

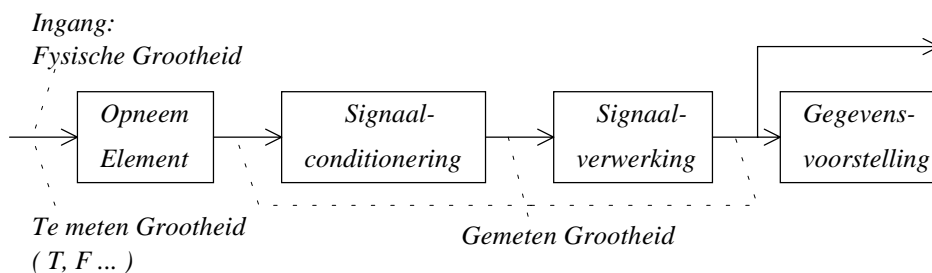
Deel IV

Signaalverwerking en -voorstelling

19 Interfacing

19.1 Inleiding

Zoals paragraaf 1 al aangaf, bestaat het meetsysteem uit één of meerdere hoofddelen weergegeven in figuur 4.1. Deze onderdelen zijn de opnemer-omvormer of sensor, de signaalconditionering, de signaalverwerking en de gegevensvoorstelling.



Figuur 4.1: Onderdelen van een meetsysteem.

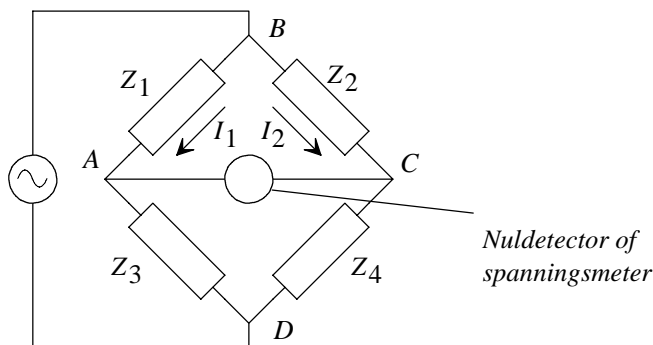
Deze paragraaf overloopt de verschillende vormen van *interfacing* welke aan bod zijn gekomen in delen twee en drie. Dit kan gaan om *signaalconditionering* bijvoorbeeld de Wheatstone-brug of signaalverwerking bijvoorbeeld een analoog-digitaalomzetter. We beperken ons hier hoofdzakelijk tot een opsomming of verwijzing van/naar de verschillende technieken. Een aantal hiervan werden reeds behandeld. Sommige maken deel uit van andere cursussen. De verschillende onderwerpen die achtereenvolgens aan bod komen zijn:

- De meetbrug: DC of AC
- Demodulatie
- De versterker
- Analoog-digitaal en digitaal-analoog omzetting
- Voorbeelden van specifieke elektronische interfacingcomponenten

De volgende paragrafen behandelen dan nog de oscilloscoop en de multimeter.

19.2 De meetbrug

Er bestaan zowel DC- als AC-meetbruggen. De Wheatstone-brug is een DC-meetbrug. Ze bevat enkel weerstanden als brugelementen. De al dan niet gebalanceerde of actieve brug werd besproken in paragraaf 7.6, als conditionering van het rekstrookjessignaal. Brugevenwicht treedt op wanneer het product van de tegenover elkaar staande weerstanden gelijk is. Dit principe is uitbreidbaar voor een meetbrug met veralgemeende impedanties, zoals weergegeven in figuur 4.2. Dit is een AC-meetbrug. Ze bestaat uit vier armen, een spanningsbron en een spanningsmeter of nuldetector. De vier brugarmen bevatten de al dan niet gekende impedanties Z_1 , Z_2 , Z_3 en Z_4 .



Figuur 4.2: Algemene vorm van de AC-brug.

