

# DEEL A – THEORIE

<b>Hoofdstuk 1 : Veiligheid .....</b>	<b>3</b>
<b>Hoofdstuk 2 : Grondbeginselen .....</b>	<b>7</b>
2.1 Geschiedenis van de besturingstechniek .....	8
2.2 Signalen .....	9
2.2.1 Analoge signalen .....	9
2.2.2 Digitale signalen .....	9
2.2.3 Binair signaal .....	10
2.3 Regeling .....	11
2.3.1 Onderverdeling van een regeling .....	12
2.4 Besturing .....	14
2.4.1 Onderverdeling van de stuurketen .....	15
2.5 Energievormen voor aandrijvingen .....	19
2.5.1 Elektrische aandrijvingen .....	20
2.5.2 Hydraulische aandrijvingen .....	20
2.5.3 Pneumatische aandrijvingen .....	20
2.6 Energievormen voor besturingen .....	21
2.7 Besturingstypen .....	22
2.7.1 Volgsturing .....	23
2.7.2 Besturingen met geheugenelementen .....	24
2.7.3 Programmabesturingen .....	25
2.7.4 Wegafhankelijke programmabesturingen .....	26
2.7.5 Besturing door programma met terugmelding .....	26
2.8 Keuze van het besturingstype .....	27
2.8.1 Mogelijkheden voor het oplossen van schakelproblemen .....	27
<b>Hoofdstuk 3 : Pneumatische basisschakelingen .....</b>	<b>29</b>
3.1 Pneumatische basisschakelingen .....	32
3.1.1 Besturing van een enkelwerkende cilinder: .....	33
3.1.2 Besturen van van dubbelwerkende cilinder: .....	33
3.1.3 Indirecte besturing van een enkelwerkende cilinder .....	34
3.1.4 Indirecte besturing van een dubbelwerkende cilinder .....	35
3.1.5 Overneemerschakeling .....	36
3.2 Basisschakelingen voor snelheidsregeling .....	39
3.2.1 Beperking van de snelheid .....	39
3.2.2 Verhoging van de snelheid .....	43
3.2.3 Krachtbeheersing .....	44
3.2.4 Gesteuurde terugslagkleppen .....	44
3.3 Basisschakelingen in het besturingsgedeelte .....	45
3.3.1 OF-functie .....	45
3.3.2 EN-functie .....	47
3.3.3 Schakelingen met tijdfuncties .....	49
3.4 Diverse basisschakelingen .....	53
3.4.1 Tweedeler-besturingen met einstandsignalering .....	53
3.4.2 Tweedelerschakeling zonder eindstandsignalering .....	55
3.4.3 Tweedelerventielen .....	57
3.4.4 Schakeling voor een oscillerende beweging met een cilinder zonder eindstandsignalering .....	58
3.4.5 Methodes voor het onderdrukken en afschakelen van signalen .....	60
3.5 Basisschakelingen bij signaalgedeelte .....	64
3.5.1 Automatisch terugsturen van een dubbelwerkende .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.2 Repeterende beweging van een dubbelwerkende cilinder met stop in rust .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.5.3 Stapsgewijs bewegen van de zuigerstang van een dubbelwerkende cilinder ..	67
3.5.4 Einstandmelding met volgordeventiel .....	68

3.5.5	69
3.6 Pneumatische sensoren	70
3.6.1 Reflexoog	70
3.6.2 Luchtpoort	70
3.6.3 Samenvatting	73
<b>Hoofdstuk 4 : Het bewegingsdiagram</b>	<b>76</b>
4.1 Formulering van het probleem en het vastleggen van de condities	78
4.1.1 Soort handeling en bewegingsvolgorde in processymbolen	78
4.1.2 Nevencondities	79
4.2 Arbeidsenergie, arbeidselementen	80
4.3 Situatieschets	81
4.3.1 Bepalen bewegingsvolgorde	81
4.4 Het bewegingsdiagram	83
4.4.1 FASE 1 : Tekenen van het bewegingsgedeelte	84
4.4.2 FASE 2 : Tekenen van het signaalgedeelte	89
4.4.3 FASE 3 : Tekenen van het commandogedeelte	92
4.4.4 FASE 4 : Bepalen van de signaalcombinatie	94
4.4.5 FASE 5 : Controle en eventueel inkorten van commando's	96
4.4.6 Het tekenen van pneumatische schema's	97
4.4.7 Opbouw van het schema	104
4.4.8 Het tekenen van mechanisch bediende ventielen	105
4.4.9 Volgorde voor het tekenen van het schema	105
4.4.10 Het ontwerpen van wegafhankelijke programmabesturingen	106
4.5 Tekenen van het schema	107
4.5.1 Tenslotte	108
4.5.2 Rangschikken	110
<b>Hoofdstuk 5 : Stappenschakeling</b>	<b>115</b>
5.1 Ontwerpen van een stappenbesturing	116
5.1.1 Sequential Function Diagram (SFC)	116
5.1.2 Voordelen van het ontwerpen met een SFC	118
5.1.3 Vertakkingen	120
5.2 Voorbeeld van het ontwerpen van een besturing	124
<b>Hoofdstuk 6 : Cascade methode</b>	<b>129</b>
6.1 Het opsplitsen van het stuurcircuit (cascademethode)	130
6.2 Werkwijze voorafgaand aan het tekenen van een schema volgens de cascademethode	132
6.2.1 Voorbeeld van een stempelmachine	135
6.2.2 Probleemstelling	139
6.3 Schema's voor volgsturingen	141
6.3.2 Schakelingen voor besturingen met geheugens	144
6.3.3 Schema's voor tijdafhankelijke programmabesturingen	146

## HOOFDSTUK 1 : VEILIGHEID

Veiligheid in combinatie met elektropneumatiek is vastgelegd in de machinerichtlijn en de laagspanningsrichtlijn. Vanuit de machinerichtlijn zijn we verplicht een risicoanalyse uit te voeren. Het resultaat van de risicoanalyse is bepalend voor de categorie noodstop die in het systeem moet worden toegepast. Tevens kunnen we hieruit een aantal gegevens halen om veiligheid te integreren in het ontwerp. De elektrische kant van de ontworpen besturing moet aan de laagspanningsrichtlijn voldoen. In de verschillende richtlijnen staat dat we een vermoeden van overeenstemming hebben wanneer we de geldende normen toepassen.

Een overzicht van veel toegepaste normen, die gerelateerd zijn aan de machinerichtlijn en de laagspanningsrichtlijn:

NEN EN 292-1	Veiligheid van machines Basisbegrippen, algemene ontwerpbeginselen Deel 1: Basisterminologie, methodologie
NEN EN 292-2	Veiligheid van machines Basisbegrippen, algemene ontwerpbeginselen Deel 2: Technische beginselen en beschrijvingen
NEN EN 418	Veiligheid van machines Noodstopvoorzieningen, functionele aspecten ontwerpbeginselen
NEN EN 574	Veiligheid machines Tweehandenbediening Functionele aspecten Grondslagen voor het ontwerp
NEN EN 983	Veiligheid machines Veiligheidseisen voor hydraulische en pneumatische systemen en hun onderdelen Pneumatiek
NEN ISO 4414	Pneumatiek: Algemene regels voor systemen
NEN EN 1050	Veiligheid van machines Principes voor de risicobeoordeling
NEN EN 60204-1	Veiligheid machines Elektrische uitrusting van machines

NEN EN 50110-1      Bedrijfsvoering van elektrische installaties: Algemene bepalingen

NEN 3140              Bedrijfsvoering van elektrische installaties: Aanvullende Nederlandse bepalingen voor laagspanningsinstallaties

Wanneer in de leeromgeving diverse componenten worden gecombineerd met het doel inzicht in de werking te krijgen, is ook de machinerichtlijn van kracht. In de verschillende richtlijnen staat vermeld dat we een inspanningsplicht hebben. Dit betekent dat u in ieder geval moet zorgen voor een zo veilig mogelijke omgeving tijdens het werken aan en met leermiddelen.



## HOOFDSTUK 2 : GRONDBEGINSELEN

## 2.1 Geschiedenis van de besturingstechniek

De betekenis van de besturing- en regeltechniek voor de moderne industrie behoeft hier geen betoog. Zonder deze zou de stand van de techniek, die wij nu bereikt hebben, ondenkbaar zijn. Geen enkele tak van de industrie kan het meer zonder regelingen of besturingen stellen.

Een voortdurende, vaak stormachtige ontwikkeling op deze gebieden, was en zal ook wel in de toekomst een noodgedwongen gevolg van deze noodzakelijkheid zijn. In dit kader zullen niet alleen volstrekt nieuwe systemen en apparaten op de markt komen, bestaande elementen en systemen verbeterd en uitgebreid, maar zullen ook de bestaande normen en voorschriften steeds weer aangevuld, veranderd of zelfs geheel herzien moeten worden. Ter bevordering van de communicatie tussen allen die zich bezighouden met de besturingstechniek, is het noodzakelijk dat we ons bedienen van algemeen geldende begrippen die voor iedereen dezelfde inhoud hebben. In verband met deze eis is in deel A van dit boek een poging ondernomen een overzicht te geven van de nu geldende begrippen in besturing- en regeltechniek. Het behandelen van basisbegrippen van de regeltechniek wordt noodzakelijk, omdat beide gebieden toch wel veel gemeenschappelijks hebben, vooral begrippen en benamingen, en elkaar meer en meer overlappen. Dit maakt echter ook een exacte afbakening noodzakelijk, die in de paragrafen 2.3 en 2.4 te vinden is. De hier behandelde basis van de besturingstechniek is als regerend voor het gehele vakgebied te verstaan, dus onafhankelijk van het gebruikte medium.

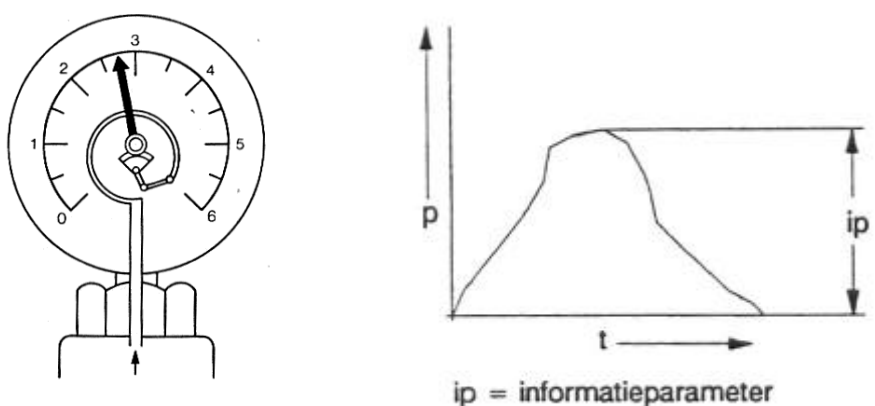


## 2.2 Signalen

Een signaal is de weergave van informatie. Deze weergave vindt plaats door de waarde van een fysische grootte of de verandering daarvan. Deze weergave kan betrekking hebben op overdracht, verwerking of opslag van informatie.

### 2.2.1 Analoge signalen

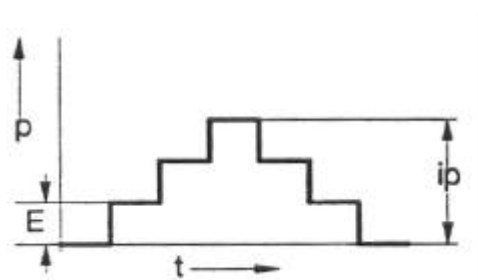
Dit zijn signalen, waarbij aan een continu waardebereik van de signaalparameter punt voor punt verschillende informatie toegekend wordt. Figuur 2.1 laat in een grafiek de drukdaling ( $P$ ) van een manometer zien, gemeten gedurende een bepaalde tijd ( $t$ ).



Figuur 2.1 :  
Analoog signaal.

### 2.2.2 Digitale signalen

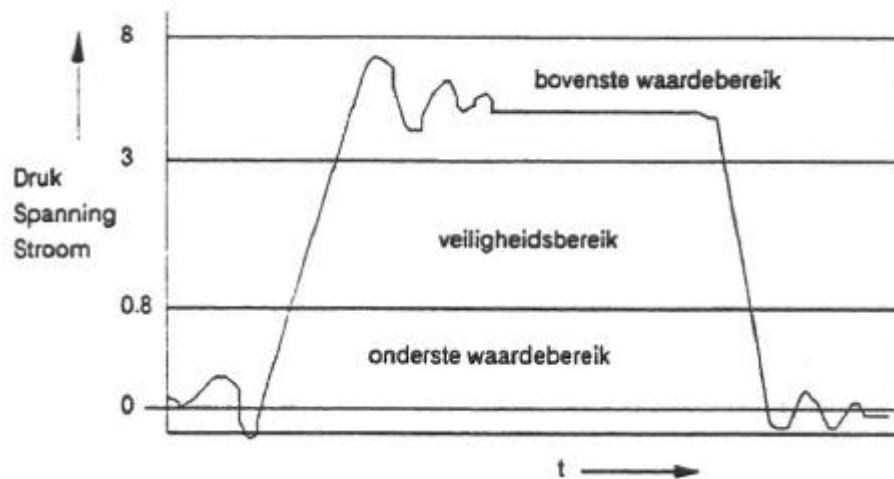
Dit zijn signalen met een eindig aantal van waardebereiken van de signaalparameters, waarbij aan elk waardebereik in zijn geheel een bepaalde informatie parameter ( $ip$ , zie figuur 2.2) toegekend is. Het digitale signaal is opgebouwd uit vaste stapgrootten ( $E$ ) en kan bijvoorbeeld een analoog signaal zijn dat is omgezet naar digitaal, A/C converter.



Figuur 2.2 :  
Digitaal signaal.

## 2.2.3 Binair signaal.

Een binair signaal (tweepuntsignaal) is een digitaal signaal van één parameter met maar twee waardebereiken van de signaalparameter. Dit signaal heeft dus maar twee informaties, b.v. JA - NIET, AANWEZIG – AFWEZIG, "1" of "0".



Figuur 2.3 :  
Opbouw binair signaal.

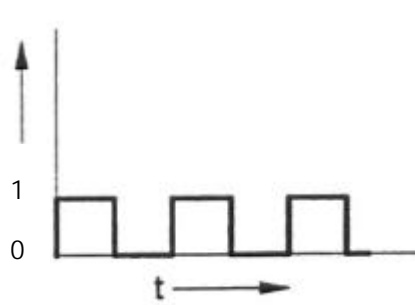
Om overlappings te voorkomen, moet tussen de twee waarde bereiken een voldoende grote veiligheidszone liggen, zo krijg je bijvoorbeeld:

0 - signaal 0 - 0,8 V,

1 - signaal 3 - 8 V.

Binnen het bovenste waardebereik kan de signaalwaarde (b.v. druk) schommelen, hij wordt toch als 1 herkend. Hetzelfde geldt voor het onderste waardebereik. Zo wordt een zekere stoorveiligheid bereikt.

De signaalwaarde moet dus of in het onderste of in het bovenste waardebereik liggen; wanneer deze in de veiligheidszone zou liggen (verboden gebied), zou b.v. aan een ventiel een indifferente stand ontstaan, wat tot foute schakelingen kan leiden. Beide standen 0 en 1 zijn gelijkwaardig.



Figuur 2.4 :  
Binair signaal

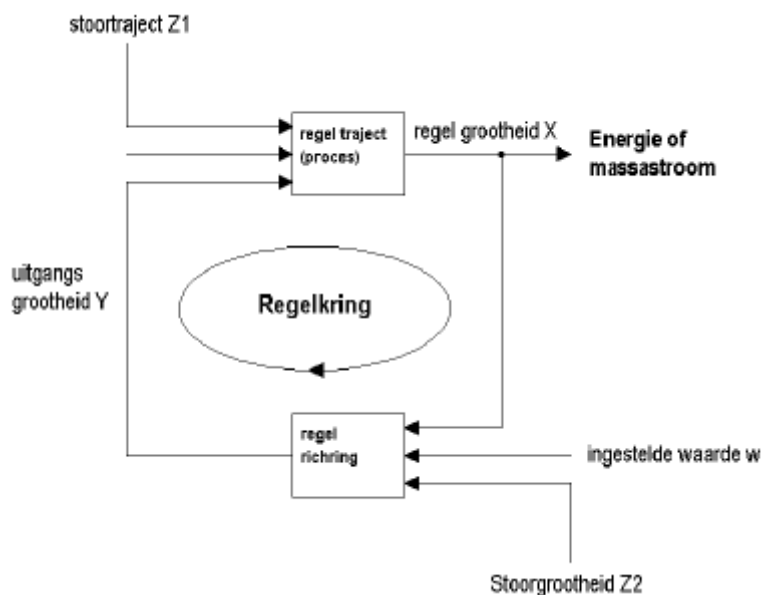
## 2.3 Regeling

De meet- en regeltechniek is hoofdzakelijk gebaseerd op analoge signalen, bijvoorbeeld het meten van druk, temperatuur, luchtvochtigheid, enz. Het begrip "regeling" wordt als volgt gedefinieerd:

*"Het regelen - de regeling - is een proces, waarin een voortdurend gemeten grootheid, de te regelen grootheid (regelgrootheid) met een andere grootheid, de ingestelde waarde, wordt vergeleken en afhankelijk van het resultaat van deze vergelijking zodanig wordt beïnvloed dat ze aangepast wordt aan de ingestelde waarde. De hiermee samenhangende werking speelt zich in een gesloten kring, de regelkring, af. De regeling heeft tot taak ondanks storende invloeden de waarde van de regelgrootheid aan de ingestelde waarde gelijk te maken, ook al is deze gelijkmaking in het kader van de gegeven mogelijkheden onvolkomen".*

Ook bij de regeling grijpt de uitgang van de regelinrichting in een energie- of massastroom in. De ingangsgrootheid wordt hier echter gevormd uit de vergelijking van de te regelen grootheid met de ingestelde waarde (figuur 2.5).

We spreken hier van een "kring", de "regelkring" en bij een besturing (figuur 2.11) van een "kete", de "stuurketen". Uit dit essentiële verschil is ook het volgende feit te verklaren: Stoorgrootheden worden bij een regeling weggewerkt; bij een besturing werken ze ongehinderd door!



Figuur 2.5 :  
Schema van een regeling.

## 2.3.1 Onderverdeling van een regeling

Hieronder verstaan we de symbolische voorstelling van de functionele samenhangen tussen de signalen in een systeem of in een aantal elkaar beïnvloedende systemen.

De elementen van een blokschema zijn de volgende:

Blok en werkinglijn:

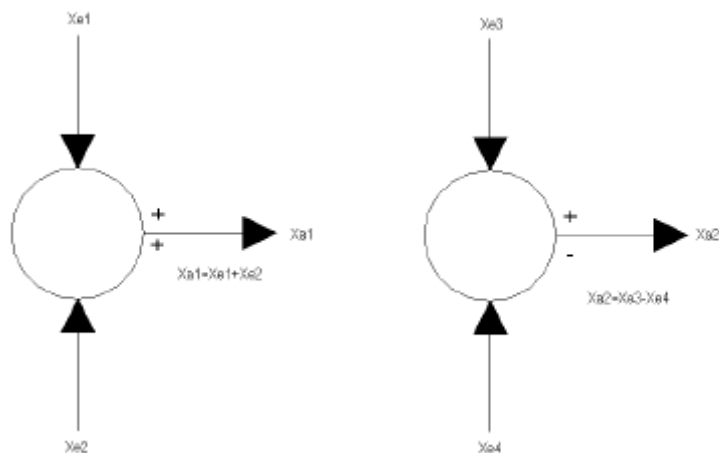
Een blok is een rechthoek ( fig. 2/6 ) waarmee wordt aangegeven dat de uitgangssignalen afhankelijk zijn van ingangssignalen. De werkinglijn (met pijl) dient voor de weergave van de signalen en hun werkingrichting.

*Figuur 2.6 :  
Blok en werkinglijn van een  
blokschema.*



In dit blok kunnen de functionele samenhangen tussen ingang- en uitgangssignalen ingeschreven worden voor zover deze samenhangen (karakteristiek, vergelijking e.d.) bekend zijn.

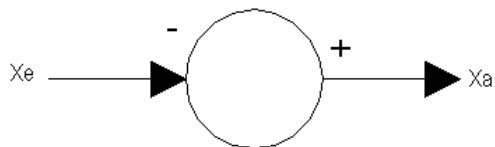
Knooppunten: Plaatsen waar signalen bijeenkomen of worden samengevoegd, worden door een cirkel voorgesteld, waarbij het passende teken ( + of - ) vermeld wordt ( figuur 2.7 ).



*Figuur 2.7 :  
Knooppunten in een  
blokschema.*

Omkering (inverse):

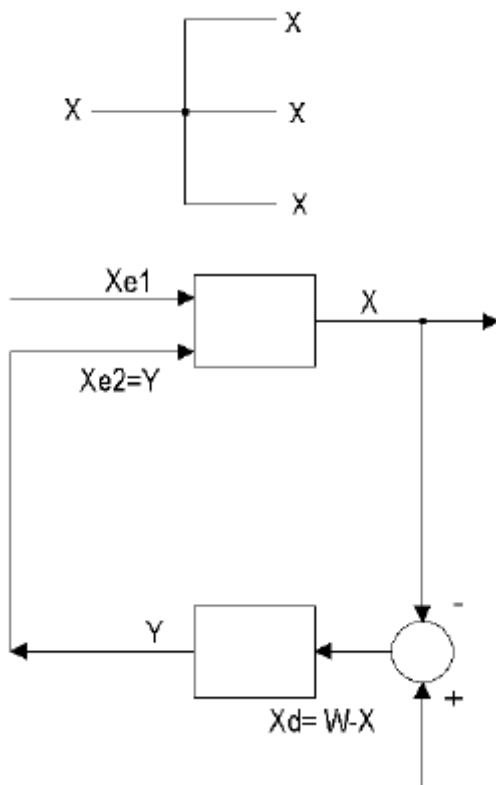
Een omkering van tekens kan worden weergegeven, zoals in figuur 2.8 is geschetst.



Figuur 2.8 :  
Knooppunten in een regeling.

Vertakking:

Op een vertakkingpunt splitst een werkinglijn zich in verscheidene takken waarbij het signaal in iedere tak in dezelfde grootte als voorheen doorgaat. Dit illustreert figuur 2.9. Het knooppunt van de takken wordt aangegeven met een vette punt (ongeveer drie keer zo dik als de werkinglijn).



Figuur 2.9 :  
Vertakking in een regeling.

Structuren:

Een blokschema kent de drie basisstructuren:

- kettingstructuur
- parallelstructuur
- kringstructuur
- Voorbeeld 3 (figuur 2.10)
- Voorstelling van een regelkring in een blokschema.

## 2.4 Besturing

De besturingstechniek werkt voornamelijk op digitale signalen, die op hun beurt weer vrijwel uitsluitend binaire signalen zijn. Deze binaire signalen hebben voor de informatieverwerking een bijzonder grote betekenis, omdat ze technisch zo eenvoudig en exact weer te geven en ook eenvoudig te verwerken zijn.

Deze binaire signalen hebben voor de informatieverwerking een bijzonder grote betekenis, omdat ze technisch zo eenvoudig en exact weer te geven en ook eenvoudig te verwerken zijn. In de praktijk is het nodig de twee waarde bereiken van binaire signalen duidelijk te scheiden. Tussen de twee waarde bereiken moet een voldoende grote, neutrale zone liggen om overlappingsen te voorkomen. Bijvoorbeeld: signaal 1: 4-8 bar; signaal 0: 0-0,5 bar. Het begrip "besturing" wordt door genoemde norm als volgt gedefinieerd:

"Inrichting voor het beïnvloeden van grote energieën door kleinere".

"Geheel van systemen, waarmee meestal automatisch, de verrichtingen van een machine of apparaat worden veranderd".

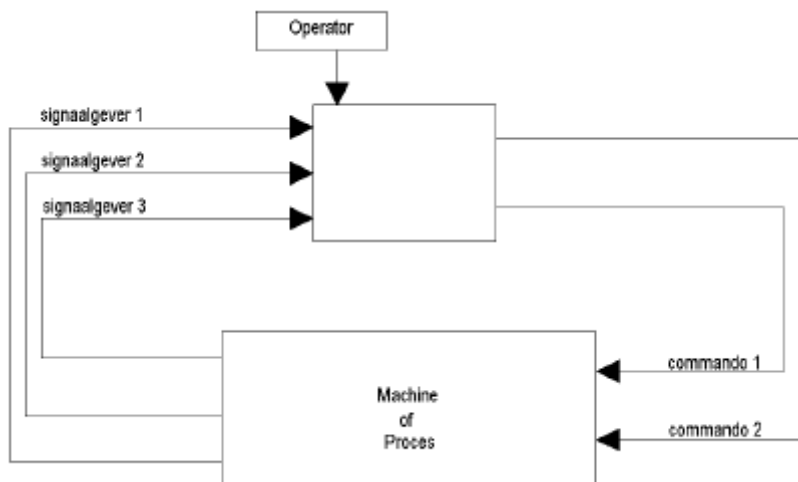
"Elementen en apparaten, die krachten of bewegingen op andere overbrengen, om daar het verloop van een werkfunctie te controleren, te registreren of een ander orgaan te bedienen".

"Ingrep in de materiaal- of energiestroom door een machine, die niet direct met de hand wordt bediend".

De norm zegt: Het begrip "besturing" wordt als volgt gedefinieerd:

"Het besturen - de besturing - is het proces in een systeem, waarbij een of meer grootheden, de ingangsgrootheden, andere grootheden, de uitgangsgrootheden, beïnvloeden, met een wetmatigheid die door het systeem is bepaald. Kenmerk van het besturen is het open verloop van de werking via een individueel overdrachtselement of via een stuurketen".

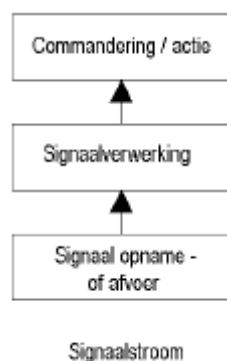
We kunnen een dergelijk systeem voorstellen als een gesloten rechthoek of blok (figuur 2.11). Links zijn de ingangsgrootheden de operators ( signaalgever 1, 2 en 3) die op het systeem inwerken, door pijlen voorgesteld. Deze ingangsgrootheden worden in de rechthoek verwerkt met het gevolg dat er uitgangsgrootheden (commando 1 en 2) worden afgegeven. Deze grijpen op de machine of het proces, waardoor nieuwe signaalgevers hun signaal afgeven. Stoorgrootheden worden in tegenstelling tot een regeling niet weggewerkt door de besturing.



Figuur 2.11 :  
Schema van een besturing

## 2.4.1 Onderverdeling van de stuurketen

In de voorgaande paragrafen werd de besturing als een gesloten blok voorgesteld. In de praktijk wordt dit blok in 3 onderdelen gesplitst, die elk een specifieke functie in de besturing hebben. (figuur 2.11 ). Bij schema's vinden we deze verdeling terug in de 3 stappen van de signaalstroom. Bij de componenten zien we een apparaat-technische indeling in 3 identieke groepen, waarbij het verschil vooral zit in de constructie. Hoewel een ingangselement dezelfde functie kan hebben als een verwerkingselement, is er een groot onderscheid in constructieve uitvoering, bepaald door de manier waarop een element toegepast wordt.



Figuur 2.12 :  
Opbouw van een besturing

De stuurketen wordt dus gekenmerkt door een signaal- of informatiestroom vanaf de signaalopname, via de signaalverwerking, naar de gang, waar de signalen de waarde van een bevel hebben en derhalve commando genoemd worden. Wat de apparatuur voor deze signaalstroom betreft, moeten er dus opnemers of signaalgevers, verwerkingsapparaten en uitvoeringsorganen aanwezig zijn.

Het is noodzakelijk op deze plaats enkele apparaattechnische begrippen te geven en te verklaren. Hieronder volgen enkele uitvoeringen die samenhangen met de apparaattechnische indeling:

Signaalgever: Eindschakelaar met nok- of rolbediening; aanrakingsvrije detectoren, zoals naderingsschakelaars, licht- of luchtpoorten en reflexogen; druktoetsen; handschakelaars; voetschakelaars; enz.

Signaalversterker: Element met hulpenergie voor de (alg. versterker) vermogensversterking van signalen (versterker, booster).

Signaalomzetter: Element dat een uitgangssignaal afgeeft dat een andere vorm heeft dan het ingangssignaal (drukschakelaar, D/A omvormer, A/D omvormer, elektrisch bediend ventiel).

Verwerkingselementen Elektronische halfgeleiderschakelingen: relais, stuurventielen, pneumatische, logische elementen, enz.

Hoofdschakelementen Magneetschakelaars, pneumatische- en hydraulische hoofdventielen, enz.

Aandrijfelementen: Elektromotoren, pneumatische en hydraulische cilinders en motoren, enz.

Een andere onderscheiding die we tussen besturingselementen kunnen maken is de volgende:

Besturingen zonder hulpenergie: De energie voor het bedienen van het hoofdstuurelement wordt door het ingangselement geleverd.

Besturingen met hulpenergie: De energie voor het bedienen van het hoofdstuurelement wordt geheel of gedeeltelijk door een hulpenergiebron geleverd.

Dan bestaat nog de mogelijkheid binnen een stuurketen met verschillende energieniveaus te werken en kan een onderscheid worden gemaakt tussen:

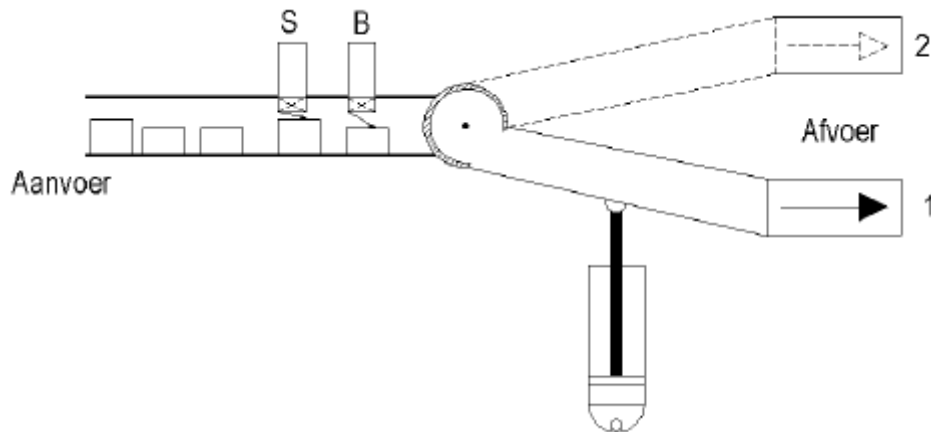
- arbeidsenergie en
- stuurenergie.

Met arbeidsenergie wordt de energie aangeduid, die voor de bediening van arbeidselementen nodig is. De stuurenergie dient voor de voeding van elementen voor signaalopname en -verwerking. Deze scheiding vereist wel, dat we elementen voor de signaalomzetting nodig hebben in de stuurketen. Dit zijn versterkers of omzeters al naar gelang de stuur- en arbeidsenergie wel of niet dezelfde vorm heeft.



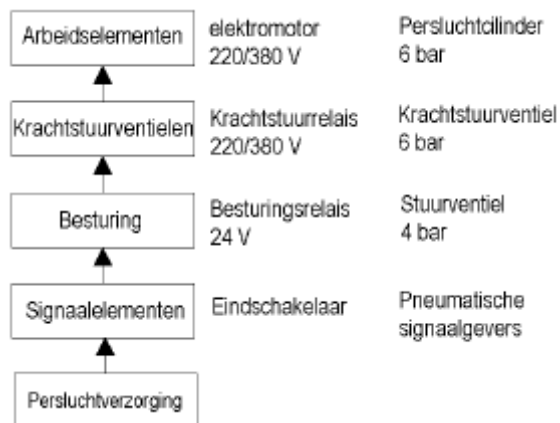
Voorbeeld 4:

Op een transportband komen onderdelen van twee verschillende hoogtes aan. Ze worden met voelers waargenomen en door middel van een wissel gesorteerd. Deze wissel kan door een pneumatische cilinder in twee standen gezet worden (figuur 2.13). De onderlinge afstand van de onderdelen is steeds zo groot, dat overlappings in de aftasting onmogelijk zijn.



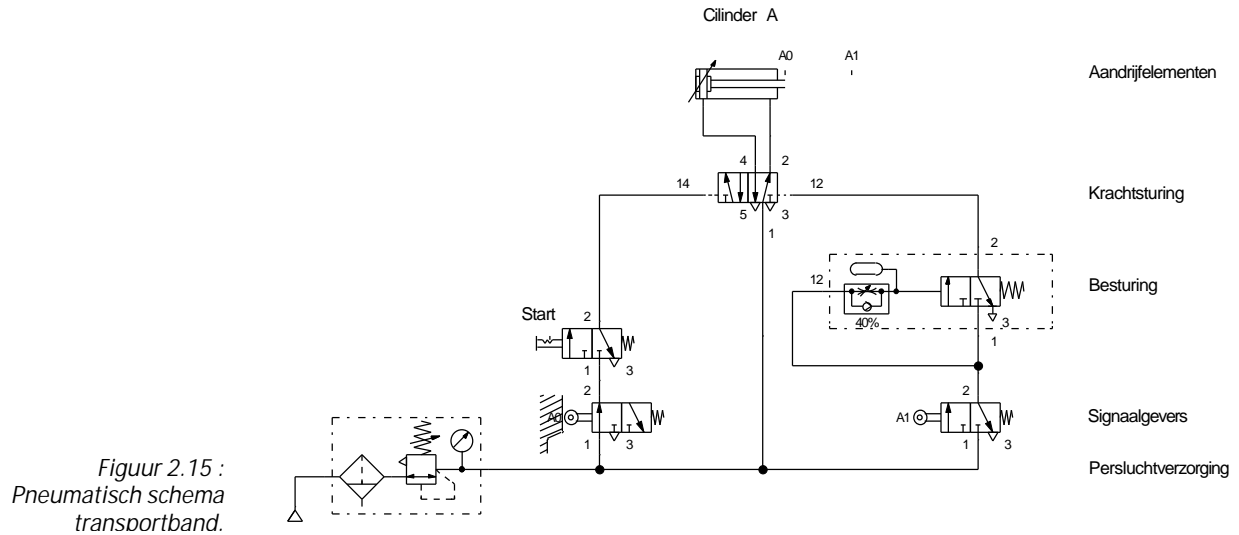
Figuur 2.13 :  
Situatieschets transportband.

Bij veel besturingen is geen vaste aanwijzing mogelijk van het element dat het aandrijfelement bestuurt (b.v. magneetschakelaar, die een elektromotor bestuurt of stuurventiel, dat een luchtcilinder bedient). Dan bestaat de mogelijkheid, om een gedeelte uit de totale besturing als een afzonderlijke deelbesturing te beschouwen.



Figuur 2.14:  
Oplossingsmogelijkheden  
elektrisch of pneumatisch voor  
de transportband.

In figuur 2.15 is het pneumatische schema weergegeven van een pneumatische oplossing. In dit geval kan het stuurtraject bestaan uit de luchtcilinder en het bijbehorende vermogensstuurventiel .



Welke voorstelling in een gegeven geval gekozen wordt, hangt van de opgave en de aard van de beschouwing af. Vanzelfsprekend kunnen de apparaten die hier arbeidselement zijn genoemd, in de totaliteit van een installatie weer als stuurorgaan worden opgevat.

## 2.5 Energievormen voor aandrijvingen

De mogelijkheid, om met behulp van daartoe geschikte apparaten (signaal- en meetvormers) signalen van de ene energievorm in de andere om te kunnen zetten betekent dat binnen een besturingssysteem met verscheidene media gewerkt kan worden.

Hiermee wordt de mogelijkheid geschapen een besturing in economisch en technisch opzicht optimaal op te bouwen.

Daar staat echter tegenover, dat de keuze van het "juiste besturingssysteem" in de praktijk niet altijd eenvoudig en met enige zekerheid te maken is. Bepalend zijn, behalve de eisen die voortkomen uit de probleemstelling vooral ook de bijkomende condities, zoals plaats van opstelling, invloeden uit de omgeving en aanwezigheid van onderhoudspersoneel, die vaak volledig in tegenspraak kunnen zijn met het eigenlijke probleem en die de uitvoering van een project bemoeilijken.

Werkt een systeem met diverse energievormen voor arbeids- en stuurgedeelte, dan spreken we van mengtechniek of van hybride systeem.

Het hierna volgende overzicht van de meest gebruikte media heeft tot doel de specifieke kenmerken ervan als criteria voor een bepaalde keuze op te sommen. Een werkelijk volledige opsomming is onmogelijk; alleen de belangrijkste punten kunnen in telegramstijl aangestipt worden.

Een aandrijving is als volgt te realiseren:

- mechanische: (vallen voor een nadere beschouwing buiten het bestek van deze cursus en zullen niet verder behandeld worden)
- elektrisch
- hydraulisch
- pneumatisch

Kriteria voor de keuze van een aandrijving zijn:

- kracht;
- weg;
- bewegingsverloop (lineair, roterend, e.d.);
- snelheid;
- inbouwruimte;
- levensduur;
- gevoeligheid (in verband met de omgeving);
- betrouwbaarheid;

## 2.5.1 Elektrische aandrijvingen

Goede en snelle mogelijkheid voor het transport van energie, het opslaan van grote hoeveelheden elektrische energie is uiterst moeilijk, lage energiekosten.

Uitvoeren van rechtlijnige bewegingen: omslachtig en duur, omdat of een mechanische omzetting vereist is of, met hefmagneten, slechts korte slaglengten met onbeheerste snelheid en, zoals bij lineaire motoren, maar beperkte krachten mogelijk zijn. Grote inbouwmaten.

Uitvoeren van roterende bewegingen: goed rendement, grote afmetingen van de apparatuur, toerental begrensd, gunstige karakteristieken, regeling van toerental en koppel is duur.

Algemeen: De elementen kunnen door overbelasting schade oplopen; speciale beveiliging is dan ook vereist; de schakelfrequentie is beperkt door grote energieopname tijdens aanlopen. Het medium beschikt niet over een natuurlijke beveiliging tegen explosie; een dergelijke beveiliging is alleen mogelijk door dure voorzieningen.

## 2.5.2 Hydraulische aandrijvingen

Opslag van energie is beperkt mogelijk; begrensd, kostbaar en langzaam energietransport (afstanden maximaal 100 m, snelheid ca. 2 tot 6 m/s); energiekosten iets hoger dan van elektriciteit.

Uitvoeren van rechtlijnige bewegingen: zeer eenvoudig; bij zeer kleine afmetingen van de apparatuur zijn grote tot zeer grote krachten over te brengen. De niet al te hoge snelheid is traploos regelbaar, omdat hydrauliek olie nagenoeg niet samendrukbaar is.

Uitvoeren van roterende bewegingen: eenvoudig; het niet al te hoge toerental is traploos regelbaar; de uit te oefenen koppels kunnen zeer groot zijn.

Algemeen: De elementen zijn ongevoelig voor overbelasting; de leidingen zijn duur, moeten goed gedimensioneerd en met vakmanschap worden gemonteerd, bij de hoge drukken moeten de verbindingen volstrekt dicht zijn.

## 2.5.3 Pneumatische aandrijvingen

Probleemloze opslag van energie, begrensd en langzaam energietransport (tot ca. 1000 m, snelheid ca. 20 tot 40 m/s;) energiekosten hoog.

Uitvoeren van rechtlijnige bewegingen: eenvoudig en goedkoop, hoge snelheden tot 3 m/s en, met bijzondere maatregelen, tot ca. 10 m/s; slaglengte begrensd tot ca. 2 m; uit te oefenen krachten normaal tot 10 000, maximaal tot 40 000 N; kleine inbouwmaten.

Uitvoeren van roterende bewegingen: eenvoudig en goedkoop; door laag rendement zijn de energiekosten echter hoog, toerentallen zeer hoog (tot 500 000 omw/min); de uit te oefenen koppels kunnen niet al te groot zijn.

Algemeen: De elementen zijn ongevoelig voor overbelasting; het medium is van nature explosieveilig, in de arbeidselementen treedt geen warmteontwikkeling op; traploze regeling van het toerental, koppel, snelheid en kracht is bijzonder eenvoudig.

## 2.6 Energievormen voor besturingen

In onderstaande tabel worden de verschillende besturingstypen naast elkaar gezet om de voor- en nadelen van elk van de besturingen te kunnen zien.

