

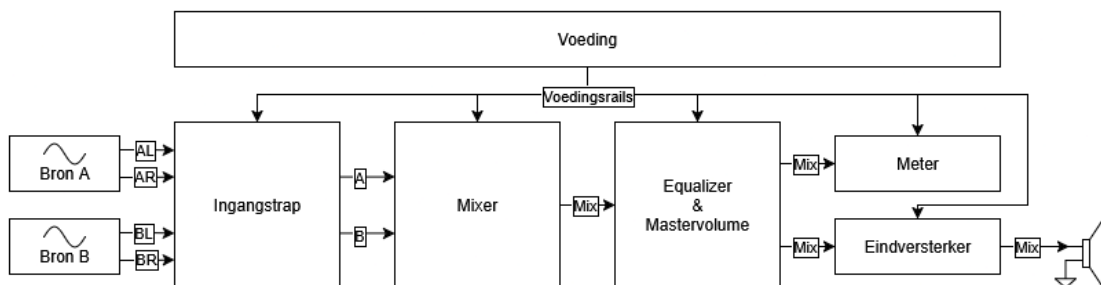
Tips voor het ontwerpen van een versterker bij PEE10

1 Inleiding

Voor het allereerste project zijn jullie gevraagd een versterker te bouwen. Een belangrijk deel van ieder project aan de hogeschool Rotterdam is het leren zoeken en vinden van geschikte oplossingen op jouw vraagstuk. Om jullie te helpen met een aanknopingspunt is dit document opgesteld.

Dit document geeft een voorbeeld van hoe je gestructureerd een op het eerste oog complex project als dit kan doorlopen. Door een groot project als dit op te delen in losse deelsystemen wordt het een stuk overzichtelijker, want dan kunnen we per deelsysteem gaan simuleren en ontwerpen. Dat maakt het natuurlijk ook makkelijker om de taken te verdelen, want zo kun je binnen de groep de deelsystemen onder elkaar verdelen.

LET OP: het is aan jou om te controleren en te testen of het door jou gerealiseerde deelsysteem voldoet aan de eisen gesteld door de Hogeschool! Het feit dat een schakeling in deze lijst staat betekent niet noodzakelijkerwijs dat deze voldoet aan de gestelde eisen.

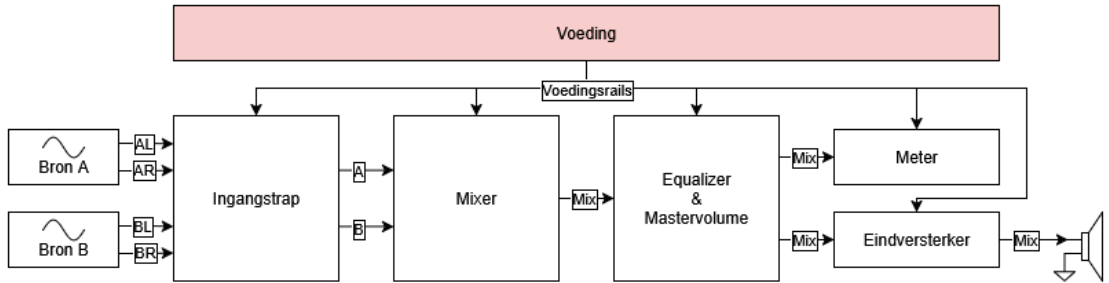


Figuur 1: Blokdiagram van het versterkerproject

Hierboven zie je een *blokdiagram* van het project. Hierin worden de kernfunctionaliteiten van het systeem en de daartussen benodigde verbindingen weergegeven. Je hebt dit diagram al eens gezien in de presentaties, en we zullen nu per blok uitleggen wat er (ongeveer) moet gebeuren om de benodigde functionaliteiten te realiseren.

Dit diagram is een *mogelijke* uitwerking van het project. Zo wordt er hier gekozen voor een mono versterker. Als je een stereo versterker wil maken, zul je hier en daar nog wat dingen moeten toevoegen. Ook is niet gespecificeerd hoeveel en welke voedingslijnen aanwezig zijn omdat dit afhankelijk is van jullie implementatie.

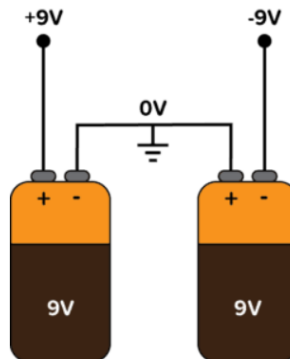
2 Voeding



Figuur 2: De voeding in het blokdiagram

De voeding in een versterker is het deelsysteem dat ervoor zorgt dat er voldoende vermogen geleverd kan worden aan alle andere deelsystemen. Voordat je de voeding kan gaan ontwerpen, zul je dus met iedereen moeten overleggen wat ze voor hun deelsysteem nodig hebben aan spanning(en) en stroom. Met name de eindversterker behoeft relatief veel vermogen, omdat dit het (doorgaans zwakke)ingangssignaal versterkt naar een signaal met een hogere spanning en stroom om zo een luidspreker in beweging te kunnen brengen.

