

Optimierung des FM Zwischenfrequenzverstärkers:

Schirmgitterneutralisation

Thomas Moppert, Ernst Schlemm und Peter Treytl. Januar 2008

Stichworte: Schwingneigung, Schirmgitterneutralisation, Gitter-Anoden-Kapazität, Rückwirkung, Brückengleichgewicht, Neutralisationskondensator

Zweck:

Die Auswirkungen mangelnder Neutralisation einer ZF-Stufe reichen von Verformungen der Durchlasskurve bis hin zum allgemeinen Schwingzustand. Durch Neutralisation der schädlichen Gitter-Anoden-Kapazität wird die Schwingneigung unterbunden und größtmögliche Verstärkung und Stabilität der ZF-Stufe erreicht.

Die Neutralisation ist erst dann einwandfrei, wenn die Durchlasskurve (Bandfilterkurve) der betreffenden ZF-Stufe völlig symmetrisch verläuft. Eine unvollständige Neutralisation kann zwar die Schwingneigung beheben, aber bereits Änderungen der Betriebsspannung können sich störend auf die Stabilität und Selektivität des Empfängers auswirken.

Die Kompensation der variierenden Eingangskapazität in Begrenzerstufen mittels Gegenkopplung mit unüberbrücktem Katodenwiderstand funktioniert zudem nur, wenn die betreffende Stufe einwandfrei neutralisiert ist. [1] Die Stufen müssen also zuerst neutralisiert sein, bevor der richtige Wert des unüberbrückten Katodenwiderstandes ermittelt werden kann.

Funktionsweise:

Über die Gitter-Anodenkapazität C_{gla} gelangt eine schädliche Rückkopplungsspannung auf das Steuergitter, die zur Verformung der Durchlasskurve, im Extremfall sogar zur Selbsterregung führen kann. Durch schaltungstechnische Maßnahmen ist es möglich, die unerwünschte Rückwirkung zu kompensieren. Man verwendet dazu eine Brückenschaltung. Ihr Prinzip ist in Bild 1 dargestellt.

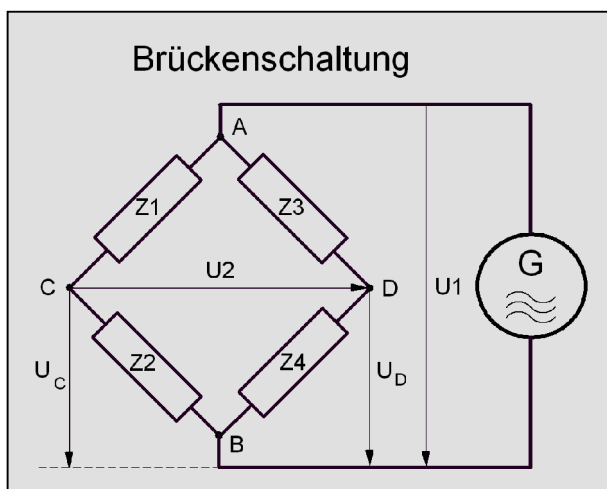


Bild1

Die Brücke besteht aus vier Zweigen. Man steuert die Brücke zwischen den Punkten A und B mit einer Wechselspannung U_1 an. Die Spannung in der Brückendiagonale zwischen den Punkten C und D entspricht der Potentialdifferenz ihrer Endpunkte. Liegen beide Endpunkte auf demselben Potential, d.h., ist $U_C = U_D$, dann verschwindet die Spannung U_2 in

der Diagonale. Man sagt, die Brücke befinde sich im Gleichgewicht. Die Bedingung hierfür lässt sich aus der Spannungsteiler-Formel errechnen:
$$Z_1/Z_2 = Z_3/Z_4$$

Diese grundsätzliche Überlegung gilt ebenso für eine Brücke, deren Elemente Kondensatoren sind. Die Bedingung für das Brückengleichgewicht ist dann $C1/C2 = C3/C4$

Es ist also durch geeignete Dimensionierung der Brücken-Elemente möglich, den Einfluss der Spannung in der einen Brückendiagonale (z.B. den der Anodenspannung) auf die Spannung in der anderen (z.B. der Gitterspannung) zu minimieren. Diese Eigenschaft macht man sich bei den folgenden Neutralisationsschaltungen zunutze.

