

ADE9078用于无电压检测的低功耗模式

作者: Zhen Zhu

简介

在中国,三相电表有全失压检测要求。此要求将全失压状况定义为:当输入电压都低于门限值且电流大于额定电流的5%。

发生全失压电压事件时,电表记录相电压、相电流、功率因数和有功功率。电表设计为双电源。主电源基于外部电力线电压输入,备用电源基于外部电池。发生全失压事件时,AC/DC电源停止工作,电池供电的微控制器将ADE9078模拟前端(AFE)设置为检测电流。

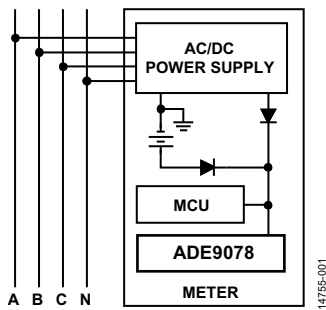


图1. 电表电源电路框图

本应用笔记主要介绍如何配置ADE9078来检测全失压事件。

ADE9078功耗模式简介

本部分说明ADE9078的功耗模式。ADE9078有四种功耗模式可供切换。用户可以选择不同功耗模式以节省电能。

表1显示了不同功耗模式的技术规格。

表1. 各种功耗模式下的功耗

功耗模式	功耗	注释
PSM0	12 mA	正常模式, 7个ADC使能在30 ms内快速进行有效值、功率、VAR测量, 用于窃电检测
PSM1	9 mA	
PSM2	200 μ A	将电流和阈值比较, $V_{DD} = 3.3$ V, AVDDOUT = 0 V, DVDDOUT = 0 V
PSM3	300 nA	空闲, $V_{DD} = 3.3$ V, AVDDOUT = 0 V, DVDDOUT = 0 V

省电模式0 (PSM0)是全功能模式, 消耗12 mA电流。用户可以设置PSM0模式以读/写ADE9078中的所有寄存器。PSM0适合于由电力线路供电模式。正常情况下, ADE9078工作在PSM0模式, 意味着至少有一相电压为电表供电。

PSM1、PSM2和PSM3支持低功耗窃电检测, 这是中国所要求的。利用这些工作模式, 用户可以检测有无窃电。在涉及窃电的情形中, 通常使用电池来为ADE9078供电。

窃电测量模式PSM1允许用户快速测量关键参数, 如电流有效值(IRMS)、电压有效值(VRMS)、功率和无功伏安(VAR), 其功耗低于PSM0。它采用的计算方法不同于PSM0。这些测量在20 ms时间完成计算。在IRMS测量中, 600:1的动态范围下PSM1模式检测耗时40.5 ms, 实现的精度小于0.2%。对于功率, 600:1的动态范围下PSM1模式耗时40.5 ms, 实现的精度小于0.2%。

在PSM2工作模式下, ADE9078进入低功耗状态, 仅内部低功耗比较器有效。低压差稳压器(LDO)、模数转换器(ADC)、数字信号处理器(DSP)和晶体振荡器全都关断。输入电流 I_A 、 I_B 和 I_C 与PSM2_CFG寄存器中设置的用户选定电平进行比较, 如有任一电流超过阈值, 就会产生中断并触发 $\overline{IRQ0}$ 和 $\overline{IRQ1}$ 引脚。用于检测峰值电流的耗时由用户确定, 在PSM2_CFG寄存器的LPLINE[4:0]位中设置。测量周期时间为(LPLINE[4:0] + 4)/50秒。当某个电流通道上信号大于峰值超过LPLINE[4:0] + 1次, 则ADE9078指示已检测到窃电状况。LPLINE[4:0]的最大允许值为0x0A。

PSM3为空闲模式, 即ADE9078内部的所有功能都关断, 消耗的电流小于1 μ A。

PM0和PM1引脚(PMx)控制PSMx模式, x指PSM0至PSM3。

AN-1415

表2显示了PMx状态和相关的PSMx模式。

表2. PMx状态和相关PMx模式

PSMx模式	PM0	PM1
PSM0	0	0
PSM1	0	1
PSM2	1	0
PSM3	1	1

使用MCU的输入/输出引脚连接PM0和PM1引脚以选择功耗模式。

硬件解决方案

如图2所示，电表中有两个电源：AC/DC转换器和电池。它们由两个二极管切换。MCU检测AC/DC电源的电压输出。如果没有电压输出，则所有相位(A、B和C)停电。这种情况下，MCU启动全失压检测功能。当其中一相上电时，AC/DC电源输出电压，对电表供电。否则，AC/DC关断，输入/输出引脚触发一个低电压以通知MCU已发生全失压状况，并且电池正在供电。这种情况下，MCU和ADE9078进入低功耗模式。

