

Brummkompensation

Wie sich große Siebblocks im Netzteil vermeiden lassen

Es werden zwei Arten der Brummkompensation unterschieden:

- die Kompensation des Brumms in Netzteil und Endstufe zur Ersparnis größerer Siebblocks,
- und die Beseitigung des Restbrumms in der NF-Stufe, die nicht mehr durch Siebmittel erreicht werden kann.

Die hinter einer Gleichrichteranordnung auftretende Gleichspannung ist immer — das liegt in der Natur aller Gleichrichterschaltungen — von einer Wechselfspannung überlagert, die durch irgendeine Schaltanordnung beseitigt werden muß, um in den nachfolgenden Geräten nicht störend in Erscheinung zu treten. Diese Spannung hat einen komplizierten Verlauf; sie ist annähernd sägezahnförmig mit der Grundwelle bei der Netzfrequenz oder einem vielfachen davon.

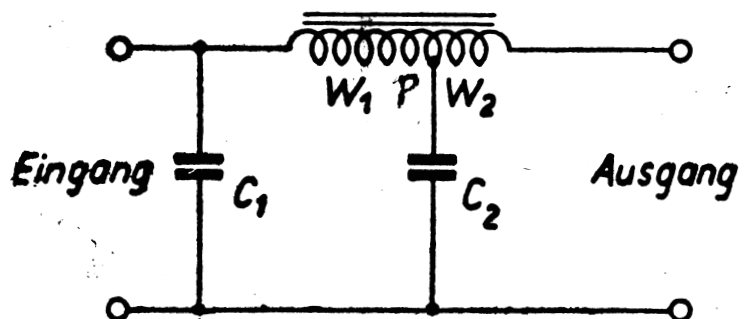
Die wohl naheliegendste und bekannteste Schaltung zur Beseitigung dieser Spannung ist die Siebkette, die aus Drosseln und Kondensatoren – LC-Schaltung – oder Widerständen und Kondensatoren – RC-Schaltung – bestehen kann. Aus wirtschaftlichen Gründen hat man immer wieder versucht, die teure Drossel einzusparen, indem man sie durch die Erregerwicklung des Lautsprechers oder einen Widerstand ersetzte. Nur in Allstromgeräten fällt der Spannungsabfall an einer Erregerwicklung so ins Gewicht, daß man wieder zur Drossel greift.

In allen Siebschaltungen liegt die Größe der Kondensatoren zwischen $4\mu F$ und $100\mu F$ und aus Platz- und Preisgründen verwendet man hier Elektrolytblocks. Bei der heutigen [1947] Material- und Beschaffungslage sind größere Siebblocks kaum zu haben. Deshalb sollte man sich auf eine andere Möglichkeit zur Beseitigung der Brummspannung besinnen, und das ist die Kompensation.

Kompensationsschaltungen im Netzteil sind an sich schon lange bekannt, aber anscheinend in weiten Kreisen wieder in Vergessenheit geraten.

Es sollen vorerst zwei bewährte und auch von der Industrie angewandte Schaltungen besprochen werden, die auch gleichzeitig zwei grundsätzliche Wege zeigen, die man bei der Kompensation beschreiten kann. Die erste Schaltung zeigt Abb. 35.

