

Berekenen voorbuis

Om buizen te begrijpen, moet je leren werken met belastinglijn-diagrammen. Deze diagrammen helpen bij het bouwen van versterkerschakelingen en laten zien hoe basisonderdelen samenwerken.

Stel jezelf vragen zoals:

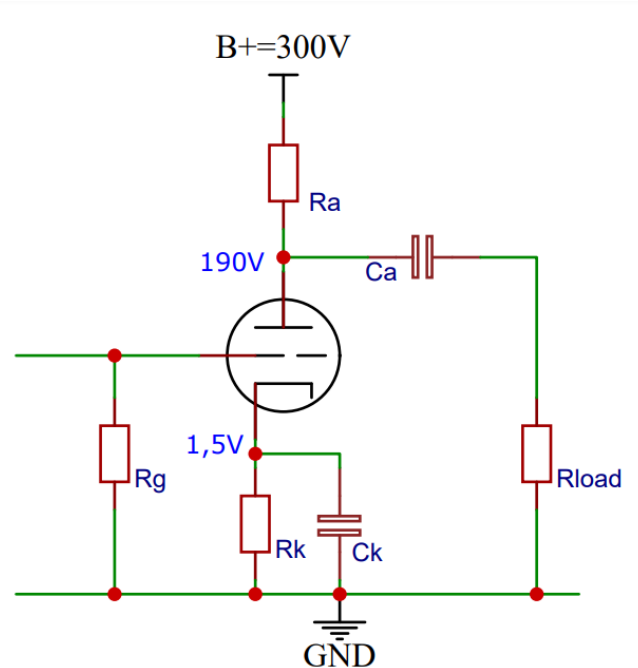
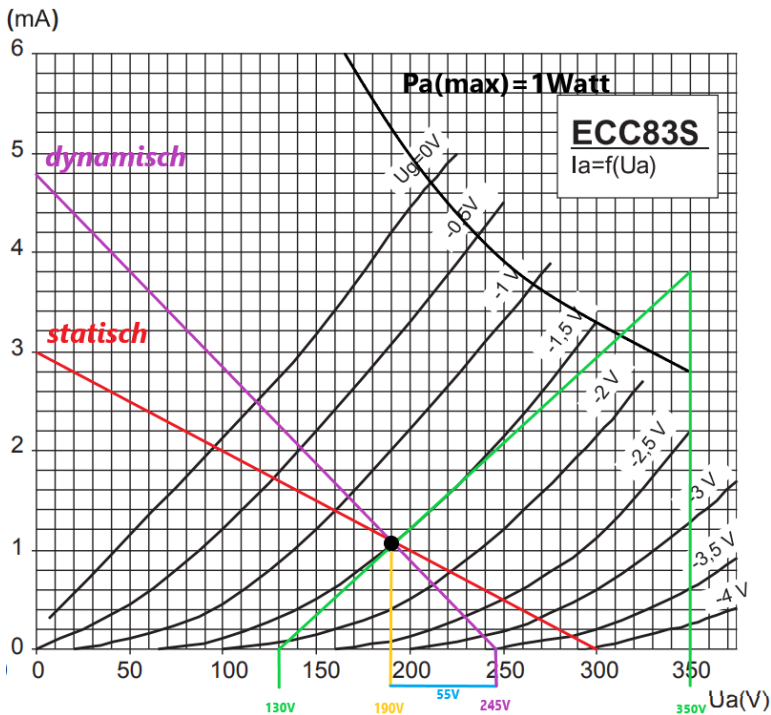
- Wat gebeurt er als ik de anodebelastingweerstand verhoog?
- Wat gebeurt er bij verlaging van de anodespanning?
- Hoe verander ik mijn Bias point?

Het doel is:

- Maximale versterking.
- Minimale THD (Total Harmonic Distortion).