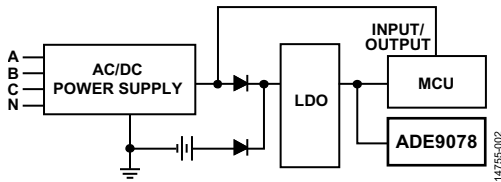


图2. 电源切换电路框图

图3显示MCU和ADE9078之间的全失压检测功能接线要求。如果发生全失压事件，MCU将通过PM0和PM1引脚把ADE9078置于低功耗模式。

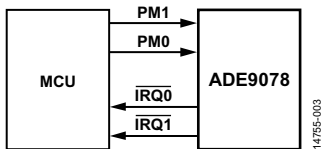


图3. 适用于全失压检测功能的MCU和ADE9078之间硬件接线

软件程序

图4给出了全失压检测的步骤。

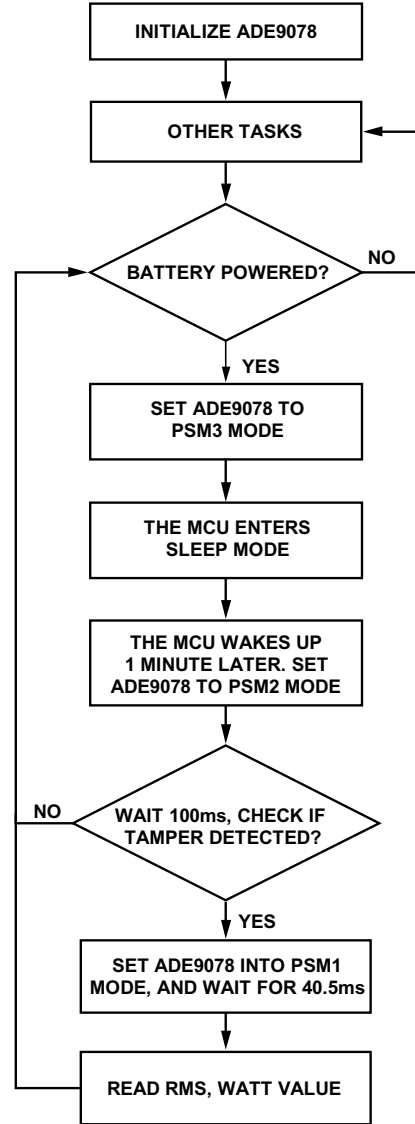


图4. 无电压检测的软件程序

PSM2_CFG是PSM2模式的配置寄存器，在ADE9078初始化期间设置。例如，若额定电流为10 A，电流互感器变比为2500:1，负载电阻为12.5 Ω，则在额定电流的5%时，峰值的动态比率为：

$$\frac{1}{\frac{10}{2500} \times 12.4 \times \sqrt{2} \times 5\%} = 400:1$$

PKDET_LVL位(寄存器0x4B8的位[8:5])用于配置低功耗比较器峰值电流检测电平。

表3显示了设置的意义。

表3. PSM2电流峰值检测阈值

PKDET_LVL(十进制)	阈值电平
0	100:1
1	200:1
2	300:1
3	400:1
4	500:1
5	600:1
6	700:1
7	800:1
8	900:1
9	1000:1
10	1100:1
11	1200:1
12	1300:1
13	1400:1
14	1500:1
15	1600:1

