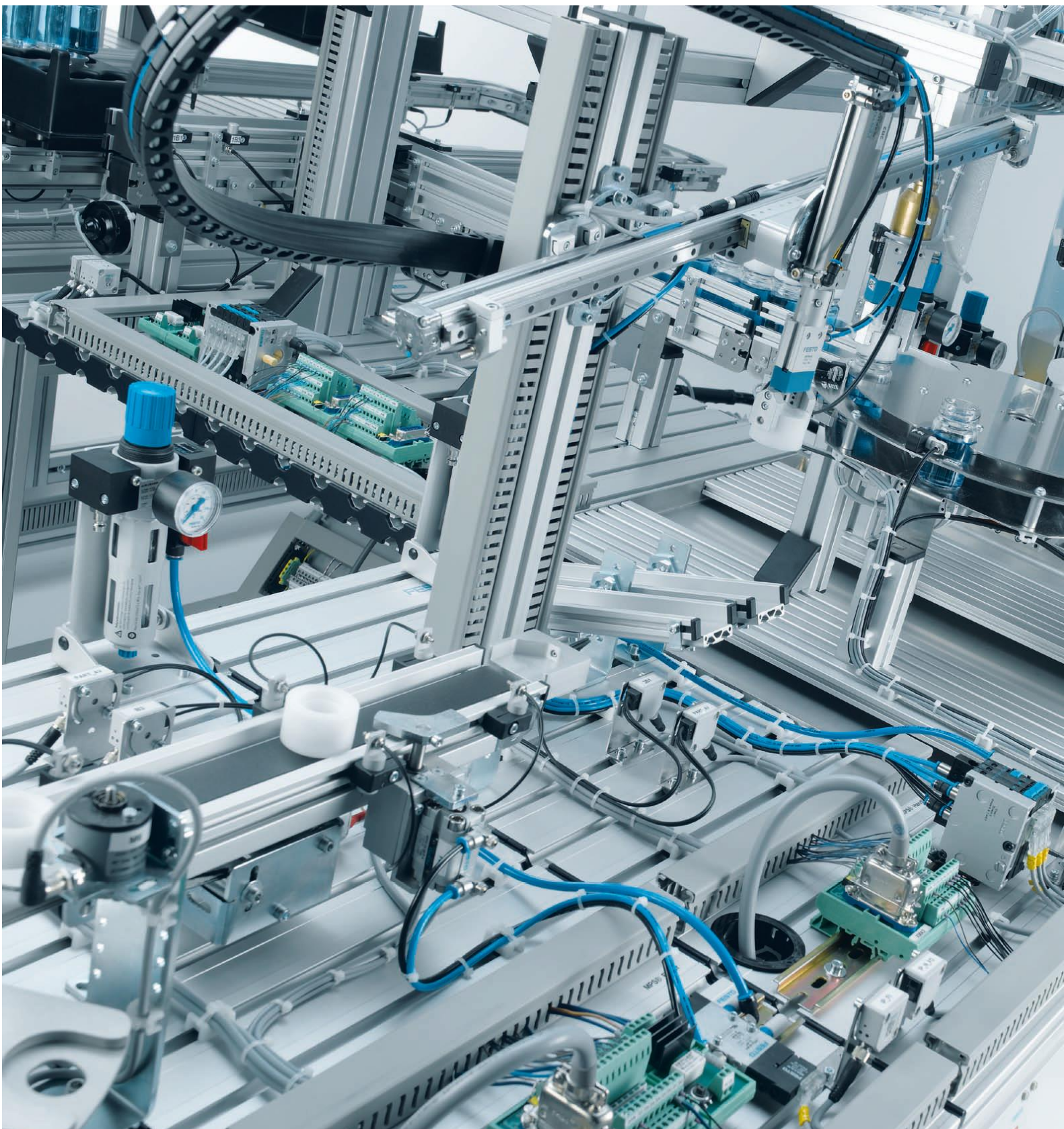


Basiskennis van automatiseringstechnologie

563060

FESTO



Bestelnr.: 563060
Datum: 2020
Auteurs: F. Ebel, S. Idler, G. Prede, D. Scholz
Redacteur: Reinhard Pittschellis
Grafiek: Doris Schwarzenberger
Layout: 05/2008, F. Ebel, S. Durz
Vertaling: Wim Kluiters

© Festo Didactic SE, 73770 Denkendorf, Duitsland, 2020
Internet: www.festo-didactic.com
E-mail: did@festo.com

Het kopiëren, verspreiden en gebruiken van dit document, alsmede het mededelen van de inhoud ervan aan anderen zonder uitdrukkelijke toestemming is verboden. Overtreders zijn aansprakelijk voor de betaling van schadevergoeding. Alle rechten voorbehouden, in het bijzonder het recht om octrooi aan te vragen en het recht om een gebruiksmodel of een siermodel te registreren.

Delen van dit document mogen door de bevoegde gebruiker uitsluitend voor leerdoeleinden worden gereproduceerd.

Opmerking

Het gebruik van slechts één geslachtsvorm (b.v. hij, hem) in deze handleiding mag niet worden beschouwd als discriminatie op grond van geslacht; het is alleen bedoeld om de handleiding leesbaarder en de formuleringen begrijpelijker te maken.

Inhoud

1	Hoe werken Engineers?	7
1.1	<i>Technische tekeningen en onderdelenlijsten</i>	8
1.2	<i>Schakelschema's</i>	11
1.3	<i>Stroomdiagrammen en programma's</i>	12
1.4	<i>Technische plannen en schematische schema's</i>	13
1.5	<i>Berekeningen en simulatie</i>	14
2	Automatiseringstechnologie als onderdeel van de engineerswetenschappen	15
2.1	<i>Belangrijke historische ontwikkelingen van de automatiseringstechnologie</i>	15
2.2	<i>Gevolgen van automatisering voor de mens</i>	17
3	Basiskennis van de elektrotechniek	19
3.1	<i>Gelijkstroom en wisselstroom</i>	19
3.2	<i>Elektrische weerstand en elektrisch vermogen</i>	20
3.2.1	Elektrische geleider	20
3.2.2	Elektrische weerstand	20
3.2.3	De wet van Ohm	21
3.2.4	Elektrisch vermogen	21
3.3	<i>Magneetspoel</i>	Error! Bookmark not defined.
3.3.1	Opbouw van een magneetspoel	23
3.3.2	Toepassingen van magneetspoelen	23
3.4	<i>Elektrische condensator</i>	24
3.5	<i>Diode</i>	25
3.6	<i>Schakelaars</i>	26
3.6.1	Normaal geopende schakelaar	26
3.6.2	Normaal gesloten schakelaar	27
3.6.3	Wisselschakelaar	Error! Bookmark not defined.
3.7	<i>Relais en schakelaars</i>	28
3.7.1	Toepassingen van relais	28
3.7.2	Opbouw van een relais	29
3.7.3	Tijdrelais	30
3.8	<i>Voedingseenheid</i>	32
3.9	<i>Metingen in een elektrische schakeling</i>	33
3.9.1	Procedure voor metingen in een elektrische schakeling	34
4	Sensoren	37
4.1	<i>Naderingssensoren</i>	37

4.1.1 Magnetische sensoren	38
4.1.2 Elektronische sensoren	39
4.1.3 Inductieve naderingssensors	40
4.1.4 Capacitieve naderingssensors	41
4.1.5 Optische naderingssensors	42
4.2 <i>Druksensoren</i>	45
4.2.1 Mechanische drukschakelaars met binair uitgangssignaal	45
4.2.2 Elektronische drukschakelaars met binair uitgangssignaal	46
5 Basiskennis van de pneumatiek	47
5.1 <i>Natuurkundige basiskennis</i>	48
5.1.1 Basiseenheden	48
5.1.2 Afgeleide eenheden	48
5.1.3 De wet van Newton	48
5.1.4 Druk	49
5.2 <i>Eigenschappen van lucht</i>	50
5.2.1 De wet van Boyle	50
5.2.2 De wet van Gay-Lussac	51
5.2.3 Algemene gasvergelijking	52
5.3 <i>Afzonderlijke onderdelen van een pneumatisch besturingssysteem en hun functies</i>	53
5.4 <i>Functies en kenmerken van actuatoren (pneumatische cilinders)</i>	55
5.4.1 Enkelwerkende cilinders	55
5.4.2 Dubbelwerkende cilinders	55
5.4.3 Snelheidsregeling bij enkelwerkende cilinders	56
5.4.4 Snelheidsregeling bij dubbelwerkende cilinders	58
5.5 <i>Functies en kenmerken van pneumatische stuurventielen</i>	60
5.5.1 Functie, benaming en symbolen van pneumatische ventielen	61
5.5.2 Bedieningsmethoden van pneumatische ventielen	62
5.5.3 Besturing van een enkelwerkende cilinder	62
5.5.4 Besturing van een dubbelwerkende cilinder	63
5.6 <i>Functies en kenmerken van pneumatische aandrijvingen</i>	64
5.6.1 Geleide cilinders, zuigerstangloze lineaire aandrijvingen en roterende aandrijvingen	64
5.6.2 Pneumatische grijpers	65
5.6.3 Vacuüm grijpers	66
5.7 <i>Pneumatisch besturingssysteem weergegeven in een schakelschema</i>	70
5.7.1 Symboolaanduidingen in schakelschema's	71
6 Elektrische aandrijvingen	74
6.1 <i>Natuurkundige/technische basiskennis van de gelijkstroommotor</i>	74
6.1.1 Gelijkstroommotoren inschakelen	77
6.1.2 Magneetspoelen als eenvoudige actuatoren	79
7 Basiskennis van de besturingstechniek	80

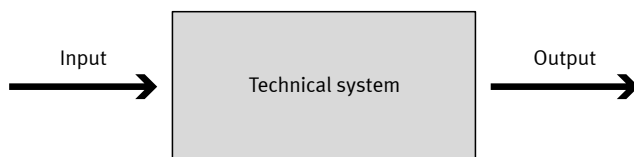
7.1 Werking en structuur van programmeerbare logische controllers (PLC's)	Error! Bookmark not defined.
7.2 Wiskundige basiskennis - basis logische functies	83
7.2.1 Algemene informatie	83
7.2.2 Identiteit (JA-functie)	83
7.2.3 Negatie (NEE-functie)	84
7.2.4 Conjunctie (EN-functie)	85
7.2.5 Disjunctie (OF-functie)	86
7.2.6 Verdere logische functies	88
7.3 Voorbeelden van de opbouw van een besturing	90
8 Toepassingen van relais in elektropneumatiek	92
8.1 Directe en indirecte besturing met relais	92
8.1.1 Directe besturing van een enkelwerkende cilinder	93
8.1.2 Indirecte besturing van een enkelwerkende cilinder	93
8.1.3 Besturing van een dubbelwerkende cilinder	94
8.2 Logische bewerkingen met relais	95
8.2.1 Parallele aansluiting (OF-functie)	95
8.2.2 Serieschakeling (EN-functie)	96
8.3 Signaalopslag met relais	97
8.3.1 Signaalopslag door middel van een relaisschakeling met houdschakeling	97
8.3.2 Handmatige bediening van de uit- en ingaande slag met relais met houdschakeling	98
8.3.3 Signaalopslag door middel van een bistabiel ventiel (twee magneetspoelen)	99
8.3.4 Automatische retourslagregeling met een bistabiel ventiel	100
8.3.5 Vergelijking van signaalopslag d.m.v. een houdschakeling en bistabiele magneetventielen	100
8.4 Tijdvertraging met een relais	101
8.5 Aansturing van een cilinder via een tijdvertraging	101
9 Programmeerbare Logische Controllers (PLC's)	102
9.1 Algemene informatie	102
9.2 Logische symbolen in de FluidSIM® besturingssoftware	103
9.3 Combinatorische programmering met behulp van een PLC	104
9.3.1 Voorbeeld 1: houdschakeling	104
9.3.2 Voorbeeld 2: EN-functie, tijdvertraging	105
9.4 Sequentiële programmering met behulp van een PLC	107

1 Hoe werken engineers?

Engineerswetenschappen vormen, net als de kunsten, de sociale wetenschappen en de natuurwetenschappen, een afzonderlijke discipline met een eigen taal, praktijk en instrumenten. Natuurlijk maken zij gebruik van basiskennis van andere wetenschappen, met name de wiskunde en de natuurkunde, maar ook de sociale wetenschappen. Op hun beurt zijn veel van de bevindingen in laatstgenoemde disciplines gebaseerd op de resultaten van onderzoek dat op het gebied van de engineerswetenschappen is uitgevoerd.

In tegenstelling tot de natuurwetenschappen houden de engineerswetenschappen zich niet in de eerste plaats bezig met het verzamelen van informatie en het ontdekken van de natuurwetten, maar veeleer met het creëren van technische oplossingen om in menselijke behoeften te voorzien.

De engineer vraagt zich dan ook steeds af "Hoe kan ik dit probleem oplossen?". Dit leidt tot een typische technische benadering zoals "black-box thinking". Black-box thinking betekent dat engineers technische systemen gebruiken zonder precies te hoeven weten hoe de afzonderlijke componenten en modules werken. Het enige wat engineers moeten weten is dat het apparaat een specifieke output zal leveren uit een specifieke input.



Afbeelding 1.1: Black box-voorstelling van een technisch systeem

Zo maken geautomatiseerde machines gebruik van elektromotoren van verschillende grootte en met verschillende vermogens. De machineontwerper hoeft niet precies te weten hoe de elektromotor werkt. Hij hoeft alleen maar de juiste motor te selecteren aan de hand van kenmerken zoals afmetingen, koppel, snelheid, stroomverbruik, vermogen, enz.

De situatie waarin engineers zelf elektromotoren ontwerpen, is daarentegen geheel anders. In dit geval hebben zij een grondige kennis nodig van de werkingwijze en de natuurkundige basiskennis van de elektromotor en zijn componenten.

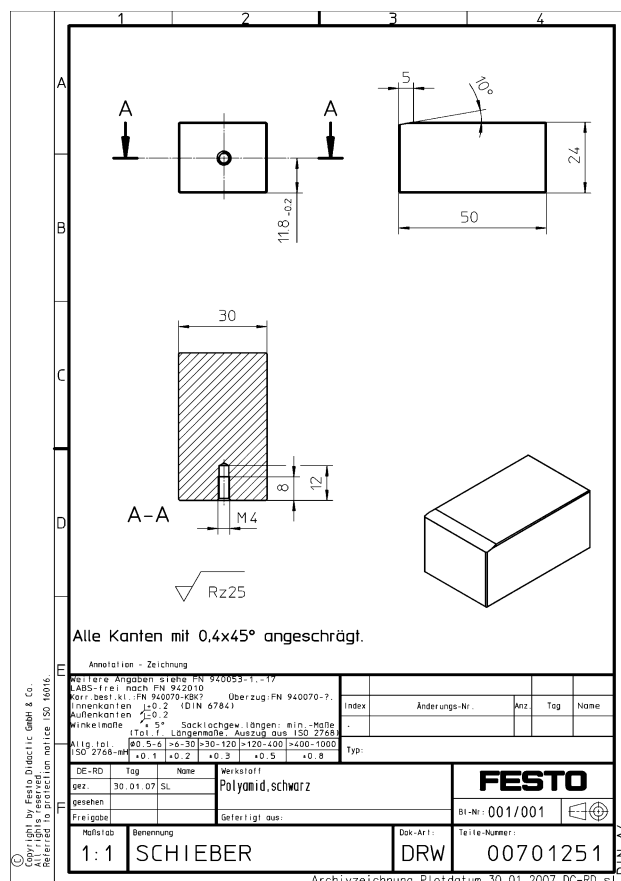
Een ander onderscheidend kenmerk van de engineerswetenschappen is de wijze waarop technische oplossingen worden weergegeven. Engineers gebruiken gestandaardiseerde en daardoor internationaal begrepen beschrijvingsinstrumenten, waarvan de meeste grafisch zijn. De belangrijkste zijn:

- technische tekeningen en onderdelenlijsten,
- schakelschema's,
- stroomdiagrammen en programma's,
- technische plannen en schematische schema's.

1.1 Technische tekeningen en onderdelenlijsten

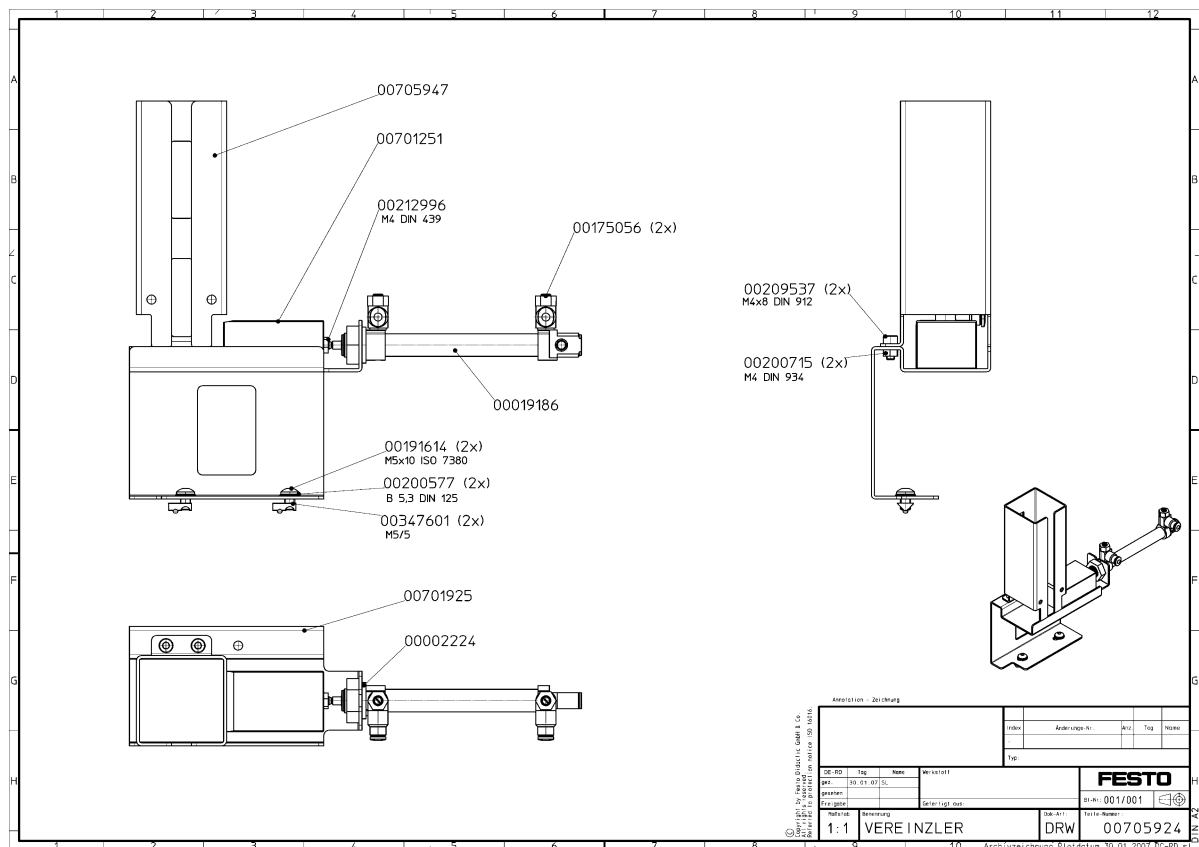
Technische tekeningen worden gebruikt om het ontwerp van producten te illustreren. Zij tonen in detail de afmetingen, toleranties, oppervlakteafwerking en materialen van de werkstukken (maatschetsen) of de assemblage van modules (montagetekeningen).

De aanzichten van een werkstuk worden op papier gerangschikt volgens een standaardprotocol waarbij elk aanzicht het werkstuk 90° gedraaid toont ten opzichte van het projectievlak. Met deze aanpak zijn maximaal zes aanzichten mogelijk. Gewoonlijk worden echter alleen die aanzichten gereproduceerd die nodig zijn om alle voor de productie vereiste afmetingen weer te geven. Afbeelding 1.2 toont een voorbeeld van een maatschets.



Afbeelding 1.2: Maattekening van de schuif uit het stapelmagazijn (origineel formaat A4)

Assemblagetekeningen laten zien hoe de delen het eindproduct of de module vormen. Deze tekeningen bevatten weinig afmetingen, maar tonen wel de exacte benamingen van de delen (zie afbeelding 1.3).



Afbeelding 1.3: Montagetekening van het stapelmagazijn (origineel formaat A3)

Deze onderdelen worden samengebracht in een stuklijst die informatie geeft over het aantal onderdelen dat nodig is om een product te vervaardigen (tabel 1.1).

Nummer	Materiaalnummer	Beschrijving
1	00705947	Zwaartekracht-transportgoot
1	00701251	Glijbaan
1	00701925	Mechaniek
1	00019186	Pneumatische cilinder DSNU 10-50-PA
2	00175056	Snelheidsregelventiel GRLA-M5-QS-4-LF-C
2	00191614	Bolkopschroef M5 x1 0 ISO 7380
2	00200577	Sluitring B 5.3 DIN 125
2	00347601	T-kop moer M5
2	00209537	Kropschroef M4 x 8 DIN 912
2	00200715	Moer M4 DIN 934
1	00002224	Afdichtingsring

Tabel 1.1: Voorbeeld van een onderdelenlijst (voor afbeelding 1.3)

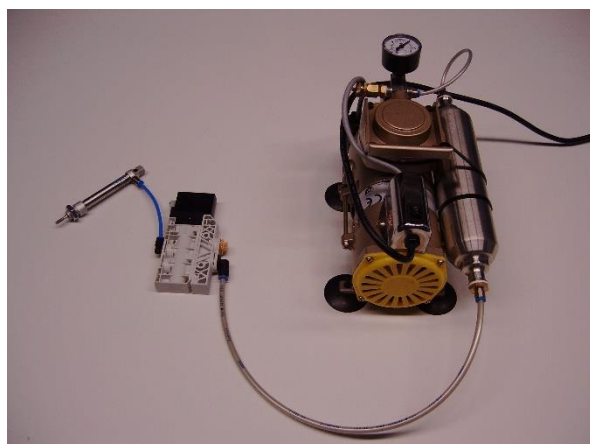
Elk onderdeel heeft zijn eigen maatschets die als basis kan dienen voor de fabricage ervan. De enige onderdelen waarvoor geen individuele tekeningen worden gemaakt, zijn standaardonderdelen zoals schroeven en kogellagers of andere ingekochte onderdelen. Ingekochte standaardonderdelen kunt u in de stuklijst herkennen aan hun benaming, die een verwijzing naar de norm bevat (bijv. DIN 125 of ISO 7380).

Engineers maken zoveel mogelijk gebruik van standaardonderdelen, omdat die niet duur zijn; ze kunnen in exact de vereiste hoeveelheden en de vereiste kwaliteit bij andere gespecialiseerde fabrikanten worden gekocht, wat gewoonlijk goedkoper is dan ze zelf te produceren. Dit maakt het voor de engineers niet alleen gemakkelijker om het product te ontwerpen, maar ook om het te repareren in geval van een defect.

1.2 Schakelschema's

Terwijl technische tekeningen de uiterlijke vormgeving van een product laten zien, laten schakelschema's zien hoe de elektrische, pneumatische of hydraulische componenten van een technisch systeem of een technische installatie met elkaar zijn verbonden. Er worden gestandaardiseerde symbolen gebruikt om te verwijzen naar de functie van de component, ongeacht het ontwerp of hoe ze er in werkelijkheid uitzien. Schakelschema's zijn daarom veel abstracter dan technische tekeningen.

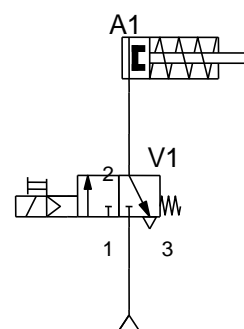
Afbeelding 1.4 toont het schakelschema van een echt pneumatisch circuit.



Enkelwerkende cilinder

3/2 Magneetventiel

Compressor



Afbeelding 1.4: Foto en hoe ze worden weergegeven in een (pneumatisch) schakelschema

De componenten, aansluitingen, enz. worden genummerd, zodat het overzicht bewaard blijft bij het bouwen van de schakeling. De componenten worden in de machine op dezelfde wijze van nummering voorzien, zodat hun functie later in het schakelschema kan worden gereproduceerd.

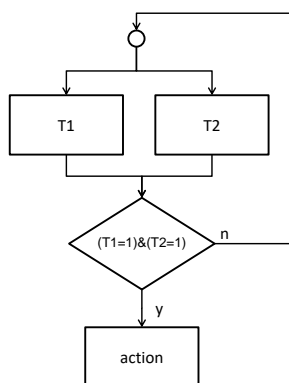
1.3 Stroomdiagrammen en programma's

De meeste moderne besturingen zijn programmabesturingen. Dit betekent dat een computerprogramma de afzonderlijke besturingsfasen coördineert en aanstuurt. Voor de meest uiteenlopende problemen in de techniek zijn speciale programmeertalen ontwikkeld, bijvoorbeeld Fortran (Formula Translation) voor overwegend wiskundige taken, Cobol (Common Business Oriented Language) voor bedrijfsprogramma's, ladderdiagrammen voor logische besturingssystemen of Basic (Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code) als een gemakkelijk te leren, universele programmeertaal voor beginners.

Hier is een eenvoudig voorbeeld van hoe een basisprogramma wordt ontwikkeld.

Voordat met de eigenlijke programmering kan worden begonnen, wordt het algoritme uitgewerkt in de vorm van een stroomdiagram. Afbeelding 1.5 toont een stroomdiagram voor de volgende besturingsvolgorde:

- de status van de drukknoppen 1 en 2 wordt gecontroleerd,
- indien beide schakelaars de status 1 (aan) hebben, dan gaat de zuigerstang van de cilinder uit,
- in alle andere gevallen wordt de status van de drukknoppen opnieuw bekeken.

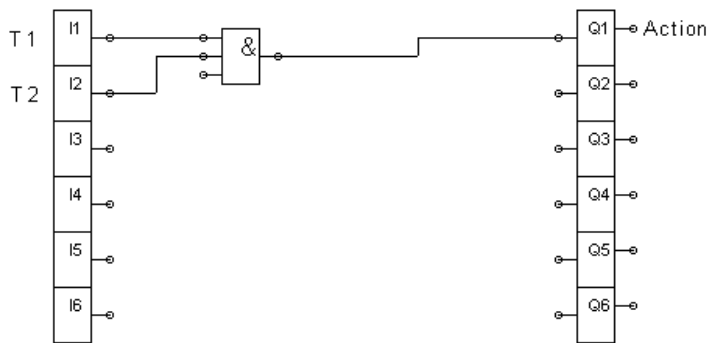


Afbeelding 1.5: Stroomdiagram

Een Basic-programma voor de besturingsvolgorde in afbeelding 1.5 zou ongeveer zo kunnen gaan:

```

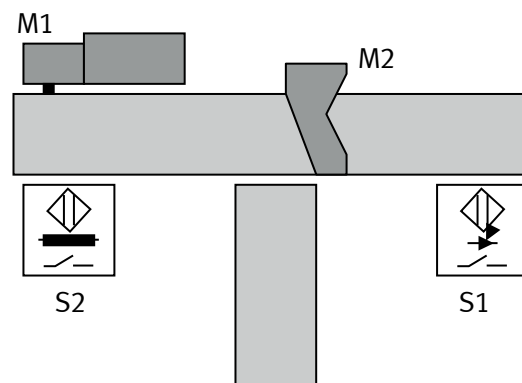
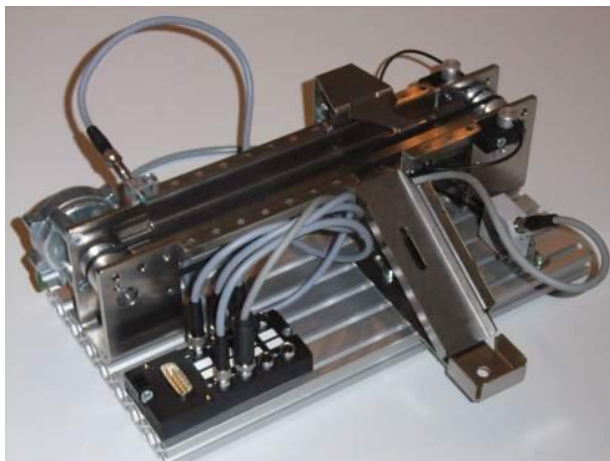
10  P1  = Drukknop 1
20  P2  = Drukknop 2
30  IF (P1 = 1) AND (P2 = 1), THEN zuigerstang van de cilinder uitsturen, ELSE GOTO 10
  
```



Afbeelding 1.6: Logisch programma

1.4 Technische plannen en schematische schema's

Een technisch plan of schematisch diagram wordt gebruikt om de functie van een machine grafisch te verduidelijken. De voorstelling kan meer of minder abstract zijn, afhankelijk van het doel; het belangrijkste aspect is de realistische weergave van de interactie en de basisopstelling van de componenten en modules. Om de belangrijkste relaties te illustreren kunnen besturingscomponenten zoals sensoren of actuatoren in het technologiepatroon worden aangeduid met dezelfde verkorte benamingen als in het programma of het schakelschema. Afbeelding 1.7 geeft een voorbeeld.



Afbeelding 1.7: Foto en schematische voorstelling van de transportband

1.5 Berekeningen en simulatie

Berekeningen voor de dimensionering van componenten behoren tot de belangrijkste stappen van het gehele ontwikkelingsproces. In veel gevallen zijn gedetailleerde sterkteproeven formeel bij wet vereist (b.v. bij de bouw van huizen of vliegtuigen) om de gevaren af te wenden die door ondermaatse machines kunnen worden veroorzaakt. In het algemeen zijn vaak berekeningen vereist om de bruikbaarheid van de machines onder alle omstandigheden te garanderen. Voorbeelden hiervan zijn de berekening van krachten en koppels voor de dimensionering van aandrijvingen of de berekening van stroomsterktes voor de dimensionering van elektriciteitsleidingen.

Nauw verbonden met het onderwerp berekening is het gebruik van simulatie. Engineers proberen, waar mogelijk, hun oplossingen via simulatie te testen en te optimaliseren voordat een (kostbaar) prototype wordt gebouwd.

Een goed voorbeeld hiervan is het FluidSIM® -programma, waarmee leerlingen hun pneumatische, logische of elektrische schakelingen kunnen testen en simuleren voordat zij deze bouwen. Als de schakeling werkt, kan deze ook worden gebruikt om het eigenlijke model te besturen. In dit geval kunnen door het gebruik van simulatie meerdere leerlingen tegelijk aan één probleem werken met minder (dure) trainingsopstellingen.

2 Automatiseringstechnologie als onderdeel van de engineers-wetenschappen

Voorbeelden van aan techniek gerelateerde wetenschappen zijn:

- werktuigbouwkunde,
- elektrotechniek,
- productie engineering,
- bouwkunde,
- enzovoort.

Eén punt dat deze wetenschappen gemeen hebben is het onderzoeken, definiëren en toepassen van de beginselen van de engineering. Wat hen onderscheidt is het onderwerp en de oriëntatie van de respectieve discipline.

