

10 kΩ stappenverzwakker als audio volumeregelaar

Inleiding

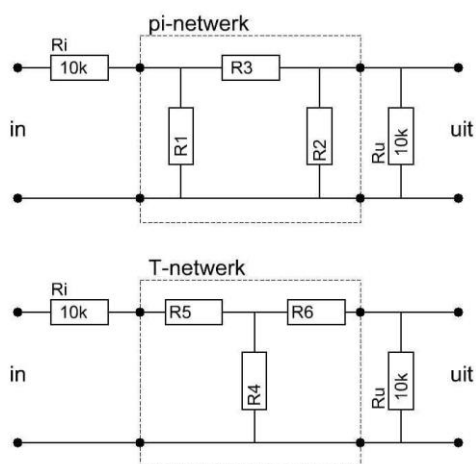
Volumeregelaars voor stereoweergave worden meestal van twee gelijklopende potentiometers gemaakt. Die gelijkloop laat nogal eens te wensen over, vandaar dat in de high end audio stappenverzwakkers gebruikt worden. Zo'n verzwakker is niets anders dan een potentiometer die opgebouwd is uit discrete weerstanden, gemonteerd op schakelaars van bijvoorbeeld 25 standen zodat een ladderverzwakker ontstaat. Om het totale regelgebied niet te klein te maken wordt een stapgrootte van 3 dB gekozen.

Hier is niets mis mee. Het enige nadeel is dat het verloop afhankelijk is van de bronweerstand en de weerstand die de versterker er achter te zien geeft. Met de laatste kan rekening gehouden worden bij de berekening van de weerstanden in de potmeter. Ik heb daar een programmaatje voor gemaakt.

Er is echter nog iets anders: als de ingang van een versterker hoogohmig aangestuurd wordt, gaan de niet-lineaire parasitaire capaciteiten van de ingangstransistor ons parten spelen. Er ontstaat jitter op de hoge frequenties door de lage-, daar die in het audiosignaal over het algemeen (veel) groter zijn dan de hogere. (Is dit fasemodulatie?) Dit is te voorkomen door laagohmig te sturen. Ik zie daarvoor geen andere oplossing dan het volume te regelen met een stappenverzwakker met constante impedantie.

De stappenverzwakker

Zo'n verzwakker kan opgebouwd worden uit π - of T-secties. Soms pakt het ene beter uit dan het andere. De stapgrootte wordt 3 dB om een balans te vinden tussen het totale aantal stappen en de stapgrootte. Er wordt geen gebruik gemaakt van een 'decoder' of zo, maar van een stappenschakelaar zodat de stand van de knop een indicatie geeft van het ingestelde volume. Het dynamisch bereik van muziekopnamen is zelden meer dan 60 dB (in het laag), dus zijn, bij een juiste keuze van de gevoeligheid [volut bij -6 dB], meer dan 25 stappen niet zinvol. Voor de eenvoud kiezen we $R_i = R_u$.



R_i en R_u worden daadwerkelijk aangebracht. Er wordt van uitgegaan dat de aan te sluiten bron een uitgangsimpedantie heeft die klein is tov. twee maal de 'verzwakkerweerstand (R_o)'. Deingangsimpedantie van de versterker in kwestie is sowieso vele malen groter dan R_o . R_o kunnen we vrij kiezen. Er is geen enkele reden om je binnen een versterkerkast iets van enige normalisatie aan te trekken! Uit ervaring weten we dat een impedantie van $\leq 5 k\Omega$ zeer gunstig is aan de ingang van de er op volgende versterker: de niet-lineaire Miller-C, Cbe en Ccb van de eerste transistor (of Cgs en Cdg in geval van een FET) geven dan weinig kans op vervorming, zeker als een extra C aangebracht wordt op een kantelfrequentie van zo'n 50 kHz. Uitgaande van een uitgangsimpedantie van $5 k\Omega$ wordt $R_o = 10 k\Omega$. De bron wordt daarbij belast met $20 k\Omega$. Als over R_u een capaciteit wordt aangebracht voor een

simpel low pass filter op 50 kHz, moet de waarde daarvan minstens 560 pF zijn. Daar zullen de niet-lineaire capaciteiten weinig invloed meer op hebben.

NB.: door het aanbrengen van R_i en R_u wordt de kleinste verzwakking 6 dB.

