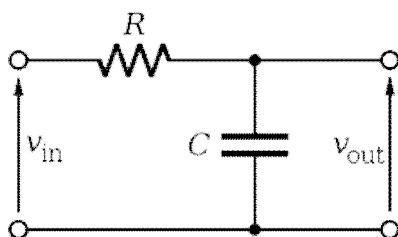


Een korte inleiding in de elektronica achter VCFs en de Korg VCF-35 -Heiko vd Linden

Naar aanleiding van de discussies over korg VCF 35 mods en klonen heb ik een stukje in elkaar gezet over hoe VCFs elektronisch functioneren zodat iemand met een laag instapniveau kan snappen hoe VCFs werken en daardoor ook kan snappen hoe de Korg VCF35 chip werkt. Verder heb ik het schema van de Korg MS-10 LPF getekend en de HPF/LPF filter mod, die ik een paar jaar geleden bedacht heb, genoteerd. Veel leesplezier en succes met evt. nabouwen en modden. Mochten er fouten in dit document zitten, laat me dit dan svp even weten en de kennis in dit document is alleen voor leerdoeleinden. Mochten er tijdens het modden dingen fout gaan, mocht je huis afbranden, je kat ontploffen, etc dan heb ik het niet gedaan! En ga verantwoordelijk om met 220V apparaten! Don't ride the lightning...

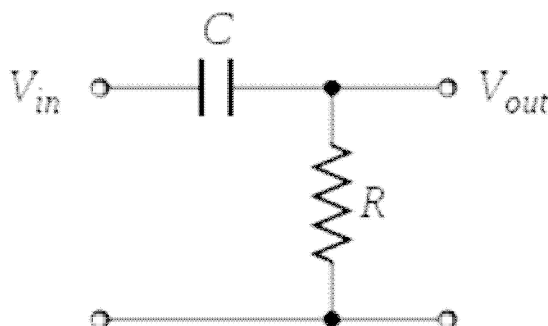
Hoe werkt het Korg VCF-35 filter en VCFs in het algemeen?

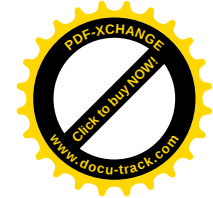
Hoe het filter werkt is eigenlijk redelijk simpel en ik zal hier de theorie van dit filter (en van andere filters zoals het diodeladder filter uitleggen). Als we uitgaan van een basis low pass filter dan hebben we een weerstand en een condensator nodig. Op de weerstand komt het ingangssignaal binnen en dit wordt geleid naar het knooppunt met de condensator die naar aarde zit en op dit knooppunt wordt ook het uitgangssignaal gehaald.



Zo een filter heeft een 'slope' van 6dB/octaaf en als meerdere van deze RC-filtereenheden in serie worden gezet krijg je 'hogere orde' filters zoals 12dB/octaaf, 18dB/octaaf en 24dB/octaaf. De Korg MS-reeks heeft 12dB/octaaf filters in de VCF 35 filters en een voorbeeld van 24dB/octaaffilters zijn de filters van Moog en Arp (bv. de diodeladder filters).

We kunnen ook een high-pass filter maken en dat doen we simpelweg door de positie van de weerstand en de condensator te verwisselen.





Nou zouden we een verstelbaar 12, 18, 24dB/octaaf-filter kunnen maken door de weerstanden te vervangen door potmeters en al deze potmeters tegelijk te verdraaien. Dit zou bijvoorbeeld kunnen door de assen van de potmeters met elkaar te verbinden zodat we alle potmeters bij het verdraaien van de as tegelijkertijd op dezelfde weerstandswaarde instellen.

Dit is in principe mogelijk voor een 12dB/octaaf filter omdat we nog wel aan dubbele potmeters kunnen komen, maar potmeters waar 3 of 4 potmetereenheden aan één as verbonden zijn, zijn (bijna) niet aan te komen en veel te duur.

Een slimme truuk om toe te passen is om elektronische componenten te nemen waarvan we de weerstandswaarde elektrisch (met bijvoorbeeld een spanning of een stroom kunnen afstellen). Als we dan de weerstand(en) in een low-pass filter vervangen door deze elementen én we de stuurspanning voor de filter cutoff verbinden aan beide spanningsafhankelijke weerstanden dan kunnen we met één spanning of stroom de cutoff van een filter afstellen. Het maakt dan niet uit of we 2,3 of 4 van deze RC-eenheden gebruiken om een 12,18 of 24dB/octaaf filter te maken, want met één stuursignaal stellen we tegelijkertijd alle RC-eenheden af op dezelfde cutoff. Dit principe is de basis voor alle CV-gestuurde filters zoals we die vinden op oude analoge synthesizers zoals de Moog, ARP, Roland, Korg synthesizers. Eén stuursignaal stelt de cutoff in van meerdere RC-eenheden en door het aantal RC-eenheden wat we in serie zetten bepalen we de orde van het filter. Trouwens, resonance is ook heel simpel: we sturen een deel van het signaal van de uitgang van het filter weer terug naar de ingang van het filter. Eigenlijk precies hetzelfde wat er gebeurt als je een elektrische gitaar laat feedbacken door de gitaar dicht voor de versterker te houden, piece of cake.

