

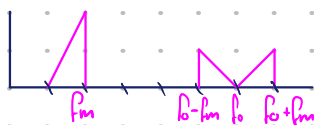
2.12.2019

# Digitale Modulation

$$Y(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi(t))$$

$$Y_{AM}(t) = a(t) \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

$$Y_{WM}(t) = a_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi(t))$$



Zweiseitenbandmodulation:  
Signal gespiegelt, gleiche Modulation enthalten

PDF 4) Present-lect-architecture-2009.pdf

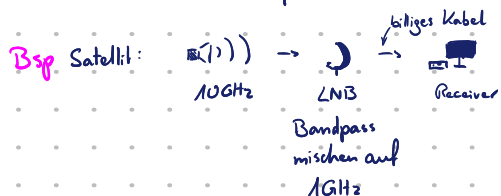
S. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9



Aufbau Phasen-Modulator

S.10) Warum Zwischenfrequenz und dann erst Sendefrequenz?

Man arbeitet auf einer Frequenz, auf der man gut arbeiten kann (Steilheit der Filter, ...) → mischen auf Sendefrequenz

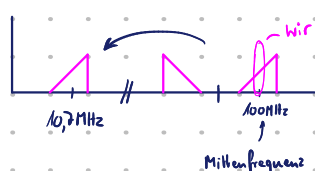


Ohne „Ummischen“ würde das Signal im Rauschen untergehen  
Bandpass „reinigt“ das Signal

S.11, 12, 13, 14

Bsp

f des Lokaloszillators, damit f „heruntergemischt“ wird?



Wir wollen einen schmalen Kanal rausfiltern (z.B. Radio)  
runtermischen, um rausfiltern zu können  
→ „Bandbreite zu Mittelfrequenz“ ist geringer

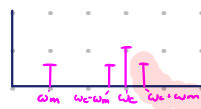
Möglichkeiten:  
89,3 MHz oder 110,7 MHz

↓  
110,7 und 121,4 werden runtermischt  
↳ Bandpass

4.12.2019

S.15)

Hilbert-Transformationsfilter mit Phasenverschiebung



Quadratur & Inphasen-Signale

S.16) s(t) hat nur noch 1/2 B

$$\begin{aligned} \sin(\alpha + \beta) &= \sin \alpha \cdot \cos \beta + \cos \alpha \cdot \sin \beta \\ \cos(\alpha + \beta) &= \cos \alpha \cdot \cos \beta - \sin \alpha \cdot \sin \beta \\ e^{j(\alpha + \beta)} &= \cos(\alpha + \beta) + j \sin(\alpha + \beta) \end{aligned}$$

S/7, 18, 19, 20, 21, 22, 23

Orthogonalität  
Quadratur  
Inphase.  
„Rechenregeln“  
Beispiel

$$\cos(\omega) = \frac{e^{j\omega} + e^{-j\omega}}{2}$$

$$\sin(\omega) = \frac{e^{j\omega} - e^{-j\omega}}{2j} = \frac{1}{2}(-j e^{j\omega} + j e^{-j\omega})$$

$$j \cos(\omega) = \frac{1}{2}(j e^{j\omega} + j e^{-j\omega})$$

$$j \sin(\omega) = \frac{1}{2}(e^{j\omega} - e^{-j\omega})$$

9.12.2019

$$\begin{cases} e^{jx} = \cos x + j \sin x \\ e^{-jx} = \cos x - j \sin x \end{cases}$$

$$e^{jx} + e^{-jx} = 2 \cos x$$

$$\cos x = \frac{e^{jx} + e^{-jx}}{2}$$

$$e^{jx} - e^{-jx} = 2j \sin x$$

$$\sin x = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j}$$

j... Drehung 90°

$e^{j\pi f t}$  Verschiebung  
im Spektrum

S24, 25, 26, 27, 28

„Erklär ois“

11.12.2019

PDF 4-1) Aufgaben zu Kapitel 4

$[\cdot - j]$  → Drehen um 90° im Uhrzeigersinn

Aufgabe 1, 2,

16.12.2019



Im Kreisradius  
wird das Symbol  
noch als solches erkannt  
Großer r → große Rauschleistung  
kleiner r → kleine Rauschleistung

