Metody pomiaru współczynnika szumu

Paweł Sujkowski
SQ1GQC

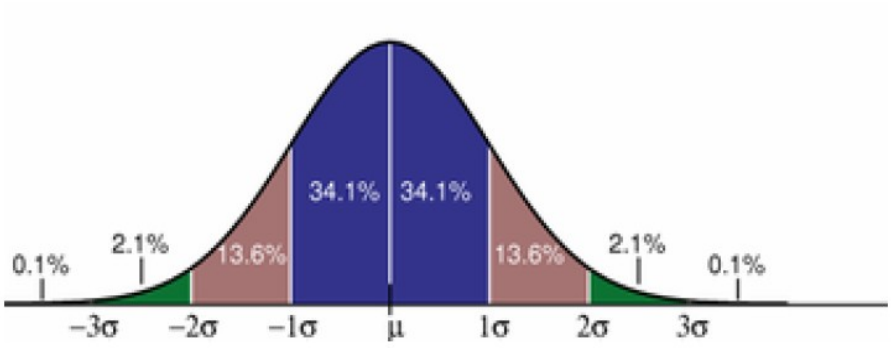
XV Bydgoskie Spotkanie Mikrofalowe
18-19.04.2015 Wąsosz

Czym jest szum termiczny

Szum jest przypadkowym sygnałem, nierozerwalnienie związanym z każdym fizycznie istniejącym elementem. Szum bezpośrednio ogranicza granice detekcji i przetwarzania sygnałów. Dlatego zazwyczaj dążymy do jego minimalizacji. W tej prezentacji ograniczę się do przekazania podstawowych informacji i omówienia wybranych metod pomiarów szumów termicznych.

Dystrybucja napięcia szumów termicznych

Ze względu na swe przypadkowe pochodzenie kształt krzywej dystrybucji napięcia szumów ma kształt krzywej Gaussa, z najbardziej prawdopodobną wartością 0V.



μ=0V

Widmo szumu termicznego

Rozważany przez nas, nieco wyidealizowany model rzeczywistości zakłada, że gęstość widmowa szumu jest stała w funkcji częstotliwości.

Mamy więc do czynienia z szumem białym.

Moc szumów rezystora

Każda rezystancja o dowolnej wartości generuje szum o dostępnej mocy wyrażonej wzorem:

(1) $P_N = kTB$ [W]

gdzie:

k – stała Bolzmanna (1,38 x 10^{-23} J/K)

T – absolutna temperatura wyrażona w K

B – pasmo wyrażone w Hz

Przy T=290 K, $P_N = 4*10^{-21}$ W/Hz = -174 dBm/Hz

290 K to 16,8 °C i jest to znormalizowana temperatura odniesienia dla pomiarów szumów.

Współczynnik szumów

Współczynnik szumów jest wartością określającą degradację stosunku sygnał szum rozważanego stopnia. Można go zdefiniować (od razu w mierze decybelowej) jako:

(2) $NF=10\log[(S_i/N_i)/(S_o/N_o)]$ [dB]

