时，向 bit[24:16] 写入正确的值，使自检校验通过，该中断标志位即自动清零。

在初始状态下，系统配置寄存器自检校验一律报错，引脚 INT 输出高电平。

系统配置寄存器自检错误中断输出不可被屏蔽。

9.2 参数配置自检错误中断

在 V9260F 中，系统每 5ms 对下表所示的 25 个寄存器的值进行一次累加。

配置下表所示的 25 个寄存器[在寄存器 CKSUM (0x0133) 中写入 0xFFFFFFFF 与其它 24 个寄存器的累加和的差值]，自检电路会对上述 25 个寄存器的配置值进行累加，如果累加和为 0xFFFFFFFF，则参数配置自检校验通过；否则，自检失败。

参数配置自检失败时，标志位 CHKERR (bit19, SysCtrl) 置 1，同时在引脚 INT 上输出高电平，向外部 MCU 提起参数配置自检错误中断，该中断输出不可被屏蔽。只有当上述寄存器的累加和为 0xFFFFFFFF，即自检通过时，该中断标志位自动清零。

在初始状态下，参数配置自检一律报错，引脚 INT 输出高电平。

表 9-3 参与配置自检的寄存器

| 序号 | 寄存器 | | | R/W | 默认值 |
|-----|-------------------------|--------------|--------|-----|-----|
| 1~3 | 0x0181~0x0182 0x012D | 必须采用默认值 | | R/W | 0 |
| 4 | 0x0123 | 电流预设直流偏置值寄存器 | ZZDCI | R/W | 0 |
| 5 | 0x0124 | 电压预设直流偏置值寄存器 | ZZDCU | R/W | 0 |
| 6 | 0x0125 | 带通滤波器系数寄存器 | BPPARA | R/W | 0 |

| 序号 | 寄存器 | | | R/W | 默认值 |
|----|--------|----------------|---------|-----|------------|
| 7 | 0x0126 | 基波电流有效值比差寄存器 | WBRTI | R/W | 0 |
| 8 | 0x0127 | 基波有功功率比差寄存器 | WBPT | R/W | 0 |
| 9 | 0x0128 | 基波有功功率二次补偿值寄存器 | WWBPT | R/W | 0 |
| 10 | 0x0129 | 基波无功功率比差寄存器 | WBQT | R/W | 0 |
| 11 | 0x012A | 基波无功功率二次补偿值寄存器 | WWBQT | R/W | 0 |
| 12 | 0x012B | 基波电压有效值比差寄存器 | WBRTU | R/W | 0 |
| 13 | 0x012C | 全波电流有效值比差寄存器 | WARTI | R/W | 0 |
| 14 | 0x012E | 全波有功功率比差寄存器 | WAPT | R/W | 0 |
| 15 | 0x012F | 全波有功功率二次补偿值寄存器 | WWAPT | R/W | 0 |
| 16 | 0x0130 | 全波无功功率比差寄存器 | WAQT | R/W | 0 |
| 17 | 0x0131 | 全波无功功率二次补偿值寄存器 | WWAQT | R/W | 0 |
| 18 | 0x0132 | 全波电压有效值比差寄存器 | WARTU | R/W | 0 |
| 19 | 0x0134 | 电流检测门限值寄存器 | IDETTH | R/W | 0 |
| 20 | 0x0183 | 计量控制寄存器 0 | MTPARA0 | R/W | 0 |
| 21 | 0x0184 | 计量控制寄存器 1 | MTPARA1 | R/W | 0x400000 |
| 22 | 0x0185 | 模拟控制寄存器 0 | ANCtrl0 | R/W | 0x20000000 |
| 23 | 0x0186 | 模拟控制寄存器 1 | ANCtrl1 | R/W | 0 |
| 24 | 0x0187 | 模拟控制寄存器 2 | ANCtrl2 | R/W | 0 |
| 25 | 0x0133 | 校验和寄存器 | CKSUM | R/W | 0 |

9.3 电压过零点中断

在 V9260F 中，系统会以 3.2kHz 的频率对电压信号进行采样，判断电压是否过零点。当电压信号正向或反向过零点时，电压信号符号位 USIGN (bit17, SysCtrl) 会随着电压符号自动翻转。

使能电压符号位输出时，即 IESUL 位 (bit1, MTPARA0) 置 1，引脚 INT 的输出电平自动根据电压符号位翻转：输出高电平表明电压符号为负；输出低电平表明电压符号为正。

