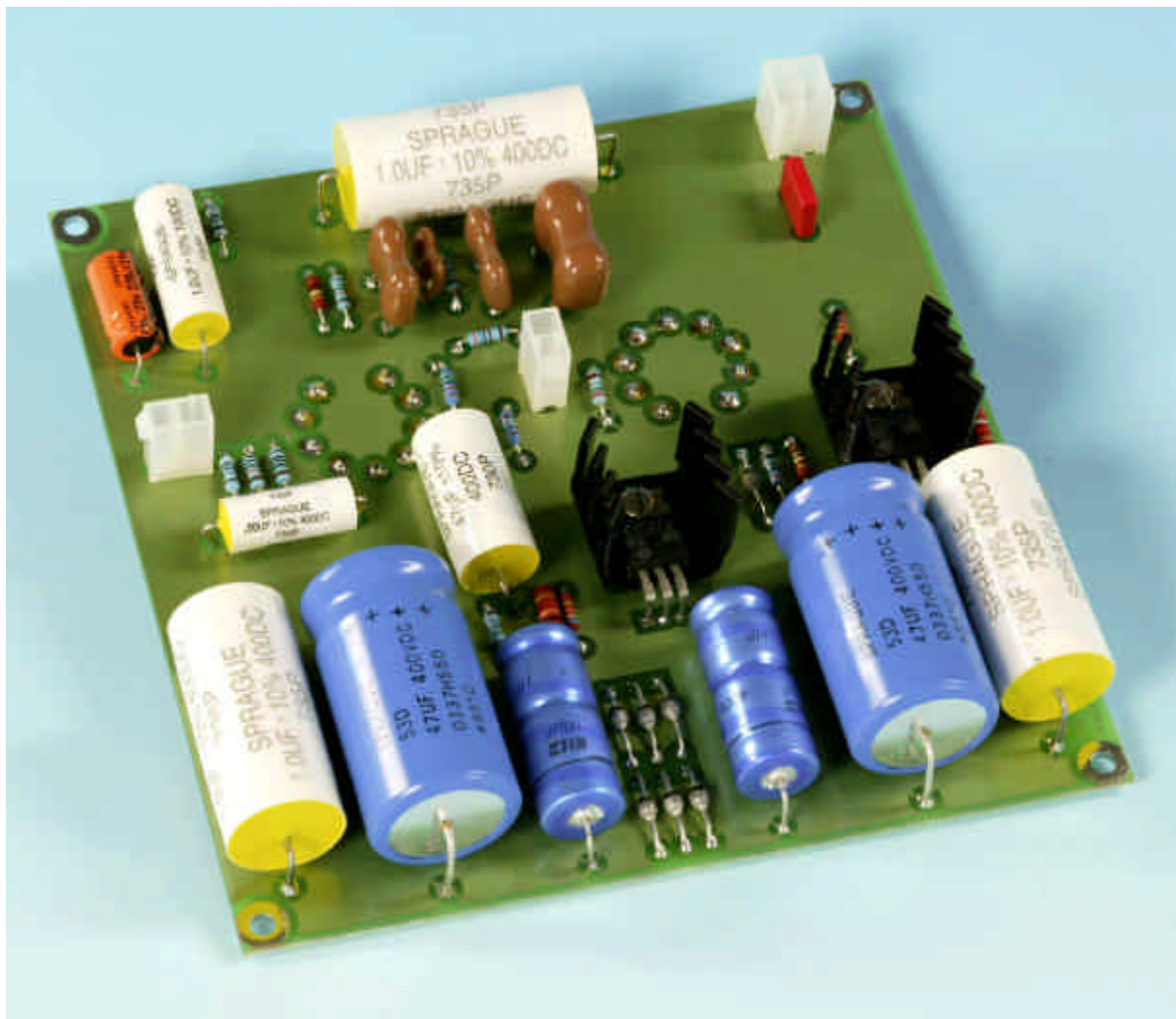


# Phono-Vorverstärker mit Kaskode-Verstärker und passivem Entzerrernetzwerk

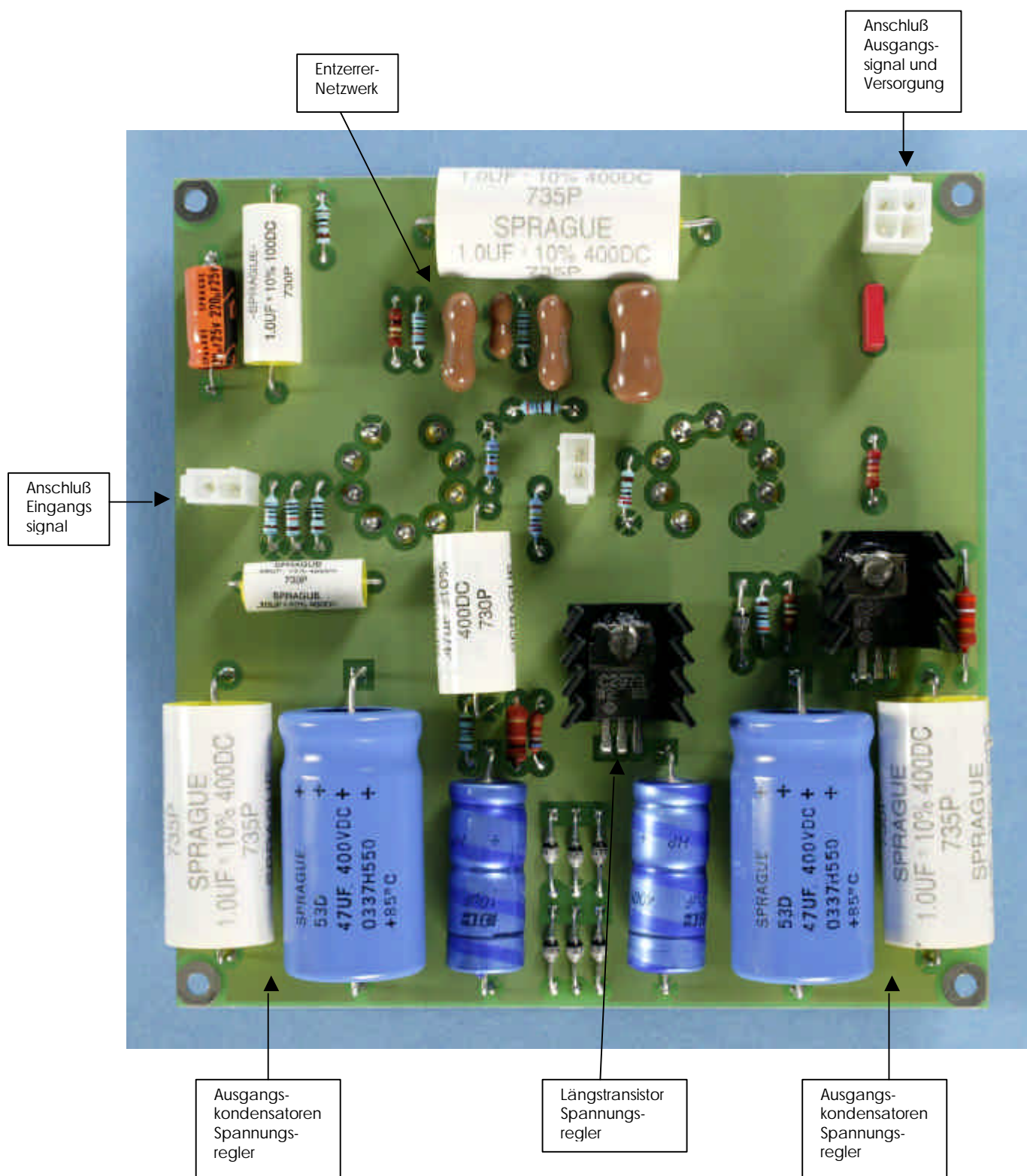
Von Taro Breuer

## Allgemeines

Aufgabe dieses Entzerrervorverstärkers ist es, das vom