

Technische Inleiding Geluidsapparatuur

ing. Cees Mulder

VOORWOORD

Apparatuur in de geluidstechniek werkt zelden op zich en de werking is niet uniek. Ze zijn opgebouwd met basisschakelingen wat noodzakelijk is om ze met elkaar te kunnen verbinden. Naast de kennis in het functioneel gebruik van apparaten is het ook van belang te weten hoe ze onderliggend werken. Het is daarom niet onbelangrijk kennis te verwerven in de elektronische en natuurkundige kanten van apparatuur en verbindingen. Een goed begrip hiervan zal het makkelijker maken het functioneren van apparatuur te begrijpen en de omgang met apparatuur en verbindingen te vergemakkelijken. Hierdoor kunnen fouten en storingen worden verholpen of, door ze vooraf te onderkennen, worden voorkomen.

Rotterdam, maart 2009

DOCUMENTGEGEVENS

9 maart 2008 start eerste versie

17 februari 2011 druk deze versie

OVERZICHT GESCHIEDENIS

datum	versie	document referentie	opmerkingen
30 Mar 09	0.1	dictaat_tig_01.odt	concept, dient te worden aangevuld
26 Mar 10	0.2	dictaat_tig_02.odt	gewijzigde inhoud, aanvullingen, toevoeging opgaven
14 Feb 11	0.3	dictaat_tig_03.odt	correcties en aanvullingen, wisseling hoofdstuk 7 en 8

Het document is zo opgezet dat het in boekvorm A5 (“booklet printing”) kan worden afgedrukt. Het document is kosteloos, mag vrij worden verspreid en vermenigvuldigd en door derden worden gebruikt voor onderwijsdoeleinden. Het is niet toegestaan, behoudens afdrukkosten, vergoedingen voor dit document te rekenen.

INHOUD

1 INLEIDING.....	7
2 MENGTAFELS.....	8
2.1 Inleiding.....	8
2.2 Beschrijving functie per onderdeel.....	8
2.2.1 Ingangsectie.....	8
2.2.2 Toonregeling (EQ).....	9
2.2.3 Insert.....	9
2.2.4 Volumeregeling.....	10
2.2.5 Panoramaregeling (mono) of balansregeling (stereo).....	10
2.2.6 Subgroepen.....	10
2.2.7 Auxillary.....	10
2.2.8 PFL/solo.....	10
2.2.9 Bussen.....	11
2.3 Typen mengtafels.....	12
2.3.1 Subgroepmengtafel.....	12
2.3.2 In-line mengtafel.....	12
2.3.3 Matrix- of monitormengtafel.....	12
2.3.4 Broadcast- of regiementafel	12
2.4 Digitale mengtafels.....	12
2.5 Opgaven.....	13
3 WETTEN VAN OHM EN KIRCHHOFF.....	14
3.1 Wet van Ohm.....	14
3.2 Eerste wet van Kirchhoff: stroomwet.....	15
3.3 Tweede wet van Kirchhoff: spanningswet.....	15
3.4 Serie en parallel schakelen van weerstanden.....	16
3.5 Opgaven.....	16
4 DE DECIBEL.....	17
4.1 Definitie.....	17
4.2 Rekenen met de decibel.....	18
4.3 Opgaven.....	19
5 MICROFOONS.....	20
5.1 Microfoontypen.....	20
5.2 Fantoomvoeding.....	22
5.3 Opgaven.....	22
6 LUIDSPREKERS.....	23
6.1 Inleiding.....	23
6.2 Opbouw van een luidspreker.....	23
6.3 Nominale en werkelijke impedantie.....	23

6.4	100V-luidsprekers.....	24
6.5	Het in serie of parallel aansluiten van luidsprekers op een versterker.....	25
6.6	Opgaven.....	26
7	VERMOGENSVERSTERKERS.....	27
7.1	Functie van de vermogensversterker.....	27
7.2	De transistor.....	27
7.3	Typen versterkers.....	28
7.3.1	Klasse A.....	28
7.3.2	Klasse B.....	28
7.3.3	Klasse A/B.....	29
7.3.4	Klasse D.....	29
7.3.5	Klasse G.....	31
7.3.6	100-Volt versterkers.....	31
7.4	De versterker in een brugschakeling.....	32
7.5	Uitsturing bepalende factoren.....	33
7.5.1	Algemeen.....	33
7.5.2	Voeding.....	33
7.5.3	Safe Operation Area (SOAR) van de transistor.....	33
7.5.4	Temperatuur.....	34
7.5.5	Crest- of vormfactor.....	34
7.6	Opgaven.....	34
8	BASIS VERSTERKERS.....	35
8.1	Basiseigenschappen versterkers.....	35
8.2	Spanningsvolger.....	35
8.3	Niet-inverterende versterker.....	36
8.4	Inverterende versterker.....	37
8.5	Gebalanceerde versterker.....	38
8.6	Belasten van versterkeruitgangen.....	40
8.7	Opgaven.....	41
9	EMC (ELEKTROMAGNETISCHE COMPATIBILITEIT).....	42
9.1	Inleiding.....	42
9.2	Aarde en referentie.....	42
9.3	Ongebalanceerde en gebalanceerde circuits.....	43
9.3.1	Ongebalanceerde circuits.....	43
9.3.2	Gebalanceerde circuits.....	44
9.3.3	Zwevende vs. niet zwevende circuits.....	46
9.3.4	Een ongebalanceerde uitgang op een gebalanceerde ingang.....	46
9.3.5	Een gebalanceerde uitgang op een ongebalanceerde ingang.....	47
9.4	Oorzaken van storingen m.b.t. de aarde en de referentie.....	48
9.4.1	Aardlus.....	48
9.4.2	Laagfrequent storingen in apparatuur.....	51

9.4.3 Storing door de parasitaire capaciteit van de voeding.....	52
9.5 Overspraak.....	52
9.5.1 Capacitieve overspraak.....	52
9.5.2 Inductieve overspraak.....	53
9.6 Kabels.....	53
9.7 Hoogfrequente invloeden.....	54
9.8 Netfilters.....	55
9.9 Reduceren van EM-emissie.....	55
9.10 Het opbouwen van kabeltracés.....	55
9.11 tips voor storingzoeken.....	56
9.12 Opgaven.....	57
10 ANTWOORDEN OPGAVEN.....	58
11 LITERATUURLIJST.....	59
BIJLAGE 1 BLOKSCHEMA MENGTAFFELKANAAL.....	60

1 INLEIDING

In het voorliggende dictaat worden principes en de technische en natuurkundige kanten van geluidsapparatuur en -systemen belicht. De onderwerpen die aan bod komen betreffen algemeen voorkomende technieken gebruikt in geluidsapparatuur, zoals basisschakelingen van versterkers, werkings- en aansluitprincipes. Een niet onbelangrijk onderdeel is EMC, elektro-magnetische compatibiliteit, noodzakelijk om geluidssystemen storingsvrij te kunnen laten werken. Daarnaast wordt de decibel (correct) verklaard, welke in de geluidstechniek wordt gebruikt om de sterkte van en verschillen in niveau's aan te geven.

2 MENGTAFELS

2.1 Inleiding

Om de werking van een mengtafel te begrijpen is het van belang de functionele opbouw te kennen. Hiermee is het dan mogelijk het signaalverloop in de mengtafel te volgen. Deze functionele opbouw is voor nagenoeg iedere mengtafel, ongeacht het merk, gelijk. In basis kan de mengtafel volgens een procesbeschrijving worden beschreven (zie figuur 2.1).



figuur 2.1; principe procesbeschrijving

Een proces kan worden onderverdeeld in deelprocessen met elk proces zijn eigen “input” en “output”. Een “output” kan de “input” vormen van een volgproces. Op deze wijze kunnen structuren van (geluid)systemen worden beschreven. In de volgende paragrafen zijn de afzonderlijke functies per proces beschreven. In bijlage I.1 is een mengtafel schematisch weergegeven.

2.2 Beschrijving functie per onderdeel

2.2.1 Ingangsectie

De ingangsectie dient om het signaal van “buiten” geschikt te maken voor verdere verwerking in mengtafel. De functies die in deze sectie kunnen zijn opgenomen zijn:

- fantoomspanning: Dit circuit zorgt ervoor dat o.a. condensatormicrofoons van een voedingspanning kunnen worden voorzien. De spanning wordt via een weerstandnetwerk op de signaaladers gezet, waarbij de referentie als nul dient. Het potentiaalverschil op de signaaladers is nul, vandaar dat met over een “schijnbare” spanning (fantom) spreekt.
- niveauregeling (gain): Deze regeling dient ervoor om het niveau aan te passen aan het interne werkniveau van de mengtafel. De signalen die aangeboden kunnen worden via de microfoon- of lijningang verschillen dermate van sterkte

en zijn tevens afhankelijk van het opgenomen signaal dat een voorregeling noodzakelijk is. De regeling die mogelijk is bedraagt doorgaans 60dB.

- verzwakker (pad): Een verzwakkerschakeling of “pad” (vaak -20dB) is een schakeling waarmee het signaal verzwakt kan worden voor die situatie dat het ingangssignaal te sterk is voor de voorregeling (gain). Hiermee kan oversturing van de ingangversterker worden voorkomen.
- laag-af filter (= hoogdoorlaat): dit filter kan worden gebruikt om ongewenste laagfrequentsignalen te dempen. De waarde van het filter ligt doorgaans tussen 50 en 100Hz. Bij sommige mengtafels is het filter variabel uitgevoerd en kan men tussen 0 en ca. 200Hz regelen.
- ompoolfunctie (phase): hiermee kan de polariteit van het signaal worden geïnverteerd (ook wel tegenfase genoemd, echter een foutieve term).

2.2.2 Toonregeling (EQ)

Om het mogelijk te maken de klank van het signaal te beïnvloeden dan wel klankcorrecties te maken wordt in een mengtafel een toonregeling opgenomen. Deze toonregeling kan bestaan uit:

- een regeling met vaste frequenties, laag “shelving”, midden “bell” en hoog “shelving”;
- semi parametrisch; hierbij kan bij één of meerdere filters de frequentie worden geregeld;
- vol parametrisch; hierbij kan naast de frequentie ook de breedte worden geregeld (de zogenoemde Q-factor of kwaliteitsfactor).

2.2.3 Insert

Het kan wenselijk zijn bepaalde bewerkingen of effecten uit te voeren op één enkel kanaal met gebruik van externe randapparatuur. Dit betekent dat er een mogelijkheid moet zijn om een randapparaat in de signaalweg te brengen. De signaalweg zelf zal dan moeten kunnen worden onderbroken en het signaal moet naar buiten worden gebracht. Hiervoor wordt een “insert” gebruikt (let.: tussenvoegen). In veel gevallen worden hiervoor één of twee zogenoemde genormaalde klinkbussen gebruikt. Indien een stekker in een bus wordt gestoken zal de oorspronkelijke signaalweg worden onderbroken en wordt deze via een randapparaat weer hersteld.

2.2.4 Volumeregeling

Nadat bewerkingen aan het signaal zijn uitgevoerd kan het niveau van het signaal worden geregeld om het aan te passen aan de andere signalen van de overige kanalen van de mengtafel.

2.2.5 Panoramaregeling (mono) of balansregeling (stereo)

Om het signaal in het stereobeeld te plaatsen wordt in het kanaal een panoramaregelaar toegepast. Met deze regeling kan het niveauverschil (intensiteitsverschil) tussen links en rechts (en soms midden) worden ingesteld om de plaatsing van de bron in het geluidsbeeld te realiseren. Indien met een stereokanaal wordt gewerkt is er een balansregelaar voorzien. Met deze regelaar wordt de onderlinge strekte tussen het linker en rechter kanaal geregeld. Vanuit de panorama- of balansregeling wordt het signaal op de signaalbus gezet, waarop ook de andere kanalen zijn aangesloten.

2.2.6 Subgroepen

Wordt het signaal in veel gevallen direct naar een “master”-somregelaar gestuurd, het is ook mogelijk van een deel van de kanalen een sub-mix te maken. Dit kan nodig zijn voor:

- meersporen opnamen;
- een voormix van een instrument of groep instrumenten die dan apart in het totaal ten opzichte van de overige instrumenten kan worden geregeld.

2.2.7 Auxillary

Voor het aansturen van randapparatuur, zoals b.v. een galmunit, of versterkers voor stagemonitors is op ieder kanaal een zogenoemde auxillary voorzien. Het signaal naar de auxillary komt doorgaans van net voor (pre-fader) of net na (post-fader) de volumeregeling. Soms kan dit via een schakelaar worden ingesteld. Hierdoor is het mogelijk te kiezen of het signaal qua sterkte al dan niet met de kanaalvolumeregeling moet meelopen.

2.2.8 PFL/solo

Om tijdens een mix een afzonderlijk kanaal af te luisteren wordt in het kanaal een PFL/solo functie opgenomen. Met deze functie kan via een hoofdtelefoon (live) of

studiomonitors (opnamen) het afzonderlijke kanaal worden beluisterd. Indien op het kanaal de schakelaar hiervoor wordt ingedrukt, wordt in de mastersectie omgeschakeld van het signaal van de mix naar het PFL/solo signaal. Bij PFL (pre-fader listening) wordt het signaal van voor de fader doorgestuurd, bij solo na de fader en na de balans (solo-in-place). Om dit mogelijk te maken wordt bij het schakelen, naast het doorsturen van het signaal op de bus, een logische vlag gezet om het de omschakeling in de master te activeren.

2.2.9 Bussen

Nadat de signalen het kanaal doorlopen hebben worden ze naar een zogenoemde bus geschakeld. De bus is een signaalweg door een mengtafel heen waar signalen opgezet (sommen) of afgehaald (distribueren) kunnen worden. In een mengtafel onderscheiden we drie soorten bussen:

- Sommatie bus: Naar deze bus worden de signalen van de afzonderlijke kanalen gestuurd die in een master, subgroep, aux of pfl/solo sectie worden gesommeerd.
- Distributiebus: Deze bus komt van een centrale sectie waarvan ieder kanaal het signaal op kan nemen, zoals b.v. "floating subgroepen" (hierbij wordt het subgroepsignaal via een kanaal-uit naar buiten gebracht bij een in-line tafel) of waar de subgroepen hun signaal vanaf halen.
- Logische bus: Dit is een digitale schakelbus waarop tussen "0" en "1" wordt geschakeld. Een kanaal kan hierop een zogenoemde vlag zetten om een functie op een centrale eenheid te schakelen (b.v. bij pfl/solo). In veel gevallen wordt een spanning (logische één), die via een weerstand op een logische schakeling is voorzien, kortgesloten (naar een logische nul toe) via de bus. Een veel gebruikte schakeling hiervoor is opgebouwd uit een zogenoemde NAND. Een NAND heeft minimaal twee ingangen en één uitgang. Indien op de beide ingangen een logische één staat, staat op de uitgang een logische nul. Is één of meerdere ingangen een logische nul, dan zal op de uitgang een logische één staan.

2.3 Typen mengtafels

2.3.1 Subgroepmengtafel

Bij een sub-groepmentafel is het mogelijk naast een masterregeling een mix te maken op een aparte sub-groep.

2.3.2 In-line mengtafel

Bij een in-line mengtafel wordt het signaal van het kanaal via de uitgang van dat zelfde kanaal naar buiten gebracht. Het is ook mogelijk het signaal van andere kanalen naar dat kanaal te sturen. Hierbij wordt de sommatieversterker, voor de bij de subgroep behorende bus, in het kanaal voorzien. Ook is het mogelijk de signalen in een centrale sectie te sommeren en via een distributiebus aan de kanalen aan te bieden. Via een schakelaar kan men dan het signaal naar de uitgang van een kanaal leiden. Dit principe wordt “floating sub-group” genoemd. In-line tafels worden voornamelijk gebruikt in opnamestudio's.

