

Bild 5 zeigt dann schließlich die Schaltelemente der eigentlichen **Mehrweg-Hochfrequenz-Gegenkopplung** mit dem zugehörigen Schalter SB, mit dem die Bandbreite in 3 Stufen eingestellt werden kann (Stufen 1 bis 3: ohne Gegenkopplung, schmal; Stufe 4: mit Gegenkopplung, mittel; Stufe 5: mit Gegenkopplung, breit). Im Interesse des einfacheren Verständnisses sind  $C_{ag}$  und die Neutralisation hier wieder weggelassen, weil sie für die Funktion und für das Verständnis der MHG-Schaltung ohne Bedeutung sind. An Hand von Bild 5 soll die MHG-Schaltung diskutiert werden.

### Schaltungsbeschreibung und praktische Erfahrung nach dem ZF-Abgleich

In den Schalterstellungen 1 bis 3 des Schalters SB ist die MHG-Schaltung ohne Wirkung. Da alle Kreise unterkritisch gekoppelt sind, entspricht die Durchlasskurve des ZF-Verstärkers vom Gitter der ECH 42 bis zu Messpunkt MP1 (Bild 5) weitgehend der Durchlasskurve von fünf nullgekoppelten Kreisen. Die Bandbreite ist schmal (Bild 7, Kurve „schmal“). Die verzögerte Regelspannung entsteht an der linken Diode der EBF 80 und wird in voller Höhe über einen Widerstand von  $1\text{ M}\Omega$  Gitter 1 der E(C)H 42 und in halber Höhe [18; § 352] über den Spannungsteiler  $1\text{ M}\Omega / 1\text{ M}\Omega$ , die Schalterkontakte 1, 2, 3, die Wicklungen IV/2, IV/1 und den Widerstand  $30\ \Omega$  dem Steuergitter der E(B)F 80 zugeführt. Die Kreise II, IV und V werden über die Wicklungen II/2, IV/2, V/3 und die Widerstände  $500\ \Omega$ ,  $1\text{ k}\Omega$  und  $100\ \Omega$  in Reihe mit  $500\ \Omega$  bedämpft. Die Dämpfung ist jedoch ganz gering und messtechnisch kaum nachweisbar. Der ZF-Verstärker wurde entsprechend der SABA-Abgleichanweisung abgeglichen und die Durchlasskurven mit Wobbelsender und Oszillograf gemessen; die Ergebnisse zeigen die Bilder 8, 9 und 10, Durchlasskurven fast wie aus dem Lehrbuch.