De spanningsbron legt over de brug een spanning aan met gewenste amplitude en frequentie. Bij de gebalanceerde AC-meetbrug duidt de nuldetector nul aan indien de brug in evenwicht is. De voorwaarde voor evenwicht is dat het potentiaalverschil van A tot C nul is. Dit is zo indien de spanningsval van B tot A gelijk is aan het spanningsverschil van B tot C, en dit zowel in amplitude als in fase:

$$I_1 Z_1 = I_2 Z_2 \quad (\text{complexe vergelijking})$$

Bij evenwicht is:

$$I_1 = \frac{E}{Z_1 + Z_3} \quad \text{en} \quad I_2 = \frac{E}{Z_2 + Z_4}$$

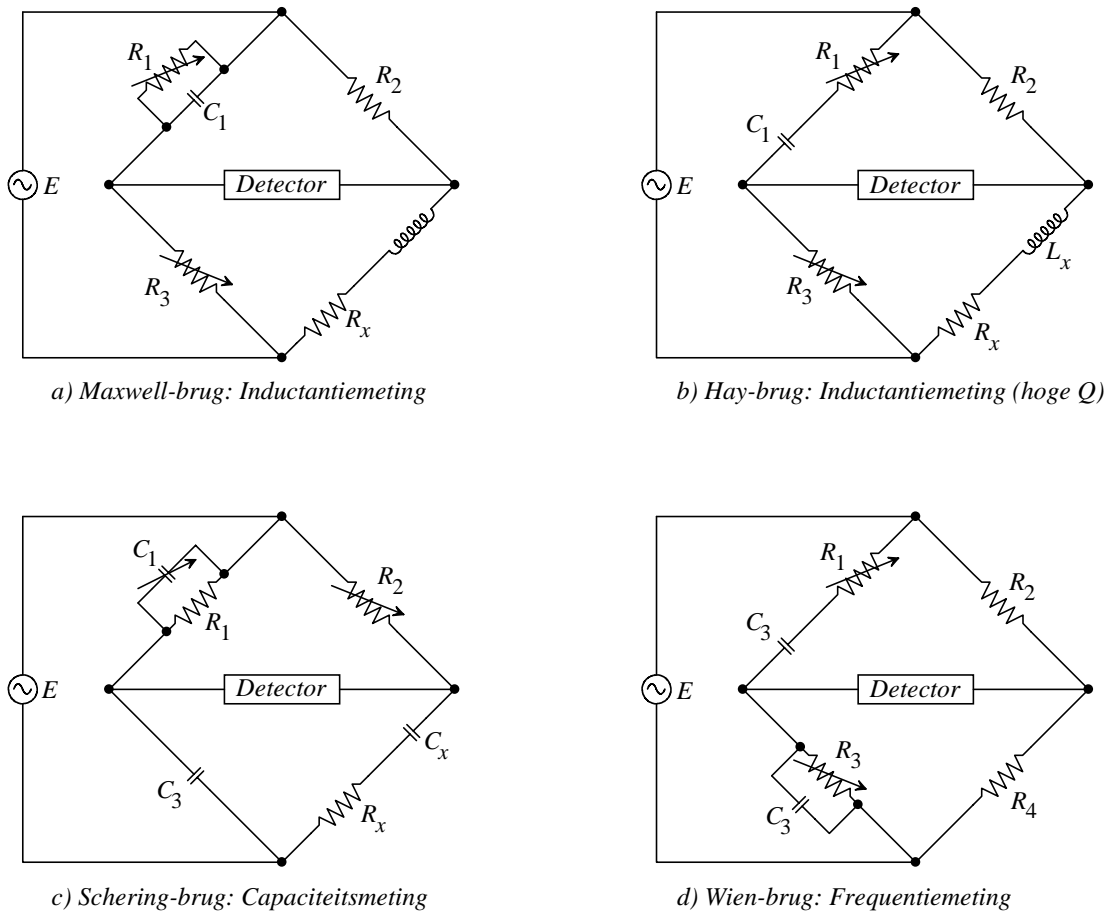
Dit geeft als evenwichtsvoorwaarde:

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3 \quad \Leftrightarrow \quad |Z_1| |Z_4| = |Z_2| |Z_3| \quad \text{en} \quad \angle Z_1 + \angle Z_4 = \angle Z_2 + \angle Z_3$$

Het product van de impedanties van één paar tegenover elkaar liggende armen is gelijk aan het product van het andere paar tegenover elkaar liggende armen. De veralgemeende impedanties zijn complexe grootheden welke beschreven worden door amplitude en hoek. Dit houdt in dat de gelijkheid enkel geldt wanneer zowel de amplitude als de fase van linker- en rechterlid gelijk zijn. De voorwaarden voor brugevenwicht zijn dan:

1. Het product van de amplitudes van de tegenover elkaar liggende armen moet gelijk zijn.
2. De som van de fasehoeken van de tegenover elkaar liggende armen moet gelijk zijn.

