

Die Funktionsweise wird im folgenden untersucht. Auf Mathematik wird verzichtet. Die richtige Dimensionierung ergibt sich wegen der komplizierten Zusammenhänge jedoch nur aus der Berechnung. bzw. aus der Darstellung mit Zeigerdiagrammen. Für die Berechnungen wird das Programm ELECTINA verwendet.

Um durch Rückkopplung die Bandbreite eines Filters zu verbreitern gibt es die Möglichkeit, die Verstärkung in Bandmitte symmetrisch zu verkleinern (Gegenkopplung) oder an beiden Seitenbändern symmetrisch zu erhöhen (Mitkopplung). Es soll untersucht werden, welche Methode von *Leuthold* angewandt wurde.

Das Signal des Kreises V im Anodenkreis der EBF 80 (Bild 5) wird als Rückkopplungssignal auf die Rückkopplungsspulen I/2 bis IV/2 der vier Bandfilterkreise zurückgeführt. Das zunächst für alle vier Kreise gleiche Rückkopplungssignal entsteht induktiv in der Kopplungsspule V/3 und an dem Spannungsteiler $500 \Omega / 100 \Omega$, der die Kopplungsspule V/3 belastet. Den Kreisen I und III wird dieses Signal über Blindwiderstände, die Kapazitäten 200 pF bzw. 100 pF , den Kreisen II und IV über die Wirkwiderstände 500Ω bzw. $1 \text{ k}\Omega$ und über die zugehörigen Kopplungsspulen zugeführt, gerade so, wie es *Steinmetz* in Bild 11 vorschreibt. Betrag und Phase der einzelnen Rückkopplungsströme werden durch diese Widerstände und Kondensatoren und durch die Koppeligenschaften der Kopplungsspulen (Induktivität, Kopplungsfaktor) bestimmt. Während die Beträge des Übertragungsfaktors der Rückkopplungsströme von Kreis V zu den einzelnen Kreisen I bis IV frequenzunabhängig sind (Blind- und Wirkwiderstände sind in dem betrachteten Frequenzbereich praktisch frequenzunabhängig), ist der Phasenwinkel des Übertragungsfaktors sehr stark frequenzabhängig; er ist im wesentlichen für das Frequenzverhalten der Rückkopplung verantwortlich.

Zur Erklärung der Schaltung soll ein Gedankenexperiment helfen. In Bild 12 ist der ZF-Verstärker dreifach gezeichnet: Der obere Verstärker zeigt die Schaltung entsprechend Bild 6 mit der Eingangsspannung \underline{U}_e und der Ausgangsspannung \underline{U}_s in der Schalterstellung BS 5 (breit).

Der mittlere Verstärker entspricht ebenfalls Bild 6, jedoch ohne Gegenkopplung; das Eingangssignal \underline{U}_e entspricht dem oberen Verstärker. Der untere Verstärker erhält kein Eingangssignal, jedoch als Rückkopplungssignal das Ausgangssignal des oberen Verstärkers. Die Ausgangssignale \underline{U}_{or} und \underline{U}_r werden in Σ zu \underline{U}_Σ summiert.

\underline{U}_{or} entspricht dem Ausgangssignal des nicht gegengekoppten Verstärkers in den Schalterstellung BS 1, 2, 3. \underline{U}_r ist das Ausgangssignal des ZF-Verstärkers in Schalterstellung BS 5, dem nur die Rückkopplungssignale zugeführt werden.

