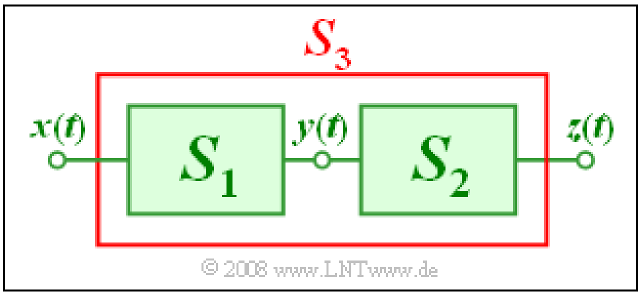
A2.1: Linear? - Nichtlinear?



Wir betrachten die skizzierte Anordnung:

- Das System S_1 ist durch folgende Gleichung beschreibbar:

  $$y(t) = x(t) + 1\,\text{V}^{-1} \cdot x^2(t).$$

- Über das System S_2 mit dem Eingangssignal $y(t)$ und dem Ausgangssignal $z(t)$ ist nichts weiter bekannt.
- Das System S_3 ist die Zusammenschaltung von S_1 und S_2.

An den Eingang wird folgendes Signal angelegt (f_0 = 5 kHz):

$$x(t) = 2\,\text{V} \cdot \cos(2\pi\, f_0 t).$$

Damit erhält man am Ausgang des Gesamtsystems S_3:

$$z(t) = 1\,\text{V} \cdot \sin(2\pi\, f_0 t).$$

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf die theoretischen Grundlagen von **Kapitel 2.1.** Gegeben ist die folgende trigonometrische Beziehung:

$$\cos^2(\alpha) = \frac{1}{2} \cdot [1 + \cos(2\alpha)]\,.$$

Fragebogen zu "A2.1: Linear? - Nichtlinear?"

a) Wie lautet das Signal $y(t)$? Welcher Signalwert ergibt sich zum Nullzeitpunkt?

$\boldsymbol{y(t = 0)}$ = V

b) Welche richtigen Schlüsse könnte ein Beobachter ziehen, der nur die Signale $x(t)$ und $z(t)$ kennt und keine Information über den Aufbau von S_3 besitzt?

- ☐ S_3 ist ein ideales System.
- ☐ S_3 ist ein verzerrungsfreies System.
- ☐ S_3 ist ein linear verzerrendes System.
- ☐ S_3 ist ein nichtlinear verzerrendes System.

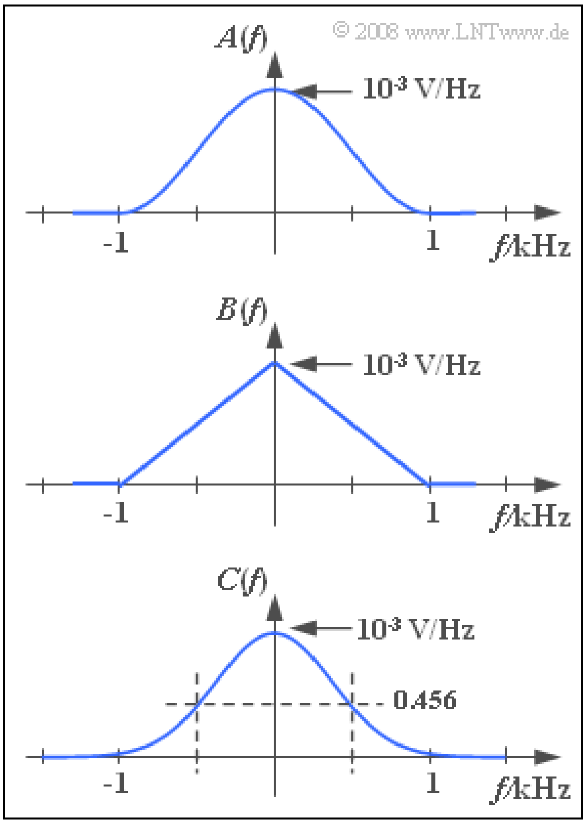
c) Welche Schlüsse müsste der Beobachter ziehen, wenn ihm alle Informationen von der Angabenseite bekannt sind?

- ☐ S_2 ist ein verzerrungsfreies System.
- ☐ S_2 ist ein linear verzerrendes System.
- ☐ S_2 ist ein nichtlinear verzerrendes System.

d) Welches Signal $z(t)$ könnte sich mit der Eingangsfrequenz f_0 = 10 kHz ergeben?

- ☐ Das Signal $z(t) = 0$.
- ☐ Ein Signal der Form $z(t) = A \cdot \cos(2\pi \cdot 10\ \text{kHz} \cdot t)$, $A \neq 0$.
- ☐ Ein Signal der Form $z(t) = A \cdot \cos(2\pi \cdot 20\ \text{kHz} \cdot t)$, $A \neq 0$.

Z2.1: Verzerrung und Entzerrung



Die Grafik zeigt drei kontinuierliche Spektralfunktionen:

- ein $\cos^2$–Spektrum, das nur Anteile im Bereich $|f| < 1$ kHz besitzt, wobei gilt:

$$A(f) = 10^{-3}\,\frac{\rm V}{\rm Hz} \cdot \cos^2\left(\frac{|f|}{1\,{\rm kHz}} \cdot \frac{\pi}{2}\right),$$

- ein Dreieckspektrum, ebenfalls begrenzt auf den Frequenzbereich $|f| < 1$ kHz:

$$B(f) = 10^{-3}\,\frac{\rm V}{\rm Hz} \cdot \left(1 - \frac{|f|}{1\,{\rm kHz}}\right),$$

- ein so genanntes Gaußspektrum:

$$C(f) = 10^{-3}\,\frac{\rm V}{\rm Hz} \cdot {\rm e}^{-\pi (f/1\,{\rm kHz})^2}.$$

Weiterhin betrachten wir ein linear verzerrendes System $S_{\rm V}$ mit $X(f)$ am Eingang und $Y(f)$ am Ausgang sowie das Entzerrungssystem $S_{\rm E}$ mit dem Eingangsspektrum $Y(f)$ und dem Ausgangsspektrum $Z(f)$. Eine vollständige Entzerrung bedeutet, dass $Z(f) = X(f)$ gilt.

Die Frequenzgänge der beiden Systeme $S_{\rm V}$ und $S_{\rm E}$ lauten:

$$H_{\rm V}(f) = \frac{Y(f)}{X(f)}, \quad H_{\rm E}(f) = \frac{Z(f)}{Y(f)}.$$

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf den Theorieteil von **Kapitel 2.1.**

Fragebogen zu "Z2.1: Verzerrung und Entzerrung"

a) Ist mit einem linearen System die Konstellation $X(f) = A(f)$ und $Y(f) = B(f)$ möglich? Begründen Sie Ihre Antwort.

- ○ Ja.
- ○ Nein.

b) Es gelte weiterhin $X(f) = A(f)$ und $Y(f) = B(f)$. Ist mit einem linearen Filter $H_E(f)$ eine vollständige Entzerrung möglich? Wenn ja, so geben Sie $H_E(f)$ an.

- ○ Ja.
- ○ Nein.

c) Ist mit einem linearen System die Konstellation $X(f) = C(f)$ und $Y(f) = B(f)$ möglich? Begründen Sie Ihre Antwort.

- ○ Ja.
- ○ Nein.

