

Asynchrone machines

&

Frequentieregelaars



Een inleiding

tot

het nut en het gebruik  
van de frequentieregelaar.

G. Vanheerswynghels  
F. Rubben



# Frequentieregelaars



## ALTIVAR™ 16

### 1. Intro

Het doel van een frequentieregelaar is veelzijdig:

- zorgen voor de aanzet van de asynchrone én synchrone motor
- (nood)stopvoorziening
- anderzijds kan men de snelheid regelen.

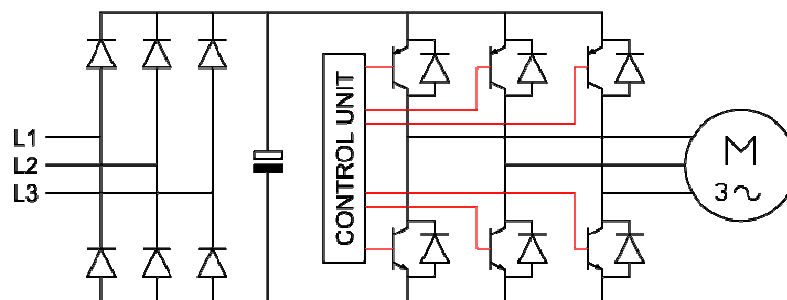
Aan de hand van (vermogen)elektronica gebeurt het onderstaande:

- het 50Hz-net wordt gelijkgericht
- via een tussenkring wordt de gelijkspanning of –stroom afgevlakt
- en via een wisselrichter wordt de DC-spanning omgezet naar een AC-spanning waarbij de frequentie verschillend kan zijn dan 50Hz.

Het wisselrichten kan via 2 methodieken gebeuren:

- U/f-karakteristiek (altijd aanwezig)
- Flux-vectorcontrole (enkel aanwezig bij duurdere, complexere modellen)

Beide methoden zitten in de elektronische sturing van de wisselrichter verwerkt. In de sturing van kleinere, goedkopere types van frequentieregelaars zit er alleen de U/f-regeling verwerkt.



Figuur 1: interne werking FR (afgevlakte spanning in de tussenkring)

Opmerking:

Deze cursus is gericht naar leerlingen van het Technische en het Beroepsgericht Secundair Onderwijs. Enige vereenvoudigingen van theoretische modellen zijn dan ook niet uit te sluiten; maar kunnen een algemeen inzicht bieden in de werking van een frequentieregelaar an sich.

Opmerkingen, aanvullingen, ... zijn welkom: [frank.rubben@gmail.com](mailto:frank.rubben@gmail.com)

Bronvermelding:

- Cursussen & Boeken
  - Pollefliet; Elektronische vermogencontrole, CD-ROM uitgave
  - Pollefliet; Elektronische vermogencontrole, volume I en volume II
  - I. Maesen; Project 1: Aandrijving ventilator met frequentieomvormer (V3; okt 05); VTI-Beringen
  - M. De Bruyn, I. Maesen, J. Van Ocken; Elektrotechnisch tekenen schema's lezen 3; Wolters Plantyn
  - Ir. Merlevede G., vermogenelektronica, Labo Emas, KHBO 2004
  - SEW Eurodrive, Het selecteren van aandrijvingen, aandrijftechniek in de praktijk
  
- Uitgaven
  - Moeller; schakelschemaboekje
  
- Datasheets
  - GE VAT20
  - Altivar 16
  - Omron *3EGFV*
  - Documentnummer: 01-2145-03; Emotron 2004
  
- Websites
  - [I] <http://www.transmo-eep.be/documents/producten/aandrijvingen/sturingen-en-regelaars/vat-20.xml>; letterlijk overgenomen
  - [II] <http://www.nl.vacon.com/Default.aspx?id=466452>; letterlijk overgenomen
  - <http://nl.wikipedia.com>

## 2. De asynchrone machine: herhaling.

Hoewel de frequentieregelaar ook kan dienen om een synchrone machine aan te sturen, wordt hier enkel de asynchrone machine herhaald. In de praktijk worden asynchrone machines immers het meest gebruikt. Zeker dankzij het weinige onderhoud (tenzij de lagers) worden de asynchrone kooianker motoren ook wel het "moderne trekpaard" genoemd.

Het grote nadeel van de asynchrone machines ten opzichte van DC-motoren was in de beginperiode (rond de eeuwwisseling in 1900) een gebrek aan efficiënte methodes om de snelheid van de ASM te regelen. Door de ontwikkeling van de vermogenelektronica (>1970) trad hier verandering op: de snelheid kon veranderd worden door het wijzigen van de snelheid van het voedingsnet: de frequentie.

Het toestel waarmee dit gebeurde noemt men de FREQUENTIEREGELAAR.

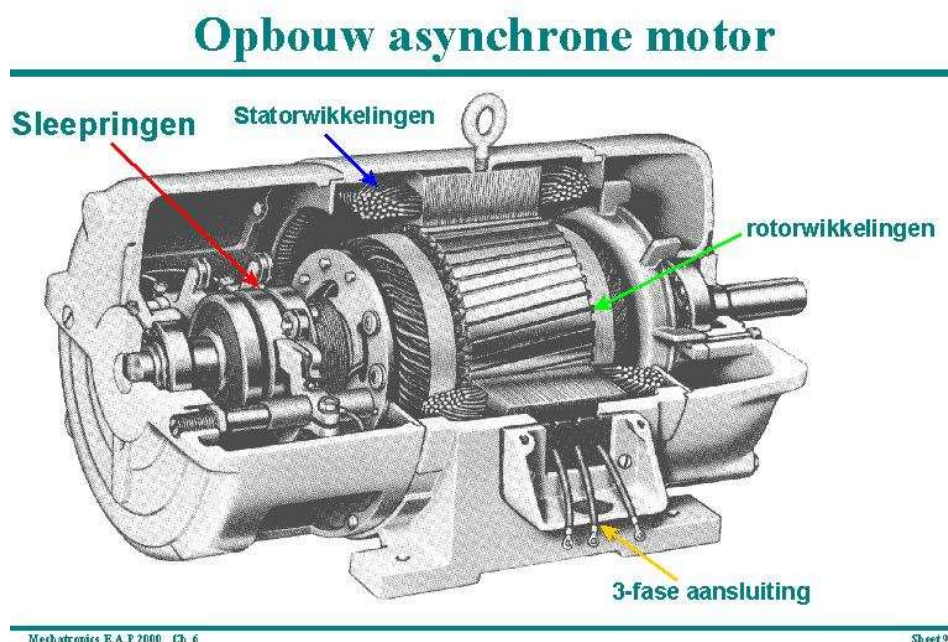
Om de werking van de frequentieregelaar te begrijpen, moeten we eerst en vooral de asynchrone machine nog eens kort bespreken.

### 2.1. Asynchrone machine

#### 2.1.1. Soorten asynchrone machines

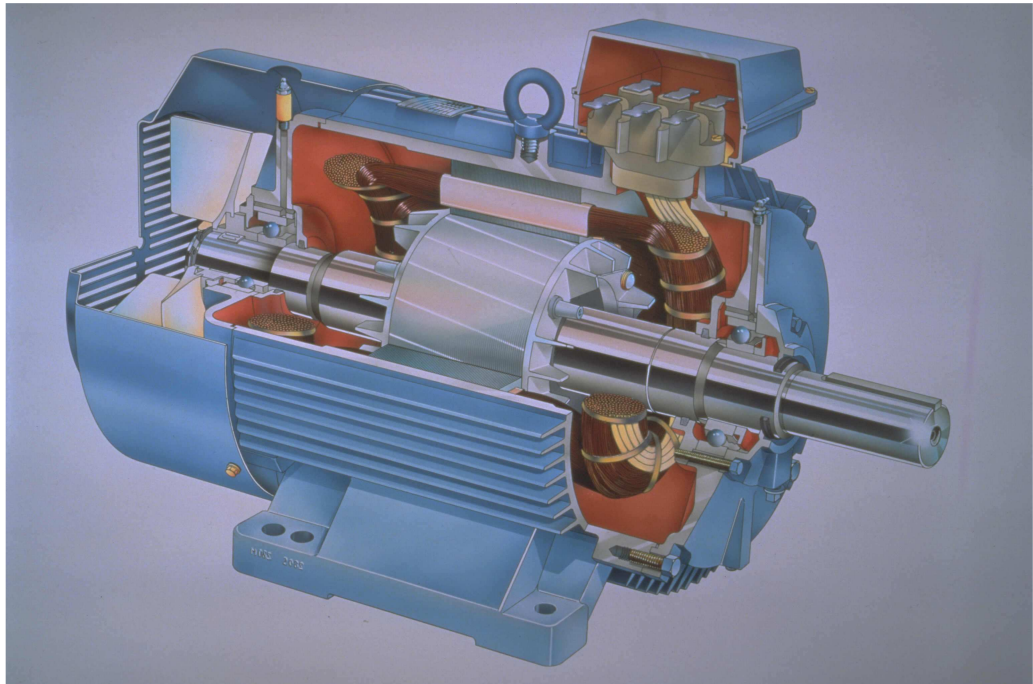
Een ASM is ofwel van het type kooiankermotor ofwel van het type sleepringankermotor. Het verschil in beide rotoren is eenvoudig af te leiden uit de naam: (of de naam vertelt ons iets over de bouw van de rotor)

→ SA: de rotor bestaat uit windingen die in een sterpunt verbonden zijn. Het andere uiteinde is via sleepringen terug te vinden op de klemmenplaat van de motor. Door de sleepringen is deze motor minder gebruiksvriendelijk dan zijn 'broertje':



Figuur 2: ASM - type SA (bron: [stdvk em 10](#))

→ KA: de rotor bestaat uit staven die aan beide uiteinden via ringen kortgesloten zijn.



Figuur 3: KA-motor (bron: [electric-motors-price.info](http://electric-motors-price.info))

### 2.1.2. Eigenschappen asynchrone machine

In de stator - bij aansluiten van een driefasige wisselspanning - zal er stroom vloeien. Hierdoor ontstaat er een draaiveld in de stator. Dit draaiveld draait rond met de synchrone snelheid  $N_s$ .

$$N_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

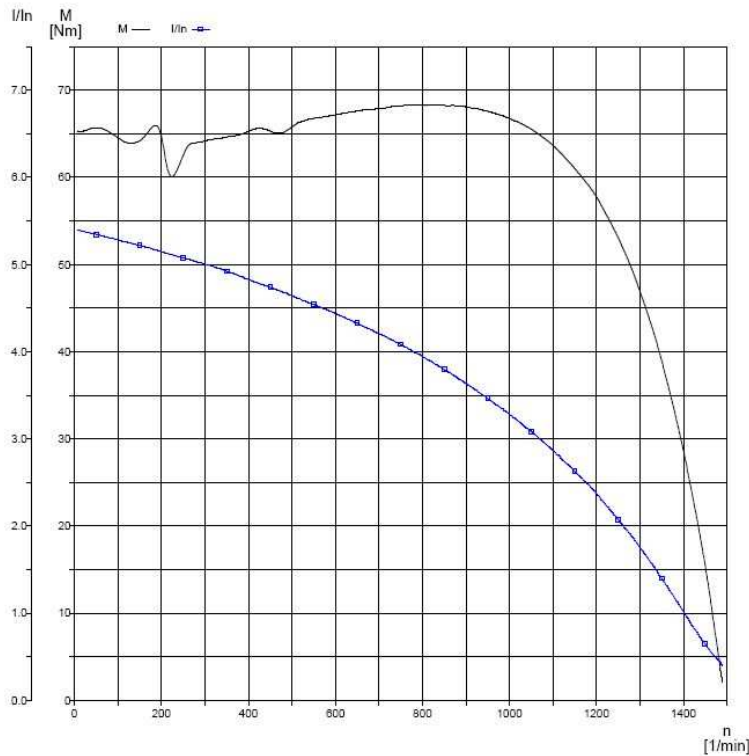
In deze formule is  $f$  de frequentie (in Hz),  $p$  is het aantal poolparen. Het synchrone toerental wordt in toeren per minuut uitgedrukt.

De rotor beweegt zich echter niet even snel als het draaiveld. De motorsnelheid  $N_r$  is verschillend van  $N_s$ ; de mate waarin deze snelheden verschillen noemt men de slip.