Magnet-Tonabnehmersystem des Plattenspielers kommende Signal von etwa 5mV um den Faktor 100 zu verstärken und gemäß der RIAA-Schneidekennlinie zu entzerren.



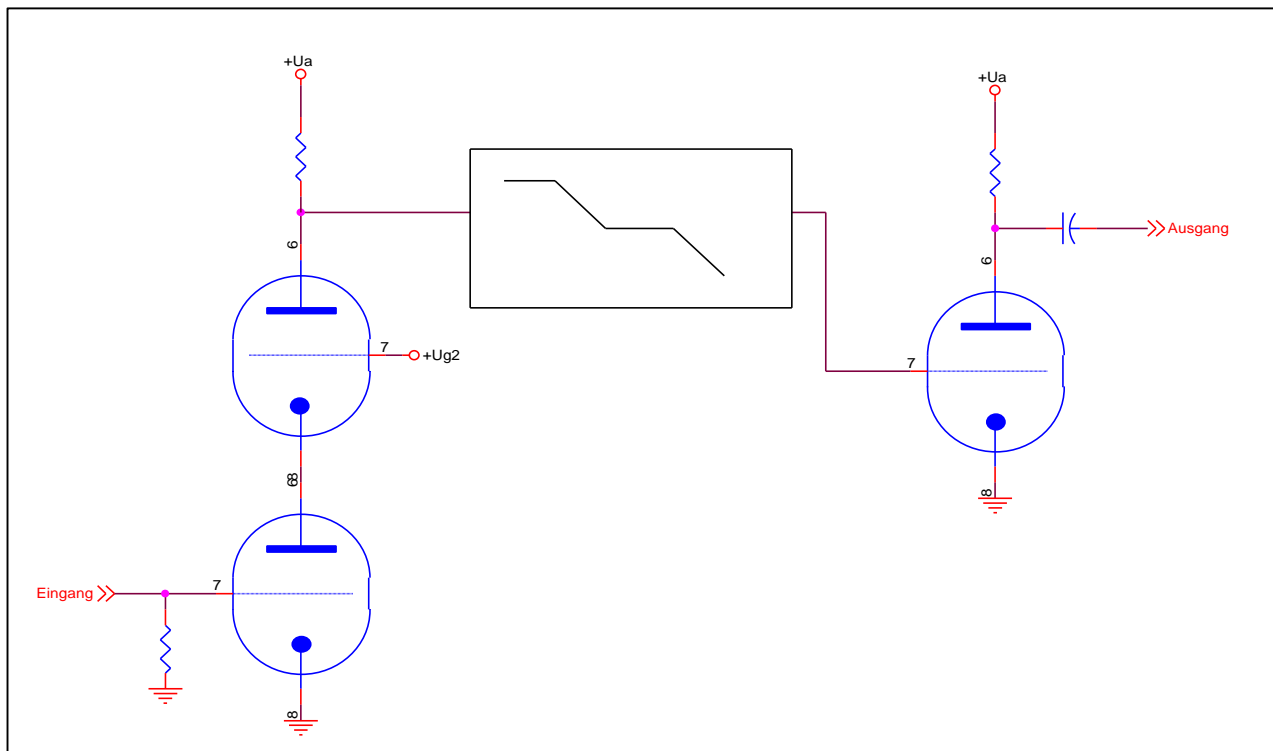
*Ansicht der Baugruppe von der Unterseite*



