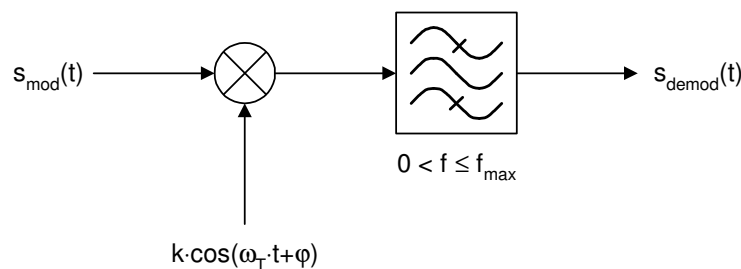


AUFGABEN ANALOGE

MODULATIONSVERFAHREN

Aufgabe 1

Ein kohärenter AM-Demodulator hat grundsätzlich den folgenden Aufbau:



Dabei bezeichnet φ die Phasendifferenz zwischen dem Senderträger und dem im Demodulator nachgebildeten Referenzträger. Das Bandpassfilter sperrt einerseits Gleichanteile, andererseits alle Signalanteile, deren Frequenzen über der maximalen Modulationsfrequenz f_{\max} liegen. Berechnen Sie das Ausgangssignal des gegebenen Demodulators für

- a) ein Zweiseitenbandsignal mit Träger

$$s_{\text{mod}}(t) = \hat{S}_T \cdot (1 + m \cdot \cos(\omega_M \cdot t)) \cdot \cos(\omega_T \cdot t)$$

- b) ein Zweiseitenbandsignal ohne Träger

$$s_{\text{mod}}(t) = \hat{S} \cdot [\cos((\omega_T - \omega_M) \cdot t) + \cos((\omega_T + \omega_M) \cdot t)]$$

- c) ein Einseitenband ohne Träger

$$s_{\text{mod}}(t) = \hat{S} \cdot \cos((\omega_T + \omega_M) \cdot t)$$

- d) Welchen Einfluss hat für jede dieser Modulationsarten die Phasendifferenz φ ?

Aufgabe 2

Ein Träger $s_T(t)$ soll mit dem gegebenen Modulationssignal $s_M(t)$ in der Amplitude moduliert werden.

$$s_T(t) = \hat{S}_T \cdot \cos(2\pi \cdot 100\text{kHz} \cdot t) \quad s_M(t) = a \cdot \left[\cos(2\pi \cdot 20\text{kHz} \cdot t) + \frac{1}{2} \cdot \cos(2\pi \cdot 40\text{kHz} \cdot t) \right]$$

- a) Skizzieren Sie das einseitige Amplitudenspektrum des modulierenden Signals.
b) Skizzieren Sie das Spektrum des amplitudenmodulierten Signals.
c) Welche Bedingung muss das Verhältnis a/\hat{S}_T erfüllen, damit keine Übermodulation auftritt?

Aufgabe 3

Bei einem Feldeffekttransistor hängt der Drainstrom $i_D(t)$ grundsätzlich quadratisch von der Gate-Source-Spannung $u_{GS}(t)$ ab:

$$i_D(t) = k \cdot [u_{GS}(t)]^2$$

In der vorliegenden Aufgabe setzt sich die Spannung $u_{GS}(t)$ aus einer Summe von einer Gleichspannung U_0 , einer Trägerschwingung und einem sinusförmigen Modulationssignal zusammen:

$$u_{GS}(t) = U_0 + \underbrace{\hat{U}_T \cdot \cos(\omega_T \cdot t)}_{\text{Träger}} + \underbrace{\hat{U}_M \cdot \cos(\omega_M \cdot t)}_{\text{Modulationssignal}}$$

- Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf des Drainstroms $i_D(t)$. Formen Sie das Ergebnis in eine Summe von Sinus- und/oder Cosinusfunktionen um.
- Welche Frequenzanteile weist der Drainstrom auf?
- Welche Modulationsart ergibt sich, wenn der Drainstrom geeignet gefiltert wird?

Tipps: $\cos^2(\alpha) = \frac{1}{2} \cdot [1 + \cos(2 \cdot \alpha)]$ $\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$

Aufgabe 4

Ein AM-Sender mit einem Belastungswiderstand von $R = 50 \Omega$ und einer Trägerleistung von $P_T = 1 \text{ kW}$ werde zu 100% mit einem Sinussignal moduliert.

- Man ermittle die Spitzenspannung an R in den Modulationspausen und im Modulationsfall.
- Wie gross ist die mittlere Leistung des AM-Signals und die Spitzenleistung PEP (peak envelope power)?

Aufgabe 5

Die Nachricht $s_M(t) = \hat{S}_M \cdot (\sin(\omega_M \cdot t) + \frac{1}{3} \cdot \sin(3 \cdot \omega_M \cdot t))$ werde zur Übertragung auf der Senderseite mit dem Träger $s_T(t) = \hat{S}_T \cdot \sin(\omega_T \cdot t)$ multipliziert und das untere Seitenband gesendet. Im Empfänger wird das empfangene Signal durch Multiplikation mit dem Trägerzusatz $s'_T(t) = \hat{S}'_T \cdot \sin(\omega_T \cdot t + \varphi)$ und anschließende Tiefpassfilterung demoduliert.

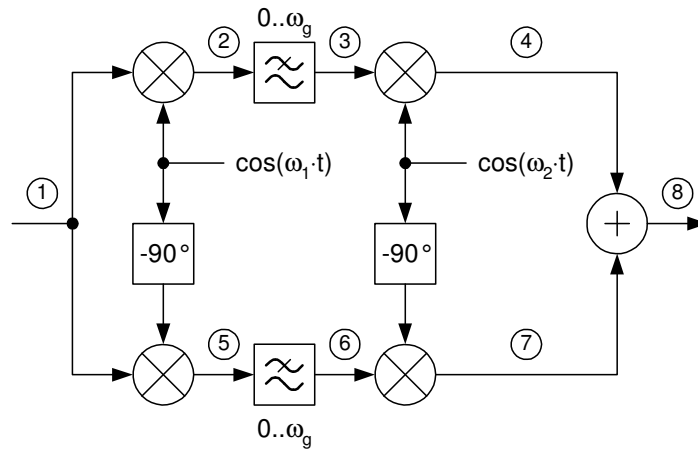
- Man skizziere das zu übertragende Signal.
- Man berechne das demodulierte Signal und stelle es für $\varphi = 0$ und $\varphi = \pi/2$ graphisch dar.