Hoe maken we nou praktisch gezien een spannings- of stroomafhankelijke weerstand? Eén van de meest simpele trucs is om een Vactrol te gebruiken. Een Vactrol is een component met in de lichtdichte behuizing een lichtafhankelijke weerstand (LDR: light-dependent resistor) met daar tegenover een lampje of LED (light emitting diode). Als we spanning over het lampje groter maken, zal dit harder gaan branden, waardoor meer licht op de LDR komt en de weerstand verandert. Dus we hebben nu een component waarvan we de weerstand kunnen veranderen door de spanning op de lamp te veranderen. Dit concept werkt in principe en wordt ook toegepast in bepaalde filters (met name in vintage gitaareffecten). Het nadeel van Vactrols is dat ze duur zijn, niet heel erg nauwkeurig zijn en ook dat ze niet goed 'gematched' zijn. Ik zal de laatste term, 'gematched' nog even uitleggen...

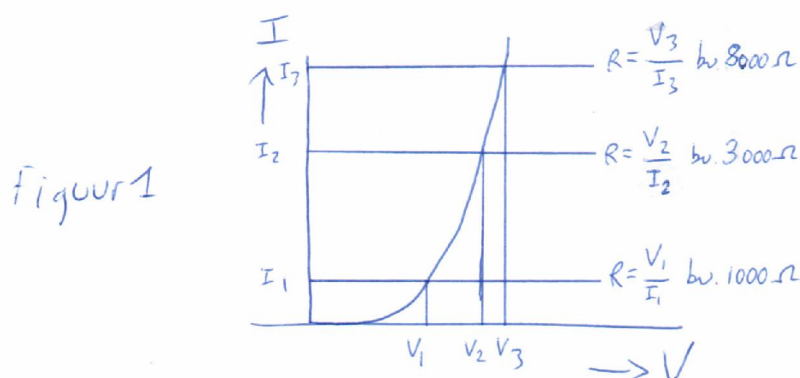
Waarom is 'matching' belangrijk?

Als we meerdere RC-filtereenheden in serie zetten om een hogere orde filter te maken moeten de cutoff-frequenties van de RC-eenheden aan elkaar gelijk zijn. Als je dit niet doet zou je bijvoorbeeld een tweede-ordefilter kunnen krijgen waar de eerste weerstand 10% varieert ten opzichte van de tweede weerstand. Dit betekent dat de eerste RC-eenheid een 10% hogere of lagere cutoff-frequentie heeft dan de tweede RC-eenheid. We zouden een slecht filter krijgen met een foute slope, omdat de eerste filtersectie bij 900Hz afvalt en de tweede filtersectie bij 1000Hz. Het filter klinkt dan minder scherp en dat willen we niet. We moeten dus zorgen dat de weerstanden, potmeters of elektrisch aanstuurbare weerstanden altijd dezelfde waarde hebben ten opzichte van elkaar bij

hetzelfde stuursignaal (de rotatiehoek van de potmeter, de stuurspanning of de stuurstroom). We bereiken dit door de weerstanden, potmeters of elektrische componenten zo bij elkaar te kiezen dat ze dezelfde weerstand hebben. Dit heet 'matchen'. In de praktijk pak je voor elektrisch-afhankelijke weerstanden een groot aantal van deze componenten en meet hun karakteristiek door. Na het doormeten van de karakteristiek stoppen we de componenten in bakjes met een bepaalde range (bv. 1, 2, 3, 4, 5, etc.) en als we genoeg gematchede componenten in een bakje hebben dan kunnen we ons filter maken. Dit proces heet matching en 'binning'. De conclusie is dat de weerstanden in het filter dus nauwkeurig moeten overeenkomen en dat we dit kunnen bereiken door de weerstandscomponenten te matchen en binnenvoeren. Als we met gematchede componenten een filter maken, weten we zeker dat de cutoff-frequenties overeenkomen en dat het filter een goede karakteristiek heeft.

Nu weer terug naar de spanningsgestuurde filter: we hebben een spanningsafhankelijk weerstanden nodig die we vervolgens met hetzelfde CV-signaal aansturen. Dit zouden we kunnen doen met Vactrols, maar zoals boven al vermeld hebben deze een aantal nadelen. De vraag is nu of we op een andere manier aan spannings- of stroomafhankelijke weerstanden kunnen komen? Het antwoord op deze vraag is ja, anders waren er namelijk geen voltage controlled filters, en we doen dit vaak door middel van diodes of transistoren. Een andere truc is het gebruik van zogenaamde operationele transconductantieverstarkers (OTAs: operational transconductance amplifier). Om alvast een tipje van de sluier op te lichten: in de oude Moog en Arp filters zitten diodes als stroomafhankelijke weerstanden. Ook in de TB-303 zit zo een 'diodeladderfilter'. In een Korg MS VC-35 filter worden transistoren gebruikt en in de latere Korg MS filters zitten OTAs. Al deze verschillende filters hebben hun eigen klankkleur en dit hangt af van de gebruikte componenten, de elektrische opbouw van het filter (de filtertopologie), etc. Maar hier gaan we het niet nu over hebben.

De truc: de spanning over een diode of transistor is een functie van de aangelegde stroom over de diode of transistor. Deze spanning is een niet-lineaire functie van de aangelegde stroom wat handig is maar dat leg ik later uit.