Automatiseringstechnologie is een interdisciplinair vakgebied dat gebruik maakt van kennis en wetenschappelijke methoden uit talrijke andere technische wetenschappen. Volgens DIN 19223 is een automatische machine een kunstmatig systeem dat beslissingen neemt op basis van de combinatie van ingangssignalen (overeenkomstig de toestanden van het systeem); deze beslissingen hebben bepaalde uitgangssignalen tot gevolg (die de toestand van het systeem wijzigen).

Drie componenten zijn nodig om moderne automatische processen te realiseren:

- sensoren om de systeemtoestanden te detecteren,
- actuatoren om de besturingscommando's uit te voeren
- besturingen voor het programmaverloop en om beslissingen te nemen.

2.1 Belangrijke historische ontwikkelingen van de automatiseringstechnologie

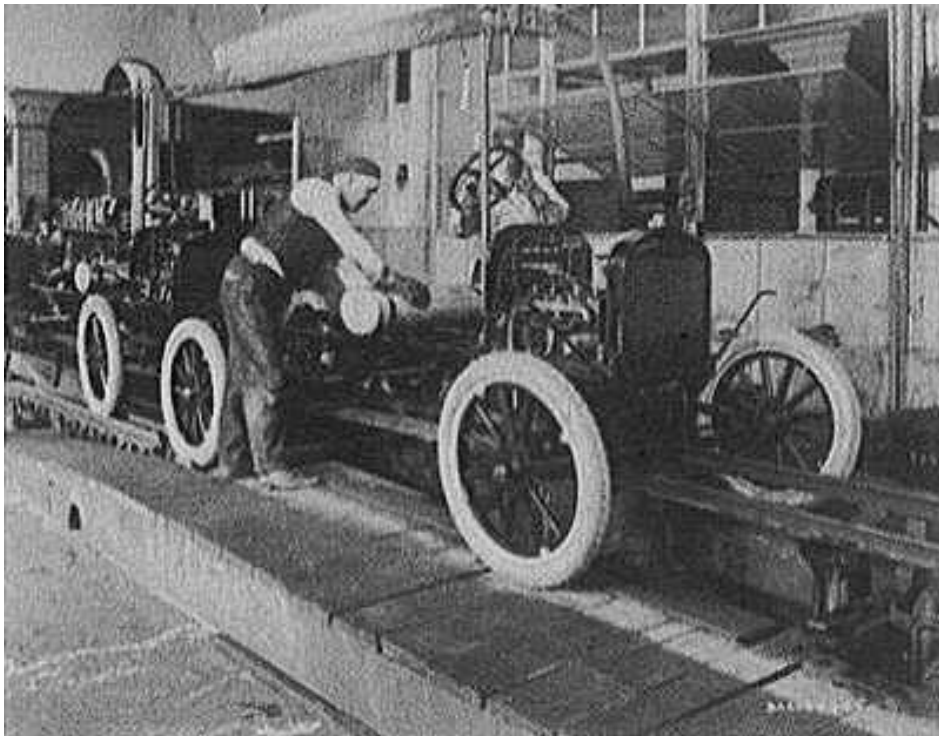
Als we tegenwoordig "automatiseringstechnologie" horen, denken we onmiddellijk aan industriële robots en computerbesturingen. In feite is de automatiseringstechnologie in ambacht en industrie al veel eerder begonnen met het gebruik van de stoommachine door James Watt in 1769. Voor het eerst kon een machine menskracht of paardenkracht vervangen.

De eerste stoommachines werden gebruikt om water uit mijnen af te voeren en om werktuigmachines aan te drijven. Bij deze toepassingen dreef één enkele stoommachine een aantal machines aan via een ingewikkeld systeem van transmissieassen en leren riemen (zogenaamde drijfriemen) die aan het plafond van de machinehal waren bevestigd.

In 1820 ontdekte de Deense natuurkundige Oersted het elektromagnetisme, in 1834 ontwikkelde Thomas Davenport de eerste gelijkstroommotor met commutator (polariteitwisselaar) en kreeg er een jaar later octrooi voor. Toch duurde het nog tot 1866 voordat de elektromotor op grote schaal werd toegepast. Dit was nadat Werner von Siemens de dynamo had uitgevonden die een eenvoudige manier bood om elektrische stroom in grote hoeveelheden op te wekken. De elektromotor verving de stoommachine als aandrijving.

In 1913 introduceerde Henry Ford het eerste lopende band productiesysteem voor het beroemde Model T (afbeelding 2.1). Dit resulteerde in een veel hogere productiviteit, want de productietijd voor een auto daalde van 750 naar slechts 93 uur. Dat was de basis voor de serieproductie van auto's. Door deze hogere productiviteit kon de Ford-maatschappij haar arbeiders in 1913 een dagloon van 5 dollar betalen voor 8 uur werk. De prijs voor een Model T daalde tot ongeveer 600 dollar. De auto werd een consumptieartikel voor bredere lagen van de bevolking en niet langer voor de paar welgestelden.

De wetenschap achter de lopende band productie was gebaseerd op het werk van de Amerikaan Frederick Winslow Taylor over werkverdeling, waarbij de productie wordt verdeeld in een groot aantal eenvoudige werkstappen die zelfs ongeschoolde arbeiders kunnen uitvoeren.



Afbeelding 2.1: Lopende band productie bij Ford (1921)

In 1873 werd octrooi verleend op een volautomatische machine voor de fabricage van schroeven, die gebruik maakte van schakelnokken voor het opslaan van de afzonderlijke besturingsvolgorden.

In 1837 vond Joseph Henry een elektromagnetische schakelaar uit die relais werd genoemd naar de relaisstations waar postrijders hun vermoeide paarden konden omruilen voor verse.

Ze werden aanvankelijk gebruikt voor signaalversterking in morsestations. Later werden ze gebruikt voor het bouwen van elektrische besturingen. Dit type besturingen, waarbij de relais met vaste bedrading aan elkaar zijn gekoppeld, werden verbindingsgeprogrammeerde besturingen genoemd, een naam die vandaag de dag nog steeds wordt gebruikt. Relais konden nu worden gebruikt om complexe besturingstaken uit te voeren, maar door de vaste bedrading duurde het programmeren nog steeds vrij lang en was het oplossen van problemen tijdrovend.

In 1959 presenteerde Joseph Engelberger het prototype voor een industriële robot die vanaf 1961 door General Motors bij de autoproduktie werd gebruikt. Deze robot had hydraulische aandrijving; pas later werden industriële robots uitsluitend met elektromotoren uitgerust.

In 1968 ontwikkelde een team van het Amerikaanse bedrijf Allen Bradley onder leiding van Odo Struger de eerste Programmeerbare Logische Controller (PLC). Nu was het mogelijk om eenvoudig een programma te veranderen zonder een heleboel relais opnieuw te moeten aansluiten.

Industriële robots werden in 1970 gemeengoed in de moderne industriële productie en zijn dat tot op de dag van vandaag nog steeds. De moderne productie kan, althans op dit moment, niet zonder. Integendeel zelfs, hun belang neemt voortdurend toe. Alleen al in Duitsland zijn er meer dan 100.000 robots, vooral in de automobiellndustrie en haar toeleveranciers.

2.2 Gevolgen van automatisering voor de mens

Een van de belangrijkste redenen voor de invoering van geautomatiseerde systemen was en is de wens om goederen goedkoper te kunnen produceren dan de concurrentie. Automatiseringstechnologie kan dit op verschillende manieren doen:

- Er is minder personeel nodig voor geautomatiseerde productie.
- De productie kan onafgebroken (24/7) doorgaan, afgezien van enkele onderhoudsperioden.
- Machines maken over het algemeen minder fouten, wat betekent dat de kwaliteit van de geproduceerde producten constant hoog is.
- De doorlooptijden zijn korter, waardoor grotere hoeveelheden sneller kunnen worden verzonden.
- Automatisering bevrijdt mensen van saai, lichamelijk zwaar of gevaarlijk werk (vermenselijking van het arbeidsproces).

Aan de andere kant zijn er ook minder positieve effecten verbonden aan automatiseringstechnologie, zoals:

- Het verlies van banen, met name banen met een laag opleidingsniveau (één hooggekwalificeerde servicetechnicus neemt de plaats in van 10 ongeschoolde assemblagemedewerkers).
- De automatisering van de productie vereist dat de werknemers zo nu en dan beslissingen nemen, maar de structuur van het systeem is zo ingewikkeld dat zij de gevolgen daarvan niet volledig kunnen overzien.
- De uitgaven voor een dergelijk geautomatiseerd systeem vergroten de verantwoordelijkheid van elk individu voor het succes van de onderneming in haar geheel.

3 Basiskennis van elektrotechniek

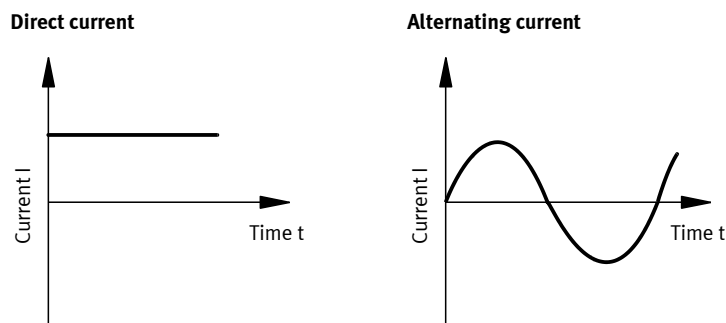
3.1 Gelijkstroom en wisselstroom

Een van de belangrijkste basisbeginselen van de automatiseringstechniek is de elektrotechniek, omdat de meeste technische systemen elektrische energie nodig hebben, zowel om ze aan te drijven als om binnenkomende signalen te verwerken. Daarom volgt hieronder een overzicht van de belangrijkste basiskennis van de elektrotechniek.

Een eenvoudige elektrische stroomkring bestaat uit een spanningsbron, een verbruikstoestel en de verbindingskabels voor het overbrengen van de elektrische energie. Voor elke elektrische stroomkring geldt de volgende eenvoudige regel: "van de generator naar het verbruikstoestel en terug". In natuurkundige termen bevinden zich binnen de elektrische stroomkring negatief geladen deeltjes, de elektronen, die zich via de elektrische geleider verplaatsen van de negatieve pool van de spanningsbron naar de positieve pool. Deze beweging van de geladen deeltjes wordt elektrische stroom genoemd. Een elektrische stroom kan alleen vloeien wanneer de stroomkring gesloten is.

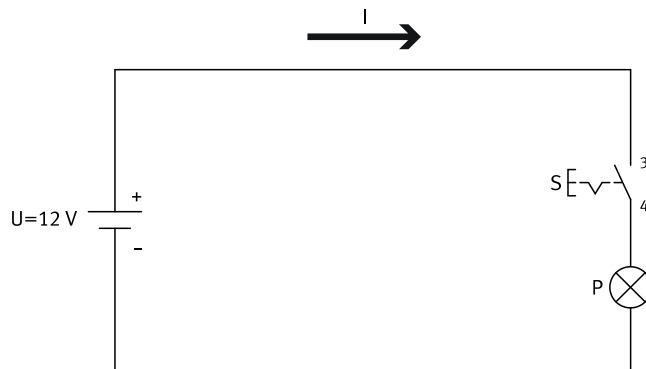
Er wordt een onderscheid gemaakt tussen gelijk- en wisselstroom:

- Als in de stroomkring de spanning altijd in één richting loopt, levert dit een stroom op die ook altijd in één richting loopt. Dit is een gelijkstroom (DC) of een gelijkstroomschakeling.
- Bij wisselstroom (AC) in een AC-wisselstroomschakeling veranderen de spanning en de stroom met bepaalde tussenpozen van richting en intensiteit.



Afbeelding 3.1: Gelijkstroom en wisselstroom weergegeven op basis van de tijd

Afbeelding 3.2 toont een eenvoudige gelijkstroomschakeling bestaande uit een spanningsbron, elektrische kabels, een bedieningsschakelaar en een verbruiker (in het voorbeeld een gloeilamp).



Afbeelding 3.2: Gelijkstroomkring

Technische richting van de huidige

Wanneer de bedieningsschakelaar wordt gesloten, loopt er een stroom I door het verbruikende apparaat. De elektronen bewegen van de negatieve klem naar de positieve klem van de spanningsbron. Voordat het bestaan van elektronen werd ontdekt, werd de stroomrichting gedefinieerd als stromend van "positief" naar "negatief". Deze definitie is in de praktijk nog steeds geldig en wordt de technische stroomrichting genoemd.

3.2 Elektrische weerstand en elektrisch vermogen

3.2.1 Elektrische geleider

De term elektrische stroom verwijst naar de gerichte beweging van geladen deeltjes. Om een stroom in een materiaal te laten vloeien, moeten er voldoende vrije elektronen aanwezig zijn. Materialen die aan dit criterium voldoen, worden elektrische geleiders genoemd. Koper, aluminium en zilver zijn bijzonder goede elektrische geleiders. Koper is het belangrijkste geleidende materiaal dat in de besturingstechniek wordt gebruikt.

3.2.2 Elektrische weerstand

Alle materialen, ook goede elektrische geleiders, bieden weerstand tegen de elektrische stroom. Dit wordt veroorzaakt doordat de vrij bewegende elektronen tegen de atomen in het geleidende materiaal botsen, waardoor hun beweging wordt belemmerd. Elektrische geleiders hebben een lage weerstand. Materialen met een bijzonder hoge weerstand tegen de elektrische stroom worden elektrische isolatoren genoemd. Materialen op basis van rubber en kunststof worden gebruikt om elektrische kabels te isoleren.

3.2.3 De wet van Ohm

De wet van Ohm beschrijft het verband tussen spanning, stroomsterkte en weerstand. Volgens deze wet verandert in een stroomkring met een bepaalde elektrische weerstand de stroomsterkte recht evenredig met de spanning, d.w.z.

- als de spanning stijgt, stijgt ook de stroomsterkte,
- als de spanning daalt, daalt ook de stroomsterkte.

$$U = R \cdot I$$

U=	spanning	Eenheid: volt (V)
R=	weerstand	Eenheid: ohm (Ω)
I=	stroomsterkte	Eenheid: ampère (A)

3.2.4 Elektrisch vermogen

In de mechanica kan vermogen worden gedefinieerd in termen van arbeid. Hoe sneller het werk wordt verricht, hoe groter het vereiste vermogen. Vermogen is dus arbeid per tijdseenheid.

In het geval van een verbruiker in een elektrische schakeling wordt elektrische energie omgezet in kinetische energie (b.v. rotatie in een elektromotor), lichtstraling (b.v. elektrische lamp) of thermische energie (b.v. elektrische verwarming, elektrische lamp). Hoe sneller de energie wordt omgezet, hoe hoger het elektrisch vermogen. Vermogen wordt in dit geval dus omgezet in energie per tijd. Het neemt toe naarmate de stroom en de spanning toenemen.

Het elektrisch vermogen van een verbruikend toestel wordt ook elektrisch verbruik genoemd.

$$P = U \cdot I$$

P=	vermogen	Eenheid: watt (W)
U=	spanning	Eenheid: volt (V)
I=	stroomsterkte	Eenheid: ampère (A)

Toepassingsvoorbeeld: Elektrisch vermogen van een spoel

De magneetspoel van een pneumatisch ventiel (b.v. het 5/2 magneetventiel in het station Handling) wordt gevoed met 24 V DC. De weerstand van de spoel bedraagt 60 Ω.

- Bereken het elektrisch vermogen van de magneetspoel.

De stroomsterkte wordt berekend met behulp van de wet van Ohm:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{24 \text{ V}}{60 \Omega} = 0.4 \text{ A}$$

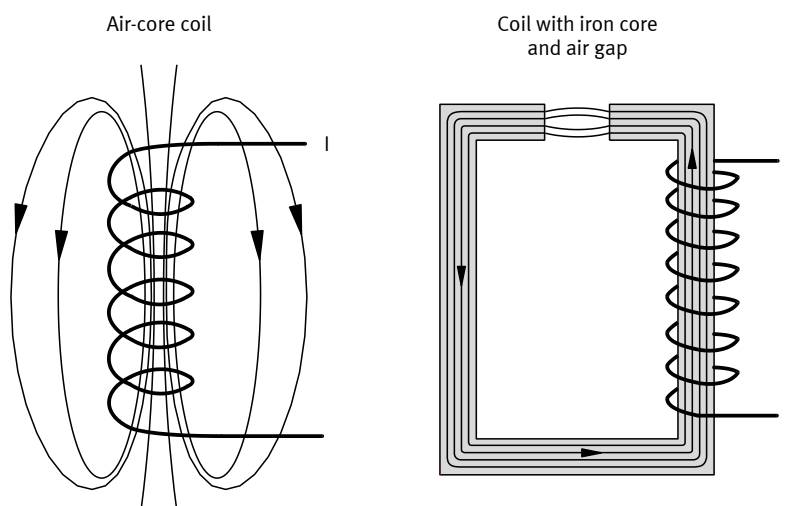
Het elektrisch vermogen is het product van de stroomsterkte en de spanning:

$$P = U \cdot I = 24 \text{ V} \cdot 0.4 \text{ A} = 9.6 \text{ W}$$

Het elektrisch vermogen van de magneetspoel bedraagt 9,6 W.

3.3 Magneetspoel

Wanneer stroom door een elektrische geleider vloeit, bouwt zich daaromheen een magnetisch veld op. Dit magnetisch veld wordt groter naarmate de stroomsterkte toeneemt. Magnetische velden oefenen een aantrekkingskracht uit op werkstukken van ijzer, nikkel of kobalt. Deze kracht neemt toe naarmate het magnetisch veld groter wordt.



Afbeelding 3.3: Elektrische spoelen met en zonder ijzeren kern en hun magnetische veldlijnen

3.3.1 Opbouw van een magneetspoel

Een magneetspoel kent de volgende opbouw:

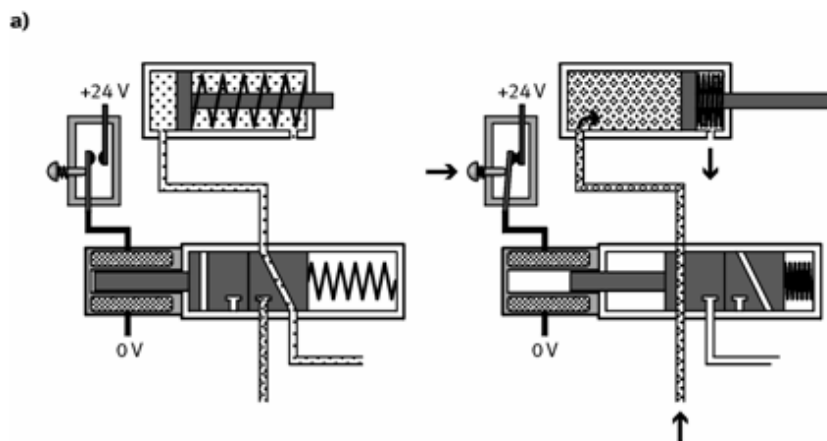
- De stroomvoerende geleider wordt gewikkeld in de vorm van een spoel (luchtspoel). De opeenstapeling van de magnetische veldlijnen van alle windingen van de spoel (zie afbeelding 3.3) versterkt het magnetisch veld.
- In de spoel wordt een ijzeren kern geplaatst. Wanneer er een elektrische stroom vloeit, wordt het ijzer gemagnetiseerd. Hierdoor kan bij dezelfde stroomsterkte een veel sterker magnetisch veld worden opgewekt dan met een luchtspoel.

Deze beide kenmerken zorgen ervoor dat een magneetspoel een sterke kracht uitoefent op ijzerhoudende materialen, zelfs wanneer de stroomsterkte laag is.

3.3.2 Toepassingen van magneetspoelen

In elektropneumatische besturingen worden magneetspoelen hoofdzakelijk gebruikt om de schakelstand van ventielen, relais of magneetschakelaars te beïnvloeden. Om uit te leggen hoe dit gebeurt, gebruiken wij het voorbeeld van een 3/2 magneetventiel, veerretour:

- Wanneer een elektrische stroom door de spoel vloeit, wordt de plunjer in ventiel verschoven.
- Wanneer de stroom wordt onderbroken, duwt een veer de plunjer terug in zijn rustpositie.



Afbeelding 3.4: Werking van een 3/2 magneetventiel, veerretour

3.4 Elektrische condensator

Een condensator bestaat uit twee geleidende platen met een isolerende laag (diëlektricum) ertussen. Wanneer een condensator wordt aangesloten op een gelijkspanningsbron (sluiten van de drukknop S1 in afbeelding 3.5), vloeit er kortstondig een laadstroom, die de twee platen elektrisch oplaadt.

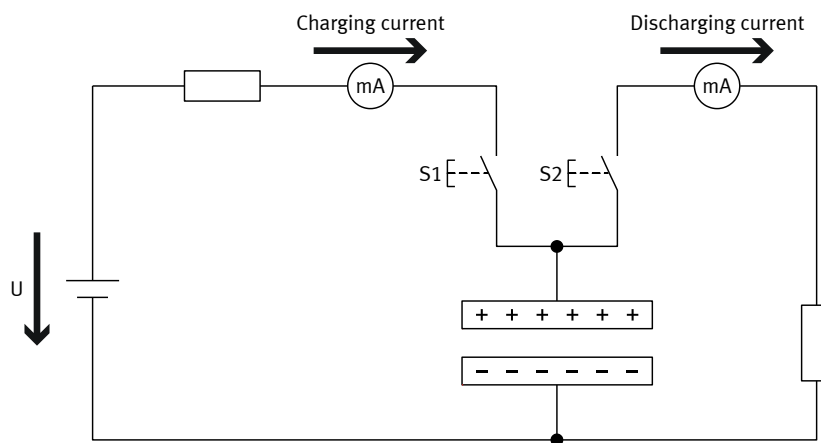
Als dan de verbinding met de voeding wordt onderbroken (openen van de drukknop S1), blijft de lading opgeslagen in de condensator. Hoe groter de capaciteit van een condensator, hoe meer elektrisch geladen deeltjes hij bij dezelfde spanning opslaat. De eigenlijke grootte-aanduiding voor een condensator is de capaciteit C . Deze wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de grootte van de in de condensator opgeslagen lading Q en de op de condensator aangelegde spanning U :

$$C = \frac{Q}{U}$$

De eenheid van capaciteit is de "farad" (F):

$$1 F = 1 \frac{As}{U}$$

Wanneer de elektrisch geladen condensator wordt aangesloten op een verbruikstoestel (sluiten van de drukknop S2 in afbeelding 3.5), vindt er een ladingscompensatie plaats. Er vloeit een elektrische stroom door het verbruikstoestel totdat de condensator volledig ontladen is.



Afbeelding 3.5: De werking van een condensator

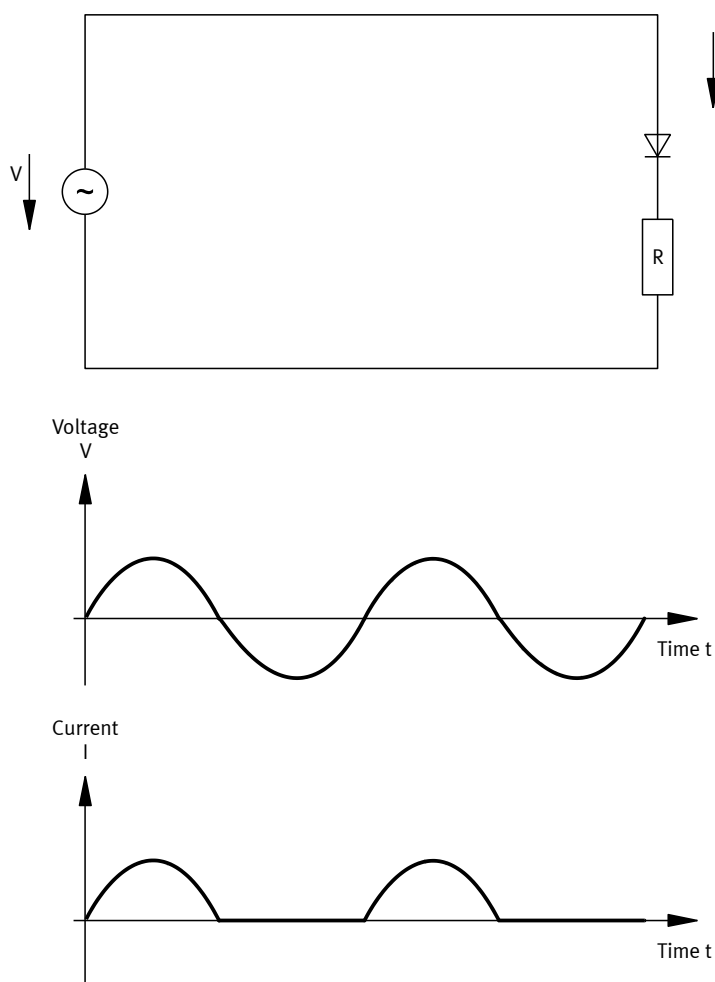
3.5 Diode

Dioden zijn elektrische (halfgeleider-) componenten waarvan de weerstand verschilt naargelang van de richting waarin de elektrische stroom vloeit:

- Wanneer de diode in de doorlaatrichting wordt geschakeld, is zijn weerstand zeer laag, zodat de elektrische stroom vrijwel ongehinderd kan stromen.
- Wanneer hij in de sper-richting wordt geschakeld, is zijn weerstand extreem hoog, wat betekent dat er geen stroom kan vloeien.

Wanneer een diode in een wisselstroomkring is opgenomen, kan de stroom slechts in één richting lopen. De elektrische stroom wordt dan gelijkgericht (zie afbeelding 3.6).

Het effect van een diode op de elektrische stroom kan worden vergeleken met het effect van een fietsventiel dat lucht in een band laat stromen maar voorkomt dat die er weer uitloopt.



Afbeelding 3.6: Werking van een diode

3.6 Schakelaars

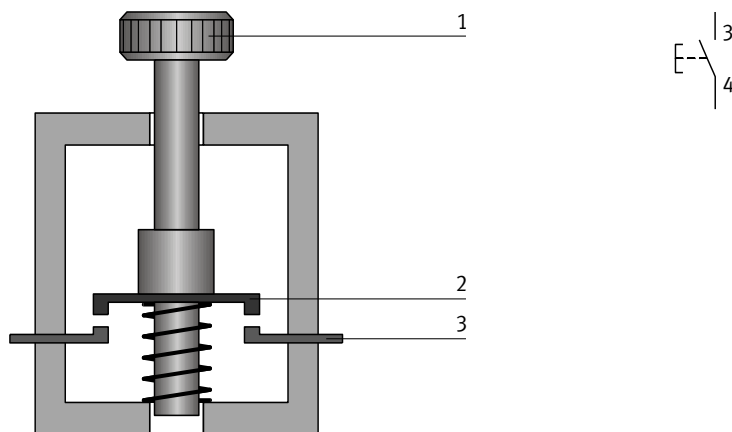
Schakelaars worden gebruikt om een stroomloop in een elektrisch circuit te realiseren of te onderbreken. Afhankelijk van het ontwerp kunnen deze schakelaars drukknoppen zijn of schakelaars.

- Bij een drukknop blijft de gekozen schakelstand slechts zolang behouden, als de drukknop bediend wordt. Drukknoppen worden b.v. in deurbellen gebruikt.
- Bij een schakelaar worden beide schakelstanden (AAN/UIT) mechanisch vergrendeld. Elke schakelstand blijft gehandhaafd tot de schakelaar opnieuw wordt bediend. Lichtschakelaars in huizen zijn een voorbeeld van een vergrendelingsschakelaar in gebruik.

Een ander indelings- en selectie criterium voor schakelaars is hun status in de ruststand (d.w.z. niet-geactiveerd).

3.6.1 Normaal geopende schakelaar

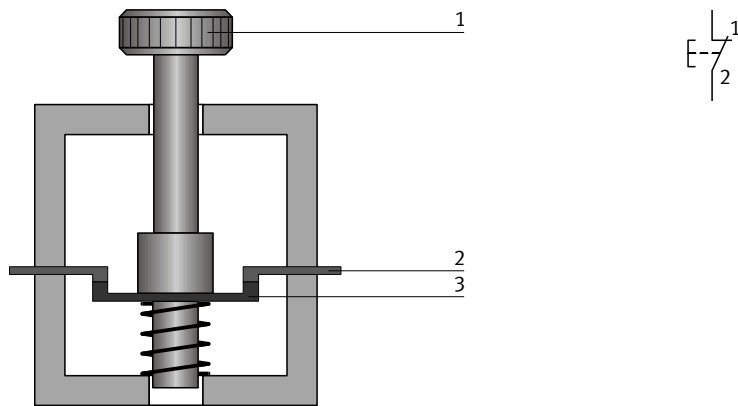
In het geval van een normaal open schakelaar (of N/O-contact) is de stroomkring onderbroken wanneer de drukknop zich in zijn ruststand bevindt. Het indrukken van de drukknop sluit de stroomkring en voorziet het verbruikende toestel van stroom. Wanneer de drukknop wordt losgelaten, brengt de veerkracht hem terug in zijn rustpositie en wordt de stroomkring opnieuw onderbroken.



Afbeelding 3.7: Doorsnede en schakelsymbool voor een N/O schakelaar

3.6.2 Normaal gesloten schakelaar

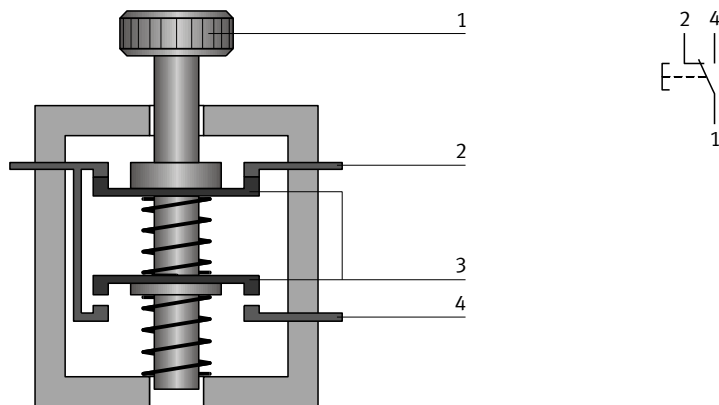
In het geval van een normaal gesloten (Closed) schakelaar (of N/C-contact) is de stroomkring gesloten door veerkracht wanneer de drukknop zich in zijn ruststand bevindt. Door de drukknop in te drukken wordt de stroomkring onderbroken.



Afbeelding 3.8: Doorsnede en schakelsymbool voor een N/C schakelaar

3.6.3 Wisselschakelaar

De wisselschakelaar combineert de functies van een N/C-schakelaar en een N/O schakelaar in één component. Zij worden gebruikt om met één enkele schakelhandeling één stroomkring te sluiten en een andere te openen. Tijdens de omschakeling worden beide stroomkringen kort onderbroken.



