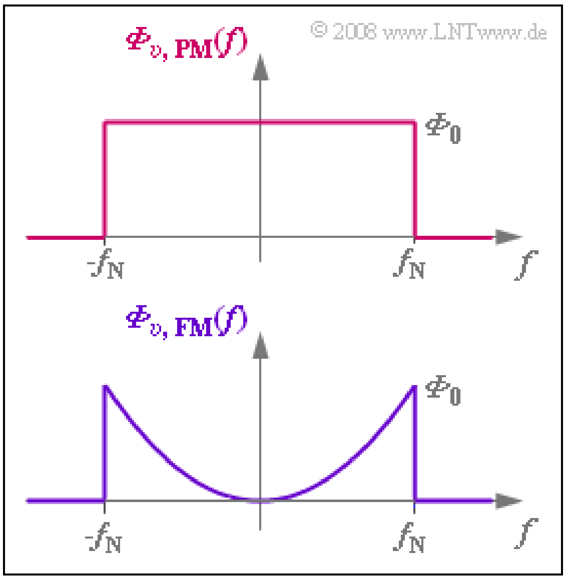
A3.9: Rauschen bei PM und FM



Betrachtet werden die Phasen– und Frequenzmodulation einer Cosinusschwingung mit der Frequenz f_N. Zunächst gelte für die Nachrichtenfrequenz $f_N = f_5 = 5$ kHz und der Modulationsindex (Phasenhub) sei $\eta = 5$.

Bei Vorhandensein von additivem Gaußschen Rauschen mit der Rauschleistungsdichte N_0 ergibt sich nach dem PM–Demodulator eine konstante Rauschleistungsdichte $\Phi_{v,\,\mathrm{PM}}(f) = \Phi_0$, die auch vom Modulationsindex abhängt:

$$\Phi_0 = \frac{N_0}{\eta^2}\,.$$

Für die Berechnung der Rauschleistung P_R ist lediglich der Frequenzbereich von $\pm f_N$ relevant (siehe Grafik).

Die Rauschleistungsdichte nach der FM–Demodulation lautet mit dem Frequenzhub Δf_A:

$$\Phi_{v,\,\mathrm{FM}}(f) = N_0 \cdot \left(\frac{f}{\Delta f_A}\right)^2\,.$$

Gegeben ist der Rauschabstand $10 \cdot \lg \rho_v = 50$ dB für Phasenmodulation und $f_N = 5$ kHz. Gesucht sind in dieser Aufgabe der Rauschabstand bei FM ($f_N = 5$ kHz) sowie die sich ergebenden Rauschabstände von PM und FM für die Nachrichtenfrequenz $f_N = f_{10} = 10$ kHz.

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf den Theorieteil von **Kapitel 3.3.**

Fragebogen zu "A3.9: Rauschen bei PM und FM"

a) Welcher Rauschabstand ergibt sich bei $f_{\rm N}$ = 10 kHz und PM? Interpretieren Sie das Ergebnis.

PM, $f_{\rm N}$ = 10 kHz: 10 · lg ρ_v = dB

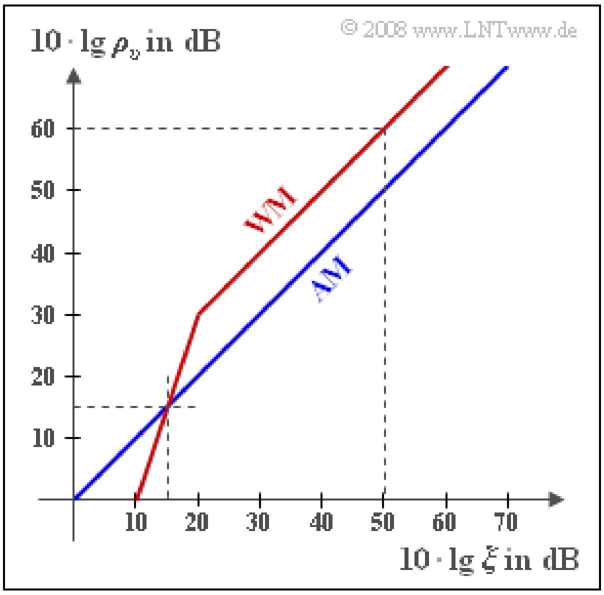
b) Berechnen Sie den Rauschabstand für $f_{\rm N}$ = 5 kHz und FM. Wie groß ist der Modulationsindex bei dieser Konstellation?

FM, $f_{\rm N}$ = 5 kHz: 10 · lg ρ_v = dB

c) Berechnen Sie den Rauschabstand für $f_{\rm N}$ = 10 kHz und FM. Interpretieren Sie das Ergebnis im Vergleich zu den Teilfragen a) und b).