AC-bruggen kunnen gebruikt worden om capaciteiten of inductanties te meten. De gebalanceerde meetbrug is een nauwkeurige meetmethode, die echter niet geschikt is voor automatische metingen wegens de manuele instelling van het brugevenwicht. Voor een automatische meting bestaan er R-, L- of C-meters of de vectorimpedantiemeter (niet behandeld in deze cursus). Figuur 4.3 geeft een aantal voorbeelden van AC-meetbruggen (zonder afleiding). De Wien-brug uit figuur 4.3 dient zelfs voor het meten van frequenties.



Figuur 4.3: Voorbeelden van AC-meetbruggen.

Paragraaf 8.6 beschrijft het gebruik van de AC-brug als signaalconditioneringselement bij de capacitieve differentiële opnemer. In paragraaf 9.3 komt een gelijkaardige brug aan bod voor de variabele differentiële reluctantie positie-opnemer.

19.3 Demodulatie

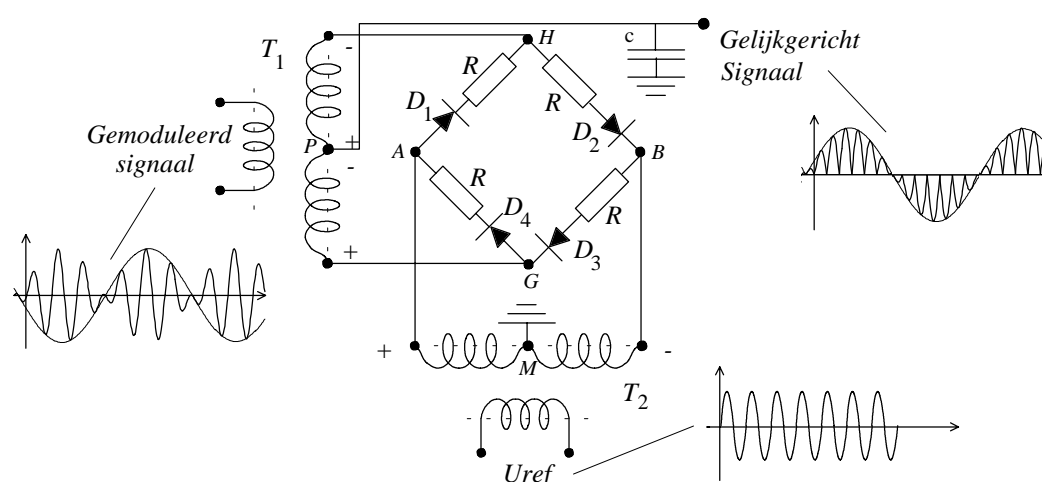
Bij een gemoduleerd signaal is de (meet-) informatie gesuperponeerd op bijvoorbeeld een draaggolf of zit de meetinformatie vervat in de draaggolf. Bij amplitudemodulatie komt het meetsignaal overeen met de amplitude van de draaggolf. Dit is het geval bij de LVDT, de resolver en de synchro (en bij sommige capacitieve opnemers). Bij frequentiemodulatie is het de frequentie van de draaggolf die de (meet-) informatie bevat. Indien x de te meten grootte is, U de gemeten grootte of spanning en $A\sin(\omega t)$ de draaggolf, dan geldt

- bij amplitudemodulatie: $U \cong x \cdot A \sin(\omega t)$
- bij frequentiemodulatie: $U \cong A \sin((\omega + x)t)$

De demodulator moet de meetinformatie x scheiden van de draaggolf $A\sin(\omega t)$.

Amplitudedemodulatie

Amplitudedemodulatie kan gebeuren op verschillende manieren: via een *ringdemodulator*, een *fasegevoelige gelijkrichting* of via een *vermenigvuldiger*. Elk van deze technieken gebruikt als laatste trap een laagdoorlaatfilter.



Figuur 4.4: Ringdemodulator: fasegevoelige gelijkrichting.

Figuur 4.4 geeft de ringdemodulator weer. Het ingangssignaal is het gemoduleerd signaal. De uitgang is een fasegevoelig gelijkgericht signaal. De werking is als volgt: Indien de draaggolf aan transfo T_2 positief is, geleiden de dioden D_1 en D_2 . Omdat alle weerstanden in de brug gelijk zijn komt punt H dan op massapotentiaal M . De op dit ogenblik aanwezige spanning tussen PH afkomstig van het gemoduleerd signaal verschijnt dus op de uitgang. De volgende halve periode van de draaggolf is B positief en A negatief, zodat D_3 en D_4 geleiden waardoor punt G op massapotentiaal komt. De op dit ogenblik aanwezige spanning tussen P en G verschijnt nu op de uitgang.

