

noch einmal zusammengefasst:

MW-Frequenzbereich:
 $f_e = 500 - 1610 \text{ kHz}$

Zwischenfrequenz:
 $f_{osz} = 468 \text{ kHz}$

Kapazitätsbereich des Drehkondensators:
 $C_d = 10 - 485 \text{ pF}$

$L_e = 192,73 \text{ } \mu\text{H}$
 $C_{pe} = 40,70 \text{ pF}$
 $L_o = 103,48 \text{ } \mu\text{H}$
 $C_s = 500,00 \text{ pF}$
 $C_{po} = 54,88 \text{ pF}$

Nulldurchgänge der Gleichlaufkurve nach Bild 9 bei 540 kHz, 841 kHz und 1460 kHz

Maximale Gleichlauffehler nach Bild 9:

f_e/kHz	500	672	1204	1610
$\Delta f/\text{kHz}$	+3,04	-3,55	+8,55	-13,5

Aus Bild 9 kann man die entscheidende Abgleichvorschrift für den Superhetempfänger ablesen: Es ergibt sich für den Abgleich von Eingangskreis und Oszillatorkreis die wichtige Bedingung, dass der Abgleich unbedingt bei der unteren beziehungsweise oberen Nullstelle der berechneten Gleichlaufkurve (Bild 9) zu erfolgen hat. Im gegebenen Beispiel müssen L_e und L_o bei $f_e = 540 \text{ kHz}$, C_{pe} und C_{po} bei $f_e = 1460 \text{ kHz}$ abgeglichen werden. Wird diese Regel nicht eingehalten, dann ergeben sich Abgleichfehler, die zu großen Empfindlichkeitsverlusten führen können, weil der Eingangskreis dann mit an

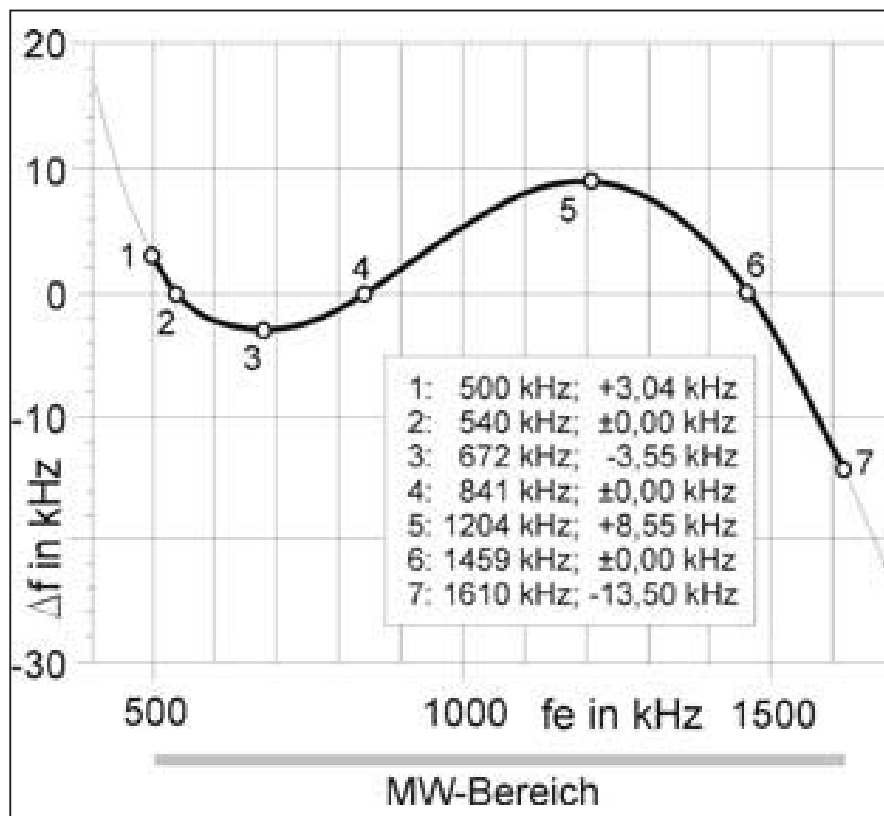


Bild 9: Gleichlauffehler bei $C_s = 500 \text{ pF}$.

Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nicht richtig abgeglichen ist. Ist die Abgleichvorschrift eines Superhetempfängers nicht bekannt beziehungsweise befinden sich auf der Skala keine entsprechenden Abgleichmarken, dann kann die Eingangsstufe eines Superhetempfängers nicht richtig abgeglichen werden! Schlechte Empfindlichkeit eines Supers ist meist darauf zurückzuführen, dass die Gleichlaufbedingung durch Abgleich auf die untere und obere Nullstelle der Gleichlaufkurve nicht eingehalten wurde!

Der mangelhafte Abgleich hat aber nicht nur Einfluss auf die Empfindlichkeit, sondern es entstehen dadurch auch niederfrequente Verzerrungen, wie noch zu zeigen sein wird.

Sollen durch den Gleichlauffehler Δf_e keine Empfindlichkeitseinbußen und keine anderen Verfälschungen

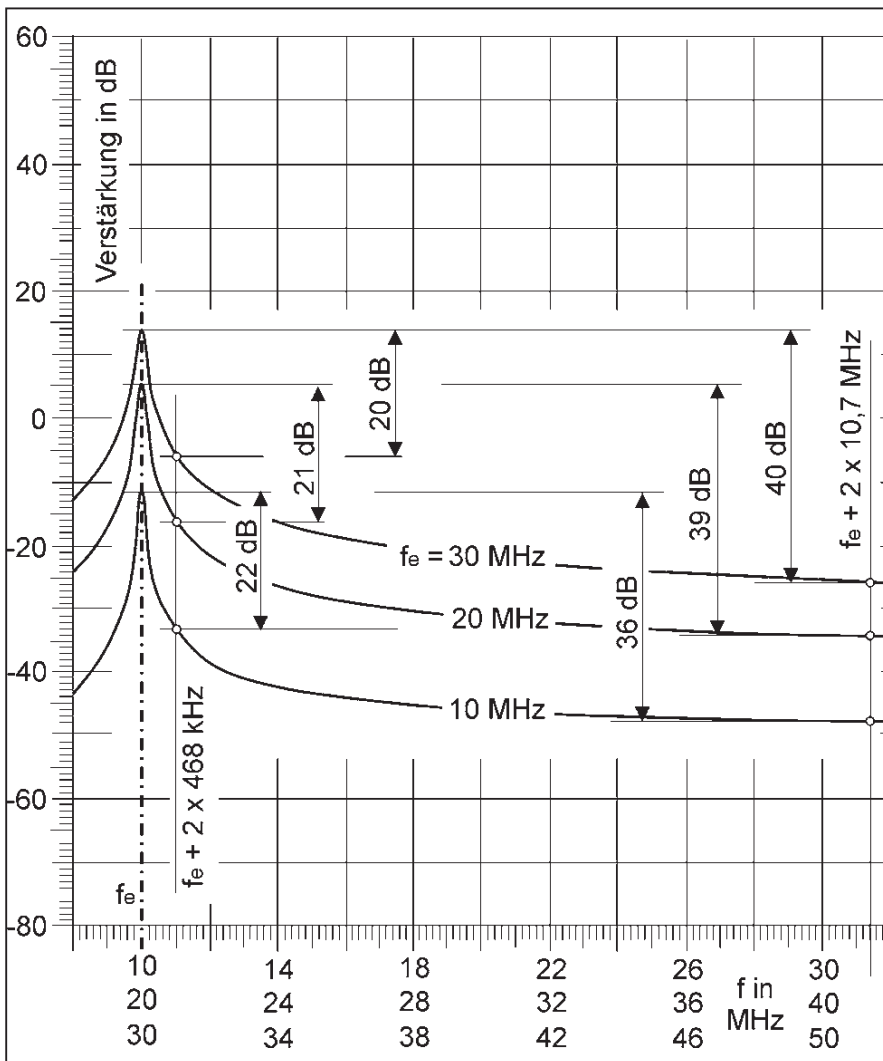
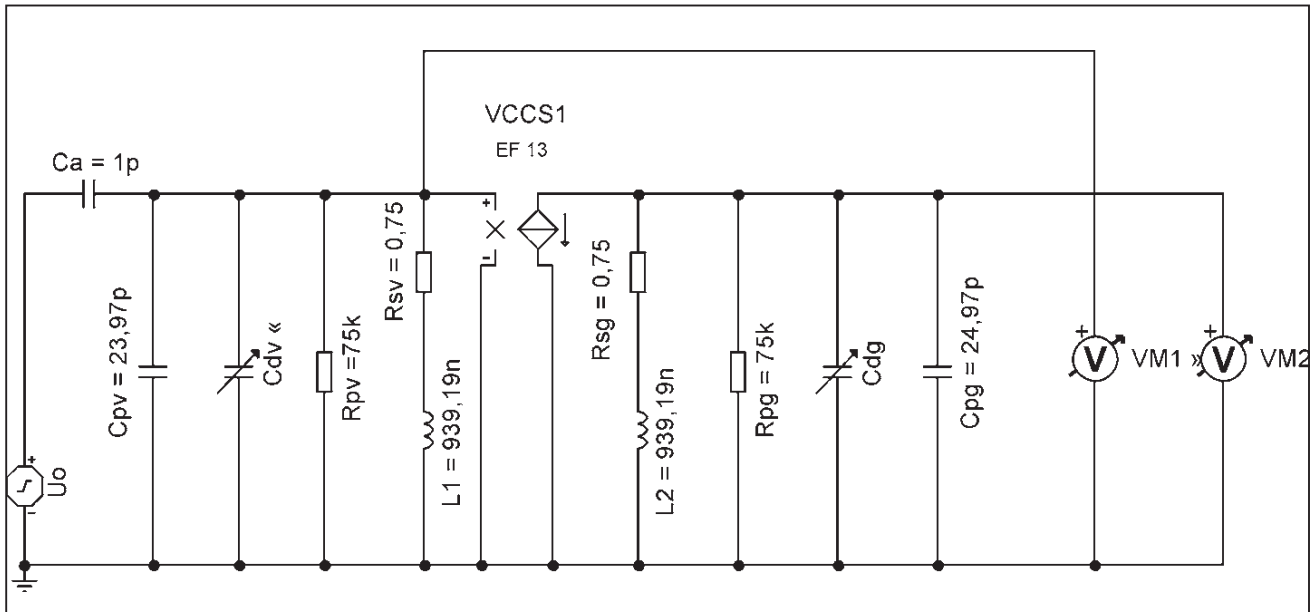