Bij het gebruik van *operationele versterkers*¹ zul je waarschijnlijk al snel ontdekken dat je doorgaans zowel een positieve als negatieve voedingsrail nodig hebt. Dat wil zeggen dat we, ten opzichte van een gedeelde referentie (de 'ground' of 0 volt), een spanningsrail hebben van bijvoorbeeld +9V en -9V. Een voorbeeld van hoe je een positieve en negatieve voedingsrail kan maken is weergegeven in [figuur 3](#).



Figuur 3: Voorbeeld van een dubbele 9V voeding

¹ [Wikipedia: Operationele versterkers](#)

De reden dat we voor een audioversterker vaak een voeding met zowel een positieve als een negatieve rail gebruiken is omdat we werken met signalen (eigenlijk een optelsom van allemaal sinussen) die ten opzichte van onze referentie (meestal is dit 0V) zowel positief als negatief kunnen worden. Een sinus kent tenslotte zowel een positief als negatief component. Om een spanning negatief te versterken, zullen we dan logischerwijs ook een negatieve spanningsbron nodig hebben.

Het is belangrijk dat je goed overlegt met je groepsgenoten welke spanningen en hoeveel stroom er nodig is in elk deel van de schakeling. De voeding moet tenslotte de optelsom van het vermogen van al die deelsystemen samen kunnen voorzien.

De kans is groot dat je voor sommige deelsystemen de spanning omlaag, of juist omhoog moet brengen. De geleverde spanning zal bij veel eindversterker IC's bepalend zijn voor het maximaal haalbare uitgangsvermogen. Wellicht is het dus voor de eindversterker wenselijk om juist op een hoge voedingsspanning te ontwerpen. Veel op-amps die je in de andere deelsystemen nodig hebt, zullen echter weer een maximale spanning hebben die wellicht lager ligt dan wat je wenst te gebruiken voor de eindversterker.

Om verschillende spanningsniveaus te realiseren zou je gebruik kunnen maken van lineaire spanningsregulatoren². Ook zou je ervoor kunnen kiezen om zogenaamde buck- of boost converters³ te gebruiken. Die laatste zijn voor nu nog wat te complex om zelf te ontwerpen, maar zijn wel beschikbaar als kant en klare modules via de meeste elektronica leveranciers.

Veel gebruikte lineaire spanningsregelaars voor dit soort schakelingen zijn bijvoorbeeld de *LM78x* serie voor positieve spanningen en de *LM79x* serie voor negatieve spanningen. De *x* in het typenummer duidt de daarbij spanning aan⁴.

Kortom, om te beginnen aan je voedingsontwerp wil je de volgende zaken bepalen, zodat we op basis van die criteria gepaste componenten kunnen selecteren:

- Hoeveel voedingsrails zijn er nodig?
- Welke spanningen moeten deze voedingsrails leveren?
- Hoeveel stroom moet deze voedingsrail kunnen leveren?

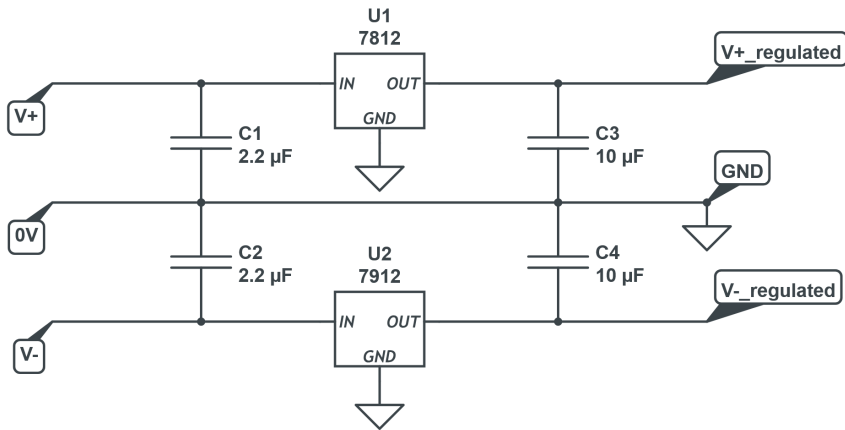
Zorg altijd dat je goed de *datasheet* bekijkt van de door jouw geselecteerde componenten, zodat je kan controleren of die componenten ook werkelijk geschikt zijn voor jouw doel en

² [Wiki: Linear Voltage Regulator](#)

³ [Wiki: Buck-boost Converters](#)

⁴ Bijvoorbeeld: *LM7815* voor +15V of *LM7905* voor -5V

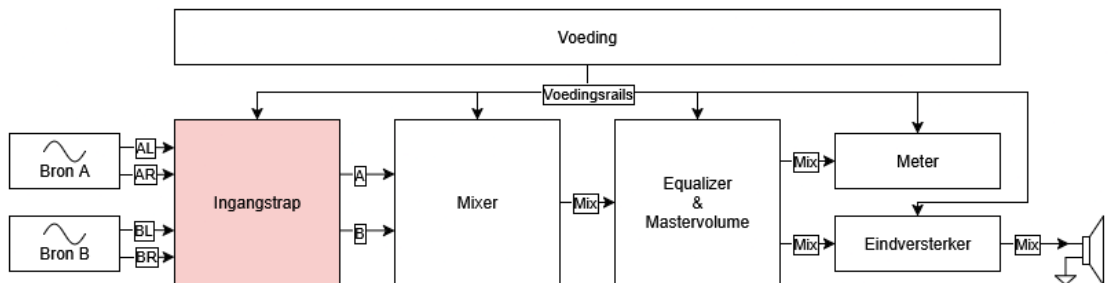
inspiratie op kan doen uit de voorbeeldschema's die zo goed als altijd wel gegeven worden in de datasheet. Een voorbeeld van een eenvoudige dual-rail $\pm 12V$ voeding is gegeven in [figuur 4](#).