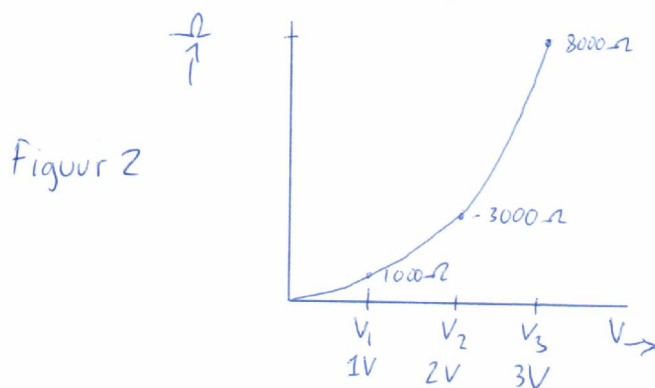
Nou zou je natuurlijk kunnen zeggen: 'dat is leuk, maar wat heeft dit met weerstand te maken?'. Het lijkt inderdaad dat je met een diode geen stroomafhankelijke weerstand kan maken maar als we naar de wet van Ohm kijken (de wet het verband legt tussen de

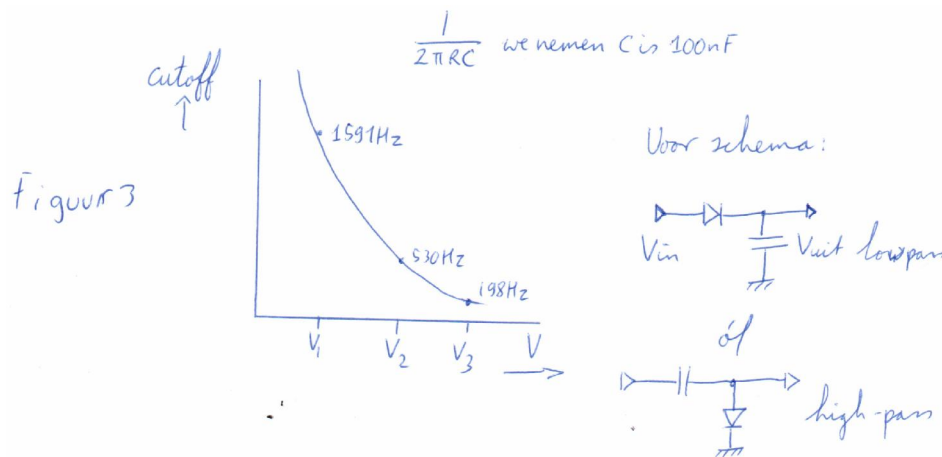
weerstand, spanning en stroom) dan zien we dat we in de grafiek van de diodekarakteristiek de omgekeerde van de weerstand hebben staan!

De wet van Ohm zegt: $R=V/I$ oftewel: de weerstand van een component is gelijk aan de spanning over de component gedeeld door de weerstand die door de component loopt. Als we nu naar de diodekarakteristiek kijken dan is de getekende lijn gelijk aan I/V (je moet de Y-as delen door de X-as). Deze grootheid, I/V , heet de conductantie (aangeduid met g). We kunnen de wet van Ohm nu herschrijven en krijgen: $1/R = I/V$. Voor de implementatie van een filter maakt het niet uit of we naar conductantie of weerstand kijken: het effect is hetzelfde.

Of we een diode of transistor gebruiken maakt niet uit: de karakteristiek van de aangelegde spanning en de stroom door de diode of transistor is gelijk. Allebei de componenten kunnen we dus gebruiken als een stroomafhankelijke weerstand in een filter.

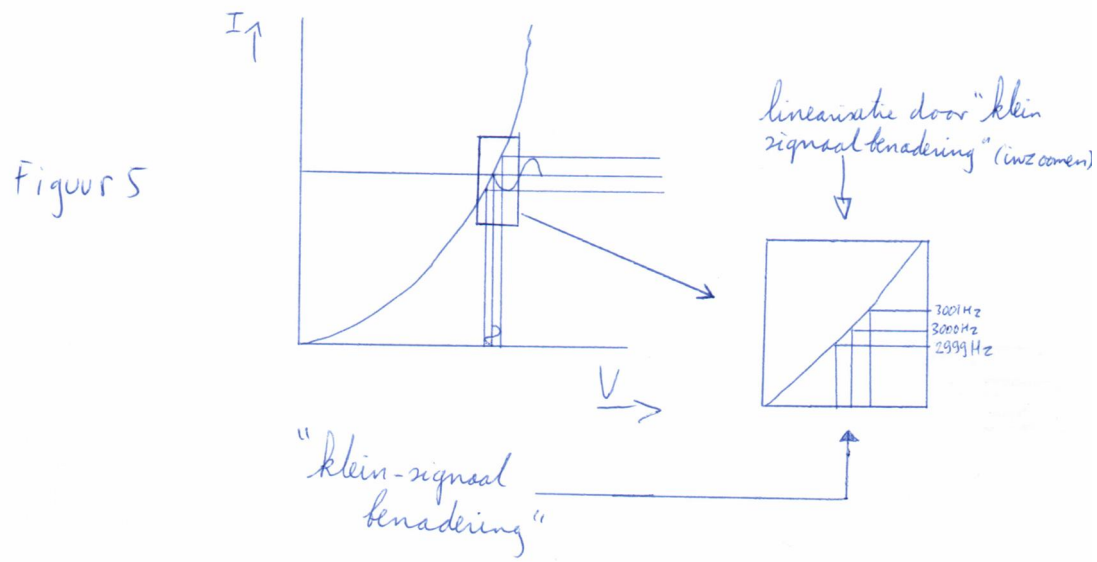
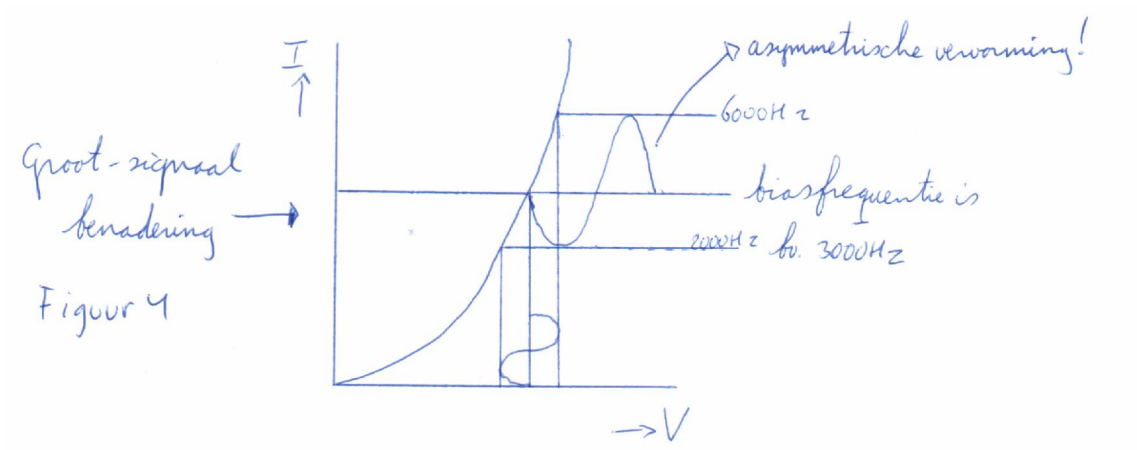
Stel je voor dat je de weerstand in een RC filter vervangt door een diode of transistor dan hangt de waarde van de weerstand van de diode of transistor af van de stroom die door de diode of transistor loopt. We hebben dus een manier gevonden om een stroomafhankelijke cutoff in het filter te bouwen. Het mooie van diodes en transistoren is dat ze erg goedkoop zijn en dat we ze makkelijk kunnen matchen waardoor we nauwkeurige filters kunnen maken. Ideale componenten dus om voltage controlled filters mee te maken!