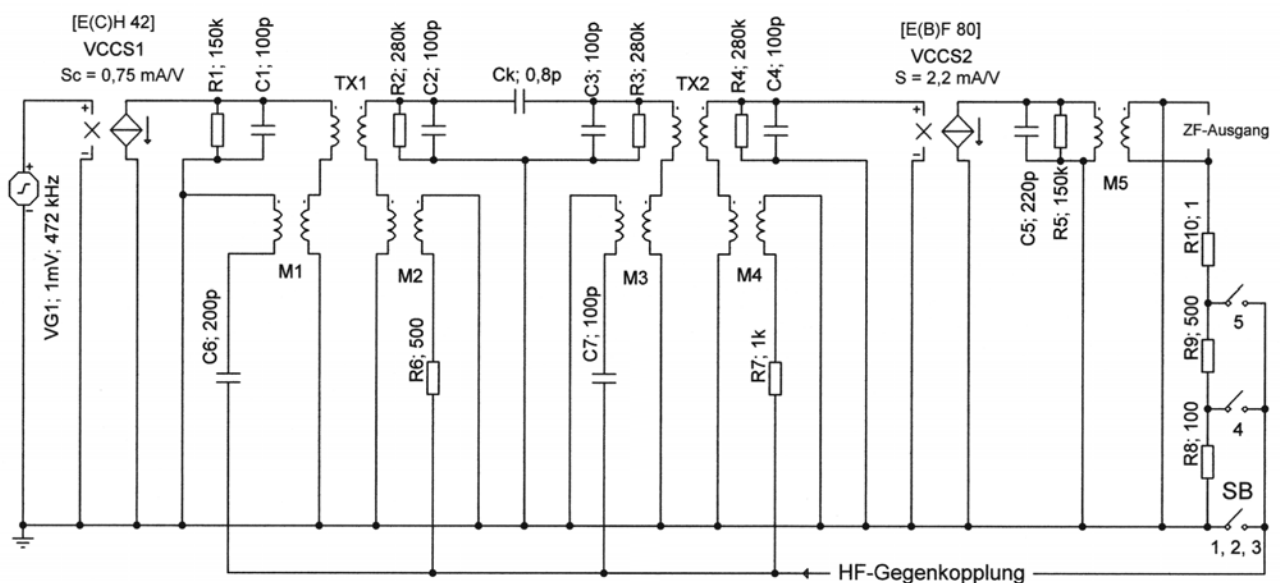


Bild 6: ELECTINA-Simulationsmodell des ZF-Verstärkers SABA Bodensee W 52.

Doch die Freude währte nicht lange; als das Gerät am Tage nach dem Abgleich wieder eingeschaltet wurde, war die Wobbelkurve in der Schalterstellung 5 (breit) sehr unsymmetrisch. Was war geschehen? SABA beschreibt die MHG-Schaltung als gegengekoppelten Hochfrequenz- bzw. Zwischenfrequenz-Verstärker. Bei Gegenkopplung erwartet man jedoch eine Erhöhung der Stabilität; tatsächlich zeigte jedoch das Messergebnis, dass die Schaltung nicht stabil und offensichtlich wärmeabhängig ist.

Die Ursache der Instabilität sollte untersucht werden. Die Untersuchung erfolgte rechnerisch mit dem Simulationsprogramm ELECTINA. Durch Messungen am Gerät des Verfassers (durch Messungen der Übersetzungsverhältnisse und der Kopplungen der ZF-Übertrager,

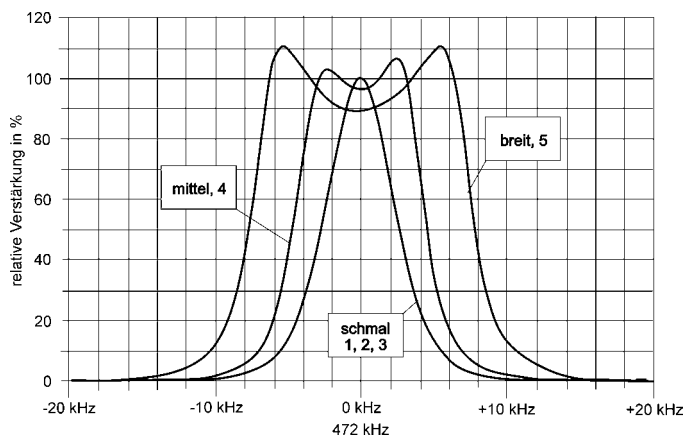


Bild 7: Mit ELECTINA berechnete Durchlasskurven des ZF-Verstärkers nach Bild 6 in den Stellungen des Bandbreitenschalters SB 1, 2 bzw. 3 (schmal) und in den Stellungen 4 (mittel) und 5 (breit) (472 + 20 kHz).

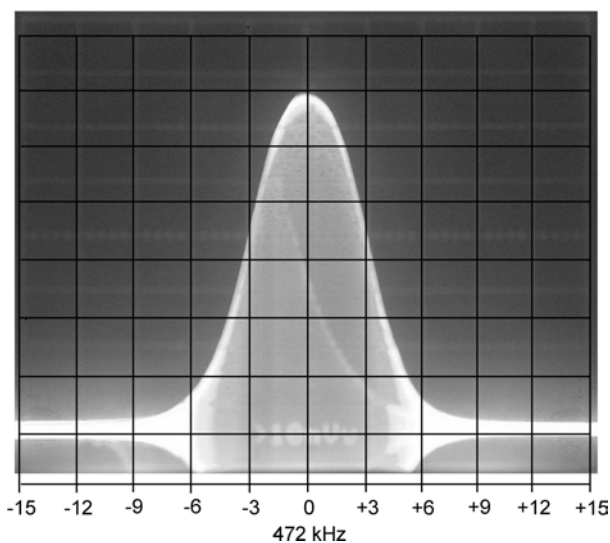


Bild 8: Durchlasskurve „schmal“ des ZF-Verstärkers an Messpunkt MP1 (472 ± 15 kHz).