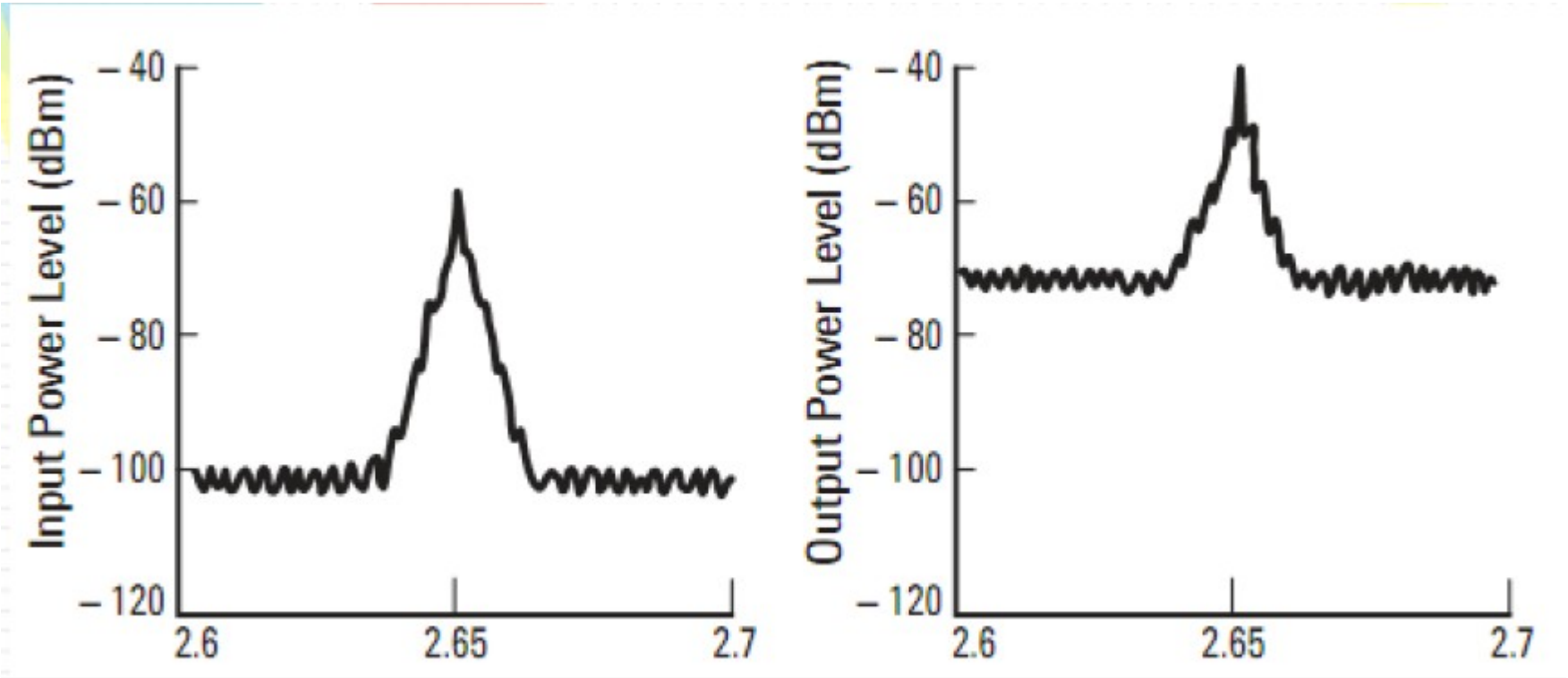
gdzie

S_i, S_o – moc sygnału na wejściu i wyjściu

N_i, N_o – moc szumu na wejściu i na wyjściu

Przykład obrazujący zależności mocy sygnału i szumu

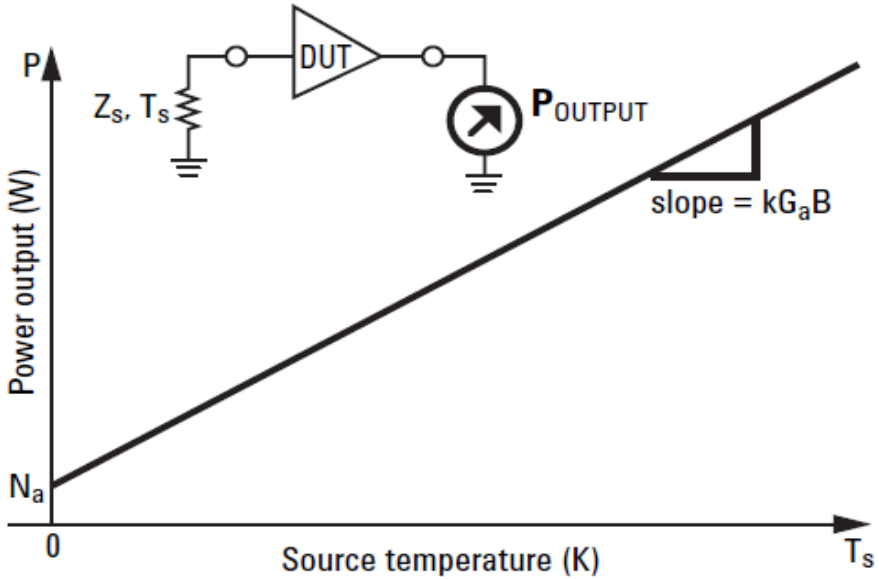
Rozważmy stopień o wzmocnieniu 20 dB i współczynniku szumów 10 dB



Prawa rządzące szumiącymi układami, umożliwiające pomiar szumu

Sposoby pomiary współczynnika szumów opierają się na fundamentalnej właściwościach dwu-portowego układu liniowego mianowicie na liniowości szumów.