Opmerking:

Deze grafieken zijn algemene richtlijnen voor een bepaald type buis, maar afwijkingen van 10 tot 15% zijn normaal. Geen enkele buis is identiek, zelfs niet van hetzelfde merk of batch. Bij het berekenen van weerstanden, zoals de kathodeweerstand, kies de dichtstbijzijnde waarde of combineer weerstanden om de juiste waarde te krijgen.



De berekening

Stel:

- We hebben een grafiek van de ECC83 en een voedingsspanning van **B+ = 300V**.
- Het instelpunt (Bias point) is **V_{gk} = -1,5 V** met een bijbehorende I_a (bias) van **1,1 mA**. Kies het instelpunt zo dat de sinusamplitude in positieve en negatieve richting even groot is. De afstanden tussen **V_{gk} = -1V**, **V_{gk} = -2V** en **V_{gk} = -1,5 V** moeten zoveel mogelijk gelijk zijn.
- De belastingweerstand is **R_{load} = 100 KΩ**.

Opmerking:

R_g is meestal ook de **R_{load}** van de vorige versterkertrap.

De statische belastinglijn

We beginnen met het trekken van een lijn vanaf 300 V (**B+**) door het geselecteerde instelpunt (**Bias**) tot aan de Y-as. Vervolgens bepalen we de anodeweerstand (**R_a**), die de statische belastinglijn (**rode lijn**) vaststelt.

$$R_a = \frac{B+ - V_{ak} (bias)}{I_a (bias)} = \frac{300 V - 190 V}{1,1 mA} = \frac{110V}{1,1 mA} = 100K\Omega$$

Dit is ook toegestaan als er nog geen instelpunt (**Bias**) is gekozen. Uiteraard moet het instelpunt ergens op de belastinglijn worden geplaatst.

$$R_a = \frac{B+}{I_a} = \frac{300 V}{3 mA} = 100K\Omega$$

De dissipatie van de Anode weerstand (**R_a**) is:

$$P_{Ra} = U * I = 110V * 1,1mA = 121 mW \quad (\text{Neem een 600 mW weerstand})$$

Bereken nu de kathodeweerstand (**R_k**):

$$R_k = \frac{V_{gk}}{I_a (bias)} = \frac{1,5 V}{1,1 mA} = 1,36K\Omega$$

Gebruik een standaardweerstand van bijvoorbeeld **1,2K** of **1,5K**. Of stel een aangepaste weerstandwaarde samen.

Dissipatie van de Kathode weerstand (**R_k**):

$$P_{Rk} = U * I = 1,5 V * 1,1 mA = 1,65 mW$$

De dynamische belastinglijn (R_{dyn})

De hierboven beschreven versterkertrap heeft tot nu toe geen andere componenten hoeven aansturen, maar dit weerspiegelt niet de realiteit. Een versterkertrap die een volgende trap moet aansturen, beïnvloedt de afstelling van de voorafgaande trap. Dit wordt de dynamische belastinglijn (R_{dyn}) genoemd.

De dynamische weerstand wordt berekend door R_a parallel te schakelen met R_{load} . Het is daarom belangrijk om de waarde van R_{load} zo groot mogelijk te kiezen. Het advies is om de belastingweerstand (R_{load}) minimaal vijf keer groter te maken dan de anodeweerstand (R_a), hoewel dit niet altijd haalbaar is. Raadpleeg de specificaties van de buis van de volgende trap om te bepalen hoe groot R_{load} maximaal mag zijn. Dit is meestal **1M**. R_{load} is de R_g van de volgende trap.