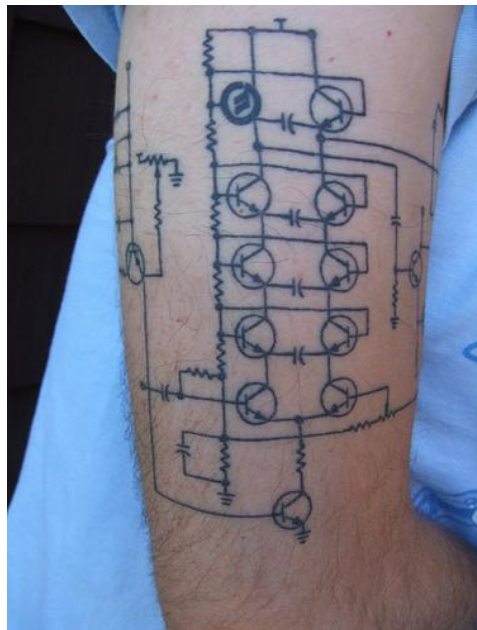


Er is echter nog wel één uitdaging: we moeten een geluidssignaal door het filter kunnen sturen en de cutoff kunnen afstellen! Hoe doen we dit? We zorgen dat we de cutoff instellen met een gelijkstroom/gelijkspanning en we zorgen dat we het audiosignaal wat we over de filtereenheid zetten erg klein is (bv. een paar millivolt: 0,001V) ten opzichte van de instelstroom/instelspanning (dit heet de 'bias').

Als we het ingangssignaal groot zouden maken ten opzichte van de bias dan zou de cutoff-frequentie gaan variëren als functie van het ingangssignaal. Dit heb ik getekend in figuur 4 en het is duidelijk dat we dit niet willen, want de cutoff-frequentie varieert in dit fictieve voorbeeld tussen de 2000Hz en 6000Hz door het aangelegde sinussignaal. Dit willen we niet en daarom maken we het ingangssignaal heel klein ten opzichte van de bias. Dit heb ik getekend in de figuur 5. We maken hier gebruik van de klein-sigitaalbenadering, een term uit de electronica die dit principe aangeeft en van nog een ander belangrijk principe uitgaat namelijk dat als we een klein signaal zetten op een niet-lineaire karakteristiek dat het signaal toch lineair verwerkt wordt. Okee wat betekent dit? Nou eigenlijk simpel: als we kijken naar de groot-sigitaalgrafiek dan zien we dat de ingangssinus niet in gelijke vorm uit de karakteristiek komt. De bovenkant van de sinus is groter dan de onderkant. Dit komt door het exponentiële karakter van de diode/transistorkarakteristiek. Als we nu een klein signaal op de exponentiële karakteristiek zetten dan gedraagt de karakteristiek zich lineair. Dit komt omdat we 'inzoomen' op een heel klein stukje van de exponentiële karakteristiek én als we maar genoeg inzoomen op wat voor karakteristiek ook dan zal deze er lineair uitzien. Dus het gebruik van een klein signaal zorgt ervoor dat de cutoff-frequentie niet varieert op de maat van het geluidssignaal en dat het signaal lineair verwerkt wordt en niet vervormd wordt door de niet-lineaire karakteristiek van de diode/transistor.



Okee! We hebben nu de theorie, en het moeilijke stuk gehad, en kunnen nu gaan kijken naar praktische filters. Hieronder staat een Moog ladder filter schema (op iemands arm weliswaar :-S maar toch...)