	Elektriciteit	Elektronica	Pneumatiek	lagedruk pneumatiek
<b>Signaalsnelheid</b>	zeer hoog	zeer hoog	redelijk	hoog(in sommige gevallen tot de geluidsnelheid)
	ca. 300 000 km/s	ca.300 000 km/s	ca.40 / 70 m/s	ca.100/200m/s
Signaalafstand	vrijwel onbegrensd	onbegrensd	bij vereiste schakelfrequenties is de snelheid van de signalen begrensd tot enkele tientallen m/s	bij vereiste schakelfrequenties is de snelheid van de signalen begrensd tot enkele tientallen m/s
Schakelsnelheid	=10 s	=1 s	=10 s	=1 s
Betrouwbaarheid	gevoelig voor invloeden uit de omgeving zoals vocht stof en hoge, temperaturen en trillingen	gevoelig voor invloeden uit de omgeving zoals vocht, stof en hoge temperaturen en magnetische velden	ongevoelig voor invloeden uit de omgeving	dynamische elementen gevoelig voor invloeden uit de omgeving
Inbouwmaten	groot	zeer gering	groot	gering
Levensduur	afhankelijk van het aantal schakelingen en contactbelasting.	geen mechanische onderdelen, dus geen slijtage.	afhankelijk van de luchtconditie	afhankelijk van de luchtconditie
	10.000.000 schakelingen	zeer hoog	100.000.000 tot 1.000.000.000 schakelingen	1.000.000.000 schakelingen
signaal verwerking (hoofdzakelijk)	digitaal	analoog en digitaal	digitaal	analoog en digitaal
besturings-elementen	relais, schakelaars	halfgeleiders buizen	stuurventielen	statische en dynamische

Figuur 2.16 :  
Energievormen voor besturingen.

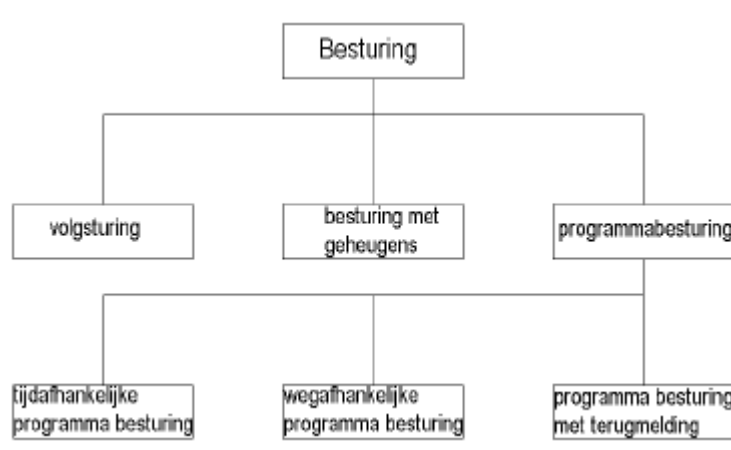
## 2.7 Besturingstypen

Hierbij kunnen we het volgende onderscheid maken:

**Combinatorische schakelingen:** Er is sprake van een dwangmatige signaalverwerking (een soort decodering). Ieder uitgangssignaal is rechtstreeks afhankelijk van de aanwezigheid van een bepaalde combinatie van ingangssignalen. Het optreden van de signalen is niet afhankelijk van de tijd.

**Volgorde schakelingen:** In de bedrijfsmechanisatie zeer vaak voorkomende schakelingen voor de besturing van arbeidscycli. De signalen voor een beweging ontstaan meestal door aftasting van eindstanden van voorgaande bewegingen. De volgorde van de signalen in de tijd ligt vast.

**Programma schakelingen:** De signalen zijn niet gebonden aan het vaste bewegingspatroon van een machine, maar vrij. Wel is de tijd als functie in het geding (volgorde, tijdvertragingen, geheugens, e.d.).



Figuur 2.16 : Besturingstypen.

De indeling in een van de drie hoofdgroepen is door de aard van de probleemstelling gegeven. Bij programmabesturingen wordt de keuze van de drie ondergroepen in hoofdzaak bepaald door de nevencondities, zoals de veiligheid en de mogelijkheid over te gaan op andere programma's.

### 2.7.1 Volgsturing

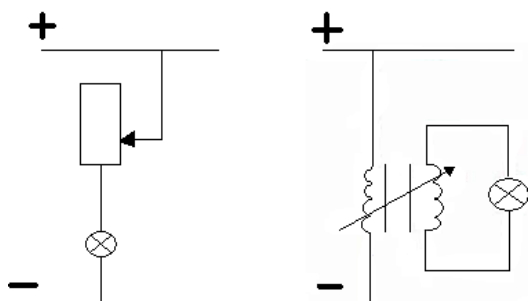
Tussen de ingestelde grootte en die van de uitgang bestaat steeds een vaste relatie. Er is sprake van analoge werking.

Voorbeeld van een kopieerfunctie bij een draaibank:

De bewegingen van de aftaster worden door de bewegingen van het gereedschap (resp. werkstuk) nauwkeurig gevolgd, waardoor een exacte kopie van het origineel ontstaat.

Voorbeeld:

Lichtsterkteregeling. De lichtsterkte van de lamp uit fig. 2.17 staat steeds in een vaste relatie tot de stand van de potentiometer of regeltransformator (het nederlandse taalgebruik noemt dit een regeling; er is echter sprake van een besturing!).



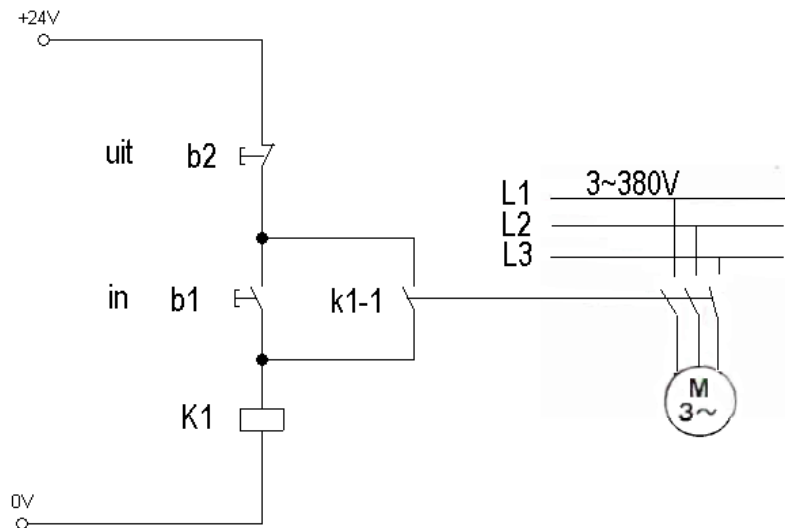
Figuur 2.17 :  
Lichtsterkteregeling.

## 2.7.2 Besturingen met geheugenelementen

Na verdwijnen van een signaal of ingestelde waarde blijft de uitgangsgrootheid gehandhaafd totdat een " tegen " - signaal gegeven wordt.

Voorbeeld:

In- en uitschakelen van een elektromotor met drukschakelaar en overneemcontact.



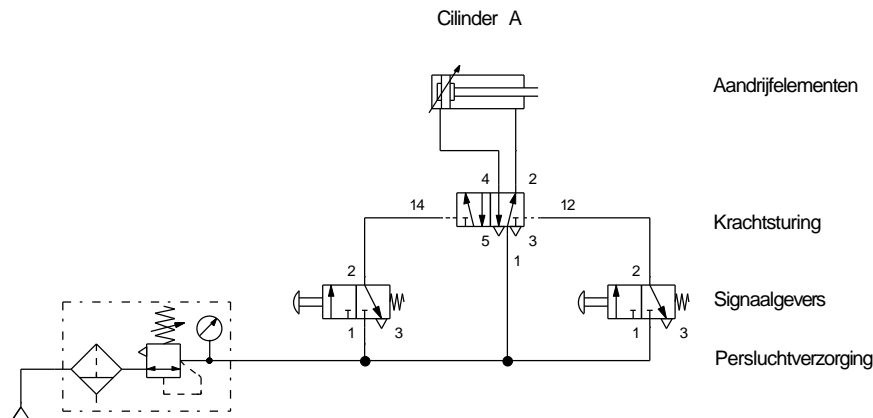
Figuur 2.18 :  
In - en uitschakelen van een  
elektromotor.

De "in"-knop (b1) in figuur 2.18 bekrachtigt relais K1. Een overneemcontact van K1-1 zorgt ervoor dat de motorschakelaar bekrachtigd blijft, ook als we b1 loslaten. De bereikte toestand, nl. het lopen van de motor, blijft bestaan, totdat een tegensignaal gegeven wordt, in dit geval door het bedienen van de "uit"-knop (b2). De dan weer bereikte toestand, nl. dat de motor stilstaat, blijft wederom behouden totdat b1 weer bediend wordt.



Voorbeeld:

Uit- en ingaande zuigerslag van een pneumatische cilinder met een 5/2-ventiel dat op zijn beurt wordt bediend door twee 3/2-ventielen met drukknop en terugbrengveer ( figuur 2.19 ). Ook hier blijft de bereikte toestand, de zuigerstang in of uit, gehandhaafd, totdat het 5/2-ventiel voor de tegengestelde zuigerstangbeweging kortstondig bediend wordt.



Figuur 2.19 :  
Pneumatisch schema.

### 2.7.3 Programmabesturingen

Verzamelbegrip voor de hierna omschreven typen besturing. Tijdafhankelijke programmabesturing. Voor de commando's zorgt een programmagever met een vast tijdsverloop. Het kenmerk van dit type besturing is de aanwezigheid van een programmagever en een tijdafhankelijk verloop van het programma.

Programmagevers kunnen zijn:

- nokkenassen
- curvenschijf
- programmamatten
- ponskaarten
- ponsbanden, enz.

Voorbeeld:

De al uit 1892 daterende pianola ( elektrische piano ) heeft alle kenmerken van een tijdprogrammabesturing. Het "programma", in dit geval de muziek, is in de "notenrol" vastgelegd en loopt met een vaste snelheid door een aftastmechanisme.

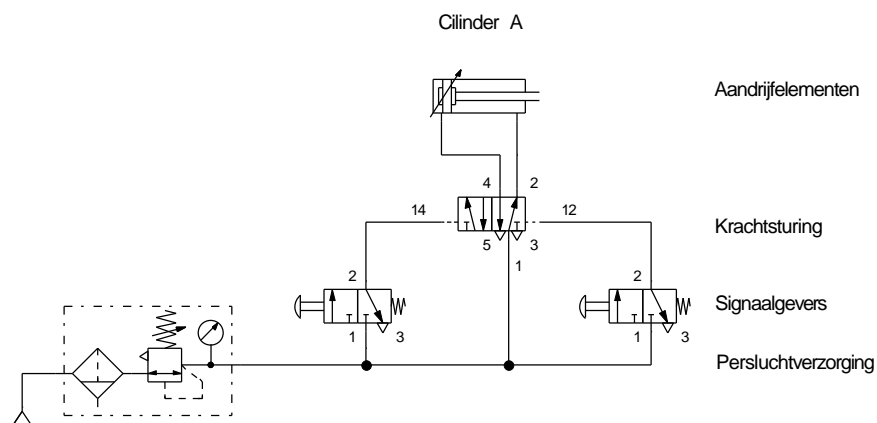
## 2.7.4 Wegafhankelijke programmabesturingen

De commando's worden geleverd door een programmeerder, waarvan de uitgangsgrootheden afhankelijk zijn van een afgelegde weg (weg of positie van een beweeglijk deel van de bestuurd installatie).

Voorbeeld:

De besturing van een pneumatische cilinder volgens figuur 2.20. De uitgaande slag komt tot stand door een commando gegeven aan het 'start' ventiel; de teruggaande slag is afhankelijk van de ingestelde slag van de zuigerstang. Raakt deze de tastrol van ventiel a1 dan trekt de zuigerstang weer in.

Figuur 2.20 :  
Pneumatisch schema.



## 2.7.5 Besturing door programma met terugmelding

Het programma dat weer in een programmeerder is vastgesteld, wordt stapsgewijs, na terugmelding van een voltooide, voorgaande stap, afgewikkeld. De programmeerder kan een stappenschakelaar, ponskaart e.d. zijn.

Kenmerk van een besturing van dit type zijn de aanwezigheid van een stapsgewijs te transporteren programmeerder en signaalgevers die de bereikte toestanden in de installatie 'aftasten'.

Voorbeeld:

Ponsbandbesturing van een gereedschapsmachine. Een commando, b.v. 'slede vooruit' wordt via de ponsband gegeven. Aan het einde van de sledeverplaatsing wordt de nieuwe toestand van de machine met behulp van een eindschakelaar 'gecontroleerd'. Bereikt de slede de eindpositie, dan zorgt het signaal van deze eindschakelaar ervoor, dat de band voor het geven van het volgende commando een rij gaten opschuift.

## 2.8 Keuze van het besturingstype

Welke type programmabesturing gekozen moet worden als zich een bepaald probleem voordoet, hangt uitsluitend van de aard van de probleemstelling, de omgeving en de bijkomende condities af. Ook hier kunnen geen algemeen geldende richtlijnen voor de juiste keuze gegeven worden. Ter vergelijking volgen hierna in het kort de eigenschappen van de verschillende systemen waaruit we voor een concreet geval een keuze kunnen maken.

### Tijdafhankelijke programmabesturing

Centraal vastgelegd programma; programmawijzigingen in het programma zijn eenvoudig aan te brengen; bij veel programma-eenheden kan de programmadrager in zijn geheel uitgewisseld en bewaard worden; meestal compacte bouw; eenvoudig aan te sluiten; programmaverloop in de tijd constant en onafhankelijk van de verrichtingen van de machine; geen controle over het juiste verloop van deze verrichtingen en dus geen beveiligd proces.

### Wegafhankelijke programmabesturingen

Met programma is vastgelegd door de onderlinge verbindingen tussen en de positie van signaalgevers en signaalverwerkende elementen; minder overzichtelijk; wijzigingen in het programma zijn kostbaar en zeer ingrijpend omdat het systeem daartoe verbouwd moeten worden (leidingen verplaatsen, verbindingen veranderen, enz.). Gedwongen juist verloop van de arbeidscyclus; storingen hierin, b.v. doordat de beweging niet wordt uitgevoerd, leiden tot onderbreking van de cyclus. In het kader van bedrijfsmechanisme is dit het meest toegepaste besturingssysteem voor de pneumatiek.

### Besturing door programma met terugmelding

De voordelen van een centrale programmagever (zie tijdafhankelijke programmabesturing) en die van de controle op het verloop van de arbeidscyclus (zie wegafhankelijke programmabesturing) zijn hierin gecombineerd. Dit type besturing vereist zowel een stapsgewijs te transporteren programmagever als signaleringen van de eindstanden in de machine.

### 2.8.1 Mogelijkheden voor het oplossen van schakelproblemen

Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen twee principieel verschillende wijzen van benadering:

door "intuitieve" of "empirische" methodes, waarbij we van de apparatuur uitgaan, om al proberende tot het gewenste resultaat te komen;  
door systematische methodes, uitgaande van functies en een vastgelegde werkwijze.

Tot de eerste categorie behoren alle manieren van benadering, die in eerste instantie uitgaan van gevoel en ervaring. Het is niet uitgesloten dat dit met een zekere systematiek gebeurt; er tal echter altijd een grote invloed van de persoonlijke ervaring van de ontwerper in het schema te vinden zijn.

Bij de tweede groep methodes worden de persoonlijke voorkeur en ervaring van de ontwerper geringer, naarmate de toegepaste methode strakker vastgelegd is.

De eerste wijze van benaderen vergt veel ervaring en fantasie, en in het bijzonder bij iets ingewikkeldere opgaven zeer veel tijd, de tweede vraagt een minutieus volgen van de methode en een goede kennis ervan.

Het doel is echter in alle gevallen een goed functionerende, betrouwbare besturing. Vroeger werd meer waarde gehecht aan een zo goedkoop mogelijke oplossing. Nu staan vooral betrouwbaarheid, overzichtelijkheid en toegankelijkheid voor onderhoud op de voorgrond. Deze eisen maken het gebruik van een systematische oplossingsmethode noodzakelijk.

Naarmate een schema minder berust op allerlei persoonlijke handigheden van de ontwerper is het ook beter te begrijpen door derden, met name de gebruikers van de desbetreffende machine en het onderhoudspersoneel. Vaak, maar niet a priori gaat een grotere betrouwbaarheid hand in hand met meer schakelmateriaal; zeker als in meer controles en mogelijkheden voor manueel ingrijpen is voorzien.

De daaruit voortvloeiende vergroting van de investering wordt altijd terugverdiend door tijdswinst bij ontwerp en inbedrijfstelling en door minder productieverlies, omdat onderhoud sneller kan plaatsvinden en de kans op storingen geringer is.

Welke methode we ook toepassen om een schakelschema te ontwerpen, één ding is altijd nodig: een goed gefundeerde kennis van de apparatuur en de schakelmogelijkheden die elk element biedt.

In het volgende gedeelte zal besproken worden, hoe we eenvoudige pneumatische schakelingen kunnen samenstellen met gebruikmaking van de standaard oplossingsmethodes. De in hoofdstuk 1 opgesomde, verschillende soorten van besturing leiden tot verschillende structuren in de betreffende schema's. Omdat in de pneumatiek programmabesturingen, en daarvan de wegafhankelijke, verreweg de grootste plaats innemen, zal dit type uitvoerig worden behandeld. Wij sommen in het kort nog de gebruikelijke oplossingsmethoden voor wegafhankelijke programmabesturingen op; de eerste twee rullen hierna behandeld worden.

- empirisch vanuit de apparatuur
- cascade-systeem
- intuïtief logisch
- door gebruik te maken van volgorde-modulen
- logisch met behulp van bewegingsdiagram
- logisch met gemodificeerde karnaughdiagrammen
- door gebruik te maken van programmeervers

Tot slot herinneren wij aan het in hoofdstuk 1, paragraaf 1.8 gezegde met betrekking tot de principiële benadering van besturingsproblemen. Voordat u aan het tekenen van een schema begint, moeten de daar genoemde punten volledig duidelijk zijn.

## HOOFDSTUK 3 : PNEUMATISCHE BASISCHAKELINGEN

Het "begrip" pneumatiek is zo veelomvattend geworden, dat het voor het gehele gebied van arbeid leveren en sturen met behulp van lucht niet meer voldoet. De opkomst van nieuwe technieken heeft met zich meegebracht dat we het gebied kunnen opsplitsen in een aantal 'deelgebieden'. Een korte omschrijving van de diverse deelgebieden is hier zeker op zijn plaats, om begripsverwarring te voorkomen.

Er zijn tal van benamingen voor deze speciaalgebieden van de pneumatiek in omloop, waarbij onder 'pneumatiek' zelf in het algemeen de industriële toepassing van lucht als medium wordt verstaan. Een vaste, genormaliseerde definitie van de verschillende begrippen ontbreekt eigenlijk. De hiernavolgende omschrijvingen zijn dus niet gebaseerd op vaststaande normen, maar door de auteurs opgesteld met bedoeling begrippenverwarring tegen te gaan. Een criterium voor de onderverdeling is het drukbereik.

Lagedruk pneumatiek (0-1,5 bar)

Alle systemen in dit drukbereik zijn uitsluitend bestemd voor besturingsdoeleinden. Uit technologisch oogpunt kunnen de elementen 'statisch', 'semi-statisch' of 'dynamisch' zijn. (ook met pneumatiek, pneumatische logica, enz aangeduid)

Pneumatiek van normale druk (1,5-16 bar)

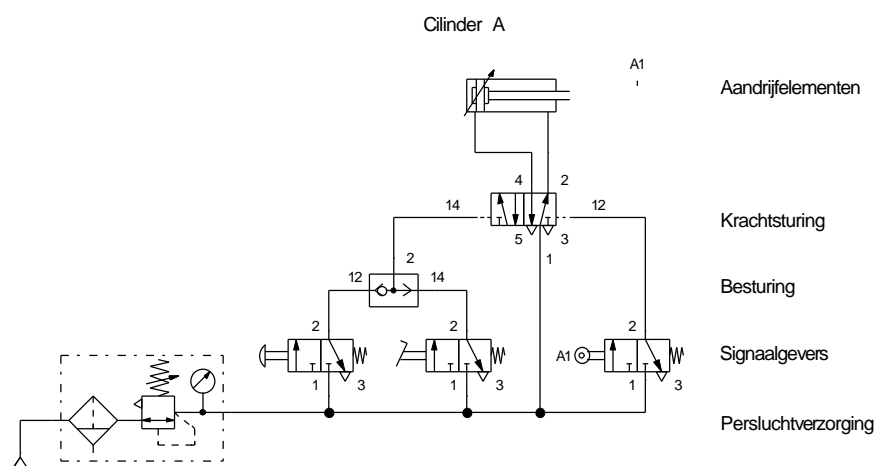
In dit drukbereik vinden we de gehele traditionele pneumatiek met de gebruikelijke arbeidselementen en de daarbij behorende, gewone ventielen.

Hogedruk-pneumatiek (16 bar en hoger)

Hieronder vallen alleen zeer bijzondere toepassingen voor het verrichten van arbeid. (Geen repeterende bewegingen, wegens ijsvorming.)

Hierna zullen alleen besturingen uit het normale drukbereik worden behandeld, met een uitzondering: Omdat lagedrukelementen voor aanrakingsvrije detectie van voorwerpen, zoals 'reflexogen' en "lucht-poorten", een rol spelen in het normale drukbereik, zullen deze ook aan de orde komen, en wel hoe ze in besturingen samen kunnen werken met elementen van het normale drukbereik.

Om pneumatische besturingen te kunnen ontwerpen is het van belang dat de schakelingen die in de pneumatiek vaak gebruikt worden bij de ontwerper bekend zijn (basisschakelingen). Deze voorkomen dat voor besturingsproblemen niet opnieuw het wiel moet worden uitgevonden. De in dit hoofdstuk besproken basisschakelingen zijn ingedeeld volgens de opbouw van een pneumatisch schema (zie figuur 3.1)



*Figuur 3.1 :  
Opbouw van een  
pneumatische schema.*

## 3.1 Pneumatische basisschakelingen

Iedere techniek kent z'n specifieke basiseigenschappen van de elementen. Voor het ontwerp van goed functionerende schakelingen is de kennis daarvan een absolute voorwaarde. In de pneumatiek kunt u in dit verband denken aan de verschillen in gedrag van b.v. schuif - en zittingventielen, die door de constructie bepaald worden.

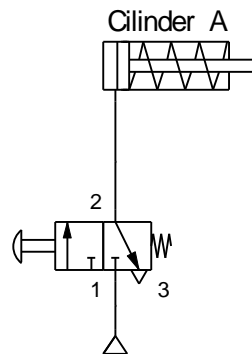
Die verschillen zijn de wijze van omschakelen, de mogelijke doorstroming in een of beide richtingen, hen of twee vaste standen, enz. Voor het ontwerp van schakelingen zijn verscheidene methoden ontwikkeld. Welke methode u ook toepast, uiteindelijk blijkt elke grote schakeling samengesteld te zijn uit een betrekkelijk klein aantal basisschakelingen.

Hierna verklaren wij een aantal belangrijke basisschakelingen aan de hand van opgaven en wijzen wij u op de belangrijkste punten. Ten slotte merken we op dat we niet ingaan op de z.g. 'negatieve besturing" door ontluchting, in plaats van door drukverhoging. De reden hiervan is dat deze wijze van omschakelen meestal niet de vereiste betrouwbaarheid bezit en in pneumatische schakelingen van enig belang gewoonweg niet toe te passen is .



### 3.1.1 Besturing van een enkelwerkende cilinder:

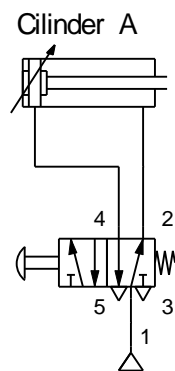
De zuigerstand van een enkelwerkende cilinder moet door bedienen van een druktoets uitgaan, en na loslaten ervan, onmiddellijk terugbewegen. Er is een 3/2-stuurventiel nodig om de cilinder voor de retourslag te kunnen ontluchten.



Figuur 3.2 :  
Pneumatisch schema.

### 3.1.2 Besturen van van dubbelwerkende cilinder:

Als het vorige voorbeeld, maar nu met een dubbelwerkende in plaats van een enkelwerkende cilinder. Hiervoor gebruiken we een 5/2-stuurventiel. Het 5/2-stuurventiel geeft de mogelijkheid om de ontluchting van de uit- en de teruggaande slag gescheiden te laten plaatsvinden, bijvoorbeeld voor het regelen van de snelheid van de zuiger in beide richtingen met een tweetal uitlaat smoringen. Dezelfde functie als met een 3/2 stuurventiel kan ook door koppeling van een normaal geopend en een normaal gesloten 3/2 stuurventiel verkregen worden.



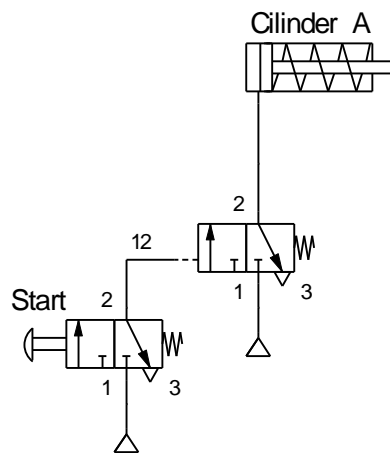
Figuur 3.3 :  
Pneumatisch schema.

### 3.1.3 Indirecte besturing van een enkelwerkende cilinder.

De zuigerstang van een enkelwerkende cilinder met grote boring moet bij bedienen van een drukknop ventiel uitgaan en na loslaten ervan direct terugbewegen.

Deze in figuur 3.4 getekende, indirecte besturing is vooral voordelig voor cilinders met een grote diameter, die een groot ventiel en een royale toevoerleiding vereisen. Door de indirecte wijze van bedienen kan het ventiel "start" uit figuur 3.4 klein zijn en de dikke leiding tussen cilinder en krachtstuurventiel zo kort mogelijk. De stuurleiding tussen "start" en het krachtstuurventiel kan een geringe doorsnede hebben; de geringe luchtinhoud ervan geeft een snelle reactie en een te verwaarlozen luchtverbruik.

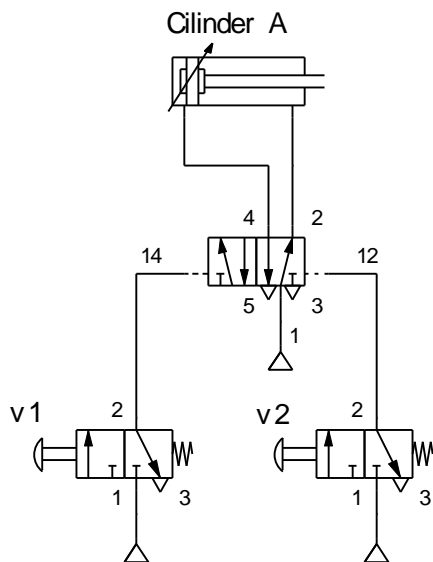
Het met de hand bedienen van een klein ventiel is bovendien gemakkelijker dan van een groot type.



Figuur 3.4 :  
Pneumatisch schema indirecte  
sturing.

### 3.1.4 Indirecte besturing van een dubbelwerkende cilinder

Door twee ventielen v1 en v2 met handbediening moet een dubbelwerkende cilinder zodanig bestuurd worden, dat de zuigerstang uit beweegt bij bedienen van ventiel v1. Bij loslaten van v1 moet de zuigerstang in de uitgetrokken stand blijven staan, totdat het ventiel v2 kortstondig wordt bediend.



*Figuur 3.5:  
Pneumatisch schema*

Bij deze opgave is een directe besturing niet meer mogelijk. Theoretisch kunnen we met de ventielen de zijden van de cilinder direct van perslucht voorzien. Nadeel: bij loslaten van een ventiel wordt de betreffende cilinderzijde drukloos en is de stand van de zuiger niet meer gefixeerd. Samenvattend kunnen we dus onderscheid maken tussen:

- directe besturing, waarbij het cilindervolume klein is en de besturing van de cilinder met een enkel ventiel mogelijk is;
- indirecte besturing van cilinders, waarbij het cilindervolume groot is en de besturing

waarbij de eerste mogelijkheid alleen dan gekozen wordt als:

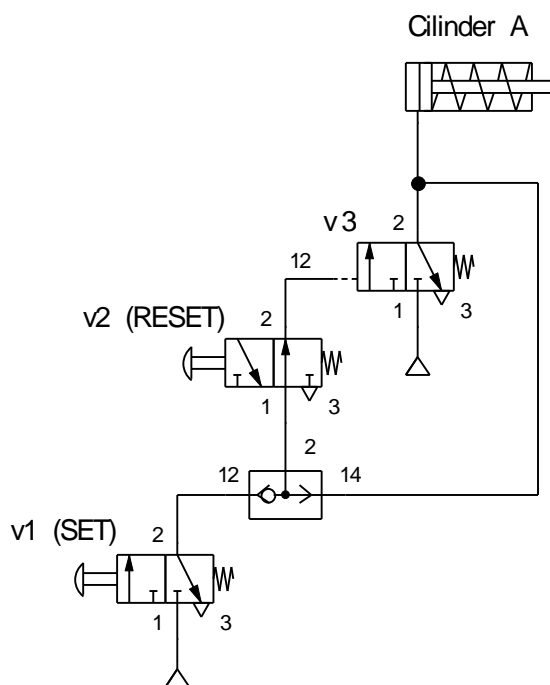
- a)
- b)

De basisschakeling van figuur 3.5 noemen we wet impulsbesturing. Deze kan worden uitgevoerd met tweezijdig bediende, bistabiele ventielen waarvoor maar een korte drukimpuls op de sturingang nodig is om blijvend in de andere stand omgeschakeld te worden.

## 3.1.5 Overneemschakeling

Door twee ventielen v1 en v2 met handbediening moet een enkelwerkende cilinder (cilinder A) zodanig bestuurd worden, dat de zuigerstang uit beweegt bij bedienen van ventiel v1. Bij loslaten van v1 moet de zuigerstang in de uitgetrokken stand blijven staan, totdat het ventiel v2 kortstondig wordt bediend. We gebruiken hiervoor uitsluitend monostabiele ventielen (d.w.z. ventielen met veerterugbrenging).

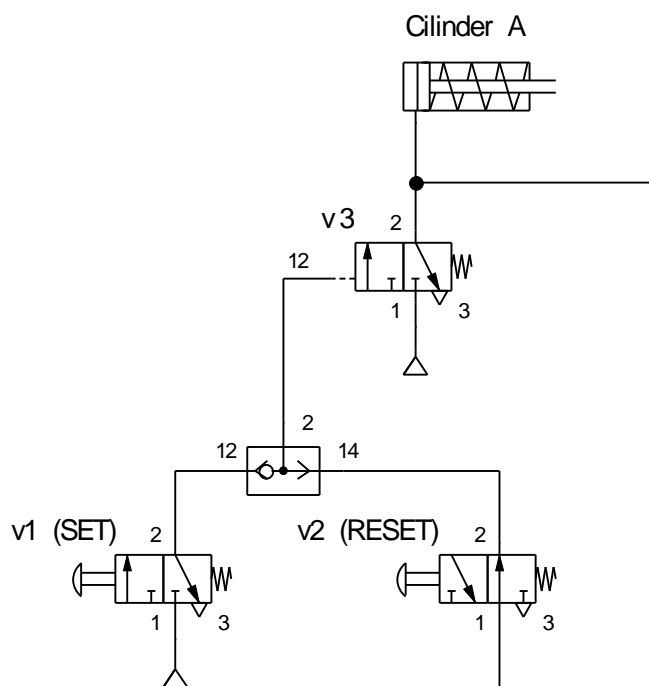
Voor de oplossing van deze opgave moet de zogenoemde houd- of overneemschakeling bekend zijn. In de voorgaande opgave werd door de bistabiele eigenschap van het hoofdventiel een korte drukpuls vastgehouden. Een ventiel met veerterugbrenging komt bij opheffen van het besturingssignaal direct terug in de normaalstand. Om ook bij dat type een blijvend uitgangssignaal na een korte drukpuls te verkrijgen moet een schakeltechnische kunstgreep toegepast worden, de overneemschakeling.



Figuur 3.6 :  
RESET dominante  
overneemschakeling

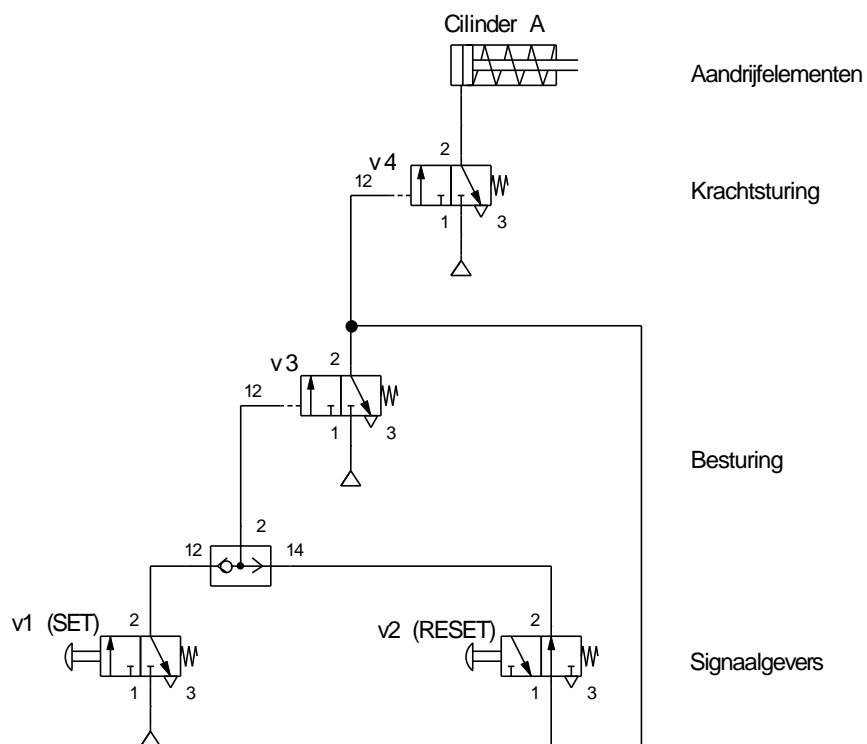
Wanneer in de schakeling van figuur 3.6 het drukknopbediende 3/2 ventiel "v1" bediend wordt, gaat het signaal van het 3/2-ventiel "v1" (N.G.), via het wisselventiel (OF-functie) door het 3/2-ventiel "v2" (N.O.) naar het luchbediende ventiel "v3" (N.G.). Het signaal wordt daar teruggekoppeld (zie T-stuk) via het wisselventiel (OF-functie) en heeft als gevolg dat de bediening van ventiel "v3" gehandhaaft blijft. Ook wanneer ventiel "v1" niet langer bediend zou zijn blijft het ventiel "v3" bediend door het eigen signaal. Deze koppeling kan alleen worden verbroken door bediening van het 3/2-ventiel "v2" (N.O.). Deze onderbreekt de kring en schakelt ventiel "v3" definitief uit. In de praktijk noemen we dit een overneemschakeling. Belangrijk is om te weten wat er gebeurt wanneer de ventielen "v1" (ook wel SET) en "v2" (ook wel RESET) gelijktijdig worden bediend. In dit geval wint de RESET het van de SET, vandaar dat dit een RESET dominante overneemschakeling is.

Wanneer in de schakeling van figuur 3.7 het drukknopbediende 3/2 ventiel "v1" bediend wordt, gaat het signaal van het 3/2-ventiel "v1" (N.G.), via het wisselventiel (OF-functie) direct naar het luchbediende ventiel "v3" (N.G.). Het signaal wordt daar teruggekoppeld (zie T-stuk) via het 3/2-ventiel "v2" (N.O.) naar het wisselventiel (OF-functie) en heeft als gevolg dat de bediening van ventiel "v3" gehandhaaft blijft. Ook wanneer ventiel "v1" niet langer bediend zou zijn blijft het ventiel "v3" bediend door het eigen signaal. Deze koppeling kan alleen worden verbroken door bediening van het 3/2-ventiel "v2" (N.O.). Deze onderbreekt de kring en schakelt ventiel "v3" definitief uit. In de praktijk noemen we ook dit een overneemschakeling. Belangrijk is om te weten wat er gebeurt wanneer de ventielen "v1" (ook wel SET) en "v2" (ook wel RESET) gelijktijdig worden bediend. In dit geval wint de SET het van de RESET, vandaar dat dit een SET dominante overneemschakeling is.



Figuur 3.7 :  
SET dominante  
overneemschakeling

Bij de pneumatische schema's van figuur 3.6 en 3.7 met betrekking tot de overneemerschakeling is de kans groot dat het schema niet juist functioneerd. Tenzij die cilinder erg klein is bestaat de kans, dat bij zeer kort bedienen van ventiel "v1" het "overnemen" niet tot stand komt. De oorzaak hiervan is, dat de druk, ten gevolge van het luchtverbruik van de cilinder zal dalen tot onder de druk die minimaal nodig is om het ventiel v1 geschakeld te houden. Anderzijds kan bij kort indrukken van ventiel "v2" de lucht die van de cilinder terugstroomt wel eens voldoende druk opleveren om v1 weer te schakelen. Deze beide verschijnselen worden vermeden door de lucht van arbeidspoot 2 van ventiel "v3" alleen als stuurlicht te gebruiken voor de bediening van een extra ventiel "v4" (dit noemen we het krachtstuurventiel), zoals in figuur 3.8 is weergegeven.



*Figuur 3.8:  
SET dominante  
overneemerschakeling met  
apart krachtstuurventiel*

De eis, in een bepaald geval ventielen met veer te gebruiken en geen tweezijdig bediend type, houdt verband met de veiligheid: als we met een onderbreking van de energietoevoer moeten rekenen is het vaak nodig dat alle elementen een vooraf bepaalde stand innemen.

## 3.2 Basisschakelingen voor snelheidsregeling

De snelheid van een enkelwerkende cilinder moet in beide bewegingsrichtingen onafhankelijk geregeld kunnen worden:

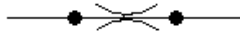
- beperking van de snelheid;
- verhoging van de snelheid.

### 3.2.1 Beperking van de snelheid

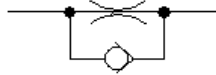
Deze wordt door toepassing van smoorventielen verkregen. Om maar hen bewegingsrichting te beïnvloeden schakelen we een terugslagklep parallel aan het smoorventiel. De beschikbare componenten hebben drie mogelijkheden:

a) Vaste, niet instelbare smoring (figuur 3.9)

in beide richtingen



in één richting werkend



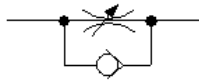
Figuur 3.9 :  
Vaste, niet instelbare smoring

b) Met de hand instelbare smoring (figuur 3.10)

in beide richtingen



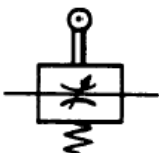
in één richting werkend



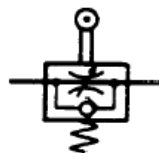
Figuur 3.10 :  
Regelbare smoring

c) Tijdens de slag verstelbare smoring, rolbediend (figuur 3.11)

in beide richtingen



in één richting werkend



Figuur 3.11:  
Mechanische regelbare smoring

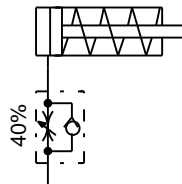
Wat de richting van de smoring bij cilinders betreft, is nog het volgende onderscheid mogelijk:

- smoring van de inlaat;
- smoring van de uitlaat.

Deze types smoring zullen in de hierna volgende basisschakelingen nog toegelicht worden.

Uitgaand slag:

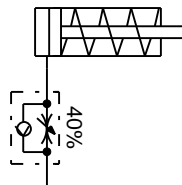
De enige mogelijkheid om de uitgaande slag van een enkelwerkende cilinder te regelen is het smoren van de luchttoevoer naar de cilinder (figuur 3.12).



Figuur 3.12 :  
Ingaande luchtsmoring bij een enkelwerkende cilinder

Retourslag:

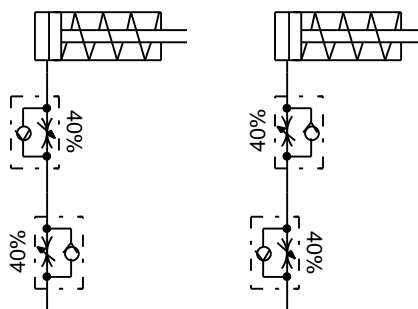
Bij de teruggaande slag kan de snelheid alleen door smoring van de ontluchting beperkt worden (figuur 3.13)



Figuur 3.13 :  
Uitgaande luchtsmoring bij een enkelwerkende cilinder

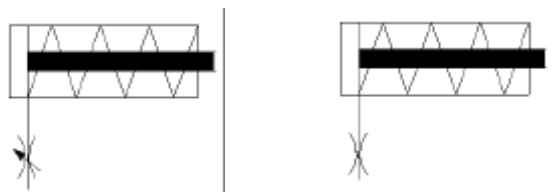
Beide bewegingsrichtingen:

Een regelbare snelheidsbeperking in beide richtingen afzonderlijk kan met de schakelingen volgens figuur 3.14 worden verkregen. Het onderling van plaats verwisselen van de twee snelheidsventielen maakt wel degelijk iets verschil.



