

Grundlagen der Empfangstechnik

Im zweiten Teil dieser Artikelserie wird die Funktionsweise eines Superhet-Empfängers beschrieben.

Teil 2

Der Superhet-Empfänger

Bei dem im ersten Kapitel beschriebenen Geradeaus-Empfänger wird eine Verstärkung des demodulierten Empfangssignals auf einen ausreichenden Pegel vorgenommen, ggf. kann zusätzlich zuvor noch das HF-Eingangssignal vorverstärkt werden. Bei sehr kleinen Signalen ist es erforderlich, die Verstärkung entsprechend hoch zu wählen, um später auf einen ausreichenden Lautstärkepegel zu kommen. Hier zeigen sich nun bei einem Geradeaus-Empfänger sehr rasch die Grenzen des technisch Möglichen, da verschiedene Schmutzeffekte und insbesondere die Mitkopplung die erzielbare maximale Verstärkung begrenzen. Weiter entfernte Sender, die nur mit einem schwachen Signal einfallen, können nicht mehr empfangen werden, d. h., es stehen lediglich die in näherem Umkreis liegenden Sender zur Auswahl.

Hier schafft das Superhet-Prinzip eine wesentliche Verbesserung. In Bild 4 ist die prinzipielle Funktionsweise eines Superhet-Empfängers dargestellt.

Beim Superhet-Empfänger wird, wie auch beim Geradeaus-Empfänger, das von der Empfangsantenne kommende HF-Signal auf den Eingangsempfangskreis gegeben. Durch die Abstimmung des Empfangskreises auf die Sendefrequenz des zu empfangen gewünschten Senders (f_1) erfolgt die Selektion, d. h. es wird im wesentlichen diese eine Frequenz im nachfolgenden Verstärker weiter verarbeitet.

Der Ausgang des Vorverstärkers V_1 gelangt auf den ersten Eingang einer Mischstufe, in der 2 Frequenzen gemischt werden. Am Ausgang steht sowohl die Summe ($f_2 + f_1$), als auch die Differenz ($f_2 - f_1$) zur Verfügung. Auf den Sinn dieser Maßnahme sowie die Weiterverarbeitung gehen wir etwas später noch detailliert ein.

Die zweite für den Mischer erforderliche Frequenz stellt ein abstimmbare Oszillator bereit, dessen Frequenz (f_2) mit dem Drehkondensator C_b eingestellt wird. Wesentlich ist hierbei, daß sich die beiden Drehkondensatoren C_a und C_b auf derselben Antriebsachse befinden und so bemessen sind, daß die Differenz zwischen einge-

stellter Empfangsfrequenz f_1 und Oszillatorfrequenz f_2 konstant bleibt.

Am Ausgang des Mischers steht nun, wie bereits erwähnt, die Summe $f_2 + f_1$, sowie die Differenz $f_2 - f_1$ dieser beiden Frequenzen zur Verfügung.

$f_2 + f_1$ ist hierbei nicht von Interesse und wird bei der nachfolgenden Weiterverarbeitung in den Filtern unterdrückt.

Unser Interesse gilt ausschließlich der Differenzfrequenz $f_2 - f_1$, die einen wesentlichen Teil eines Superhet-Empfängers ausmacht und konstant ist.

Im Langwellen- und Mittelwellenbereich werden Empfangskreis und Oszillatorfrequenz so aufeinander abgestimmt, daß sich eine Differenzfrequenz von 455 kHz ergibt, während im UKW-Bereich als Differenz allgemein 10,7 MHz zugrundegelegt wird.

Nach dem Mischer schließt sich ein schmalbandiger Verstärker an, der genau auf die Differenzfrequenz, die allgemein mit Zwischenfrequenz bezeichnet wird, abgestimmt ist. Mit diesem sog. Zwischenfrequenzverstärker kann eine sehr hohe Verstärkung erreicht werden, die wesentlich höher liegen kann wie bei den Breitbandverstärkern, die bei Geradeaus-Empfängern Anwendung finden. Ferner ist eine Rückkopplung auf den sehr empfindlichen Eingangskreis nahezu ausgeschlossen, da die im Zwischenfrequenzverstärker verarbeiteten Signale in ihrer Frequenz deutlich von der Empfangsfrequenz und von der Oszillatorfrequenz abweichen. Dies ist ein weiterer gravierender Vorteil bei einem Superhet-Empfänger.

