

## **Die interessante Schaltung – Radione 740 W. Teil 2 Störbegrenzer**

*Jean Ritzenthaler*, Genf, und *Hermann Freudenberg*, Netphen; GFGF

Erschienen in FUNKGESCHICHTE Nr. 136 (2001)

Von *Hermann Freudenberg* im Januar 2002 bearbeitet für <http://www.radiomuseum.org>

Nachdem in Teil 1 die Neutralisation des ZF-Verstärkers des Radione 740 W beschrieben wurde, widmet sich Teil 2 der Störbegrenzerschaltung. Die Bilder in Teil 1 haben die Nummern 1.1 bis 1.6, die Bilder in Teil 2 die Nummern 2.1 bis 2.8; die Literaturangaben in Teil 1 sind mit [1.1] bis [1.5], die in Teil 2 mit [2.1] bis [2.3] bezeichnet.

### **Störungen bei AM-Ernpfang**

Die Freude am amplitudenmodulierten Rundfunkempfang, insbesondere im Langwellenbereich, wird neben den auf gleicher oder benachbarter Welle arbeitenden Sendern durch eine Vielzahl aperiodischer Störer getrübt; als Beispiele seien genannt: atmosphärische Störungen (Gewitter), elektrische Geräte (Staubsauger), Schalter und Schaltanlagen, früher Bogen-, heute Leuchtstofflampen, elektrische Bahnen. Neben der Entstörung der Störer selbst, z. B. durch RC-Kombinationen, hat man schon in der Anfangszeit des Rundfunks nach Schaltungen gesucht, die im Empfänger die Wirkung der beschriebenen Störungen, wenn schon nicht verhindern, so doch erträglicher machen sollten. Solche Schaltungen wurden u. a. als Krachtöter bezeichnet; im Englischen heißen sie heute "noise limiter" und fehlen in keinem CB-Gerät. Bekannt und verbreitet war der Krachtöter an den Hörkapseln der Telefone der Hebdrehwählerzeit: Zwei antiparallel geschaltete Selengleichrichter schonten die Ohren bei starken Kontaktgeräuschen oder bei Induktionsstörungen auf den Telefonleitungen durch Begrenzung der Spannung an der Hörkapsel.

Der einfachste Störschutz ist die Tonblende, weil die Störungen meist im höherfrequenten Hörbereich liegen. Die in der Literatur der Röhrenzeit angegebenen Störschutzschaltungen nutzen nichtlineare Kennlinien zur Amplitudenbegrenzung der niederfrequenten Signale: Röhren, Glimmröhren, Trockengleichrichter.

## Radione 740 W

Eine ungewöhnliche Störschutzschaltung hat der Vorstufensuper Radione 740 W. Die Schaltung nutzt zur Begrenzung der niederfrequenten Störampplituden den Sperrbereich einer Diode EB 11; nicht die Spannung, sondern der niederfrequente Wechselstrom des Demodulators wird begrenzt. Im Folgenden soll die Funktionsweise der Schaltung beschrieben werden.

### Schaltungsausschnitt und Ersatzschaltbild

Die ZF-Verstärkerröhre EBF 11 ist nicht geregelt; die Regelspannung wirkt auf die Vorstufe EF 13 und die Mischstufe ECH 11 [1.1], [1.2], (Bild 1.1). Über die „linke“ Diode der EBF 11 wird die verzögerte Regelspannung gewonnen, die „rechte“ Diode wird als Demodulator verwendet.

An den Demodulator schließt sich der Störbegrenzer mit der Röhre EB 11 an. In den Schaltbildern [1.1] und [1.2] ist hier ein Fehler: nicht die linke, sondern die rechte Diode der EB 11 ist mit den Widerständen des Demodulatorkreises zu verbinden (s. Bild 1.1).

In der Darstellung des Schaltbildes ist die Schaltung des Störbegrenzers nur schwer

verständlich. Deshalb ist in Bild 2.1 die Schaltung in anderer Form gezeichnet; der Demodulator besteht aus dem ZF-Kreis mit der Kreiskapazität  $C_2 = 85 \text{ pF}$ , aus einer Diode der EBF 11 und aus der Kapazität  $C_1 = 40 \text{ pF}$  und erzeugt die Spannung  $U_{\text{dem}}$ . Die einander entsprechenden Knoten sind in den Bildern 1. 1 und 2.1 jeweils mit A bis D bezeichnet.