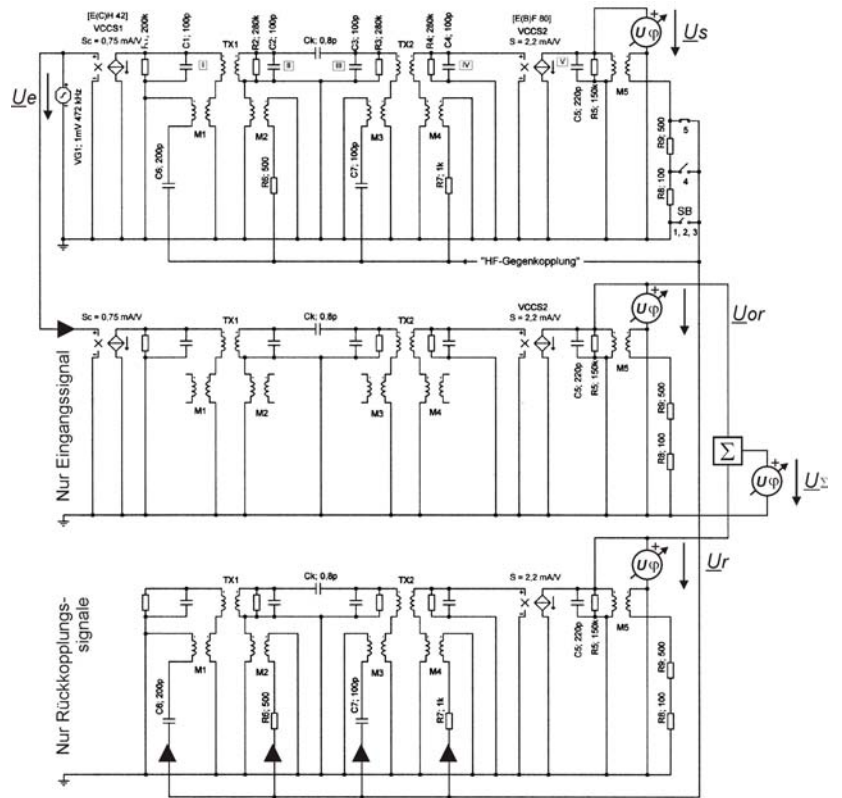


Bild 12: ZF-Verstärker mit parallel gedachtem Verstärker ohne Gegenkopplung (Mitte) bzw. nur mit Gegenkopplung (unten).

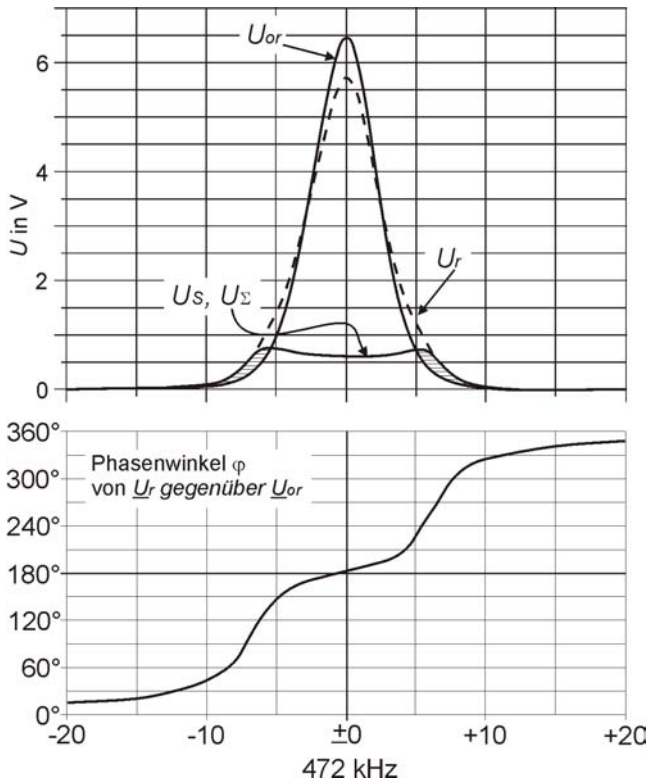


Bild 13: Beträge der Spannungen U_s , U_{or} , U_r und U_Σ und Phasenverschiebung von U_r gegenüber U_{or} in Abhängigkeit von der Frequenz 472 ± 20 kHz.

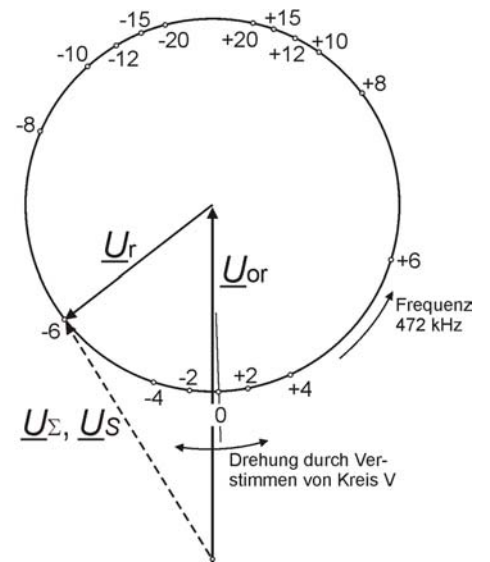


Bild 14: Vektorielle Addition der Spannungen U_{or} und U_r zur Summenspannung U_s bzw. U_Σ in Abhängigkeit von der Frequenz 472 ± 20 kHz.

