

Frage 1: Zeigen Sie die Unterschiede in den charakteristischen Merkmalen zwischen Monitoring Receiver und Spectrum Analyser auf. (10 Punkte)

Spektrumanalysator

- Keine Vorselektion
- Mischer direkt am Eingang
- Hohe Messgenauigkeit
- Bedienkonzept für messtechnische Aufgaben optimiert
- Keine Regelung (AGC)
- Filter für Messaufgaben optimiert (CISPR)
- Regelmäßige Kalibrierintervalle (Gesamtkalibrierung)
- Normgerechte Ergebnisdarstellung und Auswertung
- Spezielle Markerfunktionen-Grenzwertlinien
- IEC-Bus Steuerung
- Sonderfunktionen aufgabenbedingt

Viele für die Funkerfassung essentielle Funktionen wie FSCAN, MSCAN, Panorama, Squelch, Dwell-time, etc., sind nicht notwendig und daher nicht oder nur sehr eingeschränkt vorhanden.

Monitoring Receivers

- Eingebaute Vorselektion
- AGC Regelung mit optimierten Zeitkonstanten
- Signalschalter mit Halbleitern - keine Relais
- Bedienkonzept für erfassungstechnische Aufgaben optimiert
- Prozessorkonzept echtzeitfähig
- Spezialfunktionen z.B. Squelch
- Funktionen wie FSCAN, MSCAN und Panorama (RF, IF)
- Intern gesteuerte Abläufe (Scans)
- Audioaufbereitung essentiell
- Netz- und Batteriebetrieb
- Hohe Zuverlässigkeit "MTBF", (Sicherheitsrelevanz)
- Umfassendes Selbsttestkonzept - kurze MTTR
- Leichte Integrierbarkeit in Systeme
- Allgemein verwendbare Schnittstellen für Zusatzgeräte
- Geringer Leistungsverbrauch
- Erhöhter Temperaturbereich
- Hohe mechanische Festigkeit für mobile Einsätze
- Hohe Anforderungen an EMV

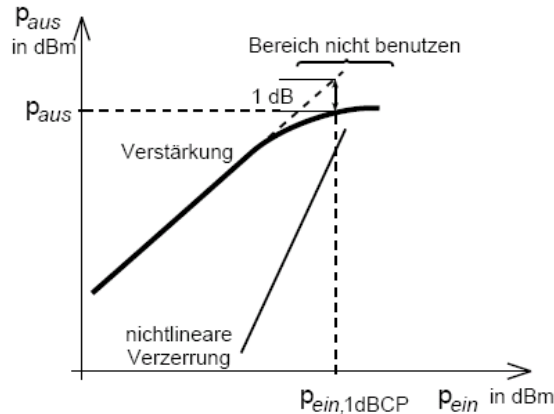
Frage 2: Geben Sie die Definition des 1dB Kompressionspunktes an und erläutern Sie warum der IP1 eine wichtige Designkenngröße für Empfänger ist. (5 Punkte)

Jeder aktive Übertragungsblock besitzt eine Linearitätsgrenze, ab welcher der Verstärkungsfaktor nicht mehr konstant ist. Die Abnahme der Verstärkung erfolgt fließend. Deshalb ist es üblich, den Eingangspegel $p_{\text{ein},1\text{dB CP}}$, bei welchem

$$P_{\text{aus}} - P_{\text{ein},1\text{dB CP}} = v - 1 \text{ dB}$$

gilt, als 1 dB Kompressionspunkt (engl. 1 dB Compression Point) zu bezeichnen. Dabei stellt v die als konstant angenommene Verstärkung des Blockes dar.

Wenn für einen Übertragungsblock hohe Linearität gefordert ist, sollte der Eingangspegel immer deutlich unter dem 1 dB Kompressionspunkt $p_{\text{ein},1\text{dBCP}}$ liegen. Diese Forderung gilt unabhängig von zusätzlich auftretenden nichtlinearen Verzerrungen. Bei einer Kettenschaltung ist für jeden einzelnen Block die Lage des Eingangspegels zum 1 dB Kompressionspunkt zu prüfen, um unerwünschte Verzerrungen 1. Ordnung zu vermeiden. Die Bestimmung eines gemeinsamen 1 dB Kompressionspunktes für eine Verstärkerkette ist nicht sinnvoll möglich.