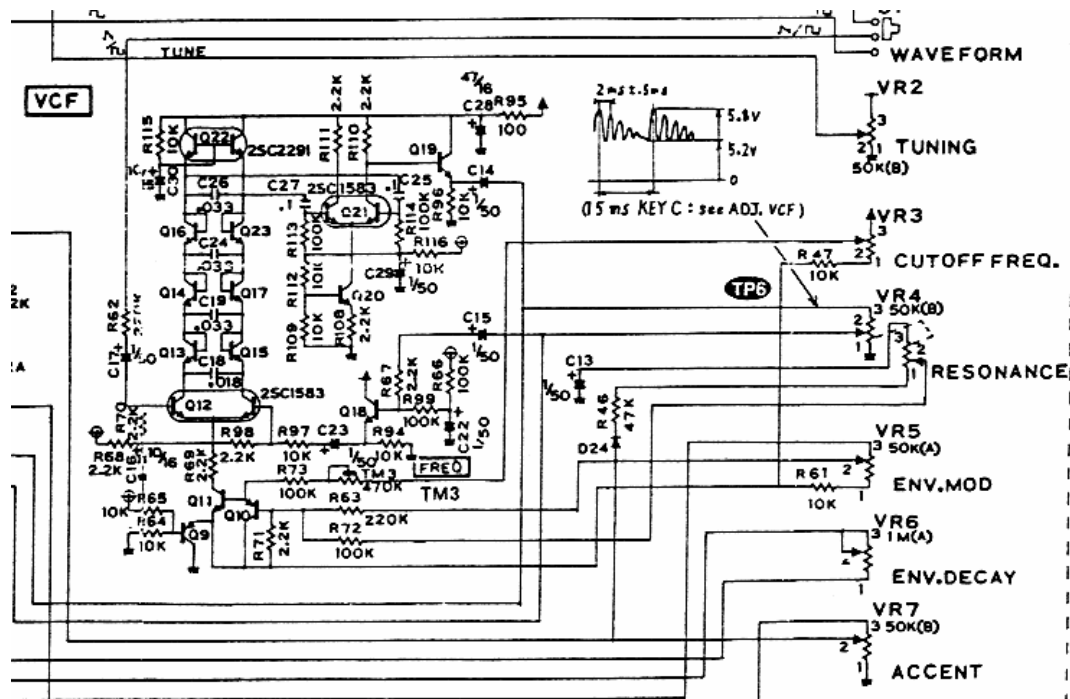


We zien hier twee sub-onderdelen van het filter: ten eerste aan de onderkant een verschilversterker met een transistor in de staart en daarboven zitten 4 transistor-condensatoreenheden. Het signaal wordt linksonder via de condensator ingevoerd. (De condensator zit er om de gelijkstromen en gelijkspanningen van de bias te blokkeren terwijl de signaalfrequenties wel doorgelaten worden). Het signaal ziet vervolgens 4 RC cellen, waarbij R stroomafhankelijk is gemaakt met behulp van de transistoren. We hebben dus een vierde-orde filter! De cutoff wordt ingesteld door de spanning op de basis van de onderste transistor te variëren. Hierdoor wordt de stroom opgelegd door de transistoren in de transistor-condensatoreenheden en hiermee variëren we dus de cutoff. Achteraf dus heel simpel allemaal, maar wel een geniale uitvinding van Robert Moog!

Nog een noot voor de mensen die zich (terecht) afvragen waarom er 8 transistoren in het filter zitten: we hebben in principe maar 4 transistoren en condensatoren nodig maar houden dan een probleem over. Als je namelijk snel aan de cutoffknop zou draaien hoor je dit draaien, omdat dit een laag-frequent wisselspanningssignaal is en doorgelaten wordt door de scheidingscondensator op de uitgang van het filter. Het slimme wat Moog bedacht heeft is om een extra viertal transistoren, met weer gematchede karakteristieken, in het filter te bouwen. Deze extra transistoren geven precies hetzelfde spanningssignaal als aan de cutoffknop gedraaid wordt, maar we gebruiken dit signaal nu om af te trekken van het audiosignaal met het cutoff spanningssignaal zodat we overblijven met alleen het audiosignaal op de uitgang.

Dus: Audiosignaal + spanningssignaal - spanningssignaal = perfect audiosignaal

Op deze manier werken diodeladderfilters. Ander voorbeelden zijn de TB-303 en oude ARP synthesizers...

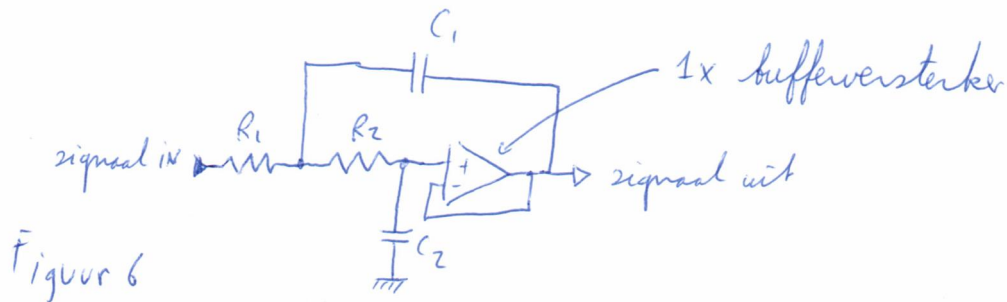


Het TB-303 filter is maar een heel klein beetje anders. Hier worden de bases en collectoren met elkaar verbonden om zogenaamde 'active diodes' te maken. De transistoren gedragen zich dus niet meer als transistor maar als diode (voor de experts: met het bijkomende voordeel dat de basis/collectorovergang niet verzadigd kan raken).