*Einige wichtige Funktionsgruppen der Baugruppe*

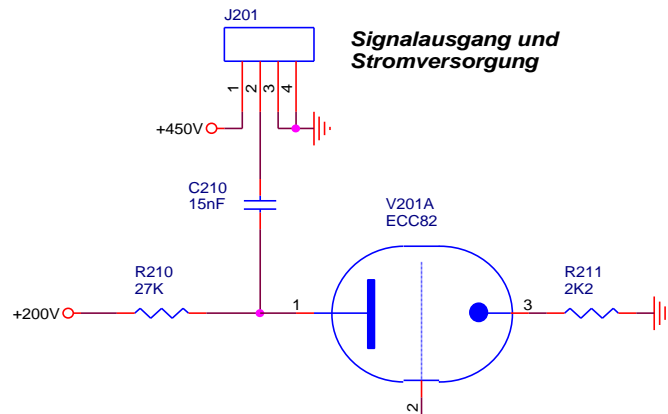
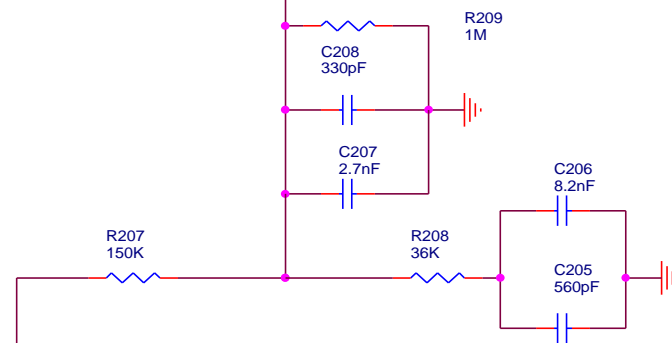
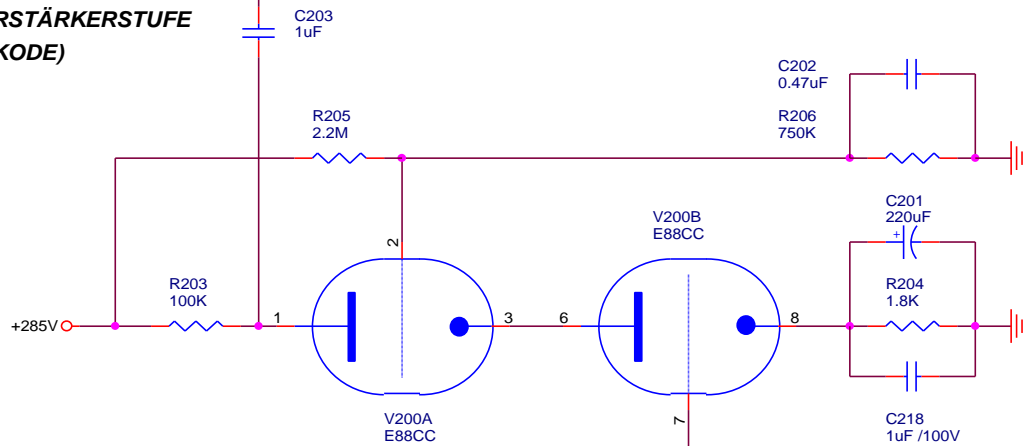
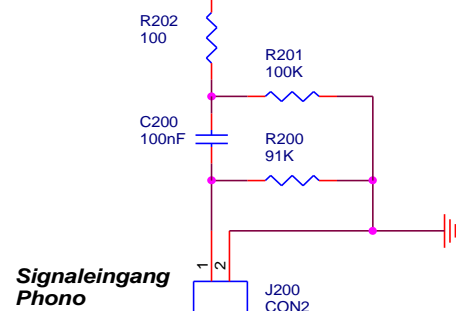
## Aufbau der Schaltung

Einen ersten Überblick gibt das folgende Blockschaltbild:



Blockschaltbild des Phono-Vorverstärkers

Auf die hochverstärkende Eingangsstufe in Kaskodenschaltung folgt das passive Entzerrnetzwerk. Eine weitere Verstärkerstufe verhindert eine Belastung des Netzwerks durch den Ausgangskreis und liefert zusätzliche Verstärkung.

**2. VERSTÄRKERSTUFE****ENTZERRERNETZWERK****1. VERSTÄRKERSTUFE (KASKODE)****IMPEDANZANPASSUNG**

Schaltplan des Signalpfads des Phono-Vorverstärkers

Der Schaltplan beinhaltet die folgenden Hauptfunktionsblöcke:

- 1) Impedanzanpassung an Tonabnehmersystem
- 2) Verstärkerstufe in Kaskodenschaltung
- 3) Entzerreretzwerk passiv
- 4) Zweite Verstärkerstufe

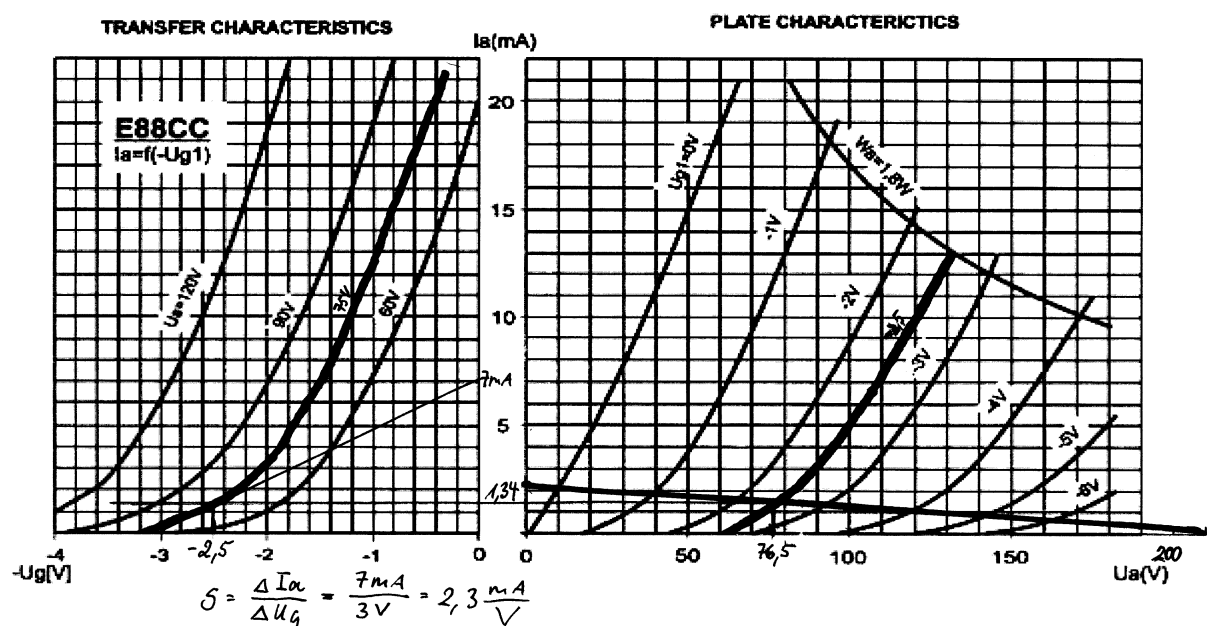
Diese Funktionsblöcke werden nun im einzelnen erklärt:

1. R200 und R201 in Parallschaltung sorgen für Impedanz-Anpassung an die 47kOhm des Tonabnehmersystems.  
 $R = R200 \cdot R201 / R200 + R201 = 47,6 \text{ kOhm}$   
 C200 entkoppelt den Eingang dieser Schaltung gleichspannungsmäßig.  
 R202 wirkt Schwingtendenzen entgegen und ist mit R201 zusammen Gitterableitwiderstand für V 200B.

2. Die Kaskoden-Schaltung ist mit V200 A und -B realisiert:

*Erzeugung der Gittervorspannung für V200B:*

R204 erzeugt die Gittervorspannung an der Eingangsrohre V200B und ist für Wechsignale durch den Elko C201 überbrückt, der durch Folienkondensator C218 für besonders hohe Frequenzen unterstützt wird. Die Schaltung wird mit  $U_b = 285 \text{ V}$  versorgt. Üblicherweise betreibt man die untere Röhre der Kaskode mit 75V.



*Kennlinienfeld mit eingetragenen Arbeitsgeraden*

*Auslegung oberes Triodensystem:*

Über dieser Röhre können maximal die  $285 \text{ V} - 75 \text{ V} = 210 \text{ V}$  liegen, wenn sie vollkommen sperrt, das kann als ein Extrempunkt der Arbeitsgeraden ins Ausgangskennlinienfeld der E88CC eingetragen werden.

Das andere Extrem wäre ein Kurzschluß durch die Röhre. Dann liegen die 210V vollständig über  $R_a = 100 \text{ kOhm}$ . Daraus ergibt sich ein Strom  $I_{a \max} = 210 \text{ V} / 100 \text{ kOhm} = 2,1 \text{ mA}$ . Auch dieser Wert läßt sich bei  $U_a = 0$  ins Ausgangskennlinienfeld einzeichnen. Durch diese zwei Punkte kann nun die

Arbeitsgerade gezeichnet werden.

Die Gittervorspannung wird aus dem Spannungsteiler mit R205 und R206 bestimmt. Dieser legt das Gitter von V200A auf folgende Spannung:

$$R_{ges} = R_{205} + R_{206} = 2,2\text{M}\Omega + 750\text{k}\Omega = 2,95\text{M}\Omega$$

$$R_{206}/R_{ges} = 750\text{k}\Omega / 2,95\text{M}\Omega = U_{g2}/285\text{V}$$

$$U_{g2} = (750\text{k}\Omega / 2,95\text{M}\Omega) * 285\text{V} = 72,46\text{V} \sim 72,5\text{V}$$

Da die Anode der unteren Röhre direkt mit der Kathode der oberen verbunden ist, liegt also folgende Gittervorspannung an:

$$U_g = 72,5\text{V} - 75\text{V} = -2,5\text{V}$$

Im Ausgangskennlinienfeld läßt sich nun der Schnittpunkt, das ist der Arbeitspunkt, aus Arbeitsgeraden und der Kurve für  $U_g = -2,5\text{V}$  finden und der dazugehörige Anodenstrom als y-Achsenabschnitt des Arbeitspunktes.

Dies sind  $I_{arbeitspunkt} = 76,5\text{V}$

Da sich der Anodenstrom nicht so genau ablesen läßt, dieser aber vollständig auch durch  $R_a$  fließt, betrachtet man diesen genauer:

$$\text{Über } R_a \text{ liegen } 210\text{V} - 76,5\text{V} = 133,5\text{V}$$

$$I_a = 133,5\text{V} / 100\text{k}\Omega = 1,34\text{mA}$$

*Auslegung unteres Triodensystem:*

Auch hier fließt der bereits für das obere Triodensystem bestimmte Anodenstrom  $I_a$ . Da außerdem bekannt ist, daß an der Anode 75V liegen sollen, kann aus dem Eingangskennlinienfeld der E88CC die nötige Gittervorspannung  $U_g = -2,5\text{V}$  bestimmt werden, indem das Lot von dem Punkt der  $U_a$ -Kurve bei  $I_a$  aus gefällt wird.