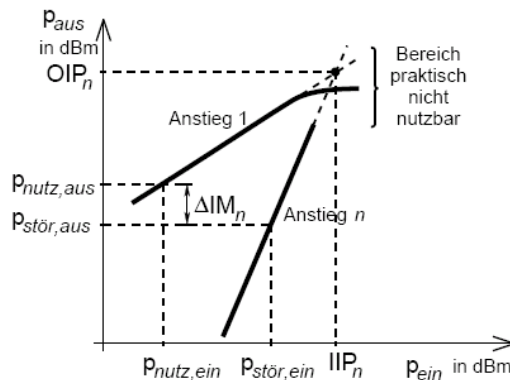
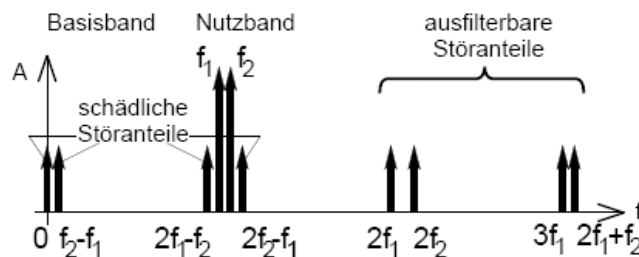
Frage: Geben Sie die Definition des IP3 an. (5 Punkte)

Nichtlineare Verzerrungen höherer Ordnung als Eins werden durch die Angabe eines Intermodulationspunktes (engl. Intercept Point) für jeden Übertragungsblock charakterisiert. Der Intermodulationspunkt kann eingangs- und ausgangsbezogen angegeben werden. Es gilt

$$\text{OIP}_n = \text{IIP}_n + v,$$

wobei OIP_n den ausgangsbezogenen Intermodulationspunkt der Ordnung n , IIP_n den eingangsbezogenen Intermodulationspunkt der Ordnung n und v die Verstärkung des linearen Anteils bezeichnet. Für $n=3$ erhält man den Intermodulationspunkt 3. Ordnung.

Bei Intermodulation aufgrund von Nichtlinearitäten 3. Ordnung entstehen unter anderem Störbeiträge bei $2f_1 - f_2$ bzw. $2f_2 - f_1$. Ausführlich kann man sich die Effekte wie folgt veranschaulichen.



Veranschaulichung von Intermodulationspunkt und Intermodulationsabstand

Frage: Zeigen Sie, wieso die Steigung der Intermodulationsgeraden 3 beträgt. (10 Punkte)

Das Eingangssignal ist gemäß

$$x = A \sin(y) + B \sin(z) \quad (2.62)$$

definiert, wobei A und B die Amplituden und $y = 2\pi f_1$ bzw. $z = 2\pi f_2$ die Kreisfrequenzen mit $f_1 \approx f_2$ darstellen. Als Beispielblock dient ein Verstärker mit der polynomial approximierten Kennlinie

$$f(x) = v_1 x + v_2 x^2 + v_3 x^3. \quad (2.63)$$

Dabei symbolisiert v_1 die Verstärkung des linearen Anteils. v_2 bzw. v_3 stellen die Faktoren des quadratischen bzw. kubischen Kennlinienanteils dar. Ausführlich kann man dann für das Verstärkerausgangssignal schreiben