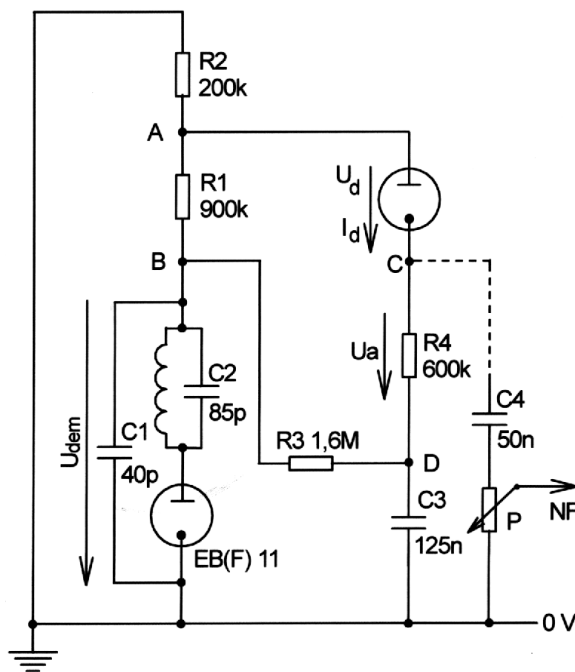


Bild 2.1: Schaltung von Demodulator und Begrenzer

### Heizungsvorwiderstände und Kennlinie der EB 11

Im Schaltbild [1.1], [1.2] sind im Heizkreis der EB 11 zwei Vorwiderstände von je  $70 \Omega$  angegeben; zusätzlich findet sich die Angabe "2,5 bis 3 V". Diese Widerstandswerte sind auch im Originalschaltplan von Radione angegeben [2.3]; die Angabe ist wahrscheinlich nicht richtig: Bei  $2 \times 70 \Omega$  im Heizkreis ist im Messbereich  $1 \mu\text{A}$  keine Emission nachweisbar. Ein anderer Sammler, Besitzer eines

Radione 740 W, hat die Widerstände gemessen und fand Werte von  $2 \times 18 \Omega$  und eine Heizspannung an der EB 11 von 2,45 V. In Bild 1.1 sind die beiden Heizwiderstände deshalb mit Rh1 und Rh2 bezeichnet ohne Angabe eines Widerstandswertes.

Warum die EB 11 mit niedrigem Heizstrom geheizt wird und wie die Größe des Heizstromes zu bemessen ist, soll im folgenden untersucht werden.

In welchem Betriebsbereich wird die Diode EB 11 betrieben? Um diese Frage beantworten zu können, muss die Spannung  $U_{dem}$  bekannt sein.  $U_{dem}$  setzt sich zusammen aus der Richtspannung  $U_{dem-}$  entsprechend der Amplitude der HF-Wechselspannung des ZF-Trägers und aus der Wechselspannung  $U_{dem\sim}$ , die durch Demodulation der ZF-Spannung entsteht. Punkt D ist durch C3 wechselstrommäßig für Niederfrequenz "geerdet". Damit stellt sich an D eine Gleichspannung ein, die nur von der Richtspannung  $U_{dem-}$  abhängt. Dadurch fließt durch die Diode ein Strom  $I_d$ , der außer von den Widerständen R1, R2, R3 und R4 von den Eigenschaften der Diode abhängt. Der maximale Strom  $I_{dmax}$  fließt, wenn man die Diode kurzschließt und die Richtspannung  $U_{dem-}$  ihr Maximum hat.

Wie groß kann die Richtspannung werden? Nach [1.4] muss für die EF 13 und die ECH 11 bei voll gleitender Schirmgitterspannung mit einer maximalen Regelspannung von  $U_{regel} = 40$  V gerechnet werden. Unter der Annahme kritischer Bandfilterkopplung beträgt die Richtspannung am Demodulator etwa  $U_{dem-} = 0,5 \cdot U_{regel} \sim 20$  V-, wenn man die unterschiedlichen Kreisimpedanzen (60 pF bzw. 85 pF) vernachlässigt. Bei dieser Richtspannung fließt ein maximaler Strom  $I_{dmax} = 6 \mu A$ ; die Berechnung erfolgte mit dem Simulationsprogramm ELECTINA [1.3].

Bei diesem kleinen Strom befindet sich der Arbeitspunkt der Diode im Anlaufstromgebiet; der Strom gehorcht hier streng dem Exponentialgesetz [2.1]

$$I_d = I_0 \cdot e^{(U - U_k)/U_T}$$

Dabei hängen  $I_0$  und  $U_T$  von der Katodentemperatur ab und damit vom Heizstrom. In Bild 2.2 sind für die Diode der E-11-Röhren-Serie die Kennlinie für 200 mA (normale Heizung) und für 100 mA Heizstrom dargestellt, berechnet mit den Daten nach [2.1]. Die Messung an einer Diode EB(F) 11 bestätigte die Berechnung.