Neutralisationsschaltungen:

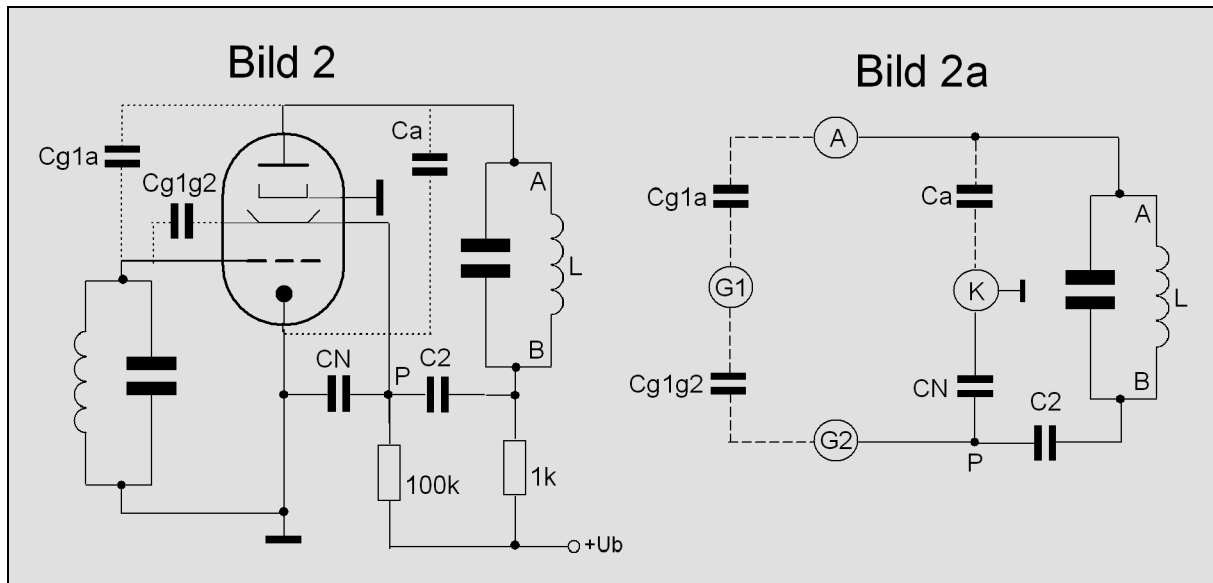


Bild 2: Das Schirmgitter liegt wechselstrommäßig über den Wirkwiderstand von CN auf Masse. Über C2 wird ihm ein Teil der Anoden-Wechselspannung in geeigneter Phasenlage als Kompensationsspannung zugeführt. Diese gelangt weiter über die Kapazität Cg1g2 auf das Steuergitter und kompensiert dort die über Cg1a von der Anode induzierte Spannung.

