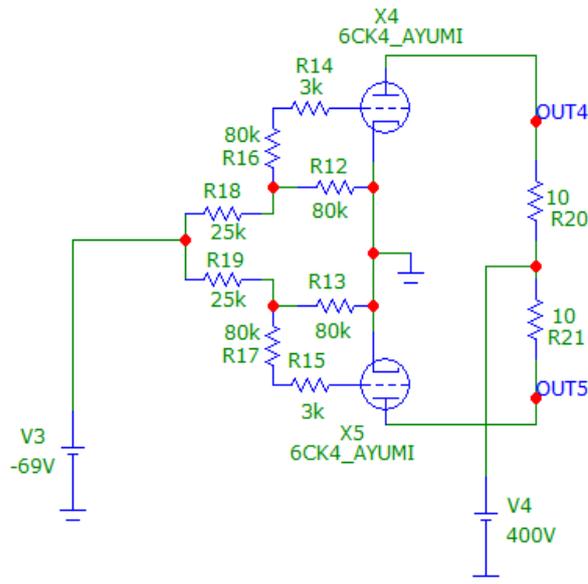
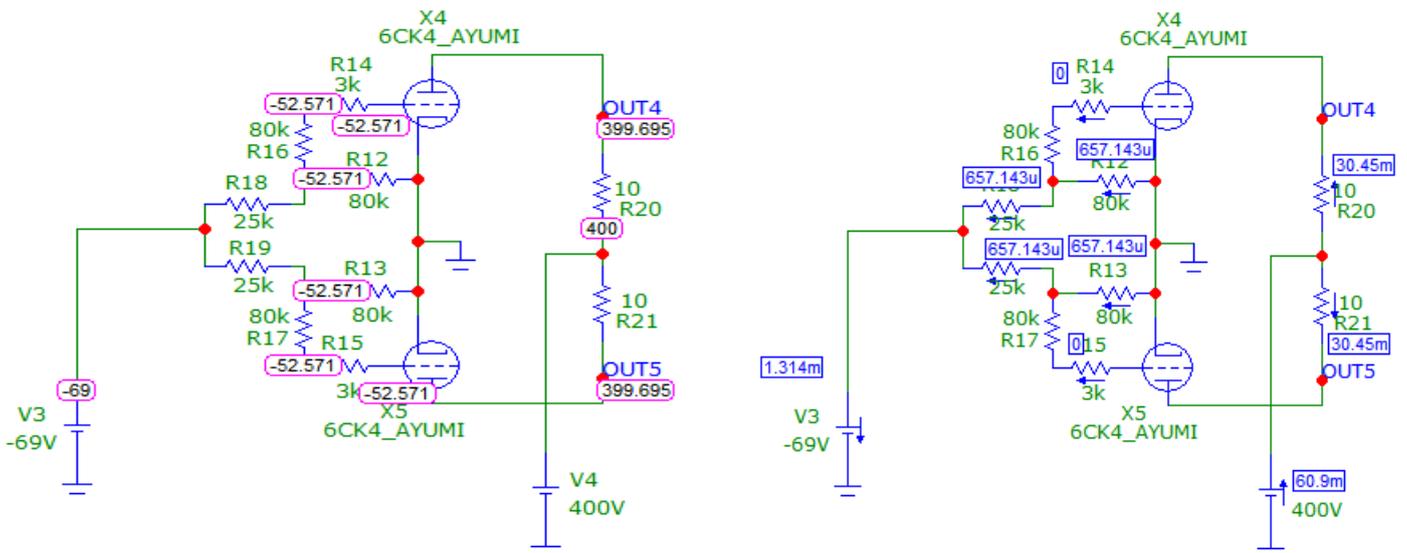


Schaltungsanalyse des 15W-Trioden-Gegentaktverstärkers mit alternativer Röhrenbestückung, die Röhren 6SN7 und 6SJ7 werden jeweils durch die Röhre ECC83 ersetzt (Funkschau 1959/ Heft20) (bzw. Electronics World Juli 1959, Seite 60, HIFI with Triodes, by J.N.Still)

1. Arbeitspunkt Endstufe :



Schaltung zur Ermittlung des Arbeitspunktes: R18, R19 entspricht (Balance-Control-Mittenstellung), Da in der Simulation beide Röhrenmodelle absolut gleich sind, ist das so in Ordnung. Im realen Modell muß statt R18, R19, ein 50k Poti eingesetzt werden.



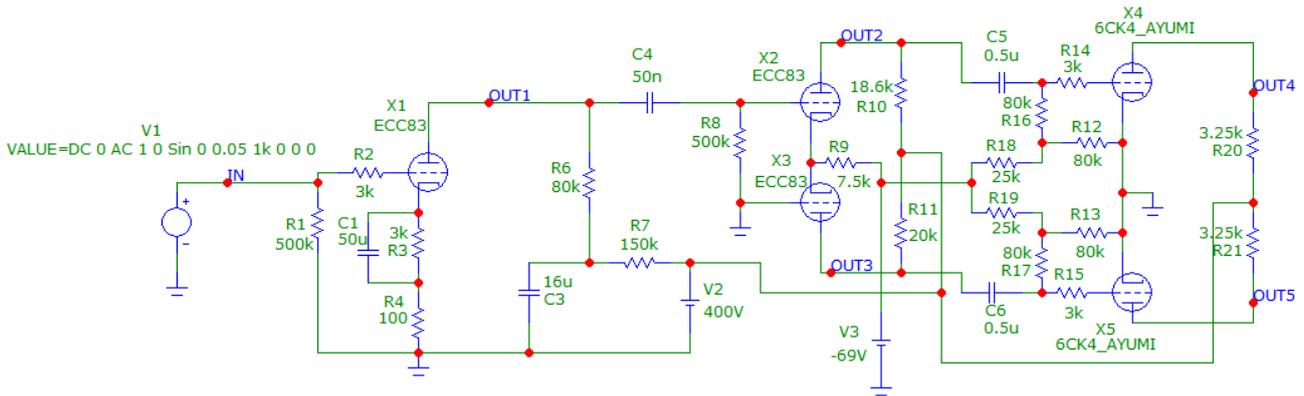
Die Arbeitspunkte :

V3 eingestellt mit -69V, so für die Simulation gewählt, kann im praktischen Aufbau variieren, muß einstellbar sein.