Afbeelding 3.9: Doorsnede en schakelsymbool van een wisselschakelaar

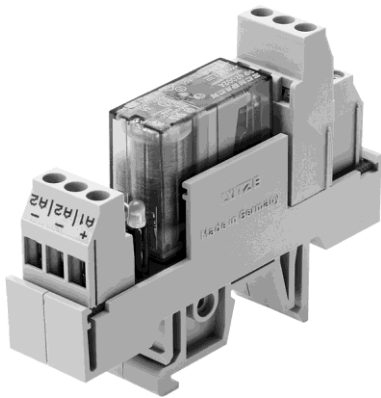
3.7 Relais en schakelaars

3.7.1 Toepassingen van relais

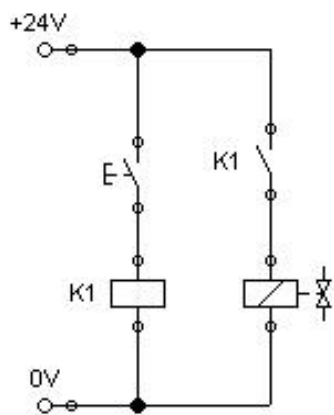
Relais worden gebruikt in elektropneumatische regelsystemen om:

- signalen vermenigvuldigen,
- signalen vertragen en omzetten,
- voor het koppelen van informatie,
- het besturings- en hoofdschakeling te scheiden.

Zij worden ook gebruikt in zuiver elektrische regelsystemen om de gelijkstroom- en wisselstroomcircuits te scheiden.



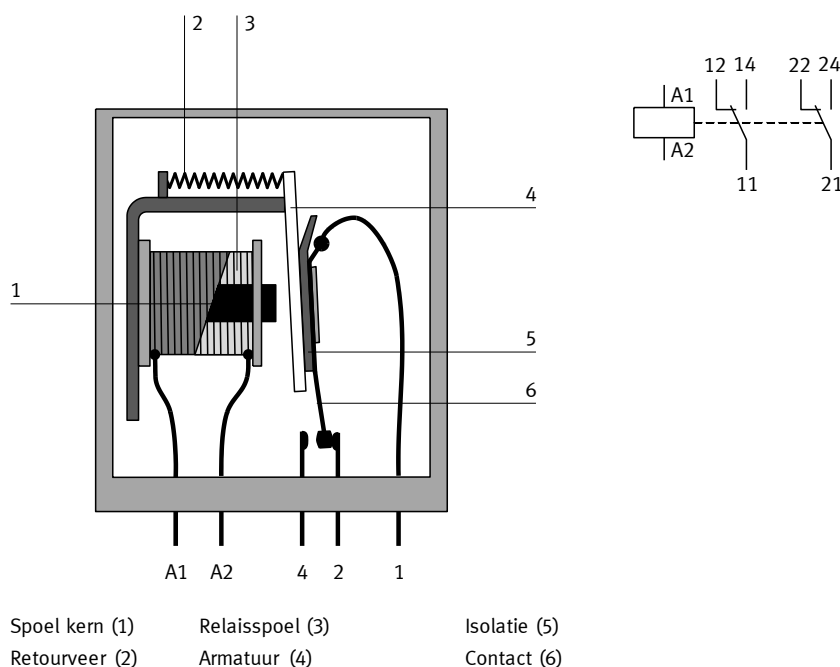
Afbeelding 3.10: Relais



Afbeelding 3.11: Schakelschema van een relaisschakeling

3.7.2 Opbouw van een relais

Een relais is een elektromagnetisch bediende schakelaar waarbij de stuurkring en de aangestuurde kring elektrisch van elkaar gescheiden zijn. Het bestaat in wezen uit een spoel met een ijzeren kern (zie (3) (1) in afbeelding 3.12), een anker als mechanisch aandrijfelement (4), een retourveer (2) en schakelcontacten (6). Wanneer een spanning op de spoel van de elektromagneet wordt gezet, wordt een elektromagnetisch veld opgewekt. Hierdoor beweegt het beweegbare anker zich in de richting van de spoelkern. Het anker schakelt de relaiscontacten die, afhankelijk van de opstelling, gesloten of geopend zijn. Als de stroom door de spoel wordt onderbroken, brengt een veer het anker terug in zijn uitgangspositie.



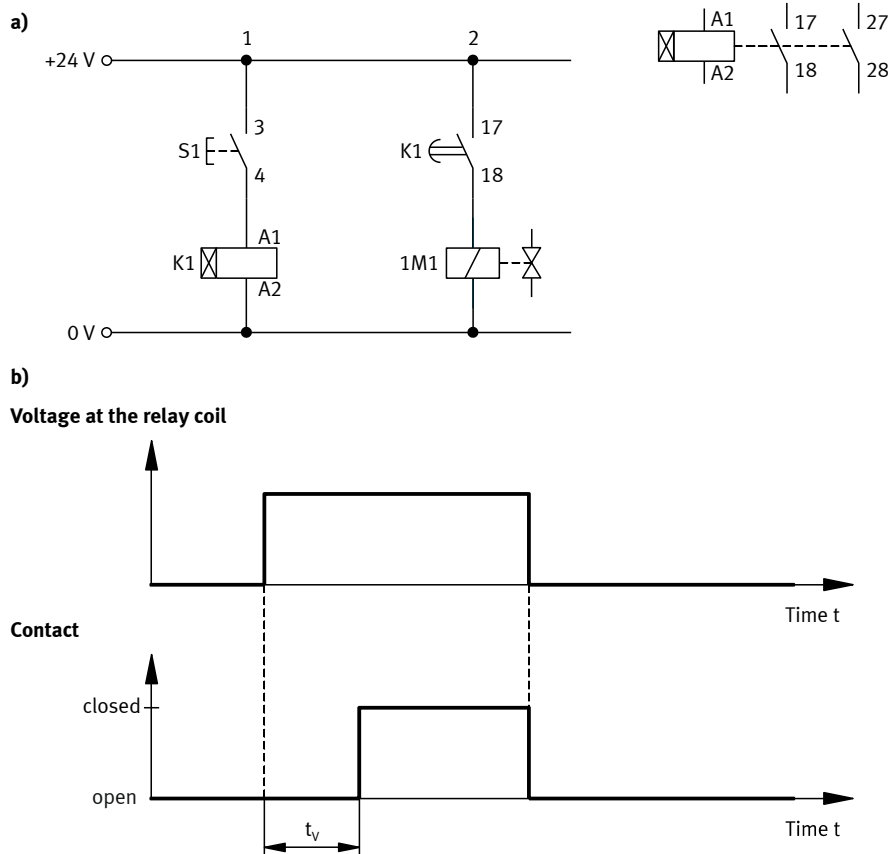
Afbeelding 3.12: Doorsnede en schakelsymbool van een relais

Een relaisspoel kan worden gebruikt om één of meer contacten te schakelen. Naast het hierboven beschreven relaistype zijn er ook andere ontwerpen van elektromagnetisch bediende schakelaars, bijvoorbeeld het omkeerrelais, het tijdrelais en het krachtstroomrelais of contactor.

3.7.3 Tijdrelais

In het geval van tijdrelais wordt onderscheid gemaakt tussen relais met inschakelvertraging en relais met uitschakelvertraging.

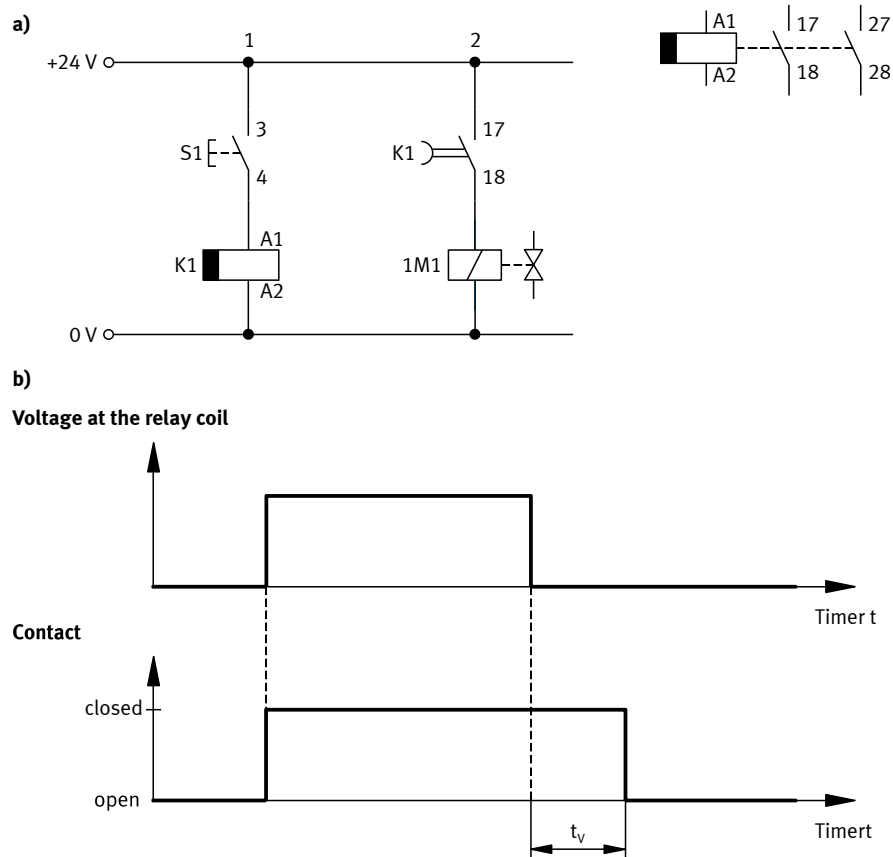
Bij een relais met inschakelvertraging schakelt het anker in met een vooraf ingestelde vertraging t_d ; er is geen uitschakelvertraging. Bij een relais met uitschakelvertraging gebeurt het omgekeerde. De contacten schakelen overeenkomstig (zie figuren 3.13/3.14). De vertragingstijd t_d kan naar wens worden ingesteld.



a) Weergave in het schakelschema

b) Schakelsignaal

Afbeelding 3.13: Relais met inschakelvertraging



a) Weergave in het schakelschema

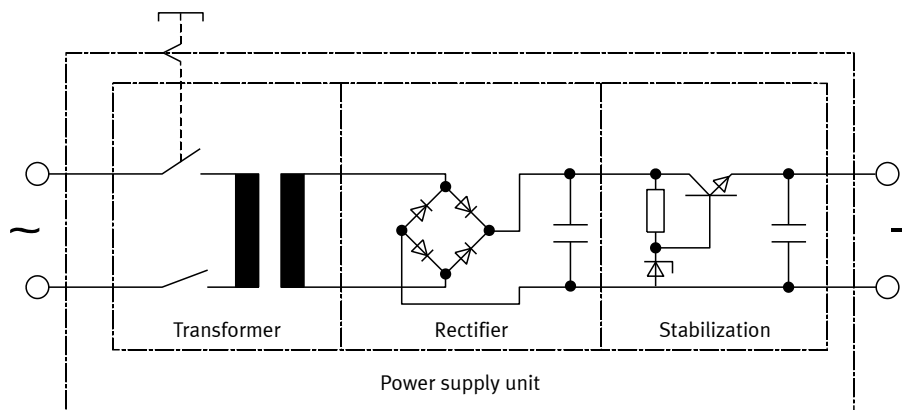
b) Schakelsignaal

Afbeelding 3.14: Relais met uitschakelvertraging

3.8 Voedingseenheid

Besturingssystemen worden via het elektriciteitsnet van stroom voorzien. De MecLab® -besturing beschikt hiervoor over een voedingseenheid (zie afbeelding 3.15). De afzonderlijke modules van de voedingsunit hebben de volgende doelen:

- De transformator (Transformer) dient om de bedrijfsspanning te verlagen. Op de ingang van de transformator wordt de netspanning gezet (b.v. 230 V wisselstroom), de spanning op de uitgang wordt verlaagd (b.v. 24 V wisselstroom).
- De gelijkrichter (Rectifier) zet de wisselspanning om in gelijkspanning. De condensator aan de uitgang van de gelijkrichter dient om de spanning af te vlakken.
- De spanningsregelaar (Stabilization) aan de uitgang van de voedingseenheid is nodig om de elektrische spanning constant te houden, ongeacht de stroom.



Afbeelding 3.15: Modules in de voedingseenheid van een elektropneumatisch besturingssysteem



Veiligheidsinformatie

- Vanwege hun hoge ingangsspanning maken voedingseenheden deel uit van het hoogspanningssysteem (DIN/VDE 100).
- De veiligheidsvoorschriften voor hoogspanningsinstallaties moeten in acht worden genomen.

Werkzaamheden aan de voedingseenheid mogen alleen door bevoegde personen worden uitgevoerd.

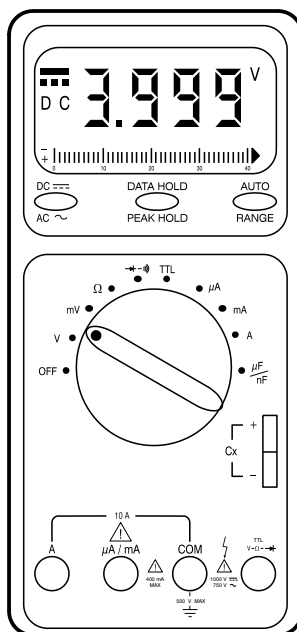
3.9 Metingen in een elektrische schakeling

Metten betekent het vergelijken van een onbekende variabele (b.v. de lengte van een pneumatische cilinder) met een bekende variabele (b.v. de schaal op een meetlint). Een meetinstrument (b.v. een stalen liniaal) vergemakkelijkt deze vergelijking. Het resultaat, de gemeten waarde, bestaat uit een numerieke waarde en een eenheid. (b.v. 30,4 cm)

Elektrische stromen, spanningen en weerstanden worden gewoonlijk gemeten met multimeters. Deze meetapparaten kunnen worden omgeschakeld tussen verschillende bedrijfsmodi:

- Wisselspanning/wisselstroom en gelijkspanning/gelijkstroom,
- stroommeting, spanningsmeting en weerstandsmeting.

Correcte metingen zijn alleen mogelijk indien de juiste bedrijfsmodus is ingesteld en het meetapparaat correct in het circuit is geschakeld.



Afbeelding 3.16: Multimeter



Veiligheidsinformatie

- Voordat je een meting uitvoert, moet je controleren of de elektrische spanning van het te meten deel van de besturing max. 24 V bedraagt.
- Metingen aan delen van een besturingssysteem die met een hogere spanning werken (b.v. 230 V) mogen alleen worden uitgevoerd door personen met de juiste opleiding of instructie.
- Het niet volgen van de juiste procedure voor metingen kan mogelijk fataal zijn.

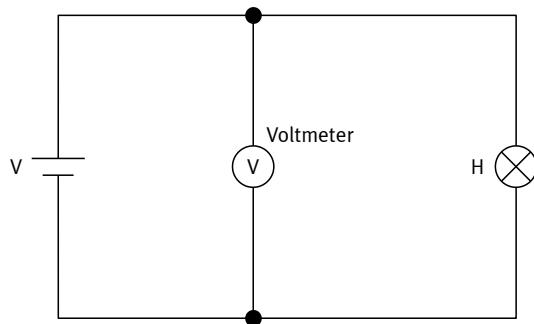
3.9.1 Procedure voor metingen in een elektrische stroomkring

Ga bij het verrichten van metingen in een elektrische schakeling in onderstaande volgorde te werk:

- Schakel de voedingsspanning naar de schakeling uit.
- Stel de gewenste werkingssmodus op de multimeter in (stroom- of spanningsmeting, gelijk- of wisselspanning, weerstandsmeting).
- Bij gebruik van wijzermeetinstrumenten moet het nulpunt worden gecontroleerd en zo nodig bijgesteld.
- Sluit bij het meten van gelijkspanning/ gelijkstroom het meetapparaat aan op de juiste klem ("+"-klem van het meetapparaat op de positieve klem van de spanningsbron).
- Kies het grootste meetbereik.
- Schakel de stroomtoevoer naar de schakeling in.
- Houd de wijzer of het display in de gaten en schakel geleidelijk over op een kleiner meetbereik.
- Lees het display af wanneer de grootste wijzeruitslag optreedt (kleinst mogelijk meetbereik).
- Wanneer je wijzermeetinstrumenten gebruikt, moet je altijd loodrecht op het display kijken om leesfouten te voorkomen.

Spanningsmeting

Voor spanningsmetingen wordt het meetapparaat parallel geschakeld met het verbruikstoestel. De spanningsval daarover komt overeen met de spanningsval over het meetapparaat. Elk spanningsmeetapparaat (voltmeter) heeft zijn eigen inwendige weerstand. Om een zo getrouw mogelijk meetresultaat te verkrijgen, mag slechts een zeer kleine stroom door het meetapparaat vloeien, d.w.z. de inwendige weerstand van de voltmeter moet zo groot mogelijk zijn.

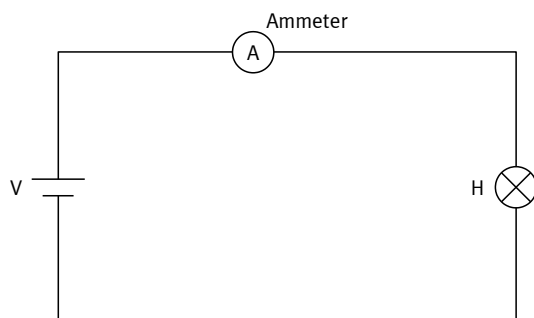


Afbeelding 3.17: Spanningsmeting

Stroommeting

Voor stroommetingen wordt het meetapparaat in serie geschakeld met het verbruikstoestel. De volledige stroom van het verbruikstoestel loopt door het meetinstrument.

Elk stroommeetapparaat (ampèremeter) heeft zijn eigen inwendige weerstand. Deze extra weerstand vermindert de stroomdoorgang. Om de meetfouten zo klein mogelijk te houden, mag een ampèremeter slechts een zeer kleine inwendige weerstand vertonen.



Afbeelding 3.18: Stroommeting

Weerstandsmeting

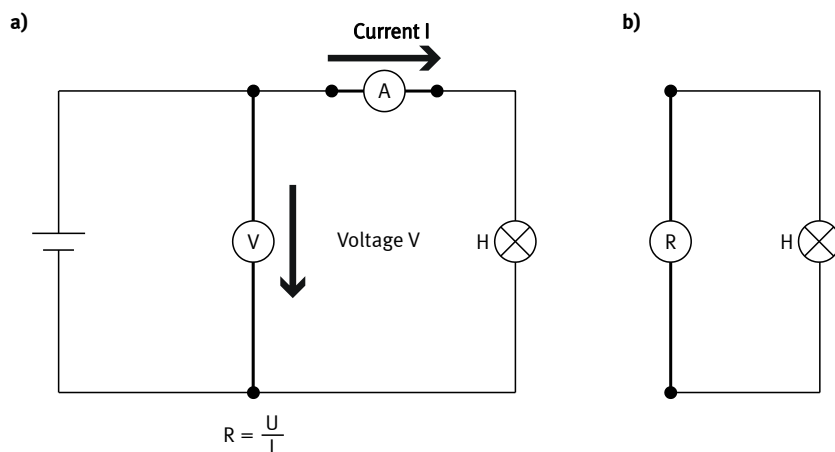
De weerstand van een verbruiker in een gelijkstroomcircuit kan indirect of direct worden gemeten.

- Bij indirecte meting worden de stroom door het verbruikende apparaat en de spanningsval over het verbruikende apparaat gemeten (afbeelding 3.19a). Beide metingen kunnen na elkaar of tegelijkertijd worden uitgevoerd. De weerstand wordt vervolgens berekend met behulp van de wet van Ohm.
- Bij directe meting is het verbruikstoestel gescheiden van de stroomkring (afbeelding 3.19b). Het meetapparaat wordt in de bedrijfsmodus "weerstandsmeting" gezet en aangesloten op de twee aansluitingen van het verbruikstoestel. De weerstandswaarde wordt rechtstreeks op het meetapparaat afgelezen.

Indien de verbruiker defect is (b.v. de magneetspoel van een klep is doorgebrand), zal de weerstandsmeting ofwel een oneindig hoge waarde geven, ofwel de waarde nul (kortsluiting).

Belangrijk

De ohmse weerstand van een verbruiker in een wisselstroomschakeling moet worden gemeten met de directe methode.



Afbeelding 3.19: Weerstandsmeting

4 Sensoren

Het doel van sensoren is informatie te verzamelen en deze in een bruikbare vorm door te geven aan het signaalverwerkingssysteem. Zij worden aangetroffen in diverse taken in de technologie, met verschillende ontwerpen en werkingsprincipes. Daarom is het van belang ze in categorieën in te delen. Sensoren kunnen worden ingedeeld naar

- werkingsprincipe (optisch, inductief, mechanisch, vloeistof, enz.),
- gemeten variabele (verplaatsing, druk, afstand, temperatuur, ph-waarde, lichtsterkte, aanwezigheid van voorwerpen, enz.
- uitgangssignaal (analoog, digitaal, binair, enz.), om maar een paar methoden te noemen.

De meest gebruikte sensoren in de automatiseringstechniek zijn die met digitale uitgangen, omdat deze veel ongevoeliger zijn voor storingen dan die met analoge uitgangen. Digitale besturingen kunnen de signalen van deze sensoren ook rechtstreeks gebruiken zonder ze eerst met behulp van zogenaamde analoog-digitaal-omvormers in digitale signalen te moeten omzetten, zoals bij analoge signalen het geval is.

De meest gebruikte sensoren in de industriële automatisering zijn de zogenaamde naderingssensoren die de aanwezigheid (of nadering) van een werkstuk bepalen.

4.1 Naderingssensoren

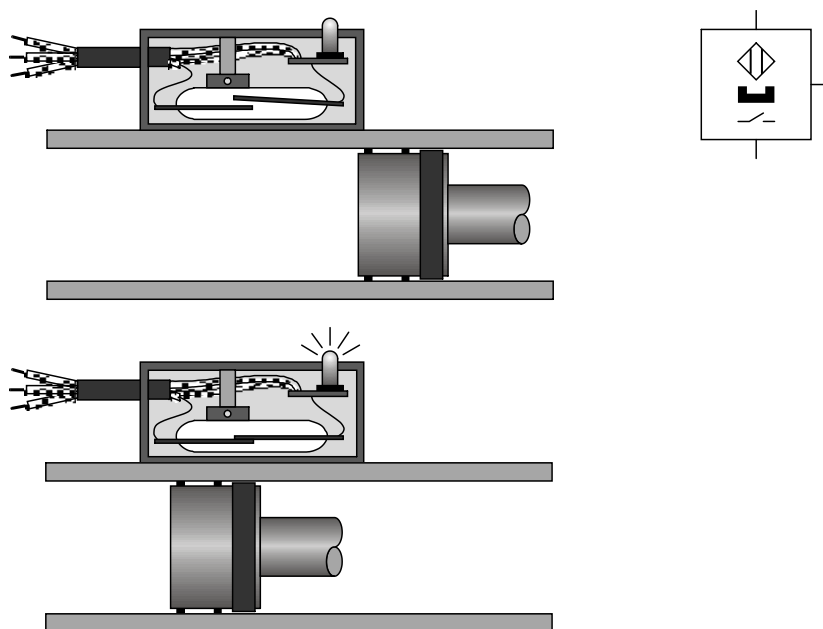
Naderingssensoren zijn contactloos en hebben dus geen externe mechanische bedieningskracht. Daardoor hebben zij een lange levensduur en zijn zij zeer betrouwbaar. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende typen naderingssensoren:

- Sensoren met mechanisch schakelcontact
 - Reed-contacten
- Sensoren met elektronische schakeluitgang
 - Inductieve naderingssensoren
 - Capacitieve naderingssensoren
 - Optische naderingssensoren

4.1.1 Magnetische sensoren

Reed-contacten zijn magnetisch bediende naderingsschakelaars. Zij bestaan uit twee contactbladen in een kleine glazen buis, gevuld met beschermend gas. Een magnetisch veld zorgt ervoor dat het contact tussen de twee bladen zich sluit, zodat er een elektrische stroom kan vloeien (zie afbeelding 4.1). In het geval van reed-contacten die als N/C-contacten werken, worden de contactbladen voorgespannen met behulp van kleine magneten. Deze voorspanning wordt overwonnen door de veel sterkere schakelmagneet.

Reedcontacten hebben een lange levensduur en een korte schakeltijd (ca. 0,2 ms). Zij zijn onderhoudsvrij, maar mogen niet worden gebruikt in ruimten met sterke magnetische velden (b.v. in de nabijheid van weerstandlasapparatuur of CAT-scanners).



Afbeelding 4.1: Schematische voorstelling en schakelsymbool van een reed-contact (N/O-contact)



Afbeelding 4.2: Foto van een reed-contact

4.1.2 Elektronische sensoren

Elektronische sensoren omvatten inductieve, optische en capacitieve naderingssensoren. Zij hebben in het algemeen drie elektrische aansluitingen voor:

- voedingsspanning,
- aarde,
- uitgangssignaal.

In het geval van elektronische sensoren wordt geen beweegbaar contact omgeschakeld. In plaats daarvan wordt de uitgang elektrisch verbonden met de voedingsspanning of met de aarde (= uitgangsspanning 0 V).

Wat de polariteit van het uitgangssignaal betreft, zijn er twee verschillende ontwerpen van elektronische naderingssensoren:

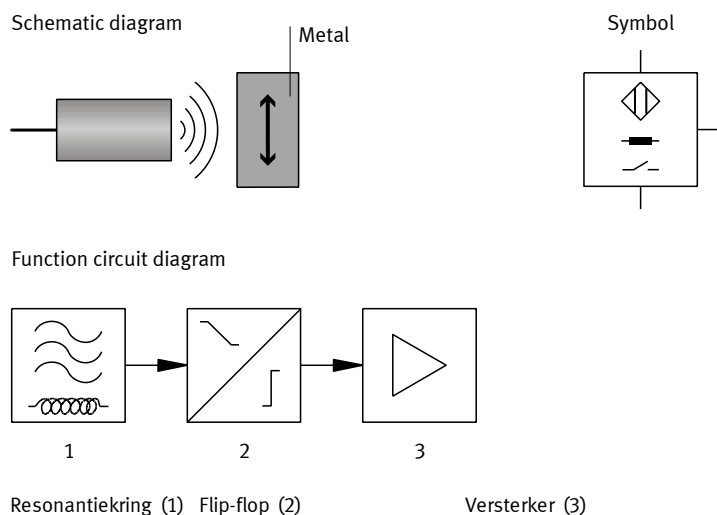
- In het geval van positief schakelende elektronische sensoren heeft de uitgang een spanning van nul (OFF) wanneer er zich geen onderdeel binnen het responsbereik van de sensor bevindt. De nadering van een werkstuk heeft tot gevolg dat de uitgang wordt omgeschakeld (ON), zodat voedingsspanning wordt omgeschakeld naar een spanning van 24 V
- In het geval van negatief-schakelende sensoren wordt voedingsspanning op de uitgang gezet wanneer er zich geen onderdeel binnen het responsbereik van de sensor bevindt. De nadering van een werkstuk heeft tot gevolg dat de uitgang wordt omgeschakeld naar een spanning van 0 V.

4.1.3 Inductieve naderingssensoren

Inductieve naderingssensoren bestaan uit een elektrische resonantiekring (1), een flip-flop (2) en een versterker (3) (zie afbeelding 4.3). Wanneer spanning op de aansluitingen wordt gezet, wekt de resonantiekring een (hoogfrequent) magnetisch wisselveld op dat aan de voorzijde van de sensor ontsnapt.

Door een elektrische geleider in dit wisselveld te brengen wordt de resonantiekring "gedempt". De daaropvolgende elektronische schakeling, bestaande uit een flip-flop en een versterker, evalueert het gedrag van de resonantiekring en stelt de uitgang in werking.

Inductieve naderingsdetectoren kunnen worden gebruikt voor het detecteren van alle materialen met een goed elektrisch geleidingsvermogen, bijvoorbeeld grafiet, maar ook metalen.



Afbeelding 4.3: Schematische weergave, symbool en blokschema van een inductieve naderingssensor



Afbeelding 4.4: Foto van een inductieve sensor

4.1.4 Capacitieve naderingssensors

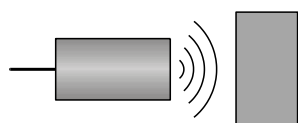
Capacitieve naderingssensors bestaan uit een elektrische weerstand (R) en een condensator (C) die samen een RC-resonantiekring vormen, alsmede een elektronische schakeling voor de evaluatie van de oscillatie.

Een elektrostatisch veld wordt opgewekt tussen de actieve elektrode en de aardelektrode van de condensator. Er vormt zich een strooiveld aan de voorzijde van de sensor. Wanneer een voorwerp in dit strooiveld wordt gebracht, verandert de capaciteit van de condensator (zie afbeelding 4.5).

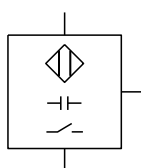
De resonantiekring wordt gedempt en de daaropvolgende elektronische schakeling stelt de uitgang in werking.

Capacitieve naderingssensoren reageren niet alleen op materialen met een hoog elektrisch geleidingsvermogen (b.v. metalen), maar ook op alle isolatoren met een hoge diëlektrische constante (b.v. kunststoffen, glas, keramiek, vloeistoffen en hout).

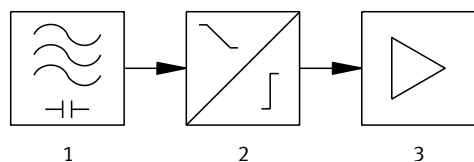
Schematic diagram



Symbol



Function circuit diagram



Resonantiekring (1) Flip-flop (2) Versterker (3)

Afbeelding 4.5: Schematische weergave, symbool en blokschema van een capacitieve naderingssensor

4.1.5 Optische naderingssensors

Optische naderingssensors hebben altijd een zender en een ontvanger. Zij maken gebruik van optische (rood of infrarood) licht en elektronische componenten en modules om een voorwerp te detecteren dat zich tussen de zender en de ontvanger bevindt.

Bijzonder betrouwbare zenders van rood en infrarood licht zijn halfgeleiderlichtemitterende dioden (LED's). Zij zijn klein, robuust, goedkoop, betrouwbaar, duurzaam en gemakkelijk te installeren. Rood licht heeft het voordeel dat het met het blote oog kan worden waargenomen bij het afstellen van de optische assen van de naderingssensoren.

Fotodiodes of fototransistors worden gebruikt als ontvangstcomponent in optische naderingssensoren.

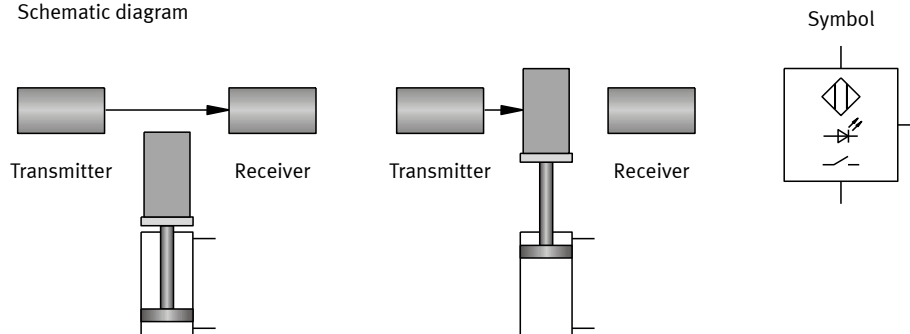
Er wordt onderscheid gemaakt tussen drie typen optische naderingssensoren:

- lichtpoort sensoren,
- retro-reflecterende sensoren,
- diffuse sensoren.

