

8/10: HF-Technik – keine Hexerei

Radioempfänger

Radio- bzw. Funkempfänger gehören zu den wichtigsten Anwendungen der HF-Technik. Ihr Ursprung geht auf den Beginn des 20. Jahrhunderts zurück. Während es zu Anfang nur einzelne Experimentiergeräte gab, war mit dem Aufkommen der Radiostationen ein grosses Wachstum an «günstigen» Empfängern zu verzeichnen. Diese Massenproduktion von Empfängern hat die Technologieentwicklung entscheidend beeinflusst.

Prof. Dr. Heinz Mathis
Dozent für Mobil-
kommunikation
HSR Hochschule für Technik
Oberseestrasse 10
8640 Rapperswil
Tel. 055 222 45 95
Fax 055 222 44 00
heinz.mathis@hsr.ch
<http://mk.hsr.ch>

Geradeusempfänger

Der einfachste aller Empfänger ist der Diodendetektor. Er braucht nur einen Halbleiter und ein paar wenige weitere Bauteile. Bild 1 zeigt das Schaltungsdiagramm eines Diodendetektors. Er eignet sich für den Empfang von amplitudenmodulierten (AM) Signalen, die für Kurz-, Mittel- und Langwelle gebraucht werden. Ein Radiosignal wird via Antenne und Transformator an den Parallelschwingkreis geleitet. Dieser besteht aus der Sekundärwicklung des Transformators und einem verstimmbaren Kondensator. Der abstimmbare

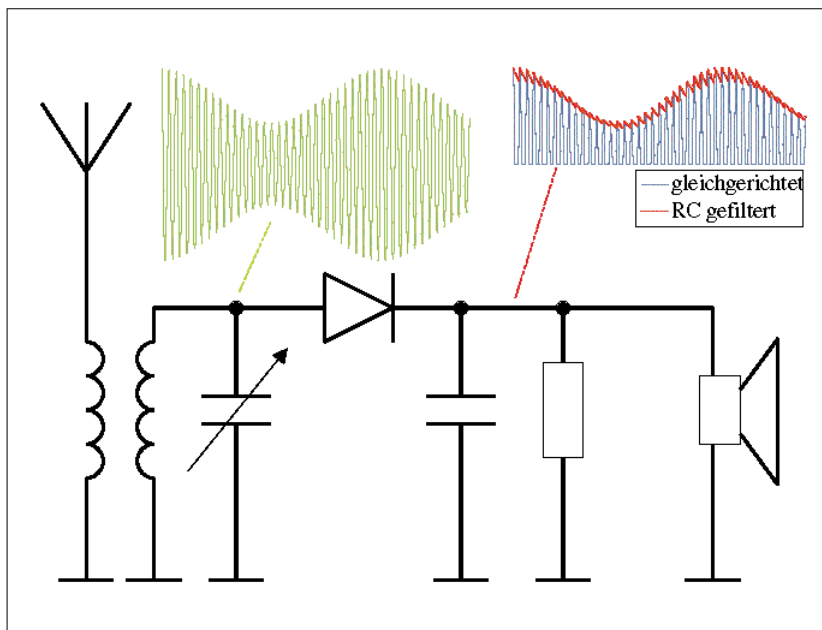


Bild 1: Einfacher Diodendetektor für AM-Signale

Schwingkreis ermöglicht die Auswahl des Senders. Das gefilterte Signal wird mit der Diode gleichgerichtet, sodass wir nur noch die positiven, modulierten Trägerhalbwellen vorfinden. Ein anschliessendes RC-Glied bildet einen Tiefpass, der über die Trägerhalbwellen hinwegglättet und so das Modulationssignal, das eigentliche Musiksignal, übrig lässt. Mit einem hochohmigen Kopfhörer lässt sich so ein Empfänger sogar ohne Batterie betreiben. Die Energie wird dabei aus dem Radiosignal gewonnen. Da die Detektion des Signals auf der eigentlichen ausgesendeten Frequenz geschieht, bezeichnet man einen solchen Empfänger auch als Geradeusempfänger.

Überlagerungsempfänger

Obwohl der Diodendetektor grundsätzlich leicht und günstig funktionstüchtig aufzubauen ist, sind einige Nachteile auszumachen. Die Senderselektion ist nicht sehr genau, die Empfindlichkeit des Empfängers ist eher mässig und die Audioqualität lässt sehr zu wünschen übrig. Deshalb haben sich im Lauf der Jahre bessere, aber aufwändigere Schaltungen durchgesetzt.