Figuur 4: Voorbeeld van een dual-rail 12V voeding

Meer informatie over de werking van spanningsregulatoren vind je in de onderstaande link:
[Hardwarebee: Ultimate Guide - Linear Voltage Regulators](#)

3 Ingangstrap



Figuur 5: De ingangstrap in het blokdiagram

Voor de ingangstrap nemen we eerst een component onder de loep dat jullie wellicht nog niet kennen. De *operationele versterker*, ook wel op-amp genoemd. Dit component is een

veel gebruikt IC⁵ in de elektrotechniek. Bij ELE20 zul je uitgebreid leren hoe je kan rekenen aan op-amps en hoe ze gebruikt kunnen worden in onze schakelingen, maar we benoemen hier alvast de belangrijkste zaken.

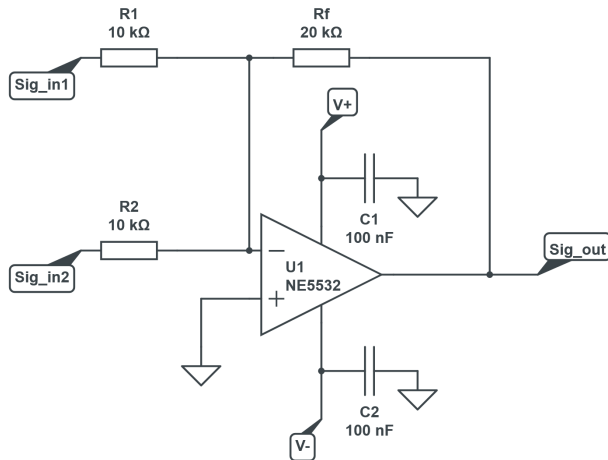
Om te rekenen aan op-amps, gebruiken we vaak een aantal 'gouden regels' van de op-amp. **Let op:** Deze regels gaan uit van een *ideale* op-amp. We rekenen vaak met deze regels omdat afwijkingen van deze ideale omstandigheden verwaarloosbaar zijn, maar ze laten eventuele tekortkomingen van specifieke componenten dus buiten beschouwing.

1. De ingangsimpedantie $\rightarrow R_{in} = \infty$
2. De uitgangsimpedantie $\rightarrow R_{out} = 0$
3. Oneindige versterking $\rightarrow A = \infty$
4. Bij negatieve feedback $\rightarrow V_+ = V_-$

We kijken even naar de regel $\rightarrow R_{in} = \infty$. Als de ingangsweerstand oneindig is, zal er geen stroom gaan lopen 'door' de op-amp. Dat is goed nieuws, want de meeste audiobronnen kunnen (bijna) geen stroom leveren. Als we ze zouden aansluiten op een schakeling met een lage weerstand, zou er dus (te)veel stroom getrokken worden en zoals je weet, zal de spanning dan inzakken. Dit resulteert natuurlijk in stilte en dat willen we niet! Door een op-amp te plaatsen bij onze ingangstrap, zorgen we ervoor dat we onze audiobron dus (nagenoeg) niet belasten.

Zoals je in het blokdiagram in [figuur 5](#) ziet, gaat er voor zowel bron A als bron B een links- en rechts signaal in (aangeduid als AL, AR, BL, BR) want de meeste audiobronnen zijn tenslotte stereo. Voor ons project vraagt de opdrachtgever niet om een stereo versterker. We zullen het signaal dus om moeten zetten naar mono. Ook daar kan de op-amp ons weer uit de brand helpen!

⁵ Integrated Circuit



Figuur 6: Voorbeeld van een inverterende somversterker schakeling

In [figuur 6](#) is een schakeling weergegeven van een zogenaamde *inverterende som-versterker*. Die schakeling kunnen we gebruiken om bijvoorbeeld de signalen van bron A, bestaande uit AL en AR, samen te voegen tot 1 opgeteld signaal. Let op, doordat deze schakeling *inverterend* is, zal de polariteit van ons signaal omdraaien!

Voor deze schakeling geldt dat:

$$-V_{out} = V_1 \left(\frac{R_f}{R_1} \right) + V_2 \left(\frac{R_f}{R_2} \right) \quad (1)$$

Nu had je vast gezien dat we de twee signalen bij elkaar optellen. Daarmee wordt het signaal in theorie natuurlijk twee keer zo luid (als het wisselspanningen zijn met gelijke frequenties), en dat was niet perse ons doel. Dat is dan ook gelijk de reden dat we hier gekozen hebben voor een inverterende schakeling, want in tegenstelling tot zijn niet inverterende tegenhanger, kunnen we deze schakeling ook een negatieve versterking geven. Wanneer we zorgen voor een versterking $A = 0.5$ voor V_1 en V_2 door R_f , R_1 en R_2 zo te kiezen dat deze verhouding ons 0.5 geeft, is V_{out} dus gelijk aan de ge-inverteerde som van de twee signalen met een gelijke amplitude als de individuele ingangssignalen.