FM, $f_{\rm N}$ = 10 kHz: 10 · lg ρ_v = kHz

Z3.9: Systemvergleich AM–PM–FM



Betrachtet wird die Übertragung eines Cosinussignals mit Amplitudenmodulation und Winkelmodulation. Es gelten folgende Randbedingungen:

- Nachrichtenfrequenz $f_{\rm N}$ = 10 kHz,
- Sendeleistung $P_{\rm S}$ = 100 kW,
- Kanaldämpfungsfaktor $20 \cdot \lg \alpha_{\rm K} = -120$ dB,
- Rauschleistungsdichte $N_0 = 10^{-16}$ W/Hz.

Diese Systemparameter werden zweckmäßigerweise zur gemeinsamen Leistungskenngröße

$$\xi = \frac{\alpha_{\rm K}^2 \cdot P_{\rm S}}{N_0 \cdot B_{\rm NF}}$$

zusammengefasst. Die Grafik zeigt den sich ergebenden Sinken–Störabstand $10 \cdot \lg \rho_v$ in Abhängigkeit der logarithmierten Leistungskenngröße ξ.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf die theoretischen Grundlagen von **Kapitel 2.2** , **Kapitel 3.2** und **Kapitel 3.3.** Es gelten folgende Beziehungen:

$$\rho_v = \left\{ \begin{array}{lll} \xi & \text{bei} & \text{ZSB/ESB – AM ohne Träger}\,, \\ \eta^2/2 \cdot \xi & \text{bei} & \text{PM mit Modulationsgrad } \eta\,, \\ 3\eta^2/2 \cdot \xi & \text{bei} & \text{FM mit Modulationsgrad } \eta\,. \end{array} \right.$$

Die Bandbreiten bei Winkelmodulation sind so zu wählen, dass ein Klirrfaktor K kleiner als 1% garantiert werden kann (**Carson–Regel**):

$$B_{\rm K} = 2 \cdot f_{\rm N} \cdot (\eta + 2)\,.$$

Fragebogen zu "Z3.9: Systemvergleich AM–PM–FM"

a) Berechnen Sie die logarithmierte Leistungskenngröße ξ.

$10 \cdot \lg \xi$ = dB

b) Welcher Sinkenstörabstand ergibt sich beim AM–System?

$10 \cdot \lg \rho_v$ = dB

c) Welche spezielle Form der AM könnte hier vorliegen?

- [ ] ZSB–AM.
- [ ] ESB–AM.
- [ ] AM ohne Träger.
- [ ] AM mit zugesetztem Träger.

d) Wie groß ist im Fall der ZSB–AM die erforderliche Kanalbandbreite?

B_K = kHz

e) Wie groß ist der Sinkenstörabstand beim WM–System?

$10 \cdot \lg \rho_v$ = dB

f) Welche Bandbreite ist beim vorgegebenen PM–System mindestens erforderlich, wenn $K < 1\%$ gelten soll?

B_K = kHz

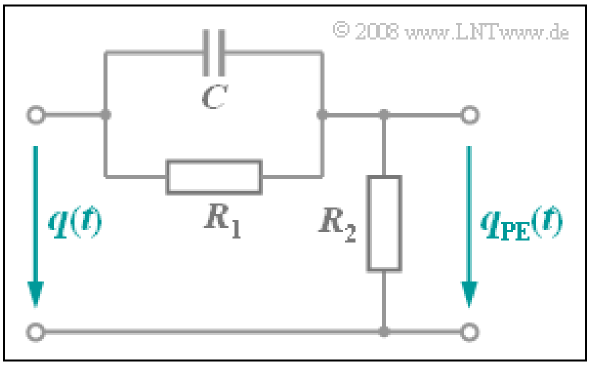
g) Wie groß ist für $K < 1\%$ die erforderliche Bandbreite, wenn das WM–System eine Frequenzmodulation realisiert?

B_K = kHz

h) Wie groß muss bei sonst gleichen Parametern die Sendeleistung mindestens sein, damit das WM–System nicht schlechter als das AM–System ist?

P_S = kW

A3.10: Preemphase–Deemphase



Bei der Sprach– und Tonsignalübertragung wird das Signalfrequenzband vor dem FM–Modulator über ein RC–Hochpassglied gemäß der Skizze vorverzerrt. Man bezeichnet diese Maßnahme als Preemphase.

Der Amplitudengang des Preemphase–Netzwerks lautet mit den beiden Grenzfrequenzen $f_{G1} = (2\pi \cdot R_1 \cdot C)^{-1}$ und $f_{G2} = f_{G1}/\alpha_0$ sowie dem Faktor $\alpha_0 = R_2/(R_1 + R_2)$:

$$|H_{\rm PE}(f)| = \alpha_0 \cdot \sqrt{\frac{1+(f/f_{\rm G1})^2}{1+(f/f_{\rm G2})^2}}\,.$$

