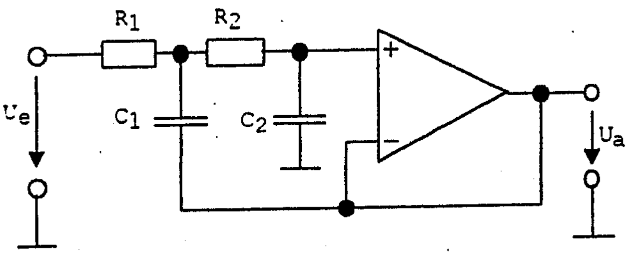
3. Aufgabe (20 Punkte)
Analysieren Sie die dargestellte Schaltung eines aktiven Filters mit Butterworth-Verhalten!



$R_1 = 10k\Omega$
$R_2 = 10k\Omega$
$C_1 = 9{,}4nF$
$C_2 = 4{,}7nF$

a. Stellen Sie die Übertragungsfunktion Ua/Ue = f(ω) in Normalform auf und geben Sie das Verhalten bei ω->0 und ω->∞ an!

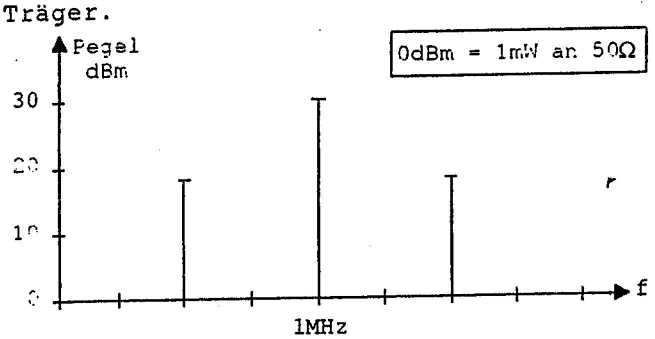
b. Berechnen Sie die Grenzfrequenz!

4. Aufgabe (25 Punkte)
Ein nichtlinearer Verstärker mit der Übertragungskennlinie
$U_a = 2\cdot U_e + 0{,}5V^{-1}\cdot U_e^2 + 0{,}25V^{-2}\cdot U_e^3$
wird im Arbeitspunkt $U_{e0}=0V$ mit einer Spannung $u_e(t)=1V\cdot\cos(2\pi\cdot 1kHz\, t)$ ausgeteuert.

a. Berechnen Sie den Zeitverlauf der Ausgangsspannung und geben Sie ihre Spektralkomponenten (Beträge, Frequenzen) an!

b. Wie groß ist der Klirrfaktor der Ausgangsspannung?

5. Aufgabe (20 Punkte)
Am Ausgang eines AM-Modulators wurde an einem Lastwiderstand von 50Ω das dargestellte Spektrum gemessen. Die beiden Seitenlinien liegen um 12 dB unter dem Träger.



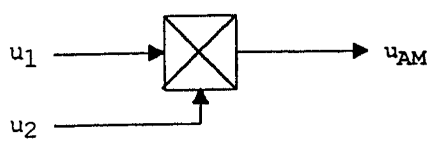
1kHz/Strich

a. Wie groß ist der Modulationsgrad?

b. Wie groß sind minimaler und maximaler Scheitelwert der Ausgangsspannung?

c. Wie muß ein Multiplizierer an seinen beiden Eingängen angesteuert werden, damit an seinem Ausgang ein AM-Spektrum mit der gleichen spektralen Zusammensetzung entsteht?

Multiplizierer



Dirk ... E4b 1616584 12.7.02

1. $U_e = 15\,\mu V$ $SNR_a = 20\,dB$

$$P_{s1} = \frac{U_e^2}{R} = \frac{(15\,\mu V)^2}{50\,\Omega} = 4{,}5 \cdot 10^{-12}\,W$$

$$P_{r1} = k \cdot T \cdot B = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \frac{Wsec}{K} \cdot 290\,K \cdot 5\,MHz = 20 \cdot 10^{-15}\,W$$

a)

$$SNR_e(dB) = 10 \cdot \lg \frac{P_{s1}}{P_{r1}} = 10 \cdot \lg \frac{4{,}5 \cdot 10^{-12}}{20 \cdot 10^{-15}} = 23{,}5\,dB$$