Het is natuurlijk slim om signalen samen te voegen aan het begin van de schakeling. In theorie kan dit ook net voor de eindversterker, maar dan zouden we alle schakelingen dubbel uit moeten voeren om het linker- en rechtersignaal afzonderlijk te bewerken. Veel extra werk

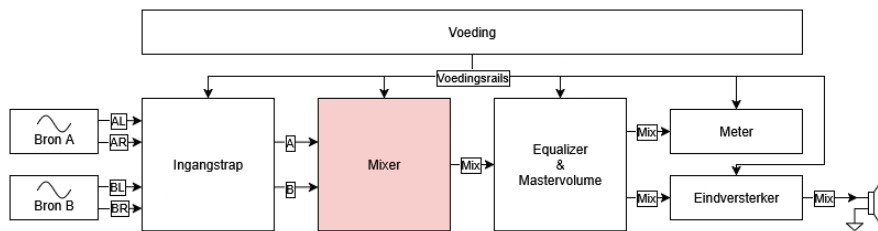
dus! Je kan er natuurlijk voor kunnen kiezen om je versterker wel helemaal in stereo uit te voeren als je dat leuk vindt!

Samenvattend hebben we nu met deze simpele op-amp schakeling gezorgd dat we:

- Onze audiobron niet belasten (want $\rightarrow R_{in} = \infty$)
- Ons stereosignaal hebben omgezet naar een monosignaal

Van hieruit gaan onze signalen A en B verder naar ons volgende deelsysteem.

4 Mixer



Figuur 7: De mixer in het blokdiagram

Het volgende deelsysteem is de zogenaamde *mixer*. Dit is een schakeling die ervoor zorgt dat we meerdere audiobronnen met elkaar kunnen mengen. Denk hierbij aan een DJ die twee platen met elkaar mixt, of een muziek/tv productie waarbij een technicus soms tot wel honderden microfoons in een orkest met elkaar combineert om die samen te voegen tot enkel (doorgaans stereo) uitgangssignaal.

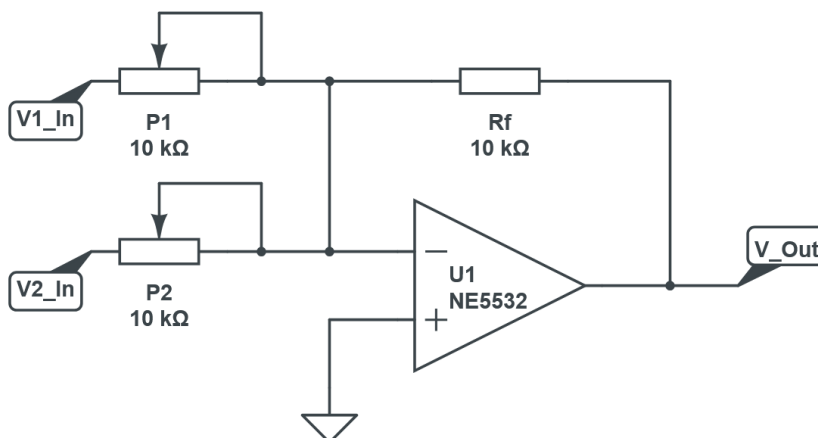
In [figuur 8](#) zie je een voorbeeld van een audiomixer. Die mixer heeft 48 ingangen en 24 uitgangen. Voor ons project hebben we gelukkig maar 2 ingangen nodig, en 1 uitgang. Maar feitelijk is zo'n grote mixer niks anders dan 48 keer dezelfde inputschakeling die samen naar een of meerdere van dezelfde output schakelingen 'gemixt' kunnen worden.



Figuur 8: Voorbeeld van een audiomixer voor livemuziek en theater

Mixers kunnen we zowel passief als actief maken. Voor de meeste schakelingen in dit project is het waarschijnlijk wenselijk om voor een actieve variant te kiezen, om te voorkomen dat de gebruikte elektrische componenten onbedoeld interactie hebben met een voorgaand of opvolgend deelsysteem.

Het goede nieuws is dat de mixer eigenlijk precies dezelfde schakeling als we gebruikten in de ingangstrap zoals weergegeven in [figuur 6](#). We moeten echter nog wat toevoegen om een variabele amplitude te realiseren. Hiervoor zullen we zogenaamde *potentiometers* gebruiken. Dat zijn weerstanden die met doorgaans met behulp van een knop kunnen variëren tussen twee grenswaarden. Door zo een schakeling voor de sommatieversterker te plaatsen, kunnen we de amplitude van de individuele signalen variëren tussen 0 en 100%.



Figuur 9: Voorbeeld van een eenvoudige mixerschakeling

Kortom, we stoppen signalen A en B in ons mixer deelsysteem. Elk van deze ingangssignalen moeten onafhankelijk van elkaar aangepast kunnen worden in amplitude met behulp van een potentiometer voordat deze naar de op-amp gaan. De sommatie van dit signaal (*mix* in het blokdiagram) sturen we door naar ons volgende deelsysteem, de toonregeling.