Zur Veranschaulichung ist im Blockschaltbild 4 der Zwischenfrequenzverstärker mit einem vorgeschalteten separaten schmalbandigen Filter gezeichnet, um den wesentlichen Charakter der Schmalbandverstärkung herauszustellen. In der Praxis befindet sich der Filter im allgemeinen innerhalb einer von mehreren Zwischenfrequenzverstärkerstufen und ist somit Bestandteil dieses Verstärkertails.

Am Ausgang des Zwischenfrequenzverstärkers findet die vom Geradeaus-Empfänger her bereits bekannte Demodulation statt, nach der das NF-Ausgangssignal zur

Verfügung steht. Dies kann mit „normalen“ NF-Verstärkern weiter auf die gewünschten Pegel angepaßt werden.

Da die Empfangspegel, d. h. die Eingangsfeldstärken der verschiedenen zu empfangenden Sender sehr unterschiedlich sein können, die Ausgangslautstärke jedoch unabhängig vom eingestellten Sender möglichst gleichbleiben soll, besitzen die meisten Superhet-Empfänger eine automatische Verstärkungsregelung. Die Wirkungsweise ist wie folgt: Die NF-Signalspannung wird hinter dem Demodulator, jedoch vor der manuellen Lautstärkeregelung abgefragt, gleichgerichtet und zur Steuerung der Verstärkung des Zwischenfrequenzverstärkers herangezogen. Auf diese Weise steht vor der manuellen Verstärkungseinstellung ein weitgehend konstanter NF-Signalpegel zur Verfügung, und zwar unabhängig von der Empfangssignalstärke.

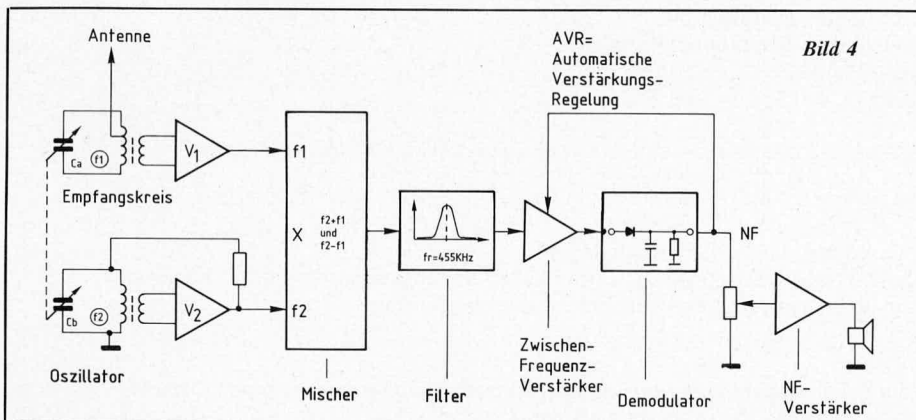
Nachfolgend wollen wir ein kurzes Beispiel bezüglich der Empfangsfrequenz f_1 und Oszillatorfrequenz f_2 besprechen.

