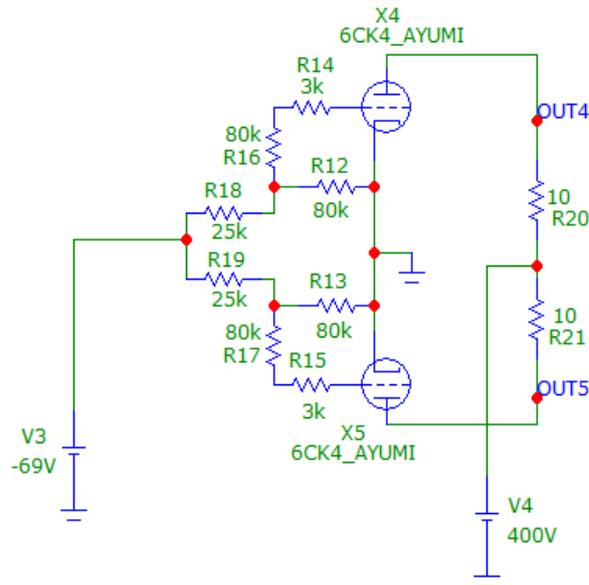
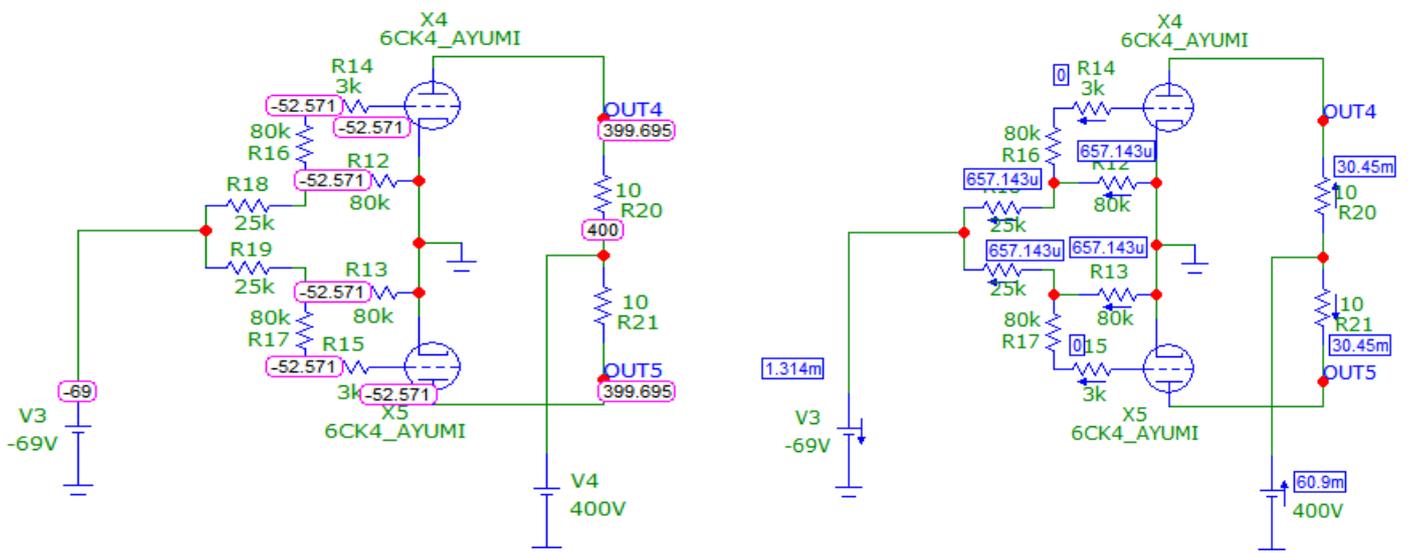


# Schaltungsanalyse des 15W-Trioden-Gegentaktverstärkers (Funkschau 1959/ Heft20) (bzw. Electronics World Juli 1959, Seite 60, HIFI with Triodes, by J.N.Still)

## 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.



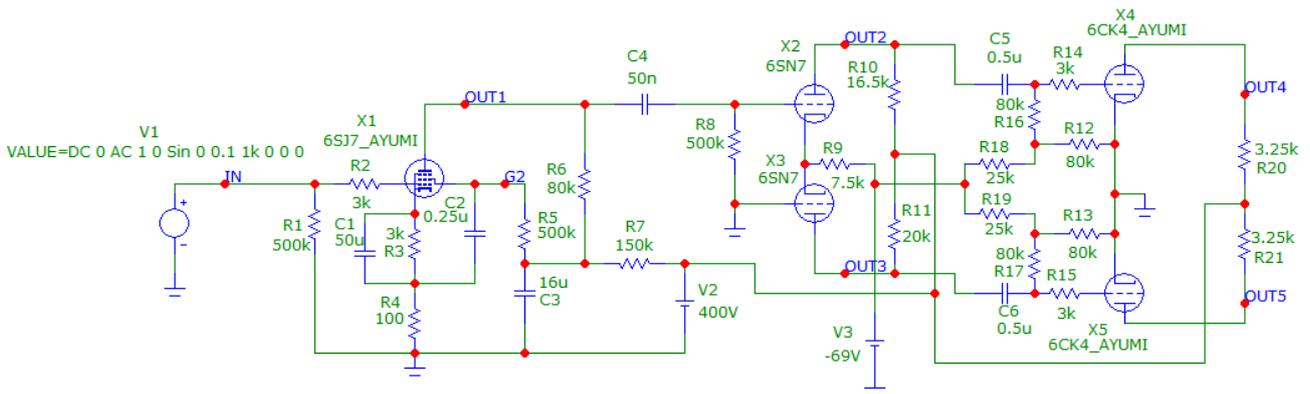
### Die Arbeitspunkte :

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.

