

# WCOM2, Laborbericht Lab 6 SDR krajiiva, muegglar

## Aufgabe 2 UKW-Rundfunk

b)

Aufgrund der FM erwarten wir zwei Cosinus-Schwingungen ( $I$ -,  $Q$ -Signal) mit einer variablen Frequenz, welche dem Faktor  $k_{FM} \cdot \int_0^t s_m(\tau) d\tau$  entspricht. Die maximalen bzw. minimalen Amplitudenwerte sind dabei konstant (in diesem Beispiel bei  $-1$  und  $1$ ), da die Informationen in der Phase stecken.

$$y_{FM}(t) = \cos\left(\omega_0 t + k_{FM} \int_0^t s_m(\tau) d\tau\right)$$

$$y_{FM\_BB}(t) = \cos\left(k_{FM} \int_0^t s_m(\tau) d\tau\right)$$

Die  $I$ - und  $Q$ - Signale sind ebenfalls  $90^\circ$  phasenverschoben, was mit der Theorie des  $IQ$ - Modulators übereinstimmt.

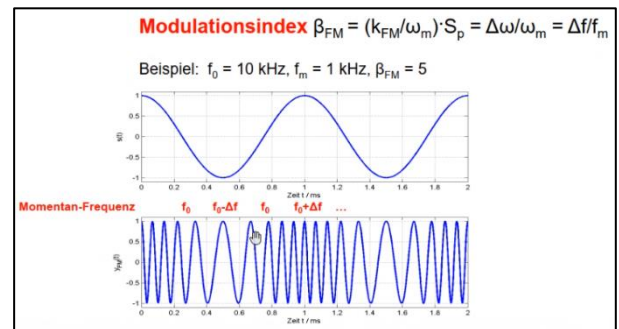


Abbildung 1: Frequenzmodulation

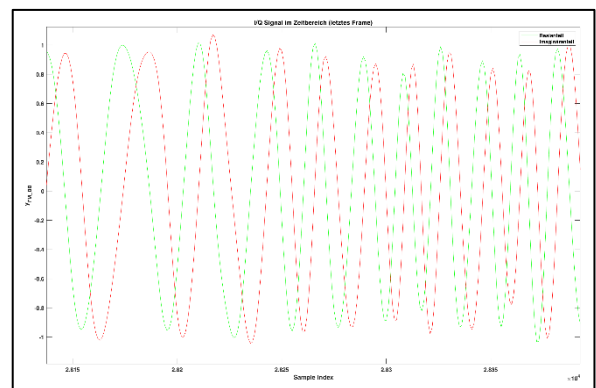


Abbildung 2: Phasenverschiebung  $I$ -,  $Q$ - Signal

c)

Die  $40 \text{ dB}$ -Bandbreite wurde folgendermassen bestimmt:

- Bestimme Peak-Wert bei  $94.6 \text{ MHz} \rightarrow -1.94 \text{ dB}$
- Bestimme die Frequenz bei «Peak-Wert  $-40 \text{ dB}$ » links von Peak-Wert  $\rightarrow 94.524 \text{ MHz}$
- Bestimme die Frequenz bei «Peak-Wert  $-40 \text{ dB}$ » rechts von Peak-Wert  $\rightarrow 94.676 \text{ MHz}$
- Differenz der beiden erhaltenen Frequenzen  $\rightarrow B_{40\text{dB}} \approx 152 \text{ kHz}$

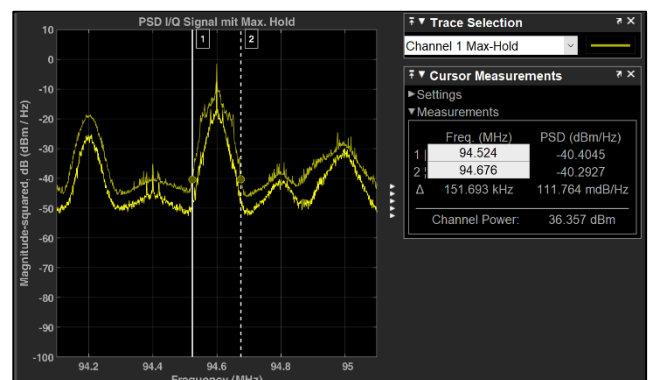


Abbildung 3: 40dB Bandbreite

Daraus ergibt sich in Abbildung 3 der folgende Wert:  $B_{40\text{dB}} \approx 152 \text{ kHz}$ .

