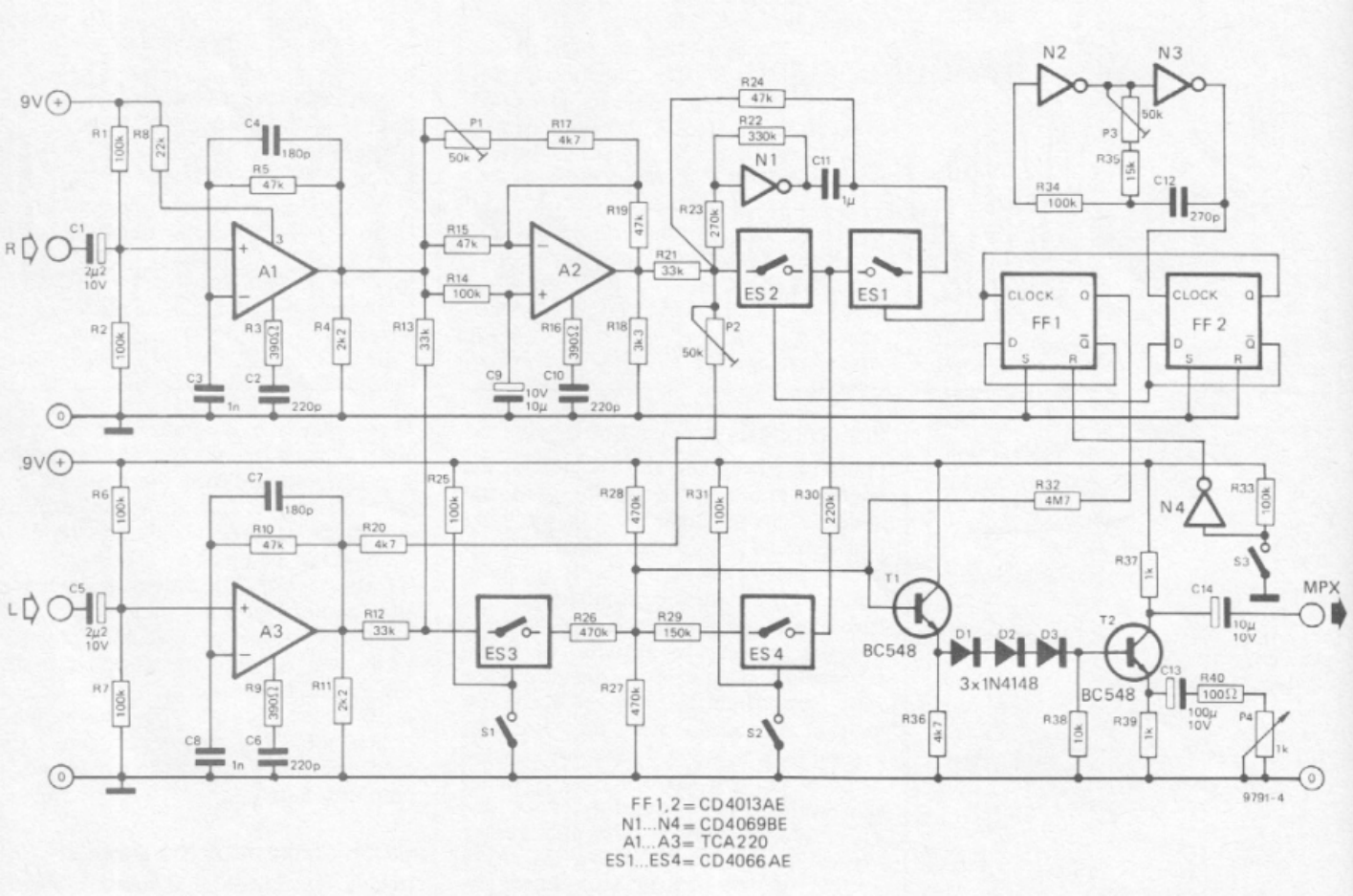
Gertjan’s stereo coder – versie 2021

Mijn stereo coder – versie 2021 heeft zijn oorsprong heel lang geleden in het jaar 1977.
In het Nederlandse hobby elektronica blad Elektuur stond in het Februari nummer van 1977 een stereo coder beschreven, een paar maanden later stond deze dan in de Engelse Elektor, dit is eigenlijk exact dezelfde maar dan de in het Engels vertaalde Nederlandse Elektuur.
Het May nr. 5 – 1977 van Elektor had zelfs dezelfde omslag als het Februari nr. 2 – 1977 van Elektuur.
Zo werd in het Mei nummer (nr. 5) van deze Elektor dezelfde stereo coder beschreven maar daar was inmiddels ‘Het Lek van Elektuur’ overheen geweest, d.w.z. de meeste foutjes waren er al uit gehaald.
In dit geval was een fout bij de 38 kHz AM modulator sectie hersteld, de linkerkant van weerstand R24 moest niet naar het knooppunt van R22, R23 en de ingang van N1, maar naar het knooppunt van P2, R21, R23 en de ingang van ES2.
Dit is het uiteindelijke correcte Elektor schema uit May 1977:



Dit May nr. 5 nummer uit 1977 van de Engelstalige Elektor is hier te downloaden:

https://worldradiohistory.com/UK/Elektor/70s/Elektor-1977-05.pdf

In Maart 1977 ben ik begonnen met de bouw van deze stereo coder.
Het grootste gedeelte uit dit 1977 ontwerp had ik nagebouwd, behalve de schakeling met de loslopende 76 kHz oscillator rondom de N2 en N3 inverters.
Ik had uit experimenten uit het verleden nog een kristalgestuurd printje met TTL delers erop liggen, gebouwd rondom 7490 delers e.d. en dat werkt veel beter.

De oorsprong en het verhaal daarom heen is ook wel leuk, namelijk:
Dit schakelingetje dateerde nog uit de ‘begin stereo tijd’ op de FM band, in die begin tijd was het al ‘stoer’ als je met je FM signaal, het stereo lampje kon laten branden van al die radio ontvangers thuis. Ook ik heb, jong als ik was, aan die rage uit die tijd meegedaan en gebruikte alleen het 19 kHz signaal uit dat schakelingetje om mee te sturen met mijn modulatie.

Het kristal daarvoor nog gekocht bij Den Hollander, een Technische Dump zaak op de Bakenessergracht in Haarlem in die tijd. Daar lag op een goede dag een hele grote ton vol met grote bruine korte-golf kristallen, welk nieuws zich als een lopend vuurtje verspreidde onder de FM piraten uit die tijd.
De 7,6 KHz kristallen in die ton waren het duurst en ook al heel erg snel uitverkocht.
Voordeel met mijn MTS opleiding was, dat ik zelf schakelingetjes kon ontwerpen met digitale TTL IC's in die tijd, dus op een velletje papier uit een schriftje een lijstje met geschikte kristallen opgeschreven, uitgaande vanuit 76 kHz met een willekeurig integer vermenigvuldig getal in de buurt van de 100 weer terug omhoog gerekend om uit te gaan komen in de buurt van 7,6 MHz.
Zo kom je bij gebruik van vermenigvuldig getallen 85 t/m 105 vanuit 76 kHz omhoog gerekend uit op voor dit doel bruikbare kristallen van resp.: 6,46 MHz, 6,536 MHz, 6,612 MHz, 6,688 MHz, 6,764 MHz, 6,84 MHz, 6,916 MHz, 6,992 MHz, 7,068 MHz, 7,144 MHz, 7,22 MHz, 7,296 MHz, 7,372 MHz, 7,448 MHz, 7,524 MHz, 7,6 MHz, 7,676 MHz, 7,752 MHz, 7,828 MHz, 7,904 MHz, 7,98 MHz, enz.
Met dit bruikbare kristallen lijstje op een papiertje onder mijn arm naar Den Hollander gefietst en daarna in de ton met kristallen aan het struinen, mevr. Den Hollander op 1 m achter me "onopvallend" over mijn schouder meekijkend, ik denk zelf vanuit een soort houding van: 'Zoals de waard is, vertrouwt hij zijn of haar gasten'.
Zo vond ik daar na een tijdje zoeken in die ton, zowaar nog een bruikbaar kristal van 6,84 MHz.
Dit kristal voor 1 gulden gekocht en thuis een TTL deeltreintje met twee 7490 delers achter elkaar gefabriceerd, welke bij een uitgecodeerde deelstand van 90, via een paar poortjes, deze honderd-teller weer naar 0 'reset'. Daarachter nog twee 7473 flipflops geschakeld om uit de 76 kHz pulsjes, mooie symmetrische blokgolfjes te maken waarna ik bruikbare stereo blokgolfjes van 38 kHz en 19 kHz had en klaar was Gertjan.
De AC voltmeter gaf aan dat het werkte, dus met een instelpotmetertje dit printje aangesloten op mijn FM zender en dat zorgde er inderdaad voor dat overal in Haarlem de stereo lampjes gingen branden als ik mijn FM zendertje aan zette.

Dit oeroude TTL kristaltreintje heb ik als basis gebruikt voor deze uit 1977 stammende Elektor stereo coder, uiteraard werkt een rotsvast 38 kHz en 19 kHz signaal veel beter dan een loslopende oscillator hierbij.
Ik heb deze stereo coder, vanaf zeg April / Mei 1977, vaak gebruikt bij mijn FM piraten radio station indertijd in Haarlem, waarna het ding samen met een klein FM stuurzendertje, nog steeds mooi ingebouwd in dezelfde originele mooie aluminium Toko behuizing vanaf 1980 tot medio 2019, als relikwie van vroeger, in een kast diep onder het stof gelegen heeft.

Na mijn pensionering heb ik dit geval weer eens uit de kast getrokken en heb het een nieuw leven geschonken. Mijn doel was niet om nu eens 'de ultieme stereo coder' te gaan maken maar als een soort project, er wat zaken in aanpakken zodat deze stereo coder nu ook gewoon weer gebruikt kon gaan worden en dan 'redelijk' voldeed aan mijn huidige eisen. Dit is puur voor lokaal gebruik in de achtertuin in de zomer, met een goed glas bier in de hand, relaxed naar mijn eigen stereo muziek kunnen luisteren op een portable FM stereo radiootje.

In 1^{e} instantie zette ik deze stereo coder + FM stuurzender in 2019 weer eens gewoon aan, tot mijn niet geringe verbazing werkte dat ding nog steeds na al die jaren, zei het dat de audio niet meer om aan te horen was. Het stereo geluid klonk vreselijk vervormd, in mono was er echter niets aan de hand.
Dit was de 1^{e} reden om die Toko kast weer eens open te gaan schroeven en te kijken wat er aan de hand zou kunnen zijn.
Het bleek dat de enige op-amp die erin gebruikt werd, de TCA220, de geest gegeven had, 1 van de 3 op-amp's in dat IC die gebruikt werd om het rechter audio kanaal te inverteren naar een –R signaal, was de DC output vastgelopen naar bijna de +9V voedingsspanning, het rare was dat hij nog wel wat deed, de 'negatieve flanken' van de audio werden nog gewoon versterkt, maar het IC lekte kennelijk als een idioot, d.w.z. de offset was behoorlijk verlopen.
Conclusie daarom: Gare TCA220.

In 1e instantie, ben ik gewoon naar het Elektronica winkeltje van Henk Boogaard in de Lange Herenstraat in Haarlem gefietst voor een nieuw TCA220 IC'tje, echter deze antieke op-amp bleek anno 2019 niet meer leverbaar, niet zo gek natuurlijk met die oude meuk.
Daarom ben ik vanaf dat moment begonnen met de algemene verbouwing van het geheel.
Als 1e een nieuw type op-amp erin, werd een TL074 IC'tje, lekker ruisarm zei Henk, toen hij hoorde dat het voor een oude Elektuur stereo coder uit 1977 was.
Van het 1 kwam het ander, dit was het begin van mijn algemene enigszins uit de hand gelopen verbouwing van dit ding.

