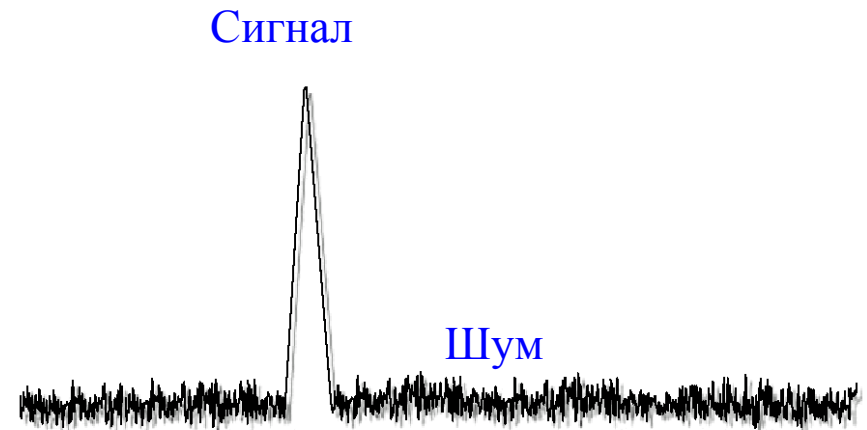
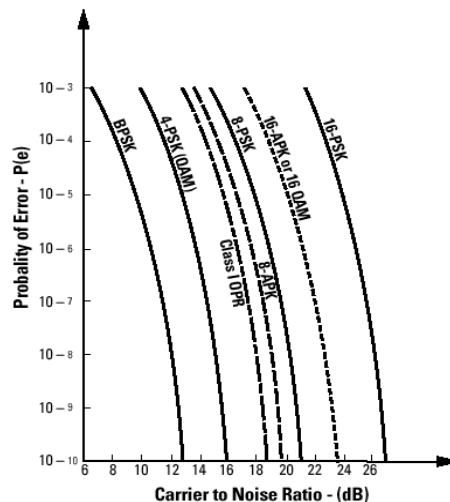


# Магистърски курс "МИКРОВЪЛНОВИ ИЗМЕРВАНИЯ"

## Тема 6: Измерване на шум и шумови характеристики



### Връзка: "вероятност за грешка - S/N"



### Шум и източници на шум в микровълновия обхват

Шумът е важно понятие в MW обхват, особено за комуникационните системи. Възникването на шум в устройствата е свързано с влиянието на микроскопични случайни процеси, при които се изменя концентрацията и /или скоростта на носителите. Те водят до появата на макроскопични ефекти – поява на шумов ток и напрежение и, следователно, на шумова мощност  $P_n$ . Източниците на шум, както и честотните области на проявата им, са разнообразни, но в микровълновия обхват (над 300 MHz) значение имат **два основни източника**.

Единият от тях е свързан със случайни изменения на токовете на носителите в преходите на полупроводникови структури (т. нар. "**дробен**" шум, shot noise), а другият – със случайни изменения на напреженията, свързано основно с топлинното движение на носителите в обема на в проводниците (т. нар. "**топлинен**" шум, thermal noise). Топлинният шум, поради слабата си честотна зависимост, е наречен "**бял**" шум и е основен в микровълновите устройства от дециметровия до суб-милиметровия обхват. Появяването на шумови сигнали е пряко свързано с чувствителността на устройствата към полезни сигнали. В микровълновия обхват това са основно активни устройства – усилватели, осцилатори, смесители, детектори, умножители, антени и др.

### Величини, описващи шума - шумова мощност

❖ Мощност на шумов сигнал  $P_n$  и шумова температура  $T_n$

Дефиниции:  $P_n = kT_n \cdot \Delta f$  или  $T_n = P_n / k\Delta f$ ,

където  $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  J/K е константа на Болцман, а  $\Delta f$  е ширина на честотния обхват в Hz (напр., за устройства това е тяхната честотна лента BW). По дефиниция еквивалентната шумова температура  $T_n$  на дадено активно устройство с изходна шумова мощност  $P_n$ , е температурата на съпротивление със същия спектрален състав на шума, както устройството, което създава шумова мощност със същата  $P_n$ .