Bild 11: Durchlasskurven des ersten KW-Kreises von Bild 10 bei 10, 20 und 30 MHz und Spiegelfrequenzdämpfung bei einer ZF von 468 kHz und von 10,7 MHz.

Bild 10: Vorstufe mit EF 13 und KW-Einzelkreisen im Gitter- und im Anodenkreis. (ELECTINA-Simulation)

entstehen, dann müssen an das Durchlassverhalten der Super-Eingangsschaltung bestimmte Anforderungen gestellt werden. In Teil 2 „Die Hochfrequenzstufe des Überlagerungsempfängers“ werden diese Anforderungen und die Lösungen der Probleme untersucht.

Der Kurzwellenbereich

Als Kurzwellenbereich werde hier der Frequenzbereich von 10 MHz bis 30 MHz definiert. Die Fre-

quenzen sind hier also 20-mal so groß wie im Mittelwellenbereich. Während im Mittelwellenbereich die niedrigste Empfangsfrequenz von 500 kHz kaum größer ist als die Zwischenfrequenz von 468 kHz, ist im Kurzwellenbereich die niedrigste Empfangsfrequenz auch 20-mal größer als die Zwischenfrequenz. Die Spiegelfrequenz $f_e' = f_{osZ} + f_{ZF}$ ist also relativ gesehen kaum größer als die Empfangsfrequenz $f_e = f_{osZ} - f_{ZF}$. Die Spiegelfrequenzunterdrückung ist deshalb im üblichen Rundfunkempfänger mit Kurzwelle ein großes, kaum lösbares Problem.