Figuur 3.14:  
Uit- en ingaande luchtsmoring bij een enkelwerkende cilinder op 2 manieren.

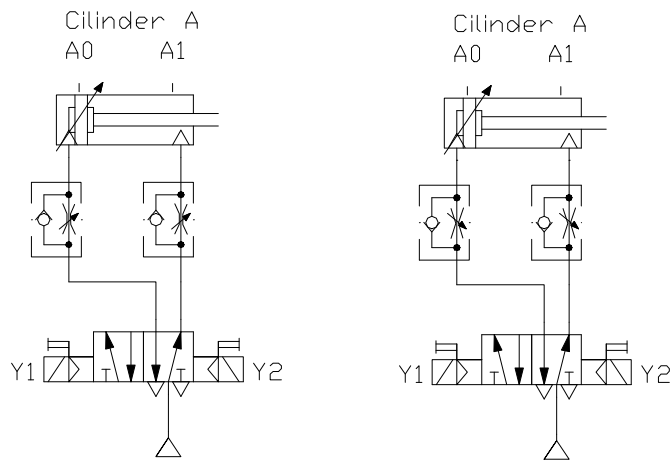
Een gewoon smoorventiel geeft een wel in beide richtingen werkende, maar niet afzonderlijk regelbare snelheidsbeperking. Een vaste smoring geeft een wel in beide richtingen werkende, maar in het geheel niet regelbare snelheidsbeperking (figuur 3.15).



Figuur 3.15:  
Smoringen.



Er zijn in principe twee mogelijkheden van snelheidsregeling:



Figuur 3.16 :  
Snelheidsregelingen

### 1. Inlaatsmoring (linker afbeelding):

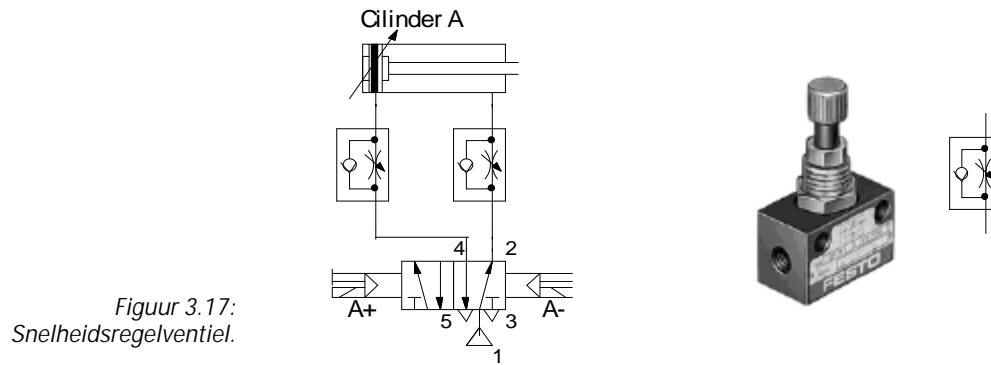
Bij deze manier van regelen is het snelheidsregelventiel zo in de leiding(en) naar de cilinder geplaatst, dat het terugslagventiel de naar de cilinder toe stromende perslucht blokkeert en alleen over de smoring toelaat. De perslucht aan de te ontlichten zijde van de cilinder kan vrij wegstromen. Bij deze manier van regelen ontstaat al bij minimale variaties in de belasting een snelheidsverandering. Inlaatsmoring wordt dan ook alleen bij enkelwerkende cilinders toegepast (waar geen andere keuze mogelijk is) of bij cilinders met een klein volume.

### 2. Uitlaatsmoring (rechter afbeelding):

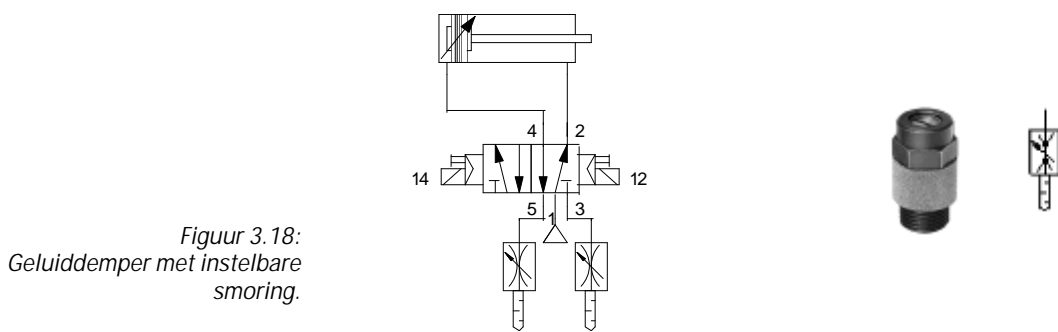
Bij deze manier van snelheidbeheersing kan de perslucht vrij naar de cilinder stromen, maar wordt de ontlichting gesmoord. Veranderingen in de belasting worden door toe- of afname van de tegendruk gecompenseerd zonder dat dit veel invloed heeft op de snelheid. Als een enigszins eenparige snelheid is gewenst is, moet dus steeds uitlaatsmoring worden toegepast. Bij cilinders met zeer kleine afmetingen (microreeks) zijn de drukveranderingen ten gevolge van belastingsvariaties wel eens te groot voor het bereiken van de gewenste eenparige beweging. In dat geval moeten in- en uitlaatsmoringen in combinatie toegepast worden. Als de constructie van het krachtstuurventiel dit toelaat, kunnen we in plaats van een snelheidsregelventiel een smoorventiel monteren in de uitlaatpoort(en) van het hoofdventiel.

De snelheid van een cilinder regelen we met een snelheidsregelventiel. Snelheidsregelventielen die worden toegepast voor de snelheidsregeling bij cilinders kunnen we op drie plaatsen tegenkomen, namelijk:

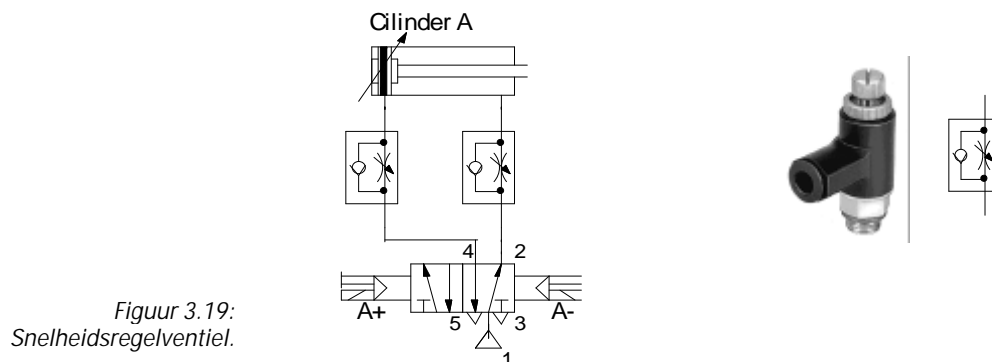
1. tussen cilinder en krachtstuurventiel;



2. in de ontluchting van het krachtstuurventiel;



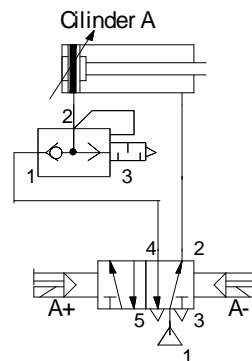
3. op de cilinder zelf.



## 3.2.2 Verhoging van de snelheid

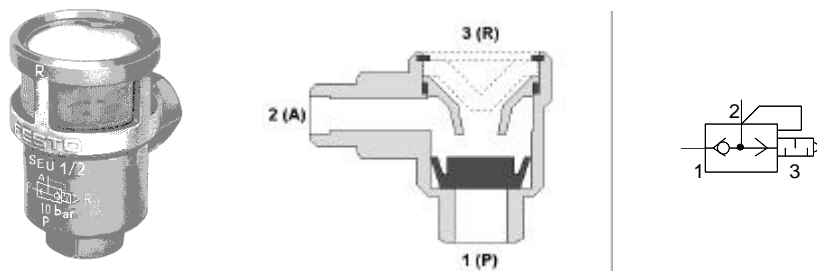
Een snelontluchtventiel (snelontluchter) vindt zijn toepassing voor het versnellen van zuigerbewegingen. In het bijzonder zorgen ze voor het verkorten van de teruglooptijd van enkelwerkende cilinders met veer. Het snelontluchtventiel heeft dezelfde opbouw als het wisselventiel (zie ook symbool), alleen is in plaats van een kogel een assymetrisch element met aan de omtrek een afdichtingslip toegepast.

De werking van de snelontluchter is als volgt:



Figuur 3.20:  
Snelontluchting op een  
dubbelwerkende cilinder.

1. Toegevoerde perslucht (poort 1) duwt de manchet op het afdichtingsvlak van het ontluchtungskanaal (poort 3). De perslucht drukt vervolgens de slappe lippen van de manchet van de wand en gaat naar de cilinderaansluitpoort (poort 2). De afdichting houdt zo lang de ontluchting (poort 3) afgesloten als er druk op poort 1 staat.
2. Ontluchten we de leiding naar poort 1, dan drukt de lucht in de cilinder de manchet onmiddellijk in de getekende stand terug. Poort 1 is dan afgesloten en poort 3 geopend. De afgewerkte cilinderlucht kan nu via 2 en 3 naar buiten stromen.

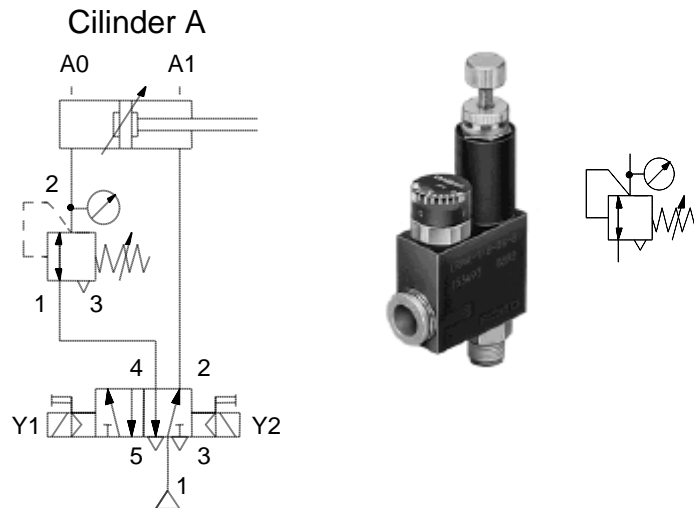


Figuur 3.21:  
Snelontluchter.

Ontluchtpoort 3 heeft een doorlaat met een grote diameter, de remmende invloed van de leiding en krachtstuurventiel op het ontluchten wordt daardoor vermeden. Hierdoor kan de zuigersnelheid het dubbele tot drievoudige worden van de snelheid bij "gewone" ontluchting. Het verdient aanbeveling het snelontluchtventiel direct in de cilinderpoort te monteren.

### 3.2.3 Krachtbeheersing

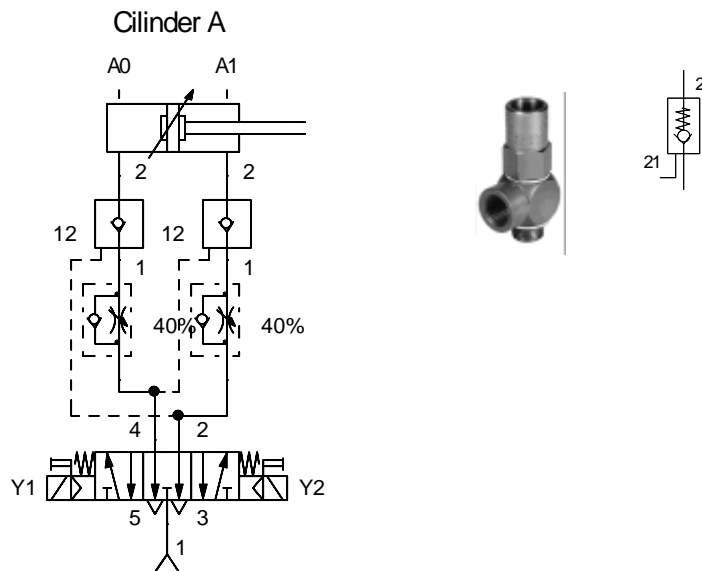
Er zijn speciale drukreducerverschakelingen voor cilinders, waardoor de kracht van de cilinder afzonderlijk te regelen is. Dat is erg handig wanneer de kracht van de cilinder moet kunnen worden bijgesteld. De uitvoering hieronder is tevens voorzien van een manometer, waarop de luchtdruk is af te lezen.



Figuur 3.22:  
Drukreducerverschakeling.

### 3.2.4 Gestuurde terugslagkleppen

Gestuurde terugslagkleppen worden gebruikt om de druk op de cilinder te houden. Zij worden bijvoorbeeld toegepast om de cilinder tussen zijn rust- en werkstand een bepaalde stand te laten handhaven.



Figuur 3.23:  
Gestuurde terugslagklep.

### 3.3 Basisschakelingen in het besturingsgedeelte

In het besturingsgedeelte van een pneumatische besturing komen de meest uiteenlopende basisschakelingen voor. Grofweg zijn ze te verdelen in:

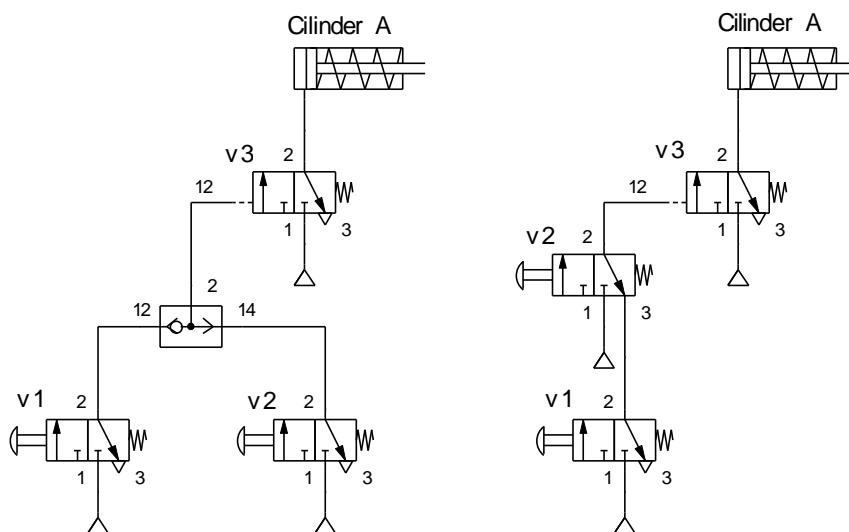
- EN-functie
- OF-functie
- tijdschakelingen
- telschakelingen
- geheugenschakelingen

#### 3.3.1 OF-functie

In het algemeen kan de toepassing van het wisselventiel als volgt worden beschreven: Een wisselventiel passen we toe als vanuit twee punten een en dezelfde leiding onder druk gezet en ontluicht moet kunnen worden, dus waar twee signaalleidingen samengevoegd moeten worden. Vaak wordt het wisselventiel ook met OF-ventiel aangeduid, omdat het de zogenaamde logische functie "OF" realiseert. Aan zijn uitgang is alleen dan een druksignaal aanwezig, als of op de ene, of op de andere ingang (of op beiden) een druksignaal aanwezig is.

Voorbeeld:

Een enkelwerkende cilinder moet vanuit twee plaatsen door twee 3/2-stuurventielen bediend kunnen worden, zie figuur 3.24

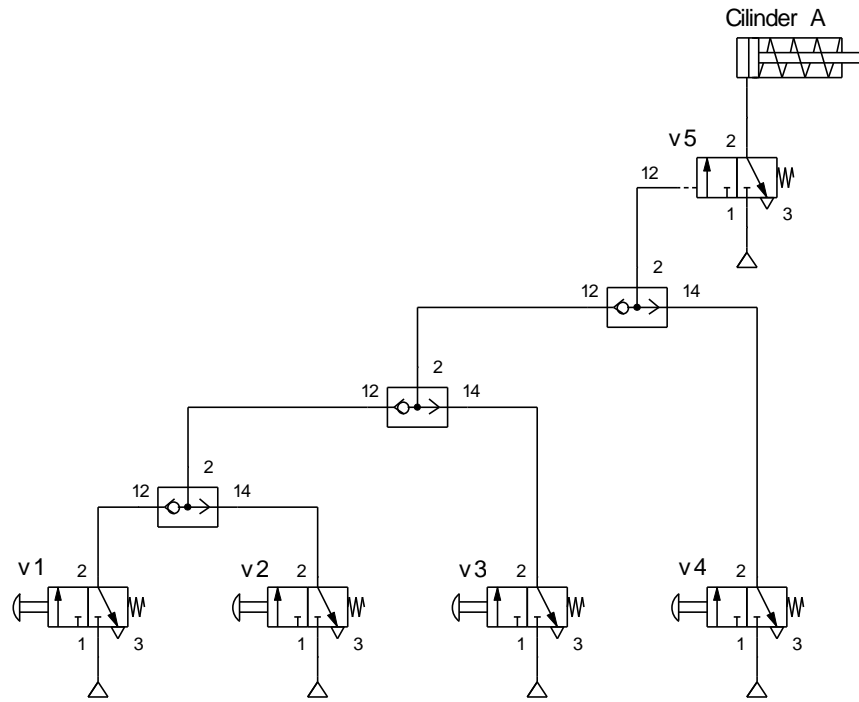


Figuur 3.24 :  
2 schakelingen voor  
realisering van een OF-functie,  
links met een wisselventiel en  
rechts met een  
parallelschakeling.

Zonder wisselventiel, zal bij bedienen van het ventiel a de perslucht door de ontluchting van het ventiel b naar de buitenlucht ontsnappen. Als samenkomende leidingen afwisselend belucht of ontluicht moeten worden, dienen ze samengevoegd te worden met behulp van een wisselventiel (figuur 3.24 links). Een mogelijkheid is ook om de ontluichtingspoort (poort 3) van ventiel v2 te misbruiken door daar de arbeidspoort (poort 2) van ventiel v1 op aan te sluiten, zie hiervoor figuur 3.24 rechts. LET OP!!! Een vereiste om dit te realiseren is dat ventiel v2 een externe ontluichtingsaansluiting heeft en een inwendige constructie heeft die toetstaat dat er perslucht op de ontluchting staat (tegengestelde luchtstroom). In de praktijk wordt een dergelijk ventiel aangegeven met een symbool met dubbele pijlrichtingen en is tevens geschikt voor vacuüm.

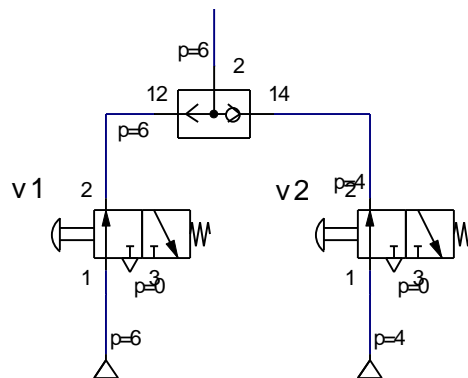
Voorbeeld:

Vier druksignalen van de ventielen v1 tot en met v4 (ingangssignalen) moeten afzonderlijk hetzelfde commando kunnen geven aan de luchtbediening van ventiel v5 (uitgangssignaal). Er zijn verschillende mogelijkheden om de wisselventielen met de ventielen v1 t/m v4 te verbinden, maar in figuur 3.25 is de meest overzichtelijke weergegeven. Deze trapsgewijze opbouw is duidelijk, geeft een net schema en verdient daarom de voorkeur.



Figuur 3.25 :  
Trapsgewijze opbouw van meerdere wisselventielen.

Er is steeds een wisselventiel minder nodig dan het aantal ingangssignalen (v1 t/m v4) bedraagt. In figuur 3.25 hebben we 4 ingangssignalen en dus 3 (4-1) wisselventielen nodig. Wisselventielen kunnen we ook gebruiken wanneer verschillende druken in een persluchtsysteem gebruiken. Een wisselventiel laat van twee verschillende druksignalen altijd de hoogste druk door, zoals in figuur 3.26 is weergegeven (v1=6 bar en v2=4 bar).



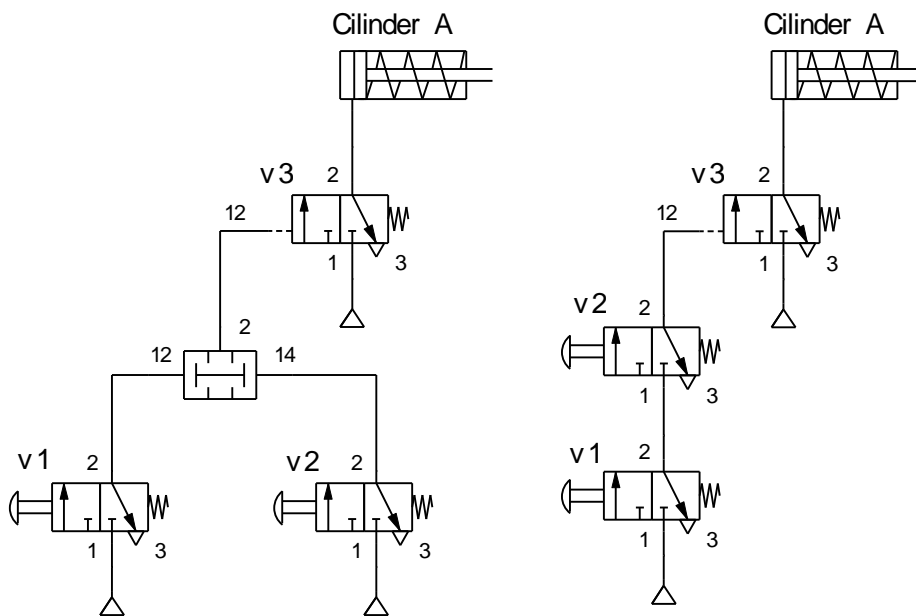
Figuur 3.26 :  
Gebruik van wisselventiel bij verschillende druken.

### 3.3.2 EN-functie

Wanneer een leiding alleen dan een druksignaal mag krijgen, als twee andere signaalleidingen gelijktijdig onder druk staan, kunnen we een tweedrukventiel voor de samenvoeging van laatstgenoemde leidingen toepassen. Het wordt ook wel EN-ventiel genoemd, omdat alleen zolang druk op zijn uitgang komt, als op de ene en op de ander ingang een druksignaal gegeven wordt.

Voorbeeld:

Een enkelwerkende cilinder mag alleen bekrachtigd worden zolang twee 3/2 - stuurventielen gelijktijdig bediend zijn ( figuur 3.27 ). Oplossing kan gerealiseerd worden met een tweedrukventiel (figuur 3.27 links) of een serieschakeling van de ventielen v1 en v2 (figuur 3.27 rechts).

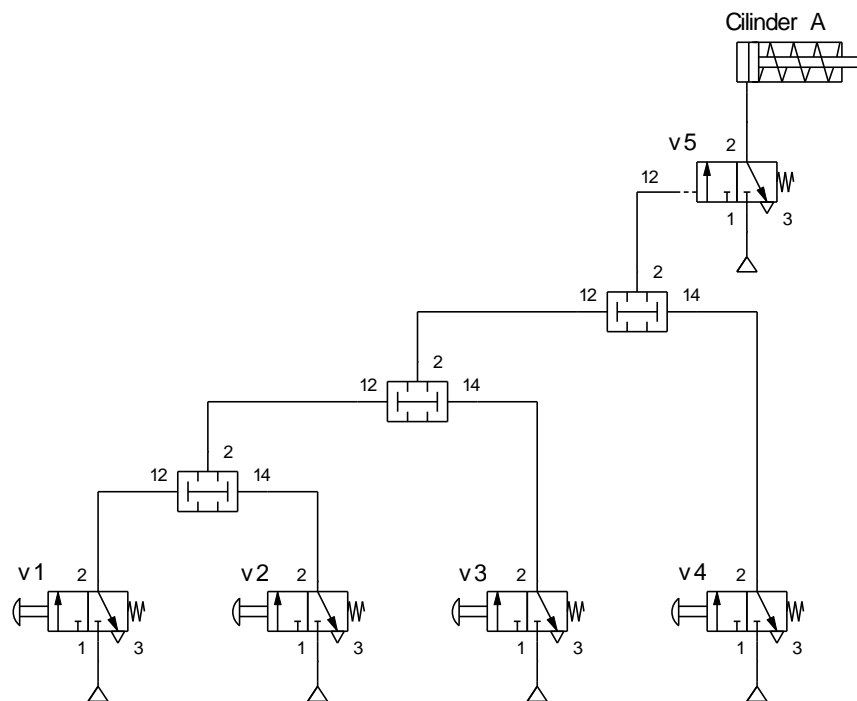


Figuur 3.27 :  
2 schakelingen voor  
realisering van een EN-functie,  
links met een tweedrukventiel  
en rechts met een serie-  
schakeling.

Evenals bij het wisselventiel kan ook hier het aantal samen te brengen signalen door een piramide- of cascadevormige samenbouw tot ieder willekeurig aantal uitgebreid worden. En ook hier is het aantal benodigde tweedrukventielen één minder als het aantal samen te voegen leidingen bedraagt.

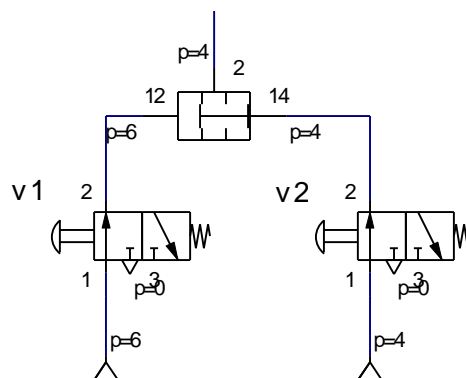
Voorbeeld:

Bekijk figuur 3.28. Een commando mag alleen gegeven worden zolang alle vier signalen v1 t/m v4 aanwezig zijn. Het aantal nodige tweedrukventielen bedraagt:  $4 - 1 = 3$



Figuur 3.28 :  
Trapsgewijze opbouw van  
meerdere tweedrukventielen.

Tweedrukventielen kunnen we ook gebruiken wanneer we verschillende druken in een persluchtsysteem gebruiken. Een tweedrukventiel laat van twee verschillende druksignalen altijd de laagste druk door, zoals in figuur 3.29 is weergegeven (v1=6 bar en v2=4 bar).



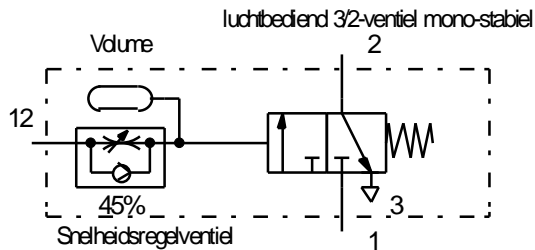
Figuur 3.29 :  
Gebruik van tweedrukventiel  
bij verschillende druken.



### 3.3.3 Schakelingen met tijdfuncties

Pneumatische tijdfuncties zijn opgebouwd uit:

- een luchtbediend 3/2-ventiel, mono-stabiel;
- een snelheidsregelventiel;
- eventueel een volume (luchtreservoir).



Figuur 3.30:  
Opbouw van een  
tijdvertragingventiel.

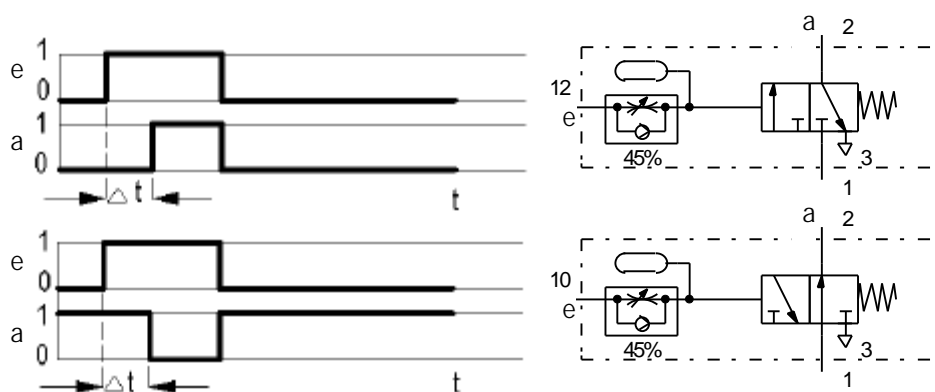
Deze drie elementen kunnen ook in één component verenigd zijn; voor de symbolische weergave betekent dit alleen, dat de drie componenten door een streep-puntlijn rechthoekig omkaderd worden, zoals in figuur 3.30 is weergegeven.

Voor het samenstellen van goed functionerende tijdschakelingen is een goede kennis van het gedrag van het ventiel van belang. Een zittingventiel heeft een heel andere karakteristiek dan b.v. een schuifventiel. De criteria die een rol spelen bij de keuze van de soort tijdschakeling zijn de schakeldruk, het aanwezig zijn van een tegenkracht (mechanische veer, "luchtveer", wrijving) en het z.g. overgangsgedrag (geleidelijk of in een sprong, "snap action").

Er zijn twee soorten tijdschakelingen te onderscheiden:

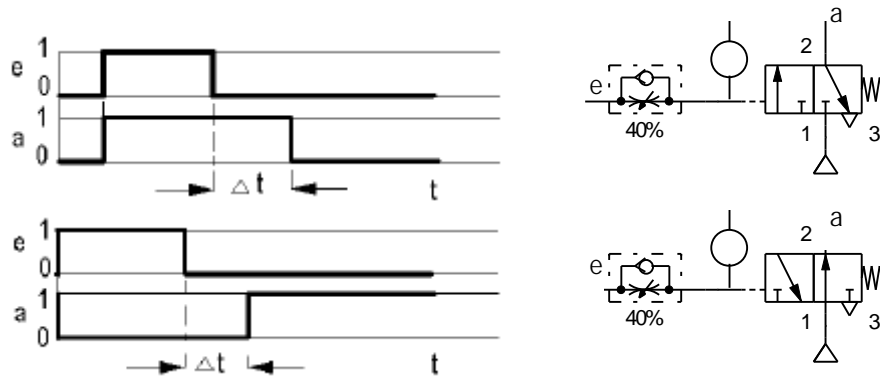
1. vertragen van de omschakeling;
2. het omzetten van een signaal in een puls.

Vertraging van een opkomend signaal. In figuur 3.31 is deze functie in een tijd/druk diagram voorgesteld en is de basisschakeling gegeven (1=druk, 0=geen druk, ? t=vertragingstijd).



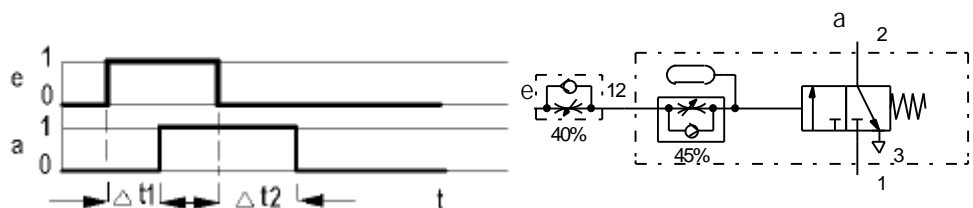
Figuur 3.31 :  
Pneumatische opkomtijd-  
vertragingen (N.G. en N.O.).

Vertraging van een afvallend signaal (zie figuur 3.32) gebeurt met een schakeling bestaande uit losse componenten. Hiervoor zijn nodig een snelheidsregelventiel een luchtvolume en een luchtbediend 3/2-ventiel mono-stabiel (N.O. of N.G.)



Figuur 3.32 :  
Pneumatisch afvaltijd-  
vertraaina.

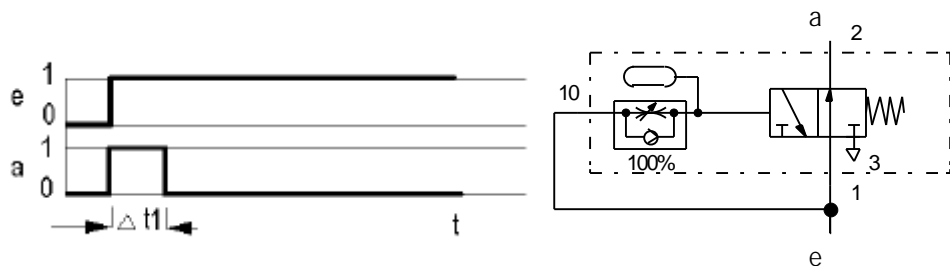
Vertraging van een opkomend en afvallend signaal. Figuur 3.33 geeft hier de schakeling, waarbij de resp. vertragingstijden ( $t_1$  = vertragingstijd opkomend signaal,  $t_2$  = vertragingstijd afvallend signaal) afzonderlijk zijn in te stellen.



Figuur 3.33 :  
Pneumatisch opkomstijds- en  
afvaltijd-vertraaina.

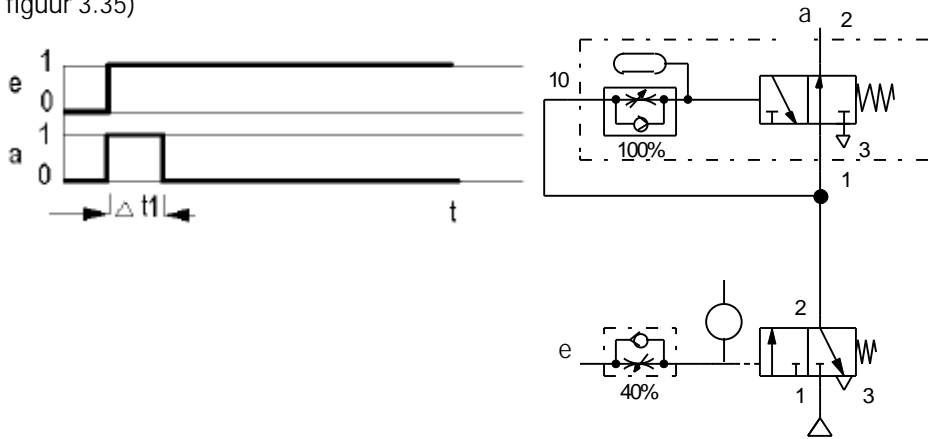
Schakeling voor pulsforming. Ook hier zijn twee soorten schakelingen te onderscheiden: een puls van volle druk over de hele pulsduur, of een wegebbende puls.

Voor het eerste geval is een opkomstijdsvertraging nodig met een normaal open 3/2-ventiel. Hierbij verbinden we de voedingsleiding en de stuurleiding met elkaar (T-stuk). Wanneer nu druk op signaalingang e wordt gezet zal de perslucht direct naar de uitgang a (arbeidspoort 2) gaan en tevens de tijdvertraging aansturen. Wanneer de ingestelde tijdsduur is bereikt schakelt het ventiel zichzelf af. Een pulsformer wordt gebruikt om het uitgangssignaal na een bepaalde bedieningstijd af te schakelen. Opgemerkt dient te worden dat wanneer de tijdsduur van het bedieningssignaal (signaal e) korter is dan de ingestelde pulsduur de puls ook korter wordt (dus gelijk aan het bedieningssignaal).



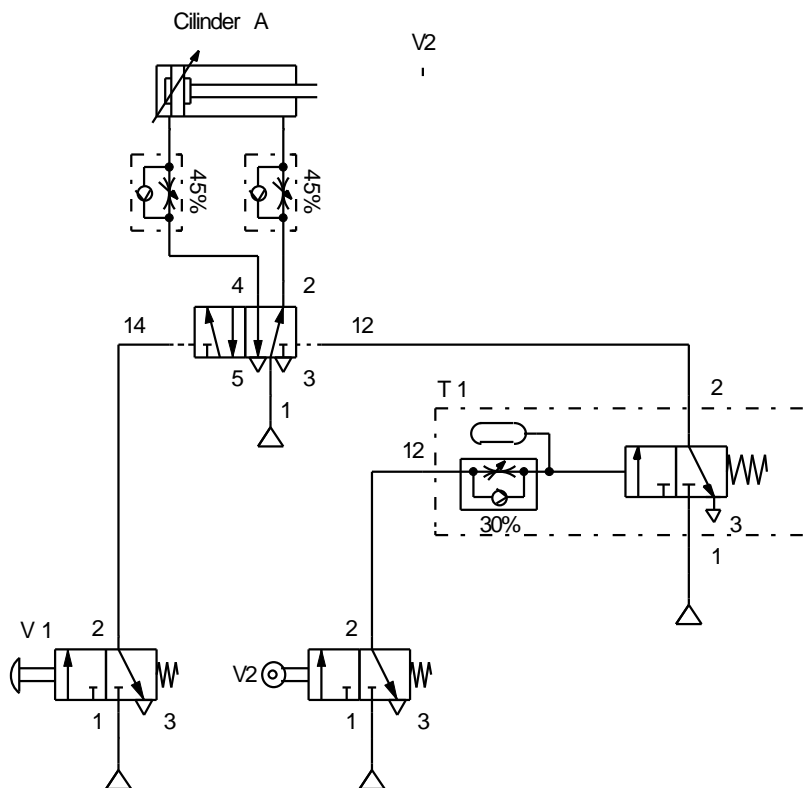
Figuur 3.34 :  
Pneumatische pulsformer.

Een wegebende puls wordt ook gerealiseerd met een puls vormer met het verschil dat de pulstijd nu vaststaat en niet afhankelijk is van de tijdsduur van het bedieningssignaal (signaal e). Dus ook wanneer de tijdsduur van het bedieningssignaal korter zou zijn dan de puls zal de volledige pulstijd gerealiseerd worden (zie figuur 3.35)



Figuur 3.35:  
Wegebende puls met vaste pulstuur.

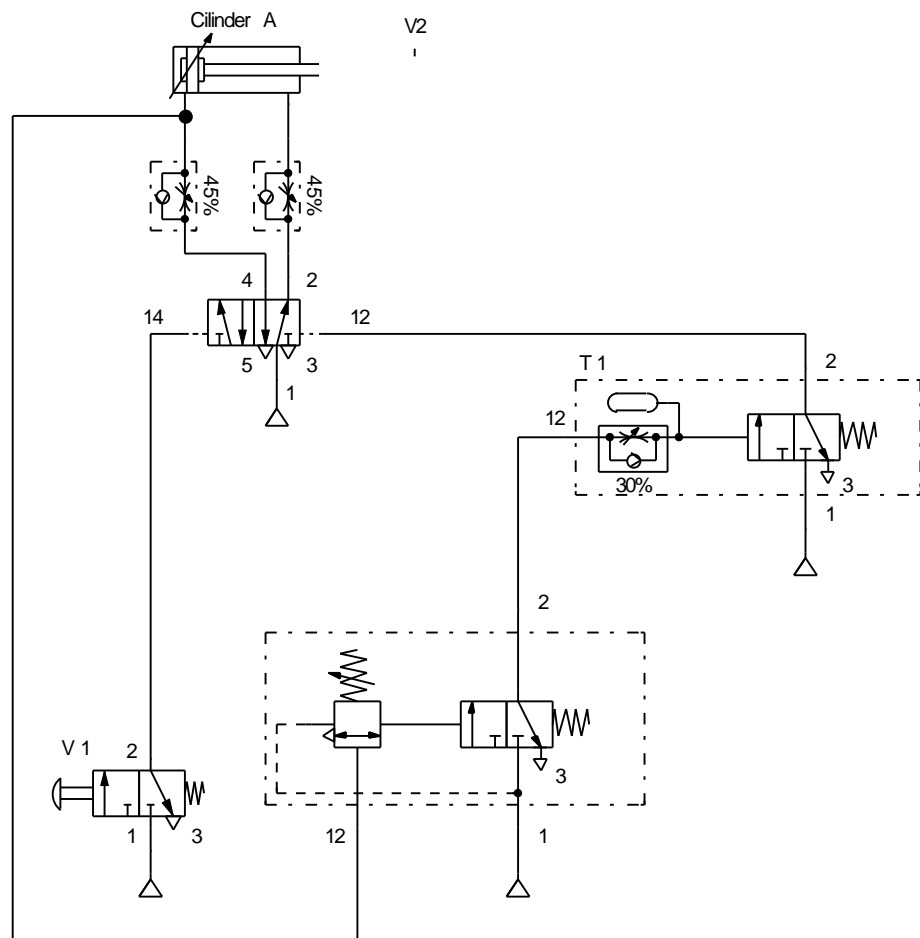
Een voorbeeld van een schakeling waarbij een tijdvertragsventiel wordt toegepast is afgebeeld in figuur 3.36. In dit voorbeeld wordt een cilinder naar zijn eindpositie gestuurd door ventiel v1. In de eindpositie aangekomen wordt het rolbediende ventiel v2 bediend en vervolgens door een tijdvertragsventiel een wachttijd gerealiseerd. Na het verstrijken van de wachttijd zal de cilinder weer naar zijn ruststand worden gestuurd.