Bild Links: mit eingetragenen Spannungen.

Bild Rechts: mit eingetragenen Strömen.

2. Ermittlung der Verstärkungsfaktoren :



Schaltung zur Ermittlung der Einzelverstärkungen :

Primärseite des Ausgangstrafos wurde hier durch 2 Abschlußwiderstände ersetzt.

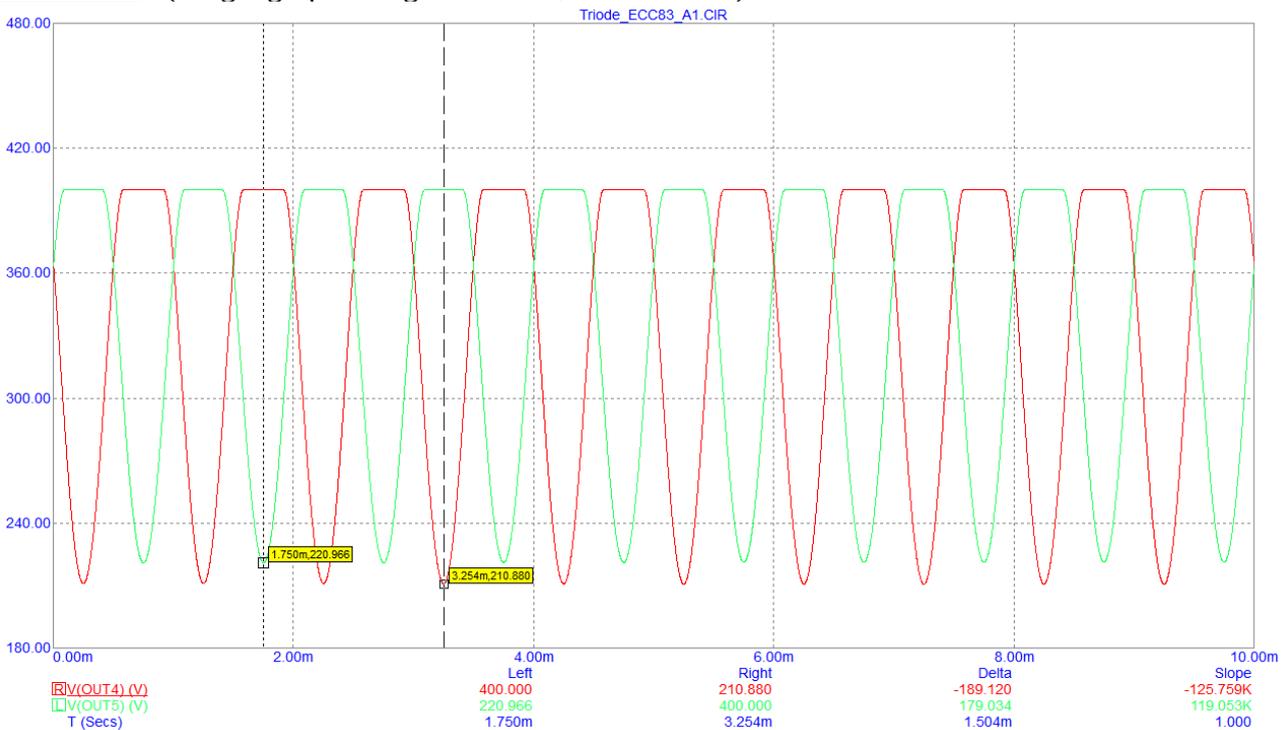
Die Gegenkopplung entfällt hier, da diese das Ergebnis verfälschen würde.

R10 wird im Original mit 20k angegeben, hier im Schaltbild durch R10=18.6k ersetzt.

Warum diese Änderung notwendig ist, wird in den nachfolgenden Simulationen ersichtlich.

2.1 Ausgangsspannungen Endstufe :

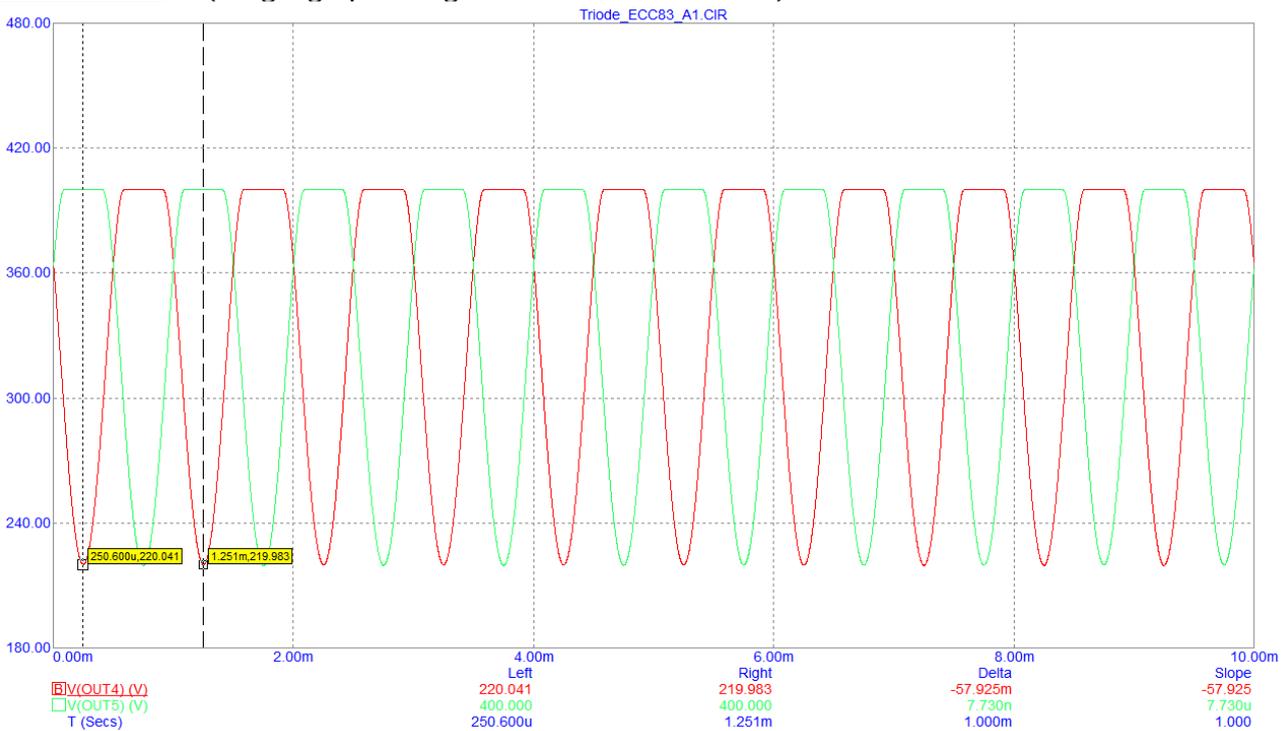
R10 = 20K (Eingangsspannung V1=0.05V, Scheitelwert)



