

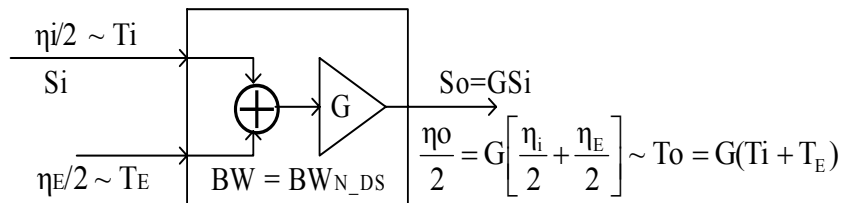
BAB VII PENGUAT

Penguat orde-1 linear merupakan system linear yang sering kali dipakai dalam system komunikasi. Secara konsep, penguat linear dapat berupa apa saja (penguat, filter, saluran, peredam, mixer dll) asalkan mempunyai penguatan linear. Hal-hal yang perlu dievaluasi dalam system penguatan meliputi :

- Sinyal yang dikuatkan (sinyal dan noise)
- System penguat (dan noise internalnya)

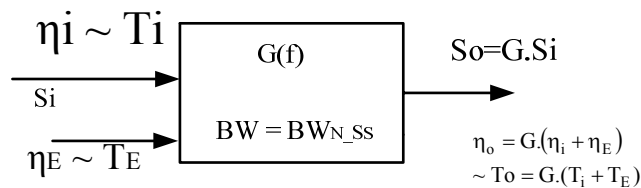
7.1. Kesepakatan Model Penguat

Pernyataan Double sided



- | | |
|--|--|
| ○ $\frac{\eta_o}{2}$ = rapat daya noise output | ○ T_i = thermal ekuivalen noise input |
| ○ T_o = termal ekuivalen noise output | ○ $\frac{\eta_E}{2}$ = rapat daya noise internal |
| ○ S_i = daya input | ○ T_E = termal ekuivalen noise internal |
| ○ S_o = daya output | ○ G = gain |
| ○ $\frac{\eta_i}{2}$ = rapat daya noise input | |

Pernyataan single sided :

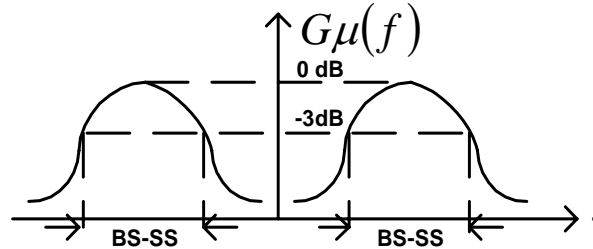


- η_E = rapat daya noise internal
- η_i = rapat daya noise input
- η_o = rapat daya noise output
- S_i = daya input
- S_o = daya output

pada frekuensi daerah HF (3-30) MHz: $\eta_i > \eta_E$
 pada frekuensi daerah VHF (30-300) MHz : $\eta_i < \eta_E$

7.2. Bandwith Ekuivalensi Noise (BW_N)

Perhitungan daya noise dapat dilakukan dengan mengetahui BWN (band-with Ekuivalensi noise /yang dilalui noise.



asumsi : $G(f) = G \cdot G_{\mu}(f)$

$$G \equiv G(f)_{\max}$$

Normalisasi G adalah = $G_{\mu}(f)$ [besarnya = 1 kali]

Daya noise pada input belum bias dihitung, karena tidak terdefinisi dalam lingkup BW tertentu. Baru setelah melalui penguat, definisi BW ada, yaitu noise output.

Daya sinyal biasanya dihitung dalam definisi BWs | 3 dB, yaitu ketika terjadi level -3 dB terhadap max. Tetapi daya noise, karena level kecepatannya sangat rendah, tetap dihitung pada cakupan BWN diseluruh kawasan frekuensi yang masih berpengaruh penguatannya terhadap noise tersebut.