2.3.3 Matrix- of monitormengtafel

Een matrix- of monitormengtafel kan het best worden beschreven als een tafel met een zeer uitgebreide auxillary, waarbij iedere aux per kanaal regelbaar. De auxillaries van de kanalen worden naar “subgroepen” geleid.

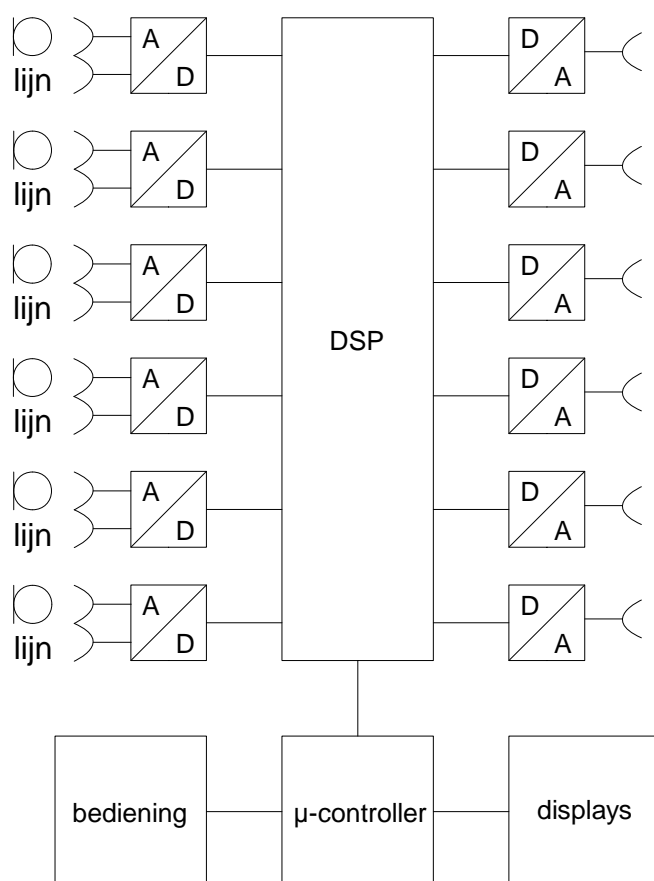
2.3.4 Broadcast- of regiemengtafel

Een speciaal type mengtafel is de broadcast -of regietafel. In basis is deze mengtafel een stereo mengtafel (alleen master), echter voorzien van mogelijkheden en voorzieningen die nodig zijn voor het maken van radio, zoals het gebruik van telefoon-interfaces, speciale communicatie van studio naar regie etc.

2.4 Digitale mengtafels

De hierboven beschreven functies worden in een analoge mengtafel met analoge elektronische schakelingen, versterker- en filterschakelingen, opgebouwd. Bij een digitale mengtafel wordt hetingangssignaal van een analoog signaal omgezet naar digitale woorden. De hierboven genoemde functies worden in een signaalprocessor

geprogrammeerd. De bewerkingen onderscheiden zich nauwelijks van een analoge mengtafel, het is voornamelijk de wijze waarop de bewerkingen worden uitgevoerd. Het grote voordeel van een digitale tafel is dat men extra bedienfuncties en signaalbewerkingen (b.v. dynamics) afhankelijk van het beschikbare geheugen kan inbouwen.



figuur 2.2; principe digitale mengtafel

2.5 Opgaven

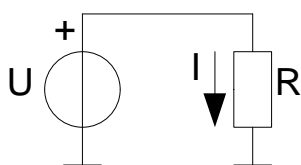
- 1) Een eenvoudige mengtafel heeft een ingangssectie, een toonregeling, een pre- en een post-aux, pfl, een balansregelaar en een volumeregeling. De tafel heeft twee stereo uitgangen waarbij ieder kanaal het signaal naar één of beide uitgangen kan sturen. Geef het blokschema van het kanaal.

3 WETTEN VAN OHM EN KIRCHHOFF

3.1 Wet van Ohm

De wet van Ohm luidt:

“De elektrische weerstand van een stuk materiaal is de verhouding van de spanning tussen de uiteinde van het stuk materiaal en de stroom door het materiaal”.



figuur 3.1; stroom I als gevolg van spanning U over weerstand R

In een formule beschreven staat er:

$$R = \frac{U}{I} \quad [3.1]$$

De wet van Ohm houdt in dat een stroom niet zomaar ergens loopt. Er dient een spanning aanwezig te zijn. De spanning is het gevolg van de weerstand van het materiaal; tot op heden zijn er geen supergeleiders (een materiaal met weerstand nul) die bruikbaar zijn bij kamertemperatuur. Dit betekent ook, dat als er een spanningsverschil bestaat tussen twee punten en tussen deze punten een verbinding wordt gelegd, er dus een stroom gaat lopen. Wordt deze verbinding gemaakt met een koperen draad nog zo dik, er is nog steeds een weerstand en dus een spanningsverschil over die draad.

Een stroom loopt altijd in een kring. Het is dus niet mogelijk een stroom zomaar “af te voeren” naar een nulpunt. Als een bron een bepaalde stroomsterkte levert, dan komt deze gelijke stroomsterkte terug.

3.2 Eerste wet van Kirchhoff: stroomwet

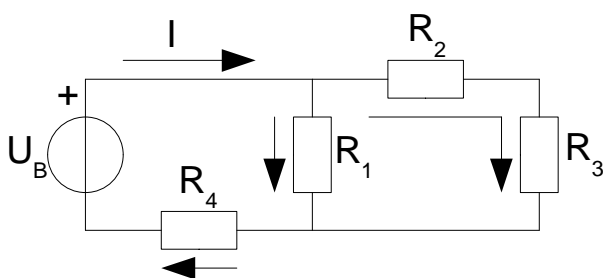
De stroomwet van Kirchhoff luidt:

“In elk knooppunt is de som van alle stromen gelijk aan nul.”

In een formule beschreven staat er:

$$\sum_n I = 0 \quad [3.2]$$

In figuur 3.2 hieronder is dit grafisch weergegeven.



figuur 3.2; schema met stroomverloop

Stel nu de stroom vanuit de pluspool van de bron. Deze deelt zich op in een stroom door R₁ en een stroom door R₂. De som van deze stromen op dit punt is nul.

3.3 Tweede wet van Kirchhoff: spanningswet

De spanningswet van Kirchhoff luidt:

“In een gesloten keten van een willekeurig netwerk is de som van de elektrisch bronspanningen gelijk aan de som van de ohmse spanningsverliezen.”

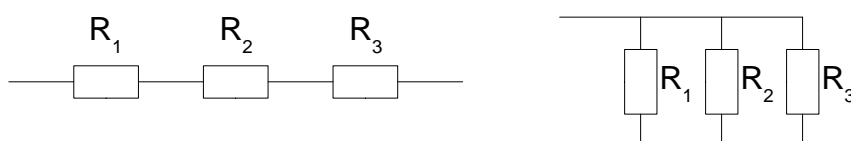
In een formule beschreven staat er:

$$\sum_m E = \sum_n IR \quad [3.3]$$

Beschouw wederom figuur 3.2. De bronspanning U_B is gelijk aan de spanning over R₁, met daaraan parallel R₂ en R₃ in serie en de spanning over R₄ tezamen.

3.4 Serie en parallel schakelen van weerstanden

In figuur 3.2 worden weerstanden zowel in serie geschakeld als parallel. Van een serieschakeling wordt gesproken wanneer één kant van de een component met één kant van een andere component is verbonden zodanig dat door beide componenten de gelijke stroom loopt. Bij een parallelschakeling zijn beide componenten op gelijke aansluitpunten verbonden dusdanig dat de stroom over beide componenten wordt verdeeld. In figuur 3.3 hieronder worden beide situaties weergegeven.



figuur 3.3; serie (links) en parallel (rechts) schakelen van weerstanden

Met behulp van de wetten van Ohm en Kirchhoff kan de vervangingsweerstand van een serie- of een parallelschakeling worden bepaald. Bij een serieschakeling zal de stroom door de weerstanden gelijk zijn en de spanning zich over de weerstanden verdelen. Voor de vervangingsweerstand in een serieschakeling geldt:

$$R_v = \sum_{n=1}^{n=m} R_n \quad [3.2]$$

Bij een parallelschakeling zal de spanning over de weerstanden gelijk zijn en zal de stroom zich over de weerstanden verdelen. Voor de vervangingsweerstand in een parallelschakeling geldt:

$$R_v = \frac{1}{\sum_{n=1}^{n=m} \frac{1}{R_n}} \quad [3.3]$$

3.5 Opgaven

- 1) Toon met behulp van figuur 3.2 de wetten van Kirchhoff aan waarbij
 - $U_B = 25V$
 - $R_1 = 470\Omega$
 - $R_2 = 120\Omega$
 - $R_3 = 150\Omega$
 - $R_4 = 330\Omega$

4 DE DECIBEL

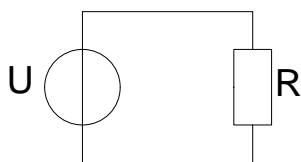
4.1 Definitie

In de elektronica, telecommunicatie en akoestiek wordt veelvuldig gebruik gemaakt van de decibel, afgekort als dB. De decibel is een energetische verhoudingsmaat en geeft de verhouding tussen twee vermogens weer. Mathematisch wordt de decibel als volgt gedefinieerd:

$$L = 10 \log \frac{P}{P_{\text{ref}}} \quad [4.1]$$

waarbij: L = niveau [dB]
 P = vermogen [W]
 P_{ref} = referentievermogen [W]

In afbeelding 4.1 is een schema gegeven van een spanningsbron met een spanning U over een weerstand R .



figuur 4.1; spanningsbron over een weerstand

Voor het vermogen veroorzaakt door die spanning over de weerstand geldt:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad [4.2]$$

waarbij: P = vermogen [W]
 U = spanning [V]
 R = weerstand [Ω]

Stel nu dat de spanning van de bron kan worden gevarieerd. Wordt de voorgaande formule in de formule van de decibel gesubstitueerd, dan geldt voor de decibel als verhoudingsmaat voor spanningen, uitgaande van een gelijke belastingsweerstand:

$$L = 10 \log \frac{U^2/R}{U_{\text{ref}}^2/R} = 10 \log \frac{U^2}{U_{\text{ref}}^2} = 10 \log \left(\frac{U}{U_{\text{ref}}} \right)^2 = 20 \log \frac{U}{U_{\text{ref}}} \quad [4.3]$$

De referentiespanning kan willekeurig zijn, ter bepaling van de spanningsversterking, of een vastgestelde referentie om het werkelijke niveau weer te geven. Veel gebruikt zijn:

- dBu, met een referentiespanning van 775mV,
- dBV, met een referentiespanning van 1V

Een notatie die ook voorkomt om spanningen aan te duiden is dBm. Dit is echter een vermogensverhouding met als referentie 1mW. Wanneer een belatingsweerstand van 600 Ω wordt genomen behoort daarbij een spanning van 775mV. Bij andere belastingsweerstand zal dus een andere spanning behoren (b.v. bij 820 Ω is de spanning 906mV).

4.2 Rekenen met de decibel

Wanneer spanningen of vermogens bij elkaar worden opgeteld en deze in een niveau worden uitgedrukt, dan kunnen deze niet rekenkundig worden opgeteld. Niveau's kunnen op twee manieren worden opgeteld:

- 1) energetisch: dit is bij vermogens en bij ongecorreleerde signalen;
- 2) amplitude: dit is bij gecorreleerde signalen zonder faseverschil.

Voor een energetische optelling geldt:

$$L_{\text{tot}} = 10 \log \sum_{n=1}^{n=m} 10^{\frac{L_n}{10}} \quad [4.4]$$

Voor een amplitude-optelling geldt:

$$L_{\text{tot}} = 20 \log \sum_{n=1}^{n=m} 10^{\frac{L_n}{20}} \quad [4.5]$$

In tabel 4.1 hieronder is de toename van het sterkste niveau gegeven wanneer twee niveau's bij elkaar worden opgeteld uitgaande van het verschil tussen deze niveau's.

verschil [dB]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
energetisch [dB]	3,0	2,5	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4
amplitude [dB]	6,0	5,5	5,1	4,6	4,2	3,9	3,5	3,2	2,9	2,6	2,4

tabel 4.1; niveautoename van het sterkste signaal bij optellen twee signalen

4.3 Opgaven

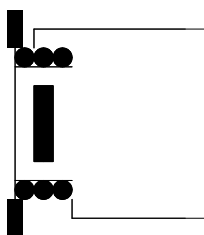
- 1) Er wordt een spanning gemeten van 316mV; Druk deze spanning uit in een niveau zowel in een dBV- als een dBm-notatie.
- 2) Een spanning van 25mV wordt versterkt dusdanig dat op de uitgang van de versterker 800mV staat. Wat bedraagt de versterking uitgedrukt in een niveau.
- 3) Twee signalen, één met een sterkte van 125mV en één met een sterkte van 200mV worden gesommeerd. Druk deze spanningen uit als niveau (referentie 1V) en wat wordt het totale niveau zowel als deze signalen gecorreleerd als ongecorreleerd zijn.

5 MICROFOONS

5.1 Microfoontypen

Een microfoon is een transducent die een geluidsdruk p [Pa] omzet naar een spanning U [V]; het is een amplitude-omzetter. Er zijn verschillende principes om dit te doen waarvan er hieronder enkele zijn benoemd en beschreven:

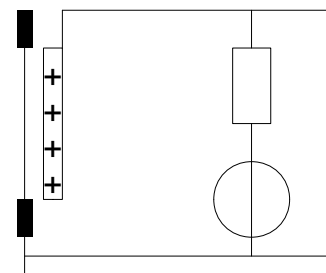
- Elektrodynamisch: bij elektrodynamische microfoon, kortweg dynamische microfoon, is het membraan voorzien van een spoel die zich in een statisch magnetisch veld bevindt van een magneet. Wanneer het membraan beweegt, zal een spanning worden opgewekt in de spoel, vergelijkbaar met een dynamo. De elektrodynamische microfoon is een zelfgenererende microfoon die geen hulpspanningen behoeft om een audiosignaal te genereren. De spanning die een dynamische microfoon levert wanneer het geluid frontaal invalt is type afhankelijk maar ligt doorgaans rond 2mV/Pa. De uitgangsimpedantie ligt doorgaans tussen de 150 Ω en 200 Ω .



figuur 5.1; principe elektrodynamische microfoon

- Elektrostatisch; een elektrostatische microfoon, ook wel condensatormicrofoon genoemd, bestaat uit een vaste plaat en een membraan waartussen een spannings- en dus een ladingsverschil aanwezig is. Voor het laten functioneren van een condensator is dus een polarisatiespanning nodig, welke in de praktijk wel 200v kan bedragen. Wanneer het membraan beweegt zal de capaciteit van de condensator veranderen. Deze neemt toe als het membraan naar binnen beweegt. Indien weerstand R een zeer hoge waarde heeft zal de lading en dus de veldsterkte over de condensator gelijk blijven. Bij afnemende afstand zal de spanning over de condensator dan toenemen. Om een hoge weerstand te behouden is een impedantie-aanpassing nodig welke wordt gerealiseerd door een versterker met een zeer hoge ingangsimpedantie (b.v. een FET als sourcevolger of m.b.v. van een triode-buis). Een condensatormicrofoon heeft dus altijd een hulpspanning nodig om te functioneren. De spanning die een condensatormicrofoon levert wanneer het geluid frontaal invalt is type afhankelijk maar ligt doorgaans rond 10mV/Pa. De uitgangsimpedantie ligt

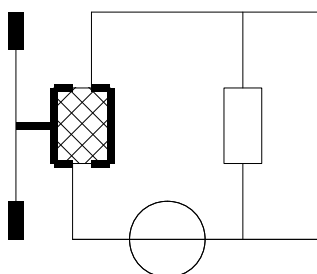
doorgaans tussen de 150Ω en 200Ω .



figuur 5.2; principe condensatormicrofoon

Een variant op de condensatormicrofoon is de electreet. Hierbij is de lading “ingebakken” op de achterplaat. Een polarisatiespanning is dan niet nodig. Een spanning voor de versterker t.b.v. de impedantie-aanpassing blijft echter wel nodig.