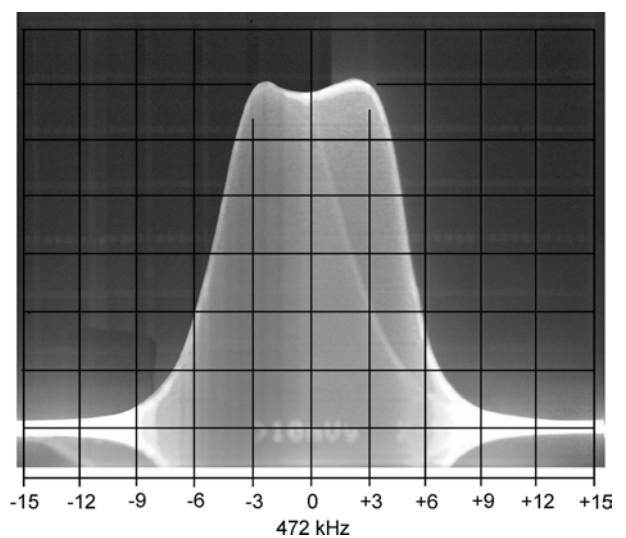


Bild 9: Durchlasskurve „mittel“ des ZF-Verstärkers an Messpunkt MP1 (472 ± 15 kHz).

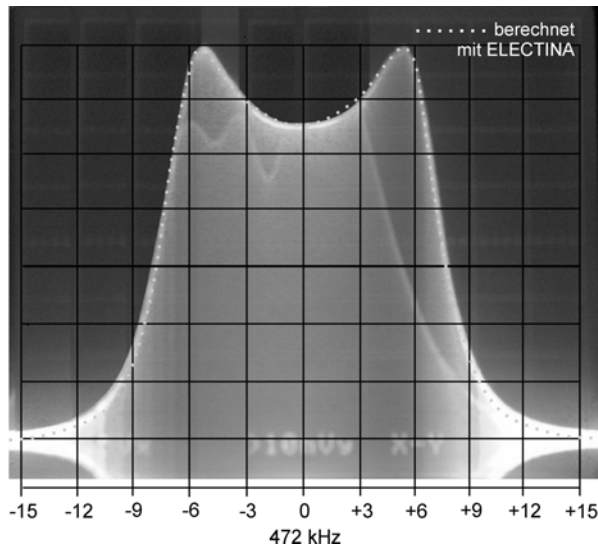


Bild 10: Durchlasskurve „breit“ des ZF-Verstärkers an Messpunkt MP1 ( $472 \pm 15$  kHz). Mit ELECTINA berechnete Kurve punktiert.

durch Messungen der Spulengüte u.a.) konnte das Ersatzschaltbild (Bild 6) gewonnen werden, mit dem das Verhalten der Schaltung und die Abhängigkeit von Bauteiletoleranzen simuliert werden können. Im Simulationsmodell Bild 6 sind die Kondensatoren 25 nF, 50 nF und  $0,1 \mu\text{F}$  weggelassen, die in der wirklichen Schaltung die MHG-Kreise und die Regelspannung hochfrequenzmäßig gegen Null abblocken und die auf das Hochfrequenzverhalten im ZF-Bereich keinen Einfluss haben; sie sind durch Verbindungen gegen Null ersetzt.

Die berechneten Kurven in Bild 6 stimmen sehr gut mit den gemessenen Kurven (Bilder 8, 9 und 10) überein, die mit Wobbelsender und Oszillograf an Messpunkt MP1 (SABA-Schaltbild: „Hier kann ein Kurvenschreiber angeschlossen werden“) gewonnen wurden. Die durch den X-Rücklauf erzeugten Bilder wurden durch digitale Bildbearbeitung entfernt.

### Theoretische Untersuchung der MHG-Schaltung

Im folgenden soll unter „Rückkopplung“ ganz allgemein die Rückführung eines Teils des Ausgangssignals eines Verstärkers auf den Eingang verstanden werden. „Mitkopplung“ ist eine Rückkopplung, die die Verstärkung des Verstärkers erhöht, „Gegenkopplung“ eine Rückkopplung, die die Verstärkung vermindert.

