



Amateurfunk Prüfungsvorbereitung

Klasse A

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

Methodik und Hinweis auf mögliche Fehler

Die richtigen Lösungen zu den Prüfungsfragen sind aus dem Fragenkatalog bekannt, hier geht es nur um den Weg dorthin.

- Bei Rechenaufgaben bekommst Du einen hoffentlich hinreichend nachvollziehbaren Lösungsweg präsentiert, der Dir zeigt, wie Du auf den richtigen Wert kommst.
- Bei Wissensfragen in Textform bekommst Du eine Argumentation, warum die richtige Lösung richtig und die anderen Lösungsvorschläge falsch sind.
- Außerdem bekommst Du die Hintergrundinformationen, die Du benötigst, um die Wissens-/Textaufgaben lösen zu können. Dies kann in vielen Fällen ausreichend sein, hängt aber auch von Deinen persönlichen Kenntnissen in Mathematik und Physik ab.
- Dieses Lernmaterial kann einen Amateurfunk-Prüfungsvorbereitungskurs vor Ort oder Online und/oder ein Lehrbuch selbstverständlich nicht ersetzen, sondern nur ergänzen.

Die Unterlage wurden nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Fehler sind jedoch nicht gänzlich auszuschließen ...

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

Überblick

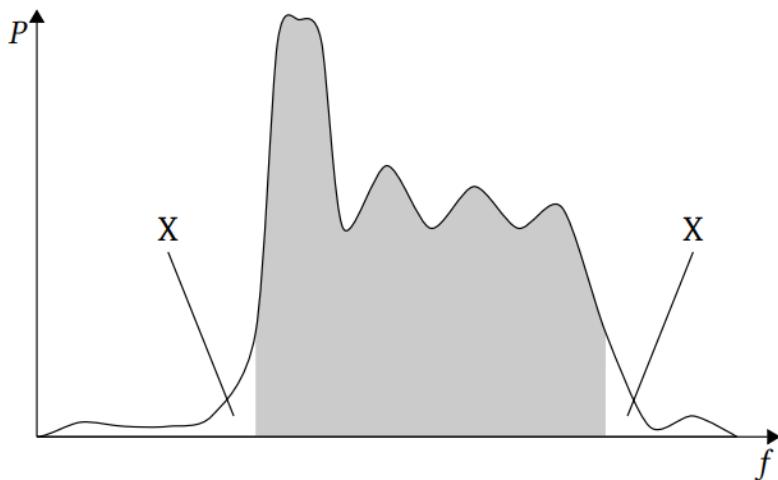
Kapitel	Thema	Fragen	Anzahl
5.5.1	Modulation allgemein	AE101	1
5.5.2	Amplitudenmodulation AM, SSB, CW	AE201 – AE214	14
5.5.3	Frequenz- und Phasenmodulation	AE301 – AE313	13
5.5.4	Digitale Übertragungsverfahren	AE401 – AE422	22
Summe			50

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.1 Modulation allgemein

AE101 Welcher Wert ist in folgender Aussage für X einzusetzen?

Die „belegte Bandbreite“ ist gemäß der Amateurfunkverordnung die Frequenzbandbreite, bei der die unterhalb ihrer unteren und oberhalb ihrer oberen Frequenzgrenzen ausgesendeten mittleren Leistungen jeweils X an der gesamten mittleren Leistung betragen.



A 0,5 %

B 1 %

C 5 %

D 10 %

Erklärung:

AFuV Stand: 27.5.2024

§ 2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser Verordnung ist

[...]

10. "belegte Bandbreite" die Frequenzbandbreite, bei der die unterhalb ihrer unteren und oberhalb ihrer oberen Frequenzgrenzen ausgesendeten mittleren Leistungen jeweils **0,5 %** der gesamten mittleren Leistung der Aussendung betragen;

[...]

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

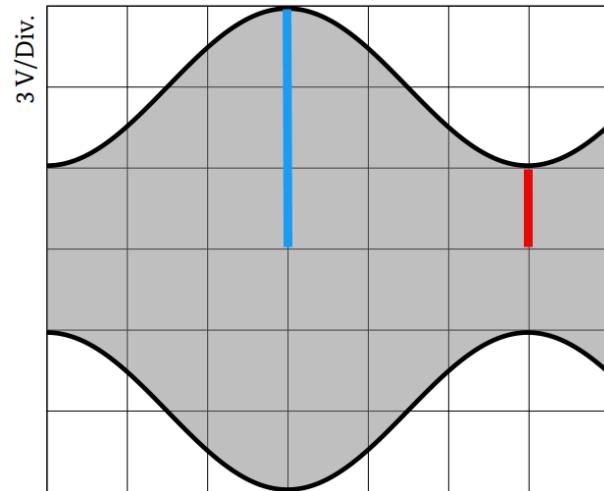
5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW / Modulationsgrad

Modulationsgrad / Modulation-Index – Definition und Berechnung über die Darstellung im Oszilloskop

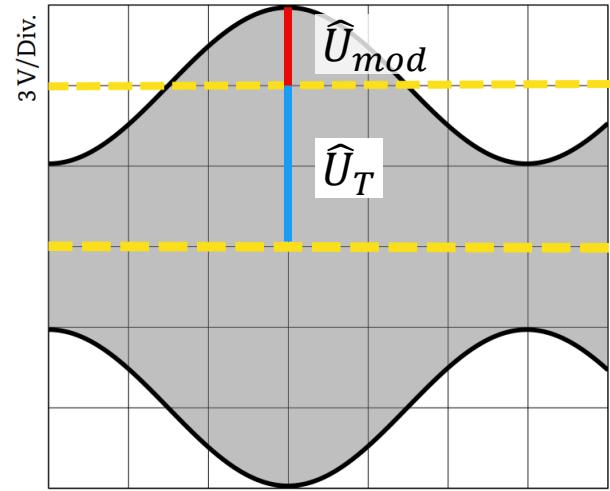
Man kann den Modulationsgrad anhand der minimalen und maximalen Amplituden am Oszilloskop bestimmen:

Blau
= Maximale Amplitude
= 3 Quadrate/Kästchen/Div
= 9 V

Rot = Minimale Amplitude
= 1 Quadrat/Kästchen/Div
= 3 V



Alternativ:



$$\text{Modulationsgrad } m = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} = \frac{3 - 1}{3 + 1} = \frac{9 V - 3 V}{9 V + 3 V} = \frac{2}{4} = \frac{6}{12} = \frac{1}{2} = 50\%$$

$$= \frac{\widehat{U}_{mod}}{\widehat{U}_T} = \frac{1}{2} = 50\%$$

\widehat{U}_{mod} = Spitzenspannung des NF – Modulationssignals und \widehat{U}_T = Spitzenspannung des Trägersignals

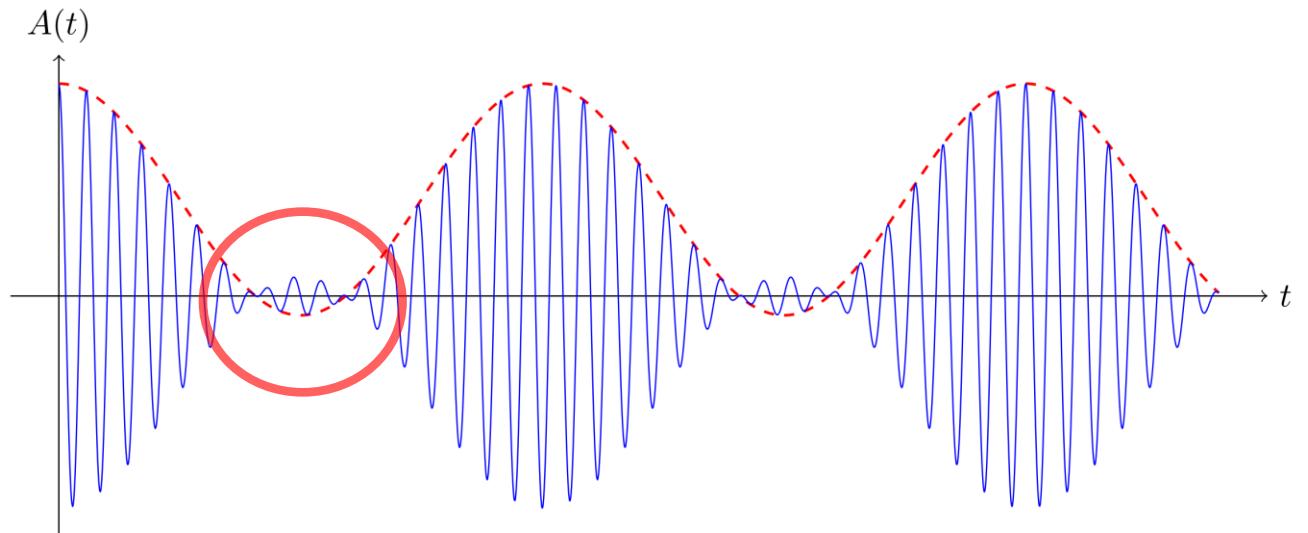
5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW / Modulationsgrad

Modulationsgrad / Modulation-Index

Der **Modulationsgrad kann auch größer als 1 sein**

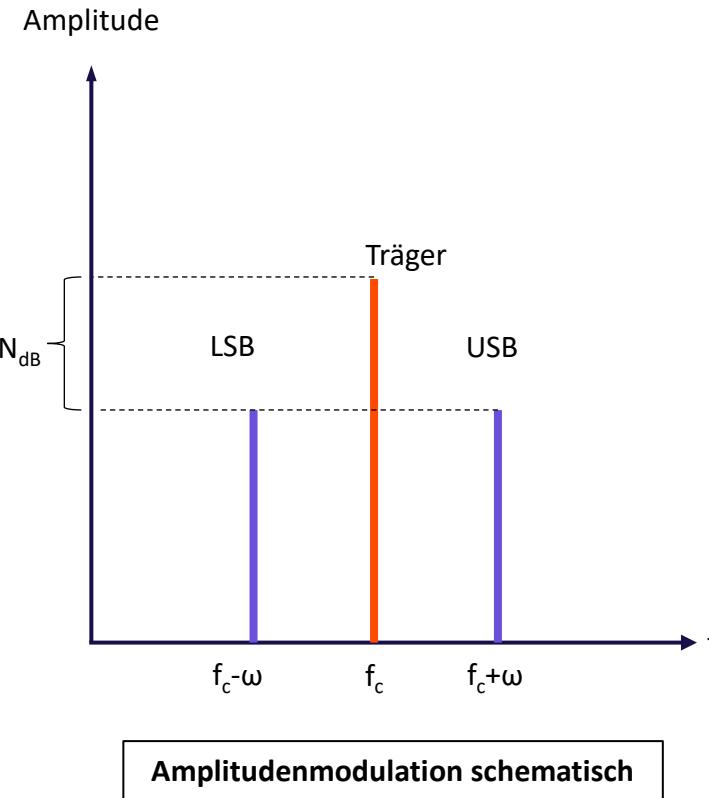
- bei **Übermodulation – rechts im Beispiel $m = 1.2$**
- Es tritt eine Phasenumkehr auf, wenn die Trägeramplitude unter die Nulllinie gelangen würde.
- Dies führt zu **zusätzlichen Seitenbändern**, die Interferenzen (= Störungen) auf benachbarten Frequenzen verursachen = **Splatter**.
- Die zusätzlichen Seitenbänder entstehen, weil der Phasensprung schnelle Änderungen im Signal verursacht, die nicht durch die ursprünglichen Seitenbänder dargestellt werden können. Diese schnellen Änderungen entsprechen höheren Frequenzkomponenten im Spektrum.