- Variabele weerstand; een microfoon die functioneert als variabele weerstand wekt zelf geen spanning op. Deze microfoon is veelal uitgevoerd als koolmicrofoon; hierbij bevinden zich koolstofkorrels tussen een vast plaat en het membraan. Wanneer het membraan beweegt zal de weerstand veranderen door de gewijzigde positie van de koolstofkorrels. Wanneer een gelijkspanning op de microfoon wordt aangelegd, zal de stroom die gaat lopen variëren met de geluidsdruk op het membraan. Wanneer in serie met de microfoon een weerstand wordt genomen, kan hiervan de spanningsvariatie worden afgenomen via b.v. een transformator. Dit type microfoon is lange tijd toegepast in telefoons. De spanningvariatie die met een koolmicrofoon kan worden verkregen wanneer het geluid frontaal invalt is geheel afhankelijk van de opbouw van de microfoon en keuze van de componenten rond de microfoon. Deze spanningen kunnen echter veel hoger zijn dan bij de dynamische of condensatormicrofoon. Koolmicrofoons vervormen het geluid doorgaans zeer sterk.



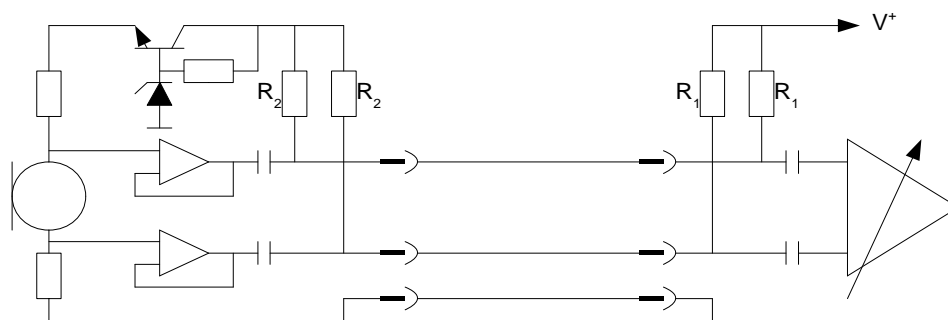
figuur 5.3; principe koolmicrofoon

5.2 Fantomvoeding

Om een condensatormicrofoon te voeden kan naast een aparte voeding ook een fantoomspanning worden gebruikt (zie ook mengtafels). In de microfoon is een weerstandnetwerk opgenomen van twee gelijke weerstanden (R_2). De weerstanden zijn aan één kant met elkaar verbonden en aan de andere aan één van de signaalgeleiders. Daar waar de weerstanden aan elkaar verbonden zijn is een circuit aanwezig dat de spanning maakt die de microfoon nodig heeft. Aan de versterkerzijde is tussen het punt waar de weerstanden R_1 aan elkaar verbonden zijn en de referentie een spanning aanwezig waarmee de elektronica in de microfoon wordt gevoed. Voor voedingsspanning en de weerstanden R_1 gelden de waarden als vermeld in tabel 5.1 uit IEC 60268-15A. In figuur 5.4 is het schema van fantoomvoeding gegeven.

spanning [V]	R_1 [Ω]	I_{max} [mA]
12 ± 2	680	15
24 ± 4	1200	10
48 ± 4	6800	10

tabel 5.1; specificatie weerstanden volgend IEC 60268-15A



figuur 5.4; principe fantoomvoeding

5.3 Opgaven

- 1) Op een microfoon met een gevoeligheid van 5mV/Pa valt een signaal met geluiddruk van $0,1\text{Pa}$ ($=74\text{dB}$ geluiddruk niveau). Welke spanning staat er op de pinnen van de microfoon, zowel als fysische grootte als niveau?
- 2) Een condensatormicrofoon wordt aangesloten op een mengtafel die de microfoon van een fantoomspanning voorziet. De fantoomspanning is 48V . Wat is de spanning op de signaaladers ten opzichte van de referentie als de microfoon een stroom van 5mA nodig heeft.

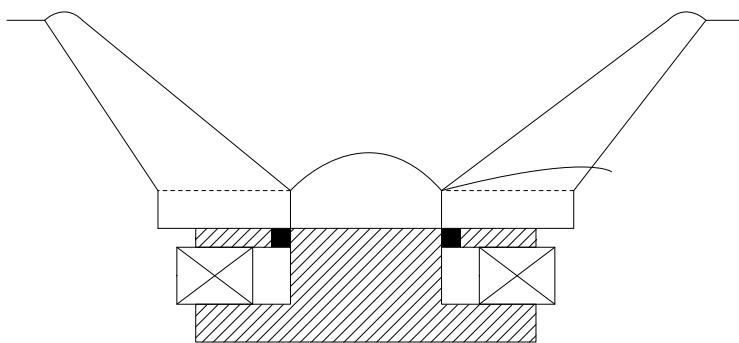
6 LUIDSPREKERS

6.1 Inleiding

Een luidspreker is een transducent die elektrische energie omzet in geluidenergie en warmte; het is een vermogensomzetter. Het is een elektromotor die een longitudinale beweging uitvoert. Een spanning vanuit een versterker wordt op de klemmen van de luidspreker aangeboden. In dit hoofdstuk zal de elektrische kant van de luidspreker worden beschouwd.

6.2 Opbouw van een luidspreker

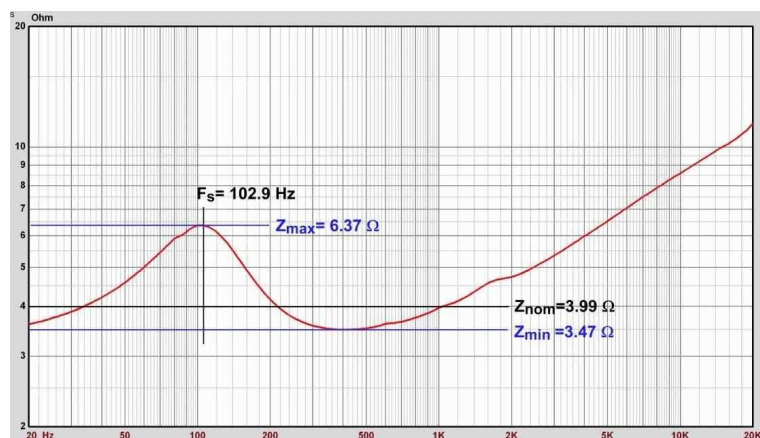
De meest gebruikte luidspreker is de elektrodynamische luidspreker. Hierbij is de conus verbonden aan een spoel die zich in een statisch magnetisch veld van een magneet bevindt.



figuur 6.1; doorsnede luidspreker (driver)

6.3 Nominale en werkelijke impedantie

Het elektrisch vermogen dat door de luidspreker wordt opgenomen is afhankelijk van de impedantie van de luidspreker. Bij een luidspreker wordt doorgaans de nominale impedantie vermeld. De werkelijke impedantie is frequentie-afhankelijk en kan lager zijn dan de nominale impedantie. In figuur 6.2. is het impedantieverloop van een luidspreker weergegeven.

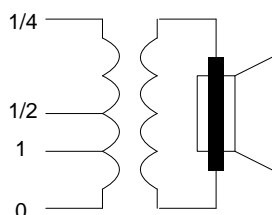


figuur 6.2; impedantieverloop luidspreker (4Ω)

Het verloop van de impedantie is met name van belang wanneer luidsprekers parallel worden aangesloten. De nominale impedantie die dan ontstaat zou voor een gegeven versterker geen probleem mogen zijn voor wat betreft het leveren van de stroom. Echter, wanneer in een bepaald gebied de impedantie te laag wordt, kan wanneer deze frequentie wordt aangeboden de beveiliging in werking treden dan wel de versterker defect raken.

6.4 100V-luidsprekers

100V-luidsprekers zijn luidsprekers die zijn voorzien van een zogenoemde 100V-transformator. Deze transformator dient er voor om de belastingsimpedantie te verhogen. Hierbij wordt de transformator zo gekozen dat bij maximale spanning (100V) een bepaald vermogen wordt opgenomen door de luidspreker. De luidspreker wordt dan ook als zodanig gespecificeerd. Bij een 100V-systeem worden de luidsprekers parallel op de versterker aangesloten. Door het vermogen van alle luidsprekers bij elkaar op te tellen kan de totale belasting van de versterker worden berekend. Deze belasting mag het versterkervermogen niet overschrijden. Op de transformator van de luidspreker zijn doorgaans meerdere aansluiten voorzien, zogenoemde “taps”, zodat men de belasting kan kiezen. Men kan doorgaans kiezen uit de volle, een halve of een kwart van belasting. Hiermee kan men ook niveauverschillen creëren.



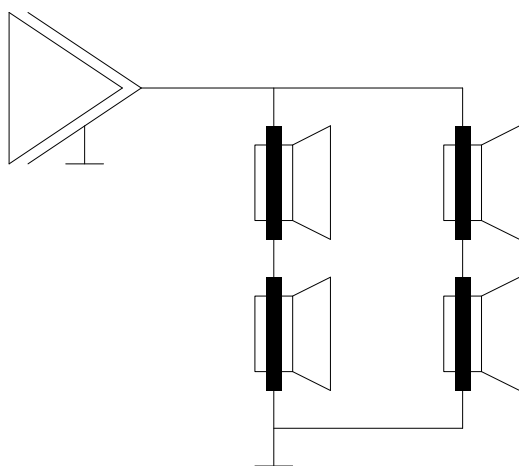
figuur 6.3; 100V-luidspreker

6.5 Het in serie of parallel aansluiten van luidsprekers op een versterker

Het is mogelijk meerdere luidsprekers op één versterkeruitgang aan te sluiten. Hierbij moet rekening worden gehouden dat de totale impedantie van alle op het kanaal aangesloten luidsprekers tezamen niet onder de minimum waarde van de door de versterker vereiste waarde komt. De versterker kan dan worden overbelast wanneer een stroom moet worden geleverd die de versterker niet aan kan. Men kan luidsprekers op de volgende manieren of in combinatie daarvan aansluiten:

- in serie
- parallel

In figuur 6.4 is schematisch de aansluitwijze weergegeven.



figuur 6.4; het is serie en parallel aansluiten van luidsprekers op een versterker

Wanneer de luidsprekers in serie worden aangesloten kan men de impedanties optellen. Wanneer deze parallel worden aangesloten geldt formule 7.3. Bij het aansluiten van luidsprekers in serie neemt de demping af doordat vanuit één luidspreker gezien de weerstand die deze luidspreker ziet toeneemt. Door de massa van de conus zal deze de neiging hebben na te trillen. Dit natrillen wordt afgeremd door de spreekspoel zo goed mogelijk kort te sluiten. Hoe lager de uitgangsimpedantie van de versterker, des te beter dit gebeurt. Dit is met name van belang bij een lage-tonenluidspreker, daar de conus van deze luidspreker een relatief grote massa bezit.

6.6 Opgaven

- 1) Een versterker met een voedingsspanning van 30V kan een maximaal piekvermogen leveren van 300W. Wat is de minimale impedantie die op de versterker dient te worden aangesloten?
- 2) Er zijn drie luidsprekers met een impedantie van 8Ω . Wat is de totale impedantie als deze luidsprekers parallel worden aangesloten en wat is deze als de luidsprekers in serie worden aangesloten.
- 3) In een toneelrand worden 100V-luidsprekers toegepast van 6W ten behoeve van de "front-fill". De luidsprekers kunnen worden ingesteld op een "tap" van vol, half of een kwart vermogen. Hoeveel luidsprekers kunnen er minimaal en maximaal op een versterker van 50W worden aangesloten?

7 VERMOGENSVERSTERKERS

7.1 Functie van de vermogensversterker

Een vermogensversterker, zoals de naam al zegt, dient (elektrische) vermogens te leveren. Het is een spanningsversterker met de functie daarbij een grote stroom te leveren. Dit betekent dat warmte-ontwikkeling en elektrisch rendement een rol gaan spelen. Met een vermogensversterker kunnen derhalve direct luidsprekers worden aangestuurd.

7.2 De transistor

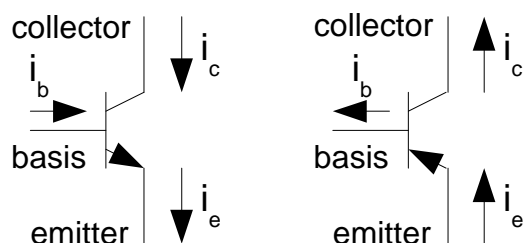
De basis van nagenoeg iedere versterker is de transistor. Naast de transistor worden ook de FET en MOSFET gebruikt ((metaaloxide) veld-effect transistor). De transistor kan worden vergeleken met een kraan die meer of minder kan worden opengezet. De transistor heeft drie aansluitpunten:

- collector
- basis
- emitter

De transistor is een stroomversterker met een versterkingsfactor β . Voor de stromen die door een transistor lopen geldt:

- $i_c = i_b \cdot \beta$
- $i_e = i_c + i_b$

Een transistor kan worden uitgevoerd in een PNP of een NPN type. Indien deze van een gelijke opbouw zijn wordt gesproken van complementaire typen. Hieronder zijn de symbolen gegeven met het stroomverloop.