Bei normalem Heizstrom ist die Anlaufspannung der Diode groß und beträgt etwa 1,5 V, bei Unterheizung mit 100 mA Heizstrom beginnt die Kennlinie ungefähr im Nullpunkt, die Diode hat jetzt praktisch keine Anlaufspannung; außerdem erkennt man, dass die Kennlinie jetzt steiler ist, bei gleicher Spannungsänderung ist die Stromänderung der unterheizten Diode größer (!) als bei der normal geheizten Diode. In Bild 2.3 ist zum Vergleich für beide Fälle der differentielle Innenwiderstand in Abhängigkeit vom Strom dargestellt; man erkennt, dass das Schaltverhalten der unterheizten Diode wesentlich günstiger ist als das der normal geheizten, die Kurve für 100 mA Heizung schmiegt sich besser der R- bzw. der I-Achse an.

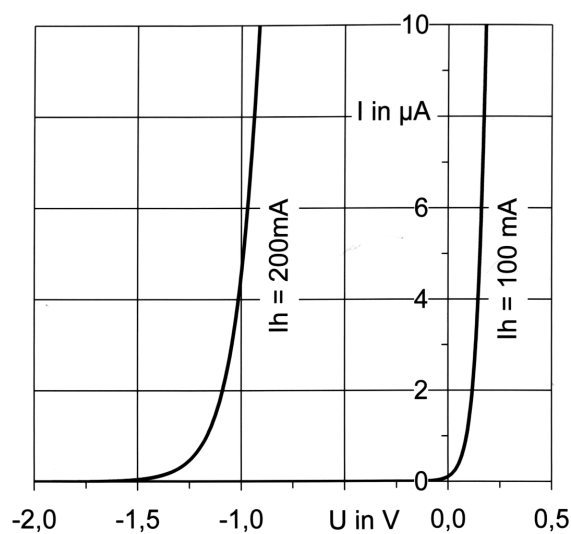


Bild 2.2: Abhängigkeit  $I = f(U)$  bei Heizströmen von 200 mA und 100 mA

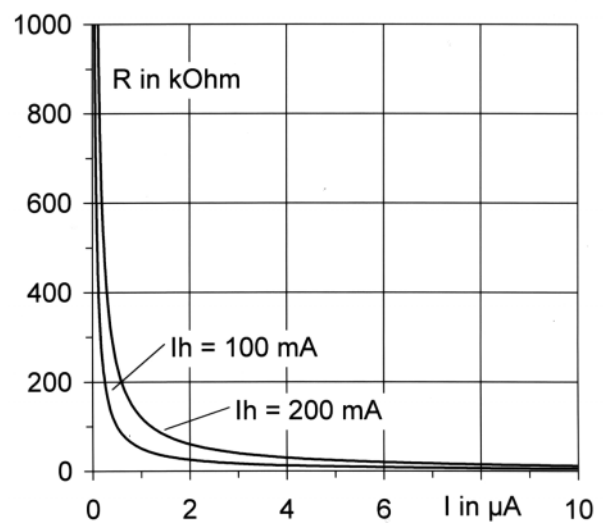


Bild 2.3: Differentieller Innenwiderstand der EB 11 bei den Heizströmen 200 mA und 100 mA

### Wirkungsweise der Schaltung und Simulation

Die Wirkungsweise der Störbenzerschaltung soll mit Hilfe von Bild 2.4 erklärt werden. Bild 2.4 ist gleichzeitig Simulationsmodell. Schwingkreis und Diode von Bild 2.1 sind ersetzt durch die Spannungsquelle

$$U_{\text{dem}} = U_{\text{dem-}} + U_{\text{dem~}}$$

und den Innenwiderstand  $R_{\text{dem}}$ . Eine Störspannungsquelle  $U_{\text{St}}$  ergänzt die Schaltung, mit der sich dem normalen Demodulatorsignal  $U_{\text{dem}}$  kurze negative Rechtecksignale beliebiger Größe überlagern lassen. Die Kennlinie der Diode entspricht Bild 2.2 mit dem verringerten Heizstrom von  $I_h = 100 \text{ mA}$ .