5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW / Modulationsgrad

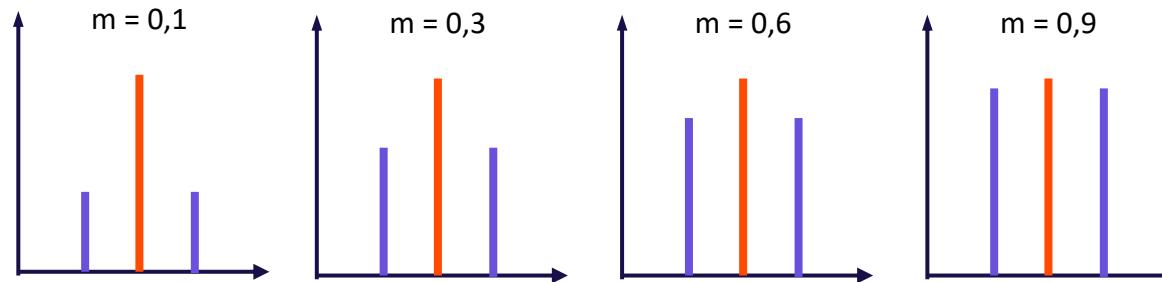
Modulationsgrad / Modulation-Index – mit Blick auf die Frequenzen



Der Modulationsindex kann auch als Verhältnis der Seitenbandamplituden im Vergleich zum Träger ($c = \text{carrier}$) ausgedrückt werden.

Das ist dann N_{dB} , angegeben in dBc

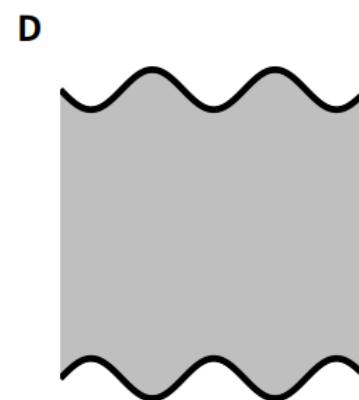
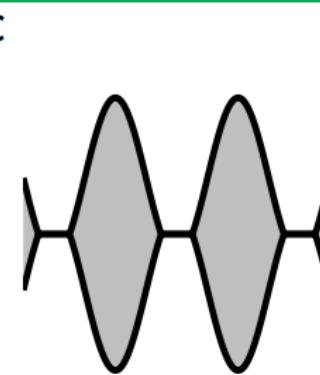
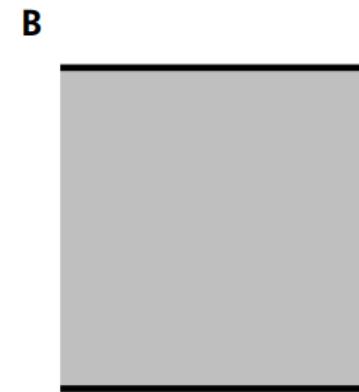
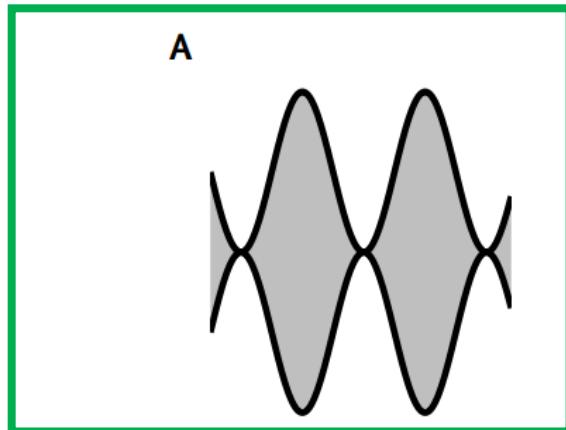
- normalerweise < 0
- Im Fall der Übermodulation auch > 0
- $N_{dB} = 20 \cdot \log_{10} \frac{m}{2}$



5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE201 In welcher Abbildung ist AM mit einem Modulationsgrad von 100 % dargestellt?



Erklärung:

$$\text{Modulationsgrad } m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}$$

Betrachte die minimalen und maximalen Amplituden!

A:

$$m = \frac{\max - 0}{\max + 0} = 1 (100\%)$$

B:

$$m = \frac{\max - \min}{\max + \min} = 0 (0\%)$$

C:

„min“ läge unterhalb von 0, wurde jedoch abgeschnitten
– das Signal ist übermoduliert.

D:

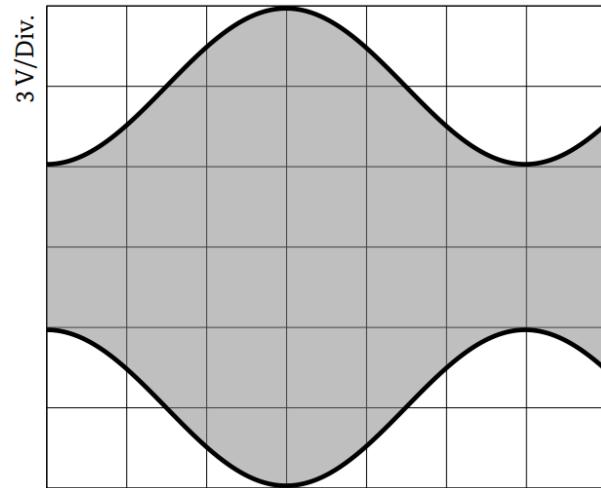
$$0 < m = \frac{\max - \min}{\max + \min} < 1$$

min und max sind verschieden, im Beispiel vielleicht
max = 11 und min = 9, daher m = 10%.
Das Signal ist untermoduliert.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE202 Das folgende Oszilloskopogramm zeigt ein AM-Signal.
Der Modulationsgrad beträgt hier ca.



A 50 %.

B 33 %.

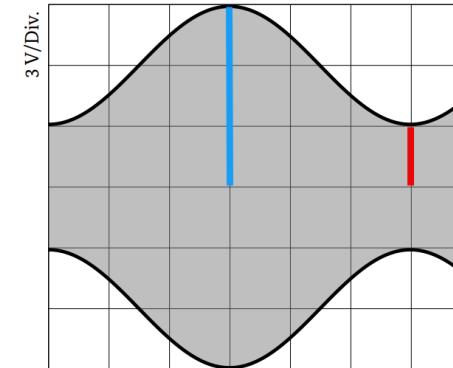
C 67 %.

D 75 %.

Erklärung:

b = Maximale Amplitude der Hüllkurve = 3

a = Minimale Amplitude der Hüllkurve = 1



$$\text{Modulationsgrad } m = \frac{a - b}{a + b} = \frac{3 - 1}{3 + 1} = \frac{2}{4} = 0,5$$

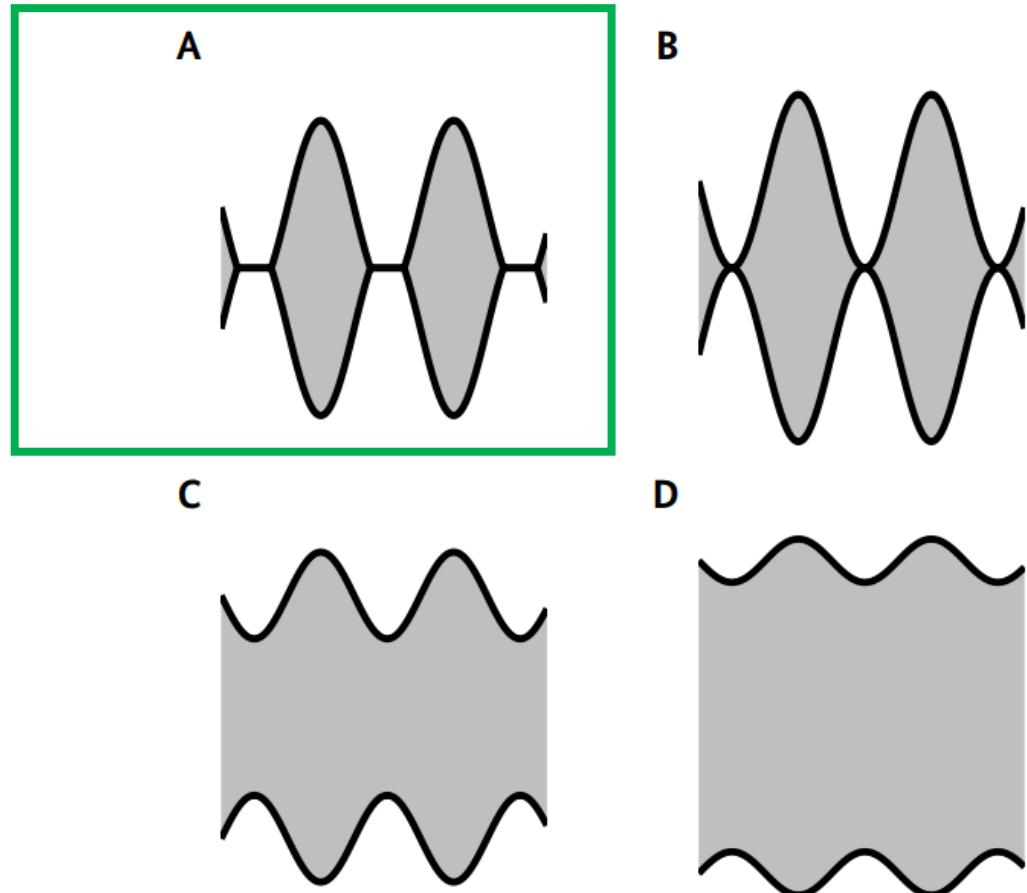
d. h. $m = 50\%$

Hier wurde mit "Kästchen" gerechnet
– es kann natürlich auch mit 9 V und 3 V
gerechnet werden. Das Ergebnis bleibt gleich.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE203 Welches Bild stellt die Übermodulation eines AM-Signals dar?



Erklärung:

A:

Siehe Frage AE201

B:

$$m = \frac{\max - 0}{\max + 0} = 1 \text{ (100%)}$$

C:

Annahme $\max=10$, $\min=4$

$$m = \frac{10 - 4}{10 + 4} = \frac{6}{14} = \frac{3}{7} \text{ (42,8%)}$$

D:

Annahme $\max=10$, $\min=8$

$$m = \frac{10 - 8}{10 + 8} = \frac{2}{18} = \frac{1}{9} \text{ (11,1%)}$$

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW / Seitenband-Splatter

Seitenband-Splatter

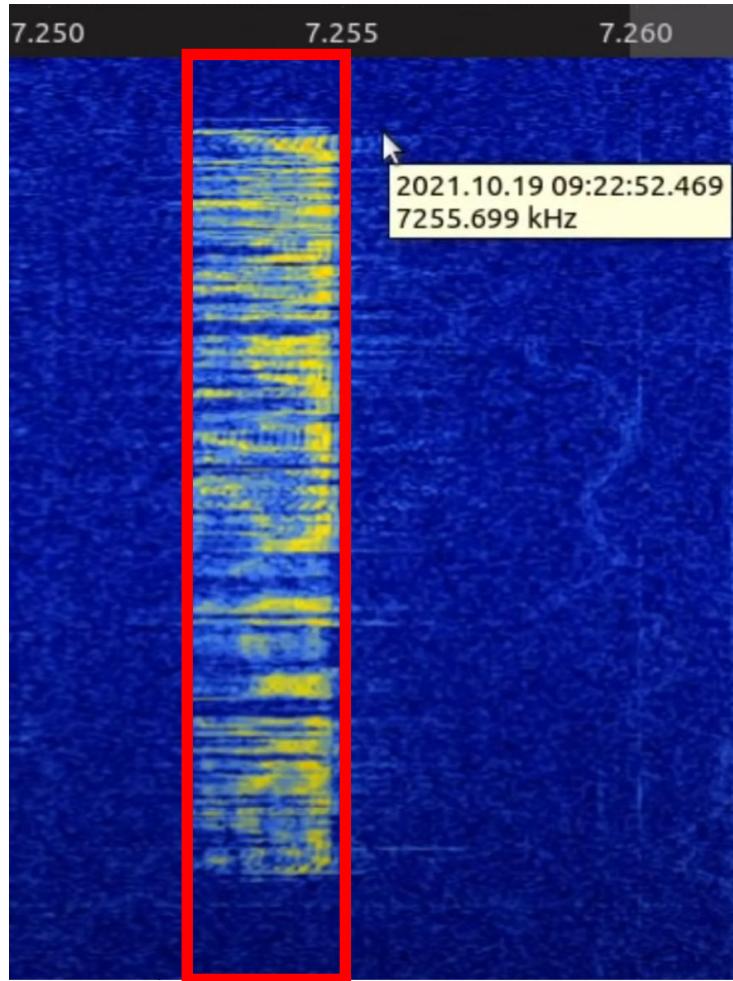
- unerwünschte Störungen auf Nachbarfrequenzen, die durch Übermodulation eines Signals entstehen.
- Bei AM-Signalen tritt Splatter auf, wenn der Modulationsgrad 100% übersteigt, was zu einer übermäßigen Erhöhung der Bandbreite des Senders führt.
- Bei SSB-Signalen führt Übermodulation ebenfalls zu ausgeprägten Splatter-Erscheinungen.