Het begon met het vervangen van het op-amp IC, de defecte TCA220 eruit en de nieuwe TL074CN er in.
In die TCA220 zaten 3 op-amp's, in de nieuwe TL074CN zaten er 4, 1tje extra dus.
Deze extra op-amp heb ik gebruikt voor het aanpassen van de schakeling rondom de N1 inverter.
Dit was iets wat ik van het begin af aan eigenlijk al op zijn minst vreemd gevonden heb aan het ontwerp van deze schakeling, een inverter IC misbruiken in zijn lineaire analoge gebied als op-amp, om een geïnverteerd L-R audio signaal op te gaan wekken voor de 38 kHz AM modulator rondom de elektronische schakelaar IC'tjes ES1 en ES2.
Beter om dit met een echte op-amp te doen uiteraard, zo gezegd zo gedaan.

Ook was de schakeling na de A2 op-amp enigszins vreemd, daar werd het L signaal opgeteld bij het –R signaal, maar de amplitudes van beide signalen beïnvloedden elkaar. Beter om dit op te lossen met een op-amp welke als differentiaal versterker geschakeld staat, onderlinge beïnvloeding van de L en de -R amplitude instellingen zijn daarmee grotendeels uitgesloten, dit zo gewijzigd en aangepast rondom de A2 op-amp.

Omdat er een enkelvoudige voeding van +9V gebruikt wordt, was het noodzakelijk om een virtuele GND of een zogenaamde 'Rail Splitter' erbij te knutselen, welke een 'referentie instelling GND' van + 4,5 V levert voor alle op-amp's in deze schakeling, dit via een spanningsvolger op-amp circuit opgelost.

Ik heb nog iets gedaan aan audio filtering, voor de 1e pré-emphasis op-amp is nu een extra Buttersworth 15 kHz laag doorlaat filter netwerkje geplaatst, bestaande uit 3 op-amp's per kanaal, met een demping van - 6 dB per octaaf per op-amp.
Omdat de 3 op-amp's andere – 3 dB kantelpunten of cut-off punten hebben, komen we in de buurt van – 18 dB per octaaf, maar niet helemaal exact, ter illustratie:

Aangezien de 1e van de 3 op-amp's in dit filter op een ander -3dB kantelpunt, of omslagpunt ingesteld staat dan de andere 2 op-amp's, wordt hier de volgende demping van eventuele aanwezige restsignalen van 15 kHz en 19 kHz in de audio bereikt:

1e op-amp van dit laagdoorlaat filter heeft het kantelpunt, of -3dB punt op 13,303 kHz.
Dit zorgt voor een demping van -3,77 dB voor eventuele 15 kHz restsignalen in de audio.
Berekening hiervan als volgt: - 3 - ((15000 / 13303) - 1) x 6 = ongeveer -3,77 dB.
Ook zorgt dit voor een demping van -5,57 dB voor eventuele 19 kHz restsignalen in de audio.
Berekening hiervan als volgt: - 3 - ((19000 / 13303) - 1) x 6 = ongeveer -5,57 dB.

Het 2e en 3e op-amp van dit laagdoorlaat filter heeft het kantelpunt, of -3dB punt op 10,884 kHz.
Dit zorgt voor een demping van - 10,54 dB voor eventuele 15 kHz restsignalen in de audio.
Berekening hiervan als volgt: (- 3 - ((15000 / 10884) - 1) x 6) x 2 = ongeveer -10,54 dB.
Ook zorgt dit voor een demping van -14,95 dB voor eventuele 19 kHz restsignalen in de audio.
Berekening hiervan als volgt: (- 3 - ((19000 / 10884) - 1) x 6) x 2 = ongeveer -14,95 dB.

Het totale 15 kHz laagdoorlaat filter met 3 op-amp's geeft hierdoor de volgende demping:
- Restsignalen in de audio van 15 kHz worden met -3,77 dB + -10,54 dB = -14,31 dB gedempt.
- Restsignalen in de audio van 19 kHz worden met -5,57 dB + -14,95 dB = -20,52 dB gedempt.

Formules die bij deze 3 laagdoorlaat filter netwerkjes per kanaal horen:

10 K-ohm < R < 100 K-ohm.	Weerstand R niet lager dan 10 K en niet hoger dan 100 K.
R1 = R2	Dit zijn de 2 weerstanden die in serie staan aan de + ingang van elke laag doorlaat filter op-amp.
C1 = 2 x C2	C1 is de totaal capaciteit waarde van de 2 parallel geschakelde condensatoren aan de - ingang van elke laag doorlaat filter op-amp en C2 is de condensator aan de + ingang van elke laag doorlaat filter op-amp.
f = wortel 2 / (4 Pi R C2)	f = Cut-off frequentie of -3 dB punt.

Er voor gezorgd dat het uitgang MPX signaal wat storingsvrijer is, daarom een 53 kHz laag doorlaat filter aan de uitgang gemaakt en een 19 kHz filter aan de uitgang van de flipflop waar het 19 kHz blokgolf signaal uit komt. Het is uiteraard veel en veel beter om de 19 kHz piloottoon als een sinus signaal mee te zenden in de MPX data, vandaar dit 19 kHz smalle band-pass filter waar aan de uitgang nu vrijwel een sinusvormig 19 kHz piloottoon signaal aanwezig is.
Beide filter schakelingen zijn uit een latere jaargang van Elektor gehaald, waar eveneens een stereo encoder in beschreven werd, uit de Elektor van January 1979.
Ook heb ik daaruit de wat betere LF eindversterker voor het totaal MPX signaal gehaald, welke vlak voor het 53 kHz uitgangs filter bij de MPX uitgang zit.
Dit January nr. 1 nummer uit 1979 van de Engelstalige Elektor is hier te downloaden:

https://worldradiohistory.com/UK/Elektor/70s/Elektor-1979-01.pdf

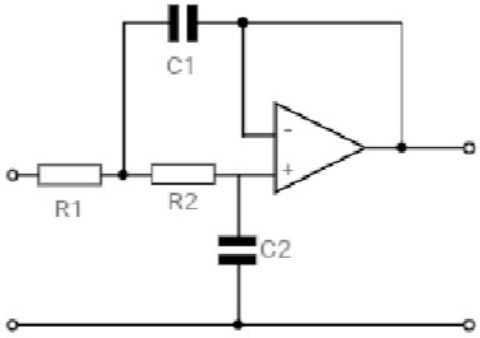
Omdat dit 19 kHz smalle band-pass filter een fase verschuiving van het 19 kHz signaal veroorzaakt was het daarna noodzakelijk om de fase hiervan te corrigeren, zodat deze sinus weer in fase komt met het 38 kHz signaal, als dit niet gebeurd zou de kanaalscheiding aan de ontvanger kant abominabel worden.
Dit is opgelost met een extra op-amp, welke geschakeld is als een zogenaamd ‘all pass filter’ waarbij bij een bepaalde frequentie een geleidelijke fasedraaing naar 180 graden van het signaal op treedt. In de formule om dit uit te rekenen, is de Fc waarde, dat 90 graden kantelpunt hier midden tussen in. De formules die hierbij horen:

Xc = 1 / (2 Pi Fc C)	Xc = Wisselstroom weerstand bij een bepaalde frequentie.
Fc = 1 / (2 Pi R C)	Fc = Center freq. of -90 graden kantelpunt voor de formule hierboven en de uiteindelijke schakeling van het all-pass filter.
Psi = 2 (arc-tang (2 Pi f R C)	Psi = Fase verschuivings hoek van bovenstaande formule bij een bepaalde frequentie f.

Bovenstaande geldt voor het uitrekenen van de C = condensator op de + ingang van dit all-pass op-amp filter netwerk en ook voor de weerstand R die daarmee in serie staat naar de + ingang.
De 2 weerstanden op de – ingang van deze op-amp bepalen de versterkende of verzwakkende werking van deze all-pass filter op-amp, dit is uit te rekenen op de normale manier zoals dat bij op-amp’s gebeurt. In mijn geval zijn ze gelijk aan elkaar, vandaar een versterking van -1x.
De 25 slags instel pot van 5K, welke de R is in bovenstaand voorbeeld en ook in mijn uiteindelijke schakeling, heb ik proefondervindelijk ingesteld op een waarde van 2487 ohm, dit geeft een faseverschuiving van -15,9 graden, wat in mijn geval exact de waarde was om de fase verschuiving, veroorzaakt door het 19 kHz band-pass filter netwerk, weer ongedaan te maken en de uiteindelijke 19 kHz sinus piloottoon weer exact in fase te krijgen met de 38 kHz signalen die de AM modulator aansturen, zodat de ontvanger nu een prima kanaalscheiding uit het aangeboden MPX signaal kan gaan maken.

Als laatste heb ik nog 3 signaal ledjes, 2 x blauw en 1 x oranje toegevoegd aan deze stereo coder. Het oog wil ook wat en het is wel leuk om te zien of het mono signaal, het AM stereo signaal en de piloottoon al dan niet aan staan.

Aanvullende info voor de 15 kHz laagdoorlaat filters



Active low pass op amp filter circuit

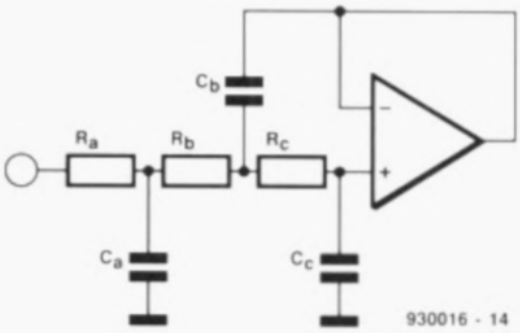
The calculations for the circuit values are very straightforward for the Butterworth response and unity gain scenario. Critical damping is required for the circuit and the ratio of the resistor and capacitor values determines this.

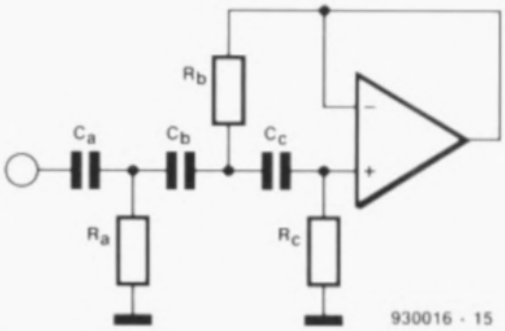
$$R_1 = R_2$$

$$C_1 = 2C_2$$

$$f = \frac{\sqrt{2}}{4\,\pi\,R\,c_2}$$

Tabel 1. laag- en hoogdoorlaatfilters.