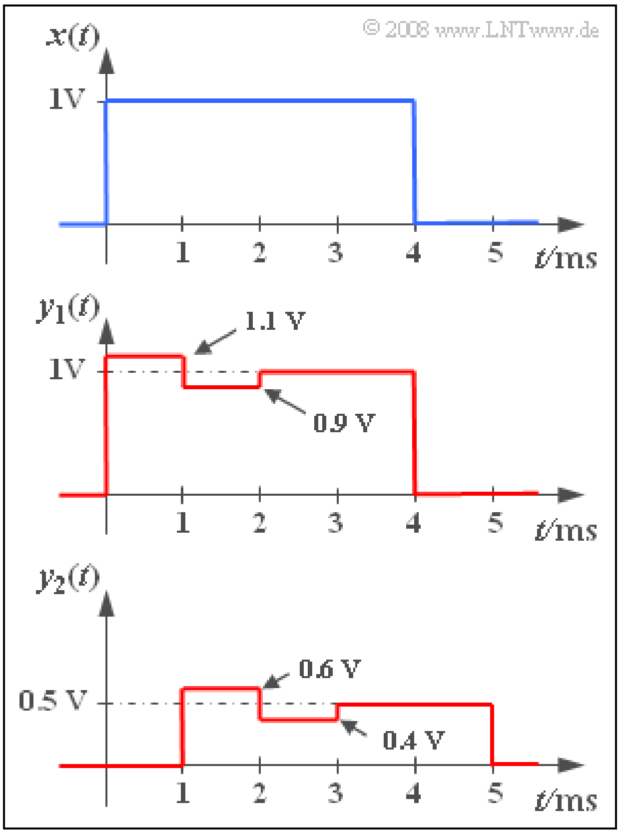
d) Es gelte weiterhin $X(f) = C(f)$ und $Y(f) = B(f)$. Ist mit einem linearen Filter $H_E(f)$ eine vollständige Entzerrung möglich? Wenn ja, so geben Sie $H_E(f)$ an.

- ○ Ja.
- ○ Nein.

e) Ist mit einem linearen System die Konstellation $X(f) = A(f)$ und $Y(f) = C(f)$ möglich? Begründen Sie Ihre Antwort.

- ○ Ja.
- ○ Nein.

A2.2.: Verzerrungsleistung



Am Eingang eines Nachrichtensystems S_1 wird ein Rechteckimpuls $x(t)$ mit der Amplitude 1 V und der Dauer 4 ms angelegt. Am Systemausgang wird dann der Impuls $y_1(t)$ gemessen, dessen Signalparameter der mittleren Skizze entnommen werden können.

Am Ausgang eines anderen Systems S_2 stellt sich bei gleichem Eingangssignal $x(t)$ das im unteren Bild dargestellte Signal $y_2(t)$ ein.

Für das in dieser Aufgabe verwendete Fehlersignal gelte folgende Definition:

$$\varepsilon(t) = y(t) - \alpha \cdot x(t - \tau).$$

Die Parameter α und τ sind so zu bestimmen, dass die so genannte Verzerrungsleistung (berechenbar als mittlerer quadratischer Fehler)

$$P_\mathrm{V} = \overline{\varepsilon^2(t)} = \frac{1}{T_\mathrm{M}} \cdot \int_{(T_\mathrm{M})} \varepsilon^2(t)\,\mathrm{d}t$$

minimal ist. Bei dieser Definition ist bereits berücksichtigt, dass eine frequenzunabhängige Dämpfung ebenso wie eine für alle Frequenzen konstante Laufzeit nicht zur Verzerrung beiträgt.

Das Integrationsintervall ist jeweils geeignet zu wählen. Benutzen Sie für $y_1(t)$ den Bereich von 0 ... 4 ms und für $y_2(t)$ das Intervall 1 ms ... 5 ms. T_M ist in beiden Fällen gleich 4 ms. Es ist offensichtlich, dass bezüglich $y_1(t)$ die Parameter $\alpha = 1$ und $\tau = 0$ jeweils zur minimalen Verzerrungsleistung führen.

Das so genannte Signal–zu–Verzerrungs–Leistungsverhältnis berechnet sich im allgemeinen Fall zu

$$\rho_\mathrm{V} = \frac{\alpha^2 \cdot P_x}{P_\mathrm{V}}\,.$$

Hierbei gibt P_x die Leistung von $x(t)$ an und $\alpha^2 \cdot P_x$ die Leistung von $y(t) = \alpha \cdot x(t - \tau)$, die sich bei Abwesenheit von Verzerrungen ergeben würde. Meist – so auch in dieser Aufgabe – wird dieses S/N-Verhältnis ρ_V logarithmisch in dB angegeben.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf die Seiten **Quantitatives Maß für die Signalverzerrungen** und **Berücksichtigung von Dämpfung und Laufzeit** in Kapitel 2.1.

Fragebogen zu "A2.2.: Verzerrungsleistung"

a) Ermitteln Sie die Verzerrungsleistung des Systems S_1.

P_{V1} = V^2

b) Berechnen Sie das Signal–zu–Verzerrungs–Leistungsverhältnis für System S_1.

$10 \cdot \lg \rho_{V1}$ = dB

c) Welche Parameter α und τ sollten zur Berechnung der Verzerrungsleistung des Systems S_2 herangezogen werden? Begründen Sie Ihr Ergebnis.

α =

τ = ms

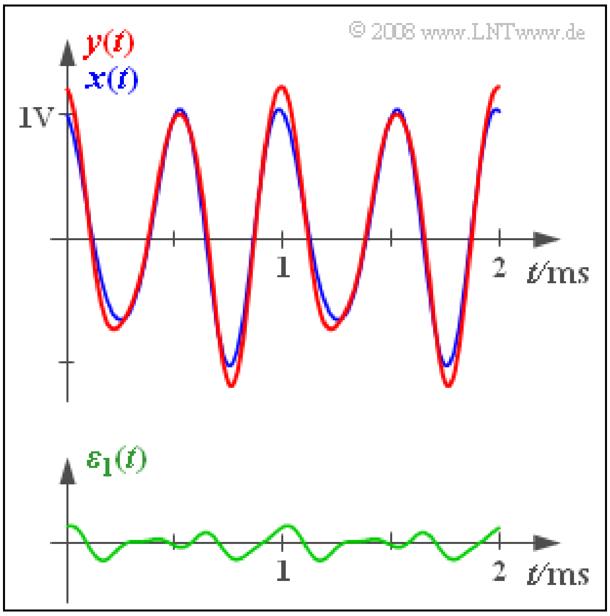
d) Ermitteln Sie die Verzerrungsleistung des Systems S_2.

P_{V2} = V^2

e) Berechnen Sie das Signal–zu–Verzerrungs–Leistungsverhältnis für das System S_2. Interpretieren Sie die unterschiedlichen Ergebnisse.

$10 \cdot \lg \rho_{V2}$ = dB

Z2.2: Wieder Verzerrungsleistung



Am Eingang der betrachteten Funktionseinheit, die nicht näher spezifiziert wird, liegt das in der Grafik blau dargestellte periodische Signal $x(t)$ an. Dieses ist durch das Spektrum des dazugehörigen analytischen Signals gegeben:

$$\begin{aligned} X_+(f) &= 1\,\text{V} \cdot \delta(f - 2\,\text{kHz}) \\ &+ 0.2\,\text{V} \cdot \text{e}^{\text{j}\cdot 90^\circ} \cdot \delta(f - 3\,\text{kHz}). \end{aligned}$$

Diese Spektralfunktion ergibt sich aus dem üblichen Spektrum $X(f)$, in dem alle Anteile bei negativen Frequenzen abgeschnitten und die bei den positiven Frequenzen verdoppelt werden. Weitere Angaben zum analytischen Signal und dessen Spektrum finden Sie im **Kapitel 4.2** des Buches „Signaldarstellung”.

Das Spektrum des analytischen Signals am Ausgang der Funktionseinheit lautet:

$$\begin{aligned} Y_+(f) &= 1.1\,\text{V} \cdot \delta(f - 2\,\text{kHz}) \\ &+ 0.25\,\text{V} \cdot \text{e}^{\text{j}\cdot 60^\circ} \cdot \delta(f - 3\,\text{kHz}) + 0.05\,\text{V} \cdot \text{e}^{-\text{j}\cdot 90^\circ} \cdot \delta(f - 5\,\text{kHz}). \end{aligned}$$

Die untere Skizze zeigt das Differenzsignal $\varepsilon(t) = y(t) - x(t)$. Ein Maß für die im System entstandenen Verzerrungen ist die auf den Widerstand $R = 1\ \Omega$ bezogene „Verzerrungsleistung”.

$$P_\text{V} = \overline{\varepsilon^2(t)} = \frac{1}{T_0} \cdot \int_0^{T_0} \varepsilon^2(t)\,\text{d}t.$$

Anzumerken ist, dass diese auch im Spektralbereich – und zudem einfacher – berechnet werden kann.