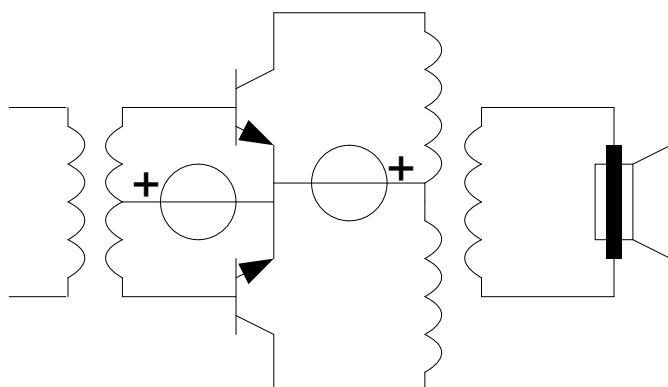


figuur 7.1; transistor PNP (links) en NPN (rechts)

7.3 Typen versterkers

7.3.1 Klasse A

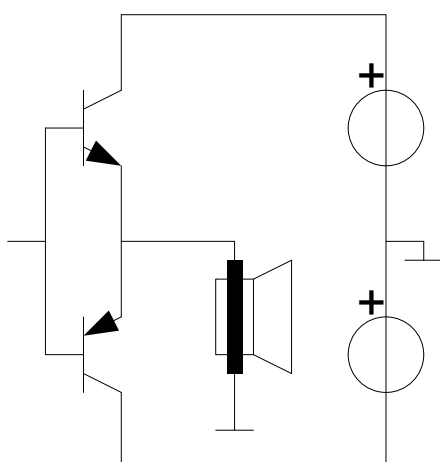
Een klasse A versterker is een versterkerschakeling bestaande uit twee identieke transistoren. De transistoren zijn zo geschakeld dat de minste vervorming optreedt en zo ingesteld dat deze in hun meest lineaire gebied werken. Het nadeel van deze schakeling is de hoge “nulstroom” en halve spanning over de transistor in rust. Verder heeft deze versterker een laag rendement; veel energie gaat verloren in warmte. Het voordeel is dat er geen overgangsvervalsing ontstaat wanneer het signaal van positieve uitslag naar een negatieve uitslag gaat.



figuur 7.2; klasse-A versterker

7.3.2 Klasse B

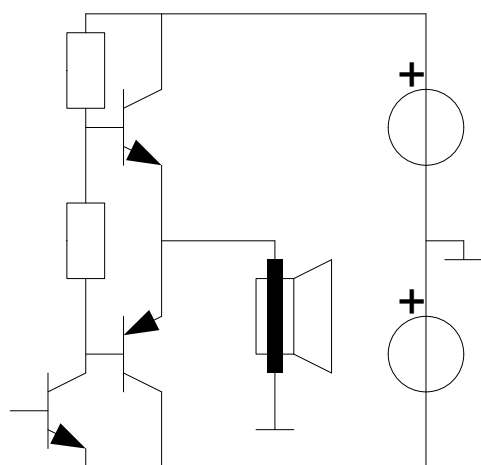
Een klasse B-versterker is opgebouwd uit twee transistoren, een PNP en een complementaire NPN, in een zogenoemde “push-pull” schakeling. In rust loopt er door de transistoren geen stroom. Het nadeel van deze versterker is de zogenoemde overgangs- of “cross-over”vervalsing die ontstaat door de basis-emitterovergang van de transistor. Wil de transistor geleiden, dan zal de spanning over de basis en de emitter 0,7V dienen te zijn (bij een silicium transistor). Het rendement van deze versterker ligt duidelijk hoger dan bij de klasse-A versterker, maar komt met een sinusvormig signaal niet boven de 50%. Op het moment van halve uitsturing staat de halve voedingsspanning over de transistor en loopt er een relatief grote collectorstroom. Hierdoor wordt er vermogen en dus warmte in de transistor ontwikkeld.



figuur 7.3; klasse-B versterker

7.3.3 Klasse A/B

Om het probleem van de “cross-over”-vervalsing te omzeilen wordt in het circuit van een klasse B-versterker een “offset”-stroomcircuit opgenomen. Bij het uitsturen met een kleine signaalsterkte zal dit circuit zorgen voor de spanning.

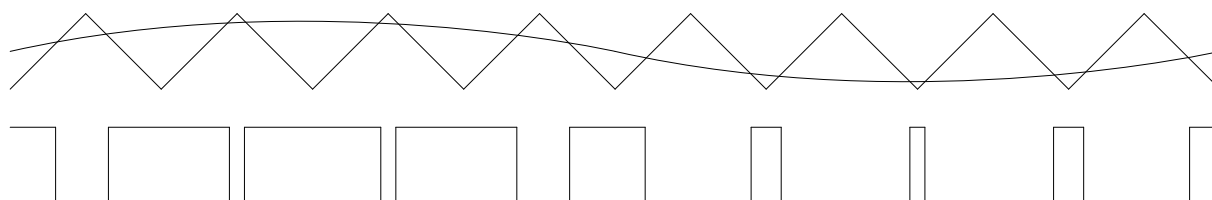


figuur 7.4; klasse-A/B versterker

7.3.4 Klasse D

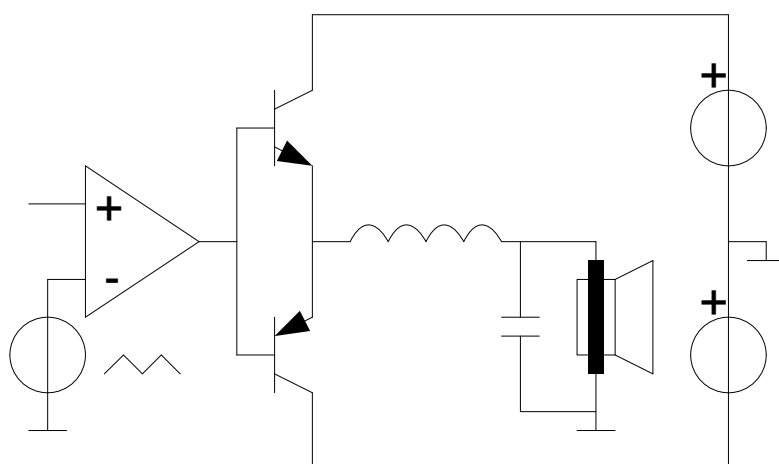
In tegenstelling tot de versterkerklassen A, B, A/B en G, wordt niet het eigenlijke audiosignaal versterkt, maar het audiosignaal pulsbreedte gemoduleerd (PWM; Pulse Width Modulation). Dit werkt als volgt. Aan een comparator wordt het audiosignaal aangeboden aan de niet-inverterende ingang en een hoogfrequente driehoekspanning als modulatiespanning aan de inverterende ingang. Indien op

een moment de spanning van het audiosignaal hoger is dan van het modulatiesignaal, zal de comparator een positieve spanning leveren gelijk aan de voedingsspanning. Is het modulatiesignaal sterker, dan zal een negatieve spanning worden geleverd, gelijk aan de negatieve voedingsspanning. Er ontstaat een blokspanning met een variërende pulsbreedte zoals getoond in figuur 8.5.



figuur 7.5; analoog naar puls-breedte-omzetting

Aan de uitgang van de versterker is een laagdoorlaatfilter voorzien die het hoogfrequente signaal er uit filtert en een audiosignaal zodoende restaureert. Het filter functioneert als een demodulator.



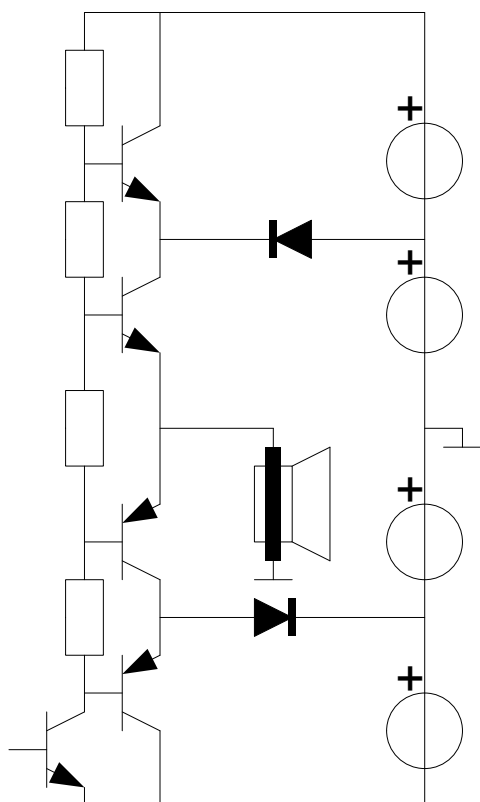
figuur 7.6; klasse-D versterker

Het voordeel van een Klasse-D versterker is het zeer hoge rendement, welke theoretisch 100% bedraagt. De transistoren schakelen namelijk louter tussen maximale spanning (geen collector-emitterspanning, hoge collectorstroom) en geen spanning (geen stroom door de transistor, hoge collector-emitterspanning). Op deze wijze zal er in de transistor weinig vermogen (warmte) worden ontwikkeld.

Een klasse-D versterker kan ook direct vanuit digitale apparatuur worden aangestuurd als deze apparatuur het digitale, meestal een PCM-sigitaal (Pulse Coded Modulation), naar een PWM signaal omzet. Een PWM-sigitaal kan, net als het PCM-sigitaal, worden opgevat als een bitstream. De conversie van digitaal naar analoog geschiedt dan in de vermogensversterker.

7.3.5 Klasse G

Een klasse-G-versterker is in basis een klasse-A/B-versterker, echter wordt het vermogen niet door één transistor geleverd per kant, maar door meerdere in een zogenoemde “totempole”-schakeling. In de maximale uitsturing bevinden zich de pieken, waar een zeer laag vermogen wordt geleverd. Grote vermogen worden geleverd bij lagere spanningen. Dit heeft te maken met het signaalgedrag. Het verschil tussen de effectieve waarde van een signaal en de piekwaarde van de spanning kan een factor twee tot zes bedragen. Bij een klasse-A/B-versterker dient de voeding zo te zijn ontworpen, dat ook bij een piekspanning een grote stroom kan worden geleverd. Door de uitsturing over meerdere transistoren te spreiden kan een voeding (met name de transformator) efficiënter worden gebruikt en dus lichter worden uitgevoerd (alleen de lage spanning dient de volle stroom te kunnen leveren).

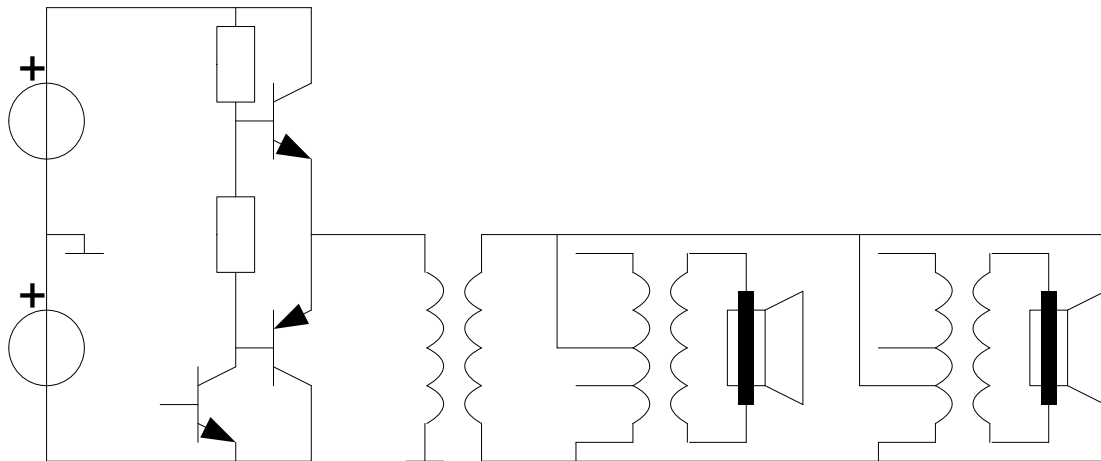


figuur 7.7; klasse-G versterker

7.3.6 100-Volt versterkers

Een 100V-versterker bestaat uit één van de eerder beschreven versterkerklassen, maar is dusdanig uitgevoerd dat bij maximale spanningsuitsturing een spanning van 100V rms sinus (=141V piek) op de uitgangsklemmen staat. Deze spanning

wordt meestal bereikt door een uitgangstransformator toe te passen om de spanning omhoog te transformeren. Dit type versterker wordt gebruikt bij een zogenoemd gedistribueerd luidsprekersysteem. Hierbij worden meerdere luidsprekers met een relatief laag vermogen parallel op één versterker aangesloten zoals getoond in figuur 7.8. Dit wordt onder andere toegepast bij omroep- en evacuatiesystemen, maar ook bij een zogenoemde “front-fill” of onderbalkonondersteuning.

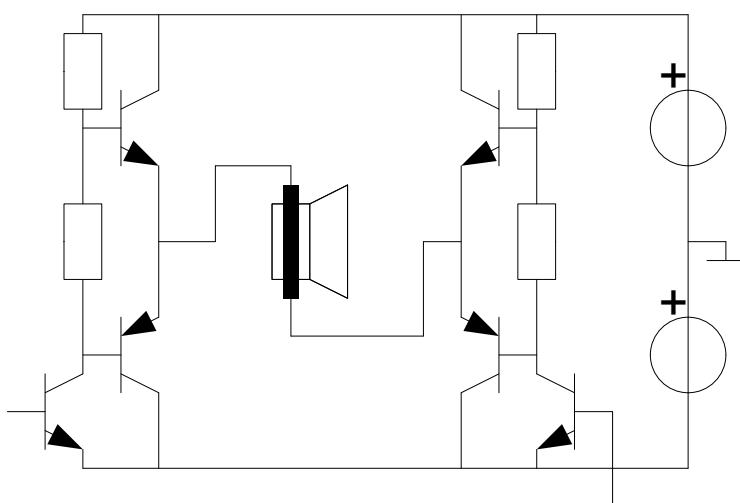


figuur 7.8; 100V-versterker met luidsprekers

De versterkers voor het aansturen van 100V-transformatoren zijn speciaal voor dit doeleinde ontworpen. Dit is noodzakelijk doordat transformatoren een inductieve belasting kunnen vormen waar niet ieder versterker voor geschikt is. Onder bepaalde omstandigheden kunnen tegenstromen ontstaan waardoor een “gewone” versterker het begeeft (exploderende vermogenstransistoren!). Sluit daarom niet zomaar een 100V-transformator aan op de uitgang van een willekeurige versterker.

7.4 De versterker in een brugschakeling

Vermogensversterkers zijn doorgaans opgebouwd uit twee versterkerkanalen, sommige typen zelfs uit vier of acht kanalen. De uitsturing van een versterker is doorgaans ten opzichte van de referentie (nul). Dit betekent dat telkens slecht één zijde van de voeding wordt gebruikt. Indien het audiosignaal bij één kanaal van de versterker origineel wordt aangeboden en bij het andere kanaal in tegengestelde polariteit, dan zal tussen de signaalklemmen van beide versterkerkanalen een spanning ontstaan die twee keer zo groot is ten opzichte van een enkel versterkerkanaal. Hierdoor is het mogelijk een vier keer zo groot vermogen te leveren, mits de versterker dit aan kan.



figuur 7.9; versterker in brugschakeling

7.5 Uitsturing bepalende factoren

7.5.1 Algemeen

Een versterker is niet in staat een oneindige stroom en spanning en dus vermogen te leveren. Op het moment dat de maximale stroom of spanning wil worden overschreden zal de versterker, wat men noemt, vastlopen. De grenzen van het vastlopen worden bepaald door o.a. de hieronder beschreven eigenschappen

7.5.2 Voeding

Het eerst bepalende element is de voeding. Deze zal instaat moeten zijn de stroom en spanning die noodzakelijk zijn te kunnen leveren. De voedingsspanning kan niet worden overschreden. Als meer stroom van de voeding wordt gevraagd dan deze aan kan dan zal de voeding, mits goed beveiligd, instorten. Om tijdelijk meer spanning aan de uitgang te kunnen leveren (pieken), worden in een versterker zogenoemde "bootstrap"-technieken gebruikt. Dit komt er kort op neer dat een condensator tijdelijk de spanning omhoog tilt. Deze ontlad dan echter wel.

7.5.3 Safe Operation Area (SOAR) van de transistor

Een transistor zal in een veilig werkgebied moeten opereren. Een transistor kan een bepaalde spanning en een bepaalde stroom aan, maar zal deze niet gelijktijdig

aankunnen. Een versterker zal dan ook zodanig zijn ontworpen dat als een transistor buiten zijn werkgebied dreigt te raken een beveiliging aansprijgt.