Je nach Dämpfung  
→ mehr Symbole  
→ höheres SNR

Test-Wkd

$$P_s = 10 \text{ dBm}$$

$$G_t = 5 \text{ dB}$$

$$G_r = 3 \text{ dB}$$

$$\text{SNR}_{\min} = 10 \text{ dB}$$

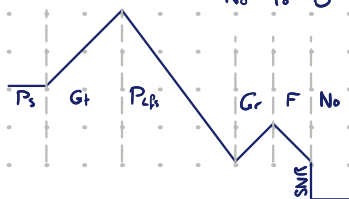
$$f = 868 \text{ MHz}$$

$$B' = 100 \text{ kHz} \hat{=} \text{„Spektrale Rauschleistung“} \cdot 10 \log(B') = 50 \text{ dB} \cdot \text{Hz}$$

$$F = 14 \text{ dB}$$

$$\eta_0 = -204 \text{ dBW/Hz} \hat{=} -174 \text{ dBm/Hz}$$

$$N_0 = \eta_0 \cdot B' \rightarrow N_0 = \eta_0 + B = -174 \text{ dBm/Hz} + 50 \text{ dB} \cdot \text{Hz} = -124 \text{ dBm} \hat{=} -154 \text{ dBW}$$



$$P_s + G_t + P_{L_f} + G_r + F - \text{SNR} = N_0$$

$$P_{L_f} = P_s + G_t + G_r - F - \text{SNR} - N_0$$

$$= 10 \text{ dBm} + 5 \text{ dB} + 3 \text{ dB} - 14 \text{ dB} - 10 \text{ dB} - (-124 \text{ dBm}) = 118 \text{ dB} \dots \text{max. Freifeldämpfung}$$

b) Freifeldämpfung via Kabel an Empfindlichkeitsgrenze

Keine Antenne, keine Freifeldämpfung, kein Gewinn

→ Rauschzahl bleibt erhalten

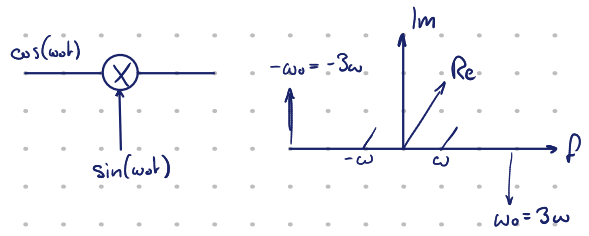
$$P_{L_{SE}} = P_{L_f} - G_t - G_r = 118 - 5 \text{ dB} - 3 \text{ dB} = 110 \text{ dB}$$

c) Erreichbare Distanz, Best Case (Freiraum)

$$P_{L_f} = 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)$$

$$\frac{P_{L_f}}{4\pi r} = 10^{\frac{P_{L_f}}{20}} \rightarrow r = \frac{\lambda}{4\pi \cdot 10^{\frac{P_{L_f}}{20}}} = 21,8 \text{ km}$$

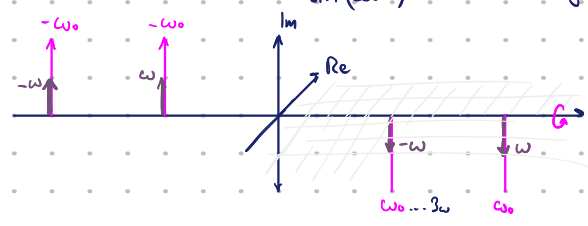
Wdh



$$\cos(\omega t) \cdot \sin(\omega t) = \frac{e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}}{2} \cdot \frac{e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}}{2j}$$

$$= \frac{\sin(\omega t) \cdot e^{j\omega t}}{\sin(\omega t) \cdot e^{-j\omega t}} = \frac{-j \cos(\omega t) e^{j\omega t}}{+j \cos(\omega t) e^{-j\omega t}}$$

+ j: Drehung  
+ j: Verschiebung



18.12.2019

05. present lec 9. bandpass pdf

ASK	Amplitude Shift Key
PSK	Phase Shift Key
BPSK	Binary Phase Shift Key

Taktung ist bei der Nachrichtentechnik sehr wichtig!  
↳ Taktinformation im Träger → Phasenlage korrigieren