Vermeidung

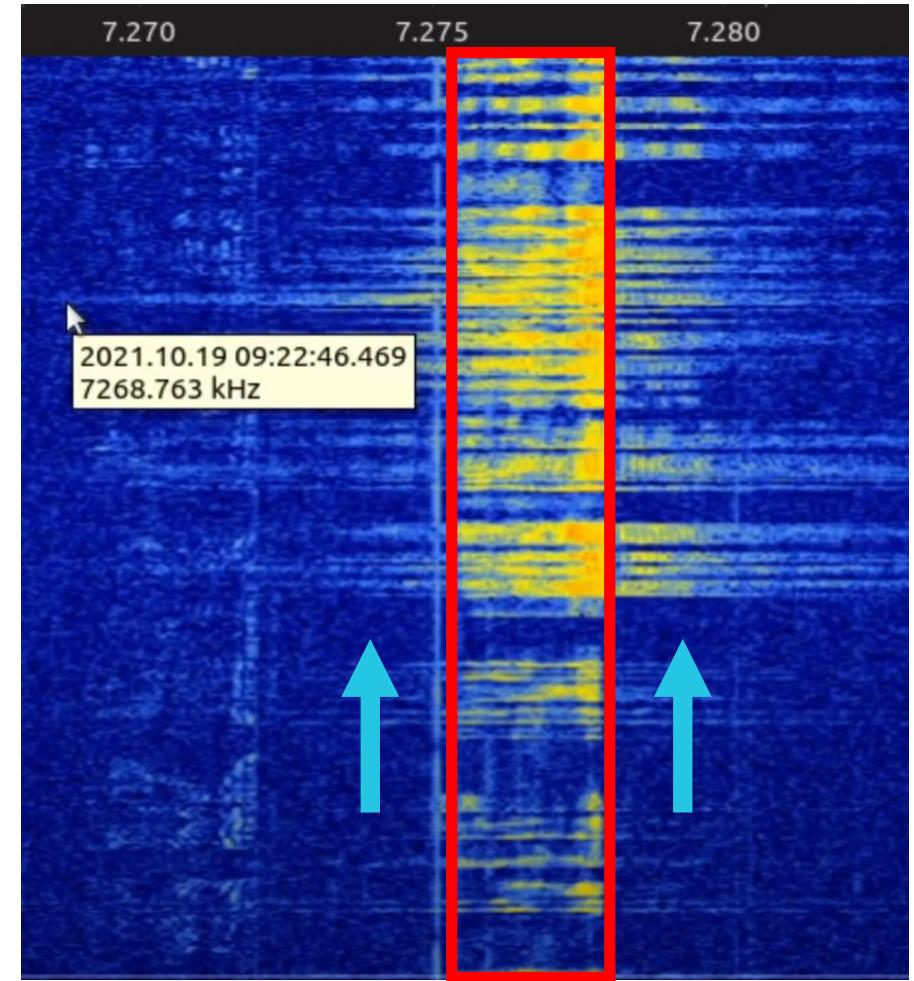
- Modulationsgrad eines AM-Signals < 100%
- Bei SSB-Transceivern die Mikrofonverstärkung nicht zu hoch einstellen, da dies zu Begrenzung in den Modulationsspitzen und zahlreichen Nebenprodukten im Spektrum führt.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW / Seitenband-Splatter im Wasserfalldiagramm



Sauberer SSB-Signal
innerhalb der gewünschten
Bandbreite von ca. 2,7 kHz



Signal mit Splatter
(hellblaue Pfeile) rechts
und links der gewünschten
Bandbreite von ca. 2,7 kHz

<https://www.youtube.com/watch?v=h-fKEswfC6Y>

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE204 Um Seitenband-Splatter zu vermeiden, sollte der Modulationsgrad eines AM-Signals unter ...

- A 100 % liegen.
- B 50 % liegen.
- C 75 % liegen.
- D 25 % liegen.

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folien

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE205 Ein übermoduliertes SSB-Sendesignal führt zu ...

A Splatter-Erscheinungen.

B Kreuzmodulation.

C verminderter Seitenbändern.

D überhöhtem Hub.

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folien

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW / Balanceemischer

Balanceemischer = Ringmodulator, Ringmischer oder Balance-Modulator

- spezielle Form eines elektronischen Mischers
- Vor allem in der HF- und Nachrichtentechnik

Aufbau

- Vier Dioden oder Transistoren in einer symmetrischen Ringschaltung,
- Zwei Eingänge für die zu mischenden Signale
- Einem Ausgang für das gemischte Signal

Funktionsweise

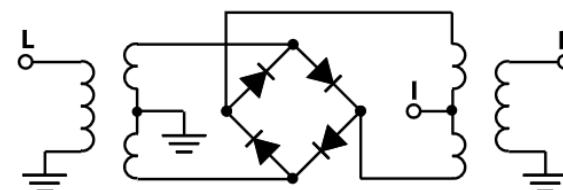
- Der Lokaloszillator schaltet abwechselnd zwei gegenüberliegende Dioden leitend, während die anderen beiden gesperrt sind. Dies führt zu einer Polwendung des Eingangssignals im Takt des Oszillatorsignals.
Durch den symmetrischen Aufbau werden die Eingangssignale am Ausgang maximal unterdrückt.

Vorteile

- Effektive Unterdrückung unerwünschter Ausgangssignale
- Gute Unterdrückung der Eingangssignale am Ausgang
- Geeignet zur **Erzeugung von Doppelseitenband-Signalen mit unterdrücktem Träger (DSB-SC)**
- Höhere Intermodulationsfestigkeit im Vergleich zu einfachen Mischern

Einsatz

- In Überlagerungsempfängern als symmetrische Mischer
- Zur Amplitudenmodulation
- In Sendern zur Erzeugung von DSB-SC-Signalen



Kein Brückengleichrichter!

Dioden alle gleicher Umlaufrichtung!

<https://www.minicircuits.com/pdfs/SBL-1+.pdf>

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE206 Welche Baugruppe sollte für die analoge Erzeugung eines unterdrückten Zweiseitenband-Trägersignals verwendet werden?

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folien

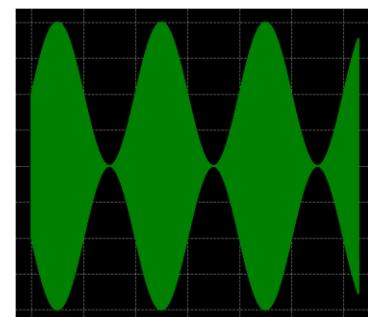
- A** Balancemischer
- B** Quarzfilter
- C** Bandfilter
- D** Demodulator

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW / Zweiton-Testsignal

Zweiton-Testsignale

- Spezielles Messsignal, das aus 2 diskreten Frequenzen besteht
- Häufig für Messungen und Analysen in der HF-Technik genutzt
 - Linearitätstests an SSB-Endstufen (PA)
 - Bestimmung von Intermodulationsproduktionen und nicht-linearen Verzerrungen in Systemen
 - Wichtig zur Qualitäts- und Leistungsbestimmung der getesteten Komponenten
- Typische Werte zwischen 5 kHz und 50 kHz
- Spitzenleistung (PEP) eines Zweiton-Signals 4-mal so hoch wie die Leistung jedes einzelnen Tons
- Im Frequenzspektrum als 2 diskrete Linien sichtbar.
- Darstellung im Oszilloskop:



<https://www.qrz.com/db/DK6UU>



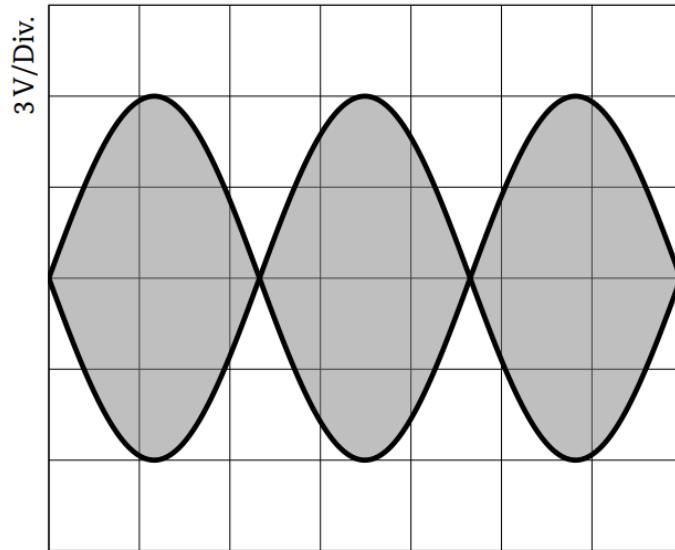
1200 und 1700 Hz, 5s

https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Two-tone_1200_1700.ogg

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE207 Das folgende Oszillogramm zeigt ...



Erklärung:

Siehe vorhergehende Folien

- A** ein typisches Zweiton-SSB-Testsignal.
- B** ein typisches Einton-FM-Testsignal.
- C** ein typisches 100 %-AM-Signal.
- D** ein typisches CW-Signal.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE208 Um Bandbreite einzusparen, sollte der Frequenzumfang eines NF-Sprachsignals, das an einen SSB-Modulator angelegt wird,
...

A 2,7 kHz nicht überschreiten.

B 1,8 kHz nicht überschreiten.

C 800 Hz nicht überschreiten.

D 15 kHz nicht überschreiten.

Erklärung:

Sprachübertragung

- Benötigt typischerweise den Frequenzbereich von 300 Hz bis 2,7 kHz
- guter Kompromiss zwischen Verständlichkeit und effizienter Nutzung des Frequenzspektrums.

Warum nicht B, C oder D?

- 1,8 kHz zu eng mit beeinträchtigter Sprachqualität
- 800 Hz erheblich zu wenig für verständliche Sprachübertragung
- 15 kHz viel zu breit für SSB und würde SSB-Vorteil (Bandbreiteneinsparung) zunichtemachen.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE209 Wie groß sollte der Abstand der Sendefrequenz zwischen zwei SSB-Signalen sein, um gegenseitige Störungen in SSB-Telefonie auf ein Mindestmaß zu begrenzen?

A 3 kHz

B 12,5 kHz

C 25 kHz

D 455 kHz

Erklärung:

Bandbreite SSB_{Sprache} ≈ 2,7 kHz
+ Sicherheitsaufschlag von 300 Hz
= Abstand von 3 kHz ist sinnvoll

- Gewährleistet eine klare Trennung
- Vermeidet Überlappungen

Warum nicht B, C oder D?

- 12,5 kHz, 25 kHz
 - deutlich zu breit mit der Folge einer ineffizienten Nutzung des Frequenzspektrums
- 455 kHz
 - eine typische Zwischenfrequenz in AM-Empfängern, auf die umgesetzt wird, um effizienter filtern und verstärken zu können.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW / NF-Dynamik-Kompressor

NF-Dynamik-Kompressor = Gerät, welches Dynamik eines Audiosignals zu bearbeitet

- **Verringerung des Dynamikumfangs: Der Unterschied zwischen den lautesten und leisesten Teilen wird kleiner.**
 - Reduzierung der Spitzen: Die lautesten Teile des Signals werden abgeschwächt.
 - Anhebung leiser Passagen: Die leiseren Teile werden verstärkt.
 - Erhöhung der durchschnittlichen Lautstärke: Das Gesamtsignal erscheint lauter, ohne die Spitzen zu übersteuern.
- **Erhöhung der durchschnittlichen Sendeleistung**
Verständlichkeit schwacher Empfangssignale wird bei SSB um ≥ 1 S-Stufe angehoben
- **Automatische Pegelanpassung**
Der Kompressor passt die Verstärkung automatisch an die Sprachlautstärke an, **ohne Verzerrungen oder Übersteuerungseffekte zu verursachen.**
- **Verbesserung der Signalqualität**
Erzeugung eines gleichmäßigeren Audiosignals
- **Aber Achtung: Eine zu hohe Kompression kann die Verständlichkeit verschlechtern!**

Typischerweise zwischen Mikrofon und Transceiver geschaltet, an-/abschaltbar.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE210 Was versteht man unter einem NF-Dynamik-Kompressor?