Perhitungan Daya Noise Output Penguat

$$N_o = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\eta_o}{2} df = \left[\frac{\eta_i}{2} + \frac{\eta_E}{2} \right] G \int_{-\infty}^{\infty} G_{\mu}(f) df \triangleq \left[\frac{\eta_i}{2} + \frac{\eta_E}{2} \right] G \cdot BW_{N-DS} \Rightarrow \text{double sided}$$

$$N_o = \int_0^{\infty} \eta_o df = \left[\eta_i + \eta_E \right] G \int_0^{\infty} G_{\mu}(f) df \triangleq \left[\eta_i + \eta_E \right] G \cdot BW_{N-SS} \Rightarrow \text{single sided}$$

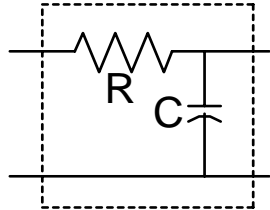
$$\text{Dengan: } G \left[\frac{\eta_i}{2} + \frac{\eta_E}{2} \right] = \frac{\eta_o}{2} \Rightarrow N_o = \frac{\eta_o}{2} BW_{N-DS} ; \frac{BW_{N-DS}}{2} = BW_{N-SS}$$

$$G \left[\eta_i + \eta_E \right] = \eta_o \Rightarrow N_o = \eta_o BW_{N-SS}$$

$$\text{Dimana } BW_{N-DS} = \int_{-\infty}^{\infty} G_{\mu}(f) df \text{ atau } BW_{N-SS} = \int_0^{\infty} G_{\mu}(f) df$$

Terlihat adanya ekuivalensi antara N_0 (daya noise) dengan B_N (bandwith noise). Sehingga juga biasa jika suatu noise pada suatu kerapatan daya tertentu dinyatakan dayanya dengan B_N (bandwith ekuivalensinya).

Contoh:



$$H(\omega) = \frac{1}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

$$G(\omega) = H(\omega)H^*(\omega) = |H(\omega)|^2 = \frac{1}{1 + (\omega RC)^2}$$

atau $G(f) = \frac{1}{1 + (2\pi f RC)^2}$

Penentuan $BW_s | 3dB = (2\pi f RC)^2 = 1 \Rightarrow f_{co} = \pm \frac{1}{2\pi RC}$

$\Rightarrow BW_s | 3dB DS = \frac{1}{\pi RC} \Rightarrow BW_s | 3dB SS = \frac{1}{2\pi RC}$

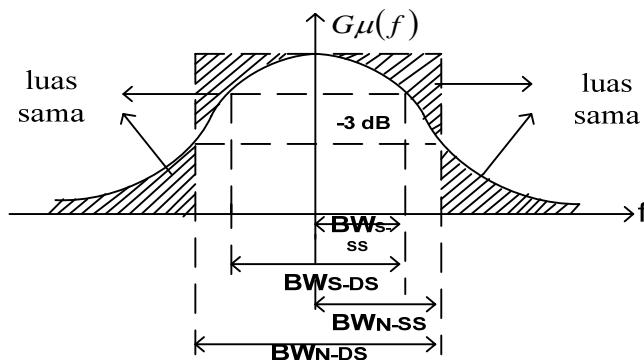
merupakan BW -sinyal ! BW -signal \sim BW -filter

Penentuan BW_N (untuk dapat dianggap ideal/persegi)

$$BW_{N-DS} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G(f)df}{G(f)_{max}} = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{1 + (2\pi f RC)^2} df = \frac{1}{2RC}$$

$$BW_{N-SS} = \frac{1}{2} BW_{N-DS} = \frac{1}{4RC}$$

merupakan BW noise! $\Rightarrow BW_N = \frac{\pi}{2} BW_s | 3dB$



$$BW_N > BW_s$$

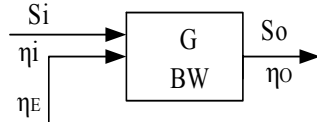
jika BW ideal (disederhanakan) :

$$G_\mu(f) = 1; |f| < f_{co} \text{ dan } G_\mu(f) = 0; f \text{ yang lain maka: } BW_N = BW_s$$

7.3. Ukuran Kualitas Sinyal dan Sistem (Catatan: akan digunakan besaran single-sided)

7.3.1 Kualitas Sinyal

(1) *S/N (signal to noise ratio)*



✓ nilai : $\left. \frac{S}{N} \right|_{dB} = 10 \log \frac{S}{N} [dB]$ $S \equiv$ daya sinyal (rata-rata)