$$F(dB) = SNR_e(dB) - SNR_a(dB) = 23{,}5\,dB - 20\,dB = \underline{\underline{3{,}5\,dB}}$$

$$F = 10^{\frac{3{,}5}{10}} = \underline{\underline{2{,}24}}$$

b)

$$P_{s2} = P_{r2} \rightarrow SNR_a = \frac{P_{s2}}{P_{r2}} = 1 \rightarrow SNR_a(dB) = 0\,dB$$

$$F = \frac{SNR_e}{SNR_a} = \frac{SNR_e}{1}$$

$$\rightarrow P_{s1} = F \cdot P_{r1} = 2{,}24 \cdot 20 \cdot 10^{-15}\,W = \underline{44{,}8 \cdot 10^{-15}\,W}$$

$$U_{s1} = \sqrt{P_{s1} \cdot 50\,\Omega} = \sqrt{44{,}8 \cdot 10^{-15}\,W \cdot 50\,\Omega} \approx \underline{1{,}5\,\mu V}$$

15P

Dirk W[illegible] E4 10 16 584 12.7.02

2. a.) Da die RC-Kombination einen Hochpaß darst werden niedrige Frequenzen herausgefiltert. ✓
Ein OPV hingegen verhält sich wie ein Tiefpass, deshalb wird ~~ab~~ ab der oberen Grenzfrequenz die Verstärkung (gegen 0 strebend) kleiner. ✓ (8P)

b)
$$U_+ = 0V = U_- = U_e \frac{R_2}{R_1+R_2+\frac{1}{j\omega C}} + U_a \frac{R_1+\frac{1}{j\omega C}}{R_1+R_2+\frac{1}{j\omega C}}$$

die untere Grenzfrequenz wird durch das RC-Glied (HP) gegeben, an dem Punkt, an dem die maximale Verstärkung ✓ um 3dB kleiner ist.

$$20dB - 3dB = 17dB \rightarrow f_{gu} = 1kHz$$

Hochpaß $f_g = \frac{1}{2\pi R_1 C}$ $\rightarrow R_1 \cdot C = (2\pi \cdot 1kHz)^{-1} = 0{,}16ms$

$$0V = U_e \frac{j\omega C R_2}{1+j\omega C(R_1+R_2)} + U_a \frac{1+j\omega C R_1}{1+j\omega C(R_1+R_2)}$$

$$U_e\, j\omega C R_2 = -U_a\,(1+j\omega C R_1)$$

$$\frac{U_a}{U_e} = -\frac{j\omega C R_2}{1+j\omega C R_1} \checkmark = 10^{\frac{V(dB)}{20}} = 10^{\frac{20}{20}} = 10$$

~~$|v_{max}| = 10 = [illegible]$~~

$\frac{U_a}{U_e}$ ~~[illegible]~~ besteht aus dem Hochpass multipliziert mit dem Verstärker.

$$\frac{U_a}{U_e} = -\frac{j\omega C R_1}{1+\omega C R_1} \cdot 10 \Rightarrow R_2 = 10 \cdot R_1$$

$R_1 = 1k\Omega$ ✓

(12P)

$$f_g = \frac{1}{2\pi R_1 C} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi f_g R_1} = \frac{1}{2\pi \cdot 1kHz \cdot 1k\Omega} = 159\,nF$$ ✓

Dirk Wilshusen E4c 16163?4 12.7.02

3. a) gemäß Gl. (4-11), Skript S. (4-8)

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{Y_1 \cdot Y_2}{Y_1 Y_2 + Y_4 (Y_1 + Y_2 + Y_3)} \quad \text{mit} \quad Y_1 = \frac{1}{R_1}$$

$$Y_2 = \frac{1}{R_2}$$

$$Y_3 = j\omega C_1$$

$$Y_4 = j\omega C_2$$

=> daraus ergibt sich Gl. (4-12) von S. (4-8)