Figuur 3.36 :  
Toepassing van een pneumatische tijdvertraging.

Bij de oplossing uit figuur 3.36 begint de vertragingstijd op het moment dat het einde van de slag bereikt is. Het omschakelcommando van ventiel v2 wordt door de ventielcombinatie t1 vertraagd doorgegeven naar het hoofdventiel.

Vertraagde terugschakeling zonder aftasting van de eindstand is ook mogelijk door het maken van een schakeling op druk (figuur 3.37), waarbij we gebruik maken van het feit dat bij het bewegen van de cilinder (cilinder A) het volume steeds groter wordt en de werkdruk dus niet gelijk is aan de systeemdruk. Dit wordt gelijk op het moment dat de cilinder tot stilstand (b.v. eindstand) komt.



Figuur 3.37 :  
Toepassing van een  
pneumatische tijdevertraaina.

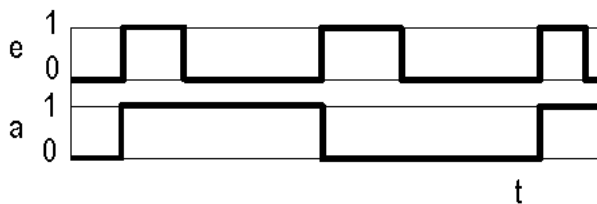
Dit is ook handig wanneer een produkt van verschillende afmetingen geklemd moet worden gedurende een bepaalde tijd, maar de eindstand van de klemcilinder niet vaststaat door verschillende produktafmetingen.

### 3.4 Diverse basisschakelingen

Om een goed beeld te krijgen van de mogelijkheden met pneumatische schakelingen wordt er in deze paragraaf aandacht besteed aan een aantal basisschakelingen.

#### 3.4.1 Tweedeler-besturingen met einstandsignalering

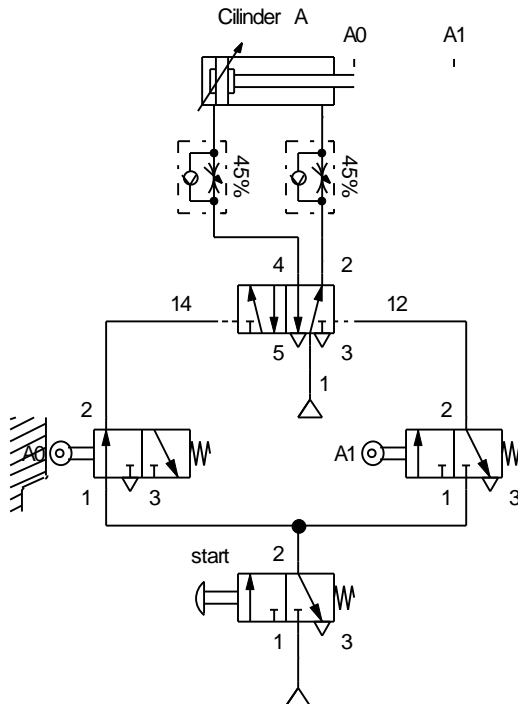
Kenmerk van een tweedeler schakeling is een uitgang die telkens bij het optreden van een ingang signaal, afwisselend van de ene binaire waarde overgaat in de andere. Het diagram in figuur 3.49 maakt duidelijk hoe het uitgangssignaal a afhangt van het ingangssignaal e.



Figuur 3.38 :  
Tweedeler besturing

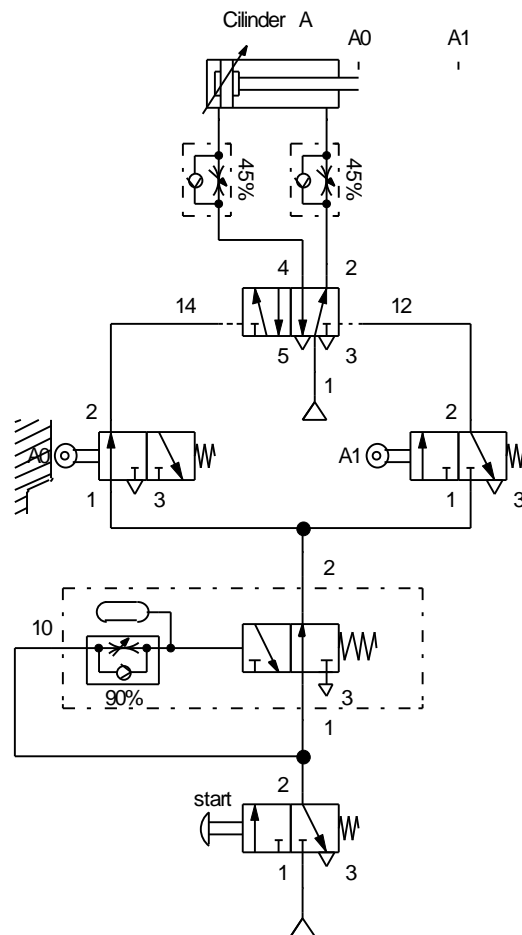
Ieder tweede optreden van het ingangssignaal brengt het ingangssignaal dus weer in de toestand bij rust terug. Het aantal wisselingen van het ingangssignaal verhoudt zich tot dat van het uitgangssignaal als 2 : 1. Vandaar de naam tweedelerschakeling. Dit type schakeling is van belang voor tellen en soortgelijke functies. Het principe kunnen we daarnaast in de pneumatische bedrijfsmechanisatie toepassen, b.v. in transportsystemen (verdelen van produkten).

Als het gebruik van ventielen met rolbediening in beide eindstanden van het te bewegen machinedeel mogelijk is, kan de schakeling volgens figuur 3.39 worden uitgevoerd.



Figuur 3.39 :  
Tweedelerschakeling met  
rolbediende ventielen

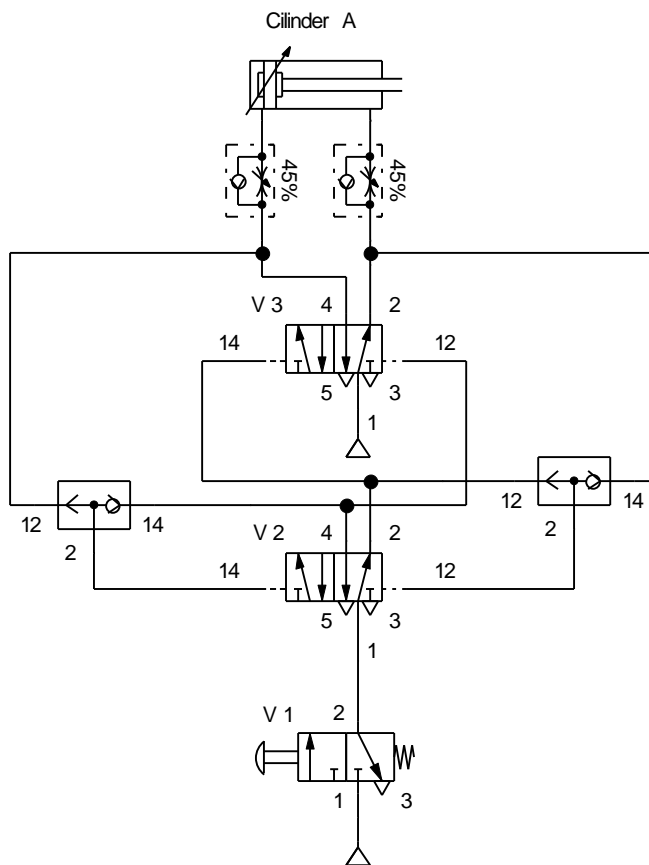
Voorwaarde voor een goede werking is echter, dat het ventiel st weer losgelaten wordt voordat de cilinder de ingeleide slag heeft voltooid. Zo niet dan wordt hij door bediening van het andere rolventiel direct weer teruggestuurd. Een pulsschakeling volgens figuur 3.40 brengt hierin uitkomst.



Figuur 3.40:  
Tweedelerschakeling met  
rolbediende ventielen en een  
pulsvormer

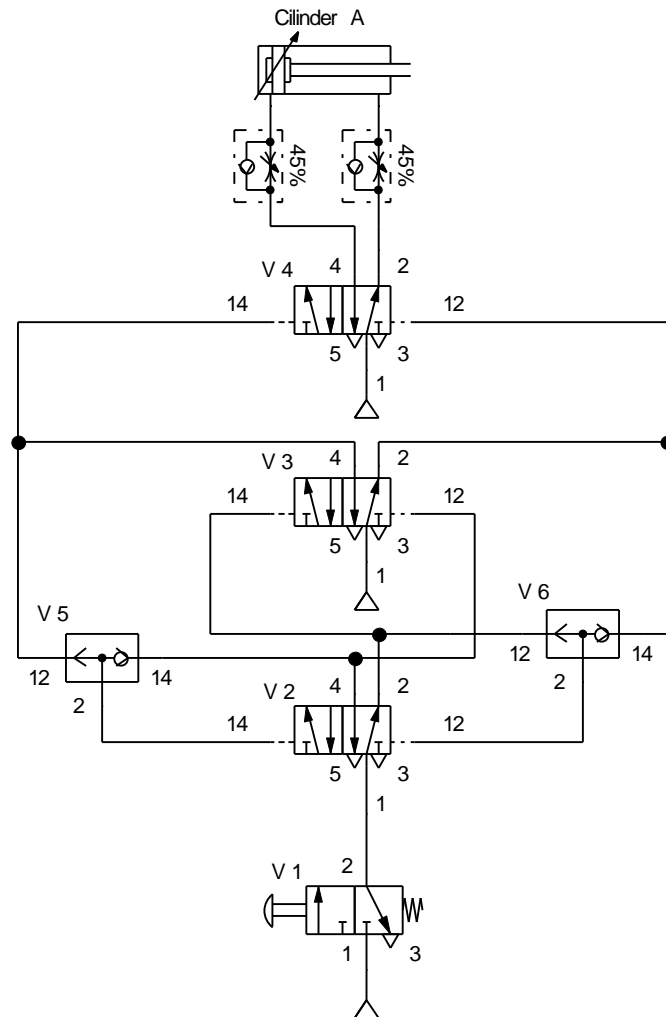
### 3.4.2 Tweedelerschakeling zonder eindstandsignalering

In de schakeling volgens figuur 3.41 is nuttig gebruik gemaakt van de eigenschap van een tweezijdig door druk bediend schuifventiel, namelijk dat het eerst optredende stuursignaal de stand ervan bepaalt. In de getekende situatie wordt bij bedienen van ventiel "V1" het ventiel "V3" omgeschakeld. Hetzelfde druksignaal via het rechter wisselventiel voorkomt gelijktijdig het schakelen van ventiel "V1". Na het omschakelen van ventiel "V1" komt er namelijk druk op de linker sturingang van ventiel "V2", maar zolang via de ventielen "V1" en het rechter wisselventiel nog druk op de rechter sturingang gehandhaafd blijft, schakelt ventiel "V2" niet om. Wordt de drukknop van ventiel "V1" echter losgelaten, dan schakelt ventiel "V2" onmiddellijk om, zodat bij de volgende bediening van ventiel "V1" het hoofdventiel "V3" weer naar de getekende stand gestuurd wordt.



Figuur 3.41 :  
Tweedelerschakeling zonder  
eindstandsignalering

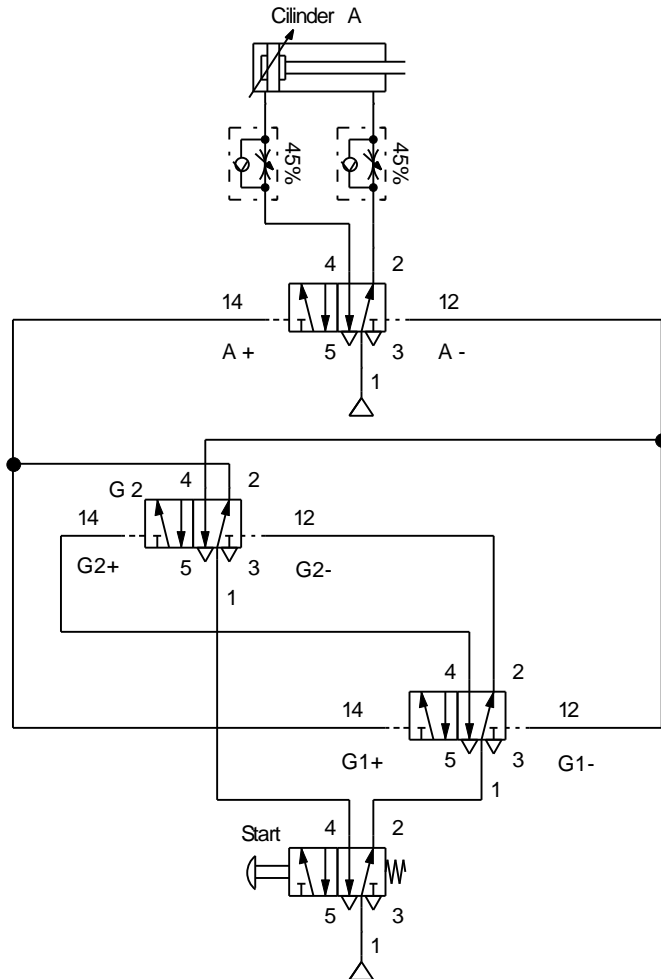
Zoals bij de overneemerschakelingen in figuur 3.6 t/m 3.8 is besproken, kunnen ook hier door de cilinder drukveranderingen optreden die storend werken. Ook nu brengt een extra ventiel (ventiel V4) om stuur- en hoofd lucht te scheiden uitkomst (figuur 3.42).



Figuur 3.42 :



In figuur 3.43 wordt de tweedelerfunctie met 2 tweedrukventielen opgelost.

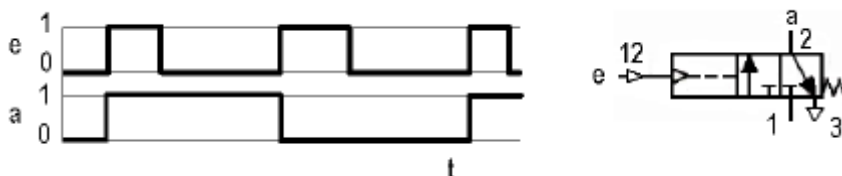


Figuur 3.43 :  
Tweedelerschakeling met 2  
tweedrukventielen.

### 3.4.3 Tweedelerventielen

Omdat de besproken schakelingen nogal omvangrijk en dus kostbaar zijn, zijn speciale ventielen met een tweedelerfunctie ontwikkeld.

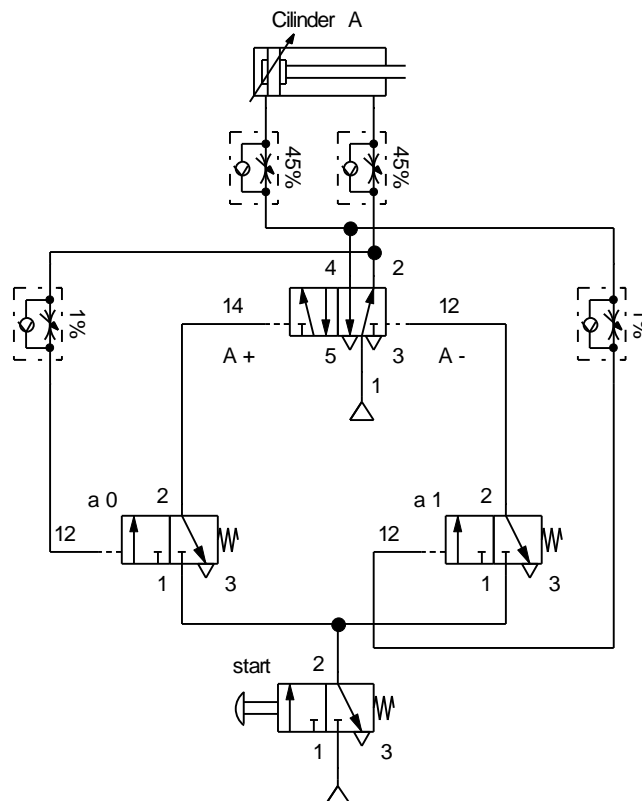
Voor een dergelijk ventiel is nog geen officieel symbool vastgesteld. Vandaar dat wij hierna verder zullen werken met het in figuur 3.44 voorgestelde symbool.



Figuur 3.44 :  
Tweedelerventiel.

### 3.4.4 Schakeling voor een oscillerende beweging met een cilinder zonder eindstandsignalering

Een continu oscillerende beweging komt in de praktijk voor bij het dompelen van producten in ontvettingsbaden, stapsgewijze aandrijvingen, enz. Meestal is daarbij een variabele frequentie gewenst. Als in het systeem geen eindstandmeldingen worden toegepast, is een besturing gebaseerd op een tijdvertraging de aangewezen methode (zie figuur 3.45).

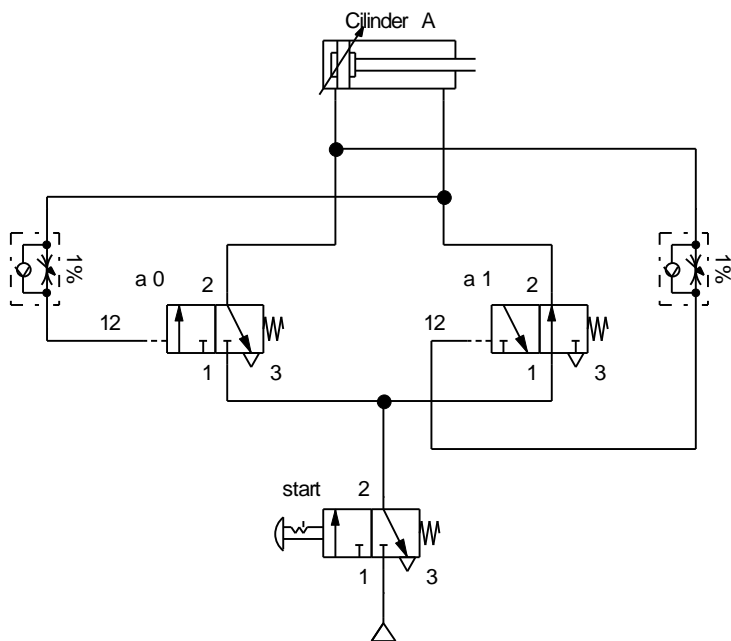


Figuur 3.45 :  
Oscillerende cilinderbeweging  
zonder eindstandmelding

Zodra het drukknopbediende 3/2-ventiel "start" teruggeschakeld wordt naar de getekende stand stopt de cilinder in de stand die hij op dat moment inneemt. Dit komt omdat het ventiel "start" de luchttoevoer van de ventielen "a0" en "a1" afschakeld.

Willen we de cilinder altijd in een bepaalde stand laten stoppen, dan moet een van de ventielen "a0" of "a1" direct op de voeding aangesloten worden. Als we dat doen met ventiel "a1" dan is de getekende stand in het schema de ruststand.

Voor kleine cilinders met een hoge frequentie kan de directe methode van figuur 3.46 worden toegepast. Deze schakeling is ook als schakeleenheid (multivibrator) bekend.



Figuur 3.46 :  
Oscillerende cilinderbeweging  
zonder eindstandmelding.

### 3.4.5 Methodes voor het onderdrukken en afschakelen van signalen

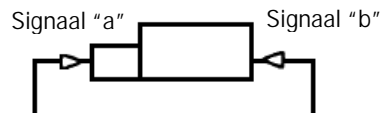
Een probleem dat in de besturingstechniek een grote rol speelt, is het tegelijkertijd optreden van tegengestelde commando's. Een bistabiel (tweezijdig bediend) ventiel kan niet omgeschakeld worden, zolang het signaal op de tegenoverliggende zijde er nog is.

Dit probleem kan principieel op twee manieren worden opgelost:

1. het nog (ongewenst) aanwezige signaal wordt door een sterker werkend signaal overtroefd (signaalonderdrukking).
2. het ongewenst signaal wordt afgeschakeld.

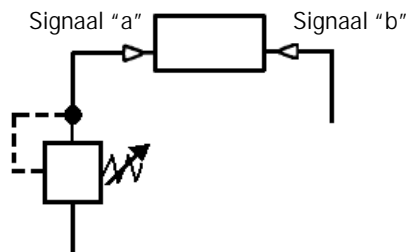
Methodes voor de onderdrukking van signalen:

Bij deze methode wordt aan een bepaald signaal prioriteit gegeven. Constructief vinden we dit bij het differentiaalventiel verwezenlijkt, waarbij de ene stuurzijde gewoonlijk een twee keer to groot werkzaam oppervlak bezit als de andere stuurzijde (figuur 3.47). Het dominerende signaal werkt dan op het grootste oppervlak. In dit figuur heeft het signaal b dus voorrang.



Figuur 3.47:  
Differentiaalventiel.

Een andere oplossing is om het te onderdrukken signaal met een reduceerventiel op een lager drukniveau te brengen ((figuur 3.48). In dit figuur heeft het signaal b dus voorrang.



Figuur 3.48:  
Onderdrukken van een signaal  
met een drukreducerventiel.

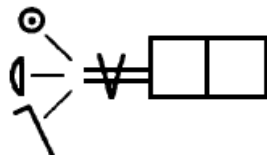
Beide oplossingen zijn functioneel gelijkwaardig. Voorwaarde daarbij is dat de signalen "a" en "b" dezelfde druk hebben en "a" in figuur 3.48 door het drukreducerventiel duidelijk lager is dan "b".

Er moet ook rekening mee worden gehouden dat een eventueel nog steeds aanwezig signaal "a" het ventiel bij verdwijnen van signaal "b" direct weer doet terugschakelen.

Wanneer bepaalde signalen te lang duren dienen deze in sommige gevallen te worden ingekort. Dit probleem kan op twee manieren worden opgelost:

1. door constructieve mogelijkheden.
2. door schakeltechnische maatregelen.

Constructieve mogelijkheden door middel van een pulssignaalgever. Het symbool voor dit type signaalgever met bediening door rol, hand of voet is in figuur 3.49 gegeven. Het symbool wordt samengesteld uit de symbolen voor stuurventiel, sprongfunctie en betreffende wijze van bediening.

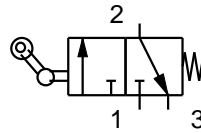


Figuur 3.49:

Bij de toepassing van dit ventiel moeten de volgende punten in acht worden genomen:

- De pulsduur is afhankelijk van de snelheid waarmee het bedieningsorgaan wordt ingedrukt. Om van een bruikbare puls verzekerd te zijn mag de bedieningssnelheid niet meer dan 0,1 tot 0,15 m/s bedragen. Komt de schakeling van het aangesloten element door welke oorzaak dan ook niet tot stand, dan is de juiste afloop van de desbetreffende werkcyclus niet meer onder controle te brengen. Een herhaling van het signaal is niet te produceren.
- Halverwege de bedieningsweg laat het ventiel een signaal door. Pas bij volledig indrukken wordt dit afgeschakeld. Stabiele montage en exacte afstelling zijn dus noodzakelijk. Het schakelpunt ligt daarom per definitie niet in de aanslag aan het einde van de bedieningsweg maar ervoor. Het signaal wordt 4 a 5 mm voor het bereiken van de aanslag afgegeven.

Constructieve mogelijkheden door middel van een bediening van ventiel met kantelrol (knikrol). Dezelfde werking krijgen we door mechanische bediening van een ventiel uitgerust met een kantelende rol. In een richting klapt de rol weg zonder het ventiel te bedienen, in de andere wordt het wel bediend. Het symbool laat figuur 3.50 zien.

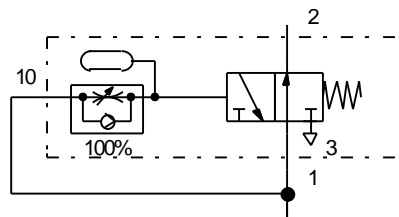


Figuur 3.50:  
Knikrol bediend ventiel.

Bij toepassing van deze bedieningsvorm moet met het volgende rekening gehouden worden:

- Het signaal kan niet in de eindstand van een beweging gegeven worden, omdat de bedieningsrol de schakelnok volledig moet passeren. Hier hangt de pulsduur van de snelheid en bovendien van de lengte van de nok af.
- Omdat het ventiel in de eenmaal ingenomen eindstand van het te signaleren machinedeel niet meer bediend is, wordt deze stand verder ook niet meer bewaakt. Het signaal kan maar één puls aan een element doorgeven en is voor verdere controles of vergrendeling dus niet meer beschikbaar.

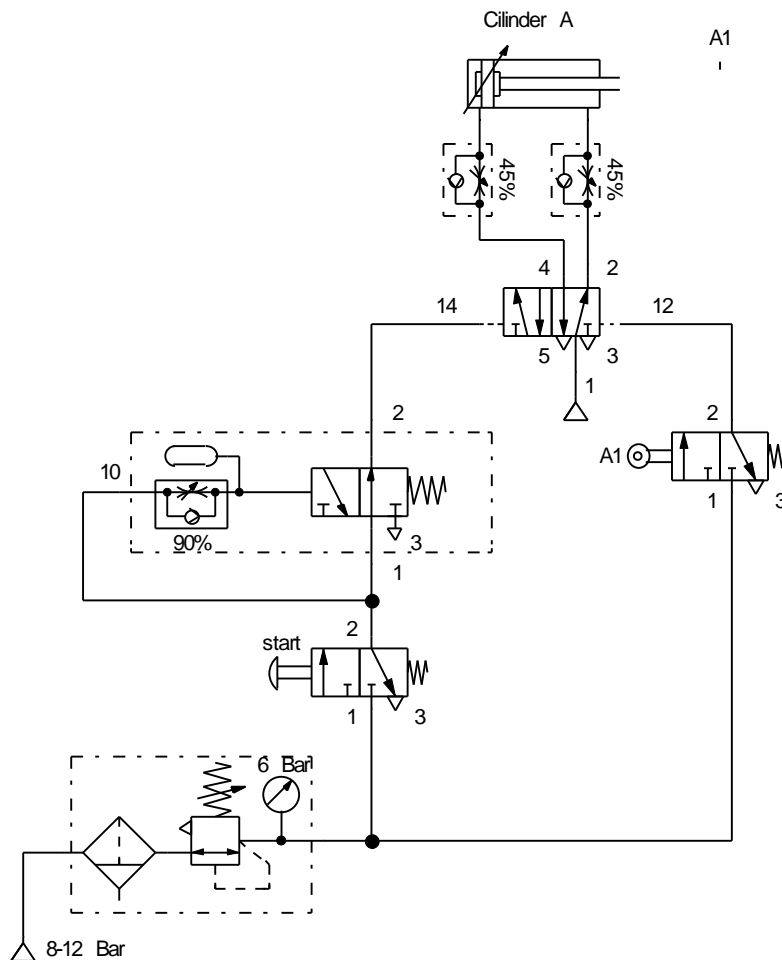
Een mogelijkheid is de schakelingen voor pulsforming toe te passen die in §3.3.3. behandeld werden.



Figuur 3.51:  
Pulsvormer.

Deze methode staat een signalering toe, die pas bij het werkelijk bereiken van de eindpositie van het te signaleren machinedeel optreedt. Bovendien is de pulsduur instelbaar en kan dus aan het te bedienen element aangepast worden. Er kan een grotere betrouwbaarheid ten opzichte van de hiervoor genoemde mechanische mogelijkheden bereikt worden. We dienen ons wel te realiseren dat dit gepaard gaat met meerkosten, omdat er twee componenten extra gebruikt moeten worden, namelijk die van figuur 3.51.

Een toepassing geeft figuur 3.52. De cilinder kan door ventiel al, via krachtstuurventiel, toch teruggeschakeld worden, al blijft ventiel "start" bediend. Een nieuwe start van de cilinder is pas door loslaten en weer indrukken van ventiel "start" mogelijk. De pulsduur moet op een kortere tijd ingesteld zijn, dan de uitgaande slag van de zuigerstang in beslag neemt.



Figuur 3.52 :  
Voorbeeldschakelin voor  
toepassing pulsgever.

Door een omschakelventiel  
Deze methode wordt in de praktijk het meest toegepast. Het is niet alleen de enige, volledig betrouwbare, maar meestal bovendien de goedkoopste oplossing, omdat dit ene extra ventiel verscheidene signalen kan afschakelen. Evenals in c wordt het af te schakelen signaal door een open doorgang van een ventiel geleid, dat dan echter niet na een ingestelde tijd, maar door op juiste wijze gekozen druk-signalen weer afgeschakeld wordt. Welke signalen dit moeten zijn, zal in hoofdstuk 4 nog uitvoerig behandeld worden.

## 3.5 Basisschakelingen voor eindstandmelding

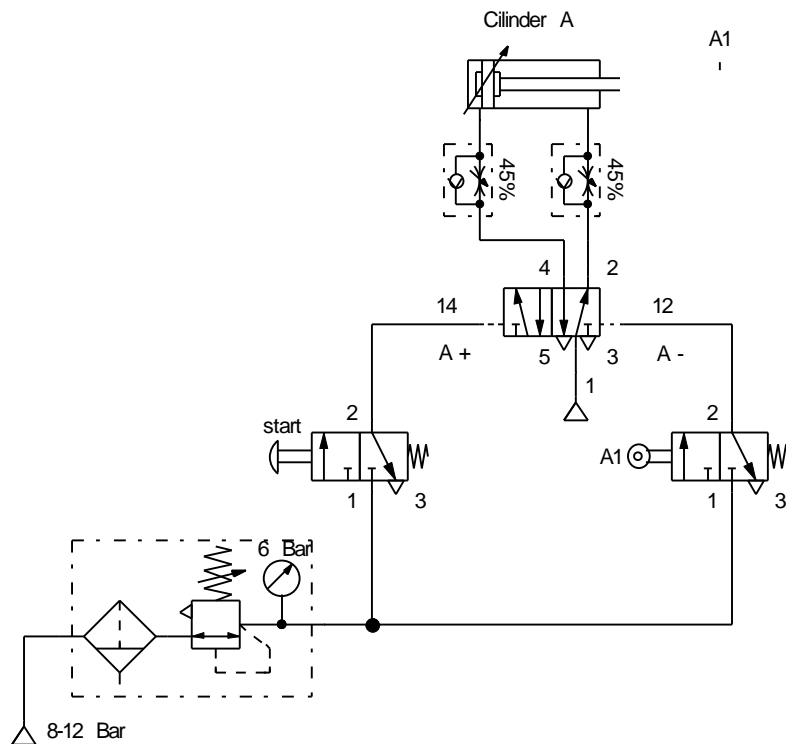
Eindstandmelding op cilinder kan plaatsvinden:

- buiten de cilinder (b.v. rolbediende 3/2-ventiel);
- op de cilinder (magneetbediende 3/2-ventielen);
- in de cilinder (volgordeventielen).

### 3.5.1 Eindstandmelding buiten de cilinder

Voorbeeld 1:

Een dubbelwerkende cilinder dient na bereiken van zijn werkstand (uit) automatisch teruggestuurd worden, mits het ventiel "start", dan niet meer bediend is. Hiervoor kan een rolbediend 3/2-ventiel gebruikt worden als eindstandmelding. Het ventiel wordt in het signaalgedeelte van het schema getekend en bij de cilinder wordt een verwijzing gemaakt waar het ventiel werkelijk zit gemonteerd (zie figuur 3.53).



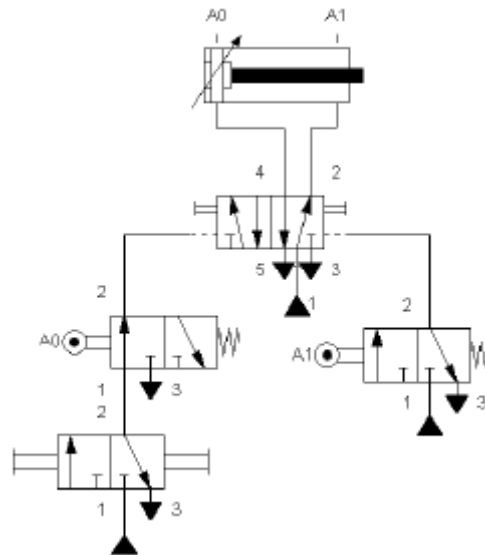
Figuur 3.53:  
Eindstandmelding buiten de  
cilinder voor een repeterende  
schakeling.



In de schakeling van figuur 3.53 wordt duidelijk dat het ventiel "start" een te lang signaal kan geven. Houden we ventiel "start" bediend, dan wordt op het einde van de slag wel ventiel "a1" bediend en het retour-commando gegeven, maar dit signaal kan niet werkzaam worden, omdat aan de andere stuurkant nog steeds het signaal van ventiel "start" aanwezig is. (Bij gelijke druk en gelijke oppervlakte van de schuif wordt het ventiel bij krachtenevenwicht door de wrijving in de betreffende positie vastgehouden). Het hoofdventiel kan pas omschakelen als ventiel "start" losgelaten wordt. Terugkomend op wat bij de overneemschakeling is gesteld, kan hier worden opgemerkt dat bij een schuifventiel het eerst optredende signaal domineert. De oplossing is op de vorige bladzijde in figuur 3.52 te vinden, waar gebruik wordt gemaakt van een pulsgever.

Voorbeeld 2:

Een dubbelwerkende cilinder moet zo bestuurd worden, dat de zuiger na bedienen van een bistabiel ventiel met handbediening (d.w.z. een ventiel dat in bediende stand kan blijven staan) een continue heen- en weergaande beweging kan maken tussen de beide eindstanden. Bij terugzetten van het ventiel met handbediening mag de zuiger pas tot stilstand komen als de volledig ingetrokken stand bereikt is.

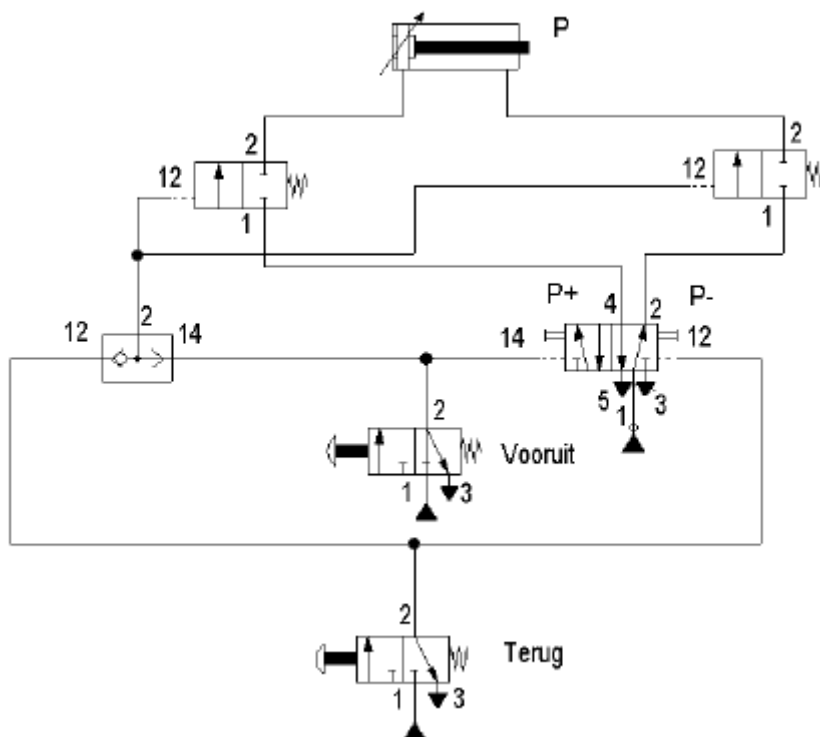


In de schakeling van figuur 3.54 is ventiel a0 verantwoordelijk voor de start van de uitgaande slag van cilinder A. Als we met een start/stop ventiel de voeding van a0 onderbreken, stopt de repeterende beweging in de ingetrokken stand. Dit is de uitgangspositie die het schema weergeeft (afpraak onder 2.3). Omdat ventiel a0 in de uitgangspositie van de installatie bediend is, tekenen we dat ook zo in het schakelschema.

### 3.5.2 Stapsgewijs bewegen van de zuigerstang van een dubbelwerkende cilinder

Er moet een voorziening getroffen worden om de zuigerstang van een dubbelwerkende cilinder, door tippen van een ventiel voor "uit" of "terug", stap gewijs resp. uit of terug te laten bewegen. In iedere positie moet de zuigerstang, voorzover dit met lucht mogelijk is, gestopt en vastgehouden kunnen worden door loslaten van beide ventielen.

Door de samendrukbaarheid van de lucht is een exact stopstand (afgezien van de eindstanden) van een pneumatische cilinder niet mogelijk. Toch zijn er veel praktijktoepassingen waar de bereikbare nauwkeurigheid van positioneren geheel voldoet. Fig. 3/15 geeft de schakeling voor een dergelijk geval.



Figuur 3.13 :

Bij deze schakeling worden de toevoerleidingen naar de cilinder door de 2/2 stuurventielen geblokkeerd. Bij bedienen van een van de ventielen met handbediening worden de beide 2/2 ventielen gelijktijdig bediend en de doorgangen naar de cilinder vrijgegeven. Bij elke blokkering zal de cilinder naar een krachterevenwicht streven. De 2/2 ventielen moeten een constructie hebben die doorstroming in beide richtingen toestaat.

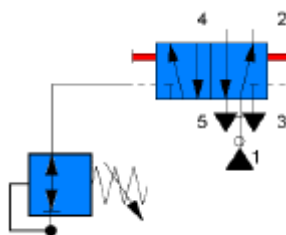
Een andere oplossing wordt verkregen met een driestandventiel met gesloten middenstand, zoals het schema in fig. 3/16 laat zien.

### 3.5.3 Einstandmelding met volgordeventiel

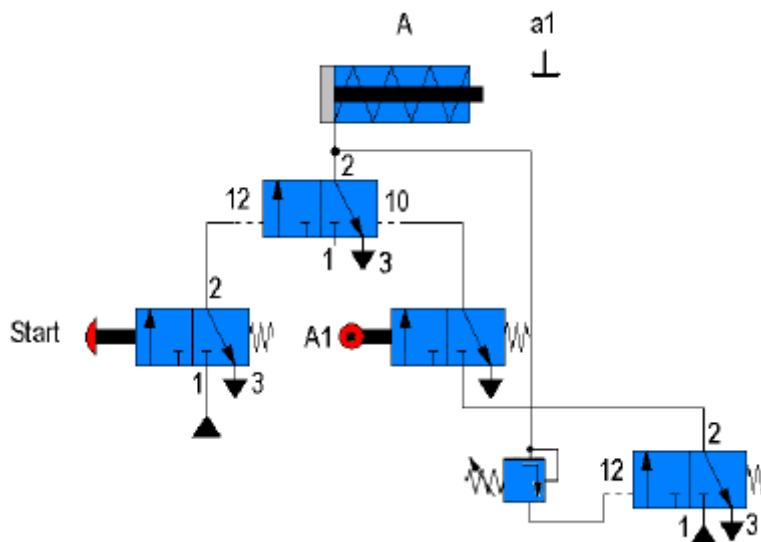
Voor het veroorzaken van een commando bij het bereiken van een instelbare waarde, staat ons het volgordeventiel ter beschikking. Dit moet de functie van een 3/2 - stuurventiel hebben; de uitgang moet belucht of ontlucht kunnen worden.

Het te gebruiken symbool volgens NEN 3348 voorziet niet in een ontluchttingsfunctie wij tekenen het volgordeventiel daarom steeds in samenbouw met een 3/2-, of waar nodig met een 5/2 - stuurventiel ( fig. 3/38 ).

Figuur 3.35 :



Drukafhankelijk omschakelen met mechanische controle van de eindstand d.m.v. een extra eindschakelaar



Figuur 3.36 :

Het volgordeventiel moet zo ingesteld zijn, dat zijn schakelpunt vlak onder de waarde van de vereiste druk ligt. Om dit te bereiken moet de veerdruk eerst maximaal zijn en dus moet de draaiknop op het volgordeventiel volledig worden aangedraaid. Daarna moet de cilinder worden uitgestuurd en moet de draaiknop op het volgordeventiel zover worden dichtgedraaid, totdat de cilinder door het volgordeventiel wordt teruggestuurd.

Aangezien de max. druk alleen bij stilstand van de zuiger tot stand kan komen, kan het volgorde ventiel pas dan een signaal afgeven als de eindstand bereikt is. Om zeker te zijn dat de eindstand ook werkelijk bereikt is, wordt deze bovendien door de eind schakelaar a1 gecontroleerd.