$$\begin{aligned}
 f(x) = & + v_1 \overbrace{(A \sin(y) + B \sin(z))}^{\text{Nutzsignal}} \\
 & + v_2 \overbrace{\left(\frac{1}{2}A^2 + AB \cos(y-z) + \frac{1}{2}B^2\right)}^{\text{Störanteil 2. Ordnung (Basisband)}} \\
 & - v_2 \overbrace{\left(\frac{1}{2}A^2 \cos(2y) + AB \cos(y+z) + \frac{1}{2}B^2 \cos(2z)\right)}^{\text{Störanteil 2. Ordnung (doppelte Nutzbandfrequenz)}} \\
 & + v_3 \overbrace{\left(\frac{3}{4}A^3 \sin(y) + \frac{3}{2}AB^2 \sin(y)\right)}^{\text{verfälschender Nutzsignalanteil I von Nichtlinearität 3. Ordnung (Kreuzmodulation)}} \\
 & + v_3 \overbrace{\left(\frac{3}{2}A^2B \sin(z) + \frac{3}{4}B^3 \sin(z)\right)}^{\text{verfälschender Nutzsignalanteil II von Nichtlinearität 3. Ordnung (Kreuzmodulation)}} \\
 & + v_3 \overbrace{\left(\frac{3}{4}A^2B \sin(2y-z) - \frac{3}{4}AB^2 \sin(y-2z)\right)}^{\text{Störanteil I 3. Ordnung (dreifache Nutzbandfrequenz)}} \\
 & - v_3 \overbrace{\left(\frac{3}{4}A^2B \sin(z+2y) + \frac{3}{4}AB^2 \sin(y+2z)\right)}^{\text{Störanteil II 3. Ordnung (dreifache Nutzbandfrequenz)}} \\
 & - v_3 \overbrace{\left(\frac{1}{4}A^3 \sin(3y) + \frac{1}{4}B^3 \sin(3z)\right)}^{\text{Störanteil 3. Ordnung (Nutzband)}}.
 \end{aligned} \quad (2.64)$$

Unter der Voraussetzung, dass die Amplituden beider Eingangssignale gleich sind, erkennt man, dass für die Intermodulationsprodukte 3. Ordnung, die ins Nutzband fallen eine Erhöhung des Eingangssignalpegels um 1dB in einer Erhöhung des Ausgangssignalpegels um 3 dB resultiert. Dies entspricht einer Steigung der Geraden von 3.

Frage: Berechnen Sie den Gesamt-IP3 für die Kettenschaltung zweier Verstärker (Verstärker 1: Gewinn $G = 10$ dB, $IP_3 = +5$ dBm; Verstärker 2: Gewinn $G = 8$ dB, $IP_3 = +10$ dBm). (10 Punkte)

Für eine Kettenschaltung von M Zweitoren kann der Intercept Point n -ter Ordnung wie folgt beschrieben werden:

$$IP_n^{(1-n)/2} = IP_{n,M}^{(1-n)/2} + (G_M IP_{n,M-1})^{(1-n)/2} + (G_M G_{M-1} IP_{n,M-2})^{(1-n)/2} + \dots + (G_2 G_M IP_{n,1})^{(1-n)/2}$$

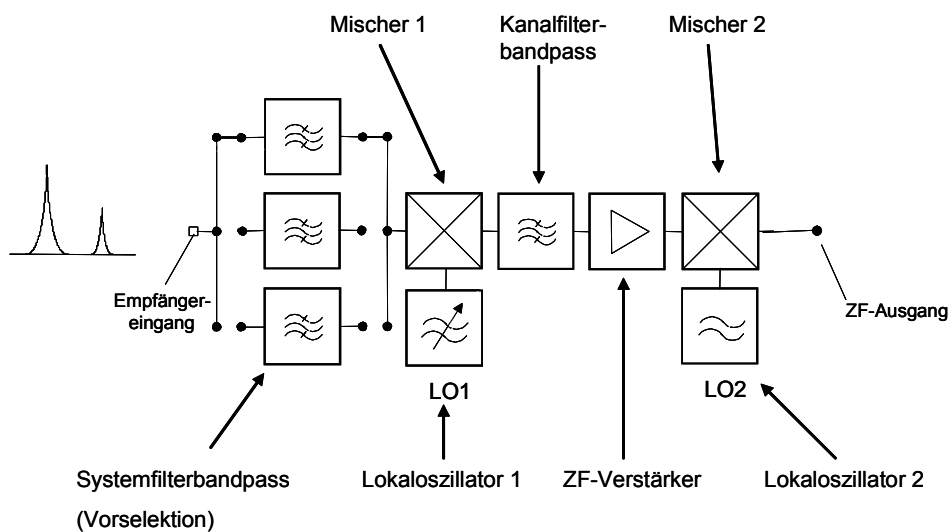
Für die in der Aufgabenstellung gegebenen Werte berechnet sich der $IP_{3,ges}$ zu 8,24 dBm.