$$U_{out4} = 400V - 211V = 189V \quad U_{out5} = 400V - 221V = 179V \quad (\text{Scheitelwerte})$$

Ergebnis : Endröhren werden unterschiedlich angesteuert, das Problem liegt in den Treiberstufen.

$R_{10} = 18.6K$ (Eingangsspannung $V_1=0.05V$, Scheitelwert)

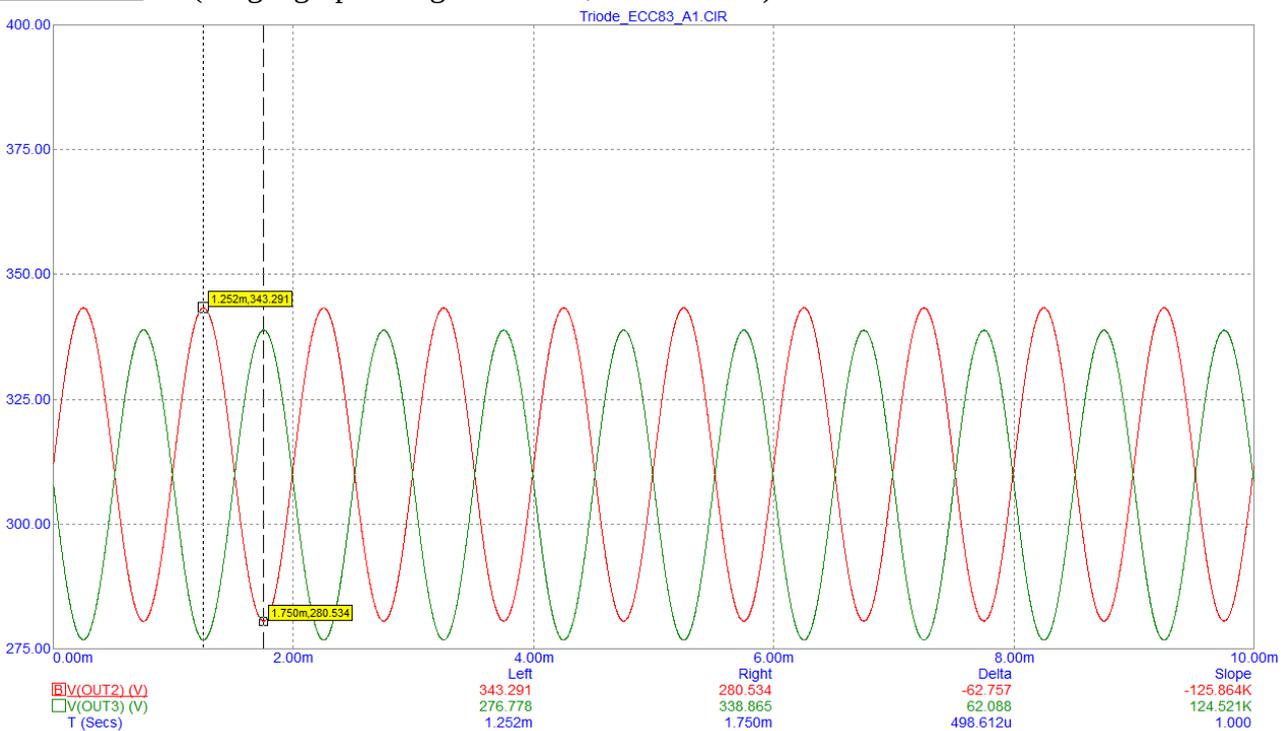


$U_{out4}=400V-220V=180V$ $U_{out5}=400V-220V=180V$ (Scheitelwerte)

Ergebnis: Beide Endröhren werden jetzt gleichermaßen angesteuert.
Scheitelwerte an den Ausgängen ca. 180V, vorgemerkt für die Ermittlung der Verstärkung.