Lichtpoort sensoren

Lichtpoort sensoren hebben zender (Transmitter) en ontvanger (Receiver) die uit elkaar zijn geplaatst. De componenten zijn zo gemonteerd dat de door de zender uitgezonden lichtbundel de ontvanger (b.v. fototransistor) rechtstreeks treft (zie afbeelding 4.6). Indien een voorwerp, werkstuk of zelfs een persoon in het pad tussen de zender en de ontvanger komt, wordt de lichtstraal onderbroken en wordt een signaal gegeven dat een schakeling aan de uitgang (AAN/UIT) in werking stelt.

Schematic diagram



Afbeelding 4.6: Schematische voorstelling en schakelsymbool van een optische lichtpoort sensor

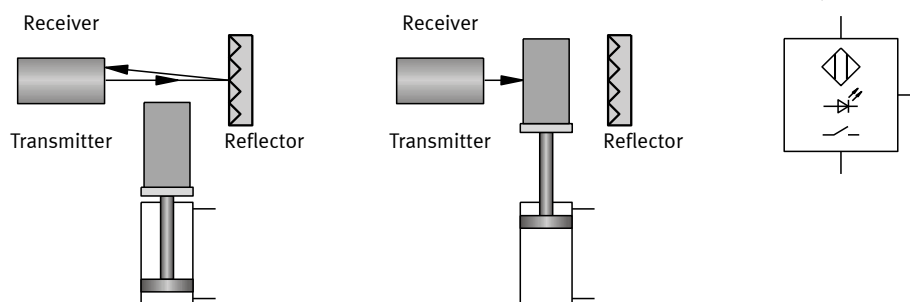


Afbeelding 4.7: Vorklichtpoort

Reflectie sensoren

Bij reflectie sensoren zijn de zender (Transmitter) en de ontvanger (Receiver) naast elkaar in een behuizing geplaatst. De reflector weerkaatst de lichtstraal van de zender naar de ontvanger. Hij is zo gemonteerd dat de door de zender uitgezonden lichtbundel bijna volledig op de ontvanger valt. Indien een voorwerp, werkstuk of zelfs een persoon in het pad tussen de zender en de reflector komt, wordt de lichtstraal onderbroken en wordt een signaal gegeven dat een schakeling aan de uitgang (AAN/UIT) in werking stelt.

Schematic diagram

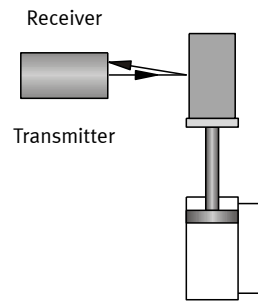
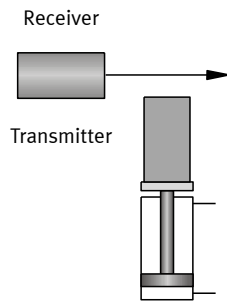


Afbeelding 4.8: Schematische voorstelling en schakelsymbool van een optische reflectie sensor

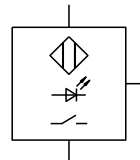
Retro-reflectie sensoren

Bij retro-reflectie sensoren zijn de zender en de ontvanger naast elkaar in een component geplaatst. In tegenstelling tot de retro-reflectieve sensor heeft een retro-reflectie sensor geen eigen reflector. In plaats daarvan maakt hij gebruik van de reflecterende eigenschap van het voorwerp of werkstuk dat in zijn zendbereik komt. Als het licht een reflecterend voorwerp raakt, wordt het omgeleid naar de ontvanger en wordt de sensoruitgang geschakeld. Dit werkingsprincipe betekent dat diffuse sensoren alleen kunnen worden gebruikt als het te detecteren werkstuk of machineonderdeel sterk reflecteert (bijv. metalen oppervlakken, lichte kleuren).

Schematic diagram



Symbol



Afbeelding 4.9: Schematische voorstelling en schakelsymbool van een retro-reflectie sensor

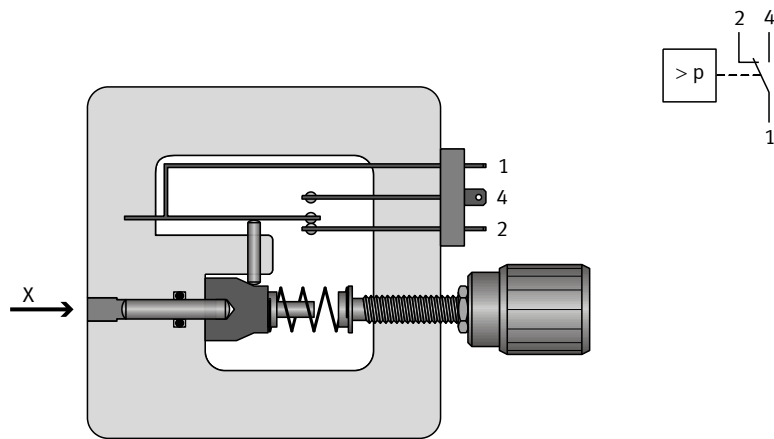
4.2 Druksensoren

Drukgevoelige sensoren zijn er in verschillende uitvoeringen:

- mechanische drukschakelaars met binair uitgangssignaal,
- elektronische drukschakelaars met binair uitgangssignaal,
- elektronische druksensoren met analoog uitgangssignaal.

4.2.1 Mechanische druksensoren met binair uitgangssignaal

In een mechanische drukschakelaar werkt de druk in op een zuigeroppervlakte. Als de door de druk uitgeoefende kracht groter is dan de veerkracht, beweegt de zuiger en activeert hij de contacten van de schakelelementen.



Afbeelding 4.10: Schematische voorstelling en schakelsymbool van een zuigerdrukschakelaar

4.2.2 Elektronische drukschakelaars met binair uitgangssignaal

Typische voorbeelden van elektronische drukschakelaars met binair uitgangssignaal zijn membraandrukschakelaars die de uitgang elektronisch schakelen in plaats van een contact mechanisch te bedienen. Daartoe worden druk- of krachtgevoelige sensoren aan een membraan bevestigd. Het sensorsignaal wordt geëvalueerd door een elektronische schakeling. Zodra de druk een vooraf bepaalde waarde overschrijdt, schakelt de uitgang.



Afbeelding 4.11: Elektronische drukschakelaar en schakelsymbool

5 Basiskennis van de pneumatiek

De term pneumatiek komt van het Griekse werk "pneuma", dat wind of adem betekent. Het verwijst naar het gebruik van samengeperste lucht of door samengeperste lucht aangedreven systemen in een technische toepassing. Een modern pneumatisch systeem in de automatiseringstechniek bestaat uit subsystemen voor:

- het genereren en leveren van de perslucht (compressoren, radiatoren, filters),
- de verdeling van de perslucht (leidingen, pneumatische slangen, koppelstukken),
- de regeling van de perslucht (drukregelingen, richtingsregelkleppen, afsluitkleppen),
- het verrichten van werkzaamheden met behulp van de perslucht (cilinders, roterende aandrijvingen).

Perslucht wordt meestal gebruikt om mechanische arbeid te verrichten, d.w.z. om bewegingen uit te voeren en grote krachten op te wekken.

Pneumatische aandrijvingen dienen om de in de samengeperste lucht opgeslagen energie om te zetten in kinetische energie.

Cilinders worden meestal gebruikt als pneumatische aandrijving. Zij hebben een robuuste constructie, zijn gemakkelijk te installeren, bieden een gunstige prijs/prestatieverhouding en zijn verkrijgbaar in een groot aantal varianten. Deze voordelen hebben ervoor gezorgd dat pneumatiek in de moderne machinebouw een groot aantal toepassingen heeft gekregen. De volgende tabel geeft een overzicht van verdere voordelen.

Kenmerken	Voordelen van pneumatiek
Beschikbaarheid	Lucht is vrijwel overal in onbeperkte hoeveelheden beschikbaar.
Transport	Lucht kan zeer gemakkelijk over grote afstanden worden getransporteerd in kanalen.
Opslagcapaciteit	De perslucht kan in een reservoir worden opgeslagen en van daaruit worden toegevoerd. Het reservoir (volume/vat) kan ook verplaatsbaar zijn.
Temperatuur	Perslucht is zo goed als ongevoelig voor temperatuurschommelingen. Dit garandeert een betrouwbare werking, zelfs onder extreme omstandigheden.
Veiligheid	Perslucht vormt geen gevaar voor brand of explosie.
Hygiëne	Lekken van ongesmeerde perslucht veroorzaakt geen milieuverontreiniging.
Setup	De bedieningselementen zijn eenvoudig van opzet en daardoor goedkoop.
Snelheid	Perslucht is een snel werkend medium. Het maakt hoge zuigersnelheden en snelle schakeltijden mogelijk.
Overbelastingsbeveiliging	Pneumatische gereedschappen en bedieningselementen kunnen worden belast tot zij uiteindelijk buiten werking worden gesteld en zijn derhalve overbelastbaar.

5.1 Natuurkundige basiskennis

Lucht is een gasvormig mengsel met de volgende samenstelling:

- ca. 78% stikstof
- ca. 21% zuurstof

Het bevat ook sporen van waterdamp, kooldioxide, argon, waterstof, neon, helium, krypton en xenon.

Om je te helpen de wetten van de lucht te begrijpen, worden hieronder de fysische variabelen opgesomd die in deze context voorkomen. Alle specificaties zijn in het "Internationaal Stelsel van Eenheden", afgekort SI.

5.1.1 Basiseenheden

Variabele	Symbool	Eenheden
Lengte	l	Meter (m)
Massa	m	Kilogram (kg)
Tijd	t	Seconde (s)
Temperatuur	T	Kelvin (K, 0 °C = 273,15 K)

5.1.2 Afgeleide eenheden

Variabele	Symbool	Eenheden
Kracht	F	Newton (N), 1 N = 1 kg · m/s ²
Oppervlakte	A	Vierkante meter (m ²)
Volume	V	Kubieke meter (m ³)
Volumetrisch debiet/flow	qV	(m ³ /s)
Druk	p	Pascal (Pa) 1 Pa = 1 N/m ² 1 bar = 10 ⁵ Pa

5.1.3 Wet van Newton

Kracht = massa · versnelling

$$F = m \cdot a$$

(in het geval van een vrije val wordt a vervangen door de gravitatieversnelling $g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

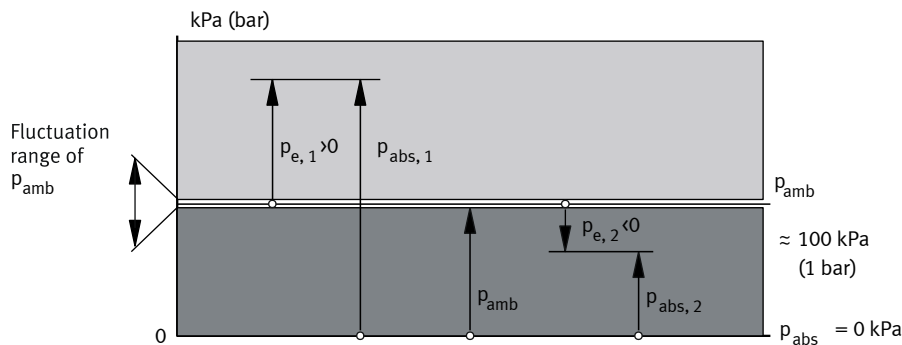
5.1.4 Druk

1 Pa komt overeen met de druk die wordt uitgeoefend door een verticale kracht van 1 N op een oppervlakte van 1 m^2 .

De druk aan het aardoppervlak wordt atmosferische druk (p_{amb}) genoemd. Deze druk wordt ook referentiedruk genoemd. Het bereik boven deze druk wordt het overdrukgebied genoemd ($p_e > 0$), terwijl het gebied eronder het vacuüm- of onderdrukgebied wordt genoemd ($p_e < 0$). Het atmosferische drukverschil p_e wordt berekend aan de hand van de formule

$$p_e = p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}}$$

Dit wordt weergegeven in het volgende diagram:



Afbeelding 5.1: Luchtdruk

De atmosferische druk is niet constant; de waarde ervan verandert naar gelang van de geografische ligging en de weersomstandigheden.

0 kPa Absolute druk p_{abs} is de waarde die wordt aangeduid als nuldruk (vacuüm). De druk p_{abs} is gelijk aan de som van de atmosferische druk en de overdruk of het vacuüm. De drukmeters die in de praktijk het meest worden gebruikt, zijn die welke alleen de overdruk p_e aangeven. De absolute drukwaarde p_{abs} is ongeveer 100 kPa (1 bar) hoger.

Het is gebruikelijk in de pneumatiek om alle specificaties met betrekking tot luchthoeveelheden te verwijzen naar de zogenaamde normale toestand. De normale toestand volgens DIN 1343 is de toestand van een vast, vloeibaar of gasvormig materiaal gedefinieerd door middel van standaardtemperatuur en standaarddruk.

- Standaardtemperatuur $T_n = 273,15 \text{ K}$, $t_n = 0^\circ \text{C}$
- Standaarddruk $p_n = 101325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar}$

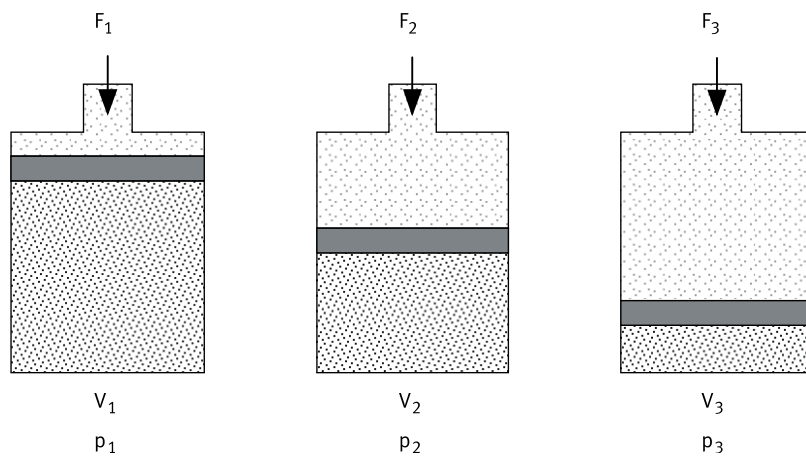
5.2 Eigenschappen van lucht

Lucht wordt gekenmerkt door een zeer geringe cohesie, d.w.z. dat de krachten tussen de luchtmoleculen verwaarloosbaar zijn onder de in de pneumatiek gebruikelijke bedrijfsomstandigheden. Zoals alle gassen heeft lucht dus geen specifieke vorm. Zij verandert van vorm bij de geringste toepassing van kracht en neemt de maximale ruimte in die haar ter beschikking staat.

5.2.1 De wet van Boyle

Lucht kan worden samengeperst en probeert uit te zetten. De wet van Boyle beschrijft deze eigenschappen als volgt: het volume van een vaste hoeveelheid gas is omgekeerd evenredig met de absolute druk bij constante temperatuur, of anders gezegd, het product van volume en absolute druk is constant voor een vaste hoeveelheid gas.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = p_3 \cdot V_3 = \text{constant}$$



Afbeelding 5.2: De wet van Boyle

Berekeningsvoorbeeld

Lucht wordt samengeperst tot $1/7$ van zijn volume bij atmosferische druk.
Wat is de druk als de temperatuur constant blijft?

Oplossing

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{V_1}{V_2} \quad \text{Let op: } \frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{7}$$

$$p_1 = p_{\text{amb}} = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$$

$$p_2 = 1 \cdot 7 = 700 \text{ kPa} = 7 \text{ bar absoluut}$$

$$\text{Hieruit volgt dat: } p_e = p_{\text{abs}} - p_{\text{amb}} = (700 - 100) \text{ kPa} = 600 \text{ kPa} = 6 \text{ bar}$$

Een compressor die een overdruk genereert van 600 kPa (6 bar) heeft een compressieverhouding van 7:1.

5.2.2 De wet van Gay-Lussac

Lucht zet uit met $1/273$ van zijn volume bij constante druk, een temperatuur van 273 K en een temperatuurstijging van 1 K. De wet van Gay-Lussac stelt dat het volume van een vaste hoeveelheid gas evenredig is met zijn absolute temperatuur bij een constante druk.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad V_1 = \text{volume bij } T_1, \quad V_2 = \text{volume bij } T_2$$

of

$$\frac{V}{T} = \text{constant}$$

$$\text{De verandering in volume } \Delta V \text{ is: } \Delta V = V_2 - V_1 = V_1 \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_1}$$

$$\text{Het volgende is van toepassing op } V_2: \quad V_2 = V_1 + \Delta V = V_1 + \frac{V_1}{T_1} (T_2 - T_1)$$

De bovenstaande vergelijkingen zijn alleen van toepassing als de temperaturen worden gebruikt in K. De volgende formule moet worden gebruikt voor de omrekening naar °C:

$$V_2 = V_1 + \frac{V_1}{273^\circ\text{C} + T_1} (T_2 - T_1)$$

Berekeningsvoorbeeld

0,8 m³ lucht met een temperatuur van T₁ = 293 K (20 °C) wordt verwarmd tot T₂ = 344 K (71 °C).
Met hoeveel zet de lucht uit?

$$V_2 = 0.8 \text{ m}^3 + \frac{0.8 \text{ m}^3}{293 \text{ K}} (344 \text{ K} - 293 \text{ K})$$

$$V_2 = 0.8 \text{ m}^3 + 0.14 \text{ m}^3 = 0.94 \text{ m}^3$$

De lucht zet uit met 0,14 m³ tot 0,94 m³.

Indien het volume tijdens het verhittingsproces constant wordt gehouden, kan de drukstijging worden uitgedrukt met de volgende formule:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

of

$$\frac{p}{T} = \text{constant}$$

5.2.3 Algemene gasvergelijking

De basiswetten worden vervuld door de algemene gasvergelijking die luidt:

met een vaste hoeveelheid gas, het product van druk en volume gedeeld door de absolute temperatuur constant is.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} = \text{constant}$$

Uit deze algemene gaswet kunnen de hierboven genoemde wetten worden afgeleid, wanneer één van de drie factoren p, V of T constant blijft.

- Druk p constante → isobarische verandering
- Volume V constante → isochorische verandering
- Temperatuur T constant → isothermische verandering

5.3 Afzonderlijke onderdelen van een pneumatisch besturingssysteem en hun functies

Compressor

De energie voor persluchtnetwerken wordt geleverd door schroef- of zuigercompressoren. Zij leveren een uitgangsdruk van 700 - 800 kPa (7 - 8 bar). Dit garandeert dat aan de cilinder een werkdruk van ten minste 600 kPa (6 bar) beschikbaar is, ondanks lekken (defecte punten waar onbedoeld lucht kan ontsnappen) en leidingverliezen.

Persluchtfilters

Persluchtfilters worden centraal of decentraal achter het persluchtsysteem geplaatst. Zij verwijderen condensaat en eventueel opgenomen vuildeeltjes. Goed gefilterde perslucht speelt een belangrijke rol bij de verlenging van de levensduur van achterliggende componenten.

Drukreduceerventiel

Het drukreduceerventiel is de plaats waar het noodzakelijke drukniveau voor de afzonderlijke subsystemen wordt ingesteld. Hij compenseert schommelingen in het persluchtnet. De ingestelde druk blijft constant zolang de druk aan de ingang van de drukregelaar ten minste 50 kPa (0,5 bar) boven de vereiste insteldruk ligt.

Afsluiters

Afsluiters worden toegepast voor het scheiden het achterliggende persluchtnetwerk van de persluchtverzorging.

Stuurventielen

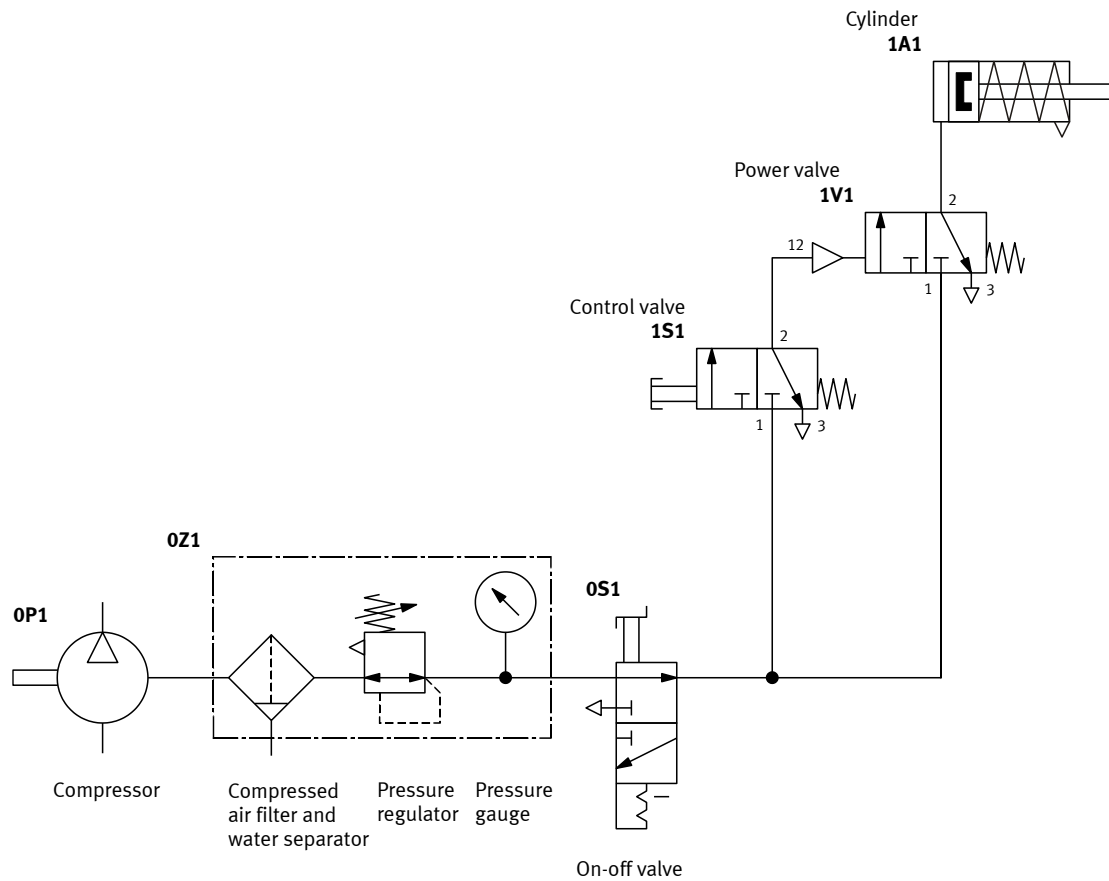
Stuurventielen sluiten de perslucht af en leiden deze op het vereiste tijdstip naar de arbeidselementen. De veiligheid en betrouwbaarheid van het systeem hangen af van de correcte onderlinge verbinding van de elementen.

Arbeidsventielen

Dit zijn aan de cilinder afmetingen aangepaste ventielen, deze leveren de vereiste luchtstroom voor de cilinder.

Cilinders

Pneumatische cilinders zijn robuuste bedieningselementen met een lage storingsgevoeligheid en een lange levensduur. Met de juiste cilinderafmetingen kunnen hoge snelheden worden bereikt. Voor een storingsvrije werking moeten de cilinders correct worden gedimensioneerd en gemonteerd.



Afbeelding 5.3: Belangrijkste componenten en modules in een pneumatische schakeling

5.4 Functies en kenmerken van actuatoren (pneumatische cilinders)

5.4.1 Enkelwerkende cilinders

Enkelwerkende cilinders worden slechts aan één kant van perslucht voorzien, waar ze een aansluitpoort hebben voor de persluchttoevoer. Dit betekent dat zij slechts in één richting kunnen werken. De cilinderkamer moet vóór de ingaande slag worden ontluicht, waarna het ingaan van de zuigerstang kan worden geïnitieerd door een ingebouwde veer of door het uitoefenen van een externe kracht (zie afbeelding 5.4). Het ontluichten gebeurt nu via een gat in het cilinderdeksel.



Afbeelding 5.4: Foto, doorsnede en symbool van een enkelwerkende cilinder

5.4.2 Dubbelwerkende cilinders

Dubbelwerkende cilinders worden aan beide uiteinden van perslucht voorzien. Dit betekent dat deze cilinders ook in beide richtingen kunnen werken. De op de zuigerstang overgebrachte kracht is bij de uitgaande slag iets groter dan bij de ingaande slag, omdat het oppervlak dat van perslucht wordt voorzien aan de zijde van de zuiger groter is dan aan de zijde van de zuigerstang (zie afbeelding 5.5).

De dubbelwerkende cilinder heeft een aansluitpoort voor elke drukkamer. Alvorens over te schakelen naar de omgekeerde richting, moet eerst de desbetreffende kamer (zuigerzijde of zuigerstangzijde) worden ontluicht.



Afbeelding 5.5: Foto, doorsnede en symbool van een dubbelwerkende cilinder

5.4.3 Snelheidsregeling bij enkelwerkende cilinders

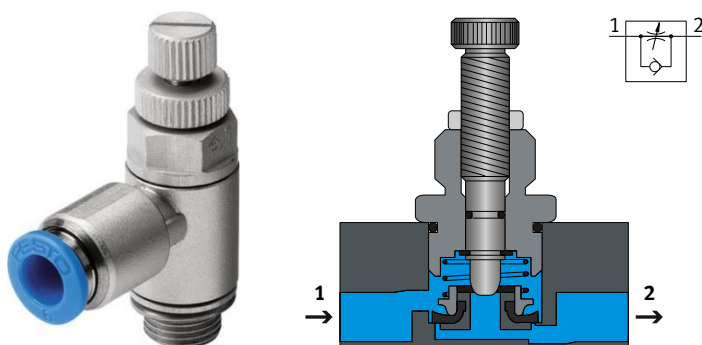
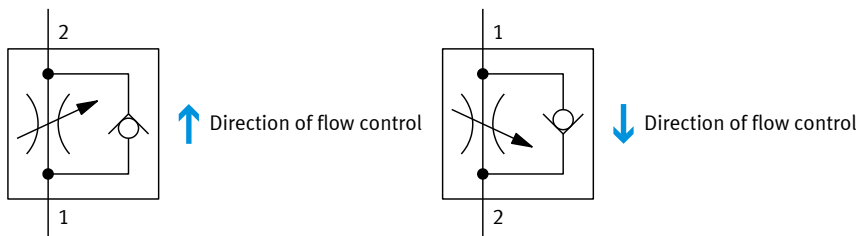
Smoorventiel

De leidingdiameter wordt traploos ingesteld bij een smoorventiel. Het effect van de verminderde volumestroom is in beide richtingen hetzelfde.



Snelheidsregelventiel (Eenrichtingsstroomregelklep)

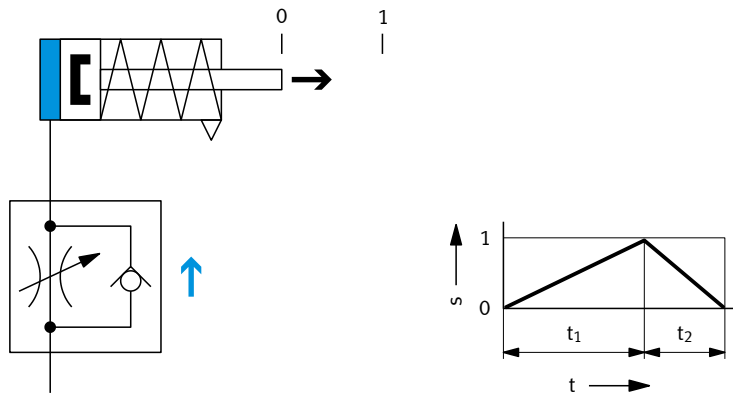
De instelling op het snelheidsregelventiel werkt slechts in één richting; in de tegenovergestelde richting heeft de instelling geen effect (de volumestroom wordt via de terugslagklep geleid). De richting van de debiet/flow-regeling wordt bij de symbolen aangegeven met een pijl.



Afbeelding 5.6: Foto, doorsnede en symbool van een snelheidsregelventiel

Bij de uitgaande slag

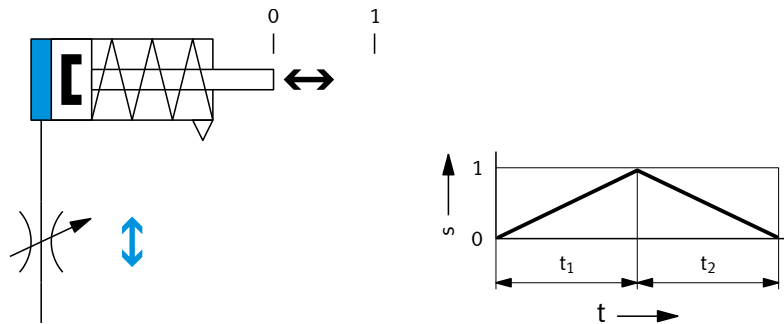
De luchttoevoer wordt gereduceerd door middel van een snelheidsregelventiel. De ingestelde snelheid geldt alleen in de uitgaande slag. Voor de ingaande slag wordt het luchtvolume door de terugslagklep geleid.



t_1 = instelbaar, t_2 = constant (niet instelbaar)

Bij de uitgaande en ingaande slag

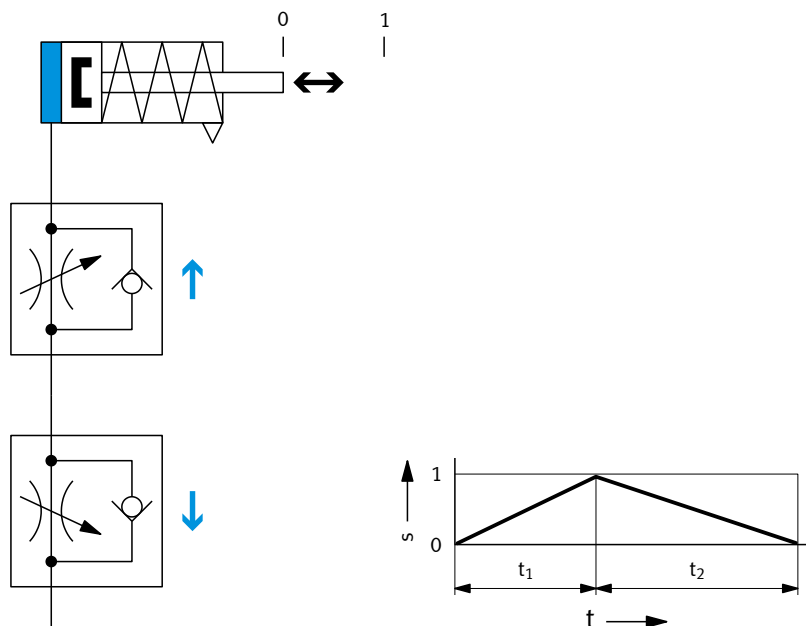
Het smoorventiel bevindt zich bij de aansluitpoort die de perslucht aan- en afvoert. De ingestelde snelheid geldt voor de uitgaand- en de ingaande slag.