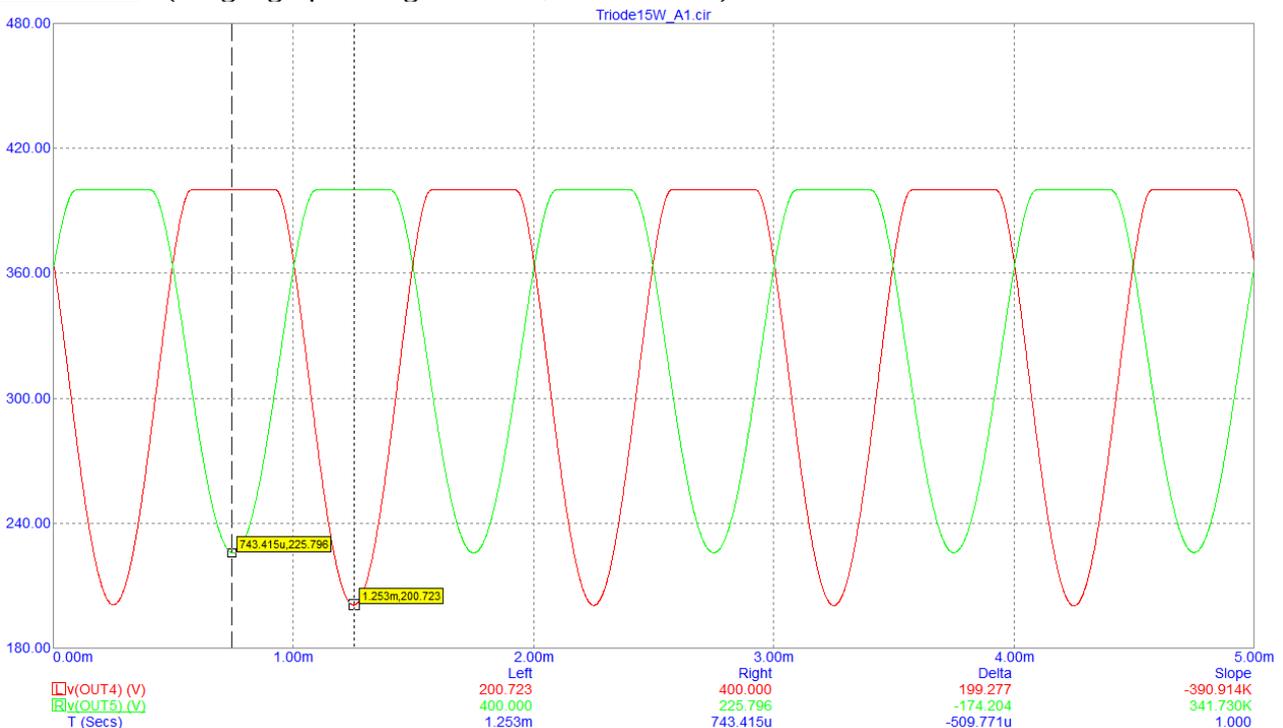
Die Gegenkopplung entfällt hier, da diese das Ergebnis verfälschen würde.

R10 wird im Original mit 20k angegeben, hier im Schaltbild durch R10=16.5k ersetzt.

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

### 2.1 Ausgangsspannungen Endstufe :

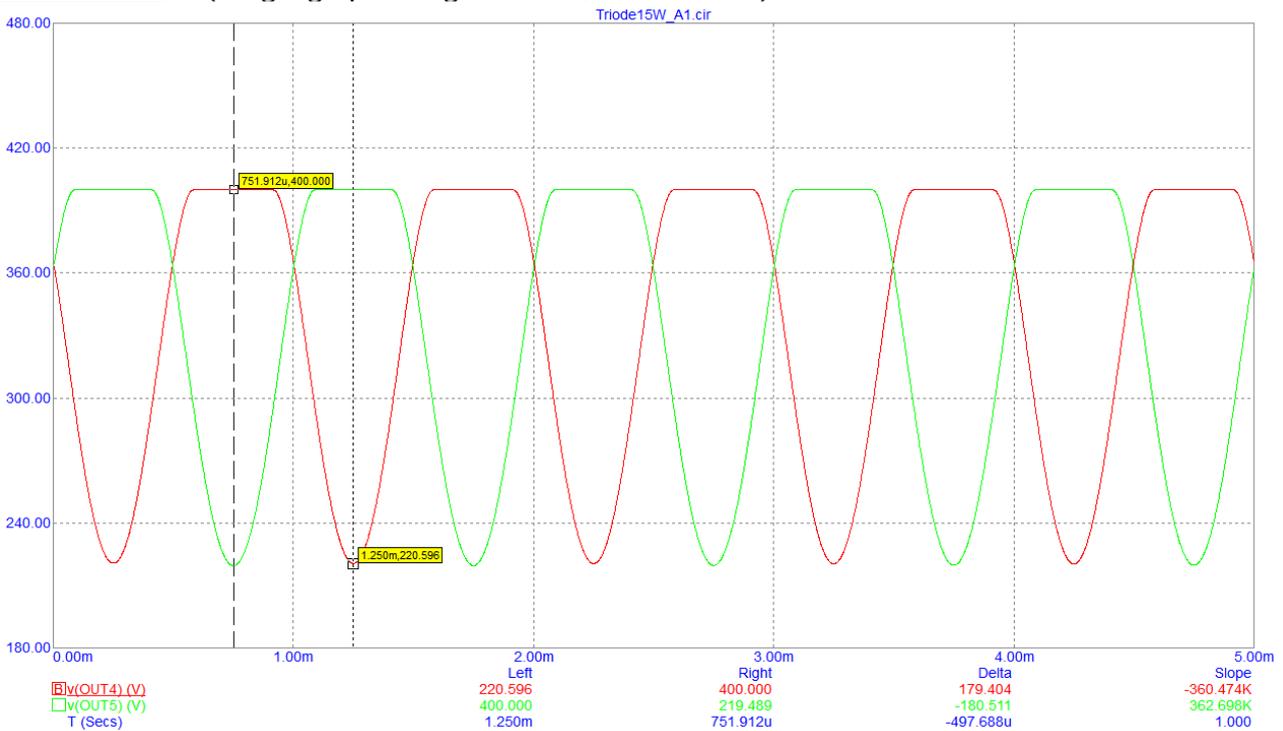
**R10 = 20K** (Eingangsspannung V1=0.1V, Scheitelwert)