Frage:

- Um welche Art von Empfänger handelt es sich hierbei? (5 Punkte)

- Erläutern Sie die Bedeutung der einzelnen Funktionsblöcke. (10 Punkte)
- Erarbeiten Sie die Vor- und Nachteile dieses Konzeptes und vergleichen Sie es mit einem so genannten Direct-Conversion-Receiver. (10 Punkte)

Bei dem gezeigten Empfänger handelt es sich um einen so genannten Doppelsuperheterodympfänger (oder auch Doppel-Superhet-Empfänger). Hier wird das Empfangsband nach der Vorselektion zunächst in eine Zwischenfrequenz umgesetzt und erneut gefiltert. Diese Zwischenfrequenz wird dann analog zum Direktmischempfänger (Direct Conversion Receiver) weiter bearbeitet. Dabei verteilen sich die Verstärkungs- und Selektionsbeiträge auf die einzelnen Stufen bei jeweils unterschiedlichen Frequenzen, so dass auch parasitäre Kopplungen zwischen den Stufen unproblematisch sind. Die Signaldynamik in der dem Direktmischempfänger entsprechenden Stufe liegt üblicherweise unter 40 dB. Dadurch ergibt sich der Vorteil, dass die Verstärkungs-, Linearitäts- und Selektionsanforderungen an die Einzelbauelemente im allgemeinen nicht so hoch wie beim Direktmischempfänger sind. Die Bedeutung der einzelnen Funktionsblöcke ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen.



Nachteilig ist, dass der Superheterodympfänger einen zweiten empfangsempfindlichen Frequenzbereich aufweist. Diese so genannte Spiegelempfangsstelle muss sehr sorgfältig unterdrückt werden. Das ist ein Hauptproblem beim Entwurf eines Superhet. Weiterhin besitzt er, verglichen mit dem Direktmischempfänger, wesentlich mehr Baublöcke. Das Zwischenfrequenz-Kanalfilter ist wegen des notwendigen schmalen Überganges vom Durchlass- zum Sperrbereich heute meist keramisch bzw. als Oberflächenwellenfilter ausgeführt und widersteht so allen Integrationsbemühungen. Die Lokaloszillatorfrequenzen müssen sorgfältig ausgewählt werden, um weitere Nebenempfangsstellen auszuschließen.

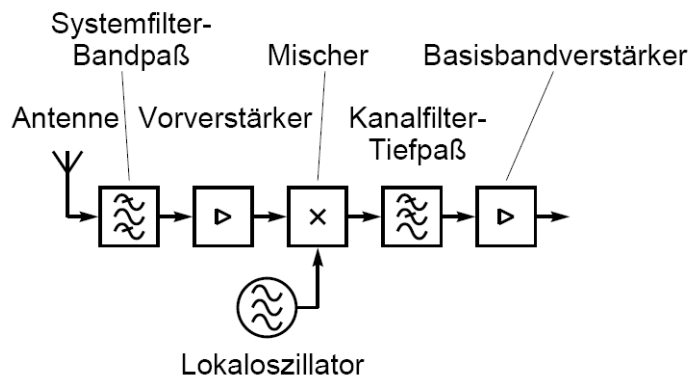


Abbildung eines Direktmischenden Empfängers (DCR)

Vorteilhaft beim Direktmischprinzip sind die relativ wenigen benötigten Komponenten. Der Kanalfiltertiefpass kann wegen der niedrigen Basisbandfrequenzen aktiv und damit voll integrierbar ausgeführt werden. Die Hilfsfrequenzbereitstellung ist nur einmal notwendig. Die problematische Verstärkung hochfrequenter Signale, die bei

ausreichender Linearität einen hohen Strombedarf hat, wird weitgehend vermieden, da der Hauptbeitrag der Verstärkung im Basisband geleistet wird.

