

AFE77xx AUX ADC 在小站系统中的应用

Lijia Zhu

摘要

小站是“5G”时代无线接入网不可或缺的一部分，被视为提高蜂窝网络容量、质量和弹性的重要方法。AFE77xx 是 TI 最新一代零中频机构 RF transceiver，其低功耗，高度集成的特性使之可以被广泛的应用在小站和 MIMO 系统中。在小站系统中，需要对系统的各个关键节点的电压、电流、温度等进行检测，使用 AMC7836（多通道的监控芯片）搭配外部传感器是很好的选择。但是在某些应用场景，增加额外的 AMC 芯片会增加系统的成本，此时可以考虑使用 AFE77xx 内部的辅助 ADC 对一些要求不高的信号进行非实时的采样和监控。本文将对 AFE77xx 内部辅助 ADC 的使用进行介绍。

目录

1	引言.....	2
2	AUX ADC 使用.....	5
	2.1 AUX ADC 链路	5
	2.2 AUX ADC 的单端使用	6
3	常见问题.....	8
4	参考文献.....	10

图

Figure 1.	小站的典型结构框图	3
Figure 2.	AMC7836 在小站中的应用示意图	4
Figure 3.	辅助低速 ADC 结构框图.....	5
Figure 4.	ADC 输入电压与输出关系	6
Figure 5.	单端输入 MUX 切换示意图.....	7
Figure 6.	auxAdclnpSel 函数传参与 MUX 映射关系.....	8
Figure 7.	AUX ADC 外部输入电路	8
Figure 8.	INM PIN 脚结构框图	9

1 引言

小站是一种低功率蜂窝无线电接入节点，与传统宏站和有源天线系统（AAS）相比，它们具有更小的发射功率（<10W）和更少的天线数量（<4 天线每频段），其覆盖范围一般为为几十米，因此其覆盖范围更“小”，通常处理的业务规模也更“小”。如果把宏站比作连接用户和无线网的管道，那么小站就相当于在同样的覆盖范围内，提供了多根类似的管道，随着“5G”时代对数据通信容量需求的增加，以小站为代表的在更小覆盖范围上进行同频复用蜂窝通信方案，被视为提高蜂窝网络容量、质量和弹性的重要方法。

AFE77xx 是 TI 最新一代零中频机构 RF transceiver，具有四个零中频发射通道，四个零中频接收通道和多达两个射频采样反馈通道，其低功耗，高度集成的特性使之可以被广泛的应用在小站和 MIMO 系统中。图 1 所示为 AFE77xx 的结构简图。