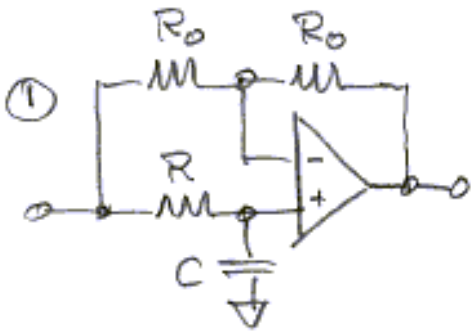


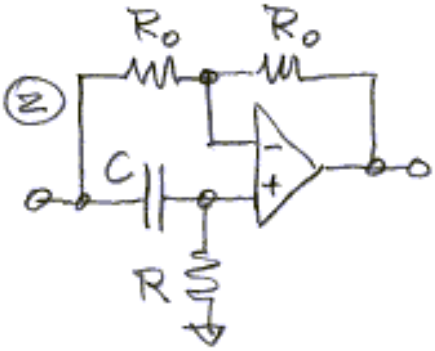
	Laagdoorlaat		Hoogdoorlaat	
	Butterworth	Bessel	Butterworth	Bessel
1e orde	Ra = bijv. 10kΩ Rb = Rc = draadbrug Cb = Cc = vervallen $C_a = \frac{0{,}1592}{f \cdot R}$	–	Ca = bijv. 4n7 Cb = Cc = draadbrug Rb = Rc = vervallen $R_a = \frac{0{,}1592}{f \cdot R}$	–
2e orde	Ra = draadbrug Ca = vervallen Rb = Rc = bijv. 10 kΩ		Ca = draadbrug Ra = vervallen Cb = Cc = bijv. 4n7	
	$C_b = \frac{0{,}2251}{f \cdot R_b}$ $C_c = \frac{0{,}1125}{f \cdot R_b}$	$C_b = \frac{0{,}1443}{f \cdot R_b}$ $C_c = \frac{0{,}1082}{f \cdot R_b}$	$R_b = \frac{0{,}1125}{f \cdot C_b}$ $R_c = \frac{0{,}2251}{f \cdot C_b}$	$R_b = \frac{0{,}1755}{f \cdot C_b}$ $R_c = \frac{0{,}2341}{f \cdot C_b}$
3e orde	Ra = Rb = Rc = bijv. 10 kΩ		Ca = Cb = Cc = bijv. 4n7	
	$C_a = \frac{0{,}2215}{f \cdot R_a}$ $C_b = \frac{0{,}5644}{f \cdot R_a}$ $C_c = \frac{0{,}03221}{f \cdot R_a}$	$C_a = \frac{0{,}1572}{f \cdot R_a}$ $C_b = \frac{0{,}2265}{f \cdot R_a}$ $C_c = \frac{0{,}04039}{f \cdot R_a}$	$R_a = \frac{0{,}1125}{f \cdot C_a}$ $R_b = \frac{0{,}04488}{f \cdot C_a}$ $R_c = \frac{0{,}7864}{f \cdot C_a}$	$R_a = \frac{0{,}1611}{f \cdot C_a}$ $R_b = \frac{0{,}1118}{f \cdot C_a}$ $R_c = \frac{0{,}6271}{f \cdot C_a}$

Aanvullende info “all-pass filter” voor de 19 kHz fase aanpassing

1st order all-pass networks

3/5/00 SL



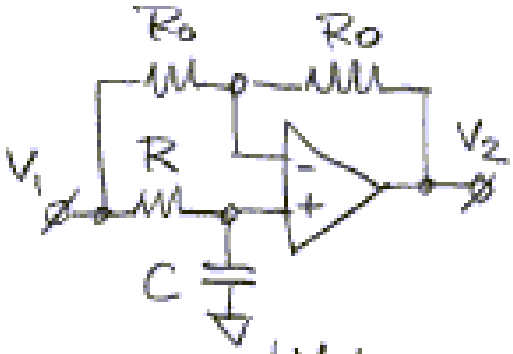


Gain = 1
= 0 dB

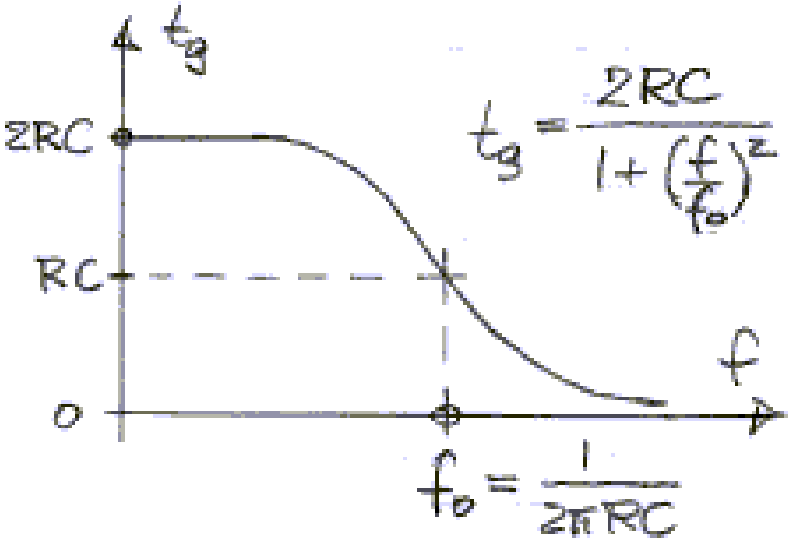
$$\varphi_1 = -2\arctan\left(\frac{f}{f_0}\right) \qquad \varphi_2 = 180^\circ - 2\arctan\left(\frac{f}{f_0}\right)$$

Groupdelay $t_g = -\frac{d\varphi}{d\omega} = \frac{2RC}{1+\left(\frac{f}{f_0}\right)^2}$

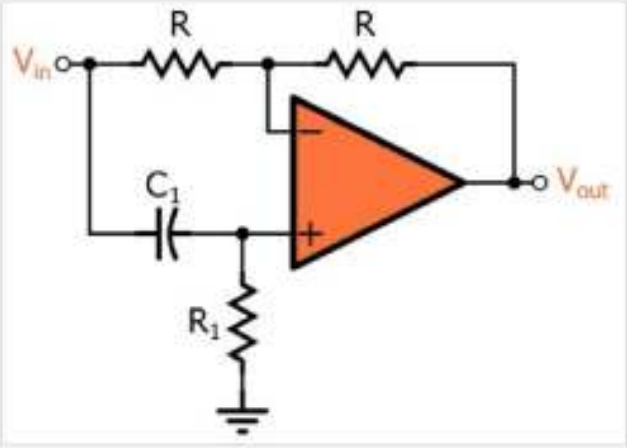
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$



$$\left|\frac{V_2}{V_1}\right| = 1$$

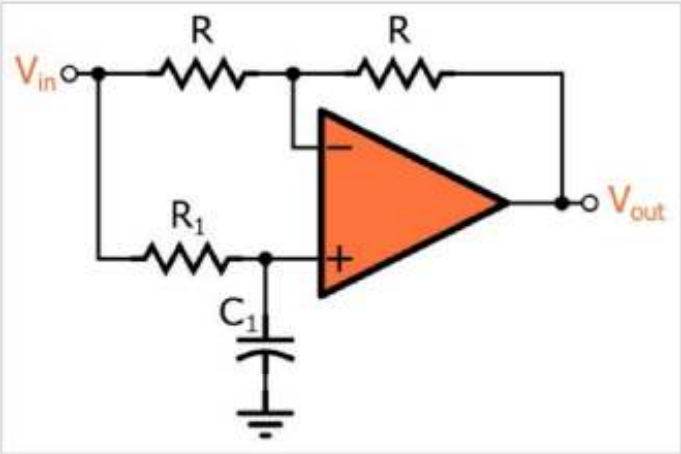


6/7/00
SL



$$f_c = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

This particular circuit can be thought of as being inverting for low frequencies and noninverting for high frequencies: the phase shift starts at −180° and transitions to 0° through the region surrounding the cutoff frequency. You can modify this behavior by swapping R_1 and C_1:



The gain and cutoff frequency are the same, but now the phase shift begins at 0° and transitions to −180°.

Afregeling van Gertjan's stereo coder – versie 2021

Zie hiervoor de 2 schema's van mijn stereo coder – versie 2021 op de volgende bladzijden, dus niet meer het schema uit de oude 1977 Elektor op de 1e blz. van dit verhaal.

Het makkelijkst is dit te doen met een toongenerator, aangesloten op het mengpaneel die deze stereo coder van audio signalen voorziet.
Heeft u geen toongenerator, dan kan een app. uiteraard ook helpen.
Zelf gebruik ik de app.: Keuwlsoft Dual Channel Function Generator op mijn Huawei Android telefoon, deze App. is gratis te downloaden in de Google Play Store en ook te vinden op de website:

http://www.keuwl.cm/FunctionGenerator/

Via een Marmitek BB80 oftewel een BoomBoom 80 – Blue Tooth Music Receiver, koppel ik mijn telefoon weer in op mijn oude vertrouwde en ook een paar jaar geleden geheel gereviseerde Philips zelfbouw mengpaneel, u kent het wel, opgebouwd uit de bekende losse moduultjes / zelfbouw kitjes uit de oude Philips Hobbyscoop publicaties.

Voor de afregeling, volg de volgende 13 stappen:

1 -
Begin met de 2 instelpotmeters P4 en P7 die aan GND liggen, de 2 lopers daarvan ook aan GND te leggen.
De instelpotmeters P5 en P6 ongeveer halverwege hun bereik instellen.
De 3 instelpotmeters P1, P2, P3 zodanig instellen, dat in het schema de maximale weerstand ervan ingesteld staat, de lopers staan dan zoals in het schema voor P2 en P3 helemaal naar links en voor P2 helemaal naar boven.

2 -
Zet de 3 schakelaars in de stand dat de oranje en de 2 blauwe led's op het front uit zijn.

3-
Stel instelpotmeter P5 zo af, dat op de uitgang van op-amp TL074CN (2) pin 14, exact + 4,5 V gemeten wordt.

4-
Zet de schakelaar voor ´mono´ in de aan-stand. Eén van de 2 blauwe led's moet nu aan zijn.

5-
Sluit de stereo coder ingang aan op de uitgang van een mengpaneel, stel op 0 dB af en verbindt de uitgang van de stereo coder met de modulatie ingang van een FM zender.

6-
Zoek op de ontvangst tuner een rustig stereo of mono uitzendend radio station op, d.w.z. een zender die wel muziek uit zendt maar niet te veel aan dynamiek expansie, compressie of popi-jopi disc-jockey geschreeuw doet. Zelf vind ik de Belgische BRT wel een goed bruikbare, deze zender moduleert niet over en doet niet aan audio manipulatie. Zet de tuner wel op mono.
Zet je FM zender, op dummyload uiteraard, met zeer klein vermogen uitzendend, op exact dezelfde frequentie als dat normale radio station. Het is wel makkelijk om ergens hoog in de FM band een dergelijk station als BRT op te gaan zoeken, dan kun je tenminste met je FM zender ook op die frequentie komen. Niet alle zelfbouw FM zenders bereiken de gehele FM band, die zijn uiteraard meestal bedoeld om tussen de 100 MHz en 108 MHz uit te gaan zenden.
Luister nu naar de muziek op dat FM radio station, zet dezelfde muziek op als dat FM radio station, gebruik Cassettebandjes, Spotify, LP, of CD, 'what-ever', maar beter geen MP3 als geluidsbron en schakel wisselend heen en weer tussen naar BRT luisteren en naar eigen uitgezonden FM signaal luisteren dus zet de eigen FM zender wisselend steeds aan en uit.

Zet eerst door vooruit en achteruit te spoelen, de muziek van u zelf exact gelijk met het referentie FM station, dit luistert ten 1e het makkelijkst en ten 2e geeft dit op het gehoor ook de best mogelijk hoorbare afwijkingen indicaties van de 2 audio amplitude's.
Stel nu met instelpotmeter P7 het audio volume op het gehoor exact gelijk af met dat van het referentie BRT radio station. Als dit gelukt is en er totaal geen verschillen in geluidsterkte meer hoorbaar zijn, staan de stereo coder en de FM zender combinatie, mooi op 0 dB ingesteld qua audio uitzenden. Aan P7 hoeft nu niet meer gedraaid te worden.

7-
Haal de muziek audio weer van de FM zender af en stel de FM zender nu in op een normale vrije frequentie. Opnieuw vergelijken met BRT qua volume of zoiets is nu niet meer nodig.

