

2005年度秋期実用マイクロ波講座

無線機設計におけるRF技術のすべて

2005年 9月～12月

松下電器産業(株) 上野 伴希(工学博士)

## 研修アジェンダ

1. システム設計概要
2. 低雑音アンプ(LNA)その1
3. 低雑音アンプ(LNA)その2
4. ミクサ
5. ローカル発振器
6. 変復調その1
7. 変復調その2
8. パワーアンプ(PA)
9. その他の回路
10. ダイレクトコンバージョンRX / TX

### 3. 低雑音アンプ(LNA)その2 - システム仕様

2005年 9月15日(木)

1. 受信感度とCN
2. NF
3. 非線形3次歪み
4. IM3
5. 混変調
6. NF測定

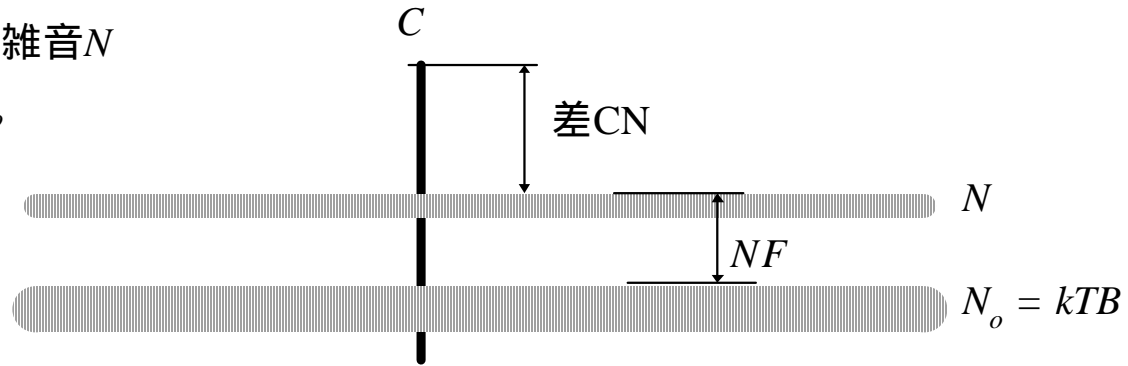
# 受信感度とCN

## 受信感度

受信々号レベル $C$

受信機の雑音 $N$

熱雑音 $N_o$

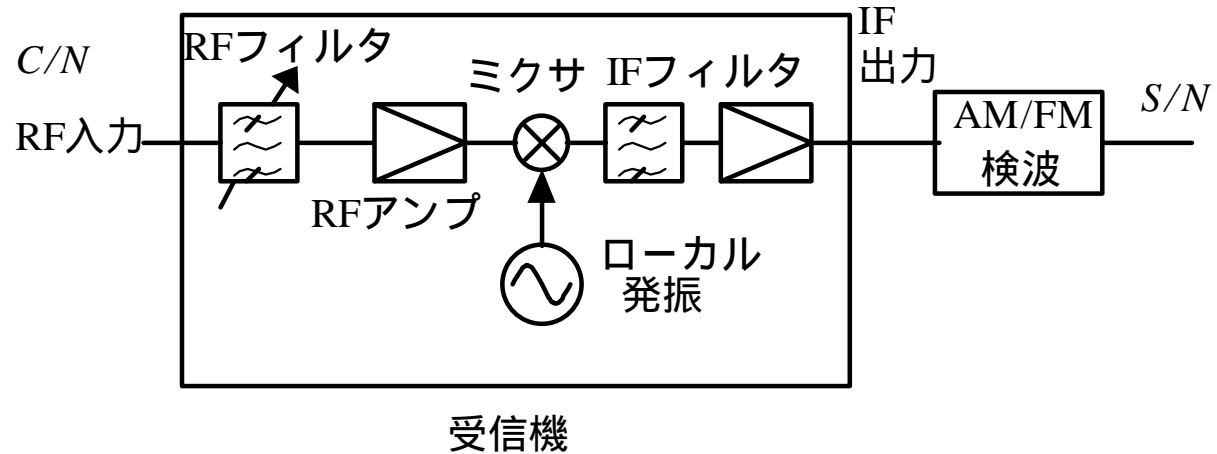


PDC(BER $10^{-2}$ )  $C/N=7.3\text{dB}$

GSM  $C/N=9\text{dB}$

# 受信感度とCN

## CNとSNの関係



### アナログAM/SSB

$$\frac{S}{N} = \frac{C}{N} \quad (\text{一般}) \qquad \frac{S}{N} = \frac{C}{N} I_{AMTV} \quad I_{AMTV} = 0.2475$$

