Contents

Toonregeling in audio versterker

1 Baxandall regeling.

Ieder audio versterker, voor radio ontvangst of voor het spelen van CD, Platen en diens meer, heeft een toonregeling, maar hoe men de componenten van zo een schema moet berekenen is minder gekend. Dit document geeft een algemene beschrijving van dit op het eerste zicht nogal ingewikkeld schema zoals te zien in Figure 1. (De tweede OPAMP staat er alleen maar bij om een + en – 5 volt te maken voor de eerste OPAMP.)
Om het eenvoudig te houden heb ik R11=R8 gehouden, maar dit is beslist niet noodzakelijk. Ook is C2=C1 om dezelfde reden.

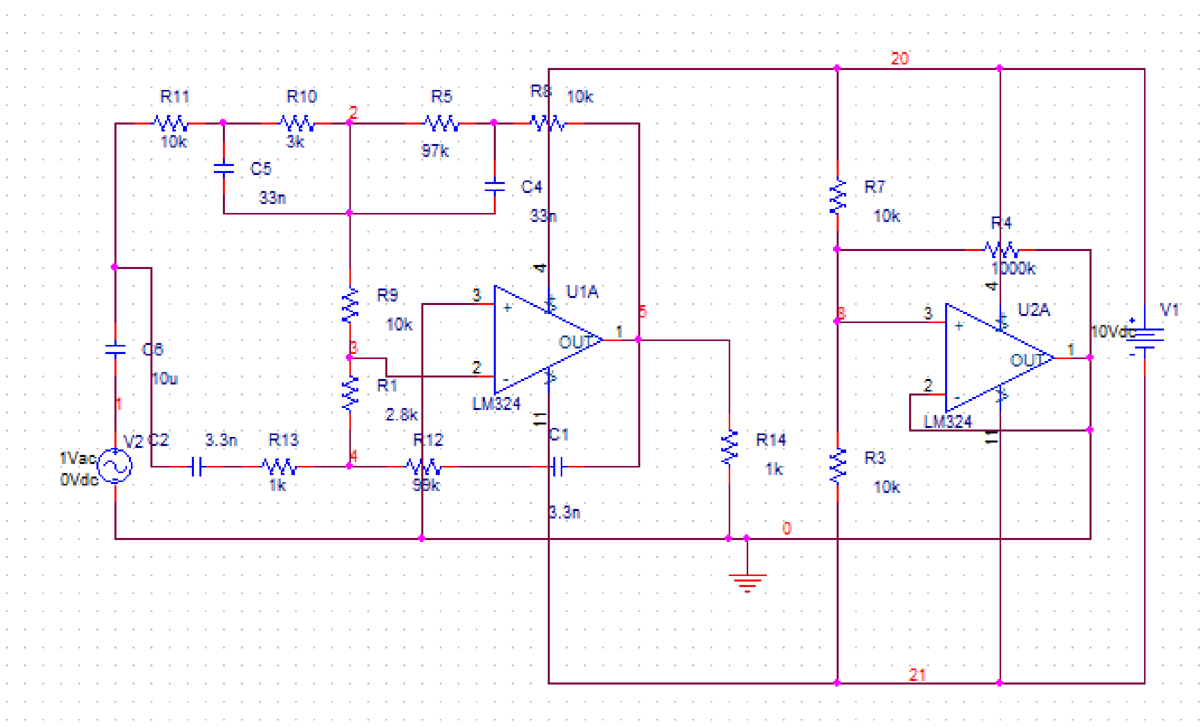

Figure 1

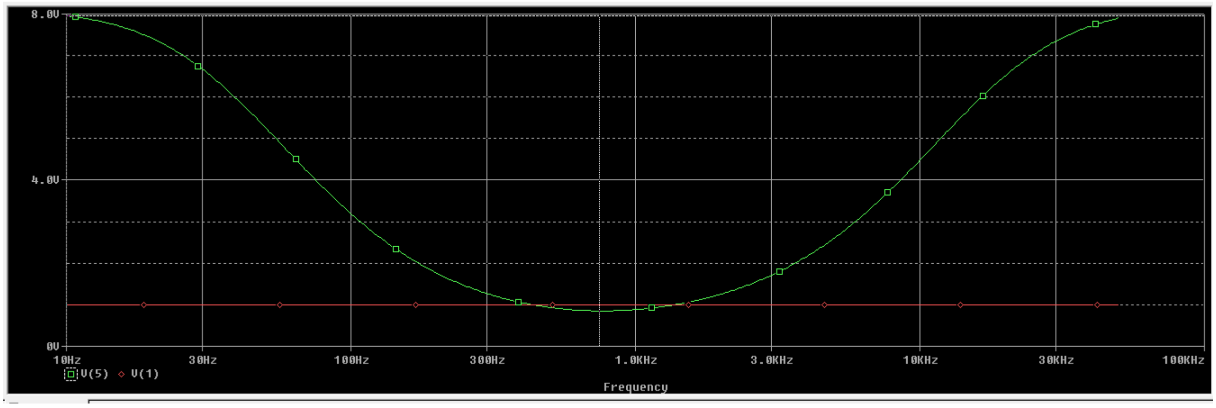

Figure 2

In Figure 2 is een PSPICE resultaat zichtbaar wanneer de bas potentiometer (bijna) volledig opengedraaid is en ook de hoge tonen regelaar ook (bijna) volledig open staat. Deze figuur geeft de amplitude weer van uitgaande signaal ten opzichte van het ingang signaal in functie van de frequentie. Men ziet dat de laagste bas-tonen
ongeveer 10 versterkt zijn ten opstaande van het input signaal (rode lijn) en ook de hoogste tonen ook 10 versterkt zijn.
De weerstanden R10-R5 stellen een potentiometer(Rv) voor die bijna volledig is open gedraaid, zo ook de weerstanden R13-R12 maar dan voor de hoge tonen.