Der Widerstand  $R_k$  für die automatische Erzeugung der Gittervorspannung kann nun dimensioniert werden:

$$R_k = 2,5\text{V} / 1,34\text{mA} = 1,86\text{k}\Omega \sim 1,8\text{k}\Omega.$$

*Bestimmung der Verstärkung der Kaskodenschaltung:*

Die Verstärkung der Kaskode ist etwie so groß wie der Pentode:  $V = S * R_a$

Die Steilheit  $S$  ist dabei die des unteren Triodensystems. Zeichnet man im Eingangskennlinienfeld eine Tangente an den Arbeitspunkt, ergibt sich die Arbeitssteilheit:

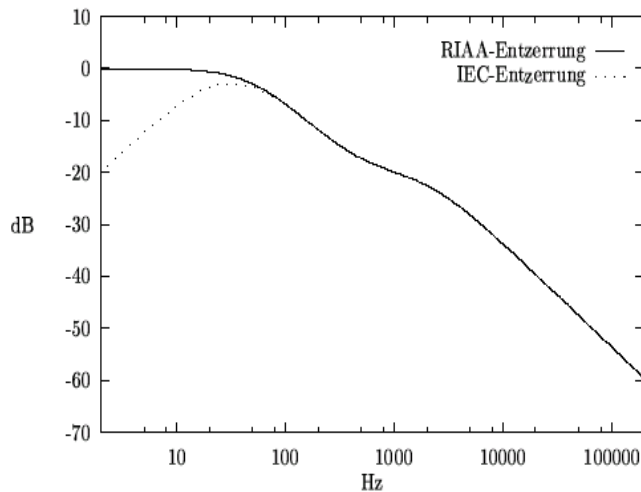
$$S = 7\text{mA}/3\text{V} = 2,3\text{mA/V}$$

Es ergibt sich für die Verstärkung dieser Kaskode:

$$V = 2,3\text{mA/V} * 100\text{k}\Omega = 230$$

## 2. RIAA-Entzerrernetzwerk

Das Entzerrernetzwerk soll den folgenden, genormten, Frequenzgang aufweisen:

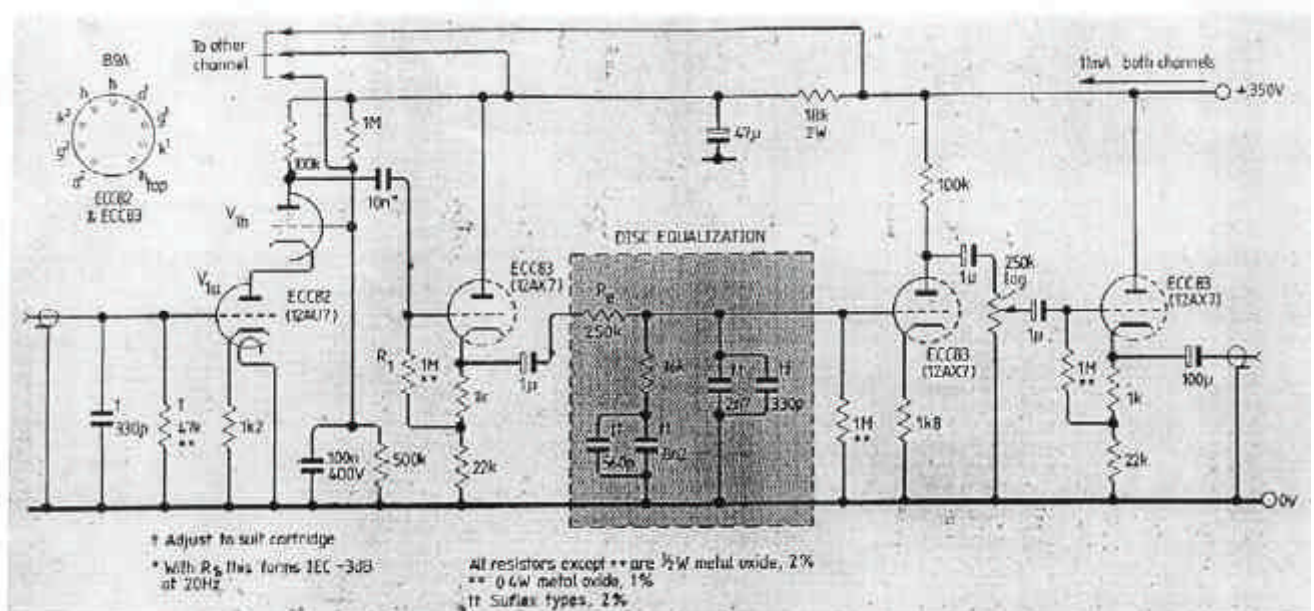


Dieses Netzwerk soll die durch die bei der Schallplattenherstellung angewendete Schneidekennlinie bedingte Frequenzverzerrung des Audiosignals wieder aufheben.

Die RIAA-Entzerrung wird mit drei zusammenwirkenden Filter-Grundbausteinen realisiert:

- Tiefpaß bei 50,05 Hz
- Hochpaß bei 500,05 Hz
- Tiefpaß bei 2122 Hz

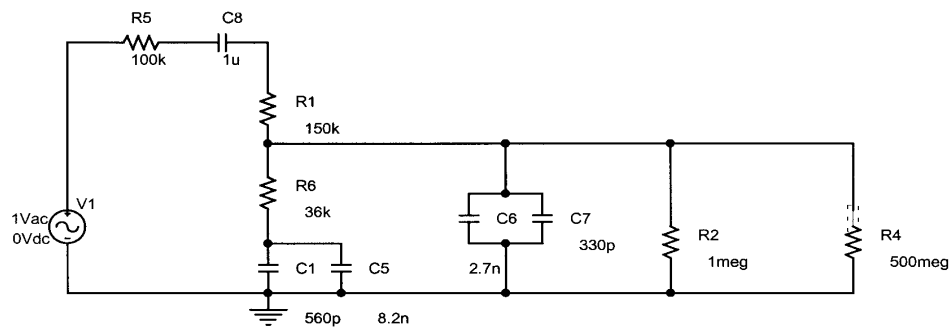
Vorbild für die hier gewählte Ausführung des Entzerrernetzwerks war diese ältere Schaltung ( siehe: Funktionsblock „Disk Equalization“ ), die dem Internet entnommen wurde:



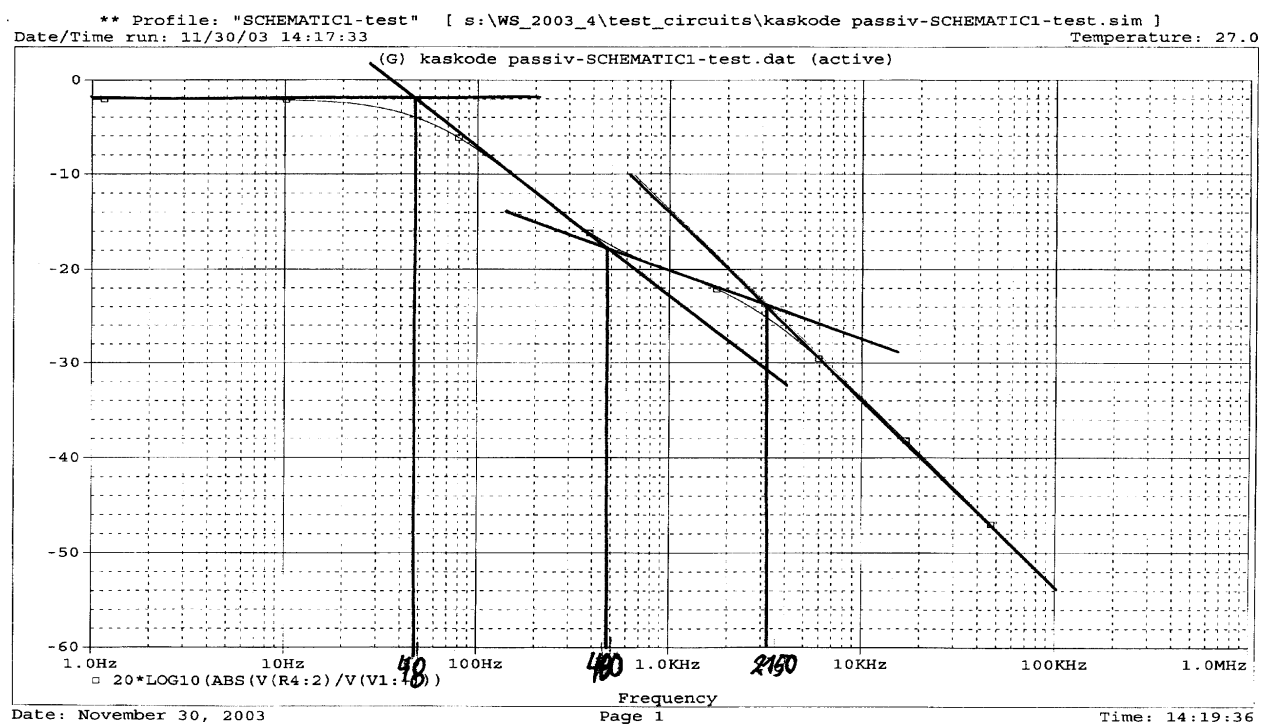


Das hier realisierte Netzwerk besteht aus dem Arbeitswiderstand R203 der Kaskode und R207-R209, C203, C205, C07 und C208. Die Simulation dieses Netzwerks mit Pspice ergab folgende Knickfrequenzen und bestätigte die Brauchbarkeit dieses Netzwerks zur RIAA-Entzerrung:

- Tiefpaß bei 48Hz
- Hochpaß bei 480 Hz
- Tiefpaß bei 2150 Hz



Zur Simulation verwendeter Teilschaltplan



Ergebnisse der Simulation



## Zweite Verstärkerstufe

Hier handelt es sich um eine stromgegekoppelte Verstärkerstufe. Da der Widerstand für die Gittervorspannungserzeugung  $R_k$  wechsellspannungsmäßig nicht mit Kondensatoren überbrückt ist, treten an ihm ebenfalls Wechsellspannungen auf, die zu einer Verringerung der nichtlinearen Verzerrungen führen. Es entsteht praktisch ein neues Ausgangskennlinienfeld mit linearisierten Kennlinien bei geringerer Verstärkung.

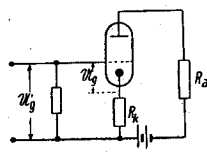
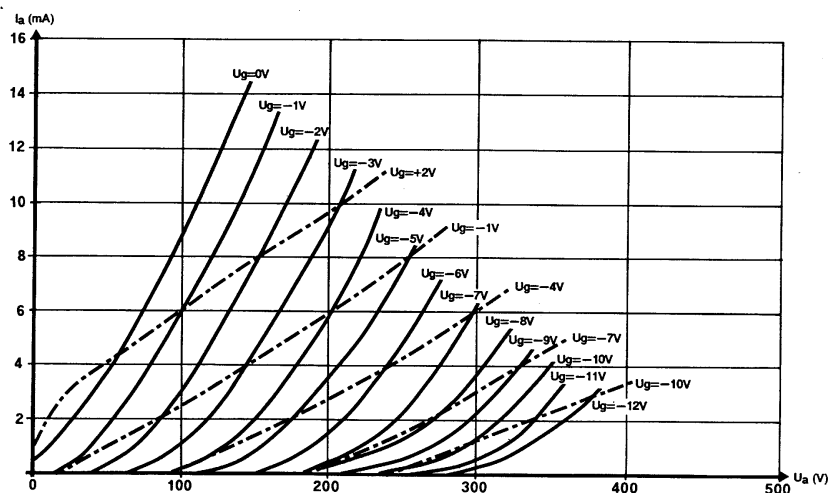


Fig. 38. Schaltung zur Anodenstromgegenkopplung durch Kathodenwiderstand.