De slip wordt vaak in % uitgedrukt.

$$s = \frac{N_s - N_r}{N_s}$$

In theoretische modellen van asynchrone machines leidt men af dat het kippkoppel (en koppel) in relatie kunnen gebracht worden met de (kip)slip. Het koppel is in feite uit te drukken als een functie van  $N_s$ ; en bijgevolg ook van de slip. De relatie tussen de slip (de snelheid) en het koppel vindt men terug bij het opnemen van de TN-curve.



Melfprotokoll  
 Test record  
 Protocole d'essai  
 DV 112 M 4  
 4.0 kW S1 4pol  
 Dreizahl-Drehmoment-Messung  
 50 Hz  
 6.5.98  
**SEW**  
**EURODRIVE**  
 93 045 192

**Figuur 4: TN- en IN-curve (SEW Eurodrive)**

Men kan verschillende parameters wijzigen bij de TN-curve.

Om een lagere startstroom te krijgen (en dus lagere aanzetkoppel) reduceert men de spanning m.b.v. een aantal technieken: sterddriehoek, statorweerstand, softstarter, ...

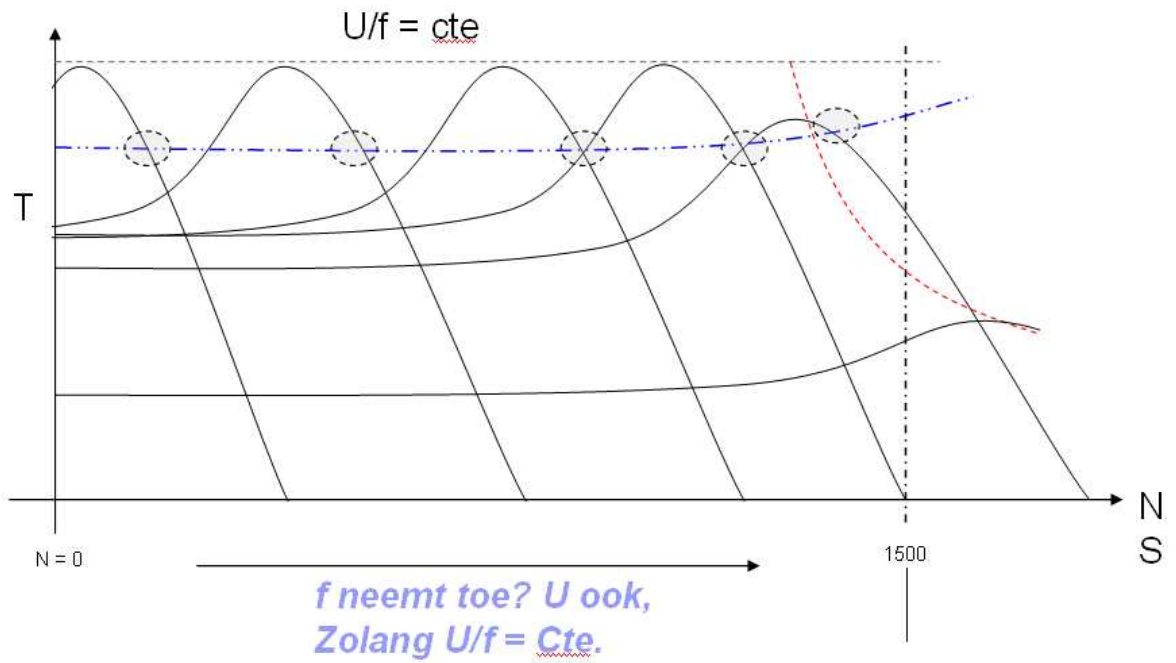
Men krijgt ook een lagere startstroom door de rotorweerstand te wijzigen bij SA-motoren. Ook het starten met een frequentieregelaar kan de startstroom reduceren.

De reële snelheid  $N_r$  van de ASM kan ook gewijzigd worden.  $N_r$  hangt in de praktijk echter nauw samen met  $N_s$ . Om de snelheid  $N_s$  te wijzigen moet men dus iets veranderen. Men kan de poolparen wijzigen (poolomschakelbare motoren en Dahlandermotoren); in het geval van een frequentieregelaar wijzigt de frequentie (en spanning).

Wat verandert er nu als de frequentie gewijzigd wordt?

1. frequentie verandert.
2. de synchrone snelheid wijzigt.
3. de motorcurve verandert afhankelijk van de synchrone snelheid.
4. de motor en belasting zoeken een nieuw evenwicht: dit is de nieuwe motor-snelheid.

Een schets:



**Figuur 5: Zolang  $U/f = Cte$  is ook  $T_k$  constant.**



## **2.2. Doel van de frequentieregelaar in combinatie van een ASM**

Het doel van een frequentieregelaar is veelzijdig:

- zorgen voor de aanzet
- stopvoorziening
- anderzijds kan men ook de snelheid regelen
- driefasige motor op een eenfasig net aansturen

## 2.3. Opstarten asynchrone motor: korte bespreking

### 2.3.1. Direct starten van een motor

Bij het direct starten van een motor treden er aantal problemen op; afhankelijk van de toepassing zijn die meer of minder ernstig.

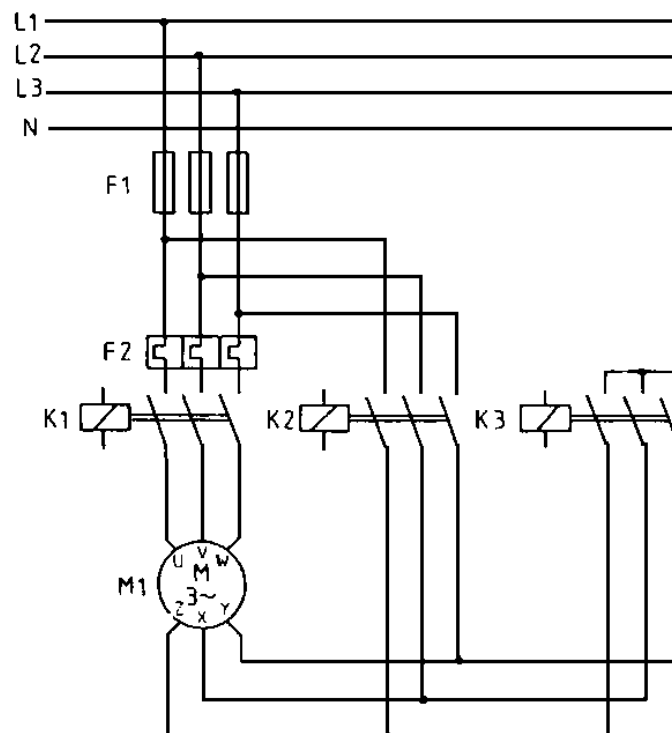
Het grootste aandachtspunt is de grote startstroom, gevolgd door een groot aanzetkoppel.

Men zal dus vaak een startmethode moeten gebruiken om de startstroom te reduceren.

### 2.3.2. Andere startmethodes

De bedoeling van de meeste startmethodes bij een asynchrone (kooianker)motor is de spanning reduceren in de stator. Door de gereduceerde spanning zal de startstroom kleiner zijn, zoals beoogd werd:

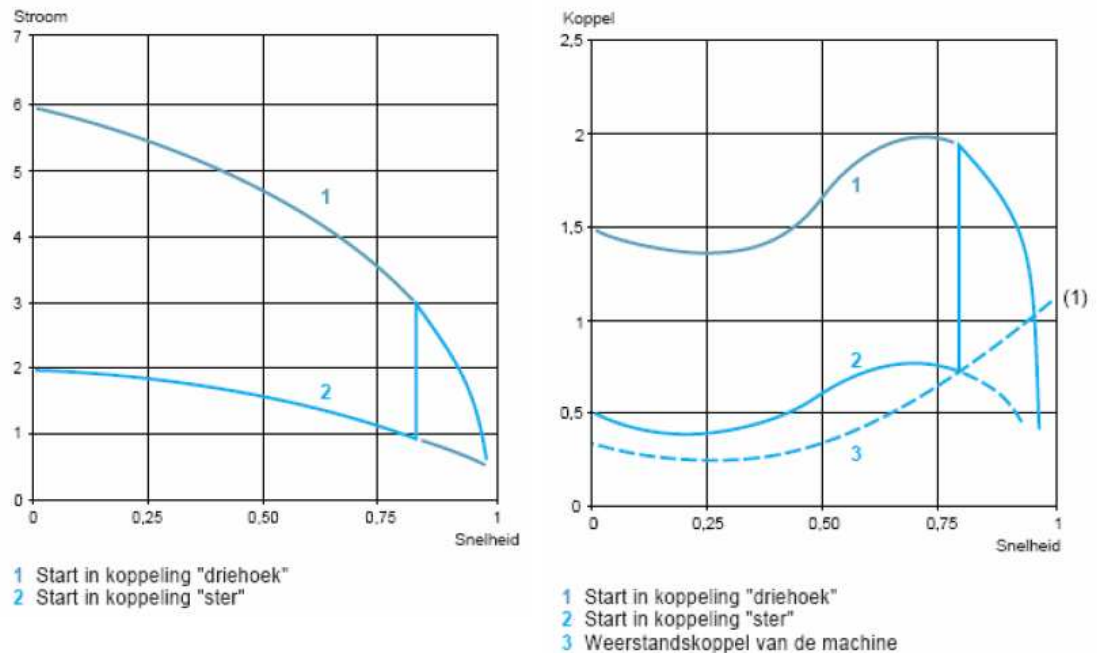
- **sterdriehoek (afkorting in deze tekst: YD)**



Figuur 6: Vermogenkring voor de YD (bron: cd3wd.com)

- Voordeel
  - goedkoop
  - relatief eenvoudig aan te sturen
  - lager startstroom dan direct starten (3 keer)

- Nadeel
  - piekstroom en –koppel, alsook fluctuaties van stroom en koppel bij overgang van de ster- naar de driehoekschakeling.
  - Is niet op alle netten toepasbaar
  - Startkoppel in ster is niet altijd voldoende om de belasting te doen draaien.



Figuur 7: IN- en TN-curven voor YD (bron: circuitsonline)

### • Statortransformator

- Voordeel
  - Eenvoudig toepasbaar bij een manueel bediend proces
- Nadeel
  - Het aansturen van de transformator in een regelkring is niet zo eenvoudig

### • Statorweerstand

- Voordeel
  - Eenvoudig toepasbaar; niet enkel bij manuele bediening.
- Nadeel
  - Aansturen iets complexer; ook een bypass nodig.
  - Warmteontwikkeling in de weerstanden
  - Discrete overgangen zijn niet uit te sluiten bij automatische inschakeling

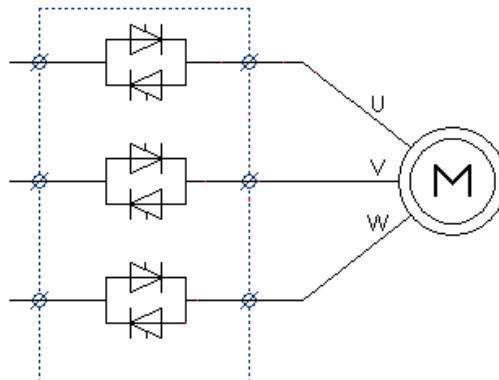
- Piekstroom en -koppel bij elke overgang; weliswaar kleiner dan bij YD.

- **Kusa-schakeling**

- Vergelijkbaar met de statorweerstand, maar er is slechts in één fase een weerstand i.p.v. in alle drie.
- Een ander type Kusa-schakeling is door het plaatsen van een thyristor in één van de fasen. Deze vereenvoudigde softstarter; hoewel deze uitvoering van een Kusa-schakeling niet dezelfde eigenschappen als de softstarter zal hebben.
- Voordeel:
  - Kan een oplossing zijn in bepaalde situaties waar vlug gehandeld moet worden.
- Nadeel:
  - Bypass nodig om de warmteontwikkeling te beperken.
  - Gevolg:
    - Draaiveld wordt als het ware ellipsvormig.

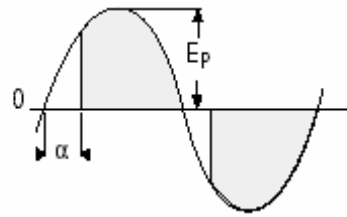
- **Softstarter**

- Door middel van een driefasige thyristorschakeling wordt de spanning in elke fase afgekapt.
  - In elke fase is er een antiparallelle schakeling van thyristoren. Deze halfgeleidercomponenten worden in geleiding gebracht door een startpuls, die een fasetijd  $\alpha$  na de nuldoorgang van de spanning geactiveerd wordt.



