

# Bootstrapping

## Inleiding

Bootstrapping dient om de ingangsimpedantie van een versterker te verhogen. Wanneer de bron hoog-ohmig is, zal de Miller-C van de ingangstrap van de daarop aangesloten versterker je parten kunnen spelen. Dat is zeker zo als we een condensatormicrofoon willen maken. De uitgangsimpedantie van zo'n kapsel zal in de buurt van  $10 \div 20$  pf zijn. In het audio-gebied hebben we het dan over giga-ohms. Als de ingang van de daarop volgende versterker een transistor of FET in geard-basis/emitter schakeling is, zal de Miller-capaciteit de ingangs-capaciteit van die versterker beïnvloeden. Die komt de versterking maal die  $C_{cb}|C_{dg}$  terug op de basis|gate-ingang.

Voor een ohmse bron zal dat in de regel minder ernstig zijn omdat daar zelden impedanties in de orde van giga-ohms voorkomen.

De Miller-C is niet alleen frequentiebepkend maar is (zeker in halfgeleiders) spanningsafhankelijk waardoor vervorming zal optreden. Die vervorming is bovendien afhankelijk van de grootte van het signaal.

Die vervorming manifesteert zich in intermodulatievervorming waar het menselijk oor gevoelig voor is.

Zelfs bij ohmse waarden van zo'n  $50$  k $\Omega$  aan de ingang van de versterker is die al hoorbaar.

Toepassingen zijn beschreven in:

Condenser microphone pre-amp with bootstrapped op amp

<https://by-rutgers.nl/ME6211-PRO37R.html>

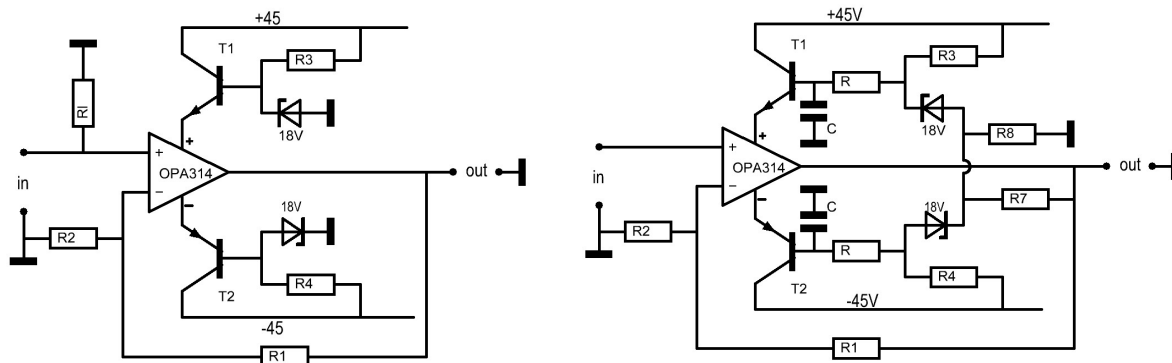
en in:

Another 35 watt Solid State Amplifier

<https://by-rutgers.nl/PDFFiles/Amps/SSA35.pdf>

## Bootstrapping en overcompensatie

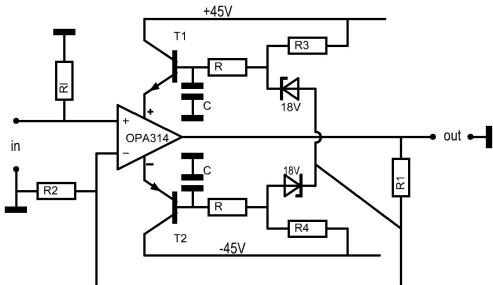
Eerst maar eens een paar principe schema's:



Links staat het principe van een eenvoudige versterker met een opamp. (De ontkoppel-C's van de voedingsspanningen bij de opamp zijn weggelaten). De versterking van dat ding is:  $(R_1 + R_2) / R_2$ . Vaak vind je tussen  $R_2$  en aarde nog een dikke C om de offset spanning aan de uitgang te onderdrukken. Ik heb het daar niet zo op. Ik kom daar op terug.