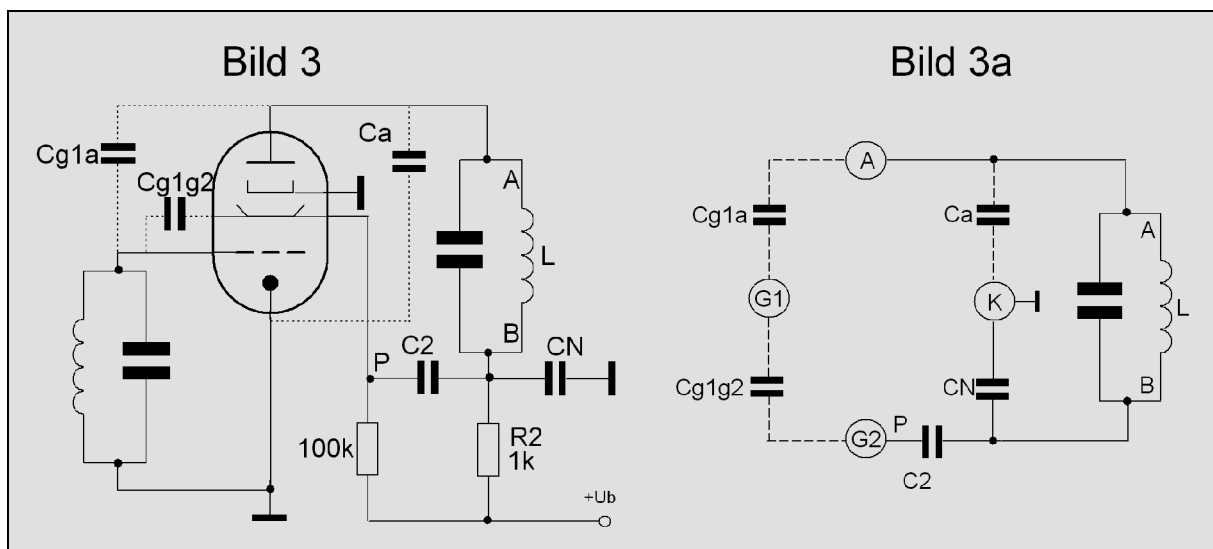
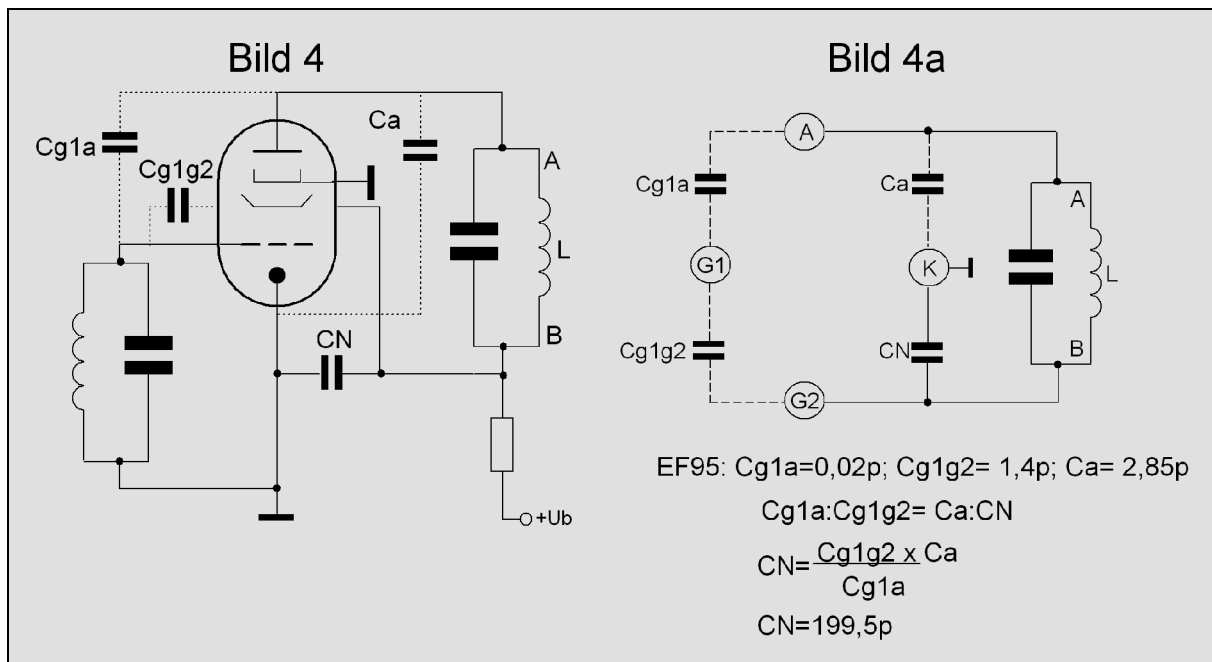