Im Mittelwellenbereich zwischen 560 kHz und 1600 kHz entsprechend 1,6 MHz muß die Oszillatorfrequenz jeweils um die gewünschte Differenz (hier 455 kHz) höher liegen. Sie beträgt somit $560 \text{ kHz} + 455 \text{ kHz} = 1015 \text{ kHz}$ am unteren Frequenzbereich und $1600 \text{ kHz} + 455 \text{ kHz} = 2055 \text{ kHz}$ am oberen Frequenzbereich. Soll z. B. ein Sender bei genau 1,000 MHz empfangen werden, muß die Resonanzfrequenz des Empfangskreises auf diese 1000 kHz eingestellt werden, wobei gleichzeitig die Oszillatorfrequenz auf $1000 \text{ kHz} + 455 \text{ kHz} = 1455 \text{ kHz}$ zu bringen ist. Die zur Weiterverarbeitung herangezogene Differenzfrequenz $f_2 - f_1$ am Ausgang des Mischers beträgt sodann $1455 \text{ kHz} - 1000 \text{ kHz} = 455 \text{ kHz}$. Ein wesentliches Kriterium für die Qualität eines Empfängers ist dessen Trennschärfe. Diese wird u. a. durch die Güte des Empfangskreises sowie die Bandbreite des Zwischenfrequenzverstärkers einschließlich des zugehörigen Filters bestimmt.

Die Problematik bei Superhet-Empfängern liegt darin, die Oszillatorfrequenz bei der Abstimmung auf einen speziell zu empfangenden Sender gleichzeitig so einzustellen, daß sie immer 455 kHz höher als die Resonanzfrequenz des Empfangskreises liegt.

Treten hier Abweichungen auf, die größer sind als die Bandbreite des Zwischenfrequenzverstärkers, so nimmt die Empfindlichkeit in ihrer Gesamtheit erheblich ab, bzw. ein Empfang ist überhaupt nicht mehr gegeben.

Da Superhet-Empfänger weltweit in Riesenstückzahlen produziert werden, ist die Industrie mit der Fertigungstechnologie selbstverständlich bestens vertraut. In Verbindung mit speziell für Empfangs- und Oszillatorkreise entwickelten und angefertigten Spezialteilen sowie geringen Fertigungstoleranzen können heutzutage Su-



perhet-Empfänger sehr rationell und kostengünstig produziert werden. Für den Hobby-Elektroniker ist der Nachbau jedoch schwierig, da neben dem genauen und gleichzeitigen Einstellen von Oszillator- und Empfangsfrequenz noch weitere verschiedene Abgleichpunkte, so z. B. im Zwischenfrequenzverstärker, erforderlich sind. Dies kann nur von Profis mit einem größeren Aufwand an Meßgeräten durchgeführt werden. Auf 2 Ausnahmen, die sich auch für den Selbstbau eignen, wollen wir im folgenden noch näher eingehen.

Zum einen handelt es sich hierbei um einen Superhet-Empfänger, bei dem der Empfangskreis so breitbandig ausgelegt wird, daß er den gesamten einzustellenden Frequenzbereich abdeckt und somit keine Einstellung mehr erforderlich ist. Auf unser Bild 4 bezogen, bedeutet dies, daß die Kapazität C_a als Festkondensator ausgeführt ist. Eingestellt wird lediglich die Oszillatorfrequenz. Durch einen hinreichend schmalbandigen Zwischenfrequenzverstärker kann allein durch Verändern der Oszillatorfrequenz der gewünschte Sender herausgefiltert werden. Dieses Verfahren kann nur dann angewandt werden, wenn das Verhältnis zwischen größter zu empfangender Frequenz und niedrigster zu empfangender Frequenz klein ist, da sonst die Güte des Empfangskreises zu sehr herabgesetzt werden muß, um auf die erforderliche Bandbreite zu kommen.

Im Mittelwellenbereich läßt sich dieses Verfahren daher nicht anwenden (1600 kHz : 560 kHz = ca. 3). Im UKW-Bereich, in dem die obere Frequenz bei 108 MHz und die untere bei 88 MHz liegt, ist dieses Verfahren jedoch praktikabel (108 MHz : 88 MHz = ca. 1,22). In der kommenden Ausgabe stellen wir Ihnen daher einen für den Selbstbau geeigneten UKW-Superhet-Empfänger vor.