Moc szumów na wyjściu układu jest liniowo zależna od mocy szumów na wejściu lub temperatury.



Źródła szumów

Urządzenie, dostarczające dwa zdefiniowane poziomy szumów. Najpopularniejsze rozwiązane są za pomocą specjalnych diód szumowych spolaryzowanych w kierunku zaporowym.

Źródło I2VHW

Diode NS-303 specifications Frequency range: 10Hz - 8GHz (max. 10GHz) Output level: about 30dBENR Bias: 8 - 10mA (8 - 12V)	Case: Metal-ceramic gold plated **Cathode**

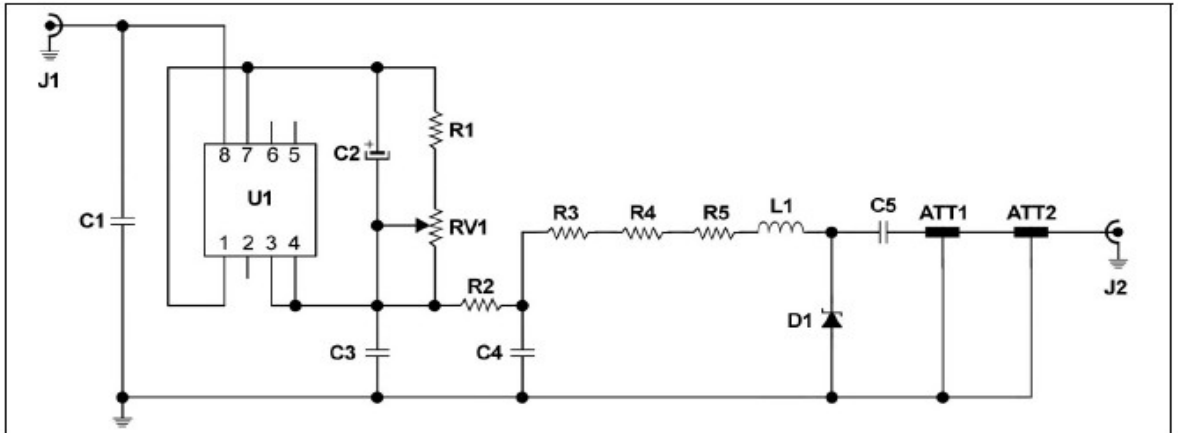


Fig. 1
Circuit diagram for a noise source 10MHz - 10GHz using a NS-303 noise diode

Charakterystyka źródła szumów

Najważniejszym parametrem opisującym źródło szumów jest ENR czyli Excess Noise Ratio. Definiujemy go jako stosunek mocy szumów dla stanu wyłączonego i załączonego źródła.

(3) $ENR=10\log[(T_H-T_C)/T_0]$

T_H - Temperatura ekwiwalentna źródła załączonego

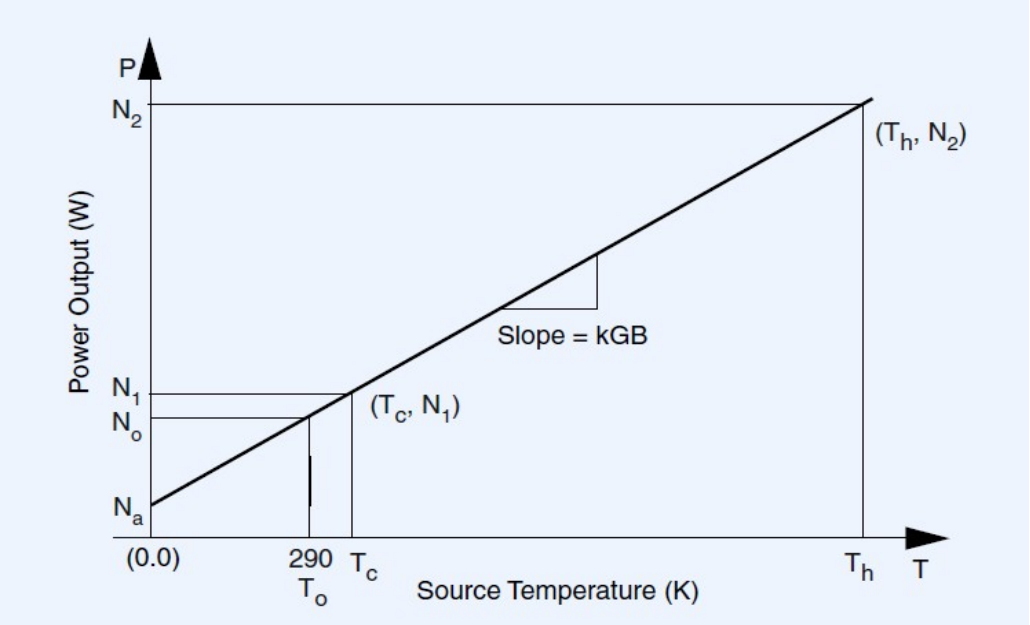
T_C - Temperatura ekwiwalentna źródła wyłączonego