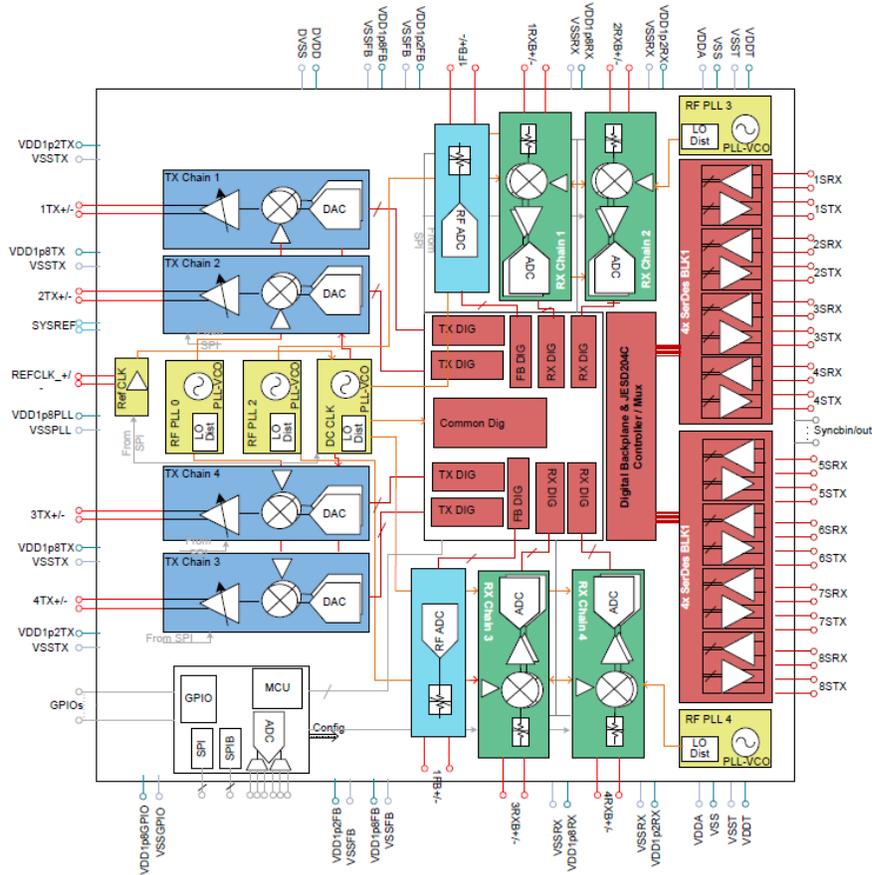


Figure 1. AFE77xx 结构框图

如图 2 所示为一个典型的小站架构框图，其中①为 POE 受电部分，小站因为其整机功耗较小，可以使用以太网 POE 进行供电，它是整个小站模块的一级主电源，其输出一般是 48V，这部分可用的 TI 器件有 TPS23523、TPS23730、TPS53688 和 LM34927 等。②为数字电路供电部分，它为在板的数字处理器件（包括 FPGA，ASIC 等）提供电源，其特点是低电压大电流，需要使用具有足够输出电流能力的 DCDC，这部分可用的 TI 器件有 TPS543320 和 TPS7A83A 等。③为模拟部分供电，主要提供射频前端（包括 AFE，PA，LNA 等）有源器件的电源。其特点为需要覆盖的电压范围大，需要使用多路 DCDC 和 LDO 组成供电分配网络，这部分可用的 TI 器件有 TPS22965、LM5122、TPS7A92 和 TPS563212 等。④是时序控制和监控模块，它配合前两部分，提供电源上电时序控制，数字芯片的复位/解复位时序控制，电源电压监控等功能，这部分可用的 TI 器件有 TPS3808、TLV431A 和 TLV1812 等。⑤是数字处理部分，包括一个以 FPGA 或 ASIC 为核心处理器和 Flash ROM、DDR、level shifter、通用逻辑器件等为外设构成的最小系统，结合以太网 PHY，光模块等接口芯片，完成业务数据的收发和处理，这部分可用的 TI 器件有 DP83867IR、DS250DF230、TMP411、TMP1075、TCA9534A 和 PCA9306 等。⑥是 AFE77xx 射频收发器，它完成发射信号的产生和接收信号的采集功能。⑦是时钟模块，提供网络时间同步和恢复功能，并为整版的器件提供统一的同步时钟，这部分可用的 TI 器件有 LMK00105、LMK05318B 和 LMX2582 等。⑧是射频部分，完成发射信号的功率放大和接收信号的低噪声放大功能，除了射频滤波器、耦合器、双工器等无源器件外，主要的有源器件包括 LNA、PA 和 PA 状态监控电路，这部分可用的 TI 器件有 AMC7836、DAC63204 和 INA282 等。下一节将对 PA 状态监控电路做适当展开介绍。