De belastingweerstand (R_{load}) zal anders te veel invloed hebben op de statische afstelling van de buis. In het voorbeeld heb ik (R_{load}) gelijk gemaakt aan (R_a) om het duidelijk te illustreren.

$$R_{dyn} = R_a \parallel R_{load} = \frac{R_a * R_{load}}{R_a + R_{load}} = \frac{100K * 100K}{100K + 100K} = \frac{10000K}{200K} = 50K\Omega$$

Voor de helling van de dynamische belastinglijn hebben we 2 punten nodig. Het eerste punt is het bias instelpunt. Het 2^e punt rekenen we uit.

$$V_a = R_{dyn} \times I_a (bias) = 50K\Omega * 1,1 mA = 55 V$$

Het tweede punt wordt ingesteld op **190 V + 55 V = 245 V** op de 0-lijn. Trek een lijn van de X- naar de Y-as. Hier is te zien dat de dynamische belastinglijn steiler is dan de statische belastinglijn, waardoor meestal meer vervorming ontstaat. De belastingweerstand (R_{load}) moet daarom zo groot mogelijk worden gekozen. Dit is echter niet altijd mogelijk. Bij het gebruik van een 300B-buis met fixed bias mag de roosterweerstand (R_g) bijvoorbeeld niet groter zijn dan **50K**, omdat de buis anders gaat driften.

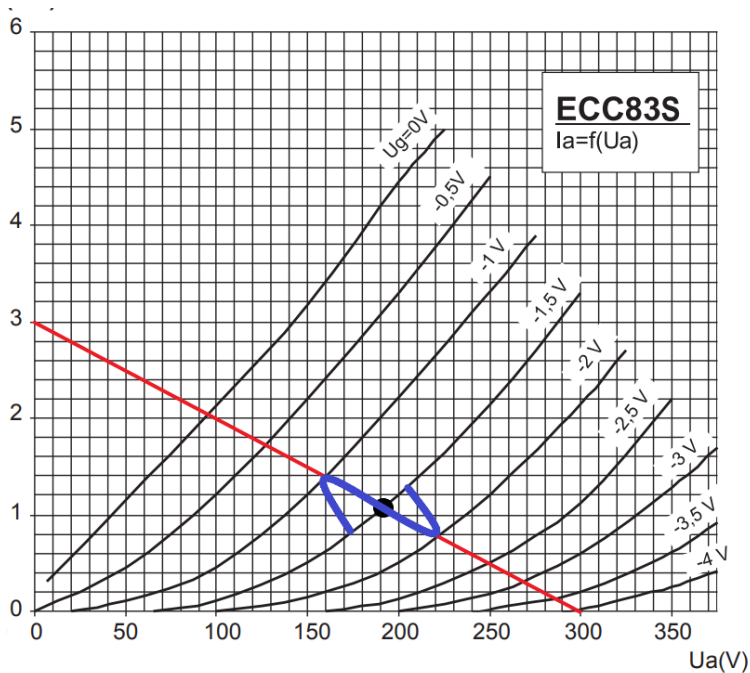
De inwendige weerstand van de buis (R_i)

Trek een lijn zoveel mogelijk parallel aan U_g karakteristiek, met als snijpunt het gekozen Bias punt

$$R_i = \frac{V_a}{I_a} = \frac{350 V - 130 V}{3,8 mA} = \frac{220 V}{3,8 mA} = 57,8K\Omega$$

De versterking:

$$\mu = \frac{\Delta V_{ak}}{\Delta V_{gk}} = \frac{220 V - 160 V}{2 V - 1 V} = \frac{60 V}{1 V} = 60$$



Het berekenen van de vervorming:

Het is essentieel om het biaspunt zo te kiezen dat de amplitude van de sinusgolf in zowel positieve als negatieve richting ten opzichte van het biaspunt zo gelijk mogelijk is. Dit resulteert in een symmetrische golfvorm zoals weergegeven in de onderstaande afbeelding.

Bij $V_{gk} = -1V$ bedraagt de spanning **160V**.

Bij $V_{gk} = -1,5V$ bedraagt de spanning **190V**.

Bij $V_{gk} = -2V$ bedraagt de spanning **220V**.

Het verschil tussen **220V** en **190V** is **30V**.

Het verschil tussen **190V** en **160V** is **30V**.