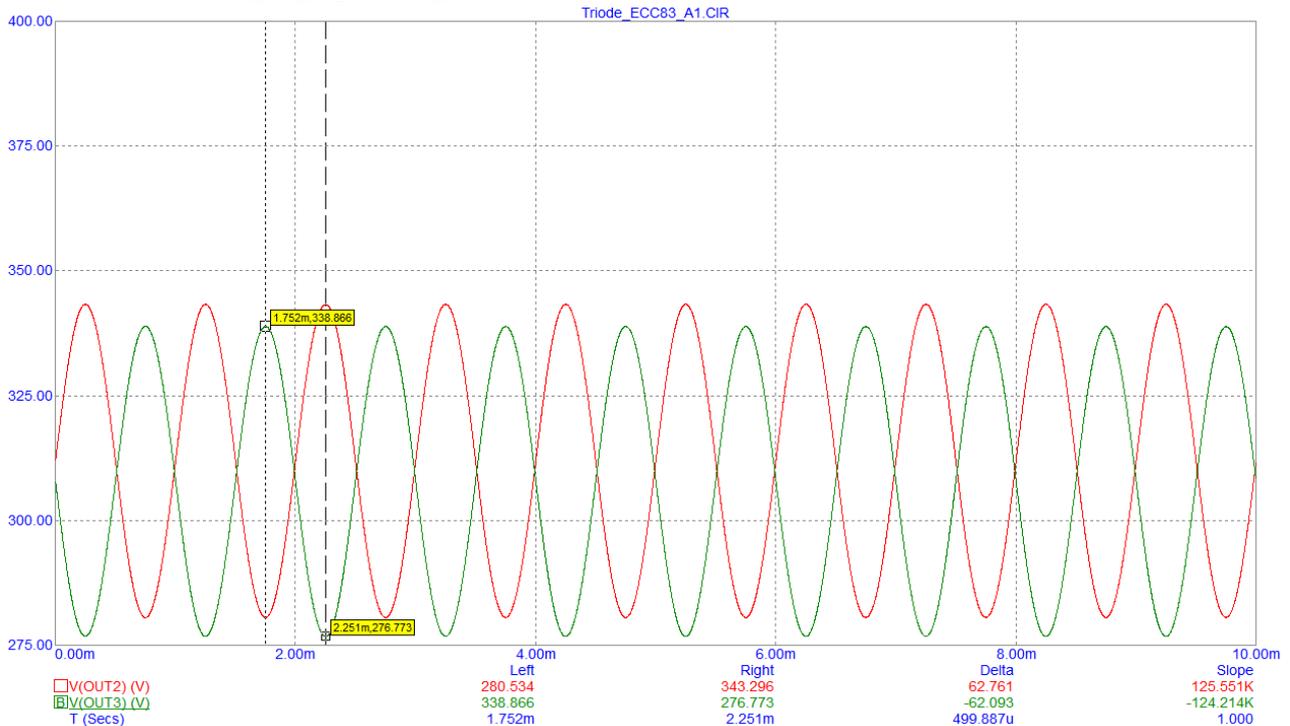
2.2 Ausgangsspannungen Treiberstufen :

$R_{10}=18.6k$ (Eingangsspannung $V_1=0.05V$, Scheitelwert)



$U_{out2}=(343.3V-280.5V)/2=31.4V$ (Scheitelwert)

R10=18.6k (Eingangsspannung V1=0.05V, Scheitelwert)

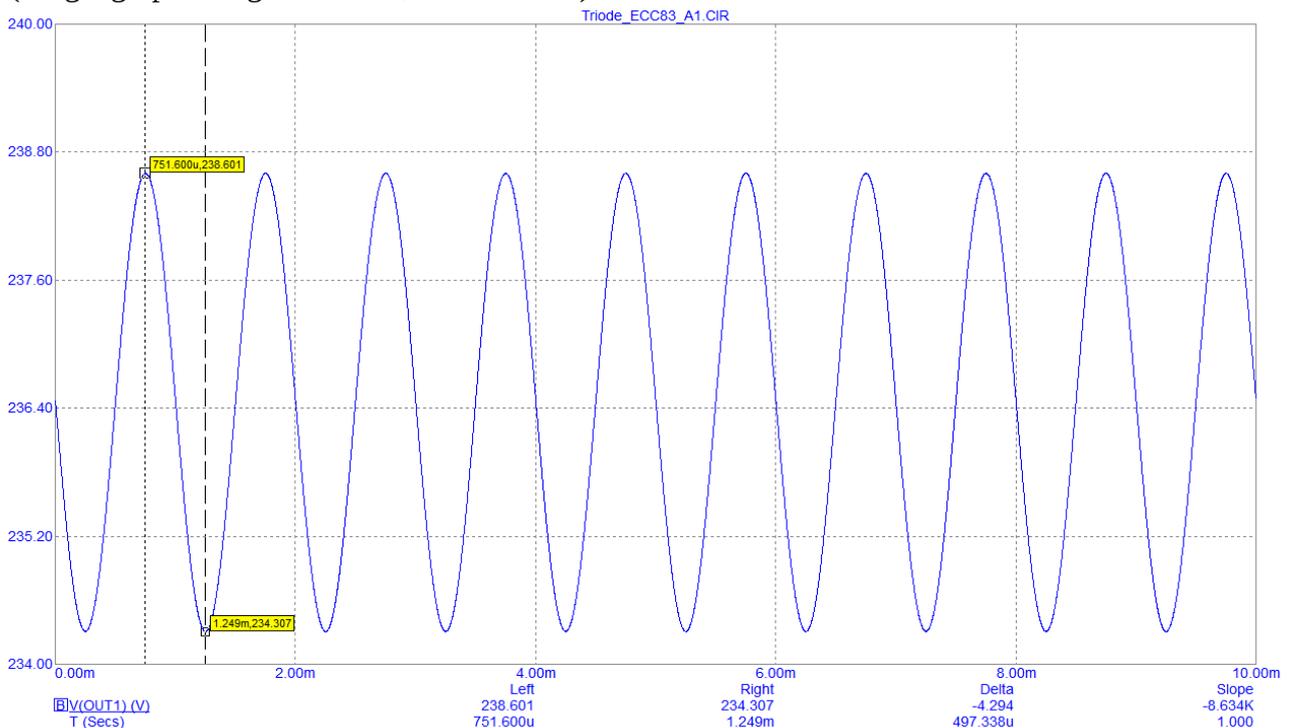


$U_{out3} = (339V - 277V) / 2 = 31V$ (Scheitelwert)

Ergebnis : Die Ausgangsspannungen sind mit R10=18.6k annähernd gleich.
Die Ausgangsspannung Uout2 und Uout3 ist ca. 31V,
wird für die Verstärkungsermittlung vorgemerkt.