Die absolute Bandbreite der Schwingkreise im Kurzwellenbereich bezogen auf die NF-Bandbreite von 4,5 kHz ist sehr groß. Bandfilter im HF-Teil des Supers sind deshalb nicht sinnvoll. Da außerdem aperiodische Verstärker ausreichender Verstärkung im KW-Bereich nur schwer zu realisieren sind, bietet sich im KW-Bereich beim Spitzensuper der HF-Verstärker mit Einzelkreisen im Gitter- und im Anodenkreis der HF-Verstärkerröhre an. Beim Spitzensuper mit HF-Bandfilter im LW- und MW-Bereich wird der KW-Bereich üblicherweise auf Einzelkreise im Gitter- und im Anodenkreis umgeschaltet.

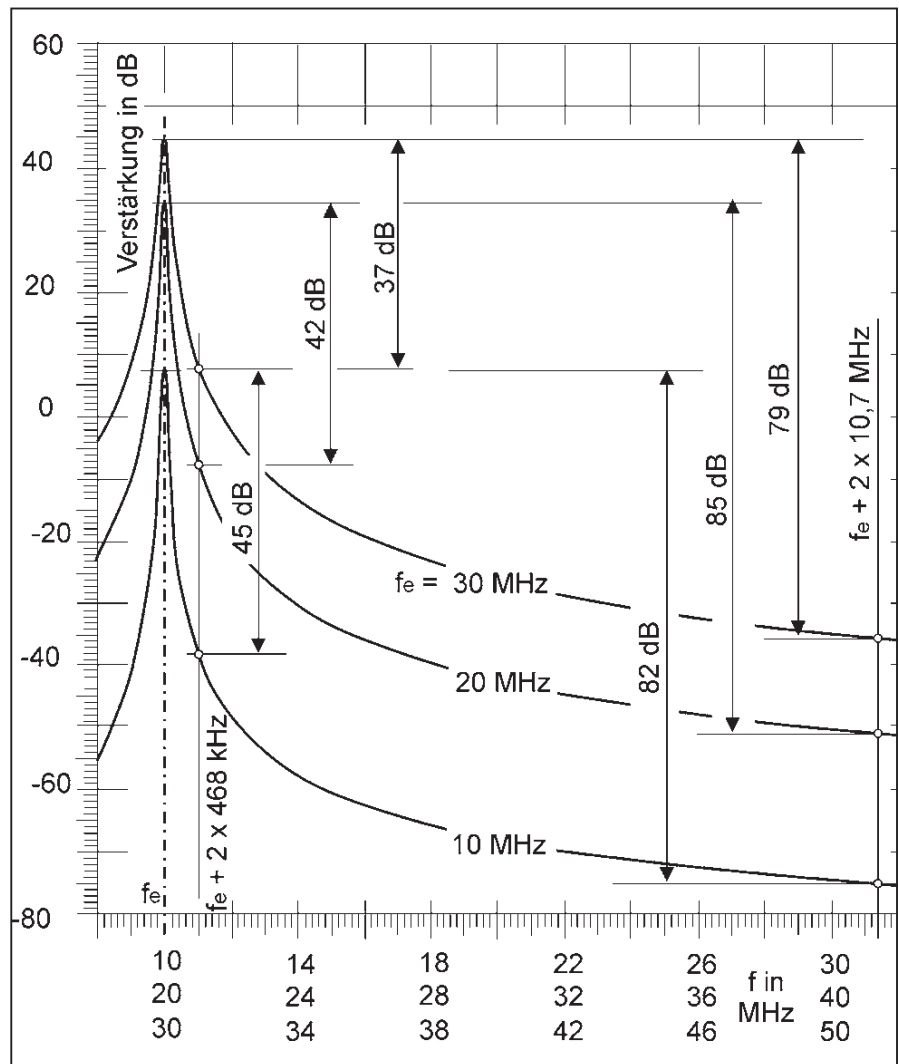


Bild 12: Durchlasskurven des zweikreisigen HF-Verstärkers nach Bild 10 bei 10, 20 und 30 MHz und Spiegelfrequenzdämpfung bei einer ZF von 468 kHz und von 10,7 MHz.