Bald wurde erkannt, dass eine genügende Kanal-selektion nur mit fixen Filtern zu erreichen ist. Falls aber der Empfänger nicht nur gerade ein Programm empfangen soll, muss eine Frequenzwandlung erfolgen. Das gewünschte Signal wird auf eine feste Frequenz, die so genannte Zwischenfrequenz (ZF), umgesetzt, wo die Selektion und Verstärkung dann einfacher wird. Wegen der Verwendung verschiedener Frequenzen wird so ein Empfänger als Überlagerungsempfänger oder als Superhet bezeichnet. Einen solchen Empfänger haben wir bereits in Artikel 4/10 kennen gelernt. Der durchstimmbare Spektrumanalysator beruht auf einem solchen Empfängerdesign. Das Blockschaltbild eines Superhet-Empfängers ist in Bild 2 dargestellt.

Seine Funktion ist wie folgt zu verstehen. Der rauscharme Verstärker (LNA) sorgt dafür, dass der gesamte Empfänger kleine Rauschwerte aufweist (siehe dazu Artikel 7/10 zum Thema Rauschen). Das Signal soll anschliessend mit einem Mischer auf eine Zwischenfrequenz umgesetzt werden. Dies wird erreicht durch die Multiplikation des empfangenen Signals mit einem Lokaloszillatorsignal. Dabei entstehen Frequenzen mit der Summen- und der Differenzfrequenz der beiden Eingangssignale. Die Summenfrequenz wird später mit dem ZF-Filter weggefiltert. Man stellt den Lokaloszillator nun so ein, dass die Differenzfrequenz vom gewollten Radio-

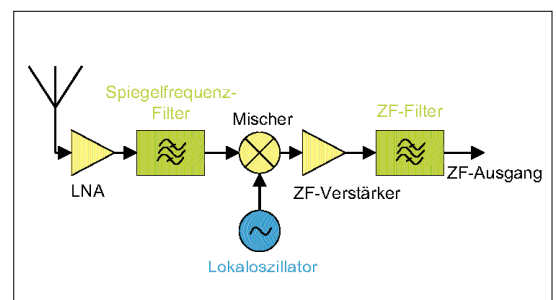


Bild 2: Einstufiger Superhet-Empfänger

signal und dem Lokaloszillatorsignal gerade der ZF-Frequenz entspricht. Das ist bei AM-Geräten meist ein Wert von 455 kHz, bei FM-Geräten 10,7 MHz. Dummerweise ist die Frequenz des Radiosignals, bei dem eine Differenzfrequenz zum Lokaloszillatorsignal genau der ZF entspricht, nicht eindeutig. Es sind immer zwei Frequenzwerte, die so auf die ZF umgesetzt werden. Sie sind symmetrisch um das Lokaloszillatorsignal angeordnet, daher der Name Spiegelfrequenz (engl. Image). Damit keine Durchmischung solcher Signale entsteht, muss das unerwünschte Signal vor dem Mischen mit dem so genannten Spiegelfrequenzfilter eliminiert werden. Diese Situation ist in Bild 3 am Beispiel des Empfangs eines 4-MHz-Kurzwellensignals illustriert. Nach dem Mischen wird das Signal weiter verstärkt und auf die benötigte Bandbreite beschränkt. Der anschließende Detektor (in Bild 2 nicht gezeichnet) hängt von der verwendeten Modulationsart ab.

Für sehr hohe Radiofrequenzen und tiefe ZF wird es für das Spiegelfrequenzfilter zunehmend schwierig, die Spiegelfrequenz vom Radiosignal zu trennen, da beide nahe beieinander liegen, relativ zur Radiofrequenz. Die Umsetzung auf die endgültige ZF erfolgt dann oft in Zwischenschritten mit mehreren Mischern. Das entschärft die Anforderungen an die Spiegelfrequenzfilter.

Direct-Conversion-Empfänger

Spiegelfrequenzfilter und ZF-Filter bleiben der Wermutstropfen der Superhet-Architekturen. Sie gehören zu den Bauteilen, die trotz zunehmender Integration des Rests der Schaltung in der Regel nicht integriert werden können. Da die Filter oft hohe Steilheiten aufweisen müssen, setzt man SAW-Filter, keramische Filter oder Quarzfilter ein, die allesamt gross sind. Weil im Konsumgütermarkt alles klein und billig sein soll, hat man in jüngerer Zeit Ausschau nach «integrationswilligeren» Architekturen gehalten. Eine immer öfters eingesetzte Empfängerarchitektur ist dabei der Direct-Conversion-Empfänger, siehe Bild 4. Dieser Empfänger konvertiert die Radiofrequenz direkt ganz hinunter ins so genannte Basisband, produziert also ein trägerloses Signal im Spektrum um DC herum. Man nennt den Empfänger daher oft auch Zero-IF-Empfänger, um anzudeuten, dass die ZF (engl. IF) bei der Frequenz null zu finden ist. Weil das originale Radiospektrum nicht unbedingt symmetrisch bezüglich des Trägers sein muss (das ist nur bei Doppelseitenbandsignalen wie AM der Fall), entstehen im Basisband positive und negative Frequenzanteile, die unterschiedlich sein können. So ein asymmetrisches Spektrum lässt sich nur mit einem komplexwertigen Signal darstellen. Um dieses Signal zu erzeugen, benötigt man einen so genannten I/Q-Mischer, auch Image-Rejection-Mixer genannt. Die oben erwähnte Spiegelfrequenz ist nun nämlich das Signal selbst, und das kriegt man eben durch Verwendung eines solchen I/Q-Mischers weg. Weil die Filter erst im Basisband gebraucht werden, lassen sich diese einfach integrieren. Falls das I/Q-Signal digitalisiert wird, lässt sich ein Teil der Kanalselektion auch mit digitalen Filtern durchführen.