$U_{out4} = 400V - 200.7V = 199.3V$     $U_{out5} = 400V - 225.8V = 174.2V$  (Scheitelwerte)

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

**$R_{10} = 16.5K$**  (Eingangsspannung  $V_1=0.1V$ , Scheitelwert)

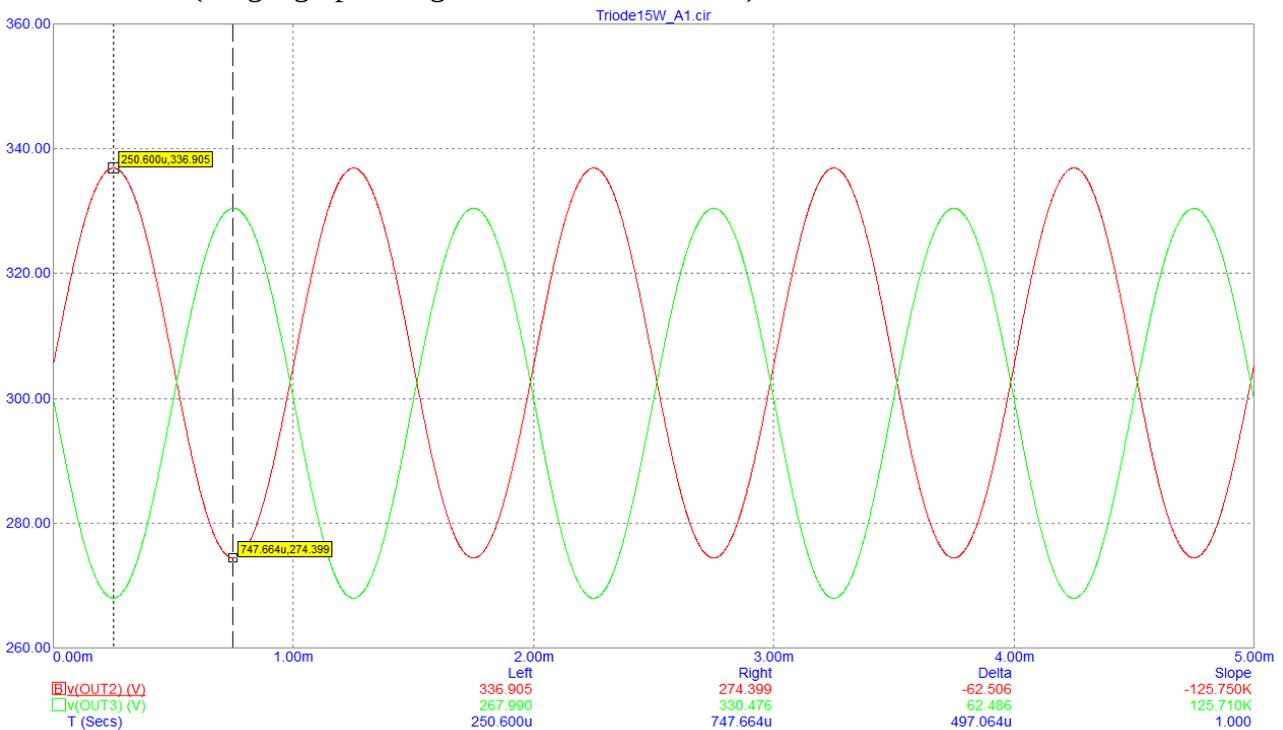


$U_{out4}=400V-220V=180V$   $U_{out5}=400V-220V=180V$  (Scheitelwerte)

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

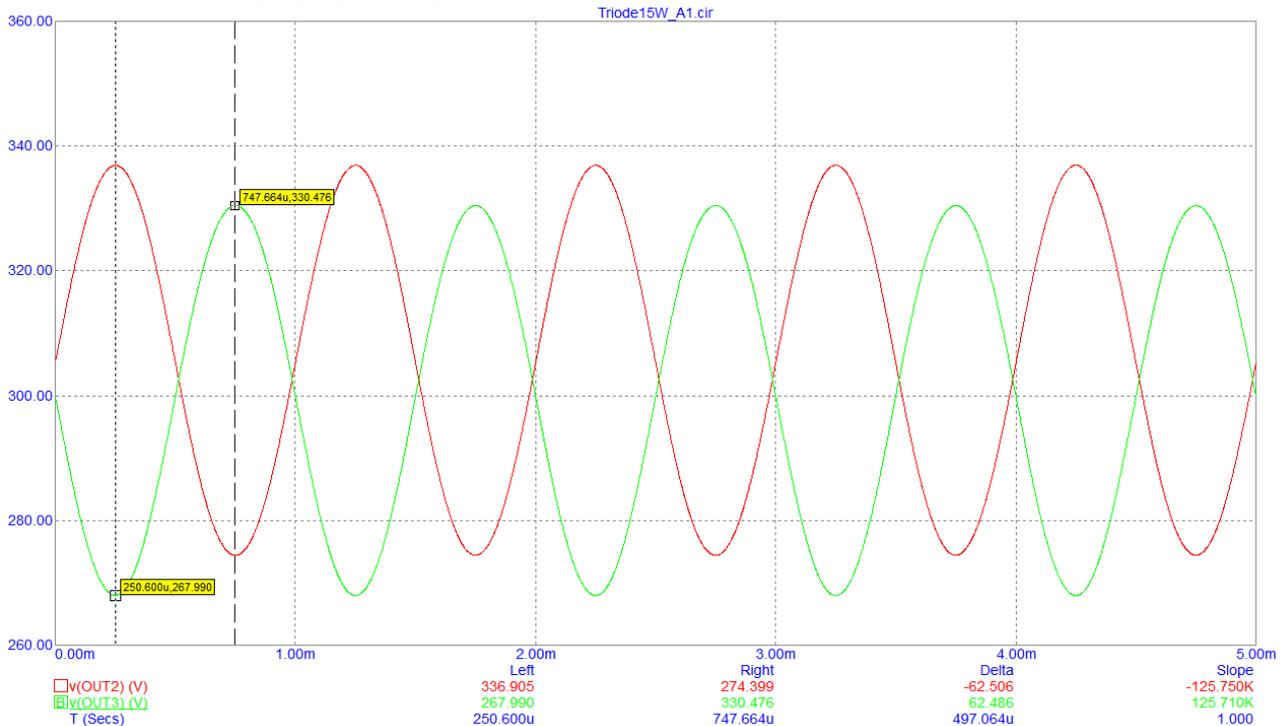
## 2.2 Ausgangsspannungen Treiberstufen :