Die Carson Bandbreite berechnet sich wie folgt, wobei  $\Delta f = 75 \text{ kHz}$  und  $f_m = 15 \text{ kHz}$  in der Aufgabenstellung definiert sind.

$$B_c \approx 2 \cdot (\beta_{FM} + 1) \cdot f_m = 2 \cdot (\Delta f + f_m) = 2 \cdot (75 \text{ kHz} + 15 \text{ kHz}) = 180 \text{ kHz}$$

Die Carson-Bandbreite ist eine Faustregel, welche eine pessimistische Abschätzung der Bandbreite liefert. Dies bedeutet, dass die eigentliche Bandbreite in den meisten Fällen kleiner als die Carson-

Bandbreite ist. Daher kann man nicht davon ausgehen, dass diese beiden Bandbreiten das gleiche Resultat liefern. Die hier verwendete Formel der Carson-Bandbreite erfasst Spektrallinien, welche Amplitudenwerte bis maximal 10 % des Trägers aufweisen.

Wie erwartet sind die beiden Bandbreiten in derselben Grössenordnung, wobei die 40 dB Bandbreite einen kleineren Wert aufweist. Abschliessend sei gesagt, dass die Bestimmung der Bandbreite bei FM nicht ganz so leicht ist. In der Praxis werden oft Besseltabellen verwendet.

Die menschliche Stimme belegt ein Frequenzspektrum bis ca. 20 kHz wobei in der Abbildung 4 ersichtlich ist, dass die tieferen Frequenzen bis ca. 2 kHz stark vertreten sind.

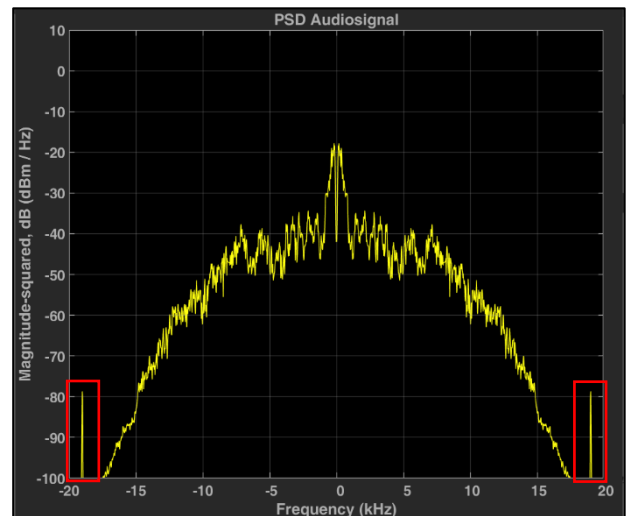


Abbildung 4: Audiosignal

d)

Das Ziel der Demodulation ist es, das Nachrichtensignal  $s_m(t)$  aus dem modulierten Signal wiederherzustellen.

$$y_{FM}(t) = \cos[\theta(t)] = \cos\left(\omega_0 t + k_{FM} \int_0^t s_m(\tau) d\tau\right)$$

Durch Ableitung der Phase des modulierten Signals kann das Nachrichtensignal zurückgewonnen werden. Die Ableitung wird numerisch durch eine Differenz des Winkels zweier benachbarter Samples realisiert. Um grosse Zahlenwerte und somit Audio-Clipping zu vermeiden, kann der Quotient  $\frac{1}{T_{\text{Sampling}}}$  weggelassen werden. Die Formel für die Momentanfrequenz im Basisband sieht wie folgt aus:

$$\omega_{FMBB}(k) \approx \frac{\Delta\theta_{BB}(k)}{T_{\text{Sampling}}} = \frac{\text{angle}[y_{FMBB}(k) \cdot y_{FMBB}^*(k-1)]}{T_{\text{Sampling}}} \approx k_{FM} \cdot s_m(k)$$

Das Matlabskript wurde wie folgt erweitert:

$$w_{fm\_bb} = \text{angle}(y_{fm\_bb}(2:\text{end}) \cdot \text{conj}(y_{fm\_bb}(1:(\text{end}-1))));$$

Das Audio-Signal des Radiosenders SRF1 ist nach einem kurzen Rauschen am Anfang hörbar.

e)

Der Pilotton (in Abbildung 4 rot eingezeichnet) ist nach dem Tiefpass bei  $\pm 19.01 \text{ kHz}$  mit einer ungefähren Amplitude von  $-80 \text{ dB}$  sichtbar.