Nach dem Superpositionsgesetz entspricht die summierte Spannung \underline{U}_Σ der Ausgangsspannung \underline{U}_S des oberen Verstärkers. Die beiden Signale \underline{U}_{or} und \underline{U}_r lassen sich nun berechnen und nach Betrag und Phase miteinander vergleichen um zu erkennen, wie durch vektorielle Addition der beiden Spannungen die Spannung \underline{U}_Σ bzw. \underline{U}_S entsteht. In Bild 13 sind die Beträge der Spannungen \underline{U}_{or} und \underline{U}_r und die Phasenverschiebung des rückgekoppelten Signals \underline{U}_r gegenüber dem nicht rückgekoppelten Signal \underline{U}_{or} dargestellt.

Bild 14 zeigt, wie sich der Spannungsvektor \underline{U}_r zu dem Spannungsvektor \underline{U}_{or} vektoriell zum Summensignal \underline{U}_Σ bzw. \underline{U}_S addiert.

Man erkennt, wie durch Gegenkopplung die Summenspannung U_S im Frequenzbereich von etwa 472 ± 5 kHz wesentlich kleiner wird als das nicht rückgekoppelte Signal U_{or} und wie dadurch die Durchlasskurve abgeflacht und verbreitert wird; hier liegt die Phasenverschiebung φ in der Größenordnung von 180° . An den Seitenbändern jedoch, in den schraffierten Bereichen, wird die Summenspannung U_S größer als das nicht rückgekoppelte Signal U_{or} ; die Phasenverschiebung wandert in Richtung 0° bzw. 360° . Im schraffierten Bereich erfolgt eine MITKOPPLUNG!

Damit wird verständlich, warum der ZF-Verstärker in der Schalterstellung BS 5 „breit“ im Bereich der Seitenbänder weniger stabil ist als in den anderen Schalterstellungen. Durch die Mitkopplung werden z.B. durch thermische Instabilitäten die Seitenbänder leicht unsymmetrisch. Die experimentelle Beobachtung hat ihre theoretische Erklärung gefunden.

Regelspannung an der ZF-Verstärkerröhre

In den Schalterstellungen BS 4 und 5 („mittel“ und „breit“) wird die Regelspannung der ZF-Röhre EBF 80 abgeschaltet; das Steuergitter erhält über die Katodenkombination eine feste Gittervorspannung. Diese Maßnahme ist notwendig, damit bei eingeschalteter MHG-Schaltung die ZF-Verstärkung und damit die Rückkopplung vom Anodenkreis auf die Kreise des Vierfachfilters konstant und unabhängig von der Amplitude des Empfangssignals sind. Andernfalls würde bei wachsendem Antennensignal die Verstärkung der ZF-Röhre und damit auch die Rückkopplung verringert, die Bandbreite würde mit wachsendem Antennensignal kleiner. Tatsächlich lässt sich aber die große Bandbreite nur bei großen Antennensignalen, z.B. beim Ortssender, nutzen. Durch die Rückkopplung bzw. Gegenkopplung in Bandmitte wird die Verstärkung der ZF-Stufe um rund 20 dB (1 : 10) verringert; die Regelung erfolgt in den Stellungen „mittel“ bzw. „breit“ nur über die Mischröhre ECH 42, eine Maßnahme, die erlaubt ist, weil nur bei starken und nicht schwundbehafteten Sendern die größere Bandbreite sinnvoll ist.

Bandbreitenumschaltung und NF-Frequenzgang

Gleichzeitig mit der Umschaltung der AM-ZF-Bandbreite erfolgt eine Beeinflussung des NF-Frequenzganges im oberen Frequenzbereich, indem zwischen Anode der NF-Vorverstärkerröhre EF 40 und Masse RC-Glieder verschiedener Größe geschaltet werden.