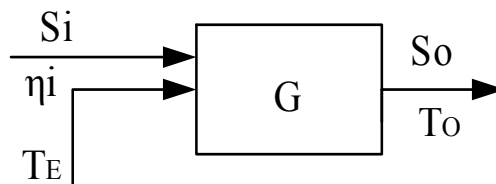
✓ $N \equiv$ daya noise (rata-rata)

✓ pada input $\frac{S_i}{N_i}$ sebenarnya tidak dapat ditentukan karena η_i belum terdefinisi dalam BW-N tertentu [BW antenna tidak terdefinisi]. Disepakati : BW_N input = BW_N penguat sehingga setara dengan definisi BW_N output

(2). $\frac{S}{\eta} \equiv$ *signal to noise density ratio* $\left[\frac{\text{watt}}{\text{watt/Hz}} = \text{Hz} \right]$

Nilai : $\left. \frac{S}{\eta} \right|_{dBHz} = 10 \log \frac{S}{\eta} [dBHz]$, pada input dan output terdefinisi secara absolute tetapi memberikan gambaran interpretasi kurang jelas.

(3). $\frac{S}{T} \equiv$ *signal to noise thermal ratio [watt/°K] $\equiv S$ to T*



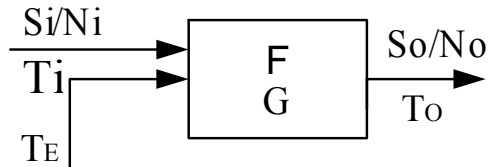
Nilai : $\left. \frac{S}{T} \right|_{dBW/^\circ K} = 10 \log \frac{S}{T} [dBW/^\circ K]$

$\eta = k.T$, Pada input : $\frac{S_i}{T_i} = \frac{kS_i}{\eta_i}$

Pada output : $\frac{S_o}{T_o} = \frac{kS_o}{\eta_{oi}} = \frac{kS_i G}{(\eta_i + \eta_E)G} = \frac{kS_i}{\eta_i + \eta_E} = \frac{S_i}{T_i + T_E}$

7.3.2 Kualitas Sistem

(1). Noise Figure [F/NF]



$$F \triangleq \frac{N_o}{G \cdot k \cdot T_{i0} \cdot B_N}$$

Noise figure \equiv perbandingan antara daya derau output actual(sebenarnya) terhadap daya derau output jika system noiseless(ideal), dengan asumsi:

- ✓ Derau input pada $T_{i0} = 290^\circ\text{K}$
- ✓ Lebar pita BW signal= BW 3dB sistem

Pemilihan $T_i = T_{i0} = 290^\circ\text{K}$ sebagai referensi hanya untuk kesepakatan yang memberi kemudahan :

$$k \cdot T_{i0} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{watt}}{\text{Hz}^\circ\text{K}} \cdot 290^\circ\text{K} = 400 \cdot 10^{-23} \frac{\text{watt}}{\text{Hz}} = 234\text{dBm} / \text{Hz}$$

Bentuk **turunan I:**

$$F = \frac{N_o}{G \cdot k \cdot T_{i0} \cdot B_N} = \frac{G \cdot k \cdot [T_{i0} + T_e] \cdot B_N}{G \cdot k \cdot T_{i0} \cdot B_N} \Rightarrow F = 1 + \frac{T_e}{T_{i0}} = 1 + \frac{T_e}{290^\circ\text{K}}$$

Nilai : $F \text{ dB} = 10 \log F$ disepakati pada $T_i = 290^\circ\text{K}$. merupakan standar kuantitatif yang menjelaskan mutu peralatan/system, karena menunjukkan tingkat/derajat penurunan kualitas sinyal input.

Secara alamiah mudah dipahami $F \geq 1$ atau selalu $F \geq 0 \text{ dB}$. F disepakati terdefinisi pada $T_i = T_{i0} = 290^\circ\text{K}$ (referensi) terlepas bahwa peralatan sistem akan diaplikasikan untuk T_i actual berapapun.

