

2 | Interfacing Signaalgevers & sensoren



2.1 Inleiding

2.1.1 Interfacing via omzetters

Stoeien met elektronica wordt pas interessant als er **interactie** is met de fysische (reële) buitenwereld. Een microcontrollersysteem bijvoorbeeld, kan maar iets nuttigs 'doen' als het in staat is om met behulp van **omzetters**^[6] te communiceren met de omgeving.

Definities

- Met de term '**omzetter**' bedoelen we zowel **sensoren** als **actuatoren**.
- Sensoren en actuatoren zetten de ene **fysische grootheid** om in een andere.
- De **ingangsomzetters** (input transducers) zijn de *sensoren* en de **uitgangsomzetters** (output transducers) zijn de *actuatoren*.
- Via sensoren kunnen we de reële wereld *voelen* en met actuatoren kunnen we de reële wereld *controleren*.



2.1.2 I/O-transducers

Er bestaan veel verschillende types van sensoren en omzetters. Zo kunnen we kiezen uit *analoge* en *digitale* omzetters. Of we moeten gebruik maken van een **ingangs-** of **uitgangsomzetter** hangt af van welk fysisch signaal we willen 'waarnemen' of welk proces we willen 'controleren'.

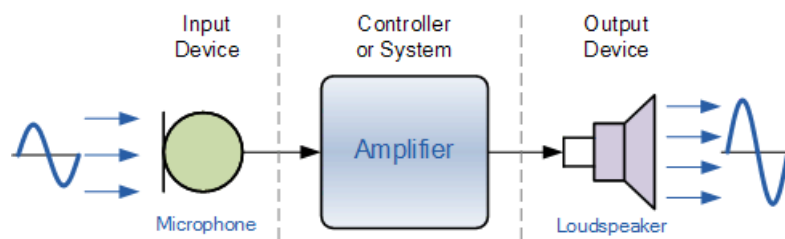
[6] In de Engelstalige vakliteratuur spreekt men van 'transducers'.

Componenten die een *input-functie* vervullen noemen we **sensoren** of 'voelers' die een bepaalde fysische verandering beantwoorden met een variërend (meestal) elektrisch signaal^[7].

Componenten die een *output-functie* vervullen noemen we **actuatoren**. We gebruiken ze om invloed te kunnen uitoefenen op de omgeving.

2.1.3 Eenvoudig I/O-systeem

Figuur 2.1 toont een eenvoudig en gekend I/O-systeem. Algemeen kunnen we stellen dat elke omzetter energie van de ene soort, omzet in energie van een andere soort. Zo zal een *microfoon* (input-omzetter) geluidsgolven omzetten in elektrische signalen die door een elektronische audioversterker worden versterkt zodat het geschikt is om een *luidspreker* aan te sturen. De luidspreker (output-omzetter) op zijn beurt zet het elektrische signaal dan weer om in geluidsgolven.



△ Fig.2.1 | Eenvoudig I/O-systeem.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

[7] In de Engelstalige vakliteratuur spreekt men van 'excitation'.

2.1.4 Standaard omzetters

De tabel van figuur 2.2 geeft een overzicht van veel gebruikte **standaard omzetters** die vlot in de handel te verkrijgen zijn.

Quantity being Measured	Input Device (Sensor)	Output Device (Actuator)
Light Level	Light Dependant Resistor (LDR) Photodiode Photo-transistor Solar Cell	Lights & Lamps LED's & Displays Fibre Optics
Temperature	Thermocouple Thermistor Thermostat Resistive Temperature Detectors	Heater Fan
Force/Pressure	Strain Gauge Pressure Switch Load Cells	Lifts & Jacks Electromagnet Vibration
Position	Potentiometer Encoders Reflective/Slotted Opto-switch LVDT	Motor Solenoid Panel Meters
Speed	Tacho-generator Reflective/Slotted Opto-coupler Doppler Effect Sensors	AC and DC Motors Stepper Motor Brake
Sound	Carbon Microphone Piezo-electric Crystal	Bell Buzzer Loudspeaker

△ Fig.2.2 | Standaard omzetters.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

2.1.5 Actieve & passieve sensoren

Ingangsomzetters of sensoren leveren een elektrisch uitgangssignaal dat *evenredig* is met de verandering van de te meten fysische grootte. We onderscheiden twee soorten: **actieve sensoren** en **passieve sensoren**.