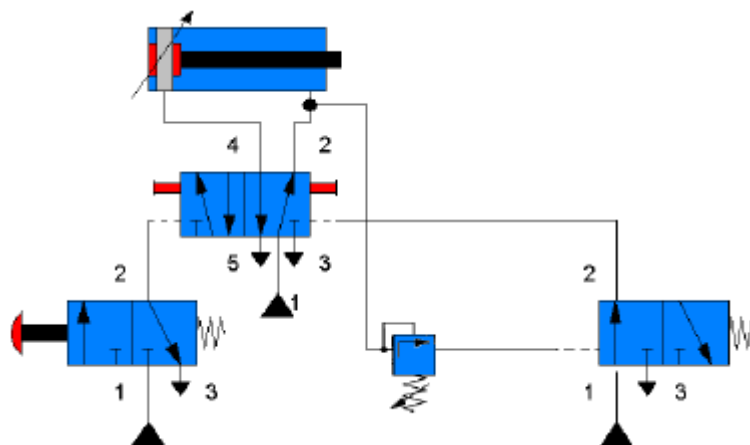
Een andere mogelijkheid van drukafhankelijk omschakelen berust niet op drukopbouw, maar op een tegengesteld verschijnsel. In het voorgaande werd gesteld dat de voile leidingdruk achter de zuiger in een enkelwerkende cilinder pas bereikt wordt, zodra de zuiger tot stilstand is gekomen.

Bij een dubbelwerkende cilinder geldt ook het tegengestelde, namelijk ten aanzien van de cilinderruimte voor de zuiger. De druk in deze ruimte wordt pas gelijk aan die van de buitenlucht, als de zuiger stilstaat. Van dit laatste verschijnsel maken we gebruik bij de toepassing van een normaal-open 3/2-ventiel of instelbaar volgordeventiel (fig. 3/40). De stuurleiding sluiten we aan op het leidingsgedeelte tussen cilinder en hoofdventiel. Dit ventiel is dan bediend zolang de zuiger niet in de werkstand is gekomen. Is dit echter wel het geval, dan wordt de stuurdruk nul en zorgt de veer voor het innemen van de geopende normaalstand.

Hierdoor wordt het hoofdventiel op de stuuringang bekrachtigd en omgeschakeld.

De stangzijde van de cilinder komt dan weer onder druk en ventiel 1.3. neemt weer de getekende, bediende stand in; de uitgang wordt weer ontlucht.

Met deze methode, het schakelen op afvallende druk, zijn we totaal onafhankelijk van netdruk, cilinderbelasting, e.d. De stuurleiding moet altijd afgetakt worden tussen cilinder en snelheidsregelventiel zodat we de druk in de cilinder meten.



Figuur 3.37 :

#### 3.5.4

## 3.6 Pneumatische sensoren

### 3.6.1 Reflexoog

Bij dit element stroomt lucht met een overdruk van ca. 0,15 bar door een ringvormige opening, rondom de eigenlijke signaalsproeier. Er is een druktoevoer 1 en een signaalpoort 2. fig. 3/48 geeft het symbool. De onderdruk bij A verandert in een lichte overdruk als een voorwerp vlak voor de opening komt en de uitstromende lucht hierop wordt gereflecteerd. Aanraking tussen het voorwerp en het reflexoog is daarbij niet nodig en zelfs niet gewenst.

2: Signaal uitgang  
1: Druktoevoer ca. 0,1 bar

Figuur 3.44 :

### 3.6.2 Luchtpoort

Deze is samengesteld uit een zender- en een ontvangerelement. Het laatste is op hetzelfde principe als het reflexoog gebaseerd. De luchtstraal uit de zender veroorzaakt druk op de uitgang 2 van de ontvanger. Wordt de straal tussen de twee elementen door een voorwerp onderbroken, dan valt dit signaal weg. In fig. 3/49 is links het symbool voor de ontvanger, rechts dat voor de zender gegeven.



Figuur 3.45 :

Omdat de betreffende signalen van een zeer lage druk zijn, is een drukversterking nodig. De benodigde versterkers dienen meestal met een aparte, (lage) druktoevoer gevoed te worden, ook als ze in een hogedruk systeem zijn toegepast. Hiervoor moeten dan voorzieningen worden getroffen in de vorm van een filter / regelaar voor lage druk ( ca. 0,15 bar ). Fig. 3/50 geeft het algemene symbool voor een versterker.



Figuur 3.46 :

De combinatie van dit symbool met dat van een stuurventiel met drukbediening leidt tot het symbool in fig. 3/51.

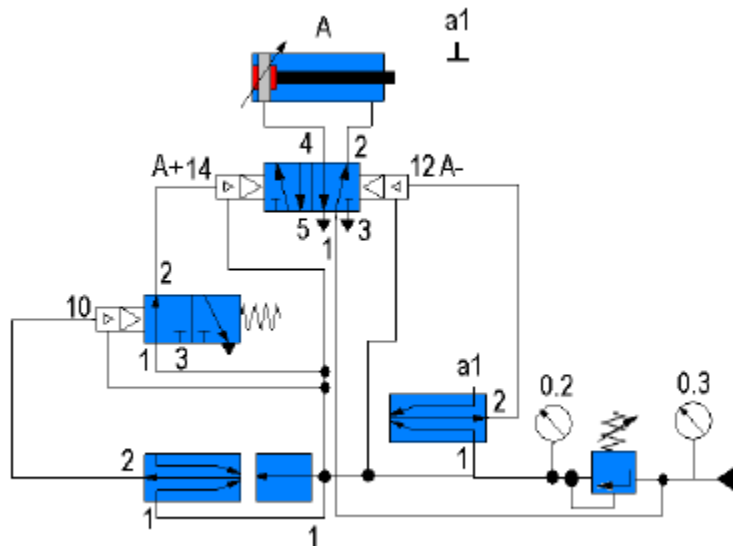


Figuur 3.47 :

Voorbeeld 21:

De zuigerstang van een dubbelwerkende cilinder moet een uitgaande slag maken als het signaal op een luchtpoort kortstondig onderbroken wordt.

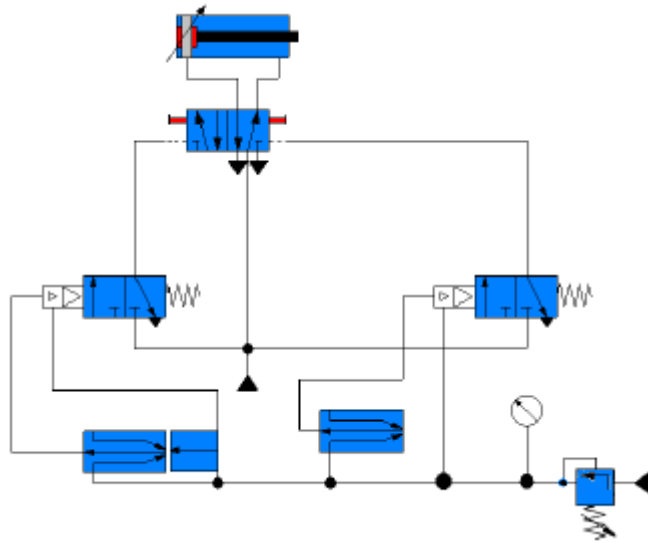
Het bereiken van de eindstand moet door een reflexoog afgetast worden; het signaal dat hierdoor wordt afgegeven, moet direct leiden tot het teruggaan van de zuiger, fig. 3/52 geeft de schakeling.



Figuur 3.48 :

Het normaal geopende ventiel zorgt voor de omkering van het signaal van de luchtpoort. Zo ontstaat na onderbreking van de straal een positief uitgangssignaal dat krachtstuurventiel in de A+ richting omstuurt.

We kunnen ook eerst het signaal van het reflexoog via een afzonderlijk, ook weer normaal gesloten ventiel versterken en komen dan tot de schakeling volgens fig. 3/53. Het voordeel van deze schakeling ten opzichte van die in fig. 3/52 is dat een versterker minder is gebruikt. Het krachtstuurventiel is dan een gewoon schuifventiel met directe bediening door druk.





### 3.6.3 Samenvatting

Hieronder is nog een beknopt overzicht gegeven van de mogelijkheden van signaalonderdrukking en afschakeling.

Signaalonderdrukking

door differentiaalventiel; met verschillende oppervlakten voor de stuurdruk

door reduceerventiel; het te onderdrukken signaal moet een lagere druk bezitten

Signaal-afschakeling

mechanisch door sprongfunctie

mechanisch door knikrol

door pulsforming

door omschakelventiel

Een aantal eigenschappen en kenmerken uit de vorige paragrafen kan als volgt kort worden samengevat:

2/2 - stuurventielen : - zuivere afsluitfuncties.

3/2 - stuurventielen : - besturen van enkelwerkende cilinders;  
- besturen van ventielen met luchtbediening;  
- algemene toepassing: overal waar afwisselend druktoevoer en ontluuchting vereist is.

4/2 - stuurventielen : - voor besturing van dubbelwerkende cilinders;  
- algemene toepassing: waar twee leidingen steeds tegengesteld afwisselend onder druk gezet en ontluucht moeten worden.  
- 4/2-ventielen worden vanwege hun duurdere constructie dan 5/2-ventielen nauwelijks nog gebruikt en niet meer verkocht.

5/2 – stuurventielen : - als 4/2 - stuurventielen, met de bijkomstigheid dat de twee uitgangen 4 en 2 scheiden ontluuchtingen via 3 en 5 hebben. Dit maakt snelheidsregeling door smoring van de ontluuchtpoorten mogelijk.

Directe besturing:

Deze passen we toe als de desbetreffende functie met een ventiel mogelijk is en de doorlaat van dit ventiel voldoende groot is voor de te leveren volumestroom.

Indirecte besturing:

Toe te passen als verscheidene signalen voor een functie nodig zijn of als een grote volumestroom op afstand gestuurd moet worden.

Impulsbesturing:

a) Door bistabiel element:

Het is in de pneumatiek de regel om waar door impulsen blijvend omgeschakeld moet worden, de betrouwbare en relatief goedkope, tweezijdig bediende ventielen te gebruiken. Bij onderbreking van de stuuenergie blijft de dan aanwezige toestand gehandhaafd.

b) Met monostabiele elementen:

Als bij onderbreking van de energietoevoer een bepaalde situatie op moet treden, worden monostabiele elementen in een overneemschakeling toegepast. De totale schakeling vereist meer componenten en is daarom meestal duurder dan toepassing van bistabiele elementen.



## HOOFDSTUK 4 : HET BEWEGINGSDIAGRAM

Van probleem naar oplossing in 6 stappen

1. Formulering van het probleem en het vastleggen van de condities
2. Arbeidsenergie, arbeidselementen
3. Situatieschets
4. Oplossen van het besturingsprobleem
5. Keuze van het type besturing
6. Tekenen van het schema

De hierboven gegeven volgorde bij het uitwerken van een besturingsprobleem is in de praktijk doelmatig gebleken. De genoemde punten dienen bij elke probleemstelling aan de orde te komen, beantwoord en de eruit voortvloeiende gegevens vastgelegd te worden.

In de volgende paragrafen (§ 4.1 t/m 4.6) van dit hoofdstuk zullen de stappen in detail worden besproken.

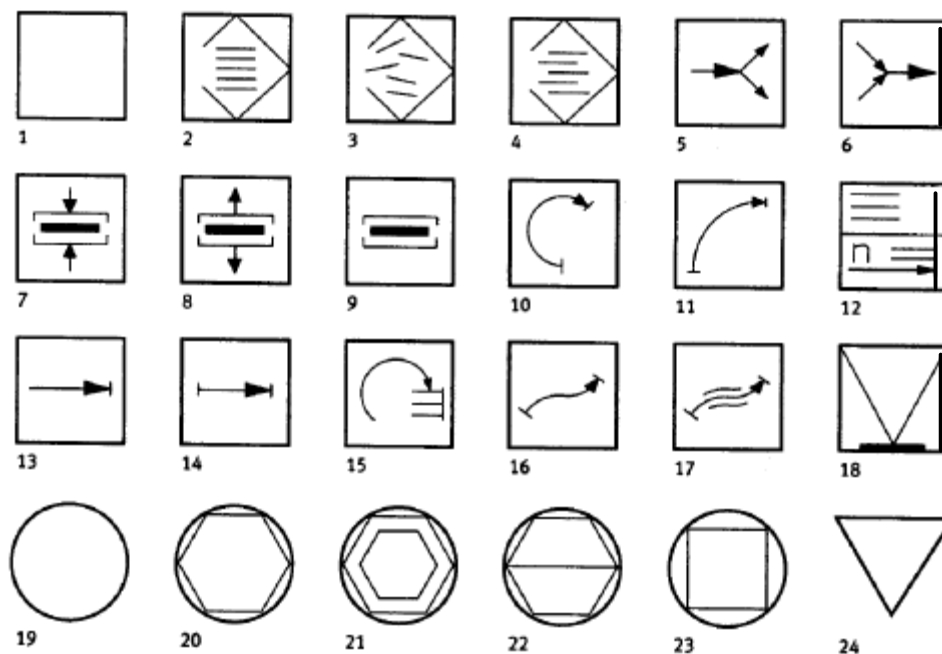
## 4.1 Formulering van het probleem en het vastleggen van de condities

Ook dit kunnen we weer onderverdelen in een aantal stappen, namelijk:

1. Soort handeling en bewegingsvolgorde in processymbolen
2. Randvoorwaarden

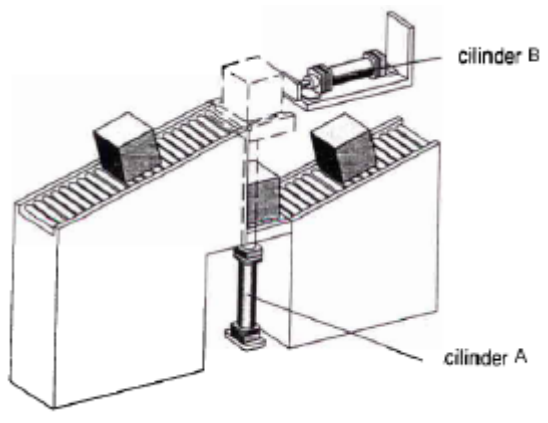
### 4.1.1 Soort handeling en bewegingsvolgorde in processymbolen

Allereerst moet een duidelijke en exact geformuleerde omschrijving van de opgave en vooral van het doel opgesteld worden. Hierbij gaat het dus om de handelingen die geautomatiseerd gaan worden en welke volgorde dat moet plaatsvinden. Hiervoor zijn genormaliseerde processymbolen volgens VDI 2860 die aangeven welk proces er moet plaatsvinden. Deze symbolen kunnen in combinatie met een situatieschets een duidelijke opzet geven van wat het gehele proces.



- |                                       |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Handling (basis symbool)           | 13. Positioneren                      |
| 2. Geordend opslaan (magazijn)        | 14. Schuiven                          |
| 3. Ongeordend opslaan ()              | 15. Sorteren                          |
| 4. Semi-geordend opslaan ()           | 16. Doorschuiven                      |
| 5. Aftakken                           | 17. Geleiden (van een werkstuk)       |
| 6. Combineren                         | 18. Testen                            |
| 7. Klemmen                            | 19. Productie proces (basis symbool)  |
| 8. Ontklemmen                         | 20. Vormverandering (zagen, snijden)  |
| 9. Vasthouden (zonder klemkracht)     | 21. Behandeling (Coating, Verfen)     |
| 10. Omdraaien                         | 22. Assemblage                        |
| 11. Verdraaien                        | 23. Vormverandering (draaien, frezen) |
| 12. Verdelen (van aantal werkstukken) | 24. Controle (basis symbool)          |

Als voorbeeld kan een proces genomen worden voor het verplaatsen van doos van de ene rollenbaan naar de andere.



#### 4.1.2 Nevencondities

Van belang is daarnaast ook een nauwgezette opsomming van alle nevencondities, die o.a. betrekking hebben op:

- een gemakkelijke bediening
- veiligheid van de installatie voor de omgeving
- veiligheid t.a.v. het verloop van de cyclus
- eventuele noodstopcondities, enz.

Voor een gemeenschappelijk spraakgebruik is het goed om de volgende begrippen en indeling aan te houden:

Nevencondities voor het verloop van het proces:

- startcondities:
  - Startknop in combinatie met controle van ruststand machine
  - cycluskeuze voor automatisch, manueel of stap voor stap
- instelcondities :
  - Elk arbeidselement willekeurig activeren met aparte bedieningsknop.
  - Arbeidselementen moeten in 1 keer in de rust-standgezet kunnen worden
- veiligheidscondities:
  - De actie van elk element bij bedienen van de noodstop condities bij het opheffen van de noodstop

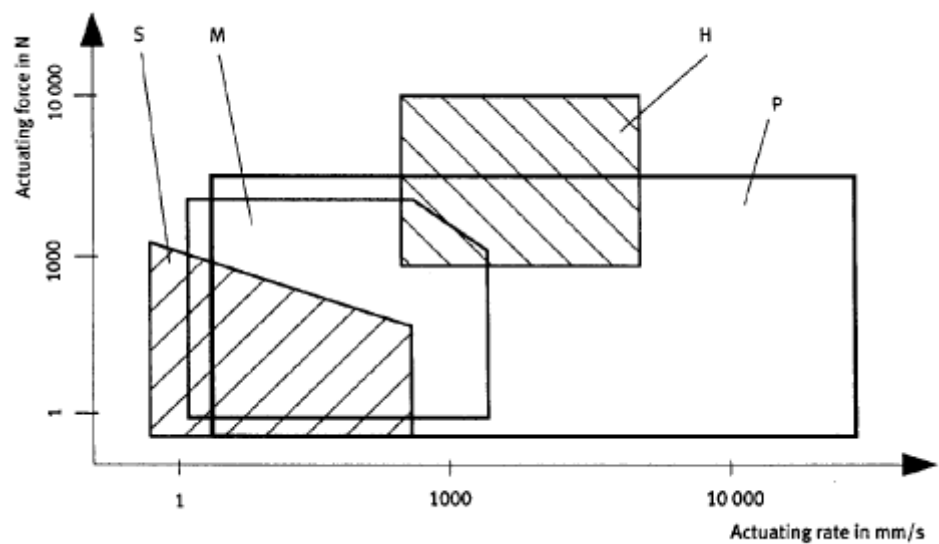
Nevencondities voor de omgeving:

invloeden uit de omgeving, plaatsing, onderhoud en personeel (aanwezige kennis e.d.)

## 4.2 Arbeidsenergie, arbeidselementen

De volgende stap is de keuze van het arbeidsmedium. Hierbij komen o.a. ook de al in paragraaf 1.5 genoemde bedrijfsomstandigheden ter sprake. Ook de vraag of het stuur- en arbeidsmedium hetzelfde kan (of mag) zijn, hangt van die factoren af. In dit stadium moet ook al nagegaan worden hoe de signalen, die voor de besturing nodig zijn, opgenomen zullen worden. Dit probleem is medebepalend voor de keuze van het arbeidsmedium.

Wanneer we pneumatische aandrijvingen vergelijken met andere aandrijvingen zoals hydrauliek, spindel-motor combinatie of stappenmotor zien we dat de pneumatiek een groot deel van het toepassingsgebied dekt. Wanneer grote krachten worden verlangd, biedt hydrauliek voordelen en wanneer zeer langzame bewegingen moeten worden gerealiseerd is een elektrische aandrijving een betere keuze. Zoals te zien in figuur 4.X.



Figuur  
Toepa  
pneun

H - Hy  
100 -  
100 -

M - Sp  
0,5 - 2

P - Pn  
0,1 - 5  
10 - 10

S - Sta

Ligt het medium vast, dan kunnen we de aandrijfelementen kiezen en de afmetingen berekenen. Als maatstaf voor de keuze gelden de desbetreffende technologische gegevens van de elementen.

Een handig hulpmiddel hierbij is de calculatiesoftware die wordt meegeleverd op de CD-Rom catalogus van Festo. Met deze software kan aan de hand van gegevens als luchtdruk, gewenste sneleheid en kracht een juiste keuze van het arbeidselement worden beplaald, inclusief ventiel en toebehoren.

Figuur  
Softwa  
catalogo



### 4.3 Situatieschets

Het verdient in ieder geval aanbeveling, uitgaande van de probleemstelling, een schets te maken, waarin de ligging van de elementen eenvoudig is weergegeven. Dit schetsmatige overzicht is een goed hulpmiddel bij de bestudering van details en als uitgangspunt voor eventuele gesprekken.

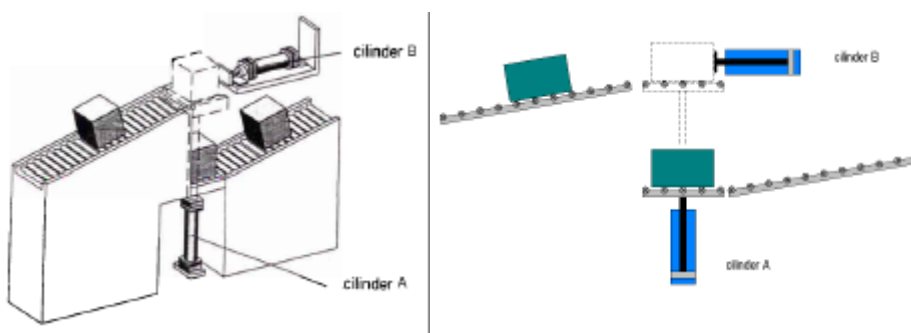
#### 4.3.1 Bepalen bewegingsvolgorde

Het bewegingsdiagram is een grafische weergave van cilinderbewegingen en ventielschakelstanden. De noodzaak om bewegingen en toestanden van arbeids- en stuur-elementen overzichtelijk weer te kunnen geven behoeft hier geen betoog.

Zodra zich een wat ingewikkeld probleem voordoet kan de samenhang alleen snel en zeker overzien worden, als die op een geschikte manier op papier vastgelegd is. Met een voorbeeld zullen de meest gebruikelijke mogelijkheden van weergave gedemonstreerd worden. Op de toepassing ervan zullen we later ingaan.

Voorbeeld van een rollenbaan:

Over een rollenbaan worden pakketten aangevoerd (figuur 4.1). Aan het einde van de baan worden ze door een luchtcilinder A opgeheven. Een tweede cilinder B stoot het pak vervolgens naar een tweede rollenbaan. Cilinder B mag pas terug als A weer in de uitgangspositie teruggekomen is.



*Figuur 4.1:*  
Situatieschets.

Het bewegingsproces van dit apparaat kunnen we op een aantal manieren weergeven, namelijk:

1. in chronologische volgorde
2. in een volgorde tabel
3. verkorte weergave met tekens (+ en -)

## Chronologische weergave

Een mogelijkheden om de arbeidscyclus uit dit voorbeeld weer te geven is een korte omschrijving van de cyclus in chronologische volgorde:

1. Cilinder A gaat uit en brengt het pakket omhoog;
2. Cilinder B schuift het pakket op de volgende rollenbaan;
3. Cilinder A gaat terug;
4. Cilinder B gaat terug.

## Omschrijving van de cyclus in een tabel

Een mogelijkheid is om de arbeidscyclus weer te geven in een tabel:

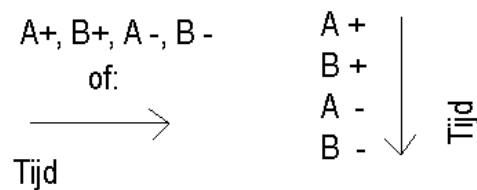
stap	beweging cilinder A	beweging cilinder B
1	Uit	-
2	-	Uit
3	Terug	-
4	-	Terug

*Figuur 4.2:  
Omschrijv  
een tabel.*

## Verkorte schrijfwijze met tekens

Bij de verkorte schrijfwijze van de besturingscommando's van de aandrijvingen (bijvoorbeeld cilinder A) wordt de werkslag weergegeven met een plus-teken (+) en de retourslag met een min-teken (-) van elk. Zo zal het sturen van cilinder A naar zijn werkstand worden aangegeven met A<sup>+</sup>.

De cyclus kan dan als volgt worden weergegeven:



*Figuur 4.3:  
Verkorte schrijfwijze met  
tekens.*

## 4.4 Het bewegingsdiagram

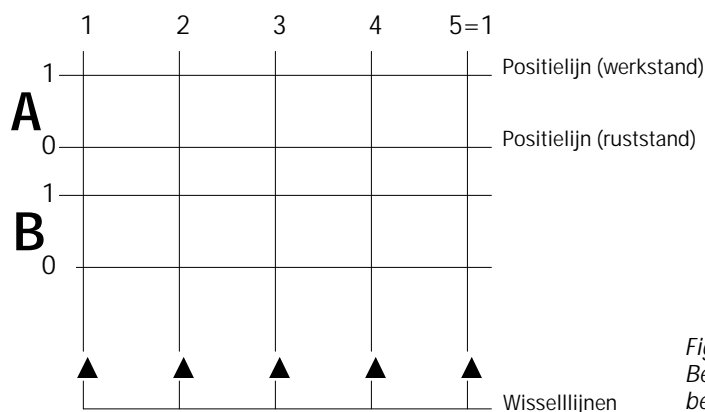
De in de praktijk voorkomende besturingen zijn in veel gevallen volgordebesturingen. Bij deze besturingen wordt het voltooid zijn van de beweging van een machinedeel als maatstaf gebruikt voor het starten van de volgende beweging. De eindstanden 0 en 1 van deze machinedelen worden door signaalgevers afgetast. De commando's + en - worden op de hoofdventielen gegeven. Met behulp van het bewegingsdiagram kan een volgordebesturing worden opgelost. Het is mogelijk om met het bewegingsdiagram het verband te zoeken tussen de signalen afkomstig van de signaalgevers en de te geven commandos.

Het analyseren van een volgordebesturing m.b.v. het bewegingsdiagram gaat in 5 fases:

1. Tekenen van het bewegingsgedeelte:  
In het eerste deel worden bewegingen in weergegeven. Dit gedeelte noemt men het bewegingsgedeelte
2. Tekenen van het signaalgedeelte:  
In het tweede deel worden de wegafhankelijke signalen, zoals die door de bewegingen uit het eerste deel tot stand kunnen komen, weergegeven.
3. Tekenen van het commandogedeelte:  
In het derde deel worden de te geven commando's aangegeven. Het tweede en derde deel samen noemen we wel het stuurdiagram.
4. Uitlezen van de schakelformule(s):  
Door het getekende commandogedeelte te vergelijken met het getekende signaalgedeelte kan beoordeeld worden welke signaalcombinaties een bepland commando kunnen geven.
5. Controle:  
Het is mogelijk dat commando's elkaar overlappen, waardoor een besturing "vaststaat", hier moet dus in de ontwerpfase op gecontroleerd worden en dat doen we hier.

## 4.4.1 FASE 1 : Tekenen van het bewegingsgedeelte

Per arbeidselement wordt een regel genomen die links hiervan wordt gekenmerkt door de letter, welke aan de cilinder is toegekend. In het bewegingsdiagram zijn voor ieder arbeidselement twee horizontale hulplijnen (positielijnen) getekend, waarvan de onderste de ruststand(0) en de bovenste de werkstand (1) van het betreffende arbeidselement voorstelt. De horizontale positielijnen worden op gelijke afstanden doorsneden door verticale lijnen. Deze verticale lijnen (wissellijnen) worden opeenvolgend genummerd. De wissellijnen nummeren met cijfers, te beginnen met 1. Het laatste cijfer is afhankelijk van het aantal stappen, waarin een bewegingscyclus plaatsvindt.



*Figuur 4.4:  
Bewegingsgedeelte van h  
bewegingsdiagram.*

Voor het beschrijven van schakelingen of het analyseren van besturingen m.b.v. bijvoorbeeld het bewegingsdiagram, hebben we behoefte aan een duidelijke nomenclatuur.

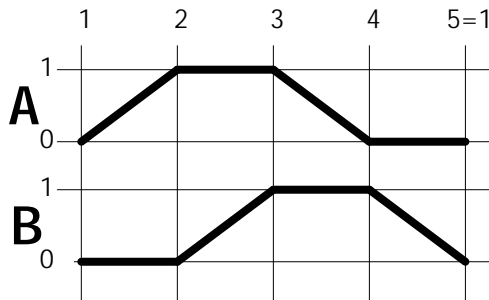
Wat houdt nomenclatuur in? Alle aandrijfelementen krijgen een hoofdletter, eventueel gevolgd door een cijfer. Twee mogelijkheden staan nu open; beide worden gebruikt:

1. Een alfabetisch verlopende aanduiding, vanaf links beginnend. Men kan dus krijgen A, B, C, enz.
2. Men geeft ze de eerste letter mee van de functie die ze verrichten, bijvoorbeeld B voor boeren, K voor Klemmen. wederom beginnend van links naar rechts in de cyclusvolgorde. Volgcijfers kunnen worden gegeven voor gelijke functies, bijvoorbeeld bij twee klemcilinders, K1 en K2.

De rust- en de eindstand van de cilinder worden door signaalgevers afgetast en in het bewegingsgedeelte weergegeven met de nul (0) voor de ruststand en de één (1) voor de werkstand. Of de ruststand van de cilinder met de zuigerstang in- of uitgetrokken staat, is voor het bewegingsdiagram niet belangrijk.

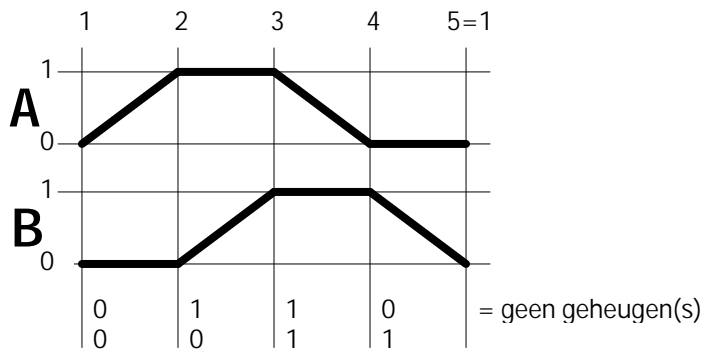
De bewegingen van een pneumatische cilinder A is in figuur 4.4 als volgt te lezen:

1. Van stap 1 tot stap 1 gaat de cilinder van de ruststand (cilinder in) naar de werkstand (cilinder uit) die bij stap 1 bereikt wordt.
2. Van stap 1 tot en met stap 3 blijft de cilinder in deze stand staan.
3. Vanaf stap 3 gaat de cilinder weer
4. terug en bereikt bij stap 4=0 weer de ruststand. Stap 4 is tevens weer stap 0, omdat het om een bewegingscyclus gaat waarbij de cilinder aan het einde van de cyclus weer in de beginstand staat.



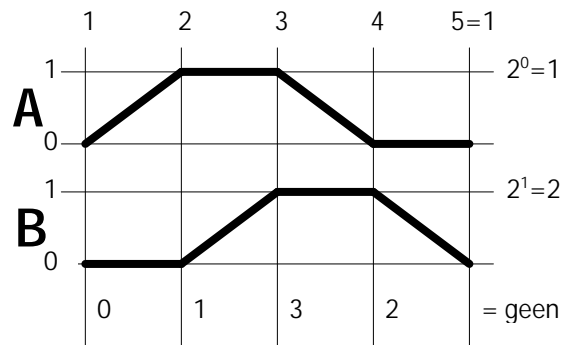
Figuur 4.5  
Bewegingsgedeelte van het  
bewegingsdiagram.

Op de wissellijnen wisselt de beweging van de cilinder. Met behulp van de bewegingslijnen worden daarna de bewegingen en posities van de cilinders aangegeven. Het is zeer raadzaam na het intekenen van de bewegingen de actuele stand van de cilinders per wissellijn in reeksen van 0 en 1 uit te drukken. Als blijkt dat al de reeksen 0 en 1 verschillend zijn (zoals figuur 4.X laat zien), dan kunnen we de besturing oplossen zonder gebruik te maken van geheugens. Zijn er gelijke reeksen van toepassing dan zullen we gebruik moeten maken van de z.g.n. "ongelijkmaak geheugens".



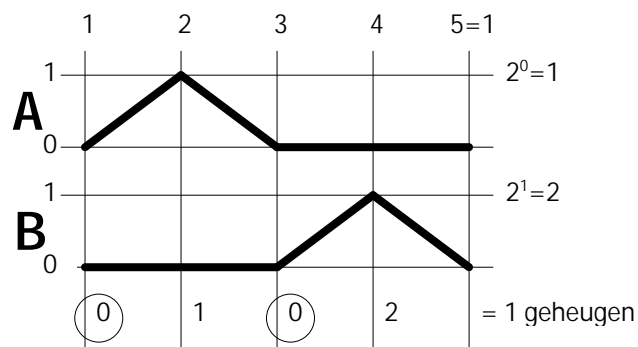
Figuur 4.6:  
Bewegingsgedeelte van het  
bewegingsdiagram.

De detectie van ongelijkmaak geheugen kan ook door positieel van de werkstand (1) per arbeidselement een andere waarde toe te kennen. De waarde wordt elke keer een faktor 2 hoger en de waarde van de positieel van de ruststand blijft overal 0. Per wisselijn wordt het resultaat van de optelling van de positielijnen weergegeven. Zijn de getallen allemaal verschillend dan is geen geheugen nodig, maar zijn er getallen die meerdere keren voorkomen dan is een ongelijkmaakgeheugen noodzakelijk.



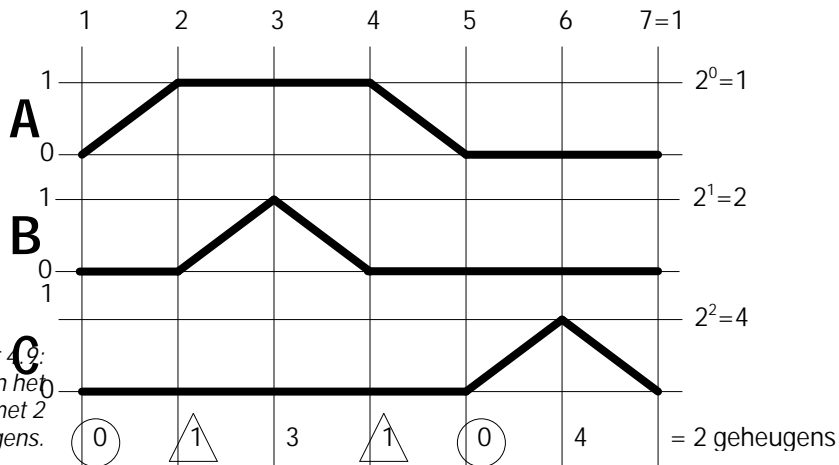
Figuur 4.7:  
Bewegingsgedeelte van h  
bewegingsdiagram zonde  
geheugen.

Wanneer wel de noodzaak voor een ongelijkmaakgeheugen wordt gedetecteerd, zoals in figuur 4.X wordt getoond, is het van belang dit duidelijk aan te geven. In onderstaand voorbeeld is de identieke situatie omcirkeld.

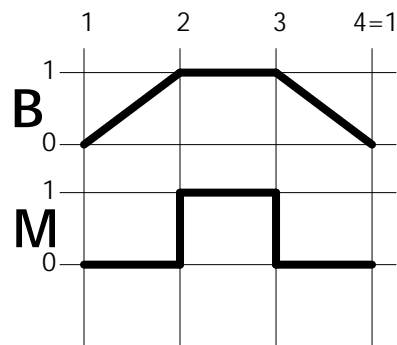


Figuur 4.8:  
Bewegingsgedeelte van h  
bewegingsdiagram met 1  
geheugen.

Ook wanneer verschillende situaties meerdere keren voorkomen is het belangrijk om te weten dat in principe elke identieke situatie met een geheugen moet worden opgelost en dat er dus meerdere geheugens gebruikt moeten worden. Meestal lukt het wel om meerdere geheugensituaties met 1 geheugen op te lossen.



Het in- en uitschakelen van roterende gereedschappen, zoals elektromotoren en pneumatische booreenheden, kan verticaal op de betreffende wissellijn uitgezet worden, voorzover dit voor de cyclus van belang is. Moet na aanlopen door een signaal echter worden gemeld dat b.v. het nodige toerental bereikt is, waarna een nieuwe actie ingeleid moet worden, dan nemen we voor dit aanlopen wel een stap.



Aanbevelingen voor het tekenen van het bewegingsgedeelte:

1. De stapgrootte niet op tijdsbasis tekenen, maar voor alle eenheden even groot. Wanneer de stappen wel op tijdsbasis (met als schaal bijvoorbeeld 1 sec.) worden getekend spreekt men van een weg-stap-tijd diagram (WST-diagram).
2. Bij verscheidene elementen, de afstand tussen de weg - lijnen niet te klein nemen ( ca. 1/2 tot 1 stap ). Als de toestand van de installatie zich gedurende de beweging verandert, b.v. door bediening van een eindschakelaar of verandering van de snelheid, kunnen tussenstappen ingevoerd worden.
3. De nummering van de stappen (wissellijnen) is willekeurig.
4. De codering van de toestand is willekeurig. We kunnen, zoals in het voorbeeld, de positie van de cilinder nemen met een binair teken (0 voor ruststand en 1 voor werkstand ). Wel dient er voor elke toestand een aparte positielijn getekend te worden.
5. De naam van de elementen worden aan de linkerkant van het diagram aangegeven.
6. Wanneer alle cilinderbewegingen zijn getekend moeten de cilinderstanden per wisselijjn opgeteld worden om te controleren of er een ongelijkmaak geheugen nodig is.

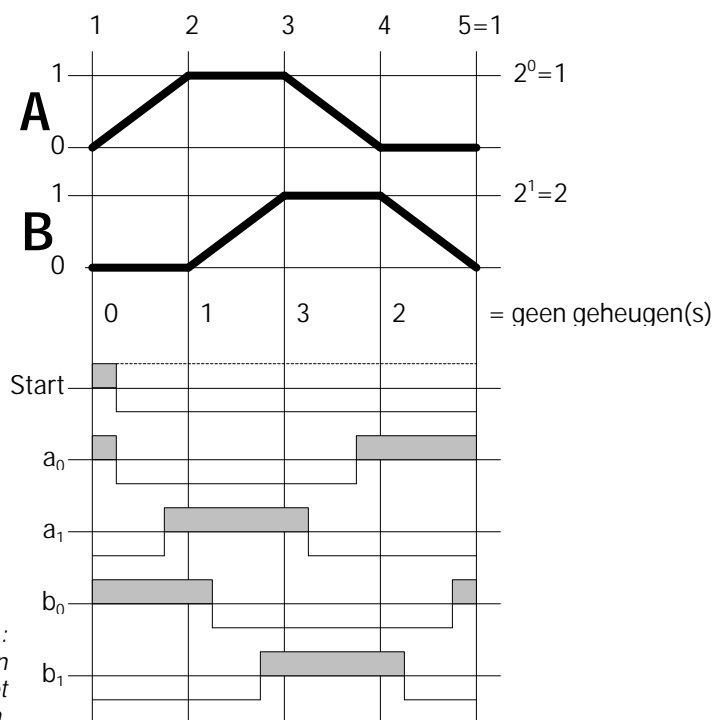


## 4.4.2 FASE 2 : Tekenen van het signaalgedeelte

In het signaalgedeelte zijn alle signaalgevers opgenomen die aan de besturing gekoppeld zijn. Voor een pneumatische besturing kunnen dit zijn:

- eindstandmelders (rolbediende ventielen, magnetische bediende ventielen of luchtdrukbediende ventielen)
- drukknopbediende ventielen
- reflexoog (luchtsensoren)
- geheugensignalen
- signalen van tijd- en telfuncties

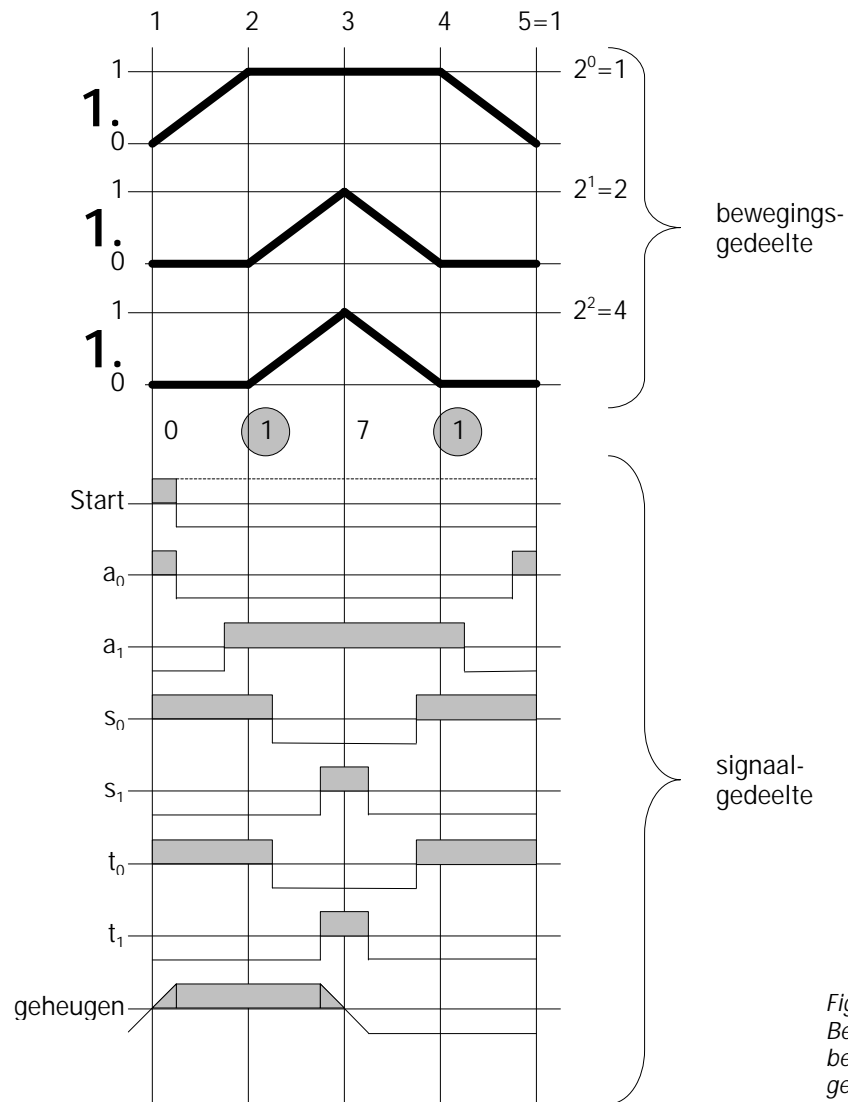
Onder het bewegingsgedeelte worden beschikbare signaalgevers getekend. Voor iedere signaalgever wordt een hulplijn getekend. Aan de linkerkant worden deze hulplijnen gekenmerkt door de signaalgever-codering, voor iedere cilinder de ruststandmelder (0-positie) en werkstandmelder (1-positie). Het bediend zijn van de signaalgever wordt boven de hulplijn getekend en onbediend onder de hulplijn. De signaalwisseling gebeurt voor de wissellijn en eindigt na de wissellijn. Dit geldt ook voor een puls. De naam "wissellijn" houdt verband met het feit, dat de bewegingen op deze lijn wisselen en daardoor ook de signalen.