Mit der Schaltung nach Bild 10 wurde der HF-Verstärker eines Spitzensupers im KW-Bereich simuliert (ELECTINA) und bezüglich Gleichlauffehler und Spiegelfrequenzsicherheit untersucht.

Wegen der großen absoluten Durchlassbreite im KW-Bereich ist der Gleichlauffehler bei einer ZF von 468 kHz völlig unproblematisch. Problematisch bei KW-Empfang und einer ZF von 468 kHz sind die Spiegelfrequenzen. Bild 11 zeigt die Durchlasskurven des einzelnen KW-Kreises von Bild 10 bei 10, 20 und 30

MHz mit Kreisgüten von 75, 129 und 144. Bild 12 zeigt die Durchlasskurven des zweikreisigen HF-Verstärkers mit EF 13 nach Bild 10 mit den gleichen Kreiseigenschaften wie bei Bild 11.

Man erkennt in Bild 11, dass bei einem Kreis und bei einer ZF von 468 kHz die Spiegelfrequenzunterdrückung von etwa 20 dB völlig unzureichend ist. Selbst mit dem zweistufigen HF-Verstärker wird bei 468 kHz nur eine Spiegelfrequenzdämpfung um 40 dB erreicht. Auch dieser Wert ist bei den großen Unterschieden der Antennenspannungen im KW-Bereich bei höheren Ansprüchen, z.B. des KW-Amateurs, sehr unbefriedigend. Erst bei wesentlich größeren Zwischenfrequenzen ist eine befriedigende Spiegelfrequenzdämpfung zu erreichen, wie die in den Bildern 11 und 12 eingezeichneten Punkte für eine Zwischenfrequenz von 10,7 MHz zeigen. Bei dieser hohen ZF werden Dämpfungen von ungefähr 40 dB beziehungsweise 80 dB erreicht, wie den Bildern zu entnehmen ist.

Der Doppelsuper

Die Überlegungen zeigen, dass die Zwischenfrequenz eines Superhets nicht viel kleiner sein soll als die niedrigste zu empfangende Empfangsfrequenz des zu empfangenden Frequenzbandes, um eine ausreichende Spiegelfrequenzdämpfung durch den HF-Teil des Superhets zu erzielen. Im KW-Bereich ist die niedrigste Frequenz etwa 10 MHz, also sollte man hier eine Zwischenfrequenz von etwa 10 MHz wählen. Tatsächlich ist bei kommerziellen KW-Geräten eine Zwischenfrequenz von 10,7 MHz

üblich, die gleiche ZF, wie sie auch bei UKW-Geräten verwendet wird. Diese Frequenz wird ebenso wie das Frequenzband um 460 kHz nach internationaler Übereinkunft als Zwischenfrequenz für die Empfängertechnik von Sendern freigehalten.

Mit der hohen Zwischenfrequenz wird zwar das Problem der Spiegelfrequenzunterdrückung gelöst, dafür wird aber die Trennschärfe des ZF-Verstärkers bei 10,7 MHz sehr schlecht. Wie kann dieses Problem gelöst werden? Durch Umsetzung der Zwischenfrequenz von 10,7 MHz auf eine zweite, niedrigere ZF (z.B. auf die üblichen 468 kHz) kann die erforderliche Trennschärfe erzielt werden.

Damit ergibt sich folgende Aufgabenteilung: Eine eventuell vorhandene HF-Stufe wird für maximale Rauscharmut dimensioniert, die erste hohe ZF von 10,7 MHz übernimmt die Aufgabe hoher Spiegelfrequenzdämpfung, und die zweite, niedrige ZF von 468 kHz sorgt für hohe Trennschärfe und hohe Verstärkung.

Das ist das Prinzip des Doppelsupers, es ist in Bild 13 dargestellt.

Der HF-Stufe folgt die erste Mischröhre mit abstimmbarem Oszillator, die die Empfangsfrequenz auf die erste Zwischenfrequenz von 10,7 MHz transponiert. Die große ZF sichert in Verbindung mit den KW-Vorkreisen eine hohe Spiegelfrequenzdämpfung – die Trennschärfe ist aber bei dieser Zwischenfrequenz noch sehr ungenügend. Diese wird durch die niedrige zweite Zwischenfrequenz von 468 kHz erzielt. Dabei muss der zweite Oszillator nicht abgestimmt werden. Er wird deshalb meistens als Quarzoszillator ausgeführt.