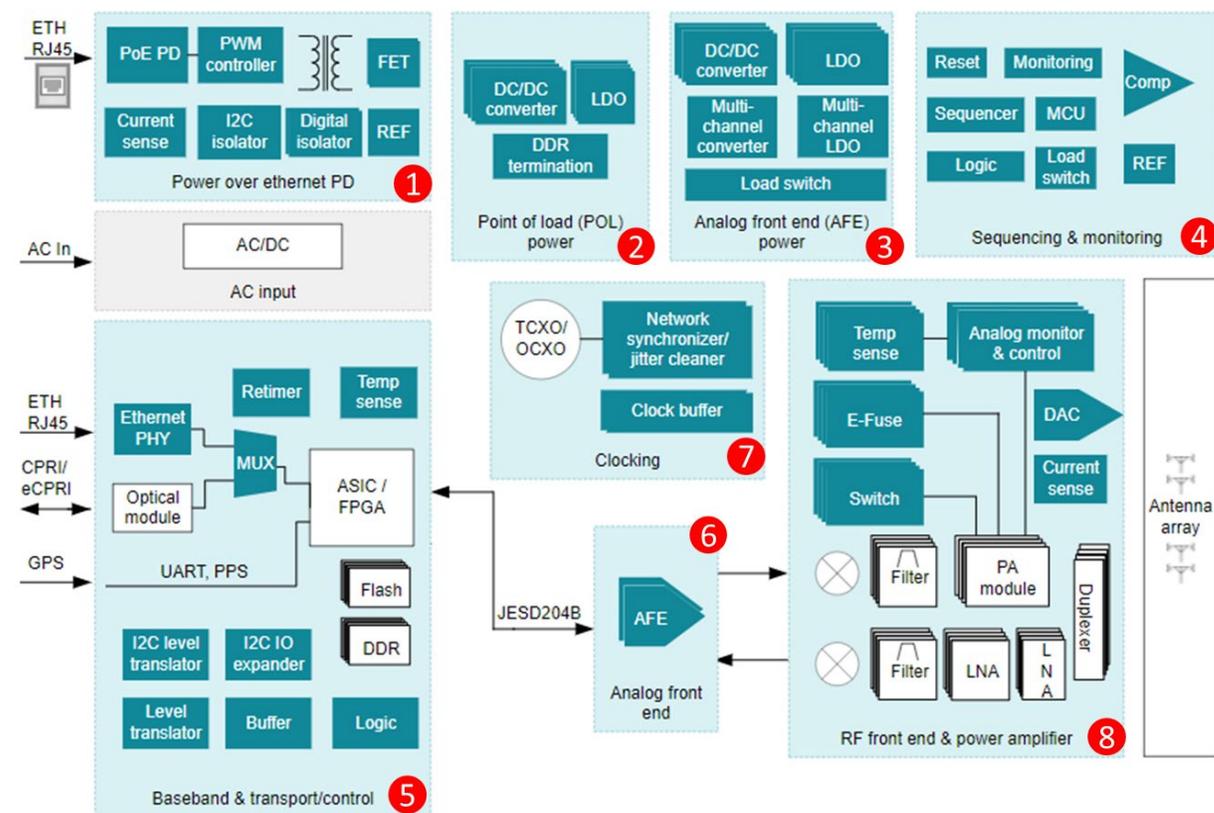


Figure 2. 小站的典型结构框图

在小站系统中，需要对系统的各个关键节点的电压、电流、温度等进行检测，使用 AMC7836 多通道的监控芯片搭配分立传感器芯片是个很好的选择。如图 3 所示为 AMC7836 在小站架构中的典型应用框图，AMC7836 是整个监控部分的核心，它接收外部传感器送来的模拟信号，量化后通过 SPI 传递给主控 MCU/CPU，确保监控的电压/电流在设定的范围内，同时 AMC 的 DAC 输出一个电压经过模拟开关后送到 PA 的 Gate 引脚，设置 PA 在一个合适的工作点；数字温度传感器负责采集 AFE 芯片的温度，通过 I2C 送到 ASIC 进行处理判决，一般而言，其数量取决于 AFE 的数量；模拟温度传感器用来监控发射链路 PA 的温度，输出对应的模拟量到 AMC 芯片，不使用数字温度传感器的原因是避免 I2C 等数字信号传输对射频链路的干扰，一般一个 TX 通道需要一路温度传感器；电流采样放大器采集 PA 的漏极电流并送到 AMC，防止 PA 出现大电流烧毁的情况，可以将几路 TX 合并在一个电流采样放大器上以减少对电流采样放大器和 AMC 芯片 ADC 通道数量的需求，但是不同 Band 的通道之间需要分开监控。