De waarden van de weerstanden

Om capacatieve overspraak zonder afscherming in de verzwakker te voorkomen, moeten de weerstandswaarden niet te groot zijn. Een kort onderzoekje brengt aan het licht dat in ons geval het best gebruik gemaakt kan worden van T-secties. In de onderstaande tabel staan de waarden van de weerstanden per verzwakking. Voor de berekeningen:

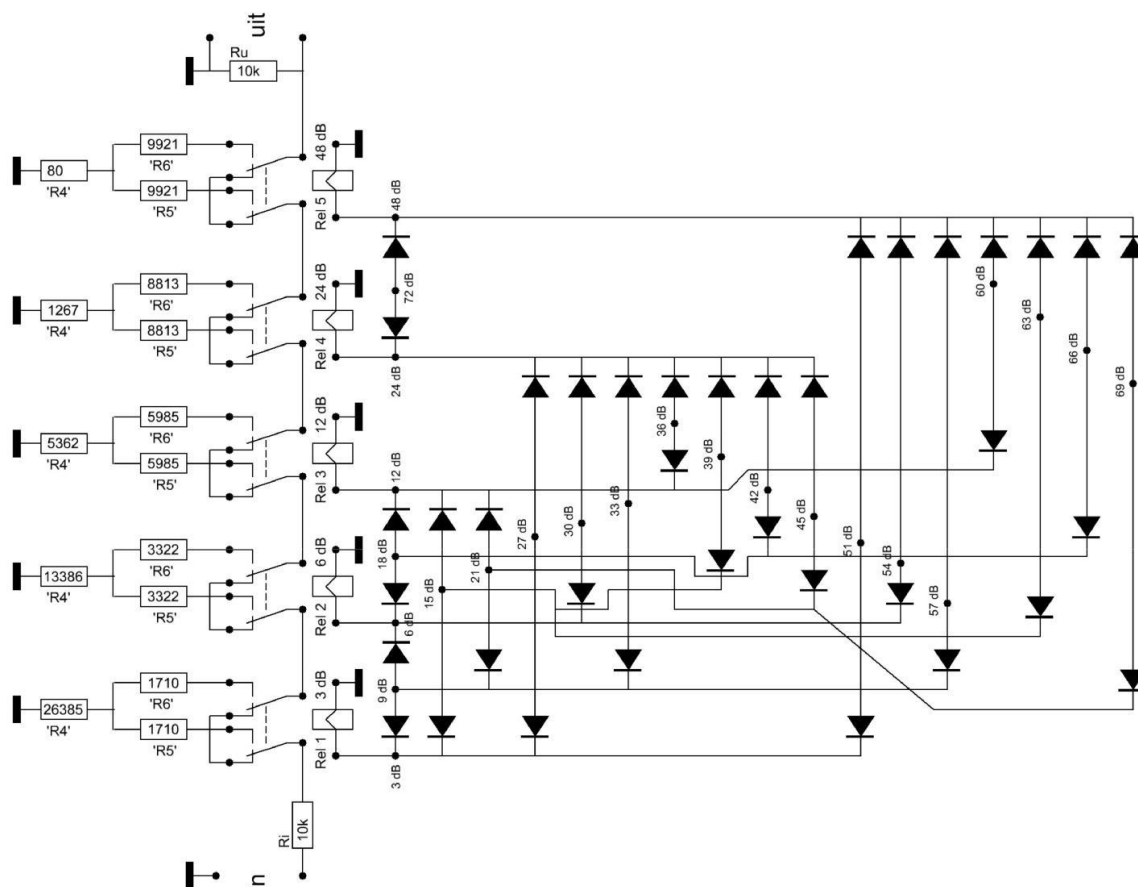
<http://www.electricsite.be/calc/attenuator.htm> Voor 3 dB-stappen in een T-netwerk:

stap	verzw...(dB)	$R_4 \dots(\Omega)$	$R_5=R_6 \dots(\Omega)$	E48	E96
1	basis = 6	∞	0		
2	+3	28385	1710	287/169	
3	+6	13286	3322	133/332	
4	+9	8118	4762	825/487	807/475

We hoeven niet alle waarden te berekenen! 9 dB kan samengesteld worden uit 3 en 6 dB. Veel grotere verzwakkingen kunnen immers verkregen worden door een aantal kleinere verzwakkers in serie te zetten.