In analoger Weise ist die Leistung P_x des Eingangssignals $x(t)$ definiert. Als quantitatives Maß für die Stärke der Verzerrungen wird das Signal–zu–Verzerrungs–Leistungsverhältnis angegeben, das meistens logarithmisch in dB dargestellt wird:

$$10 \cdot \lg \rho_\text{V} = 10 \cdot \lg \frac{P_x}{P_\text{V}}.$$

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf den Theorieteil von **Kapitel 2.1.**

Die Leistung eines Signals $x(t)$ kann auch aus der Spektralfunktion $X(f)$ berechnet werden:

$$P_x = \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t)\,\text{d}t = \int_{-\infty}^{\infty} |X(f)|^2\,\text{d}f.$$

Fragebogen zu "Z2.2: Wieder Verzerrungsleistung"

a) Welche Aussagen sind bezüglich des Signals $x(t)$ zutreffend?

- [ ] Es ist $x(t) = 1\text{V} \cdot \cos(2\pi \cdot 2\text{kHz} \cdot t) + 0.2\text{V} \cdot \cos(2\pi \cdot 3\text{kHz} \cdot t)$.
- [ ] Die Periodendauer ist $T_0 = 1$ ms.
- [ ] Die Periodendauer ist $T_0 = 2$ ms.

b) Berechnen Sie die Leistung P_x des Eingangssignals.

$\boldsymbol{P_x}$ = V^2

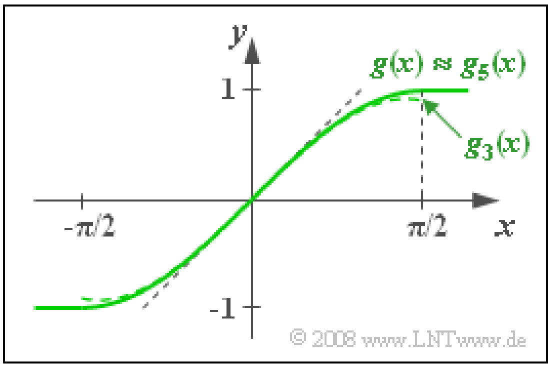
c) Berechnen Sie die Verzerrungsleistung P_V.

$\boldsymbol{P_\text{V}}$ = V^2

d) Berechnen Sie das Signal–zu–Verzerrungs–Leistungsverhältnis ρ_V und geben Sie dieses als dB–Wert ein.

$\boldsymbol{10 \cdot \lg \rho_\text{V}}$ = dB

A2.3: Sinusförmige Kennlinie



Wie betrachten ein System mit Eingang $x(t)$ und Ausgang $y(t)$. Zur einfacheren Darstellung werden die Signale als dimensionslos betrachtet.

Der Zusammenhang zwischen dem Eingangssignal $x(t)$ und dem Ausgangssignal $y(t)$ ist im Bereich zwischen $-\pi/2$ und $+\pi/2$ durch die Kennlinie

$$g(x) = \sin(x) = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \ldots$$

gegeben. Der zweite Teil dieser Gleichung beschreibt dabei die Reihenentwicklung der Sinusfunktion. Als Näherungen für die nichtlineare Kennlinie werden in dieser Aufgabe verwendet:

$$\begin{aligned} g_1(x) &= x, \\ g_3(x) &= x - \frac{x^3}{6}, \\ g_5(x) &= x - \frac{x^3}{6} + \frac{x^5}{120}. \end{aligned}$$

Es wird stets das Eingangssignal $x(t) = A \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$ vorausgesetzt, wobei für die (dimensionslose) Signalamplitude die Werte $A = 0.5$, $A = 1.0$ und $A = 1.5$ zu betrachten sind.

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf den Theorieteil von **Kapitel 2.2.** Als bekannt vorausgesetzt werden die folgenden trigonometrischen Beziehungen:

$$\begin{aligned} \cos^3(\alpha) &= \frac{3}{4} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{4} \cdot \cos(3\alpha), \\ \cos^5(\alpha) &= \frac{10}{16} \cdot \cos(\alpha) + \frac{5}{16} \cdot \cos(3\alpha) + \frac{1}{16} \cdot \cos(5\alpha). \end{aligned}$$

Die sich ergebenden Signalverläufe $x(t)$ und $y(t)$ sind für die Parametersätze dieses Beispiels auf der Seite **Beschreibung nichtlinearer Systeme (2)** grafisch dargestellt.

Fragebogen zu "A2.3: Sinusförmige Kennlinie"

a) Welchen Klirrfaktor erhält man mit der Kennliniennäherung $g_1(x)$ unabhängig von der Amplitude A des Eingangssignals?

$\boldsymbol{g_1(x)}$**:** $\boldsymbol{K}$ =

b) Berechnen Sie den Klirrfaktor für das Eingangssignal $x(t) = A \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$ und die Näherung $g_3(x)$. Welche Werte ergeben sich für $A = 0.5$ und $A = 1.0$?

$\boldsymbol{g_3(x), A = 0.5}$**:** $\boldsymbol{K}$ = %

$\boldsymbol{g_3(x), A = 1.0}$**:** $\boldsymbol{K}$ = %

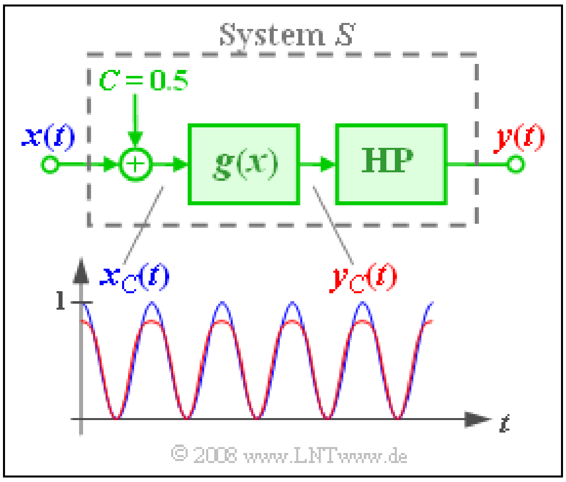
c) Wie lautet der Klirrfaktor für $A = 1$ unter Berücksichtigung der Näherung $g_5(x)$.

$\boldsymbol{g_5(x), A = 1.0}$**:** $\boldsymbol{K}$ = %

d) Welche der folgenden Aussagen treffen zu? K bezeichnet den Klirrfaktor der Sinusfunktion $g(x)$; K_{g3} und K_{g5} basieren auf den Näherungen $g_3(x)$ und $g_5(x)$.

- [ ] K_{g5} stellt im Allgemeinen eine bessere Näherung für K dar als K_{g3}.
- [ ] Für $A = 1$ ist K_{g3} kleiner als K_{g5}.
- [ ] Für $A = 0.5$ wird $K_{g3} \approx K_{g5}$ gelten.

Z2.3: Kennlinienbetrieb asymmetrisch



Am Eingang eines Systems S liegt das Cosinussignal

$$x(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t)$$

an, wobei für die Amplitude stets A = 0.5 gelten soll. Das System S besteht aus der Addition eines Gleichanteils C, einer Nichtlinearität mit der Kennlinie

$$g(x) = \sin(x) \approx x - \frac{x^3}{6} = g_3(x)$$

sowie einem idealen Hochpass, der alle Frequenzen bis auf ein Gleichsignal (f = 0) unverfälscht passieren lässt.

Das Ausgangssignal des Gesamtsystems kann allgemein in folgender Form dargestellt werden:

$$y(t) = A_0 + A_1 \cdot \cos(\omega_0 t) + A_2 \cdot \cos(2\omega_0 t) + A_3 \cdot \cos(3\omega_0 t) + \ldots$$

Die sinusförmige Kennlinie $g(x)$ soll in der gesamten Aufgabe entsprechend der obigen Gleichung durch die kubische Näherung $g_3(x)$ approximiert werden. Für C = 0 ergäbe sich somit die exakt gleiche Konstellation wie in Aufgabe A2.3, in deren Unterpunkt b) der Klirrfaktor mit K = 1.08 % (für A = 0.5) bzw. K = 4.76 % (für A = 1) berechnet wurde.