### アナログFM

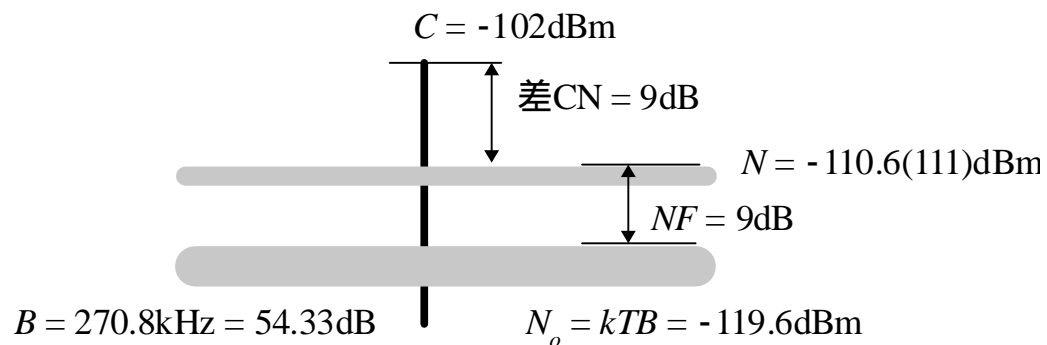
$$\frac{S}{N} = \frac{C}{N} I_{FM} \qquad I_{FM} = \frac{1.5 f_{dev}^2 B}{f_h^3} \quad (\text{一般}) \qquad I_{FMTV} = \frac{1.47 f_{dev}^2 B}{f_h^3}$$

# 受信感度とCN

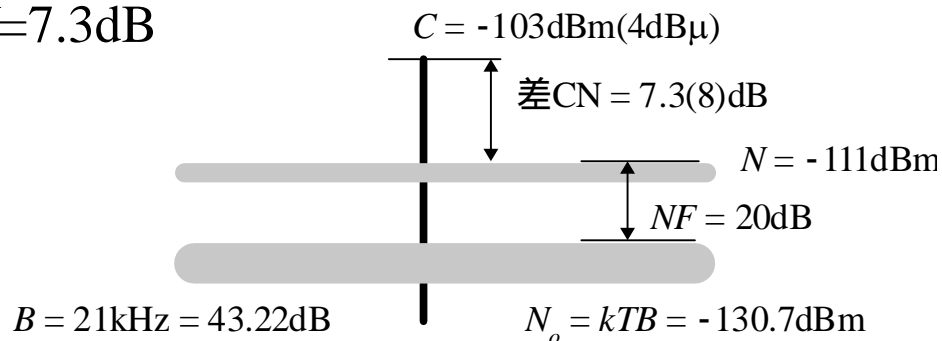
## 受信感度

$$kT = 1.38 \times 10^{-23} \times 293 = -173.93 \text{dBm/Hz}$$

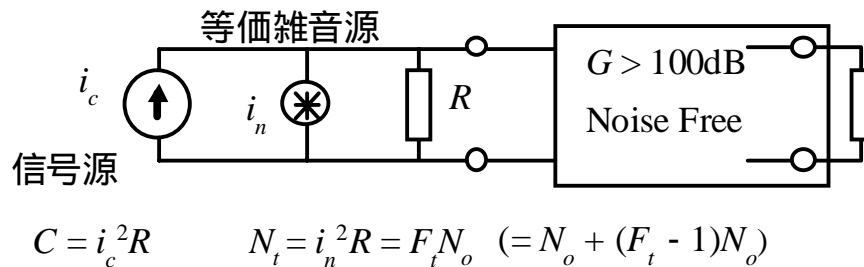
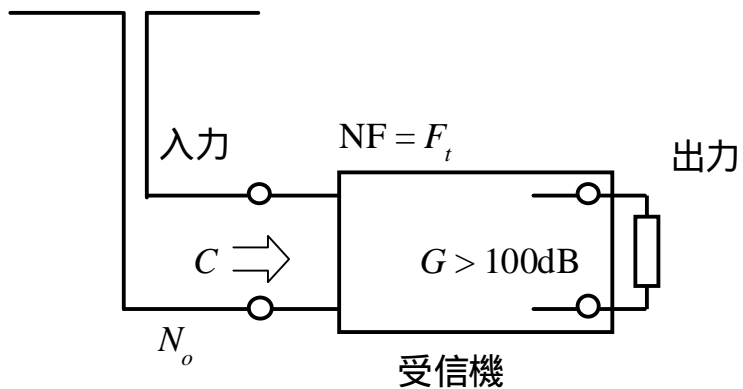
GSM  $C/N=9\text{dB}$