Tiefpass: $$\frac{U_a}{U_e} = \frac{1}{1 + j\omega C_2 (R_1 + R_2) + (j\omega)^2 C_1 C_2 R_1 R_2}$$ ✓

$$\omega \to 0 \Rightarrow \frac{U_a}{U_e} = 1$$ ✓

8P

$$\omega \to \infty \Rightarrow \frac{U_a}{U_e} \approx \frac{1}{(j\omega)^2 C_1 C_2 R_1 R_2} \to 0$$ ✓

b) $$\frac{1}{\sqrt{2}} = V|_{fg}$$ $R_1 = R_2 = 10\,k\Omega$, $C_1 = 9{,}4\,nF$, $C_2 = 4{,}7\,nF$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \left| \frac{1}{1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + j\omega C_2 (R_1 + R_2)} \right|$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2)^2 + \omega^2 C_2^2 (R_1 + R_2)^2}}$$

$\Sigma = 0$ da $C_1 = 2C_2$, h = h

$$= \frac{1}{\sqrt{1 - 2\omega^2 \cancel{C_1 C_2 R_1 R_2} + \omega^4 C_1^2 C_2^2 R_1^4 + \cancel{\omega^2 C_2^2 4 R_1^2}}}$$ ✓

$$2 = 1 + 2\omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + \omega^2 C_2^2 4R_1^2 + \omega^4 C_1^2 C_2^2 R_1^4$$

$$0 = 1 + \omega^2 (2 C_1 C_2 R_1^2 + C_2^2 4R_1^2) \mp \omega^4 C_1^2 C_2^2 R_1^4$$ f

$$\cancel{\omega^2} \;\; 0 = \omega^4 \mp \omega^2 \left(\frac{2C_1 + C_2 \cdot 4}{C_1^2 C_2 R_1^2} \right) - \frac{1}{C_1^2 C_2^2 R_1^4}$$

SS / WS	Semester	Fach	Dozent
2002	E4	GN	MSS

Dirk Wißhusen E4l 1676584 12.4.02

noch 3 b)

$$\omega_{1/2}^2 = \frac{2(C_1+2C_2)}{2(C_1^2 C_2 R_1^2)} \pm \sqrt{\frac{(C_1+2C_2)^2}{C_1^4 C_2^2 R_1^4} + \frac{1}{C_1^2 C_2^2 R_1^4}}$$

$$= \frac{18{,}8\,nF}{44{,}22 \cdot 10^{-17} F\,sec^2} \pm \sqrt{48{,}11 \cdot 10^{15} \frac{F^2}{F^2 \cdot F^4 \Omega^4}}$$

$$= 425{,}15 \cdot \frac{10^6}{sec^2} \pm 219{,}35 \cdot 10^6 \frac{1}{sec^2}$$

$$\omega_1^2 = 644{,}5 \cdot 10^6 \frac{1}{sec^2}$$

$$\omega_2^2 = 205{,}8 \cdot 10^6 \frac{1}{sec^2}$$

$$\cancel{f_1 = \frac{1}{2\pi \, |\sqrt{\omega_1^2}|}} \qquad f_1 = \frac{|\sqrt{\omega_1^2}|}{2\pi} = \underline{4{,}04\,kHz}$$

$$\cancel{f_2 = \frac{1}{2\pi \, |\sqrt{\omega_2^2}|}} \qquad f_2 = \frac{|\sqrt{\omega_2^2}|}{2\pi} = \underline{2{,}28\,kHz}$$

zwei Frequenzen als Ergebnis können nicht richtig sein!

~~Zahlen erscheint mir der Wert zu hoch.~~

Weg richtig (aber umständlich)

Andere Überlegung:

$$f_g = \frac{1}{2\pi (C_1+C_2)(R_1+R_2)}$$

$$= \frac{1}{2\pi\,(14{,}1\,nF \cdot 20\,k\Omega)} = \underline{564\,Hz}$$

6P

Diese Überlegung scheint ebenfalls falsch zu sein, da ein Tiefpass, der nur bis ≈ 600 Hz Frequenzen durchlässt, nicht effektiv zu sein.

Es geht viel einfacher über einen Koeffizientenvergleich!