AM-Abgleich

Der Abgleich aller AM-Kreise erfolgt von oben bzw. von einer Seite. Der untere Kern wird durch den oberen Kern hindurch abgeglichen (s. Bild 15). Für den Abgleich aller AM-Kreise sind drei verschiedene Trimm Schlüssel notwendig. Neben den Trimm Schlüsseln und der Anordnung der HF- und ZF-Kreise zeigt Bild 15 auch das für den Abgleich erforderliche Dämpfungsglied.

Die Trimm Schlüssel lassen sich leicht aus PVC-Rundstangen, zur Not aus Buchenholzrundstangen (Baumarkt) selbst herstellen. Die Kerne sollten nicht durch ungeeignete Schlüssel demoliert werden.

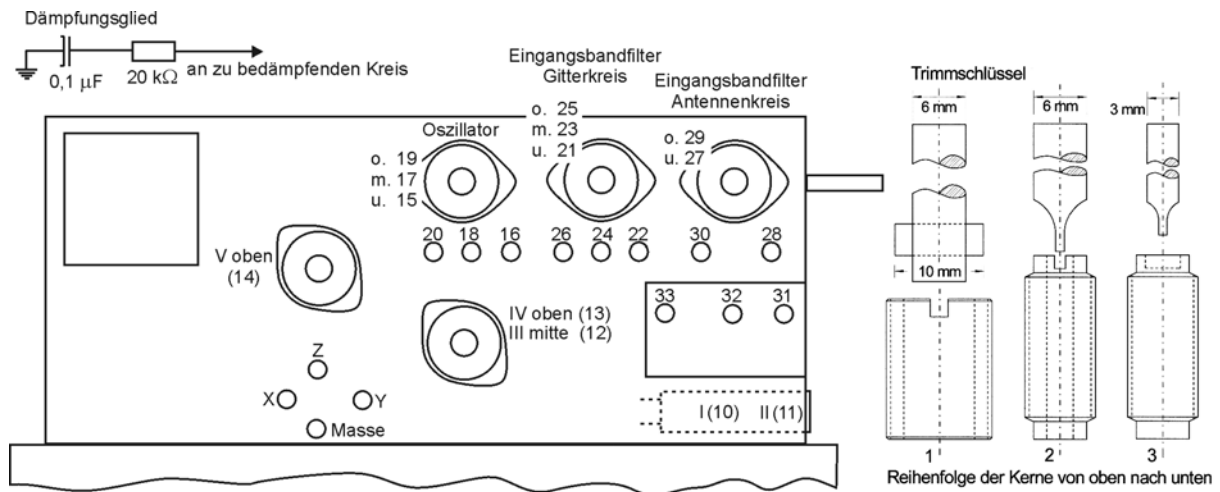


Bild 15: Trimmplan für Bodensee W 52.

Die Eisenkerne dürfen auf keinen Fall in den Spulenkörpern wackeln. Da die Gummischnüre längst spröde oder auch nicht mehr vorhanden sind, hat sich folgende einfache Methode als Kern-, „bremse“ bewährt: Vier Zwirnfäden zusammendrehen und durch CLOU-Wachskittstangen (Baumarkt) ziehen und dadurch wachsen; geeignete Länge abschneiden, in die Gewindebohrung des Spulenkörpers legen und Eisenkern eindrehen.

1. Vorarbeiten

- Wellenschalter auf Mittelwelle.
- MHG-Schalter auf Stellung 3.
- Ca. -6 Volt Regelspannung an linke Diode der EBF 80 anlegen (Widerstand 680 kΩ an linke Diode der EBF 80, Minus einer 9-V-Batterie an das andere Ende des Widerstandes, Plus der Batterie an Masse).
- Bei amplitudenmoduliertem Messsender: NF-Voltmeter an Lautsprecherbuchsen.

- Bei unmoduliertem Messsender: =-Voltmeter mit $R_i > 1\text{M}\Omega$ über Vorwiderstand $1\text{M}\Omega$ an rechte Demodulatoriode der EBF 80, Plus des Instrumentes an Katode der EBF 80 oder Oszillograf mit Tastkopf 1:10 an Messpunkt MP1.
- Messsender und Rundfunkgerät ca. $\frac{1}{2}$ Stunde warm laufen lassen, dann Messsender auf 472 kHz einstellen, **nicht mehr verstimmen bis der ZF-Abgleich beendet ist**. Messfrequenz an das Gitter der ECH 42 (Vorkreisrehko) legen. Amplitude so einstellen, dass die Röhren nicht übersteuert werden, an den Messgeräten jedoch ein gutes Signal anliegt.
- Grobabweichung: Die Kreise I bis V der Reihe nach auf Maximum einstellen.

