

在功耗敏感型应用中利用高效率 超低功耗开关稳压器为精密SAR ADC供电

Alan Walsh
应用工程师
ADI公司

in 分享至LinkedIn

✉ 电子邮件

精密测量已延伸到需要越来越高电源效率的应用领域。物联网的到来使这一点尤为明显，因为物联网更加需要具有精密测量能力的无线传感器节点，电池供电的可穿戴健身/医疗设备，以及使用隔离电源供电、4 mA到20 mA环路供电或电池供电现场仪表的工业信号链。在这些场景中，电源效率越高，意味着电池使用时间越长，维护越少，电源设计越简单。

通常，精密测量系统将低压差稳压器(LDO)作为其电源方案的一部分，利用它来为精密ADC产生低噪声电源轨。然而，LDO的功率输出效率非常低下，大部分功率常常作为热量损失掉。本文讨论为精密逐次逼近型(SAR) ADC实现更高效电源解决方案的途径。实现方法是在迟滞模式下使用超低功耗开关稳压器，并分析性能得失——包括通过某种方式来智能控制开关稳压器，使之与SAR转换同步，从而改善噪声性能。

在中高负载电流(数百mA到数A)的测量系统中，固定频率或脉宽调制(PWM)开关稳压器可非常有效地(常常大于90%)产生电源轨。然而，效率虽然高，但代价是会有开关纹波，其频率通常是固定的，从数百kHz到数MHz。如图1所示，典型精密SAR ADC的电源抑制比(PSRR)在低频至约100 kHz时是非常好的——超过此频率时，PSRR迅速下降。

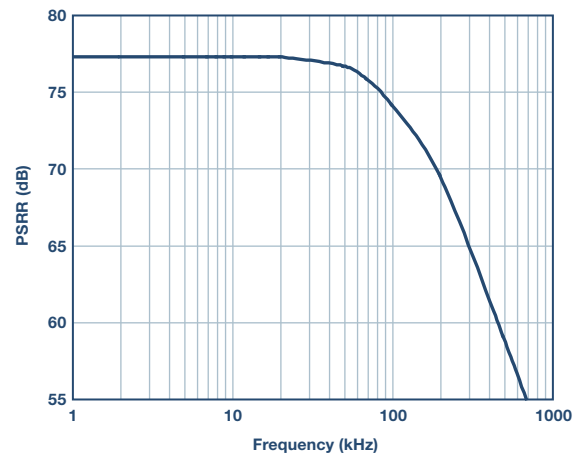


图1. SAR ADC模拟电源抑制与频率的关系

精密SAR ADC以较低吞吐速率运行时，供应 V_{DD} 线的典型负载电流在数mA或 μ A范围——因此，相比于LDO，使用固定频率开关稳压器直接为ADC供电在效率上没有优势。

然而，高效率、超低功耗降压开关稳压器可在迟滞模式下工作，其静态电流非常低。

在迟滞模式下，通过调节恒定峰值电感电流，稳压器利用PWM脉冲使输出电压略高于标称输出电压。当输出电压提高到输出检测信号超过迟滞上限时，稳压器进入待机模式。在待机模式

下，高端和低端MOSFET及部分电路都禁用，静态电流很低，效率性能很高，如图2所示。待机模式期间，输出电容将能量送入负载，输出电压降低到低于迟滞比较器下限为止。稳压器唤醒，产生PWM脉冲，再次对输出充电。

在迟滞情况下，开关纹波频率与负载电流和LC网络有关；对于数mA的负载，其在kHz范围内。在数kHz时，精密ADC的PSRR非常好，能够很好地抑制/衰减ADC数字输出端的开关纹波。