S. 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12  
Naturfrage

Si-Funktion  
 $\frac{\sin(x)}{x}$

Digital Radio u. TV. pdf

## PLL

↳ Wikipedia / Phase Locked Loop (Phasenregelschleife)

Phasensynchron Takt lokal erzeugen

Phasenlage im Takt muss passen, damit man Demodulieren kann

↳ Empfänger muss bei Änderung nachziehen (z.B. SAT)

### Betriebsbereiche

- Regelbereich, in dem die PLL phasensynchron 'eincastet' kann (Schleifenfilter)

S. 13, 14, 15, 16, 18

Phasengleichheit  
+ Takt

kohärenter Empfang: lokaler Oszillator zum Sendesignal synchronisieren (Restinformation vom Träger zum sync. notwendig)  
nicht kohärent: einfacher Hüllkurvendetektor

8.1.2020

Bsp 24GHz Funkmodul, 2 Häuser mit Sichtverbindung

Empfänger:  
Bandbreite  $B = 500 \text{ kHz}$   
min. SNR  $12 \text{ dB}$   
Rauschzahl  $F = 16 \text{ dB}$

Gewinn  $G_s = G_e = 7 \text{ dB}$   
Sendeleistung  $P_T = 100 \text{ mW}$

a) Wellenlänge, equiv. Antennenfläche  $A_{\text{eff}}$ , Sendeleistung  $P_T'$  [dBm], EIRP'

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{24 \cdot 10^9} = 0,0125 \text{ m}$$

$$A_{\text{eff}} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot G_e = 6,23 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$P_T' = 10 \cdot \log(100 \text{ mW}) = 20 \text{ dBm}$$

$$\text{EIRP}' = P_T' + G_s = 20 \text{ dBm} + 7 \text{ dB} = 27 \text{ dBm} \hat{=} 500 \text{ mW}$$

b) ges.: Empfindlichkeit des Empfängers  $S_E$  & max. verfügbare Freifeldämpfung  $PL_{Fs}$  für die zugelassene EIRP von  $20 \text{ dBm}$ .

$$N = \underbrace{kT}_{\text{Rauschleistung}} + F + B = -174 \frac{\text{dBm}}{\text{Hz}} + 16 \text{ dB} + 10 \log(500 \cdot 10^3) = -101 \text{ dBm}$$

$$S_E = N + \text{SNR} = -101 + 12 \text{ dB} = -89 \text{ dBm}$$

$$P_{L_{SE}} = P_T' - P_E' = 20 - (-89) = 109 \text{ dBm}$$

$$PL_{Fs} = P_{L_{SE}} + G_s' + G_e' = 109 + 7 + 7 = 123 \text{ dBm}$$

c)  $PL_{Fs} = 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) = -100 \text{ dB} = 10^{-10}$   
 $\hookrightarrow d = 995 \text{ m}$

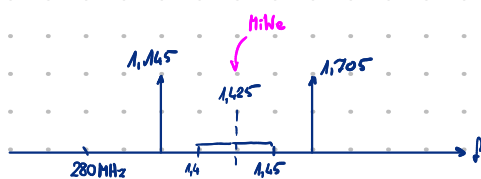
13.1.2020

Bsp ③ Ein Empfänger für ein Satellitentelefon soll entworfen werden.

Breitbandssignal:  $1,40 - 1,45 \text{ GHz}$

ZF-Filter:  $280 \text{ MHz}$

a) Mögliche LO-Frequenzen?



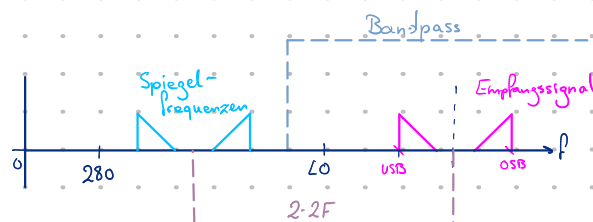
$$LO_{\text{Low}} = 1,145 \text{ GHz} \quad \text{MiWe} - ZF^{280}$$

$$LO_{\text{High}} = 1,705 \text{ GHz} \quad \text{MiWe} + ZF^{280}$$

Spiegelfrequenzen:

$$\text{Low: } 1,145 - 280 \text{ MHz} = 865$$

$$\text{High: } 1,705 + 280 \text{ MHz} = 1,985$$

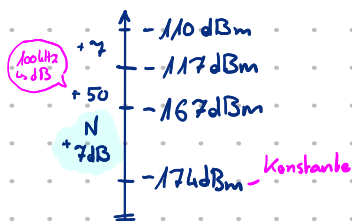


Band heruntermischen auf  $280 \text{ MHz}$   
 $1,4 \text{ GHz} - 280 \text{ MHz} = f_{LO}$

b) -

c) Rauschzahl, wenn LNA-Eingang Empfangspegel bis  $-110 \text{ dBm}$   
 $S/N = 7$   
 Bandbreite =  $100 \text{ kHz}$

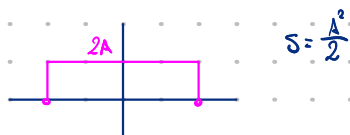
$P_r = -110 \text{ dBm}$



$\Rightarrow N = 57 \text{ dB}$

PDF ZHAW lec8 S.24-35

BPSK



Bsp Kap 8 - qpsk-olam: Fig. 8.14 i  
 8.14 ii  
 8.15  
 8.16  
 Pythagoras

15.1.2020

PDF ZHAW lec10

PDF ZHAW Übungen „U9.“

Produkt  $SNR \cdot \text{Bandbreite} = \text{konstant}$

$\hookrightarrow$  Doppelte Sendezet  $\rightarrow$  weniger Sendeleistung notwendig...

Bsp  $B = 20 \text{ kHz}$  auf  $10 \text{ kHz}$  verringert  
 $\hookrightarrow$  Auswirkung auf SNR?

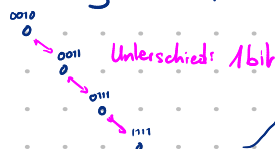
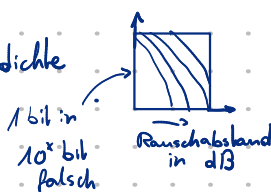
$\rightarrow$  Faktor 3 dB  $\Rightarrow$  SNR wird um 3 dB verbessert

Fehlerwahrscheinlichkeit

$\hookrightarrow$  Integral über Wahrscheinlichkeitsdichte

$\hookrightarrow$  „Q-Funktion“

$\hookrightarrow$  Voraussetzung:  
 Kodierung im Gray-Code



Diese Fläche = WSK, ob richtig empfangen wurde

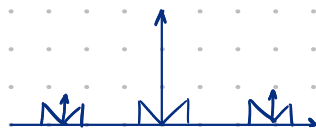
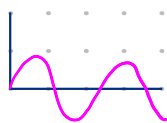
$\eta_0 = kTB$  ... spektrale Rauschleistungsdichte  
 $\eta_0 = 10 \log \left( 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 273 \text{ K} \right) = -204 \text{ dB/Hz}$   
 $N_0 = \eta_0 + B'$   
 $N = \eta_0 \cdot B$

20.1.2020

# MATCHED FILTER

## Faltung

↳ Wikipedia



sinus im f-Bereich

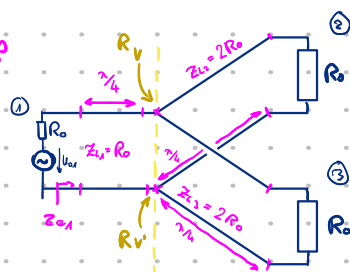
PDF lec8  
S. 1-22

Multiplikation im Zeitbereich → Faltung im Frequenzbereich

22.01.2020 Refrat  
> 15min

26.02.2020 Wiederholung ⇒ Bsp zum Test (mit anderem Wellenwiderstand) !

Bsp

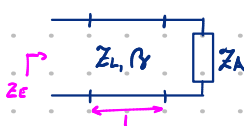


$$Z_e = f(l, Z_A, Z_L, \beta) = Z_A \frac{1 + j \frac{Z_L}{Z_A} \tan(\beta l)}{1 + j \frac{Z_A}{Z_L} \tan(\beta l)} = Z_A \frac{\frac{1}{\tan(\beta l)} + j \frac{Z_L}{Z_A}}{\frac{1}{\tan(\beta l)} + j \frac{Z_A}{Z_L}}$$