2. Vierfach-Filter

- Kreis II mit Dämpfungsglied Bild 15 bedämpfen
- Kreis I auf Maximum
- Kreise I und III mit je einem Dämpfungsglied Bild 15 bedämpfen
- Kreis II auf Maximum
- Kreise II und IV mit je einem Dämpfungsglied Bild 15 bedämpfen
- Kreis III auf Maximum
- Kreis III mit Dämpfungsglied Bild 15 bedämpfen
- Kreis IV auf Maximum

3. Diodenkreis V

- Kreis V auf Maximum

4. Kontrolle mit Wobbelsender

Wenn ein Wobbelsender zur Verfügung steht, sollte der Abgleich mit diesem kontrolliert werden, um sicherzustellen, dass in der Schalterstellung „breit“ (5) die ZF-Durchlasskurve symmetrisch ist:

- Wobelfrequenz: $472 \pm 15\text{ kHz}$, Wobbelsender an Gitter der ECH 42 wie oben, die Röhren dürfen nicht übersteuert werden.
- Oszillograf an Messpunkt MP1 bzw. mit Wobbelsender verbinden.
- Bandbreitenschalter in Stellung 5 „breit“.
- Regelspannung ist durch Batteriespannung ersetzt wie oben beschrieben
- Am Oszillograf ist jetzt eine Kurve entsprechend Bild 10 sichtbar.
- **Dann und nur dann** wenn die beiden Höcker der Durchlasskurve **ungleich hoch** sind, den Diodenkreis V **vorsichtig** so verstimmen, dass beide Höcker gleiche Höhe haben.

Durch geringes Verdrehen des Kernes in Kreis V wird die Phasenlage der Rückkopplungsspannung verändert; dadurch erfolgt nach Bild 14 eine „Verdrehung“ der Frequenzskala nach rechts bzw. nach links und durch die veränderte vektorielle Addition der Spannungen \underline{U}_o und \underline{U}_r wird die Höhe, aber nicht die Lage der Höcker verändert.

5. Oszillator und Eingangsbandfilter

Messsender in Antennenbuchse.

Der Abgleich der Eingangsbandfilter Mittel und Lang soll unter wechselweiser Bedämpfung der Kreise (Statoranschlüsse der Eingangsdrehkos I u. II) mit dem Dämpfungsglied Bild 15 vorgenommen werden. Der Abgleich auf Kurzwelle muss in Mittelstellung (Null) der Kurzwellenlupe erfolgen.

Bereich	Zeiger	Abgleich	Oszillator Pos.	Eing.-B.F.I Antenne Pos.	Eing.-B.F.II Gitter Pos.
Kurz	42,7 m	L	15		21
	18,3 m	C	16		22
Mittel	570 kHz	L	17	27	23
	1330 kHz	C	18	28	24
Lang	190 kHz	L	19	29	25
	380 kHz	C	20	30	26

Andere Methoden der Bandbreiteneinstellung

Aus dem Literaturverzeichnis ist zu ersehen, dass neben der Bandbreiteneinstellung durch Änderung der Kopplung und durch HF-Gegenkopplung (MHG-Schaltung) auch andere Methoden gefunden wurden. Als SABA Anfang der 50er Jahre die Empfänger mit MHG-Schaltung auf den Markt brachte, baute NORD-MENDE Geräte mit Vierkreis-ZF-Filter und sogenannter Umwegkopplung zur Bandbreitenumschaltung. Über ein Gerät der ersten Serie von 1950/51, den NORD-MENDE 258 W, soll demnächst berichtet werden.