7.5.4 Temperatuur

Een andere belangrijke begrenzing is de temperatuur van een versterker. Als deze te hoog wordt zal een transistor kunnen verbranden. Om die reden worden temperatuurbeveiligingen ingebouwd. Deze kunnen op twee manieren werken:

- de versterker schakelt uit;
- de versterker vermindert de voedingsspanning waardoor deze minder vermogen kan leveren en dus minder warmte ontwikkeld.

7.5.5 Crest- of vormfactor

Van grote invloed is de signaolvorm. De strekte van een signaal wordt uitgedrukt als effectieve waarde. Dit is de gelijkspanningsequivalent van een signaal. Dit houdt in dat de spanning behorend bij het vermogen dat een signaal kan leveren gelijk is aan het vermogen dat een gelijkspanning zou leveren. Een signaal kent daarnaast pieken die groter zijn dan de effectieve waarde. De verhouding tussen de effectieve waarde en de piekwaarde heet crest- of vormfactor. Voor een sinus is deze 3dB. Bij spraak kan deze wel 15dB bedragen.

7.6 Opgaven

- 1) Een twee-kanaalsversterker kan per kanaal 100W leveren waarbij de minimale belasting 4Ω bedraagt. Indien deze versterker in een brugschakeling wordt gebruikt, wat wordt dan het vermogen en de minimale belasting.

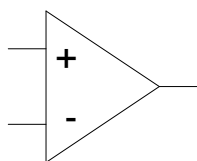
8 BASIS VERSTERKERS

8.1 Basiseigenschappen versterkers

Veel verstekerschakelingen zijn opgebouwd rond een zogenoemde “operationele versterker”, afgekort als “op-amp”. De eigenschappen van een op-amp zijn:

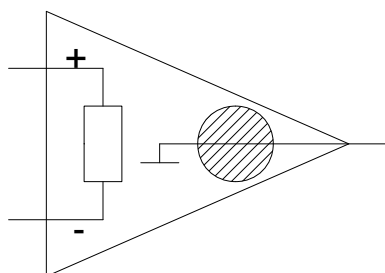
- zeer hoge ingangswaerstand;
- zeer lage uitgangswaerstand'
- het potentiaalverschil tussen de inverterende en de niet inverterende ingang is nul volt (als verschillende spanningen worden aangeboden dient dit via een waerstand te geschieden).

In het figuur 8.1 hieronder is het symbool van een op-amp weergegeven. De uitgang van een op-amp wordt gevormd door een gestuurde spanningsbron en de uitgangswaerstand.



figuur 8.1; symbool operationele versterker

Een ideale spanningsbron heeft een interne waerstand van nul ohm. Een ideale op-amp heeft een oneindige ingangswaerstand. Het vervangingsschema van een op-amp wordt dan zoals getoond in figuur 7.2 hieronder.

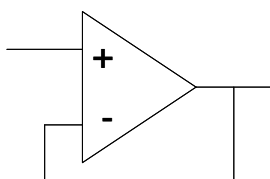


figuur 8.2; vervangingsschema operationele versterker

8.2 Spanningsvolger

Als bij een op-amp de uitgang direct wordt teruggekoppeld naar de inverterende ingang (tegenkoppelen) zoals aangegeven in figuur 8.3, zal de uitgang de

ingangsspanning op de niet-inverterende ingang overnemen.

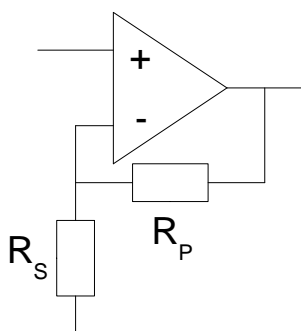


figuur 8.3; operationele versterker als spanningsvolger

Door de terugkoppeling zal de uitgangsweerstand nog verder dalen en nul Ohm naderen. Om een te hoge kortsluitsstroom te voorkomen en daardoor beschadiging van de versterker wordt buiten de versterker een weerstand met een lage waarde (tussen 10Ω en 100Ω) aangebracht. Spanningsvolgers worden o.a. gebruikt als buffers, die onder andere dienen om meerdere circuits aan te sturen wanneer de totale belasting te laag wordt als deze parallel worden aangesloten of als veiligheid om te voorkomen dat kortsluiting in één circuit het signaal beïnvloedt van een ander circuit.

8.3 Niet-inverterende versterker

Indien bij terugkoppeling geen directe verbinding wordt gebruikt, zoals bij de spanningsvolger het geval is, maar een spanningsdeler zoals aangegeven in figuur 8.4, dan zal een versterking van het ingangssignaal optreden.



figuur 8.4; operationele versterker als niet-inverterende versterker

Dit is als volgt te verklaren. Het verschil tussen de ingangen is nul volt. Als op de niet-inverterende ingang een spanning wordt aangelegd, dan zal deze ook op de inverterende ingang optreden. Door weerstand R_S naar het referentiepunt zal een stroom lopen die ook door de parallelweerstand R_P zal lopen. Hierdoor zal de uitgangsspanning gelijk zijn aan de ingangsspanning plus de spanning over parallelweerstand R_P . Voor de versterking van een niet-inverterende versterking geldt:

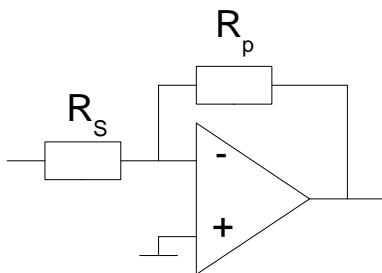
$$G = \frac{R_p + R_s}{R_s} = 1 + \frac{R_p}{R_s} \quad [8.1]$$

Bij dit type versterker is alleen versterking mogelijk, verzwakken van het signaal is niet mogelijk. Indien in plaats van weerstanden componenten worden gebruikt waarvan het gedrag frequentie-afhankelijk is, zoals een of een condensator, dan kan een actief filter worden gecreëerd.

De versterking die mogelijk is met dit type versterker wordt door de fabrikant gespecificeerd. Indien weerstandswaarden worden gebruikt die een hogere versterking geven dan gespecificeerd dan kan de versterker instabiel worden en kan oscillatie optreden. Indien een grotere versterking nodig is dan een versterker stabiel kan leveren, dan kunnen meerdere versterkers in cascade worden geschakeld.

8.4 Inverterende versterker

Wordt nu de niet-inverterende ingang van de versterker met het referentiepunt verbonden en het signaal via serieweerstand R_s aan de inverterende zijde toegevoerd, zoals aangegeven in figuur 8.5, dan zal een stroom gaan lopen door deze weerstand ter grootte van het quotiënt van deze spanning en serieweerstand R_s (de spanning op de op-amp ingangen is tenslotte nul volt).



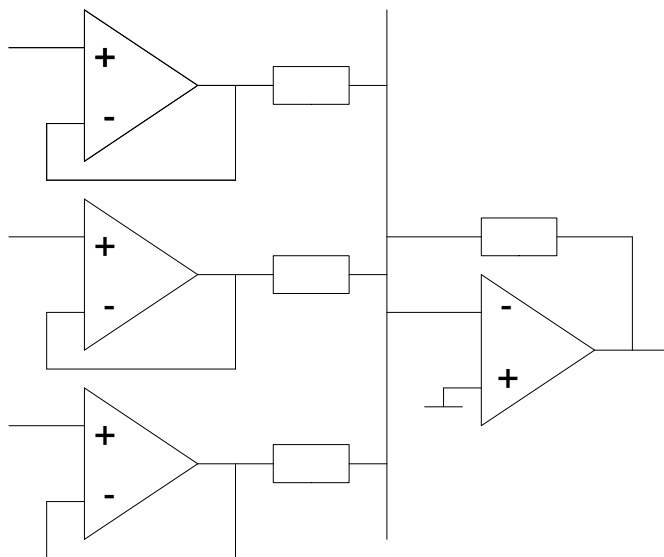
figuur 8.5; operationele versterker als niet-inverterende versterker

Deze stroom zal ook door parallelweerstand R_p lopen en wel in de gelijke richting. Dit betekent dat de uitgangsspanning een tegengestelde polariteit zal hebben ten opzichte van de ingangsspanning. Voor de versterking van een inverterende versterker geldt:

$$G = -\frac{R_p}{R_s} \quad [8.2]$$

Bij dit type versterker is het ook mogelijk het signaal (actief) te verzwakken. Indien voor parallelweerstand R_P nul ohm wordt gekozen, dan zal de versterking nul zijn. Dit type versterker wordt ook bij volumeregelingen gebruikt waar tot nul dient te worden teruggeregeld, zoals bij het volume van een kanaal van een mengtafel. De fader is dan aangesloten als parallelweerstand. Indien in plaats van weerstanden componenten worden gebruikt waarvan het gedrag frequentie-afhankelijk is, zoals een of een condensator, dan kan een actief filter worden gecreëerd.

Ook is het mogelijk met dit type versterker signalen te sommeren. Aan de ingang worden dan meerdere weerstanden voorzien, waarbij op iedere weerstand een bron kan worden aangesloten. In een mengtafel wordt de inverterende ingang van een inverterende versterker op de bus aangesloten. Aan de uitgang van ieder kanaal die naar de bus toegaat is een weerstand voorzien. In figuur 8.6 is dit weergegeven.

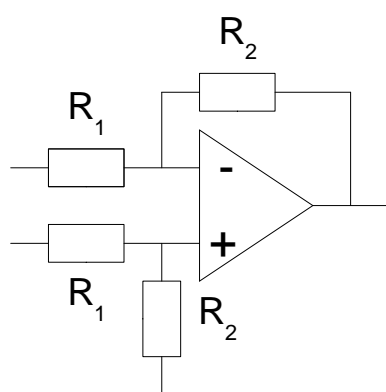


figuur 8.6; sommeerversterker

Voor de totaal haalbare versterking geldt het zelfde als bij de inverterende versterker.

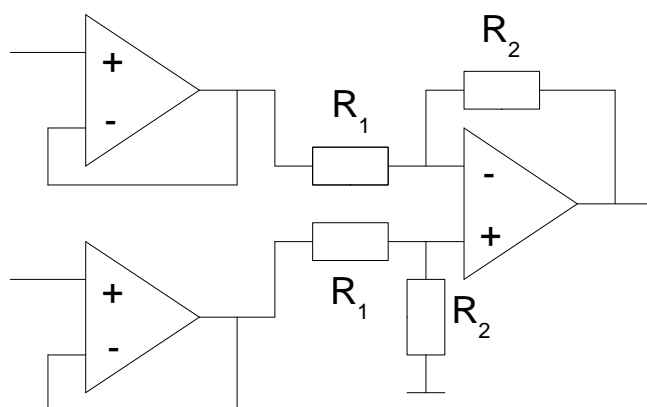
8.5 Gebalanceerde versterker

Een gebalanceerde versterker is een combinatie van de inverterende versterker en de niet-inverterende versterker. De weerstanden dienen zo te worden gekozen dat de spanningsversterking van het inverterende deel en het niet-inverterende deel in sterkte aan elkaar gelijk zijn. In figuur 8.7 hieronder is het schema weergegeven van de basisschakeling van een gebalanceerde versterker.



figuur 8.7; operationele versterker als gebalanceerde versterker

Aan deze basisschakeling kleeft het gevaar van verstoring van de weerstand aan de inganszijde. Om dit tegen te gaan wordt voor iedere zijde een spanningsvolger geplaatst, zoals in figuur 7.8 hieronder is weergegeven.

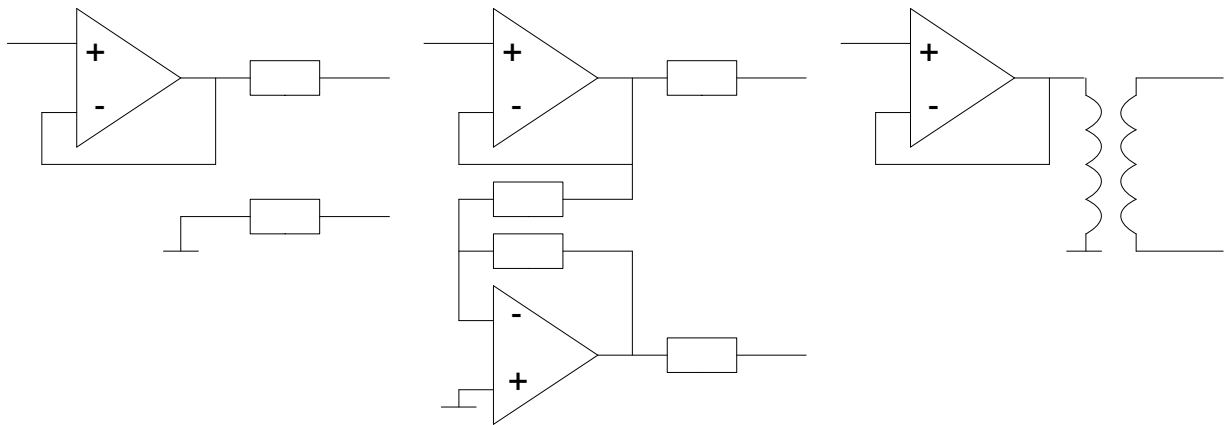


figuur 8.8; verbeterde gebalanceerde versterker

In de bovengenoemde versterkers zijn de uitgangen ongebalanceerd. De uitgang van een versterker kan op drie manieren gebalanceerd worden uitgevoerd:

- signaal-a-symmetrisch (figuur 8.9 links)
- signaalsymmetrisch (figuur 8.9 midden)
- zwevend (figuur 8.9 rechts)

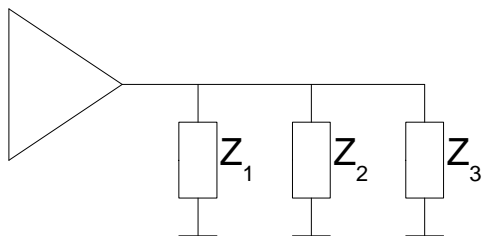
Uitgangspunt bij een gebalanceerde uitgang is dat de impedanties van de uitgangen aan elkaar zijn.



figuur 8.9; voorbeelden gebalanceerde uitgangen

8.6 Belasten van versterkeruitgangen

Een op-amp is niet in staat een oneindige stroom te leveren. Professionele apparatuur is doorgaans in staat om een belasting van 600Ω aan te sturen, consumentenapparatuur dient doorgaans met een hogere impedantie te worden belast. Als meerdere apparaten vanuit één uitgang worden aangestuurd, zoals schematisch weergegeven in afbeelding 8.10, is het dus van belang dat de totale impedantie niet onder de minimum belastingswaarde komt.



figuur 8.10; meerdere belastingen vanuit één versterker

Indien dit wel het geval is, zullen eerst aan de uitgang bufferversterkers dienen te worden voorzien, zodanig in aantal dat de iedere bufferversterker een belasting aanstuurt van minimaal 600 Ω. Voor de belasting van een versterker geldt:

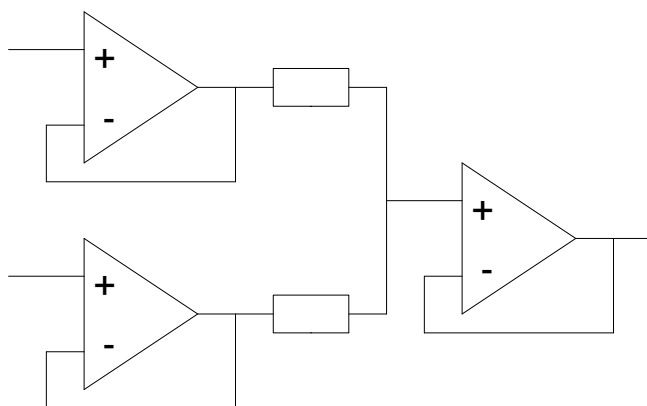
$$Z_{\text{tot}} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{n=m} \frac{1}{Z_n}} \quad [8.3]$$

waarbij: Z_{tot} = totale impedantie [Ω]

Z_n = impedantie van iedere afzonderlijke belasting [Ω]

NOTE:

Het is nooit toegestaan signalen te mengen door uitgangen aan elkaar te verbinden (b.v. om een stereosignaal mono te maken). Indien dit wordt uitgevoerd zullen de uitgangen elkaar kort sluiten daar de impedantie van een uitgang zeer laag is. Indien uitgangen passief aan elkaar moeten worden gekoppeld dient dit altijd te geschieden via een extra weerstand in de uitgang van iedere uitgang (zie figuur 8.11), zodanig dat de uitgang nooit wordt belast met minder dan de minimale belastingsimpedantie.



figuur 8.11; passief koppelen van uitgangen met een weerstandnetwerk

8.7 Opgaven

- 1) Er zijn een op-amp en twee weerstanden van $10\text{k}\Omega$ en $33\text{k}\Omega$ beschikbaar. Welke versterkingen zijn mogelijk met deze componenten als de zowel een niet-inverterende versterker als een inverterende versterker mogelijk is.
- 2) Bij de schakeling gegeven in figuur 8.8 zijn alle weerstanden $10\text{k}\Omega$. Op de ingang van de versterker staat zowel op de niet-inverterende zijde als de inverterende zijde een (stoor)spanning van 1V . Toon aan dat deze spanning wordt onderdrukt.
- 3) Een stereo-uitgang dient passief mono te worden gemaakt (zie figuur 8.11). De versterker kan aan een belasting van 600Ω leveren en de uitgangsweerstand van iedere versterker is 100Ω . De versterker waarop de versterkers worden aangesloten heeft een zeer hoge ingangsweerstand. Welke waarde dient de weerstand minimaal te hebben die extra aan de uitgang dient te worden toegevoegd om overbelasting te voorkomen?