Aufgabe 6

Ein nach der Phasenmethode arbeitender Einseitenbandmodulator arbeite mit einem Modulator M1, dem das modulierende Signal und das Trägersignal direkt zu geführt werden, und einem Modulator M2, der das modulierende Signal mit 90° Voreilung und das Trägersignal mit 90° Nacheilung erhält. Das Ausgangssignal des Einseitenbandmodulators werde durch die Summe der Ausgangssignale der Modulatoren M1 und M2 gebildet. Man ermittle mit Hilfe der Zeigerdiagrammdarstellung, welches Seitenband unterdrückt wird.

Aufgabe 7

Gegeben ist die nachfolgende Modulationsschaltung



Die Tiefpässe können als ideal betrachtet werden und lassen den Frequenzbereich $0 \leq \omega \leq \omega_g$ passieren.

- a) Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf des Signals an den Punkten ② bis ⑧ für den Fall, dass am Punkt ① ein cosinusförmiges Signal

$$s_1(t) = \cos(\omega_m \cdot t)$$

eingespeist wird. Es gelte: $\omega_g = \omega_1$ und $0 < \omega_m < 2 \cdot \omega_1$.

- b) Welche Modulationsart wird durch diese Schaltung realisiert, falls am Eingang ① ein modulierendes Signal eingespeist wird? Welche Frequenz würden Sie als Trägerfrequenz bezeichnen?
- c) Welche Modulationsart wird realisiert, wenn die Signale ④ und ⑦ voneinander subtrahiert werden? Welche Frequenz würden Sie in diesem Fall als Trägerfrequenz bezeichnen?
- d) Welche Modulationsart resultiert, wenn dem modulierenden Signal am Punkt ① ein Gleichspannungsanteil hinzugefügt wird?
- e) Welches Ausgangssignal beobachten Sie am Punkt ⑧, falls $\omega_m > 2 \cdot \omega_1$ und $\omega_g = \omega_1$?
- f) Das modulierende Signal sei auf den Frequenzbereich $\omega_{\min} \dots \omega_{\max}$ bandbegrenzt. Wie muss ω_1 gewählt werden, wenn die beiden Tiefpässe eine möglichst kleine Grenzfrequenz aufweisen sollen? Wie gross ist in diesem Fall ω_g ?

Tipp:

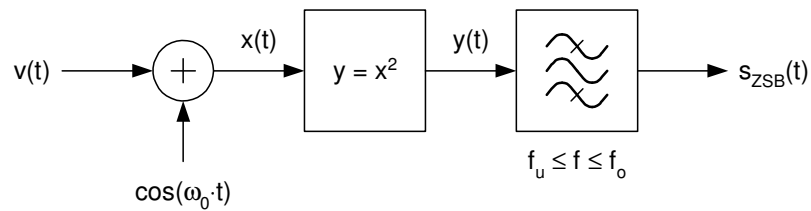
$$\sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)]$$

$$\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$$

$$\sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)]$$

Aufgabe 8

Mit der dargestellten Anordnung soll ein Zweiseitenbandsignal ohne Träger erzeugt werden:



- a) Welche Frequenzanteile weist das Signal $y(t)$ am Eingang des Bandpassfilters auf, falls

$$v(t) = \cos(\omega_m \cdot t)$$

mit $f_m < f_0$ gilt?

- b) Welche Bedingungen müssen die Grenzfrequenz f_{\max} des Signals $v(t)$ und die Trägerfrequenz f_0 erfüllen, damit am Ausgang des Bandpasses ein fehlerfreies ZSB-Signal entsteht?
- c) Wie gross sind die obere und die untere Grenzfrequenz f_o und f_u des Bandpassfilters zu wählen?

Tipp:

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

$$\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$$

Aufgabe 9

Ein periodisches (aber nicht sinusförmiges) Signal wird mittels Einseitenbandmodulation übertragen. Am Empfängeranfang werden Spektrallinien bei den Frequenzen

1.3 kHz	2.55 kHz	3.8 kHz	5.05 kHz
---------	----------	---------	----------

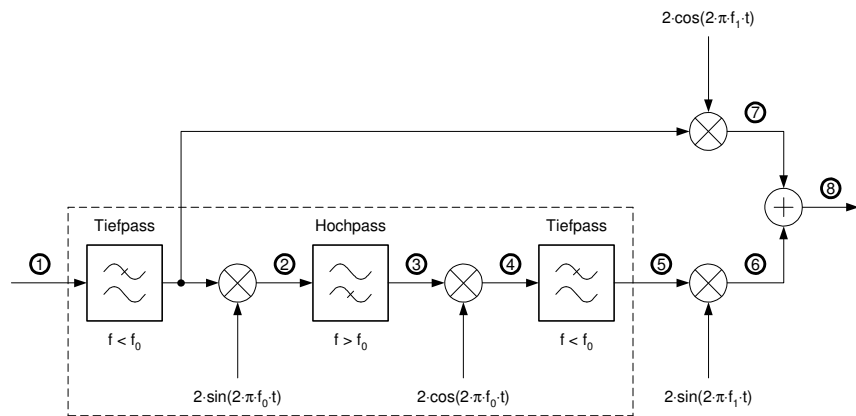
gemessen.

- a) Woraus ist ersichtlich, dass sich Sende- und Empfangsfrequenz voneinander unterscheiden? Wie gross ist die Differenz?
- b) Bestimmen Sie die Grundfrequenz f_0 des modulierenden Signals.

Aufgabe 10

Gegeben ist die nebenstehende Modulations-schaltung. Beachten Sie, dass zwei unterschiedliche Frequenzen f_0 und f_1 vorkommen!

Die Hoch- und Tiefpässe können als ideal betrachtet werden.