Unter Berücksichtigung der Konstanten C = 0.5 gilt für das Eingangssignal der nichtlinearen Kennlinie:

$$x_C(t) = C + A \cdot \cos(\omega_0 t) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \cos(\omega_0 t).$$

Diese wird also unsymmetrisch betrieben mit Werten zwischen 0 und 1. In obiger Grafik sind zusätzlich die Signale $x_C(t)$ und $y_C(t)$ direkt vor und nach der Kennlinie $g(x)$ eingezeichnet.

Hinweis: Die Aufgabe bezieht sich auf den Theorieteil von **Kapitel 2.2.** Berücksichtigen Sie bei der Lösung die folgenden trigonometrischen Beziehungen:

$$\cos^2(\alpha) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \cos(2\alpha), \quad \cos^3(\alpha) = \frac{3}{4} \cdot \cos(\alpha) + \frac{1}{4} \cdot \cos(3\alpha).$$

Fragebogen zu "Z2.3: Kennlinienbetrieb asymmetrisch"

a) Berechnen Sie das Ausgangssignal $y(t)$ unter Berücksichtigung des Hochpasses. Wie lautet der Gleichsignalanteil A_0?

A_0 =

b) Geben Sie die weiteren Fourierkoeffizienten des Signals $y(t)$ an.

A_1 =

A_2 =

A_3 =

A_4 =

c) Berechnen Sie den Klirrfaktor des Gesamtsystems.

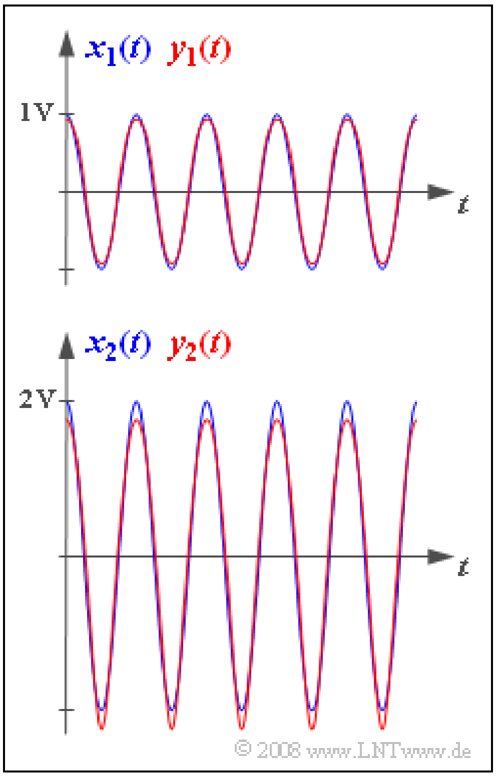
K = %

d) Berechnen Sie den Maximal– und den Minimalwert des Signals $y(t)$.

y_{max} =

y_{min} =

A2.4: Klirrfaktor und Verzerrungsleistung



Zum Test eines Nachrichtenübertragungssystems wird an seinen Eingang ein Cosinussignal

$$x_1(t) = A_x \cdot \cos(\omega_0 t)$$

mit der Amplitude A_x = 1 V angelegt. Am Systemausgang tritt dann das folgende Signal auf:

$$\begin{aligned} y_1(t) &= 0.992\,\mathrm{V} \cdot \cos(\omega_0 t) \\ &- 0.062\,\mathrm{V} \cdot \cos(2\omega_0 t) + \dots \end{aligned}$$

In der oberen Grafik sind die Signale $x_1(t)$ und $y_1(t)$ dargestellt. Oberwellen mit Amplituden kleiner als 10 mV sind hierbei nicht berücksichtigt.

Das untere Bild zeigt das Eingangssignal $x_2(t)$ mit der Ampiltude A_x = 2 V und das zugehörige Ausgangssignal (wiederum ohne Oberwellen < 10 mV):

$$\begin{aligned} y_2(t) &= 1.938\,\mathrm{V} \cdot \cos(\omega_0 t) - 0.234\,\mathrm{V} \cdot \cos(2\omega_0 t) \\ &+ 0.058\,\mathrm{V} \cdot \cos(3\omega_0 t) - 0.018\,\mathrm{V} \cdot \cos(4\omega_0 t) + \dots \end{aligned}$$

Es ist offensichtlich, dass der Index „1” bzw. „2” jeweils die normierte Amplitude des Eingangssignals kennzeichnet.

Dieses System soll anhand des in Kapitel 2.1 definierten Signal–zu–Verzerrungs–Leistungsverhältnisses

$$\rho_V = \frac{P_x}{P_V} \quad \Rightarrow \quad 10 \cdot \lg\, \rho_V = 10 \cdot \lg\, \frac{P_x}{P_V} \quad (\text{in dB})$$

sowie des Klirrfaktors K analysiert werden. Hierbei bezeichnet P_x die Leistung des Eingangssignals, während die so genannte Verzerrungsleistung P_V jeweils die Leistung (den quadratischen Mittelwert) des Differenzsignals $\varepsilon(t) = y(t) - x(t)$ angibt. Zur Bestimmung dieser Leistungen muss über die jeweils quadrierten Signale gemittelt werden. Einfacher ist in dieser Aufgabe jedoch die Leistungsberechnung im Frequenzbereich.

Hinweis: Die Aufgaben bezieht sich auf die theoretischen Grundlagen von **Kapitel 2.1** und **Kapitel 2.2.**

Fragebogen zu "A2.4: Klirrfaktor und Verzerrungsleistung"

a) Berechnen Sie den Klirrfaktor K für die Eingangsamplitude A_x = 1 V.

$\boldsymbol{A_x = 1\ \text{V} : K}$ = %

b) WelcherKlirrfaktor ergibt sich mit der Eingangsamplitude A_x = 2 V?

$\boldsymbol{A_x = 2\ \text{V} : K}$ = %

c) Welche Aussagen sind für die Signale $x_2(t)$ und $y_2(t)$ zutreffend?

- [ ] Die untere Halbwelle verläuft spitzförmiger als die obere.
- [ ] Der Maximal– und Minimalwert von $y_2(t)$ sind unsymmetrisch zu 0.
- [ ] Bei anderer Frequenz würde sich ein anderer Klirrfaktor ergeben.

d) Wie groß ist die Leistung P_x des Eingangssignals $x_2(t)$ in V^2, also umgerechnet auf den Bezugswiderstand R = 1 Ω?

$\boldsymbol{P_x}$ = V^2

e) Wie groß ist die „Leistung” $P_{\rm V}$ des Differenzsignals $ε_2(t)$? *Hinweis:* $P_{\rm V}$ wird in diesem Tutorial auch als Verzerrungsleistung bezeichnet.

$\boldsymbol{P_{\rm V}}$ = V^2

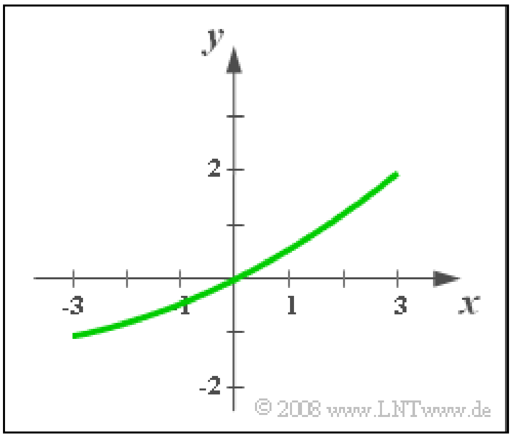
f) Wie groß ist das Signal–zu–Verzerrungs–Leistungsverhältnis in dB?

$\boldsymbol{10 \cdot \lg \rho_{\rm V}}$ = dB

g) Welche der folgenden Aussagen treffen bei cosinusförmigem Eingangssignal zu?

- [ ] Der Klirrfaktor kann allein aus den Koeffizienten A_1, A_2, A_3, usw. der Ausgangsgröße berechnet werden.
- [ ] Das Signal–zu–Verzerrungs–Leistungsverhältnis $ρ_{\rm V}$ ist allein aus diesen Fourierkoeffizienten der Ausgangsgröße berechenbar.
- [ ] Für den Sonderfall $A_1 = A_x$ (keine Veränderung der Grundwelle) können $ρ_{\rm V}$ und K direkt ineinander umgerechnet werden.