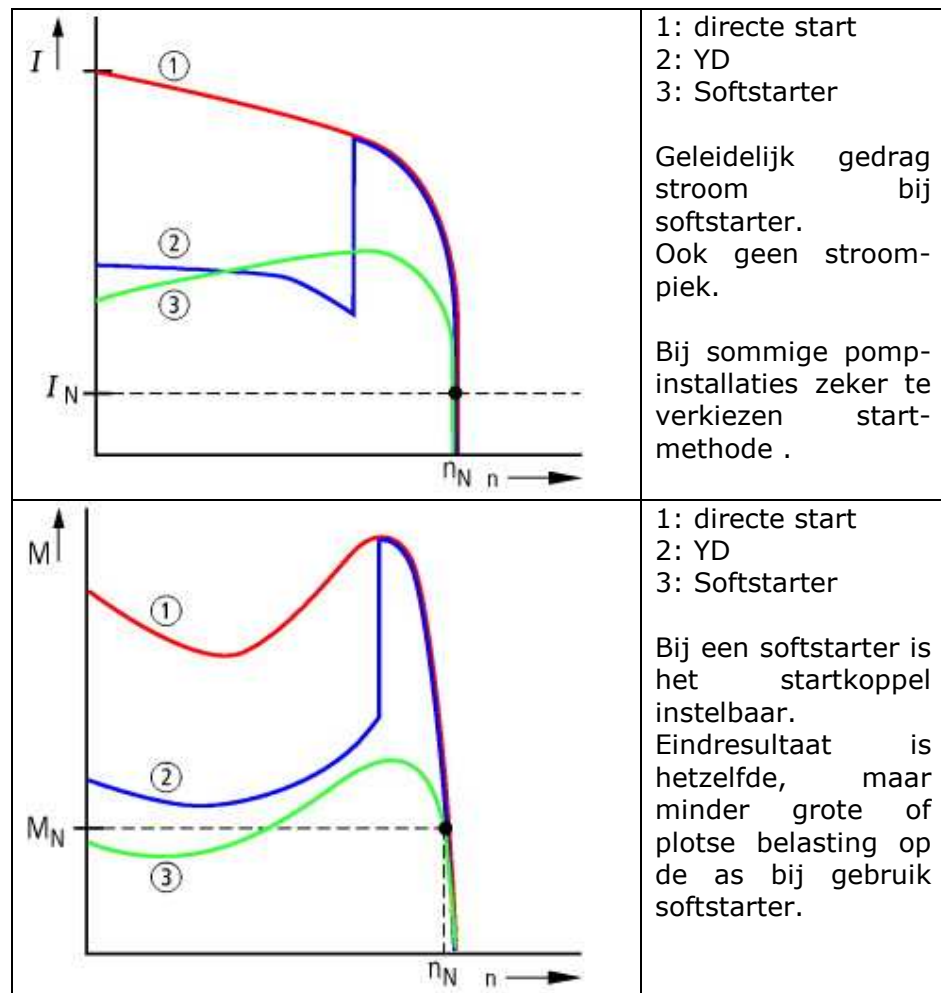
**Figuur 8: antiparallelle schakeling van thyristoren**

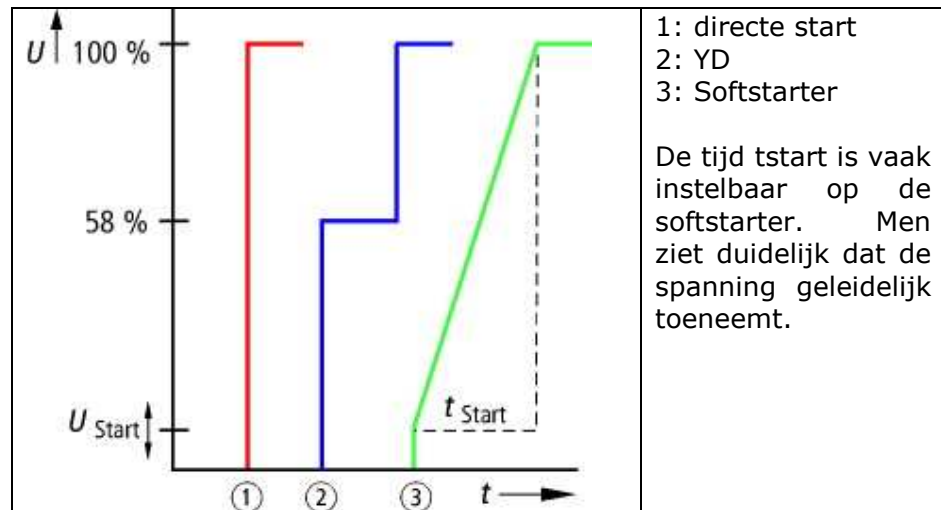
- Doordat dit in beide richtingen gebeurt (en per fase) krijgt men de onderstaande spanningsvorm in elke fase:



**Figuur 9: Spanning in één fase van een thyristorbrug.**

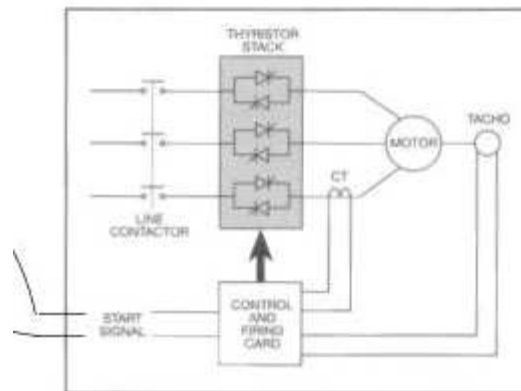
- De effectieve waarde van deze 'aangesneden' spanningen is lager dan van een volledige sinus.
- Door de fasehoek  $\alpha$  in de tijd kleiner te laten worden, wordt de effectieve waarde van de spanning groter. In de onderstaande tabel ziet men een vergelijking tussen de directe start, YD-schakeling en het gebruik van de softstarter bij de verschillende curven.



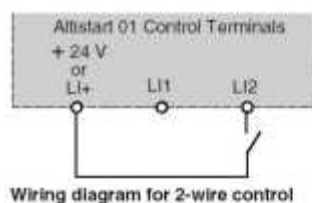


Figuur 10: bron Moeller.co.uk

- o Voordeel:
  - Constante aanloopstroom
  - In te stellen aanzetkoppel
  - Regelbare inlooptijd; bij veel modellen is ook de uitlooptijd in te stellen.
  
- o Nadeel
  - Duurder dan YD.
  - Bypassschakeling nodig om de levensduur van het toestel te verhogen.
  - Veel harmonischen in de stroom bij het aanzetten.



Soft Starter



Figuur 11: Softstarter (bron: bienelectronics.com)

Deze besproken methoden werken binnen een bepaalde range van toepassingen; en dienen eerst en vooral als opstartmethode van de asynchrone motor. Het hoofddoel bij alle besproken methodes is het verkrijgen van een kleinere startstroom in de statorwikkeling van de motor.

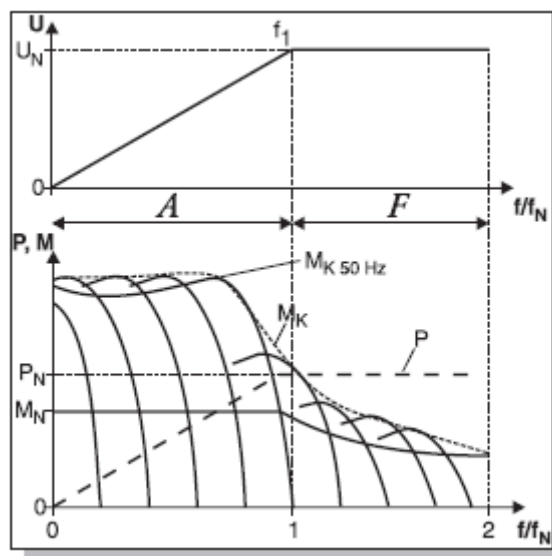
Een niet besproken methode in deze bundel is het wijzigen van de rotorweerstand bij de sleepringankermotor. Door bij het starten een grotere weerstand in te schakelen krijgt men minder startstroom; vaak gecombineerd met een groter aanzetkoppel (bij een goede keuze van de weerstanden).

Dit laatste – groter aanzetkoppel en lagere aanzetstroom – krijgt men niet bij het gebruik van opstartmethoden onder verlaagde spanning.

### 2.3.3. Starten met een frequentieregelaar

Het opstarten m.b.v. een frequentieregelaar kan men beschouwen als een soort softstarter: via elektronische sturing wordt de spanning opgebouwd. De manier waarop de spanning opgebouwd wordt kan men instellen: lineair, kwadratisch, ...

Naast de spanning wordt – zeker bij de U/f-controle – de frequentie opgebouwd tot de ingestelde waarde. Bij een lagere spanning en een lagere frequentie, hoewel de U/f-verhouding constant is, zal de stroom lager zijn. Het kippkoppel is theoretisch gezien constant in het gebied A.



Figuur 12: U/f-karakteristiek én T/N-curve

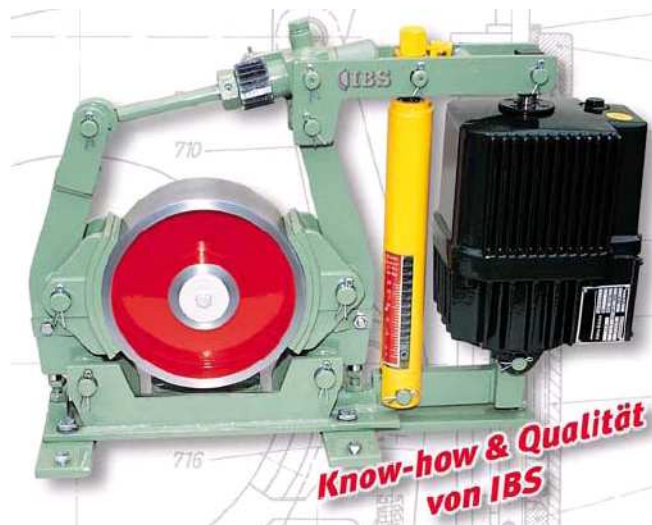
## 2.4. Stoppen van een asynchrone motor

Een asynchrone motor kan op verschillende manieren geremd en/of gestopt worden. In deze bundel worden de mechanische principes beknopt besproken, daarna is het de beurt aan de gelijkstroomrem en tot slot wordt het gebruik van de frequentieregelaar bij het remmen besproken.

### 2.4.1. m.b.v. mechanische remmen

Er bestaan verschillende types van mechanische remmen, elk gebaseerd op een ander energetisch medium (elektromagnetisch, pneumatisch of hydraulisch)

#### 2.4.1.1. Trommelrem

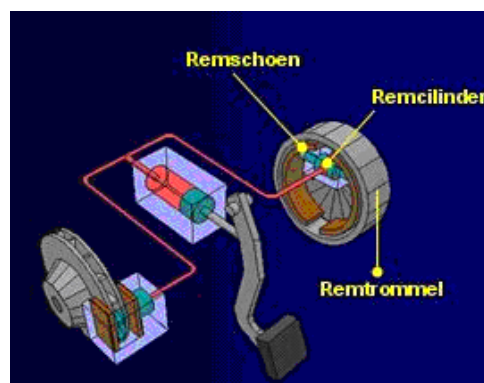


De trommelrem wordt m.b.v. hydraulische of pneumatische cilinder samengedrukt. Op deze manier ontstaat er wrijving op de motoras. Deze extra wrijving moet samen met het lastkoppel, groter zijn dan het kipkoppel zodat de motor niet alleen afremt maar ook tot stilstand komt.

#### 2.4.1.2. Schijfrem

Een schijfrem kan men best vergelijken met de klassieke remblokjes op de fiets; met dit verschil dat het aantrekken van de schijven gebeurt door hydraulische of pneumatische aandrijving.

De volgende figuur toont een vergelijking tussen de schijfrem en de trommelrem.