PDC(BER $10^{-2}$ )  $C/N=7.3\text{dB}$



NF(F)の定義



$$F = \frac{\text{入力}CN}{\text{出力}CN}$$

回路のNFの定義

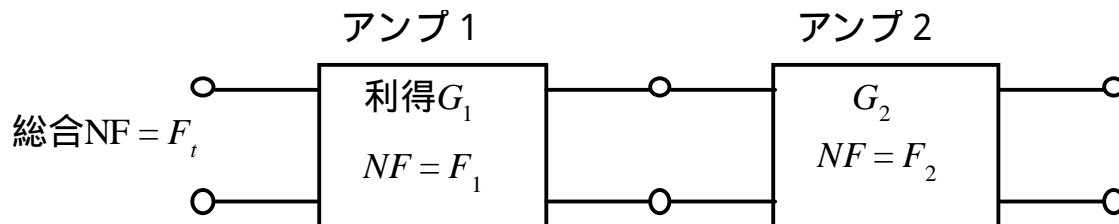
$$\text{入力}CN = C/N_o$$

$$\text{出力}CN = CG / FN_oG$$

$$N_o = kTB = 1.38 \times 10^{-23} \times 293 \times B$$

## 縦続接続 (NF公式)

アンプ



$$F_t = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

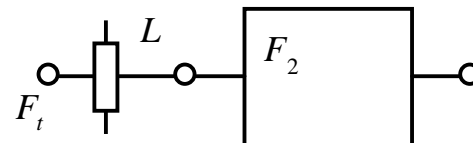
減衰器

アッテネータ損失  $L$ , 入力  $C/N_o$ , 出力  $(C/L)/N_o$

$NF = L$ , Gain =  $1/L$

ケース1

$$F_t = L + \frac{F_2 - 1}{1/L} = LF_2$$



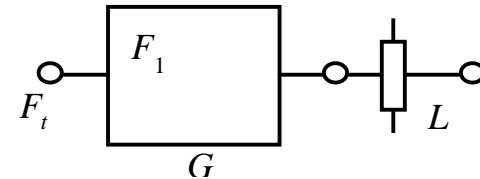


## アッテネータとNF

アッテネータのNFは $L$  (ゲインは $1/L$ )

ケース2

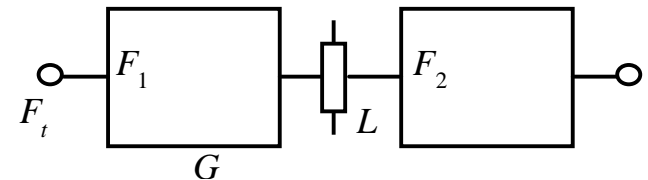
$$F_t = F_1 + \frac{L-1}{G}$$



ケース3a

ケース1から

$$F_t = F_1 + \frac{LF_2 - 1}{G}$$



ケース3b

ケース2から

$$F_t = \left( F_1 + \frac{L-1}{G} \right) + \frac{F_2 - 1}{G/L}$$

**問題** NFの定義からアンプ縦続接続公式を導出せよ。

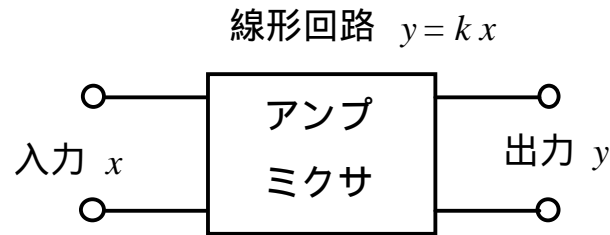
$$F_t = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