**$R_{10}=16.5k$**  (Eingangsspannung  $V_1=0.1V$ , Scheitelwert)



$U_{out2}=(336.9V-274.4V)/2=31.25V$  (Scheitelwert)

**$R_{10}=16.5k$**  (Eingangsspannung  $V_1=0.1V$ , Scheitelwert)



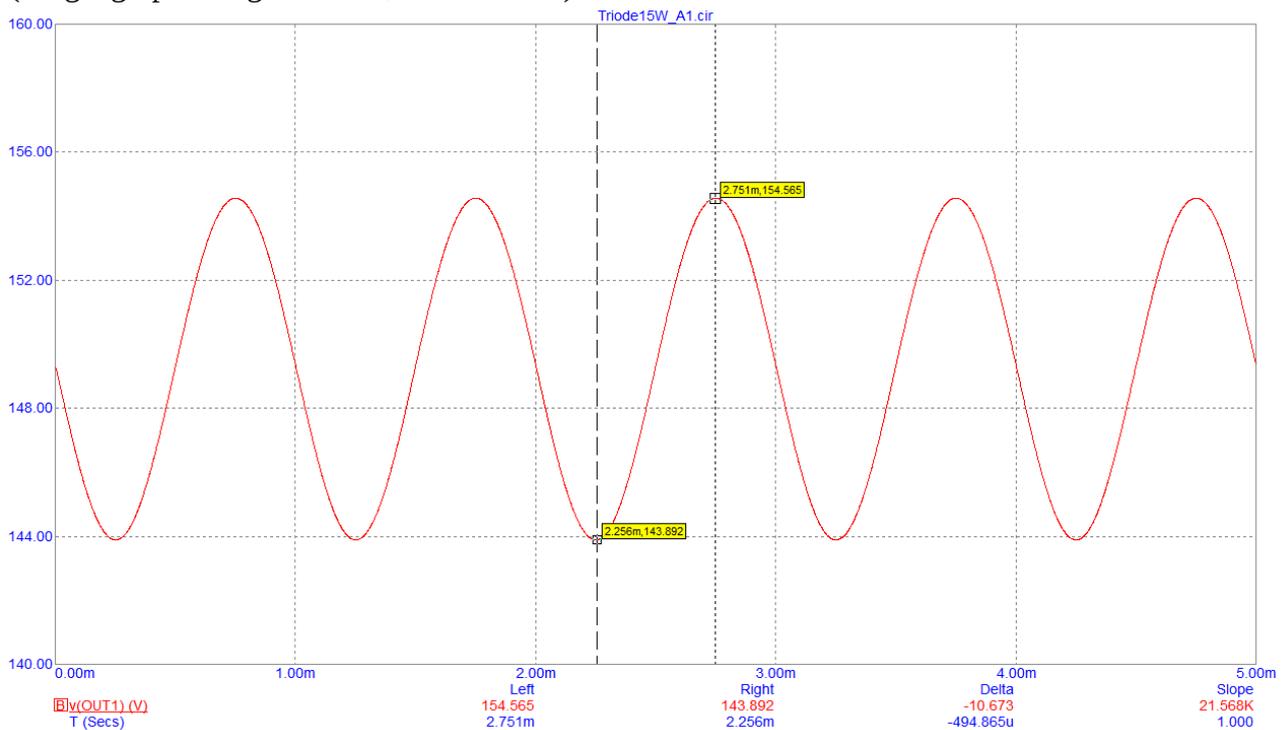
$$U_{out3} = (330.5V - 268V) / 2 = 31.25V \quad (\text{Scheitelwert})$$

**Ergebnis** : Die Ausgangsspannungen sind mit  $R_{10}=16.5K$  beide gleich.

Die Ausgangsspannung  $U_{out2}=U_{out3}=31.25V$ , wird für die Verstärkungsermittlung vorgemerkt.