## Aufgabe 3 Sekundärradarempfänger für DF11 Pakete

a)

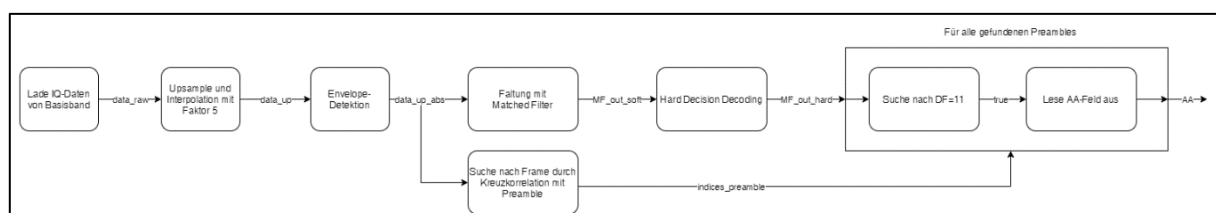


Abbildung 5: Funktionsblockdiagramm

b)

Aus der Envelope in Abbildung 6 ist ersichtlich, dass ein IQ-Datenframe  $66.75 \mu\text{s} - 2.583 \mu\text{s} = 64.167 \mu\text{s}$  lang ist. Dabei entsprechen  $10.5 \mu\text{s} - 2.583 \mu\text{s} = 7.917 \mu\text{s}$  der Präambel und  $66.75 \mu\text{s} - 10.5 \mu\text{s} = 56.25 \mu\text{s}$  dem Datenblock. Laut dem DF11 Paketformat in Abbildung 7 ist die Präambel  $8 \mu\text{s}$  und der Datenblock  $56 \mu\text{s}$  lang. Die Messung stimmt somit mit der Theorie sehr gut überein.

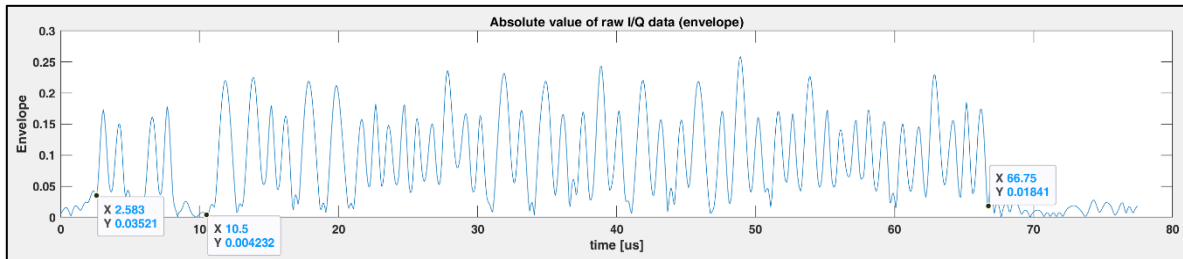


Abbildung 6: Envelope

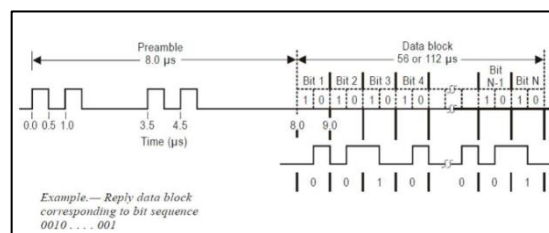


Abbildung 7: DF11 Paketformat

c)

Aus dem «Matched Filter Soft Output» in Abbildung 8 werden die Amplitudenwerte zu den jeweilig schwarzeingekreisten Zeiten abgelesen. Diese AA-Daten des «Matched Filter Soft Outputs» werden bei einer Hard Decision wie folgt gemacht:

$$MF_{hard} = \begin{cases} 1 & MF_{soft} > 0 \\ 0 & MF_{soft} \leq 0 \end{cases}$$

Dies ergibt folgende Binärdaten:

0100'0000'0111'0110'1100'1101

Dies ergibt hexadezimal 4076CD, welche ebenfalls im Matlab angezeigt werden.