Die zweite Form eines Superhet-Empfängers, die ebenfalls für den Selbstbau geeignet ist, stellt der Festfrequenz-Superhet-Empfänger dar, wie er z. B. in Fernsteuerempfängern u. ä. Anwendung findet. Da hier sowohl der Empfangskreis als auch die Oszillatorfrequenz auf eine ganz bestimmte nicht veränderbare Frequenz abgestimmt wird, ergeben sich keine Probleme mit dem gleichzeitigen Abstimmen der beiden Kreise, d. h. der Abgleich kann in aller Ruhe auf die eine bestimmte Empfangsfrequenz vorgenommen werden.

Zum Abschluß dieses Kapitels wollen wir für die Profis unter unseren Lesern, der Vollständigkeit halber, das Schaltbild eines Mittelwellen-Superhet-Empfängers beschreiben. Auf die Ausführung eines Layouts haben wir an dieser Stelle verzichtet, da der Nachbau nur auf einen kleinen Kreis von Experten beschränkt bleibt.

Mittelwellen-Superhet-Empfänger

In Bild 5 ist ein Anwendungsbeispiel für einen Mittelwellen-Superhet-Empfänger mit dem Siemens-IC des Typs TCA 440 dargestellt. In diesem IC sind alle für den Aufbau eines Superhet-Empfängers erforderlichen aktiven Komponenten enthalten. Der Empfangskreis besteht aus den parallel geschalteten Kondensatoren C 3 und C 6

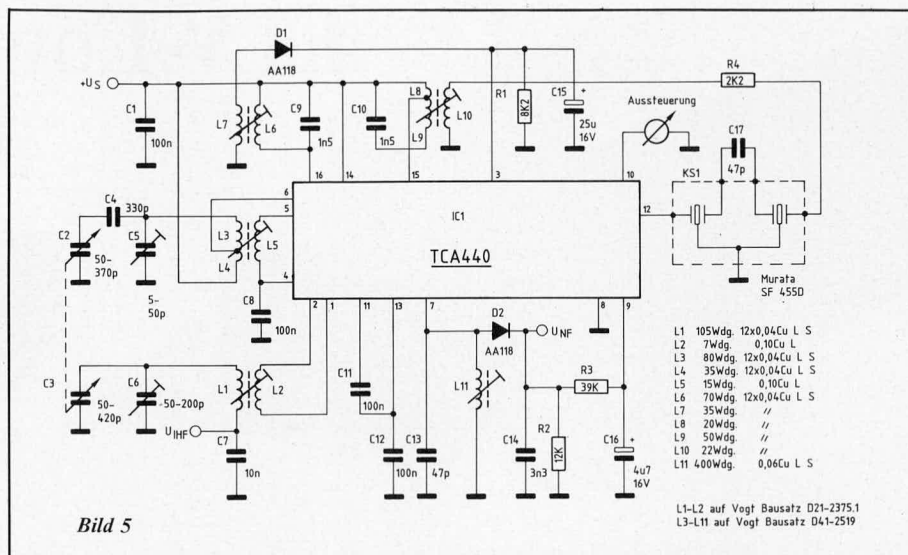


Bild 5

sowie der Spule L 1. Das Antennensignal wird am Fußpunkt von L 1 eingekoppelt. Die Auskopplung erfolgt nahezu belastungsfrei über L 2 auf die beiden Eingänge Pin 1 und Pin 2 des im IC 1 enthaltenen HF-Vorverstärkers. Innerhalb des IC 1 gelangt dieser Ausgang auf einen der 2 Eingänge des Mixers.

Der zweite Mischereingang wird von dem internen Oszillator gespeist, dessen Frequenz in Verbindung mit C 2, C 4, C 5, C 8 sowie den Spulen L 3 bis L 5 festgelegt und mit C 2 verändert werden kann.

Wesentlich ist hierbei das gleichzeitige Abstimmen von C 2 und C 3, damit die Differenzfrequenz zwischen eingestellter Empfangsfrequenz und Oszillatorfrequenz immer bei 455 kHz liegt, und zwar unabhängig von der Empfangsfrequenz.