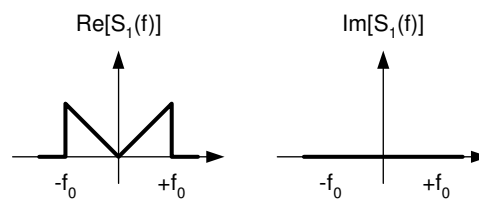


- a) Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf des Signals an den Punkten ② bis ⑧ für den Fall, dass am Punkt ① ein cosinusförmiges Signal

$$s_1(t) = \cos(\omega_m \cdot t)$$

eingespeist wird. Es gelte: $0 < f_m < f_0$ und $f_1 > f_m$.

- b) Welche Modulationsart wird durch diese Schaltung realisiert, falls am Eingang ① ein modulierendes Signal eingespeist wird (Genaue Bezeichnung)? Welche Frequenz würden Sie als Trägerfrequenz bezeichnen?
- c) Am Punkt ① wird ein Signal mit dem nachfolgenden Spektrum eingespeist:



- d) Skizzieren Sie Real- und Imaginärteil der Spektren an den Punkten ② bis ⑤.
- e) Skizzieren Sie Real- und Imaginärteil der Übertragungsfunktion $\underline{H}(f)$ der eingerahmten Teilschaltung, d.h. vom Punkt ① zum Punkt ⑤.

Tipps:

$$\begin{array}{l} \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)] \\ \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)] \\ \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)] \end{array} \left| \begin{array}{l} 2 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t) \quad \text{---} \bullet \quad \delta(f - f_0) + \delta(f + f_0) \\ 2 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t) \quad \text{---} \bullet \quad -j \cdot \delta(f - f_0) + j \cdot \delta(f + f_0) \end{array} \right.$$

Aufgabe 11

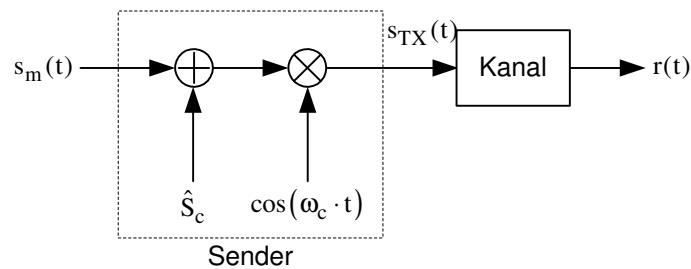
Am Ausgang eines Amplitudenmodulators ergibt die Messung mit einem Spektralanalysator die folgenden Linienspektren:

f [kHz]	100	105	95
Normierte Leistung [dB]	0	-4	-4

- Von welcher Form ist das modulierende Signal $s_M(t)$?
- Wie gross ist der Modulationsgrad m ?
- Skizzieren den zeitlichen Verlauf des Ausgangssignals $s_{AM}(t)$. Es genügt, wenn Sie die Trägerschwingung andeuten.
- Ist es möglich, dieses Signal mit einem Hüllkurvendemodulator fehlerfrei zu demodulieren? Begründung!
- Um welchen Faktor übersteigt die Spitzenleistung des AM-Signals die Trägerleistung?

Aufgabe 12

Gegeben ist das nachfolgende Übertragungsmodell.



Das modulierende Signal sei sinusförmig:

$$s_m(t) = \hat{S}_m \cdot \cos(\omega_m \cdot t),$$

wobei gelte: $\omega_m \ll \omega_c$ und $\hat{S}_m < \hat{S}_c$. Der Kanal besitzt die folgende Übertragungsfunktion

$$\underline{H}(\omega) = \begin{cases} \alpha & 0 \leq |\omega| < \omega_c \\ 1 & |\omega| = \omega_c \\ \beta & |\omega| > \omega_c \end{cases}$$

Er dämpft alle Signale, deren Frequenzen unterhalb von ω_c liegen, mit dem Faktor α . Alle Frequenzen oberhalb von ω_c werden um den Faktor β abgeschwächt. Die Frequenz ω_c wird unverändert übertragen.

- Geben Sie den zeitlichen Verlauf $s_{TX}(t)$ des Sendesignals an. Um welche Modulationsart handelt es sich?
Tipp: Führen Sie für das Verhältnis \hat{S}_m / \hat{S}_c eine Abkürzung ein, damit Sie weniger schreiben müssen.
- Berechnen Sie die durchschnittliche normierte Leistung P_{TX} des Sendesignals $s_{TX}(t)$.
Tipp: Mit Vorteil zerlegen Sie dazu $s_{TX}(t)$ in seine spektralen Anteile.
- Geben Sie den zeitlichen Verlauf des Empfangssignals $r(t)$ an.
- Geben Sie die Quadraturkomponenten $s_I(t)$ und $s_Q(t)$ sowie die komplexe Umhüllende $\underline{u}(t)$ des Empfangssignals $r(t)$ in Bezug auf die Trägerfrequenz ω_c an.
- Es gelte $\alpha = 2$ und $\beta = 0$. Das Empfangssignal werde mit einem idealen Hüllkurvendetektor demoduliert. Geben Sie den zeitlichen Verlauf des Ausgangssignals an.
- Skizzieren Sie das Ausgangssignal des Hüllkurvendetektors für $\alpha = 2$, $\beta = 0$ und $\hat{S}_m / \hat{S}_c = 1.0$.

Tipps:

$$\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} (\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta))$$

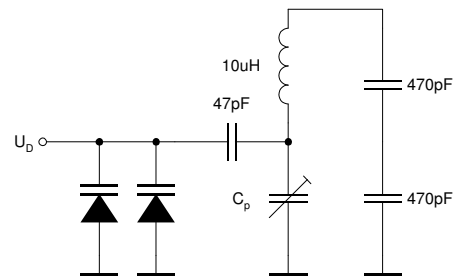
$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \mp \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)$$

$$\sqrt{1 + \cos(\alpha)} = \sqrt{2} \cdot \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

Aufgabe 13

Die frequenzbestimmenden Bauelemente eines spannungsgesteuerten Oszillators (VCO) sind nebenstehend angegeben. Die Sperrschichtkapazitäten der Kapazitätsdioden sind von der Spannung U_D wie folgt abhängig:

$$C(U_D) = \frac{79.8\text{pF}}{\left(1 + \frac{U_D}{0.7\text{V}}\right)^{0.47}}$$



- Wie gross muss die Kapazität C_p gewählt werden, damit bei einer Sperrspannung von $U_D = 6\text{ V}$ die Resonanzfrequenz des Schwingkreises bei $f_0 = 6\text{ MHz}$ liegt?
- Berechnen Sie die Resonanzfrequenz des Schwingkreises für $U_D = 5\text{ V}$ und $U_D = 7\text{ V}$. Schätzen Sie für diesen Bereich die Frequenzsteilheit k_f in Hz/V .
- Der Oszillator wird moduliert, indem der Gleichspannung $U_D = 6\text{ V}$ das modulierende Signal $s_M(t)$ überlagert wird. Welche Bedingung muss $s_M(t)$ erfüllen, damit ein Frequenzhub von $\Delta f = 4.7\text{ kHz}$ nicht überschritten wird?
- Die Frequenz des Oszillators wird in den nachfolgenden Stufen um den Faktor 16 vervielfacht. Wie gross ist die Mittenfrequenz und der maximale Frequenzhub am Ausgang des Systems?