Zur Anodenstromgegenkopplung wird vielfach ein in der Kathoden-zuleitung liegender, kapazitiv nicht überbrückter Kathodenwiderstand  $R_k$  entsprechend Fig. 38 angewendet. Daß bei Vorhandensein eines solchen Widerstandes die nichtlinearen Verzerrungen verringert werden, ist auf folgende Weise zu erklären: Bei sinusförmiger Gitterwechselspannung entsteht ein verzerrter Anodenwechselstrom, der  $R_a$  und  $R_k$  durchfließt. Die dadurch an  $R_k$  auftretenden Wechsellspannungen enthalten somit Oberwellen, die sich der ursprünglich sinusförmigen Eingangsspannung überlagern. Es entsteht also eine verzerrte Gitterwechselspannung, deren Oberwellen aber in der Phase derart liegen, daß sie den innerhalb der Röhre entstehenden Oberwellen entgegenwirken. Dadurch wird die Verzerrung teilweise aufgehoben. Die Schaltung Fig. 38 zeigt aber auch den Nachteil jeder Gegenkopplung, Die Verstärkung wird nämlich durch die Gegenkopplung vermindert, denn zur Erzielung eines bestimmten Wertes von Anodenwechselstrom und -wechselspannung muß mit zunehmender Größe von  $R_k$  die Eingangswechselspannung  $U'_g$  erhöht werden, um den Spannungsabfall an  $R_k$  und die dadurch entstehende Verminderung der tatsächlich vorhandenen Gitterwechselspannung  $U_g$  auszugleichen.

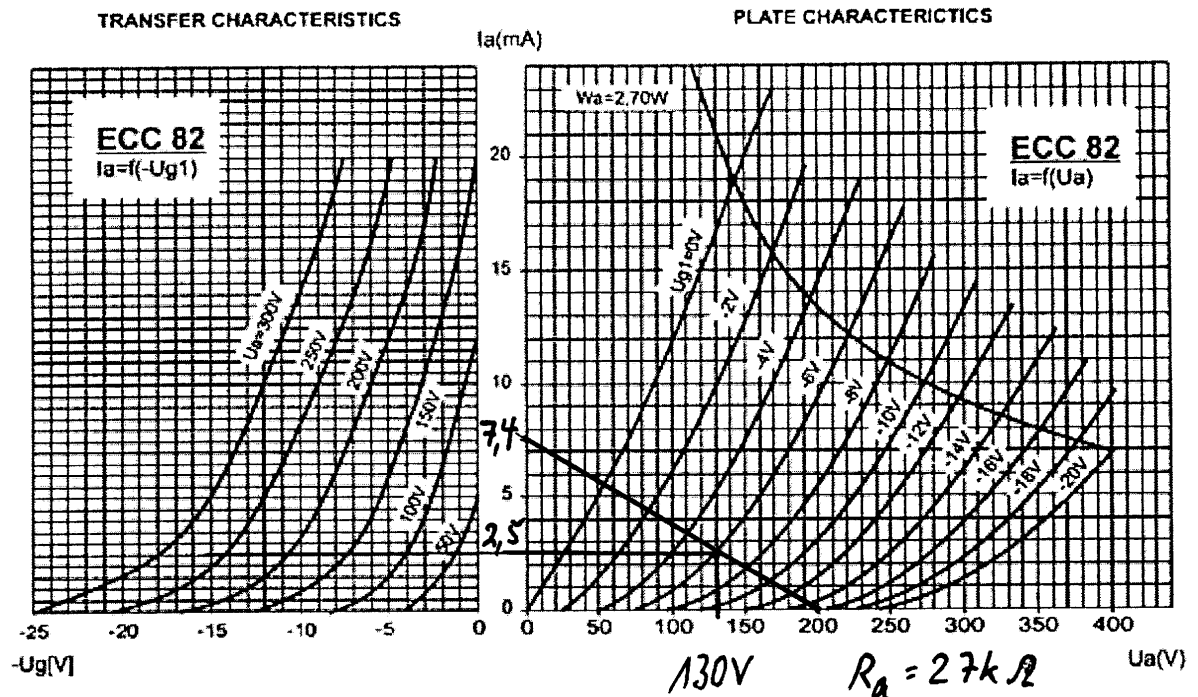


Herleitung der Anodenstromgegenkopplung (Quelle: Rothe/Kleen, S. 70)

R310 ist der Arbeitswiderstand dieser letzten Verstärkerstufe. Durch ihn fließt maximal:

$$I_{a\max} = 200V / 27k\Omega = 7,4mA$$

Aus dem Ausgangskennlinienfeld der Röhre V310B, ein System einer ECC82, ergibt sich:



Um die Gittervorspannung auf  $U_g = -6V$  zu bringen benötigt man folgenden  $R_k$ :

$$R = U_g / I_a = 6V / 2,5mA = 2,4k\Omega \sim 2,2k\Omega$$

Für den Innenwiderstand  $R_i$  gilt:

$$R_i = 60V / 5mA = 12k\Omega$$

Die Verstärkung  $V'$  dieser Stufe ist wegen der Stromgegenkopplung geringer als das sonst mögliche  $V$ . (vergl. Zur Linde S. 83ff)

$$V = \mu \cdot R_a / (R_i + R_a) = 17 \cdot 27k\Omega / (12k\Omega + 27k\Omega) = 11,77 \text{ ohne Gegenkopplung}$$

$$V' = \mu \cdot R_a / (R_a + R_i + \mu \cdot R_k) = 17 \cdot 27k\Omega / (27 + 12 + 17 \cdot 2,2)k\Omega = 6$$

Der Ausgangswiderstand dieser Schaltung (zur Linde, S. 87)

$$R = (R_a \cdot R_i + \mu \cdot R_k) / (R_i + R_a + \mu \cdot R_k) = (27k \cdot 12k + 17 \cdot 2,2k) / (12k + 27k + 17 \cdot 2,2k) \\ = 324M + 37,4k / 76,4k = 324k / 76,4 = 4,2k\Omega$$

Der Ausgangswiderstand ist ausreichend hoch, um die darauffolgende Stufe nicht über die Maßen zu belasten.