AA: 4076CD time [s]: 0.176335

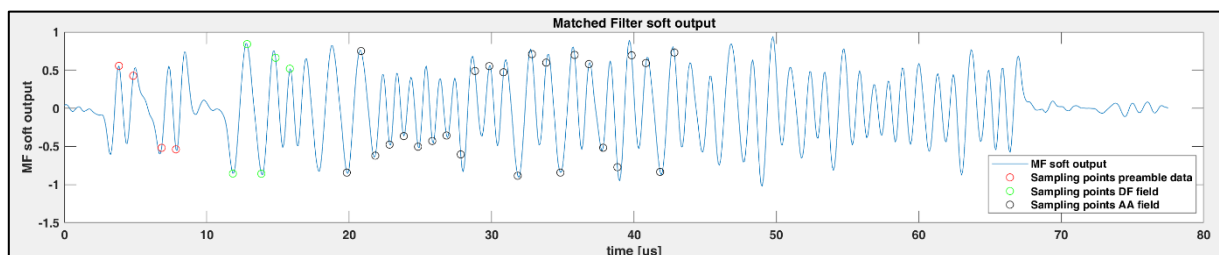
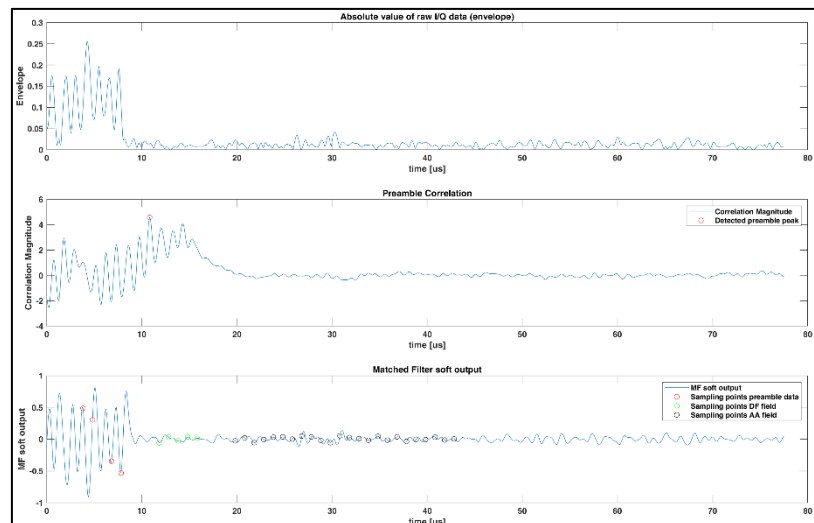


Abbildung 8: Matched Filter Soft Output

d)

Es werden Daten von insgesamt neun Paketen verarbeitet. Wobei zwei verschiedene AA vorkommen, 4076CD und 4F9D45. Die AA-Nummer 4F9D45, welche einmal empfangen wird, sieht auf dem Plot (Abbildung 9) nach einem Decodierungsfehler aus.

Einerseits kann aus der Abbildung 9 entnommen werden, dass fälschlicherweise eine Präambel detektiert wurde. Andererseits sind die Pegel im Datenblock bei einem korrekt decodiertem Frame beim «Matched Filter Soft Output» zwischen 0.4 – 2. Beim falsch decodiertem Frame sind die Pegel hingegen durchgehend unter 0.2. Dies lässt darauf schliessen, dass das Frame mit der AA: 4F9D45, aufgrund einer fehlerhaften Präambel-Detektion, falsch dekodiert wurde. Mit der Annahme, dass das Frame mit der AA: 4F9D45 falsch dekodiert wurde, wird effektiv nur ein Flugzeug mit der AA: 4076CD erkannt.



e)

Abbildung 9: Fehlerhafte Decodierung

Dekodierungsfehler könnten durch die Überarbeitung der Präambel-Detektion vermindert werden. In unserem Fall hätte man somit die AA: 4F9D45 gar nicht erst detektiert. Durch eine Fehlerschutzcodierung hingegen, könnten die Decodierungsfehler erkannt, aber nicht vermindert werden. Dazu könnte das PI-Feld im Paketformat verwendet werden, um ein Parity Check durchzuführen. In unserem Matlabskript ist dies jedoch nicht möglich, da dieses Feld mit der Interrogator ID, welche uns nicht bekannt ist, maskiert ist. Eine weitere Möglichkeit wäre es die AA via flightradar.com zu überprüfen. Diese Überprüfung könnte jedoch Fehler aufweisen, wenn fälschlicherweise eine gültige AA dekodiert wird.

f)

Das Flugzeug mit AA = 4076CD besitzt den folgenden Eintrag von Abbildung 10:

Flight history for aircraft - G-TTNJ			
AIRCRAFT	TYPE CODE	MODE S	
Airbus A320-251N	A20N	4076CD	
AIRLINE	Code	SERIAL NUMBER (MSN)	
British Airways	BA / BAW		
OPERATOR	Code	AGE	
British Airways	BA / BAW		

Abbildung 10: flightradar24.com

Das Flugzeug mit AA = 4F9D45 konnte nicht gefunden werden. Dies ist ein weiteres Indiz für einen Dekodierungsfehler.