Aufgabe 14

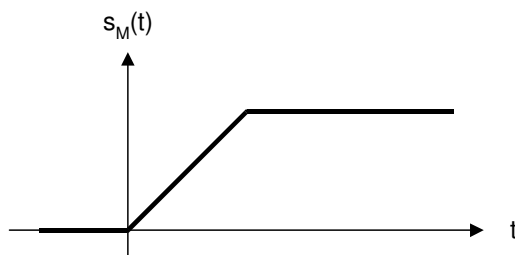
Ein spannungsgesteuerter Oszillator habe die Kennlinie

$$f(U) = 1\text{MHz} + 10 \frac{\text{kHz}}{\text{V}} \cdot U$$

Er wird mit dem Signal $u_M(t) = 1\text{V} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot t/\text{s})$ frequenzmoduliert. Die Trägeramplitude beträgt 10V .

- Wie gross ist der Modulationsindex?
- Skizzieren Sie das Amplitudenspektrum des modulierten Signals.
- Welche Bandbreite ist zur Übertragung des FM-Signals erforderlich?
- Wieviel Prozent der Gesamtleistung ist in der unter c) berechneten Bandbreite enthalten?

Aufgabe 15

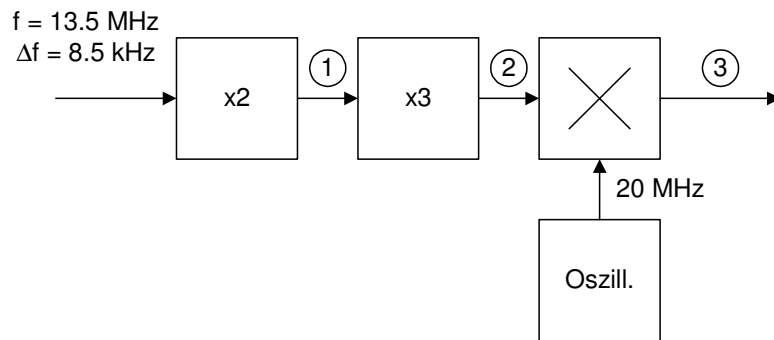


Gegeben ist das nebenstehende Modulationssignal. Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Momentanfrequenz und des modulierten Signals

- bei Phasenmodulation
- bei Frequenzmodulation

Aufgabe 16

Bestimmen Sie die Mittenfrequenz und den Frequenzhub an den Stellen ①, ② und ③.



Aufgabe 17

Ein Schmalband-FM-Sender arbeitet mit einem konstanten Frequenzhub von $\Delta f = 5$ kHz. Skizzieren Sie (im gleichen Massstab) das Amplitudenspektrum des modulierten Signals bei Modulation mit einem sinusförmigen Signal der Frequenz

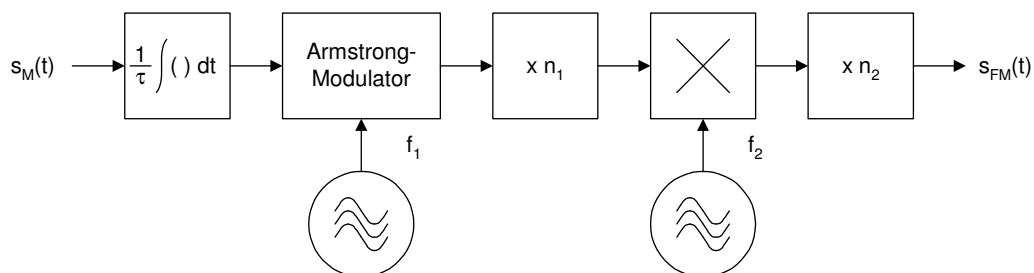
- $f_M = 3$ kHz
- $f_M = 1$ kHz
- Bei welcher Modulationsfrequenz f_M verschwindet der spektrale Anteil auf der Trägerfrequenz?

Aufgabe 18

Im UKW-Rundfunk wird mit einem konstanten Frequenzhub von $\Delta f = 75$ kHz gearbeitet. Die Frequenzen der modulierenden Signale schwanken zwischen 30 Hz und 15 kHz.

- Zwischen welchen Werten schwankt der Modulationsindex η ?
- Für welche Modulationsfrequenz ergibt sich die maximale Bandbreite?

Aufgabe 19



Die angegebene Modulationsschaltung soll zur Erzeugung eines UKW-Rundfunksignals (Frequenzhub $\Delta F = 75$ kHz, Trägerfrequenz $f_c = 96$ MHz) eingesetzt werden. Für die Dimensionierung der Schaltung darf angenommen werden, dass das modulierende Signal sinusförmig ist mit einer Frequenz zwischen 30 Hz und 15 kHz:

$$s_M(t) = \hat{S}_M \cdot \cos(\omega_M \cdot t) \quad \text{mit} \quad \hat{S}_M = 1\text{V}.$$

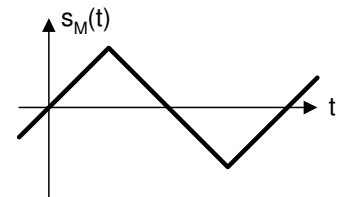
Die Phasensteilheit des Armstrong-Modulators betrage $\alpha_p = 0.5$ rad/V.