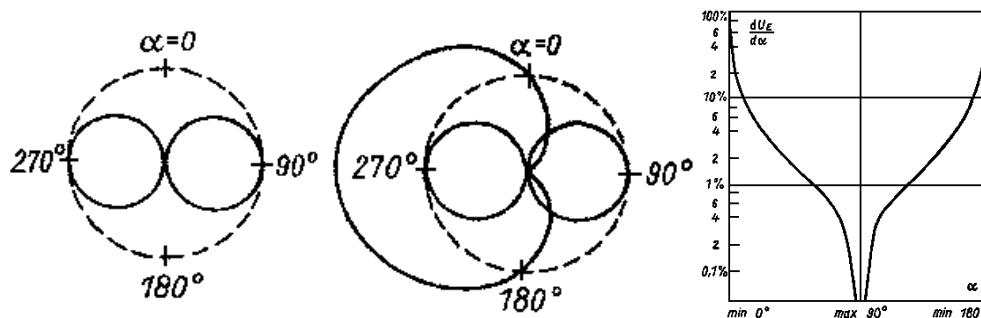
Frage: Erläutern Sie was für eine Auswirkung die eingezeichnete Oszillatorabstrahlung für das Empfangsverhalten des Empfängers hat. (5 Punkte)

Durch die eingezeichnete Oszillatorabstrahlung gelangt ein Teil dieses Signals an die Antenne. Da eine Antenne sowohl ein Signal empfangen als auch abstrahlen kann, wird die Oszillatorfrequenz an die Umgebung abgegeben und kann andere, benachbarte Kommunikationssysteme stören. Des Weiteren ist der eigene Empfänger damit für andere Ortungs- und Überwachungssysteme sichtbar.

Da die Antenne nur eine endliche Anpassung besitzt (Reflexionsparameter $\neq 0$) gelangt wiederum dieses Signal auf den Eingang des ersten Lokaloszillators. Werden zwei Signale mit der gleichen Frequenz multipliziert, entsteht eine Gleichspannung, die nachfolgende Stufen in die Sättigung treiben kann. Dies ist jedoch nur relevant in einem direktmischenden Empfangskonzept. Ein konsequent AC-gekoppeltes Systemdesign kann dies jedoch verhindern.

Frage: Beschreiben Sie das Prinzip einer Minimumpeilung und erläutern Sie die Vorteile gegenüber einer Maximumpeilung. (15 Punkte)

Wenn sich der Winkel zwischen der Richtung zum Sender und der Richtung des Ferritstabes verändert, ergibt sich die bekannte Achtercharakteristik der Ferritantenne und die Kardioiden- Charakteristik mit zugeschalteter Hilfsantenne.



Da der Mensch erst Lautstärkeunterschiede ab 1dB= 10% unterscheiden kann, nutzt man für die Peilung das Minimum der Achtercharakteristik, weil sich im Minimum, wie die nachfolgende Abbildung zeigt, die größte Änderung der Empfangsspannung bei Drehung des Empfängers ergibt. Das Minimum der Kardioide wird für die genaue Richtungsbestimmung nicht benutzt, weil es bei weitem nicht so ausgeprägt ist und weil es sich durch wechselnde Bedingungen (elektromagnetisches Feld, Entfernung vom Sender, Haltehöhe des Empfängers, Änderung des Abgleichs u.a.) sehr schnell verschlechtern kann.