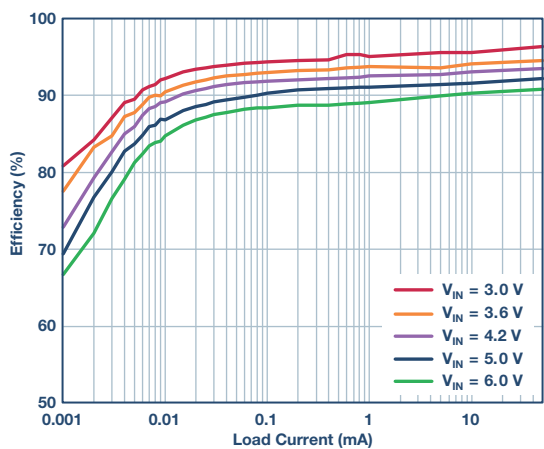
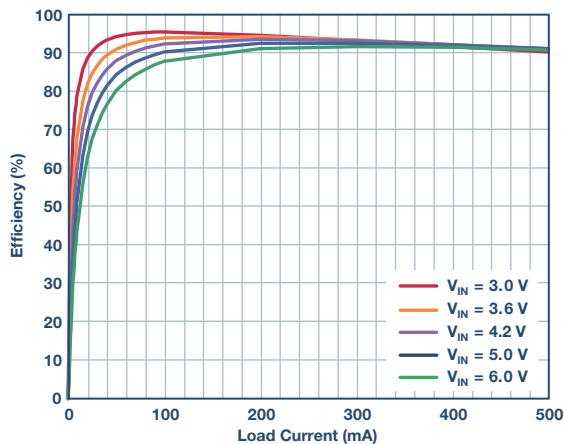


图2. PWM(上图)和迟滞模式(下图)——效率与负载电流的关系

以图3所示电路为例，它使用AD7980 ADC；在全吞吐速率(1 MSPS)时，其V_{DD}电流消耗典型值为1.5 mA；若降低吞吐速率，电流消耗会按比例线性下降。这可从图4看出：采用5V电压轨供电时，2.5 V稳压输出端的开关频率纹波为4.5 kHz和50 mV峰峰值。在ADC数字输出端，ADC以PSRR额定值衰减此纹波。在ADC FFT输出中，它表现为幅度-120 dBFS、频率4.5 kHz的杂散。对于ADC的5 V输入范围，这相当于

$$5 \text{ V} \times 10 \frac{-120 \text{ dB}}{20} = 5 \mu\text{V p-p}$$

出现在ADC输出端的这种纹波水平对一个16位转换器而言是非常低的；5 μV峰峰值对应于16位下的0.07 LSB。这种水平的纹波会被埋在ADC噪声底中，需要大量均值操作才能发现，在很多应用中都不会看到它。此输出纹波对应的PSRR为

$$20 \times \log_{10} \frac{50 \text{ mV}}{5 \mu\text{V}} = 80 \text{ dB}$$

该要求与图1所示相似，AD7980在4.5 kHz时的PSRR约为77 dB。

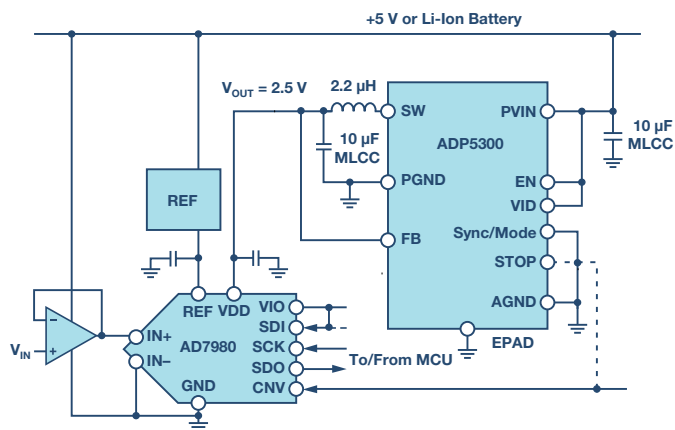


图3. AD7980和ADP5300应用电路

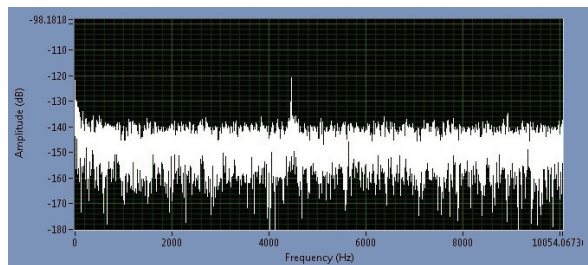
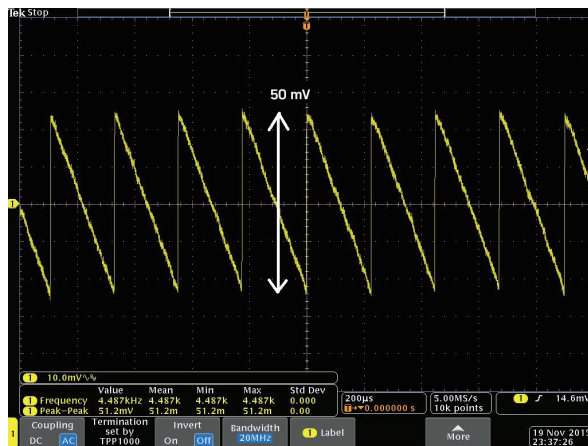