PSM2_CFG[8:5]设置为3时，意味着阈值电平为400:1。

将LPLINE[4:0]设置为1，故而PSM2模式的测量周期为 $(1 + 4)/50 = 100$ ms。

初始化ADE9078时，将PSM2_CFG寄存器(寄存器0x4B8)设置为0x31。

功耗计算

当检测到窃电时，ADE9078消耗最大电流。MCU将ADE9078设置为PSM1模式以读取有效值和功率值，用于事件记录。每个环节ADE9078的功耗如下：

- PSM3模式： $60\text{ s} \times 2\text{ }\mu\text{A} = 120\text{ }\mu\text{A}$
- PSM2模式： $100\text{ ms} \times 200\text{ }\mu\text{A} = 20\text{ }\mu\text{A}$
- PSM1模式： $40.5\text{ ms} \times 9\text{ mA} = 364.5\text{ }\mu\text{A}$

总功耗为： $120 + 20 + 364.5 = 504.5\text{ }\mu\text{A}$ 。如果窃电持续7天，功耗将为：

$$\frac{7 \times 24 \times 60 \times 60}{(60 + 0.1 + 0.0405)} \times 0.5054\text{ mA} \approx 1.412\text{ mAh}$$

当未检测到窃电时，ADE9078消耗最小电流。ADE9078不进入PSM1模式，因为无需记录有效值。每个环节ADE9078的功耗如下：

- PSM3模式： $60\text{ s} \times 2\text{ }\mu\text{A} = 120\text{ }\mu\text{A}$
- PSM2模式： $100\text{ ms} \times 200\text{ }\mu\text{A} = 20\text{ }\mu\text{A}$

总功耗为 $120 + 20 = 140\text{ }\mu\text{A}$ 。如果这种情况持续7天，功耗将为：

$$\frac{7 \times 24 \times 60 \times 60}{(60 + 0.1)} \times 0.14\text{ mA} = 0.391\text{ mAh}$$

目前主流外接电池容量为1.2 Ah；因此，即使发生窃电事件，也很容易满足ADE9078的功耗要求。

测试结果

在PSM2和PSM3两种模式下，AVDDOUT和DVDDOUT关断。从PSM2或PSM3模式进入PSM1模式时，AVDDOUT和DVDDOUT上电，如图5所示为ADE9078参考电表上实际测量结果。

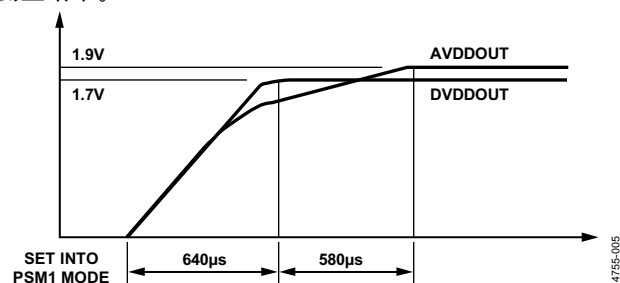


图5. 进入PSM1模式的上电序列

当PM1引脚设置为低电平，PM0引脚设置为高电平，且这两个引脚均达到稳定电压之后，AVDDOUT和DVDDOUT开始从0 V上升，ADE9078进入PSM1模式。

另一项测试测量了PSM2模式下窃电检测消耗的时间。LPLINE[4:0]设置为1。理想情况下，如果发生窃电事件，就会在进入PSM2模式之后的100 ms触发IRQ1引脚。图6显示了ADE9078参考电表的测试结果。

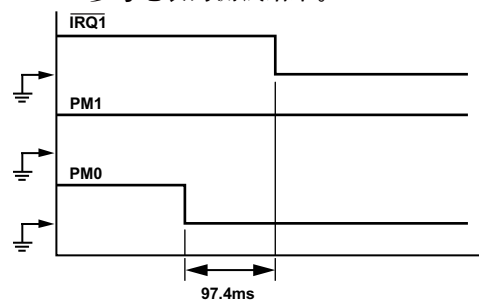


图6. 触发消耗的时间 $\overline{IRQ1}$

从进入PSM2模式到触发IRQ1引脚花费了97.4 ms。检测到窃电时， $\overline{IRQ1}$ 设置为低电平。

总结

ADE9078是一款全新设计的计量AFE，具有高动态范围和高精度。它提供四种功耗模式，最低功耗为1 μA 。ADE9078全失压状态下最多仅消耗1.412 mAh能量，远低于电池容量1.2 Ah。ADE9078可用于检测全失压状况，哪怕这种状况持续7天。