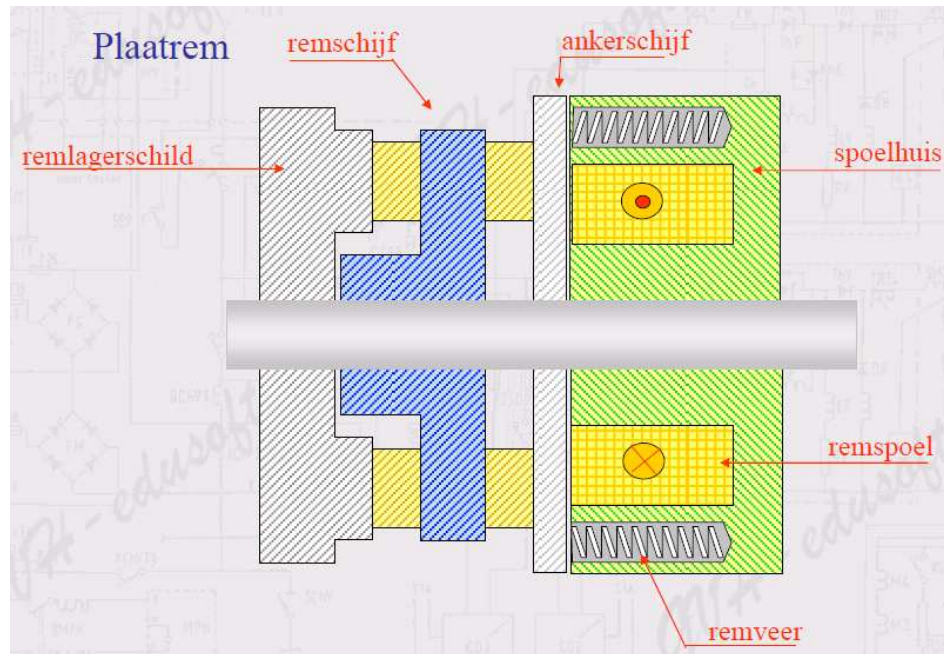


Figuur 13: vergelijking tussen schijf- en trommelrem (learningbox.nl)



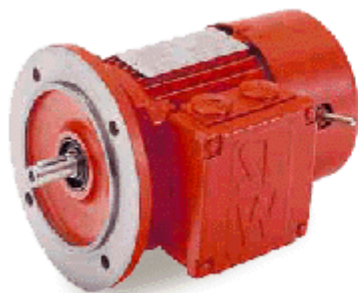
2.4.1.3. plaatrem

Deze rem kan in het motorhuis ingebouwd zitten. De remmethode werkt op het elektromagnetisch principe.



**Figuur 14: interne bouw plaatrem (bron: gvhedusoft)**

De plaatrem wordt bekrachtigd als de motor draait! Hierdoor zal het rendement van de motor in bedrijf lager liggen, maar bij plots wegvallen van de spanning is de remwerking gegarandeerd. Zeker bij hefttoepassingen is dit principe niet onbelangrijk voor de veiligheid.



Motor met rem en voorzien van een handremlichter.

Platenrem BM (G) BR

**Figuur 15: SEW motor met rem die manueel afgezet kan worden (stoffels.be)**



**Figuur 16: SEW-eurodrive ([uit de bundel over platenremmen](#))**

## 2.4.2. Elektrisch remmen

### 2.4.2.1. d.m.v. faseomkering

Een oude methode om de motor te doen stoppen, is om twee fasen om te draaien gedurende een bepaalde tijd. Deze tijd moet echter beperkt zijn of de motor start in de andere draairichting.

### 2.4.2.2. m.b.v. DC-rem

Door de opkomst van vermogenelektronica en de bijhorende intelligente schakelingen, is het mogelijk om bij het remmen de voeding af te leggen, en een DC-spanning aan te leggen op minstens twee fasen.

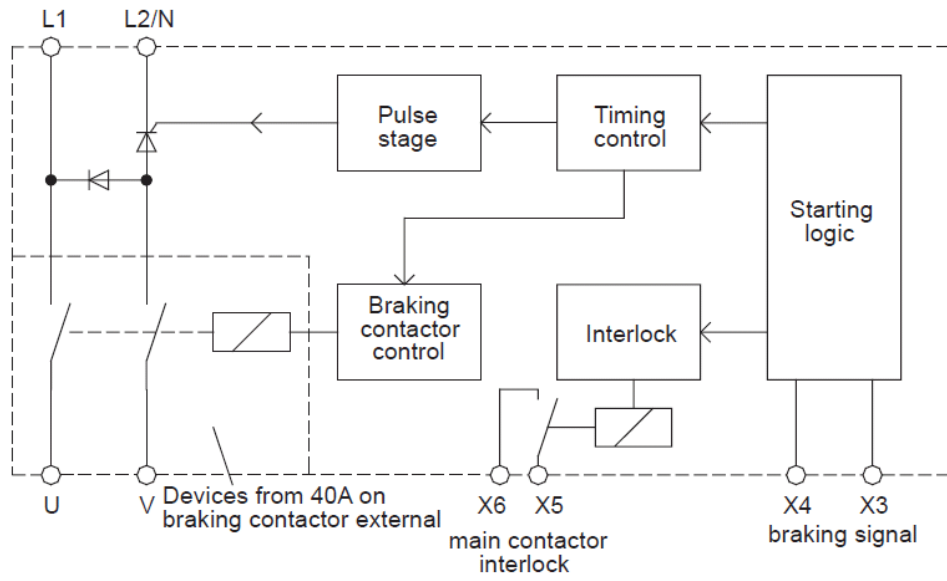


**Figuur 17: DC brake (RS Online)**

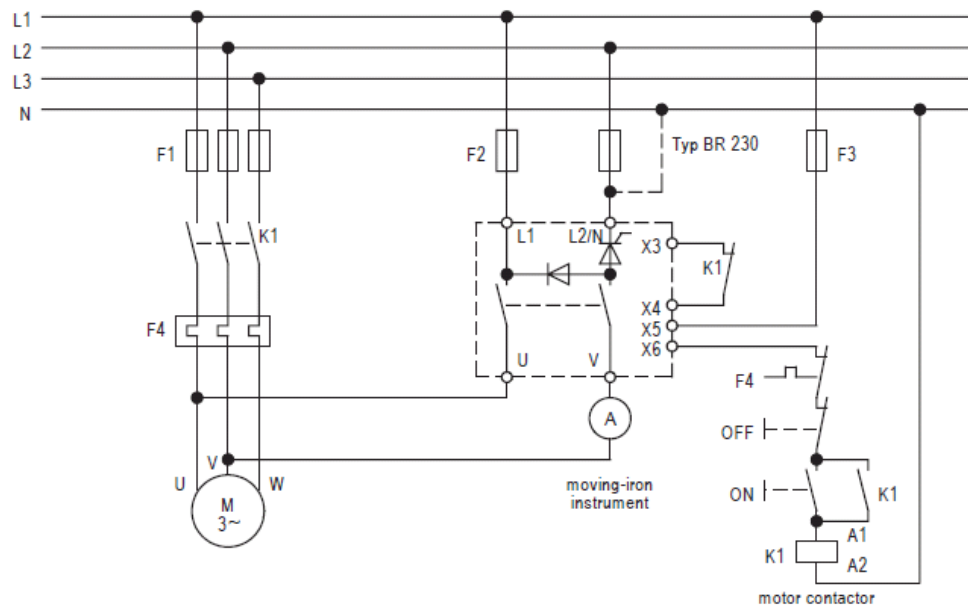
In de stator is er nu niet langer een draaiveld aanwezig, maar een statisch magnetisch veld. De motoras of -rotor draait nog en snijdt dit veld. Opnieuw wordt er spanning en stroom opgewekt in de rotor. Op de stroomvoerende rotor geleiders ontstaat er een Lorentzkracht en bijhorend koppel die de motor zal doen afremmen, en tot stilstand brengen.

Hieronder is het aansluitschema van een DC-rem voorgesteld (Bron: Peter Electronic)





**Figuur 18: interne bouw DC-rem**



**Figuur 19: aansluitschema DC-rem bij ASM**

### 2.4.3. Remmen met vermogenelektronica: m.b.v. een frequentieregelaar

Het stoppen met behulp van een frequentieregelaar is niet eenduidig te situeren. Men kan bij verschillende types verschillende manieren vinden om de motor af te remmen. Hier wordt zeer kort een aantal voorbeelden aangehaald:

- Manieren van stoppen (gebruiken)
  - fast stop
  - normale stop
  
- Stopmethodieken (technisch)
  - Normaal uitlopen door spanning weg te nemen
  - Spanning (en frequentie) reduceren
  - DC-remmen
    - DC-injectie
  
- Voorzieningen: (in de vermogenkring)
  - Vaak is er een remweerstand nodig! Deze remweerstand zorgt voor de opname van gelijkspanning en –stroom bij het generatorisch werken van de aangesloten motor. Nadeel hiervan is het energieverlies en de warmteontwikkeling.
  - Sommige frequentieregelaars kunnen hun overtollige energie in de DC-kring terug naar het net sturen. De gelijkrichterbrug is dan ook een wisselrichterbrug (of ze zijn allebei aanwezig).

## 2.5. Snelheid van een asynchrone motor regelen

Door de statorspanning of de rotorweerstand te wijzigen van een ASM kan men de snelheid maar beperkt veranderen. Men noemt dit slipregeling.

Wil men echter de snelheid grondig wijzigen - al dan niet sturen of regelen - dan is er een aanpassing van het synchrone toerental  $N_s$  nodig.

De parameters die  $N_s$  bepalen zijn:

- de poolparen
- de aangelegde frequentie

### 2.5.1. Snelheid veranderen door poolparen te wijzigen

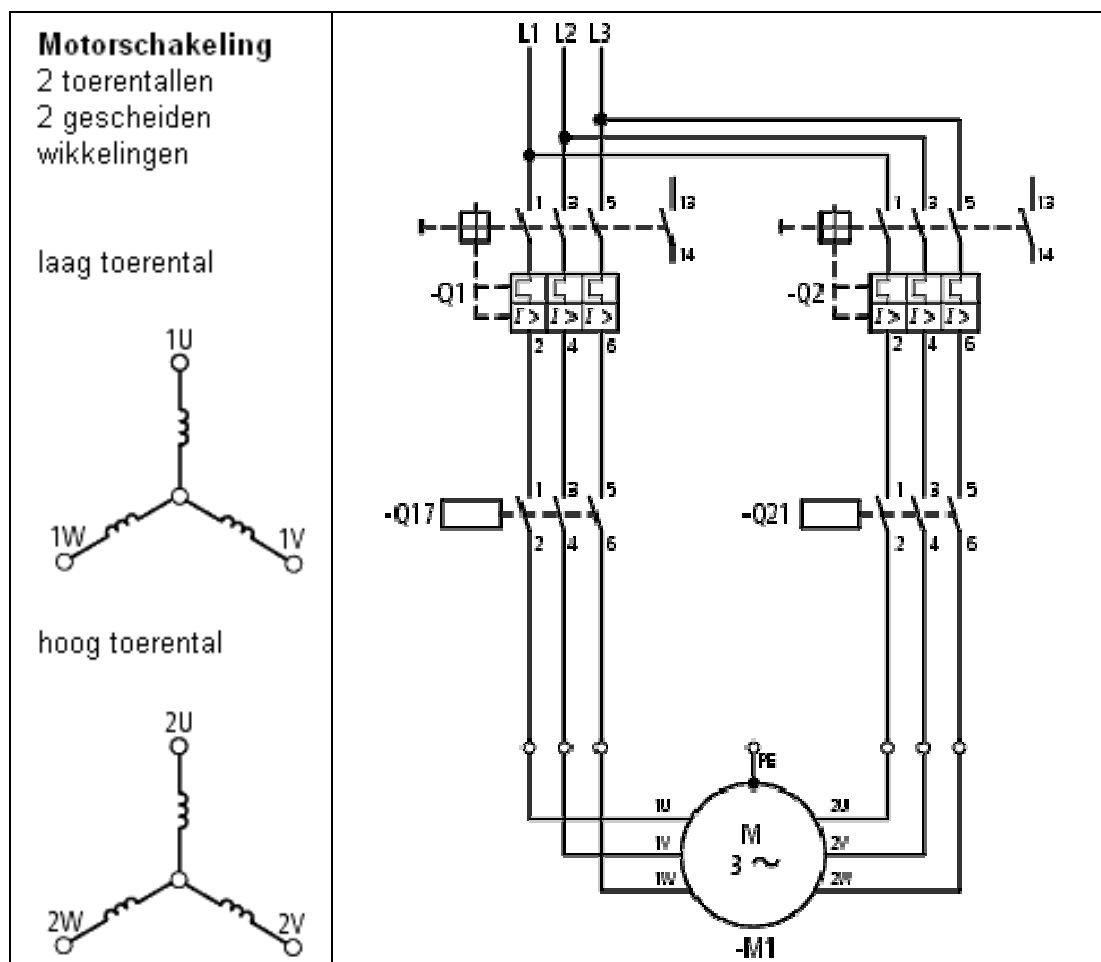
Sommige motoren hebben een aangepaste constructie. De constructie zal bepalen of de motor de mogelijkheid heeft om het aantal polen aan te passen.