Der Mischerausgang (Pin 15 des IC 1) arbeitet auf den Schwingkreis L 8, L 9, C 10. Die Auskopplung erfolgt mittels L 10 über R 4 auf den Keramikfilter des Typs SF 455 D. Hierbei handelt es sich um einen Filter, der speziell für Zwischenfrequenzanwendungen entwickelt wurde und eine Mittenfrequenz von exakt 455 kHz besitzt. Vom Ausgang dieses Filters gelangt das Signal auf den Eingang des ebenfalls im IC 1 integrierten Zwischenfrequenzverstärkers (Pin 12). Hierbei handelt es sich um einen 4stufigen Verstärker, von dem 3 Stufen gleichzeitig über Pin 9 in ihrer Verstärkung geregelt werden können.

An Pin 7 des IC 1 steht das Ausgangssignal des Zwischenfrequenzverstärkers zur Verfügung. Der Schwingkreis C 13 L 11, der ebenfalls auf die Zwischenfrequenz abgestimmt wird, sorgt für eine zusätzliche Filterung und trägt zur Erhöhung des Ausgangssignals bei.

Über D 2, C 14, R 2 erfolgt die Demodulation und das NF-Signal steht zur Weiterverarbeitung mit einem handelsüblichen NF-Verstärker zur Verfügung.

Zur Regelung und damit Konstanthaltung des Ausgangssignalpegels unabhängig von der Höhe des Empfangssignals wird über R 3, C 16 eine weitere Pufferung vorgenommen und das so aufbereitete Signal auf den Verstärker-Steuereingang Pin 9 des IC 1 gegeben.

Zusätzlich besitzt das IC 1 die Möglichkeit der Verstärkungsregelung bereits in der HF-Vorstufe. Hierzu steht ein weiterer Ausgang des Mixers zur Verfügung (Pin 16), über den die Steuerung der HF-Vorstufe erfolgen kann. Pin 16 arbeitet auf den Schwingkreis L 6, C 9. Das Signal wird mittels L 7 ausgekoppelt und über D 1 in Verbindung mit R 1, C 15 gleichgerichtet und auf den entsprechenden Steuereingang Pin 3 des IC 1 gegeben. Im einfachsten Fall kann auf letztgenannte zusätzliche Verstärkungsregelung verzichtet werden, wobei dann Pin 3 auf Masse und Pin 16 auf + U_s zu legen ist.

Die Betriebsspannung U_s kann im Bereich zwischen 4,5 bis 15 V schwanken bei einer typischen Stromaufnahme von ca. 10 mA.

An Pin 10 kann zusätzlich ein Aussteuerungs-Anzeigeelement angeschlossen werden mit einem Meßbereichswert von 300 μ A und einem Innenwiderstand von $R_i = 1,5$ k Ω .

Der Abgleich soll im nachfolgenden noch kurz beschrieben werden.

Zunächst wird der Oszillator mit Hilfe von L 3 bis L 5 sowie C 5 so eingestellt, daß mit C 2 der erforderliche Bereich von 1015 kHz bis 2055 kHz überstrichen werden kann. Gegebenenfalls kann es erforderlich sein, C 4 und C 5 über den angegebenen Bereich hinaus zu verändern.

Anschließend wird durch Einstellung von L 1, L 2 sowie C 6 die Resonanzfrequenz des Empfangskreises so festgelegt, daß mit C 3 eine Einstellung zwischen 560 kHz und 1600 kHz möglich ist.

Hierbei ist Wert darauf zu legen, daß die gleichzeitige Einstellung von C 2 und C 3 bei der späteren Abstimmung immer eine konstante Zwischenfrequenz von 455 kHz ergibt.

Anschließend wird der Schwingkreis L 8 bis L 10, C 10 auf die Zwischenfrequenz von 455 kHz eingestellt. Gleiches gilt für L 6, L 7, C 9 sowie L 11, C 13.

In der kommenden Ausgabe des ELV journals stellen wir Ihnen das Prinzip der Frequenzmodulation sowie einen auch für Hobby-Elektroniker nachbaubaren UKW-Superhet-Empfänger vor.