9 EMC (ELEKTROMAGNETISCHE COMPATIBILITEIT)

9.1 Inleiding

Een apparaat functioneert doorgaans niet alleen. Er functioneren meerdere apparaten en kabels omheen van diverse disciplines die ieder hun eigen elektromagnetisch (EM) milieu creëren. Het is zaak om de gevoeligheid, ook wel susceptibiliteit, te minimaliseren. Ook dient de EM-emissie, als dit al niet wettelijk is bepaald, te worden geminimaliseerd. Dit is nodig om verstoringen te vermijden. Deze verstoringen kunnen hoorbaar zijn en in sommige gevallen er voor zorgen dat apparaten anders functioneren dan bedoeld (dit laatste met name door hoogfrequente invloeden).

De in dit hoofdstuk genoemde onderwerpen hebben betrekking op de laagfrequent benadering (audiogebied) van het onderwerp, tenzij expliciet wordt aangegeven dat het om een hoogfrequent benadering (radiogebied) gaat.

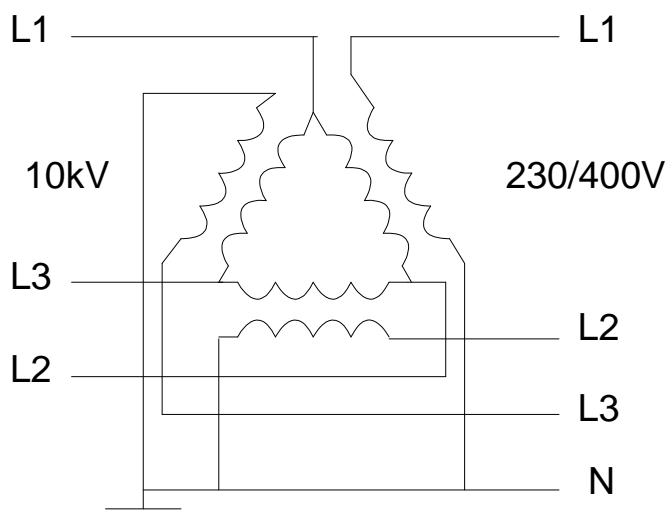
9.2 Aarde en referentie

Bij gebruik van elektronica en elektrische netwerken wordt het nulpunt veelal aangeduid als “aarde” of “massa”. Deze benaming is in vele gevallen niet correct. Aarde heeft betrekking op veiligheid en dient daarom “veiligheidsaarde” (VA) te worden genoemd. De veiligheidsaarde heeft tot doel een zeer laagohmige potentiaalvereffening te realiseren om te voorkomen dat er potentiaalverschillen tussen systemen onderling ontstaan waardoor elektrocutiegevaar ontstaat. Het is geen bodemloze zinkput waarin ongewenste stromen verdwijnen. Om een systeem storingsvrij te laten functioneren is de veiligheidsaarde niet noodzakelijk.

Definitie:

“De veiligheidsaarde is het nulpunt van de elektrische voorziening die fysiek via een aardelektrode met de werkelijke aarde is verbonden.”

Bij de omzetting van 10kV naar 230/400V via een driekhoek-steromzetting is het sterpunt verbonden met de nulgeleider. Bij TN- en TT-stelsels is nabij de transformator de nulgeleider verbonden aan aarde via een aardelektrode. Bij IT-, IU- en IM-stelsels is geen verbinding met aarde gemaakt.



figuur 9.3; omzetting 10kV naar 230V/400V TN- of TT-stelsel

Indien het nulpunt niet dient als veiligheid, maar als gemeenschappelijk punt zoals pen 1 bij een XLR en de huls bij een cinch- of jackconnector, dient dit het “referentiepunt” (RP) te worden genoemd. Om redenen van veiligheid dient ergens in een circuit RP aan VA worden verbonden. Dit is niet altijd mogelijk, zoals bijvoorbeeld in een vliegtuig.

Definitie:

“De referentie is het nulpunt binnen een elektronisch apparaat of systeem.”

Schone aarde is een voorziening met een aardelektrode die over een grote lengte is geïsoleerd en waarbij alleen het uiteinde geleidt en zodanig is aangebracht dat zwerfstromen door de aarde geen invloed hebben op de aardelektrode.

9.3 Ongebalanceerde en gebalanceerde circuits

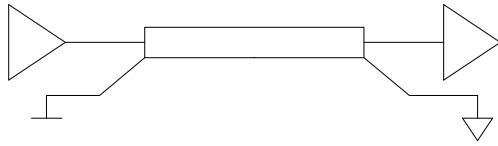
9.3.1 Ongebalanceerde circuits

De definitie van een ongebalanceerd circuit is:

“een circuit waarbij één van de signaalgeleiders met de referentie is verbonden, die vaak ook dienst doet als afscherming, en waarbij de andere geleider een impedantie heeft ongelijk aan nul”

In afbeelding 9.4 is het principeschema gegeven van ongebalanceerde circuits met

dito verbinding.



figuur 9.4; principe ongebalanceerde verbinding

Ongebalanceerde verbindingen zijn gevoelig voor storingen omdat de circuits niet zijn ontworpen om storingen te onderdrukken. Ieder circuit beschouwt zijn eigen referentie als de juiste. Dit betekent als er stoorstromen door de kabelmatel gaan lopen door de weerstand van deze mantel er een potentiaalverschil ontstaat ten opzichte van de referenties van ieder afzonderlijk circuit. Het ontvangende circuit zal dit stoorsignaal niet kunnen onderscheiden van het gewenste signaal en dus gewoon doorgeven.

Om de effecten van storingen zo gering mogelijk te houden is het van belang het volgende in acht te nemen:

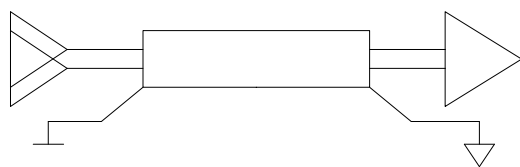
- houdt de verbindingen kort, bij voorkeur minder dan 3m (10 feet);
- vermijdt aarlussen;
- zorg er voor dat de verbindingen tussen de referenties zo laagohmig als mogelijk zijn.

9.3.2 Gebalanceerde circuits

Om de effecten van overspraak, zowel capacitief als inductief, storingen op de aarde en de referentie te minimaliseren, dienen circuits, nadat allereerst maatregelen ter afscherming zijn genomen, te worden gebalanceerd. Dit houdt in, dat als stoorspanningen en -stromen optreden, het circuit er dusdanig mee omgaat dat het effect (beter gezegd de verstoring) zoveel mogelijk wordt opgeheven. Om dit te kunnen doen is het van belang de elektrische eigenschappen te kennen van alle betrokken componenten in het circuit zoals versterkers en kabels. Met deze kennis kan het circuit zo worden opgebouwd dat de invloed van storingen inderdaad wordt geminimaliseerd. De definitie van een gebalanceerd circuit is:

“een circuit waarbij de impedantie van beide signaalgeleiders ten opzichte van een referentie aan elkaar gelijk zijn”

De wijze waarop het wenselijke signaal op deze geleiders staat, is niet van belang voor de EM-susceptibiliteit van het circuit. In figuur 9.5 is het principeschema gegeven van gebalanceerde circuits met dito verbinding.



figuur 9.5; principe gebalanceerde verbinding

In een circuit worden twee typen stromen en spanningen onderscheiden:

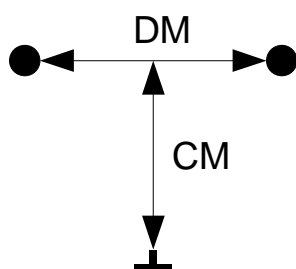
1- common mode (CM):

Dit zijn de stromen en spanningen die voorkomen in signaalgeleiders ten opzichte van de referentie.

2- differential mode (DM):

Dit zijn de stromen en spanningen die voorkomen ten opzichte van de beide signaalgeleiders.

In figuur 9.6 zijn de common mode en differential mode grafisch weergegeven.



figuur 9.6; common mode en differential mode

Stoorspanningen en -stromen zijn doorgaans van het type common mode. Het wenselijke signaal is doorgaans differential mode. Het onderdrukken van common-mode componenten wordt “common mode rejection” genoemd (CMR). De mate waarin dit gebeurt is de “common mode rejection ratio” (CMRR).

Om common-modespanningen te onderdrukken is het van belang dat deze zo exact mogelijk aan elkaar gelijk zijn. Common-modespanningen ontstaan door common-modestromen veroorzaakt door EM-velden over een ohmse weerstand. Het is dus van groot belang er voor te zorgen in een circuit dat de weerstanden in beide signaalgeleiders aan elkaar gelijk zijn. Is dit het geval, dan zullen de common-modespanningen in de gebalanceerde signaalversterker uitdoven aangezien aan één zijde het signaal wordt geïnverteerd alvorens bij de ander te worden opgeteld $(1+(-1)=0)$. Zorg er ook voor dat de uitgangsimpedantie zo laag mogelijk is en de ingangsimpedantie zo hoog mogelijk.

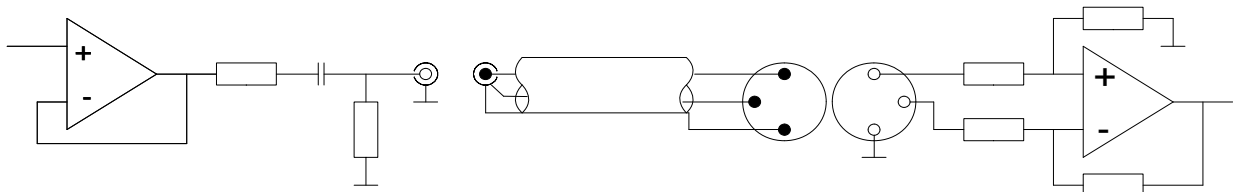
Om er voor te zorgen dat de stoorspanningen inderdaad op beide aders gelijk zijn is het van belang kabels te gebruiken met een getwist aderpaar, ook als één zijde een niet gebalanceerd circuit is.

9.3.3 Zwevende vs. niet zwevende circuits

Bij elektronische circuits zijn de spanningen doorgaans gerefereerd aan het referentiepunt. Bij zwevende circuits zijn de signaaladers los van de referentie. Dit kan galvanisch gescheiden worden uitgevoerd door het toepassen van een transformator. Dit levert een zeer hoge CMRR op. Een groot voordeel van een zwevend circuit is dat er geen aardstromen kunnen lopen. Tegenwoordig zijn er ook elektronische schakelingen die een zwevend circuit benaderen.

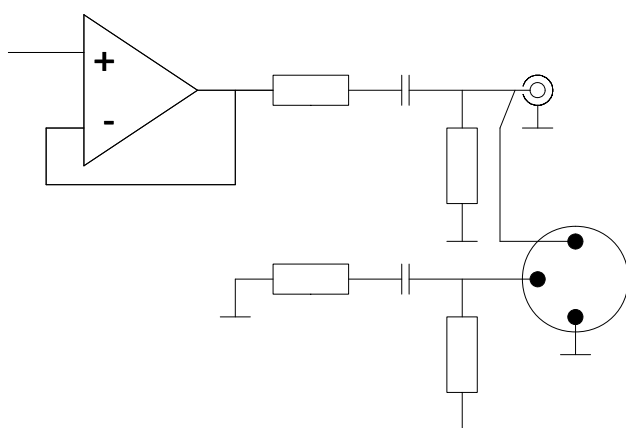
9.3.4 Een ongebalanceerde uitgang op een gebalanceerde ingang

Wanneer een ongebalanceerde uitgang op een gebalanceerde ingang moet worden aangesloten betekent dit een verlies van CMRR. Door op een verstandige wijze de verbinding te maken kan toch een werkbare of zelfs een goede CMRR worden verkregen. Gebruik in elk geval een afgeschermd getwiste twee-aderige kabel en sluit deze aan volgens het schema in figuur 9.7.



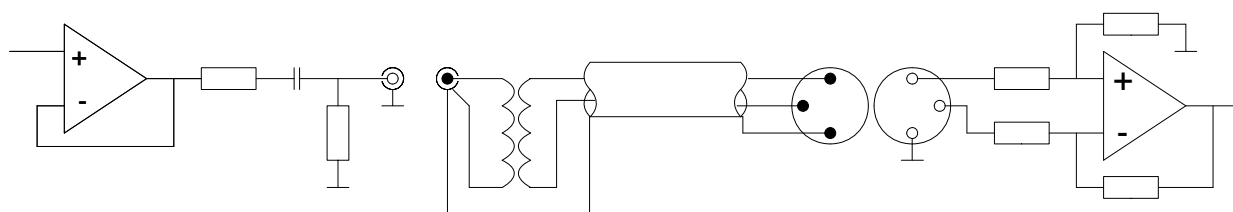
figuur 9.7; eenvoudige verbinding van ongebalanceerd naar gebalanceerd

Door een eenvoudige modificatie kan een gebalanceerde verbinding worden gemaakt. Door het netwerk van de ongebalanceerde uitgang te kopiëren en tussen de referentie en de inverterende ingang te plaatsen wordt het geheel een gebalanceerd. Dit is aangegeven in figuur 9.8 door tevens een extra connector (XLR) te voorzien in het apparaat. Let wel, indien de gebalanceerde uitgang wordt gebruikt mag de ongebalanceerde niet meer worden gebruikt.