### 2.3 Ausgangsspannung Vorstufe :

(Eingangsspannung  $V_1=0.1V$ , Scheitelwert)



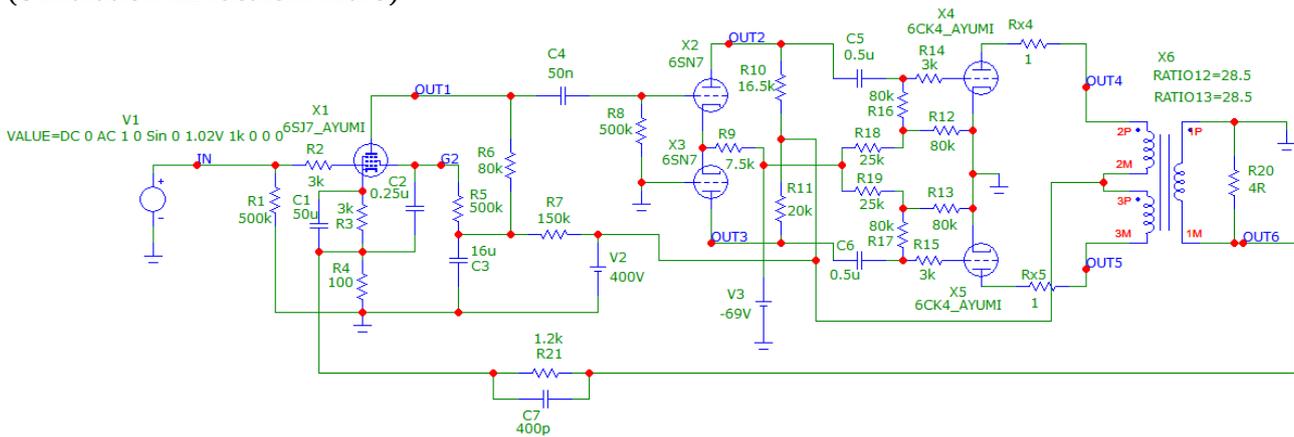
$$U_{out1} = (154.6V - 143.9V) / 2 = 5.35V \quad (\text{Scheitelwert})$$

**2.4 Die Einzelverstärkungen** :  $V_{vorstufe} = 5.35V / 0.1V = 53.5$  ;  $V_{treiber} = 31.25V / 5.35V = 5.8$

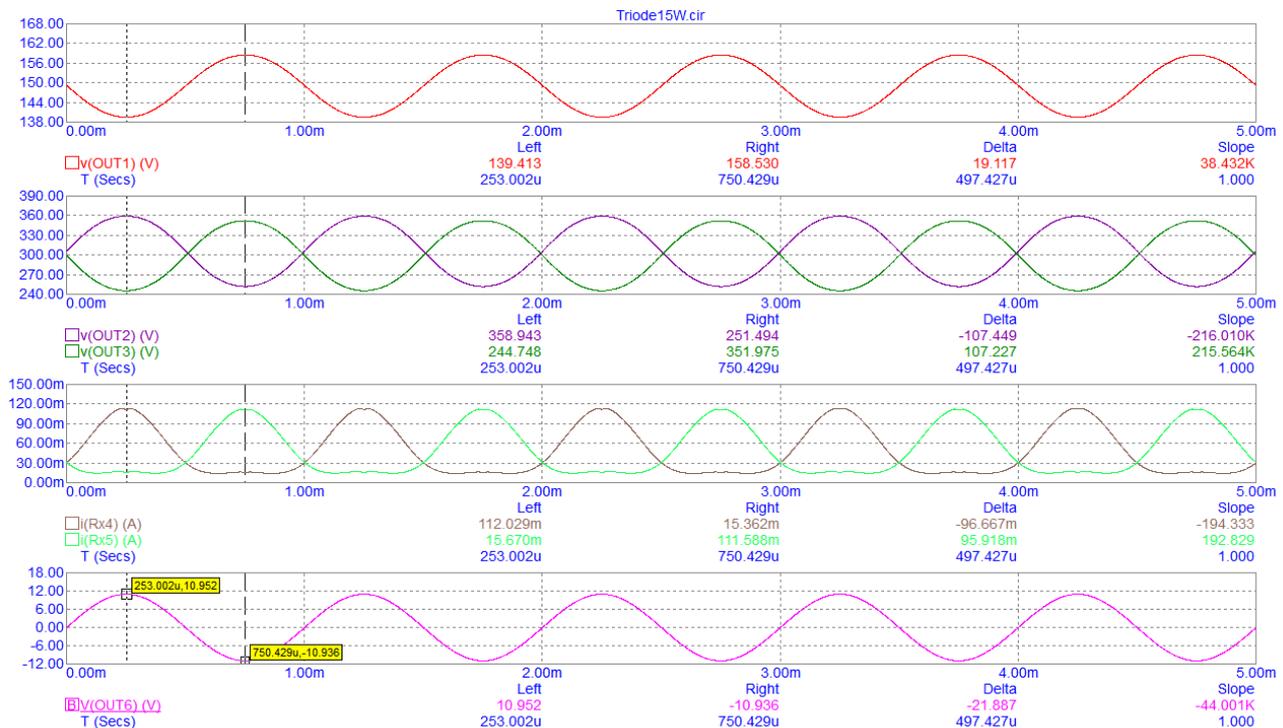
$V_{endstufe} = 180V / 31.25V = 5.8$ ,

$V_{gesamt} = 53.5 * 5.8 * 5.8 = 1800$  primärseitig (ohne Gegenkopplung)