Men spreekt hierbij van verschillende manieren van poolpaarverandering:

- Motoren met gescheiden wikkelingen
- Dahlandermotoren
- PAM-motoren

#### 2.5.1.1. Motoren met gescheiden wikkelingen

In de stator zijn er als het ware twee motoren gewikkeld. Men wisselt vervolgens de wikkelingen afhankelijk van de gewenste snelheid.



2.5.1.2. Dahlandermotoren

De constructie is zodanig voorzien dat de wikkelingen anders gebruikt worden bij een andere schakeling. Op die manier reduceert men nutteloze koper in de stator die er is bij motoren met gescheiden wikkelingen.

Er bestaan verschillende soorten dahlanderconstructies. Onder andere de D/YY-configuratie wordt een vaak toegepast. De snelheidsverhouding tussen de verschillende stappen is 1:2.

Dahlanderschakeling 2 toerentallen		Dahlanderschakeling 3 toerentallen			
		<b>Dahlanderschakeling</b> met $\nabla$ $\Delta$ -aanlopen op het lagere toerental	<b>Motorschakeling X</b> 2 wikkelingen, middelste en hoog toerental Dahlanderwikkeling	<b>Motorschakeling Y</b> 2 wikkelingen, lage en hoog toerental Dahlanderwikkeling	<b>Motorschakeling Z</b> 2 wikkelingen, lage en middelste toerental Dahlanderwikkeling
laag toerental $\Delta$	laag toerental $\nabla$	laag toerental $\nabla$	2	2	2
hoog toerental $\nabla$	hoog toerental $\nabla$	laag toerental $\Delta$	of 2	of 2	of 2
		hoog toerental $\nabla$	laag toerental gescheiden wikkeling 1	gemiddeld toerental gescheiden wikkeling 1	hoog toerental gescheiden wikkeling 1

Figuur 21: diverse dahlanderconfiguraties (schakelschemaboekje.nl)

2.5.1.3. PAM-motoren

Het letterwoord 'PAM' komt van "Pool **A**mplitude **M**odulatie".

Bij Dahlandermotor is de wikkelingconfiguratie zodanig gevormd dat de snelheidsverhouding 1:2 is tussen twee schakeltoestanden. Bij motoren met een PAM-wikkeling is de toerentalverhouding minder groot; bijvoorbeeld 5/7.

### 2.5.2. Snelheid veranderen d.m.v. een frequentieregelaar

De snelheid van een asynchrone motor is gedeeltelijk afhankelijk van de belasting – dit bij een bepaalde, aan de motor aangelegde frequentie. Die aangelegde frequentie is dus een belangrijke parameter in het regelen van de snelheid van een motor.

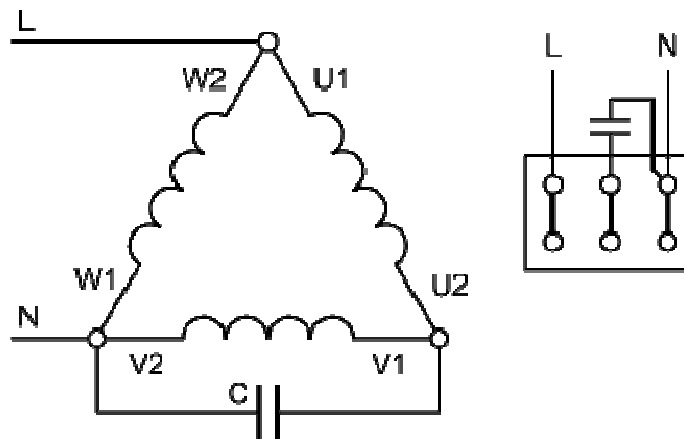
Een aantal voordelen kunnen van belang zijn bij het regelen van de frequentie bij een proces: (II)

- Controleren van de versnelling en de vertraging van de motor.
- Verschillende snelheden/toerentallen voor verschillende processen
- Aanpassen van het proces aan veranderende procesvariabelen
  - O.a. Aanpassing van de productiesnelheid
- Lage toerentallen voor installatie- en afregeldoelinden
- Toepassen van nauwkeurige positionering
- Regelen van koppel en trekkracht

## 2.6. Koppelen van een driefasige motor op een 1fasig net.

### 2.6.1. Steinmetzschakeling

Huishoudelijke circulatiepompen zijn meestal driefasige motoren die op het enkelfasig huishoudelijke net aangesloten worden. Bij het bestuderen van draaivelden zal deze werkwijze NIET het gewenste resultaat leveren. De motor zal niet draaien. Om een draaiveld in de motor te induceren, moet er ergens een faseverschuiving tussen een fase en de andere fasen aanwezig zijn. Net als bij de éénfasige asynchrone (condensator)motor lost men dit op met een condensator.



Figuur 22: Steinmetzschakeling bij motor in D.  
(kan ook in Y; wikipedia.com)

Zonder de condensator kan de motor niet uit zichzelf aanzetten.

### 2.6.2. Frequentieregelaar ter vervanging van steinmetzschakeling

Een aantal frequentieregelaars (bijvoorbeeld de VAT20 en de ATV16) moet men éénfasig aan het voedingsnet aansluiten. Deze frequentieregelaars staan wel toe om driefasige motoren aan te zetten, te stoppen en te veranderen van snelheid. Deze twee laatste mogelijkheden duiden het voordeel van de frequentieregelaar t.o.v. de steinmetzschakeling.

## 2.7. Opmerking: Aanzetten van een synchrone machine

Een synchrone machine zet niet uit zichzelf aan. Er bestaan een aantal opstartmethoden, waaronder het aanzetten m.b.v. een frequentieregelaar. Door de snelheid van het draaiveld te reduceren is de kans groter dat het magnetisch veld van de rotor zich koppelt aan het draaiveld in de stator.



## **2.8. Conclusies uit hoofdstuk 2 "Herhaling asynchrone machine"**

De frequentieregelaar maakt het mogelijk om asynchrone motoren:

- aan te zetten
- te stoppen
- te regelen in snelheid

In een aantal gevallen wordt de frequentieregelaar ook gebruikt om:

- een driefasige motor te koppelen aan een eenfasig net
- een synchrone motor te doen opstarten

Na hoofdstuk 2 weet men wat een frequentieregelaar kan doen.

Maar hoe doet een frequentieregelaar dit???

### 3. Interne werking van de frequentieregelaar: ZIE PPT's

De manier waarop de frequentie verandert, hangt af van regelaar zelf. De frequentieregelaar kan scalair sturen of vectorieel. In het eerste geval variëren  $U$  en  $f$  in functie van elkaar; in het tweede geval worden de stromen gestuurd i.f.v. een aantal motor parameters en stroommetingen. Deze tweede sturing is véél complexer dan de eerste.

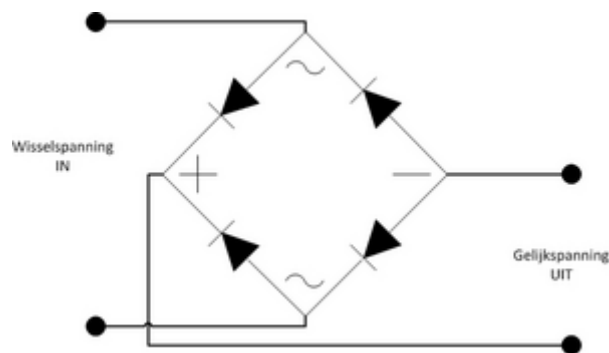
#### 3.1. De gelijkrichterkring van een frequentieregelaar

Het bespreken van de interne werking gebeurt met nadruk op de eindtrap van de frequentieregelaar. De eerste trap in een frequentieregelaar speelt echter ook een rol; zonder gelijkrichter geen gelijkspanning of -stroom om om te vormen. In het bestek van deze cursus beschouwen we enkel de NIET-GESTUURDE GELIJKRICHTERBRUG.

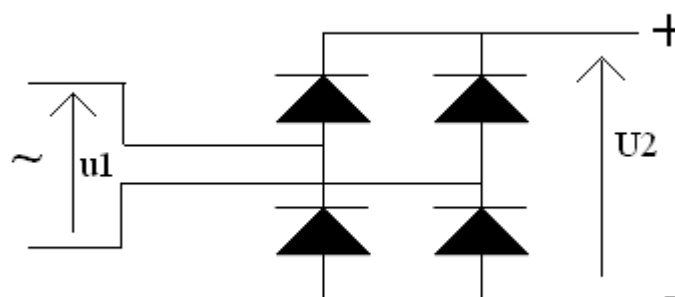
##### 3.1.1. enkelfase dubbelzijdige diodebrug

Bij frequentieregelaars die gevoed worden door een enkelfase net is er maar een enkelfase diodebrug nodig.

Deze is zoals op de onderstaande figuur opgebouwd:



Figuur 23: klassieke tekenwijze (mvdc.eu)

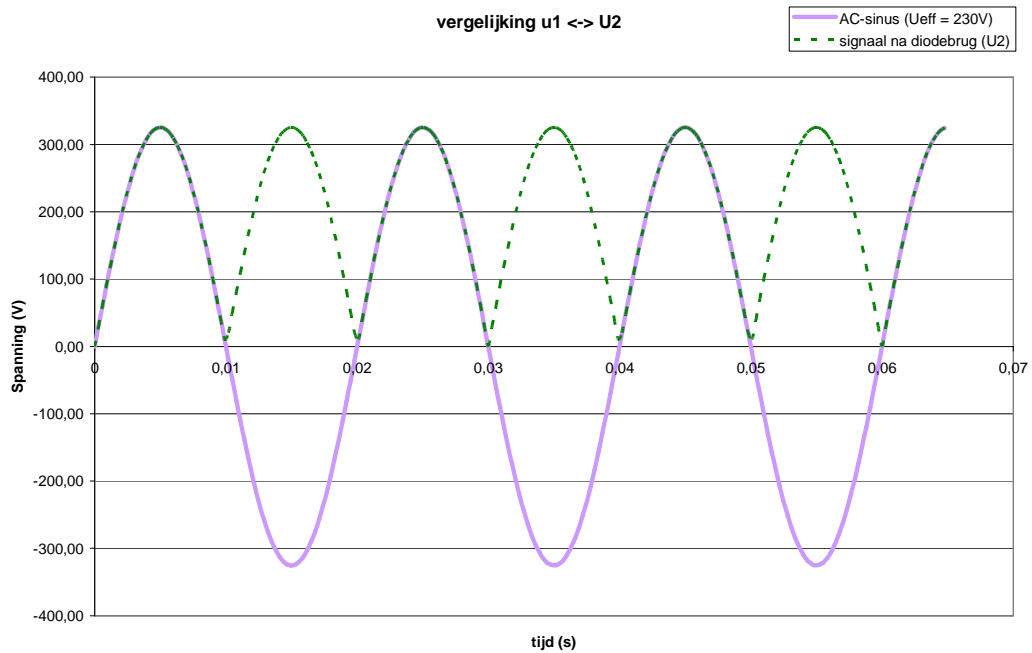


Figuur 24: aangepaste tekenwijze

De wisselspanning wordt aangelegd aan de ingang van de diodebrug. Typisch voor wisselspanning is de WISSELENDE alternantie. De spanning is eens positief, daarna eens negatief. Er worden geen eisen qua vorm & frequentie verondersteld voor dit AC-sigitaal.

De AC-golf wordt omgezet in een gelijkgericht signaal. Direct na de diodebrug is dit DC-sigitaal GEEN constante spanning! De pulsatie van het wisselsigitaal zit er nog op.

Om deze pulserende werking af te vlakken roept men hulp in van de in de frequentieregelaar eerder aangehaalde tussenkring; ofwel een condensator ofwel een spoel.