- Bestimmen Sie die Integrationskonstante τ so, dass der Phasenhub am Ausgang des Armstrong-Modulators den Wert $\Delta\Psi = 0.5$ rad nicht überschreitet.
- Welchen Frequenzhub beobachten Sie am Ausgang des Armstrong-Modulators?
- Gegeben sind $f_1 = 100$ kHz und $n_2 = 50$. Bestimmen Sie die Parameter n_1 und f_2 .
- Welches ist (innerhalb der gegebenen Grenzen) die höchste Modulationsfrequenz, bei der die ersten Seitenbänder im Spektrum verschwinden?

Aufgabe 20

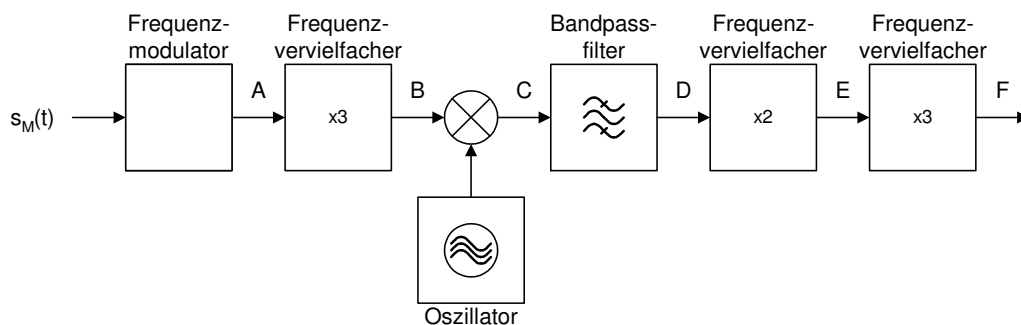
Ein Phasenmodulator wird bei einer Modulationsfrequenz von $f_M = 3.4$ kHz so abgeglichen, dass der Frequenzhub $\Delta F = 10.2$ kHz beträgt. Die Leistung des phasenmodulierten Signals an einer Last von 50Ω betrage 0.1 W.

- Wie gross sind Frequenz- und Phasenhub der Modulation bei einer Modulationsfrequenz von $f_M = 1$ kHz?
- Schätzen Sie die maximale Bandbreite des modulierten Signals ab, wenn die Frequenz des modulierenden Signals zwischen 300 Hz und 3.4 kHz liegt.
- Skizzieren Sie das Amplitudenspektrum des modulierten Signals bei einer Modulationsfrequenz von 3.4 kHz. Geben Sie die jeweiligen Amplitudenwerte auch numerisch an.
- Bestimmen Sie die Signalleistung innerhalb der in Teilaufgabe b) berechneten Bandbreite.
- Das nebenstehende Modulationssignal wird auf den Phasenmodulator gegeben. Skizzieren Sie grob den zeitlichen Verlauf der Momentanfrequenz, des Momentanphasenwinkels und des modulierten Signals.



Aufgabe 21

Gegeben ist das nachfolgende Blockschaltbild eines FM-Senders.

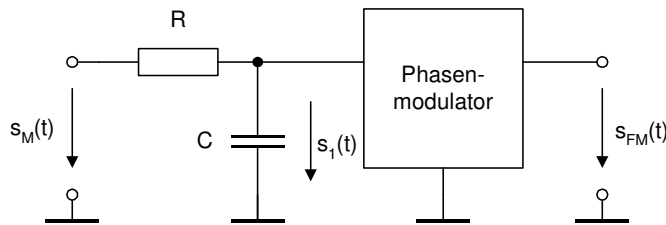


Im Punkt A beträgt die Trägerfrequenz $f_A = 21$ MHz und der Frequenzhub $\Delta F_A = 0.667$ kHz. Die Frequenz des Modulationssignals $s_M(t)$ ist $f_M = 3$ kHz.

- Wie muss die Frequenz des Oszillators gewählt werden, damit die Trägerfrequenz am Punkt F $f_F = 860$ MHz beträgt? Geben Sie beide möglichen Lösungen an!
- Geben Sie für jeden der Punkte B bis und mit F die Trägerfrequenz und den Frequenzhub an.

- c) Berechnen Sie die exakte Mittenfrequenz und die für eine befriedigende Übertragungsgüte erforderliche Bandbreite des Bandpassfilters.
- d) Skizzieren Sie massstabsgetreu das Amplitudenspektrum am Punkt F.

Der obige Frequenzmodulator werde dadurch realisiert, dass einem Phasenmodulator ein RC-Tiefpass vorgeschaltet wird.



$$s_M(t) = \hat{S}_M \cdot \cos(\omega_M \cdot t)$$

Phasenmodulator:

Trägerfrequenz ω_c

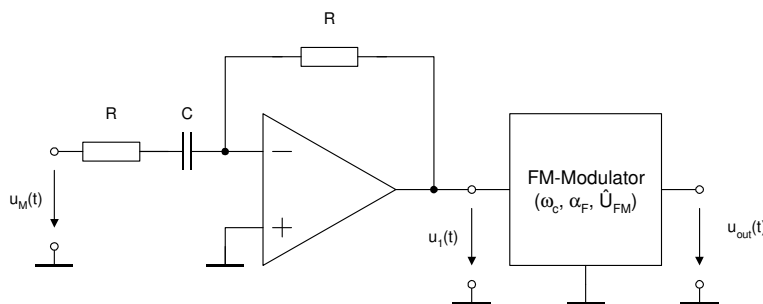
Phasensteilheit α_P

Trägeramplitude \hat{S}_{FM}

- e) Bestimmen Sie den Verlauf des Signals $s_1(t)$ unter der Voraussetzung, dass $\omega_M \gg \frac{1}{RC}$ gilt.
- f) Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf des Signals $s_{FM}(t)$.
- g) Bestimmen Sie die Momentanfrequenz $\Omega(t)$ und den Frequenzhub ΔF des Ausgangssignals in Abhängigkeit der Kreisfrequenz ω_M des Modulationssignals.