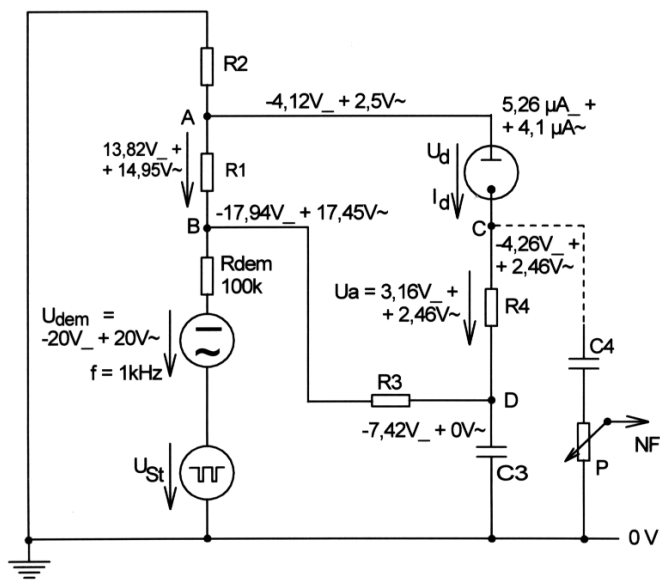


Bild 2.4: Simulationsmodell des Begrenzers. Spannungen und Ströme bei 20 V Richtspannung am Demodulator und bei 100 % Modulation, ohne Stör-signal  $U_{st}$

Zunächst seien keine Störsignale vorhanden, es sei also  $U_{st} = 0$ . Es wird weiter angenommen, dass ein Sender mit 100 % Modulation empfangen wird mit einer Feldstärke, die am Demodulator eine Richtspannung  $U_{dem-} = -20$  V erzeugt; das entspricht bei  $m = 100$  % einer ZF-Wechselspannung mit einem Scheitelwert von 20 V~ am Demodulator.

Mit  $U_{dem} = -20$  V- + 20 V~ wurden mit ELECTINA [1.3] die Knotenspannungen der Schaltung berechnet; sie sind in Bild 2.4 eingetragen. C4 und das

Potentiometer Pot wurden vernachlässigt, um die Zusammenhänge einfacher darstellen zu können. Man erkennt, dass Knotenpunkt A gegenüber Knotenpunkt B positiv ist; die Diode ist also in Durchlassrichtung gepolt. An Punkt D stellt sich eine Gleichspannung ein (-7,42 V-), die nur von der Demodulatorrichtspannung, nicht aber von der Demodulatorwechselspannung abhängt. Der Wechselstromwiderstand des Kondensators C3 (Wechselstromwiderstand bei 1 kHz:  $X = 1,3$  k $\Omega$ ) ist klein gegenüber den Widerständen  $R3 = 1,6$  M $\Omega$  und  $R4 = 600$  k $\Omega$ ; er wirkt deshalb für Wechselspannung wie eine Konstantspannungsquelle, deren Größe nur von der Richtgleichspannung  $U_{dem-}$  abhängt. Diese bestimmt den Arbeitspunkt der Diode für die Wechselspannung  $U_{dem~}$ , der in Bild 2.5 mit  $A_{20}$  bezeichnet ist. Durch die Diode fließt ein Strom von 5,26  $\mu$ A. Die Wechselspannung  $U_{dem~} = 20$  V bei 100 % Modulation lässt den Diodenstrom zwischen 1,16  $\mu$ A und 9,36  $\mu$ A schwanken; da eine Modulation größer als 100 % systembedingt nicht möglich ist, ist damit der maximale Aussteuerbereich der Begrenzerdiode für störungsfreien Empfang bei -20 V Richtspannung bestimmt. In Bild 2.5 ist diese Kennlinie eingetragen, ebenso die Kennlinien für die Richtspannungen  $U_{dem-} = -0,75$  V, -5 V, -10 V, -15 V und -25 V. Das Kennlinienfeld wird für 100 % Modulation durch das schraffierte Feld begrenzt. Die Arbeitspunkte  $A_{0,75}$  bis  $A_{25}$  liegen auf der Geraden a. Man erkennt ein Kennlinienfeld mit linearen Arbeitskennlinien; damit ist gewährleistet, dass die Schaltung bis zu den größten Modulationsgraden linear arbeitet.