A Sprachprozessor zur Verringerung des Dynamikumfangs in der Modulation

B Sprachprozessor zur Erhöhung des Dynamikumfangs in der Modulation

C Signalprozessor zur Abtastung des HF-Signals

D Signalprozessor zur Abtastung des ZF-Signals

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folien

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE211 Welche Aufgabe hat der Dynamik-Kompressor in einem SSB-Sender?

- A** Die mittlere Sendeleistung wird verzerrungsarm angehoben.
- B** Die mittlere Sendeleistung wird abgesenkt.
- C** Der Dynamikbereich des Modulationssignals wird erhöht.
- D** Die Reichweite in CW wird erhöht.

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folien

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE212 Welche Folge hat eine zu hohe Kompressionseinstellung des Dynamik-Kompressors im SSB-Sender?

- A** Die Verständlichkeit des Audiosignals auf der Empfängerseite nimmt ab.
- B** Die Trägerunterdrückung nimmt ab.
- C** Die Modulation des Senders führt zur Zerstörung der Endstufe.
- D** Das Signal kann im Empfänger nicht demoduliert werden.

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folien

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE213 Welche Aufgabe hat der Equalizer in einem SSB-Sender?

A Er dient zur Anpassung des Mikrofonfrequenzgangs an den Operator.

B Er dient zur Erzeugung des SSB-Signals.

C Er dient zur Unterdrückung von Oberschwingungen im Sendesignal.

D Er dient zur Erhöhung der Trägerunterdrückung

Erklärung:

Ein Equalizer dient dazu,

- die tiefen Frequenzen (300-500 Hz)
- die mittleren Frequenzen (800-1200 Hz)
- die höheren Frequenzen (2500-2700 Hz)

um einige dB zu vermindern oder zu erhöhen.

Die Sprachverständlichkeit könnte z.B. mit einer Einstellung von

300 Hz +3 dB

800 Hz -4 dB

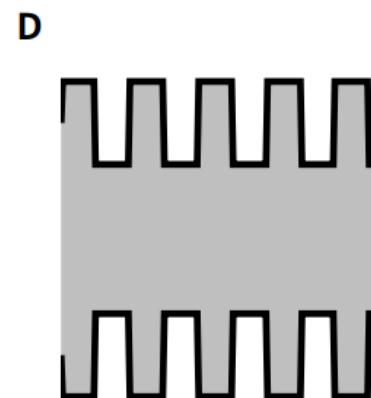
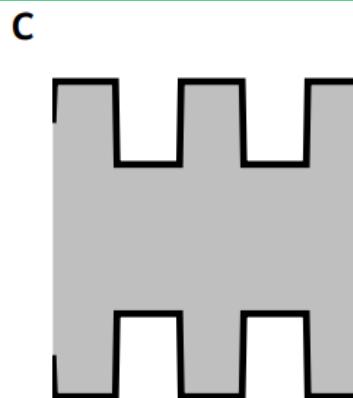
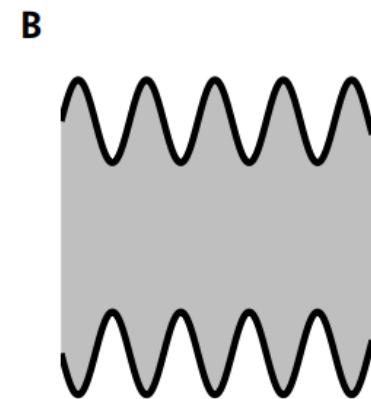
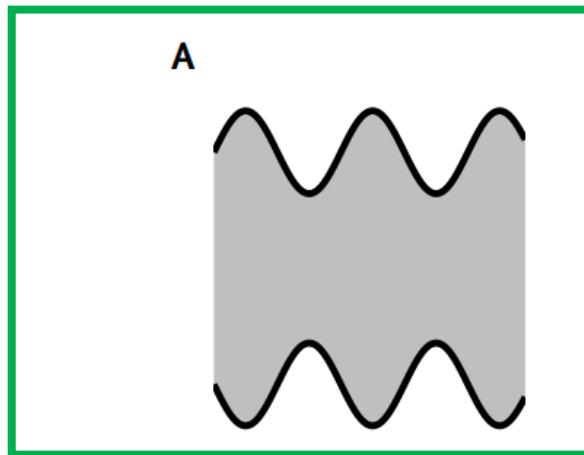
2900 Hz +6 dB

verbessert werden.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.2 Amplitudenmodulation AM, SSB, CW

AE214 Welches dieser amplitudenmodulierten Signale belegt die geringste Bandbreite?



Erklärung:

A, B:

Zu sehen ist die Hüllkurve des NF-Signals. Das Trägersignal wird hier nicht aufgelöst (graues Feld). Die Frequenz des modulierenden NF-Signals (f_{mod}) ist in A niedriger als in B und belegt daher auch weniger Bandbreite:

$$f_{A \text{ mod max}} < f_{B \text{ mod max}}$$

Es gilt:

Bandbreite

$$B = 2 \cdot f_{\text{mod max}}$$

C, D:

Rechtecksignale haben im Frequenzspektrum Oberwellenanteile und belegen dadurch eine größere Bandbreite als Sinussignale, die keinerlei Oberwellenanteile aufweisen – C und D scheiden daher aus.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE301 Wie beeinflusst die Frequenz eines sinusförmigen Modulationssignals den HF-Träger bei Frequenzmodulation?

- A In welcher Häufigkeit sich der HF-Träger ändert.
- B Wie schnell sich die Trägeramplitude ändert.
- C Wie weit sich die Trägerfrequenz ändert.
- D Wie weit sich die Trägeramplitude ändert.

Erklärung:

A:

Die Frequenz des Modulationssignals bestimmt, wie oft die Trägerfrequenz pro Sekunde geändert wird. Eine höhere Modulationsfrequenz führt zu einer häufigeren Änderung der Trägerfrequenz, während eine niedrigere Modulationsfrequenz zu einer selteneren Änderung führt – A ist korrekt.

B, D:

Bei der Frequenzmodulation bleibt die Trägeramplitude konstant – B und D scheiden aus.

C:

Die Frequenz des Trägers ändert sich proportional zur Amplitude des Modulationssignals – sie hängt nicht von der Änderung der Frequenz des Modulationssignals ab – C scheidet aus.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE302 Welches der nachfolgenden Übertragungsverfahren weist die geringste Störanfälligkeit gegenüber Impulsstörungen durch Funkenbildung in Elektromotoren auf?

A FM-Sprechfunk, weil hier die wichtige Information nicht in der Amplitude enthalten ist.

B CW-Morsetelegrafie, weil hier die wichtige Information in der Amplitude von zwei Seitenbändern liegt.

C SSB-Sprechfunk, weil hier die wichtige Information in der Amplitude eines Seitenbandes enthalten ist.

D AM-Sprechfunk, weil hier die wichtige Information in den Amplituden der beiden Seitenbänder enthalten ist.

Erklärung:

Was muss man wissen?

- Impulsstörungen durch Funkenbildung in Elektromotoren erzeugen
 - Amplitudenänderungen und
 - Breitbandstörungen
- FM
 - Information wird über Frequenz moduliert
 - daher relativ unempfindlich gegenüber Amplitudenschwankungen
 - A ist korrekt.
- AM, SSB, CW:
 - Information wird über Amplitude moduliert
 - daher anfällig für oben beschriebene Störungen
 - B, C und D scheiden daher aus.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE303 Eine Quarzoszillator-Schaltung mit Kapazitätsdiode ermöglicht es ...

- A Frequenzmodulation zu erzeugen.**
- B Zweiseitenbandmodulation zu erzeugen.**
- C Einseitenbandmodulation zu erzeugen.**
- D Amplitudenmodulation zu erzeugen.**

Erklärung:

Innerhalb einer Quarzoszillator-Schaltung mit Kapazitätsdiode moduliert die Kapazitätsdiode die Kapazität des Schwingkreises und damit die Frequenz des Oszillators und nicht die Amplitude.

Die Amplitude des NF-Signals, welches an der Kapazitätsdiode anliegt bewirkt eine Änderung der Sperrspannung, was zu einer Variation der Kapazität und somit zu einer Frequenzmodulation des Oszillators führt.

D.h. A ist korrekt und B, C und D scheiden aus.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE304 Eine zu hohe Modulationsfrequenz eines FM-Senders führt dazu, ...

- A** dass die HF-Bandbreite zu groß wird.
- B** dass die Sendeendstufe übersteuert wird.
- C** dass Verzerrungen auf Grund unerwünschter Unterdrückung der Trägerfrequenz auftreten.
- D** dass Verzerrungen auf Grund gegenseitiger Auslöschung der Seitenbänder auftreten.

Erklärung:

Die Frequenz des Modulationssignals bestimmt, wie oft die Änderung der Trägerfrequenz auftritt. Sie bestimmt also die Rate oder Häufigkeit, mit der diese Änderungen auftreten.

Im Hilfsmittel ist die Formel zu Bestimmung der HF-Bandbreite bei Frequenzmodulation genannt:

Carson-Bandbreite

$$B \approx 2 \cdot (\Delta f_T + f_{\text{mod max}})$$

Die Bandbreite ist also (unter anderem) proportional zur maximalen Modulationsfrequenz.

Steigt die maximale Modulationsfrequenz, steigt auch die benötigte Bandbreite.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

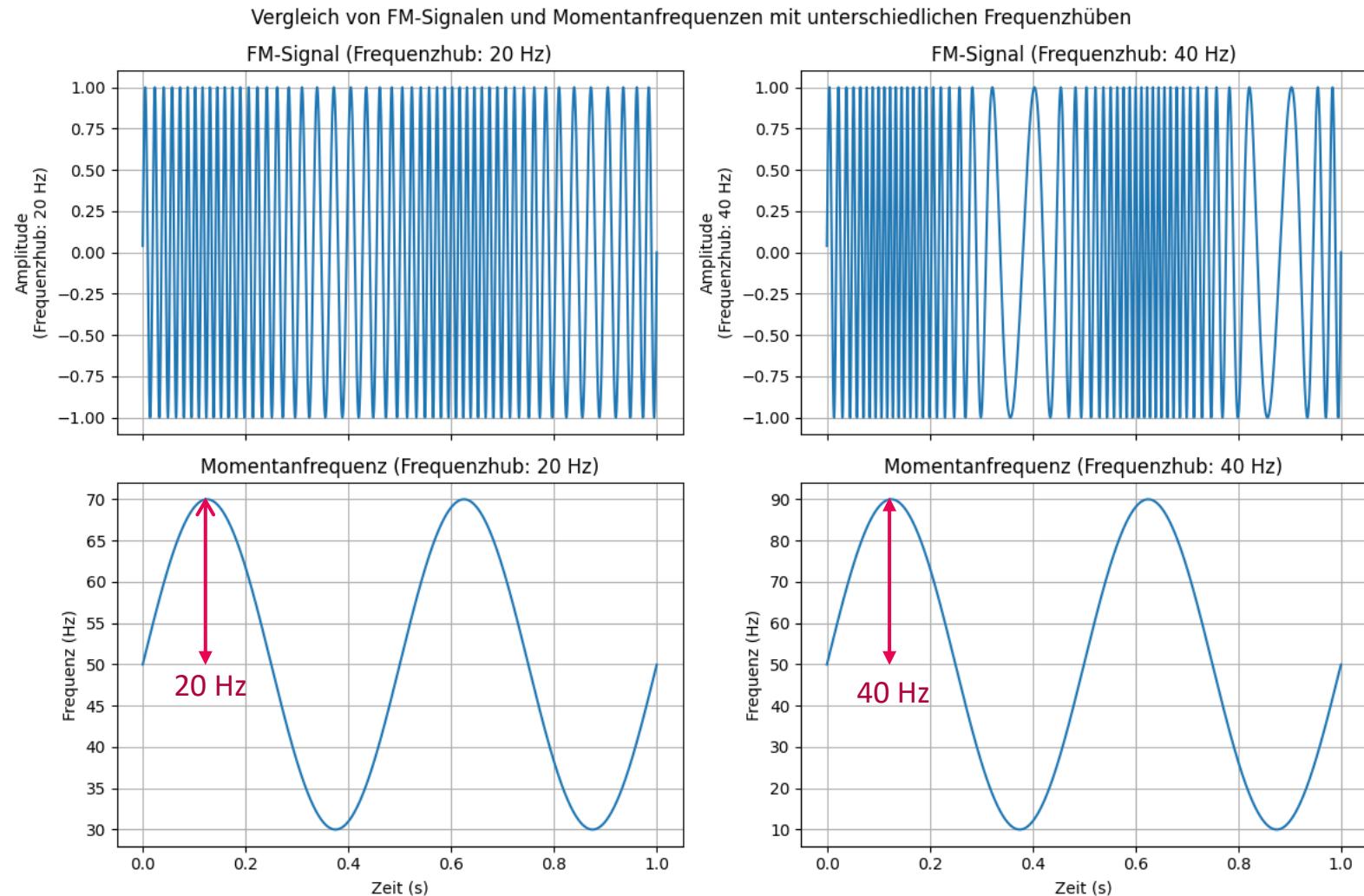
5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation / Frequenzhub Δf_T

Der Frequenzhub Δf_T bei der Frequenzmodulation (FM) beschreibt die maximale Abweichung der Trägerfrequenz von ihrer mittleren Frequenz, die durch das Modulationssignal verursacht wird.