$t_1 = t_2$ = instelbaar

Gebruik van twee snelheidsregelventielen

De snelheid kan afzonderlijk worden ingesteld voor de in- en de uitgaande slag.

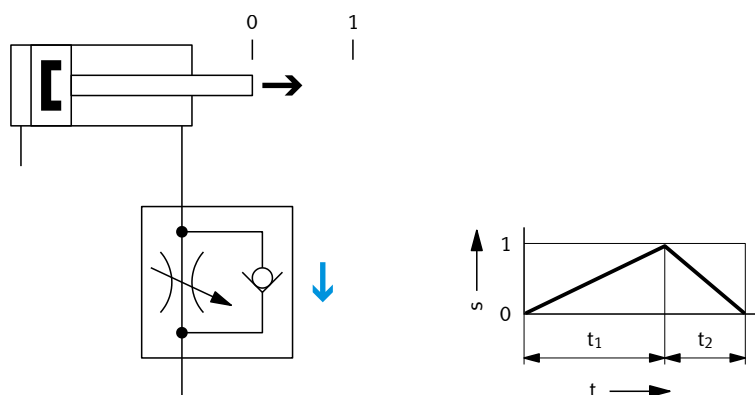


$t_1 = \text{instelbaar}$, $t_2 = \text{instelbaar}$

5.4.4 Snelheidsregeling bij dubbelwerkende cilinders

Bij de uitgaande slag (regeling van de uitstromende lucht)

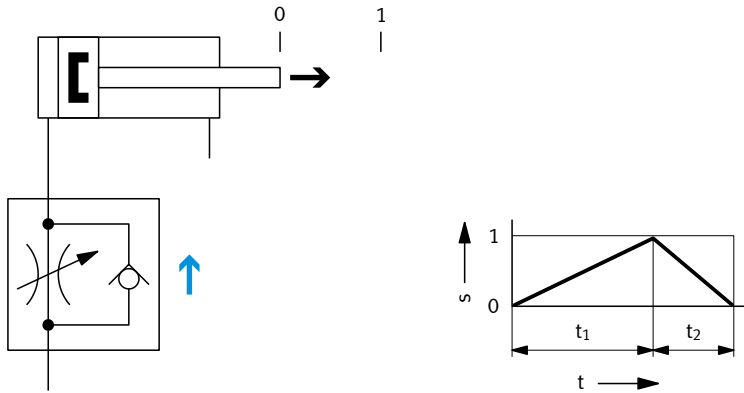
Het snelheidsregelventiel bevindt zich bij de aansluitpoort die de perslucht afvoert (uitstromende lucht regeling). De uitstromende lucht wordt door de smoring geleid. De uitstromende lucht regeling is de methode die het meest wordt gebruikt bij dubbelwerkende cilinders. De snelheidsregeling wordt niet beïnvloed door de belasting.



$t_1 = \text{instelbaar}$, $t_2 = \text{constant (niet instelbaar)}$

Bij de uitgaande slag (luchttoevoer regeling) (niet geschikt voor verticale cilinderopstellingen)

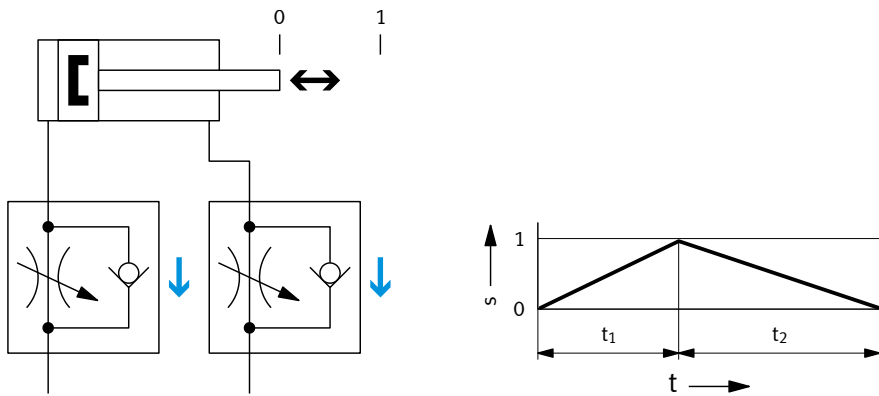
Het snelheidsregelventiel bevindt zich bij de aansluitpoort die de perslucht toevoert (toevoerluchtstroomregeling). De ingestelde snelheid is alleen effectief in de uitgaande slag. Minimale belastingsschommelingen aan de zuigerstang resulteren in enorme onregelmatigheden in de cilindersnelheid. Een belasting in de bewegingsrichting van de cilinder versnelt de zuigerstang van de cilinder tot boven de ingestelde waarde.



t_1 = instelbaar, t_2 = constant (niet instelbaar)

Bij de uitgaande en ingaande slag

Regeling van de uitstromende lucht door middel van twee snelheidsregelventielen. De snelheid kan afzonderlijk worden ingesteld voor de in- en de uitgaande slag.



t_1 = instelbaar, t_2 = instelbaar

5.5 Functies en kenmerken van pneumatische stuurventielen

Pneumatische ventielen besturen de samengeperste lucht. De stromingsrichting wordt aangegeven door een pijl. De bediening kan handmatig, mechanisch, pneumatisch of elektrisch gebeuren. Geautomatiseerde systemen gebruiken meestal elektromagnetisch bediende ventielen die de interface vormen tussen pneumatische en elektrische bediening. Zij worden geschakeld door middel van de uitgangssignalen van de signaalbesturing en het afsluiten of openen van verbindingen in de pneumatische vermogenssectie. De belangrijkste functies van elektrisch gestuurde stuurschuiven zijn

- het aansluiten of afsluiten van de persluchttoevoer,
- bewegen van cilindraandrijvingen (in- en uitgaande slag).

Afbeelding 5.7 en afbeelding 5.8 tonen twee actuele ventielontwerpen.



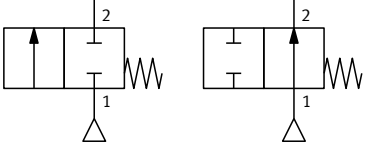
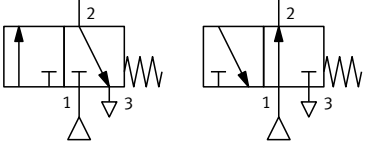
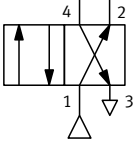
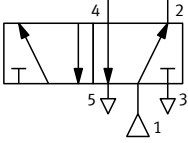
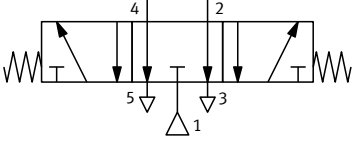
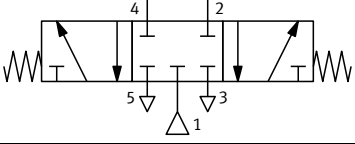
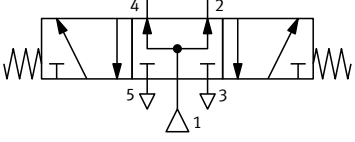
Afbeelding 5.7: Handbediende 3/2-stuurventiel met vergrendelfunctie



Afbeelding 5.8: Foto van een monostabiel 4/2 magneetventiel met noodhandbediening

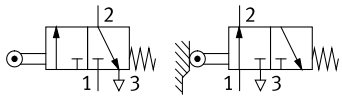
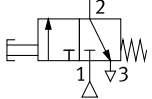
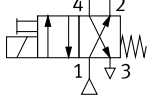
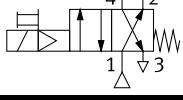
5.5.1 Functie, benaming en symbolen van pneumatische ventielen

De volgende tabel toont de belangrijkste ontwerpen van stuurventielen.

Symbol	Benaming	Functie
	2/2 stuurventiel, normaal gesloten- normaal open	Ventiel met twee schakelstanden en twee aansluitpoorten
	3/2 stuurventiel, normaal gesloten- normaal open	Ventiel met twee schakelstanden en drie aansluitpoorten
	4/2 stuurventiel	Ventiel met twee schakelstanden en vier aansluitpoorten
	5/2 stuurventiel	Ventiel met twee schakelstanden en vijf aansluitpoorten
	5/3 stuurventiel, middenstand ontucht	De zuiger van de cilinderaandrijving oefent in de middenstand geen kracht uit op de zuigerstang. De zuigerstang kan vrij bewegen.
	5/3 stuurventiel, middenstand gesloten	In de middenstand komt de zuigerstang tot stilstand, ook al is hij niet aan de gedefinieerde aanslag.
	5/3 stuurventiel, middenstand belucht	In de middenstand gaat de zuigerstang van cilinders met een enkelvoudige zuigerstang met verminderde kracht vooruit.

5.5.2 Bedieningsmethoden van pneumatische ventielen

De volgende tabel geeft een overzicht van de belangrijkste soorten bediening van stuurschuiven.

Symbol	Benaming	Functie
	Rolbediend, veerretour, (monostabiel)	Dit ventiel wordt bediend door middel van cilindernokken of iets dergelijks. Zij wordt hoofdzakelijk gebruikt voor de detectie van eindposities.
	Handbediend, veerretour, (monostabiel)	Dit ventiel wordt met de hand bediend en komt terug door een veer wanneer hij wordt losgelaten.
	Magneetventiel met noodhandbediening, veerretour (monostabiel)	Dit ventiel wordt bediend door een elektromagneet en wordt door een veer teruggestuurd zodra de stuurstroom wordt uitgeschakeld.
	Magneetventiel, direct bediend met noodhandbediening, bistabiel	Dit ventiel wordt door twee magneetspoelen bediend en blijft in zijn huidige stand totdat de andere magneetspoel wordt bediend.
	Magneetventiel, indirect bediend met noodhandbediening, bistabiel	Dit ventiel wordt bediend door een magneetspoel. De magneetspoel bestuurt een pneumatisch hulpcircuit dat het ventiel bedient.

5.5.3 Besturing van een enkelwerkende cilinder

Afbeelding 5.9a toont een magneetventiel die de beweging van een enkelwerkende cilinder stuurt. Het heeft drie aansluitpoorten en twee schakelstanden.

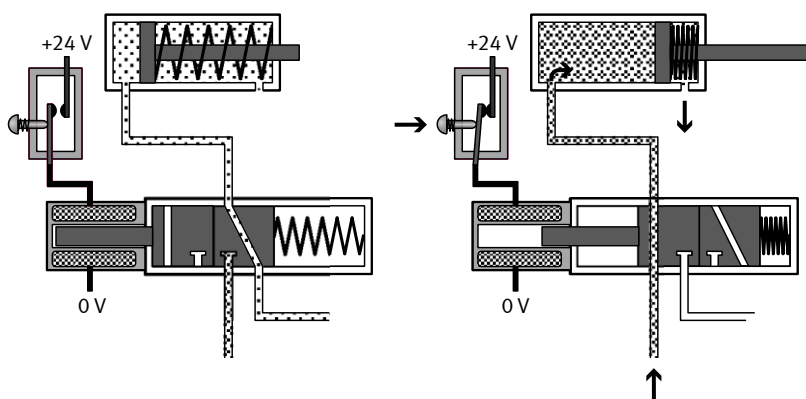
- Wanneer de magneetspoel van het stuurventiel spanningsloos wordt gemaakt, wordt de cilinderkamer via het stuurventiel ontlucht. De zuigerstang gaat in.
- Wanneer spanning op de magneetspoel wordt gezet, schakelt het stuurventiel en wordt de cilinderkamer onder druk gezet. De zuigerstang gaat uit.
- Wanneer er geen spanning op de magneetspoel staat, schakelt het ventiel (door de veer) terug. De cilinderkamer wordt ontlucht en de zuigerstang gaat in.

5.5.4 Besturing van een dubbelwerkende cilinder

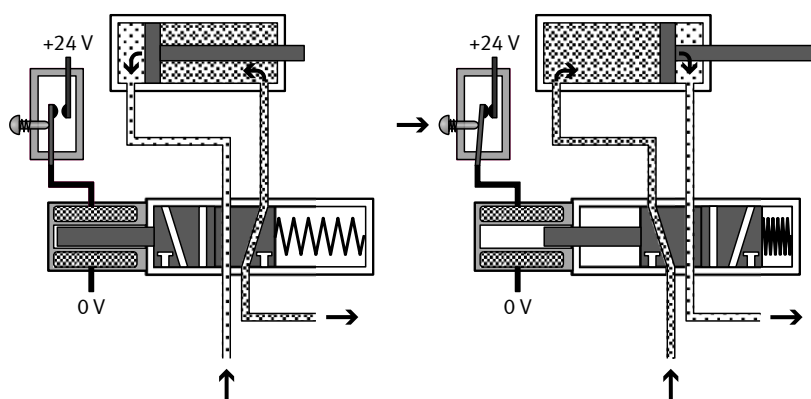
De dubbelwerkende cilinder in afbeelding 5.9b wordt bediend door een stuurventiel met vijf aansluitpoorten en twee schakelstanden.

- Wanneer de magneetspoel spanningsloos wordt gemaakt, wordt de linker cilinderkamer ontlucht en de rechter cilinderkamer onder druk gezet. De zuigerstang gaat in.
- Wanneer elektrische spanning op de magneetspoel wordt gezet, schakelt het ventiel. De linkse cilinderkamer wordt onder druk gezet en de rechtse cilinderkamer wordt ontlucht. De zuigerstang gaat uit.
- Wanneer er geen spanning meer op de magneetspoel staat, schakelt het ventiel (door de veer) terug en trekt de zuigerstang gaat in.

a)



b)



a) Enkelwerkend

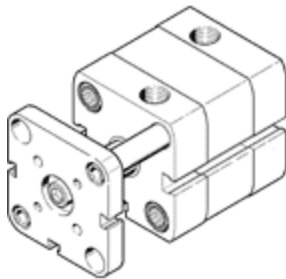
b) Dubbelwerkend

Afbeelding 5.9: Cilinders aansturen met magneetventielen

5.6 Functies en kenmerken van pneumatische aandrijvingen

5.6.1 Geleide cilinders, zuigerstangloze lineaire aandrijvingen en roterende aandrijvingen

Geleide pneumatische cilinders worden vaak gebruikt voor speciale toepassingen, met name in de handlingtechniek (zie afbeelding 5.11). In tegenstelling tot conventionele cilinders kan in dit geval de zuigerstang niet worden gedraaid en aan extra krachten worden blootgesteld. Afhankelijk van het ontwerp kunnen het glijlagergeleidingen zijn voor eenvoudige toepassingen met toepassingen met lage dynamische belasting, of hoogprecisie kogellagergeleidingen voor toepassingen met hoge dynamische belasting en een hogere prijs.



Afbeelding 5.11: Geleide pneumatische cilinder

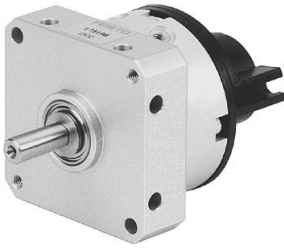
Een andere klasse van aandrijvingen zijn de zuigerstangloze cilinders (zie afbeelding 5.12). Deze hebben geen zuigerstang en zijn daarom geschikt voor lange slaglengtes.

De zuigerstangloze cilinder is slechts iets langer dan de slag van de cilinder, terwijl een zuigerstangcilinder in de uitgaande slag minstens tweemaal zo lang is als de cilinderslag. Ook deze aandrijvingen zijn meestal voorzien van hoogwaardige geleidingen.



Afbeelding 5.12: Zuigerstangloze pneumatische aandrijving

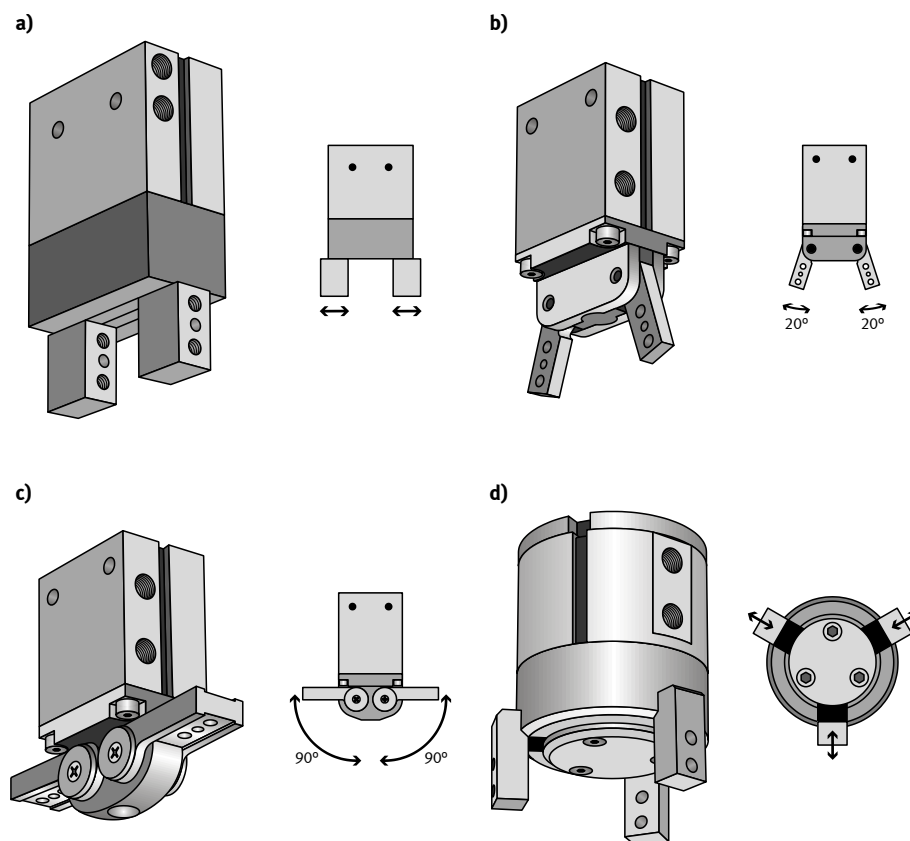
Pneumatische draaivleugel-aandrijvingen worden overal gebruikt waar een draaiende of zwenkende beweging vereist is.



Afbeelding 5.13: Pneumatische draaivleugel-aandrijving

5.6.2 Pneumatische grijpers

Pneumatische grijpers worden gebruikt voor het oppakken van werkstukken. De volgende afbeeldingen tonen verschillende grijpertypen.



a) Parallelgripper

b) Hoekgripper

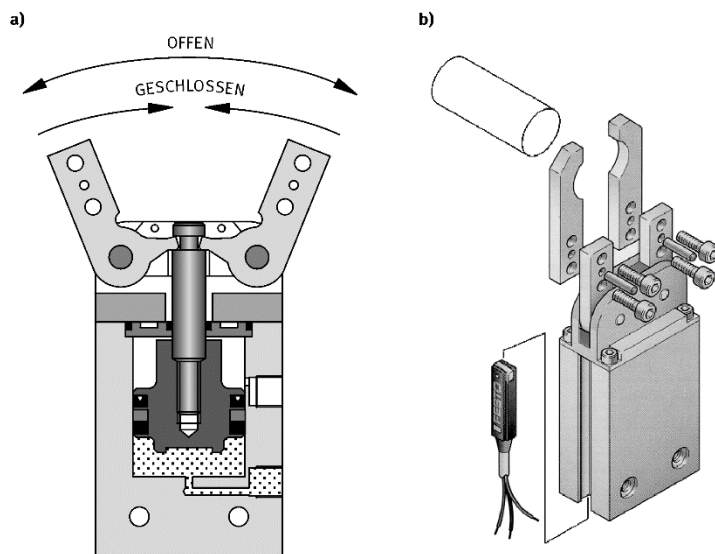
c) Radiaalgripper

d) Driepuntsgripper

Afbeelding 5.14: Pneumatische grijpers

De volgende afbeelding (zie afbeelding 5.15) toont een doorsnede van een hoekgrijper die wordt aangedreven door een dubbelwerkende cilinder. Te zien is hoe grijpervingers (in dit geval voor cilindrische werkstukken) en naderingssensoren op de grijper zijn gemonteerd.

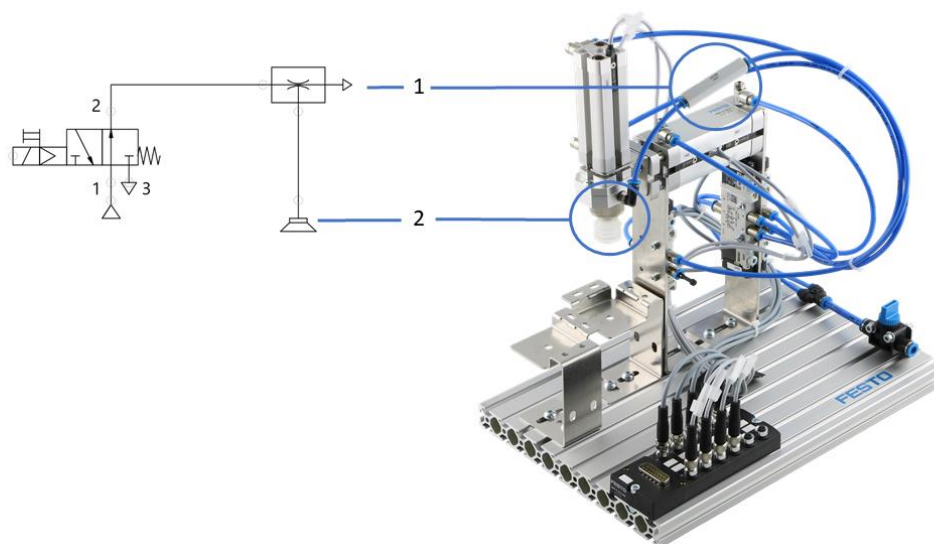
De keuze van grijptype, grootte en grijpvingers hangt af van de vorm en het gewicht van de werkstukken.



Afbeelding 5.15: Aandrijfprincipe, grijpvingers en naderingssensoren voor een hoekgrijper

5.6.3 Vacuüm grijpers

Naast mechanische grijpers worden ook vacuüm grijpers gebruikt om voorwerpen op te pakken. Een vacuüm grijper bestaat uit de vacuümgenerator (pomp of venturi-ejector), één of meer zuignappen en, indien nodig, ventielen om het vacuüm te sturen. 5.16 toont een eenvoudige vacuüm grijper in het station Handling. Een 3/2 stuurventiel schakelt de persluchttoevoer naar de vacuümejector (1), dat op zijn beurt de zuignap (2) van vacuüm voorziet.



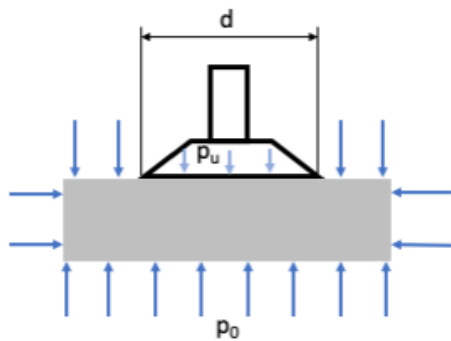
Afbeelding 5.16: Ontwerp van een vacuüm grijper: symbool / foto

Volgens DIN 28400 wordt vacuüm als volgt gedefinieerd:

"Vacuüm is de toestand van een gas waarvan de dichtheid van de deeltjes kleiner is dan die van de atmosfeer op de aarde. De toestand van een gas kan vacuüm worden genoemd als de druk lager is dan de atmosferische druk".

Functie

Een zuignap hecht zich aan een oppervlak omdat de omgevingsdruk (p_o) hoger is dan de druk p_u binnen het zuignapvolume dat door het werkstukoppervlak wordt omsloten (5.17). In de praktijk is de omgevingsdruk constant. Om een onderdruk op te wekken wordt de zuignap aangesloten op een vacuümbron. Hoe lager de druk, hoe groter de kracht die van buitenaf op de zuignap werkt. Deze kracht wordt zuigkracht of houdkracht genoemd en wordt gewoonlijk door de fabrikant aangegeven als een theoretische houdkracht



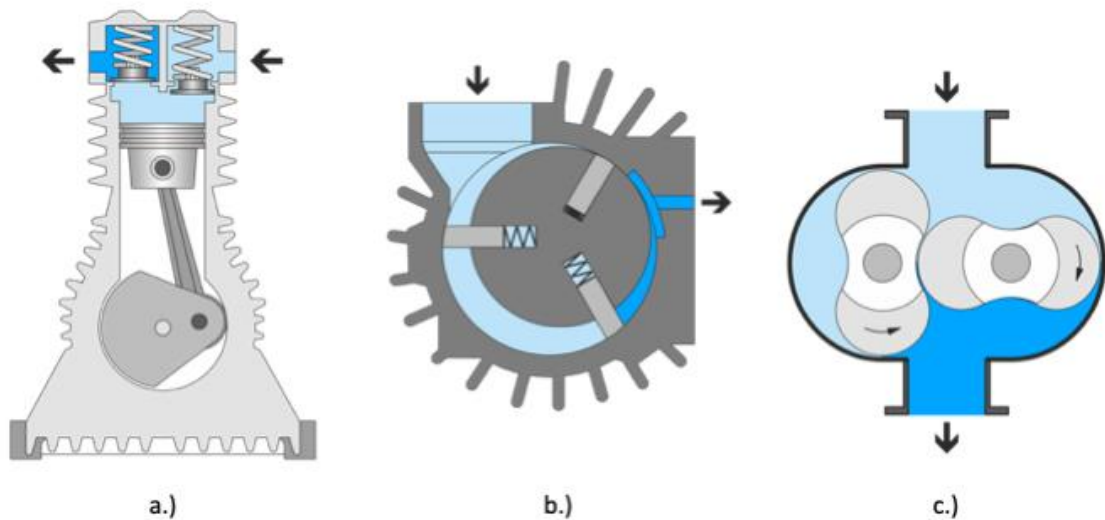
Afbeelding 5.17: De hogere omgevingsdruk p_o drukt het werkstuk tegen de kleinere interne druk p_u op de zuignap.

De maximaal haalbare houdkracht F van een vacuümgrijper hangt af van het oppervlak van de zuignap A en het drukverschil tussen de omgevingsdruk p_o en de interne zuignapdruk p_u :

$$F = (p_o - p_u)A = (p_o - p_u)\pi d^2$$

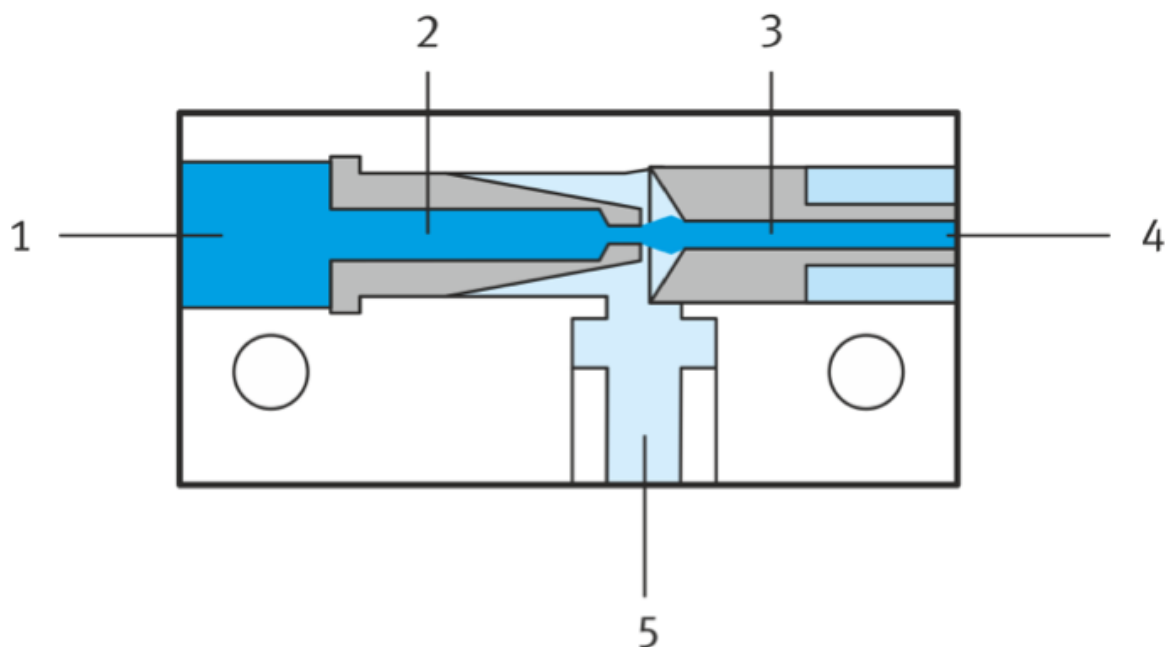
Voor belastingen loodrecht op het aanzuigoppervlak wordt een veiligheidsfactor van 2 aanbevolen, en een factor 4 voor belastingen evenwijdig aan het aanzuigoppervlak.

Er zijn in principe twee methoden om een vacuüm op te wekken, hetzij met pompen, hetzij met venturi-ejectoren. Beide methoden hebben tot doel de omgevingsdruk in een zuignap te verlagen tot een lagere druk.



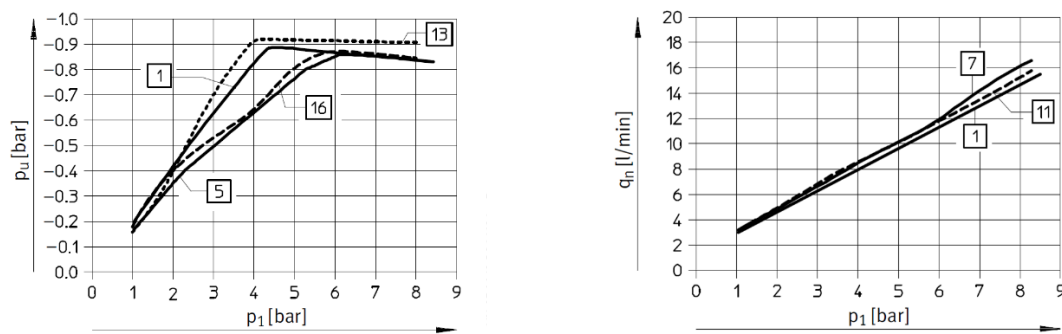
Afbeelding 5.18: Soorten vacuümpompen: a.) Reciprocerende pomp, b.) Schottenpomp, c.) Wortelpomp

Venturi-ejectoren zijn een alternatief voor vacuümpompen. Deze werken volgens het Venturi-principe. De samengeperste lucht stroomt door een vernauwing in de dwarsdoorsnede, de zogenaamde straalpijp van de ejector. Hier neemt de stroomsnelheid van de lucht toe tot supersonische snelheid. Na het verlaten van de straalpijp expandeert de lucht en stroomt naar buiten door het vangmondstuk met achterliggende geluiddemper. Tijdens dit proces wordt een vacuüm gecreëerd in de kamer rond de straalpijp. Hierdoor wordt lucht in de aanzuigpoort gezogen.