**問題** NFの定義からアッテネータ + アンプのNF(ケース1)を導出せよ。

$$F_t = L + \frac{F_2 - 1}{1/L} = LF_2$$

# 非線形3次歪み

## 3次歪の発生



わずかな歪をもつ線形回路の入出力特性

$$y = k_0 + k_1x + k_2x^2 + k_3x^3 + \dots$$

$x$ ; 時間調和(サイン波)の入力,  $k_0$ ; DCバイアス,  $k_1$ ; 増幅率

入力  $x = A \cos \omega_a t + B \cos \omega_b t$

$$A = B$$

3次出力  $y_3 = k_3x^3 = \dots + \frac{3}{4}k_3A^2B \cos(2\omega_a - \omega_b)t + \frac{3}{4}k_3AB^2 \cos(\omega_a - 2\omega_b)t + \dots$

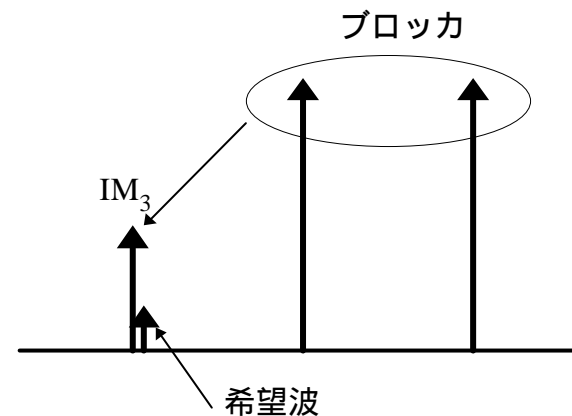
$$\dots + \frac{3}{2}k_3AB^2 \cos \omega_a t + \frac{3}{2}k_3A^2B \cos \omega_b t + \dots$$

# 非線形3次歪み

## 3次歪み考慮の背景

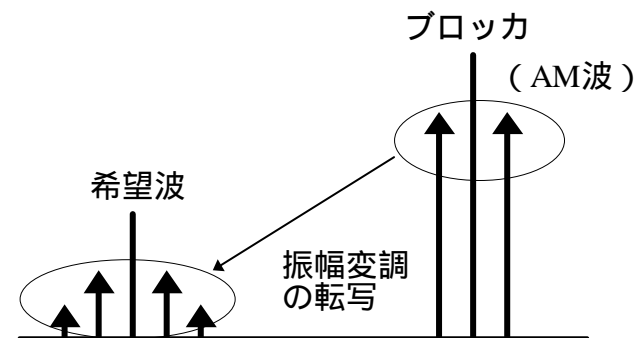
近傍に存在するブロッカ (Blocker: 強力妨害波) 排除能力

IM (Inter-modulation) 歪み:



CM (Cross-modulation) 歪み:

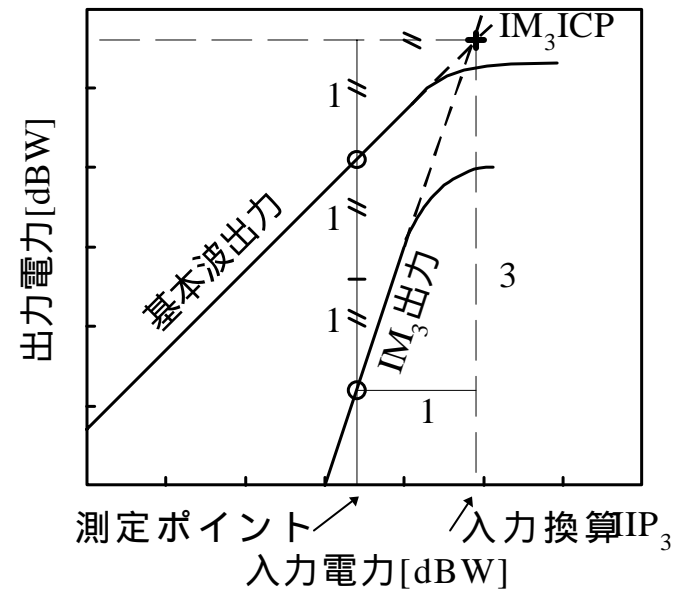
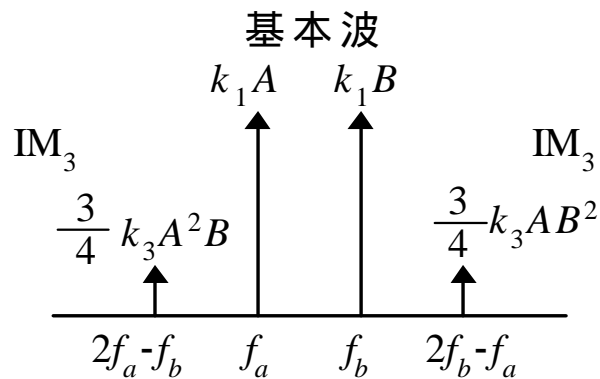
AMを持つ信号: QPSK  
QAM