Bild 3: Bei dieser ebenfalls praktisch angewendeten Schaltung ist das Prinzip dasselbe. Allerdings entspricht in diesem Fall nicht mehr der Schirmgitter-Anschluss P dem unteren Eckpunkt der Brücke. Diese Funktion

wird vom Verbindungspunkt zwischen C2 und CN übernommen. Im Brückenzweig Z2 wird die Serienschaltung von Cg1g2 und C2 wirksam. Da aber C2 um mehrere Größenordnungen über Cg1g2 liegt, ist der Wirkwiderstand von C2 gegenüber Cg1g2 zu vernachlässigen. C2 kann daher in Bild 3 durch einen Kurzschluss ersetzt werden. Damit geht Bild 3a in Bild 4a über.



Wird für das Schirmgitter die gleiche Betriebsspannung wie für die Anode verwendet, so vereinfacht sich die Schaltung, wie in Bild 4 dargestellt.

Bedingung für die Neutralisation (Brückengleichgewicht) in allen drei Fällen ist somit die Erfüllung der Beziehung:

$$Cg1a:Cg1g2 = Ca:CN \quad CN = Ca \cdot Cg1g2 / Cg1a$$

Berechnungsbeispiel:

Die Gitteranodenkapazität Cg1a der Röhre EF80 liegt nach dem Philips-Datenblatt bei 0,007 pF. Die Kapazität Cg1g2 beträgt 2,6pF und Ca 3,3pF. Daraus ergibt sich für CN:

$$CN [pF] = 3,3 \cdot 2,6 / 0,007 \sim 1225 pF \sim 1,2nF$$

Aber: Die Rechnung auf der Basis des vereinfachten Ersatzschaltbildes kann nur Anhaltspunkte liefern und ist für die Bestimmung des Neutralisationskondensators zu ungenau, weil die in der Praxis zu berücksichtigenden Streuungen der Röhrendaten, Schaltungskapazitäten und -Induktivitäten nur sehr grob abgeschätzt werden können.

Das gilt insbesondere im Fall geringer Rückwirkung, bei der der Wirkwiderstand des Neutralisationskondensators sehr klein (Kapazitätswert hoch!) und damit der Einfluss von anderen Effekten groß ist. Denn je kleiner die Rückwirkungskapazität Cg1a ist, umso stärker gehen Schaltungskapazitäten in die Betrachtung ein. Diese lässt man gerne bei der theoretischen Betrachtung aussen vor. Man berechnet also den ungefähren Wert von CN, um zu sehen, in welcher Größenordnung er sich bewegt und legt den tatsächlichen Wert in der Schaltung durch Versuche fest.

Da z.B. die EF95 mit 0,02pF eine vergleichsweise hohe Rückwirkungskapazität besitzt, wirken sich diese parasitären Einflüsse auch nicht so stark aus wie bei einer rückwirkungsarmen EF183 oder EF89.

Zudem ist der für die Kompensation benötigte Kapazitätswert vom verwendeten Kondensatortyp abhängig. So führte bei Tests ein Keramik-Kondensator einer bestimmten Bauart mit 2,7nF zu einer Unterkompensation, während ein anderer mit 3,9nF eine Überkompensation verursachte. Es müsste aber gerade umgekehrt sein. Als Ursache stellten sich die trotz gleichen Kapazitätswertes stark unterschiedlichen Wirkwiderstände der verwendeten Keramikkondensatoren bei 10,7MHz heraus.

Darüber hinaus hat die Länge der Anschlussdrähte (Induktivität) einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss. Bei solchen Unsicherheiten macht die genaue Berechnung des Kondensators wenig Sinn. Den endgültigen Wert bestimmt man am besten messtechnisch in der Schaltung. Auf möglichst kurze Anschlussleitungen ist zu achten. Eine durch längere Leitungen verursachte induktive Komponente erschwert zusätzlich durch ihre vom Kondensator abweichende Phasendrehung eine präzise Neutralisation.

Fazit: induktivitätsarme Kondensatoren mit kürzestmöglichen Anschlussdrähten einbauen und den Neutralisationskondensator mit der Wobbelmethode weiter optimieren!