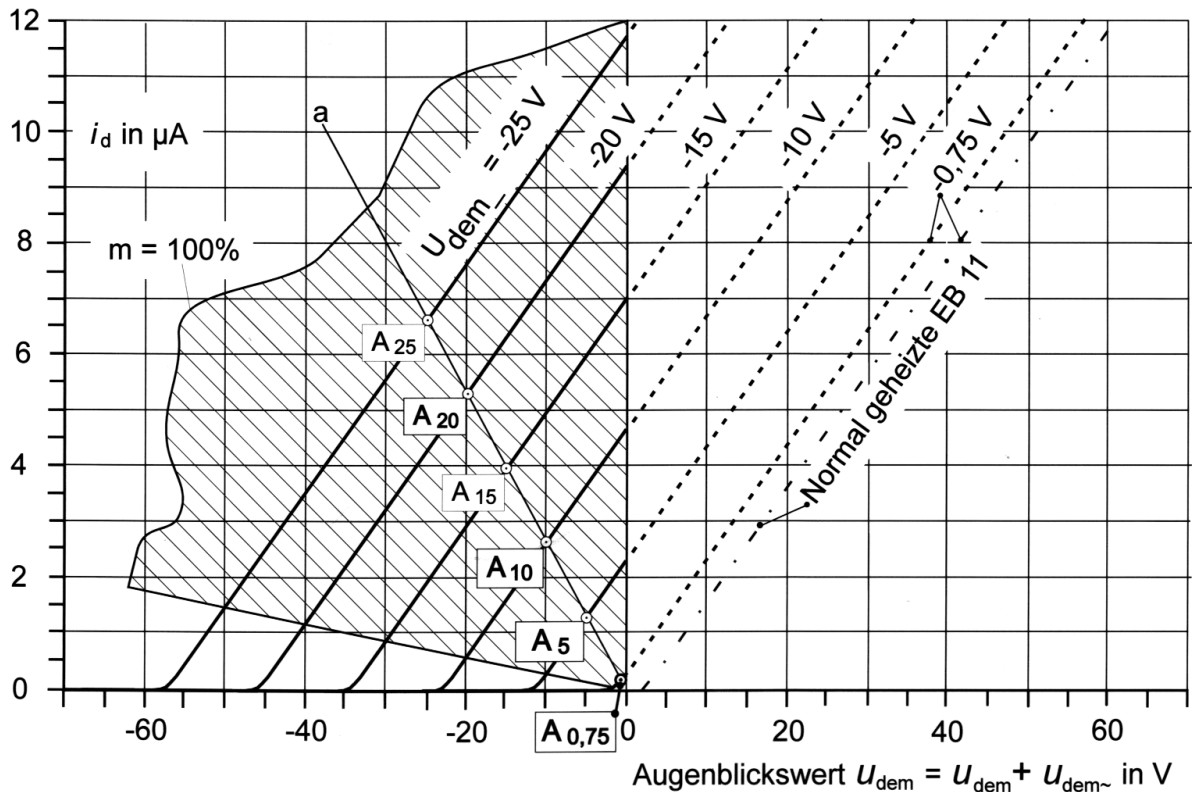


Bild 2.5: Diodenstrom  $i_d$  der unterheizten Begrenzerdiode in Abhängigkeit von der Demodulatorspannung  $U_{dem}$

Wie verhält sich die Schaltung bei Störungen? In Bild 2.6 ist links die Spannung dargestellt, wie sie bei einem modulierten ZF-Signal und bei Störungen an Punkt B von Bild 1.1 bzw. Bild 2.4 auftritt. Durch die Gleichrichterwirkung der Demodulatordiode EB(F) 11 treten nur Spannungen auf, die kleiner als Null, also negativ sind; das gilt auch für die Störspannungen. Die Störspannungen können - insbesondere bei kleinem Antennensignal - ein Vielfaches der