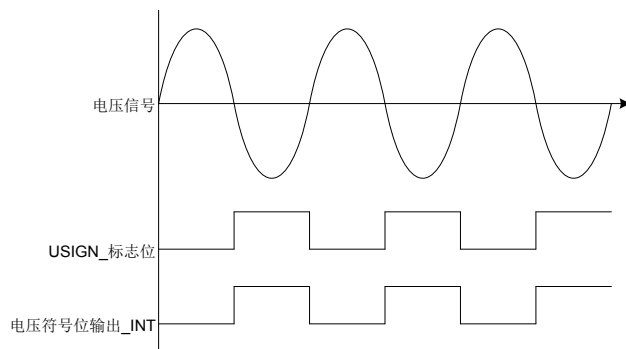


图 9-1 电压过零点中断

9.4 电流检测中断

V9260F 内置一个电流检测电路。

当电流检测使能时，即 **IDETEN** 位（bit12, **MTPARA0**）置 1，该电路对电流（**I**）通道中去除了由外部器件和内部 **ADC** 引入的直流量后的电流信号（与原始电流信号的关系如下图所示）进行采样，并将采样点的绝对值与预设的电流检测门限值[电流检测门限值寄存器（**0x0134**, **IDETTH**, **R/W**）]进行比较。计量模式下，当电能计量时钟频率（ f_{MEACLK} ）为 3.2768MHz 时，电流检测电路每个周波采样 64 次；当 $f_{MEACLK} = 819.2\text{kHz}$ 时，每个周波采样 16 次。电流检测模式下，每个周波采样 256 次。

用户可通过 **IDETLEN** 位（bit[11:8], **MTPARA0**, **0x0183**）设置电流检测窗口宽度。例如，如果电流检测的窗口宽度设为 4，即 **IDETLEN** 位配置为 **0b0011**，表示当且仅当连续 4 个电流信号的绝对值均大于预设的电流检测门限值时，即判定为电流超门限，表明检测到电流，并产生电流检测中断，标志位 **DETCST**（bit18, **SysCtrl**）置 1。只有当电流信号的绝对值小于预设的电流检测门限值时，向 **DETCST** 位写入“0”才能有效地将其清零。

如果电流检测中断输出使能，即 **IEIDET** 位（bit2, **SysCtrl**）置 1，那么，系统发生电流检测中断时，引脚 **INT** 输出高电平；当电流信号的绝对值小于预设的电流检测门限值时，该引脚输出低电平。在电流检测模式下，该中断输出不可被屏蔽。电流检测窗口越宽，则 **INT** 引脚输出的高电平越窄。

在电流检测模式下，电流检测自动使能。当系统处于休眠模式下时，当 **RX** 引脚上发生低电平到高电平的跳变（跳变的低电平至少持续 250μs）时，系统进入电流检测模式，电流检测结束后，系统重新回到休眠模式。