Z2.4: Kennlinienvermessung



Von einem nichtlinearen System ist bekannt, dass die Kennlinie durch folgende Gleichung dargestellt werden kann:

$$y(t) = c_1 \cdot x(t) + c_2 \cdot x^2(t).$$

Da die Verzerrungen nichtlinear sind, ist kein Frequenzgang *H*(*f*) angebbar.

Zur Bestimmung des dimensionslosen Koeffizienten c_1 sowie des quadratischen Koeffizienten c_2 werden nun verschiedene Rechteckimpulse $x(t)$ – gekennzeichnet durch ihre Amplituden A_x und Breiten T_x – an den Eingang gelegt und jeweils die Impulsamplitude A_y am Ausgang gemessen. Nach drei Versuchen ergeben sich folgende Werte:

- A_x = 1 V, T_x = 8 ms: A_y = 0.55 V,
- A_x = 2 V, T_x = 4 ms: A_y = 1.20 V,
- A_x = 3 V, T_x = 2 ms: A_y = 1.95 V.

Bei den Teilaufgaben c) und d) sei das Eingangssignal $x(t)$ eine harmonische Schwingung, da nur für eine solche ein Klirrfaktor angebbar ist. Dagegen wird für die Teilaufgabe e) ein Dreieckimpuls

$$x(t) = A_x \cdot \left[1 - \frac{|t|}{T_x}\right]$$

mit der Amplitude A_x = 3 V und der einseitigen Impulsdauer T_x = 2 ms betrachtet. Im Fragenkatalog werden folgende Abkürzungen benutzt:

$$y_1(t) = c_1 \cdot x(t), \quad y_2(t) = c_2 \cdot x^2(t).$$

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf den Theorieteil von **Kapitel 2.2.**

Fragebogen zu "Z2.4: Kennlinienvermessung"

a) Welche Aussagen treffen für den Ausgangsimpuls $y(t)$ zu, wenn am Eingang ein Rechteckimpuls $x(t)$ mit Amplitude A_x und Dauer T_x anliegt?

- ☐ Der Ausgangsimpuls $y(t)$ ist dreieckförmig.
- ☐ Die Amplituden am Eingang und Ausgang sind gleich ($A_y = A_x$).
- ☐ Die Impulsdauer wird durch das System nicht verändert ($T_y = T_x$).

b) Berechnen Sie die beiden Koeffizienten der Taylorreihe.

c_1 =

c_2 = 1/V

c) Welcher Klirrfaktor wird mit dem Testsignal $x(t) = 1\text{ V} \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$ gemessen?

$A_x = 1\text{ V}: K$ = %

d) Welcher Klirrfaktor wird mit $x(t) = 3\text{ V} \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$ gemessen?

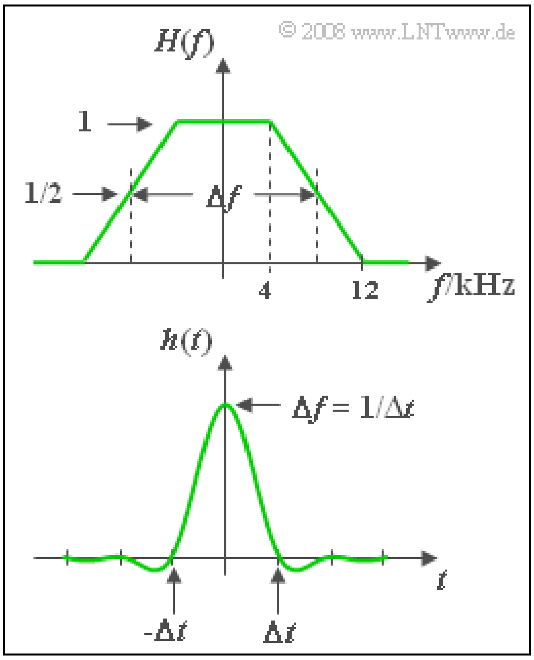
$A_x = 3\text{ V}: K$ = %

e) Welcher Ausgangsimpuls $y(t)$ ergibt sich bei dreieckförmigem Eingangsimpuls? Wie lauten die Signalwerte bei $t = 0$ und $t = T_x/2$?

$y(t = 0)$ = V

$y(t = T_x/2)$ = V

A2.5: Verzerrung und Entzerrung



Betrachtet wird ein Nachrichtensystem mit Eingang $x(t)$ und Ausgang $y(t)$, das durch den trapezförmigen Frequenzgang $H(f)$ gemäß der oberen Grafik vollständig beschrieben wird. Mit dem Rolloff–Faktor r = 0.5 sowie der äquivalenten Bandbreite Δf = 16 kHz lautet die dazugehörige, über die Fourierrücktransformation berechenbare Impulsantwort:

$$h(t) = \Delta f \cdot \mathrm{si}(\pi \cdot \Delta f \cdot t) \cdot \mathrm{si}(\pi \cdot r \cdot \Delta f \cdot t).$$

Als Eingangssignale stehen zur Verfügung:

- Die Summe zweier harmonischer Schwingungen:

  $$x_1(t) = 1\,\mathrm{V} \cdot \cos(\omega_1 \cdot t) + 1\,\mathrm{V} \cdot \sin(\omega_2 \cdot t).$$

  Hierbei gelte für $\omega_1 = 2\pi \cdot 2000$ 1/s und $\omega_2 > \omega_1$.

- Ein periodisches Dreiecksignal:

  $$x_2(t) = \frac{8\,\mathrm{V}}{\pi^2} \cdot \left[\cos(\omega_0 t) + \frac{1}{9} \cdot \cos(3\omega_0 t) + \frac{1}{25} \cdot \cos(5\omega_0 t) + \ldots\right].$$

  Es ist anzumerken, dass die Grundfrequenz f_0 = 3 kHz bzw. 2 kHz beträgt. Zum Zeitpunkt t = 0 ist der Signalwert in beiden Fällen 1 V.

- Ein Rechteckimpuls $x_3(t)$ mit der Amplitude A = 1 V und der Dauer T = 1 ms. Da dessen Spektrum $X_3(f)$ bis ins Unendliche reicht, führt $H(f)$ hier immer zu linearen Verzerrungen.

Ab Teilaufgabe f) soll versucht werden, durch einen nachgeschalteten Entzerrer mit Frequenzgang $H_E(f)$, Eingangssignal $y(t)$ und Ausgangssignal $z(t)$ die eventuell von $H(f)$ erzeugten Verzerrungen zu eliminieren. Der im Fragenkatalog verwendete Begriff „Gesamtverzerrung" bezieht sich auf das Eingangssignal $x(t)$ und das Ausgangssignal $z(t)$.

Hinweis: Diese Aufgabe gehört zum Themengebiet von **Kapitel 2.3.**

Fragebogen zu "A2.5: Verzerrung und Entzerrung"

a) Welche Verzerrungsarten können bei diesem System ausgeschlossen werden?

- ☐ Nichtlineare Verzerrungen.
- ☐ Dämpfungsverzerrungen.
- ☐ Phasenverzerrungen.

b) Welche Eigenschaften zeigt das System beim Testsignal $x_1(t)$ mit f_2 = 4 kHz?

- ☐ Es wirkt wie ein ideales System.
- ☐ Es wirkt wie ein verzerrungsfreies System.
- ☐ Man erkennt, dass ein verzerrendes System vorliegt.

c) Welche Eigenschaften zeigt das System beim Testsignal $x_1(t)$ mit f_2 = 10 kHz?

- ☐ Es wirkt wie ein ideales System.
- ☐ Es wirkt wie ein verzerrungsfreies System.
- ☐ Man erkennt, dass ein verzerrendes System vorliegt.

d) Wie groß ist die die Maximalabweichung $\varepsilon_{\max} = |y_2(t) - x_2(t)|$ beim Signal $x_2(t)$ mit f_0 = 3 kHz? An welcher Stelle t_0 tritt diese Abweichung auf?

$\boldsymbol{f_0}$ **= 3 kHz:** $\boldsymbol{\varepsilon_{\max}}$ = V

$\boldsymbol{t_0}$ = ms

e) Wie groß ist die maximale Abweichung mit f_0 = 2 kHz?