图4. ADP5300为AD7980供电时的迟滞开关纹波(交流耦合)，以及1 MSPS吞吐速率时的ADC FFT输出中的纹波音

若ADC吞吐率降低到10 kSPS, 则ADC的电流消耗按比例线性下降到15 μ A (约100倍), ADP5300的开关频率纹波相应地降低到46.5 Hz (约100倍), 幅度为55 mV峰峰值, 如图5所示。在46 Hz时, 该纹波再次在ADC FFT输出中出现, 幅度为-120 dB (5 μ V峰峰值), 因为在该频率的PSRR相似。有证据表明存在93 Hz的二次谐波, 其幅度更低, 为-125 dB。

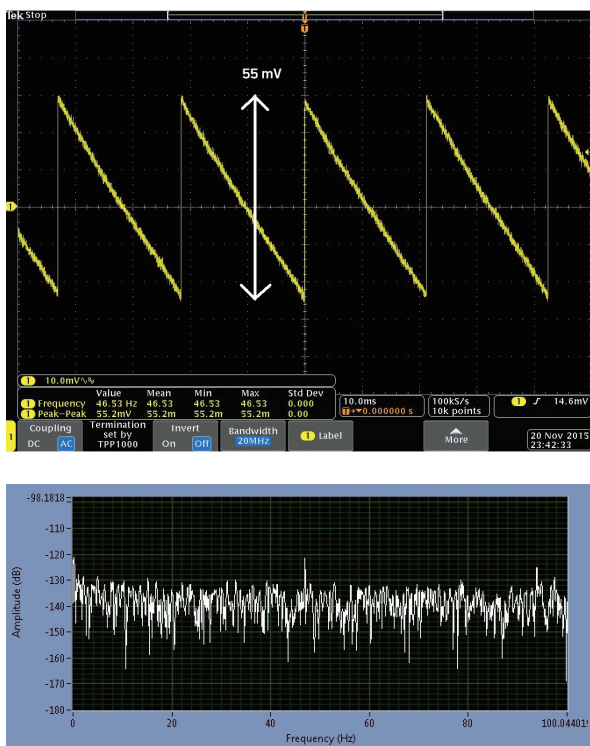


图5. ADP5300为AD7980供电时的迟滞开关纹波(交流耦合), 以及10 kSPS吞吐速率时的ADC FFT输出中的纹波音

图6对照显示了ADP5300和LDO在不同ADC吞吐速率时的效率, 两种情况均采用5 V电压轨供电, 调节2.5 V输出。同预期一样, 开关稳压器输送功率的效率远胜于LDO, 在1 MSPS时是90%对50% (针对5 V输入), 在较低ADC吞吐速率/较低电流消耗时保持得也更好, 始终高于80%, 直至5 kSPS。

ADC吞吐速率为1 MSPS且使用LDO时, 从5 V电压轨消耗的电流为1.5 mA或7.5 mW。使用ADP5300时, 从5 V电压轨消耗的电流为828 μ A或4.1 mW, 即ADC电源的功耗减少3.4 mW或45%。