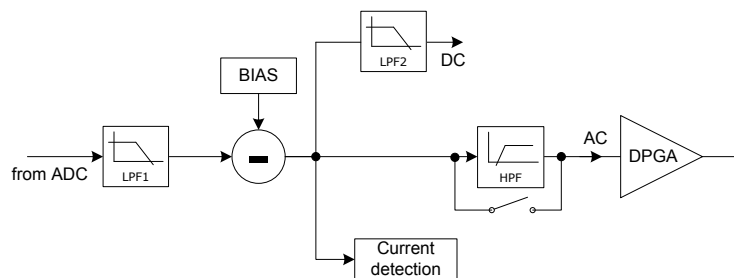


图 9-2 电流检测信号处理

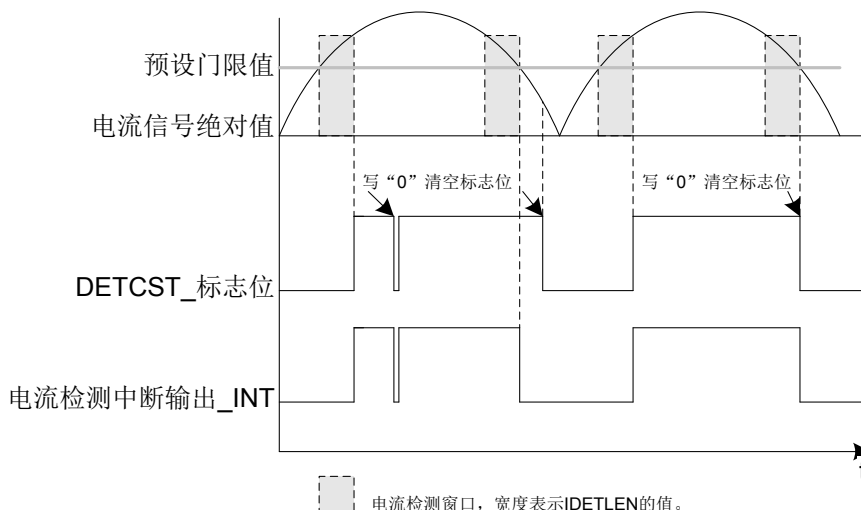
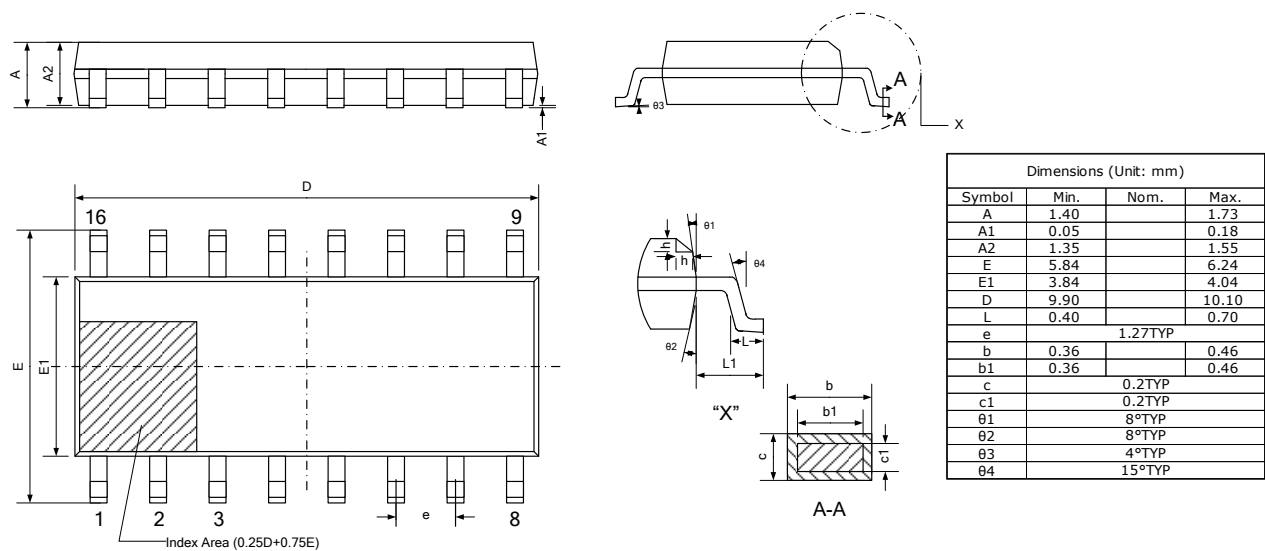


图 9-3 电流检测中断

第10章封装尺寸图



图索引

| | |
|---|----|
| 图 2-1 POR 时序图 | 27 |
| 图 2-2 RX 复位时序图 | 28 |
| 图 2-3 软件复位时序图 | 28 |
| 图 2-4 WDT 溢出复位原理（设溢出复位间隔为 32s） | 30 |
| 图 3-1 时钟产生电路 | 31 |
| 图 4-1 工作模式转换 | 36 |
| 图 5-1 掉电中断 | 42 |
| 图 7-1 UART 通信的字节结构 | 44 |
| 图 7-2 读/写/广播写操作时外部 MCU 对 V9260F 发送的命令帧（8 个字节） | 45 |
| 图 7-3 V9260F 的 UART 接口接收与发送一个字节帧的时序 | 45 |
| 图 8-1 电流输入方式 | 50 |
| 图 8-2 电压输入方式 | 51 |
| 图 8-3 角差校正原理图 | 52 |
| 图 8-4 数字信号输入和去直流信号处理（以 I 通道为例） | 53 |
| 图 8-5 全波/基波有效值计算 | 55 |
| 图 8-6 有功/无功功率计算 | 57 |
| 图 8-7 线电压频率测量原理 | 58 |
| 图 9-1 电压过零点中断 | 63 |
| 图 9-2 电流检测信号处理 | 64 |
| 图 9-3 电流检测中断 | 64 |