IM<sub>3</sub>の発生

$$= \dots + \frac{3}{4} k_3 A^2 B \cos(2\omega_a - \omega_b)t + \frac{3}{4} k_3 AB^2 \cos(\omega_a - 2\omega_b)t + \dots$$

$$IM = \frac{(k_1 A)^2}{(3/4 k_3 A^2 B)^2}$$

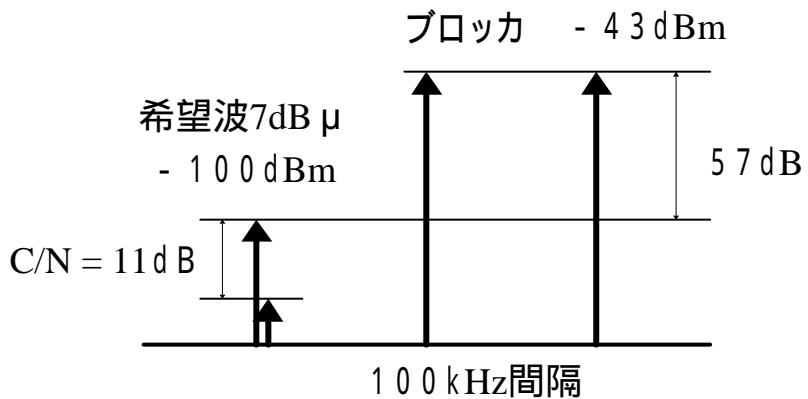
IIP<sub>3</sub>とは

## PDCのIIP<sub>3</sub>テストシナリオ

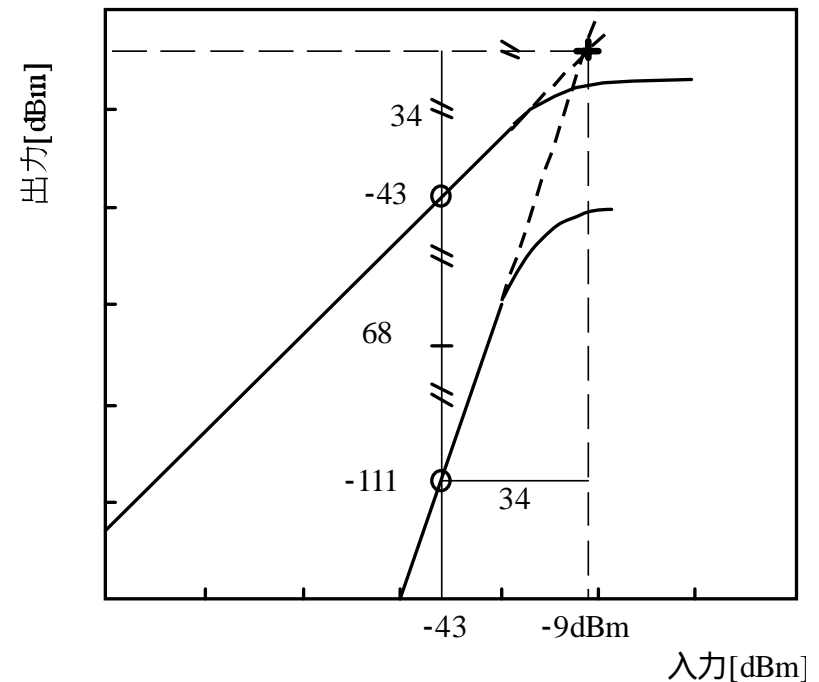
希望波信号レベル7dB $\mu$  (受信感度4dB $\mu$ )