Abb. 35:
Brummkompensation mit
angezapfter Drossel



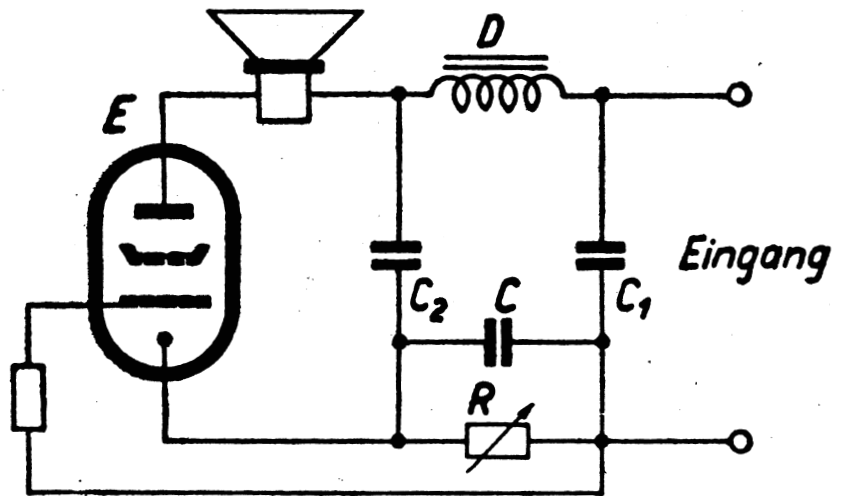
An den Eingangsklemmen liegt der Gleichrichter, C_1 ist der Ladeblock, C_2 der Siebblock und D die Siebdrossel. Bis zur Anzapfung an der Drossel beim Punkte P entspricht diese Schaltung also einer normalen LC-Kette. Neu ist der Wicklungsteil von P bis zur Ausgangsklemme, den wir W_2 nennen wollen. Dann entspricht W_1 der bisherigen Drossel. Durch W_1 fließt nun — vom Gleichstrom abgesehen — die Brummwechselfspannung und induziert in W_2 eine entsprechende, entgegengesetzt gerichtete Spannung. Wenn man nun dafür sorgt, daß diese Spannung gleich der am Punkte P verbliebenen Brummspannung wird, dann hat man den Brumm an den Ausgangsklemmen kompensiert. Da die Windungszahl von W_2 verhältnismäßig gering wird, kann man diese Wicklung außen auf der Drossel anbringen und P mit einem Schleifer genau einstellen.

Diese Schaltung läßt sich mit Erfolg nur dann anwenden, wenn C_2 in der Größe von ungefähr $8\mu F$ liegt, da dann P so weit nach außen rückt, daß es auf der äußersten Wickellage erreichbar wird. Die Schaltung ist lastabhängig, da einerseits die Brummspannung mit wachsender Last steigt, und andererseits die Induktivität der Drossel von dem durchfließenden Gleichstrom abhängt. Die Drossel sollte also nicht zu knapp dimensioniert werden.

Die andere Schaltung zieht die Endröhre mit zur Kompensation heran und wurde seinerzeit im **DKE** angewendet, Abb. 36. Die Schaltsymbole haben dieselbe Bedeutung wie in Abb. 35, hinzu kommen R und C . Es ist leicht einzusehen, daß die am positiven Ende des Siebblocks auftretende Brummspannung am kalten Ende

des Ladekondensators gegenphasig und in geringerer Größe (auf die Kathode der Endröhre bezogen) auftreten muß.

Abb. 36:
Brummkompensation
durch gegenphasige
Spannung am Gitter der
Endröhre



Diese Spannung läßt sich in ihrem Betrag durch Änderung von R und C beeinflussen. Über den Ableitwiderstand auf das Gitter der Endröhre gegeben, muß diese Spannung also den Brumm an der Anode der Endröhre kompensieren. Zur Einstellung des richtigen Spannungsbetrages hat man beim DKE 38 R regelbar gehalten. Mit Änderung von R ändert man aber gleichzeitig die Gittervorspannung der Endröhre. Da die verwendeten Siebblocks im DKE in ihrer Größe recht verschieden ausfallen und z. T. ihre Kapazität mit der Zeit verlieren, hat diese Regelmöglichkeit nur begrenzte Anwendung gefunden und wurde bei den folgenden DKE-Mustern wieder verlassen.

Dem Amateur, der diese Schaltung anwenden will, sei daher geraten, für die Siebblocks Metall-Papier-Kondensatoren zu benutzen, R je nach notwendiger Gittervorspannung fest einzubauen und C so auszuprobieren, daß der Brumm minimal wird.

Diese beiden Schaltungen zeigen schon die grundsätzlichen Möglichkeiten:

- Kompensierung im Netzteil allein einerseits und
- Einbeziehung der Verstärkerschaltung in die Kompensation andererseits.

In allen diesen Schaltungen sollte man Schaltelemente vermeiden, die der Alterung unterworfen sind; dies sind vor allem die Röhren und die Elektrolytblocks. Ideal wäre also eine Schaltung, die diese Teile vermeidet und außerdem lastunabhängig ist. Dies ist aber mit einfachen, dem Amateur zugänglichen Mitteln kaum zu erreichen.