$\boldsymbol{f_0}$ **= 2 kHz:** $\boldsymbol{\varepsilon_{\max}}$ = V

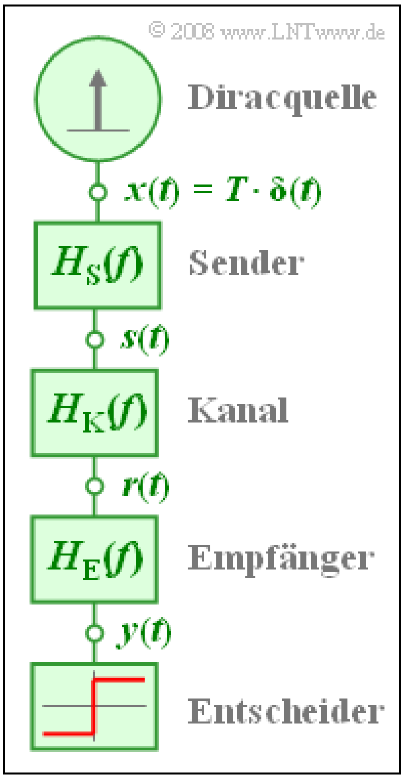
f) Welchen Verlauf sollte der Entzerrer $H_E(f)$ besitzen, um alle Verzerrungen von $H(f)$ bestmöglich zu kompensieren. Welcher Wert ergibt sich bei f = 10 kHz?

$|H_E(f = 10\text{ kHz})|$ =

g) Bei welchen der nachfolgenden Signale ist eine vollständige Entzerrung möglich? Unter vollständiger Entzerrung soll dabei $z(t) = x(t)$ verstanden werden.

- ☐ Beim Signal $x_1(t)$ mit f_2 = 10 kHz.
- ☐ Beim Signal $x_2(t)$.
- ☐ Beim Signal $x_3(t)$.

Z2.5: Nyquistentzerrung



Ein digitales Basisbandübertragungssystem kann durch das dargestellte Blockschaltbild modelliert werden. Die drei Frequenzgänge $H_S(f)$, $H_K(f)$ und $H_E(f)$ beschreiben die Komponenten „Sender", „Kanal" und „Empfänger" im Frequenzbereich. Fordert man zum Beispiel, dass der Gesamtfrequenzgang $H(f) = H_S(f) \cdot H_K(f) \cdot H_E(f)$ den $\cos^2$–förmigen Verlauf

$$H(f) = \begin{cases} \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \cdot f \cdot T\right) & \text{für} \quad |f| < 1/T, \\ 0 & \text{für} \quad |f| \ge 1/T. \end{cases}$$

besitzt, so weist das Signal $y(t)$ vor dem (Schwellenwert–)Entscheider äquidistante Nulldurchgänge im Abstand T auf. Vorausgesetzt wird dabei, dass das Ausgangssignal $x(t)$ der Diracquelle ein Diracimpuls mit dem jeweiligen Gewicht T ist (siehe Grafik).

Es wird darauf hingewiesen, dass es sich hierbei um ein so genanntes *Nyquistsystem* handelt. Wie im Buch „Digitalsignalübertragung" noch ausführlich diskutiert werden wird, stellen diese Nyquistsysteme eine wichtige Klasse digitaler Übertragungssysteme dar, da sich bei diesen die sequenziell übertragenen Symbole nicht gegenseitig beeinflussen.

Für die Lösung dieser Aufgabe werden diese weiterreichenden Aspekte jedoch nicht benötigt. Es wird hier lediglich vorausgesetzt, dass

- der Sendeimpuls $s(t)$ rechteckförmig sei mit Impulsdauer T:

  $$H_S(f) = \text{si}(\pi f T),$$

- der Kanal bis einschließlich Teilaufgabe b) als ideal vorausgesetzt wird, während für die letzte Teilaufgabe gelte:

  $$H_K(f) = \text{e}^{-\pi (f \cdot T)^2}.$$

Gesucht ist für beide Kanäle der Empfänger- und gleichzeitig Entzerrerfrequenzgang $H_E(f)$, damit der Gesamtfrequenzgang die gewünschte Nyquistform aufweist.

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf die theoretischen Grundlagen von **Kapitel 2.3.** Als bekannt vorausgesetzt wird die folgende trigonometrische Beziehung:

$$\frac{\cos^2(\alpha/2)}{\sin(\alpha)} = \frac{1}{2} \cdot \cot(\alpha/2).$$

Fragebogen zu "Z2.5: Nyquistentzerrung"

a) Berechnen Sie den Ausgangssignalwert zum Zeitpunkt t = 0.

$y(t = 0)$ =

b) Zunächst sei $H_K(f)$ = 1. Berechnen Sie für diesen Fall den Frequenzgang $H_E(f)$. Welche Werte ergeben sich bei den nachfolgend genannten Frequenzen?

idealer Kanal: $|H_E(f \cdot T = 0)|$ =

$|H_E(f \cdot T = 0.25)|$ =

$|H_E(f \cdot T = 0.5)|$ =

$|H_E(f \cdot T = 0.75)|$ =

$|H_E(f \cdot T = 1)|$ =

c) Berechnen Sie $H_E(f)$ für den gaußförmigen Kanal entsprechend der Angabe.

Gaußkanal: $|H_E(f \cdot T = 0)|$ =

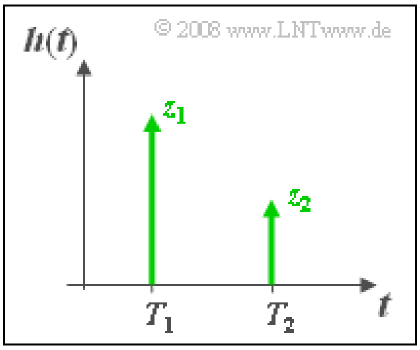
$|H_E(f \cdot T = 0.25)|$ =

$|H_E(f \cdot T = 0.5)|$ =

$|H_E(f \cdot T = 0.75)|$ =

$|H_E(f \cdot T = 1)|$ =

A2.6: Zweiwegekanal



Der so genannte Zweiwegekanal wird durch folgende Impulsantwort charakterisiert (mit $T_1 < T_2$):

$$h(t) = z_1 \cdot \delta(t - T_1) + z_2 \cdot \delta(t - T_2).$$

Bis auf wenige Kombinationen der Systemparameter z_1, T_1, z_2 und T_2 wird dieser Kanal zu linearen Verzerrungen führen. Man spricht nur dann von einem verzerrungsfreien Kanal, wenn durch ihn kein einziges Eingangssignal verzerrt wird. Das bedeutet: Auch bei einem verzerrenden Kanal kann es Sonderfälle geben, bei denen tatsächlich $y(t) = \alpha \cdot x(t - \tau)$ gilt.

Als Testsignale werden an den Systemeingang angelegt:

- ein Diracpuls $x_1(t)$ im Zeitabstand T_0 = 1 ms gemäß

  $$x_1(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \delta(t - n \cdot T_0),$$

  dessen Spektralfunktion ebenfalls ein Diracpuls ist, und zwar mit Abstand $f_0 = 1/T_0$ = 1 kHz:

  $$X_1(f) = T_0 \cdot \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(f - k \cdot f_0),$$

- ein Cosinussignal mit der Frequenz f_2 = 250 Hz:

  $$x_2(t) = \cos(2\pi \cdot f_2 \cdot t),$$

- die Summe zweier Cosinussignale mit den Frequenzen f_2 = 250 Hz und f_3 = 1250 Hz:

  $$x_3(t) = x_2(t) + \cos(2\pi \cdot f_3 \cdot t).$$

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf den Theorieteil von **Kapitel 2.3.** Um Ihnen einige Rechnungen zu ersparen, wird folgendes Ergebnis für den Parametersatz z_1 = 1, T_1 = 0, z_2 = 0.5 und T_2 = 1 ms vorweggenommen:

$$\begin{aligned} |H(f = f_2)| &= |H(f = f_3)| = \sqrt{1.25} \approx 1.118, \\ b(f = f_2) &= b(f = f_3) = \arctan(0.5) \approx 0.464. \end{aligned}$$

Fragebogen zu "A2.6: Zweiwegekanal"

a) Welche der nachfolgenden Aussagen sind zutreffend?