### 3. Simulation Gesamtschaltung mit Trafo und Gegenkopplung (Simulation mi idealem Trafo)



#### 3.1a Simulation bei Vollaussteuerung, bei $U_e=1.02V$ nahezu verzerrungsfrei



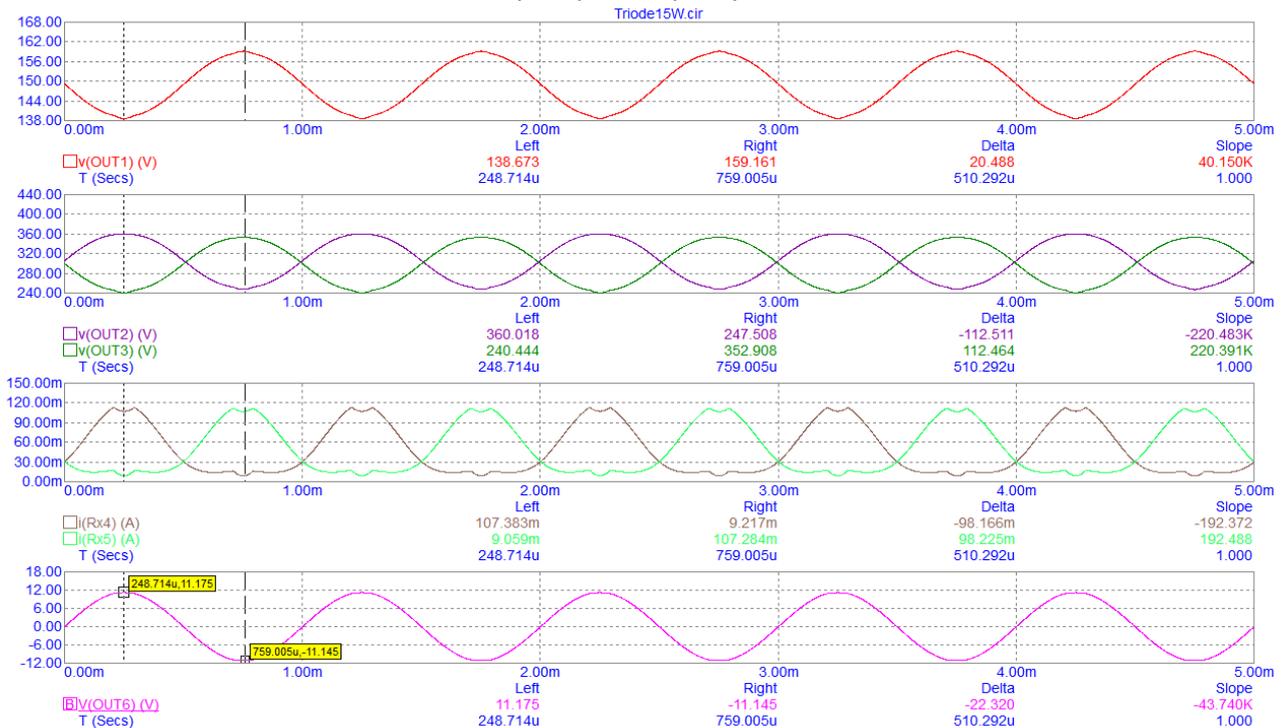
$$U_{out6} = (10.952 + 10.936) / 2 = 10.94V \quad (\text{Scheitelwert})$$

$$U_{out6eff} = 10.94V * 0.7071 = 7.74V \quad (\text{Effektivwert})$$

$$P_{out6} = (7.74V * 7.74V) / 4R = 15W$$

**Ergebnis:** Bei  $U_e=1.02V$  (Scheitelwert) ergibt sich eine Ausgangsleistung von ca. 15W. Allerdings sind dabei die Verluste eines realen Ausgangstrafos nicht berücksichtigt. Kaum wahrnehmbare Verzerrungen, siehe Anodenströme  $i(Rx4)$  und  $i(Rx5)$ .

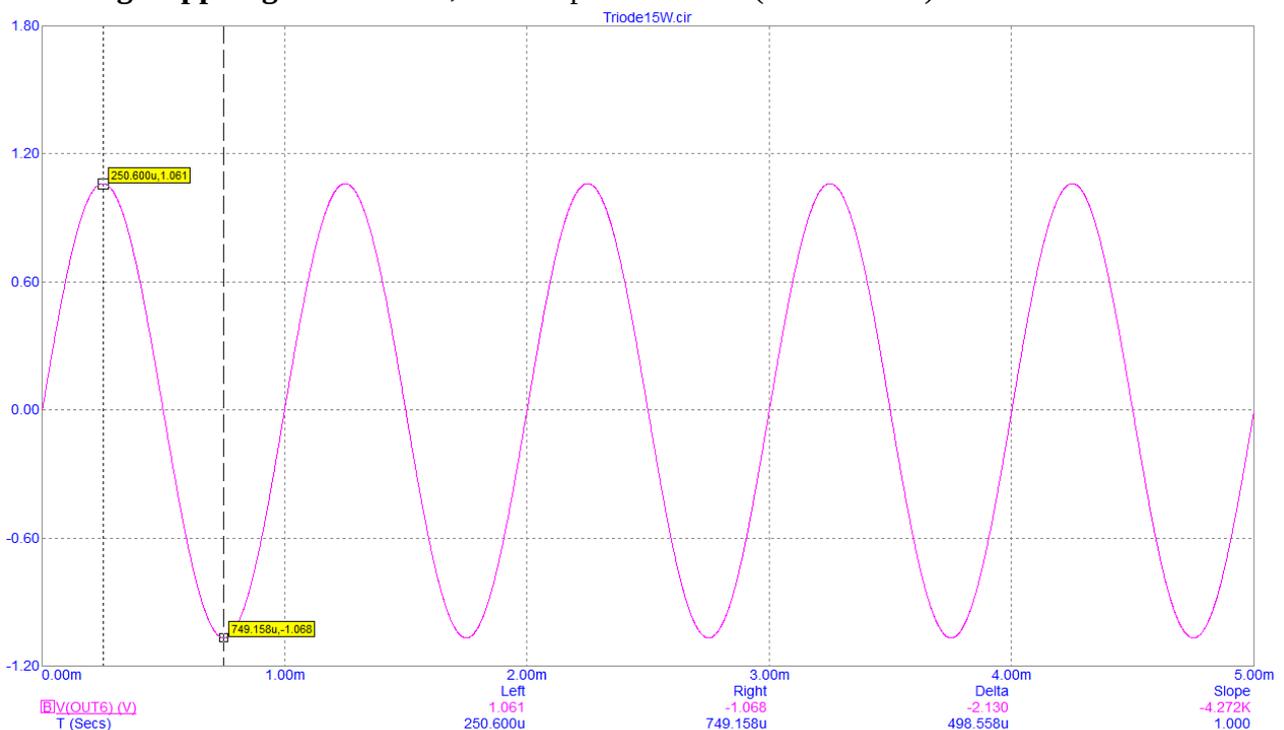
### 3.1b Simulation bei Vollaussteuerung, bei $U_e=1.05V$ bereits einsetzende Verzerrungen, sichtbar in den Anodenströmen $i(Rx4)$ und $i(Rx5)$