Figuur 4.11:  
Bewegings- en  
signaalgedeelte van het  
bewegingsdiagram.

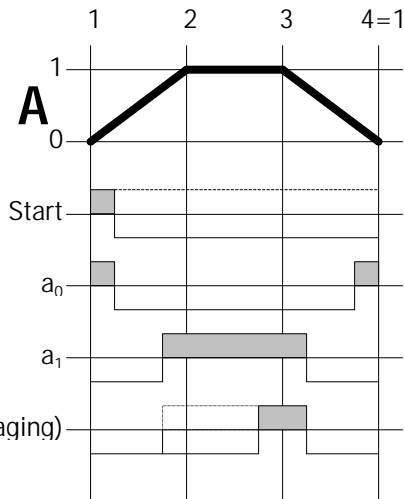
In het signaalgedeelte is de schakeltoestand van een signaalgever in verhouding tot de stappen afgebeeld, hierbij is rekening gehouden met de schakeltijd. De tijdsduur wordt voor alle signalen gelijk getekend en heeft tot gevolg dat de signalen "voor" een wissellijn "opkomen" (van 0 naar 1) en na de wissellijn "afvallen" (van 1 naar 0). Deze manier van tekenen zorgt ervoor dat signalen die op een wissellijn zowel in- als uitschakelen toch zichtbaar worden, omdat het signaal voor de wissellijn "opkomt" en na de wissellijn "afvalt". Zouden we dit niet op deze manier tekenen dan is het signaal niet duidelijk, omdat het precies op de wissellijn "opkomt" en "afvalt", waardoor alleen een verticaal streepje het resultaat zou zijn.

Wanneer een geheugen is gedecteerd bij het tekenen van het bewegingsgedeelte moet een geheugen worden opgenomen. Er is geen vaste afspraak in welke volgorde de signalen moeten worden getekend. Wel is het zo dat eindstandmelders van dezelfde aandrijving bij elkaar worden getekend, maar het maakt niet uit of de melder voor de ruststand (0) of werkstand (1) als eerste wordt getekend.



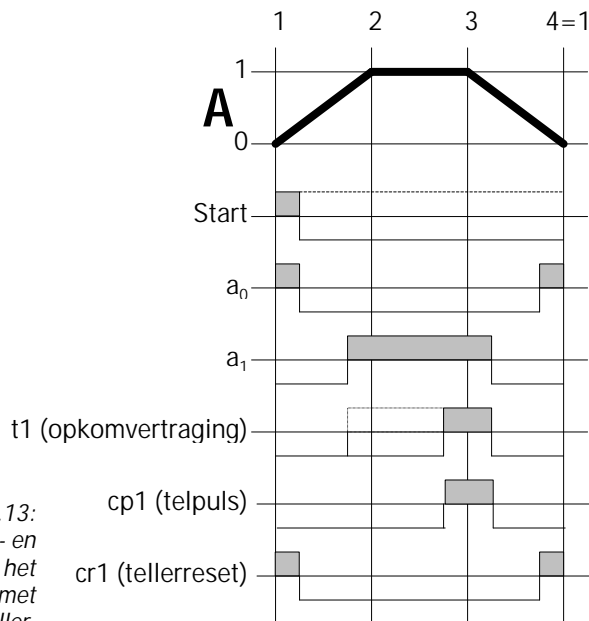
Figuur 4.12:  
Bewegingsgedeelte van h  
bewegingsdiagram met 1  
geheugen.

Een signaal van een tijdvertraging bestaat uit het moment van bedienen en het werkelijke vertragingssignaal, daarom wordt de vertraging gestippeld.



*Figuur 4.12:*  
Bewegings- en  
signaalgedeelte van het (opkomvertraging)  
bewegingsdiagram met  
tijdvertraging.

Wanneer een teller moet worden opgenomen dan bestaat deze uit een telpuls (telpuls) en een inschakelsignaal (Reset) die beide afzonderlijk worden weergegeven.



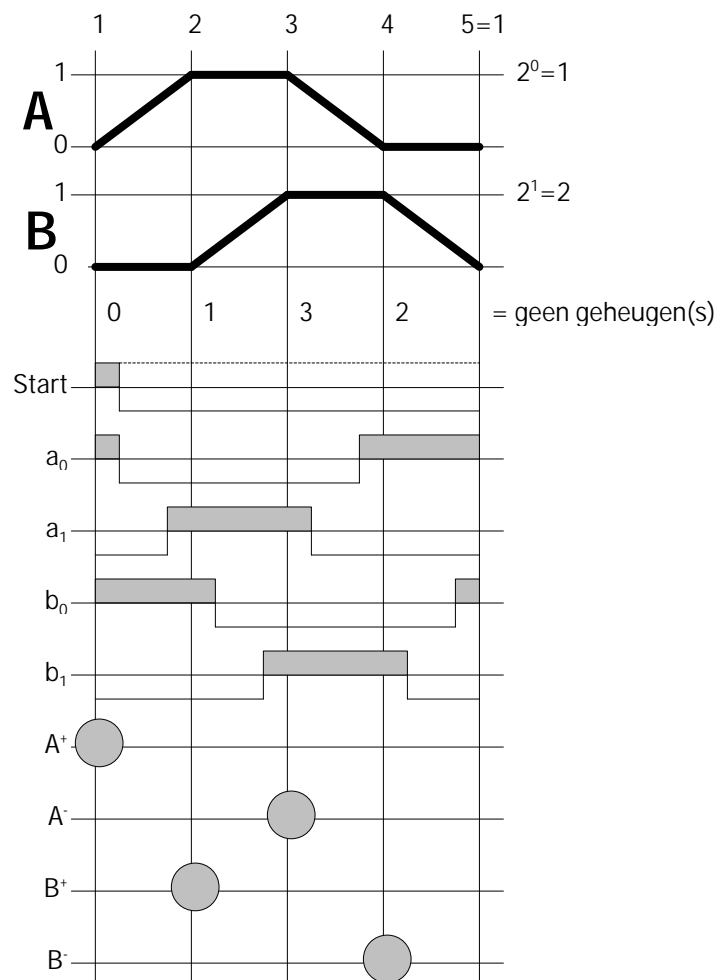
*Figuur 4.13:*  
Bewegings- en  
signaalgedeelte van het  
bewegingsdiagram met  
tijdvertraging en teller.

## 4.4.3 FASE 3 : Tekenen van het commandogedeelte

In het commandogedeelte krijgt de letter van het arbeidselement de toevoeging van een + en/of - . Gaat het arbeidselement van de 0-stand naar de 1-stand- dan voert het de + beweging uit. Voert hij de tegenovergestelde beweging uit dan noemen we dit de - beweging. Deze bewegingen worden alleen uitgevoerd wanneer het hoofdschakelventiel gecommandeerd wordt.

Het commando dat leidt tot het uitvoeren van de + beweging, wordt aangeduid met dezelfde letter die aan het betreffende arbeidselement is toegekend. In het voorbeeld dus resp. A+, A-, B+ en B-. Het commandogedeelte wordt in 3 gedeelten gemaakt (fase 3 t/m 5). Eerst gaat het om het bepalen van de schakelmomenten van de krachtstuurventielen (ventielen die het arbeidselement sturen). Dit schakelmoment valt altijd op een kruising tussen de hulplijn van het commando en 1 van de wissellijnen. Het schakelmoment wordt met een cirkel op het aangegeven (zie figuur 4.X).

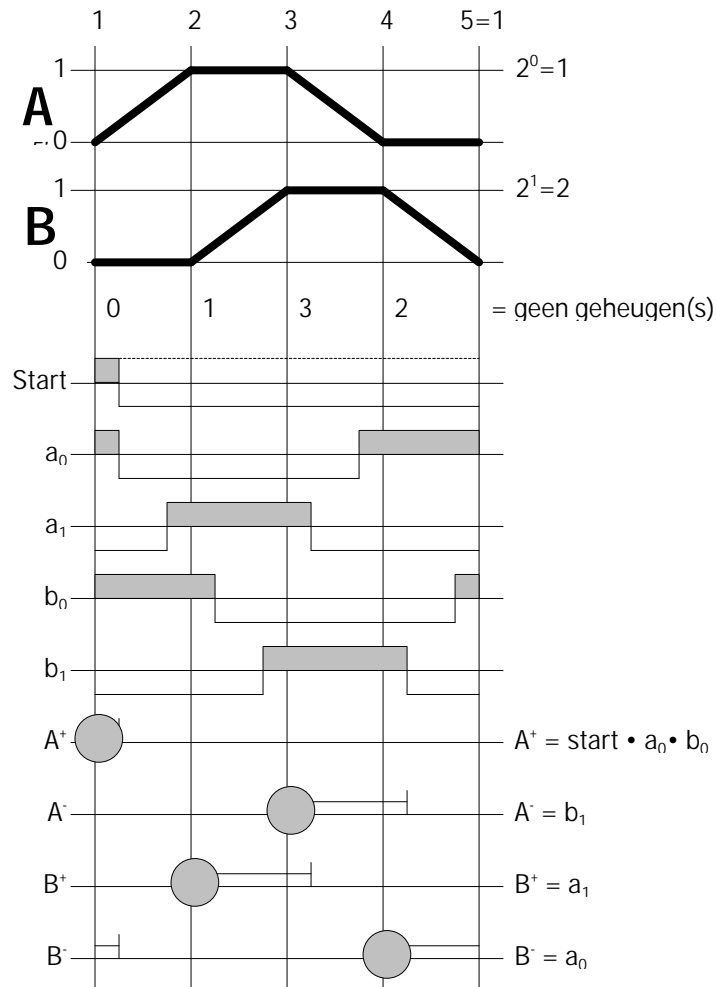
Worden bistabiele hoofdventielen gebruikt, dan dienen zowel de + als de - commando's te worden getekend. De wissellijn, waarop het betreffende commando moet worden gegeven, wordt gekenmerkt met een cirkel fig. 2/81a. Als monostabiele hoofdventielen worden verlangd, wordt het commando door een lijn aangegeven. De lijn begint daar waar het commando wordt gegeven en eindigt daar waar de - beweging van de cilinder begint.



*Figuur 4.14:  
Signaalgedeelte van het  
bewegingsdiagram.*

## 4.4.4 FASE 4 : Bepalen van de signaalcombinatie

Het bepalen van de signaalcombinatie die het commando op de gewenste positie kan laten plaatsvinden. Deze signaalcombinatie is te vinden door het schakelmoment (cirkeltje) van het betreffende commando te nemen en van daaruit in het signaal gedeelte te bepalen welke signalen het commando op het gewenste moment kunnen laten schakelen (dit zijn meestal opkomende signalen).



Figuur 4.15:  
Bewegings-, signaal- en  
commandogedeelte van het  
bewegingsdiagram.

Het bepalen van de signaalcombinatie is elke keer een vergelijk tussen het commando en de signalen die dit commando zouden kunnen geven

In fase 4 worden de schakelvoorwaarden uitgelezen waarmee het commando wordt gegeven. Men noemt dit signaal ook wel het primaire signaal. Aan het eerste commando in de cyclus wordt de start voorwaarde toegevoegd.

De hoofdventielen zijn bistabiel. Iedere cilinderpositie wordt d.m.v. een signaalgever afgetast. Figuur 5 laat het bewegingsdiagram zien dat is getekend zoals in de fases 1.2 en 3 is beschreven. Achter de

commando's zijn de signalen geschreven, die deze commando's geven. Voor het betreffende commando wordt dat signaal opgezocht, welke op die wissellijn wordt gegeven. Dus dat signaal, dat van onder de hulplijn boven de hulplijn gaat.

Algemeen geldt, dat het eerste commando gegeven wordt door het laatste signaal van de cyclus, waardoor het signaal voor dit commando gemakkelijk op de laatste wissellijn op te zoeken is. Het uitzoeken van de controle gebeurt door de lengte van het signaal. Waarmee het commando wordt gegeven, achter het cirkeltje waar het commando wordt gegeven te tekenen. Voor het A+ commando, het signaal b0 van wissellijn 0 tot wissellijn 1. Hieruit blijkt dan dat dit commando het A- commando niet overlapt. Dit zou wel het geval zijn als het A+ commando tot of voorbij wissellijn II zou duren, want op deze wissellijn moet het A- commando worden gegeven. Deze controle wordt voor alle andere commando's uitgevoerd. Binnen de cyclus komen geen overlappende commando's voor; met de nu verkregen gegevens kan het schema worden getekend. Alleen voegen we aan het eerste commando het wilsafhankelijke startsignaal toe. Het b0 signaal en het startsignaal vormen de EN - functie, daar voor het starten van de cyclus geldt dat b0 en st aanwezig moeten zijn. Figuur 2/83 geeft het schema weer van de installatie.

voorbeeld A+

voorbeeld A-

Voorbeeld B+

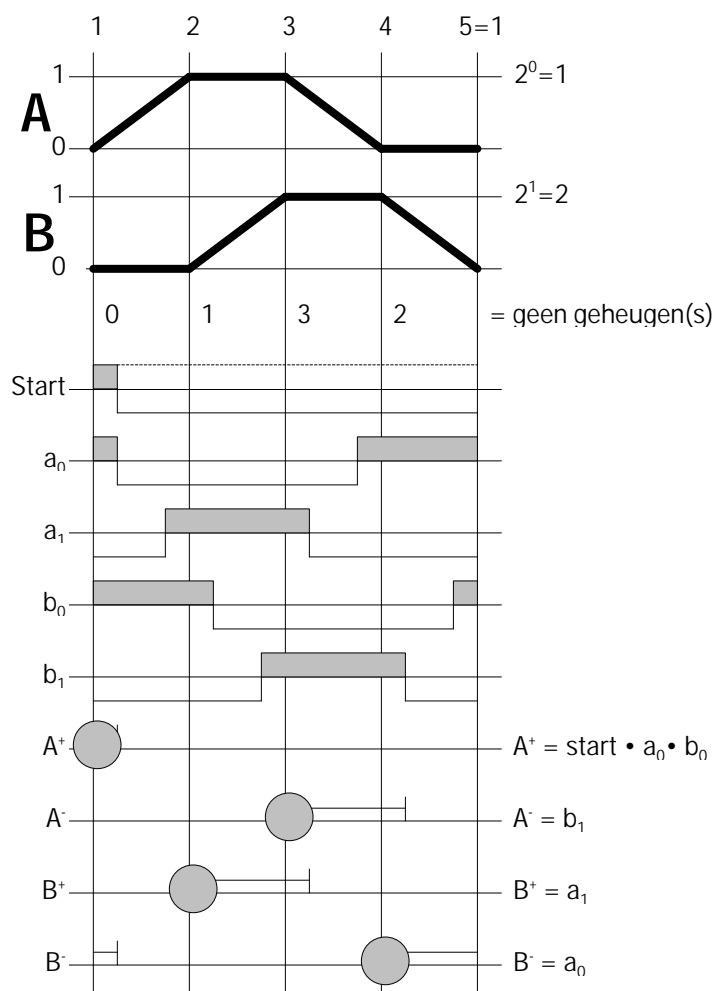
Voorbeeld B-

## 4.4.5 FASE 5 : Controle en eventueel inkorten van commando's

Contoleren van de duur van het commando, door te kijken naar de duur van de signaalgevers. Belangrijk is namelijk dat de commando's per arbeidselement (dus met dezelfde letter) elkaar niet mogen overlappen. Dit zou namelijk betekenen dat de stuursignalen op het betreffende krachtstuurventiel op beide kanten tegelijk worden afgegeven, waardoor het ventiel niet kan schakelen.

Eventueel inkorten van een commando

Als vijfde fase wordt de controle op eventuele overlappings van tegengestelde commando's aan bistabiele ventielen of de duur van het benodigde commando aan monostabiele ventielen uitgevoerd. Hier komen we later op terug.



Figuur 4.16: Bewegings-, signaal- en commandogedeelte van het bewegingsdiagram.



#### 4.4.6 Het tekenen van pneumatische schema's

Nadat een project is opgenomen, geanalyseerd en aan de hand daarvan de schakelformules zijn opgesteld zal men tot de realisatie daarvan moeten overgaan. De ontwerper zal aan de bouwer op een of andere wijze kenbaar moeten maken op welke manier en met gebruikmaking van welke componenten zijn ontwerp verwezenlijkt moet worden. Een geschikt communicatiemiddel hiervoor is een tekening. Met opzet gebruiken we hier nog niet het woord schema.

Deze tekeningen werden en worden nog al eens vergezeld van een geschreven instructie. De instructie heeft tot doel aanvullende informatie te geven welke niet op een of andere wijze grafisch op de tekening was weer te geven. Door persoonlijke interpretatie van het geschrevene bestaat het gevaar dat juist op verschillende punten het tegenovergestelde wordt bereikt. Een tekening heeft naast de hierboven genoemde functie als leidraad bij het bouwen ook nog een andere belangrijke functie, namelijk die als informatiebron bij het lokaliseren en opheffen van storingen. Taalbarrières (import/export) kunnen mede verantwoordelijk zijn voor verkeerde opvattingen.

Een veel betere methode is dan ook het schematisch weergeven. Schema, afkomstig van het Griekse woord "schemata", wil zeggen: Een getekende voorstelling welke een vereenvoudigd of generaliserend beeld geeft van een inrichting, de samenstelling daarvan of de werking. Refererend aan hetgeen we bij de combinatie tekening geschreven instructie hebben gezegd kunnen we ook aan het schema 2 functie's toebedelen. Het dient:

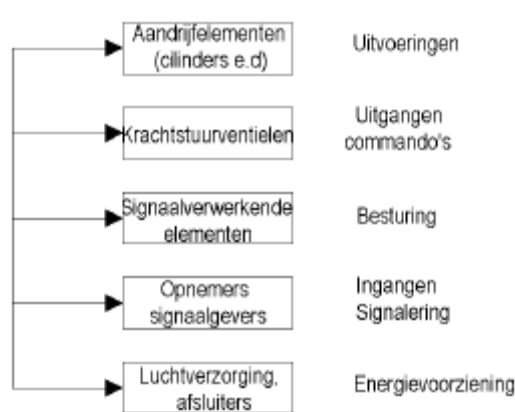
1. als leidraad bij de bouw
2. als informatiebron bij het onderhoud

In de begintijd van de pneumatiek, zo'n 20 tot 25 jaar geleden, namen de praktische toepassingen met dit medium nog maar een zeer bescheiden plaats in. We kenden toen de recht toe recht aan pneumatiek. De pneumatische schema's waren overeenkomstig eenvoudig van opzet. Tussen debegrippen vermogens- en besturingsenergie, hoofd- en stuurventielen was nauwelijks een onderscheid gemaakt. Directe vermogensbesturing was een alledaags verschijnsel. Wie kent ze niet, deze grote door hefboomen bediende ventielen.

Met de toename van de pneumatiek in de vele takken van industrie, namen ook de inzichten met betrekking tot het schema tekenen en de gebruikte besturingsmethodieken toe. Van de zeer simpele perspectivische tekeningen groeiden ze uit tot een complexiteit waarin men door de overdaad aan lijnen men door het bos nauwelijks de bomen zag. De overgang van het perspectivisch tekenen naar het meer schematische geschiedde vrij snel. Toch kleefde er aan deze laatste wijze nog een drietal nadelige facetten:

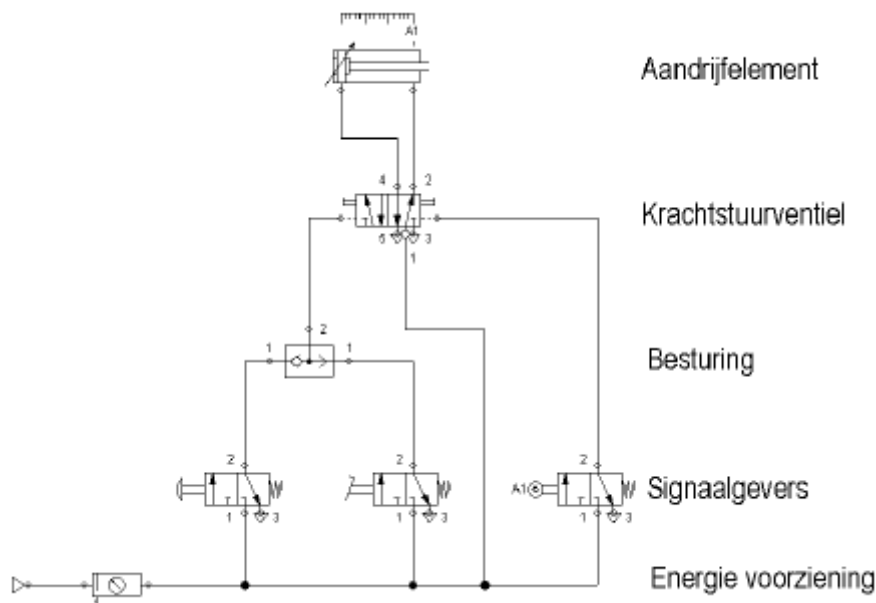
1. Men had nog geen onderscheid gemaakt tussen vermogens- en sturelementen (figuur 4.x)
2. Het "schema" bestond uit een ingetekend leidingsplan in een situatieschets (figuur 4.X en 4.X)
3. Onoverzichtelijk bij het toepassen van meerdere componenten in een wat meer complexere schakeling (figuur 4.X)

Een bijkomend nadeel was dat er nauwelijks besturingsmethodieken voorhanden waren en de meeste onderwerpen intuïtief ontstonden. Waren voorgaande methoden toereikend voor eenvoudige schakelingen, werd het toch duidelijk dat men moest gaan zoeken naar meer systematiek in het geheel. De "stuurketen" van een machine of installatie werd met andere ogen bekeken. Men ging hem in blokken onderverdelen (figuur 4.X). Pogingen om ook schema's in deze horizontale zin te projecteren waren geen succes.



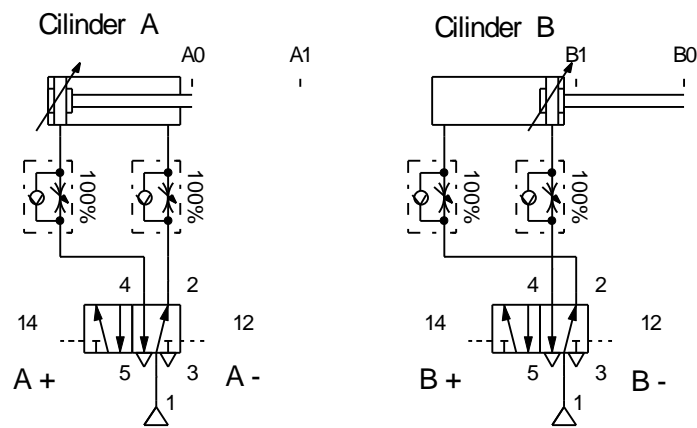
Figuur 4.17:  
Blokindeling van een  
pneumatische schema.

Men besloot de stuurketen over 90° te draaien. De energiestroom in de pneumatiek loopt van beneden naar boven (in tegenstelling tot de elektrotechniek, waarin de energiestroom meestal van boven naar beneden loopt).



Figuur 4.18:  
Opbouw van een  
pneumatische schema.

Teneinde wat meer eenheid te krijgen was er niet aan te ontkomen dat er afspraken gemaakt moesten worden. De aandrijf- of arbeidselementen zoals cilinders, motoren, enz. worden horizontaal, zo mogelijk op één lijn, getekend en wel in de volgorde zoals de cyclus van de installatie verloopt. Het is een goede gewoonte de zuigerstangen van cilinders alle naar dezelfde kant te laten wijzen (bij voorkeur naar rechts). Direct onder de arbeidselementen worden, ook horizontaal, de met deze corresponderende hoofdventielen getekend met daartussen de eventuele snelheidsregelventielen. Wil men deze consequentie ook doortrekken naar de informatieve elementen dan moet men eerst een duidelijke indicatiemogelijkheid hebben om te weten wat bij wat hoort. In Duitsland werd daarvoor een nummersysteem gekozen. Dit systeem heeft als nadeel door de moeilijkheid die men ondervindt bij het opstellen van schakelformules. Hier in Nederland (TNO) is men gekomen tot een lettersysteem dat zowel de voordelen heeft van een duidelijke indicatie als wel goed te gebruiken is in formules. Formules vormen vaak een uitgangspunt voor het opzetten van een schema.



Figuur 4.18:  
De aandrijfelementen worden  
op 1 lijn getekend.

Een andere belangrijke afspraak is die waarbij men stelt dat alle elementen worden getekend in die stand waarbij de installatie wel onder druk staat doch in ruste is. Met andere woorden zoals de situatie is vlak voordat men op de startknop drukt. Deze stand noemt men de ruststand of "0"-stand. Het hieraan tegenovergestelde is dan de werkstand of "1"-stand. Alle bewegingen van rust- naar werk-stand heten positief (+) en alle bewegingen van werk-stand (1) naar rust-stand (0) heten negatief (-).

Let op!!! Het doet er daarbij niet toe of de zuigerstang in de ruststand in of uit staat. De getekende stand is de ruststand van de cilinder.

De bij de arbeidselementen behorende hoofdventielen krijgen dezelfde hoofdletter, hoofdventiel A hoort dus bij arbeidselement A. Het commando aan de stuurzijde van het hoofdventiel dat een positieve beweging van het arbeidselement ten gevolge heeft noemen we plus (+) en het tegen overgestelde min (-).

De signaalgevers die de toestand nul (0) of één (1) hebben krijgen dezelfde, doch kleine, letter als het bijbehorende arbeidselement. Als toestand indicatie wordt een cijfer meegegeven.

Let op!!! De signaalgever welke de ruststand van bijvoorbeeld cilinder A meldt, krijgt (evenals het door deze signaalgever veroorzaakte signaal) de aanduiding  $a_0$ . De signaalgever en het signaal dat de werkstand aangeeft  $a_1$ . Alle eindstandmelders met de indicatie nul (0) moeten dus bediend worden getekend.

Door de direct herkenbare samenhang van de diverse componenten werd een reeds veel overzichtelijker tekenwijze verkregen. Zodra de signaalverwerking wat complexer werd, ontstonden toch nog problemen. Het invoeren van schakel- of koppellijnen (figuur 4.X), bracht echter ook nog niet de ideale oplossing. Vooral bij het bouwen en storingzoeken diende men zeer goed op te letten zich niet in de lijnenloop te vergissen. Uiteindelijk kwam men tot een vorm met de volgende voordelen:

1. Overzichtelijk
2. Duidelijk leesbaar
3. ontdaan van alle overtollige lijnen
4. goed te hanteren bij het bouwen, geen leidingplan nodig
5. goed te hanteren bij het onderhoud c.q. storing zoeken
6. geschikt voor eenvoudige zowel als complexe schakelingen
7. bij uitbreiding eenvoudig te wijzigen

De grondvorm bestaat uit het over  $90^\circ$  gedraaid schema uit figuur 4.X in combinatie met de nomenclatuur van figuur 4. Overeenkomstig de stuurketen zien we bij A geen, en bij B wel een signaalverknoping. Onderaan zien we de, eveneens horizontaal getekende, signaalgevers (figuur 4.X).

We gaan nog een stap verder. De tegenwoordige tendens is om een volledig pneumatische besturing niet meer kris-kras over de machine aan te brengen, maar op een paneel of nog beter, in een besturingskast. Dit brengt verschillende voordelen met zich mee. De besturing kan compleet door de pneumatiekleverancier worden aangelverd resp. ten tijde van de machinebouw reeds elders worden gebouwd. Het onderhoud wordt aanzienlijk vereenvoudigd omdat alles bij elkaar zit. Bovendien hebben onbevoegden minder snel toegang tot de besturing. Door de gebruikte methode is het mogelijk deze scheiding ook in het schema duidelijk weer te geven. Het nu door Festo gebruikte systeem is geheel gebaseerd op het adres/afzender principe (figuur 4.X). Aan de hand van figuur 4.X gaan we de lay-out voor het schema bekijken en herkennen weer direct de drie hoofdgroepen:

1. vermogens gedeelte (arbeidselementen, snelheids/kracht-regelventielen, krachtstuurventielen, enz.)
2. besturing (signaalverwerking, signaalversterking, tijd- en telfuncties, geheugens, enz.)
3. signaalgevers (spierkracht/mechanisch bediende ventielen, luchtsensoren, persluchtverzorging, enz.)

Aan de bovenzijde zien we een dik getekende lijn. Boven de inganglijn. Deze twee lijnen geven nu de kast- of paneelbegrenzing aan. De arbeidselementen, eindschakelaars en de luchtverzorging blijven daarbuiten. Onder bepaalde omstandigheden b.v. lange afstand tussen besturingen en arbeidselementen, kunnen ook de hoofdventielen een plaats buiten de kast krijgen. Voor de gebruikte methodiek heeft dit geen gevolgen. De verbindingen van en naar een kast worden meestal met behulp van schotdoorvoerkoppelingen gemaakt (zie figuur 4.X). Voor de overzichtelijkheid worden de in- en uitgangen gecodeerd (zie figuur 4. X), waarvoor special codeerklemmetjes in de handel verkrijgbaar zijn.

Binnen het kast gedeelte vinden we verder van beneden naar boven:

- Verzendlijn
- Adreslijn
- Verzendlijn
- Adreslijn

Aan de uiterste linkerzijde van de onderste adreslijn brengen we een oplopende nummering aan (adresnummers). Op de bovenste adreslijn doen we hetzelfde, waarbij we er op moeten letten dat deze nummering aanvangt met een hoger getal dan we op de onderste lijn zijn geeindigd. Bij het gebruik van CAD-software (Computer Aided Design) is dit allemaal al voorberekt en is de onderlinge nummerafstand gelijk aan elkaar. Het resultaat is een schema dat praktisch voldoet aan alle gestelde eisen, waarbij kruisende lijnen zijn vermeden.

De door Festo uitgewerkte methode voor totaalregistratie van een pneumatische besturing hebben we samengevat onder de naam Festogram en bestaat uit de onderdelen:

1. Diagram  
Voor de voorbeelden in dit hoofdstuk het bewegingsdiagram
2. Commando-tabel  
Schakelformules in Boolese algebra
3. Situatieschets  
Eenvoudige schetsmatige voorstelling van de machine of installatie ter localisering van de arbeidselementen en signaalgevers
4. Schema  
Verdeeld in groepen en opgezet volgens het verzend/adres principe
5. Symbool verklaring  
Vertaling van de gebruikte symbolen naar de bekende NEN of ISO normen
6. Stuklijst  
Een numerieke lijst waarvan de nummers corresponderen met de elementnummers in het schema. Aangevende type, uitvoering en specificaties van de gebruikte elementen.

## 4.4.7 Opbouw van het schema

De rangschikking dient in de richting van de stuurketen te geschieden (zie 1.4) totdat de signaalstroom van beneden naar boven gegeven is. De luchttoevoer met conditionering, die in een volledig schema van belang is, tekenen we dus ook onderin.

*Figuur 4.00 :  
Overzicht van de indeling van  
een pneumatisch schema.*

Deze rangschikking houdt in dat we in het schema geen rekening houden met de ruimtelijke plaatsing van de componenten in de machine. Cilinders en ventielen worden horizontaal getekend met de zuigerstangen rechts en de bediening links.

*Figuur 4.00 :  
Indeling van een pneumatisch  
schema.*



#### 4.4.8 Het tekenen van mechanisch bediende ventielen

Bij ventielen met bediening door knikrol wordt met een pijl de richting aangegeven waarin het ventiel bediend wordt.

Als u de voorgaande richtlijnen voor het tekenen van schema's aanhoudt, ontstaat bij omvangrijke besturingen vanzelf een rangschikking verdeeld in evenzoveel overzichtelijke stuurketens. Het verdient de voorkeur deze stuurketens van links naar rechts in volgorde van het bewegingsverloop naast elkaar te tekenen.

#### 4.4.9 Volgorde voor het tekenen van het schema

In dit stadium is nog niet bekend, of het noodzakelijk is dat er signalen worden afgeschakeld. De eenvoudigste werkwijze is het schema stap voor stap op te bouwen en voorlopig die signaalgevers nog niet van hun bedieningsorganen te voorzien (We gaan er even van uit, dat desnoods kantelrollen gebruikt zouden kunnen worden). De stapsgewijze opbouw van het schema verloopt als volgt:

5. Teken van de cilinders.
6. Teken van de hoofdventielen met snelheidsregel- en of snelontluchtventielen.
7. Teken van de nodige signaalgevers onder de sturingangen van de hoofdventielen, zonder bediening en zonder benamingen.
8. Arbeidselementen en sturingangen van de hoofdventielen benoemen.
9. De signaalgevers benoemen aan de hand van het bewegingsdiagram.
10. Teken de stuurleidingen tussen signaalgevers en sturingangen van de hoofdventielen.
11. In tekenen van luchtverzorging en voedingsleidingen naar alle ventielen.
12. Controleren, of signalen elkaar overlappen en dus afgeschakeld moeten worden (in het stap - toestand - diagram; zie hierna).
13. Toevoegen van de bedieningssymbolen.
14. Eventueel toevoegen van nevencondities.

#### 4.4.10 Het ontwerpen van wegafhankelijke programmabesturingen

Nadat de bewegingen en de nevencondities zijn vastgelegd door resp. bewegingsdiagram en eisenpakket, kunnen we tot het tekenen van een schema overgaan. De wijze van opstellen en rangschikking van de symbolen is in paragraaf 2.3 al behandeld.

Het uiteindelijke schema wordt nog bepaald door de wijze waarop eventueel nodige signaal-afschakelingen plaatsvinden.

In heel simpele toepassingen kan eventueel het storingsrisico verbonden aan kantelrollen genomen worden; in alle andere gevallen is een positief signaleren van de eindstanden met afschakeling door een omschakelventiel dringend aan te bevelen.

De juiste plaatsing van de laatstgenoemde ventielen kan op verscheidene manieren bepaald worden. In het kader van deze leergang worden er twee van besproken: redeneren (empirisch) en de cascade-methode.

Wij gaan nog nader op deze laatste methode in; hier alleen vooraf de opmerking, dat deze een snelle en betrouwbare weg naar een oplossing biedt, die echter zelden optimaal is. Vaak komen we door goed redeneren tot veel eenvoudiger en daardoor ook betere oplossingen. Vasthouden aan een enkel systeem is dan ook te ontraden.

Een punt van andere orde is dat van de nevencondities. Deze moeten bij de hier te bespreken eenvoudige methoden naderhand toegevoegd worden aan het schema, dat b.v. met de cascademethode is gevonden. Dit kan dan wederom het gemakkelijkstap voor stap gebeuren, d.w.z. conditie voor conditie wordt aan het schema toegevoegd. Doen we dit niet, dan gaat het overzicht snel verloren. Overheersen de nevencondities sterk, dan meet eigenlijk een logische analyse plaatsvinden. Deze methode is het onderwerp van een latere cursus.

De hierna aan de orde komende opgaven en voorbeelden zullen de zojuist opgesomde aanwijzingen begrijpelijk maken. Bovendien zullen aan de hand van deze voorbeelden belangrijke schakeltechnische eigenschappen besproken worden.

Vanzelfsprekend zijn voor de meeste van de gestelde problemen verscheidene oplossingen mogelijk. Met het oog op de overzichtelijkheid van het betoog geven we slechts die oplossingen die het meest direct aansluiten op de vooraf behandelde stof.

## 4.5 Tekenen van het schema

Aangetekend moet worden, dat de groepenindeling bij ietwat verweven schema's niet meer mogelijk is; een element kan bijvoorbeeld zowel de uitgaande slag van een element als de teruggaande slag van een ander element sturen. Ook kunnen we pas coderen als het hele schema gereed is.

### Codering met letters

Deze wijze van coderen wordt vooral toegepast bij het stelselmatig oplossen van schakelproblemen.

De codering door letters maakt het namelijk mogelijk deze direct te gebruiken in formules van de schakellogica, bijvoorbeeld:

A+ =  $st1+st2$

A- =  $a0$

Arbeidselementen en commando's (uitgangen) worden met grote, signaalgevers (ingangen) met kleine letters aangegeven. Een groep bestaat hier uit het arbeidselement, zijn commandering en de signaalgevers, die zijn standen signaleren. Fig. 3/4 geeft de benamingen voor een samenhangende groep van componenten.



Figuur 3.2 :

A, B, C, . . . Code voor arbeidselementen, resp. de door deze aangedreven machinedelen .

A0, b0, c0... Code voor eindstandmelders (ventielen met bedieningsrol, e.d.) die de ruststand van de bewegende machinedelen van dezelfde groep (dezelfde letter) signaleren.

A1, b1, c1 . . . Code voor eindstandmelders, die de werkstand van de bewegende machinedelen van de desbetreffende groep signaleren.

A+, B+, C+... Code voor commando's (sturingangen van krachtstuurventielen) die de werkslag van het arbeidselement met dezelfde letter tot stand brengen.

A-, B-, C-...Code voor de commando's die de rusttoestand van het arbeidselement met dezelfde letter tot stand brengen.

Wij wijzen er met nadruk op dat niet de in- of uitgetrokken stand van de zuigerstang, maar de rust- of werktoestand van het machineonderdeel dat door de zuigerstang bewogen wordt, voor de codering van belang is. In die rustsituatie, waarop ook het schema betrekking heeft, zijn dus altijd alle signaalgevers met index nul bediend en moeten ze in het schema ook bediend worden getekend.

#### 4.5.1 Tenslotte

Ruststand

Alle componenten moeten in het schema getekend worden in de toestand waarin ze tijdens de ruststand (of startpositie) van de machine verkeren. Wordt hierop, om welke reden dan ook, een uitzondering gemaakt, dan moet daar duidelijk op gewezen worden. Worden ventielen in de rusttoestand bediend, dan moeten ze ook in het schema in de bediende toestand getekend worden en moet dit ook uit een indicatie blijken.

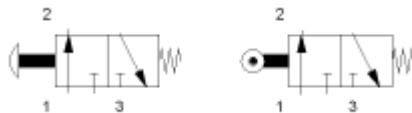
Definitie van de ventielstanden:

Normaalstand: De schakelpositie, die door een ventiel wordt ingenomen, als dit niet aangesloten of gemonteerd is ( deze omschrijving is alleen van toepassing op ventielen met veerterugbrenging ).

Ruststand: De schakelpositie, die de ventielen innemen, als de installatie onder druk staat en alle machinedelen zich bevinden in de positie die ze voor het begin van de cyclus dienen in te nemen.

Voorbeeld 16:

Indicatie dat een ventiel met handbediening of mechanische bediening in de bediende toestand getekend is (Fig. 3/5).



Figuur 3.3 :

### Leidingen, algemeen

Leidingen moeten zoveel mogelijk recht en zonder kruisingen getekend worden.

Werkleidingen tekenen we met een ononderbroken lijn en stuurleidingen met onderbroken streeplijnen. Ter vereenvoudiging mogen de laatste ook met ononderbroken ( wat dunnere ) lijnen weergegeven worden. Het volledige schema kan nog worden afgewerkt o.a. met poortcoderingen en bepaalde technische aanwijzingen, zoals instelwaarden.