2.3 Ausgangsspannung Vorstufe :

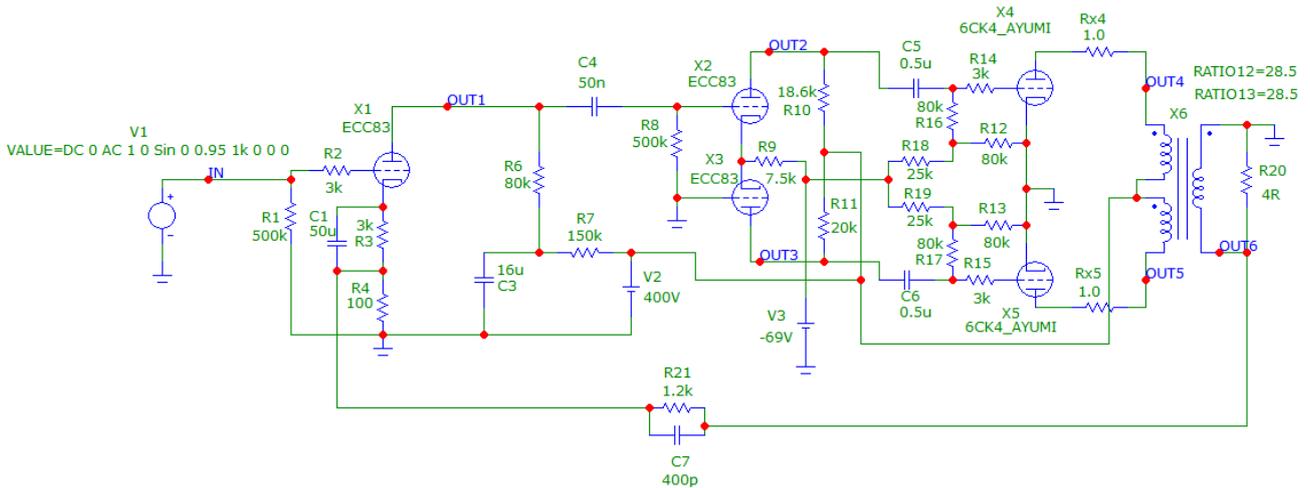
(Eingangsspannung V1=0.05V, Scheitelwert)



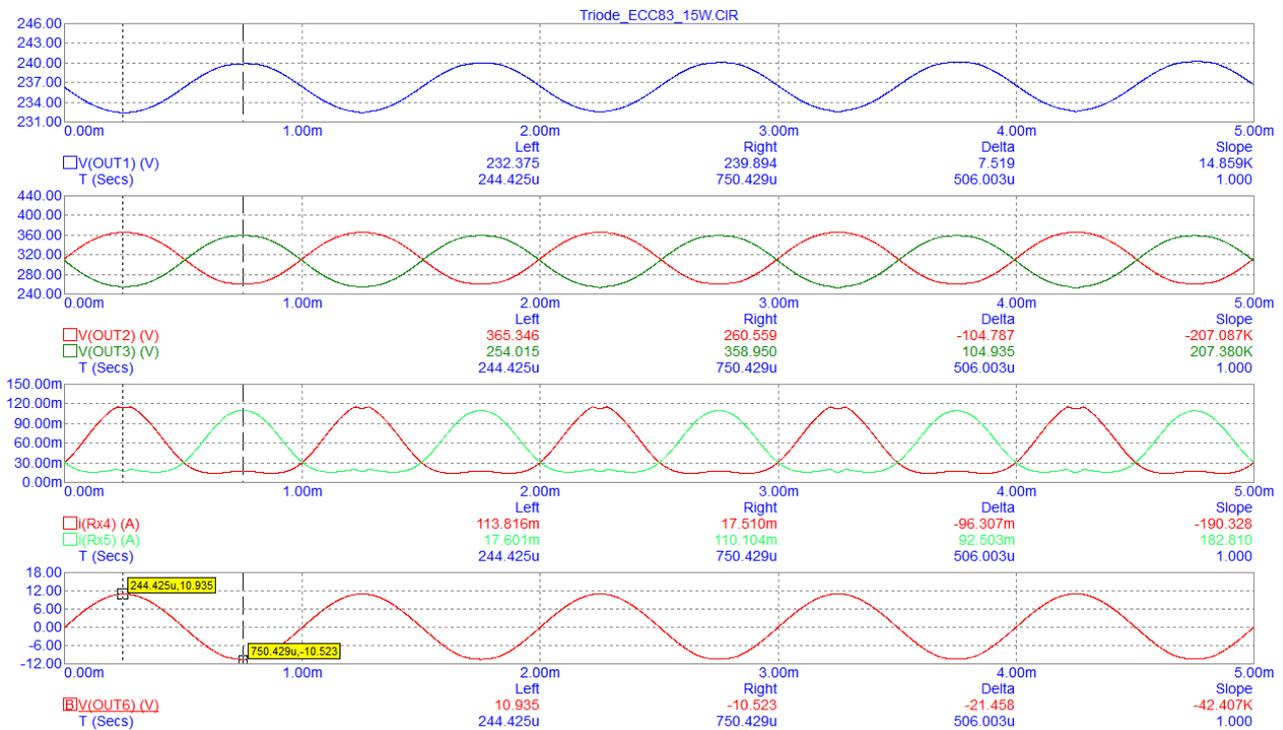
$U_{out1} = (238.6V - 234.3V) / 2 = 2.15V$ (Scheitelwert)

2.4 Die Einzelverstärkungen : $V_{vorstufe} = 2.15V / 0.05V = 43$; $V_{treiber} = 31V / 2.15V = 14.4$
 $V_{endstufe} = 180V / 31 = 5.8$,
 $V_{gesamt} = 43 * 14.4 * 5.8 = 3591$ primärseitig (ohne Gegenkopplung)