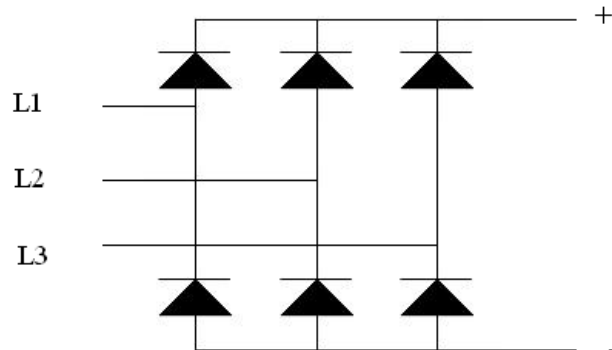


**Opmerking:**

- Hoewel men over AC-spanning spreekt van 230V, is de amplitude 325V! Bij een AC-sigitaal spreekt men immers over de effectieve waarde van de spanning en NIET over de amplitude.
- De effectieve waarde van de afgevlakte spanning (hoewel men bij DC-spanning daar niet over spreekt) is 325V!
- De keuze van de interne componenten zullen dus niet t.o.v. netspanning gebeurd zijn, maar wel t.o.v. de busspanning; de spanning in de DC-tussenkring.

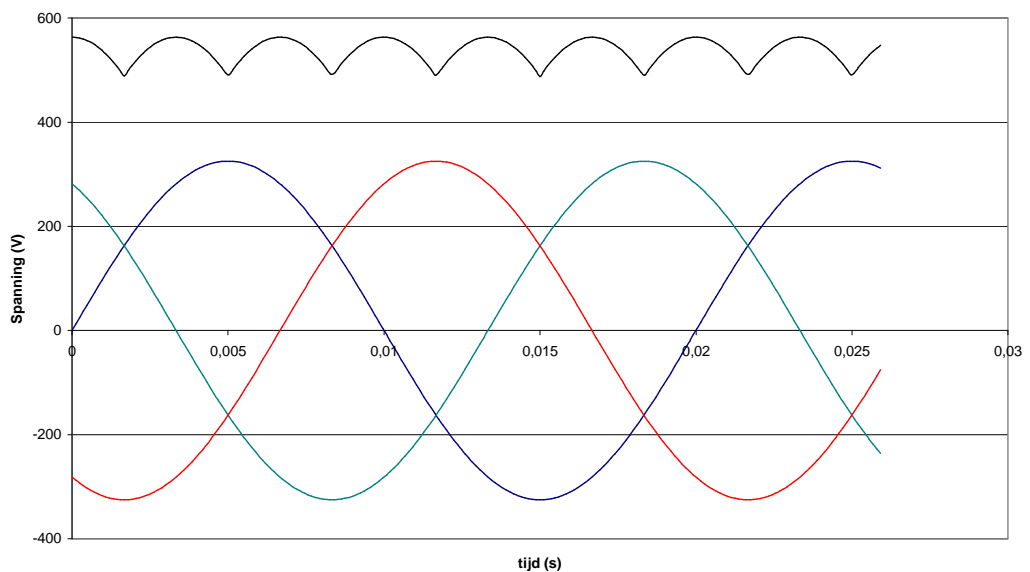
### 3.1.2. driefase dubbelzijdige diodebrug

Een complexere diodebrug is de driefase diodebrug. Qua constructie loopt deze zéér gelijklopend met de éénfase diodebrug; er komt een tak extra bij.



De gelijkgerichte spanning – voor afvlakking – heeft een nog hogere amplitude dan men verwachten zou. Dit komt door de referentiespanning aan de minklem. De spanningen worden immers niet langer ten opzichte van de nullijn, maar ten opzichte van de lijnspanningen beschouwd. Het net speelt een invloed.

Driefasespanning aan de ingang van de diodebrug en afgevlakte spanning



### 3.1.3. andere gelijkrichterbruggen

Er bestaan diverse gelijkrichterbruggen. In een cursus 'vermogenelektronica' kan men deze type van gelijkrichterbruggen diepgaander bestuderen.

### **3.2. scalaire sturing**

De wisselrichter is een gestuurde brugschakeling, vaak bestaande uit minimum zes gestuurde halfgeleiders van het type thyristor, IGBT's, ... Een klassieke wisselrichter vindt men in de figuur hieronder. Meer info over brugschakelingen kan men terugvinden in diverse cursussen 'vermogenelektronica'.

De frequentieregelaar van het scalaire type is een indirecte omvormer. Er is met andere woorden een hulpsignaal nodig om de schakelende halfgeleiders te doen geleiden. Dit hulpsignaal wordt door een IC-sturing geleverd.

Er zijn 2 types terug te vinden bij het scalaire type:

- VSI-type (voltage sourced inverter)
- CSI-type (current sourced inverter)

#### **3.2.1. indirecte omvormer VSI-type**

Het geproduceerde signaal is een PBM-golf of PWM-wave.

PBM: puls breedte modulatie

PWM: puls width modulation.

Bij de creatie van een PWM-signaal wordt een zaagtandgolf vergeleken met een sinusgolf; dit gebeurt per fase voor een andere sinusgolf. Als de spanning van de zaagtand groter is dan de  
Daarna worden twee resulterende fasespanningen

<figuur>

#### **3.2.2. indirecte omvormer CSI-type.**

### **3.3. vectoriële sturing**

## **4. Aansluiten van een frequentieregelaar**

### **4.1. vermogenkring**

#### 4.1.1. Elektrische voeding, Motoraansluiting en Remweerstand

##### Elektrische voeding

De elektrische voeding L1, L2, L3 wordt aan de voorziene klemmen aangesloten. Bij éénfasig aan te sluiten regelaars is dit enkel L1 en N. Merk op in het aangehaalde geval dat - hoewel men de regelaar éénfasig aansluit - de regelaar toch een driefasige motor kan aandrijven. Het vermogen is in deze gevallen kleiner.

##### Motoraansluiting

De motor sluit men aan de voorziene klemmen U,V,W (T1, T2, T3) aan. De manier waarop men de motor schakelt is afhankelijk van de maximale uitgang van de frequentieregelaar.

Stel dat de motorkenplaat het volgende vermeldt: 230/400V.

- Als de maximumspanning van de frequentieregelaar 380V is, dan moet men de motor in ster plaatsen.
- Is de maximumspanning echter 230V dan kan de motor in driehoek geschakeld worden.

Opmerking:

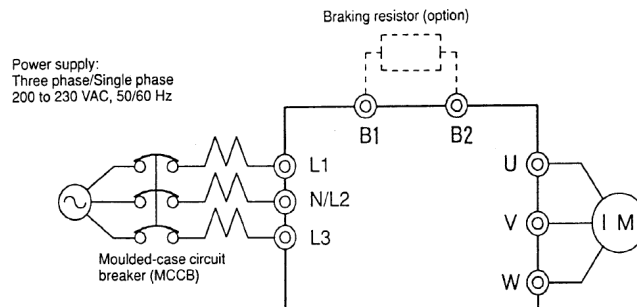
Merk wel op dat de maximumspanning bij enkele frequentieregelaars gewijzigd kan worden door de parameters (zie verder) te veranderen.

Het is en blijft dan aangewezen om het slechtste scenario te voorzien! Ook al is de spanning ingesteld op 220V (en kan er maximum 380V aanwezig zijn) dan zal men de motor toch in ster schakelen voor het geval er iemand de frequentieregelaar verkeerd instelde.

##### Remweerstand

Vanaf een bepaald motorvermogen moet er aan de frequentieregelaar ook een remweerstand hangen. De frequentieregelaar moet immers in staat zijn om elektrische energie (snel) te dissiperen. Via de vermogenelektronica kan die niet opgenomen worden, daarom plaatst men een voldoende grote weerstand in de tussenkring. Deze weerstand kan wel de energie opnemen, en door het joule-effect elektriciteit als warmte afgeven.

Voorbeeld



**Figuur 25: vermogenkring van de FR (Omron)**

4.1.2. Beveiligen tegen overbelasting en kortsluiten

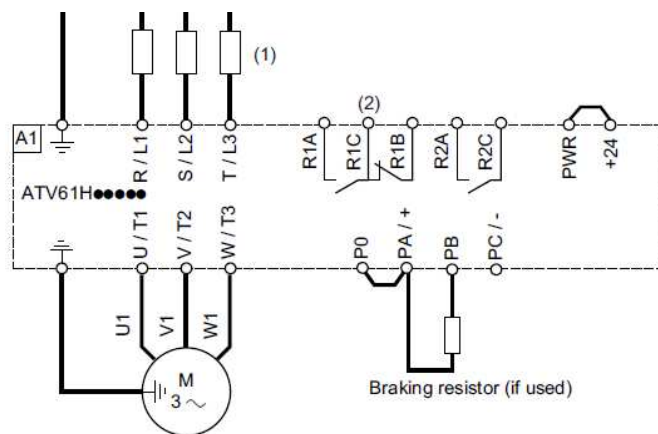
Motorbeveiliging

In de frequentieomvormer zit een elektronische motorbeveiliging. Als de stroom naar de motor de ingestelde waarde overschrijdt dan schakelt de frequentieomvormer de motor uit. Die waarde moet je ingeven, je neemt meestal de waarde die je op het kenplaatje van de motor vindt. Je moet dus geen afzonderlijke thermisch-magnetische motorbeveiliging (pkzm) plaatsen.

Kortsluitbeveiliging

De voedingskring van de omvormer moet je beveiligen tegen kortsluiting. In de handleiding vind je welke stroom de omvormer uit het net neemt. De waarde van de beveiliging neem je juist iets groter. Soms kun je in de handleiding de waarde van de beveiliging aflezen.

Voorbeeld



**Figuur 26: kortsluitbeveiliging voor frequentieregelaar (ATV61)**

#### 4.1.3. EMC-problematiek

Een frequentieregelaar levert aan de uitgang géén perfecte sinusgolf met de gewenste frequentie. Er zijn naast de gewenste sinusgolf andere sinusgolven aanwezig. Deze harmonischen – veelvouden van 50Hz of 60Hz - kunnen voor storingen zorgen; een onderdeel van de EMC-problemen.

##### Kabelgebruik

Omwille van EMC-problemen – overspraak en interferentie – is het aangewezen om de kabel tussen de frequentieregelaar en de motor af te schermen. Door het gebruiken van een afgeschermd kabel kan die kabel niet als stoorzender optreden. Let erop dat de kabel correct gemonteerd werd. De beste EMC-resultaten werden geleverd met beide uiteinden van de afscherming van de kabel geaard.

##### Netfilter

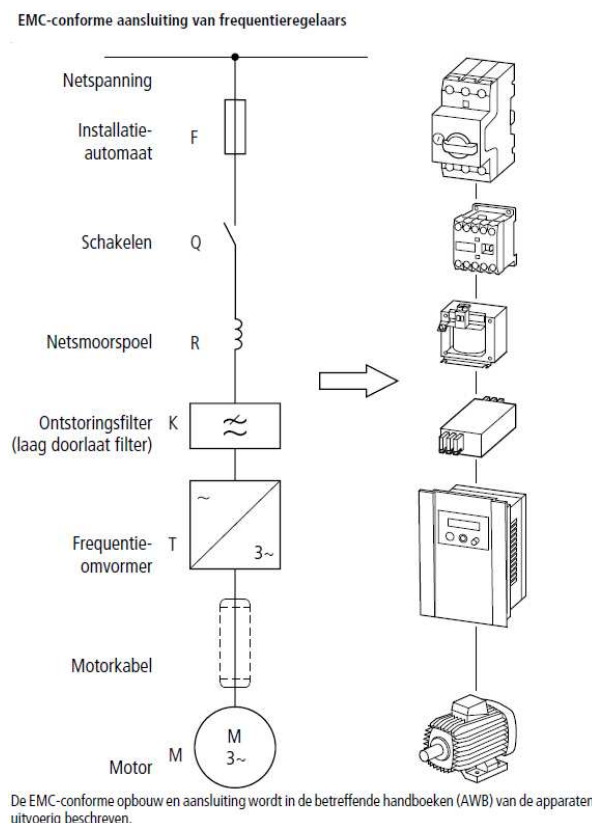
De storingen kunnen zich niet alleen naar de motor of naar de omgeving toe ontstaan; maar ook naar het elektrisch net toe. Aan de kant van het net gaat men dan ook vaak gebruik maken van een netfilter.

Deze netfilter moet er voor zorgen dat de sinusgolf er goed blijft uitzien.

##### Netsmoorspoel

De netsmoorspoel zorgt voor de bescherming van de frequentieregelaar. Door deze spoelen wordt de regelaar bij het inschakelen en uitschakelen voor plotse spanningsvariatie beschermd.