2 Algemene beschrijving van een versterker met OPAMP.

In Figure 3
Zonder in details te treden en hier de theorie van een OPAMP uit te leggen nemen we aan dat de versterking met een OPAMP gelijk is aan $A = -\frac{V_o}{v_i} = \frac{x_2}{x_1}$. Hierin zijn x_1 en x_2 de impedanties tussen v_o en v_i zoals te zien is in Figure 3(a) en (b) heb ik het gehele schema in twee helften gesplitst waarin (a) de voorstelling is voor de lage of bas tonen regeling en (b) voor de trembel of hoge tonen regeling. Voor de uitleg eenvoudig te houden zijn de weerstanden en capaciteiten anders genummerd (omdat in PSPICE alle componenten een andere naam moeten hebben, maar dit terzijde)

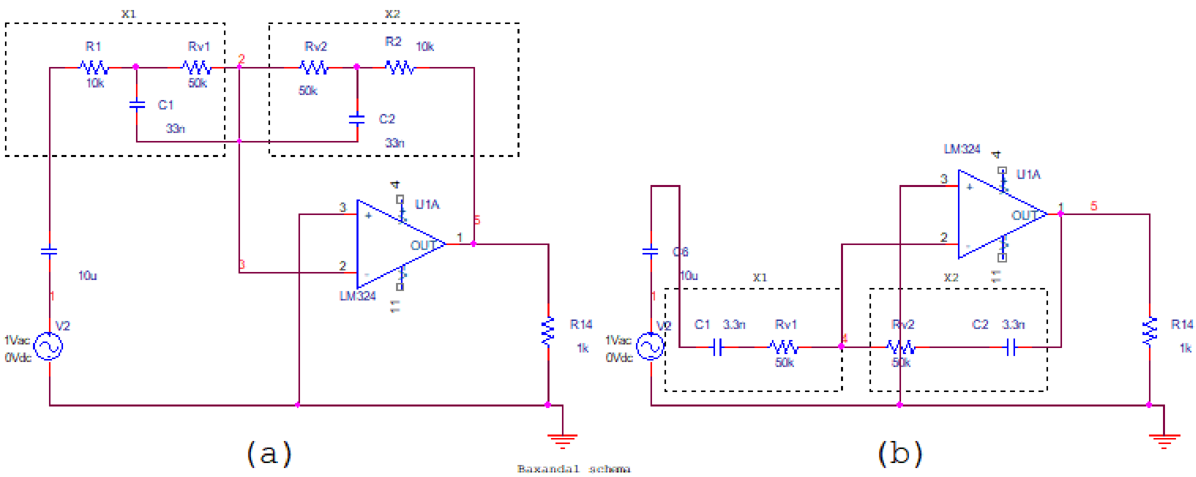

Figure 3

In deze figuren (a) en (b) heb ik gewoon het algemene schema in twee afzonderlijke stukken gesneden zodat duidelijker te zien is hoe de lage bas tonen behandeld worden (in Figure 3(a)) en de hoge tonen in Figure 3(b).
Zonder in details te treden kunnen we reeds besluiten dat als de potentiometer volledig in het midden staat dat dan $x_1 = x_2$ en dus $A = -\frac{V_o}{v_i} = \frac{x_2}{x_1} = -1$. (Het minteken betekent dat het signaal 180° in fase verschoven is) en dit is waar zowel voor Figure 3(a) en (b) en dus voor de lage en de hoge tonen is dan de uitgang Vo=Vi, alleen is het signaal omgedraaid (180° in fase verschoven).