在某些特殊应用场景，例如，系统使用两片 AFE77xx，支持三个 Band，这样就需要 6 路（每个频段 2 路）PA 电压监控，8 路（每个 TX 一路）模拟温度监控和 3 路（每个频段 1 路）PA 电流监控，使用更低成本的 AMC7812，其的通道数量不满足系统要求。此时可以考虑使用 AFE77xx 内部的辅助 ADC（AUX ADC）对一些实时性要求不高的信号进行采样和监控。本文将对 AFE77xx 内部辅助 ADC 的使用进行介绍。

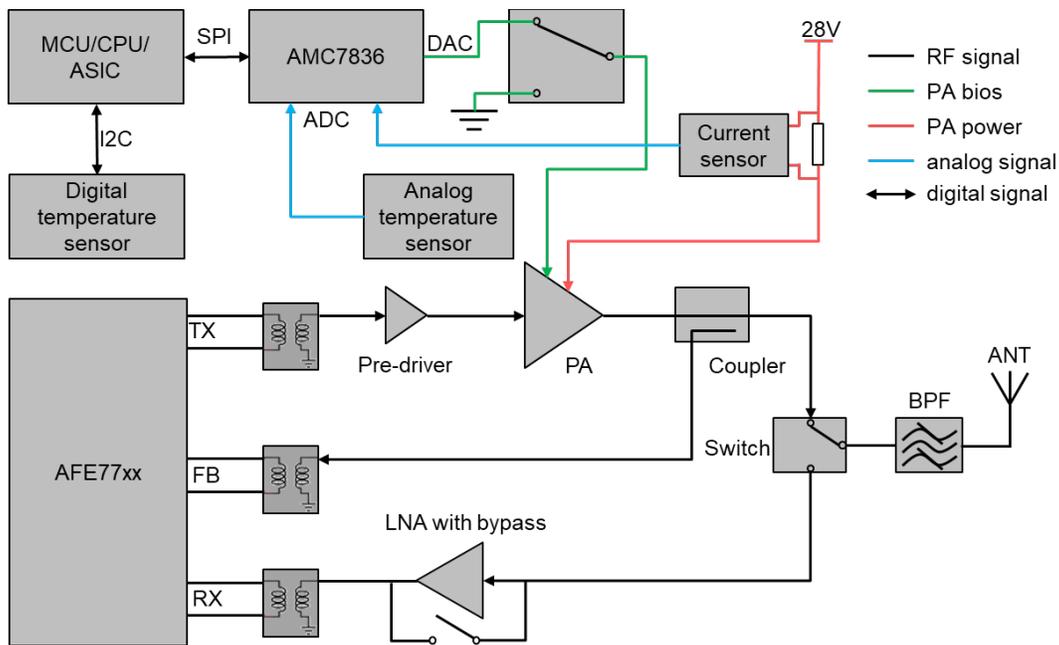


Figure 3. AMC7836 在小站中的应用示意图

2 AUX ADC 使用

2.1 AUX ADC 链路

AFE77xx 内部集成了一个 200ksps 采样率，12bit 分辨率的差分 SAR ADC，辅以输入端双路六输入 MUX，可以采集 AFE 芯片内部产生的和通过 GPIO 送入的多路模拟信号。图 4 所示为辅助 ADC 的结构框图，其中 TP（test point）为内部测试节点，用作 debug 使用，常见的应用有采集 PLL 的 V_{tune} 电压确认 PLL 的锁定状态（需要 AFE 内部其他 MUX 的配合，将 PLL 的 V_{tune} 选通到 TP 上，同时 ADC 的 MUX 选通 TP 这一路，这部分在本文不做过多阐述）；VREF/2 和 VSS 分别为内部电压基准和接地；AUX1-6 为 GPIO 送来的外部低速电压信号。ADC 的转换结果可以通过 SPI 读取内部寄存器获得。