- [ ] Der Parametersatz „z_1 = 1, T_1 = 0, z_2 = 0" ist der einzig mögliche zur Beschreibung des idealen Kanals.
- [ ] Jeder verzerrungsfreie Kanal wird durch die beiden Kombinationen „$z_1 \neq 0$, $z_2 = 0$" bzw. „$z_1 = 0$, $z_2 \neq 0$ erfasst."
- [ ] Die Werte „$z_1 \neq 0$" und „$z_2 \neq 0$" führen zu einem verzerrungsfreien Kanal, wenn T_1 und T_2 bestmöglich angepasst sind.

b) Es gelte z_1 = 1, T_1 = 0, z_2 = 0.5, T_2 = 1 ms. Berechnen Sie den Frequenzgang $H(f)$ dieses Kanals. Welche Werte gibt es bei Vielfachen von 1 kHz?

Re[$H(f = n \cdot 1$ kHz)] =

Im[$H(f = n \cdot 1$ kHz)] =

c) Am Eingang des Systems liegt nun der Diracpuls $x_1(t)$ an. Welche Aussagen treffen für das Ausgangssignal $y_1(t)$ zu?

- [ ] $y_1(t)$ ist gegenüber $x_1(t)$ um eine Konstante gedämpft/verstärkt.
- [ ] $y_1(t)$ ist gegenüber $x_1(t)$ verschoben.
- [ ] $y_1(t)$ weist gegenüber $x_1(t)$ Verzerrungen auf.

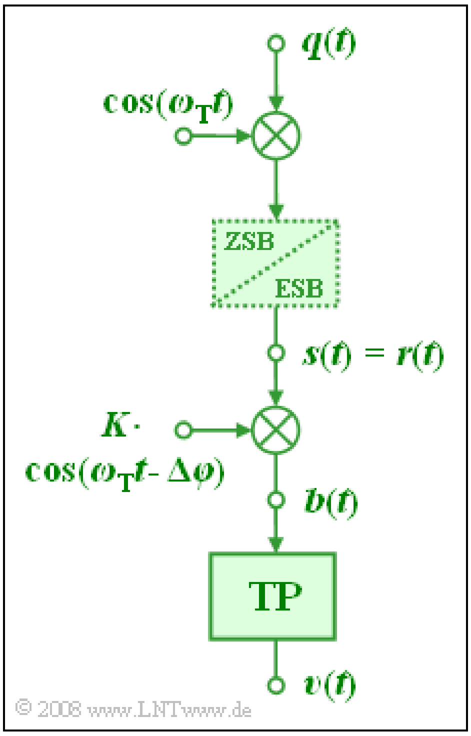
d) Berechnen Sie das Signal $y_2(t)$ als Antwort auf das Cosinussignal $x_2(t)$. Welcher Signalwert tritt zum Zeitpunkt t = 0 auf?

$y_2(t = 0)$ =

e) Welche Aussagen treffen bezüglich der Signale $x_3(t)$ und $y_3(t)$ zu?

- [ ] $y_3(t)$ weist gegenüber $x_3(t)$ keine Verzerrungen auf.
- [ ] $y_3(t)$ weist gegenüber $x_3(t)$ Dämpfungsverzerrungen auf.
- [ ] $y_3(t)$ weist gegenüber $x_3(t)$ Phasenverzerrungen auf.

Z2.6: Synchrondemodulator



Das dargestellte Blockschaltbild zeigt ein Übertragungssystem mit Amplitudenmodulation (AM) und Synchrondemodulator (SD). Das Quellensignal bestehe aus zwei harmonischen Schwingungen mit den Frequenzen f_2 = 2 kHz und f_5 = 5 kHz:

$$q(t) = 2\,\text{V} \cdot \cos(\omega_2 t) + 1\,\text{V} \cdot \sin(\omega_5 t).$$

Dieses Signal wird bei AM mit dem dimensionslosen Trägersignal $z(t) = \cos(\omega_T \cdot t)$ der Trägerfrequenz f_T = 50 kHz multipliziert. Bei Zweiseitenbandmodulation (ZSB–AM) entfällt der gestrichelt eingezeichnete Block, so dass für das Sendesignal gilt:

$$s(t) = q(t) \cdot \cos(\omega_T t).$$

Im Synchrondemodulator wird das Empfängersignal $r(t)$, das bei idealem Kanal identisch mit $s(t)$ ist, mit dem empfangsseitigem Trägersignal $z_E(t)$ multipliziert, wobei gilt:

$$z_E(t) = K \cdot \cos(\omega_T t - \Delta\varphi).$$

Dieses Signal sollte nicht nur frequenzsynchron mit $z(t)$ sein, sondern auch phasensynchron – daher der Name „Synchrondemodulator". Der obige Ansatz berücksichtigt einen Phasenversatz $\Delta\varphi$ zwischen $z(t)$ und $z_E(t)$, der idealerweise 0 sein sollte, sich bei realen Systemen aber oft nicht vermeiden lässt.

Das Ausgangssignal $b(t)$ des zweiten Multiplizierers beinhaltet neben dem gewünschten NF-Anteil auch Anteile um die doppelte Trägerfrequenz. Durch einen idealen Tiefpass – z.B. mit der Grenzfrequenz f_T – lässt sich das Sinkensignal $v(t)$ gewinnen, das im Idealfall gleich dem Quellensignal $q(t)$ sein sollte.

Die Multiplikation beim Sender mit dem Trägersignal $z(t)$ führt im Allgemeinen zu zwei Seitenbändern. Bei der Einseitenbandmodulation (ESB–AM) wird nur eines der beiden Bänder übertragen, zum Beispiel das untere Seitenband (USB). Damit erhält man bei idealem Kanal:

$$r(t) = s(t) = 1\,\text{V} \cdot \cos((\omega_T - \omega_2)t) - 0.5\,\text{V} \cdot \sin((\omega_T - \omega_5)t).$$

Hier führt die Synchrondemodulation unter Berücksichtigung eines Phasenversatzes $\Delta\varphi$, der Konstante $K = 4$ sowie des nachgeschalteten Tiefpasses zu folgendem verfälschten Sinkensignal:

$$v(t) = 1\,\text{V} \cdot \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot \cos(\omega_2 t - \Delta\varphi) + 0.5\,\text{V} \cdot \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot \sin(\omega_5 t - \Delta\varphi)$$

$$\Rightarrow \quad v(t) = 2\,\text{V} \cdot \cos(\omega_2 t - \Delta\varphi) + 1\,\text{V} \cdot \sin(\omega_5 t - \Delta\varphi)$$

Im Idealfall phasensynchroner Demodulation ($\Delta\varphi = 0$) gilt wieder

$$v(t) = q(t).$$

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf den Theorieteil von **Kapitel 2.3** in diesem Buch. Die Thematik „Amplitudenmodulation/Synchrondemodulator" wird im Buch „Modulationsverfahren" noch ausführlich diskutiert werden.

Gegeben sind die folgenden trigonometrischen Zusammenhänge:

$$\begin{aligned}
\cos^2(\alpha) &= \frac{1}{2} \cdot [1 + \cos(2\alpha)] \ , \\
\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) &= \frac{1}{2} \cdot [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)] \\
\sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) &= \frac{1}{2} \cdot [\sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)] \ .
\end{aligned}$$

Fragebogen zu "Z2.6: Synchrondemodulator"

a) Wie lautet das Sinkensignal $v(t)$ bei phasensynchroner Synchrondemodulation ($\Delta\varphi = 0$) und ZSB-AM? Wie ist K zu wählen, damit $v(t) = q(t)$ gilt?