3 Lage tonen regeling.(Bas)

Veronderstel nu dat we in Figure 3(a) de potentiometer volledig links draaien dan zien we dat C1 kortgesloten wordt en C2 parallel komt te staan over de potentiometer, die nu gelijk is aan Rv1+Rv2 = Rv. Nemen we daarenboven aan dat R1=R2=R (=10kΩ).
Dan is $\frac{v_o}{v_i} = \frac{R+Rv//Xc}{R}$ Hierin is R=10K en $Xc = \frac{1}{Cs}$ en $s = j.C.\omega$.
Nu is $Rv \| Cs = \frac{Rv/_{Cs}}{Rv+{Rv}/_{Cs}} = \frac{Rv}{Rv.Cs+1}$ zodat $= -\frac{V_o}{v_i} = \frac{x_2}{x_1} = \frac{R+\frac{Rv}{Rv.Cs+1}}{R} = \frac{R+Rv+R.Rv.Cs}{R.Rv.Cs+R}$
Willen we hiervan de absolute waarde van kennen dan passen we hierin de stelling van Pythagoras (het ezelsbruggetje) toe in teller en noemer waarin algemeen vanuit onze schoolboeken $R^2 = \sqrt{a^2+b^2}$.
Zodoende wordt $\left|\frac{Vo}{Vi}\right| = \frac{\sqrt{(R+Rv)^2+(R.Rv.Cs)^2}}{\sqrt{(R)^2+(R.Rv.Cs)^2}}$ en dit verloop in functie van $s = j.2.\pi.f$,dus ook van de frequentie f . En dit is weergegeven in Figure 4 als de rode lijn, maar dan in een dB schaal , welke gelijk is aan $20log\frac{Vo}{Vi}$.
We zien dus dat de laagste tonen een versterking krijgen van iets meer dan $20dB = 10$,(om juist te zijn $\frac{R+Rv}{R} = \frac{10K+100K}{10k} = 11$.
en bij ongeveer 800Hz de versterking gedaald is tot $0dB = 1$.
Ook de frequentie schaal is logaritmisch zodat op gelijke afstanden 0,10,100,1000… enz. verschijnt.
Dit is de algemene aanvaardbare methode om iets in wat men noemt een bode diagram weer te geven.

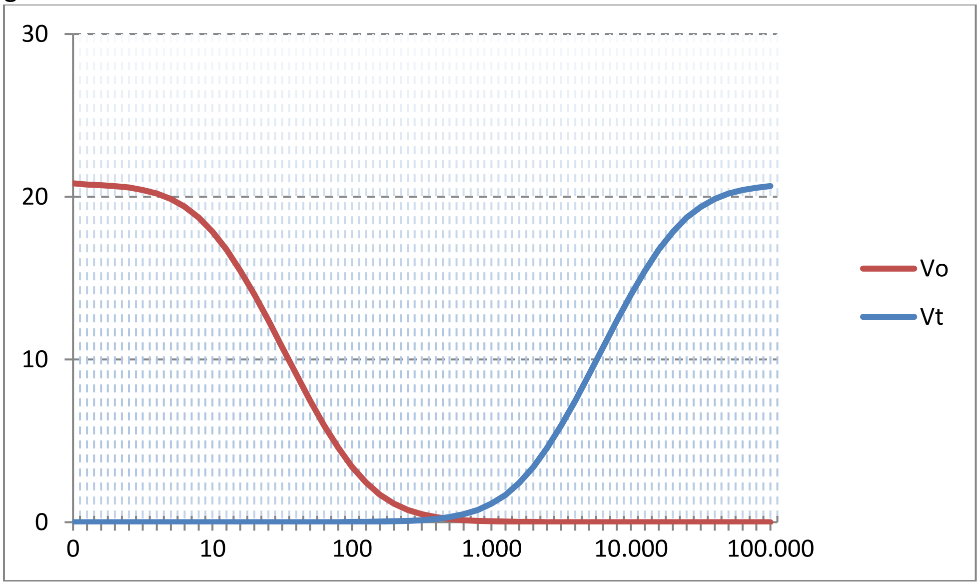

Figure 4

Het zou ook duidelijk moeten zijn dat als we onze potentiometer Rv meer naar rechts draaien dat heel de curve daalt , maar het frequentie verloop hetzelfde blijft.