Indien de faseverschuiving van het gemoduleerd signaal 180° verschuift, zal ook het uitgangssignaal in polariteit wijzigen.

Niet alleen de frequentie van de draaggolf maar ook de fase moeten overeenkomen met het gemoduleerd signaal om een juist uitgangssignaal te bekomen.

Bij demodulatie door vermenigvuldiging ontstaat volgende signaal:

$$U = x.A \sin(\omega t).V_{ref} = x.A \sin(\omega t)A \sin(\omega t) = \frac{x.A^2}{2}(1 - \cos(2\omega t))$$

Dit is hetingangssignaal van de laagdoorlaatfilter met afsnijfrequentie bij ω (of lager). De uitgang van deze filter is:

$$U \cong \frac{x.A^2}{2}$$

Dit signaal is dus evenredig met x . Indien x zelf een oscillatie is, bijvoorbeeld $x = X\sin(\alpha t)$, dan is het gedemoduleerd signaal ook sinusvormig. Voorwaarde voor een juiste werking is wel dat de pulsatie α minstens 10 keer kleiner blijft dan ω , de pulsatie van de draaggolf.

Frequentiedemodulatie

Bij frequentiedemodulatie worden meet- en referentiesignaal (in de tijd) opgeteld. Na gelijkrichting komt de frequentie van de laagfrequente component van het resulterend signaal overeen met de te meten grootte x . Frequentiedemodulatie is vereist bij de continue ultrasone afstandsmeting of bij de Doppler-snelheids- of debietmeter in paragrafen 12.4 en 12.5.

Fasedemodulatie

Verder zijn er meetopnemers waarbij de meetinformatie vervat zit in de *fase* van de draaggolf, bijvoorbeeld $U = A\sin(\omega t + x)$. Ook dit kan beschouwd worden als een vorm van modulatie. Het bepalen van de faseverschuiving van het meetsignaal t.o.v. het referentiesignaal gebeurt op eenvoudige wijze door gebruik te maken van twee Schmitt-triggers (nuldoorgangsdetectie met hysteresis), één voor elk signaal. De tijd tussen de pulsen van de Schmitt-triggers komt overeen met de te bepalen faseverschuiving. Bij numerieke telling resulteert deze methode rechtstreeks in een digitaal signaal (met de gekende voordelen van het digitale karakter). Voorbeelden van de techniek zijn de fasegevoelige capacitieve positieopnemer (paragraaf 8.3), de resolver met draaiveld (paragraaf 9.8) en de numerieke fasemeting bij resolvers uit (paragraaf 14.5).

19.4 De versterker

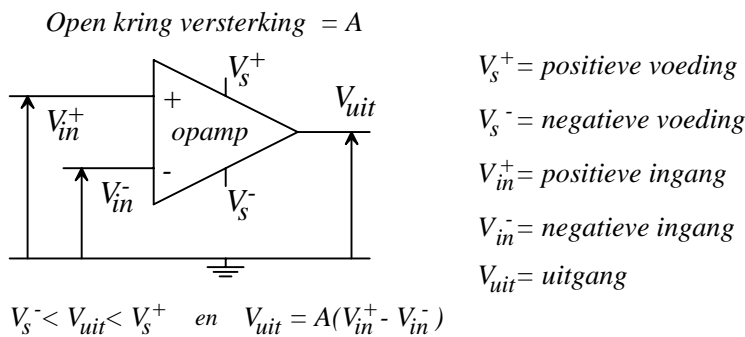
In een meetsysteem moeten zeer vaak signalen versterkt worden. Dit gebeurt meestal door een operationele versterker, een instrumentatieversterker of soms door een isolatieversterker.

Een volledige bespreking van de versterker wordt gegeven in andere cursussen. We beperken ons hier tot een opsomming van een aantal mogelijke uitvoeringen en karakteristieken.