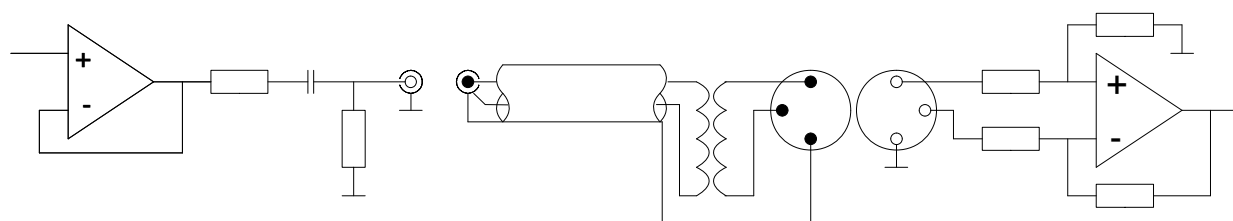


figuur 9.8; gemodificeerde ongebalanceerde uitgang

Een verdere stap is het toepassen van een transformator. Dit kan zowel aan de kant van de ongebalanceerde uitgang als de gebalanceerde ingang waarbij de laatste het effectiefst is. Dit is aangegeven in figuur 9.9 en 9.10.



figuur 9.9; verbeterde verbinding van ongebalanceerd naar gebalanceerd met transformator



figuur 9.10; beste verbinding van ongebalanceerd naar gebalanceerd met transformator

Een methode die ook gebruikt wordt, met name bij instrumenten, is het toepassen van een zogenoemde Direct-Injectionbox (DI). Deze zijn er in een passieve uitvoering (transformator) of een actieve (elektronisch gevoed via een batterij of fantoomspanning).

9.3.5 Een gebalanceerde uitgang op een ongebalanceerde ingang

Wanneer een gebalanceerde uitgang zonder speciale voorzieningen aangesloten moet worden op een ongebalanceerde ingang is het vooraleerst van belang te

weten hoe deze uitgang is uitgevoerd. Dit kan als volgt zijn:

- enkelzijdig versterkt gebalanceerd (figuur 9.9 links);
- standaard elektronisch gebalanceerd (figuur 9.9 midden);
- elektronisch gebalanceerd met trafo-gedrag (figuur 9.9 midden);
- zwevend (figuur 9.9 rechts).

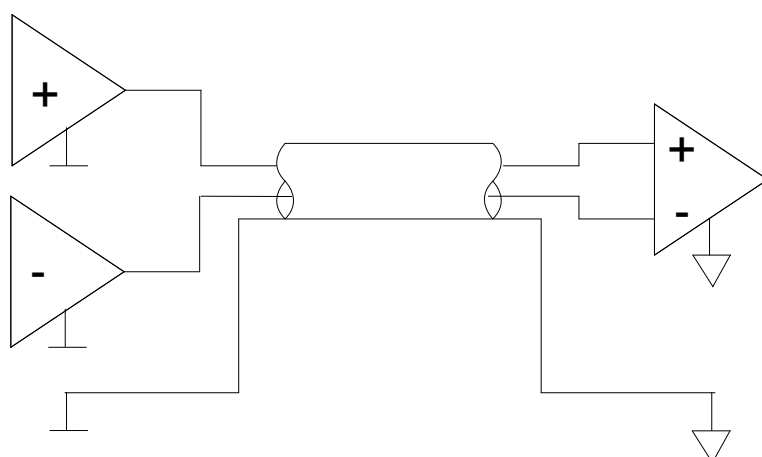
Bij de tweede variant dient de inverterende uitgang niet te worden gebruikt Deze mag dan ook zeker niet worden kortgesloten naar de referentie. Bij een zwevende uitgang moet de inverterende uitgang met de referentie worden verbonden daar anders de uitgang niet werkt. Bij de eerste heeft het geen effect, bij de derde wordt de spanning met 6dB verhoogd als de inverterende uitgang wordt kortgesloten met de referentie. Met deze wijze van aansluiten is de verbinding ongebalanceerd. Het blijft echter raadzaam een getwiste twee-aderige kabel te gebruiken voor de verbinding.

Om de verbinding gebalanceerd te maken dient de ongebalanceerde ingang te worden voorzien van een transformator of een separate ingangsversterker die van de gebalanceerde verbinding een ongebalanceerde maakt. Plaats deze voorzieningen zo dat de ongebalanceerde verbinding zo kort mogelijk is. Verder dient er rekening te worden gehouden met oversturing daar gebalanceerde uitgangen vaak een hogere spanning leveren dan een ongebalanceerde ingang aan kan. Indien nodig dient een verzwakking te worden opgenomen of een transformator die de spanning omlaag transformeert.

9.4 Oorzaken van storingen m.b.t. de aarde en de referentie

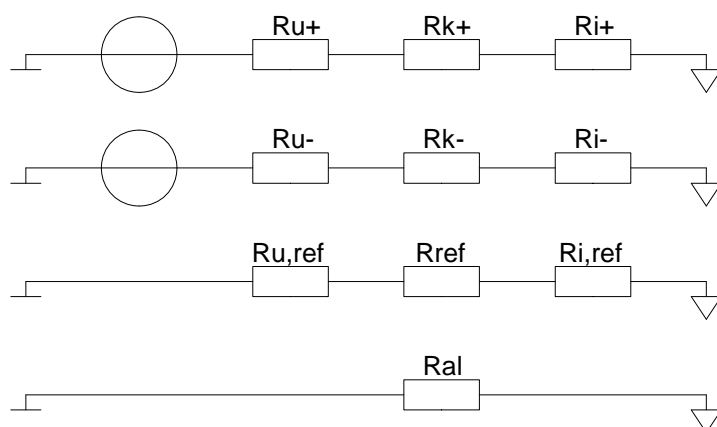
9.4.1 Aardlus

De meest bekende storing die de oorsprong vindt in de veiligheidsaarde en de referentie is de aardlus. Een aardlus ontstaat wanneer een kring wordt gevormd door enerzijds de verbinding van referenties en anderzijds de veiligheidsaarde, waarbij aan beide zijde van deze verbindingen de veiligheidsaarde en referentie aan elkaar verbonden zijn. Er ontstaat een fysieke lus. Hoe groter het oppervlak van deze lus, des te sterker zal de geïnduceerde stroom zijn door aanwezige magnetische velden. Door de ohmse weerstanden in deze lus ontstaan potentiaalverschillen. In figuur 9.11 hieronder is het schema weergegeven op welke wijze doorgaans apparatuur wordt aangesloten.



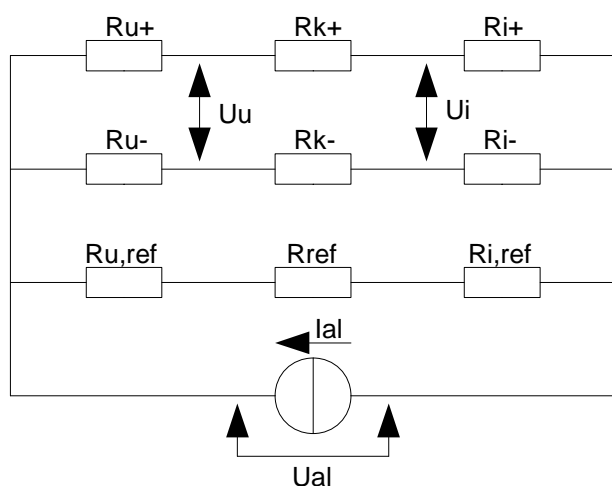
figuur 9.11; prinsipeschema van gebalanceerde verbinding met aardverbinding

Het vervangingschema van figuur 9.11 is in figuur 9.12 gegeven



figuur 9.12; vervangingschema van gebalanceerde verbinding met aardverbinding

Daar de weerstand van een ideale spanningsbron nul is, kunnen deze vervallen. Het vervangingschema ziet er dan uit als in figuur 9.13. De stroom die door de aardlus loopt mag worden weergegeven volgens Norton.



figuur 9.13; vervangingschema van gebalanceerde verbinding met aardverbinding en aardstroom

Het potentiaalverschil U_{al} dat ontstaat door de aardstroom wordt bepaald door de ohmse weerstand waardoor deze stroom loopt. Hiervoor geldt:

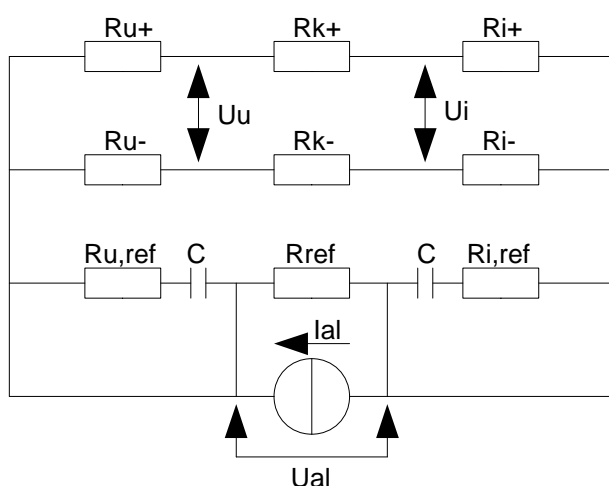
$$U_{al} = \frac{1}{\frac{1}{\sum R_+} + \frac{1}{\sum R_-} + \frac{1}{\sum R_{ref}}} I_{al} \quad [9.1]$$

Zolang R_{u^+} en R_{u^-} , R_{k^+} en R_{k^-} en R_{i^+} en R_{i^-} aan elkaar gelijk zijn, zal U_u en U_i nul zijn. Indien dit niet het geval is zal een stoorspanning ontstaan. Bij ongebalanceerde verbindingen is dit zonder meer het geval.

Een aardlus is nauwelijks te vermijden. Om storingen die door een aardlus ontstaan te minimaliseren dienen de volgende maatregelen te worden genomen:

- Minimaliseer de ohmse weerstand waardoor de aardstroom loopt. Dit heeft tot gevolg dat de spanning die ontstaat klein is;
- Gebruik gebalanceerde verbindingen met een zo goed mogelijke CMRR.

In figuur 9.14 hieronder is een deze manier aangegeven.



figuur 9.14; aansluiting met lagere gevoeligheid voor aardlusstromen

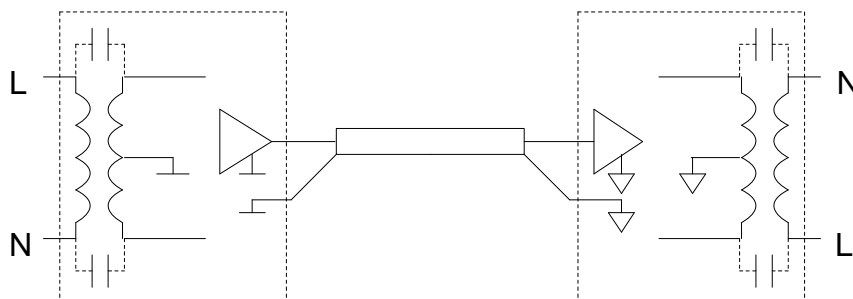
In deze situatie is de mantel van de kabel aan beide zijden direct met de veiligheidsaarde verbonden waardoor een zeer laagohmige verbinding wordt gecreëerd. De weerstanden in de apparaten $R_{u,ref}$ en $R_{i,ref}$, die een veel hogere weerstand hebben dan de kabelmantel, kunnen nu worden verwaarloosd. De spanning die ontstaat door de aardlus wordt in dit geval alleen bepaald door de weerstand van de referentie (laagohmig) is nu veel geringer dan in de voorgaande situatie. Er is geen contact met de referentie van de signaalconnector (bij een XLR pen 1). Deze dient echter wel vanwege de antenne werking van een losse aansluiting, waardoor hoogfrequente signalen in de signaalwegen kunnen binnen dringen, met een condensator C aan de referentie te worden verbonden (hoogfrequent kortsluiten).

9.4.2 Laagfrequent storingen in apparatuur

Om de gevoeligheid voor laagfrequent storingen (brom) in apparatuur te minimaliseren dienen deze dusdanig te worden ontworpen dat deze nagenoeg niet kunnen optreden. Dit betekent dat bij het ontwerpen van een apparaat een “aardingsstrategie” dient te worden gevolgd. In AES48-2005 “AES standard on interconnections – Grounding and EMC practises – Shield and connectors in audio equipment containing active circuitry” worden hiervoor richtlijnen gegeven. Het komt er in belangrijke mate op neer dat “aardstromen” niet over printplaten en de referentie kunnen lopen.

9.4.3 Storing door de parasitaire capaciteit van de voeding

Storingen kunnen ook ontstaan door netvoedingen en wel door de parasitaire capaciteiten in de nettransformator. Hierdoor ontstaat er een netspanningslek het apparaat in. Deze vorm van storing manifesteert zich met name bij ongebalanceerde verbindingen. In figuur 9.15 is dit schematisch weergegeven.



figuur 9.15; ongebalanceerde verbinding met invloed van de voedingen

Het potentiaalverschil in bovenstaand schema ontstaat doordat de spanning op de referentie van het linker apparaat van tegengestelde polariteit is ten opzichte van de referentie van het rechter apparaat. Door de ohmse weerstand in de afscherming van de kabel zal een potentiaalverschil ontstaan. De afscherming dient ook als signaalweg, dus zal het stoorsignaal zich manifesteren. Bij slechts twee apparaten is het probleem eenvoudig te verhelpen door bij één van de voedingen de netaansluiting (stekker) om te draaien. Ook hier geldt verder er voor te zorgen dat de ohmse weerstand zo laag mogelijk dient te zijn. Dit kan b.v. worden gerealiseerd door de mantel van de kabel direct aan de behuizing van het apparaat te verbinden. Beter is het nog een twee-aderige kabel te gebruiken waarbij dan de signaaladers op de connector worden aangesloten en de mantel aan de behuizing van het apparaat.

9.5 Overspraak

9.5.1 Capacitieve overspraak

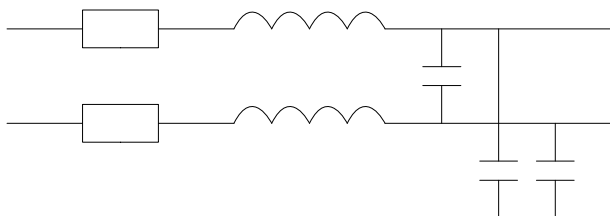
Capacitieve overspraak is overspraak veroorzaakt door elektrische velden. Deze vorm van overspraak wordt veroorzaakt door spanningen over de signaalgeleiders. Capacitieve overspraak kan worden verminderd door afscherming. Hierdoor wordt een referentie gelegd voor het elektrische veld. Binnen de afscherming blijft de veldsterkte 0 Vm^{-1} , daarbuiten neemt deze toe tot aan de bron. Capacitieve overspraak manifesteert zich voornamelijk bij hogere frequenties.

9.5.2 Inductieve overspraak

Inductieve overspraak is overspraak veroorzaakt door magnetische velden. De overspraak ontstaat door de koppeling van de inducties van kabels. Deze overspraak manifesteert zich in belangrijke mate in het laagfrequent gebied (netfrequenties). Om inductieve overspraak te verminderen worden de signaaladers in een kabel getwist. Een volgende stap is het gebruik van “star-quad” of stergroepkabel. Hierbij worden de beide signaaladers dubbel uitgevoerd tegen over elkaar liggend. Echter, de capaciteit in de kabel neemt toe waardoor er extra hoogfrequent verlies optreedt. De laatstgenoemde versie dient dus alleen in hardnekkige gevallen te worden toegepast.