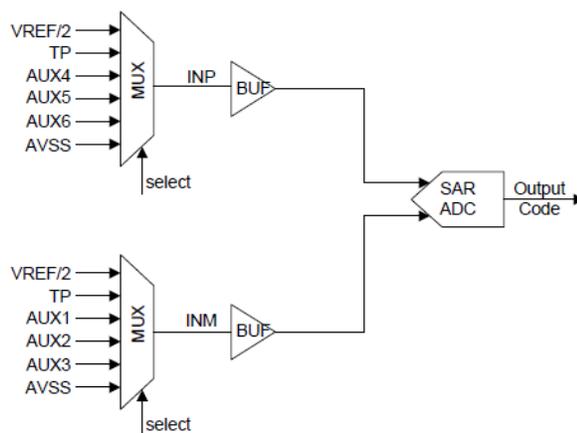


Figure 4. 辅助低速 ADC 结构框图

两路 MUX 的选通状态可以通过 SPI 寄存器独立设置，因此可以很便捷的配置 AUX1-3 和 AUX4-6 这两组之间任意两个通道的差分输入关系，同时也可以配置成任意一边对另一边的 VSS 或 $V_{REF/2}$ 的单端输入状态。

AUX ADC 使用芯片内部的电压基准源 V_{REF} ，其电压为 1.4V，因此 ADC 满量程为 $\pm 1.4V$ ，ADC 输出结果（code）和输入的差分电压关系由下式决定：

$$\frac{V_{INP} - V_{INM}}{V_{REF}} = \frac{2 * code + 1 - 4096}{4096}$$

ADC 的差分输入和单端对地输入输入情况下，输入电压与输出结果的关系曲线如图 5 所示。两种单端输入模式在使用上没有太大的差别，后文的介绍以单端对地输入为例。在输入电压小于 50mV 时，在单端输入场景的曲线有一个小台阶（如红圈所示），在这一段区间内输出 code 不随输入电压变化。其原因是输入端缓冲放大器的输入电压范围为 50mV~1.75V，电压过低时放大器进入截至区。因此在系统设计阶段要充分考虑输入电压的范围，辅助 ADC 无法测量小于 50mV 的电压信号。对于差分输入，datasheet 的关系曲线对应的横轴是输入差模电压，因此没有这个台阶，实际使用时，还是需要注意任意一端的电压大于 50mV 这个条件。