De uitrusting

Het is natuurlijk mogelijk om (per kanaal) twee dekken op een 25-standen schakelaar te nemen. Dat is niet zo handig. Bovendien zijn er maar weinig schakelaars die op den duur stroomloos kraakvrij schakelen. Vacuüm uitgevoerde relais doen dat veel beter. Bovendien kunnen dan inderdaad verschillende verzwak-



kers in serie geschakeld worden met weinig relais!

Met vijf relais (dubbelpolig om) kunnen al 25 stappen van 3 dB gemaakt worden zoals uit de tabel hieronder blijkt! De relais worden met een diode-matrix geschakeld. Die matrix wordt een hele toestand: minstens 38 diodes.

Het spreekt vanzelf dat stap 25 (72 dB) op het laatste contact komt als de draaischakelaar, die de bediening vormt, helemaal **linksom** gedraaid is!

De relais voor 'het andere kanaal' kunnen domweg parallel aan (of in serie met) de getekende relais gezet worden. Omdat in de SSA120 de voedingsspanning 45V is, worden daar de relais in serie geschakeld met nog een weerstand van 1k8.

Het aardige is natuurlijk dat de relais eenvoudig op afstand van de schakelaar geplaatst kunnen worden. Afgezien van aarde volstaat een vijfaderige verbinding.

Met een 25-standen schakelaar kan dat er uit gaan zien als:

stap	verzw...(dB)	R4 ...(Ω)	R5=R6 ...(Ω)	E12	E48	E96	matrix
1	basis = 6	∞	0				00000
2	+3	28385	1710	270/180	287/169		00001
3	+6	13386	3322	120/330	133/332		00010
4	+9 = 6 + 3						00011
5	+12	5362	5985	560/560	536/590	536/604	00100
6	+15 = 12 + 3						00101
7	+18 = 12 + 6						00110

8	+21 = 12 + 6 + 3 = 12 + 9					00111	
9	+24	1267	8813	120/820	127/866	127/887	01000
10	+27 = 24 + 3						01001
11	+30 = 24 + 6						01010
12	+33 = 24 + 6 + 3 = 24 + 9						01011
13	+36 = 24 + 12						01100
14	+39 = 24 + 12 + 3 = 24 + 15						01101
15	+42 = 24 + 12 + 6 = 24 + 18						01110
16	+45 = 24 + 12 + 6 + 3 = 24 + 21						01111
17	+48	80	9921	820/100	787/100		10000
18	+51 = 48 + 3						10001
19	+54 = 48 + 6						10010
20	+57 = 48 + 6 + 3 = 48 + 9						10011
21	+60 = 48 + 12						10100
22	+63 = 48 + 12 + 3 = 48 + 15						10101
23	+66 = 48 + 12 + 6 = 48 + 18						10110
24	+69 = 48 + 12 + 6 + 3 = 48 + 21						10111
25	+72 = 48 + 24						11000

Ter herinnering: de E12-reeks: 10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82, 100.

De weerstandswaarden die hier gegeven zijn, zullen samengesteld moeten worden door serie en/of parallel schakelen van bestaande waarden. We gaan er vanuit dat de verzwakking $\sim 0,1$ dB mag afwijken van de nominale waarde.

Realisatie

De bron en de achterliggende versterker worden op elkaar aangepast zodat de versterker volluit gestuurd wordt als de bron 6 dB meer geeft dan de spanning die hij afgeeft bij bv. 0 dB. Immers, de verzwakker verzwakt minimaal 6 dB. De versterker kan dan niet vastlopen wat gevaarlijk kan zijn voor de luidsprekers, met name tweeters.

De waarden in de tabel zijn de waarden min die 6 dB, zodat de daadwerkelijke verzwakking bij bv. stap 13 = 42 dB.

Schakelaar

Voor de schakelaar wordt een 25-standenschakelaar gebruikt waarvan de arettering is 'bijgeviold' en de veer iets wordt verslapt zodat de schakelaar lichter draait en minder herrie maakt. De contacten van het oude ding worden 'gepoetst' met een 'glaskwastje' (dat vroeger gebruikt werd voor het raderen op calque). Enig contactvet kan geen kwaad. De contacten behoeven verder weinig zorg omdat de stroom door de contacten minstens de relaisstroom groot is.

Matrix

De matrix wordt opgebouwd met 38 dioden (en eventueel 5 diodes over de vijf relais om de uitschakelspanning te doven).

De diodes worden op een experimenteerprint met een raster van 0,1" gesoldeerd die aan de schakelaar wordt bevestigd.