ブロッカレベル - 43dBm

ブロッカによる妨害を受けないために必要なIIP<sub>3</sub>を求めよ



入出力特性  
トータルゲイン = 1 を仮定

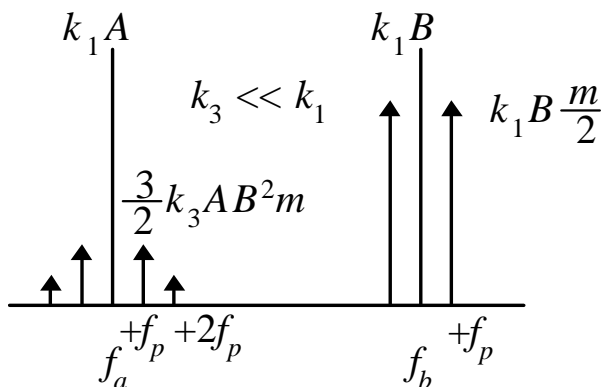


## CM(混変調)の発生

$$\dots + \frac{3}{2} k_3 AB^2 \cos \omega_a t + \frac{3}{2} k_3 A^2 B \cos \omega_b t + \dots$$

$$B \rightarrow B(1 + m \cos \omega_p t)$$

$$y_3 = \frac{3}{2} k_3 AB^2 \left\{ 1 + 2m \cos \omega_p t + \frac{m^2}{2} (1 + \cos 2\omega_p t) \right\} \cos \omega_a t$$



$$CM = \frac{(k_1 A)^2}{(3k_3 AB^2 m / 2)^2} = \left( \frac{1}{2m} \right)^2 IM$$

$$CM = IM - 6 - 20 \log m$$

$$IM = \frac{(k_1 A)^2}{(3/4 k_3 A^2 B)^2}$$

## IIP<sub>3</sub>に関する問題

1. GSM受信機のみクサに必要なIIP<sub>3</sub>を求めよ

条件

受信機最大感度 - 102dBm (CN=9dB)