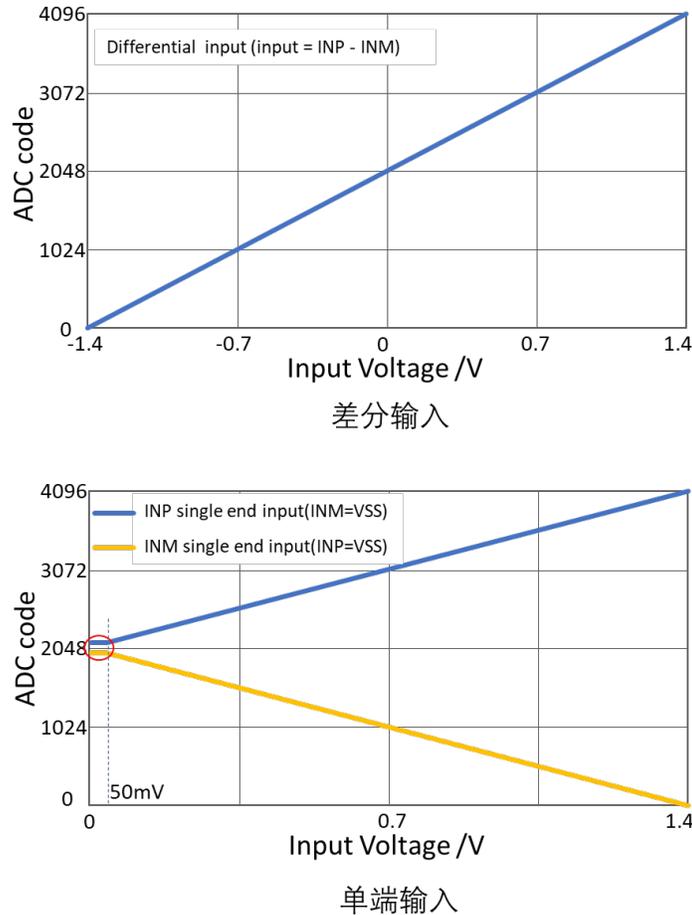


Figure 5. ADC 输入电压与输出关系

2.2 AUX ADC 的单端使用

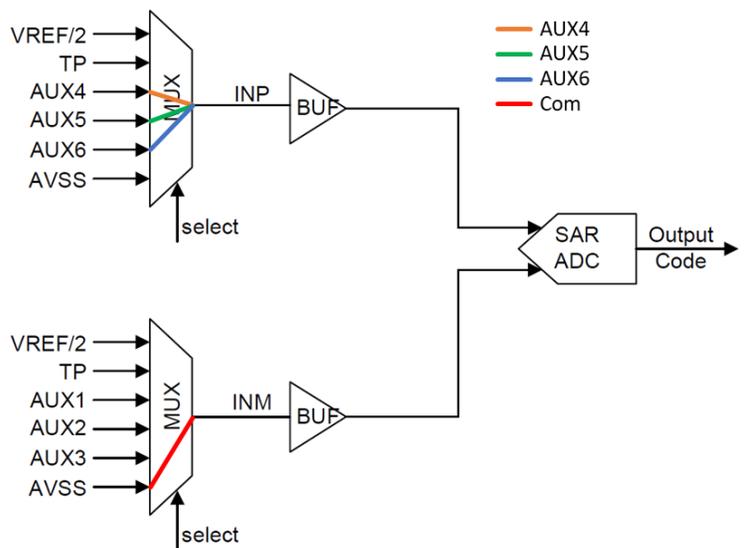
实际中，单端电压信号在系统中更为普遍，因此辅助 ADC 需要配置为单端测量模式。如图 6 所示为单端测量模式下 MUX 的选通状态。可以将 INP 端作为测量端口，将 INM 端 MUX 切换到 VSS 位置，依次选择的 INP 的 MUX 切换对应的 GPIO (AUX4/5/6) 输入源，GPIO 输入的模拟电压和 ADC 的 code 值对应更换系如下：

$$V_{IN} = V_{REF} \times \frac{2 * code + 1 - 4096}{4096}$$

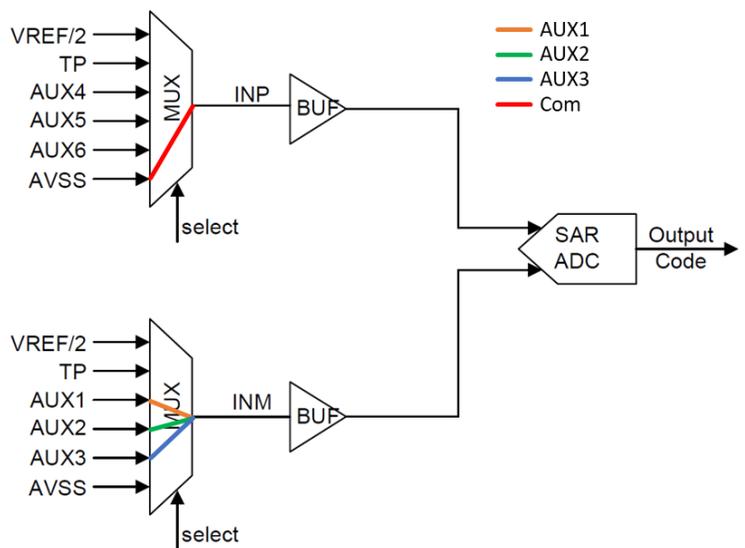
也可以将 INM 端作为信号输入，INP 端的 MUX 切换到 VSS，依次切换 INM 的 MUX 到对应的 GPIO (AUX1/2/3)，GPIO 输入的模拟电压和 ADC 的 code 值对应更换系如下：

$$V_{IN} = -V_{REF} \times \frac{2 * code + 1 - 4096}{4096}$$

基于上述的逻辑，可以最多对六路外部信号进行检测。同时，需要注意 INP 和 INM 输入时代入不同的公式进行计算。



INP single end input



INM single end input

Figure 6. 单端输入 MUX 切换示意图

使用 C 函数库提供的如下函数可以切换 MUX 的选通状态：

int auxAdcInpSel(int fd, int INP, int INM)