Нека  $T_0 = 293$  K е стайната температура, тогава  $kT_0 = 4 \cdot 10^{-21}$  J е спектралната плътност на енергията на шумовете на активно съпротивление при  $T_0 = 293$  K в честотен интервал 1 Hz. Следователно за всяко устройство  $P_n = kT_n \cdot \Delta f = \alpha \cdot kT_0$

### Величини, описващи шума - коефициент на шум

❖ Коефициент на шум  $F_n$  и шумово число  $NF$ , dB

Дефиниции:  $F_n = \frac{(S/N)_{in}}{(S/N)_{out}} = \frac{(P_s/P_n)_{in}}{(P_s/P_n)_{out}} = \frac{1}{G_T} \frac{(P_n)_{out}}{(P_n)_{in}}$

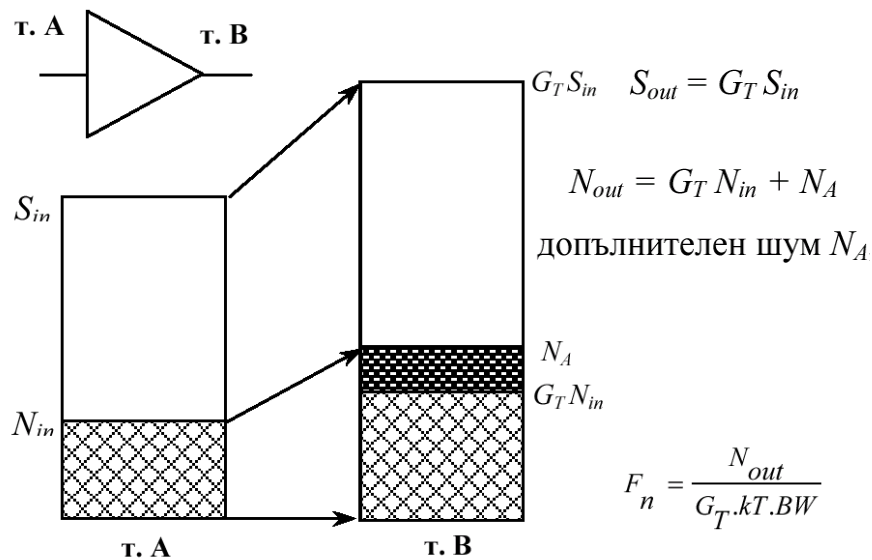
$$NF = 10 \cdot \lg F_n$$

където  $S/N$  е отношение “сигнал-шум” на входа или на изхода на устройство,  $G_T$  е коефициент на усилване. Следователно  $F_n$  е нещо като качествено отношение на дву-раменно устройство. То показва колко пъти се влошава отношението “сигнал-шум” от входа към изхода на устройството чрез добавяне на собствен шум

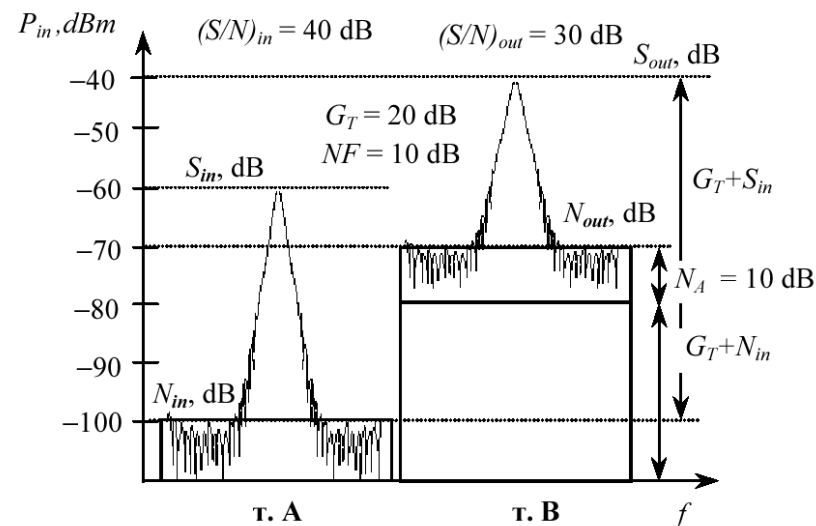
Други връзки:

$$P_n = kT_0 (F_n - 1) \Delta f, \text{ W} \quad T_n = T_0 (F_n - 1), \text{ K}$$