K =

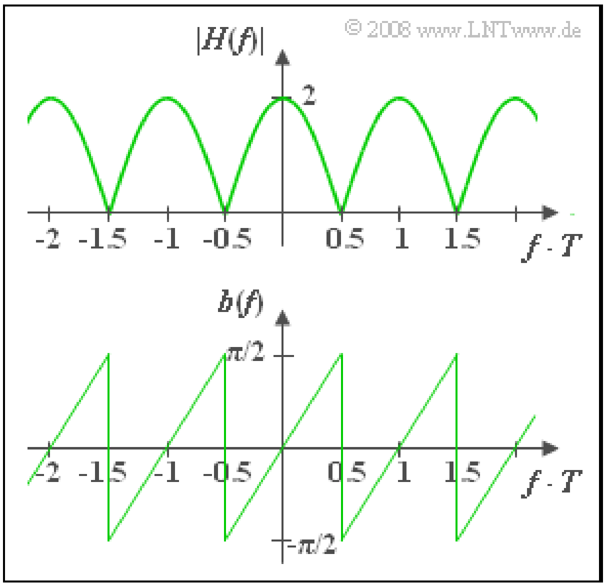
b) Es gelte $K = 2$. Berechnen Sie das Sinkensignal $v(t)$ unter Berücksichtigung eines Phasenversatzes $\Delta\varphi$. Welche der folgenden Aussagen treffen zu?

- ☐ Unabhängig von $\Delta\varphi$ gilt $v(t) = q(t)$.
- ☐ $\Delta\varphi \neq 0$ führt zu einer frequenzunabhängigen Dämpfung.
- ☐ Ein Phasenversatz $\Delta\varphi \neq 0$ führt zu Dämpfungsverzerrungen.
- ☐ Ein Phasenversatz $\Delta\varphi \neq 0$ führt zu Phasenverzerrungen.
- ☐ Mit $\Delta\varphi = -60°$ gilt $v(t) = q(t)/2$.

c) Welche Aussagen gelten bei Synchrondemodulation des ESB–Signals (siehe Angabenseite), wenn ein Phasenversatz um $\Delta\varphi$ berücksichtigt wird?

- ☐ Unabhängig von $\Delta\varphi$ gilt $v(t) = q(t)$.
- ☐ $\Delta\varphi \neq 0$ führt zu einer frequenzunabhängigen Dämpfung.
- ☐ Ein Phasenversatz $\Delta\varphi \neq 0$ führt zu Dämpfungsverzerrungen.
- ☐ Ein Phasenversatz $\Delta\varphi \neq 0$ führt zu Phasenverzerrungen.
- ☐ Mit $\Delta\varphi = -60°$ gilt $v(t) = q(t)/2$.

A2.7: Nochmals Zweiwegekanal



Wie in der Aufgabe A2.6 wird ein Zweiwegekanal betrachtet, für dessen Impulsantwort gelte:

$$h(t) = \delta(t - T_1) + \delta(t - T_2).$$

Entgegen der allgemeinen Darstellung in A2.6 sind hier die beiden Dämpfungsfaktoren z_1 und z_2 jeweils zu 1 gesetzt. Dies entspricht zum Beispiel beim Mobilfunk einem Echo im Abstand $T_2 - T_1$ in gleicher Stärke wie das Signal auf dem Hauptpfad. Für dieses wird die Laufzeit T_1 vorausgesetzt.

Mit den zunächst (a, b, c, d) betrachteten Laufzeiten $T_1 = 0$ und $T_2 = T$ erhält man für den Frequenzgang des Zweiwegekanals (Betrag siehe obere Grafik):

$$H(f) = 1 + \mathrm{e}^{-\mathrm{j}\,2\pi fT} = 1 + \cos(2\pi fT) - \mathrm{j} \cdot \sin(2\pi fT)$$

$$\Rightarrow \quad |H(f)| = \sqrt{2\,(1 + \cos(2\pi fT))} = 2 \cdot |\cos(\pi fT)|.$$

Die untere Grafik zeigt die Phasenfunktion:

$$b(f) = -\mathrm{arc}\ H(f) = \arctan \frac{\sin(2\pi fT)}{1 + \cos(2\pi fT)} = \arctan\left(\tan(\pi fT)\right).$$

Hierbei wurde folgende trigonometrische Umformung benutzt:

$$\frac{\sin(2\alpha)}{1 + \cos(2\alpha)} = \tan(\alpha).$$

Im Frequenzbereich $|f| < 1/(2T)$ steigt $b(f)$ linear an: $b(f) = \pi \cdot f \cdot T_1$. Auch in den weiteren Abschnitten der Phasenfunktion nimmt die Phase stets von $-\pi/2$ bis $\pi/2$ linear zu.

Für die Teilaufgaben a) bis d) gelte $T_1 = 0$ und $T_2 = T = 4$ ms. Dagegen wird in der Teilaufgabe e) der Fall $T_1 = 1$ ms, $T_2 = 5$ ms betrachtet. Als Eingangssignale werden untersucht:

- ein Rechteckimpuls $x_1(t)$ mit der Höhe 1 zwischen 0 und T. Das bedeutet, dass für $t < 0$ und für $t > T$ jeweils $x_1(t) = 0$ gilt. An den beiden Sprungstellen tritt jeweils der Wert 0.5 auf.
- ein Rechteckimpuls $x_2(t)$ mit der Höhe 1 im Bereich von 0 bis $2T$,
- ein periodisches Rechtecksignal $x_3(t)$ mit der Periodendauer $T_0 = T$:

$$x_3(t) = \begin{cases} 1 & \text{für} \quad 0 < t < T/2, \\ 0 & \text{für} \quad T/2 < t < T, \end{cases}$$

- ein periodisches Rechtecksignal $x_4(t)$ mit der Periodendauer $T_0 = 2T$:

$$x_4(t) = \begin{cases} 1 & \text{für} \quad 0 < t < T, \\ 0 & \text{für} \quad T < t < 2T. \end{cases}$$

Im Fragenkatalog bezeichnet $y_i(t)$ das Signal am Ausgang des Zweiwegekanals, wenn am Eingang das Signal $x_i(t)$ anliegt (i = 1, 2, 3, 4).

Hinweis: Diese Aufgabe bezieht sich auf den Theorieteil von **Kapitel 2.3.**

Fragebogen zu "A2.7: Nochmals Zweiwegekanal"

a) Berechnen Sie das Ausgangssignal $y_1(t)$. Welche der Aussagen sind zutreffend?

- ☐ $y_1(t)$ ist ebenfalls rechteckförmig.
- ☐ $y_1(t)$ ist dreieckförmig.
- ☐ Die absolute Impulsdauer ist $2T$.
- ☐ $y_1(t)$ weist gegenüber $x_1(t)$ Dämpfungsverzerrungen auf.
- ☐ $y_1(t)$ weist gegenüber $x_1(t)$ Phasenverzerrungen auf.

b) Berechnen Sie das Signal $y_2(t)$. Welche Werte ergeben sich zu den Zeitpunkten $t = 0.5T$, $1.5T$ und $2.5T$?

$\boldsymbol{y_2(t = 0.5T)}$ =

$\boldsymbol{y_2(t = 1.5T)}$ =

$\boldsymbol{y_2(t = 2.5T)}$ =

c) Berechnen Sie das Signal $y_3(t)$ und überprüfen Sie, welche Aussagen zutreffen.

- ☐ $y_3(t)$ ist gegenüber $x_3(t)$ unverzerrt.
- ☐ $y_3(t)$ weist gegenüber $x_3(t)$ Dämpfungsverzerrungen auf.
- ☐ $y_3(t)$ weist gegenüber $x_3(t)$ Phasenverzerrungen auf.

d) Welche Aussagen treffen für das Ausgangssignal $y_4(t)$ zu?

- ☐ $y_4(t)$ ist gegenüber $x_4(t)$ unverzerrt.
- ☐ $y_4(t)$ weist gegenüber $x_4(t)$ Dämpfungsverzerrungen auf.
- ☐ $y_4(t)$ weist gegenüber $x_4(t)$ Phasenverzerrungen auf.

e) Es gelten nun die Kanalparameterwerte T_1 = 1 ms und T_2 = 5 ms. Welche Veränderungen ergeben sich gegenüber den bisherigen Ergebnissen?

- ☐ Obige Aussagen hinsichtlich der Verzerrungen sind weiterhin gültig.
- ☐ Fundierte Aussagen sind erst nach einer Neuberechnung möglich.
- ☐ T_1 = 1 ms und T_2 = 5 ms führt bei allen Signalen zu Verzerrungen.