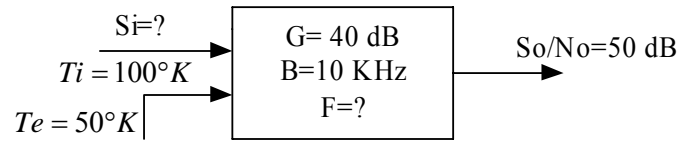
Bentuk **turunan II:**

$$F = 1 + \frac{T_e}{290^\circ\text{K}} \times \frac{k}{k} \Rightarrow F = 1 + \frac{\eta_E}{k \cdot 290^\circ\text{K}}$$

(2). Dengan Menyebut Harga T_e [$^\circ\text{K}$] dari Sistem

karena hanya disebut T_e saja, berarti juga perlu didasari anggapan $T_i = T_{i0} = 290^\circ\text{K}$.

contoh :



Asumsi : BW sinyal = BW 3dB sistem
BW 3dB = BN ideal

$$F = 1 + \frac{T_e}{T_{i0}} = 1 + \frac{50^\circ K}{290^\circ K} = 0,69 dB$$

$$F = \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} \Rightarrow 0,69 dB = S_i/N_i - 50 dB$$

$$S_i/N_i = (50+0,69) dB = 50,69 dB$$

$$N_i - kT_i B_N = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 100^\circ K \cdot 10^4 Hz = 13,8 \cdot 10^{-18} watt = -143,61 dBm$$

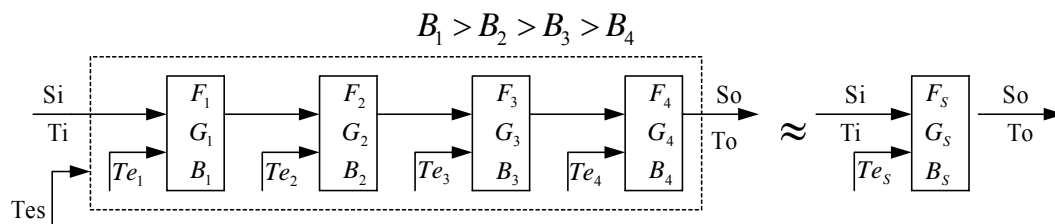
$$S_i/N_i = S_i - N_i$$

$$S_i - S_i/N_i + N_i = (50,69 - 148,61) dBm$$

$$S_i = -87,92 dBm$$

→ JANGAN GUNAKAN DEFINISI NOISE FIGURE TSB JIKA $T_i \neq 290^\circ K$ → SOLUSI YANG SALAH

7.4. Sistem Penguat Kaskade



$$S_o = S_i G_1 G_2 G_3 G_4 = S_i G_s \Rightarrow G_s = G_1 G_2 G_3 G_4$$

$$N_o = k(T_i + T_{es}) B_s G_s = k T_o B_s$$

$$= k \{ \{ \{ \{ T_i + T_{e1} \} G_1 + T_{e2} \} G_2 + T_{e3} \} G_3 + T_{e4} \} G_4 \cdot B_4$$

$$= k [T_i G_1 G_2 G_3 G_4 + T_{e1} G_1 G_2 G_3 G_4 + T_{e2} G_2 G_3 G_4 + T_{e3} G_3 G_4 + T_{e4} G_4] B_4 =$$

$$k [T_i + T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1} + \frac{T_{e3}}{G_1 G_2} + \frac{T_{e4}}{G_1 G_2 G_3}] G_s B_4,$$

$$T_{es} = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1} + \frac{T_{e3}}{G_1 G_2} + \frac{T_{e4}}{G_1 G_2 G_3} \text{ dan } B_s = B_4 |_{min}$$

$$F_s \Delta \frac{No}{K.Ti.Bs.Gs} = \frac{k.(Ti+Tes).B_4.Gs}{K.Ti.B_4.Gs} \Rightarrow F_s = 1 + \frac{Tes}{Ti} = 1 + \frac{Tes}{290^\circ K}$$

Sehingga didapatkan : $F_s = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3}$

Rumus FRISS

$$F_s = \frac{Si / Ni}{So / No} \Rightarrow F_s = \frac{Si}{Ni} \cdot \frac{So}{No} = \frac{Si}{k.Ti.B_{Ni}} \cdot \frac{k.(Ti+Tes).B_{No}.Gs}{Si.Gs}$$