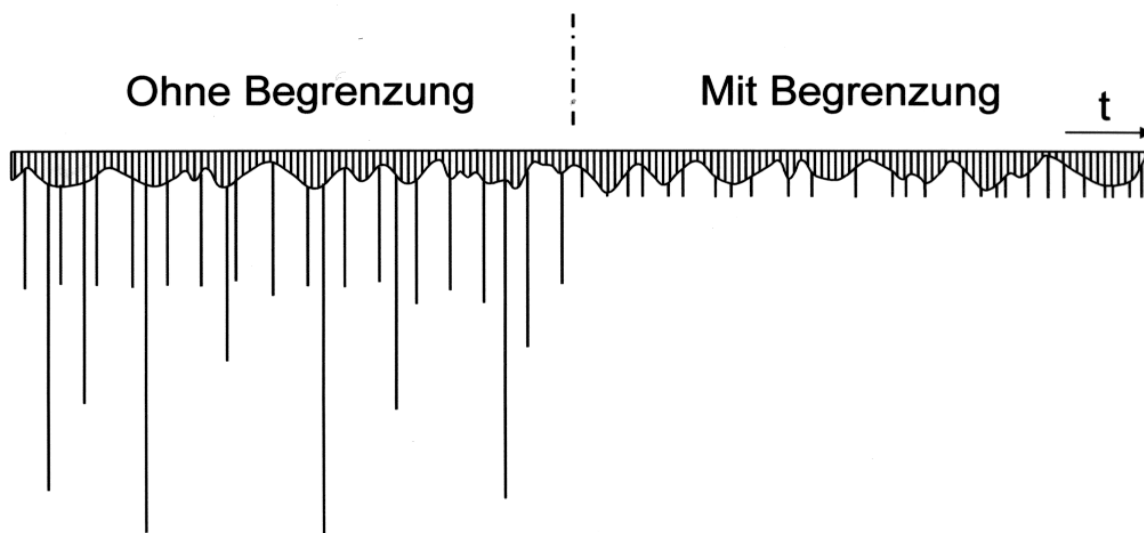


Bild 2.6: Demodulierter Träger mit Störspannungsspitzen hoher Amplitude [2.2]

Amplitude der Nutzspannung erreichen. Gewünscht wird, dass die Störspannungen auf einen Pegel begrenzt werden, der im Idealfall der Amplitude des Nutzsignals bei 100 % Modulation entspricht (Bild 2.6, rechte Seite). Bild 2.7 erklärt, wie im Kennlinienfeld nach Bild 2.5 die Begrenzerwirkung zustande kommt. Hier ist die Kennlinie für  $U_{\text{dem-}} = -10 \text{ V}$  als Beispiel eingetragen.

Der Spannung  $U_{\text{dem-}} = -10 \text{ V}$  ist eine Wechseispannung mit  $\hat{U}_{\sim} = 10 \text{ V}$  (100 % Modulation) überlagert. Die Wechseispannung erzeugt einen Wechselstrom mit dem Scheitelwert  $\hat{I} = 4,1 \mu\text{A}$  (s. a. Bild 2.4). Ist der Wechseispannung eine Störspannung überlagert, die, wie oben erläutert, nur negativ sein kann, dann wird der dadurch hervorgerufene Strom auf  $0 \mu\text{A}$  begrenzt; die Größe der restlichen Störspannung hängt nur ab von der Neigung der Geraden a, auf der die Arbeitspunkte  $A_n$  liegen (s. a. Bild 2.5). Die Neigung der Geraden a hängt in erster Linie von dem Widerstand  $R_3$  (Bild 2.4) ab; sie wird zweckmäßigerweise so eingestellt, dass einerseits bei 100 % Modulation das Nutzsignal mit Sicherheit noch unverzerrt übertragen