8-
Zet de schakelaar voor mono weer uit, die blauwe led daarvan moet nu weer uit zijn.
Schakel nu alleen de schakelaar voor de 19 kHz piloottoon aan, de oranje led moet nu aan zijn.
Zet de radio tuner op de frequentie van de eigen FM zender en stel hem in op stereo.
Zet de eigen FM zender aan en draai daarna instelpotmeter P4 voor de 19 kHz piloottoon amplitude instelling langzaam rechtsom, totdat het stereo indicatielampje van de radio tuner aan gaat. Geef daarna P4 nog een halve slag extra.
Het exacte niveau van het piloottoon signaal zoek ik altijd proefondervindelijk uit, door te kijken met een analoge tuner uitgerust met S meter en Middenmeter, wat het stereo lampje doet als je de tuner langzaam enigszins naast of op de rand van de FM frequentie van je eigen FM zender of van een normaal omroep station zet. Bij een bepaald punt linksom of rechtsom draaien van de tuner afstemknop, zal het stereo lampje aan of uit gaan bij het FM omroep station. De bedoeling is om met P4 in de stereo coder dit gedrag van het stereo lampje in de radio tuner exact hetzelfde te krijgen als met de eigen FM zender. Zodra dat zo is, kan het niet anders dan dat het 19 kHz piloottoon signaal niet te hoog of te laag staat qua amplitude niveau.
Als het goed is, is deze amplitude ongeveer maximaal 10% van de totale audio amplitude van een normaal uitgezonden FM signaal. Dit is natuurlijk ook na te meten met een AC voltmeter, door een toongenerator met een 850 Hz sinus toontje of zoiets op 0 dB aan te bieden op zowel de L als de R ingang van de stereo coder (wel in fase dus die 2 signalen) en dan de audio amplitude daarvan te vergelijken met de 19 kHz piloottoon amplitude die de zender ingestuurd wordt, door afwisselend ofwel alleen de mono schakelaar van de stereo coder aan te zetten ofwel alleen de 19 kHz piloottoon schakelaar van de stereo coder aan te zetten.
Een en ander is dan te meten met de AC voltmeter op bijvoorbeeld de ingang-, of bovenkant in het schema van instelpotmeter P7.

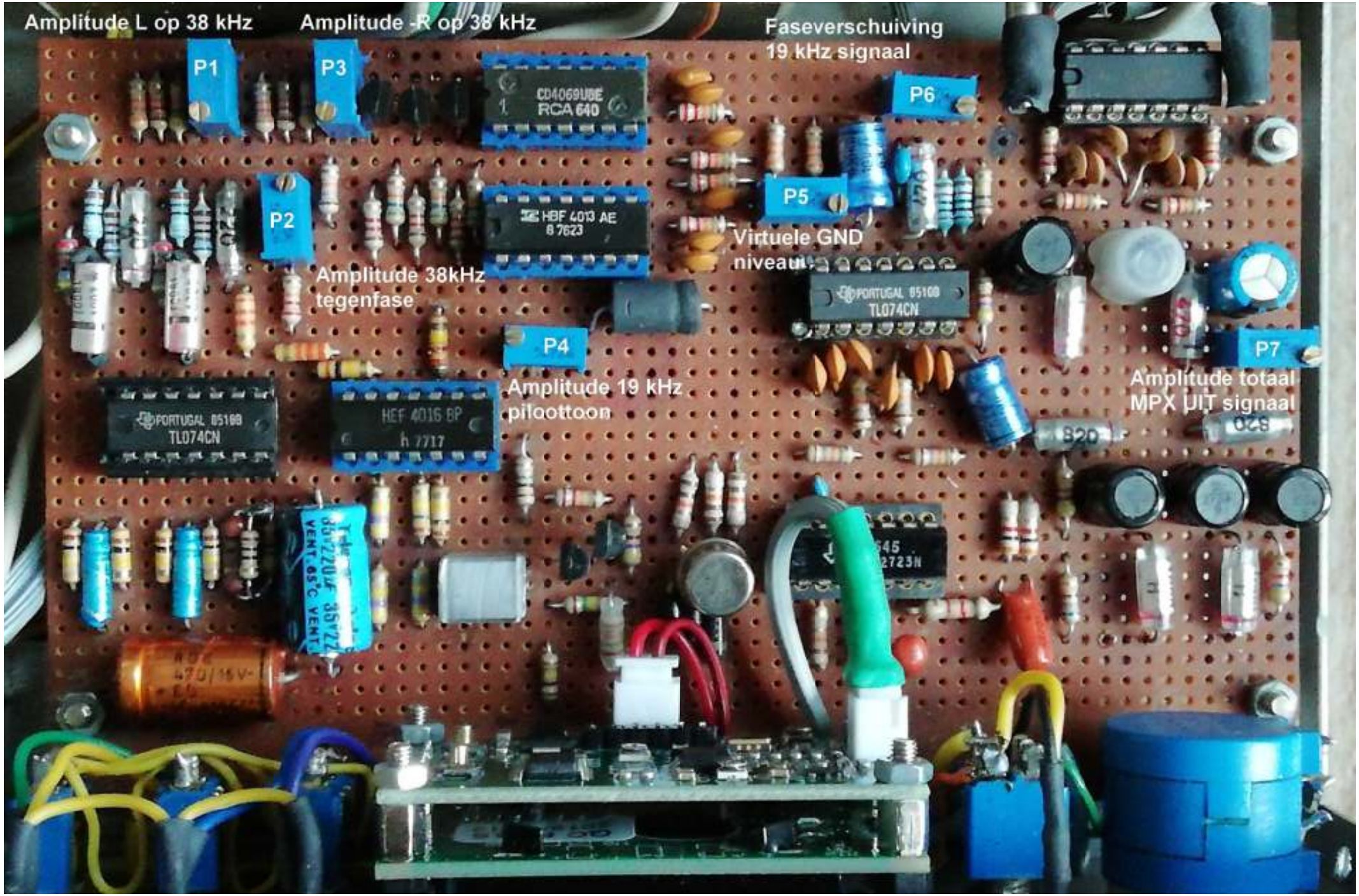
9-
Nu gaan we eerst de audio voor het L en het R kanaal in het mono kanaal exact gelijk zetten qua amplitude op het mengpaneel dat de stereo coder aan stuurt.
Zet de schakelaar voor 'mono' op aan, de andere 2 andere schakelaars uit, 1 blauw ledje moet nu aan zijn, het andere blauwe ledje en het oranje ledje moeten nu uit zijn.
Stel alleen op het L kanaal een sinus toon in van ong. 850 Hz op 0 dB, het R signaal volkomen stil laten.
Meet op pin 1 van het CD4066 IC de AC spanning voor het L mono kanaal, onthoudt deze waarde.
Stel alleen op het R kanaal een sinus toon in van ong. 850 Hz op 0 dB, het L signaal volkomen stil laten.
Meet op pin 1 van het CD4066 IC de AC spanning voor het R mono kanaal, onthoudt deze waarde.
Herhaal deze 2 stapjes hierboven, de bedoeling is, dat de twee gemeten AC waardes bij alleen L of alleen R, exact maar dan ook exact gelijk moeten zijn, stel op het mengpaneel, bij het L kanaal, bij het R kanaal, of bij beide, de 2 voorinstelling potmeters zo af, totdat dit ook echt zo is.
Daarna de L en R voorinstelling potmeters voor de 0 dB instelling op het mengpaneel zo laten staan en totaal niet meer verdraaien.

10-
Nu gaan we het stereo signaal instellen en de kanaalscheiding daarvan afregelen.
Zet alle 3 de schakelaars op aan, 2 blauwe ledjes en 1 oranje ledje moeten nu branden.
Stel alleen op het L kanaal een sinus toon in van ong. 850 Hz op 0 dB, het R signaal volkomen stil laten.
Luister naar de eigen FM zender via de tuner in de stereo stand, eigen FM zender moet wel aan staan natuurlijk
Draai langzaam instelpotmeter P1 omhoog, totdat de rechter luidspreker langzaam stiller wordt en zoek daar het punt op met het zachtste volume niveau van de hoorbare 850 Hz sinus toon, laat P1 in die stand staan.
Meet nu met een AC voltmeter de amplitude op aan de uitgang van op-amp TL074CN (1) pin 8, noteer en onthoudt deze spanning en ga nu meten op de uitgang van op-amp TL074CN (1) pin 14.
Regel nu met instelpotmeter P2 de spanning op dit punt exact gelijk af qua amplitude als het uitgangs signaal van de op-amp hierboven, zie de genoteerde waarde. Als deze 2 AC spanningen exact gelijk zijn, blijf dan verder van instelpotmeter P2 af.
Als het goed is moet het geluid uit het rechter kanaal, d.w.z. de rechter luidspreker, nu weer wat stiller geworden zijn dan vlak hiervoor, mogelijk is de hoorbare audio daar nu zelfs in zijn geheel wel weg.
Ga nu aan de instelpotmeter P6 draaien, en zoek op het oor de zachtste stand op van het geluid uit de rechter luidspreker, laat daarna verder P6 ook ongemoeid.

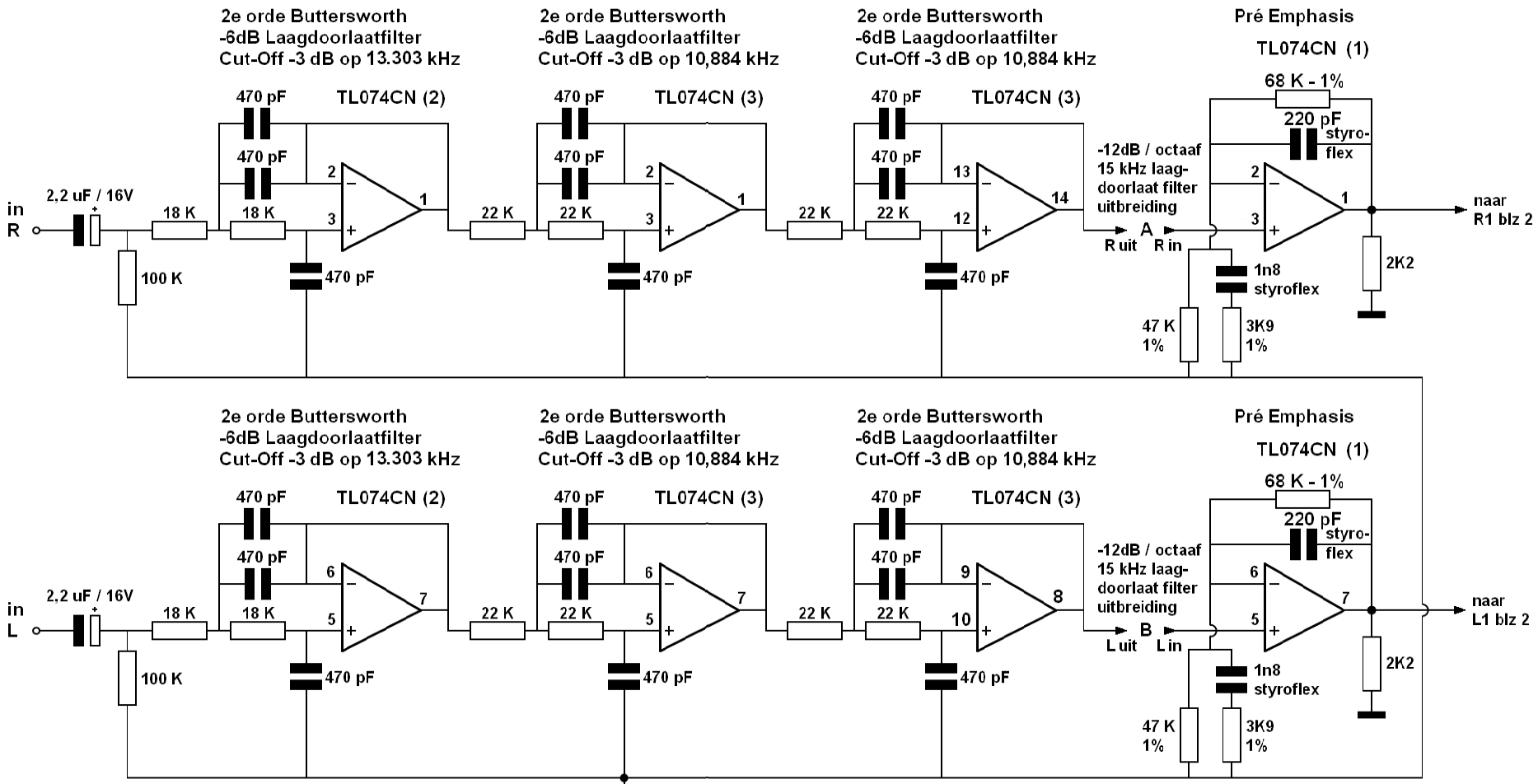
11-
Nu gaan we hetzelfde voor het R kanaal doen, dwz de overspraak naar de linker luidspreker minimaliseren.
Zet daarom nu de toongenerator uit voor het L kanaal en stuur nu alleen op het R ingangs kanaal van de stereo coder een 850 Hz sinus toon in op 0 dB. Linker kanaal dus stil.
Ga nu luisteren naar de linker luidspreker, en stel met instelpotmeter P3 de stereo coder in zodat de linker luidspreker het minste geluid produceert. Zodra dit punt bereikt is met P3, kan nogmaals de AC uitgangsspanning op op-amp TL074CN (1) pin 8 gemeten worden. Als het goed is, moet deze spanning vrijwel exact gelijk zijn als die eerdere AC spanning, welke bij afregelpunt 10 verkregen was bij de afregeling voor het L kanaal. Ook nu kan weer even gecheckt worden op de uitgang van op-amp TL074CN (1) pin 14, of deze AC spanning gelijk is daaraan, eventueel heel ligt instelpotmeter P2 nog even naregelen.
Ga nu nogmaals, deze keer heel voorzichtig, aan de instelpotmeter P6 draaien, en zoek op het oor de zachtste stand op van het geluid uit de linker luidspreker, laat daarna verder P6 ook ongemoeid.