Die Formel für den Frequenzhub Δf_T lautet:

$$\Delta f_T = k_f \cdot A_m$$

- k_f ist der Frequenzmodulationsindex (der Frequenzempfindlichkeitsfaktor des Systems), welcher angibt, wie stark das Modulationssignal die Trägerfrequenz beeinflusst.
- **A_m ist die Amplitude des Modulationssignals (also die maximale Signalstärke der Nachricht, die auf die Trägerfrequenz wirkt)**
= Lautstärke des NF-Signals.



5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE305 Was bewirkt die Erhöhung des Hubes eines frequenz-modulierten Senders im Empfänger?

- A Eine größere Lautstärke
- B Eine größere Sprachkomprimierung
- C Eine Verringerung des Signal-Rausch-Abstandes
- D Eine geringere Lautstärke

Erklärung:

Der Frequenzhub Δf_T ist proportional zu Amplitude des modulierenden NF-Signals.

Siehe vorhergehende Folie.

Das bedeutet:

Ein größerer Frequenzhub führt zu einer größeren Ausgangsamplitude des NF-Signals im Empfänger.

Das bedeutet, dass das Audiosignal lauter wird.

A ist korrekt.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE306 Eine FM-Telefonie-Aussendung mit zu großem Hub führt möglicherweise ...

- A** zu Nachbarkanalstörungen.
- B** zur Verminderung der Ausgangsleistung.
- C** zu unerwünschter Begrenzung des Trägerfrequenzsignals.
- D** zur Auslöschung der Seitenbänder.

Erklärung:

Ein zu großer Hub Δf_T führt zu einer zu großen Bandbreite (siehe Carson-Formel), da die Bandbreite proportional zum Hub ist:

Carson-Bandbreite

$$B \approx 2 \cdot (\Delta f_T + f_{\text{mod max}})$$

Eine Aussendung mit zu großer Bandbreite bewirkt ggf. Nachbarkanalstörungen.

Lösung A ist korrekt.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE307 Zu starke Ansteuerung des Modulators führt bei Frequenzmodulation zur ...

- A Erhöhung der HF-Bandbreite.**
- B Übersteuerung der HF-Endstufe.**
- C Verzerrung des HF-Sendesignals.**
- D Überlastung des Netzteils**

Erklärung:

Eine stärkere Ansteuerung des Modulators bedeutet übersetzt:

„Die Amplitude des modulierenden NF-Signals wird erhöht.“

Die HF-Bandbreite des frequenzmodulierten Signals ist gemäß Carson-Formel (siehe Hilfsmittel) proportional zum Frequenzhub des Trägers:

Carson-Bandbreite

$$B \approx 2 \cdot (\Delta f_T + f_{\text{mod max}})$$

Und der Frequenzhub des Trägers Δf ist proportional zur Amplitude des modulierenden Signals A_m :

$$\Delta f_T = k_f \cdot A_m$$

Daher führt eine stärkere Ansteuerung des Modulators zu einer Erhöhung der HF-Bandbreite.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE308 Wie groß ist die Bandbreite eines FM-Signals bei einer Modulationsfrequenz von 2,7 kHz und einem Hub von 2,5 kHz nach der Carson-Formel?

A 10,4 kHz

B 12,5 kHz

C 5,5 kHz

D 2,5 kHz

Lösung / Rechenweg:

$$B = 2 * (\Delta f_T + f_m)$$

Aufgabenstellung:

Modulationsfrequenz $f_m = 2,7 \text{ kHz}$

Hub $\Delta f_T = 2,5 \text{ kHz}$

Bandbreite $B = ?$

Einsetzen:

$$B = 2 \cdot (2,5 \text{ kHz} + 2,7 \text{ kHz}) = 2 \cdot 5,2 \text{ kHz}$$

$$B = 10,4 \text{ kHz}$$

Hinweis zur Formel:

- berücksichtigt etwa 98% der Signalenergie, d.h. es handelt sich um eine Approximation
- liefert eine gute Näherung für die benötigte Bandbreite in der Praxis.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE309 Ein Träger von 145 MHz wird mit der NF-Frequenz von 2 kHz und einem Hub von 1,8 kHz frequenzmoduliert. Welche Bandbreite hat das modulierte Signal ungefähr? Die Bandbreite beträgt ungefähr ...

- A 7,6 kHz
- B 3,8 kHz
- C 5,8 kHz
- D 12 kHz

Lösung / Rechenweg:

$$B = 2 * (\Delta f_T + f_m)$$

Aufgabenstellung:

$$f_m = 2 \text{ kHz}$$

$$\Delta f_T = 1,8 \text{ kHz}$$

Einsetzen:

$$B = 2 \cdot (2 \text{ kHz} + 1,8 \text{ kHz}) = 2 \cdot 3,8 \text{ kHz}$$

$$B = 7,6 \text{ kHz}$$

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE310 Der typische Spitzenhub eines NBFM-Signals im 12,5 kHz Kanalraster beträgt ...

- A 2,5 kHz.
- B 25 kHz.
- C 6,25 kHz.
- D 12,5 kHz.

Lösung / Rechenweg:

$$B = 2 * (\Delta f_T + f_m)$$

$$B = 12,5 \text{ kHz}$$

$$f_m = 3 \text{ kHz} \text{ (Sprachtypische Annahme)}$$

$$12,5 \text{ kHz} = 2 * (\Delta f + 3 \text{ kHz})$$

$$\Delta f_T = 3,25 \text{ kHz}$$

Nächster Wert ist 2,5 kHz (Lösung A), da in der Praxis ein kleinerer Spitzenhub verwendet wird, um Störungen auf Nachbarkanälen zu vermeiden.

B, C, D:

Spitzenhub	25 kHz	6,25 kHz	12,5 kHz
Bandbreite	56 kHz	18,5 kHz	21 kHz

Alle Bandbreitenwerte überschreiten 12,5 kHz.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE311 Die Bandbreite eines FM-Signals soll 10 kHz nicht überschreiten. Der Hub beträgt 2,5 kHz. Wie groß ist dabei die höchste Modulationsfrequenz?

- A 2,5 kHz
- B 1,5 kHz
- C 3 kHz
- D 2 kHz

Lösung / Rechenweg:

$$B = 2 * (\Delta f_T + f_m)$$

Aufgabenstellung:

$$f_m = ?$$

$$\Delta f_T = 2,5 \text{ kHz}$$

$$B = 10 \text{ kHz}$$

Einsetzen:

$$10 \text{ kHz} = 2 \cdot (2,5 \text{ kHz} + f_m)$$

$$5 \text{ kHz} = 2,5 \text{ kHz} + f_m$$

$$f_m = 2,5 \text{ kHz}$$

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE312 Die Bandbreite eines FM-Senders soll 10 kHz nicht überschreiten. Wie hoch darf der Frequenzhub bei einer Modulationsfrequenz von 2,7 kHz maximal sein?

- A 2,3 kHz
- B 7,7 kHz
- C 4,6 kHz
- D 12,7 kHz

Lösung / Rechenweg:

$$B = 2 * (\Delta f_T + f_m)$$

Aufgabenstellung:

$$\begin{aligned}f_m &= 2,7 \text{ kHz} \\ \Delta f_T &=? \\ B &= 10 \text{ kHz}\end{aligned}$$

Einsetzen:

$$10 \text{ kHz} = 2 \cdot (\Delta f_T + 2,7 \text{ kHz})$$

$$5 \text{ kHz} = \Delta f_T + 2,7 \text{ kHz}$$

$$\Delta f_T = 2,3 \text{ kHz}$$

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.3 Frequenz- und Phasenmodulation

AE313 Welche Antwort beschreibt die Modulationsart „PM“?

- A** Die Phase eines Trägersignals wird anhand eines zu übertragenden Signals verändert.
- B** Die Amplitude eines Trägersignals wird anhand eines zu übertragenden Signals verändert.
- C** Die Polarisation eines Trägersignals wird anhand eines zu übertragenden Signals verändert.
- D** Die Richtung eines Trägersignals wird anhand eines zu übertragenden Signals verändert.

Erklärung:

A:

PM steht für Phasen-Modulation – genau diese wird hier beschrieben. Die Phase des Trägersignals wird mit dem Nutzsignal (NF-Signal, Audio, ...) moduliert. A ist korrekt.

B:

Hier handelt es sich um AM – Amplitudenmodulation – B scheidet aus.

C:

Das würde die Kommunikation erheblich erschweren, da ein guter Empfang (d.h. ohne große Verluste) nur dann funktioniert, wenn Sender und Empfänger Antennen mit gleicher Polarisation verwenden – C scheidet aus.

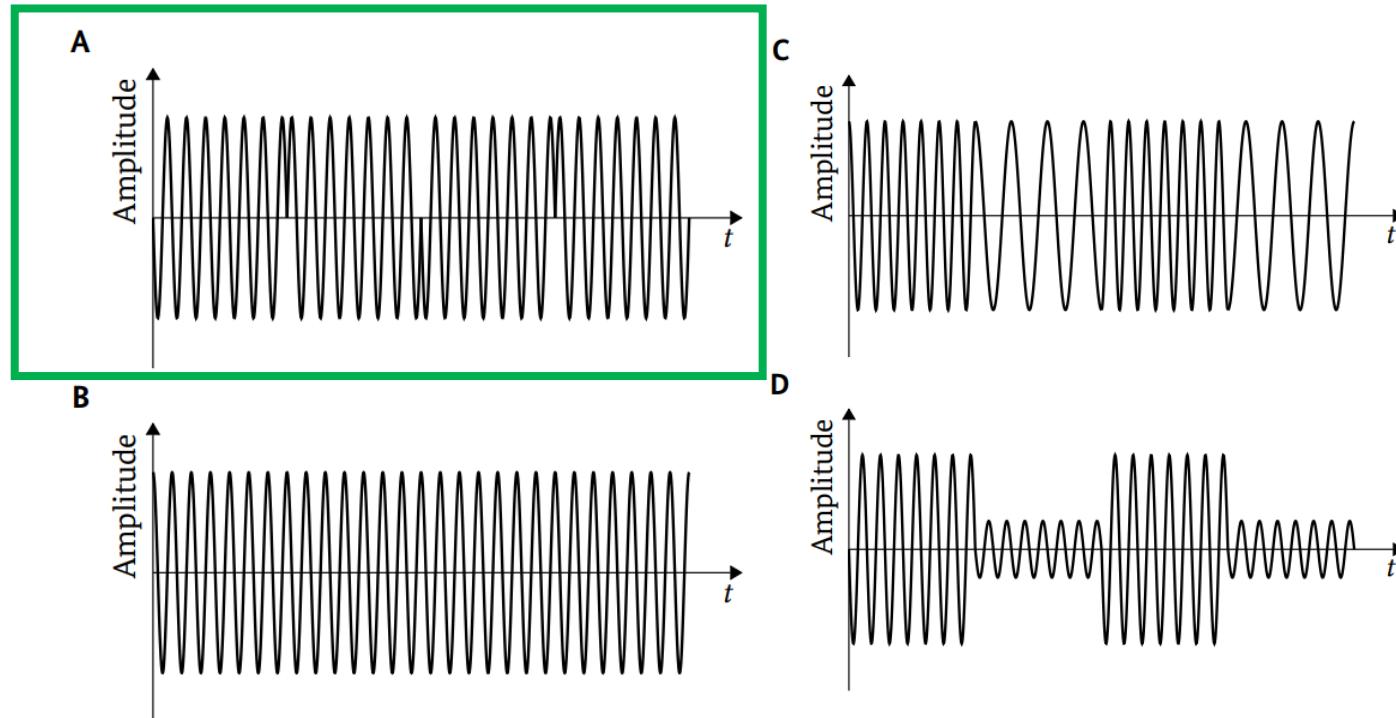
D:

Die Richtung wird verändert? – D scheidet aus. Wo wäre die Verbindung zu „PM“?