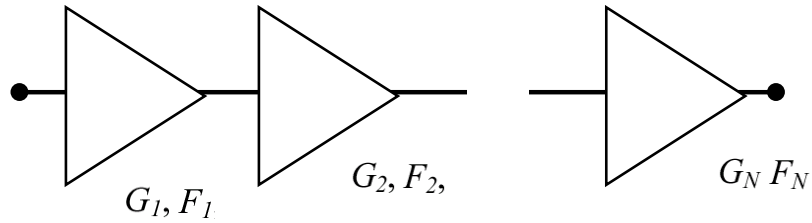
### Коефициент на шум - концепция на IEEE



### Пример



### Каскаден ефект



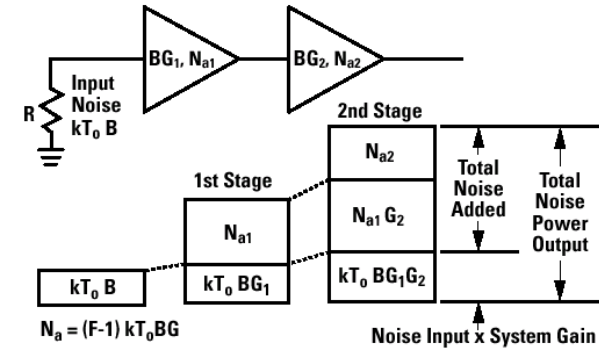
$$G_{\Sigma} = G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_N \quad \text{ИЛИ}$$

$$G_{\Sigma}, \text{ dB} = G_1, \text{ dB} + G_2, \text{ dB} + \dots + G_N, \text{ dB}$$

$$F_{\Sigma} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{F_N - 1}{G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_N}$$

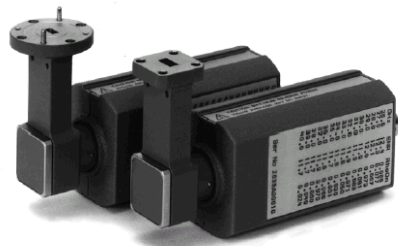
$$NF_{\Sigma} = 10 \cdot \lg F_{\Sigma}$$

### Пример: ефект на втория усилвател

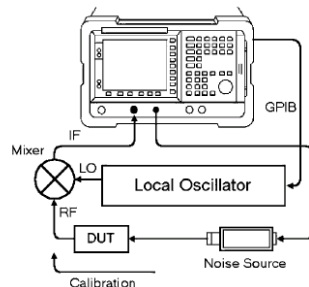
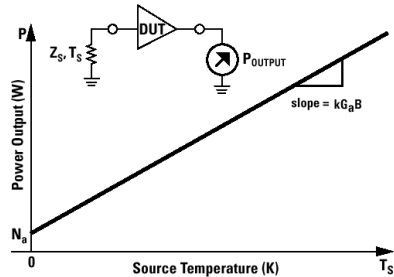


$$N_o = kT_0 B G_1 G_2 \left[ F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} \right] \quad F_{\text{sys}} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

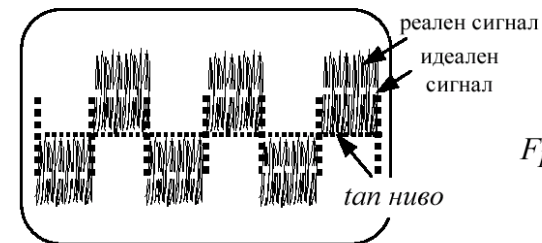
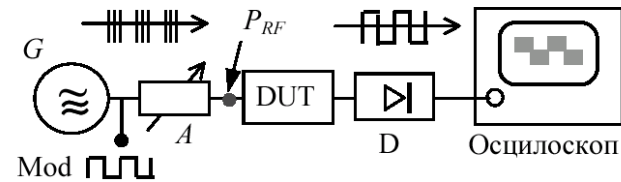
### Генератори на шум