12-
Herhaal de punten 10 en 11 hierboven, totdat er geen verbetering meer optreedt.
Het kan zijn dat de instelpotmeter P6 bij punt 10 ietsje anders ingesteld moet worden als onder punt 11 voor het meest optimale resultaat van de kanaalscheiding steeds.
Als dat het geval is, onthoudt dan de stand van de instelschroef bovenop instelpot P6 bij zowel de punt 10 afstelling als bij de punt 11 afstelling en stel deze instelpot vervolgens midden tussen deze 2 gevonden standen in, dit heeft dan als gevolg dat zowel voor het R als voor het L kanaal de meest optimaal gelijke kanaalscheiding ingesteld wordt.

13-
Dat was het.
Succes verder met deze stereo coder nabouwen, de literatuur ervan te bestuderen of wat dan ook.
Maar ik denk, het meeste succes toegewenst met het beluisteren, maar nu mooi in stereo kwaliteit, van uw eigen muziek.

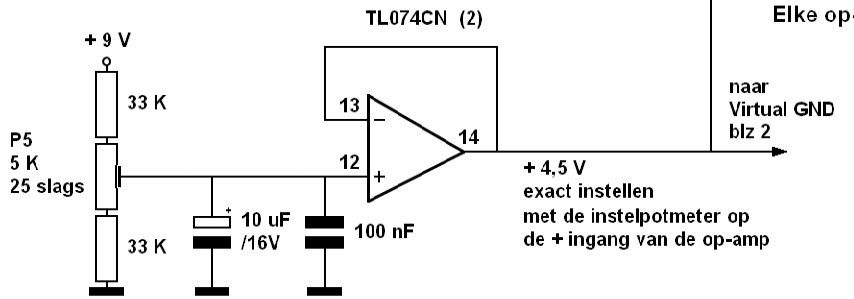

Amplitude L op 38 kHz
Amplitude -R op 38 kHz
Faseverschuiving
19 kHz signaal
P1
P3
P6
P2
P5
Virtuele GND
niveau
Amplitude 38kHz
tegenfase
P4
P7
Amplitude 19 kHz
pilootton
Amplitude totaal
MPX UIT signaal
CD4069UBE
RCA 640
HBF 4013 AE
TL074CN
HEF 4016 BP

Stereo Coder Gertjan - Versie 2021 - blz 1 van 2 -



Voedingsspanning elke TL074CN op-amp:
Pin 4 = Vcc = + 9 V
Pin 11 = Vee = GND
Elke op-amp ontkoppelen met 100 nF direct tussen pin 4 en pin 11

Rail Splitter / Virtual GND = + 4,5 V

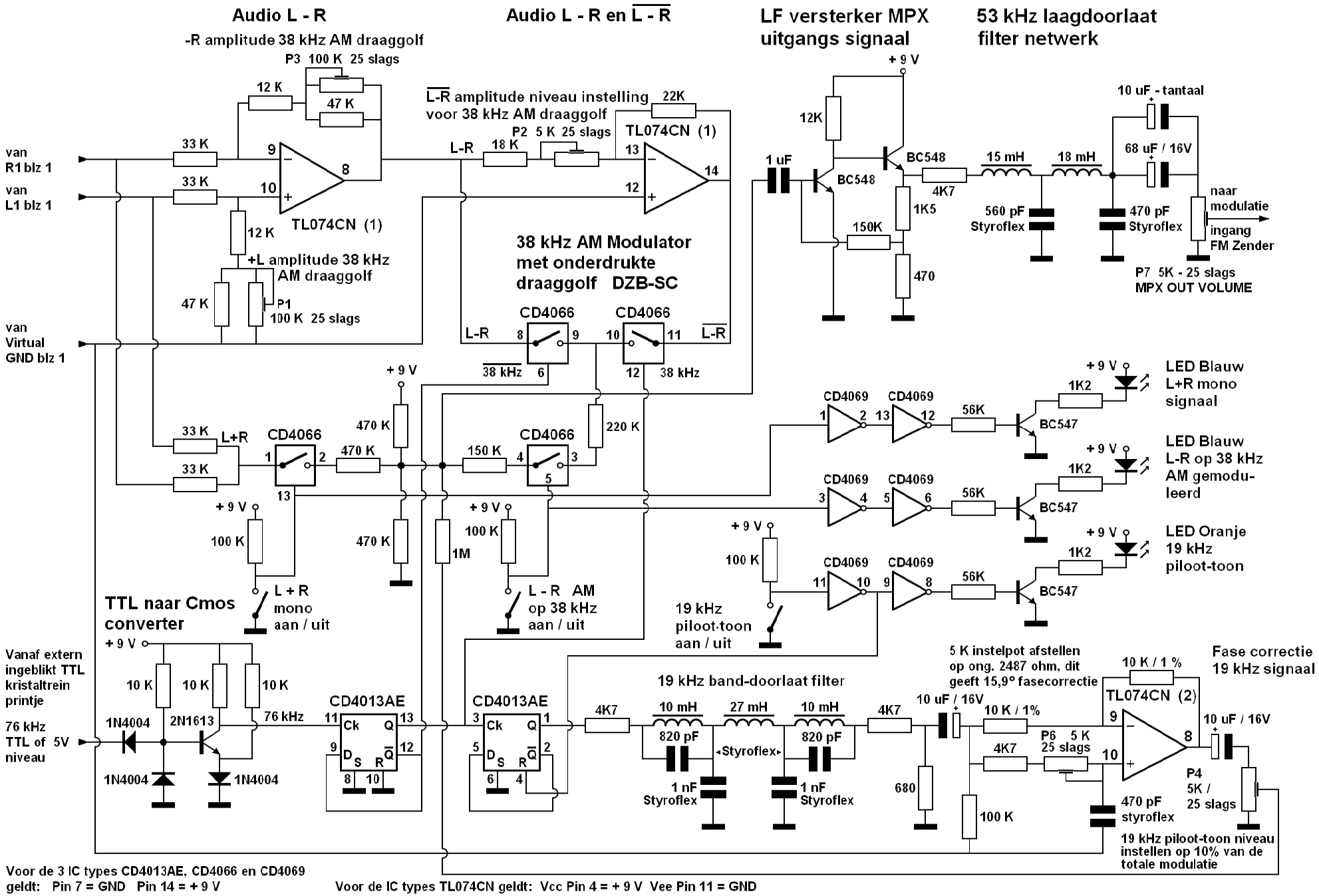


Formule voor het berekenen van de -3dB cut-off punten of kantelpunten van de 3 -6dB per oktaaf Buttersworth laagdoorlaat filtertjes teneinde de audio niet te laten doorsijpelen boven de 15 kHz zodat e.a.a niet interfereert met de 19 kHz piloottoon en de op 38 kHz AM gemoduleerde audio

$$\frac{\sqrt{2}}{4\pi RC}$$

13,303 kHz cut-off 1e op-amp geeft : - 5,57 dB op 19 kHz en : - 3,77 dB op 15 kHz
10,884 kHz cut-off 2e + 3e opamp geeft : - 14,95 dB op 19 kHz en : - 10,54 dB op 15 kHz
Het totale 3 op-amp filter dempt zodoende : - 20,52 dB op 19 kHz en : - 14,31 dB op 15 kHz

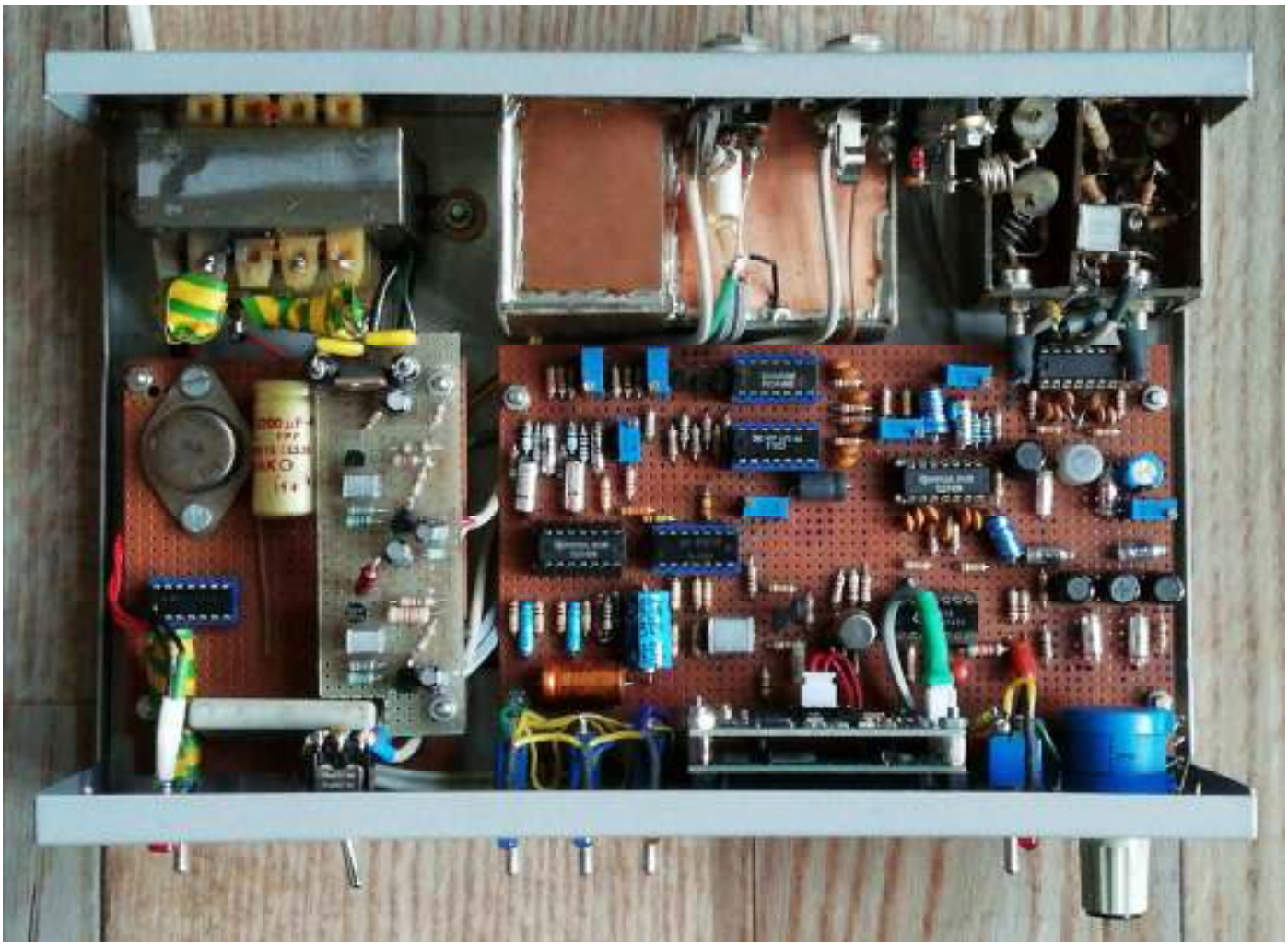
Stereo Coder Gertjan - Versie 2021 - blz 2 van 2 -