9.6 Kabels

Apparatuur wordt aan elkaar verbonden door middel van kabels. De aders zijn opgebouwd uit koperen signaalgeleiders voorzien van een isolatie. Bij een gebalanceerde verbinding worden twee van deze aders getwist en voorzien van een afscherming. Iedere geleider heeft naast een ohmse weerstand (de materiaalweerstand van koper) ook een inductie (spool). Doordat twee geleiders naast elkaar lopen vormen deze een capaciteit (condensator). Tevens vormen de signaaladers een capaciteit met de afscherming. Het vervangingsschema van een kabel, voor laagfrequent signalen, ziet er uit als afgebeeld in figuur 9.16.



figuur 9.16; vervangingsschema van een kabelsegment

Bij lage frequenties wordt de eigenschap voornamelijk bepaald door de ohmse weerstand. Naarmate de frequentie toeneemt, gaat de capaciteit een rol spelen, waardoor de kabel impedantie afneemt. Bij nog hogere frequenties gaat de inductie een rol spelen en zal de impedantie toenemen.

Iedere kabel heeft een zogenoemde karakteristieke impedantie. Wanneer zowel aan de bronzijde als de belastingszijde ook deze impedantie aanwezig is, dan zal het geheel zich ohms gedragen. Dit wordt karakteristiek afsluiten genoemd. Dit is van belang wanneer de kabel langer is dan de golflengte van het signaal over deze kabel en doet zich dan met name voor bij hoge frequenties. De kabel gedraagt zich dan als een transmissielijn. Is de afsluiting in deze situatie niet karakteristiek, dan

zullen in de kabel signaalreflecties ontstaan. Zogenaemde digitale verbindingen zijn zeer gevoelig voor dit fenomeen. Een logische nul kan een logische één worden of andersom. Ook is het mogelijk dat de spanning twee keer zo hoog wordt doordat een gereflecteerde logische één wordt gesuperponeerd op een aankomende logische één. Hierdoor is het mogelijk dat schade ontstaat.

9.7 Hoogfrequente invloeden

De tot nu beschreven onderwerpen hebben voornamelijk betrekking op het laagfrequente gebied, maar in de (elektro-magnetische) wereld om ons heen zijn in toenemende mate hoogfrequente signalen aanwezig (zenders van microfoons, radiostations, GSM etc.). Deze signalen gedragen zich anders dan laagfrequente signalen. Ondanks dat een apparaat niet ontworpen voor hoogfrequent signalen, kunnen deze signalen een negatieve uitwerking hebben op het functioneren van dit apparaat of zelfs de gehele keten er omheen.

Een bijzonder vervelend effect dat kan optreden is demodulatie van radiosignalen. Via de op de audio-apparatuur aangesloten kabels (die kunnen werken als een antenne) kan het hoogfrequente radiosignaal van een zender worden opgepikt en in de elektronica worden geleid. O.a. door parasitaire capaciteiten en het niet lineaire gedrag van transistoren kan het signaal worden gedemoduleerd. Het gevolg hiervan is dat het (ongewenste) audiosignaal van de zender hoorbaar wordt. Om te voorkomen dat hoogfrequente signalen de audio-elektronica bereiken is het van belang:

- dat apparatuur goed is afgeschermd;
- dat de afscherming van kabels op het moment dat deze het apparaat binnen gaan, al dan niet capacitief, met de behuizing is verbonden.

Door de laatste maatregel zal het hoogfrequente signaal vanwege het skin-effect zich de buitenzijde van het apparaat gaan lopen. Dit wordt veroorzaakt door de inductie die de stroom naar de buitenzijde dwingt. Vanwege de antennewerking van kabels mag een geleider aan één zijde (b.v. de afscherming na een kabel) nooit niet zijn aangesloten. In zulke gevallen dient een verbinding met een condensator (10 of 100nF) hoogfrequent te worden kortgesloten.

Om signaalgeleiders te beschermen tegen elektrische velden (sterkte uitgedrukt in Vm^{-1}) wordt om deze geleiders een afscherming aangebracht. Door de afscherming aan de referentie te koppelen wordt hier het nulpunt van het elektrische veld gelegd, zodat de geleiders zich in een neutraal veld bevinden. De verbindingen die deze koppeling maken dienen zo kort mogelijk te zijn. De behuizingen van

apparatuur worden om deze reden ook in metaal uitgevoerd.

9.8 Netfilters

Om storingen vanuit het net te onderdrukken (met name hoogfrequent) worden netfilters toegepast. Netfilters zorgen er voor dat verstoringen die zich uiten op de netspanning niet in de elektronica van het apparaat terechtkomen. Om er voor te zorgen dat netfilters goed functioneren is het van belang dat deze correct worden ingebouwd om te voorkomen dat via capacitieve omwegen de storingen als nog in de elektronica van het apparaat terechtkomen. Globaal zijn er twee typen netfilters:

- reflectieve (meest voorkomende): deze reflecteren het signaal terug het net in en hebben het nadeel dat de EM-emissie buiten het apparaat toeneemt;
- dissipatieve: in deze filters wordt het stoorsignaal gedissipeerd (in warmte omgezet).

Netfilters dienen altijd met de veiligheidsaarde te zijn verbonden.

9.9 Reduceren van EM-emissie

Is in voorgaande paragrafen de susceptibiliteit besproken, van belang is ook de emissie van EM-velden zo laag mogelijk te houden. Om de emissie van elektrische en magnetische velden te minimaliseren is het van belang:

- de kabel af te schermen;
- dat de signaalgeleiders het signaal in tegengestelde polariteit voeren (signaalbalancing), hierdoor zal het totale veld 0 zijn;
- het twisten van de signaaladers en verschillende twist per kabel;
- het gebruik van quad- of stergroepkabel. Hierbij worden voor zowel het niet-inverterende signaal als het inverterende signaal tegenover elkaar liggende signaalgeleiders gebruikt waardoor het middelpunt van veld vanuit meerdere richtingen in het midden van de kabel komt te liggen. Echter alleen toepassen bij hardnekkige "near-field" verstoringen vanwege de toename van de capaciteit van de kabel.

9.10 Het opbouwen van kabeltracés

Een belangrijk aspect om EM-storingen te minimaliseren is kabeltracés op de juiste wijze op te bouwen en zodanig dat ook elektrische veiligheid is gegarandeerd.

- referentiepunten creëren op iedere centrale plek (toneel (stageblock), mengtafel, etc.);

- lussen zo klein mogelijk (oppervlak), dus signaal- en voedingskabels naast elkaar, bij voorkeur in een metalen galvanisch ononderbroken goot met middenscheiding en deksel. Eventueel lussen kortsluiten door de afscherming van de signaalkabel en de voedingskabel regelmatig aan elkaar te verbinden
- ohmse weerstand referentie en aarde zo laag mogelijk maken;
- “aardstromen” (storingen) “omleiden”; niet door het circuit laten gaan. Verbind pen 1 dan wel het scherm van een ongebalanceerde aansluiting direct aan een “hard” punt, b.v referentiepunt van behuizing, voeding etc.;
- hoogfrequent kortsluiten (capacitief koppelen) met b.v. 100nF;
- gebruik kabels met een verschillende twist.

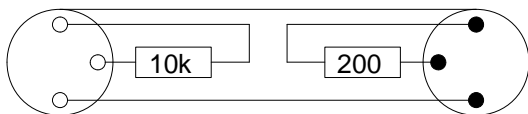
NOOIT:

- veiligheidsaarde verbreken;
- signaalkabels b.v. linksom en voedingskabels b.v. rechtsom leggen tussen podium en geluidspak vanwege het creëren van een grote lus (aardstroom) en de grote gevoeligheid voor het veld bliksem.

9.11 tips voor storingzoeken

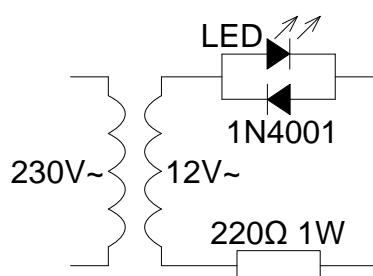
De belangrijkste tips bij storingzoeken zijn

- rust bewaren;
- gestructureerd te werk gaan;
- van achter naar voren werken (lsp naar mic);
- dummies gebruiken (zie figuur 9.17); hierbij wordt het signaal onderbroken maar blijven belastingen aanwezig;
- één item per onderzoek aan te pakken;



figuur 9.17; voorbeeld dummy

Om te onderzoeken of een apparaat gevoelig is voor laagfrequent brom (pen 1 probleem) kan een zogenoemde “hummer” worden gebruikt. Een hummer kan worden gemaakt met behulp van een eenvoudige lichtnetadapter die 12V wisselspanning afgeeft en aan één zijde wordt voorzien van een weerstand van 220Ω en aan de andere zijde een LED met daaraan parallel een diode (zie figuur 9.18).



figuur 9.18; hummer

Sluit één zijde van de hummer aan op pen 1 of op de huls van de jack- of cinchconnector van de ingang van het te testen apparaat en de andere zijde op gelijke wijze op de uitgang. Nu loopt er een stroom door de referentie van het apparaat. Via de uitgang mag geen brom merkbaar zijn. Is dit wel het geval dan dient het apparaat niet te worden gebruikt of anders te worden gemodificeerd.

9.12 Opgaven

10 ANTWOORDEN OPGAVEN

Hoofdstuk 2

1)

Hoofdstuk 3

1)

Hoofdstuk 4

- 1) resp. -10dBV, -8,8dBm
- 2) 30dB
- 3) -18dBV, -14dBV, -9,8dBV, -12,5dBV

Hoofdstuk 5

- 1) 0,5mV, -66dBV
- 2) 31V

Hoofdstuk 6

- 1) 3Ω
- 2) $2,7\Omega$, 24Ω
- 3) 8 minimaal, 33 maximaal

Hoofdstuk 7

- 1) 100W, 8Ω

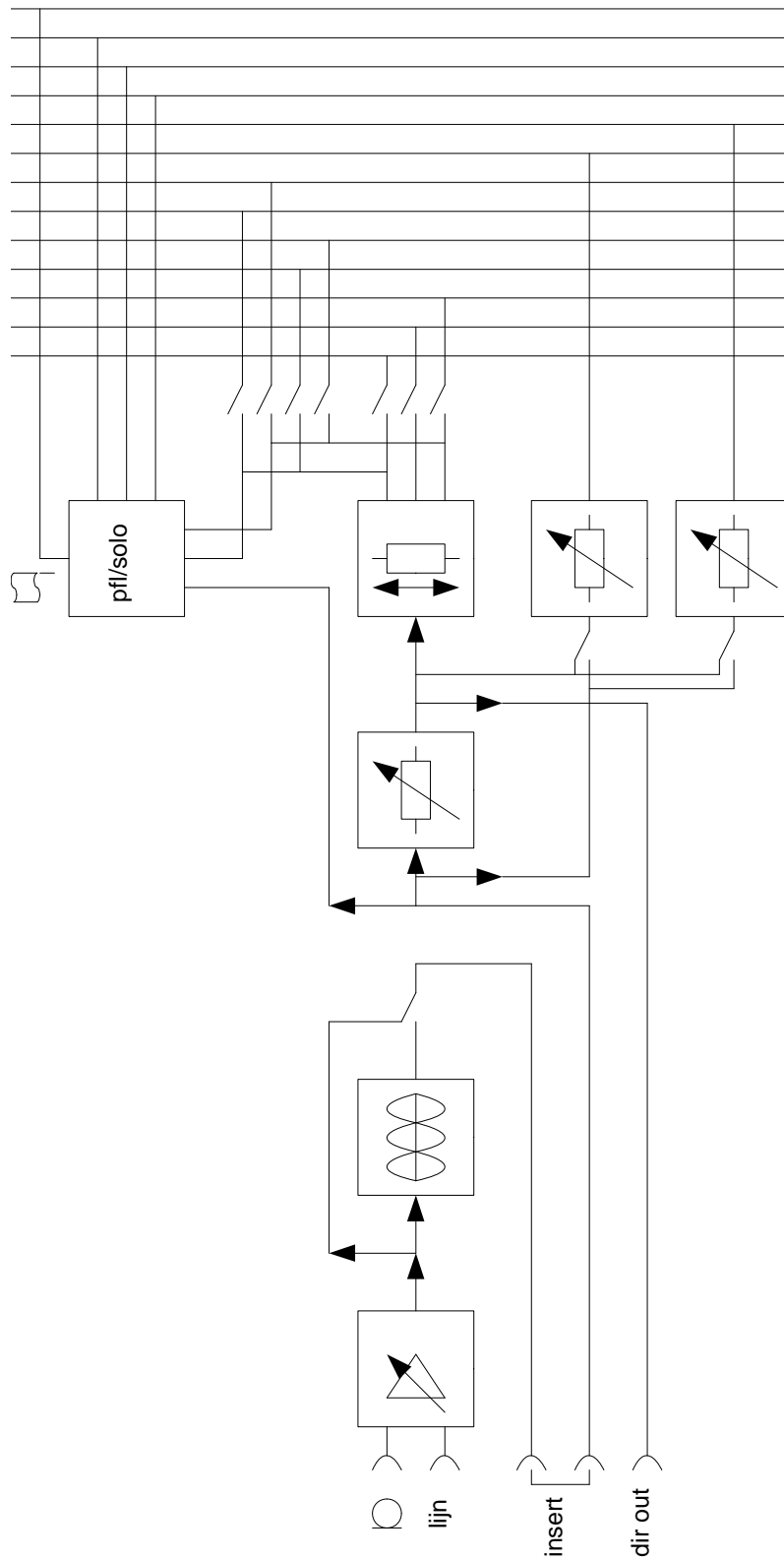
Hoofdstuk 8

- 1) 4,3x, 1,3x, -3,3x, -0,3x
- 2) –
- 3) 200Ω

11 LITERATUURLIJST

- 1) Van der Kreek, J., "*Elektrische netwerken*", tweede druk, Culemborg 1983, Educaboek, ISBN 90 11 324072
- 2) Goedbloed, J.J., "*Elektromagnetische Compatibiliteit*", eerste druk, derde oplage, Deventer 1993, Kluwer Technische Boeken B.V., ISBN 90 201 2220 7
- 3) Goedbloed et al., "*Postacademische Cursus Elektromagnetische Compatibiliteit*", cursusdictaat, Den Haag 1994, stichting PATO
- 4) Whitlock, B., "*Troubleshooting guide*", Van Nuys, CA 1999, Jensen Transformers Inc.
- 5) Whitlock, B., "*Jensen AN-003, Interconnection of balanced and unbalanced equipment*", Van Nuys, CA 1995, Jensen Transformers Inc.
- 6) Whitlock, B., "*Jensen AN-004, Hum and buzz in unbalanced interconnected systems*", Van Nuys, CA, 1996 Jensen Transformers Inc.
- 7) Jensen Transformers, "*AS032, Build a "Hummer" to help find "Pin 1" Ground Problems*", Van Nuys, CA, 2000 Jensen Transformers Inc.
- 8) Beranek, L.L., "*Acoustic Measurements*", New York, NY 1949, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 0 471 06864 0
- 9) Philips Components, "*Data Handbook Loudspeakers DC04*", Eindhoven 1990, Philips Export B.V.
- 10) De Vaan, L., "*Electronica III*", Utrecht 1990.

BIJLAGE 1 blokschema mengtafelkanaal



bijlage I.1; blokschema kanaal mengtafel met signaalverloop