Wanneer we nu de potentiometer Rv volledig naar rechts draaien dan zien we dat C2 kortgesloten wordt en X2 gelijk wordt aan R2 = R en X1 nu een parallel schakeling wordt van Rv met C1.
Op gelijk aardige manier bekomen we dan een uitdrukking van $A = -\frac{V_o}{v_i} = \frac{x_2}{x_1}$. En ingevuld wordt dit $A = -\frac{V_o}{v_i} = \frac{x_2}{x_1} = \frac{R}{R+\frac{Rv}{Rv.Cs+1}}$ en uitgewerkt $A = \frac{R+R.Rv.Cs}{R++Rv+R.Rv.Cs}$ en de absolute waarde wordt dan $\left|\frac{Vo}{Vi}\right| = \frac{\sqrt{(R)^2+(R.Rv.Cs)^2}}{\sqrt{(R+Rv)^2+(R.Rv.Cs)^2}}$ en dit is precies het spiegelbeeld van de vorige rode lijn en dus voor 0Hz we een verzwakking krijgen van $\left|\frac{Vo}{Vi}\right| = \frac{R}{R+Rv} = \frac{10k}{10k+100K} = \frac{1}{11}$ dit is ongeveer -20dB.

4 Hoge tonen regeling (treble).

Vooraleer we hier aan beginnen wil ik een bedenking maken, namelijk is het wel gerechtvaardigd dat we onze toon regeling in twee kunnen splitsen en ieder deel afzonderlijk kunnen behandelen? Immers als we Figure 1goed bekijken dan zien we dat de hoge toon regeling parallel over de bas regeling staat. Nu wordt de bas regeling voornamelijk gebruikt tot een regeling van ongeveer 200Hz en op dat ogenblik is de hoge tonen regeling nog niet van toepassing. Dit is te verklaren als we zien dat de impedantie van de capaciteit (C1 en C2 alle bij 15nf en een potentiometer van 110kΩ samen een impedantie hebben van $\frac{1}{2;Cs} = \frac{1}{2.2.\pi.200hz.15nf} + Rv = 26.5K\Omega + 100k\Omega = 126.5k\Omega$ en meer, en dus nauwelijks een belasting vormt over de bas tonen regeling. Maar voor de hoge toon regeling is dat heel wat anders. We mogen aannemen dat de capaciteiten (C1 en C2 in Figure 3(a) meer en meer de potentiometer Rv kortsluiten zodat er slechts een weerstand van R1+R2= 20kΩ over de hoge toon regeling staat en daar moeten we wel degelijk rekening mee houden. (dit is iets dat praktisch nergens verteld of uitgelegd wordt). Indien we dit in al zijn details zouden uitrekenen wordt dit een zware en ingewikkelde berekening. Daarom zullen we onze berekeningen sterk vereenvoudigen door aan te nemen dat boven de 200HΩ de capaciteiten van 140nf de potentiometer kortsluiten.
Met de stelling van Thevenin kunnen we deze twee weerstanden identiek beschouwen als de basisinstelling van een transistor. De totale weerstand is dan gelijk aan 20kΩ/2

Kijken we nu naar Figure 3(b) en als we de potentiometer nu volledig naar links draaien dan wordt $X1 = R + Xc$ en $X2 = R + Rv + Xc$ met $Xc = \frac{1}{Cs} = \frac{1}{j.C.\omega}$ en $A = -\frac{V_o}{v_i} = \frac{x_2}{x_1} = \frac{R+Rv+{}^1/_{Cs}}{R+{}^1/_{Cs}}$of verder uitgewerkt:
$A = -\frac{V_o}{v_i} = \frac{x_2}{x_1} = \frac{(R+Rv)Cs+1}{R.Cs+1}$. En willen we de absolute waarde ervan bepalen dan wordt $\left|\frac{Vo}{Vi}\right| = \frac{\sqrt{1+((R+Rv).Cs)^2}}{\sqrt{1+(R.Cs)^2}}$
Hier ook ziet men als $f = 0$ dan is $\left|\frac{Vo}{Vi}\right| = 1$ en met $f = \infty$ wordt $\left|\frac{Vo}{Vi}\right| = \frac{\sqrt{1+((R+Rv).Cs)^2}}{\sqrt{1+(R.Cs)^2}}$
Zo ook wanneer we de potentiometer volledig naar rechts draaien dan wordt $X1 = R + Rv + Xc$ en $X2 = R + Xc$.
Weer bepalen we $A = -\frac{V_o}{v_i} = \frac{x_2}{x_1} = \frac{R+{}^1/_{Cs}}{R+Rv+{}^1/_{Cs}}$ en uitgewerkt $A = -\frac{V_o}{v_i} = \frac{x_2}{x_1} = \frac{Rv.Cs+1}{(R+Rv).Cs+1}$. En de absolute waarde is dan $\left|\frac{Vo}{Vi}\right| = \frac{\sqrt{1+(R.Cs)^2}}{\sqrt{1+((R+Rv).Cs)^2}}$ wat precies het spiegelbeeld is van vorige formule.

Jan Spaenjers