Es gibt eine bekannte Schaltung, die von sich aus kompensierend wirkt: die Gegentaktschaltung. Die Anodenspannungsschwankungen gelangen hier gleichphasig auf die Anoden der Röhren, während der Lautsprecher nur auf Spannungen anspricht, die gegenphasig an den Anoden auftreten. Wenn man nun in einer solchen Gegentaktschaltung die eine Röhre durch einen entsprechenden Widerstand ersetzt, hat man auch eine Brumbefreiung; allerdings mit dem Nachteil eines doppelten Anodenstromverbrauchs neben anderen Nachteilen. Eine Schaltung dieser Art ist also nicht zu empfehlen.

Hier will ich noch eine neue Schaltung geben, die aus der Notwendigkeit mit den heute verfügbaren Teilen auszukommen, entstanden ist. In Abb. 37 sind C_1 und C_2 wieder Lade- und Siebblock, Gl ist der Gleichrichter, E die Endröhre, R der Siebwiderstand und Tr der Ausgangstrafo. Zuerst fällt an der Schaltung auf, daß die Anodenspannung für die Endröhre vom Ladeblock abgenommen wird. Dadurch fließt der hohe Anodenstrom der Endröhre nicht mehr durch den Siebwiderstand, der nun bei gleichem Spannungsabfall bedeutend vergrößert werden kann — die Siebwirkung wird also erhöht —, da der Anodenstrom der Vorröhren geringer ist als der Endröhrenstrom. Man kommt mit einem verhältnismäßig kleinen Siebblock aus.

In der Kompensationsschaltung für die Anodenspannung der Endröhre fällt die Analogie zu der Schaltung Abb. 37 auf. Hier tritt der Ausgangstrafo an die Stelle der Drossel. Die Störwechselspannung fließt durch W_2 und induziert in W_1 eine entgegengerichtete Kompensationsspannung. Durch Änderung des Abgriffes P wird das richtige Verhältnis dieser beiden Spannungen eingestellt.