$$ENR_{\text{dB}} = 10 \log \left( \frac{T_h - T_c}{T_0} \right)$$

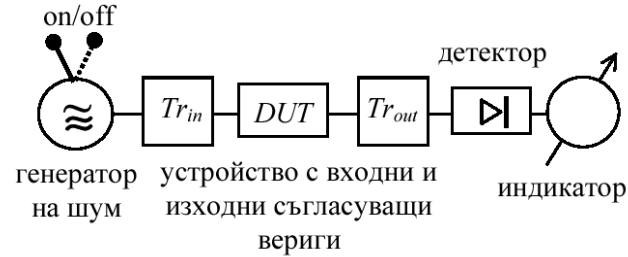


### Измерване на шум - метод на тангенциалното (двойно) ниво



$$F_{DUT} = \frac{1}{2} \frac{(P_{RF})_{tg}}{G_{DUT} kT_0 \Delta f}$$

### Измерване на шум с помощта на генератор на шум



1) "Студено" измерване:

$$N_c = kT_0 F'_n G_{DUT} \Delta f, \text{ при } T = T_c = T_0$$

2) "Горещо" измерване: при  $T = T_h$

$$N_h = [kT_0 F'_n + k(T_h - T_0)] G_{DUT} \Delta f = kT_0 (F'_n + ENR) G_{DUT} \Delta f$$

Y-параметър

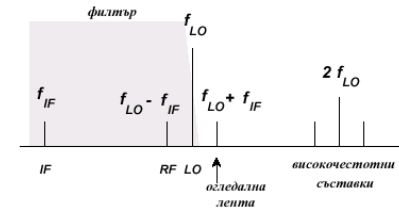
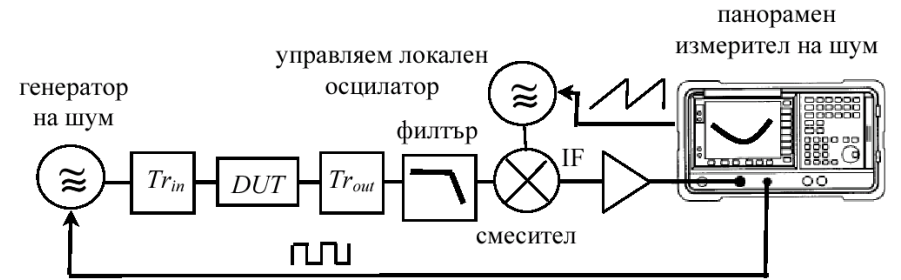


$$F'_n = F'_n = ENR / (Y - 1)$$

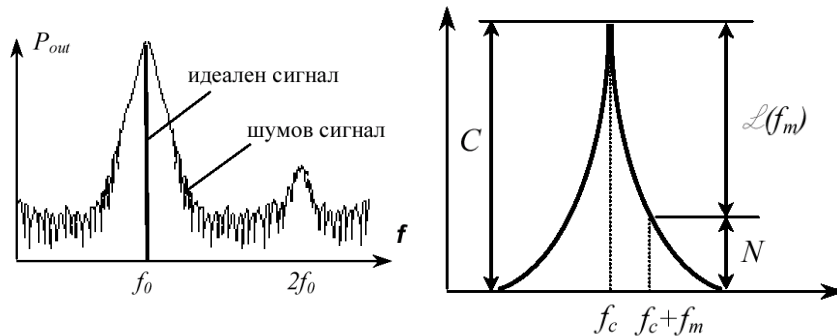
$$F_n = F'_n + (F_{SYS} - 1) / G_{DUT}$$

$$Y = N_h / N_c$$

### Измерител на шум



### Фазов шум



$$L(f_m) = N/C \text{ (noise-to-carrier)}$$

$$L(f_m) = \frac{\text{шумова мощност в 1-Hz честотна лента на разстояние } f_m \text{ от носещата честота } f_c}{\text{мощност на сигнала на носещата честота } f_c} = \frac{N}{C}$$

Край на  
Тема 5