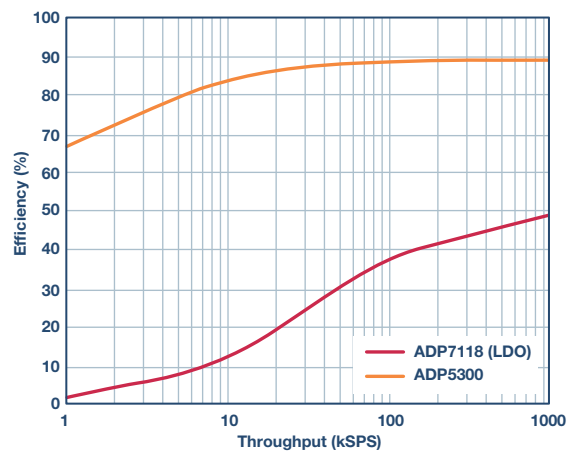


图6. ADP5300和LDO的效率与ADC吞吐速率的关系

使用ADP5300作为 V_{DD} 电源以及10 kHz近满量程输入信号(-0.5 dB), AD7980在1 MSPS时的性能如图7所示。在SNR (91.5 dB)和THD (-103 dB)方面, ADC仍然符合数据手册规格。然而, ADP5300的4.5 kHz开关纹波会在输入信号上进行调制, 显示为10 kHz - 4.5 kHz (5.5 kHz)和10 kHz + 4.5 kHz (14.5 kHz)的杂散。这些杂散仍然处于非常低的水平(-116 dBFS), 远小于基波信号的二次谐波引入的THD (其在20 kHz时为-103.8 dBFS)。在16位水平时, 这些伪像只是一个LSB的很小一部分, 因而在许多应用中, 考虑到ADP5300稳压器的省电优势, 这是完全可以接受的。

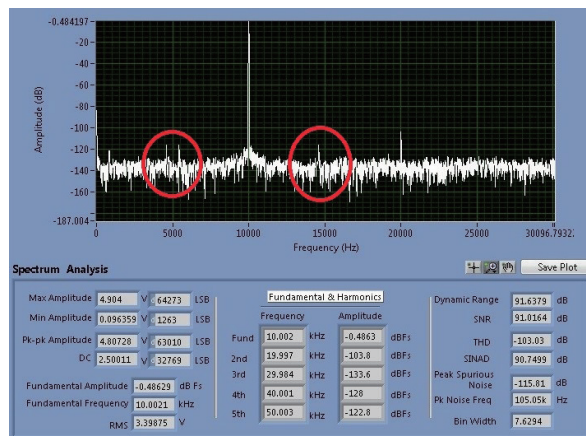


图7. AD7980使用ADP5300作为 V_{DD} 电源时的性能基波信号周围可以看到开关纹波调制引起的边频带(10 kHz \pm 4.5 kHz)

ADP5300开关稳压器有一个STOP(停止)切换特性,它可以完全消除开关纹波伪像,使其不会出现在ADC FFT输出中。当STOP处于高电平时,ADP5300的STOP引脚就会阻止SW引脚切换。在对噪声敏感的ADC转换过程中,可利用该特性防止切换发生。为实现这一功能,CNV信号和STOP信号应连在一起(参见图3),并且对来自处理器的CNV信号进行定时,使其在ADC转换时保持高电平。对于AD7980,此时间最大值为710 ns,转换在CNV上升沿启动。结果如图8所示。这种情况下的纹波频率更加变化不定,因为只有在特定时间,SW节点才会开启和调节。另请注意,从STOP信号变为低电平到SW开启的时间可能为数百ns。图8中,STOP下降沿后大约850 ns,SW引脚开启。这意味着,当ADC吞吐速率为1 MSPS时,我们不能使用STOP特性,因为SW引脚将没有足够的时间来变为高电平并调节, V_{DD} 电源将失去调节而崩溃。STOP功能在吞吐速率为500 kSPS或更低时有效。

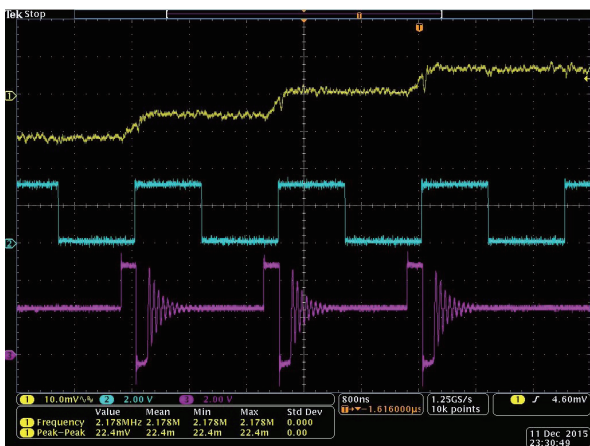
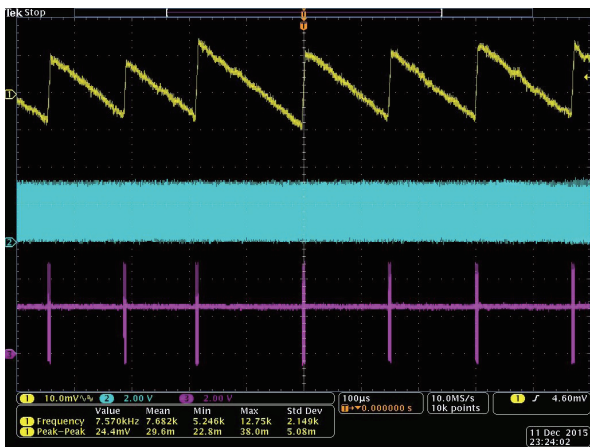