希望波レベル - 99dBm

ブロッカ 800KHz間隔でレベル - 49dBmの2波

LNA利得 10dB

2. 受信機フロントエンド(LNA+ミクサ)を設計せよ

仕様 利得21dB, NF=4dB, IIP<sub>3</sub>= - 5dBm

条件 LNA利得17dB, NF=2dB, OIP<sub>3</sub>=15dBm

ミクサ利得10dB, NF=9dB, IIP<sub>3</sub>=10dBm

IFアンプ, NF=9dB



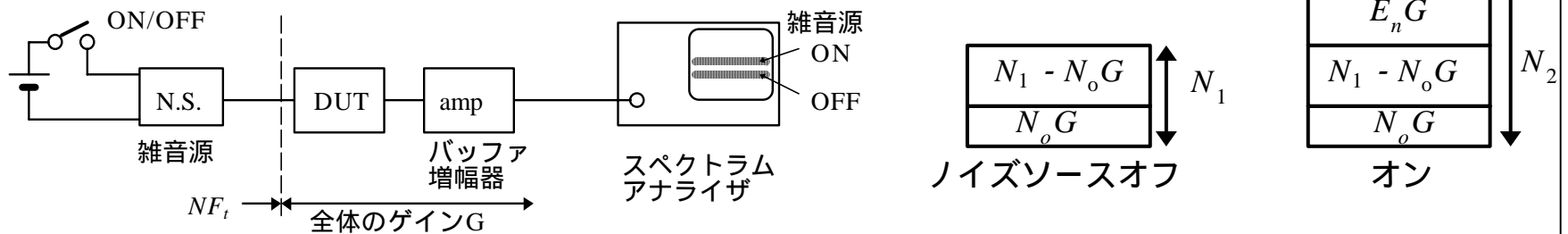
# NF測定

## NFの測定原理

ノイズソースオフ  $F = \frac{N_1}{N_o G}$

ノイズソースオン  $\frac{N_2}{N_1} = \frac{N_1 + E_n G}{N_1}$

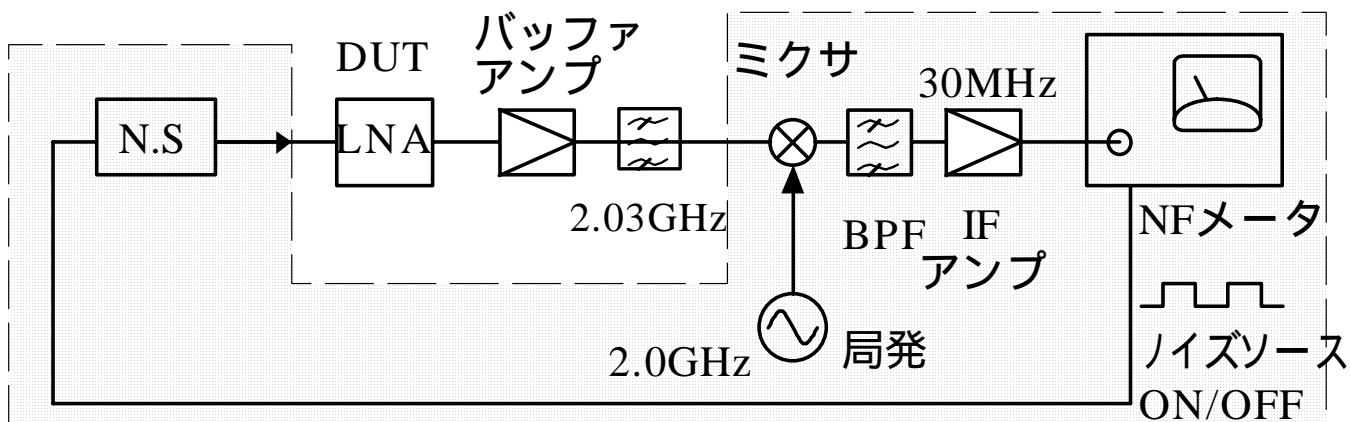
$$F[\text{dB}] = 10 \log \frac{E_n}{N_o} - 10 \log \left( \frac{N_2}{N_1} - 1 \right)$$



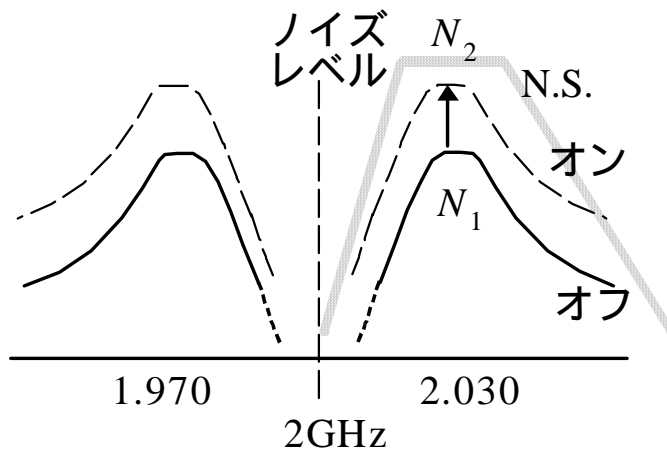
## 測定のセットアップ

# NF測定

## NF測定 (DSB/SSB - NF)



測定のセットアップ

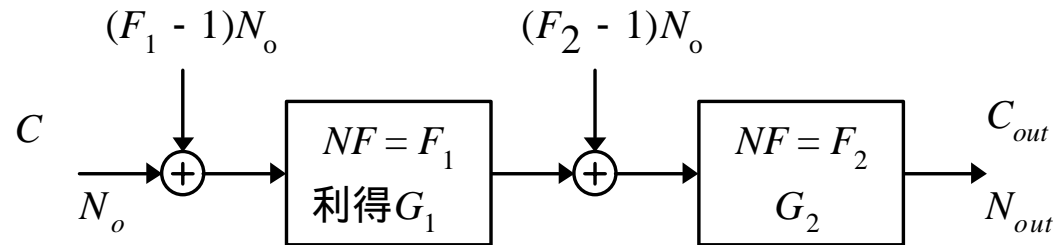


SSB - NF

For Instructor

解答 NFの定義からアンプ縦続接続公式を導出せよ。

$$F_t = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$



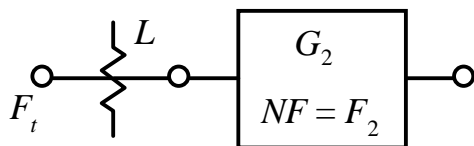
入力  $C/N_o$ , 出力  $C_{out}/N_{out}$

$$N_{out} = F_1 N_o G_1 G_2 + (F_2 - 1) N_o G_2$$

$$C_{out} = C G_1 G_2$$

$$F_t = \frac{C/N_o}{C_{out}/N_{out}} = \frac{C N_{out}}{C_{out} N_o} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