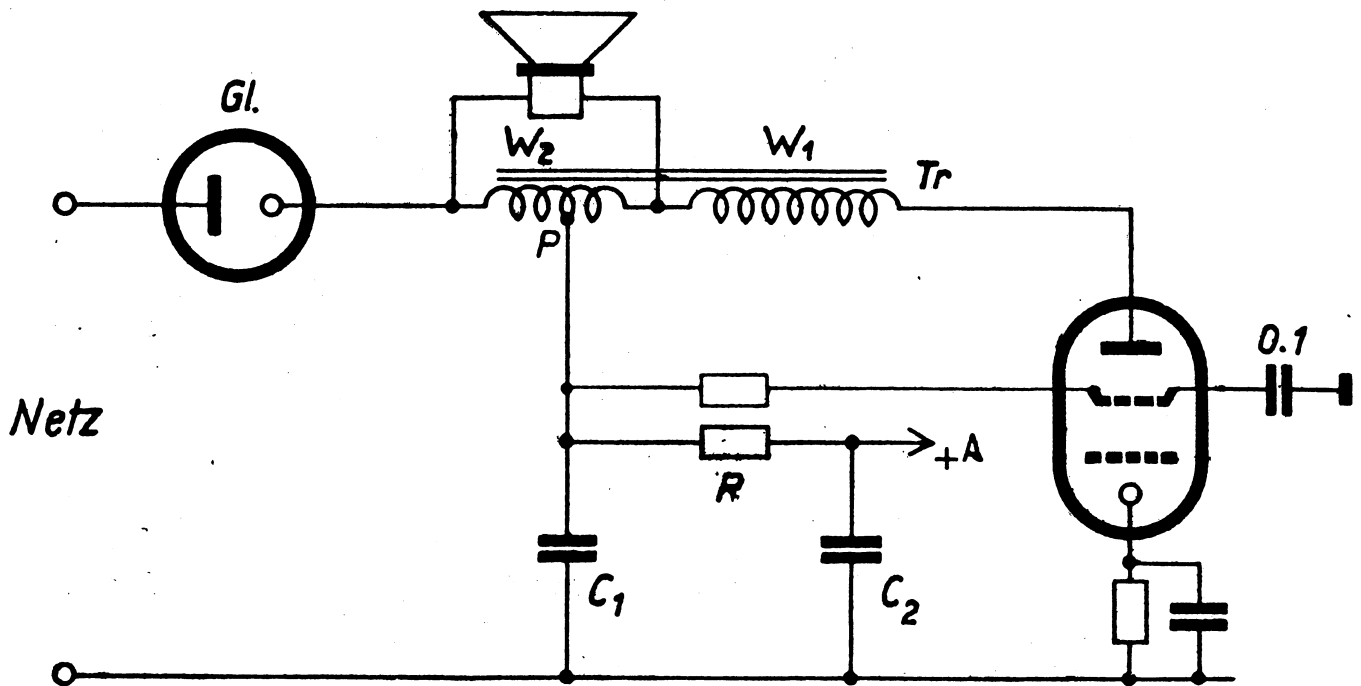


Abb. 37: Kompensationsschaltung zur Entbrummung nach der Gegenphasen-Methode

Die praktische Ausführung

Als Beispiel diene der heute so viel gebaute Einkreiser mit zwei Röhren **RV 12 P 2000**. W_2 ist gleichzeitig die niederohmige Wicklung des Ausgangsrafos. Die richtige Anpassung für die P 2000 liegt ungefähr bei $25k\Omega$; damit kommt man für die üblichen Schwingspulenwiderstände auf ein Übersetzungsverhältnis \ddot{u} des Ausgangsübertragers von ca. 60. Der Ladeblock C_1 wird mit Rücksicht auf eine genügend große Anodenspannung $2\mu F$ groß gemacht. Die Wicklungen W_1 und W_2 werden im richtigen Wickelsinn hintereinandergeschaltet. Nun läßt sich auf der ohnehin außen liegenden Wicklung für die Schwingspule durch Abgriff der richtige Punkt für die Kompensation finden. Wenn die niederohmige Wicklung zwei Lagen hat, kann man auf einfache Art nicht an die untere Lage heran. Wenn der gesuchte Punkt nicht erreichbar ist, schaltet man die niederohmige Wicklung — wieder im richtigen Wickelsinn! — an das andere Ende der Hochohmwicklung, dann liegt die für den Abgriff verfügbare Wicklungshälfte elektrisch vertauscht mit dem früheren Zustand, und der Punkt für genauen Abgleich läßt sich finden. Zu einer orientierenden Übersicht über die Wickelverhältnisse kommt man, wenn man W_2 mit einem Potentiometer überbrückt. Die Lage des Schleifers bei Brumminimum gibt dann einen Anhalt, wo der richtige Abgriff zu suchen ist. Als W_2 kann man natürlich bei angezapften Ausgangsübertragern auch einen Teil der hochohmigen Wicklung nehmen und mit einem einmal festeingestellten Spannungsteiler (ca. 500Ω) kompensieren. Hierbei ergibt sich ein Vorteil, auf den ich später noch zurückkommen werde. Eine Änderung der Größe des Ladeblocks verschiebt den Abgleichpunkt, und zwar rückt der Abgriff mit größer werdendem C weiter nach außen.

In dieser Schaltung benötigen wir im Netzteil einen Block $2\mu F$ und einen Block $1\mu F$ während bisher mindestens 2 mal $4\mu F$ nötig waren. Die Vorteile der beschriebenen Schaltung sind neben der Ersparnis der großen Siebblocks:

- Keine Spezial- oder sonstige Siebdrossel; der ohnehin nötige Ausgangsrafo übernimmt die Kompensation, ohne daß eine Sonderanfertigung nötig wäre.
- Keine Kompensation in den Gitterkreis der Endröhre, die mit ihren besonders bei kleinen Kapazitäten schwer zu übersehenden Phasendrehungen immer nur für eine Frequenz richtig ist und außer vom Anodenstrom auch von der Steilheit der Endröhre abhängig ist (gerade die Steilheit ist bei den Endröhren je nach Alter sehr verschieden!).

- Hohe Anodenspannung für die Endröhre. (Für die Sprechleistung sehr wichtig.)
- Die Gefahr des „Motorboating“, die bei schwach bemessenen Siebketten immer gegeben ist, ist beseitigt. Die gern austrocknenden Elektrolytblocks, die nur beschränkte Zeit halten, sind durch unbegrenzt haltende statische Kondensatoren ersetzt; ganz abgesehen von der Beschaffungsfrage.