该函数 INP/INM 的传参和 MUX 切换状态真值表如图 7 所示。

INP	MUX	INM	MUX
0	Vref/2	0	Vref/2
1	TP	1	TP
2	AUX4 (GPIO D18)	2	AUX1 (GPIO F18)
3	AUX5 (GPIO C18)	3	AUX2 (GPIO E18)
4	AUX6 (GPIO D17)	4	AUX3 (GPIO F17)
5/6/7	VSS	5/6/7	VSS

Figure 7. auxAdcInpSel 函数传参与 MUX 映射关系

当测量的输入电压超出 ADC Full scale 范围或者无法充分使用 ADC 满量程时，可以使用运放电路对电压进行偏移和缩放；当输入电压高于 Full scale 时，一个更简单的方式是用电阻分压，这两种方案的电路图如图 8 所示。运放电路可以使用常见的反向放大器电路，该电路通过 R1 和 R2 的关系对 V_{IN} 进行缩放，同时可以通过 V_{OFFSET} 对输入电压进行偏移操作，电容 C 和电阻构成 ADC 输入端的抗混叠低通滤波器，对于采样信号为直流的场景，其取值可达 μF 级别。

该电路可以使用单电源供电，但是若使用普通非轨到轨运放，输入输出的信号电压范围需要注意，普通运放正常工作的输入输出电压区间较小（比较极端的例子如，输入输出电压范围为 $V_{EE}+2V \sim V_{CC}-2V$ ），此时就需要考虑选择轨到轨运放。此外，若对于采样精度有较高要求的，尽量选择低漂移的放大器，LM2904B 等运放是一个可以考虑的选择。

电阻分压降压电路构成就比较简单，其中电容 C 的加入也是为了滤除高频的噪声。R1 和 R2 的取值需要结合实际来考虑，电阻值太大会引入大量热噪声，电阻值过小导致前级电路无法驱动。

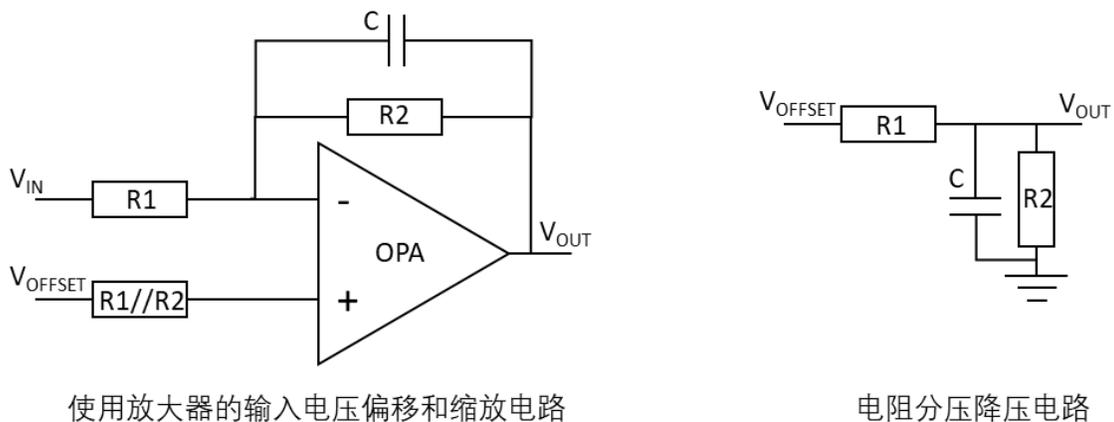


Figure 8. AUX ADC 外部输入电路

3 常见问题

1. 在使用 AUX ADC 时，需要注意输入 GPIO pin 非理想特性对结果的影响。如图 9 所示，INM pin 内部具有上下拉电阻，同时因为需要兼顾普通 GPIO 的功能，具有输入输出缓冲电路；INP pin 无上下拉电阻和输入输出缓冲电路。