Die erreichbare Peilgenauigkeit hängt von mehreren Faktoren ab:

- vom Unterschied der Ausbreitungsrichtung des elektromagnetischen Feldes am Empfangsort von der Richtung zum Sender
- von subjektiv bedingten Fehlern des Peilenden,
- von der Peilabweichung, d.h. von der konstanten Abweichung der Richtung des Empfangsminimums von der Ausbreitungsrichtung des elektromagnetischen Feldes
- von der Peilschärfe, d.h. von der Differenz der beiden Richtungen, bei denen eine bestimmte Empfangssignaländerung festgestellt wird (Bild 8).

Vorteile:

- Minimum wesentlich ausgeprägter als Maximum
- Sehr einfache Methode

Nachteile:

- Minimum schlechter zu hören
- Minimum nicht eindeutig
- Keine Peilung kurzer Signale möglich

Frage: Mit welchen Hilfsmitteln kann die Peilung eindeutig gemacht werden? (5 Punkte)

Durch Auswertung einer zusätzlichen omnidirektionalen Antenne (siehe vorherige Abbildung, mittleres Bild mit Kardioden-Charakteristik) kann eines der beiden erhaltenen Minima eliminiert werden. Das Maximum der Hilfsantennencharakteristik weist den groben Weg zur Ausstrahlungsquelle und macht die Minima-Auswertung eindeutig.

Frage: Beschreiben Sie anhand der nachfolgenden Abbildung die Funktionsweise des Watson-Watt Prinzips. Erläutern Sie Vor- und Nachteile des Prinzips. (10 Punkte)

Führt man die von der Kreuzrahmenantenne gelieferten Signale auf einen X-Y-Oszillographen, so erfährt der Elektronenstrahl eine Drehung die proportional zum Winkel der einfallenden Welle ist. Da der Elektronenstrahl (im Vergleich zur mechanischen Manipulation) praktisch trägheitslos folgt, ergibt sich eine extrem schnelle Reaktionszeit. Beim Watson-Watt Peiler werden mindestens (exakt gleiche) Empfangskanäle benötigt.. Der Elektronenstrahl wird in vertikaler Richtung proportional zum Kosinus und horizontaler Richtung proportional zum Sinus des Einfallswinkels abgelenkt. Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht die Entstehung der Abbildung.

Die zeitlich sinusförmig verlaufende Peilspannungen erzeugen eine Lissajous-Figur, die im allgemeinen Fall eine Ellipse ist. Nur wenn beide Peilspannungen in Phase oder Gegenphase sind, was nur im ungestörten Feld zutrifft, gilt für die beiden Ablenkspannungen:

$$U_y = A \cdot V_y \cdot \cos(p) \cdot \sin(\omega t)$$

$$U_x = A \cdot V_x \cdot \sin(p) \cdot \sin(\omega t)$$

Dabei entspricht U_y der Nord-Süd-Richtung und U_x der Ost-West-Richtung. A steht für die maximal dem Peiler angebotene Spannung, berücksichtigt allerdings so die Feldstärke, die wirksame Höhe der Antenne sowie alle Verluste bis zum Peilereingang. V_y und V_x sind die Verstärkungsfaktoren der beiden Kanäle und p der auf die Ebene projizierte Einfallswinkel der Welle, bezogen auf die Nord-Richtung. Die Welle ist als zeitlich sinusförmig mit der Kreis-Frequenz ω angesetzt, t entspricht der Zeit.

Mit Hilfe einer weiteren Omidirektionalen Antenne wird die Zweideutigkeit der Messung aufgehoben (neg. Halbwelle wird zum ‚blanking‘ verwendet und die Feldstärke der einfallenden Welle in einen proportionalen Helligkeitswert des Oszilloskopstrahls umgewandelt.

Vorteile des Prinzips:

- sehr kurze Signaldauern können erfasst werden
- Einfache Realisierung der Anordnung
- Kompakter Aufbau möglich

Nachteile:

- Systeme mit kleinen Aperturen ($D/\lambda < 0,2$) sind anfällig für Mehrwegeausbreitungsfehler
- Große Peilfehler wenn Raumwellen mit großen Elevationswinkeln empfangen werden