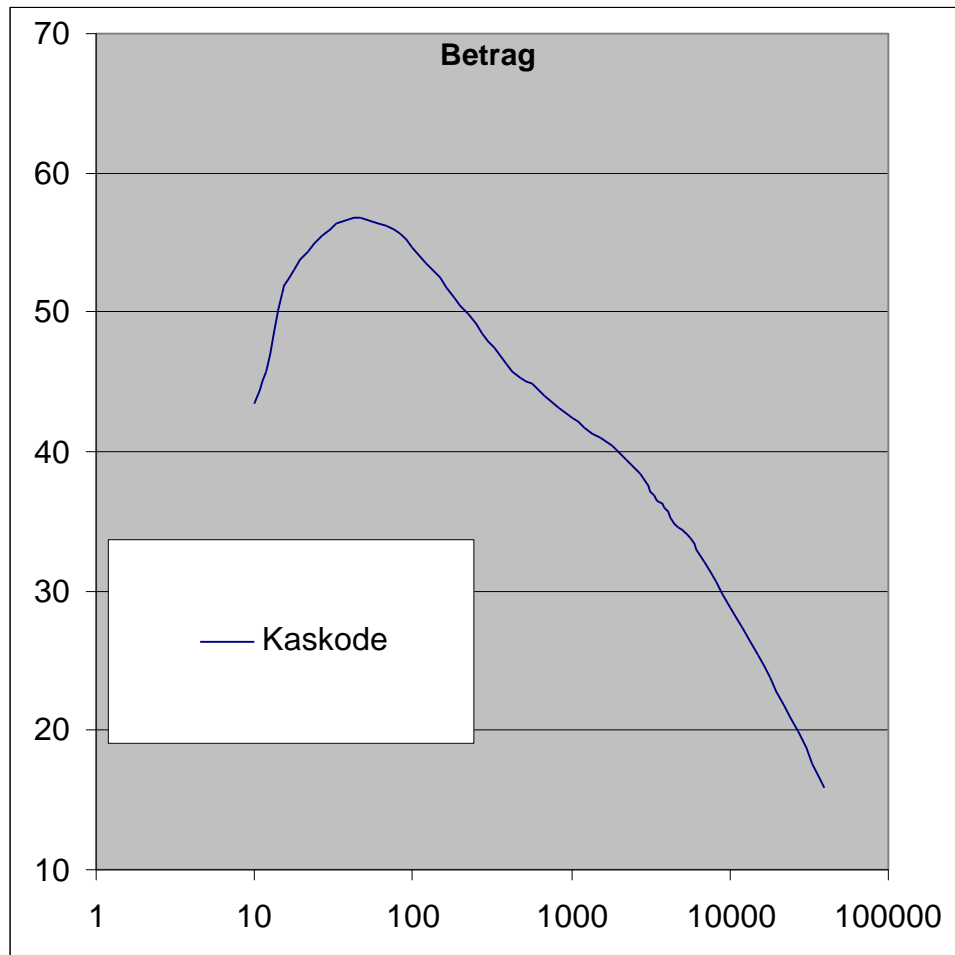
## Aufbau und Test

Die gesamte Schaltung inklusive der Spannungsregler für die Anodenspannungen wurde komplett auf einer Platine realisiert, bestückt und im Frequenz- und Phasengang getestet.

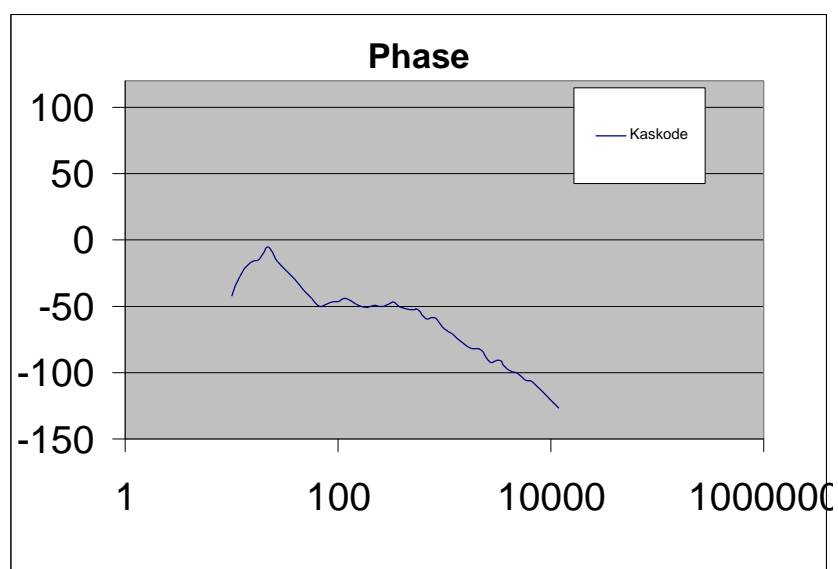
Die Diagramme zeigen die Ergebnisse im Vergleich. Der Verfasser sieht zunächst keine Auffälligkeiten und ist zufrieden mit den Meßergebnissen.

Beim anschließenden Hörtest jedoch stellte sich heraus, daß der Kaskode-Verstärker im Gegensatz zur fast identischen Schaltung mit Pentode EF86 nicht überzeugen konnte.

In diesem Zusammenhang sollten noch weiterführende Messungen durchgeführt werden, sobald der gesamte Aufbau einstreungsfrei im Chassis montiert ist. Außerdem sind bei der Kaskode die beiden Triodensysteme nicht in der wie im RFT-Datenblatt zur ECC88 (siehe dort) vorgeschriebenen Reihenfolge in die Schaltung eingebaut worden. Möglicherweise hat dies eine nachteilige Wirkung auf den Klang. Eine solche Präferenz war bei Schaltungsentwurf nicht bekannt und das RFT-Datenbuch liegt dem Verfasser erst seit kurzem vor.



Gemessener Amplitudenfrequenzgang



*Gemessener Phasenfrequenzgang*