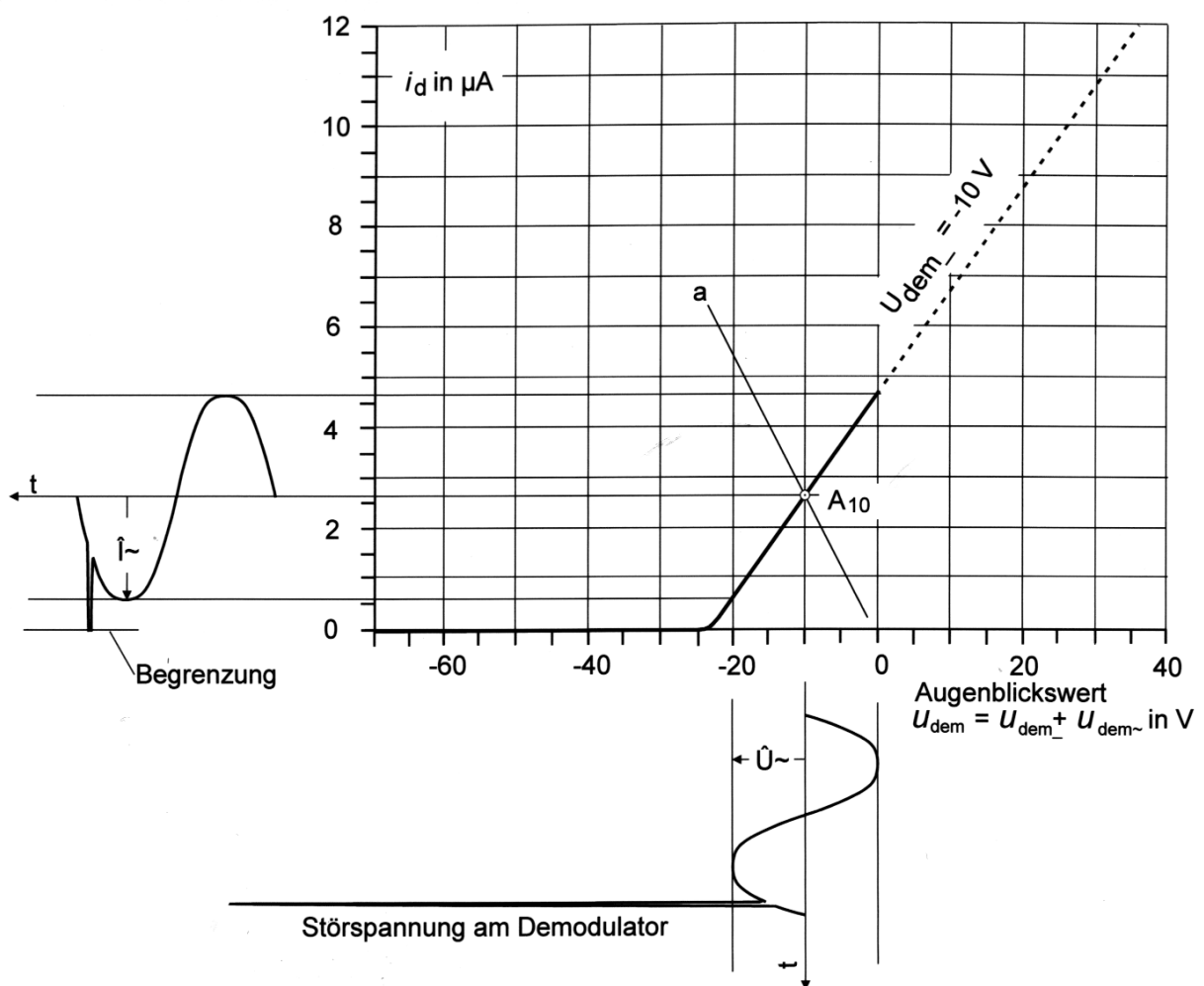


Bild 2.7: Begrenzerwirkung bei Störspannungen am Demodulator

wird, dass aber andererseits Störspannungen, die nur wenig größer sind als das Nutzsignal bei 100 % Modulation, möglichst früh begrenzt werden. Wie bei [2.2] begrenzt die Schaltung Störspannungen in Abhängigkeit von der ZF-Trägerspannung am Demodulator; im Gegensatz zu der dort beschriebenen Schaltung mit einer Triode kommt die Radione-Schaltung mit einer Diode aus