3. Simulation Gesamtschaltung mit idealem Trafo und Gegenkopplung



3.1a Simulation bei Vollaussteuerung, bei $U_e=0.94V$ nahezu verzerrungsfrei



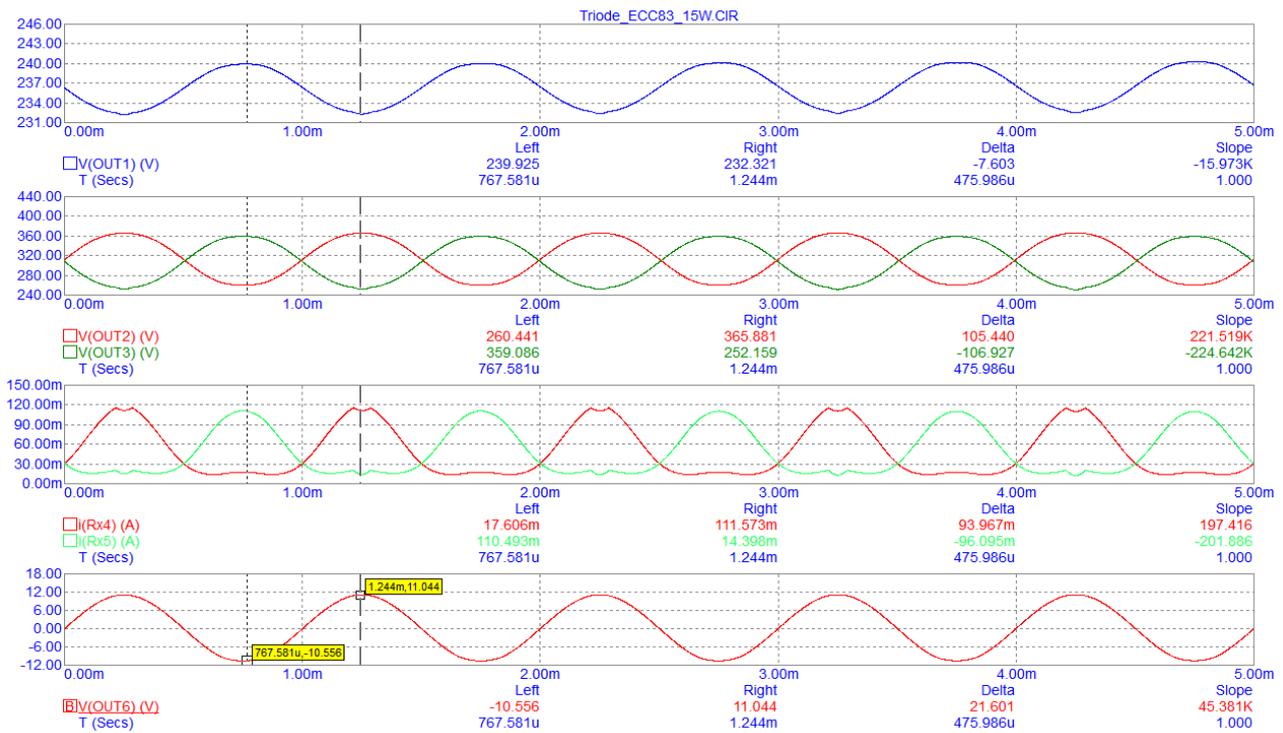
$$U_{out6} = (10.935 + 10.523) / 2 = 10.73V \text{ (Scheitelwert)}$$

$$U_{out6eff} = 10.73V \cdot 0.7071 = 7.59V \text{ (Effektivwert)}$$

$$P_{out6} = (7.59V \cdot 7.59V) / 4R = 14.4W$$

Ergebnis: Bei $U_e=0.94V$ (Scheitelwert) ergibt sich eine Ausgangsleistung von ca. 14.4W. Allerdings sind dabei die Verluste eines realen Ausgangstrafos nicht berücksichtigt. Bereits kleinere Verzerrungen, siehe Anodenströme $i(Rx4)$ und $i(Rx5)$.

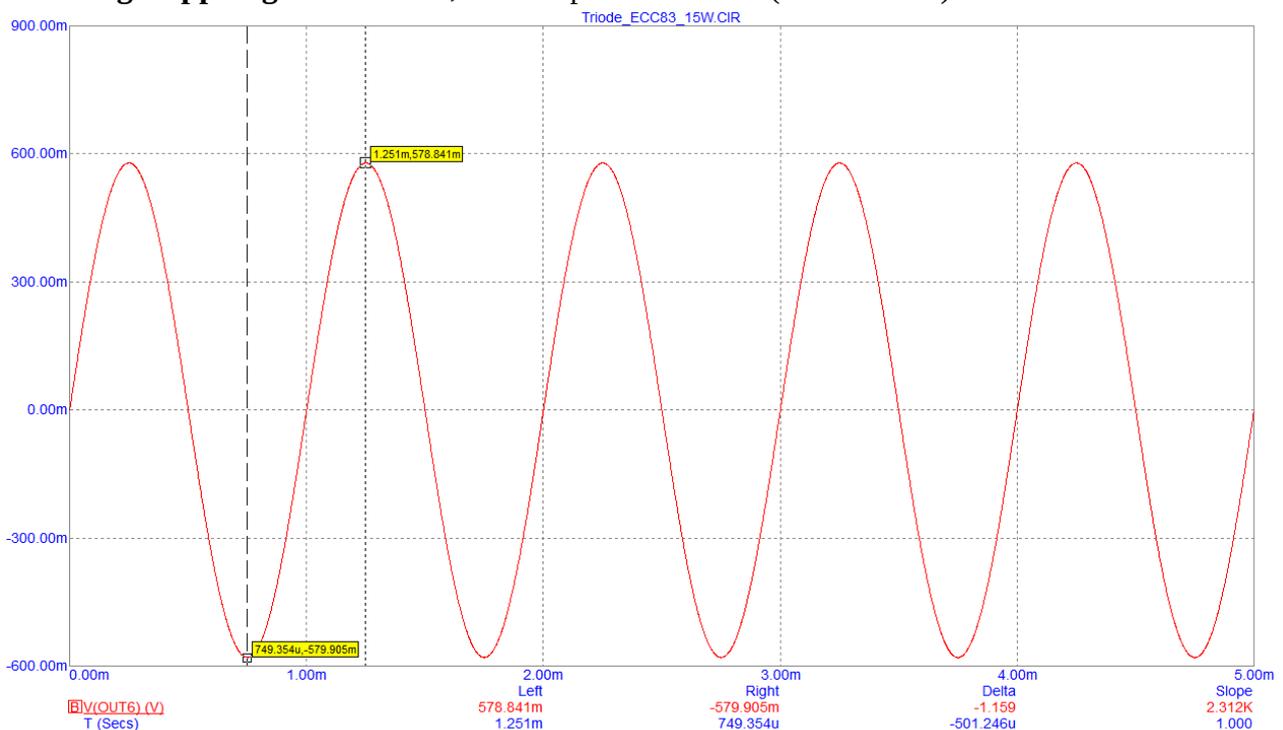
3.1b Simulation bei Vollaussteuerung, bei $U_e=0.95V$ bereits einsetzende Verzerrungen, sichtbar in den Anodenströmen $i(Rx4)$ und $i(Rx5)$



Ergebnis: Bei $U_e=0.95V$ (Scheitelwert) ergibt sich eine Ausgangsleistung von ca. 14.6W. D.h. bei Ausgangsleistungen größer 14.4W, ist mit größeren Verzerrungen zu rechnen, deutlich zu sehen in den Anodenströmen $I(Rx4)$ und $I(Rx5)$.