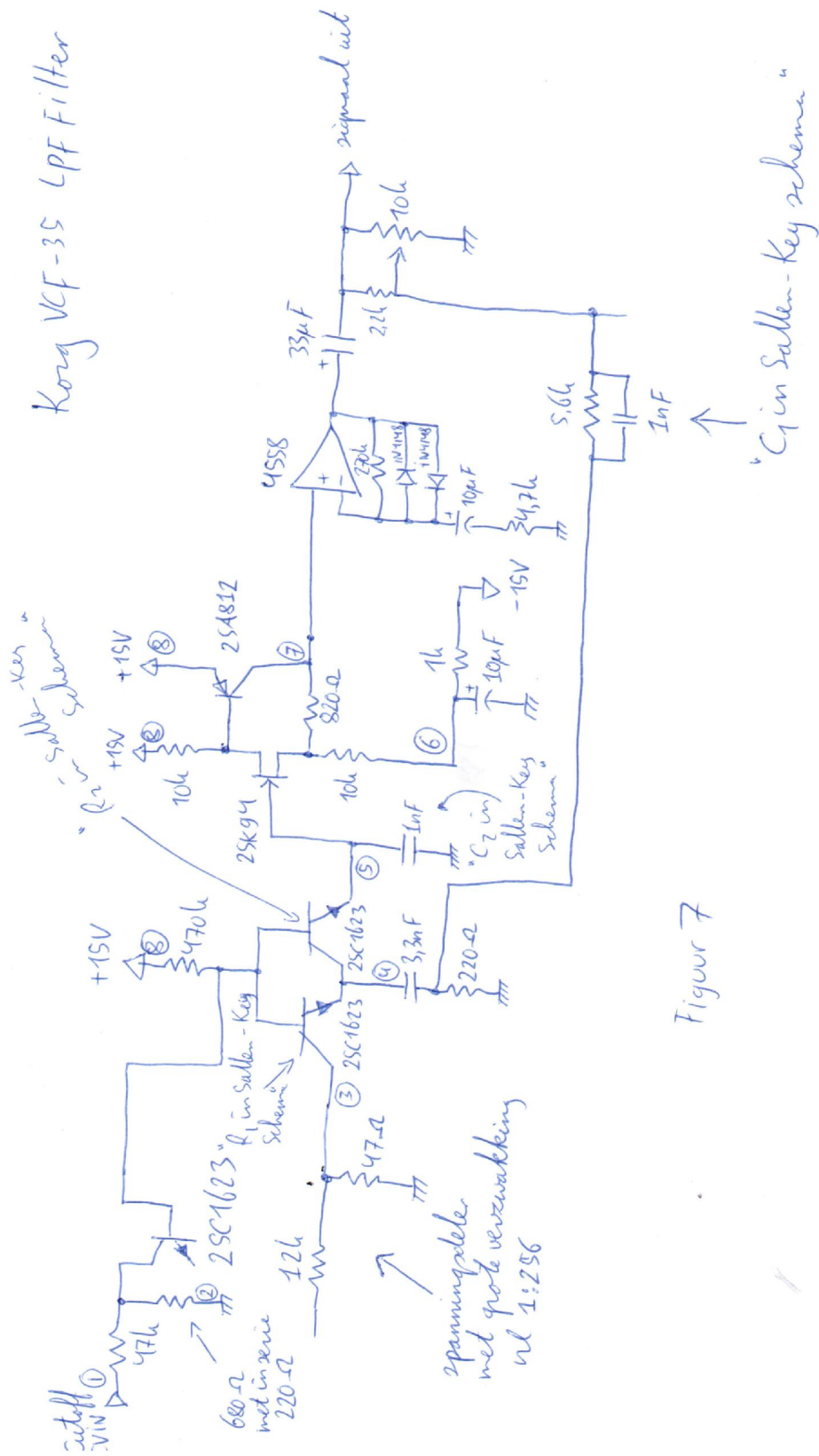
Laten we nu eens kijken naar het Korg VCF-35 filter... De schema's van dit mysterieuze filter staan al geruime tijd op internet (en het filter is gemakkelijk te klonen en klinkt dan net zo goed). Het filter is gebaseerd op een andere 'topologie' namelijk de Sallen-Key topologie. De Sallen-Key is een veel gebruikte topologie en ik ga hier niet verder op in (op internet staat genoeg informatie voor geïnteresseerde personen).

Een Sallen-Key filter heeft de volgende vorm:

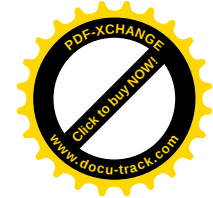
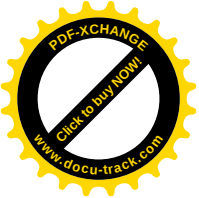
Sallen Key:



Als we nu de twee weerstanden in het Sallen-Key vervangen door transistor dan hebben de uitvoering zoals in het Korg VCF-35 filter. Ik heb het schema van het Korg MS-10 LPF filter op de volgende pagina getekend.