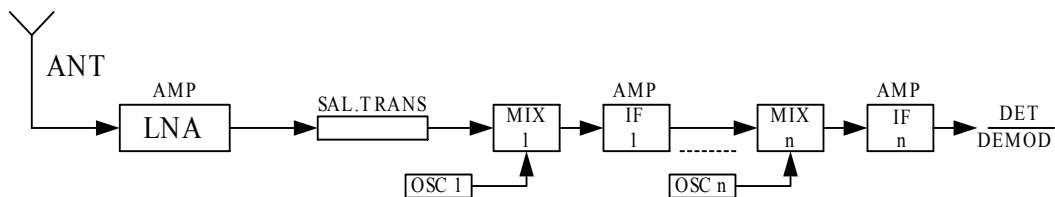
$$F_s = 1 + \frac{Tes}{Ti} \Rightarrow \text{hanya jika } B_{N1} = B_{No} = B_4 = B_W \text{ min}$$

BAB VIII SISTEM PRADETEKSI

Sistem Pradeteksi pada suatu pesawat penerima komunikasi meliputi bagian-bagian yang melakukan pengolahan sinyal terimaan, sampai menjelang siap dideteksi. Dalam komunikasi radio, biasanya antenna tidak dimasukkan sebagai bagian pradeteksi. Karena antenna mempunyai fungsi utama sebagai transformator dari kawasan elektromagnetik menuju kawasan elektronik.

Sistem Pradeteksi (analog) akan diperlukan baik pada system komunikasi analog [AM,FM] maupun pada system komunikasi digital [ASK,FSK,PSK,.....]. Sehingga perbedaan antara kedua system terletak pada system deteksinya sendiri. Yang harus disesuaikan dengan tipe modulasi yang digunakan.

Perhitungan kinerja system pradeteksi akan dapat didekati sebagai system penguat kaskade, setelah diyakini bahwa seluruh bagian dapat dianggap sebagai system/penguat linear.

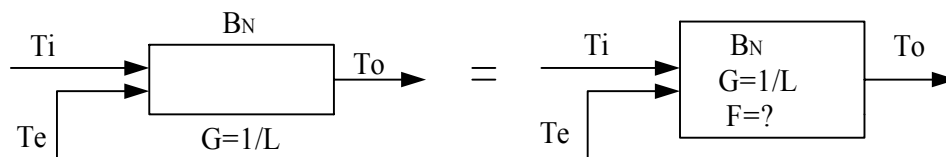


Sesuai dengan rumus FRISS sebagai prinsip perhitungan kinerja kaskade, bahwa yang sangat menentukan kinerja system gabungan kaskade adalah kinerja bagian yang terdepan. Maka bagian terdepan tersebut haruslah berkualitas sangat baik (noise figure harus kecil), jika diinginkan kinerja keseluruhan baik.

Pada sistem pradeteksi diatas yang telah diyakini sebagai penguat adalah LNA, IF-1 Amp, IF-2 Amp,.....IF-n Amp. Sehingga berikut ini akan dibahas peninjauan tentang saluran transmisi dan mixer sebagai suatu sistem linear yang juga akan dapat dianggap sebagai penguat. Kemudian akan diberikan contoh persoalan yang cukup representatif.

8.1 Saluran Transmisi

Perhitungan kinerja terhadap saluran transmisi dapat diberlakukan untuk bagian bagian lain dari system yang sifatnya meredam (peredam), dengan model :



Asumsi :

- ✓ Sesuatu yang akan meredam daya/menghambat gerakan muatan akan menghasilkan derau \Rightarrow sal.transmisi;peredam.
- ✓ Saluran transmisi dan peredam pada umumnya dapat dianggap terdiri dari rangkaian mengandung elemen-elemen resistif yang berada dalam kesetimbangan thermal. Sehingga memberikan derau keluaran yang ekuivalen dengan suhu $T_o = T = T_{io} = 290^\circ\text{K}$

Penurunan sifatnya dari perhitungan daya derau No:

$$N_o = k.(T_i + T_e).BN.G = N_i = k.T_i.BN$$

jika $G = 1/L$ dan $T_i = 290^\circ\text{K} = T_{io} = T_o$, maka :