表索引

| | |
|---|----|
| 表 1-1 模拟控制寄存器 0 (0x0185, ANCtrl0, R/W) | 11 |
| 表 1-2 模拟控制寄存器 2 (0x0187, ANCtrl2, R/W) | 13 |
| 表 1-3 系统配置寄存器 (0x0180, SysCtrl) | 15 |
| 表 1-4 计量控制寄存器 0 (0x0183, MTPARA0) | 18 |
| 表 1-5 计量控制寄存器 1 (0x0184, MTPARA1) | 19 |
| 表 1-6 直流分量寄存器 (R/W) | 20 |
| 表 1-7 频率寄存器 | 22 |
| 表 1-8 电压/电流有效值寄存器 (R/W) | 22 |
| 表 1-9 有功/无功功率寄存器 (R/W) | 23 |
| 表 1-10 预设直流偏置值寄存器 (R/W) | 24 |
| 表 1-11 电压/电流有效值校正寄存器 (R/W) | 24 |
| 表 1-12 全波有功/无功功率校正寄存器 (R/W) | 24 |
| 表 1-13 门限值寄存器 (R/W) | 25 |
| 表 1-14 带通滤波器系数寄存器 (BPF PARA, R/W) | 25 |
| 表 1-15 校验和寄存器 (CKSUM, R/W) | 25 |
| 表 2-1 复位相关寄存器 | 26 |
| 表 2-2 CLK3 时钟频率以 32768Hz 计算时, WDT 复位间隔设置和建议喂狗间隔 | 29 |
| 表 3-1 时钟产生电路相关寄存器 | 31 |
| 表 4-1 初始状态下各功能模块的工作状态 | 35 |
| 表 4-2 计量模式下各功能模块的工作状态 | 36 |
| 表 4-3 休眠模式下各功能模块的工作状态 | 37 |
| 表 4-4 电流检测模式下各功能模块的工作状态 | 38 |
| 表 4-5 各功能模块的功耗影响因素 | 39 |
| 表 4-6 ADC 功耗的影响因素 | 39 |
| 表 4-7 计量 VMA 功耗的影响因素 | 39 |
| 表 4-8 不同的工作模式下的功耗 | 40 |
| 表 5-1 DVCCLD0 输出电压调整 | 42 |
| 表 6-1 BandGap 电路相关寄存器 | 43 |
| 表 7-1 不同 UART 工作时钟下的实际波特率 | 44 |
| 表 7-2 UART 通信波特率配置 | 45 |
| 表 7-3 UART 接口时序参数说明 | 45 |
| 表 7-4 写操作时外部 MCU 向 V9260F 发送的命令帧结构 (仅列出各字节的数据位 B7:B0) | 46 |

表 7-5 写操作时 V9260F 向外部 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0） 47

表 7-6 读操作时外部 MCU 向 V9260F 发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0） 47

表 7-7 读操作时 V9260F 向外部 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0） 47

表 7-8 广播写操作时外部 MCU 向 V9260F 发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0） 48

表 8-1 电压/电流通道模拟增益配置 51

表 8-2 电压/电流 ADC 开启与关闭 52

表 8-3 角差校正相关寄存器 52

表 8-4 不同 f_{smp1} 下的角差分辨率和校正范围 52

表 8-5 各通道数字信号输入使能 53

表 8-6 直流分量计算相关寄存器 54

表 8-7 各路信号的数字增益配置 54

表 8-8 带通滤波器参数组合 58

表 8-9 电压频率寄存器 59

表 9-1 中断输出使能相关寄存器（R/W） 60

表 9-2 中断标志相关寄存器（R） 60

表 9-3 参与配置自检的寄存器 62

版本更新说明

| 时间 | 版本 | 说明 |
|------------|------|---|
| 2015-02-12 | V1.0 | |
| 2015-12-21 | V2.0 | 1、 修改全波/基波有功/无功功率的计算公式； 2、 修改 Ai 和 Au 分别为电流和电压模拟输入信号的峰值。 |
| 2016-04-25 | V2.1 | 更正 PDRCLK 描述为建议在正常计量时对该位写 1。 |
| 2018-3-12 | V5.0 | 基准电压调整没有推荐配置，用户必须根据计算结果自己调整，计算方法见电压基准电路章节。 修改 t_{RF} 的描述。 |
| 2018-5-31 | V5.1 | 修改角差校正公式，直接使用简化公式，理论公式不再描述。 |