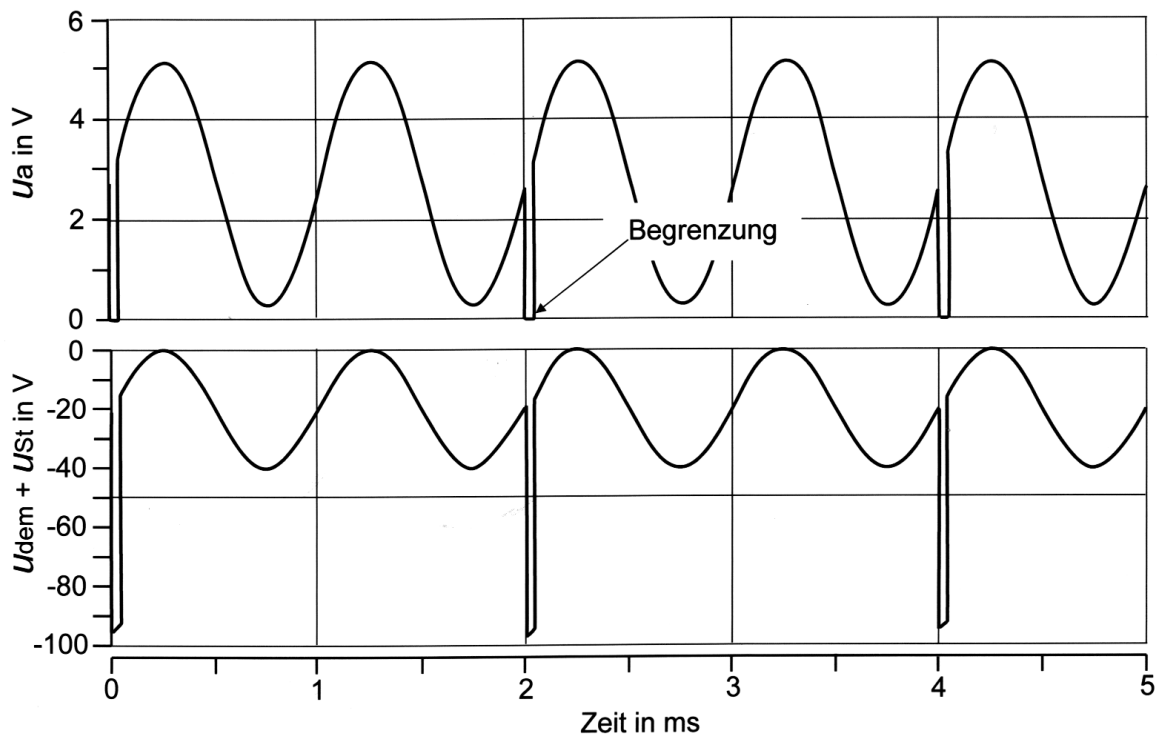


Bild 2.8: Transientenanalyse mit ELECTINA. Gestörte Demodulatorspannung  $U_{dem} + U_{st}$  und begrenztes Ausgangssignal  $U_a$

Die mit ELECTINA [1.3] durchgeführte rechnerische Transientenanalyse (Bild 2.8) mit dem Simulationsmodell nach Bild 2.4 bestätigt die Wirksamkeit der Schaltung. Tatsächlich wird der Knoten C durch das Potentiometer Pot und durch den Gitterableitwiderstand der dem Begrenzer folgenden EFM 11 wechselstrommäßig belastet. Wie oben bereits erwähnt, sollen diese Einflüsse jedoch vernachlässigt werden, da sie für das Verständnis der Begrenzerschaltung unerheblich sind.

Kommen wir jetzt zurück zu der Frage, warum die Störbegrenzer-Diode EB 11 mit verringertem Heizstrom betrieben wird. In dem Kennlinienfeld Bild 2.5 ist neben der Kennlinie für  $U_{dem-} = -0,75$  V der unterheizten Diode auch die Kennlinie für  $U_{dem-} = -0,75$  V der mit 200 mA normal geheizten Diode mit der Kennlinie nach Bild 2.2 mit großer Anlaufspannung strichpunktiert eingezeichnet. Die Anlaufspannung verschiebt die Kennlinie in Bild 2.5 nach rechts in Richtung positiver Richtspannung  $U_{dem}$  in ein Gebiet, in dem demodulierte Signale



$U_{\text{dem}}$  nicht mehr übertragen werden können, denn die Kennlinie liegt außerhalb des schraffierten Bereichs, in dem die Störbegrenzerschaltung bis zu Modulationsgraden von 100 % linear arbeitet.

Damit ist der Grund bekannt, warum die Diode EB 11 des Radione 740 W unterheizt wird: Nur durch verringerte Katodentemperatur - d. h. verringerte Heizleistung - kann vermieden werden, dass die Störbegrenzerdiode EB 11 eine Anlaufspannung erzeugt, die das Kennlinienfeld der Störbegrenzerschaltung (Bild 2.5) in ein unzulässiges Gebiet positiver Demodulatorrichtspannung verschieben würde. Durch die verringerte Katodentemperatur wird sichergestellt, dass die Störbegrenzerschaltung auch bei kleinen Demodulatorrichtspannungen - und damit bei kleinen Antennensignalen - verzerrungsfrei arbeitet.

### **Literatur**

- [2.1] *Barkhausen, H.*: Lehrbuch der Elektronen-Röhren, Bd.1. Leipzig: Hirzel 1950, § 4
- [2.2] *Dickert, J. E.*: A New Automatic Noise Limiter. QST, Nov. 1938
- [2.3] Brief von *Peter Braunstein* (Erstes Österreich. Funk- u. Radiomuseum Wien) an *J. Ritzenthaler* vom 16.03.2000

Dateiname: RadioneTeil2  
Verzeichnis: C:\Eigene Dateien\ErbForum\Radione  
Vorlage: C:\WINDOWS\Anwendungsdaten\Microsoft\Vorlagen\Normal.dot  
Titel: Die interessante Schaltung –  
Thema:  
Autor: Hermann Freudenberg  
Stichwörter:  
Kommentar:  
Erstelldatum: 21.01.2002 19:33  
Änderung Nummer: 2  
Letztes Speicherdatum: 21.01.2002 19:33  
Zuletzt gespeichert von: Hermann Freudenberg  
Letztes Druckdatum: 21.01.2002 19:34  
Nach letztem vollständigen Druck  
Anzahl Seiten: 9  
Anzahl Wörter: 2.049 (ca.)  
Anzahl Zeichen: 11.682 (ca.)