Ontwikkeling fases van het stereo coder project

Het begin van het project in 2019, stereo coder en FM stuurzender in de 1977 uitvoering.

Het eind van het project in 2021, stereo coder plus FM stuurzender en Ali Express frequentiecounter + display in de 2021 uitvoering.



Het eind van het project in 2021, Binnenwerk stereo coder plus FM stuurzender samen met de “ingeblikte kristaltrein in Chernobyl sarcofaag constructie” in de 2021 uitvoering.

Het eind van het project in 2021, stereo coder en FM stuurzender samen met de 0 – 7 watt instelbaar vermogen FM lineair daar bovenop in de eveneens uiteindelijke 2021 uitvoering.

Uitbreiding 15 kHz filter in Gertjan's stereo coder – versie 2021

Om te checken of het 15 kHz laag doorlaat filter in een stereo coder nu echt voldoet, of bijna voldoet, maar toch misschien niet echt …….. is het een goed idee om het volgende stukje trompet muziek eens voor de grap een keer de stereo coder in te gaan sturen:

"Der Alte Dessauer" van het "Org. Grenzland Sextet".

Niet echt mijn smaak deze "muziek soort" maar daar gaat het nu even niet om, het is wel een geweldig stukje "test"muziek om te checken of de 15 kHz laag doorlaat filtering van een stereo coder nu voldoet of toch niet.
Als met deze "test muziek" er geen rare nieuwe vreemde interferentie-toontjes bij de harde schallende trompetten van dit nummer te horen zijn, dan: Hartelijk gefeliciteerd met de 15 kHz laag doorlaat filtering in uw stereo coder, daar is dan helemaal niets mis mee.

Op YouTube is dit "Der Alte Dessauer" nummer, oftewel het 'Ultieme Trompetten Stereo Coder Martel Muziekje" van het "Org. Grenzland Sextet" te vinden op:

https://www.youtube.com/watch?v=SBxXp8wQmeg

Op Spotify is dit "Der Alte Dessauer" nummer, oftewel het 'Ultieme Trompetten Stereo Coder Martel Muziekje" van het "Org. Grenzland Sextet" te vinden op:

https://open.spotify.com/track/62KirVltgAw62Eu9E2okFJ?si=ll_a7JIiRGmsGU7atvWasA&utm_source=copy-link

Omdat ik niks vreemds hoorde met deze "test muziek" in mijn eigen Gertjan 2021 versie stereo coder, maar toch wel een beetje een verdenking had, zo van hoor ik nu wel iets raars of is dat toch pure verbeelding, heb ik besloten mijn hersenspinsel in deze, het voordeel van de twijfel te laten gunnen, met als gevolg dat ik het bestaande, bijna 6^{e} orde 15 kHz Buttersworth laag doorlaat filter in mijn stereo coder – versie 2021, nog wat verbeterd heb, d.w.z. dit nog wat steiler gemaakt heb.
Deze uitbreiding bestaat uit de toevoeging van een extra TL074CN Op-amp met bijbehorende R'tjes en C'tjes natuurlijk, zie het schema hierna.

Op schema 1 van mijn stereo coder – versie 2021, werden de twee punten A en B doorgesneden en daarna doorverbonden met de corresponderende punten A en B in het schema van de 15 kHz laag doorlaat filter uitbreiding, let op de L en R kanalen markeringen in de schema's.
Deze 15 kHz Buttersworth laag doorlaat filter uitbreiding zit nu functioneel geknutseld tussen de eerste drie op-amp's van het bestaande 15 kHz filter en de ingang van het pré Emphasis op-amp circuit, zie de aanwijzingen op schema 1 hiervoor.

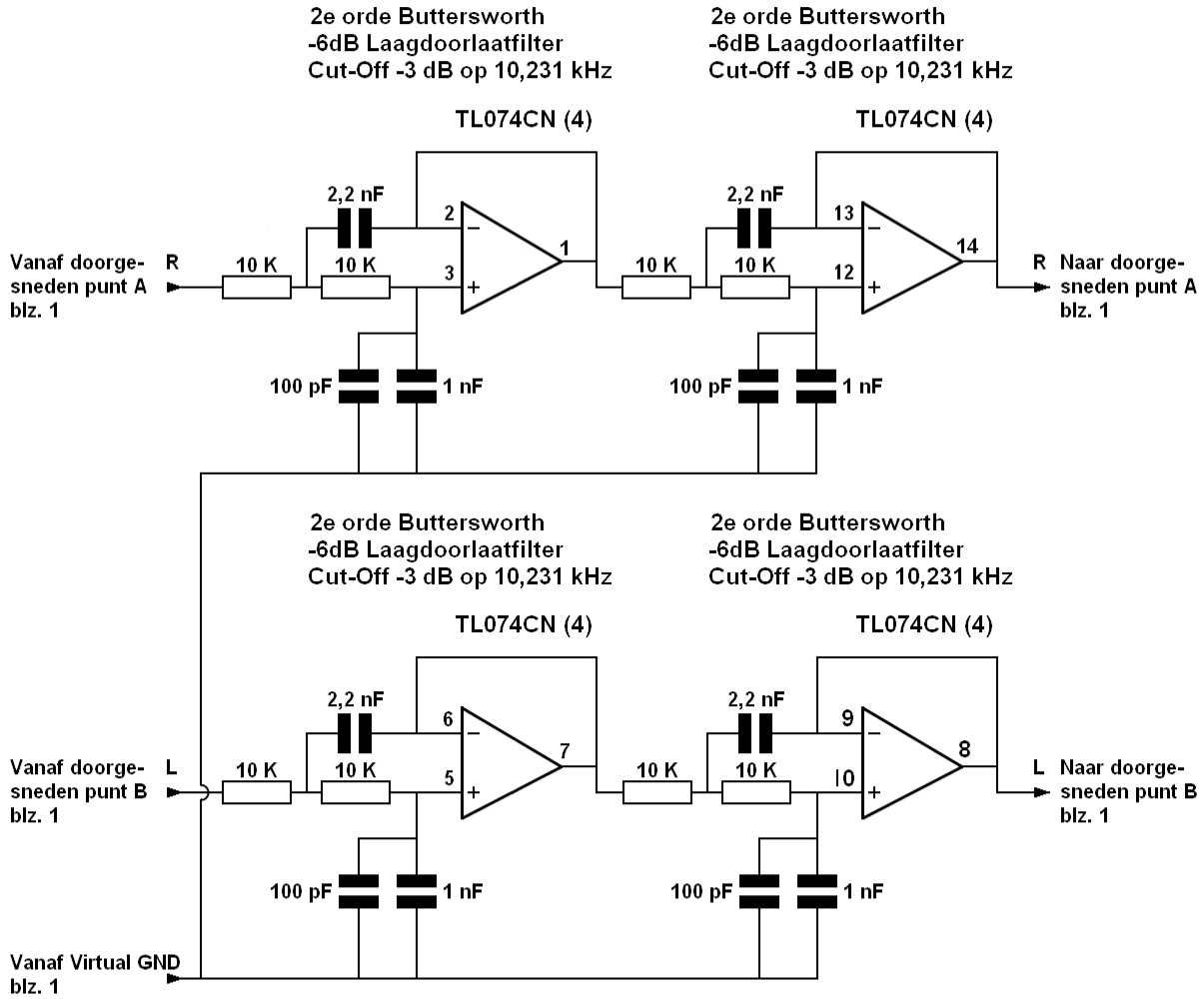
Er zitten 4 OpAmp's in een 14 pins TL074CN Op-amp IC waardoor er 2 extra -6 dB Buttersworth laag doorlaat filter trappen per kanaal toegevoegd zijn aan het al bestaande 15 kHz Buttersworth laag doorlaat filter van deze stereo coder.
Dit zorgt voor een extra 2 x -6 dB = -12 dB per octaaf laag doorlaat werking van dit filter, 2 op-amp's uit dit IC zijn benut voor het linker audio kanaal en 2 op-amp's uit dit IC zijn benut voor het rechter audio kanaal.
Het -3 dB punt van deze 2 extra laag doorlaat filter trappen is afgestemd op 10,231 kHz, d.m.v. R = 10 K en C = 1,1 nF, op bijna hetzelfde -3 dB kantelpunt als in 2 van de 3 trappen van het originele 15 kHz laag doorlaat filter uit schema 1.
Voor eventuele 15 kHz restsignalen in de audio levert dit een extra demping op van:
(- 3 – ((15000 / 10231) – 1) x 6) x 2 = - 11,59 dB
Voor hogere frequenties in de audio neemt deze demping alleen maar toe, op de uiterst kritische piloottoon frequentie van 19 kHz, mogen er vrijwel geen restsignalen in de audio keten aanwezig zijn met frequenties van om en nabij de 19 kHz.

Zo wordt voor mogelijke 19 kHz restsignalen in de audio een extra onderdrukking met dit IC bereikt van: (- 3 – ((19000 / 10231) – 1) x 6) x 2 = - 16,29 dB.

Deze 15 kHz Buttersworth laag doorlaat filter uitbreiding zorgt er nu voor dat het totale 15 kHz Buttersworth laag doorlaat filter, vervolgens uit 5 op-amp's per kanaal bestaat en dit zorgt nu voor bijna een -30 dB per octaaf 10^{e} orde laag doorlaat filter efficiënte werking.
Eventuele 15 kHz restsignalen in de audio keten worden daardoor gedempt met:
-14,31 dB + -11,59 dB = -25,90 dB.
Eventuele 19 kHz restsignalen in de audio keten worden daardoor gedempt met:
-20,52 dB + -16,29 dB = -36,81 dB.
Dit heeft echt korte metten met "Der Alte Dessauer" gemaakt.