Actieve sensor

- Actieve sensoren vereisen een **externe voedingsspanning** om te kunnen functioneren.
- Actieve spanningssensoren leveren standaard DC-uitgangsspanningen tot **10 V**.
- Actieve stroomsensoren leveren standaard DC-uitgangsströmen van **4 tot 20 mA**.
- Dit type sensor is ook in staat om de sensorsignalen te versterken.



Passieve sensor

- In tegenstelling tot een actieve sensor heeft een passieve sensor GEEN nood aan een externe voedingsspanning.
- Het zijn 'directe' omzetters omdat de elektrische eigenschappen^[8] van dit sensortype veranderen onder invloed van de te meten fysische grootte.



2.1.6 Analoge sensoren

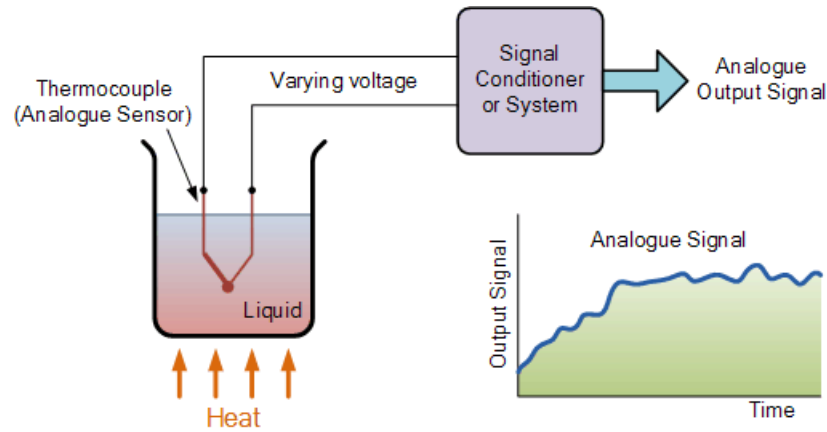
Definitie

Analoge sensoren leveren een CONTINU uitgangssignaal (spanning) dat *evenredig* is met de te meten fysische grootte.



We kunnen de temperatuur van een vloeistof bijvoorbeeld meten met een *thermokoppel* (figuur 2.3). Een thermokoppel reageert continu op de temperatuursverandering van de vloeistof en genereert daarbij een *analoge* thermospanning die een maat is voor de gemeten temperatuur.

[8] Deze elektrische eigenschappen zijn: spanning, weerstand, capaciteit en inductiviteit.



△ Fig.2.3 | Temperatuurmeting met analoge sensor.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

De meeste analoge meetomvormers leveren uitgangssignalen die geleidelijk en continu mee-evolueren met de waargenomen fysische grootte. Deze sensorsignalen zijn dikwijls **zeer klein** en hebben een grootte-orde van enkele micro-volts (μV) tot tientallen milli-volts (mV). Het is dus noodzakelijk deze zeer kleine sensor-signalen op een of andere manier te versterken.

Analoge elektronische meetschakelingen reageren dikwijls traag en hebben niet altijd een hoge nauwkeurigheid. Analoge signaalspanningen kunnen met **analoog-naar-digitaal omzetters**^[9] vrij gemakkelijk omgezet worden in digitale meetwaarden. Zo maken we de (oorspronkelijk analoge) meetwaarden beschikbaar voor een microcontrollersysteem.

[9] In de Engelstalige vakliteratuur spreekt men van Analogue-to-Digital Converters, kortweg 'ADC'.

