

## 工程师详解：ENOB 与有效分辨率的区别

您可能知道，有效位数(ENOB)和有效分辨率都是与 ADC 分辨率有关的参数。理解它们的区别并确定哪个更具相关性，是令 ADC 用户与应用工程师等极为困惑的问题，经常因此发生争论。

您认为哪个更重要？

ADC 的分辨率位数(N)可决定 ADC 的动态范围(DR)，其代表 ADC 可测量的输入信号等级范围，通常以[dB]为单位。DR 可定义为：

$$DR [dB] = 20 \times \log \left( \frac{\text{maximum RMS amplitude}}{\text{minimum RMS amplitude}} \right) \quad (1)$$

请注意，由于信号在给定时间视窗内的 RMS 幅值取决于信号幅值在该时间视窗内如何变化，因此 ADC 的 DR 变化取决于输入信号特征。对于其满量程范围(FSR)内的恒定 DC 输入而言，理想的 N 位 ADC 可分别测量 FSR 和 FSR/2<sup>N</sup> 的最大及最小 RMS 幅值。因此，ADC 的 DR 为：

$$DR [dB] = 20 \times \log \left( \frac{FSR}{\frac{FSR}{2^N}} \right) = 6.02 \times N \quad (2)$$

同理，对于幅值随 ADCFSR 变化而变化的正弦波信号输入而言，理想的 N 位 ADC 可测量(FSR/2)/√2 的最大 RMS 幅值。正弦波输入信号的最小可测量 RMS 幅值受量化误差的限制，其近似于幅值为半个 LSB 或 FSR/2<sup>N+1</sup> 的锯齿波。幅值 A 的锯齿波 RMS 幅值为 A/√3。因此，正弦波输入信号的理想 ADC 的 DR 是：

$$DR [dB] = 20 \times \log \left( \frac{FSR/2\sqrt{2}}{\left(\frac{FSR}{2^{N+1}}\right)/\sqrt{3}} \right) = 6.02 \times N + 1.76 \quad (3)$$

真正的 ADC 具有可降低 DR 的误差。事实上，根据输入信号特征的不同，在输入信号接近其最小值时，ADC 输出有不同类型的误差占主导地位。

对于恒定 DC 输入而言，ADC 的输出误差主要取决于所谓的“过渡”噪声，其包含 ADC、ADC 驱动器以及电源等组件的固有宽带散粒噪声。如果 ADC 不存在较大的线性(DNL)问题，过渡噪声可在 ADC 输出端产生一个近似高斯代码分布。

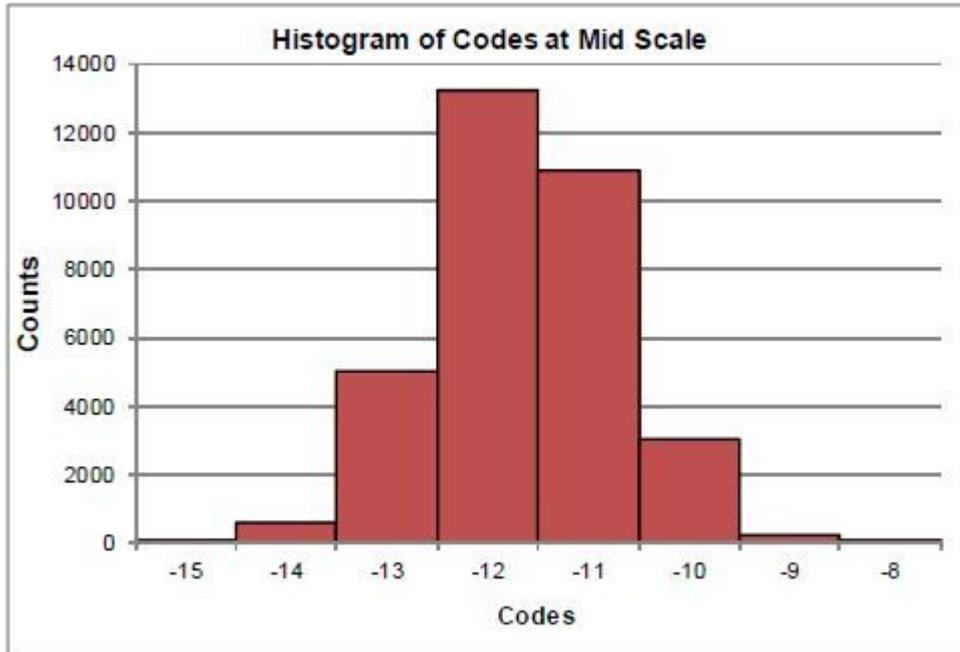


图 1: 恒定 DC 输入的 ADC 输出代码直方图

本直方图的一个标准偏差( $\sigma_{HISTO}$ )相当于过渡噪声的 RMS 值。在  $\sigma_{HISTO} > 1LSB$  时, ADC 的 DCDR 就会减小至:

$$DR'[dB] = 20 \times \log\left(\frac{2^N LSB}{\sigma_{HISTO} LSB}\right) = 6.02 \times N - 20 \times \log(\sigma_{HISTO}) \quad (4)$$

将(2)和(4)组合起来, 可重新计算出降低的分辨率或有效分辨率:

$$Effective\ Resolution = \frac{DR'[dB]}{6.02} = N - \log_2(\sigma_{HISTO}) \quad (5)$$

同理, 对于时间变化的输入而言, ADC 的输出包含动态误差 (即量化噪声与失真) 以及可降低 DR 的过渡噪声。改变后的 DR 通常被称为 SINAD, 重新计算的 ADC 分辨率被称为 ENOB。因此:

$$ENOB = \frac{SINAD[dB] - 1.76}{6.02} \quad (6)$$

总之, 给定 ADC 可能具有不同的 DR 和分辨率, 主要取决于输入是 AC 还是 DC 信号。因此, ADC 分辨率有单独的衡量指标, 其对应于不同的输入条件, 即 ENOB 对应于 AC 输入, 有效分辨率对应于 DC 输入。确定哪种更适合自然取决于您的应用。