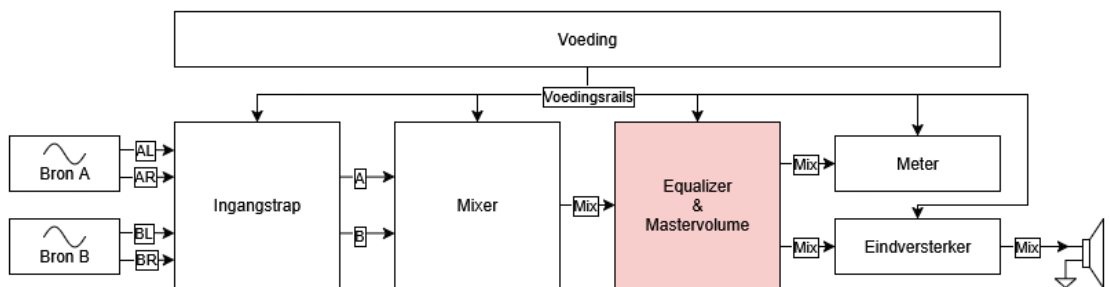
Meer informatie over de werking van mixers en voorbeelden van uitgebreidere mixer schakelingen vind je in de onderstaande links:

[Electronic Tutorials: The Summing Amplifier](#)

[All About Circuits: Build an Audio Mixer](#)

[Circuit Basics: How to Build an Audio Mixer](#)

5 Toonregeling



Figuur 10: De equalizer in het blokdiagram

Op veel versterkers vind je een toonregeling (In het Engels vaak *equalizer* genoemd) terug. De toonregeling wordt gebruikt om correcties te kunnen maken aan de frequentiecarakteristiek van het versterkte signaal. Dit wordt gedaan om te corrigeren voor smaak (sommigen houden tenslotte van een beetje extra bass), of om te compenseren voor de eigenschappen van de aangesloten luidspreker.

Omdat wij als mensen over het algemeen een gehoorbereik hebben van 20 Hz-20 kHz, zullen de toonregelingen altijd proberen dit gebied te beïnvloeden. Het heeft tenslotte niet heel veel zin om de gebruiker te laten compenseren voor iets wat diegene niet kan horen. Sommige toonregelingen kunnen slechts frequenties wegfilteren, waar andere toonregelingen ook frequentiegebieden juist extra kunnen versterken.

Ook bij toonregelingen, misschien nog wel meer dan bij versterkers, zien we een breed scala aan mogelijke topologiën om uit te kiezen. Hieronder bespreken we er een paar die veel gebruikt worden in audioschakelingen.

Passief filter

Het eenvoudigste filter dat we kunnen maken is een zogenaamd 1ste orde passief filter. Het signaal wordt door een RC schakeling geleid, waarbij afhankelijk van de opstelling, ofwel de weerstand of condensator parallel staat aan het signaal naar ground wat resulteert in respectievelijk een hoog- of laagdoorlaatfilter.

Het nadeel van dit type filter is dat het slechts een demping van veroorzaken van $20\text{dB}/\text{decade}$, wat niet altijd voldoende is om ongewenste elementen adequaat weg te filter.

Bij dit type filter is het enkel mogelijk om frequenties weg te filteren. We kunnen dus geen delen van het frequentiespectrum versterken om bijvoorbeeld de lage tonen prominenter te maken.

Meer informatie over de werking van passieve filters vind je in de onderstaande links:

[Electronic Tutorials: Passive Low Pass Filter](#)

[Electronic Tutorials: Passive High Pass Filter](#)

[Electronic Tutorials: Passive Band Pass Filter](#)

1ste en 2de orde actief filter

De eerste orde filter kunnen we ook *actief* maken. Dat wil zeggen dat we componenten gebruiken die een externe vermogensbron nodig hebben om te kunnen functioneren. Voor dit project zullen dat doorgaans zogenaamde *op-amps* zijn, waar we later meer over zullen vertellen.

Wanneer we een actieve schakeling gebruiken, kunnen we ook de orde verhogen waardoor we een steilere filterwerking krijgen. Waar we bij een eerste orde filter nogsteeds te maken hebben met een demping van $20\text{dB}/\text{decade}$, zullen we een demping van $40\text{dB}/\text{decade}$ bereiken met een tweede orde filter.

Door het gebruik van op-amps voorkomen we ook dat (de componenten in) het filter een ongewenste interactie hebben met andere delen van de schakeling. Waarom dat is zal je leren bij het vak ELE20 aan het eind van dit semester. Dat maakt actieve filters doorgaans

Meer informatie over de werking van actieve filters vind je in de onderstaande links:

Electronic Tutorials: Active Low Pass Filter

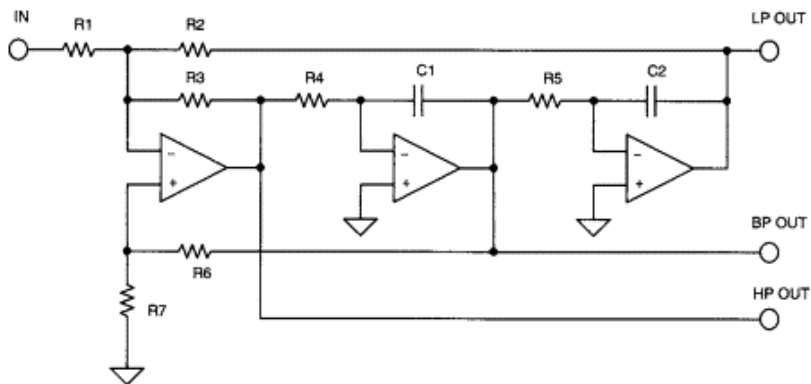
Electronic Tutorials: Active High Pass Filter

Electronic Tutorials: Active Band Pass Filter

ESP: Active Filters - Characteristics, Topologies and Examples

State-variable filter

Een veelgebruikte topologie in audioschakelingen is de zogenaamde *state variable filter*. Het leuke van dit type filter is dat we met relatief weinig componenten meerdere frequentiebanden zowel kunnen verzwakken als versterken.



Figuur 11: Voorbeeld van een 3 bands state variable filter zonder variabele amplitude [2]

Dit type schakeling kom je dan ook vaak tegen op ouderwetse versterkers met een bass-/mid/treble toonregeling, of op mengtafels en andere apparatuur voor audioproductie.

Meer informatie over de werking van state variable filters vind je in de onderstaande links:

Electronic Tutorials: State Variable Filter

ESP: State Variable Filters

Bij het weergeven van een audiosignaal gebruiken we doorgaans een logaritmische schaalverdeling. Dit omdat ons gehoor ook (bij benadering) logaritmisch werkt. We gebruiken hiervoor de eenheid decibel. Decibel is een relatieve eenheid. Dat wil zeggen dat het altijd in relatie staat tot (de amplitude van) een ander signaal. Zo kunnen we een ingangsspanning uitdrukken in relatie tot een uitgangsspanning om de totale versterking in decibel uit te drukken met behulp van de volgende formule:

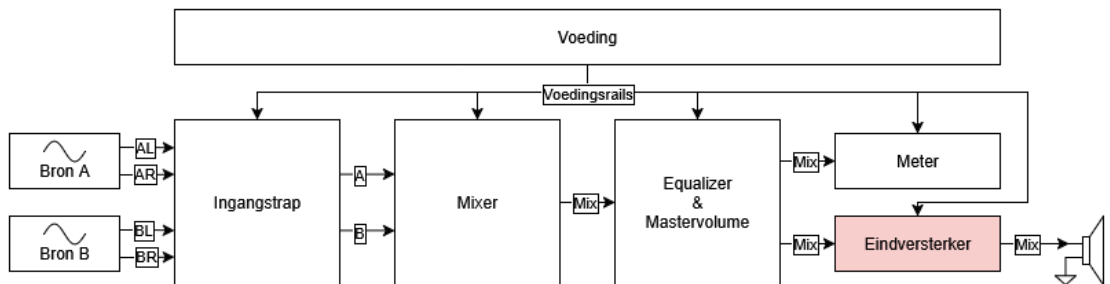
$$20 \log \left(\frac{V_{in}}{V_{out}} \right) \quad (2)$$

Als referentie voor het monitoren van audiosignalen wordt doorgaans de eenheid dBV of dBu gebruikt. Meer uitleg daarover vind je in de onderstaande links.

[Sengpiel Audio: Uitleg over dB's, dBV's, dBu's etc..](#)

[Wikipedia: VU meter](#)

7 Versterker



Figuur 14: De versterker in het blokdiagram

Vervolgens kijken we naar de *eindversterker*. De eindversterker is het deel van de schakeling die een vaak relatief klein signaal in amplitude (spanning) vergroot en zorgt dat ook met deze hogere spanning voldoende stroom geleverd kan worden om bijvoorbeeld een luidspreker aan te sturen. We versterken dus zowel spanning als stroom. Zoals je reeds bij ELE10 hebt geleerd hebben we het dan over het versterken van vermogen want:

$$P = U * I \quad (3)$$

Versterkers zijn op veel verschillende manieren te realiseren. Grofweg zijn er 3 *topologiën*⁶ die het meest gebruikt worden, namelijk:

1. Klasse A
2. Klasse AB
3. Klasse D

Hieronder zullen we deze 3 topologiën kort toelichten.

Klasse A

De klasse A versterker is de meest eenvoudige variant uit deze lijst. Wat een klasse A versterker typeert is dat deze de volledige golfvorm versterkt met een enkele (of in serie geschakelde) transistor(s).

In het vak ELE20 zul je meer leren over transistors en hoe ze werken. Ook zul je in dat vak een eenvoudige klasse A versterker bouwen. Voor nu is het belangrijk om te begrijpen dat, hoewel de schakeling eenvoudig te realiseren is, het lastig is om voldoende vermogen te realiseren met een klasse A versterker.