Figuur 7



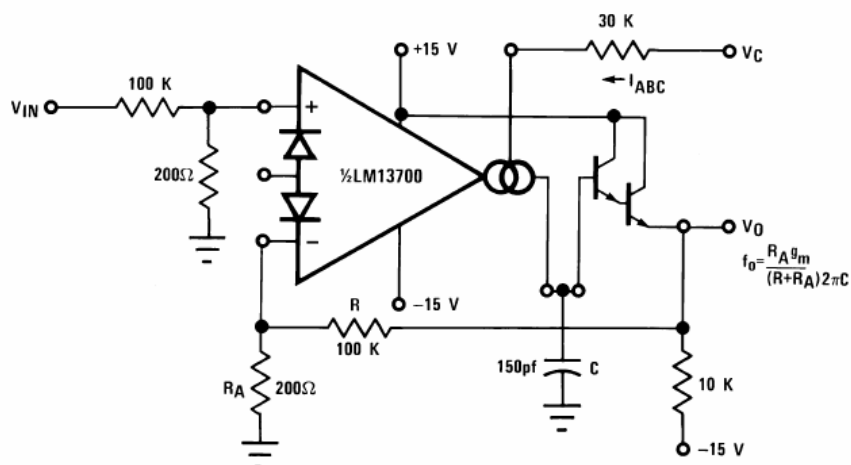
In het getekende schema heb ik aangegeven waar R1, R2, C1 en C2 uit het Sallen-Key schema in het Korg VCF 35 filter zitten. De getallen binnen de cirkeltjes komen overeen met de pin-out van de Korg VCF-35 module. Zie ook de laatste pagina voor een link naar de schema's van de VCF-35 module zoals die door Korg zelf gegeven zijn.

Hiermee is meteen duidelijk hoe het Korg VCF 35 filter werkt: er wordt gebruik gemaakt van het Sallen-Key schema waarbij de twee weerstanden R1 en R2 vervangen zijn door twee transistoren die fungeren als stroomafhankelijke weerstanden. Wat we in het schema ook weer terug zien komen is de stroominsteltransistor waarmee de cutoff CV omgezet wordt in de biasstroom voor de transistoren. Ook zien we dat aan de ingang van het filter een spanningsdeler zit die het signaal uit de VCO met een factor 256 verzwakt. Dit klopt helemaal met die klein-signaalbenadering waar we het over hadden.

Een korte noot terzijde: de stroominsteltransistoren hebben net als de diodekarakteristiek een exponentiële karakteristiek. Dit lijkt op het eerste zicht niet zo handig maar dat is het wel. Als we een lineaire karakteristiek zouden hebben en 1V CV overeenkomt met 100Hz, dan zouden we 200V (!) moeten aanleggen om de bovenkant van het audibereik aan te tikken nl. 20kHz. Niet echt handig dus en totaal niet uitvoerbaar in de praktijk! De oplossing zit hem juist in die exponentiële karakteristiek. 1V komt nu bijvoorbeeld overeen met 100Hz, 2V met 500Hz, 3V met 2kHz, etc, met 5V gelijk aan bijvoorbeeld 20kHz. Door de exponentiële karakteristiek kunnen we dus met een klein stuursignaal een grote variatie in cutoff aansturen (nl. een factor 4000!), dit zou lineair niet kunnen. Deze truc heet lineair-naar-exponentieelomzetting en we vinden deze niet alleen terug in VCFs maar ook in VCOs. In VCOs moet ook met een kleine spanningsverandering van bv 5 tot 10V een grote frequentierange aangestuurd worden. Ook hier zijn dit soort 'lin-to-exp converters' dus heel handig.

Zo. We zijn nu een heel eind gekomen en we weten nu hoe diodeladderfilters en transistorfilters werken. We hebben gezien dat er kleine variaties kunnen zijn hoe de transistoren en diodes in een filter gebruikt worden en we hebben gezien dat er flink te variëren is in de zogenaamde filtertopologie. Laten we nu als afsluiter eens kijken naar de latere VCFs uit de Korg MS-10 en MS-20: de zogenaamde OTA-filters.

Zoals ik al had gezegd staat OTA voor operationele transconductantieverstker. Een OTA is een IC wat ook fungeert als stroomafhankelijke weerstand, maar nu wordt dit gedaan in de vorm van een gehele versterker in plaats van een losse diode of transistor. Bekende voorbeelden van OTAs zijn de LM13600 en LM13700 van National Semiconductor en de CA3080 van Intersil. Ik heb een plaatje genomen van de LM13700 datasheet om uit te leggen hoe een OTA werkt. (Datasheet copyright eigendom National Semiconductor Corporation)



00798118

FIGURE 11. Voltage Controlled Low-Pass Filter

In het plaatje is een low-passfilter te zien en als je goed kijkt (om de weerstanden heen), dan herkennen we weer het oude plaatje nl. een weerstand en een condensator naar aarde! De LM13700 is de weerstand en de condensator van 150pF is de condensator.

De spanning V_C regelt I_{abc} , die op zijn beurt bepaalt wat de waarde van de weerstand is van de LM13700. Als I_{abc} klein is, dan is weerstand hoog (de uitgang van de LM13700 levert dan weinig stroom) en als de waarde van I_{abc} groot is, dan is de weerstand laag (de uitgang van de LM13700 levert dan veel stroom). We hebben dus weer een VCF-schema voor ons. Deze VCF heeft een slope van 6dB/octaaf, maar door meerdere van deze OTA filtereenheden in serie te zetten kunnen we 12, 18, 24dB/octaaf maken.