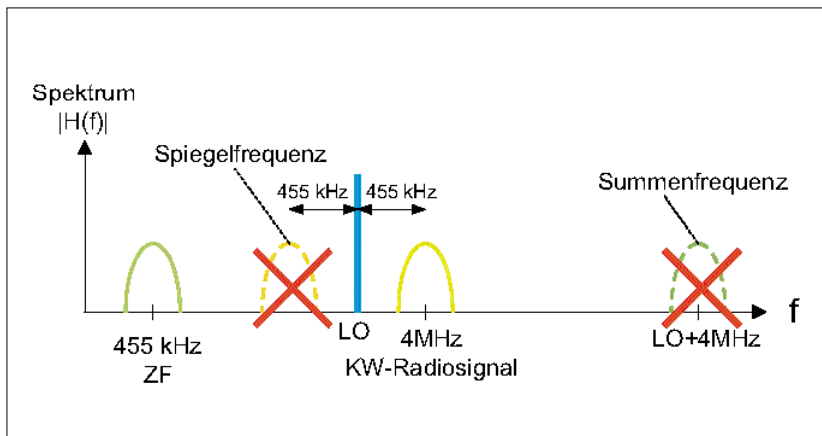


Bild 3: Spektrumsdarstellung der Signale in einem Superhet

Gegenüber dem Superhet weist der Direct-Conversion-Empfänger Integrationsvorteile auf bezüglich der Anzahl benötigter externer Komponenten. Es entstehen aber auch einige Nachteile. Der Lokaloszillator muss um exakt 90° verschoben werden können, sonst entsteht ein gestörtes Basisbandsignal. Ebenso müssen die Mischer eine ausgeglichene Verstärkung aufweisen. Das Hauptproblem aber entsteht dadurch, dass der Lokaloszillator auf derselben Frequenz wie das Radiosignal schwingt. Dieses Signal ist im Vergleich mit dem empfangenen sehr viel stärker und findet parasitäre Wege zur Antenne, von wo es dann zum Mischer kommt. Wenn der Mischer aber bei beiden Eingangstoren dasselbe Signal vorfindet, produziert er ein starkes DC-Signal, das nachfolgende Verstärker in die Sättigung bringen kann. Das könnte durch AC-Kopplung zwar vermieden werden, dadurch zerstört man aber auch einen Teil des Signalspektrums. Teilweise behilft man sich dann damit, dass man das Signal nicht bis ganz hinuntermisch (so genannte Low-IF-Empfänger). Dabei entstehen aber wieder andere Probleme.

Schaut man sich die Architekturen gängiger GSM-Handys an, fällt auf, dass die meisten noch eine Superhet-Architektur aufweisen. Einige innovative Designs mit Direct-Conversion-Empfänger sind aber bereits auf dem Markt.

Fazit

Heutige Drahtlosempfänger sind praktisch immer nach dem Superhet- oder dem Direct-Conversion-Prinzip aufgebaut. Der Superhet-Empfänger ist gut etabliert, wird aber vielerorts durch den Direct-Conversion-Empfänger abgelöst, weil der sich besser integrieren lässt. Ausserdem ist Letzterer viel flexibler für Multimodegeräte als der Superhet-Empfänger mit seinem fixen ZF-Filter.

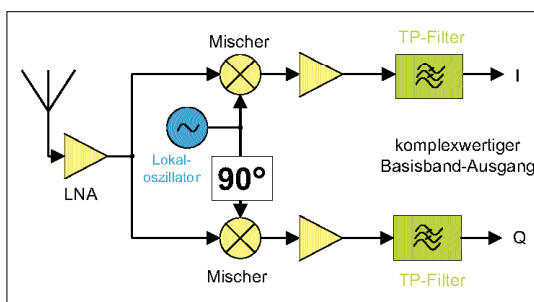


Bild 4: Direct-Conversion-Empfänger