$$k.(290^\circ\text{K} + T_e).BN.1/L = k.290^\circ\text{K}.BN$$

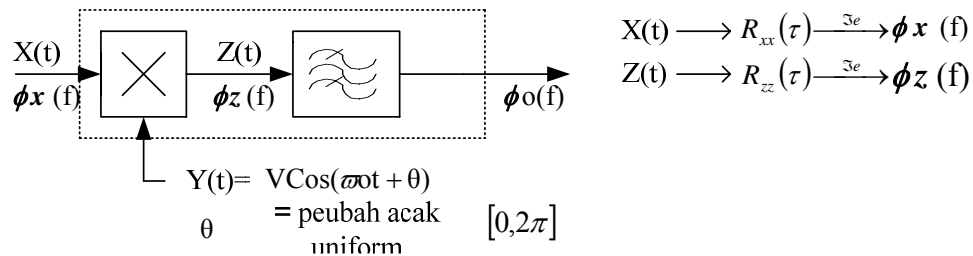
$$\Rightarrow 1 + \frac{T_e}{290^\circ\text{K}} = L \rightarrow F = L = 1 + \frac{T_e}{290^\circ\text{K}}$$

$$T_e = (F-1) 290^\circ\text{K} = (L-1) 290^\circ\text{K}$$

F dan L tidak dalam satuan dB

8.2 Mixer

Model :



Asumsi:

- ✓ $X(t)$ dan $Y(t)$ saling bebas
- ✓ Derau internal diabaikan sementara

Proses “perkalian” :

$$Z(t) = X(t).Y(t) = V.X(t) .\cos (\omega_0 t + \theta)$$

$$R_{zz}(\tau) = E[Z(t).Z(t+\tau)] = E[X(t).Y(t).X(t+\tau).Y(t+\tau)]$$

$$= E[X(t).X(t+\tau)] .E[Y(t).Y(t+\tau)]$$

$$= R_{xx}(\tau) . \frac{V^2}{2} \cos \omega_0 \tau$$

$$\begin{aligned}\phi_z(f) &= TF[R_{ZZ}(\tau)] = \frac{V^2}{2} \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) \cdot \cos \omega_o \tau \cdot e^{-j\omega \tau} d\tau \\ &= \frac{V^2}{4} \left[\int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) \cdot e^{-j(\omega - \omega_o)\tau} d\tau + \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau) \cdot e^{-j(\omega + \omega_o)\tau} d\tau \right] \\ &= \frac{V^2}{4} [\phi_x(f - f_o) + \phi_x(f + f_o)]\end{aligned}$$

Proses dalam filter :

Menghilangkan salah satu side band, untuk tujuan down- converter

$$\phi_o(f) = GM \cdot \phi_x(f + f_o) \Rightarrow \phi_o(f - f_o) = GM \cdot \phi_x(f)$$

Perhitungan daya output :

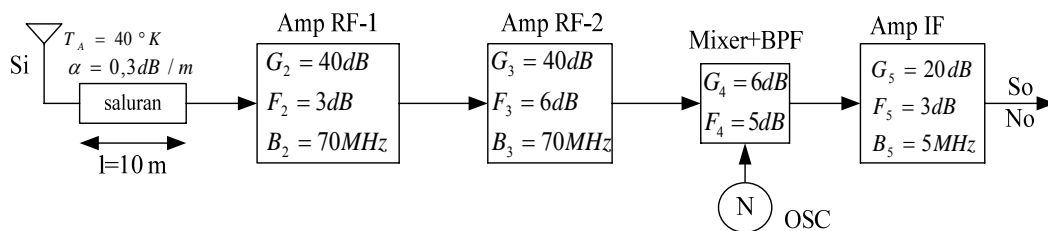
$$P_o = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_o(f) df = \int_{-\infty}^{\infty} GM \cdot \phi_x(f + f_o) df; \text{ substitusi } f + f_o = s$$

$$P_o = GM \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \phi_x(s) ds \Rightarrow P_o = GM \cdot P_x$$

Kesimpulan: Proses di dalam mixer identik dengan penguat yang mempunyai gain GM (gain mixer).

Catatan: Untuk selanjutnya, jika perlu derau internal (Te) dapat disertakan dalam perhitungan, seperti pada penguat biasa.

Contoh Perhitungan Kinerja Sistem Pradeteksi



Ditanyakan :

- Hitunglah S_i agar $S_o/N_o = 50$ dB !
- Jika S_i tetap (seperti jawaban a), Hitunglah S/N output, jika kedudukan saluran transmisi dan Amp. RF-1 dipertukarkan sehingga urutan dari kiri ke kanan:
Amp RF-1 \rightarrow Saluran Trans \rightarrow Amp RF-2 \rightarrow mixer+BPF \rightarrow Amp. IF
- Susunan/urutan lebih bagus mana? Jelaskan!