Aufgabe 22

Gegeben ist die nachfolgende Modulatorschaltung.



$$u_M(t) = \hat{U}_M \cdot \cos(\omega_M \cdot t)$$

Frequenzmodulator:

Trägerfrequenz ω_c

Frequenzsteilheit α_F

Trägeramplitude \hat{U}_{FM}

$$\omega_M \ll \frac{1}{RC}$$

- a) Bestimmen Sie den Verlauf des Signals $u_1(t)$ unter der Voraussetzung, dass $\omega_M \ll \frac{1}{RC}$ gilt.
- b) Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf des Signals $u_{out}(t)$.
- c) Bestimmen Sie die Momentanfrequenz $\Omega(t)$, den Frequenzhub ΔF und den Phasenhub $\Delta\Psi$ des Ausgangssignals in Abhängigkeit der Kreisfrequenz ω_M des Modulationssignals.
- d) Welche Modulationsart wird mit der gegebenen Schaltung realisiert? Begründen Sie Ihre Antwort!

Es sind nun die folgenden Zahlenwerte gegeben¹:

$$\hat{U}_M = 1V$$

$$\omega_M = 2 \cdot \pi \cdot 1000s^{-1}$$

$$\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot 10'000s^{-1}$$

¹ Falls Sie die Aufgaben a) bis d) nicht lösen konnten, nehmen Sie an, dass es sich bei der Schaltung um einen Phasenmodulator mit der Phasensteilheit $\alpha_P = 2.5\text{rad/V}$, der Trägerfrequenz $\omega_c = 2 \cdot \pi \cdot 10'000s^{-1}$ und der Trägeramplitude $\hat{U}_{PM} = 10V$ handelt.

$$\alpha_F = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{rad}}{\text{V} \cdot \text{s}}$$

$$\hat{U}_{FM} = 10 \text{V}$$

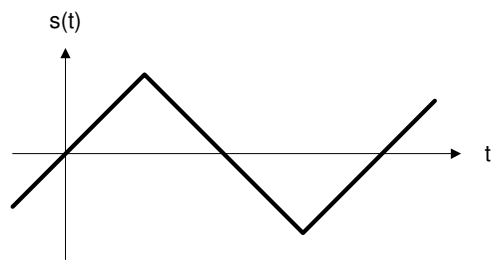
$$R \cdot C = 10^{-5} \text{s}$$

- e) Skizzieren Sie massstabsgetreu das Amplitudenspektrum des Ausgangssignals. Wie gross ist die für eine befriedigende Übertragungsgüte erforderliche Bandbreite?
- f) Wie verändert sich das Spektrum, wenn die Modulationskreisfrequenz auf $\omega_M = 2 \cdot \pi \cdot 2000 \text{s}^{-1}$ erhöht wird? Wie gross ist in diesem Fall die für eine befriedigende Übertragungsgüte erforderliche Bandbreite?
- g) Skizzieren Sie massstabsgetreu das Amplitudenspektrum des Ausgangssignals, wenn die Amplitude des Modulationssignals auf $\hat{U}_M = 2 \text{V}$ erhöht wird ($\omega_M = 2 \cdot \pi \cdot 1000 \text{s}^{-1}$). Wie gross ist in diesem Fall die für eine befriedigende Übertragungsgüte erforderliche Bandbreite?

Aufgabe 23

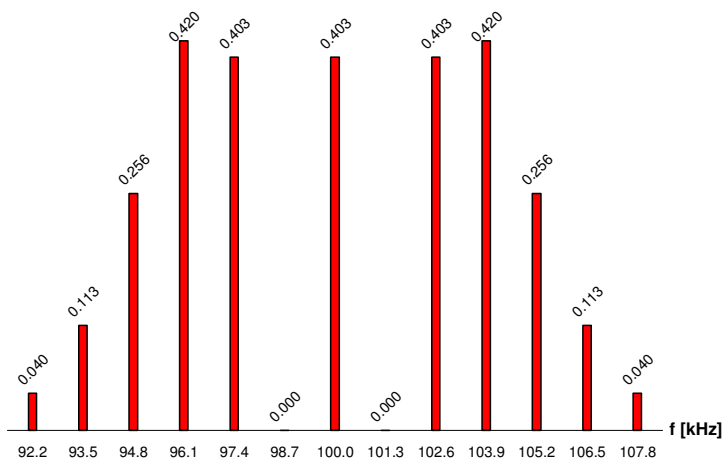
Das nebenstehende Modulationssignal wird auf einen Frequenzmodulator gegeben. Skizzieren Sie grob den zeitlichen Verlauf

- der Momentanfrequenz
- des Momentanphasenwinkels
- des modulierten Signals.



Aufgabe 24

An den Eingang eines Frequenzmodulators wird ein sinusförmiges Messsignal gegeben. Bei einer Amplitude $\hat{S}_{\text{Mess}} = 3.13 \text{ V}$ des Eingangssignals wird am Ausgang das nachfolgend angegebene Betragsspektrum beobachtet.

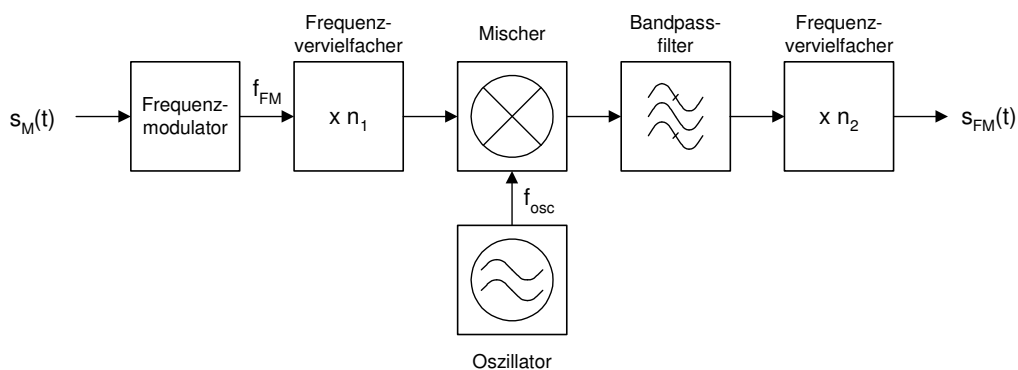


- Bestimmen Sie die Frequenz f_{Mess} des Messsignals, den Modulationsindex η , die Frequenzsteilheit α_F sowie den Frequenzhub ΔF des Modulators in diesem Arbeitspunkt.