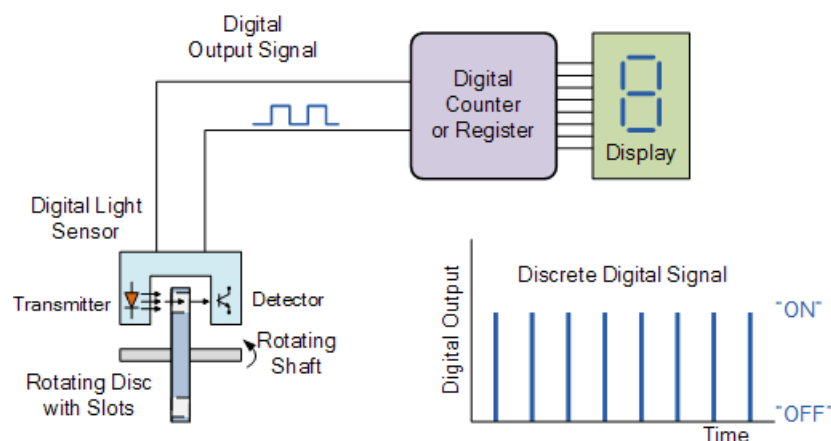
2.1.7 Digitale sensoren

Definitie

- **Digitale sensoren** leveren een BINAIR uitgangssignaal in de vorm van 'nullen' en 'enen'.
- Digitale signalen zijn - in tegenstelling tot analoge signalen - per definitie NIET continu.
- Dit type sensor genereert 'discrete'^[10] meetwaarden in de vorm van een stroom van opeenvolgende bits (seriële transmissie) of in de vorm van één of meerdere bytes (parallele transmissie).



In figuur 2.4 passen we een digitale lichtsensoren toe om bijvoorbeeld een toerentalmeting te kunnen realiseren:



△ Fig.2.4 | Toerentalmeting met digitale sensor.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

Een 'optische koppeling'^[11] detecteert de rotatiesnelheid van een motoras. Op deze motoras bevestigen we een schijf waarin we op bepaalde afstanden een aantal gaatjes perforeren. Doordat de schijf ronddraait ontstaat er een pulsvormig patroon. Telkens de LED zich bevindt voor een gaatje, zal een fototransistor omschakelen van 'nul' naar 'een'. Digitale logica interpreteert dit AAN/UIT-patroon en presenteert, via een 7-segment display het actuele toerental. Door meer gaatjes in de schijf te voorzien, kan je de nauwkeurigheid (resolutie) van de meting serieus opdrijven.

[10] 'Discreet' betekent hier het tegenovergestelde van continu. Een *continu* signaal kan oneindig veel mogelijke waarden aannemen. Een *discreet* signaal kan slechts een beperkt aantal waarden aannemen.

[11] Een 'opto-coupler' bestaat in principe uit een LED (lichtzender) en een fototransistor (lichtontvanger).

2.1.8 Nauwkeurigheid

Vergeleken met *analoge* sensorsignalen kunnen *digitale* meetwaarden, bij zeer hoge samplefrequenties^[12], een zeer hoge graad van **nauwkeurigheid** bereiken. De nauwkeurigheid van een digitale meetwaarde is immers evenredig met het aantal bits waarmee we die meetwaarde wensen weer te geven. Stel dat we gebruik maken van een 8-bits microcontroller. Na bemonstering bekomen we 8-bit samples met een nauwkeurigheid van 0,39% ($1/2^8$). Een 16-bits systeem genereert samples met een nauwkeurigheid van 0,0015% ($1/2^{16}$). Dat is 260 keer zo accuraat als het 8-bit systeem!

In de meeste gevallen is het voor *analoge* opnemers noodzakelijk een externe voeding te voorzien met bijkomende versterking en filtering zodat het meetsignaal geschikt is (en voldoende nauwkeurig) voor verdere verwerking. *Operationele versterkers* (OpAmps) zijn de ideale componenten om deze taak op zich te nemen.