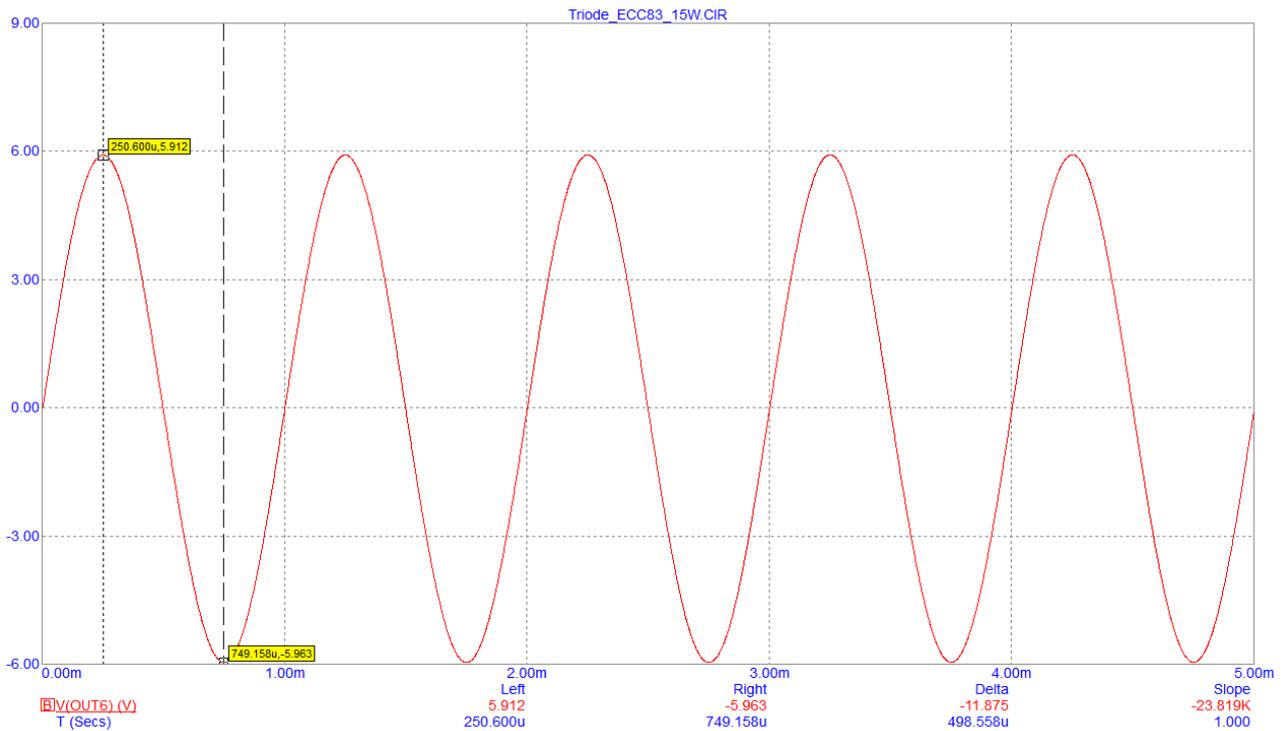
4. Ermittlung des Einflusses der Gegenkopplung

mit Gegekopplung : $R_{21}=1.2k$; $C_7=400p$ $U_e=0.05V$ (Scheitelwert)



Am Verstärkerausgang sind es ca. 0.58V (Scheitelwert)

ohne Geggekplung : R21=12M; C7=4p Ue=0.05V (Scheitelwert)



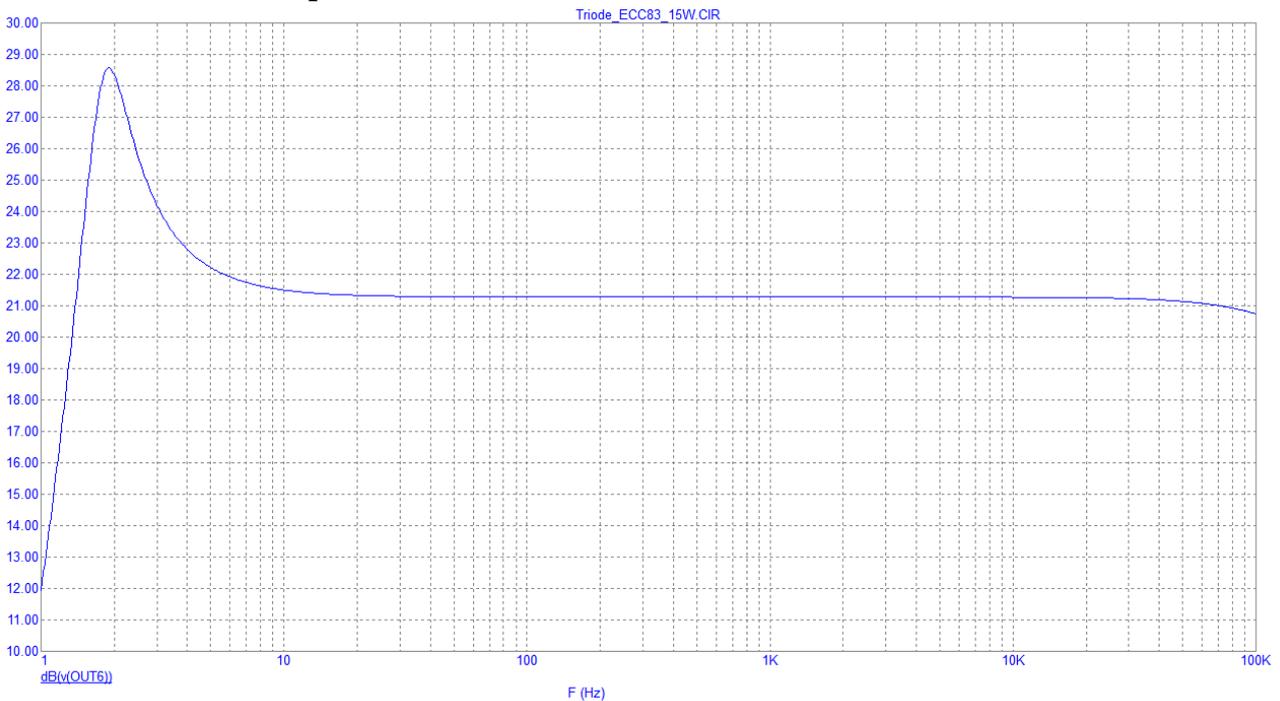
Am Verstärkerausgang sind es jetzt ca. 5.9V (Scheitelwert)