#### 4.1.4. Voorbeeld aansluiting



**Figuur 27: beveiligen FR en motor (Moeller)**



#### 4.1.5. Opmerking

##### Inschakelen

De frequentieregelaar wordt ingeschakeld door één of ander systeem:

- hoofdschakelaar
- contactor
  - Hoofdcontactor
  - Hoofdcontactors die tevens de veiligheid waarborgen.

De motor die met de frequentieregelaar verbonden is, kan dan:

- opstarten na bedienen van
  - Operator panel
  - Geïnstalleerde drukknoppen
- direct starten na opstart frequentieregelaar (zie instellen parameters!)

##### Inbouwen

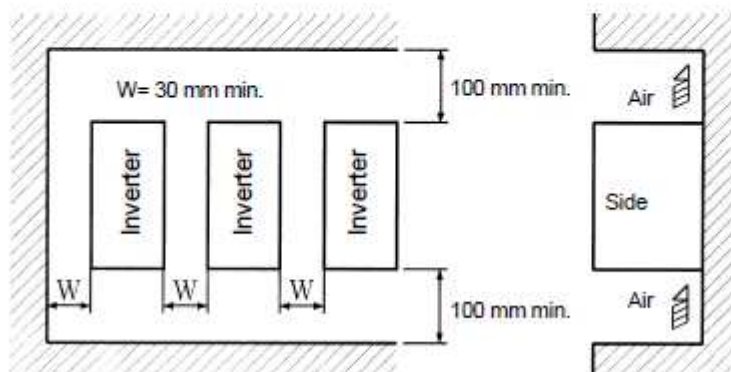
Vaak zijn er een aantal voorschriften van toepassing bij het inbouwen van een frequentieregelaar in een kast. Dit gaat vaak over de plaats die men moet vrijmaken rond de regelaar. Een frequentieregelaar kan warm krijgen, en om voldoende koeling te hebben is het aangewezen de aanbevelingen te volgen. De data sheets en de instructies die bij de frequentieregelaar zijn geleverd, zijn de bronnen bij uitstek om na te gaan hoe de regelaar ingebouwd moet worden.

##### ■ **Direction of Installation**

- Install the Inverter on a vertical surface so that the characters on the nameplate are oriented upward.

##### ■ **Installation Space**

- When installing the Inverter, always provide the following installation space to allow normal heat dissipation from the Inverter:



**Figuur 28: Omron - uitsnede**

## 4.2. operator panel

De frequentieregelaar kan men meestal – niet altijd – via een display en een aantal drukknoppen bedienen.

De parameters of functies krijgen dan een waarde toegekend. De soorten parameters worden verder in deze bundel besproken.



Figuur 29: Siemens Operator Panels

### Opmerking:

Het is handig om de datasheets bij de hand te hebben van de frequentieregelaar; niet alle regelaars hebben een tekstdisplay. Bij deze regelaars zijn de parameters enkel cijfers; zoals de VAT20. Zonder datasheet is het dan quasi onmogelijk om functies in te stellen.

## 4.3. stuurkring

### 4.3.1. Doel van de stuurkring

Een frequentieregelaar kan ook extern aangestuurd worden d.m.v. drukknoppen of d.m.v. PLC en andere schakelementen.

Zo kan men via digitale ingangen de regelaar doen starten, normaal stoppen, vlug stoppen, alsook bij bepaalde types van regelaars een andere instelling geven (andere frequentie, andere draaizin, ...) zodat de motor zich anders gaat gedragen.

Via een analoge ingang kan men de frequentie en zo de snelheid van een motor regelen. Deze analoge ingang kan van een potentiometer, PLC, PID-regelaar, ... afkomstig zijn.

Een analoge uitgang geeft weer bij welke frequentie er gewerkt wordt.

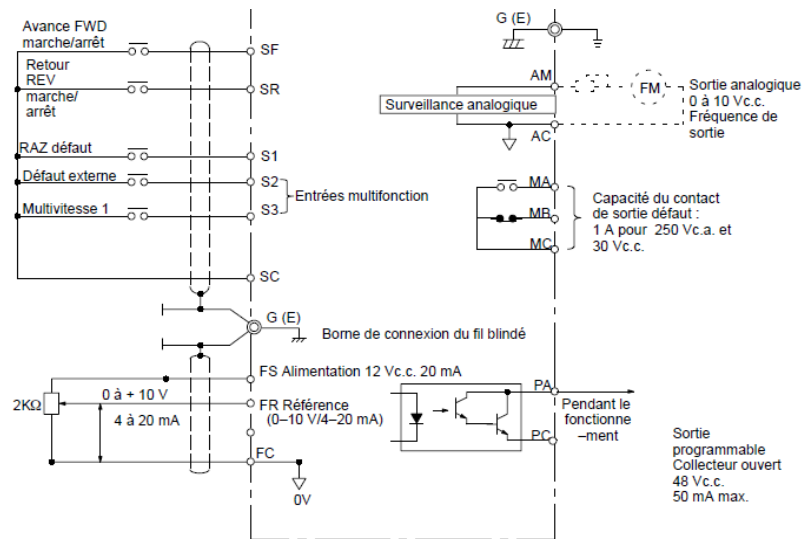
Vaak zijn er een aantal digitale uitgangen aanwezig die gebruikt kunnen worden in de PLC-kring: foutmeldingen, normale werking, ...

### 4.3.2. Bekabelen van de stuurkring

Let goed op bij het bekabelen van de stuurkring van de frequentieregelaar. Meestal heeft de regelaar zelf een voedingsbron; dit is vaak géén 24V DC!

- Gebruik om een digitale ingang te schakelen altijd een relais!
- Let goed op dat de spanningen juist georiënteerd zijn! De polariteit is van belang!

## 4.3.3. Een voorbeeld



**Figuur 30: Omron FR01 - stuurkring**

De schakelaars die gebruikt worden moeten dus (programmeerbare) relais of drukknoppen met vergrendeling zijn! De voeding voor de contacten komt uit de source (SC). De digitale contacten zijn in dit schema: SF en SR, alsook S1, S2 en S3. De getekende schakelaars moeten door een relaisuitgang vervangen worden.

Op dezelfde manier kan men de analoge ingang beschouwen. De potentiometer krijgt voeding uit de frequentieregelaar zelf. Let op bij het gebruik van een analoge verbinding vanuit de PLC; zorg voor compatibiliteit tussen het signaal uit de PLC en het te gebruiken analoge ingang. Combineer geen stroomsignalen (0-20mA; 4-20mA) met spanningsignalen (0-10V, 2-10V).

Opdracht:

- Werk voor de bovenstaande stuurmodule van een frequentieregelaar (Omron) de stuurkring uit. De stuurkring bestaat uit de volgende zaken:
  - Een drukknop om te starten
  - Een drukknop om te stoppen
  - Een noodstop met veiligheidsrelais
  - Een potentiometer door de operator te bedienen.
  - Er is een analoge meter met naald die de frequentie weergeeft. De ingang van deze meter reageert op een signaal tussen 0-20mA.
  - Een LED die oplicht als de frequentieregelaar draait.

#### 4.4. Communicatie

Een andere optie die men soms bij frequentieregelaars terugvindt, is de mogelijkheid om het toestel in te stellen. Als deze optie aanwezig is, dan hangt de manier waarop de instellingen ingeladen worden af van toestel tot toestel.

##### 4.4.1. serieel

De frequentieregelaar wordt rechtstreeks aan een PC gehangen. Dit gebeurt via een seriële of via een USB-kabel.

Een programma draait op de PC. In dit programma stelt men de diverse parameters en functies in. Als men klaar is, zendt men de gegevens naar de frequentieregelaar.

De verandering van de data is m.a.w. statisch. Tijdens het proces kan er niet veel veranderd worden; eenmaal de FR ingesteld is, kan men niets meer wijzigen.

##### 4.4.2. buscommunicatie

Een iets duurdere uitvoering van frequentieregelaar is de mogelijkheid om deel te nemen aan een bussysteem: ethernet, *TCP/IP-based protocol*, Profibus, ModBus, Asi,...

Een aantal Pc's, Plc's en andere busdeelnemers zoals een frequentieregelaar vormen samen een industrieel netwerk. Hierbij is er continue uitwisseling van data mogelijk tussen de verschillende busdeelnemers.

In een Plc-programma kan men verwijzingen maken naar de parameters van de FR; afhankelijk van de situatie in een bepaald proces.

##### Voordelen van bussystemen:

- Het eerste voordeel is dat men alle parameterschering via het gekozen netwerk gedaan wordt. Hierdoor moet men niet telkens met de laptop naar de desbetreffende machine lopen.
- Minder bekabeling nodig indien echte communicatie tussen PLC en FR gewenst is.

##### Nadelen van bussystemen:

- Software nodig
- Gesofisticeerde P(I)c's nodig: ze moeten immers een busadapter hebben.
- De kostprijs is hoger

##### Uit de praktijk: Spaflessen verpakking

Men kan een aantal opeenvolgende transportbanden m.b.v. een busgekoppelde PLC en busgekoppelde frequentieregelaars zo op elkaar afstemmen dat de snelheid optimaal is. Bijvoorbeeld als er één stilvalt dan vallen de transportbanden er voor stil, maar de transportbanden er na niet.

Tip: ga dit eens bekijken in de fabriek in Spa.

#### 4.5. Veiligheid van de machine bij het gebruik van een frequentieregelaar

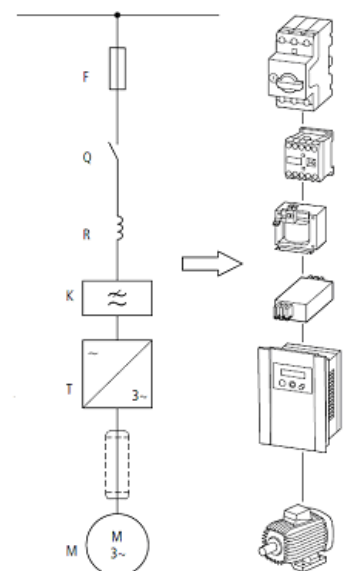
#### 4.6. Conclusies aansluiting

Voor de gebruiker zijn de belangrijkste delen van een frequentieregelaar dus de volgende:

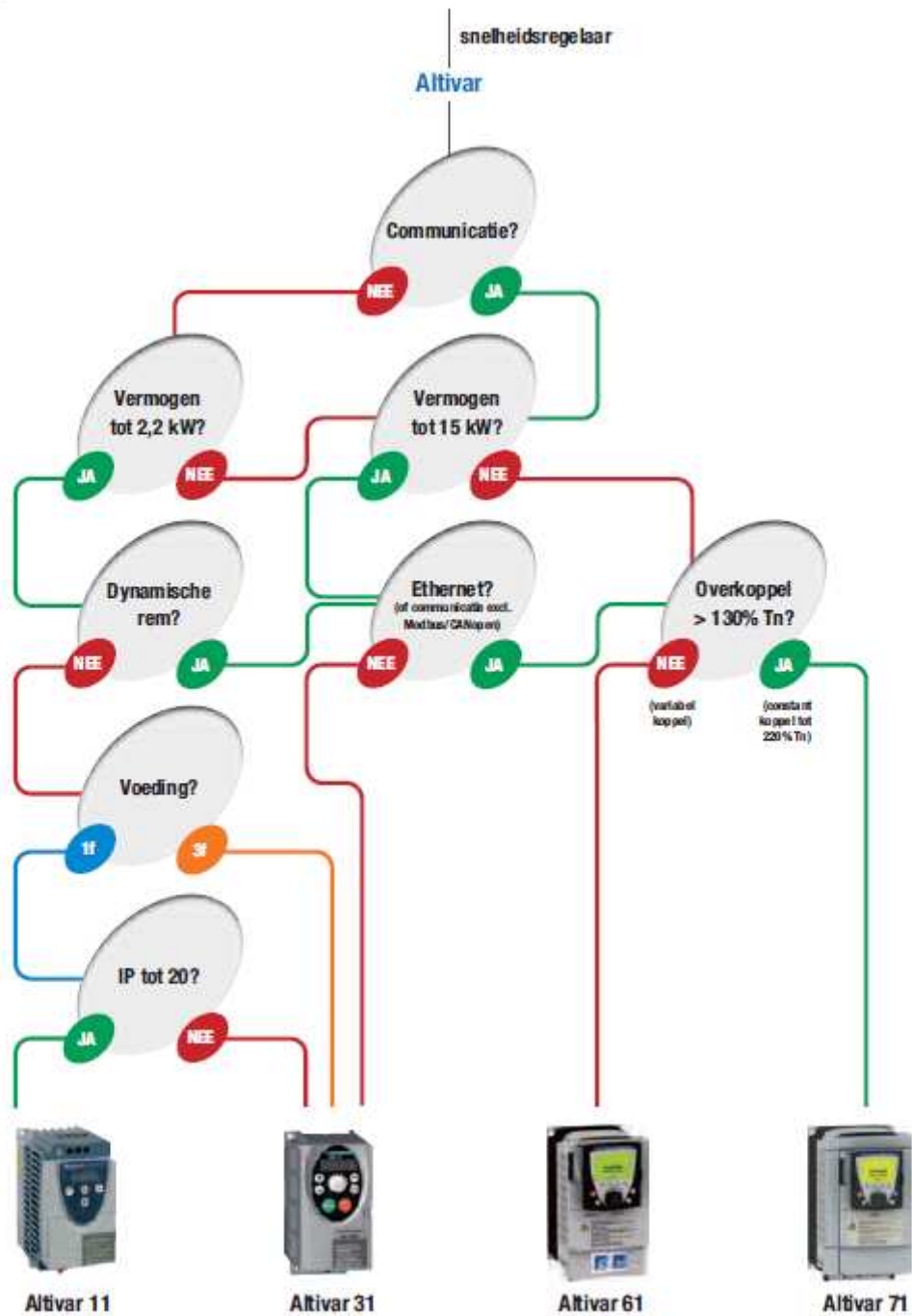
- Vermogenkring
  - Zie tekening
    - F
    - Q
    - R
    - K
    - T
    - M
  - Benoem de verschillende onderdelen.
  - Wat is de bedoeling van elk onderdeel?
- Stuurkring
  - Tip: Maak gebruik van relais en de voeding eigen aan de frequentieregelaar zelf!
- operator panel (optioneel)
- communicatiemodule (optie)