Het schema ontwerp van deze 15 kHz laag doorlaat filter uitbreiding:

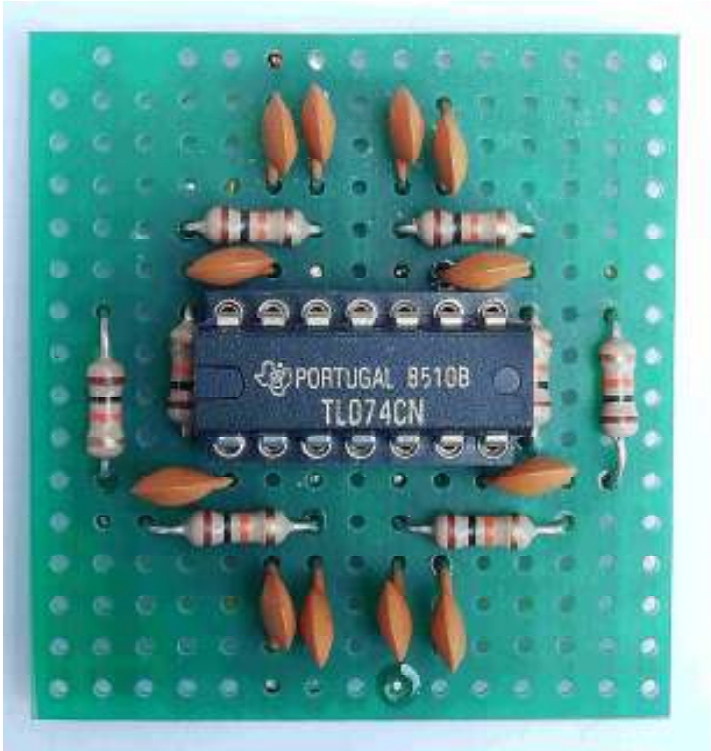
Stereo Coder Gertjan - Versie 2021 - 15 kHz Laag Doorlaat Filter Uitbreiding

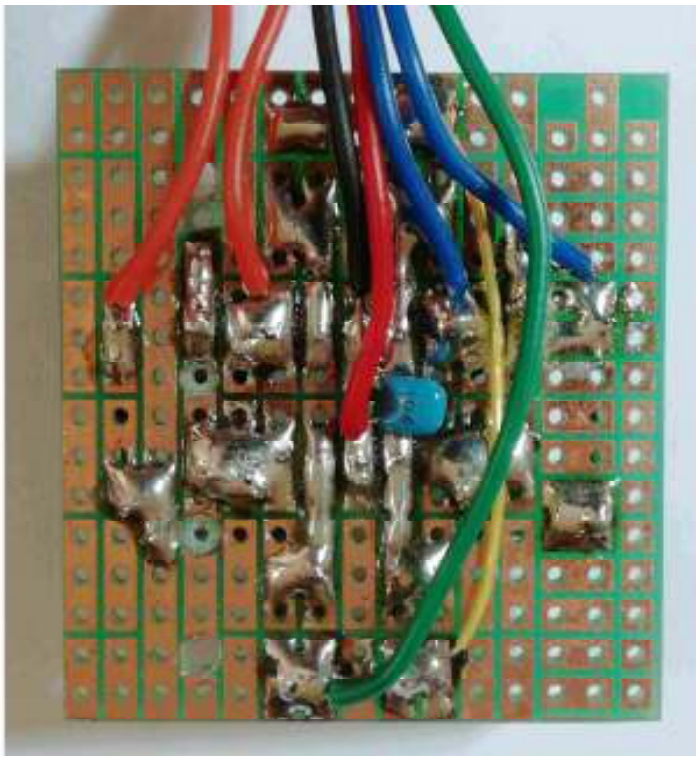


Voedingsspanning elke TL074CN op-amp:
Pin 4 = Vcc = + 9 V
Pin 11 = Vee = GND
Elke op-amp ontkoppelen met 100 nF direct tussen pin 4 en pin 11

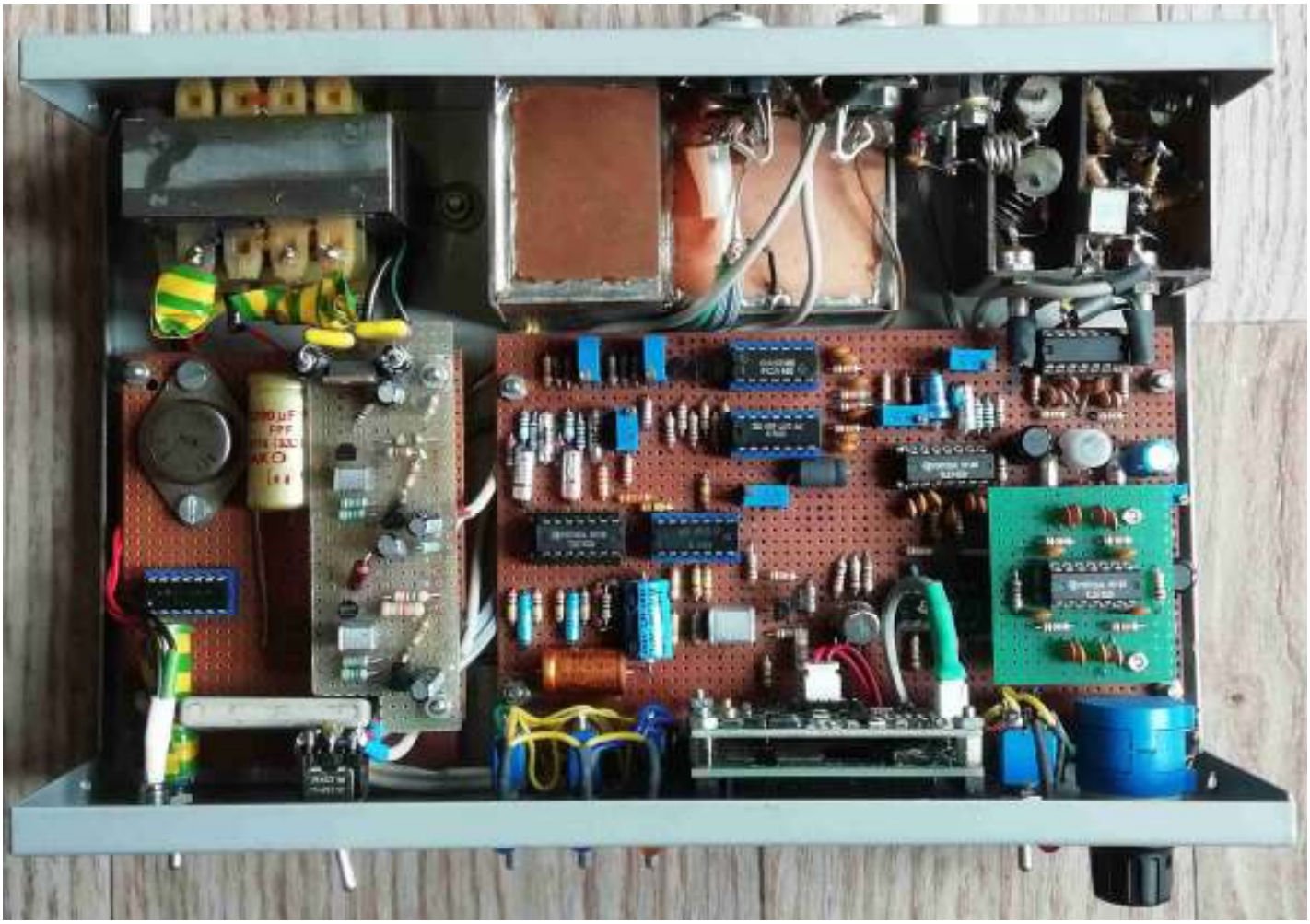
$$\frac{\sqrt{2}}{4 \pi R C}$$

Formule voor het berekenen van de -3dB cut-off punten of kantelpunten van de twee -6dB per octaaf Buttersworth laag doorlaat filters teneinde de audio niet te laten doorsijpelen boven de 15 kHz zodat e.e.a. niet interfereert met de 19 kHz piloottoon en de op 38 kHz in AM gemoduleerde audio.
10,231 kHz cut-off beide op-amp's geeft een extra demping van - 11,59 dB op 15 kHz
10,231 kHz cut-off beide op-amp's geeft een extra demping van - 16,29 dB op 19 kHz





Het printplaatje van de 15 kHz laag doorlaat filter uitbreiding, bovenzijde en onderzijde.



Binnenwerk stereo coder plus FM stuurzender samen met de “ingeblikte kristaltrein in Chernobyl sarcofaag constructie”, samen met bovenstaande 15 kHz laag doorlaat filter uitbreiding,

Extra aanvulling voor andere stereo coder's

Voor een goede vriend, die eveneens aan het experimenteren is met een 15 kHz laag doorlaat filter in zijn stereo coder, of althans dit mogelijk van plan is, heb ik twee ontwerp varianten voor een "dedicated" laag doorlaat voorzet filter gemaakt:

- De 1e variant is een 8e orde of -24 dB per octaaf Buttersworth 15 kHz laag doorlaat filter, hiervoor worden twee 14 pins op-amp IC types TL074CN gebruikt.

- De 2e variant is een 12e orde of -36 dB per octaaf Buttersworth 15 kHz laag doorlaat filter, hiervoor worden drie 14 pins op-amp IC types TL074CN gebruikt.

Uiteraard werkt de 2e variant effectiever dan de 1e variant, het is maar net hoeveel demping er nodig is. In bestaande stereo coders met goede 15 kHz laag doorlaat filters hebben, zou die 1e variant al kunnen voldoen, maar bij twijfel hierover zou ik zelf voor die betere 2e variant gaan.

Ook de stereo coder van hem heeft te maken met het "Der Alte Dessauer" van het "Org. Grenzland Sextet" fenomeen, oftewel het "enigszins over de nek gaan" van de stereo coder door de harde trompet solo's en in het bijzonder door de harde boventonen van die trompetten welke in de buurt van 15 kHz en mogelijk zelfs in de buurt van 19 kHz uitkomen.

Overigens werd ik via hem attent gemaakt op deze 15 kHz laag doorlaat filter tekortkomingen in bestaande en heel goed kwalitatief bekend staande stereo coder ontwerpen en schakelingen, die als kit's verkocht worden en door de halve piratenwereld in Nederland gebruikt worden in FM zenders, eigenlijk wel een minpunt daarin, iets waar ik toch even mijn wenkbrauwen bij fronste … De 'Der Alte Dessauer' stereo coder martel muziek kwam ook bij hem vandaan.

Om dit soort onvolkomenheden aan te pakken, heb ik volgende 2 ontwerpen gemaakt voor ofwel een 8e orde of -24 dB per octaaf 15 kHz Buttersworth laag doorlaat filter, ofwel een 12e orde of -36 dB per octaaf 15 kHz Buttersworth laag doorlaat filter, wat als een soort "voorzet 15 kHz laag doorlaat filter" gebruikt kan worden binnen reeds bestaande stereo coder schakelingen.

De 2 schema ontwerpen heb ik toegevoegd in deze documentatie omdat er heel nuttige informatie in te vinden is ter naslag om dit type laag doorlaat filters te kunnen berekenen en samen te stellen, ook vergezeld met uitgewerkte alternatieve -3 dB kantelpunt uitvoering voorbeelden daarvan.