4. $U_a = 2 \cdot U_e + 0{,}5V^{-1} U_e^2 + 0{,}25V^{-2} U_e^3$

$U_{e0} = 0V$

$u_e(t) = 1V \cdot \cos(2\pi\, 1kHz\, t)$

Additionstheoreme aus Bartsch S. 354

a) $u_a(t) = 2V \cdot \cos(2\pi\, 1kHz\, t) + 0{,}5V \cos^2(2\pi\, 1kHz\, t) + 0{,}25V \cos^3(2\pi\, 1kHz\, t)$

$= 2V \cdot \cos(2\pi\, 1kHz\, t) + 0{,}5V \cdot \frac{1}{2}\left(1 + \cos(2\pi\, 2kHz\, t)\right) + 0{,}25V \cos^3(2\pi\, 1kHz\, t)$

$= 0{,}25V + 2V\cos(2\pi\, 1kHz\, t) + 0{,}25V\cos(2\pi\, 2kHz\, t) + 0{,}0625V\left(3\cos(\omega t) + \cos(3\omega t)\right)$

$= 0{,}25V$ Gleichanteil

$+ 2{,}1875\,V \cos(2\pi\, \underline{\underline{1kHz}} \cdot t)$ Grundschwingung

$+ 0{,}25V \cos(2\pi\, \underline{\underline{2}}kHz\, t)$ 1. Oberschwingung

$+ 0{,}0625V \cos(2\pi\, \underline{\underline{3}}kHz \cdot t)$ 2. Oberschwingung

b) $k = \frac{\sqrt{0{,}25^2 + 0{,}0625^2}}{\sqrt{2{,}1875^2 + 0{,}25^2 + 0{,}0625^2}} = 0{,}117 = \underline{\underline{11{,}7\,\%}}$

25 P

SS / WS	Semester	Fach	Dozent
2002	E4	GN	MSS

Dirk Wilshausen E4e 16 76584 12.7.02

5. $\cancel{U_0 = \sqrt{1mW \cdot 50\Omega} =}$

$P_{Tr}(dBm) = 30\,dBm \rightarrow P_{Tr} = 1mW \cdot 10^3 = 1W$ ✓

$\hat{u}_{Tr} = \sqrt{2}\sqrt{P_{Tr} \cdot 50\Omega} = \underline{10V}$

$P_{SB}(dBm) = 18\,dBm \rightarrow P_{SB} = 1mW \cdot 10^{1{,}8} = 63{,}1mW$

$\hat{u}_m = 2 \cdot \sqrt{2}\sqrt{P_{SB} \cdot 50\Omega} = \underline{5{,}02V} \approx \underline{5V}$ ✓

a) $m = \frac{\hat{u}_m}{\hat{u}_{Tr}} = \underline{\underline{\frac{1}{2}}} = \underline{\underline{50\%}}$ ✓

b) $\hat{u}_{max} = \hat{u}_{Tr} + \hat{u}_m = \underline{\underline{15V}}$ ✓

$\hat{u}_{min} = \hat{u}_{Tr} - \hat{u}_m = \underline{\underline{5V}}$ ✓

10P

c) $u_{AM} = \hat{u}_{Tr} \cdot \cos(2\pi \cdot 1MHz\, t)$
$+ \frac{\hat{u}_m}{2}\left(\cos(2\pi \cdot t(1MHz - 2kHz)) + \cos(2\pi t \cdot (1MHz + 2kHz\right.$

$= \hat{u}_{Tr} \cos(2\pi \cdot 1MHz\, t) + m\,\hat{u}_{Tr}^2 \cos(2\pi\, 1MHz\, t)\cos(2\pi\, 2kHz$

$= \hat{u}_{Tr} \cdot \cos(2\pi\, 1MHz\, t) \cdot (1 + m\,\hat{u}_{Tr} \cos(2\pi\, 2kHz\, t))$

$\Rightarrow u_1(t) = (1 + \hat{u}_m) \cos(2\pi\, 2kHz\, t)$ (✓)

$u_2(t) = \hat{u}_{Tr} \cos(2\pi\, 1MHz\, t)$ ✓

4P

Hier müssen 2 Spannungen addiert werden!

Werte für $\hat{u}_m$, $\hat{u}_{Tr}$?

SS / WS	Semester	Fach	Dozent
2002	E4	GN	MSS