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.4 Digitale Übertragungsverfahren

AE401 Welches der folgenden Diagramme zeigt einen erkennbar durch Phasenumtastung (PSK) modulierten Träger?



Erklärung:

A:

Modulierter Träger mit Phasenumtastung (PSK), wie an den 3 kleinen Phasensprüngen erkennbar ist – A ist korrekt.

B:

Unmodulierter Träger ohne Tastung – B scheidet aus.

C:

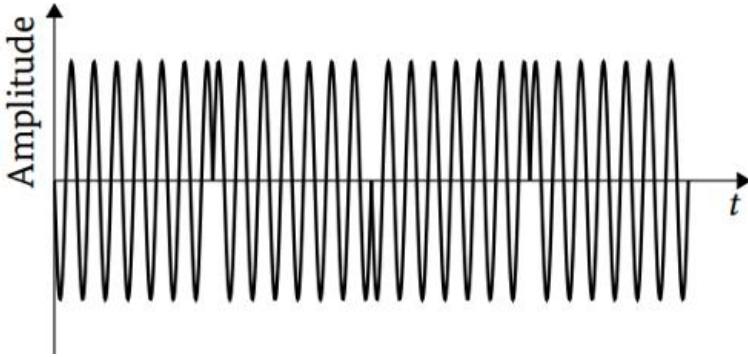
Modulierter Träger mit Frequenzumtastung (FSK). C scheidet aus.

D:

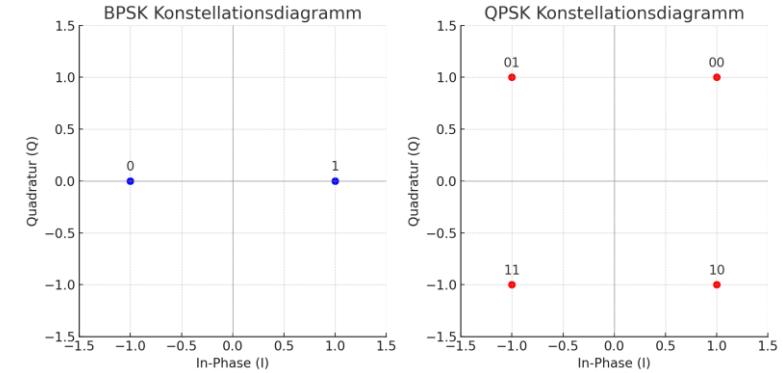
Modulierter Träger mit Amplitudenumtastung (ASK) – D scheidet aus.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

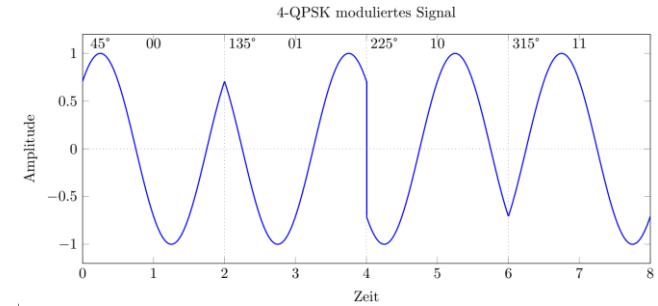
5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren / BPSK und QPSK



Grundlage für BPSK/QPSK:
PSK
Phase Shift Keying
Phasenumtastung
Modulation auf Basis der Phase



BPSK = Binary Phase Shift Keying	QPSK = Quadrature Phase Shift Keying
<p>Bei BPSK wird jedes Bit (=Symbol) durch eine Phase des Trägersignals repräsentiert. Es gibt zwei mögliche Phasen:</p> <ul style="list-style-type: none">• 0° für ein Bit „1“• 180° für ein Bit „0“ <p>Einfach zu implementieren und robust gegenüber Rauschen, aber wenig effizient: ca. 1 $\frac{\text{bit}}{\text{s} \cdot \text{Hz}}$</p>	<p>Bei QPSK wird jeweils ein Paar von Bits (=Symbol) durch eine Phase des Trägersignals repräsentiert. Vier mögliche Phasen:</p> <ul style="list-style-type: none">• 45° für „00“• 135° für „01“• 225° für „10“• 315° für „11“ <p>Etwas komplexer in der Implementierung als BPSK, empfindlicher gegenüber Phasenfehlern, aber effizienter: ca. 2 $\frac{\text{bit}}{\text{s} \cdot \text{Hz}}$</p>



5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE402 Was unterscheidet BPSK- und QPSK-Modulation?

- A Mit BPSK wird ein Bit pro Symbol übertragen, mit QPSK zwei Bit pro Symbol.
- B Mit QPSK wird ein Bit pro Symbol übertragen, mit BPSK zwei Bit pro Symbol.
- C Bei BPSK werden der I- und der Q-Anteil eines I/Q-Signals vertauscht, bei QPSK nicht.
- D Bei QPSK werden der I- und der Q-Anteil eines I/Q-Signals vertauscht, bei BPSK nicht.

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.4 Digitale Übertragungsverfahren / Quadraturamplitudenmodulation (QAM)

Quadraturamplitudenmodulation (QAM)

- **Modulationstechnik, die Amplituden- und Phasenmodulation kombiniert, um Daten effizient zu übertragen.**

QAM nutzt zwei orthogonale (senkrecht zueinander stehende) Trägerkomponenten:

- In-Phase-Komponente (I)
- Quadratur-Komponente (Q)

Diese sind um 90 Grad phasenverschoben und werden unabhängig voneinander mit separaten Datenströmen moduliert. Das resultierende Signal kodiert Informationen sowohl in der Amplitude als auch in der Phase.

Vorteile

- Höhere Datenraten durch Kodierung mehrerer Bits pro Symbol
- Effiziente Bandbreitennutzung
- Skalierbarkeit (z.B. 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM)
- Kompatibilität mit digitalen und analogen Systemen

Anwendungsbereiche

- Modems zur Datenübertragung
- DSL-Technik
- Digitales terrestrisches TV (DVB-T, DVB-T2)
- WLAN (Wi-Fi)
- Mobilfunkkommunikation
- Kabelnetzwerke
- Satellitenkommunikation

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE403 Wie werden Informationen bei der Quadraturamplitudemodulation (QAM) mittels eines Trägers übertragen? Durch ...

- A Änderung der Amplitude und der Phase**
- B nichtlineare Änderung der Amplitude**
- C separate Änderung des elektrischen und magnetischen Feldwellenanteils**
- D richtungsabhängige Änderung der Frequenz**

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE404 Wie wird Quadraturamplitudenmodulation (QAM) üblicherweise erzeugt? Durch ...

A Änderung der Amplituden und Addition zweier um 90° phasenverschobener Träger

B nichtlineare Änderung der Amplitude (Quadratfunktion bzw. Quadratwurzel)

C separate Änderung der Amplitude des elektrischen und magnetischen Feldwellenanteils

D richtungsabhängige Änderung der Frequenz (bzw. richtungsinvariante Änderung der Amplitude)

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE405 Bei einem digitalen Übertragungsverfahren (z. B. RTTY) wird die Frequenz eines Senders zwischen zwei Symbolfrequenzen (z. B. 14 072,43 kHz und 14 072,60 kHz) umgetastet, so dass pro Symbol ein Bit (0 oder 1) übertragen werden kann. Die Symbolrate beträgt 45,45 Bd. Welcher Datenrate entspricht das?

- A 45,45 bit/s
- B 90,9 bit/s
- C 22,725 bit/s
- D 181,8 bit/s

Erklärung:

Die Symbolrate beträgt 45,45 Baud (Bd), was bedeutet, dass 45,45 Symbole pro Sekunde übertragen werden.

Da jedes Symbol einem Bit entspricht, ist die Datenrate gleich der Symbolrate.

Datenrate = 45,45 Bit pro Sekunde (bps)

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE406 Bei einem digitalen Übertragungsverfahren (z. B. FT4) wird die Frequenz eines Senders zwischen vier Symbolfrequenzen (z. B. 14 081,20 kHz, 14 081,40 kHz, 14 081,61 kHz und 14 081,83 kHz) umgetastet, so dass pro Symbol zwei Bit (00, 01, 10 oder 11) übertragen werden können. Die Symbolrate beträgt 23,4 Bd. Welcher Datenrate entspricht das?

- A 46,8 bit/s
- B 11,7 bit/s
- C 23,4 bit/s
- D 93,6 bit/s

Erklärung:

Die Symbolrate beträgt 23,4 Baud (Bd), was bedeutet, dass 23,4 Symbole pro Sekunde übertragen werden.

Jedes Symbol wird in Form von 2 bit codiert, daher gilt hier:

$$\text{Datenrate} = 2 \cdot \text{Symbolrate}$$

$$\text{Datenrate} = 2 \frac{\text{bit}}{\text{Symbol}} \cdot 23,4 \frac{\text{Symbol}}{\text{s}}$$

$$\text{Datenrate} = 46,8 \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE407 Was versteht man bei der Übertragung von Daten unter Synchronisation?

- A Herstellung der zeitlichen Übereinstimmung zwischen Sender und Empfänger.
- B Automatischer Abgleich von Datenbeständen von zwei oder mehr Stationen.
- C Asynchrone Frequenzwechsel, bei denen der Empfänger den Sender sucht.
- D Anpassung der Sendeleistung synchron zu den Ausbreitungsbedingungen.

Erklärung:

A:

Das Wort „synchron“ bedeutet (altgriech.) „gleichzeitig“ oder „zeitlich übereinstimmend“ und betrifft hier die zeitliche Übereinstimmung zwischen **Sender** und **Empfänger**, da es um die **Übertragung** der Daten selbst geht – A ist korrekt.

B:

Hat zwar mit der Synchronisation von Daten zu tun, aber nicht was die Übertragung selbst betrifft – B scheidet aus.

C, D:

Haben nichts mit der Synchronisation von Daten zu tun – C und D scheiden aus.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE408 Wodurch kann die Datenmenge einer zu übertragenden Nachricht reduziert werden?

- A Quellencodierung
- B Kanalcodierung
- C Synchronisation
- D Mehrfachzugriff

Erklärung:

A:

Verfahren der Quellenkodierung sind Verfahren, die die zu übertragende Datenmenge reduzieren. A ist korrekt.

B:

Kanalcodierungsverfahren fügen Informationen hinzu, um eine Fehlerkorrektur zu ermöglichen – also das Gegenteil von Informationsreduktion – B scheidet aus.

C:

Synchronisation dient der Abstimmung zwischen Sender und Empfänger, reduziert aber nicht die Datenmenge – C scheidet aus.