Deze versterker wordt dan ook gekarakteriseerd door een lage *efficiëntie*. Daarmee bedoelen we dat relatief weinig van het vermogen dat we in onze schakeling stoppen wordt omgezet naar effectief vermogen dat de schakeling weer uitstuurt om bijvoorbeeld een luidspreker in beweging te brengen. Doorgaans is de efficiëntie bij dit type versterker maximaal 25%. Kortom, voor elke watt die je er in stopt, krijg je slechts 250 milliwatt terug. De rest van het vermogen wordt omgezet in hitte waardoor dit soort versterkers vaak veel (prijzige) koeling nodig hebben.

Voordeel is echter dat, omdat de golfvorm niet wordt opgedeeld in een positief en negatief deel dat apart van elkaar versterkt wordt, deze versterker doorgaans minder last heeft van vervorming.

Meer informatie over de werking van klasse A versterkers vind je in de onderstaande link: [Electronic Tutorials: Class A Amplifier](#)

Klasse AB

De klasse AB versterker is eigenlijk het efficiëntere broertje van de klasse A versterker. Het werkt grotendeels op dezelfde manier, maar nu gebruiken we een set van transistoren waarbij

⁶ [Wikipedia: Electrical Circuit Topologies](#)

er 1 pad het positieve deel van de golfvorm, en het andere pad het negatieve deel van de golfvorm versterkt.

Dit resulteert in een maximale efficiëntie van bijna 80% wat natuurlijk fijn is voor de elektriciteitsrekening, maar ook betekent dat het koelen van de transistors in de schakeling een stuk eenvoudiger (en daarmee goedkoper) is.

De klasse AB topologie wordt veel gebruikt in zogenaamde 'chip amps', waar we later wat meer over zullen vertellen.

Meer informatie over de werking van klasse AB versterkers vind je in de onderstaande link: [Electronic Tutorials: Class AB Amplifier](#)

Klasse D

Tenslotte hebben we de klasse D versterker. Dit is tegenwoordig de meest topologie voor versterker schakelingen door de zeer hoge efficiëntie van voorbij de 90%. Zeker voor moderne draagbare elektronica zoals een telefoon of een laptop is dat natuurlijk een groot voordeel, want je kan daarmee langer geluid versterken zonder de batterij veel te belasten.

De klasse D topologie pakt de versterking van een signaal heel anders aan dan een klasse A of klasse AB versterker. Het moduleert het inkomende signaal met een driehoeksgolf om zodoende een *PWM*⁷ signaal te creëren. Dit PWM signaal schakelt transistoren in een positief en een negatief pad voor respectievelijk de bijbehorende delen van de golfvorm.

Hoewel deze manier van versterken erg efficiënt is, zorgt het voor redelijk wat ongewenste effecten door het (hoogfrequente) schakelen van de transistoren. Hiervoor kan gecompenseerd worden in de schakeling met behulp van bijvoorbeeld hoogfrequente filters, maar dit zorgt voor aanzienlijk meer complexiteit in het ontwerp.

Door deze hoge efficiëntie is de hitteontwikkeling relatief gezien laag. Al zie je wel dat veel klasse D versterkers die als chip-amp op de markt zijn gebracht zo compact zijn, dat ze alsnog goed gekoeld moeten worden om goed te functioneren.

Meer informatie over de werking van klasse AB versterkers vind je in de onderstaande link: [All About Circuits: How to Build a Class-D Power Amp](#)

⁷ PWM: Pulse Width Modulation

Chip-amps

Als je de bovenstaande links hebt bekeken, zul je zo aan het begin van je opleiding misschien wat geïntimideerd zijn door de ogenschijnlijke complexiteit van deze schakelingen. Dat is volkomen begrijpelijk, omdat ze lastig te begrijpen zijn als je nog niet veel geleerd hebt over transistors, filters en voedingen. Al deze zaken komen later in de opleiding aan bod bij vakken als ELE10/20 en ANE10/20.

Gelukkig zijn er veel IC fabrikanten die besloten hebben al die complexe schakelingen in een IC te realiseren. Dit vereenvoudigt het proces om een complete versterker te maken aanzienlijk.

Doorgaans hoef je bij zulke IC's enkel nog met behulp van enkele componenten de versterkingsfactor in te stellen, wat eenvoudige filters toe te voegen en een voeding te maken om ze goed te laten functioneren. Het is dan ook aan te raden om voor het project PEE10 te kiezen voor deze oplossing.

De meeste chip-amps onderscheiden zich vooral in het uitgangsvermogen dat ze kunnen leveren en zijn doorgaans klasse AB of klasse D. Een groot voordeel van deze chip-amps is ook dat de fabrikant vaak een schema meelevert, waarin een voorbeeld wordt gegeven van een functionerende schakeling. Daarnaast wordt vaak toegelicht welke andere ontwerpoverwegingen belangrijk zijn als je wenst af te wijken van de voorbeeldschakelingen.