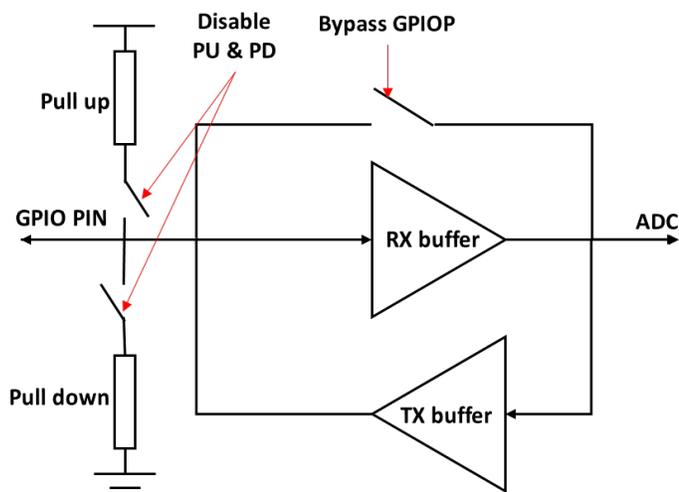


Figure 9. INM PIN 脚结构框图

2. 若 INM pin 脚默认使能了上下拉电阻，需要使用以下命令去除上下拉电阻：

```
device.writeReg(0x15,0x80)
```

```
device.writeReg(0x274,0x00) // Bit 0: pull up enable. Bit1: Pull value. e.g. 0/2: no pull up/down (floating pin), 1: weak pull down, 3: weak pull up.
```

```
device.writeReg(0x270,0x00) //same as 0x274
```

```
device.writeReg(0x25C,0x00) //same as 0x274
```

```
device.writeReg(0x15,0x00)
```

3. 若 INM pin 脚默认使能 GPIO 功能，使用以下脚本 Bypass GPIO 功能：

```
device.writeReg(0x15,0x80)
```

```
device.writeReg(0x45C,0x00)
```

```
device.writeReg(0x470,0x00)
```

```
device.writeReg(0x474,0x00)
```

```
device.writeReg(0x15,0x00)
```

4. 切换到合适的 MUX 选通状态后，使用使用 C 函数库提供的以下函数读取 ADC 的值：

```
int readAuxAdc(int fd)
```

如果需要反复进行轮询，需要对该函数进行修改，在如下加粗的位置加入 1ms 时延：

```
int readAuxAdc(int fd){
```

```
U32 regVal=0;
AFE77xx_RegWrite(fd,0x0015,0x80);
AFE77xx_RegWrite(fd,0x0100,0x01);
AFE77xx_RegWrite(fd,0x0100,0x09);
AFE77xx_RegWrite(fd,0x0100,0x01);
AFE77xx_RegWrite(fd,0x0110,0x00);
AFE77xx_RegWrite(fd,0x0100,0x03);
sysUsDelay(1000); //1ms
AFE77xx_RegWrite(fd,0x0110,0x01);
AFE77xx_RegWrite(fd,0x0100,0x00);
AFE77xx_RegRead(fd,0x010D,&regVal);
regVal=(regVal<<8)+AFE77xx_RegRead(fd,0x010C,&regVal);
AFE77xx_RegWrite(fd,0x0015,0x00);
printf("AUX ADC output code=%d",regVal);
return regVal;
}
```

5. 在 debug 过程中，需要注意可能会用到 AUX ADC 读取 AFE 内部状态，此时需要客户在软件流程中 bypass 对 AUX ADC 的操作。

4 参考文献

1. Datasheet “AFE79xx Quad-Channel RF Transceiver With Feedback Path”

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司