Ein Nachteil der beschriebenen Schaltung soll jedoch nicht verheimlicht werden: die Schwingspule des Lautsprechers liegt auf Anodenpotential. Um Überschläge zwischen Spule und Kern zu vermeiden, muß auch das Lautsprecherchassis an die Anodenspannung gelegt werden. Dieser Nachteil läßt sich durch Aufbringen einer Hilfswicklung ganz außen auf den Ausgangsübertrager vermeiden. Diese Wicklung kann mit verhältnismäßig dünnem Draht 0,1[⊙] gewickelt werden und gibt dann durch die hohe in einer Lage aufbringbare Windungszahl die sichere Gewähr für die Auffindung des richtigen Abgleichpunktes. Eine ähnliche Hilfswicklung läßt sich auch auf die Spule von magnetischen Lautsprechern aufbringen; dann ist diese Schaltung auch in den Fällen, wo ein Ausgangstrafo fehlt, anwendbar.

Durch Einkopplungen über die Heizfäden bei Allstromempfängern, durch im Streufeld von Transformatoren oder Drosseln liegende Schaltglieder und durch unzureichende Siebung in den Vorstufen enthält die NF-Spannung eine Brummkomponente, über deren Herkunft und Phasenlage oft Zweifel bestehen.

Der einzige Weg, diesen Brumm zu beseitigen, ist auch hier die Kompensation. Die genaueste Methode hat Siemens in seinem Kammermusikgerät IV beschrieben. Eine von der Heizwicklung des Netztransformators abgenommene Wechselfrequenz wird durch zwei Potentiometer nach Phase und Betrag geregelt und über die Kathode einer NF-Verstärkerröhre in den Weg der NF eingekoppelt. Bei großen und hochwertigen Geräten, besonders bei Kraftverstärkern, sollte auch der Amateur zu dieser Methode greifen. Die vorhandenen Industrieschaltungen geben gute Beispiele.

Eine andere Methode macht von der ohnehin vorhandenen wilden Kopplung zwischen Netztransformator und Niederfrequenz führenden Induktivitäten Gebrauch. Man kann nämlich für jede im Zuge der NF-Verstärkung liegende Induktivität (Transformator oder Drossel) eine geeignete räumliche Lage zum Netztransformator oder zur Netzdrossel finden, für die die restliche Brummspannung verschwindet. Eine Entfernungsänderung ändert — grob gesehen — den Betrag, eine Richtungsänderung die Phase der kompensierenden Spannung.

So haben z. B. einige Industrieschaltungen die zur Anhebung der tiefen Frequenzen nötige Drossel in der Gegenkopplungsleitung so drehbar gehalten, daß damit eine sehr gute Brummkompensation möglich ist.

Man sollte also in einem Gerät, das Netztrafo und NF-Trafo enthält, diesen an lange Litzen angelötet so lange im Gerät verschieben, bis eine weitgehende Kompensation erreicht ist. In Geräten, die keine Spule im NF-Teil enthalten, kann man sich auf einfache Art diese Kompensationsmöglichkeit schaffen. Als Hilfsspule eignet sich hier eine alte Kopfhörerspule, die Spule einer 9-kHz Sperre oder ähnliches. Diese Spule wird zwischen das kalte Ende des Gitterableitwiderstandes der ersten NF-Röhre und Masse (oder den entsprechenden Bezugspunkt) gelegt, und wie oben angegeben verfahren. Es empfiehlt sich nicht, diese Spule direkt an ein Gitter zu legen, da dann eine zusätzliche kapazitive Einkopplung auftritt, die schwer zu beherrschen ist.

Einige andere Methoden, den Restbrumm zu beseitigen, benutzen kleine Kapazitäten. Diese Schaltungen sind wegen kaum zu übersehender Phasenverhältnisse für den Amateur nicht zu empfehlen und gelten streng genommen immer nur für eine ganz bestimmte Schaltung und einen ganz bestimmten Aufbau.

Allerdings sollte der Amateur, in dessen Gerät ein Brummen auftritt, nicht sogleich mit Kompensationsversuchen beginnen. Zuerst müssen alle selbstverständlichen Bedingungen beim Aufbau und bei der Abschirmung erfüllt sein. Erst wenn diese beachtet worden sind, sind die hier genannten Schaltungen sehr lohnend.

Literatur

- [1] Robeck, Peter, H.: *Brummkompensation*, in: Radio-Technischer Almanach 1947, pp 82 – 87, Deutsche Radiobücherei, Band 100, Jakob Schneider Verlag Berlin-Tempelhof