D:

Mehrfachzugriff ermöglicht die gemeinsame Nutzung eines Übertragungsmediums, reduziert aber nicht die zu übertragende Datenmenge.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren – Kanalcodierer

Vorgriff auf:

5.6 Sender und Empfänger

5.6.6 Digitale Signalverarbeitung

Hauptaufgabe des Kanalcodierers

Fehlererkennung und -korrektur

Der Kanalcodierer ergänzt die ursprünglichen Daten mit zusätzlichen Bits (Fehlerkorrekturcode). **Diese Redundanz ermöglicht es dem Empfänger, Übertragungsfehler zu erkennen und zu korrigieren.**

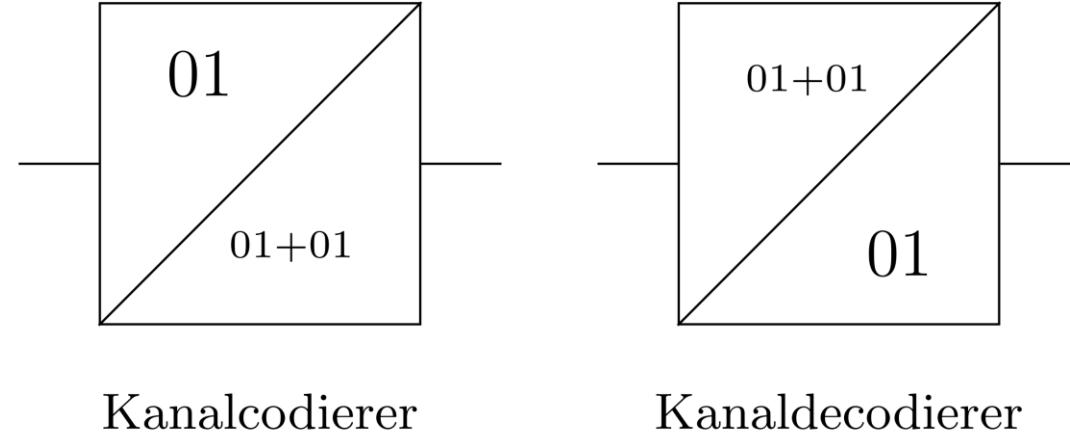
Fehler können durch Rauschen, Interferenzen, Signalverluste oder andere Störungen im Kommunikationskanal entstehen.

Funktionsweise

- Zusätzliche Bits werden den Daten hinzugefügt, um beschädigte oder fehlende Informationen rekonstruieren zu können.
- Die Redundanz wird so gestaltet, dass sie die Bandbreite oder den Speicherplatzbedarf nur minimal erhöht, während die Fehlerkorrekturfähigkeit maximiert wird.
- Selbst bei fehlerhaften Signalteilen kann der Empfänger mit hoher Wahrscheinlichkeit die ursprünglichen Daten korrekt wiederherstellen.

Robustheit und Effizienz

- Die Datenübertragung bleibt zuverlässig, auch bei gestörten Kanälen.
- Die Balance zwischen zusätzlicher Redundanz und Bandbreitennutzung sorgt für eine optimale Fehlerkorrektur.



5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE409 Was wird unter Kanalcodierung verstanden?

A Hinzufügen von Redundanz vor der Übertragung zum Schutz vor Übertragungsfehlern

B Kompression von Daten vor der Übertragung zur Reduktion der Datenmenge

C Verschlüsselung des Kanals zum Schutz gegen unbefugtes Abhören

D Zuordnung von Frequenzen zu Sende- bzw. Empfangskanälen zur häufigen Verwendung

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.4 Digitale Übertragungsverfahren - Zyklische Redundanzprüfung (CRC)

CRC (Cyclic Redundancy Check) oder zyklische Redundanzprüfung

Fehlererkennungsverfahren, das bei der digitalen Datenübertragung und Datenspeicherung eingesetzt wird. Es handelt sich um einen Algorithmus, der eine Prüfsumme für einen Datenblock berechnet, um die Integrität der Daten zu gewährleisten.

Berechnung

Ein sendendes Gerät berechnet für einen zu übertragenden Datenblock (variabler Länge) mittels eines vordefinierten Polynoms eine kurze Binärfolge, den CRC-Wert.

Übertragung

Der CRC-Wert wird an die Daten angehängt und zusammen mit ihnen übertragen oder gespeichert.

Überprüfung

Beim Empfang oder Lesen der Daten wird der CRC-Wert neu berechnet und mit dem übertragenen Wert verglichen.

Fehlererkennung

Stimmen die CRC-Werte nicht überein, enthält der Datenblock einen Fehler, und es können Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden.

Vorteile

- Hohe Zuverlässigkeit bei der Erkennung verschiedener Arten von Datenfehlern.
- Geringer Overhead durch den kleinen CRC-Prüfwert.
- Einfache und kostengünstige Implementierung in Hardware sowie schnelle und ressourcenschonende Arbeitsweise.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE410 Was wird unter zyklischer Redundanzprüfung (CRC) verstanden?

- A Ein Prüfsummenverfahren zur Fehlererkennung in Datenblöcken variabler Länge.**
- B Die fortlaufende Prüfung eines zu übertragenden Datenstroms auf Redundanz.**
- C Umlaufende (zyklische) Überwachung einer Frequenz durch mehrere Stationen.**
- D Wiederholte (zyklisch redundante) Prüfung der Amateurfunkanlage auf Fehler.**

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.4 Digitale Übertragungsverfahren / Fehlererkennung mit Paritätsbits

Paritätsbit (Parity Bit)

- Einfaches Fehlererkennungsverfahren – durch Zählung der 1-bits.
- Die Anzahl kann eine gerade oder eine ungerade Zahl sein.

2 mögliche Prüfverfahren	
Gerade Parität = Even Parity	Ungerade Parität = Odd Parity
<p>Das sogenannte Paritätsbit wird so gesetzt, dass die Gesamtanzahl der 1-bits inklusive Paritätsbit gerade ist.</p> <p>Bsp. 1011 = 3 Einsen. Paritätsbit = 1, damit insgesamt 4 (gerade Anzahl)</p>	<p>Das Paritätsbit wird so gesetzt, dass die Gesamtanzahl der 1-Bits ungerade ist.</p> <p>Bsp. 1011 = 3 Einsen. Paritätsbit = 0, damit insgesamt 3 (ungerade)</p>

Der Empfänger kann das Paritätsbit prüfen und

- eine ungerade Anzahl an Bit-Fehlern (1,3,5,...) erkennen (aber nicht korrigieren) (**1001 hat ein anderes Paritätsbit wie 1011**)
- eine gerade Anzahl an Bit-Fehlern (2,4,6,...) bleiben jedoch unbemerkt. (**0001 hat das gleiche Paritätsbit wie 1011**)

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE411 Eine digitale Übertragung wird durch ein einzelnes Prüfbit (Parity Bit) abgesichert. Der Empfänger stellt bei der Paritätsprüfung einen Übertragungsfehler fest. Wie viele Bits einschließlich des Prüfbits wurden fehlerhaft übertragen?

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

- A Eine ungerade Anzahl Bits**
- B Eine gerade Anzahl Bits**
- C Mindestens zwei Bits**
- D Maximal zwei Bits**

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE412 Eine digitale Übertragung wird durch ein einzelnes Prüfbit (Parity Bit) abgesichert. Der Empfänger stellt bei der Paritätsprüfung keinen Übertragungsfehler fest. Was sagt dies über die Fehlerfreiheit der übertragenen Nutzdaten und des Prüfbits aus?

- A Die Übertragung war fehlerfrei oder es ist eine gerade Anzahl an Bitfehlern aufgetreten.**
- B Die Übertragung war fehlerfrei oder es ist eine ungerade Anzahl an Bitfehlern aufgetreten.**
- C Die Übertragung war fehlerfrei.**
- D Die Nutzdaten wurden fehlerfrei, das Prüfbit jedoch fehlerhaft übertragen.**

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE413 Sie verwenden ein Datenübertragungsverfahren ohne Vorwärtsfehlerkorrektur. Wodurch können Datenpakete trotz Prüfsummenfehlern korrigiert werden?

- A Erneute Übertragung**
- B Wiederholte Prüfung**
- C Duplizieren der Prüfsumme**
- D I/Q-Verfahren**

Erklärung:

A:

Ohne Vorwärtsfehlerkorrektur können erkannte Fehler in den Datenpaketen nur durch erneute Übertragung korrigiert werden – A ist korrekt.

B:

Eine wiederholte Prüfung führt nicht dazu, dass die Datenpakete auf einmal korrigiert sind. Sie führt nur dazu, dass die Datenpakete immer noch schadhaft sind – B scheidet aus.

C:

Wie soll das Duplizieren der Prüfsumme die fehlerhaften Daten korrigieren? – C scheidet aus.

D:

Das I/Q-Verfahren ist ein Modulationsverfahren, aber kein Verfahren zur Korrektur von Datenpaketen – D scheidet aus.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren - Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC)

Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC = Forward Error Correction)

- **Methode zur Fehlererkennung und -korrektur, die bereits beim Sender zusätzliche Redundanz hinzufügt, sodass der Empfänger Fehler ohne erneute Übertragung beheben kann.**
- Dies ist besonders nützlich in Anwendungen, bei denen eine Rückübertragung nicht möglich oder ineffizient ist: Satellitenkommunikation, Mobilfunk (LTE, 5G), DVB (Digitales Fernsehen, z. B. DVB-T, DVB-S), Speichermedien (CD, DVD, SSDs)

Funktionsprinzip = Fehlererkennung + Fehlerkorrektur

- Anstatt nur die eigentlichen Daten zu übertragen, fügt der Sender zusätzliche Prüfbits (Redundanz) hinzu. Der Empfänger kann damit Fehler erkennen und korrigieren, ohne dass eine erneute Anfrage an den Sender notwendig ist.
- **Fehlererkennung**
Wie bei Paritätsbits oder CRC (Cyclic Redundancy Check) kann der Empfänger erkennen, ob Fehler aufgetreten sind.
- **Fehlerkorrektur**
Durch die zusätzliche Redundanz kann der Empfänger fehlerhafte Bits rekonstruieren.

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none">- Keine erneute Übertragung nötig (spart Bandbreite + Latenz)- Erkennt und korrigiert Fehler automatisch ohne Wartezeit- Robust gegenüber Störungen	<ul style="list-style-type: none">- Erhöhte Redundanz (mehr Daten müssen gesendet werden)- Mehr Rechenaufwand für Codierung / Decodierung- Nicht alle Fehler können korrigiert werden (Code abhängig)

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE414 Was ist die Voraussetzung für Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC)?

- A Übertragung redundanter Informationen
- B Kompression vor der Übertragung
- C Erneute Übertragung fehlerhafter Daten
- D Automatische Anpassung der Sendeleistung

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE415 Welche Auswirkung hat eine Erhöhung der Umschaltgeschwindigkeit zwischen verschiedenen Symbolen bei digitalen Übertragungsverfahren auf die benötigte Bandbreite? Die Bandbreite ...

- A steigt.
- B sinkt.
- C bleibt gleich.
- D steigt im oberen und sinkt im unteren Seitenband.

Erklärung:

Die Umschaltgeschwindigkeit zwischen verschiedenen Symbolen ist die Symbolrate R_s .

Nyquist-Kriterium

- Es gibt die minimale Bandbreite B an, die zur fehlerfreien Übertragung von Symbolen in digitalen Kommunikationssystemen notwendig ist:

$$B \geq \frac{R_s}{2}$$

- D. h. erhöht sich die Symbolrate R_s steigt auch die minimal benötigte Bandbreite B . Lösung A ist korrekt.

Anmerkung:

Bei den Grundmodulationen ASK, FSK und PSK wächst die Bandbreite linear mit der Symbolrate.

Bei QAM wird die Bandbreite zwar effektiver genutzt, sie steigt aber dennoch mit der Symbolrate.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren / Shannon-Hartley Gesetz - Faustregel

Shannon-Hartley Gesetz

$$C = \frac{B}{1 \text{ Hz}} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

B = Bandbreite in Hz

P_S = Signalleistung

P_N = Rauschleistung

C = maximale Datenübertragungsrate

$$SNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_S}{P_N} \right) \Leftrightarrow \frac{P_S}{P_N} = 10^{\frac{SNR}{10}}$$

Faustregel

Wenn SNR = 0 dB, dann Bandbreite B [in Hz] = max. Datenübertragungsrate C [in bit/s]

Damit lassen sich die folgenden Aufgaben auch ohne Rechnung lösen!

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE416 Welche Aussage trifft auf das Shannon-Hartley Gesetz zu? Das Gesetz ...

A bestimmt für einen Übertragungskanal gegebener Bandbreite die höchste theoretisch erzielbare Datenübertragungsrate in Abhängigkeit vom Signal-Rausch-Verhältnis.