Een paar veel gebruikte chip-amps die je voor PEE10 zou kunnen gebruiken zijn:

Klasse AB

1. TDA2030, $14\text{watt}@4\Omega$, UTC
2. TDA2050, $30\text{watt}@4\Omega$, UTC
3. LM1875, $20\text{watt}@4\Omega$, Texas Instruments
4. LM3886, $50\text{watt}@4\Omega$, Texas Instruments

Klasse D

1. TPA3116D2, $50\text{Watt}@4\Omega$, Texas Instruments

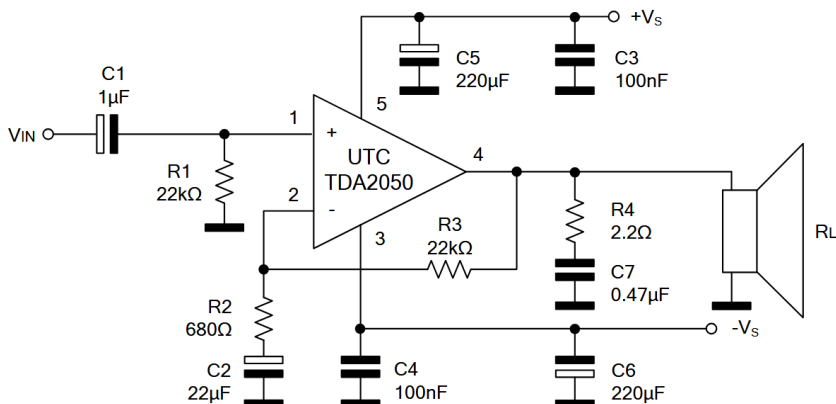
Nu zul je misschien denken, dat is wel erg veel vermogen voor wat we nodig hebben voor ons project! En dat klopt, maar bedenk dat hier maximale vermogens uitgedrukt worden. Des te kleiner het potentiële vermogen dat de voeding kan leveren, des te kleiner het uitgangsvermogen van de versterker die je ontwerpt.

Bijkomend voordeel is dat, wanneer we minder vermogen uit onze versterker proberen te halen, het koelen van de IC ook minder kritisch zal zijn. Dat wil echter niet zeggen dat je helemaal niet na hoeft te denken over koeling als je maar een fractie van het haalbare vermogen gebruikt. Veel IC's hebben al een bescheiden koeling nodig enkel om aan te kunnen staan!

Voorbeeld

In [figuur 15](#) is een voorbeeldschakeling gegeven van een eindversterker. Deze schakeling komt rechtstreeks uit de [datasheet](#) van de TDA2050. Wellicht zitten er componenten in zo'n voorbeeldschakeling waarvan je nog niet helemaal begrijpt waarom ze er zitten. Als je eenmaal goed begrijpt wat je aan het doen bent, kun je de schakeling waarschijnlijk verbeteren door daar hier en daar aanpassingen in te maken aan deze schakeling die voor *jouw* toepassing optimaal zijn.

Laat echter nooit componenten weg uit voorbeeld schakelingen als je niet zeker bent wat de functie ervan is, en of dat voor jouw toepassing anders kan of zelfs helemaal weggelaten kan worden. Alle componenten zitten er met een reden. Zo vormen R_4 en C_7 bijvoorbeeld samen een zogenaamd *zobel network*. Dit compenseert voor de inductieve werking van de spoel in een luidspreker, om te voorkomen dat deze chip-amp gaat oscilleren. De exacte werking daarvan komt later aan bod bij vakken als ANE10 en ANE20.



Figuur 15: Voorbeeld van een TDA2050 eindversterkerschakeling

Tegelijkertijd laat dit schema ook zien waarom je altijd kritisch moet blijven. Deze versterker chip gebruikt hier een 2.2Ω weerstand parallel aan de luidspreker R_L . Je kan zelf narekenen

hoeveel van het vermogen gedissipeerd wordt in R_4 . Zou een standaard 0.25 watt weerstand volstaan bij de volledige potentiële belasting op R_L van 30 watt? (*hint: meer dan 0.25 watt!*)

8 Aanbevolen literatuur

Bij elk vak dat je op deze opleiding zal volgen zal het merendeel van het studiemateriaal door ons aangeleverd worden. Daarnaast heb je natuurlijk een aantal boeken die je bij elk vak gebruikt waarin veel informatie over de verschillende benodigde schakelingen te vinden is.

De meeste boeken die we gebruiken blijven bij de basis van het betreffende vak. Bij projecten zul je ontdekken dat je soms wat meer diepgang zou willen, en het vinden en lezen van de juiste literatuur is daarbij een belangrijke vaardigheid om de benodigde kennis op te doen om je product naar een hoger niveau te tillen.

Hieronder zijn enkele voorbeelden van boeken die je zouden kunnen helpen om de schakelingen uit de deelsystemen voor PEE10 te kunnen realiseren. Ze vormen ook een uitstekende basis als je zelf verder wil met dit type schakelingen.

Let op: deze boeken zijn dus niet nodig of verplicht om PEE10 succesvol af te ronden, maar kunnen een goed startpunt vormen om je verder te verdiepen in de behandelde stof. De boeken staan in volgorde van relevantie voor PEE10.

[Small Signal Audio Design - Douglas Self](#)

[The Audio Circuits Cookbook - Ethan Winer](#)

[Audio Power Amplifier Design - Douglas Self](#)

[The Design of Active Crossovers - Douglas Self](#)

9 Referenties

Referenties

- [1] *ESP VU meter schematics*. <https://sound-au.com/project55.htm>. Accessed: 2025-11-04 (geciteerd op p. 12).
- [2] Walt Jung. *Op Amp Applications Handbook*. 2005. ISBN: 978-0-7506-7844-5 (geciteerd op p. 11).