解答 NFの定義からアッテネータのNF(ケース1)を導出せよ。



$$N_{out} = F_2 N_o G_2$$

$$F_t = \frac{C/N_o}{C_{out}/N_{out}} = \frac{C/N_o}{CG_2/L / F_2 N_o G_2} = LF_2$$

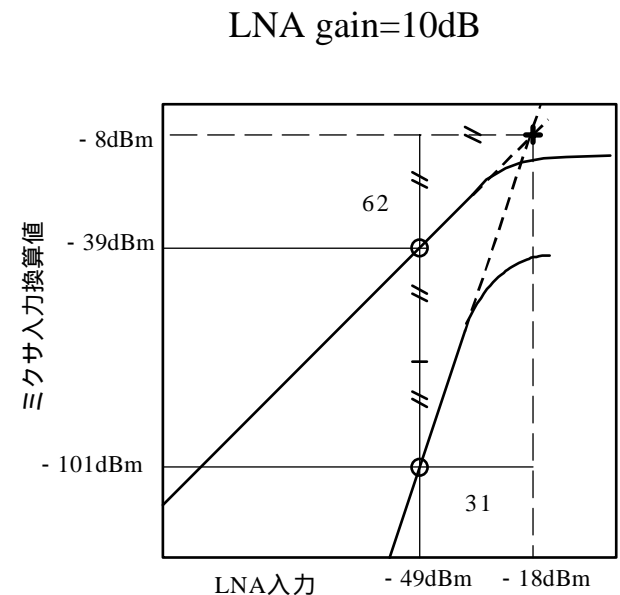
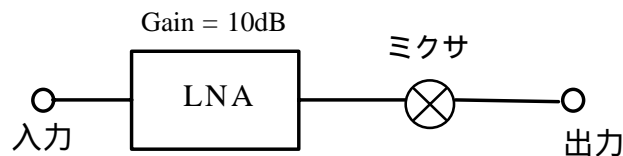
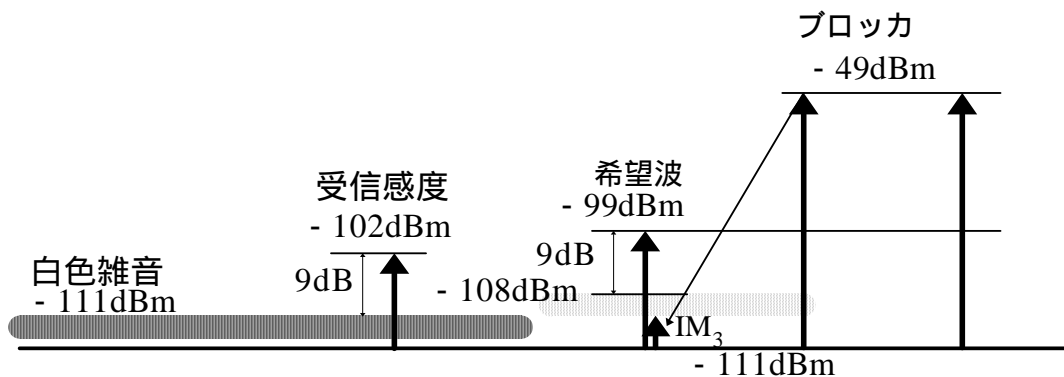
IIP<sub>3</sub>に関する問題の解答1. GSM受信機に必要なIIP<sub>3</sub>を求めよ

テストシナリオ (GSM仕様)

希望波レベル - 99dBm

ブロッカ 800KHz間隔でレベル - 49dBmの2波

(条件: 受信感度(最大感度) - 102dBm (CN=9dB))



IIP<sub>3</sub>に関する問題の解答

2. 受信機フロントエンド(LNA+ミクサ)を設計せよ

仕様 利得21dB, NF=4dB, IIP<sub>3</sub>= -5dBm