Ergebnis : Die Gegenkopplung reduziert die Verstärkung um den Faktor $k=10.2$.

5. Frequenzgang (Frequenzgang des Trafos unberücksichtigt, da ideal)

GK: R21=1.2k, C7=400p

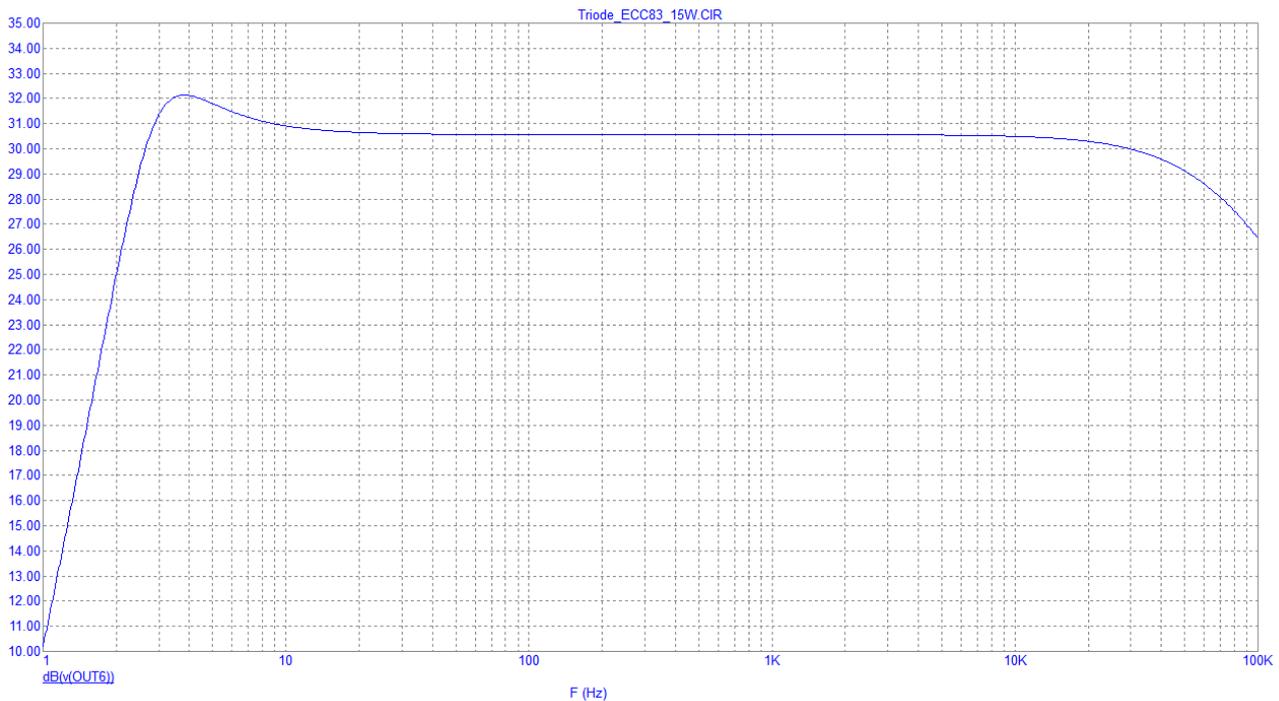
Vdb bei Ue_ac=1V



Ergebnis: Eine starke Überhöhung bei ca 2 Hz,

GK: $R_{21}=4.7k$, $C_7=400p$

Vdb bei $U_{e_ac}=1V$



Ergebnis: Verringert man die Gegenkopplung, flacht sich der Frequenzgang ab, die Überhöhung wird kleiner. D.h. Die Überhöhung wird durch die Gegenkopplung verursacht. An der Stelle kann man noch etwas experimentieren.

Abschließend :

Mit den Änderungen, die Röhren 6SN7 und 6SJ7 durch die Röhre ECC83 zu ersetzen, sowie R10 auf 18.6k zu ändern, erhält man einen Verstärker mit annähernd ähnlichen Eigenschaften.

Die Idee ist, auch die Endröhren 6CK4 durch Röhren zu ersetzen, die weitverbreitet waren, bzw. leicht erhältlich sind.

Man könnte man es mal mit EL36, PL36 in Triodenschaltung versuchen.

Vor allem die PL36 wurde als Zeilenendstufe für Fernsehgeräte in rauhen Massen produziert.

Die veränderte Heizspannung ist zu beachten, sowie eine niedrigere zulässige Anodenspannung.

Es ist davon auszugehen, daß die PL36 auch höhere Anodenspannungen verträgt, im Internet sind einige Versuche in der Richtung zu finden.

Für die Röhre EL36, PL36, hat sich schon jemand die Mühe gemacht, die Kennlinien für Triodenschaltung bis ca. $U_a=400V$ auszumessen. (*Tom Schlangen*)

Triodenschaltung der PL36 erfolgt, indem man Schirmgitter und Anode miteinander verbindet. Das Bremsgitter wird mit der Kathode verbunden.

Das Bremsgitter auch mit der Anode zu verbinden, ist zwar naheliegend, ist aber eine schlechte Idee, ist nicht belastbar, glüht auf und tropft evtl. ab !