

# 第一章 噪声

为什么噪声很重要？是模拟电路中第一梯队的参数，需要借此衡量系统的精度以及稳定性。定义信噪比（Signal-to-Noise Ratio）为

$$SNR = \frac{P_{sig}}{P_{noise}}, \text{ where } P_{sig} \propto V_{DD}^2, P_{noise} \propto kT/V$$

工艺的进化使得  $SNR$  不断下降，为了维持  $SNR$  那么电容也会增加，功耗就会提升。低功耗设计需要对噪声的深入理解。

## 1.1 噪声的类型

- 人为的干扰
- 信号耦合，如电容、电感、基底以及键合线（wire bonding，电感纳亨级）
- 电源噪声
- 以上可以通过差分电路以及版图技巧来解决。
- 器件噪声：电荷的不连续性造成，是根本性的噪声

## 1.2 噪声的表现形式

时域上随机出现，通过概率表征，一般均值为 0，可以时域功率进行分析。在频域上在低频区出现闪烁噪声（Flicker Noise），高频区出现白噪声，使用功率谱密度分析 ( $V^2/Hz$ )。通过积分获得一定带宽内总的噪声。

噪声因子<sup>1</sup>，定义系统的内噪声为  $N_a$ ，增益为  $G$ ，源的噪声为  $N_i$ ：

$$F = \frac{P_{noise,out}}{P_{noise,source}} = \frac{N_o}{N_i G} = \frac{N_i G + N_a}{N_i G}$$

由于表现形式带有增益项，一般使用输入参考噪声进行度量。

$$F = \frac{\overline{i_s}^2 + |\overline{e_n}^2 + \overline{i_n}^2|}{\overline{i_s}^2} = \frac{SNR_{out}}{SNR_{in}}$$

实质上就是输出端和输入端的信噪比之比。

$$F_n = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_n}$$

## 1.3 电阻热噪声

功率谱

---

<sup>1</sup>Noise Figure :  $NF = 10 \log F$

$$\overline{dv_n^2} = 4kTR, \overline{di_n^2} = 4kT/R$$

对常温下 1 k 电阻,  $40nV/\sqrt{Hz}$

## 1.4 晶体管噪声

饱和区的沟道电阻是和其他电阻一样的热噪声, 一般  $\gamma \approx 2/3, 1, 4/3$  分别对应 0.35, 0.18, 0.13  $nm$ 。

$$\overline{di_n^2} = 4kT/R = 4kT\gamma g_m$$

栅级的多晶硅也存在一个电阻  $R_G$ 。

闪烁噪声

$$\overline{dv_{i,eq,f}^2} = \frac{KF_F}{WLC_{ox}^2} \frac{df}{f}$$

## 1.5

## 1.6