Die Wirkung der Rückkopplung auf HF-Koppelfilter wurde insbesondere in den 30er- und 40er-Jahren eingehend wissenschaftlich untersucht. *Steinmetz* hat 1937 in [3], *Frühau* 1938 in [4] und *Mühlner* 1939 in [7] die Wirkung verschiedenster Formen der Rückkopplung auf die Durchlasskurve behandelt. Sie haben gezeigt, dass durch jeweils phasenrichtige Mit- und Gegenkopplung von dem Anodenkreis einer Verstärkerröhre auf die Bandfilterkreise des

Gitterkreises symmetrische Durchlasskurven erzielt werden können, sie haben die Konstruktionsregeln dafür formuliert und den Einfluss auf Bandbreite und Flankensteilheit untersucht.

*Steinmetz* schreibt als Schlussbemerkung seines Aufsatzes [3]: „Obige Rechnungen zeigen, dass man gerade mit der im Empfängerbau gefürchteten Rückkopplung zu fast idealen veränderbaren Filtern gelangt, wenn die richtigen Schaltteile richtig gekoppelt sind, andererseits wird eine Erklärung für das manchmal rätselhafte Verhalten unabsichtlich rückgekoppelter Hochfrequenzverstärker gegeben.“ Er beschreibt mit Bild 11 in anschaulicher Weise, wie die Rückkopplungen ausgeführt werden müssen, um die Bedingungen für symmetrische Durchlasskurven zu erfüllen.

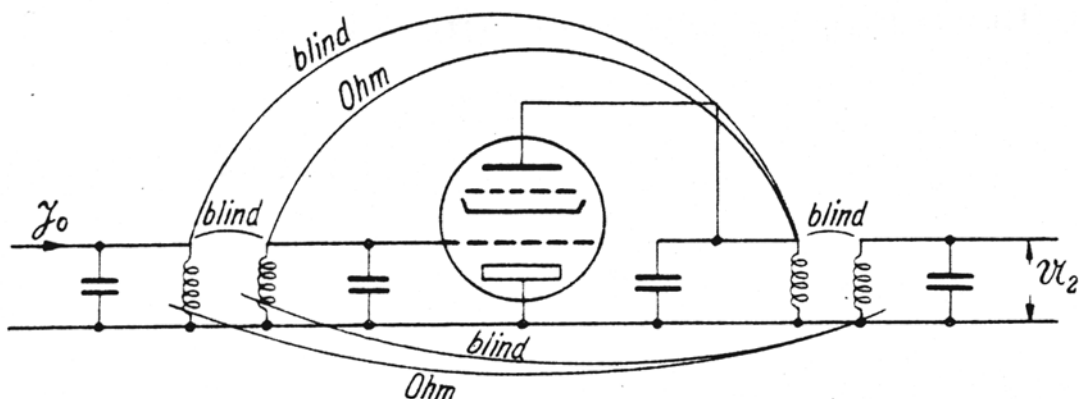


Bild 11: Zusammenstellung erwünschter Rückkopplungen (Bild 5 in [3]), die keine Unsymmetrien hervorrufen.

Krieg und Nachkriegszeit erklären, dass es bis 1950 gedauert hat, bis dass diese Erkenntnisse in Deutschland in den Empfängerbau Eingang fanden [21]. In [20] berichtet Prof. *Leuthold*, dass sein Vater *Eugen Leuthold* seine Berechnungen im allgemeinen ohne Studium der Literatur selbst durchgeführt und die nötigen Formeln selbst abgeleitet hat; [19] bestätigt diese Annahme auch für die MHG-Schaltung. Für die Berechnung bedurfte es zu einer Zeit, die noch keine Taschenrechner oder gar Computer kannte, großer theoretischer und mathematischer Kenntnisse; *Leuthold* soll 10 Jahre [19] an dem Problem gearbeitet haben.

SABA baute Geräte mit der MHG-Schaltung in verschiedenen Ausführungen: mit Vierkreis-Bandfilter, mit Zweifach- und mit Dreifach-Bandfilter zwischen Mischröhre und ZF-Verstärkerröhre, mit Einzelkreis und mit Zweifachbandfilter im Anodenkreis der ZF-Röhre, mit Kapazitäten und mit Induktivitäten als Blindwiderstand im Rückkopplungsweig (s. Tabelle 1), mit Ratiodetektor und mit EQ 80. Die Ergebnisse dieses Aufsatzes, der die MHG-Schaltung des SABA-Bodensee W 52 beschreibt, lassen sich auf die anderen SABA-MHG-Geräte entsprechend übertragen.