Optimierung der Schirmgitterneutralisation im FM ZF-Verstärker mit dem Wobbelmessender

Am Beispiel eines FM-ZF-Verstärkers soll ein Verfahren vorgestellt werden, das die messtechnische Optimierung der Neutralisation mit einfachen Mitteln ermöglicht. Benötigt werden ein Wobbelmessender und ein Oszilloskop mit Demodulator-Tastkopf.

Hinweis: Die eingesetzten Messmittel (Tastkopf, Signalführungskabel) sollten eine Spannungsfestigkeit von mindestens 250V aufweisen!

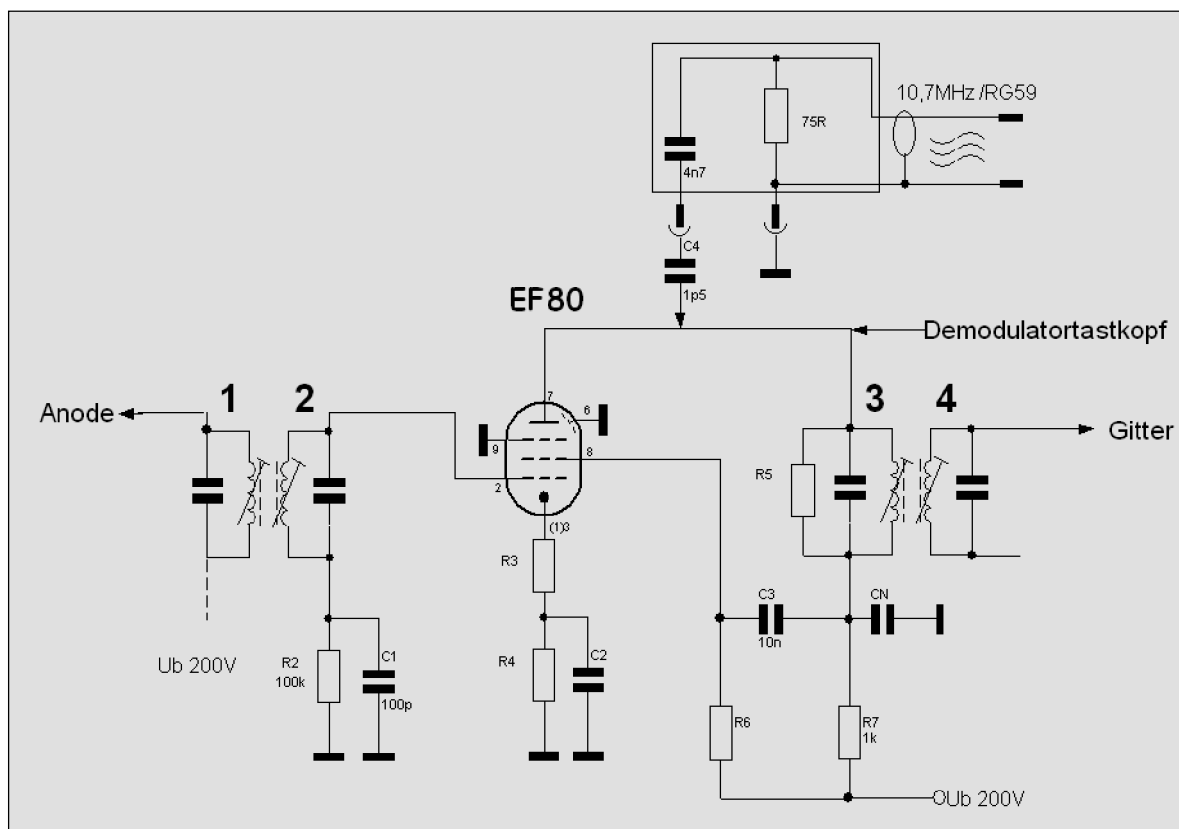


Bild 5

Wie Bild 5 zeigt, wird das Signal des Messsenders über 1,5pF an die Anode der zu messenden ZF-Röhre gelegt. Der Demodulator-Tastkopf ist direkt mit der Anode verbunden. Die Masseanschlüsse des Messsenders und des Tastkopfes liegen am Zentralröhrchen der Röhrenfassung.