Afbeelding 5.19: Ejector - doorsnede; 1: Persluchtaansluiting, 2: Straalmondstuk, 3 Vangmondstuk, 4: Uitlaatlucht, 5: Zuigaansluiting (vacuüm)

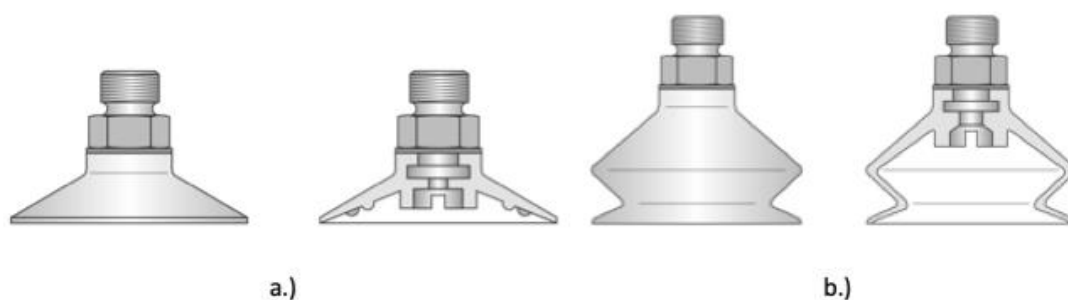
Venturi-ejectoren zijn compact en kunnen zeer dicht bij de zuignap worden geplaatst, verbruiken perslucht tijdens de werking en zijn relatief lawaaierig ondanks zij een geluiddemper voor de afvoerlucht. Vacuümpompen produceren een hogervacuüm, worden aangedreven door elektriciteit, maar zijn zeer groot en bevinden zich daarom relatief ver van de zuignappen.



Afbeelding 5.20: Kenmerken van een venturi-ejector. De in MecLab gebruikte venturi-ejector is aangeduid met 5 of 1

- Vacuümdruk p_u als functie van de toevoerdruk p_1
- Luchtverbruik q_n als functie van de toevoerdruk p_1 .

Afbeelding 5.20 toont de karakteristieken van een venturi-ejector. De karakteristieken tonen het bereikbare vacuüm p_u als functie van de toevoerdruk p_1 . Te zien is dat het beste vacuüm wordt bereikt bij 3 - 4 bar. Naarmate de toevoerdruk p_1 toeneemt, stijgt echter ook het persluchtverbruik q_n en dus ook het energieverbruik van de venturi-ejector. Daarom moet altijd de grootst mogelijke zuignapdiameter worden gebruikt om de toevoerdruk en dus het energieverbruik laag te houden bij een gegeven houdkracht. Als het werkstuk poreus is of een opening heeft, zal er lekkage optreden en zal de venturi-ejector voortdurend lucht moeten afzuigen om het vacuüm te handhaven. Binnen bepaalde grenzen is dit mogelijk, maar als de lekkage te groot wordt, is veilig vastgrijpen niet meer mogelijk. Dan kan men bijvoorbeeld gebruik maken van meerdere kleine zuignapjes die rond de opening van het werkstuk zijn aangebracht.



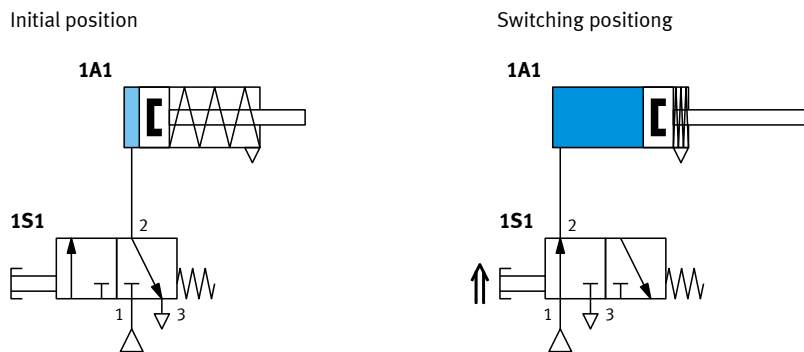
Afbeelding 5.21: Verschillende zuignapontwerpen

- Schijfzuignap
- Balgzuignap

Er zijn verschillende soorten zuignappen (5.21). Schijfzuignappen komen het meest voor, zijn eenvoudig en zorgen voor een stevige grip op het werkstuk. Balgzuignappen kunnen hoogteverschillen beter opvangen, maar geleiden het werkstuk minder nauwkeurig.

5.7 Pneumatisch besturingssysteem weergegeven in een schakelschema

De eenvoudigste manier om enkel- en dubbelwerkende cilinders te besturen is door middel van directe cilinderbesturing. In dit geval wordt de cilinder rechtstreeks aangestuurd via een handbediende of mechanisch bediende klep zonder tussenkomst van andere sturingscomponenten.



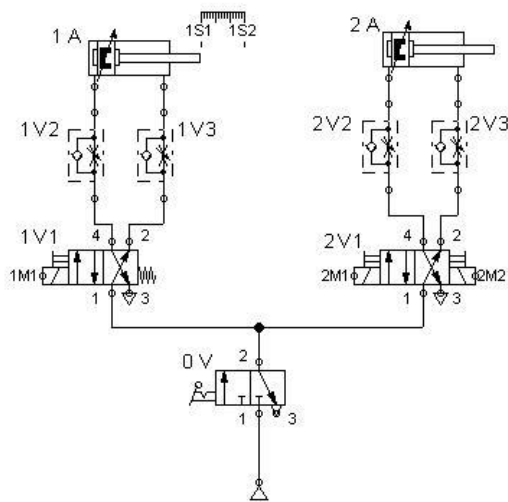
Afbeelding 5.16: Schakelschema voor directe aansturing via een handbediend 3/2 stuurventiel

De symbolen voor de afzonderlijke componenten moeten in het schakelschema in niet-geactiveerde toestand worden getekend. De ervaring heeft geleerd dat deze weergave beginners in verwarring brengt. Daarom wordt, in afwijking van de normen, bij de eerste voorbeelden ook de betreffende doorschakelfunctie (schakelstand) weergegeven, om deze begrijpelijker te maken. De pijl naast het bedieningselement van het 3/2 stuurventiel met drukknopbediening geeft aan dat dit ventiel is bediend (afbeelding 5.16 rechts).

5.7.1 Symboolaanduidingen in schakelschema's

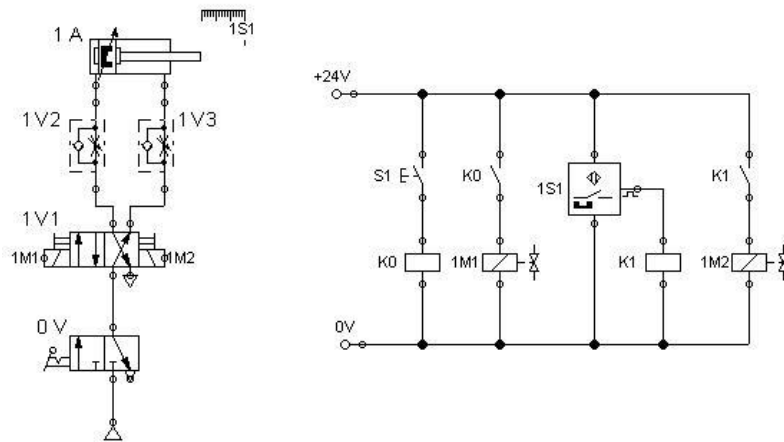
De opbouw van pneumatische schakelschema's en de rangschikking van de schakelsymbolen alsmede de benaming en nummering van de componenten zijn in DIN/ISO 1219-2 vastgelegd. De status van de ventielen is de uitgangspositie (rustpositie). Bovenaan is het arbeidsgedeelte (cilinders met elektrisch ventiel) afgebeeld. Het besturingsgedeelte met de signaalgevers bevindt zich aan de onderzijde.

De componenten worden van onder naar boven en van links naar rechts genummerd (zie afbeelding 5.17).



Afbeelding 5.17: Aanduidingen in een pneumatisch schakelschema

Voorbeeldweergave van een elektropneumatische schakeling en de werking ervan



Afbeelding 5.18: Weergave van een elektropneumatisch schema

Functie van het hierboven afgebeelde elektropneumatische schema:

- Wanneer drukknop S1 wordt bediend, wordt de magneetspoel 1M1 via een N/O-contact van relais K0 geschakeld en gaat de zuigerstang van de cilinder 1A uit.
- Wanneer de eindstand is bereikt, schakelt de magnetische naderingssensor 1S1 het relais K1, waardoor magneetspoel 1M2 wordt bediend. De zuigerstang van de cilinder gaat dan terug naar de ingaande eindstand.

6 Elektrische aandrijvingen

Elektromotoren zijn niet meer weg te denken uit de moderne wereld. In tegenstelling tot pneumatische aandrijvingen, die vooral in de productieomgeving worden gebruikt als een eenvoudige en betrouwbare aandrijvingstechniek, gebruiken wij elektromotoren in ons privéleven. Voorbeelden van elektromotoren voor huishoudelijk gebruik zijn wasmachines, telefoons, CD-spelers, veel speelgoed, keukenmachines en ventilatoren, om er maar een paar te noemen. Tegenwoordig worden elektromotoren zelfs in auto's gebruikt als actuator in het technische systeem voor functies als stoelverstelling en het openen/sluiten van ruiten.

Er zijn verschillende soorten elektromotoren, speciaal ontworpen voor specifieke toepassingen:

- eenvoudige en kosteneffectieve gelijkstroomaandrijvingen met relatief laag vermogen voor draagbare toepassingen met batterijvoeding,
- robuuste driefasenmotoren met relatief hoog vermogen voor stationair gebruik in de industrie,
- hoogdynamische servoaandrijvingen voor werktuigmachines of robots die hoge eisen stellen aan snelheid en precisie,
- stappenmotoren voor eenvoudige bewegingsprocessen, b.v. aanvoerbewegingen in gereedschapsmachines.

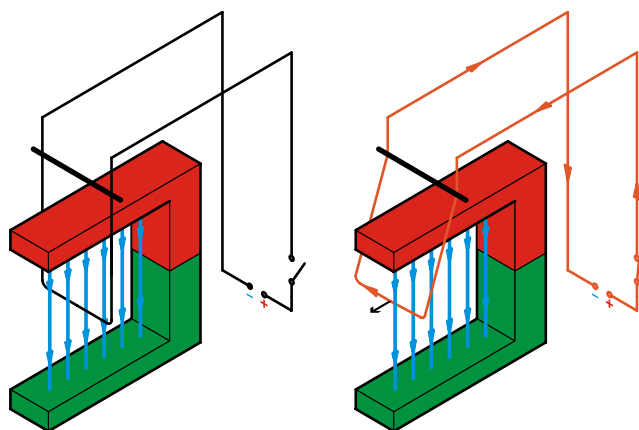
Elektromotoren kunnen zowel draaiende (rotatie) als lineaire (translatie) bewegingen uitvoeren. Voor de verschillende eisen zijn er ontwerpen met een vermogen van slechts enkele milliwatts tot enkele megawatts of met een gewicht van slechts enkele grammen tot enkele tonnen. Zij zijn de meest gebruikte actuator in de hedendaagse machinebouw.

Bijna alle elektrische aandrijvingen zijn gebaseerd op het principe van elektromagnetische kracht of Lorentzkracht. In de volgende paragrafen wordt het werkingsprincipe van een permanent bekrachtigde gelijkstroommotor beschreven, aangezien dit motortype relatief gemakkelijk te begrijpen is en zeer veel wordt gebruikt.

6.1 Natuurkundige/technische basiskennis van de gelijkstroommotor

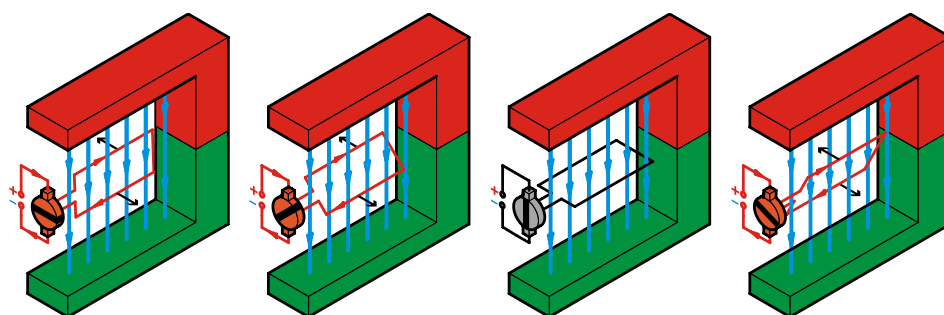
Als een stroomgeleider waardoor een stroom I loopt zich in een magnetisch veld B bevindt, werkt er een kracht F op deze draad. De richting van deze kracht kan worden bepaald met behulp van de zogenaamde "rechterhandregel". We nemen aan dat de magnetische veldlijnen van de noordpool van de magneet naar de zuidpool lopen en dat de stroom in de draad van de pluspool van de stroombron naar de minpool loopt. De drie vingers (duim, wijsvinger en middelvinger) staan loodrecht op elkaar zodat ze een cartesisch coördinatenstelsel vormen.

Als de duim in de richting van de stroom wijst (dus van de pluspool naar de minpool) en de wijsvinger in de richting van het magnetisch veld (noord/zuid), wijst de middelvinger in de richting van de werkzame kracht. In afbeelding 6.1 zou de draad dus naar voren uit het vlak van het magnetisch veld bewegen.



Afbeelding 6.1: Lorentzkracht

De grootte van de kracht is afhankelijk van de sterkte van het magnetisch veld, de intensiteit van de stroom en de lengte van de draad in het magnetisch veld. De gelijkstroommotor gebruikt deze krachtwerking om een rotatie op te wekken. Daartoe wordt een geleidingslus draaibaar tussen de twee magnetische polen (noord/zuid) geplaatst zodat deze kan draaien (afbeelding 6.2).



Afbeelding 6.2: Werking van een gelijkstroommotor

De stroom vloeit door de twee helften van de geleidingslus in tegengestelde richting. Dit betekent dat de krachtwerking op de twee helften van de geleidingslus ook tegengesteld is. Er ontstaat een noord- en zuidpool, die worden aangetrokken (noord/zuid of zuid/noord) of afgestoten (zuid/zuid of noord/noord) door de polen van de permanente magneet. Beide krachten genereren een koppel dat de geleidingslus draaiend houdt. De mechanische commutator (polariteitswisselaar) keert de polariteit van de stroom om na maximaal één halve omwenteling van de geleidingslus en het proces herhaalt zich.

De commutator is hier heel belangrijk, het zorgt ervoor dat de eenmalige aantrekkingskracht op een draad (waardoor een stroom vloeit) omgekeerd wordt zodat een continu roterende beweging ontstaat. Hij bestaat uit twee van elkaar geïsoleerde metalen halve schijven, waarop de stroom wordt overgebracht door middel van koolborstels.

Aangezien gelijkstroombmotoren gewoonlijk lage koppels (M_d) genereren bij hoge toerentallen (n), worden tandwielkasten vaak geplaatst als overbrengingscomponent om het uitgangstoerental (n_2) te verminderen met de overbrengingsverhouding i en het uitgangskoppel (M_{d2}) met dezelfde factor te verhogen. De volgende regel is van toepassing:

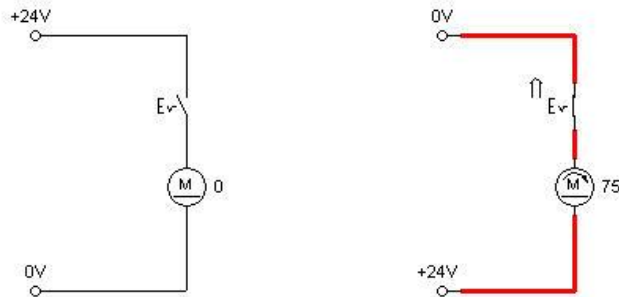
$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{M_{d2}}{M_{d1}}$$

Tandwielkasten zijn er in een groot aantal uitvoeringen. Afbeelding 6.3 toont een gelijkstroombmotor met wormwielkast waarbij de aandrijf-as 90° is gedraaid ten opzichte van de motor-as.

Afbeelding 6.3: Gelijkstroombmotor met reductor

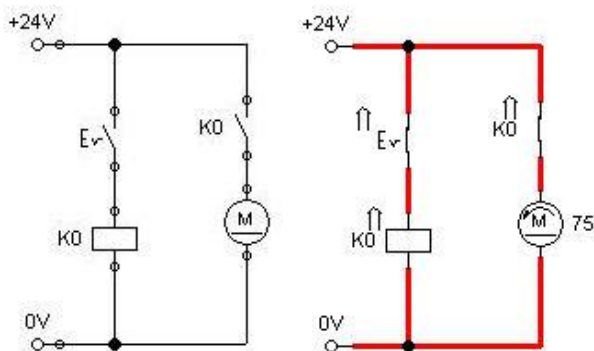
6.1.1 Gelijkstroommotoren inschakelen

De gelijkstroommotor begint te draaien wanneer hij op een spanningsbron wordt aangesloten. De draairichting is afhankelijk van de polariteit. Afbeelding 6.4 toont de eenvoudigste manier van inschakeling, met de schakelaar open (motor uit) en met de schakelaar gesloten (motor aan).



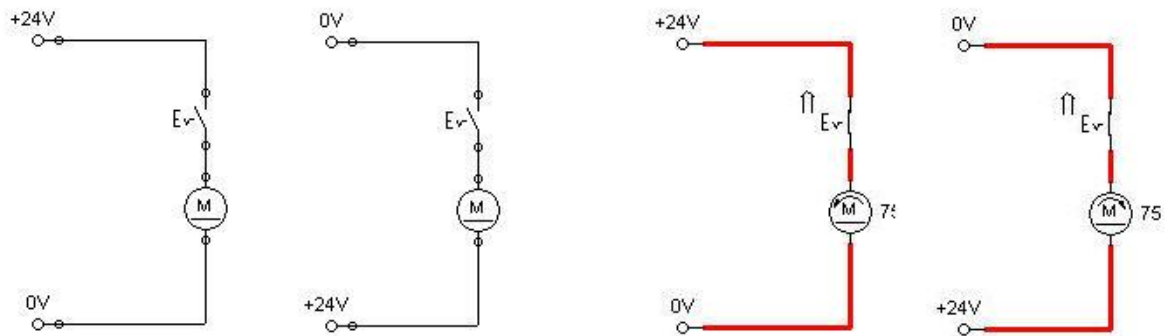
Afbeelding 6.4: Activeren van een gelijkstroommotor

Aangezien elektromotoren relatief hoge stromen nodig hebben, vindt de activering plaats via relais, om de schakelaars niet te overbelasten. Afbeelding 6.5 toont het bijbehorende schakelschema.



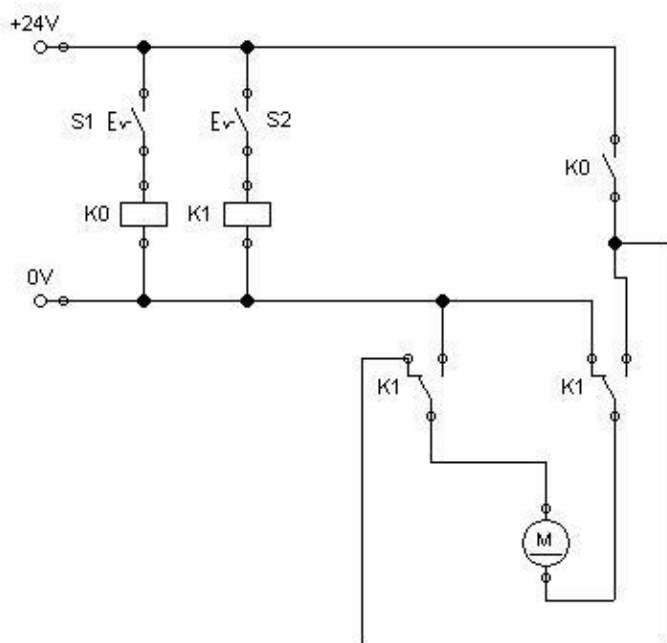
Afbeelding 6.5: Activeren van een gelijkstroommotor met relais

Om de draairichting van de motor om te keren, moet de draairichting van de stroom door de motor worden omgekeerd (afbeelding 6.6).



Afbeelding 6.6: Omkering van de draairichting in een gelijkstroommotor

Aangezien het niet mogelijk of praktisch is om de bedrading van de motor steeds te veranderen, wordt bij gelijkstroommotoren een zogenaamde polariteitwisselschakeling gebruikt om de draairichting om te keren (afbeelding 6.7).



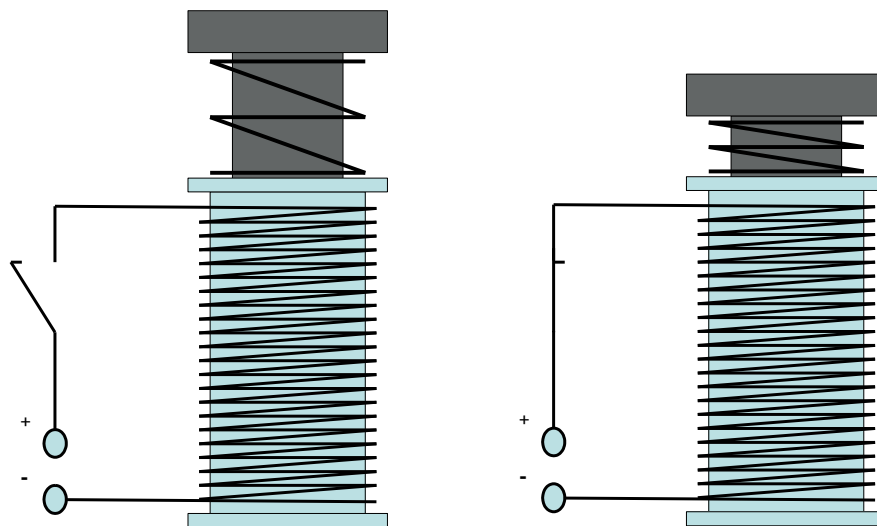
Afbeelding 6.7: Polariteitwisselschakeling

Hier wordt de motor geactiveerd met behulp van twee relais; het relais K0 schakelt de motorstroom in of uit, terwijl het omschakelrelais K1 de polariteit van de motorstroom omkeert, zodat de motor vooruit en achteruit loopt.

6.1.2 Magneetspoelen als eenvoudige actuatoren

Een andere elektrische aandrijving die geschikt is voor eenvoudige besturingstaken is de magneetspoel. Magneetspoelen sturen bijvoorbeeld de zuigerspoelen van magneetventiel aan en kunnen in principe overal worden gebruikt waar kleine lineaire slagen nodig zijn.

Afbeelding 6.8 toont het werkingsprincipe. De magneetspoel bestaat in principe uit een spoel en een ijzeren kern. De spoel wekt een magnetisch veld op wanneer er stroom doorheen loopt en oefent vervolgens een aantrekkingskracht uit op de ijzeren kern. Hierdoor wordt de ijzeren kern in de spoel getrokken. Wanneer de stroom wordt uitgeschakeld, duwt een veer de ijzeren kern weer uit de spoel. Een verandering van stroomrichting veroorzaakt een verandering van de richting van het magnetisch veld, maar dit heeft geen invloed op de aantrekkingskracht die door het magnetisch veld op de ijzeren kern wordt uitgeoefend.



Afbeelding 6.8: Werking van elektromagneet

7 Basiskennis van de besturingstechniek

Regelsystemen vormen een centraal element in de automatiseringstechnologie, samen met actuatoren en sensoren. De term regelsysteem wordt vaak gebruikt in de brede zin van het woord om toestellen aan te duiden die worden gebruikt voor:

- sturen (open-loop),
- regelen (closed-loop),
- besturen,
- (proces) data verzamelen,
- communicatie,
- diagnostiek.

In engere zin heeft besturing binnen de automatiseringstechniek betrekking op het beïnvloeden van een energie- of materiaalstroom door middel van één of meer signalen in een open regelkring (DIN 19226). besturingssystemen worden vaak gebruikt voor processen die in stappen worden uitgevoerd. Voorbeelden hiervan zijn:

- een deur openen als er iemand voor staat,
- een verkeerslicht op rood te zetten na een bepaalde tijd,
- het inschakelen van een gangverlichting nadat de lichtschakelaar is ingedrukt en het automatisch weer uitschakelen na een bepaalde tijd.

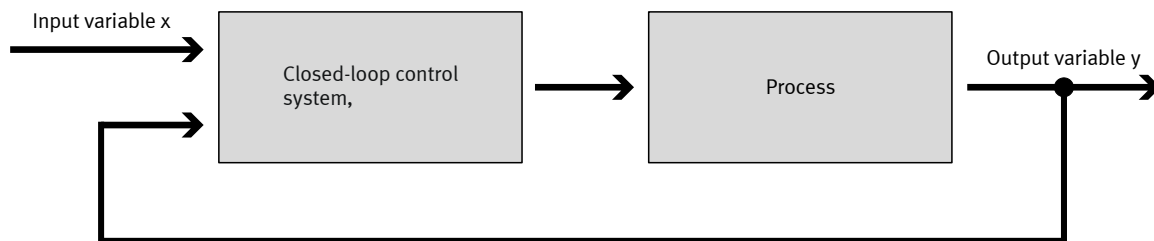
Dergelijke stuursystemen worden gekenmerkt door een open-regelkring, d.w.z. dat de ingangsvaariabele (x) niet wordt beïnvloed door de gecontroleerde uitgangsvaariabele (y). Het stuursysteem kan niet reageren op mogelijke versturende variabelen. In het derde voorbeeld (hierboven) betekent dit dat het open-lus tijdbesturingssysteem voor de gangverlichting het licht na de opgegeven tijd uitschakelt, ongeacht of de persoon die de lichtschakelaar heeft ingedrukt en daarmee het proces in gang heeft gezet, de deur van het appartement heeft bereikt of niet. Afbeelding 7.1 toont een sturing (open regelkring).



Afbeelding 7.1: Sturing (open regelkring)

Een gesloten regelkring daarentegen registreert voortdurend de uitgangsvariabelen (y) van het proces, vergelijkt deze met de ingangsvariabelen (x) en stuurt het proces vervolgens automatisch bij in de zin van een afstemming van de uitgangs- en ingangsvariabelen. Het heeft een gesloten regelkring en kan reageren op versturende variabelen. Regelprocessen met een gesloten lus zijn meestal continue processen waarbij de uitgangsvariabele op een bepaalde waarde moet worden gehouden. Voorbeelden hiervan zijn:

- het regelen van de watertemperatuur in een aquarium,
- het regelen van de snelheid in een voertuig (cruise control),
- het regelen van de rotatiesnelheid in een elektrische motor.



Afbeelding 7.2: Regeling (gesloten regelkring)

Binnen de automatiseringstechniek zijn vele termen bedacht voor typen regelaars met specifieke functies. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- **Verbindingsgeprogrammeerde besturingen** (Duits: verbindungsprogrammierten stuerung)
Verbindingsgeprogrammeerde besturingssystemen zijn besturingen waarbij de besturingslogica of het "programma" met behulp van het verbinden van onderdelen wordt gerealiseerd. Zij zijn meestal opgebouwd uit relais en worden gebruikt voor eenvoudige besturingstaken. Een typisch toepassingsgebied van dit type regeling is de aansturing van elektromotoren.
- **PLC's - Programmeerbare Logische Controllers** (zie afbeelding 7.3)
PLC's werden ontwikkeld ter vervanging van de minder flexibele Verbindingsgeprogrammeerde besturingen. Zij bestaan uit een microcontroller met speciale ingangs- en uitgangsmodule. Het programma wordt niet gedefinieerd door afzonderlijke relais te koppelen, maar wordt opgeslagen in het geheugen van de microcontroller, waar het gemakkelijk kan worden gewijzigd. PLC's verwerken hoofdzakelijk binaire signalen.
In het MecLab®-leersysteem wordt de PLC vervangen door een gesimuleerde PLC in de FluidSIM®-software. Naast PLC's kunnen ook verbindingsgeprogrammeerde besturingen in FluidSIM® gesimuleerd worden.
- **CNC - Computer Numerieke Controllers**
Deze besturingen worden gebruikt om werktuigmachines te besturen, zoals bijvoorbeeld boor-, snij- en draaimachines. De eerste geautomatiseerde werktuigmachines maakten gebruik van houten patronen die werden afgemeten om hun vorm op het werkstuk over te brengen. Het houten patroon werd vervolgens vervangen door een numeriek model waarbij de werkstukcoördinaten worden opgeslagen in de vorm van meestal binaire numerieke codes. Het belangrijkste doel van de CNC besturing is het vertalen van het met behulp van software gemaakte computermodel van het werkstuk in een bewegingsvolgorde voor het gereedschap.
- **RC – Robotbesturingen**
Robotbesturingen zijn speciaal ontworpen voor de besturing van industriële robots en zijn qua structuur vergelijkbaar met de CNC-besturingen.

7.2 Werking en structuur van programmeerbare logische controllers (PLC's)

Aangezien de PLC de meest gebruikte en tevens de eenvoudigste besturing is, wordt er hieronder nader op ingegaan.



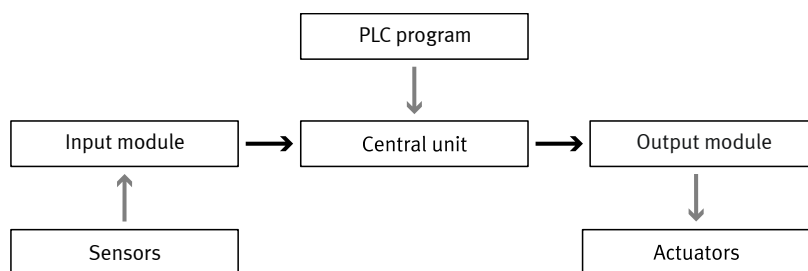
Afbeelding 7.3: Programmeerbare logische besturing (Festo)

Het belangrijkste onderdeel van een PLC is het microprocessorsysteem. De programmering van de microprocessor bepaalt:

- welke ingangen (I1, I2, enz.) worden ingelezen en in welke volgorde,
- hoe deze ingangssignalen logisch doorverbonden worden met de uitgangen,
- de uitgangen (O1, O2, enz.) waarnaar de resultaten van de signaalverwerking worden uitgevoerd.

In het geval van een PLC wordt het gedrag van de controller niet bepaald door de onderlinge verbinding van elektrische componenten (hardware), maar veeleer door een programma (software).

Afbeelding 7.4 toont de basisstructuur van een PLC.



Afbeelding 7.4: Blokschema van een PLC

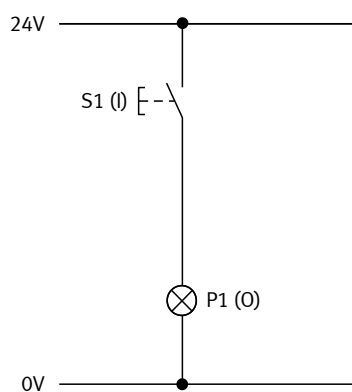
7.2 Wiskundige basiskennis - logische basisfuncties

7.2.1 Algemene informatie

Logische basisfuncties vormen de basis van de meeste regelaars. Daarom wordt hieronder een overzicht gegeven van de belangrijkste basisfuncties van de logica. Logische functies kunnen worden weergegeven in tabelvorm, in de vorm van vergelijkingen, met behulp van relaïsschakelingen (bewerkingen) of met behulp van logische symbolen (zie paragraaf 7.2.6). Logische symbolen worden in een PLC gebruikt om het programma te maken.