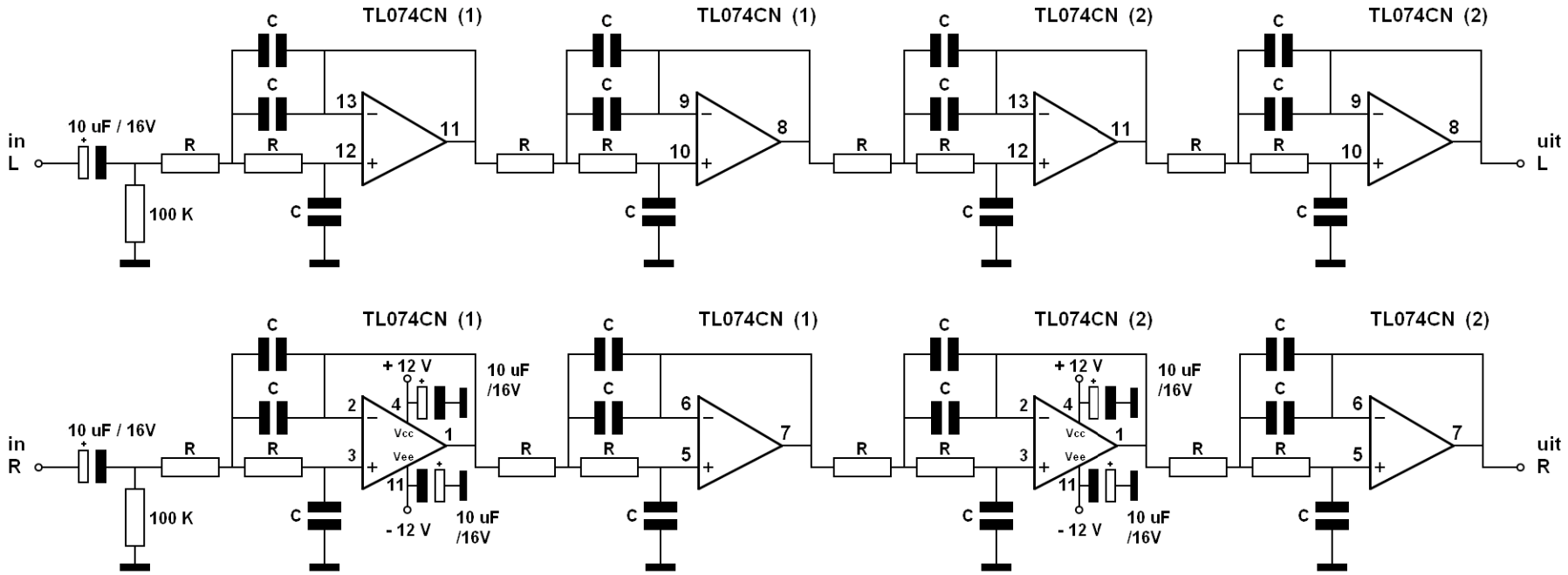
Omdat zijn stereo coder gevoed wordt vanuit een bipolaire +12 V en –12V voedingsspanning, is dat hier in dit ontwerp ook zo toegepast, die 'Virtuele GND' hulpschakeling zoals in mijn eigen stereo coder – versie 2021 uitvoering, is bij dit ontwerp niet nodig. Door een bipolaire voeding te gebruiken is het 'dynamische bereik' van dit filter ontwerp ook groter, immers de amplitudes van de in- en uitgang audio signalen mogen veel hoger zijn, is niet echt nodig maar het mag en kan dus wel.

Met behulp van het 1e en 2e schema van mijn eigen stereo coder – versie 2021 en daarvan wel weer de 'virtuele GND' schakeling te benutten, kan dit filter ontwerp overigens probleemloos weer omgezet worden voor gebruik in stereo coder's met enkelvoudige voedingsspanning, zoals met die + 9V enkelvoudige voedingspanning in mijn eigen Gertjan stereo coder – 2021 uitvoering.

Dit was het wel zo'n beetje, lijkt me wel compleet nu, dit 'proefschrift'.

Gertjan
08-05-2021

-24 dB 8e order 15 kHz Laag Doorlaat Filter voor STEREO CODER



Schakeling geschikt om als 15 kHz laagdoorlaatfilter te gebruiken binnen een FM Stereo Coder.
De -24 dB per octaaf laag doorlaat filter werking wordt bewerkstelligd door de som van 4 OpAmp schakelingen die elk -6 dB per octaaf voor hun rekening nemen. Uit de volgende formule kan de 1e -3dB kantel punt knik omlaag in de filter grafiek worden uitgerekend:

Formule: -3 dB kantel punt, of F-cut-off : $\frac{\sqrt{2}}{4 \pi R C}$ **In deze formule moet de aanvullende voorwaarde voor R gebruikt worden: 10 K < R < 100 K**

Daarna kan dan de 'demping' bij een bepaalde frequentie als volgt berekend worden: Laag doorlaat demping = (- 3 - ((F-gewenst / F-cut-off) - 1) x 6) x 4 waarbij dan voor F-cut-off de frequentie ingevuld dient te worden uit de 1e formule van het -3 dB kantel punt.

Reken voorbeeld: Bij een R waarde van 22K en een C waarde van 470 pF komen we volgens de formule uit op een -3 dB kantel punt of F-cut-off:

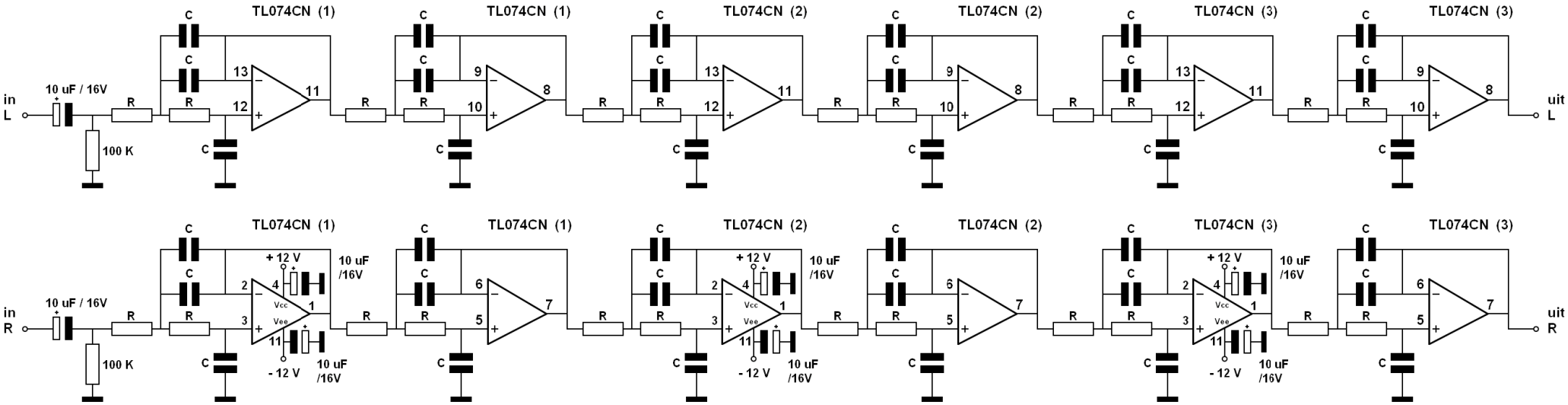
$$\text{F-cut-off} = \frac{\sqrt{2}}{4.\pi.22.10e3 \times 470.10e\text{-}12} = 10{,}884 \text{ kHz}$$

Voor een filter met het -3 dB punt op 10,884 kHz wordt de verzwakking bij een 15 KC ingangssignaal dan:
(- 3 - ((15000 / 10884) - 1) x 6) x 4 = - 21,08 dB
en bij een 19 KC ingangssignaal wordt de verzwakking:
(- 3 - ((19000 / 10884) - 1) x 6) x 4 = - 29,90 dB

Voorbeelden van mogelijke uitvoeringen van dit filter, voor verschillende - 3 dB F-cut-off kantel punten

9,135 kHz:	R = 22 K , C = 560 pF	bij 15 KC = - 27,41 dB	bij 19 KC = - 37,92 dB
10,048 kHz:	R = 20 K , C = 560 pF	bij 15 KC = - 23,83 dB	bij 19 KC = - 33,38 dB
10,884 kHz:	R = 22 K , C = 470 pF	bij 15 KC = - 21,08 dB	bij 19 KC = - 29,90 dB
11,972 kHz:	R = 20 K , C = 470 pF	bij 15 KC = - 18,07 dB	bij 19 KC = - 26,09 dB
12,630 kHz:	R = 27 K , C = 330 pF	bij 15 KC = - 16,50 dB	bij 19 KC = - 24,10 dB
13,303 kHz:	R = 18 K , C = 470 pF	bij 15 KC = - 15,06 dB	bij 19 KC = - 22,28 dB
13,398 kHz:	R = 15 K , C = 560 pF	bij 15 KC = - 14,87 dB	bij 19 KC = - 22,03 dB
14,428 kHz:	R = 20 K , C = 390 pF	bij 15 KC = - 12,95 dB	bij 19 KC = - 19,61 dB

-36 dB 12e order 15 kHz Laag Doorlaat Filter voor STEREO CODER



Schakeling geschikt om als 15 kHz laagdoorlaatfilter te gebruiken binnen een FM Stereo Coder.
De -36 dB per octaaf laag doorlaat filter werking wordt bewerkstelligd door de som van 6 OpAmp schakelingen die elk -6 dB per octaaf voor hun rekening nemen.
Uit de volgende formule kan de 1e -3 dB kantel punt knik in de filter grafiek worden uitgerekend.

Formule: -3 dB kantel punt, of F-cut-off : $\frac{\sqrt{2}}{4 \pi R C}$ **In deze formule moet de aanvullende voorwaarde voor R gebruikt worden: 10 K < R < 100 K**

Daarna kan dan de 'demping' bij een bepaalde frequentie als volgt berekend worden: Laag doorlaat demping = (- 3 - ((F-gewenst / F-cut-off) - 1) x 6) x 6
waarbij dan voor F-cut-off de frequentie ingevuld dient te worden uit de 1e formule van het -3 dB kantel punt.

Reken voorbeeld: Bij een R waarde van 22K en een C waarde van 470 pF komen we volgens de formule uit op een -3 dB kantel punt of F-cut-off:

$$\text{F-cut-off} = \frac{\sqrt{2}}{4.\pi.22.10e3 \times 470.10e-12} = 10{,}884 \text{ kHz}$$

Voor een filter met het -3 dB punt op 10,884 kHz wordt de verzwakking bij een 15 KC ingangssignaal dan:
(- 3 - ((15000 / 10884) - 1) x 6) x 6 = - 31,61 dB
en bij een 19 KC ingangssignaal wordt de verzwakking:
(- 3 - ((19000 / 10884) - 1) x 6) x 6 = - 44,84 dB

Voorbeelden	9,135 kHz:	R = 22 K , C = 560 pF	bij 15 kHz = - 41,11 dB	bij 19 kHz = - 56,88 dB
van mogelijke	10,048 kHz:	R = 20 K , C = 560 pF	bij 15 kHz = - 35,74 dB	bij 19 kHz = - 50,07 dB
uitvoeringen	10,884 kHz:	R = 22 K , C = 470 pF	bij 15 kHz = - 31,61 dB	bij 19 kHz = - 44,84 dB
van dit filter,	11,972 kHz:	R = 20 K , C = 470 pF	bij 15 kHz = - 27,11 dB	bij 19 kHz = - 39,13 dB
voor verschil-	12,630 kHz:	R = 27 K , C = 330 pF	bij 15 kHz = - 24,76 dB	bij 19 kHz = - 36,16 dB
lende - 3 dB	13,303 kHz:	R = 18 K , C = 470 pF	bij 15 kHz = - 22,59 dB	bij 19 kHz = - 33,42 dB
F-cut-off	13,398 kHz:	R = 15 K , C = 560 pF	bij 15 kHz = - 22,30 dB	bij 19 kHz = - 33,05 dB
kantel punten	14,428 kHz:	R = 20 K , C = 390 pF	bij 15 kHz = - 19,43 dB	bij 19 kHz = - 29,41 dB