Noot terzijde voor de gevorderden: de cutoff van een RC filter wordt bepaald door de stroom waarmee de condensator opgeladen wordt. Wiskundig gezien is de snelheid waarmee een spanning over een condensator varieert gelijk aan $dV/dt = I \cdot C$. Als we dus een hoge frequentie willen doorlaten, met hoge dV/dt dan moet I dus groot genoeg zijn. Als I niet groot genoeg is krijgen we cutoff door het filter. Een OTA werkt iets anders dan de diode en transistorfilters op het punt dat er geen bias is met daarboven op een signaal. Een OTA is een spanning-naar-stroomversterker wat betekent dat er het signaal er als een spanning in gaat en het geluidssignaal er als een stroom uitkomt. Deze stroom zagen we natuurlijk net al in de term $I \cdot C$ staan. Met I_{abc} regelen we de grootte van gemiddelde uitgangsstroom en stellen we dus de dV/dt in die het filter kan halen. Omdat de dV/dt overeenkomt met de cutoff-frequentie kunnen we met I_{abc} de cutoff afstellen.

Uiteindelijk snappen we nu goed hoe VCFs werken nl. door elektrisch afstelbare weerstanden zoals diodes, transistoren en OTAs. Een laatste punt is dat we gemakkelijk van een low-pass filter een high-pass filter zouden kunnen maken door de positie van de R en de C om te wisselen. Dit klopt in de praktijk ook meestal maar hangt af van het schema wat gebruikt is en of de andere componenten dit toelaten (ga het dus niet even snel proberen met je dure analoge synth...).

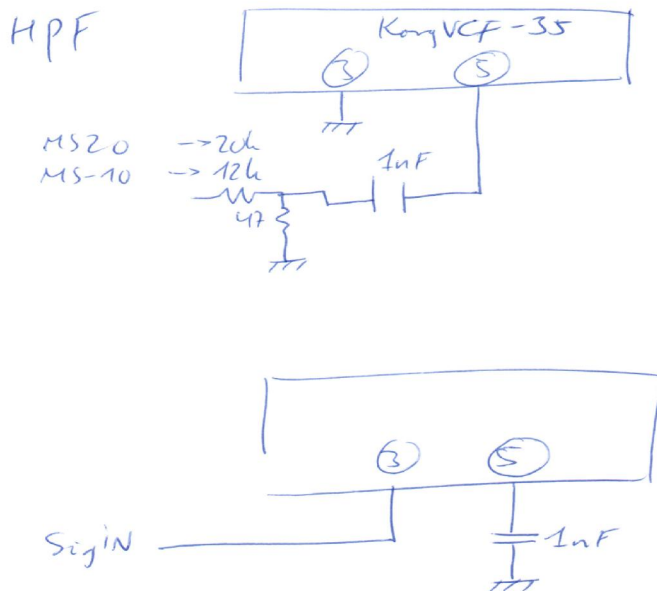
De Korg VCF-35 LPF/HPF mod

Ik heb een paar jaar geleden een mod uitgedacht waarmee een Korg VCF-35 filter om te schakelen is tussen high pass en low pass response. Omdat deze mod vast interessant is voor een heleboel mensen én omdat toch ik besloten heb om te kappen met mijn synth mod business zal ik deze mod hieronder beschrijven. Belangrijke noot: ik heb zelf geen gemodde MS hier waar ik deze mod met 100 procent zekerheid op kan verifiëren. Ik heb de mod naar mijn weten goed genoteerd, maar geef geen garantie op fouten! Mocht er schade ontstaan door het modden van je VCF in je MS-10, MS-20, monotron of X911, etc. dan is dit op je eigen risico en initiatief geweest!

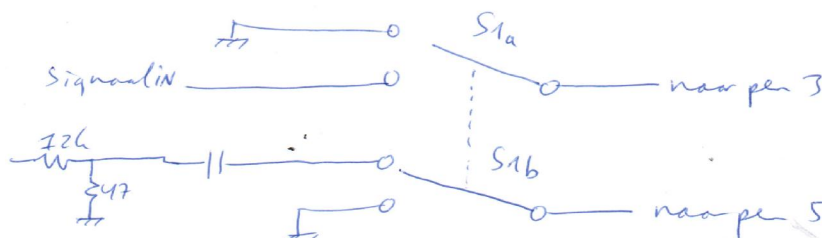
Zoals je kunt zien is de mod erg simpel. Het gaat om één schakelaar, wat draden en het doorsnijden van een paar printsporen en je hebt een MS-10 met een LPF en HPF...

Zie MS-20 schema!

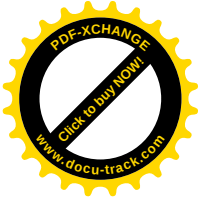
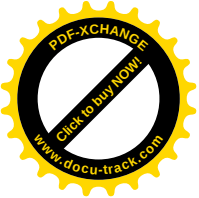
MS-10 VCF MOD



Neem een dubbele schakelaar (twee rijk)



Op eigen risico! at your own risk!



Voor de geïnteresseerden heb ik hieronder een link staan naar de schema's van de Korg 35 module.

<http://www.analogue.org/mr/sas/KORG35.pdf>

De schema's zijn gegeven door Korg zelf naar aanleiding van een brief aan Korg van Martin Czech (zat/zit op de synth-diy mailing lijst).

Bronvermelding:

De twee schema's van de RC filters komen van Wikipedia

De foto van de synthjunk met een Moog filter op zijn arm komt van:

<http://www.synthgear.com/2009/strange-weird/synthesizer-tattoos/>

Alle andere tekeningen en schema's zijn getekend door Heiko van der Linden. (Fouten voorbehouden)

Dit document mag evt verspreid en vertaald worden zolang ik hier vanaf weet en het er mee eens ben. Dus niet in de synth afdeling van Stormfront posten etc... ;-)