## 4.5.2 Rangschikken:

Bij het tekenen van het schema kan men de EN-functie met behulp van een tweedrukventiel tekenen. Door de volgorde van de signalen voor de A+ en T+ commando's te wijzigen, kan men de signaalgevers in serie zetten, waardoor de tweedrukventielen worden uitgespaard. Het startventiel moet tussen de A+ ingang van het hoofdventiel worden geplaatst. Hierdoor wordt verkregen, dat wanneer het start ventiel uitgeschakeld wordt, de cyclus aan het einde stopt. Zou st voor of achter so geplaatst worden, dan wordt in dit geval het T- commando niet meer gegeven.

A+ = t0 . s0 . st ( S0, staat als secundair genoteerd dus geen voeding verplaatsen naar primair zie onderstaande formule ).

A- = S1 ( S1, primair dus voeding )

S+ = a1 .

S- = t1

T+ = a0 . si ( S1 , secundair verplaatsen naar primair de onderstaande formule )

T- = s0 ( S0, primair dus voeding )

Gerangschikte formules.

A+ = s0 . t0 . st

A- = s1

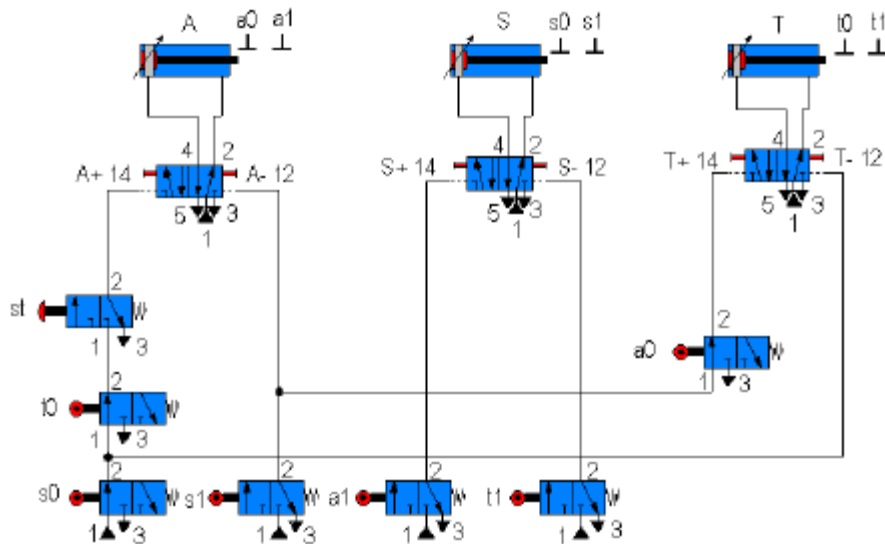
S+ = a1

S- = t1

T+ = S1 . a0

T- = s0

Figuur 2/94 geeft het schema van de installatie weer.



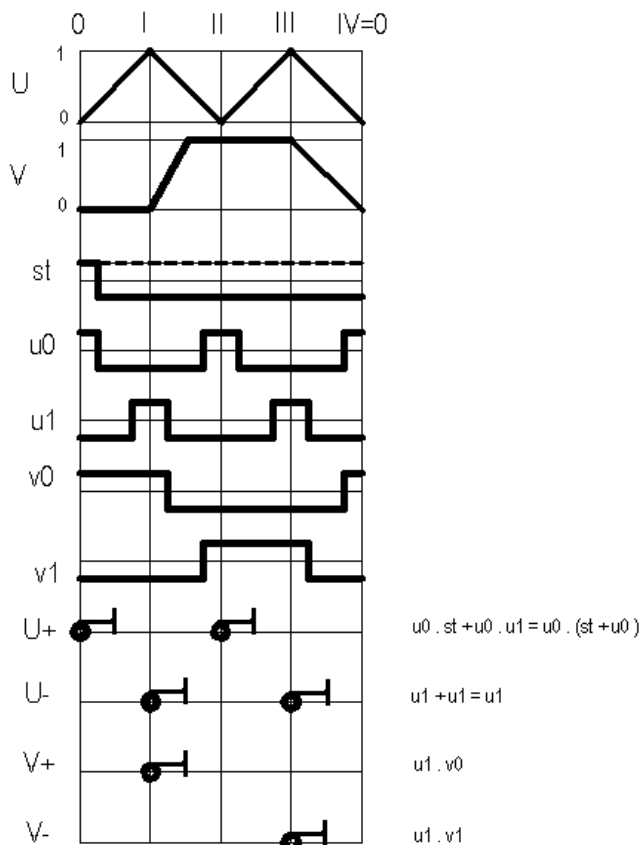
3 :

### 3.5.5 Het Onderscheidingssignaal.

In figuur 2/95 is het bewegingsdiagram van een cyclus met de cilinders U en V weergegeven. Uit het bewegingspatroon van de cilinders blijkt dat cilinder V sneller loopt dan cilinder U. Daarom zullen in cilinder U snelheidsregelventielen worden opgenomen. De analyse van deze cyclus gebeurt weer op de gebruikelijke manier. Echter na het lezen van de primaire signalen blijkt dat zowel voor V+ als voor V- hetzelfde signaal moet worden gebruikt. Om de cyclus voortgang te laten vinden moet aan U1 voor de commando V+ en V- een onderscheidingssignaal worden toegevoegd. Met het onderscheidingssignaal wordt bedoeld het signaal, dat als EN functie aan het primaire signaal wordt toegevoegd en alleen aanwezig op het tijdstip, dat het commando moet worden gegeven en niet aanwezig is als het tegengestelde commando aanwezig is. Aan V+ wordt v0 toegevoegd en aan V- wordt v1 toegevoegd.

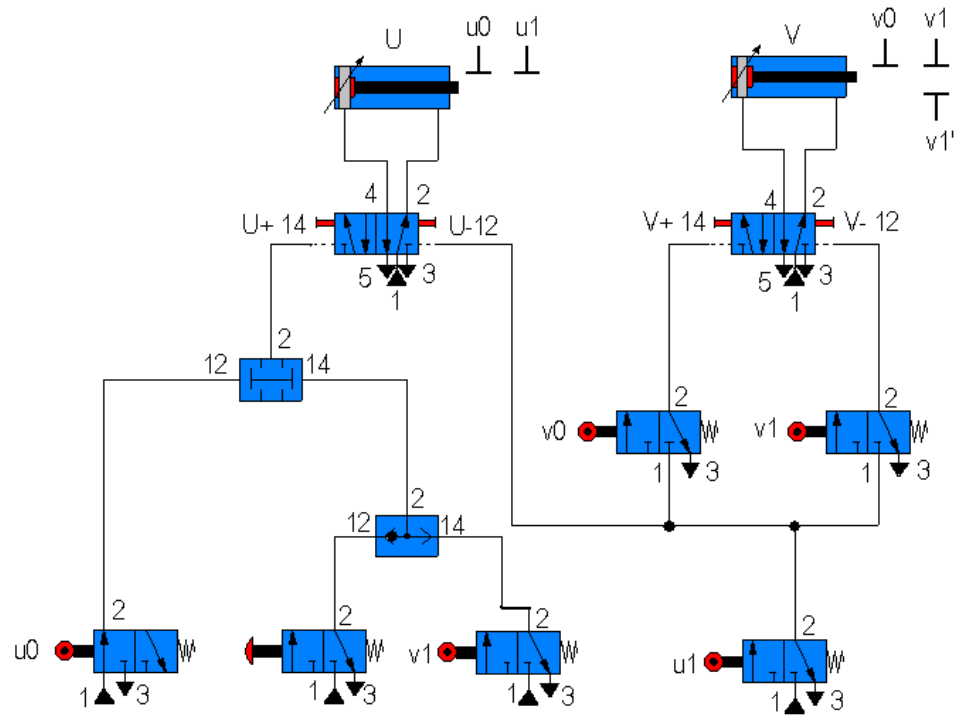
Uit de controle blijkt dat alle te geven commando's pulsen zijn. Aan het eerste commando U+ is het startsignaal toegevoegd. Door de signaalgevers in de juiste volgorde te plaatsen, kunnen voor de EN-functie de tweedrukventielen uitgespaard worden.

Figuur 3/84 geeft het pneumatisch schema



uur 2.23 :

Figur 2.23 :



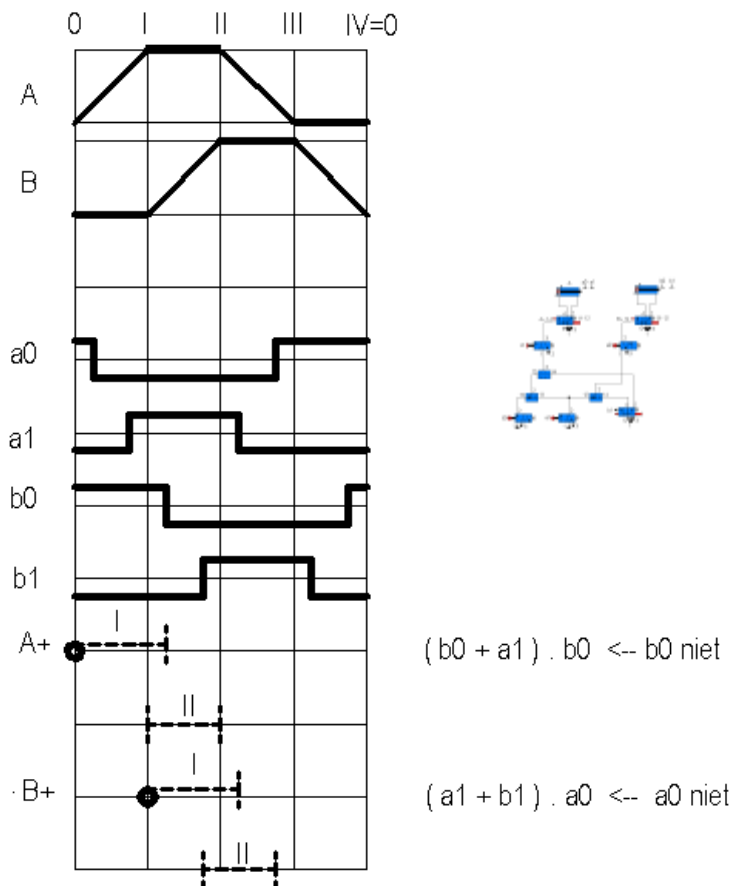


## 4.5.2.1          Cyclus zonder overlappende commando's, hoofdventielen monostabiel.

Ook hier gaat het analyseren van de cyclus op de gebruikelijke wijze. Bij het controleren van de uitgelezen primaire signalen blijkt, dat het primaire signaal voor het A+ als voor het B+ commando te kort is. Zie hiervoor in figuur 3/86 de gestippelde lijn I.

We moeten dus de primaire signalen gaan verlengen. Voor het A+ commando gaan we het b0 signaal verlengen door het signaal a1 als 'OF' functie eraan toe te voegen. Voor het B+ commando het b1 signaal. In het diagram figuur 2/97 aangegeven met een stippellijn II. Hiermee hebben we dan een nieuw probleem gekregen, nl. het A+ commando blijft nu staan wat eveneens geldt voor het B+ commando. Beide commando's worden immers door signalen, die het gevolg zijn van deze commando's, overgenomen. De signaal combinaties voor beide commando's moeten ingekort worden. Het inkorten moet door een nieuw signaal als EN-functie toegevoegd worden aan deze combinatie. Op het moment dat het A+ commando moet afvallen, blijkt uit het bewegingsdiagram dat het b1 signaal gemaakt wordt. Wordt voor b1 een normaal geopend ventiel gebruikt, dus by ( lees: niet b1 ) en wordt dit dan als EN-functie aan de signaalcombinatie b0 + a1 toegevoegd, dan zal wanneer b1 gemaakt wordt het commando A+ op het juiste moment wegvallen.

$A+ = (b0 + a1) \cdot b1 \cdot st$



uur 2.23 :

Dezelfde procedure zal bij B+ ook gevolgd moeten worden.

# A-114

---

Aan de signaalcombinatie  $a1 + b1$  voor  $B+$  moet het signaal  $a0$ , (lees: niet  $a0$ ) worden toegevoegd als EN-functie.

$$B+ = (a1 + b1) \cdot a0$$

In de formules voor commando's staat de signaalcombinatie van het primaire signaal en het ovemeem-signaal tussen haakjes. Hiermee laat men de prioriteit van deze combinatie &omen. Want, in de schakelalgebra geldt de volgende prioriteitsregel: eerst EN dan OF. Maar in het onderhavige geval moet de combinatie gevormd worden door de OF-functie met een ander signaal als EN-functie. Aan de hand van de formules wordt het schema getekend. Opgemerkt wordt, dat in de formules het  $b1$  en het  $b1$  signaal voorkomt. D.w.z. dat voor een signaalgever twee tegenstrijdige uitspraken worden gedaan. Er moet een signaal door  $b1$  worden afgegeven als deze niet bediend en ook wanneer hij wel bediend is. Hieruit blijkt, dat  $b1$  een 5/2-stuurventiel moet zijn

Figuur 3/88 geeft het schema van deze schakeling weer.

## HOOFDSTUK 5 : STAPPENSCHAKELING

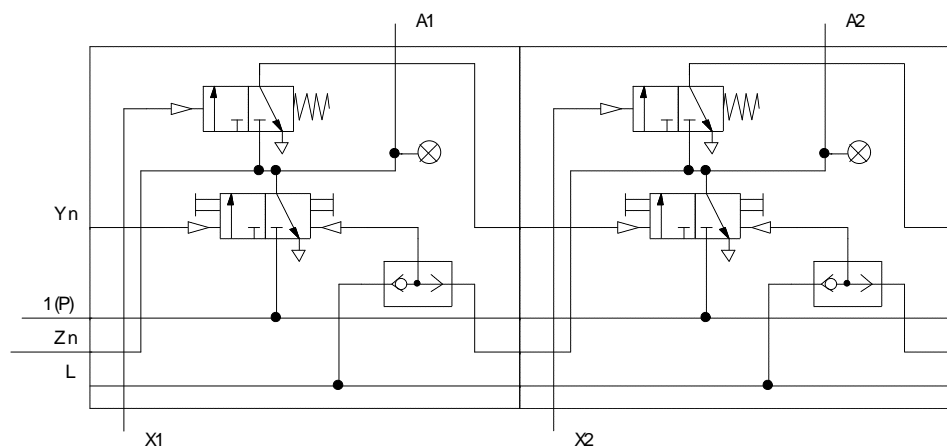
## 5.1 Ontwerpen van een stappenbesturing

### 5.1.1 Sequential Function Diagram (SFC)

Het SFC is een grafische ontwerpmethodede voor automatische besturingen. Het is zowel voor de gebruiker als voor de besturingstechnicus industriële automatisering toegankelijk en vereenvoudigt daardoor de communicatie tussen de bij het automatiseringsproject betrokken personen. Het SFC is onafhankelijk van de voor de realisatie van de besturing toegepaste automatiseringstechnieken, zoals pneumatische, elektrische, elektronische of PLC-besturingen.

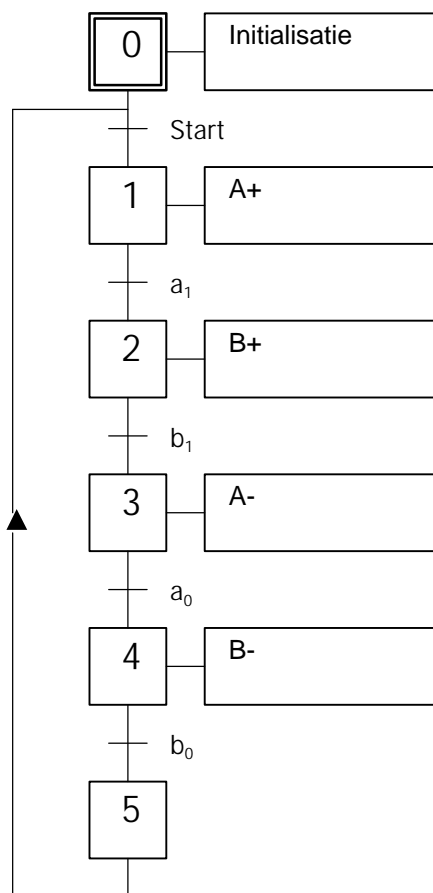
De ADEPA (Agence Nationale pour le Développement de la Production Automatisée = Nationaal instituut voor ontwikkeling van industriële automatisering) heeft een werkgroep gevormd die de overeenkomst in de diverse gebruikte voorstellingsmethoden voor een functiediagram naar voren heeft gebracht en vorm heeft gegeven aan voorstellen voor Franse en Internationale normen. In het Frans heeft dat geleid tot het GRAFCET (Graphe de Commande Etape-Transition) en in de internationaal is dit het SFC (Sequential Function Chart).

Onderstaand voorbeeld laat een pneumatische stappenschakeling zien als voorbeeld. Het proces is onderverdeeld in stappen die na elkaar worden geactiveerd. Aan een stap zijn één of meerdere actie's gerelateerd (commando's op uitgang A1). Deze actie's zijn slechts effectief als de voorgaande stap actief is ( $Y_n$ ) en aan de conditie van de volgende stap ( $X_1$ ) wordt voldaan. Wanneer aan de schuifvoorwaarde ( $X_1$ ) wordt voldaan dan heeft dit inschakeling van de volgende stap en uitschakelen van de voorafgaande stap tot gevolg.



*Figuur 7.1:  
Voorbeeld van een pneumatische  
stappenschakeling.*

In een SFC ziet het er allemaal veel eenvoudiger uit en gaat het alleen om het principe en niet om de technische realisatie van de stappenschakeling, want het SFC is immers universeel toepasbaar.



Figuur 7.2:  
Voorbeeld van een SFC.

## 5.1.2 Voordelen van het ontwerpen met een SFC

De voordelen van deze ontwerpmethode zijn:

1. Het functiediagram is een beknopte en eenvoudige weergave van het besturingsproces m.b.v. symbolen en heeft een duidelijk herkenbare structuur.
2. Het ontwerpen van het SFC gebeurt onafhankelijk van de uitvoerende besturingstechniek.
3. De relaties tussen de commando's en de stappen zijn direct afleesbaar.
4. Een stapgeheugen reageert slechts op die ingangssignalen welke in de desbetreffende stap als conditie worden afgevraagd.
5. De stapcondities en de acties zijn gemakkelijk te veranderen.
6. Een storing is door een onderhoudsmonteur direct te lokaliseren.
7. De voordelen 5 en 6 maken de besturing en het proces toegankelijker.
8. De besturing is eenvoudig te ontwerpen, te testen en in bedrijf te stellen.
9. technici uit verschillende vakdisciplines kunnen effectiever en sneller met elkaar van gedachten wisselen over een besturing.

Een SFC is opgebouwd uit de volgende onderdelen:



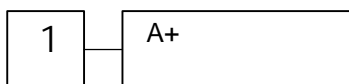
**Initialisatiestap:**

Stap 0 is de zogenaamde initialisatie-stap, waarin de machine in de ruststand moet worden gebracht en waarin alle timers, counters, register, flags, outputs worden gereset. Deze stap wordt weergegeven als een dubbel vierkantje.



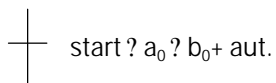
**Stap:**

Een stap wordt weergegeven als een vierkantje.



**Stap met actiedeel:**

Aan elke stap zit een actiedeel verbonden wat weergegeven wordt als een rechthoek waarin alle uit te voeren actie's staan vermeld.



**Conditie:**

Tussen de verschillende stappen worden de conditie's in schakelformules weergegeven.



**Sprong:**

Een sprongfunctie wordt aangegeven met een pijl.

## 5.1.3 Vertakkingen

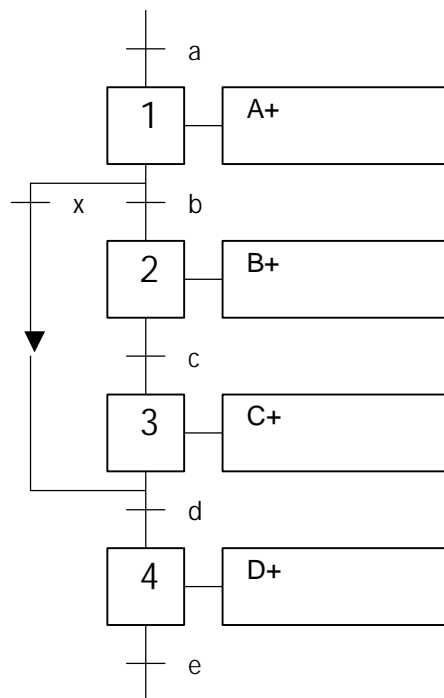
Een cyclus kan samengesteld zijn uit een:

- ?? sprongfunctie.
- ?? herhalingsfunctie.
- ?? vertakkingsfunctie.
- ?? gelijktijdigheidsfunctie.
- ?? subroutine.
- ?? subprogramma.

### Sprongfunctie:

De sprongfunctie (jump) wordt gebruikt om een aantal stappen in de besturing over te kunnen slaan, zoals onderstaand voorbeeld laat zien. Aan de sprongfunctie zelf zit een voorwaarde en er wordt in een STL-programma altijd gesprongen naar een stap (die begint met een voorwaarde).

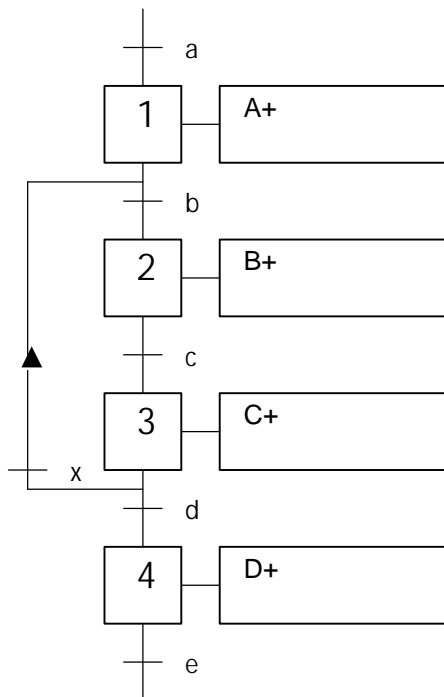
### Herhalingsfunctie:



*Figuur 7.3:  
Voorbeeld van een sprongfunctie  
in een SFC.*



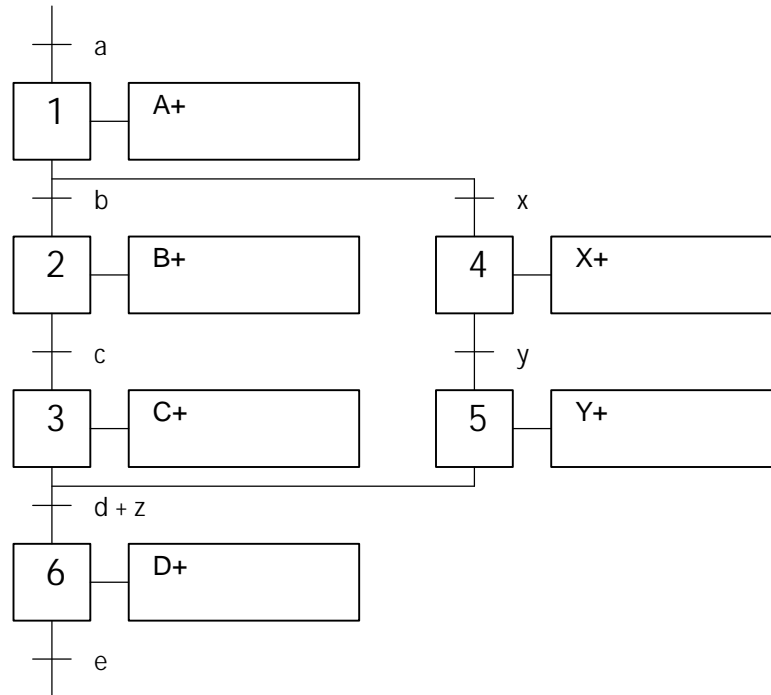
De herhalingsfunctie (ook jump) wordt gebruikt om een aantal stappen in de besturing te kunnen herhalen, zoals onderstaand voorbeeld laat zien. In het voorbeeld worden de stappen 2 t/m 3 herhaald, totdat aan voorwaarde (d) wordt voldaan. Aan de sprongfunctie zelf zit ook een voorwaarde (x) en er wordt in een STL-programma altijd gesprongen naar een stap (die begint met een voorwaarde).



*Figuur 7.4:  
Voorbeeld van een  
herhalingsfunctie in een SFC.*

## Vertakkingsfunctie (OF-functie):

Machines met meerdere cyclussen, of die meerdere verschillende produkten kunnen fabriceren, zijn typische gevallen van vertakkingen, waarbij dan op het knooppunt van de vertakking meestal een exclusieve keuze wordt gemaakt uit de beschikbare sequenties. Zoals het onderstaande SFC laat zien, bepalen de vertakkingsvoorwaarden  $b$  en  $x$  de keuze uit de twee sequenties. Het samenkomen, aan het einde van elke sequentie, geschiedt op de gemeenschappelijk stap 6.

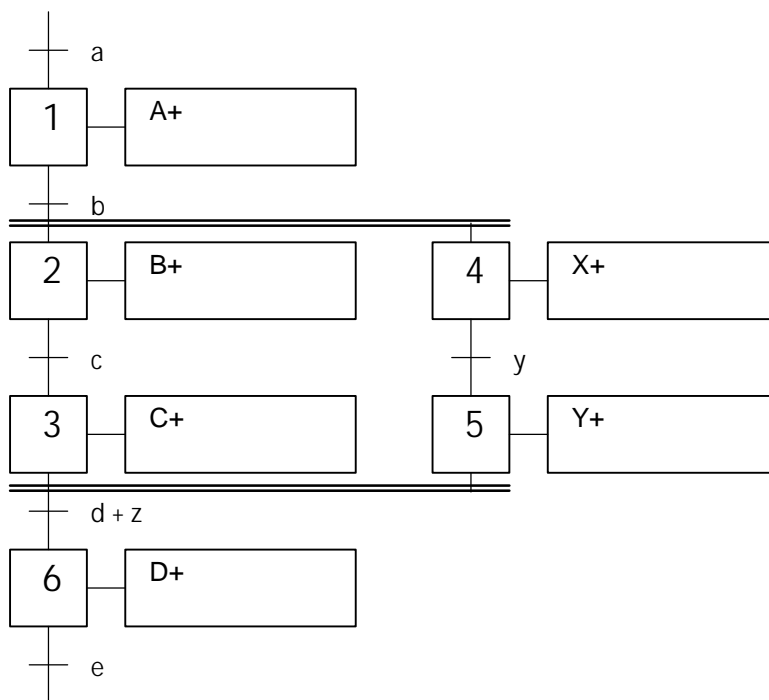


Figuur 7.5:  
Voorbeeld van een parallelle  
aftakking (OF-functie).

**Gelijktijdige sequenties (EN-functie):**

Machines die uit meerdere bewerkingsposten bestaan die gelijktijdig werken (bijv. transfermachines) zijn typische gevallen van cyclussen die uit meerdere gelijktijdige geactiveerde takken bestaan, waarbij elke sequentie in een tak onafhankelijk wordt afgewerkt.

Zoals het onderstaande SFC laat zien, activeert de schuifvoorwaarde b gelijktijdig de stappen 2 en 4; het begin van de gelijktijdige sequenties wordt weergegeven door de eerste dubbele streep.



*Figuur 7.6:  
Voorbeeld van een parallelle  
aftakking (EN-functie).*

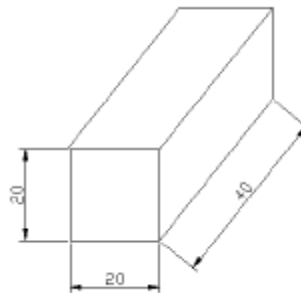
Het einde van de gelijktijdige sequenties wordt bereikt zodra de twee sequenties zijn beëindigd en wordt voldaan aan voorwaarde d+z. De twee dubbele strepen geeft de synchronisatie van de takken van het diagram weer.

## 5.2 Voorbeeld van het ontwerpen van een besturing

Het hierna te geven voorbeeld werken we nu geheel uit in overeenstemming met de hiervoor behandelde punten. Het werkschema van paragraaf 4.2 dient u daarbij nauwgezet te volgen. Ontbrekende gegevens kunnen vrij gekozen worden.

Produkt:

Er moet een speciaalmachine ontworpen worden, waarmee de onderdelen van figuur 4.9, afmetingen 80 x 60 x 50 mm, aan een zijde gestempeld kunnen worden. Het werk moet automatisch verlopen.



Figuur 4.9:  
Schets van het produkt.

materiaal : aluminiumlegering  
nodige stempelkracht : ca. 800 N  
aantal : ca. 8 000 stuks per dag  
massa van het stempel : ca. 8 kg

Formulering van het probleem:

Zoals meestal zijn hier verscheidene oplossingen mogelijk. Een ervan is hier gegeven, waarbij de te verrichten handelingen zijn:

1. onderdelen opslaan (magazijn)
2. onderdelen toevoeren (schuiven)
3. onderdelen klemmen
4. onderdelen bewerken (stempelen)
5. onderdelen uitstoten

Vastleggen van de bijkomende eisen (nevencondities), bijvoorbeeld:

1. Starten door bedieningsknop "start" met de hand.
2. Keuzeschakelaar voor "enkele cyclus" en "repeteren". Stand "enkele cyclus": er moet een cyclus plaatsvinden, waarna in de ruststand weer gestopt wordt. Stand "repeteren": Na bedienen van de startknop repeteert de cyclus automatisch totdat de toets "enkele cyclus" wordt ingedrukt.
3. Controle magazijn: als het magazijn leeg is moet de installatie in rustpositie blijven staan. Pas nadat het magazijn weer van materiaal is voorzien, kan de cyclus opnieuw gestart worden.
4. Noodstop bij bediening van de noodstop-toets moet de installatie weer geheel in de rustpositie terugkomen. Pas na bediening van de noodstop ontgrendeling mag weer gestart worden.

Keuze van de arbeidsenergie en dimensionering arbeidselementen:

Alle bewegingen zijn rechtlijnig. De benodigde krachten zijn klein, de stempelkracht bedraagt maximaal 800 N. De lengte van de beweging is maximaal 200 a 300 mm.

De werksnelheid bedraagt bij 8 werkuren per dag ca. 3,6 s/stuk. Gekozen arbeidsenergie: Pneumatiek.

Door een gunstige opstelling kan het toevoeren en het klemmen door één enkele cilinder gedaan worden.

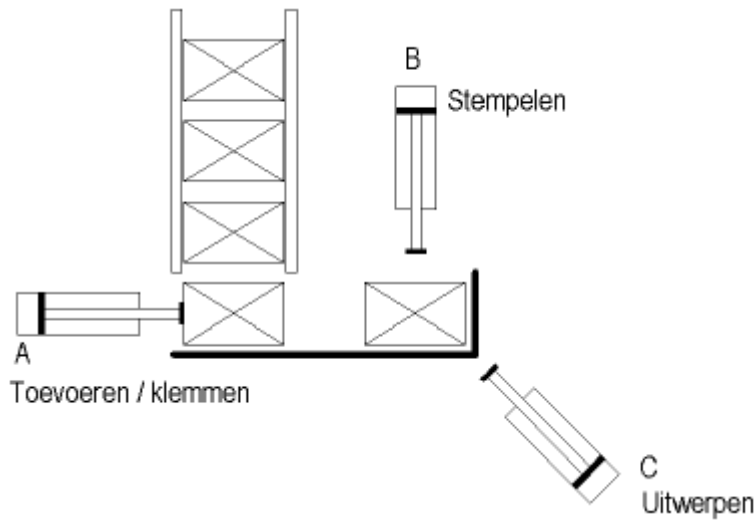
Nodig zijn dus:

1 cilinder A voor toevoeren en spannen;

1 cilinder B voor stempelen;

1 cilinder C voor uitwerpen.

In verband met de snelheid, de beheersing ervan en de (stoffige) omgeving worden dubbelwerkende cilinders toegepast. De bepaling ervan moet hier als bekend worden verondersteld. De eindstanden kunnen door mechanische aftasting, het klemmen door drukopbouw gesignaleerd worden.



*Figuur 2.23 :  
Situatieschets.*

Vastleggen van het verloop van de cyclus:

Volgorde van de handelingen:

toevoeren en klemmen: cilinder A uit

stempelen: cilinder B heen en terug

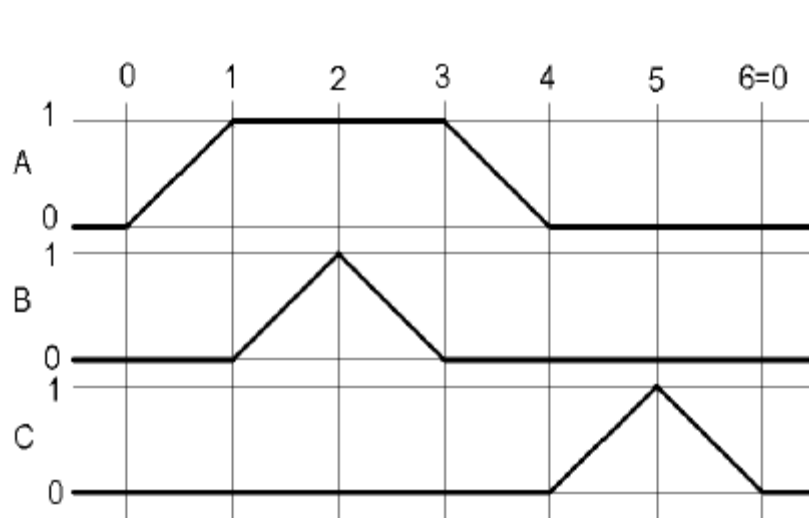
lossen: cilinder A terug

uitwerpen: cilinder C heen en terug

Volgorde van de bewegingen (als voorbeeld in verkorte schrijfwijze):

A+, B+, B-, A-, C+, C-.

Bewegingsdiagram



### 5.2.1.1 Keuze van het besturingstype

De hoofdgroep (volgens 1.6.3):

Er is hier duidelijk sprake van een programmabesturing (een besturing met een van tevoren bepaald verloop van de bewegingen).

Keuze van het type programmabesturing: Voor dit voorbeeld ligt een wegaafhankelijke besturing voor de hand:

het juiste verloop is hiermee verzekerd;

voor de geringe omvang van het probleem is het beslist de goedkoopste oplossing (geen programmeerver);

er is geen wisseling van het programma nodig.

### 5.2.1.2 Stuurenergie

Met het oog op het werkmedium en de probleemstelling komt pneumatische of elektrische energie in aanmerking.

In dit geval zal een zuiver pneumatische oplossing het gunstigste zijn (maar een medium voor arbeid en besturing, daardoor geen energie omzetter nodig; maar een energietoevoer naar het apparaat; grote betrouwbaarheid; ongevoeligheid voor de omgeving, enz.).

Beslissend zijn in dit geval ook de bedrijfsomstandigheden, bijvoorbeeld:

- welk onderhoudspersoneel beschikbaar is;
- in welke omgeving het apparaat komt te staan.

Gekozen dus: Pneumatiek

A-128

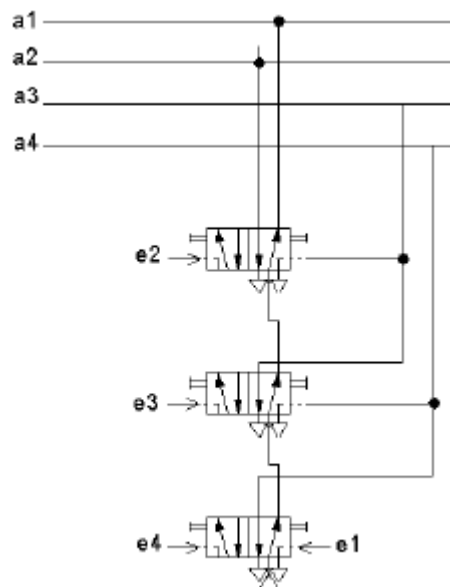


## HOOFDSTUK 6 : CASCADE METHODE

## 6.1 Het opsplitsen van het stuurcircuit (cascademethode)

De cascademethode is een werkwijze voor het eenvoudig en snel ontwerpen van een pneumatische besturing, waarbij het optreden van tegengestelde commando's op eenzelfde hoofdventiel bij voorbaat door een omschakelventiel wordt uitgesloten. Dit laatste ventiel wordt hierna verder met "cascadeventiel" aangeduid.

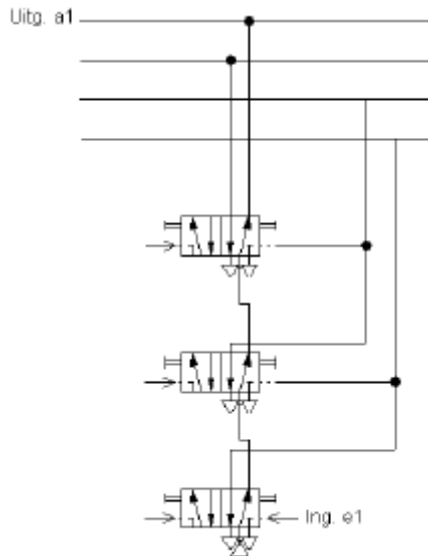
Bij uitgebreide schakelingen wordt het stuurcircuit in verscheidene delen opgesplitst; daarbij mag telkens maar een deelcircuit onder druk staan. Dit wordt bereikt door een trapsgewijs achter elkaar schakelen van 5/2-stuurventielen, zoals dit in Fig. 4/1 voor vier deelcircuits in schema is gebracht. Van deze trapsgewijze overschakeling komt de benaming 'cascade'.



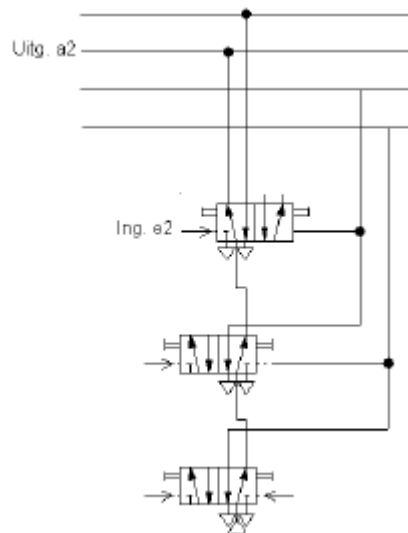
*Figuur 6.1 :  
Door de cascade schakeling  
kan telkens maar één van de  
leidingen a1 t/m a4 onder  
druk staan.*

Verder heeft in dit schema iedere sturingang van de cascade de benaming e, gevolgd door het cijfer van de uitgang die erdoor ingeschakeld wordt. Druk op e1 veroorzaakt dus druk op uitgang a1 enz. De figuren 4/2 a . . . d geven het stap voor stap doorschakelen in de cascade weer.

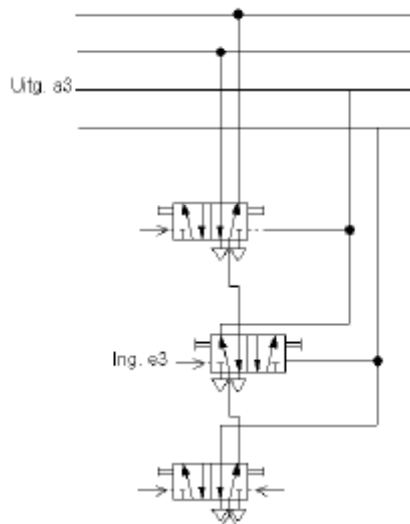
*Figuur 4.2a: Ingangssignaal e1 heeft tot gevolg dat uitgang a1 druk heeft.*



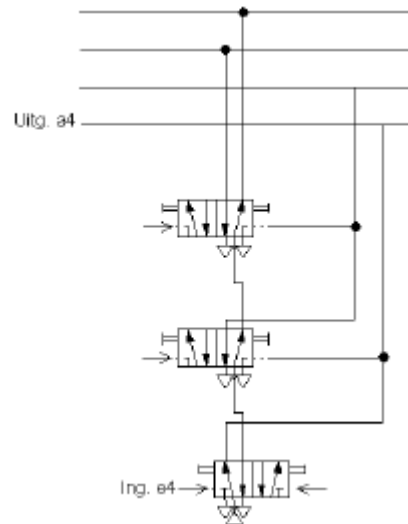
*Figuur 4.2b: Ingangssignaal e2 heeft tot gevolg dat uitgang a2 druk heeft.*



*Figuur 4.2c: Ingangssignaal e3 heeft tot gevolg dat uitgang a3 druk heeft.*



*Figuur 4.2d: Ingangssignaal e4 heeft tot gevolg dat uitgang a4 druk heeft.*

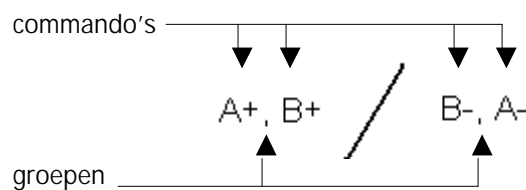


## 6.2 Werkwijze voorafgaand aan het tekenen van een schema volgens de cascademethode.

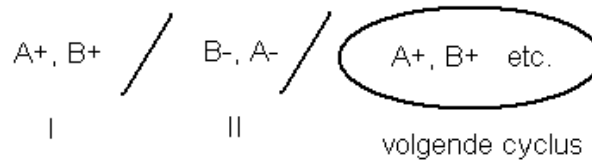
Het vastleggen van de cyclus door de verkorte schrijfwijze. Voor het probleem is al eerder een bewegingsdiagram gegeven. De opeenvolgende bewegingen ( tevens commando's ! ) zijn:

A+, B+, B-, A-

Indeling van de commando's in groepen. Hierbij mag in een groep een bepaalde letter maar een keer voorkomen, hetzij met een +, hetzij met een -. voor de opgave zijn er in dit geval dus twee groepen. Het begin van de cyclus hoeft niet noodzakelijk het begin van een groep te zijn: hier is dit toevallig wel het geval.