7.2.2 Identiteit (JA-functie)

De afgebeelde drukknop is een N/O-contact. Als hij niet wordt bediend, brandt lamp P1 niet. Wanneer hij daarentegen wel wordt bediend, gaat lampje P1 branden.



Afbeelding 7.5: Schakelschema (identiteit)

De drukknop S1 fungeert als signaalingang, de lamp is de uitgang. We kunnen het bovenstaande samenvatten in een waarheidstabel:

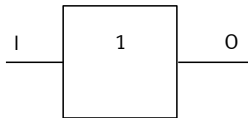
I	O
0	0
1	1

Waarheidstabel (identiteit)

De Booleaanse vergelijking is dus:

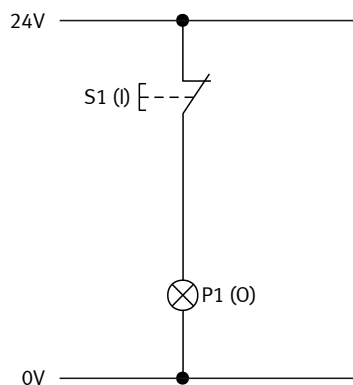
$$I = O$$

Het logische symbool voor identiteit is:



7.2.3 Negatie (NEE-functie)

De afgebeelde drukknop is een N/C-contact. Als hij niet wordt bediend, brandt lamp P1. Wanneer hij daarentegen wordt bediend, gaat lampje P1 uit.



Afbeelding 7.6: Schakelschema (negatie)

De drukknop S1 fungeert als signaalingang, de lamp is de uitgang. We kunnen het bovenstaande samenvatten in een waarheidstabel:

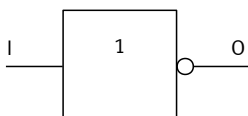
I	O
0	1
1	0

Waarheidstabel (negatie)

De Booleaanse vergelijking is dus:

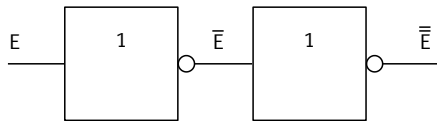
$$I = \bar{O} \quad (\text{leest: niet } I \text{ gelijk aan } O)$$

Het logische symbool is:



Als twee negaties in een reeks worden gebruikt (negatie van de negatie), heffen zij elkaar op.

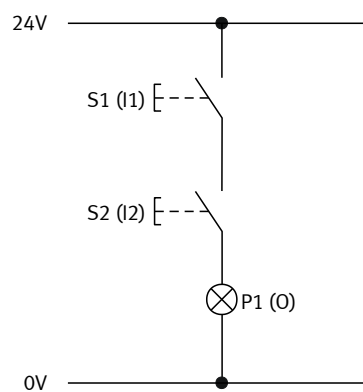
$$\bar{\bar{E}} = E$$



Twee gekoppelde NEE-functies

7.2.4 Conjunctie (EN functie)

Als twee N/O-contacten in serie zijn geschakeld, gaat de geactiveerde lamp alleen branden als beide drukknoppen worden bediend.



Afbeelding 7.7: Schakelschema (conjunctie)

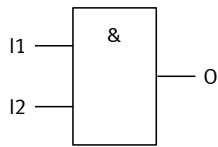
I1	I2	O
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Waarheidstabel (conjunctie)

De waarheidstabel beschrijft de relatie. De uitgang wordt alleen 1 als zowel ingang 1 als ingang 2 een "1" - signaal vertonen. Dit wordt beschreven als een EN-bewerking. Het wordt als volgt in een vergelijking uitgedrukt:

$$I1 \wedge I2 = O$$

Het logische symbool is:



De volgende rekenkundige regels zijn ook van toepassing op de EN bewerking:

$$a \wedge 0 = 0$$

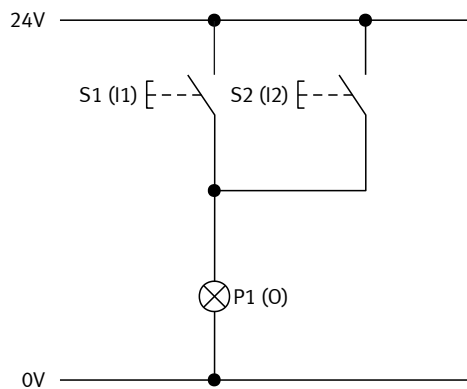
$$a \wedge 1 = a$$

$$a \wedge \bar{a} = 0$$

$$a \wedge a = a$$

7.2.5 Disjunction (OF-functie)

Een andere elementaire logische functie is de OF-functie. Als twee N/O-contacten parallel worden geschakeld, zal de lamp altijd gaan branden als ten minste één drukknop wordt bediend.



Afbeelding 7.8: Schakelschema (ontkoppeling)

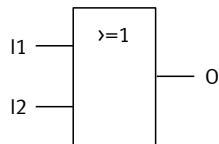
I1	I2	O
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Waarheidstabel (disjunctie)

De OF-bewerking wordt als volgt uitgedrukt in een vergelijking:

$$I1 \vee I2 = O$$

Het logische symbool is:



De volgende rekenkundige regels gelden ook voor de OF-bewerking:

$$a \vee 0 = a$$

$$a \vee 1 = 1$$

$$a \vee a = a$$

$$a \vee \bar{a} = 1$$

7.2.6 Verdere logische functies

De realisatie van de NEE/EN/OH-functie met behulp van elektrotechnische schakelingen is hiervoor beschreven. Elk van de functies kan natuurlijk ook pneumatisch of elektronisch worden gerealiseerd. De Booleaanse algebra kent nog meer logische functies, waarvan in de volgende tabel een overzicht wordt gegeven.

Benaming	Waarheidstabel	Vergelijking	Symbool volgens EN 60617-12	Weergave volgens ISO 1219-1 (pneumatisch)	Weergave volgens EN 60617-7 (elektrisch)															
Identiteit	<table><tr><td>I</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I	Q	0	0	1	1	$Q=I\vee I$												
I	Q																			
0	0																			
1	1																			
Negatie	<table><tr><td>I</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I	Q	0	1	1	0	$Q=\bar{I}$												
I	Q																			
0	1																			
1	0																			
Conjunctie (EN)	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	$Q=I1\wedge I2$			
I1	I2	Q																		
0	0	0																		
0	1	0																		
1	0	0																		
1	1	1																		
Disjunctie (OF)	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	$Q=I1\vee I2$			
I1	I2	Q																		
0	0	0																		
0	1	1																		
1	0	1																		
1	1	1																		

Tabel 7.1: Logische functies

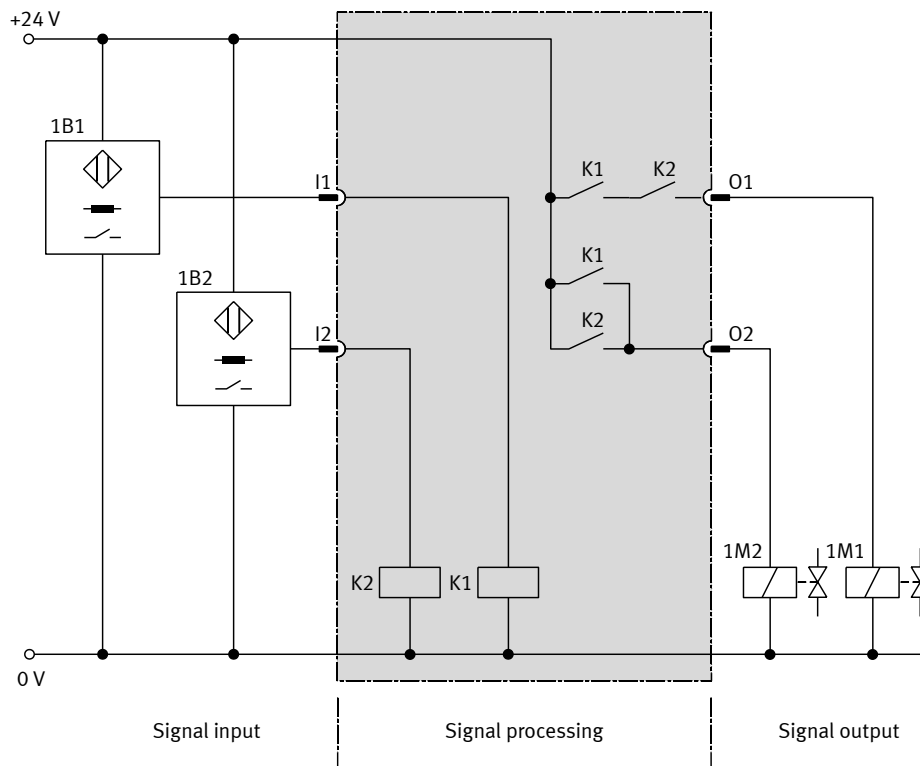
Benaming	Waarheidstabel	Vergelijking	Symbol volgens EN 60617-12	Weergave volgens ISO 1219-1 (pneumatisch)	Weergave volgens EN 60617-7 (elektrisch)																				
Inhibitie	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	$Q = I1 \wedge \bar{I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	0																							
0	1	0																							
1	0	1																							
1	1	0																							
Implicatie	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	$Q = I1 \vee \bar{I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	1																							
0	1	0																							
1	0	1																							
1	1	1																							
NOF	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	$Q = \overline{I1 \vee I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	1																							
0	1	0																							
1	0	0																							
1	1	0																							
NEN	<table><tr><td>I1</td><td>I2</td><td>Q</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	I1	I2	Q	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	$Q = \overline{I1 \wedge I2}$								
I1	I2	Q																							
0	0	1																							
0	1	1																							
1	0	1																							
1	1	0																							
Geheugen (SET-RESET)	<table><tr><td>S</td><td>R</td><td>Q</td><td>\bar{Q}</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>q^{n-1}</td><td>\bar{q}^{n-1}</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	S	R	Q	\bar{Q}	0	0	q^{n-1}	\bar{q}^{n-1}	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1				
S	R	Q	\bar{Q}																						
0	0	q^{n-1}	\bar{q}^{n-1}																						
0	1	0	1																						
1	0	1	0																						
1	1	0	1																						

Tabel 7.1: Logische functies (vervolg)

7.3 Voorbeelden van de opbouw van een besturing

Het signaalverwerkende gedeelte van elektro pneumatische besturing bestaat uit drie functionele modules. Een voorbeeld van de opbouw is te zien in afbeelding 7.9.

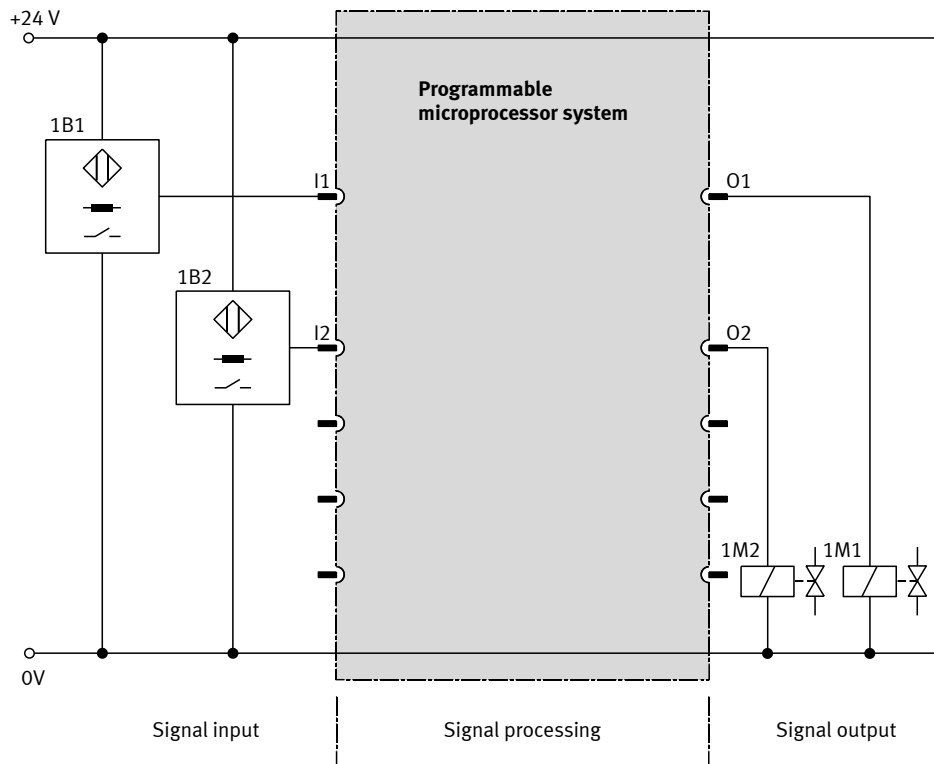
- De ingangssignalen komen van de sensoren en/of drukknoppen en schakelaars. In het voorbeeld worden 2 naderingsschakelaars (1B1/1B2) als ingangssignaal toegepast.
- De signaalverwerking wordt meestal gerealiseerd met behulp van een relais - of PLC schakeling. Andere vormen van signaalverwerking worden in de automatisering minder toegepast. In afbeelding 7.9 wordt een relaisschakeling (K1/K2) toegepast voor de signaalverwerking.
- De uitgangssignalen sturen elektromagnetisch bediende stuurventielen. (1M1/1M2).



Afbeelding 7.9: signaalverwerking met een relaisschakeling (schematisch, schema is niet conform de norm)

Functionele beschrijving van de relaisbesturing in afbeelding 7.9:

- De componenten voor signaalinvoer, de inductieve naderingssensoren 1B1 en 1B2, zijn verbonden met de relaispoelen (K1, K2, enz.) via de ingangen (I1, I2, enz.).
- De signaalverwerking wordt gerealiseerd door het onderling verbinden van een aantal relaispoelen en relaiscontacten. In dit geval zijn de relaiscontacten aangesloten op uitgang A1 als EN-functie geschakeld en de contacten aangesloten op uitgang A2 als OF-functie.
- De onderdelen voor de signaaluitgang, de magneetspoelen 1M1 en 1M2 van het stuurventiel, zijn verbonden met de uitgangen van de besturing (O1, O2, enz.). Zij worden aangestuurd via de contacten van de relais K1 en K2.



Afbeelding 7.10: Signaalverwerking met een programmeerbare logische besturing (PLC)

Afbeelding 7.10 toont het signaalverwerkende gedeelte van een elektropneumatische besturing die gebruik maakt van een PLC voor signaalverwerking.

- De componenten voor signaalingang (in afbeelding 7.10: de inductieve naderingssensoren 1B1 en 1B2) zijn verbonden met de ingangen van de PLC (I1, I2).
- Het programmeerbare microprocessorsysteem van de PLC neemt alle signaalverwerkingstaken voor zijn rekening.
- De componenten voor de signaaluitvoer (in afbeelding 7.10: magneetspoelen van de stuurventielen 1M1 en 1M2) zijn verbonden met de uitgangen van de PLC (O1, O2). De aansturing vindt plaats via een elektronisch circuit dat deel uitmaakt van het microprocessorsysteem.

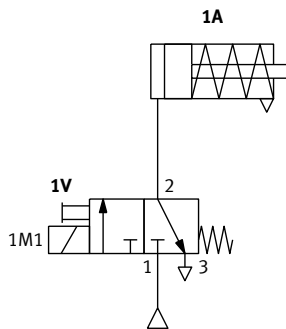
8 Toepassingen van relais in elektropneumatiek

Relais kunnen worden gebruikt voor alle signaalverwerkingsvereisten van een elektropneumatische regelaar. In het verleden werden relaisbesturingen in grote aantallen vervaardigd. Hun belangrijkste voordelen zijn hun duidelijke structuur en gemakkelijk te begrijpen werking. Aangezien zij relatief betrouwbaar zijn, worden relaisbesturingen ook vandaag nog gebruikt in industriële toepassingen zoals noodstopschakelinrichtingen. In de signaalverwerking worden zij echter steeds meer vervangen door programmeerbare logische controllers.

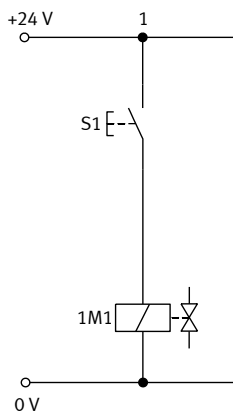
8.1 Directe en indirecte besturing met relais

De zuigerstang van een enkelwerkende cilinder moet uitgaan wanneer de drukknop S1 wordt bediend en weer ingaan wanneer de drukknop wordt losgelaten. Afbeelding 8.1a toont het bijbehorende pneumatische schakelschema.

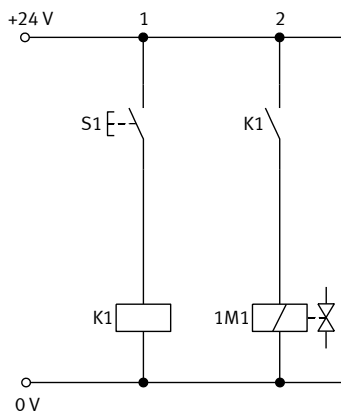
a)



b)



c)



a) Pneumatisch schakelschema

b) Elektrisch schakelschema voor directe besturing

c) Elektrisch schakelschema voor indirecte besturing met een relais

Afbeelding 8.1: Schakelschema's voor het aansturing van een enkelwerkende cilinder

8.1.1 Directe besturing van een enkelwerkende cilinder

Afbeelding 8.1b toont het elektrische schakelschema voor de directe aansturing van een enkelwerkende cilinder. Wanneer de drukknop wordt bediend, loopt er stroom door de magneetspoel 1M1 van het 3/2 stuurventiel. De magneetspoel oefent een trekkracht uit, het ventiel schakelt in de geactiveerde stand en de zuigerstang gaat uit. Wanneer de drukknop wordt losgelaten, wordt de stroom onderbroken. De elektromagneet wordt spanningsloos, het stuurventiel schakelt naar de ruststand en de zuigerstang gaat in.

8.1.2 Indirecte besturing van een enkelwerkende cilinder

Bij indirecte besturing, wanneer de drukknop wordt bediend (afbeelding 8.1c), loopt er stroom door de relaisspoel. Het contact K1 van het relais sluit en het stuurventiel schakelt. De zuigerstang gaat uit.

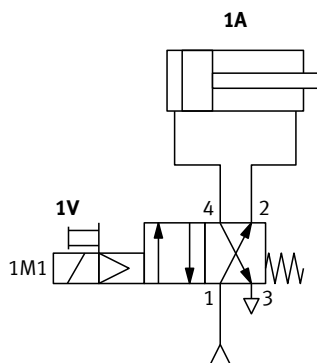
Wanneer de drukknop wordt losgelaten, wordt de stroom door de relaisspoel onderbroken. Het relais wordt spanningsloos en het stuurventiel schakelt in zijn ruststand. De zuigerstang gaat in. Het resultaat is in eerste instantie hetzelfde als bij directe besturing. De complexere indirecte regeling wordt gebruikt als:

- het stuur- en het krachtstroomschema werken met verschillende spanningen (b.v. 24 V en 230 V),
- de stroom door de spoel van het stuurventiel hoger is dan de toelaatbare stroom voor de drukknop (bijv. stroom door de spoel: 0,5 A; toelaatbare stroom door de drukknop: 0.1 A),
- één drukknop of bedieningsschakelaar wordt gebruikt om een aantal kleppen te schakelen,
- Er zijn uitgebreide logische bewerkingen nodig tussen de signalen van de verschillende drukknoppen.

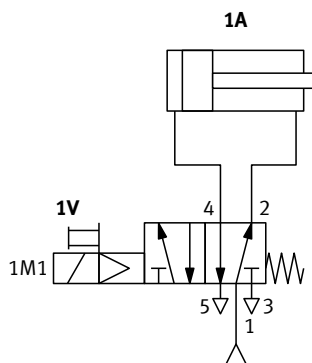
8.1.3 Besturing van een dubbelwerkende cilinder

De zuigerstang van een dubbelwerkende cilinder moet uitgaan wanneer de drukknop S1 wordt bediend en teruggaan wanneer de drukknop wordt losgelaten.

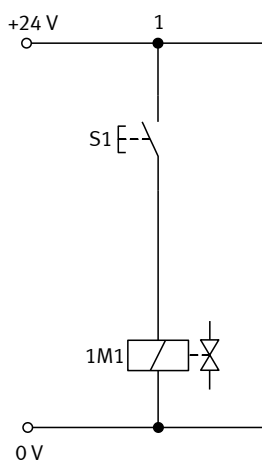
a)



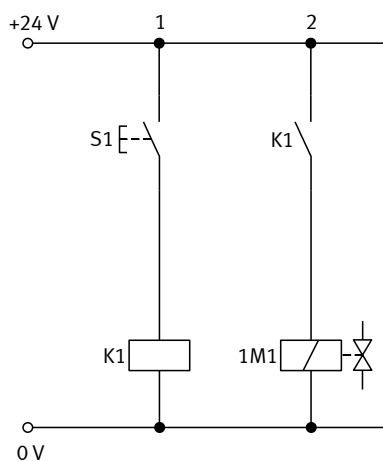
b)



c)



d)



a) Pneumatisch schakelschema met 4/2 stuurventiel

b) Pneumatisch schakelschema met 5/2 stuurventiel

c) Elektrisch schakelschema met directe besturing

d) Elektrisch schakelschema met indirecte besturing

Afbeelding 8.2: Schakelschema's voor aansturing van een dubbelwerkende cilinder

Het elektrische schakelschema blijft ongewijzigd ten opzichte van het aansturing voor de enkelwerkende cilinder. Aangezien twee cilinderkamers moeten worden ontlast en belucht, wordt een 4/2 stuurventiel of een 5/2 stuurventiel gebruikt (respectievelijk afbeelding 8.2a en 8.2b).

De aanduiding 4/2 of 5/2 geeft het aantal aansluitpoorten (4 of 5) en schakelposities (2) aan die het ventiel heeft.

8.2 Logische functies met relais

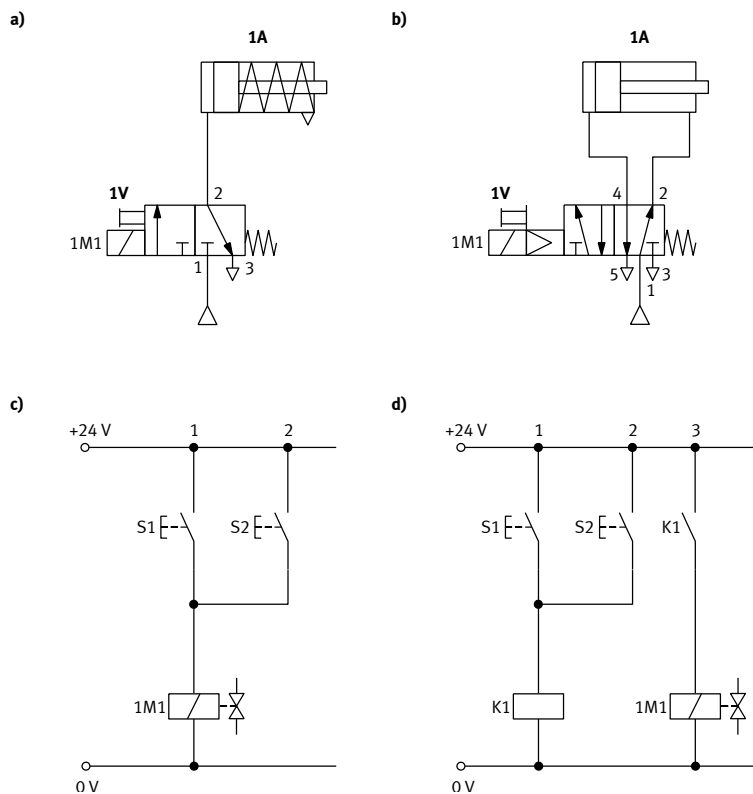
Signalen van verschillende besturingscomponenten moeten vaak worden gecombineerd om de voor een toepassing vereiste pneumatische cilinderbewegingen te realiseren.

8.2.1 Parallelschakeling (OF-functie)

Het uitgaan van een zuigerstang moet worden geactiveerd met behulp van een van de twee onafhankelijke ingangscomponenten, de drukknoppen S1 en S2.

Daartoe zijn de contacten van de twee drukknoppen in het schakelschema parallel geschakeld (figuren 8.3c en 8.3d).

- Zolang geen van beide drukknoppen wordt bediend ($S1 \wedge S2 = 0$), blijft het stuurventiel in zijn normale stand. De zuigerstang is ingegaan.
- Indien tenminste één van de beide drukknoppen wordt bediend ($S1 \vee S2 = 1$), dan schakelt het stuurventiel in de geactiveerde stand. De zuigerstang gaat uit.
- Als beide drukknoppen worden losgelaten en dus geopend ($S1 \wedge S2 = 0$), schakelt het stuurventiel over naar de ruststand. De zuigerstang gaat in.



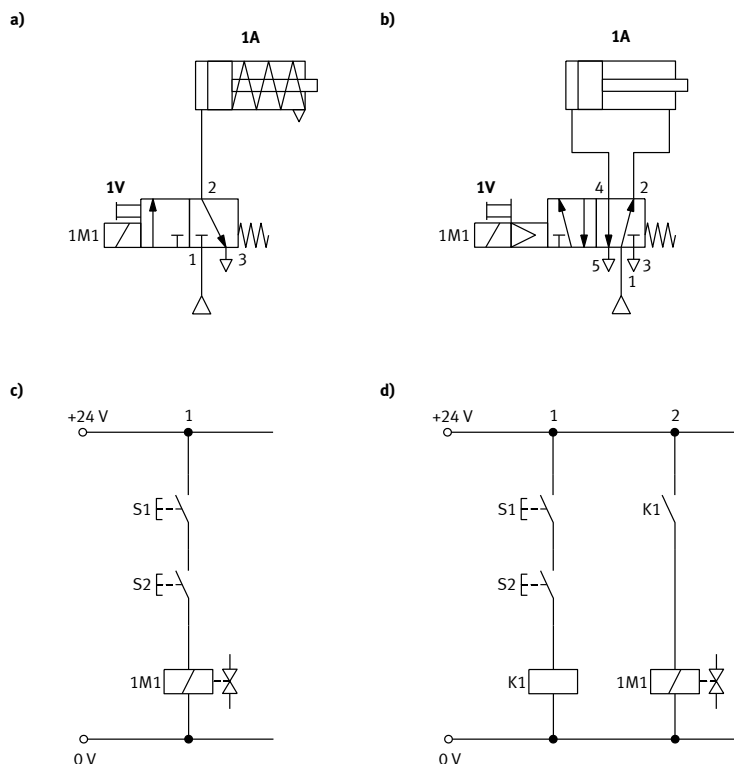
- a) Pneumatisch schakelschema met enkelwerkende cilinder
 b) Pneumatisch schakelschema met dubbelwerkende cilinder
 c) Elektrisch schakelschema met directe besturing
 d) Elektrisch schakelschema met indirecte besturing

Afbeelding 8.3: Parallelschakeling van twee contacten (OF-functie)

8.2.2 Serieschakeling (EN-functie)

De zuigerstang van een cilinder gaat alleen vooruit als de twee drukknoppen S1 en S2 worden bediend. Daartoe zijn de contacten van de twee drukknoppen in het schakelschema in serie geplaatst (figuren 8.4c en 8.4d).

- Zolang geen van beide drukknoppen of slechts één van de twee drukknoppen wordt bediend ($S1 \vee S2 = 0$), blijft het stuurventiel in zijn ruststand. De zuigerstang is ingegaan.
- Indien beide drukknoppen gelijktijdig worden bediend ($S1 \wedge S2 = 1$), schakelt het stuurventiel. De zuigerstang gaat uit.
- Als ten minste één van de twee drukknoppen wordt losgelaten ($S1 \vee S2 = 0$), schakelt het stuurventiel over naar de ruststand. De zuigerstang gaat in.



- a) Pneumatisch schakelschema met enkelwerkende cilinder
 b) Pneumatisch schakelschema met dubbelwerkende cilinder
 c) Elektrisch schakelschema met directe besturing
 d) Elektrisch schakelschema met indirecte besturing

Afbeelding 8.4: Serieschakeling van twee contacten (EN-functie)

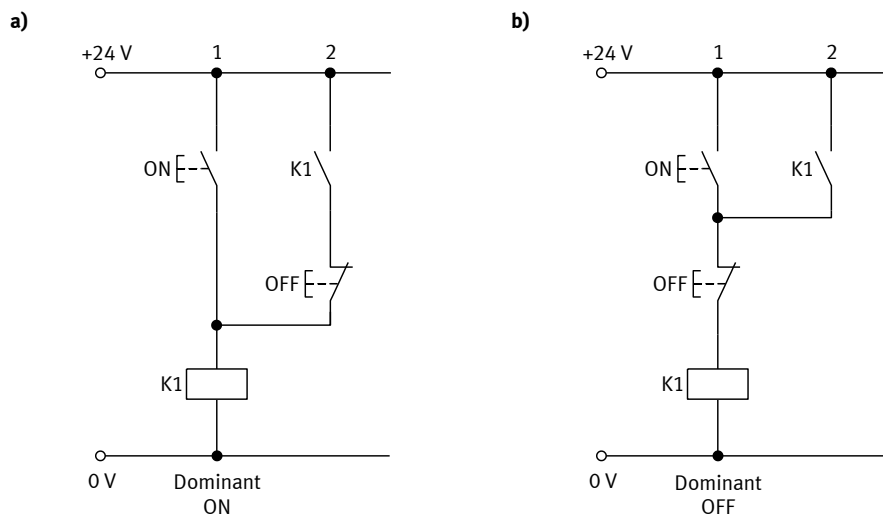
8.3 Signaalopslag met relais

In het geval van de tot nu toe besproken schakelingen gaat de zuigerstang alleen vooruit zolang de ingangsdrukknop wordt bediend. Als de drukknop tijdens het uitgaan wordt losgelaten, schuift de zuigerstang zich terug zonder de eindpositie voor het vooruitgaan te hebben bereikt.

8.3.1 Signaalopslag door middel van een relaisschakeling met houdschakeling

Om redenen van doelmatigheid is het algemeen gebruikelijk dat de zuigerstang volledig moet uitgaan, ook al bedient de bediener de drukknop slechts kort. Daartoe moet het stuurventiel ook na het loslaten van de drukknop in deze stand blijven staan, d.w.z. dat de bediening van de drukknop moet worden opgeslagen.