B besagt, dass unabhängig von der Art der vorherrschenden Störungen eines Übertragungskanals theoretisch eine unbegrenzte Datenübertragungsrate erzielt werden kann.

C bestimmt die maximale Bandbreite, die durch eine Übertragung mit einer bestimmten Datenübertragungsrate theoretisch belegt werden kann.

D besagt, dass theoretisch eine unendliche Abtastrate erforderlich ist, um ein bandbegrenztes Signal fehlerfrei zu rekonstruieren.

Erklärung:

Shannon-Hartley Gesetz (siehe Hilfsmittel):

$$C = \frac{B}{1 \text{ Hz}} \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

B = Bandbreite in Hz

P_S = Signalleistung

P_N = Rauschleistung

C = maximale Datenübertragungsrate

$$SNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_S}{P_N} \right) \Leftrightarrow \frac{P_S}{P_N} = 10^{\frac{SNR}{10}}$$

\Rightarrow

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + 10^{\frac{SNR}{10}} \right) \text{ d.h. } C = B \cdot f(SNR)$$

wie in Lösung A beschrieben.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE417 Ein Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 2,7 kHz wird durch additives weißes Gaußsches Rauschen (AWGN) gestört. Das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) beträgt 0 dB. Welche Bitrate kann nach dem Shannon-Hartley-Gesetz etwa maximal fehlerfrei übertragen werden?

A ca. 2,7 kbit/s

B 0 bit/s (Übertragung nicht möglich)

C ca. 2,7 bit/s

D ca. 39 bit/s

Erklärung:

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$$

$$C = \text{maximale Bitrate in } \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

B = Bandbreite in Hz

SNR = Signal Rausch Verhältnis (nicht in dB)

Aufgabenstellung:

$$B = 2700 \text{ kHz}$$

$$SNR = 0 \text{ dB}, d.h. SNR = 1$$

Einsetzen:

$$C = 2700 \cdot \log_2(1 + 1) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$$C = 2700 \cdot \log_2(2) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$$C = 2700 \cdot 1 \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$$C \approx 2,7 \frac{\text{kbit}}{\text{s}}$$

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE418 Ein Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 10 MHz wird durch additives weißes Gaußsches Rauschen (AWGN) gestört. Das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) beträgt 0 dB. Welche Bitrate kann nach dem Shannon-Hartley-Gesetz etwa maximal fehlerfrei übertragen werden?

- A ca. 10 Mbit/s
- B ca. 7 Mbit/s
- C ca. 8 Mbit/s
- D ca. 100 Mbit/s

Erklärung:

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$$

$$C = \text{maximale Bitrate in } \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$B = \text{Bandbreite in Hz}$

$SNR = \text{Signal Rausch Verhältnis (nicht in dB)}$

Aufgabenstellung:

$$B = 10 \text{ MHz} = 10\,000\,000$$

$$SNR = 0 \text{ dB}, d.h. SNR = 1$$

Einsetzen:

$$C = 10\,000\,000 \cdot \log_2(1 + 1) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$$C = 10\,000\,000 \cdot \log_2(2) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$$C = 10\,000\,000 \cdot 1 \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$$C \approx 10 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$$

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE419 Ein Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 10 MHz wird durch additives weißes Gaußsches Rauschen (AWGN) gestört. Das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) beträgt 30 dB. Welche Bitrate kann nach dem Shannon-Hartley-Gesetz etwa maximal fehlerfrei übertragen werden?

- A ca. 100 Mbit/s
- B ca. 10 Mbit/s
- C ca. 7 Mbit/s
- D ca. 8 Mbit/s

Alternativer Lösungsansatz

Bei SNR = 0 dB wären es 10 Mbit/s (weniger geht nicht mit einem SNR ≥ 0), d.h. Lösungen B, C und D entfallen.

Ein hohes SNR ist gut und bedeutet höhere Datenübertragungsraten, hier ist nur 100 Mbit/s im Angebot, daher ist Lösung A korrekt.

Erklärung:

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$$

Aufgabenstellung:

$$B = 10 \text{ MHz} = 10\,000\,000$$

$$SNR = 30 \text{ dB}, \text{d.h. } SNR = 10^{\frac{30}{10}} = 1000$$

Einsetzen:

$$C = 10\,000\,000 \cdot \log_2(1 + 1000) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$$C = 10 \cdot \log_2(1001) \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$$

$$C = 10 \cdot \frac{\log(1001)}{\log(2)} \frac{\text{Mbit}}{\text{s}} \approx 10 \cdot 9,96722 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$$

$$C \approx 99,6722 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}} \approx 100 \frac{\text{Mbit}}{\text{s}}$$

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE420 Ein Übertragungskanal mit einer Bandbreite von 2,7 kHz wird durch additives weißes Gaußsches Rauschen (AWGN) gestört. Das SignalRausch-Verhältnis (SNR) beträgt –20 dB. Welche Bitrate kann nach dem Shannon-Hartley-Gesetz etwa maximal fehlerfrei übertragen werden?

- A ca. 39 bit/s
- B 0 bit/s (Übertragung nicht möglich)
- C ca. 2,7 kbit/s
- D ca. 5,4 kbit/s

Bei SNR = 0 dB wären es 2,7 kbit/s (weniger geht nicht mit einem SNR ≥ 0), d.h. Lösungen C und D entfallen.

Erklärung:

$$C = B \cdot \log_2(1 + SNR)$$

Aufgabenstellung:

$$B = 2700 \text{ Hz}$$

$$SNR = -20 \text{ dB}, \text{d.h. } SNR = 10^{\frac{-20}{10}} = 0,01$$

Einsetzen:

$$C = 2700 \cdot \log_2(1 + 0,01) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$$C = 2700 \cdot \log_2(1,01) \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$$C = 2700 \cdot \frac{\log(1,01)}{\log(2)} \frac{\text{bit}}{\text{s}} \approx 2700 \cdot 0,014355 \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

$$C \approx 38,759 \frac{\text{bit}}{\text{s}} \approx 39 \frac{\text{bit}}{\text{s}}$$

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.4 Digitale Übertragungsverfahren – Mehrwegeausbreitung und Inter-Symbol-Interferenz (ISI)

Mehrwegeausbreitung

Dasselbe Signal erreicht den Empfänger über verschiedene Pfade mit unterschiedlichen Laufzeiten.

Das stellt ein Problem dar, da gesendete Symbole nicht mehr klar zeitlich voneinander abgegrenzt werden können.

Es ist aber natürlich wichtig, die richtige Reihenfolge der Symbole zu erkennen, da die Daten sonst nicht richtig interpretiert werden können.

Problem der Inter-Symbol-Interferenz (ISI)

Überlappung von aufeinanderfolgenden Symbolen in einem Übertragungssystem, so dass der Empfänger sie nicht mehr eindeutig trennen kann.

Symbol 1 wird zur Zeit t_0 gesendet. Symbol 2 wird zur Zeit t_1 gesendet.

Ohne Mehrwegeausbreitung kommt Symbol 1 vor Symbol 2 beim Empfänger an. Es gibt eine klare Trennung der Symbole.

Mit Mehrwegeausbreitung und Inter-Symbol-Interferenz (ISI) kommt

- Symbol 1 auf direktem Weg beim Empfänger an
- Symbol 1 nach Reflektion an einem Gebäude auf dem längeren Weg zeitverzögert beim Empfänger an, gleichzeitig aber auch Symbol 2 auf direktem Weg beim Empfänger.
- Das Echo von Symbol 1 überlappt mit Symbol 2 – es kommt zur Inter-Symbol-Interferenz (ISI).

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren - Orthogonale Frequenzmultiplexverfahren (OFDM) I

Orthogonale Frequenzmultiplexverfahren (OFDM = Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Mehrträger-Modulationstechnik

- Die Daten werden auf viele schmalbandige Unterträger aufgeteilt und einzeln moduliert, überlagert und gleichzeitig als ein Sendesignal ausgesendet.
- Das Verfahren ist dadurch widerstandsfähiger gegen Interferenzen, Fading und schmalbandige Störungen.
 - Von Fading können z.B. wenige Unterträger betroffen sein, deren Daten dann durch Fehlerkorrektur (Forward Error Correction = FEC) rekonstruiert werden können.
 - Die Modulation kann je Unterträger angepasst werden, z.B. 64-QAM bei guter Signalqualität und QPSK/BPSK für robuste Modulation bei starkem Fading.
 - Schmalbandige Störungen stören nur einzelne Unterträger, das gesamte Signal kann durch sog. Fehlerschutzcodes dennoch dekodiert werden.

Unterträger sind orthogonal

- Jeder Unterträger hat zur gleichen Zeit keinen Einfluss auf die anderen Unterträger. Es gibt keine gegenseitige Störung der jeweiligen Unterträger.
- Daher sind keine „Schutzbänder“ zwischen den Trägern erforderlich und eine dichtere Packung der Frequenzen ist möglich (hohe Effizienz).

Einsatzbereiche

- WLAN (802.11a/g/n/ac/ax)
- Mobilfunk (4G LTE, 5G NR)
- DVB-T, DAB (Digitalradio, TV)

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5.4 Digitale Übertragungsverfahren - Orthogonale Frequenzmultiplexverfahren (OFDM) II

OFDM und die Lösung des Inter-Symbol-Interferenz-Problems

- OFDM fügt vor jedem Symbol einen Cyclic Prefix (CP, Schutzintervall) hinzu und minimiert damit das Problem der Mehrwegeausbreitung.
- Dieser Cyclic Prefix wiederholt die letzten T_{CP} Sekunden dieselben Symbols.
- Die Gesamtdauer eines OFDM-Symbols wird dadurch auf $T_{CP} + T_{Symbol}$ verlängert.
- Die Dauer T_{CP} muss dabei mindestens so groß sein, wie die maximale Verzögerung τ durch die Mehrwegeausbreitung, um das Inter-Symbol-Interferenz-Problem zu vermeiden.

T_{Symbol}
$OFDM - Symbol$
T_{CP}

CP	$OFDM - Symbol$
T_{CP}	T_{Symbol}

Warum funktioniert das?

- Symbol 2 wird nicht durch das verspätet eintreffende Symbol 1 überlagert, weil es nur den CP-Teil von Symbol 2 überlagert, aber nicht den eigentlichen OFDM-Teil von Symbol 2.
- Der Empfänger verwirft einfach den CP-Teil und hat nachher nur die reinen, nicht überlagerten OFDM-Anteile von Symbol 1 und Symbol 2 vorliegen und kann diese verarbeiten.
- Die Wiederholung des Endes desselben Symbols ist wichtig, damit die mathematische Struktur und damit Orthogonalität der Unterträger erhalten bleibt.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE421 Orthogonale Frequenzmultiplexverfahren (OFDM) mit redundanter Übertragung sind besonders unempfindlich gegen

...

- A** schmalbandige Störungen, da das Gesamtsignal aus mehreren Einzelträgern besteht.
- B** schmalbandige Störungen, da es einen Träger mit hoher Bandbreite verwendet.
- C** breitbandige Störungen, da das Gesamtsignal aus mehreren Einzelträgern besteht.
- D** breitbandige Störungen, da es einen Träger mit hoher Bandbreite verwendet.

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

B, D:

Schmalbandige und breitbandige Störungen machen ein Einträgersignal ggf. unbrauchbar.

B und D scheiden aber auch aus, weil es sich bei OFDM um ein Gesamtsignal aus mehreren Einzelträgern handelt.

C:

Breitbandige Störungen, über einen größeren Frequenzbereich stören auch ein OFDM-Signal, so dass es ggf. nicht mehr dekodiert werden kann.

OFDM ist nur unempfindlich gegen schmalbandige Störungen – C scheidet aus.

5.5 Modulations- und Übertragungsverfahren

5.5. 4 Digitale Übertragungsverfahren

AE422 Bei welcher Art von Kanalstörung sind Orthogonale Frequenzmultiplexverfahren (OFDM) mit redundanter Übertragung besonders vorteilhaft?

Erklärung:

Siehe vorhergehende Folie

- A Mehrwegeausbreitung**
- B Impulse durch Gewitter**
- C Breitbandiges Rauschen**
- D Überreichweiten anderer OFDM-Sender**