**Ergebnis:** Bei  $U_e=1.05V$  (Scheitelwert) ergibt sich eine Ausgangsleistung von ca. 15.7W. D.h. bei Ausgangsleistungen größer 15W, ist mit größeren Verzerrungen zu rechnen, deutlich zu sehen in den Anodenströmen  $I(Rx4)$  und  $I(Rx5)$ .

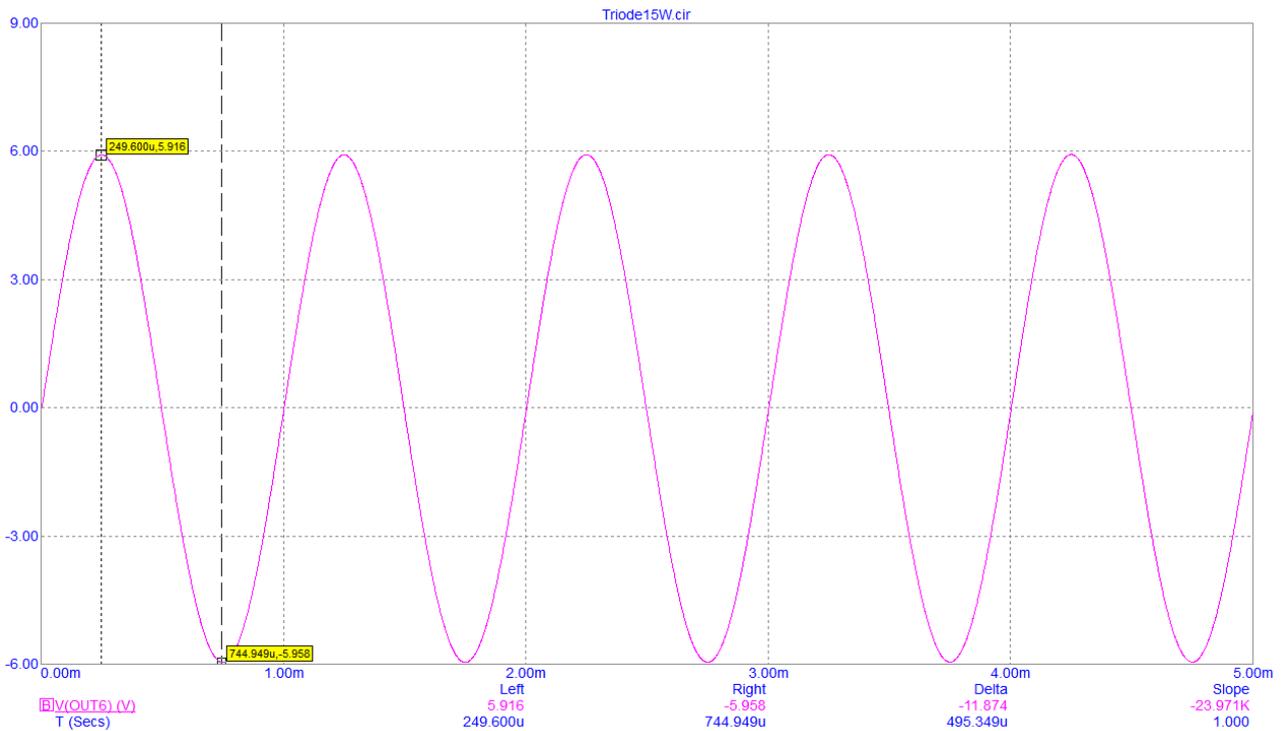
### 4. Ermittlung des Einflusses der Gegenkopplung

mit Gegekopplung :  $R_{21}=1.2k$ ;  $C_7=400p$   $U_e=0.1V$  (Scheitelwert)



Am Verstärkerausgang sind es ca. 1.06V (Scheitelwert)