Relais

De tien (twee kanalen, stereo) relais komen op een experimenteerprintje met aardvlak dat op een voor de hand liggende plaats in de kast komt. Het gaat om een National DX2-12V, AE7023.

Voor de verbinding naar de matrix gebruiken we 6 aders. De signaalader wordt gescheiden van de 'matrixaarde'.

De weerstanden

De weerstanden in de vijf verzwakkers hebben natuurlijk waarden die niet in de handel zijn. Zij kunnen gekozen worden uit de 12-reeks t/m de 196-reeks of samengesteld worden door serie en/of parallel schakelen. Het programma op <http://www.electricsite.be/calc/attenuator.htm> geeft ook de afwijking in de verzwakking aan bij de voorgestelde weerstandswaarden uit de 12- 24- 48- of 96-reeks.

... dB berekend	12-reeks	24-reeks	48-reeks	96-reeks
3: 28385/1710	27000/1800	27000/1800	28700/1690	28700/1690
	+0,16 dB	+0,16 dB	-0,04 dB	-0,04 dB

6:	13386/3323	12000/3300 +0,13 dB	13000/3300 +0,01 dB	13300/3320 +0,005 dB	13300/3320 +0,005 dB
12:	5362/5985	5600/5600 -0,68 dB	5600/6200 +0,11 dB	5360/5900 -0,11 dB	5360/6040 +0,08 dB
24:	1267/8813	1200/8200 -0,44 dB	1300/9100 +0,19 dB	1270/8660 -0,22 dB	1270/8870 +0,06 dB
48:	80/9921	82/10000 -0,15 dB	82/10000 -0,15 dB	78,7/10000 +0,2 dB	78,7/10000 +0,2 dB

De vetgedrukte waarden kunnen volstaan, maar samenstellen met weerstanden uit de 12-reeks geeft:

... dB	berekend	samenstellen	afwijking	aderkleur	kabeltje
3:	28385/1710	27000+3300 / 1800	+0,0036 dB	blauw	
6:	13386/3323	12000+1500 / 3300	-0,032 dB	geel	
12:	5362/5985	4700+330 / 5600	+0,016 dB	groen	wit = aarde
24:	1267/8813	1000+180 / 8200	+0,024 dB	oranje	
48:	80/9921	82//3900 / 10000	+0,015 dB	zwart	

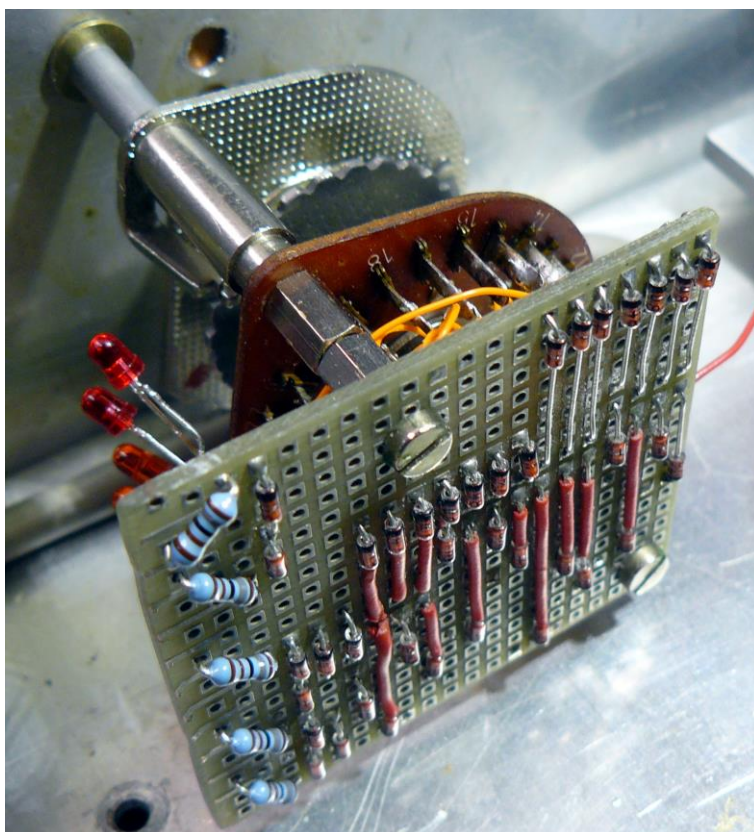
Let op:

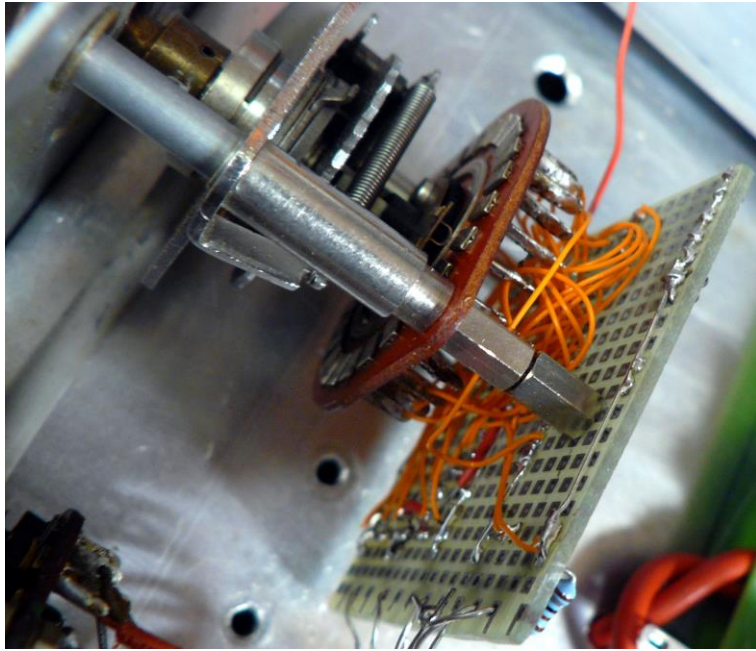
Omdat de afgeschermdde verbinding tussen het relais-bakje en de versterker met pluggen wordt uitgevoerd, moet de afsluitweerstand R_u samen met de bandbreedtebeperkende C (560 pF) op de versterkerprint worden aangebracht om te voorkomen dat een open ingang kan ontstaan.

De R_o is dan natuurlijk niet meer tot op een procent nauwkeurig constant, maar daar was het niet om begonnen. Bij een potmeterschakeling varieert de ingangsimpedantie vele decaden, dus....

Zo ziet het er uit:

De schakelaar met de matrix. De LEDjes waren om de werking te controleren.



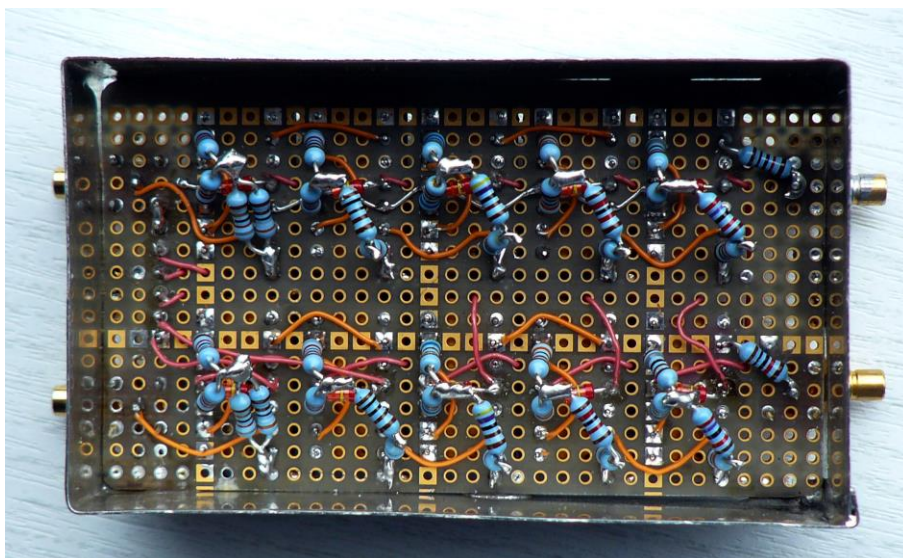


De bedrading is gemaakt met wire wrap draad. Het is even opletten bij het maken van de aansluitingen.

De stappenverzwakker: de 'bovenkant'.



De onderkant:



Conclusie

De verzwakker werkt (en meet) naar tevredenheid. De totale versterking is zo gekozen dat een signaal van -6 dB op een CD net niet vastloopt in de eindtrap van de SSA120. Achteraf gezien hadden we ook wel met een 12-standenschakelaar toegekunt. De eerste 13 standen worden nooit gebruikt. Die worden dan te zacht.

8 februari 2014.

Update: 14 november 2015.

Update: 10 oktober 2018.