Die Aufgabe der Spiegelfrequenzdämpfung obliegt hier also alleine

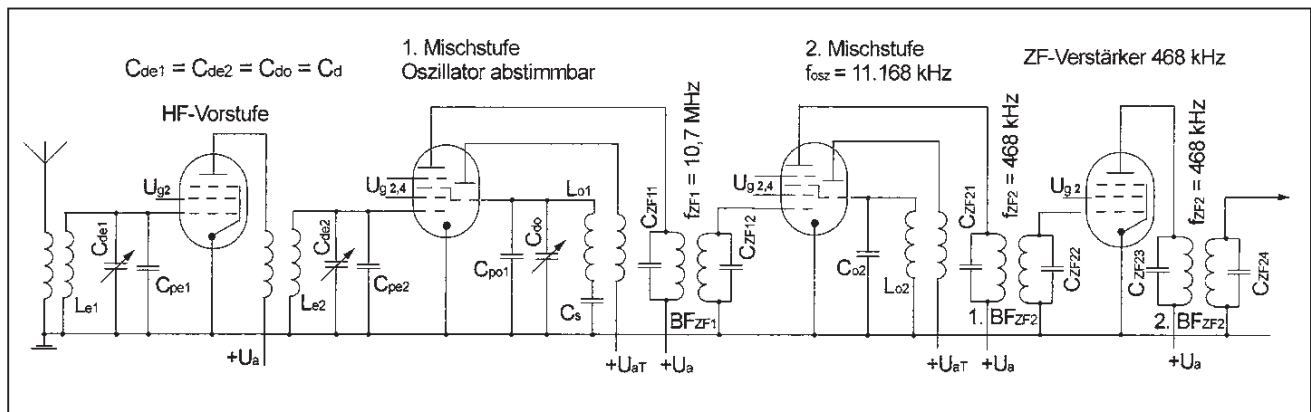


Bild 13: *Prinzip eines KW-Doppelsupers mit den Zwischenfrequenzen 10,7 MHz und 468 kHz.*

der ersten Mischstufe mit der hohen Zwischenfrequenz, die Aufgabe der Trennschärfe alleine der zweiten Mischstufe beziehungsweise dem ZF-Verstärker für die niedrige Zwischenfrequenz, und die Abstimmung erfolgt alleine durch den ersten Oszillator und die HF-Stufe. Eine HF-Vorstufe kann auf optimales Rauschverhalten optimiert werden, dafür stehen Spezialröhren zur Verfügung.

Heute wird der erste Oszillator in quarzgesteuerter PLL-Schaltung ausgeführt, sodass auch bei der Abstimmung Quarzgenauigkeit erzielt wird.

Zusammenfassung

Am Beispiel des Mittelwellenbereichs werden die bei der Superhetschaltung bestehenden Probleme Trennschärfe, Oszillatorgleichlauf und Spiegelfrequenzunterdrückung untersucht und an einem Beispiel die Optimierung des Oszillatorkreises für Mittelwelle gezeigt. Aus der Gleichlaufkurve wird die Abgleichvorschrift für den HF-Teil abgeleitet. Die bei Kurzwellenempfang bestehenden Unterschiede gegenüber dem Mittelwellenempfang werden dargestellt, und der Doppelsuper als vorzügliche

Empfängerschaltung für den Kurzwellenempfang wird beschrieben.

... wird fortgesetzt.

Literatur:

- [1] Telefunken (Runge). Patentschrift Nr. 430895. Schaltungsanordnung zweier Schwingkreise, deren Differenzfrequenz bei gleicher Änderung eines Abstimmungsmittels konstant gehalten werden soll. Patentiert ab 16.11.1924.
- [2] Pitsch, H.: Lehrbuch der Funkempfangstechnik. Leipzig 1950.
- [3] ELECTINA. Das komplette Elektroniklabor (Simulationsprogramm) Version 5.50.007SF. DesignSoft, Inc.