2.1.9 Analoge signaalconditionering

De zeer kleine analoge signaalspanningen die sommige sensoren afleveren, kunnen we vele malen versterken door gebruik te maken van **operationele versterkerschakelingen**. Meestal zijn de originele sensorsignalen niet geschikt als ingangssignaal voor een *microcontroller* of een *analoog-naar-digitaal omzetter* omdat het signaalniveau veel te laag is.

Om er voor te zorgen dat het sensor-uitgangssignaal een exacte weergave is van het originele meetsignaal, gaan we 'versterking' toepassen als onderdeel van **signaalconditionering**. We moeten daarbij garanderen dat de signaalamplitude lineair toeneemt of afneemt in relatie met de te meten fysische grootte.

Definitie

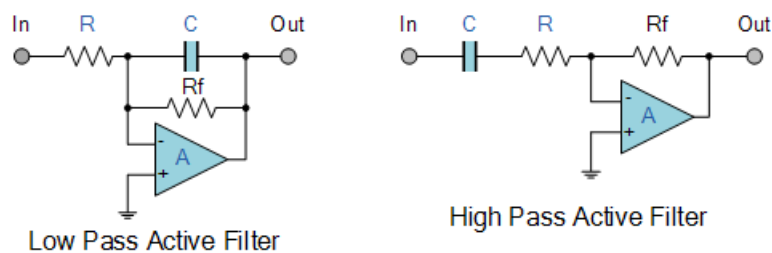
Het geschikt maken van een sensor-uitgangssignaal voor verdere verwerking, noemen we **signaalconditionering**.



[12] Samplefrequentie of bemonsteringsfrequentie (in het Engels ook wel sample rate) is het aantal keren per seconde waarmee een continu signaal wordt bemonsterd. De monsters (samples) vormen een discreet 'digitaal' signaal dat het oorspronkelijke signaal vertegenwoordigt.

Wanneer we gebruik maken van analoge sensoren is dikwijls één of andere vorm van *versterking*, *impedantie-aanpassing*, *isolatie* tussen in- en uitgangskringen en *filtering* noodzakelijk. Tijdens het meten van zeer kleine fluctuaties van een fysische grootheid kan het gebeuren dat het sensorsignaal ernstig vervuild wordt door interferentiesignalen van buitenaf. Deze ongewenste stoorsignalen beïnvloeden de meting ongunstig en worden algemeen aangeduid met de term '**ruis**'^[13]. We zijn gelukkig in staat deze ruis groten-deels te elimineren door gebruik te maken van conventionele signaalconditioneringstechnieken zoals **filtering**.

Door gebruik te maken van *laag doorlaat*, *hoog doorlaat* en *band doorlaatfilters* kunnen we de bandbreedte van de ruiscomponent uit het meetsignaal sterk reduceren. Een positief gevolg hiervan is dat de **signaal-ruisverhouding**^[14] van het sensorsignaal sterk toeneemt. In alle geval spelen 'versterking' en 'filtering' een voorname rol in de interface aspecten tussen sensor en microcontroller. Figuur 2.5 toont enkele OpAmp-filters:



△ Fig.2.5 | OpAmp-filters.
Bron: <https://www.electronics-tutorials.ws>

[13] Ruis (Engels: 'noise') is een willekeurige variatie in een signaal. Tijdens het meet- en registratieproces kunnen diverse oorzaken van ruis optreden. Op grond van hun ontstaanswijze onderscheiden we bijvoorbeeld hagelruis in halfgeleiders, thermische ruis in weerstanden, kosmische ruis als gevolg van ioniserende straling uit het heelal,...

[14] De signaal-ruisverhouding, SNR of S/N (Engels: Signal to Noise Ratio), is een maat voor de kwaliteit van een signaal waarin een storende ruis aanwezig is. De SNR geeft het vermogen (sterkte) van het gewenste signaal in verhouding tot het vermogen van de aanwezige ruis.