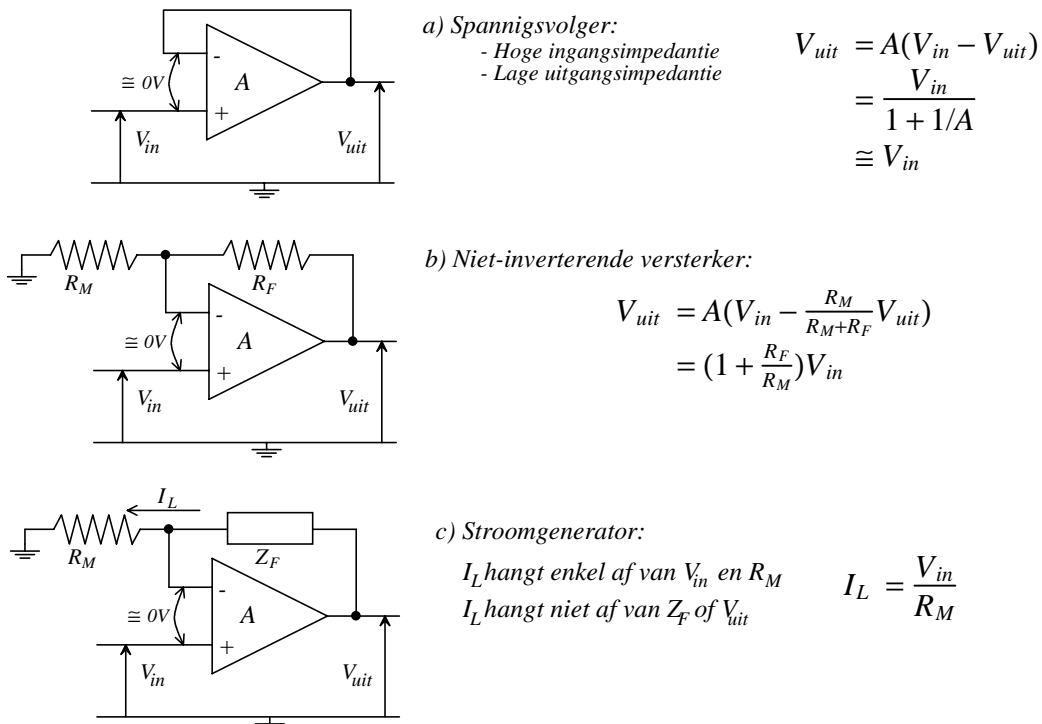
De operationele versterker of opamp

De operationele versterker komt in verschillende uitvoeringen voor:

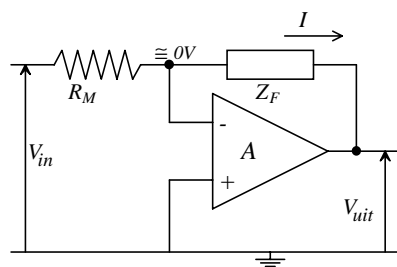
- in open kring (zie figuur 4.5)
- als niet-inverterende versterker (zie figuur 4.6)
- als inverterende versterker (zie figuur 4.7)
- als som- of verschilversterker (zie figuur 4.8)



Figuur 4.5: De opamp in open kring (Bijvoorbeeld $A = 10^6$).

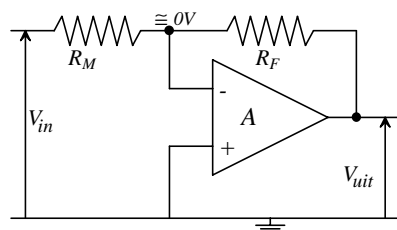


Figuur 4.6: De opamp als niet-inverterende versterker.



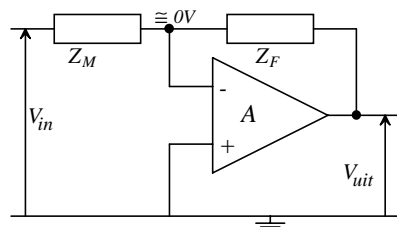
a) Stroombron:

$$I = \frac{V_{in}}{R_M}$$



b) Inverterende versterker:

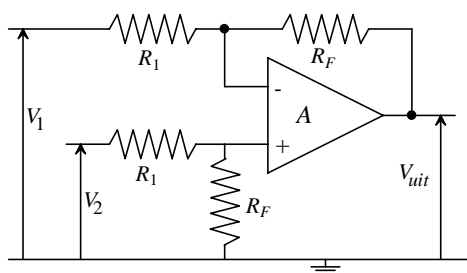
$$V_{uit} = -\frac{R_F}{R_M} V_{in}$$



c) Algemene inverterende schakeling:

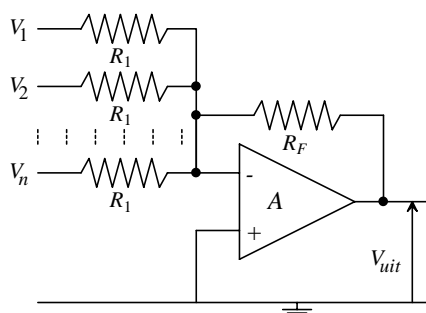
$$V_{uit} = -\frac{Z_F}{Z_M} V_{in}$$

Figuur 4.7: De opamp als inverterende versterker.



a) Verschilversterker:

$$V_{uit} = \frac{R_F}{R_1} (V_2 - V_1)$$



b) Sommatoren:

$$V_{uit} = -\frac{R_F}{R_1} (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$$

Figuur 4.8: Verschilversterker en sommatoren.

Bij de *ideale* operationele versterker vloeit geen stroom aan de + of - ingangspennen, omdat de ingangsimpedantie oneindig groot is. Bij de ideale opamp met terugkoppeling is bovendien de spanning aan de positieve-ingangspen gelijk aan de spanning op de negatieve-ingangspen.

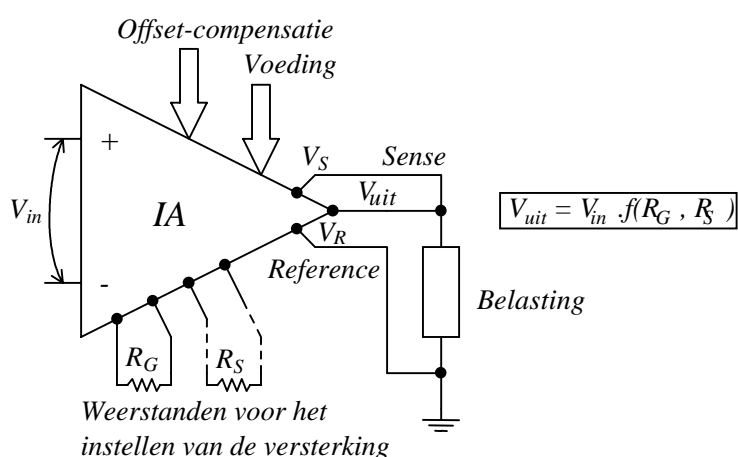
De ideale opamp bestaat echter niet. Enkele beperkingen zijn:

- Er is een ingangsoffsetspanning (bij nul-input toch een kleine output). Compensatie van deze offsetspanning is meestal noodzakelijk.
- Drift van de offsetspanning.
- De ingangsstroom is niet volledig nul.
- Niet enkel de verschilspanning tussen de ingangen maar ook de gemeenschappelijke spanning wordt in zekere mate versterkt. De mate waarin de gelijke spanningscomponent onderdrukt wordt is weergegeven door de CMRR-factor : de 'Common Mode Rejection Ratio' moet zo groot mogelijk zijn.
- Het uitgangsbereik is iets kleiner dan de voedingsspanningen.
- De frequentieband is beperkt.

De instrumentatieversterker

Een instrumentatieversterker is een precisieverschilversterker met vrij goede specificaties:

- Hoge ingangsimpedantie.
- Lage ingangsstroom, minimaal bij gelijke impedantie tussen ingangen en massa of voeding.
- Lage ingangsoffset, lage drift.
- Hoge CMRR.
- Gebalanceerde verschilingangen.
- Hoge lineariteit.
- Stabiele versterking die instelbaar is bijvoorbeeld van 1 tot 1000 door 1 of 2 geselecteerde weerstanden. De weerstand kan inwendig aanwezig zijn of moet uitwendig aangesloten worden. Soms is de versterker digitaal programmeerbaar.
- Lage uitgangsweerstand.



Figuur 4.9: Functioneel schema van een instrumentatieversterker.