T_0 – 290 K

Pomiar metodą współczynnika Y

Zdefiniujmy współczynnik Y jako stosunek mocy szumu na wyjściu stopnia przy załączonym i wyłączonym źródle szumu:

(4) $Y=N_2/N_1$



Pomiar metodą współczynnika Y

Z tej zależności możemy wyznaczyć wprost współczynnik szumów

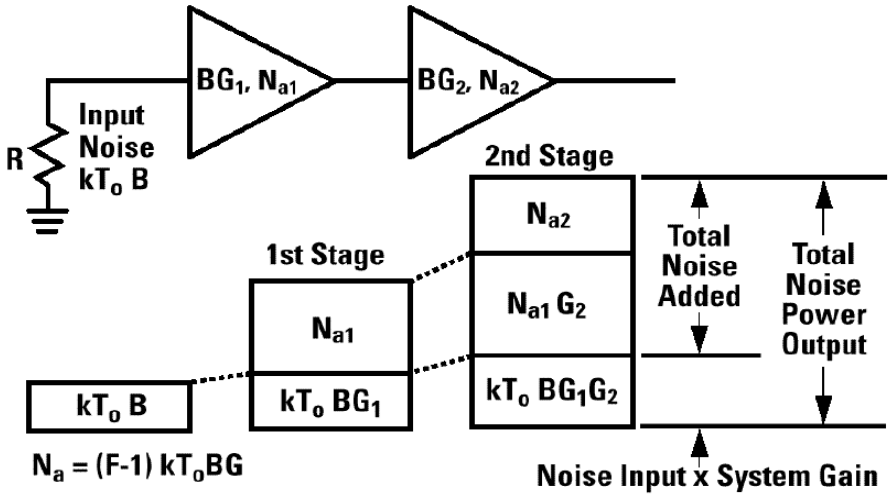
(4) $NF=10\log[(((T_H/T_0)-1)-Y((T_C/T_0)-1))/(Y-1)]$ [dB]

Dość skomplikowany, ale przy $T_C=T_0$ możemy zapisać:

(5) $NF=ENR-10\log(Y-1)$ [dB]

Szumy w układach wielostopniowych

Poniższa ilustracja obrazuje w jaki sposób moc szumów sumuje się w układzie w tym przypadku dwustopniowym, gdzie każdy stopień ma swoje wzmocnienie, pasmo i swoje szumy.



Szumy w układach wielostopniowych

Wypadkowy współczynnik szumu pokazanego wcześniej układu złożonego z dwóch stopni wyraża się wzorem

(6) $NF_{12}=10\log[10^{(NF_1/10)}+((10^{(NF_2/10)}-1)/(10^{(G_1/10)}))]$ [dB]

gdzie:

NF_{12} – wypadkowy współczynnik szumów [dB]

NF_1, NF_2 – współczynniki szumów stopni [dB]

G_1 – wzmocnienie pierwszego stopnia [dB]

Szumy w układach wielostopniowych

Podany na poprzedniej stronie wzór (6) przekształciłem z ogólnie dostępnej postaci wzoru Friss'a dotyczącego szumów układów kaskadowych w ten sposób, aby wykorzystać współczynniki podane w dB i wynik też uzyskać w dB. Chyba łatwiej operować w dB?!