Quellenverzeichnis

- [1] *Frühauf, H.*: Die kritischen Bedingungen für gekoppelte Schwingkreise (Bandfilter). Bandfilter veränderlicher Bandbreite. Zeitschrift für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 46, 1935. S. 160 ff.
- [2] *Frühauf, H.*: Symmetrische, kapazitiv gekoppelte Bandfilter mit regelbarer Bandbreite. Zeitschrift für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 50, 1937. S. 197 ff.
- [3] *Steinmetz, J.*: Rückkopplungsbandfilter. Zeitschrift für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 51, 1938. S. 112 ff.
- [4] *Frühauf, H.*: Der Einfluß der Rückkopplung und der Gegenkopplung auf die Form der Resonanzkurve des 2-kreisigen Verstimmungsfilters und Kopplungsfilters. Zeitschrift für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 52, 1938. S. 96 ff.
- [5] *Schofield, B.R.*: Electrical Coupling Device. U.S. Patent 2,140,770. 20.12.1938.
- [6] *Wucherer, H.*: Dreikreisige Bandfilter mit symmetrischer ausgeglichener Übertragungskurve. Telegraphen-, Fernsprech-, Funk- und Fernsehtechnik Bd. 28 H. 6. 1939. S. 231 ff.
- [7] *Mühlner, J.*: Bandfilter mit und ohne Rückkopplung. Zeitschrift für Hochfrequenztechnik und Elektroakustik 54, 1939. S. 80 ff.
- [8] *Gensel, J.*: Über die günstigste Form der Übertragungskurven dreikreisiger Rundfunksiebschaltungen. Telegraphen-, Fernsprech-, Funk- und Fernsehtechnik Bd. 29 H. 6. 1940. S. 159 ff.
- [9] *Hudec, E.*: Hochfrequenz-Ausgleichsfilter. Elektrische Nachrichtentechnik Bd. 18, H. 3. 1941. S. 29. ff.
- [10] *Sommer, J.*: Vierkreisige Hochfrequenz-Siebschaltungen mit vierhöckriger, geebener Resonanzkurve. Mitteilungen aus dem Lab. für Nachrichtentechnik der Technischen Hochschule Stuttgart. Elektrische Nachrichtentechnik Bd. 18, H. 8. 1941. S. 178 ff.
- [11] *Kappelmayer, O.*: Neue Gedanken zum Export-Super. III. ZF-Verstärkung. Funktechnik Nr. 1 / 1948. S. 11 u. 12.
- [12] *Harmans, Dr.*: Zum Problem der Bandbreitenregelung. Mitteilung aus dem Rundfunklaboratorium der Firma Schaub, Pforzheim. Funk und Ton Nr. 11/12, 1949. S. 570 ff.
- [13] *Pfost, W.*: Eine dreikreisige, geebnete Hochfrequenzsiebschaltung mit veränderlicher Bandbreite und ihre praktische Verwirklichung. . Mitteilungen aus dem ZL der Siemens & Halske AG. Archiv der Elektrischen Übertragung. 3, 1949. S. 199 ff.
- [14] *Hentschel, G.*: Das Vierkreis-Bandfilter und die Bandbreitenumschaltung durch Umwegkopplung. Mitteilung aus dem Lab. der Norddeutschen Mende-Rundfunk GmbH. Funk und Ton Nr. 6, 1951. S. 281 ff.
- [15] *Pfost, W.*: Beitrag zur Berechnung gekoppelter HF-Bandfilter beliebiger Kreiszahl n mit Kreisen gleicher Güte. Mitteilungen aus dem ZL der Siemens & Halske AG. Archiv der Elektrischen Übertragung. 6, 1952. S. 135 ff.

- [16] *Drexler, G., Voss, H.H.*: Mehrkreisige Bandfilter mit optimaler Annäherung an die ideale Rechteckform der Durchlaßkurve. Frequenz Bd. 7/1953 Nr. 1. S. 20 ff.
- [17] *Ritzenthaler, J., H. Freudenberg*: Die interessante Schaltung –Radione 740 W. Teil 1: ZF-Verstärker. FUNKGESCHICHTE Nr. 135 (2001)
- [18] *Pitsch, H.*: Lehrbuch der Funktechnik. Akademische Verlagsgesellschaft. Leipzig 1950.
- [19] Saba bringt zur Saison: MHG, eine zukunftsreiche Erfindung für Superhets. Radio-Händler, Heft 15, Jg. 1950.
- [20] *Leuthold, Peter*, Prof. Dr., Zürich: Tabellarische Biografie von *Eugen Leuthold*. E-Mail an den Verfasser vom 09.07.2002
- [21] *Freudenberg, H.*: Eugen Leuthold, Entwickler der SABA-MHG-Schaltung. FUNKGESCHICHTE Nr. xyz (2003).