Für den praktischen Betrieb kann man davon ausgehen, dass die maximale Nachrichtenfrequenz f_N sehr viel kleiner als f_{G2} ist. Berücksichtigt man weiter, dass der Gleichsignalübertragungsfaktor α_0 durch eine Verstärkung in α verändert werden kann, so ist im Weiteren von folgendem Preemphase–Frequenzgang auszugehen ($f_G = f_{G1} = 3$ kHz):

$$|H_{\rm PE}(f)| \approx \alpha \cdot \sqrt{1+(f/f_{\rm G})^2}\,.$$

Mit diesem Netzwerk lautet der Frequenzhub Δf_A in Abhängigkeit der Nachrichtenfrequenz f_N:

$$\Delta f_{\rm A}(f_{\rm N}) = \Delta f_{\rm A,\,min} \cdot \sqrt{1+(f_{\rm N}/f_{\rm G})^2}\,.$$

Hierbei ist $\Delta f_{A,\,min}$ der maximale Frequenzhub für sehr kleine Frequenzen ($f_N \to 0$). Dieser Parameter ist so zu wählen, dass der maximale Frequenzhub $\Delta f_{A,\,max}$ nicht größer wird als 45 kHz.

Gehen Sie in der gesamten Aufgabe von einem Nachrichtensignal aus, das Frequenzen bis einschließlich $B_{NF} = 9$ kHz beinhaltet.

Um das Nutzsignal nicht zu verfälschen, muss diese Vorverzerrung durch ein Deemphase–Netzwerk beim Empfänger wieder ausgeglichen werden. Ziel und Zweck von Preemphase/Deemphase ist es allein, die Abhängigkeit des Signal–zu–Rausch–Leistungsverhältnisses von der Signalfrequenz zu vermindern.

In dieser Aufgabe werden folgende Größen verwendet:

- Sinken–SNR bei ZSB–AM:

$$\rho_{\rm AM} = \frac{P_{\rm S}}{N_0 \cdot f_{\rm N}} = \xi \quad \Rightarrow \quad 10 \cdot {\rm lg}\ \rho_{\rm AM} = 10 \cdot {\rm lg}\ \xi\,,$$

- Sinken–SNR und Störabstandsgewinn bei FM ohne Preemphase/Deemphase:

$$\rho_{\rm FM} = \frac{3}{2} \cdot \eta^2 \cdot \rho_{\rm AM} \quad \Rightarrow \quad G_{\rm FM} = 10 \cdot {\rm lg}\ \rho_{\rm FM} - 10 \cdot {\rm lg}\ \rho_{\rm AM} = 10 \cdot {\rm lg}\ \frac{3}{2} \cdot \eta^2\,,$$

- Sinken–SNR und Störabstandsgewinn bei FM durch Preemphase/Deemphase:

$$\rho_{\rm DE} = \frac{(f_{\rm N}/f_{\rm G})^3}{3 \cdot (f_{\rm N}/f_{\rm G} - \arctan(f_{\rm N}/f_{\rm G})} \quad \Rightarrow \quad G_{\rm DE} = 10 \cdot {\rm lg}\ \rho_{\rm DE} - 10 \cdot {\rm lg}\ \rho_{\rm FM}\hspace{0.05cm}.$$

Die Herleitung dieses Ergebnisses findet man auf Seite 152 von **[Mäu88].**

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf den Theorieteil von **Kapitel 3.3.**

Fragebogen zu "A3.10: Preemphase–Deemphase"

a) Geben Sie eine mögliche Realisierung des Deemphase–Netzwerks $H_{\rm DE}(f)$ an. Welche der nachfolgenden Aussagen sind richtig?

- ☐ $H_{\rm DE}(f)$ ist ein Tiefpass erster Ordnung.
- ☐ $H_{\rm DE}(f)$ ist ein Hochpass erster Ordnung.
- ☐ $H_{\rm DE}(f)$ ist ein Bandpass.
- ☐ Zusätzlich muss der Faktor α korrigiert werden.

b) Wie groß ist der Störabstandsgewinn der herkömmlichen FM gegenüber AM, wenn die Nachrichtenfrequenz $f_{\rm N}$ = 9 kHz, 3 kHz bzw. 1 kHz beträgt?

$f_{\rm N}$ = 9 kHz: $G_{\rm FM}$ = dB

$f_{\rm N}$ = 3 kHz: $G_{\rm FM}$ = dB

$f_{\rm N}$ = 1 kHz: $G_{\rm FM}$ = dB

c) Wie groß ist $\Delta f_{\rm A,\ min}$ mit $\Delta f_{\rm A,\ max}$ = 45 kHz und $B_{\rm NF}$ = 9 kHz zu wählen?

$\Delta f_{\rm A,\ min}$ = kHz

d) Welcher zusätzliche Gewinn ist durch Preemphase/Deemphase zu erzielen?

$f_{\rm N}$ = 9 kHz: $G_{\rm DE}$ = dB

$f_{\rm N}$ = 3 kHz: $G_{\rm DE}$ = dB

$f_{\rm N}$ = 1 kHz: $G_{\rm DE}$ = dB