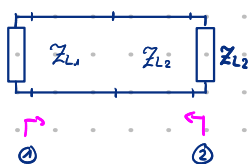
$$U_{(l)} = U_0 \cos(\beta l) + j I_0 Z_L \sin(\beta l)$$

$$I_{(l)} = I_0 \cos(\beta l) + j \frac{U_0}{Z_L} \sin(\beta l)$$

$$\beta l = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$$

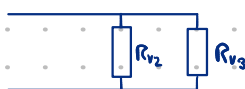


$$\begin{aligned} \text{für } l = \frac{\lambda}{4}: Z_e &= \frac{Z_L^2}{Z_A} \\ \text{für } l = \frac{\lambda}{2}: Z_e &= Z_A \end{aligned}$$



$$\textcircled{1}: \frac{Z_{L2} - Z_{L1}}{Z_{L1} + Z_{L2}}$$

$$\textcircled{2}: \frac{Z_{L1} - Z_{L2}}{Z_{L1} + Z_{L2}}$$



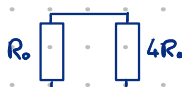
$$R_{v2} = R_{v3} = \frac{(2R_0)^2}{R_0} = 4R_0$$

$$\Rightarrow r_{e1} = \frac{\frac{R_0}{2} - R_0}{\frac{R_0}{2} + R_0} = -\frac{1}{3} = S_{11}$$



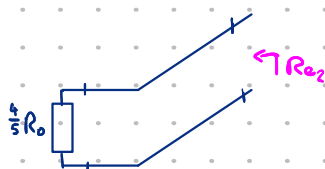
$$R_v = R_{v2} \parallel R_{v3} = 2R_0$$

$$R_e = \frac{R_0^2}{2R_0} = \frac{R_0}{2}$$

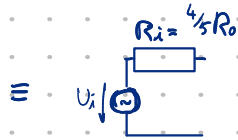
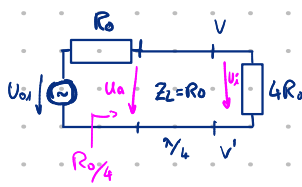


$$R_{e2} = \frac{(2R_0)^2}{\frac{4}{5}R_0} = 5R_0$$

$$\Rightarrow r_{e2} = \frac{5R_0 - R_0}{5R_0 + R_0} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3} = S_{22} = S_{33}$$



S<sub>21</sub>:



$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} = \frac{2U_2}{U_o}$$

$$\underline{U}_{(l)} = \underline{U}_o \cos(\beta l) + j I_o Z_L \sin(\beta l)$$

$$U_{(l/4)} = U_a = j I_o Z_L = j \frac{U_i}{4R_o} \cdot R_o$$

$$= j \frac{U_i}{4}$$

$$\frac{U_{o1}}{U_a} = \frac{R_o + R_o/4}{R_o/4} = \frac{4+1}{1} = 5$$

$$\hookrightarrow U_a = U_{o1}/5 \Rightarrow U_i = -j^{4/5} U_{o1}$$

$$U_{(l=3/4)} = U_v = j I_o Z_L = j \frac{U_2}{R_o} 2R_o = j 2 U_2$$

$$U_v = j 2 U_2 = 5/6 U_i$$

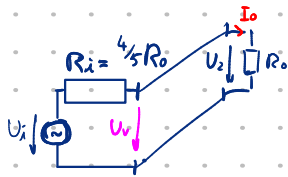
$$U_i/U_v = \frac{4/5 R_o + 4R_o}{4R_o} = \frac{6}{5}$$

$$U_i = j \frac{12}{5} U_2 = -j^{4/5} U_{o1}$$

$$3U_2 = U_{o1}$$

$$\frac{U_2}{U_{o1}} = -1/3$$

$$S_{21} = -2/3 = S_{31} \text{ (symmetrie)}$$

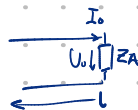


## Bsp Wnd Reflexionsfaktor

$$r(l) = \frac{U_r e^{\gamma l}}{U_h e^{\gamma l}} = \frac{U_r}{U_h} e^{-2\gamma l} =$$