Wanneer de "ON" drukknop in de schakeling van afbeelding 8.5a wordt bediend, wordt de relaisspoel bekrachtigd. Het relais trekt aan en het contact K1 sluit. Nadat de "ON" drukknop is losgelaten, blijft er stroom door de spoel lopen via het contact K1 en blijft het relais in de geactiveerde stand staan. Het "ON" - signaal wordt opgeslagen. De schakeling is een relaisschakeling met overneemcontact.



a) Set is dominant

b) Reset is dominant

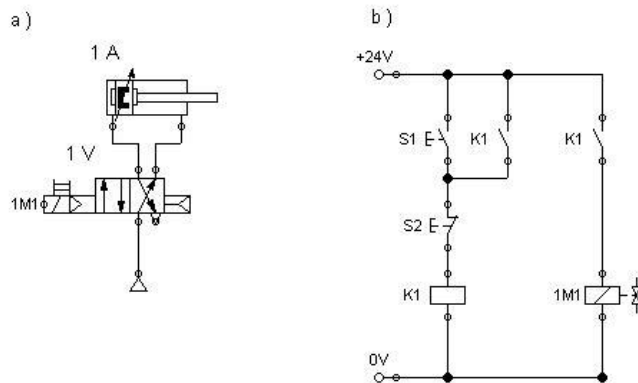
Afbeelding 8.5: Houdschakeling (relais met overneemcontact)

Alleen door het bedienen van de "OFF" toets wordt de stroom onderbroken en valt het relais af. Indien de "ON" en "OFF" drukknoppen gelijktijdig worden bediend, wordt de relaisspoel bekrachtigd. Deze schakeling wordt een dominant (ON) houdschakeling genoemd.

De schakeling in afbeelding 8.5b vertoont hetzelfde gedrag als de schakeling in afbeelding 8.5a, mits alleen de "ON" drukknop of alleen de "OFF" drukknop wordt bediend. Het gedrag verschilt als beide drukknoppen worden bediend: de relaisspoel wordt dan niet bekrachtigd. Deze schakeling wordt een dominant resettende houdschakeling genoemd.

8.3.2 Handmatige bediening van de uit- en ingaande slag met relais met houdschakeling

De zuigerstang van een cilinder moet uitgaan wanneer drukknop S1 wordt bediend en ingaan wanneer drukknop S2 wordt bediend. Een relais met houdschakeling moet worden gebruikt om het signaal op te slaan.



a) Pneumatisch schakelschema met dubbelwerkende cilinder

b) Elektrisch schakelschema

Afbeelding 8.6: Handmatige bediening van de uit- en ingaande slag met signaalopslag door middel van een overneemcontact

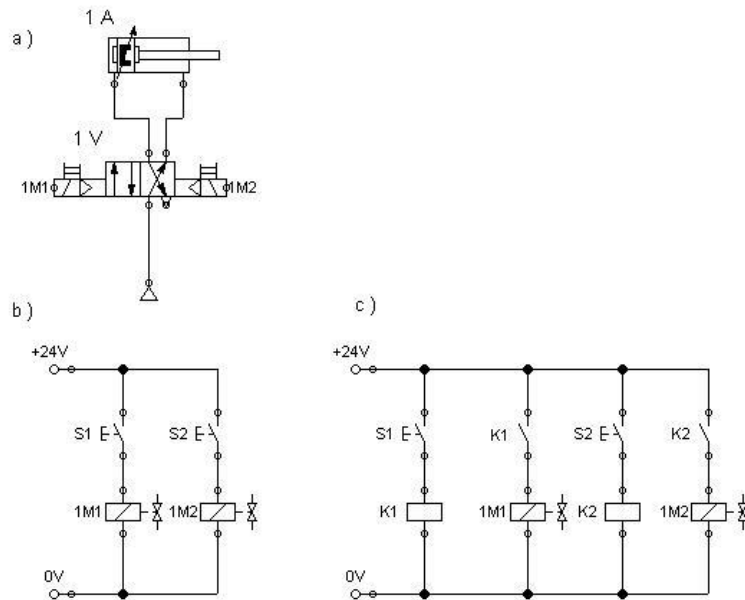
Wanneer drukknop S1 wordt bediend, schakelt het relais in het overneemcontact (afbeelding 8.6b). Het stuurventiel wordt via een tweede relaiscontact bediend. De zuigerstang gaat uit. Als de houdschakeling wordt onderbroken door het bedienen van drukknop S2, gaat de zuigerstang in.

Aangezien het circuit een dominant reset-houdschakeling is, heeft het indrukken van de twee drukknoppen tot gevolg dat de zuigerstang ingaat of in de ingegane eindstand blijft.

8.3.3 Signaalopslag door middel van een bistabiel ventiel (twee magneetspoelen)

Een bistabiel magneetventiel is een component dat zijn schakelpositie behoudt, zelfs als de bijbehorende magneetspoel niet meer bekrachtigd is. Dit betekent dat het de functie van een geheugen kan vervullen.

De zuigerstang van een cilinder moet worden bediend door twee drukknoppen kort in te drukken (S1: zuigerstang gaat uit, S2: zuigerstang gaat in).



- a) Pneumatisch schakelschema met dubbelwerkende cilinder
- b) Elektrisch schakelschema met directe besturing
- c) Elektrisch schakelschema met indirecte besturing

Afbeelding 8.7: Handmatige besturing van de uitgaande- en ingaande slag met signaalopslag door middel van een bistabiel magneetventiel

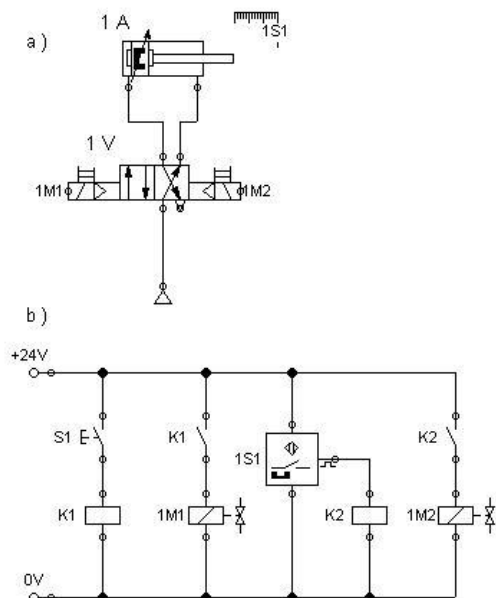
De twee drukknoppen werken direct of indirect in op de spoelen van een bistabiel magneetventiel (respectievelijk afbeelding 8.7b en 8.7c).

Door het bedienen van de drukknop S1 wordt een aantrekkingskracht uitgeoefend op de magneetspoel 1M1. Het bistabiel magneetventiel schakelt en de zuigerstang gaat uit. Als de drukknop tijdens het uitgaan wordt losgelaten, blijft de zuigerstang naar de eindpositie bewegen, omdat het ventiel zijn schakelpositie behoudt.

Door het bedienen van de drukknop S2 wordt een aantrekkingskracht uitgeoefend op de magneetspoel 1M2. Het bistabiele magneetventiel schakelt weer en de zuigerstang gaat in. Het loslaten van drukknop S2 heeft geen effect op de beweging.

8.3.4 Automatische retourslagregeling met een bistabiel ventiel

De zuigerstang van een dubbelwerkende cilinder moet bij bediening van de drukknop S1 uitgaan. Nadat de zuigerstang de uitgaande eindstand heeft bereikt, moet hij automatisch weer ingaan. Daartoe is in de uitgaande eindstand een magnetische naderingssensor S1 gemonteerd die via het relais K2 het stuurventiel aanstuurt (omkeert). Afbeelding 8.6b toont het schakelschema voor het ingaande slag. De zuigerstang gaat uit wanneer de drukknop S1 wordt bediend. Bereikt de zuigerstang de eindstand, dan voorziet 1S1 een relais spoel K1 van stroom, het contact K1 sluit en voorziet magneetspoel 1M2 van stroom waardoor deze aantrekt, het ventiel omschakelt en de zuigerstang weer in gaat.



a) Pneumatisch schakelschema

b) Elektrisch schakelschema met indirecte besturing

Afbeelding 8.8: Automatische retourslag met signaalopslag door middel van een bistabiel magneetventiel

8.3.5 Vergelijking van signaalopslag d.m.v. een houdschakeling en bistabiele magneetventielen

Signaalopslag kan plaatsvinden in het vermogensdeel van de besturing door middel van een bistabiel magneetventiel of in het signaalbesturingsdeel door middel van een relais met houdschakeling. Deze verschillende schakelingen gedragen zich verschillend in geval van gelijktijdige instel- en resetsignalen, alsmede in geval van stroomuitval of defect zoals bijvoorbeeld een draadbreek (tabel 8.1).

Situatie	Signaalopslag door middel van een bistabiel magneetventiel	Signaalopslag door middel van een elektrische houdschakeling gecombineerd met een monostabiel (veerretour) magneetventiel.	
		Set dominant	Reset dominant
Set en reset signalen tegelijkertijd	Ventielstand blijft ongewijzigd	Het ventiel wordt bediend	Het ventiel schakelt naar de ruststand
Uitval van de elektrische stroomvoorziening	Ventielstand blijft ongewijzigd	Het ventiel gaat naar de ruststand	Het ventiel schakelt naar de ruststand

Tabel 8.1: Vergelijking van signaalopslag door middel van een houdschakeling en een bistabiel magneetventiel

8.4 Tijdvertraging met een relais

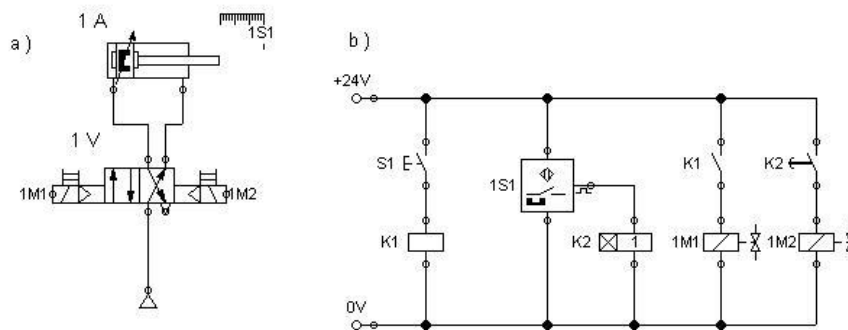
Veel toepassingen binnen de automatiseringstechniek vereisen dat de zuigerstang van een pneumatische cilinder gedurende een bepaalde tijd in één positie blijft. Een voorbeeld van een dergelijke toepassing is de aandrijving van een persinrichting die twee werkstukken op elkaar drukt totdat de lijm is uitgehard en beide delen stevig aan elkaar zijn geplakt.

Dergelijke taken maken gebruik van relais met een inschakel- of uitschakelvertraging. Dit zijn relais die een schakelhandeling kunnen activeren of onderbreken via een vooraf gedefinieerde tijdvertraging.

8.5 Aansturing van een cilinder via tijdsvertraging

De zuigerstang van een cilinder moet na het kort indrukken van drukknop S1 vooruitgaan, 10 seconden in de uitgaande eindstand blijven en dan automatisch teruggaan.

Afbeelding 8.9b toont het elektrisch schakelschema voor vertraagde ingaande slag. De zuigerstang gaat uit wanneer de drukknop S1 wordt bediend. Als de eindpositie is bereikt, geeft de naderingssensor 1S1 een positief signaal. Er loopt stroom door de spoel van het relais K2. Het contact K2 blijft open tot de ingestelde vertragingstijd (in dit geval 1 seconde) is verstreken. Daarna wordt het gesloten en gaat de zuigerstang in.



a) Pneumatisch schakelschema

b) Elektrisch schakelschema

Afbeelding 8.9: Vertraagde ingaande slag (relais met inschakelvertraging, opslag door middel van een bistabiel magneetventiel)

9 Programmeerbare Logische Controllers (PLC's)

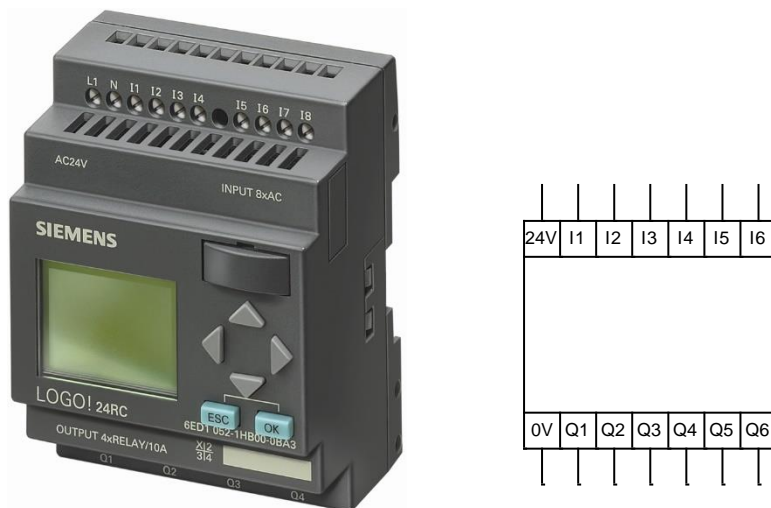
9.1 Algemene informatie

Tegenwoordig worden complexe besturingstaken voornamelijk uitgevoerd met behulp van programmeerbare logische controllers (PLC's). Bij dit type besturing wordt het programma niet gerealiseerd door het koppelen van afzonderlijke relais, maar met behulp van geschikte software. PLC's verwerken hoofdzakelijk binaire signalen.

Hun voordelen ten opzichte van verbindingsgeprogrammeerde besturingen zijn:

- minder logische bouwstenen in de software in plaats van veel relais,
- lagere aansluitkosten (bedrading)
- flexibeler als het gaat om het snel en effectief veranderen van de programma's,
- eenvoudiger storing zoeken
- veel kosteneffectiever.

Het MecLab® -leersysteem maakt gebruik van een PLC die in de FluidSIM® -software wordt gesimuleerd in plaats van een echte PLC. De programmering van deze PLC is in wezen gelijk aan die van een standaard PLC, zoals bijvoorbeeld de Siemens "LOGO!" -controller in afbeelding 9.1.



Afbeelding 9.1: Afbeelding van de "LOGO! PLC van Siemens en het bijbehorende symbool in FluidSIM®

9.2 Logische symbolen in de FluidSIM® besturingssoftware

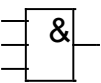
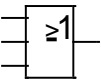
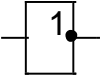
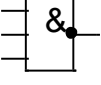
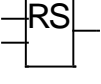
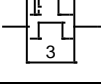
Het gebruik van PLC besturingen in een toepassing heeft alleen zin als hun sequenties precies op het juiste moment, op de juiste plaats en in de juiste volgorde plaatsvinden. Daarvoor is niet alleen betrouwbare hardware nodig, maar ook software die het mogelijk maakt complexe technische processen te plannen en te besturen en die een gebruikersinterface heeft die aan de internationale normen voldoet. De FluidSIM®-software voldoet aan deze eisen.

FluidSIM® biedt drie mogelijkheden om een regelsysteem te ontwikkelen:



- pneumatische schakelingen,
- elektrische schakelingen,
- logische schakelingen.

Al deze schakelingen kunnen met elkaar gecombineerd worden en de simulatiemodus maakt het mogelijk de functie van de schakeling te testen voor ze op de eigenlijke module gerealiseerd worden. Dit vooraf testen van de ontwikkelde oplossing op de computer betekent dat schade aan het technische systeem vermeden kan worden.

De volgende tabel geeft een overzicht van de belangrijkste logische symbolen die in FluidSIM® beschikbaar zijn.

Symbol	Benaming	Functie
	EN	Schakelt de uitgang naar 1 wanneer alle ingangen 1 zijn. Niet-toegewezen ingangen zijn altijd 1.
	OF	Schakelt de uitgang naar 1 wanneer ten minste één ingang 1 is. Niet-toegewezen ingangen zijn altijd 0.
	NEE	Zet de ingang om.
	NEE EN (NEN)	Schakelt de ingang naar 0 als alle ingangen 1 zijn. Niet-toegewezen ingangen zijn altijd 1.
	Vergrendelingselement	Schakelt de ingang op 1 wanneer de bovenste ingang op 1 wordt gezet. De uitgang wordt pas op 0 gezet wanneer de onderste ingang op 1 wordt gezet.
	In-/uitschakelvertraging	Wanneer de ingang op 1 wordt gezet, wordt de uitgang op 1 gezet nadat de eerste ingestelde tijd is verstreken en op 0 gezet nadat de tweede ingestelde tijd is verstreken.

Tabel 9.1: Logische symbolen in FluidSIM®

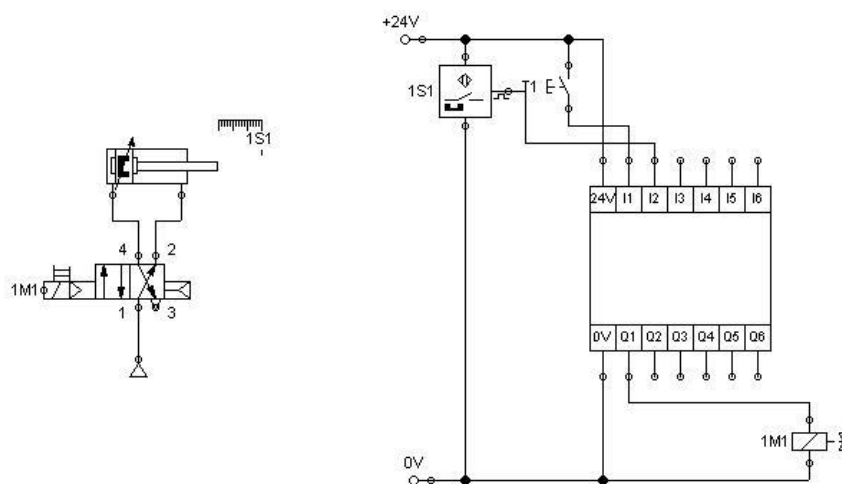
Symbol	Benaming	Functie
	Tijd vertragende klok	Na afloop van de inschakeltijd wordt de uitgang op 1 gezet en na afloop van de uitschakeltijd weer op 0. Dit proces kan worden herhaald.
	Etiket	De uitgang neemt de waarde van de ingang aan. Dit is nodig omdat sommige logische blokken niet kunnen worden verbonden met de uitgang van een ander logisch blok.
	Tegen	Telt hoe vaak de waarde 1 is toegepast op de middelste ingang. De uitgang wordt op 1 gezet nadat een vooraf ingesteld aantal telimpulsen is bereikt. De telrichting (vooruit/achteruit) kan worden ingesteld met de onderste ingang en de teller kan worden gereset met de bovenste ingang.

Tabel 9.1: Logische symbolen in FluidSIM® (vervolg)

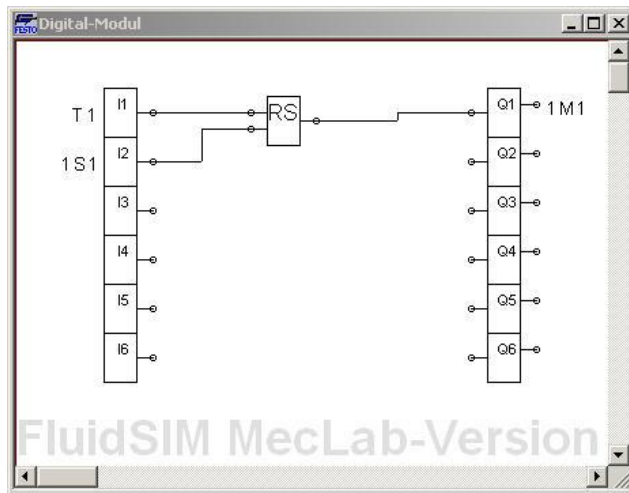
9.3 Combinatorische programmering met behulp van een PLC

9.3.1 Voorbeeld 1: houdschakeling

Afbeelding 9.2 toont een schakeling met dubbelwerkende cilinder en 4/2 monostabiel magneetventiel. Er moet een PLC-programma voor worden gemaakt dat de zuigerstang uit laat gaan wanneer een drukknop T1 wordt ingedrukt. De zuigerstang moet ingaan wanneer de voorwaartse eindpositie is bereikt. De uitgaande eindpositie wordt gedetecteerd met naderingssensor 1S1.



Afbeelding 9.2: Pneumatisch schakelschema met magneetventiel en naderingssensor



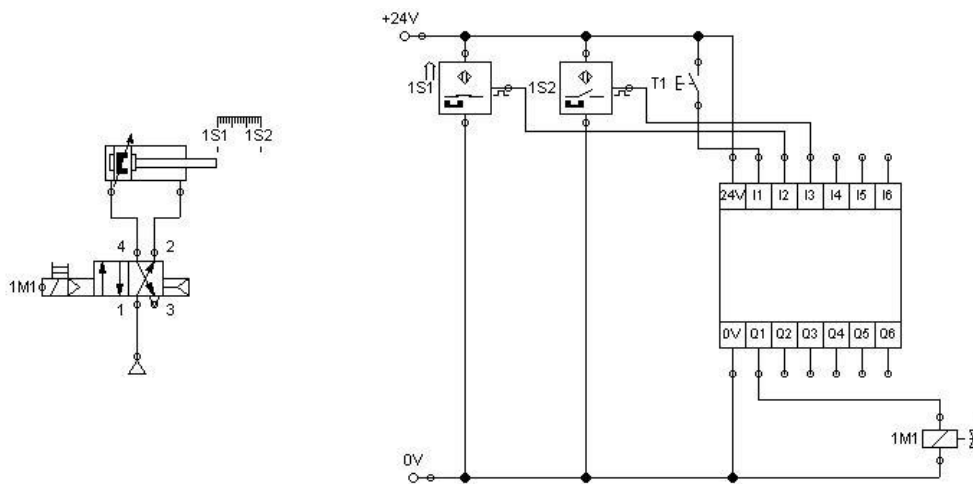
Afbeelding 9.3: PLC-programma voor Afbeelding 9.2

In afbeelding 9.3 is het bijbehorende PLC-programma weergegeven. De drukknop T1 is aangesloten op de ingang I1 van de PLC. Hierdoor wordt een geheugen geactiveerd dat het magneetventiel via 1M1 inschakelt die is aangesloten op de uitgang Q1 van de PLC.

Wanneer de zuigerstang van cilinder 1A (zie afbeelding 9.2) de eindstand bereikt, wordt de sensor 1S1, die met de ingang I2 van de PLC is verbonden, geactiveerd. Het geheugen en daarmee ook de uitgang Q1 worden gereset. Het ventiel keert terug naar zijn ruststand en de zuigerstang van de cilinder gaat in.

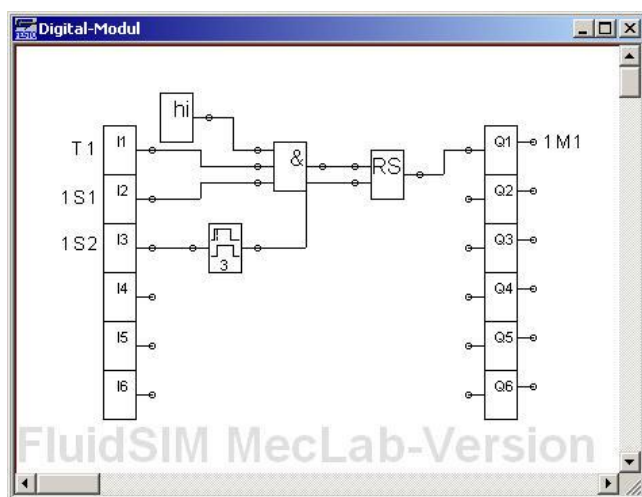
9.3.2 Voorbeeld 2: EN-functie, tijdvertraging

Afbeelding 9.4 toont een gewijzigde pneumatische schakeling. De cilinder is voorzien van twee naderingssensoren, één in de uitgaande eindstand en één in de ingaande eindstand. Er moet een programma worden ontwikkeld dat de zuigerstang van de cilinder vooruit laat gaan wanneer deze zich in de ingaande eindstand bevindt en de drukknop wordt bediend. De zuigerstang moet volledig uitgaan, precies 3 seconden in die positie blijven en dan weer ingaan.



Afbeelding 9.4: Cilinder met twee naderingssensoren

In afbeelding 9.5 is het bijbehorende PLC-programma weergegeven. De ingangen I1 en I2, waarop de startknop en de naderingssensor 1S1 zijn aangesloten, zijn met elkaar verbonden door middel van een EN-bewerking (het HI element zet ook de derde, ongebruikte ingang op waarde 1). Bevindt de zuigerstang van de cilinder zich in de ingaande eindstand en wordt de drukknop bediend, dan worden alle ingangen van de EN-bewerking op 1 gezet. De uitgang van de EN-bewerking alsmede de benodigde ingang van het vergrendelelement worden eveneens op 1 gezet en de zuigerstang van de cilinder gaat uit.

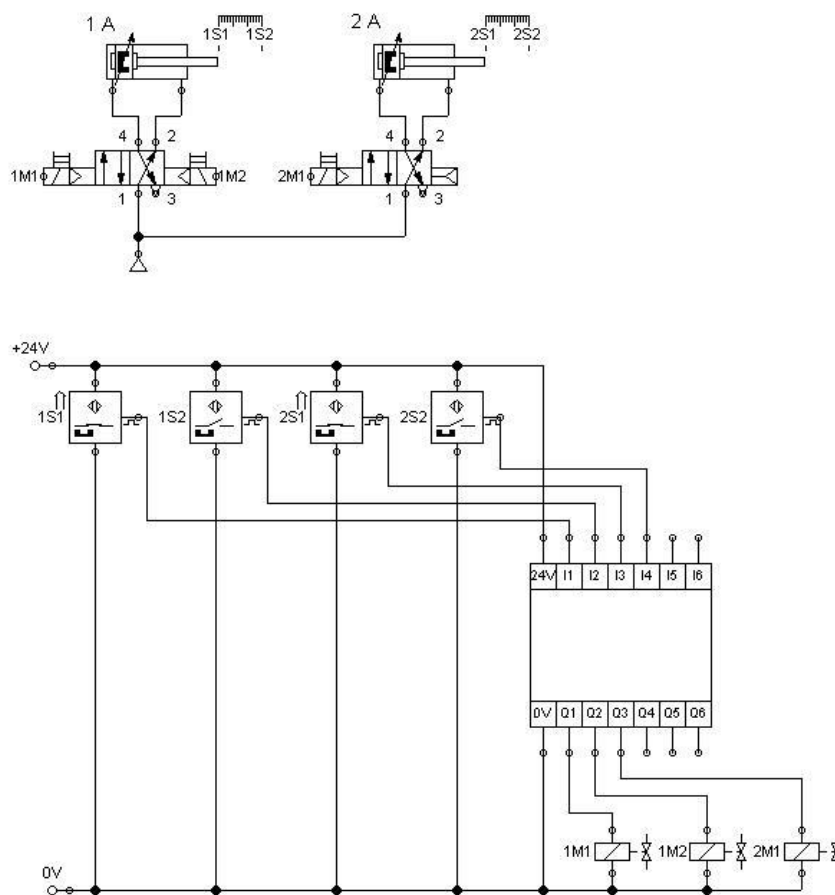


Afbeelding 9.5: PLC-programma voor afbeelding 9.4

Wanneer de zuigerstang van de cilinder zijn uitgaande eindpositie bereikt, wordt hierdoor de naderingssensor 1S2 geactiveerd, die de ingang van de tijdvertraging op 1 zet. De uitgang van het tijdvertraging wordt na afloop van de ingestelde vertragingstijd op 1 gezet, waardoor het vergrendelelement wordt gereset. Er wordt geen stroom meer gezet op de magneetspoel 1M1 en de zuigerstang van de cilinder gaat weer terug.

9.4 Sequentiële programmering met behulp van een PLC

De in het vorige hoofdstuk beschreven combinatorische besturingssystemen zijn toereikend voor eenvoudige besturingsproblemen. Wanneer echter bewerkingen moeten worden bestuurd waarbij complexe stappen in volgorde moeten worden uitgevoerd, is dit eenvoudige type programmering meestal niet meer toereikend. Voor deze toepassing werd de sequentiële programmering ontwikkeld. Bij sequentiële programmering is de uitvoering van een stap een voorwaarde voor de volgende stap. De verzamelde informatie wordt gebufferd via vergrendelingselementen.



Afbeelding 9.6: Schema met twee dubbelwerkende cilinders

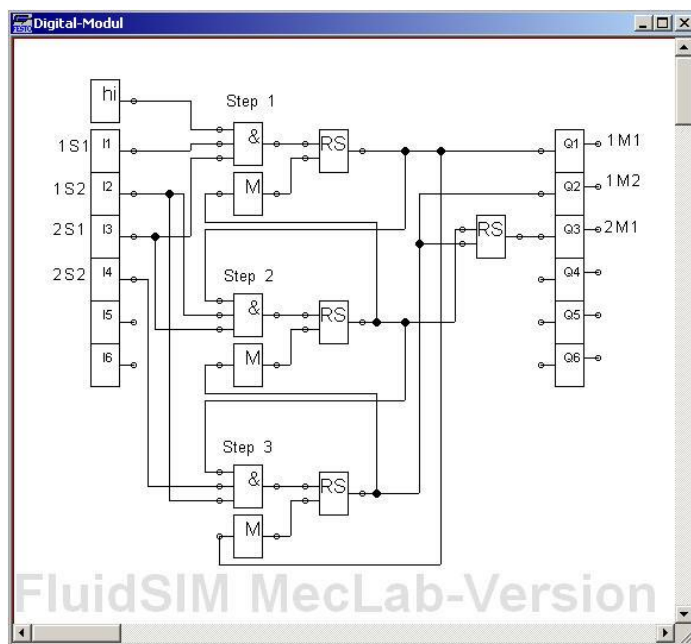
Afbeelding 9.6 toont een schakelschema voor twee cilinders met elk twee naderingssensoren voor het controleren van de eindstand.

Afbeelding 9.7 toont het bijbehorende PLC-programma. De volgorde kan als volgt worden beschreven:

- Wanneer de naderingssensoren 1S1 en 2S1 worden geactiveerd (beide zuigerstangen van de cilinders in hun uitgangspositie), wordt het geheugen via de EN-functie geactiveerd. Hierdoor wordt de magneetspoel 1M1 bekrachtigd en gaat de zuigerstang van de cilinder uit (stap 1).
- Zodra de zuigerstang van de cilinder 1A zijn voorwaartse eindpositie heeft bereikt, activeert de tweede EN-operatie het tweede vergrendelelement. Hierdoor wordt de magneetspoel 2M1 geactiveerd en gaat de zuigerstang van de cilinder 2A uit (stap 2).

Stap 2 kan echter alleen worden uitgevoerd als stap 1 is uitgevoerd, omdat de uitgang van het eerste geheugen is verbonden met een ingang van de EN-operatie van de tweede schakeling. Wanneer stap 2 wordt uitgevoerd, wordt stap 1 via het etiket gereset door het geheugen te resetten.

- Zodra stap 2 is uitgevoerd en beide zuigerstangen van de cilinders hun uitgaande eindpositie hebben bereikt, wordt stap 3 geactiveerd. Hierdoor wordt stap 2 gereset, de magneetspoel 1M2 geactiveerd en de magneetspoel 2M1 spanningsloos gemaakt. Beide zuigerstangen van de cilinders keren terug naar hun normale posities en de cyclus begint opnieuw.



Afbeelding 9.7: Sequentieel PLC programma

Merk op dat de uitvoering van elke stap een voorwaarde is voor de uitvoering van de volgende stap en de vorige stap terugzet. Met deze techniek kan in principe een willekeurig aantal reeksen worden gecombineerd, waardoor zeer complexe bewerkingen mogelijk worden.