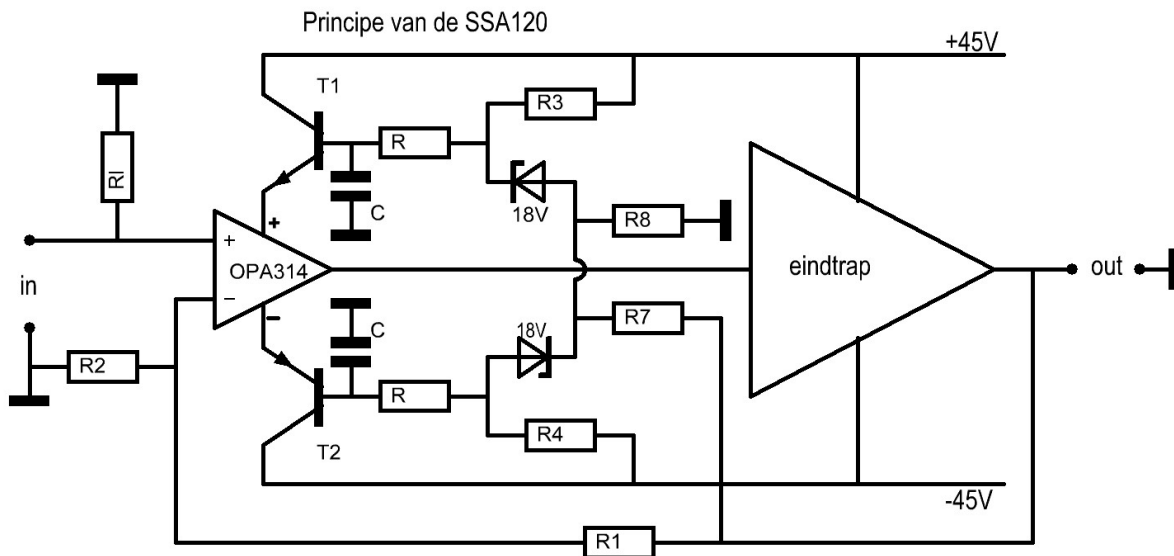
Rechts staat dezelfde versterker waarvan de voedingsspanningen 'gebootstrapt' zijn. Als:

$R_1 / R_2 = R_7 / R_8$  dan zullen de beide op de voedingsspanningen gesuperponeerde wisselspanningen even groot zijn als de ingangsspanning. Dit betekent dat alle interne parasitaire capaciteiten van de opamp, waaronder de Miller-C van de ingangstor, geen invloed meer hebben op de ingangsimpedantie van de versterker. Dat zal niet precies het geval zijn omdat het schema van de opamp onbekend is, maar toch. Misschien kan een intermodulatie-meting de verhouding  $R_7 / R_8$  nog verfijnen. In principe kunnen  $R_7$  en  $R_8$  weggelaten worden! De verbinding tussen de twee zenerdioden kan rechtstreeks aan de verbinding tussen  $R_1$  en  $R_2$ .



Maar wat nou als  $R_1 / R_2 > R_7 / R_8$  of zelfs  $R_1 / R_2 \gg R_7 / R_8$ ? In dat geval worden de voedingsspanningen meer gevarieerd dan de grootte van de ingangsspanning. Er vindt dan overcompensatie plaats. Zeker in dat geval moeten R en C in de meekoppeling worden opgenomen om oscilleren te voorkomen. Hoe groot die moeten zijn hangt mede af van de CMR van de opamp. Als dat goed blijft klinken, kan de opamp meer uitgangsspanning leveren dan  $36 V_{tt}$  voordat hij vastloopt! Dat heeft zin wanneer je met een opamp die niet meer voedingsspanning mag hebben dan  $\pm 18$  volt (in ons geval). Je kunt een OPA445 ( $\pm 45$  V) installeren maar die klinkt niet zo fijn.

Tot slot het principe van de SSA120 (ook op deze site). Daar is  $R_7 = R_8$ , verder durfde ik niet te gaan. De maximale uitgangsspanning wordt dan  $36 V_{top}$ . In  $8 \Omega$  kan de versterker dan  $80$  watt leveren. De klank van deze versterker is fantastisch wanneer hij niet te zwaar belast wordt. Dat wil zeggen dat de luid-



spreker die er op aangesloten wordt nergens een impedantie  $< 4 \Omega$  te zien geeft! In dat geval kan de opamp niet voldoende stroom leveren aan de eindtrap en loopt de boel vast op een smerige manier. Ik heb dat gemerkt met de KEF Q300. Die is rond de 200 Hz minder dan  $3 \Omega$ !

Wat gebeurt er dan? Zonder overgecompenseerde bootstrap loopt de opamp gewoon vast: de toppen van de uitgangsspanning platten netjes af. Dat hoor je natuurlijk maar dat klinkt niet smerig. Met de overgecompenseerde bootstrap lopen de voedingsspanningen ook vast waardoor de opamp nog minder stroom kan leveren etc. De optredende vervorming is scherp en ontzettend smerig!

## Conclusie

Bootstrapping van de voedingsspanningen van een OPA134 geven verbetering van het geluid wanneer die gelijk met de ingangsspanning worden 'gemoduleerd'. Dat geldt vooral bij grote ingangsimpedanties. Om de eindversterker meer vermogen te kunnen laten leveren, kunnen we zelfs overcompenseren. Met een OPA134 geeft dit geen hoorbare vervorming zolang de belasting van de versterker niet veel kleiner dan  $8 \Omega$  blijft.

## C onder $R_2$

Meestal zit er tussen  $R_2$  en aarde een flinke elco om de offset van de opamp en de eindtrap te niet te doen. De versterking van het geheel is dan 1 bij 0 Hz. Soms geeft die echter problemen in het stereo-beeld door het kleine beetje faseverschil in het subsone gebied, vermoed ik. Zie:

<https://by-rutgers.nl/PDFfiles/Servo in Amp.pdf>

13-8-2012