$$U_{(l)} = U_h e^{\gamma l} + U_r e^{-\gamma l}$$

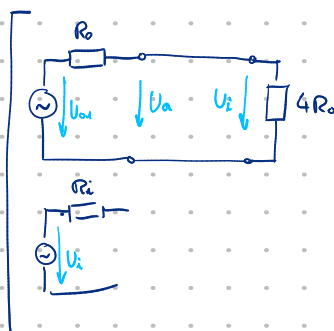
$$I_{(l)} = U_h e^{\gamma l} - U_r e^{-\gamma l}$$



$$U_o = U_h + U_r \rightarrow U_h = U_o + I_o \cdot Z_L$$

$$Z_L I_o = U_h - U_r \rightarrow U_r = U_o - I_o \cdot Z_L$$

$$r(l) = \frac{1/2(U_o - I_o Z_L)}{1/2(U_o + I_o Z_L)} e^{-2\gamma l} = \frac{U_o/I_o - Z_L}{U_o/I_o + Z_L} e^{-2\gamma l} = \frac{Z_A - Z_L}{Z_A + Z_L} e^{-2\gamma l}$$

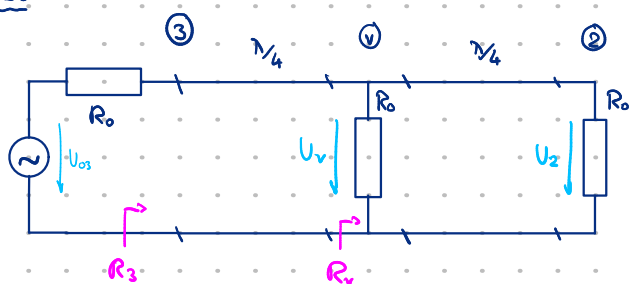


$$U_{(l)} = U_o \cos(\beta l) + j I_o Z_L \sin(\beta l)$$

$$U_a = j \frac{U_a}{4R_o} R_o = j \frac{U_i}{4}$$

02.03.2020

S<sub>23</sub>:



$$R_v = R_0 \parallel 4R_0 = \frac{R_0 \cdot 4R_0}{R_0 + 4R_0} = \frac{4R_0^2}{5R_0} = \frac{4}{5} R_0$$

$$U_v = j2R_0 \frac{U_2}{R_0} = j2U_2$$

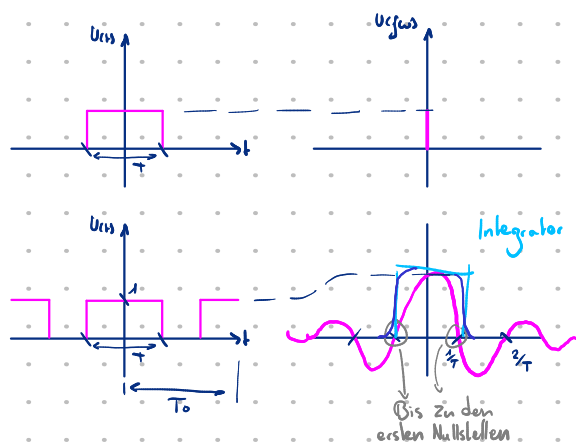
$$U_3 = j2R_0 \frac{U_v}{\frac{4}{5}R_0} = j2R_0 \frac{U_v}{\frac{4}{5}R_0} = j\frac{5}{2}U_v = \frac{5}{2} \cdot 2U_2 = -5U_2$$

$$\frac{U_3}{U_{03}} = \frac{R_3}{R_3 + R_0} = \frac{5R_0}{5R_0 + R_0} = \frac{5}{6}$$

$$S_{23} = \frac{2U_2}{U_{03}} = -\frac{2}{5} \frac{U_3}{U_{03}} = -\frac{1}{3} = S_{32}$$

9.3.2020

Wkd Matched Filter



Anfang: Siehe oben

Integrator ... Tiefpass  
Differenzierer... Hochpass

Matched Filter Funktionsprinzip

- Faltet das empfangene Signal mit allen Sendesignalen
- Empf weiß, welche Symbole zur Verfügung stehen
- Probiert alle durch
- Nimmt das, wo bei der Faltung das Meiste rausgekommen ist (Maximum)

Ü7 - Aufgaben zu Kapitel 6

- 1) Barker-Code (als Rechenbeispiel)