Nu kun je ook de vervorming berekenen.

$$THD_2 = \frac{30V - 30V}{30V + 30V} * 100 = 0\%$$

Het berekenen van de koppelcondensator (C_a):

Vuistregel is dat het berekenen van **f -3dB** punt op **3Hz** ligt.

Bij het uitrekenen van C_a eerst uitgangsimpedantie versterkertrap uitrekenen. Maar meestal is deze waarde zo klein dat het eigenlijk te verwaarlozen is.

$$r_{out} = R_a // r_i = \frac{R_a * r_i}{R_a + r_i} = \frac{100K * 57,8K}{100K + 57,8K} = 36,6K$$

$$C_a = \frac{1}{2 * \pi * (R_{out} + R_{load}) * f_{-3dB}} = \frac{1}{2 * 3,14 * (36,6K + 100K) * 3 Hz} = 388 nF$$

Berekenen kathode ontkoppelcondensator:

$$C_k = \frac{1}{2 * \pi * R_k * f_{-3dB}} = \frac{1}{2 * 3,14 * 1,5K * 3 Hz} = 35 \mu F$$

Deze waarden zijn een minimale waarde zonder dat het frequentiebereik aangetast wordt. Je mag deze waarden groter kiezen. Meestal wordt een waarde gebruikt die men op de plank heeft liggen.

Miller capaciteit

Hier hebben we ook nog rekening mee te houden. Die kan behoorlijk roet in het eten gooien als het om frequentiebereik gaat. En dan met name het hoge frequentiegebied.

Elke buis heeft een aantal parasitaire ingangscapaciteiten. Met name de triodebuisen hebben een vrij hoge ingangscapaciteit. Als we nou deze buis nemen (ECC83) en we pakken de bijbehorende data-sheet erbij, dan zien we een aantal ingangscapaciteiten.

Direct Interelectrode Capacitances (per triode)			
Grid to Cathode and Heater	C_g	1.6	pF
Plate to Cathode and Heater	C_a	0.33	pF
Grid to Plate	C_{ga}	1.7	pF

We pakken even de belangrijkste, dat zijn de C_g en de C_{ga} . Dit lijkt niet zoveel, maar de anodespanning is de versterkte versie van de roosterspanning. Als we een effectieve versterking van 60 nemen en 1Vrms ingangs signaal, dan wordt de formule:

$$C_{in} = C_g + C_{ga} * (A + 1)$$

Dan moet er ook nog capaciteit er bovenop geteld worden puur voor de afstand tussen de aansluitpinnen van de buis, want de anode en kathode aansluitpinnen liggen vlak naast de rooster aansluitpin. Tel hier ongeveer **1 pF** voor beide bovenop.

Dan wordt de rekensom:

$$C_{in} = 2,6 + 2,7 * (60 + 1)$$

$$C_{in} = 167,3 \text{ pF}$$

We weten de uitgangsimpedantie van de vorige trap ($R_{out} = 36,6 \text{ K}$), want die is hierboven al uitgerekend. Tel hier eventueel nog de waarde van een roosterweerstand bovenop. Dan kunnen we het frequentiebereik ook uitrekenen.

$$f - 3 \text{ dB} = \frac{1}{2 * \pi * R_{out} * C_{in}} = \frac{1}{2 * 3,14 * 36,6 \text{ K} * 167,3 \text{ pF}} = 26 \text{ kHz}$$

We zien dat dit nog net boven onze gehoor grens zit. Zouden we er nog een versterkertrap eraan vastknopen, dan komen we in de problemen.

Wat kunnen we er aan doen om het Miller-effect zo klein mogelijk te houden.

- Reduceer de uitgangsimpedantie van de voorgaande trap. Dat kun je bereiken door bv. een andere buis te gebruiken met lagere interne weerstand te gebruiken, of een kathodevolger schakeling te gebruiken.
- Reduceer de effectieve versterking van de buis, door bijvoorbeeld lokale tegenkoppeling te gebruiken, of simpelweg een buis te gebruiken met een lagere effectieve versterking.