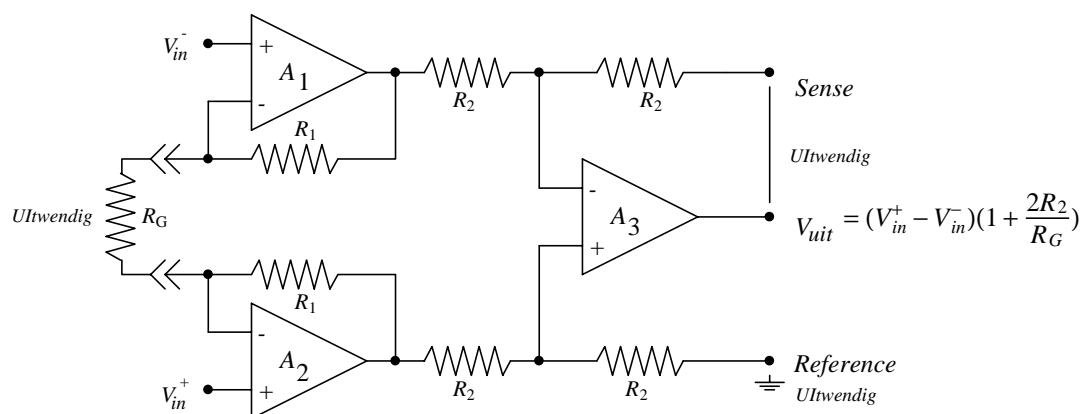
Figuur 4.9 geeft het functioneel schema van een instrumentatieversterker weer. Naast de in- en uitgangsklemmen zijn er klemmen waarop R_S en R_G worden aangesloten om de gewenste versterking in te stellen. Er zijn twee extra klemmen 'Sense V_S ' en 'Reference V_R ' die een

terugkoppeling van het uitgangssignaal toelaten. Deze terugkoppeling compenseert het spanningsverlies in de draden naar de belasting of maakt de uitgangsstroom evenredig met het verschilsignaal op de ingang.

De spanning V_R kan gebruikt worden voor fijn regeling van de CMRR en/of voor een 'offset'. De impedanties moeten zeer laag zijn wanneer de ingangen V_S en V_R worden aangestuurd om geen 'common mode' of offset-fouten te introduceren.

Een enkele operationele versterker (figuur 4.8.a) voldoet niet als instrumentatieversterker: om een grote versterking te bekomen moet R_1 klein zijn, dit houdt een lage ingangsimpedantie en een slechte CMRR in.

Figuur 4.10 toont een typische instrumentatieversterker, opgebouwd uit drie opamp. De niet-inverterende opamps A_1 en A_2 zorgen voor een verschilversterking van de ingangsspanningen. De opamp A_3 zorgt voor een goede CMRR omwille van de zeer hoge weerstandswaarde van R_2 .



Figuur 4.10: Klassiek 3-opamp instrumentatieversterker.

De isolatieversterker

Een isolatieversterker heeft een ingangskring die galvanisch geïsoleerd is van de voeding en van de uitgang. Isolatieversterkers worden gebruikt voor het meten van kleine DC of laagfrequente spanningen of stromen in aanwezigheid van hoge common-mode spanningen (tot 1000 V) of bijvoorbeeld voor het meten van kleine signalen in de geneeskunde, waar de galvanische scheiding om veiligheidsredenen nodig is. De koppeling wordt meestal gerealiseerd met een transformator die op hogere frequenties werkt.

19.5 Analooq-Digitaal- en Digitaal-Analooqomzetter

Analooq-digitaal omzetter (ADC) en digitaal analooq omzetter (DAC) zijn belangrijke componenten in signaalverwerking en conditionering. Ook bij de digitale voorstelling van een meetsignaal zijn ze vanzelfsprekend noodzakelijk.

Er bestaan verschillende types, van zeer goedkoop tot zeer nauwkeurig, robuust of zeer snel, elk met hun specifieke toepassingen. Een (volledige) bespreking van deze omzetter, de voordelen van het digitale karakter van het (meetsignaal) bij transmissies, gegevensvoorstelling en -opslag valt echter buiten het bestek van deze cursus.

19.6 Voorbeelden van elektronische interfacingcomponenten

Deze paragraaf somt een aantal elektronische interfacingcomponenten op. De lijst is verre van volledig. Ze kan echter in een zoektocht naar de juiste component een startpunt vormen. Voor specifieke opbouw, eigenschappen en toepassingen wordt verwezen naar de desbetreffende databoeken.

Instrumentatieversterker	AD524	Analog Device
LVDT-sigitaalconditionering	NE/SE5520	Philips
Rekstroomjes-sigitaalconditionering	2B30, 2B31	Analog Device
Thermokoppelversterkers	AD594	Analog Device
Geïsoleerde thermokoppelsigitaalcond.	2B50	Analog Device
CMOS 12bit A/D omzetter	AD7552	Analog Device