图8. 500 kSPS时使用STOP功能的ADP5300开关纹波(黄色)、CNV/STOP信号(蓝色)及ADP5300的SW引脚(粉红)

从图9可以看出,使用STOP信号后,ADC噪底中完全不存在开关纹波杂散。当施加10 kHz的输入信号时,除一般谐波之外,基波周围没有调制。然而,当SW引脚禁用(STOP为高电平)时,由于SW引脚上的振铃,使用STOP特性的效率会下降。对于500 kHz的ADC吞吐速率,ADP5300的效率降至约75%。这仍然显著高于LDO能够实现的效率(<50%),并且提供了一个功耗/性能权衡选择;在受处理器/微控制器控制且STOP特性使用独立控制线的应用中,就可以做出适当的权衡。

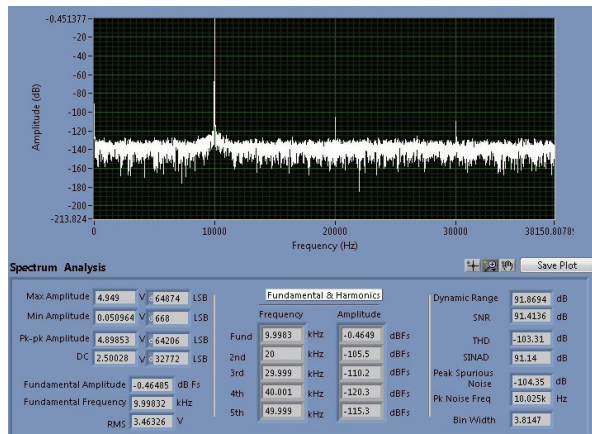
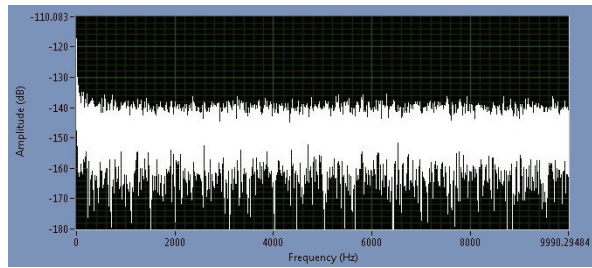


图9. AD7980使用ADP5300作为 V_{DD} 电源时的性能, STOP特性时序根据转换周期进行调整

ADP5300等开关稳压器解决方案与LDO解决方案在成本和PCB面积方面具有一定的可比性。BOM主要增加一个电感,2.2 μ H电感可以小到0603封装,而对于输入和输出电容,LDO解决方案同样需要。因此,在功耗敏感型应用中,它是LDO的有力替代方案,对精度性能并无明显影响。

当从5 V电源轨为AD7980等精密ADC供电时,ADP5300等高效率、超低功耗开关稳压器与LDO相比,可节省45%的功耗。这对物联网应用(延长无线传感器节点或可穿戴设备的电池使用寿命)、功耗敏感型隔离式工业系统、4 mA至20 mA环路供电系统有很多好处。

作者简介

Alan Walsh [alan.walsh@analog.com] 是ADI公司的应用工程师。他于1999年加入ADI公司,就职于美国马萨诸塞州威明顿市的精密转换器应用部。他拥有都柏林大学电子工程学士学位。

在线支持社区

访问ADI在线支持社区,与ADI技术专家互动。提出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答,或参与讨论。

ezchina.analog.com

EngineerZone™
中文技术论坛