**ohne Geggekopplung :** R21=12M; C7=4p Ue=0.1V (Scheitelwert)

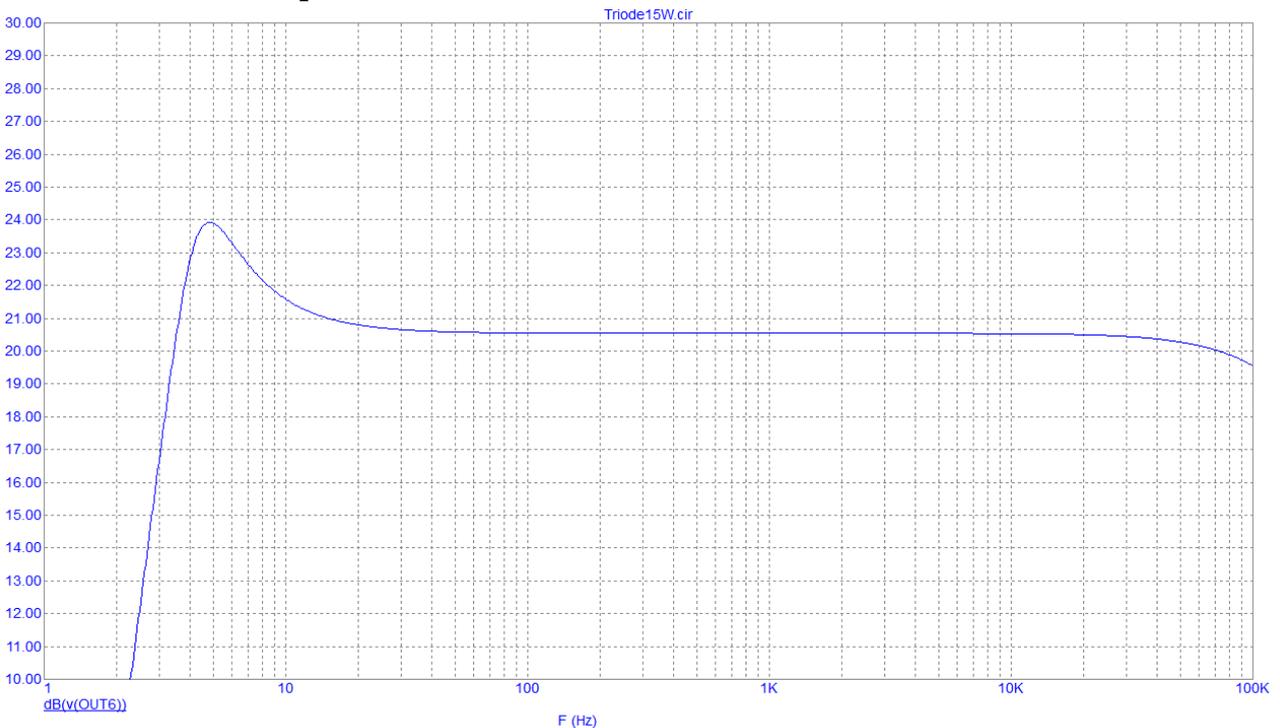


Am Verstärkerausgang sind es jetzt ca. 5.9V (Scheitelwert)

**Ergebnis :** Die Gegenkopplung reduziert die Verstärkung um den Faktor  $k=5.6$ .

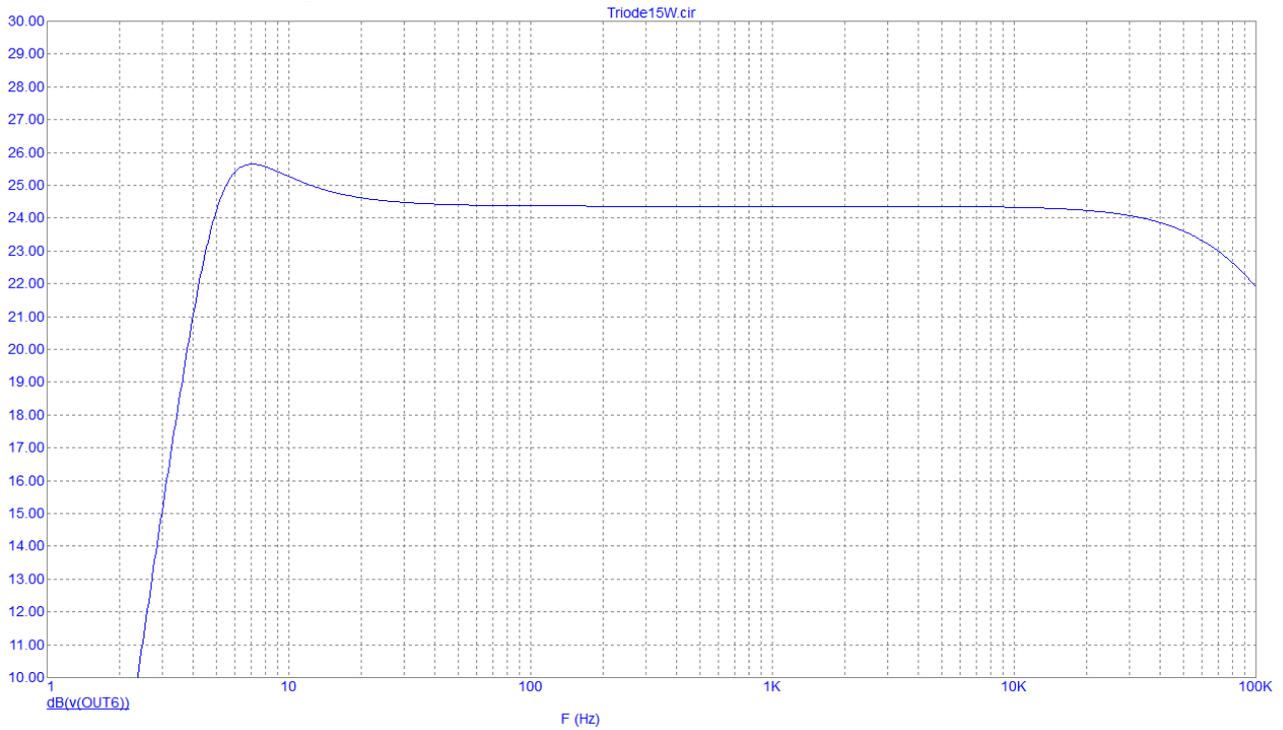
### 5. Frequenzgang (Frequenzgang des Trafos unberücksichtigt, da ideal)

**GK:** R21=1.2k C7=400p Vdb bei Ue\_ac=1V



**Ergebnis:** Bei ca. 5Hz tritt eine Überhöhung im Frequenzgang von etwas über 3dB auf. Allerdings ändert sich der Frequenzgang, bei Simulation mit realem Trafo.

**GK: R21=2.2k C7=400p** Vdb bei Ue\_ac=1V



**Ergebnis:** Verringert man die Gegenkopplung flacht sich der Frequenzgang ab