Der Messsender wird auf Wobbelbetrieb eingestellt.

Die Kerne der Kreise hinter dem Anodenkreis (Nr.4) und vor dem Gitterkreis (Nr.1) der zu prüfenden Röhre werden herausgedreht, ein Bedämpfen dieser Kreise, wie in den Grundig TI's angegeben [1], ist dann nicht nötig.

Dann wird der Anodenkreis bei 10,7 MHz auf Resonanz abgestimmt. Die 10,700-MHz-Marke liegt dann im Zenit der Kurve, siehe Bild 6:

Jetzt kann der Gitterkreis in Resonanz gebracht und sein Einfluss auf den Anodenkreis beobachtet werden:

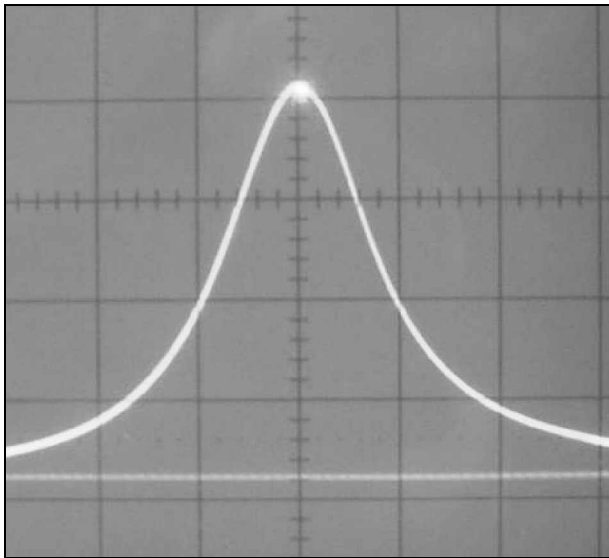


Bild 6

Dreht man den Kern des Gitterkreises in Richtung Resonanz, wird dem Anodenkreis Energie entzogen. Das Maximum in Bild 6 bricht ein, die Amplitude bei der durch die Frequenzmarke gekennzeichneten Resonanzfrequenz wird immer kleiner, bis sie schließlich nach Durchlaufen der Resonanz wieder zunimmt. Die Kurvenform bei Resonanz des Gitterkreises lässt auf den Zustand der Neutralisation schließen:

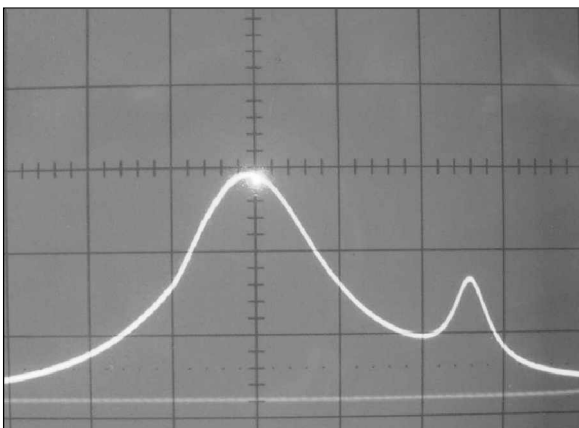


Bild 7

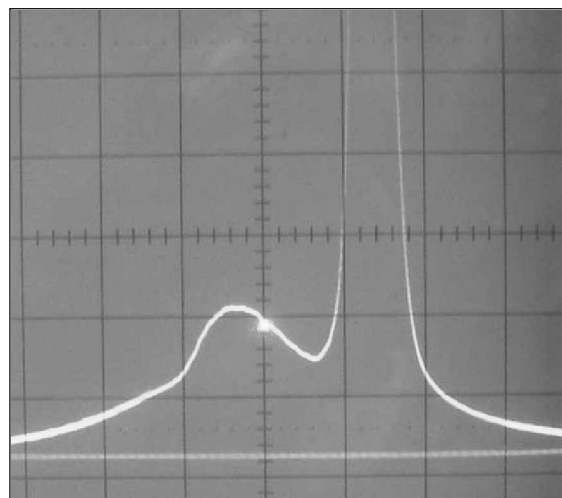


Bild 8

Bild 7 und 8 zeigen den sichtbaren Einfluss des Gitterkreises, wenn der Kern in Richtung Resonanz verdreht wird und der Neutralisations-Kondensator viel zu klein ist: Erst zeigt sich ein deutlicher Buckel in der Kurve und dann wird die ZF-Stufe immer mehr entdämpft, bis schliesslich Schwingen eintritt.

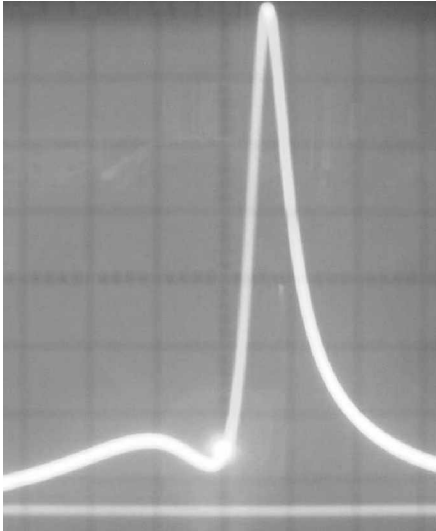


Bild 9

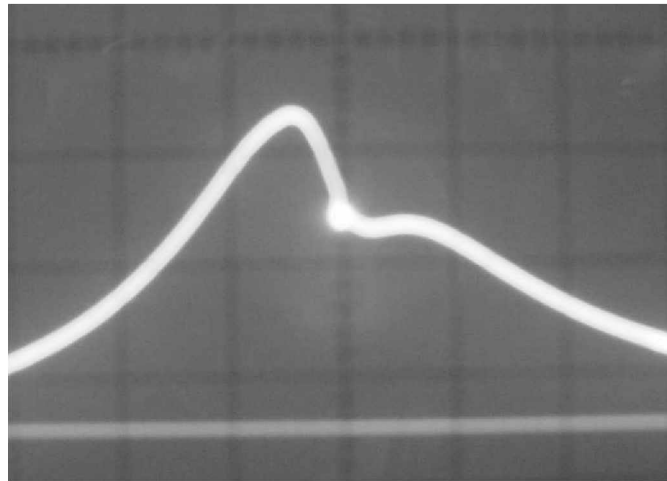


Bild 10

Mit einem größeren CN (Bild 9) sieht es schon besser aus, kein Schwingen mehr, aber eine noch unsymmetrische Kurve mit einer Spitze rechts.

In Bild 10 ist der Neutralisationskondensator bereits zu groß und die Kurve bekommt eine Spitze links.

Im Idealfall, bei vollständiger Neutralisation, sollte wegen der dann kompensierten Rückwirkung fast keine Änderung, oder nur eine Abflachung der Anodenkreiskurve auftreten. Bild 11 zeigt eine zumindest symmetrische Kurve bei einem optimalen CN.

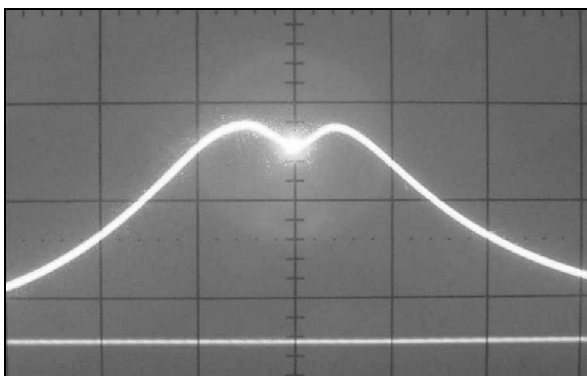


Bild 11

Literatur:

[1]Grundig Technische Informationen Januar 1964 S.675-677