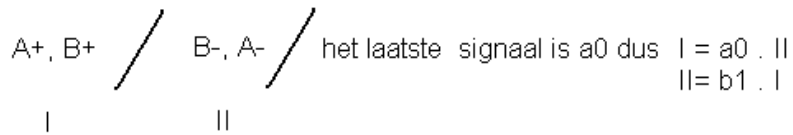
Vervolgens gaan we de groepen nummeren met Romeinse cijfers. Het aantal groepslijnen is gelijk aan het aantal groepen. Verstandig is het een gedeelte van een volgende cyclus te noteren waaruit wellicht duidelijker blijkt dat A- /A+ gescheiden dienen te worden.



Het aantal groepen minus 1 is gelijk aan het aantal cascade (omschakel) ventielen

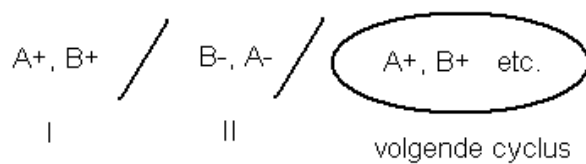


Het laatste signaal in een groep schakelt de volgende groep in en wordt gevoed vanuit zijn eigen groep.



Voor de schakelformules gaan we als volgt te werk:

1. Het eerste commando in een groep wordt rechtstreeks vanuit die desbetreffende groep geven:  
 $A+ = I$   $B- = II$
2. Bij het  $A+$  commando wordt ook nog het startsignaal toegevoegd daar dit immers de eerste actie in de bewegingsvolgorde is:  
 $A+ = I \cdot \text{start}$
3. Bij alle overgebleven commando's kiezen we tenslotte de voorafgaande signaalgever die gevoed wordt vanuit de groep waar hij zich bevindt:  
 $B+ = a_1 \cdot I$   
 $A- = b_0 \cdot II$



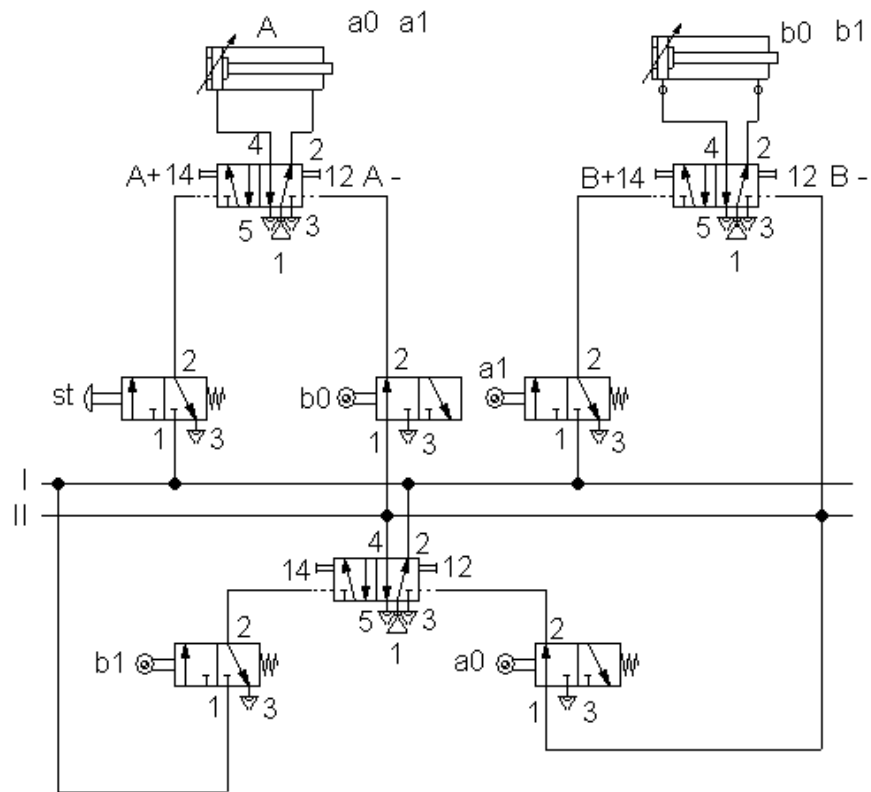
Alle stappen hebben we nu doorlopen en we komen nu tot de volgende schakelformules:

$$\begin{aligned}
 I &= a_0 \cdot II \\
 II &= b_1 \cdot I \\
 A+ &= I \cdot \text{start} \\
 A- &= b_0 \cdot II \\
 B+ &= a_1 \cdot I \\
 B- &= II
 \end{aligned}$$

# A-134

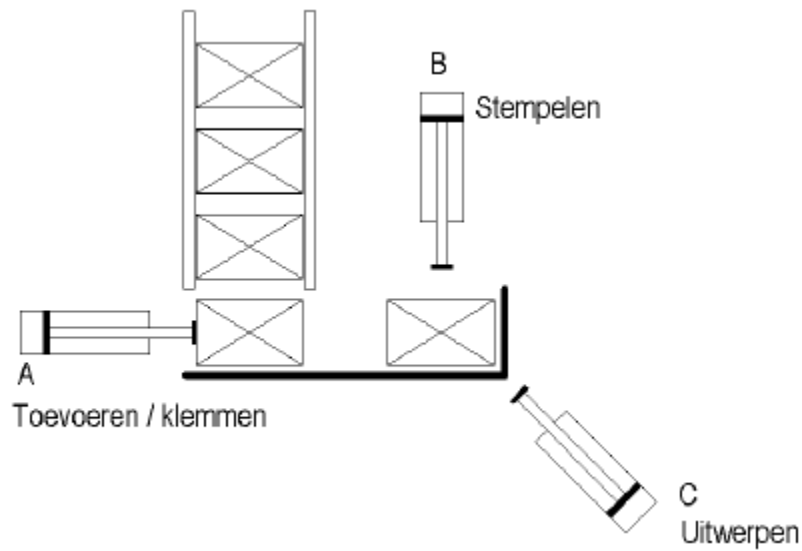
Eventuele nevencondities kunnen we nu nog gaan verwerken in de reeds gevonden schakelformules.

De formules omgezet in een pneumatisch schema geeft onderstaand resultaat.

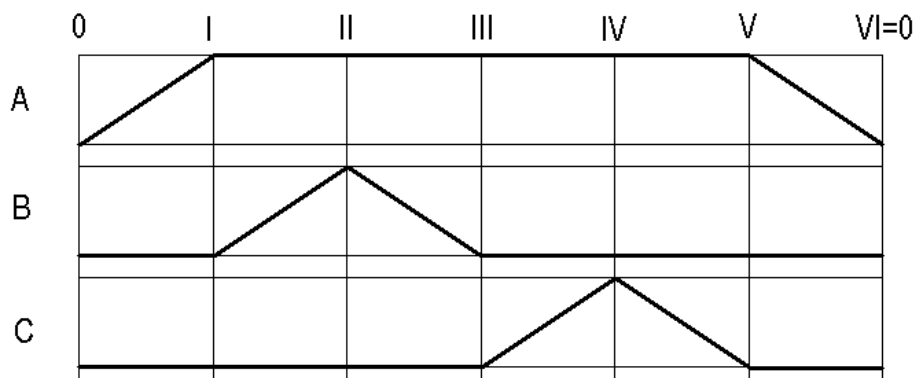


## 6.2.1 Voorbeeld van een stempelmachine

In een speciaal machine worden rechthoekige blokken gestempeld. Deze worden door een cilinder uit een valmagazijn tegen een aanslag geschoven en geklemd. Een tweede cilinder stempelt de blokken, die vervolgens door een derde cilinder worden uitgestoten.



Bewegingsdiagram :



# A-136

---

Nevencondities:

De cyclus moet automatisch verlopen, waarbij te kiezen is uit:  
een enkele cyclus  
een repeterende werking

De start wordt met een ventiel met handbediening gegeven.

Een ventiel met rolbediening tast af of er nog materiaal in het magazijn aanwezig is. Als er geen product meer in aanwezig is, mag de cyclus niet meer starten.

Bij bedienen van een NOODSTOP ventiel moeten alle drie cilinders onmiddellijk naar de ruststand gaan en pas weer na ontgrendelen van het noodstopventiel kunnen werken.

Werkwijze voorafgaand aan het tekenen van een schema volgens de cascademethode.

Het vastleggen van de cyclus door de verkorte schrijftijze. Voor het probleem is al eerder een bewegingsdiagram gegeven.

De opeenvolgende bewegingen ( tevens commando's ! ) zijn:

A+ B+ B - A - C+ C -

Indeling van de commando's in groepen. Hierbij mag in een groep een bepaalde letter maar hen keer voorkomen, hetzij met een +, het zij met een -.

Voor de opgave zijn er twee groepen. Vervolgens gaan we de groepen nummeren met Romeinse cijfers. Het aantal groepslijnen is gelijk aan het aantal groepen.

A+, B+ / B-, A-, C+ / C-  
I                      II                      I

Het aantal groepen minus 1 is gelijk aan het aantal cascade (omschakel) ventielen

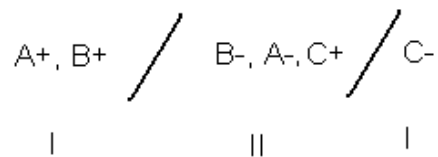
A+, B+ / B-, A-, C+ / C-    2 groepen dus  
I                      II                      I                      1 cascade ventiel

Het laatste signaal in een groep schakelt de volgende groep in en wordt gevoed vanuit zijn eigen groep.

A+, B+ / B-, A-, C+ / C-    dus: I = c1 . II  
I                      II                      I                      II = b1 . I

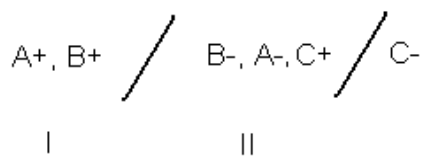


Het eerste commando in een groep wordt rechtstreeks vanuit die desbetreffende groep geven.



Hieruit volgt:  
 $C- = I \quad B- = II$

Bij alle overgebleven commando's kiezen we tenslotte de voorafgaande signaalgever die gevoed wordt vanuit de groep waar hij zich bevindt.



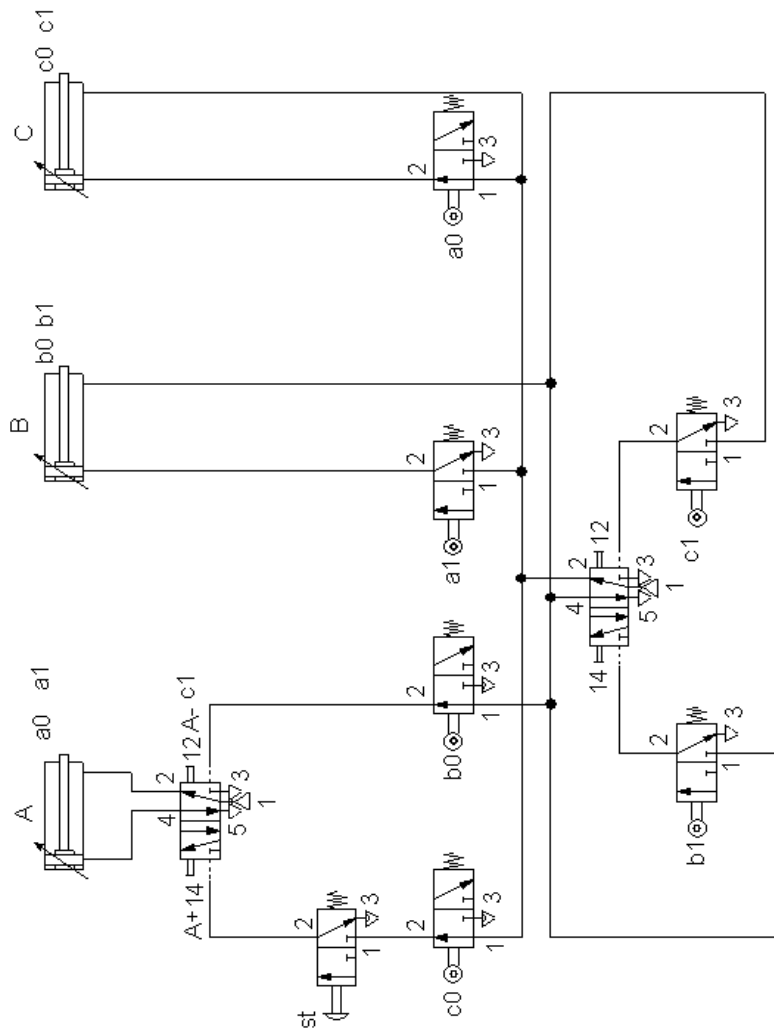
$A+ = c0 . I . \text{start (eerste beweging start toegevoegd)}$   
 $A- = b0 . II$   
 $B+ = a1 . I$   
 $B- = a0 . II$

Alle stappen hebben we nu doorlopen en we komen nu tot de volgende schakelformules:

$I = c1 . II$   
 $II = b1 . I$   
 $A+ = c0 . I . \text{start}$   
 $A- = b0 . II$   
 $B+ = a1 . I$   
 $B- = II$   
 $C+ = a0 . II$   
 $C- = I$

Eventuele nevencondities kunnen we nu nog gaan verwerken in de reeds gevonden schakelformules:

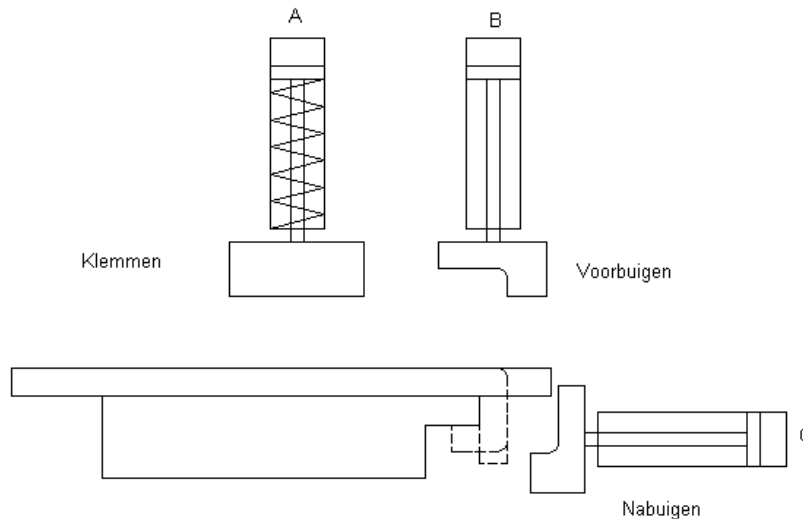
$I = c1 . II . ns$   
 $II = b1 . I . ns$   
 $A+ = c0 . I . \text{Prod. (start+aut) . ns (Prod. is product aanwezig)}$   
 $A- = b0 . II . ns$   
 $B+ = a1 . I . ns$   
 $B- = II + ns$   
 $C+ = a0 . II . ns$   
 $C- = I + ns$



Figuur 2.23 :

## 6.2.2 Probleemstelling:

Door een pneumatisch buigapparaat moet plaatmateriaal gebogen worden. Na het klemmen door een dubbelwerkende cilinder A, wordt de plaat door de dubbelwerkende cilinder B een eerste keer en door de dubbelwerkende cilinder C een tweede keer haaks omgebogen. De start gebeurt met de hand en wel zo, dat telkens maar een enkele cyclus plaats vindt.



Werkwijze voorafgaand aan het tekenen van een schema volgens de cascademethode.

Het vastleggen van de cyclus door de verkorte schrijfwijze. Voor het probleem is al eerder een bewegingsdiagram gegeven.

De opeenvolgende bewegingen ( tevens commando's ! ) zijn:

A+ B+ B- C+ C- A-

Indeling van de commando's in groepen. Hierbij mag in Ben groep een bepaalde letter maar een keer voorkomen, hetzij met een +, hetzij met een -.

Voor de opgave zijn er twee groepen:

commando's

A+, B+ / B-, C+ / C- A-

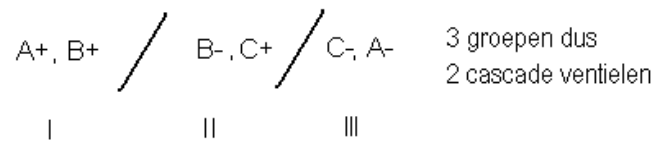
groepen

Vervolgens gaan we de groepen nummeren met Romeinse cijfers. Het aantal groepslijnen is gelijk aan het aantal groepen.

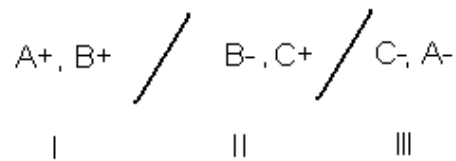
A+, B+ / B-, C+ / C-, A-  
 I                      II                      III

# A-140

Het aantal groepen minus 1 is gelijk aan het aantal cascade (omschakel) ventielen

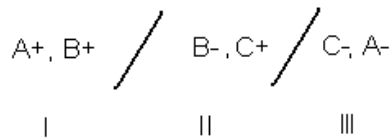


Het laatste signaal in een groep schakelt de volgende groep in en wordt gevoed vanuit zijn eigen groep.



dus:      I = a0 . III  
            II = b1 . I  
            III = c1 . II

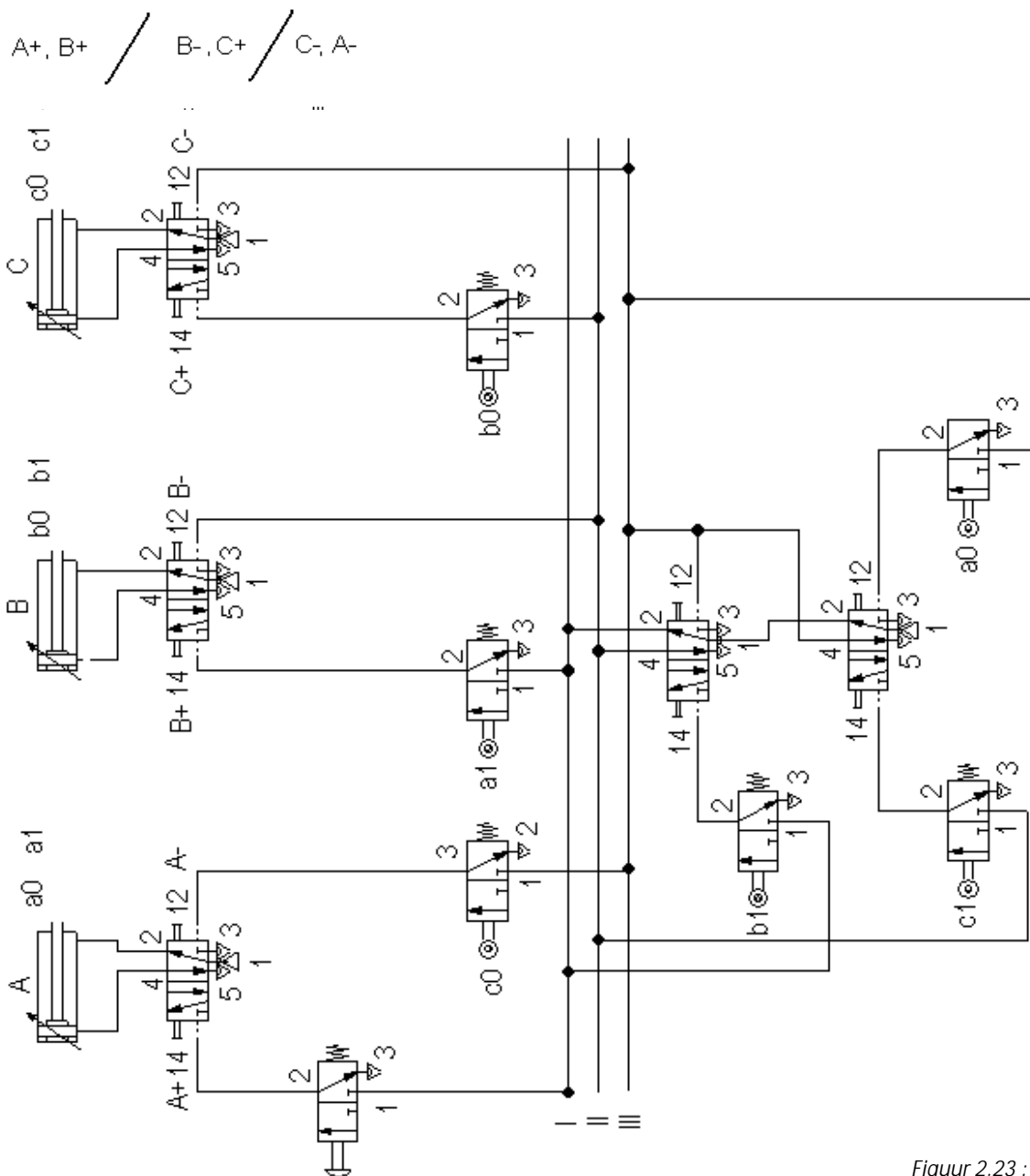
Het eerste commando in een groep wordt rechtstreeks vanuit die desbetreffende groep geven .



Hieruit volgt:

- A+ = I . start (eerste beweging start toegevoegd)
- B- = II
- C- = III

Bij alle overgebleven commando's kiezen we tenslotte de voorafgaande signaalgever die gevoed wordt vanuit de groep waar hij zich bevindt.



Figuur 2.23 :

strakke werkwijze voor de oplossing te geven. Het probleem ligt dan ook vooral op het technologische vlak; het beetje besturing kan intuïtief worden benaderd. fig 4.1 geeft een voorbeeld van een instelorgaan, dat enigszins het karakter van een volgstuuring

De proportionele samenhang tussen ingangs- en uitgangsgrootte, het kenmerk van een volgstuuring, is hier te vinden in de samenhang tussen verstelweg en bedieningstijd van de ventielen met handbediening.

### 6.3.1.1 Opgave 4.1

Probleemstelling:

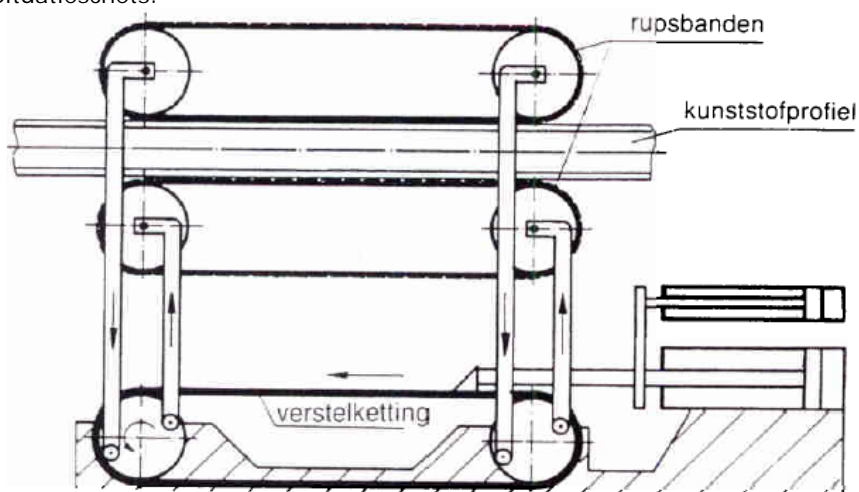
Tussen twee rupsbanden moeten verschillende kunststofprofielen gevoerd worden. De verstelling van de afstand tussen de banden wordt verzorgd door een pneumatische cilinder, die door twee ventielen met handbediening heen- en teruggestuurd kan worden.

Eisen:

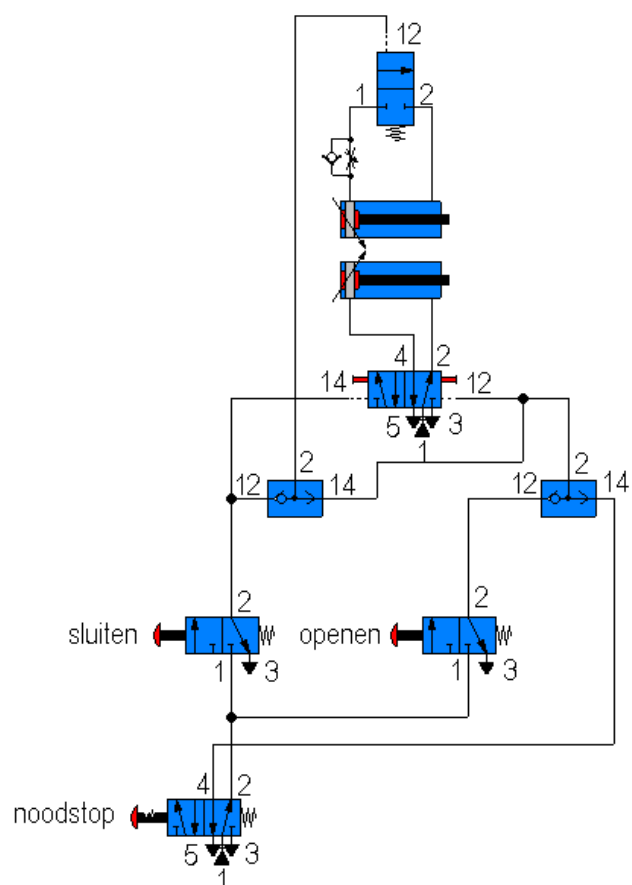
- 1 Traploos vergroten en verkleinen van de bandafstand door tippen van de handbediening.
- 2 Stootvrij aansluiten van de banden tegen het profiel zonder oscillatieverschijnselen.
- 3 Bij gevaar moeten door bedienen van een noodstopventiel de beide banden zich direct van elkaar verwijderen.
- 4 Verstelsnelheid: 50 tot 80 mm/s.

In Fig. is een mogelijke oplossing gegeven. Door de blokkeerbare olierecilinder is aan de eisen 1 en 2 voldaan. De relatief lage snelheid maakt een praktisch stootvrije werking mogelijk. Het noodstopventiel stuurt de cilinder blijvend, en buiten het ventiel 'openen' om, naar de eindpositie, waarbij de opening tussen de banden maximaal is.

Situatieschets:



Figuur 2.23 :



## 6.3.2 Schakelingen voor besturingen met geheugens

Deze schakelingen bestaan uit geheugenelementen en de nodige signaalvergrendelingen. Belangrijk is een eenduidige notatie van de probleemstelling in een daartoe geschikte vorm. Omdat het tekenen van een bewegingsdiagram hierdoor niet mogelijk is (er is geen van tevoren vastgestelde volgorde van bewegingen aanwezig, maar een vrije keuze van gewenste toestanden) blijkt een tabelvorm de meest geschikte wijze voor het vastleggen van de eisen.

De werkwijze is als volgt:

- analyseren van het probleem
- vastleggen van de eisen in een tabel
- stapsgewijze opbouw van het schema

De opgaven 2.4.1.5 en 2.4.1.14 zijn voorbeelden van dit soort besturingen.

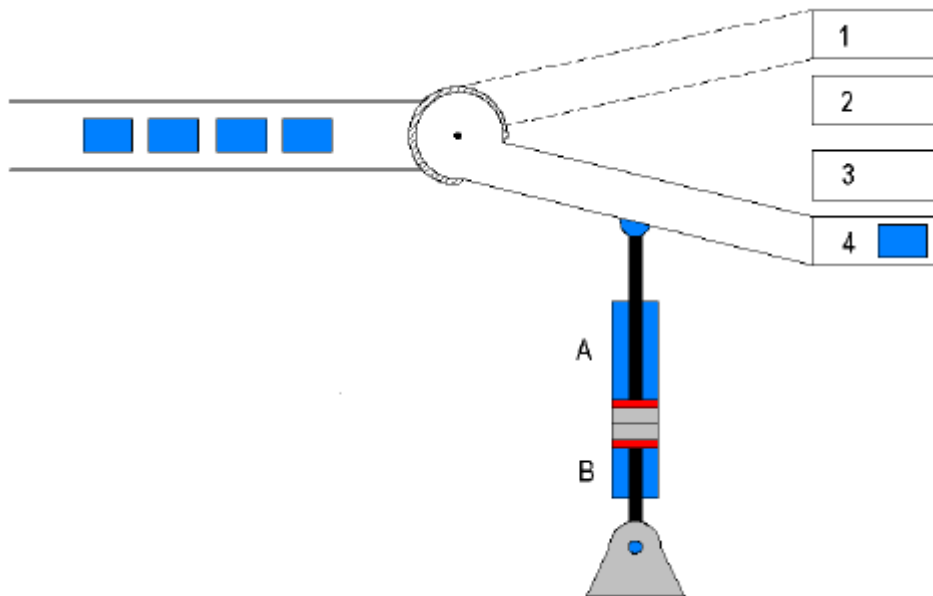


## 6.3.2.1 Opgave 8.1

### Probleemstelling

Producten, die op een transportband aankomen, moeten door een pneumatisch verstelbare wissel over vier verschillende banden verdeeld worden. De vier standen van de wissel moeten door kortstondig bedienen van een van de vier ventielen, een voor elke stand, vrij gekozen kunnen worden, zonder inachtneming van enige volgorde.

### Situatieschets



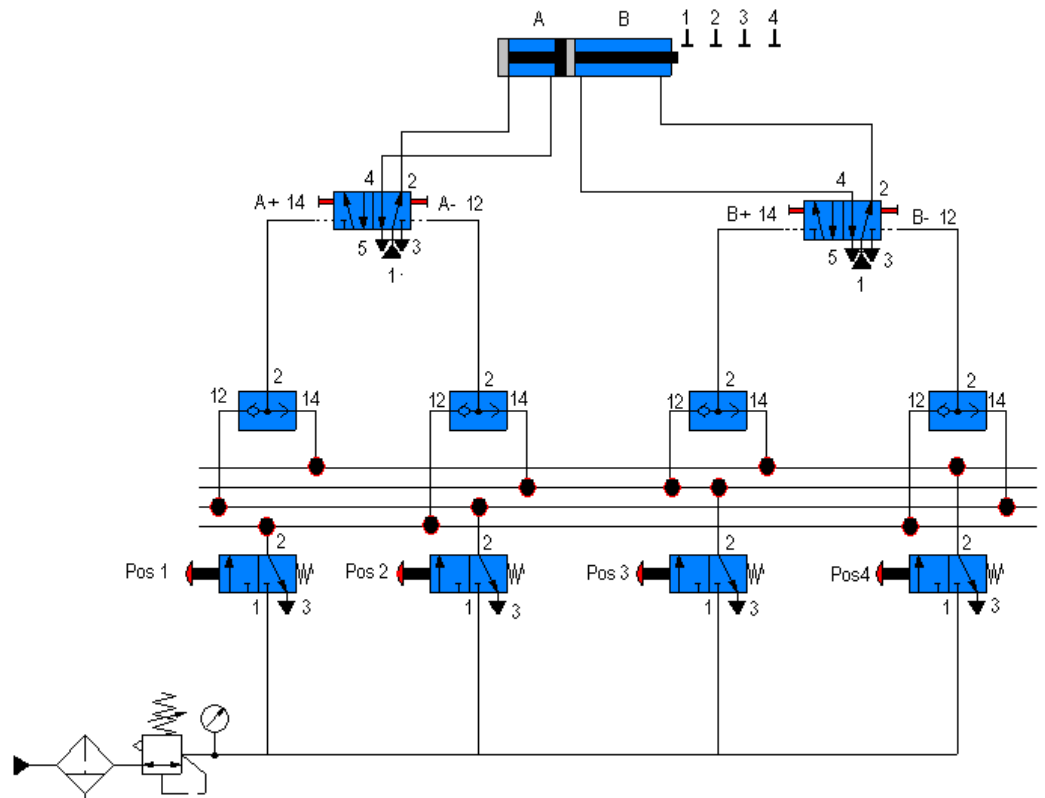
Figuur 2.23 :

## 6.3.2.2 Oplossing voor opgave 4.1

Voor het verstellen wordt een vierstandencilinder, bestaande uit een cilinder A en B, gebruikt. De condities worden als volgt in een tabel vastgelegd:

positie	stand cilinder A	stand cilinder B
1	0	0
2	1	0
3	0	1
4	1	1

Fig. laat het ontwikkelde schema zien.



Figuur 2.23 :

### 6.3.3 Schema's voor tijdafhankelijke programmabesturingen

Het belangrijkste punt is hier de keuze van de meest geschikte programmeereenheid.

De criteria voor de keuze zijn onder andere het aantal benodigde commando's, de tijdsduur van het hele programma enerzijds en de duur van het kortste commando anderzijds, de frequentie van programmawisseling en continue of stapsgewijze werking. Voor pneumatische besturingen staan eenheden ter beschikking, die b.v. gebaseerd zijn op.

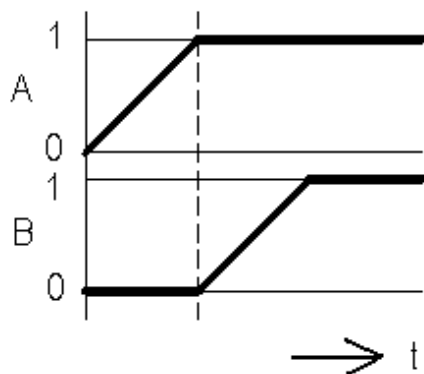
- curvenschijven
- nokschijven
- programmawalsen
- programmamatten
- ponskaarten
- ponsbanden

Bij het projecteren en uitwerken van tijdafhankelijke programma besturingen moet er rekening mee worden gehouden, dat de snelheden van pneumatische cilinders niet exact van tevoren bepaald kunnen worden. Hierdoor zijn de tijden niet 100% gedefinieerd en kunnen bewegingen elkaar gaan overlappen.

Waar in het programma twee bewegingen door eenzelfde punt gaan en de overlapping voorkomend dient te worden, moet een zekere veiligheidsmarge tussen de twee betreffende commando's ingebouwd worden. Dit heeft echter een verlenging van de totale programmatijd tot gevolg. Omdat de uitwerking van een tijdafhankelijke programmabesturing in eerste instantie van de keuze van de programmagever afhangt, zien we er van af hier een voorbeeld te geven.

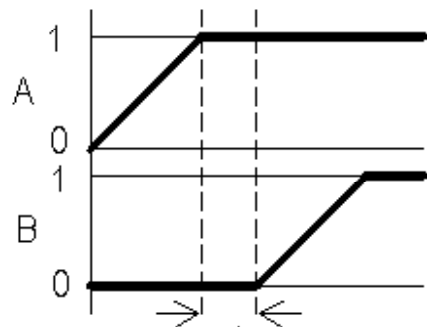
Het belangrijkste is, zoals al gezegd, het vastleggen van de tijdsduren van alle bewegingen met inachtneming van te voorkomen overlappingen. Het meest doelmatige hulpmiddel hiervoor is een tijd-weg-diagram met een tijdschaal. De wegen hoeven niet op schaal getekend te worden. Dit diagram kan voor elk type programmeereenheid uitgewerkt worden. Moet b.v. een cilinder B voor zijn positieve slag starten zodra cilinder A zijn 1-stand heeft bereikt, dan ziet het diagram eruit zoals dat in Fig. is weergegeven.

Het enige waar zekerheid over moet bestaan, is dat de voor A geplande bewegingstijd haalbaar is. Het gemak waarmee de snelheid van een pneumatische cilinder traploos verminderd kan worden maakt het eenvoudig, de looptijd van de cilinder af te stemmen op het programma.



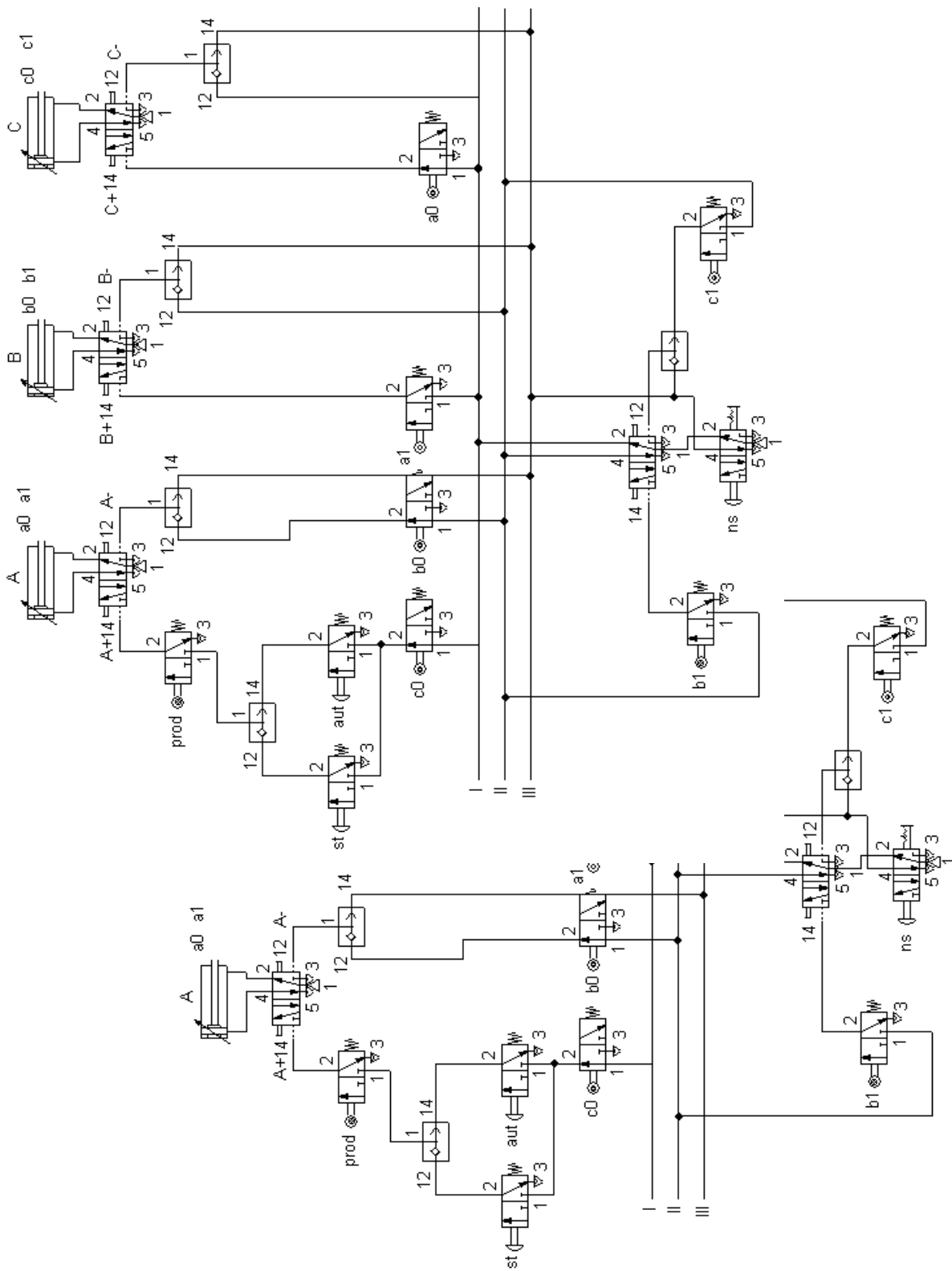
Figuur 2.23 :

Is de in het diagram voorziene bewegingstijd voor A korter dan met de cilindersnelheid bereikt kan worden, dan treedt een overlapping op van de beweging van B met die van A. Is dit niet toelaatbaar, dan moet de eerder genoemde veiligheidsmarge worden ingecalculeerd. Stel dat de bewegingstijd van A kan oplopen tot 3 s, dan ziet het diagram er als volgt uit:



Figuur 2.23 :

De tijdsduur voor de veiligheidsmarge is met  $t$  aangeduid. We moeten nog op twee punten wijzen. In de eerste plaats moet er op toe gezien worden dat de geplande snelheden van de cilinders niet gaan variëren; een te grote snelheid kan schadelijk zijn voor het arbeidsproces, een te langzame kan het programma in de war sturen. Ten tweede willen wij nog even wijzen op een alternatief, namelijk dat door inbouw van elektrische schakelaars in een programmeerder een beveiliging mogelijk is, waardoor het programma gestopt kan worden totdat een kritieke beweging voltooid en teruggemeld is. Dit komt dan in de plaats van de oplossing met tijdsmarges. Onder normale omstandigheden is het programma dan bovendien korter.



A-150