Der Frequenzmodulator soll in der nachfolgenden Modulations-schaltung zur Erzeugung eines UKW-Rundfunksignals (Frequenzhub $\Delta F = 75 \text{ kHz}$, Trägerfrequenz $f_c \approx 100 \text{ MHz}$)

eingesetzt werden. Für die Dimensionierung der Schaltung darf angenommen werden, dass das modulierende Signal sinusförmig ist mit einer Frequenz zwischen 30 Hz und 15 kHz:

$$s_M(t) = \hat{S}_M \cdot \cos(\omega_M \cdot t) \text{ mit } \hat{S}_M \leq 0.943 \text{ V}.$$

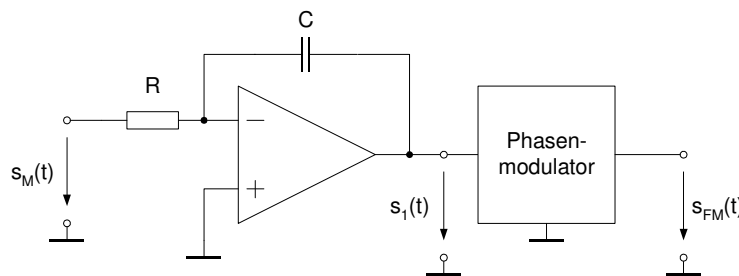


Tipp: Falls Sie die Teilaufgabe a) nicht lösen konnten, nehmen Sie für die Frequenzsteilheit des Modulators $\alpha_F = 10^4 \text{ rad}/(\text{V} \cdot \text{s})$ an.

- b) Welchen Frequenzhub und maximalen Phasenhub beobachten Sie am Ausgang des Frequenzmodulators für $\hat{S}_M = 0.943 \text{ V}$?
- c) Die Mittenfrequenz des Bandpassfilters beträgt $f_{BP} = 20 \text{ MHz}$. Bestimmen Sie die Parameter n_1 , n_2 und f_{osc} .
- d) Welche Bandbreite sollte das Bandpassfilter minimal aufweisen, damit eine befriedigende Übertragungsgüte resultiert?
- e) Skizzieren Sie das Betragsspektrum des Signals am Ausgang des Bandpassfilters für $\hat{S}_M = 0.1 \text{ V}$ und $f_M = 530 \text{ Hz}$. Welche Amplitude weist die Trägerkomponente auf, falls die Gesamtleistung des Signals $P_{BP} = 100 \text{ mW}$ an einer Last von $R_L = 50 \text{ }\Omega$ beträgt?

Aufgabe 25

Ein Frequenzmodulator wird durch die nachfolgende Schaltung realisiert.



$$s_M(t) = \hat{S}_M \cdot \cos(\omega_M \cdot t)$$

Phasenmodulator:

Trägerfrequenz ω_c

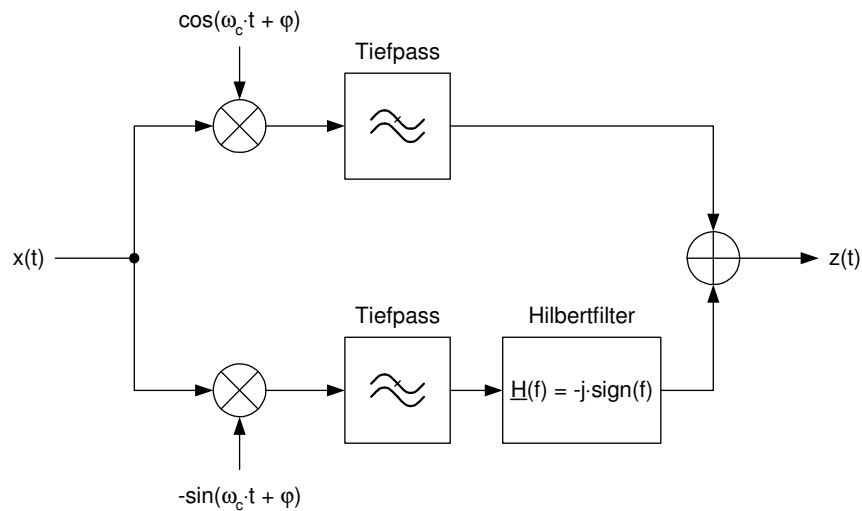
Phasensteilheit α_P

Trägeramplitude \hat{S}_{FM}

- a) Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf des Signals $s_1(t)$.
- b) Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf des Signals $s_{FM}(t)$.
- c) Bestimmen Sie die Momentanfrequenz $\Omega(t)$ und den Frequenzhub ΔF des Ausgangssignals in Abhängigkeit der Kreisfrequenz ω_M des Modulationssignals.

Aufgabe 26

Gegeben ist folgende Demodulatorschaltung.



Die beiden Tiefpassfilter können als ideal betrachtet werden und lassen Signale im Frequenzbereich $|f| < f_c$ durch.

Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf des Ausgangssignals $z(t)$, falls

- $x(t)$ ein unteres Seitenband ist: $x(t) = \hat{X} \cdot \cos((\omega_c - \omega_M) \cdot t)$
- $x(t)$ ein oberes Seitenband ist: $x(t) = \hat{X} \cdot \cos((\omega_c + \omega_M) \cdot t)$
- Welchen Einfluss hat der Phasenfehler φ ?

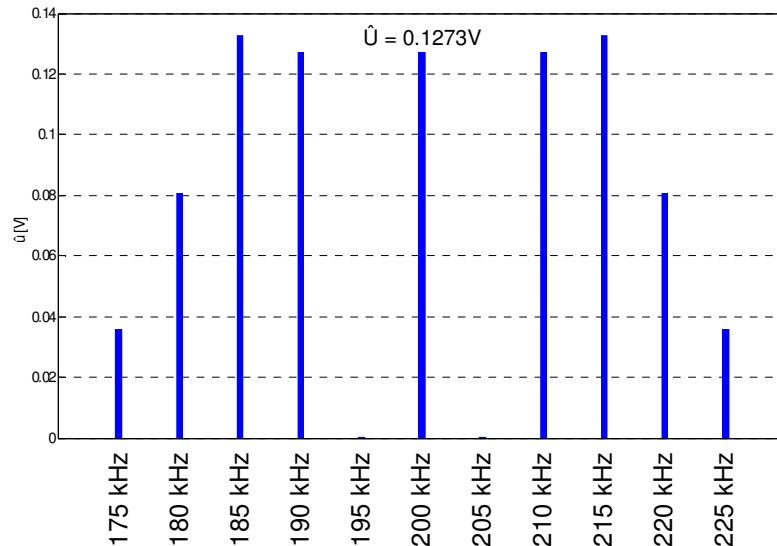
Tipps:

$$\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$$

$$\sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)]$$

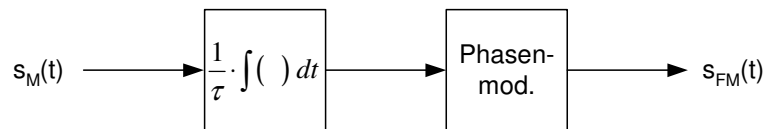
Aufgabe 27

Ein Phasenmodulator wird an seinem Eingang mit einem sinusförmigen Signal gespeist. Bei einer Eingangsamplitude von $\hat{S}_M = 1.916 \text{ V}$ wird am Ausgang nachfolgendes Amplitudenbetragsspektrum beobachtet.



- a) Bestimmen Sie die Modulationsfrequenz f_M , den Phasenhub $\Delta\Psi$, den Frequenzhub ΔF und die Phasensteilheit α_P .

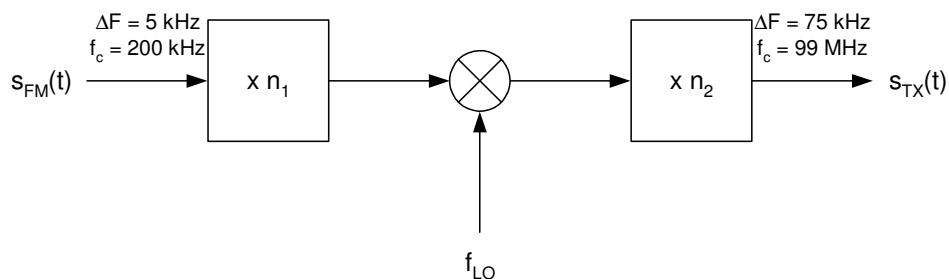
Der Phasenmodulator wird durch eine Integrationsschaltung erweitert.



- b) Dimensionieren Sie die Zeitkonstante τ so, dass für ein Eingangssignal

$$s_M(t) = \hat{S}_M \cdot \cos(\omega_M \cdot t) \text{ mit } \hat{S}_M = 1 \text{ V} \text{ ein Frequenzhub von } \Delta F = 5 \text{ kHz} \text{ resultiert.}$$

Das Ausgangssignal der obigen Schaltung wird auf die nachfolgende Schaltung gegeben.

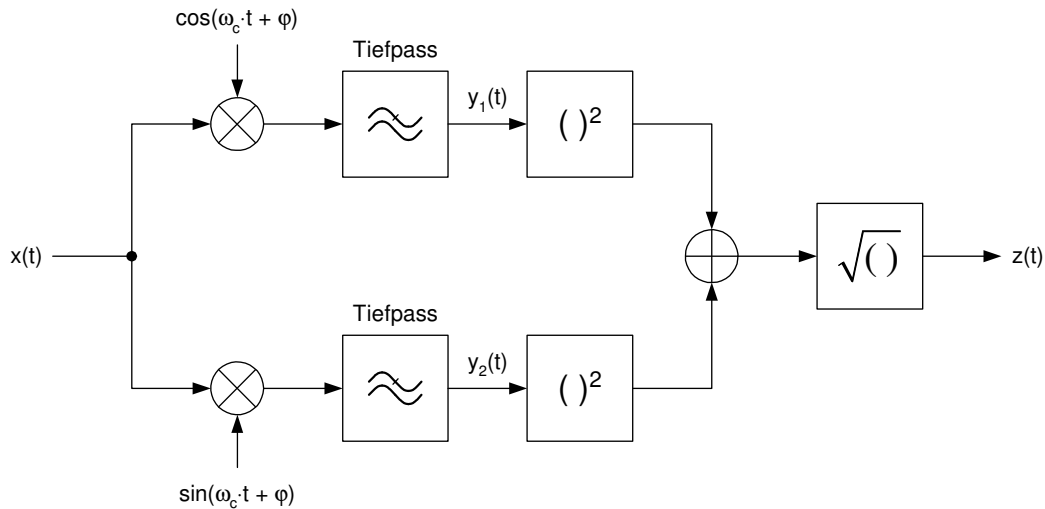


- c) Dimensionieren Sie n_1 , n_2 und f_{LO} so, dass am Ausgang ein Frequenzhub von $\Delta F = 75 \text{ kHz}$ bei einer Trägerfrequenz von $f_c = 99 \text{ MHz}$ resultiert.

Tipp: Es sind unterschiedliche Lösungen möglich. Es genügt, eine davon anzugeben.

Aufgabe 28

Gegeben ist folgende Demodulatorschaltung.



Die beiden Tiefpassfilter können als ideal betrachtet werden und lassen Signale im Frequenzbereich $|f| < f_c$ durch.

- a) Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf der Signale $y_1(t)$, $y_2(t)$ und $z(t)$, falls das Signal $x(t)$ ein sinusförmiger Träger mit langsam veränderlicher² Amplitude $A(t)$ ist:

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

- b) $x(t)$ sei nun ein konventionelles AM-Signal (Zweiseitenband mit Träger). Das modulierende Signal sei sinusförmig mit der Modulationskreisfrequenz ω_M und dem Modulationsgrad m .
- Geben Sie für diesen Fall den zeitlichen Verlauf $A(t)$ an.
 - Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf von $z(t)$.
 - Welche Bedingung muss der Modulationsgrad m erfüllen, damit der Demodulator ohne Verzerrung funktioniert? (Mit Begründung!)
 - Welchen Einfluss hat der Phasenfehler φ auf $z(t)$?

- c) Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf $z(t)$, für einen Modulationsgrad $m = 1.5$.

Tipps

$$\cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)]$$

$$\sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) = \frac{1}{2} \cdot [\sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)]$$

$$\cos^2(\alpha) + \sin^2(\alpha) = 1$$

$$\sqrt{x^2} = |x|$$

² Genauer: Das Signal $A(t)$ ändert sich deutlich langsamer als die Trägerschwingung $\cos(\omega_c \cdot t)$