#### Tips:

- Hou ook rekening met de positionering van de frequentieregelaar in de kast!
- Raadpleeg de datasheets zowel om de FR aan te sluiten, als bij het instellen van de parameters.
- Bij het ontwerp moet men zeker het aspect 'veiligheid' in de gaten houden! (zie verder)



Men kan nu dus al voor een stuk de frequentieregelaar kiezen:

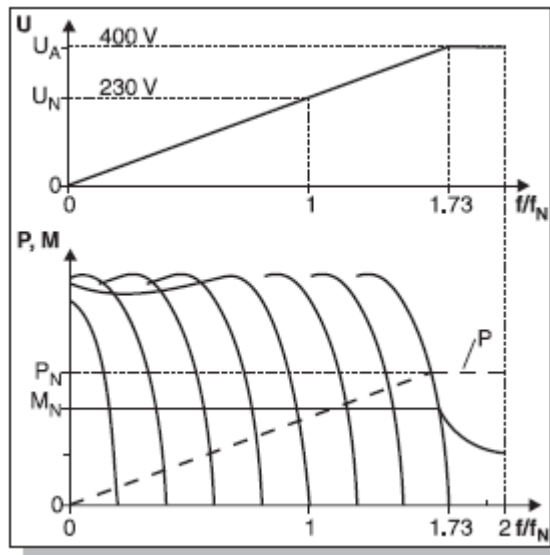


## 5. Praktische werking van een frequentieregelaar

### 5.1.

### 5.2. Motor werkt op '87Hz'!

In sommige gevallen stelt men de frequentieregelaar van een motor in op 87Hz.



Opdracht: (zie informatie op volgende pagina)

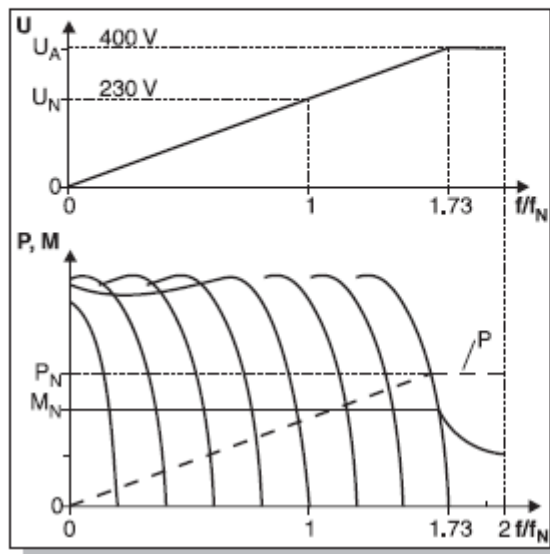
- Ga na in welke situatie men dit gebruikt.
  - Vermogen?
- Leg in eigen woorden uit waarom men deze methode moet/kan toepassen.

Bijlage uit 'SEW Eurodrive, selecteren van aandrijvingen'

Een verder alternatief is het bedrijf met spanning en frequentie boven de nominale waarden, bijv.:

Motor: 230 V / 50 Hz ( $\Delta$ -schakeling)

Regelaar:  $U_A = 400$  V bij  $f_{\max} = 400/230 \times 50$  Hz = 87 Hz



00642BXX

Afbeelding 13: Bedrijfskarakteristiek met constant nominaal koppel

Door de frequentieverhoging zou de motor het 1,73-voudige vermogen kunnen leveren. Vanwege de hoge thermische belasting van de motor in continubedrijf adviseert SEW echter alleen het benutten van het nominale vermogen van de eerstvolgende grotere in de lijst voorkomende motor (met isolatieklasse F!)

Bijv.: Motor-lijstvermogen  $P_N = 4$  kW

benutbaar vermogen bij  $\Delta$ -schakeling en  $f_{\max} = 87$  Hz:  $P_N' = 5,5$  kW

Daarmee heeft deze motor nog altijd het 1,37-voudige vermogen ten opzichte van het vermogen volgens de lijst. Vanwege het gebruik met een onverzwakt veld blijft bij deze bedrijfssoort het kippkoppel op hetzelfde niveau behouden als bij netbedrijf.

Gelet dient te worden op de geluidsontwikkeling van de motor, veroorzaakt door de sneller draaiende ventilator, en het grotere vermogenstransport door de reductor ( $f_B$ -factor voldoende groot kiezen). De regelaar dient voor het grotere vermogen gedimensioneerd te worden, omdat de bedrijfsstroom van de motor vanwege de  $\Delta$ -schakeling groter is dan in  $\sphericalangle$ -schakeling.



## 6. Nadelen uit de praktijk: een artikel

- Geschreven door: Ing. Arie Mol
- Komt uit: POMPNL februari 2008

In dit artikel komen een aantal nadelen van het gebruik van frequentieregelaars bij pompen aan bod.

De in de elektrische aandrijftechniek welbekende 'wet van behoud van ellende' dicteert dat bij veel voordelen er ongetwijfeld ook nadelen zijn. Die nadelen zijn er ook bij de toepassing van de frequentieregelaar, maar gelukkig goed beheersbaar. Mits onderkend, zoniet dan kan dit een soepele bedrijfsvoering frequent ontregelen.

Gelukkig gaat het vaak gewoon goed (de frequentieregelaar is volwassen) maar wat zijn potentiële valkuilen en mogelijke remedies?

### **Mechanische resonantie**

Een van de meest voorkomende problemen is mechanische resonantie. Dit kan leiden tot onacceptabel hoog trillingsniveau doordat een aanstootfrequentie samenvalt met een resonantiefrequentie.

Elke pompstelling kent resonantiefrequenties. Bij één-toerental toepassingen, zoals voorheen gebruikelijk zonder frequentieregelaar, is de kans niet zo groot dat een aanstootfrequentie samenvalt met een resonantiefrequentie. Bij een breed toerentalbereik neemt die kans toe. Aanstootfrequenties zijn o.a. de onbalans van de pompwaaier gekenmerkt door  $1^*$  toerental frequentie, de schoeppasseerfrequentie gekenmerkt door een frequentie gelijk aan toerental maal aantal schoepen of elektrische gerelateerde frequentiecomponenten door de elektromotor opgewekt.

### **Kritisch toerental**

Resonanties houden verband met een massa-veer systeem zoals de massa van de motor en de elasticiteit van het pomphuis bij verticale opstellingen.

Maar ook bij horizontale opstellingen kunnen pomp massa en motormassa met daartussen de elasticiteit van het gemeenschappelijke stalen frame een resonantieprobleem geven. Dit is dan een zgn. torsietrillingsprobleem. Leidingwerk of wanden kunnen in resonantie komen. Wanneer een overhangende pompwaaier in resonantie komt spreekt men van een kritisch toerentalprobleem.

Resonantie leidt onvermijdelijk tot vroegtijdige schade aan vitale delen zoals lagering of afdichting. Een herstel van de bedrijfszekerheid kan doorgaans alleen worden bereikt door het verstemmen van de resonantiefrequentie. Zowel vergroten als reduceren van stijfheid kan een verbetering zijn. Dit laatste bijvoorbeeld door de 'truc' van het lossen van een of meerdere bevestigingsbouten. Maar meestal is een constructieve aanpassing noodzakelijk. Een trillingsanalyse wijst de weg naar een juiste diagnose en doelmatige remedie.

### **Eindige-Elementen Methoden**

Ondanks, of misschien wel dankzij, moderne berekensoftware komen resonantieproblemen nog vaak voor. Er wordt weliswaar volop gebruik gemaakt van eindige-elementen berekenmethoden maar een terugkoppeling vanuit de praktijk middels meting op locatie van de actuele resonantiefrequentie(s) schiet er meestal bij in. Pomptwerpers lopen zo het risico het zicht op de praktijk volledig kwijt te raken. En bij continue productontwikkeling gaat het dan een keer fout.

### **Lagerschade**

Een andere, in toenemende mate actuele, potentiële valkuil is de verhoogde kans op lagerschade door elektrische stroomdoorgang.

Dit houdt verband met het zeer snelle schakelregime van de moderne frequentieregelaar. Moderne IGBT technologie laat de vermogenelektronica supersnel schakelen. Dit biedt grote voordelen met betrekking tot rendement en bouwgroote - lees prijs - van de frequentieregelaar. Bij netvoeding wordt een elektromotor gevoed uit een symmetrisch, sinusvormig driefasen net. Een frequentieregelaar echter schakelt voortdurend en zeer snel een gelijkspanning tussen de drie fasewikkelingen. Dit is een asymmetrisch voedingssysteem en dit heeft tot gevolg dat over de as-einden van de motor een elektrische wisselspanning wordt geïnduceerd. Dit is voor het goed functioneren van de motor geen enkel probleem. Maar er kan een elektrische stroom van hoge frequentie gaan circuleren in het circuit motor as -> lager aandrijfszijde -> motorframe -> lager niet-aandrijfszijde -> terug naar as, met onvermijdelijk lagerschade als gevolg. Deze 'asstroom' kan ook via het lager van de pomp circuleren indien de koppeling elektrisch geleidend is. tenzij de oliefilm in het wentel- of glijlager isoleert, hetgeen niet vanzelfsprekend is, of indien geïsoleerde lagering wordt toegepast. Maar zelfs een geïsoleerde lager blijkt niet altijd te isoleren, het gaat dan om hoogfrequent stroompieken waarvoor de isolatie als geleidende condensator werkt.

### **Succesvolle Remedies**

Trillingsanalyse kan tijdig lagerschade aan het licht brengen. Maar niet altijd expliciet stroomdoorgang als oorzaak. Dit komt doordat het zeer grote aantal, minuscule kratertjes op de loopbanen aanvankelijk moeilijk te onderscheiden is van een slechte smeringconditie. Hoogfrequent stroomdoorgang is visueel herkenbaar uit een typisch schadebeeld op de loopbanen of lagerschalen, tenminste wanneer het lager tijdig wordt vervangen en niet meteen verschroot...

Er zijn relatief eenvoudige meetmethoden bekend waarmee de asspanning, asstroom en lagerisoliatiestatus bepaald kan worden. Daarnaast geeft meting van de common mode stroom tussen frequentieregelaar en motor m.b.v. hoogfrequent Rogowsky stroomtransformator waardevolle informatie over de kans op schade. Deze metingen kunnen en moeten bij vol in bedrijf zijnde aandrijving worden uitgevoerd. Succesvolle remedies zijn o.a. adequate lagerisolatie, correcte aarding van de bekabeling maar vooral ook een zgn. homopolaire filter of common mode filter. Dit laatste wordt bij grootvermogen frequentieregelaars standaard toegepast. Maar de praktijk leert dat in sommige gevallen (de ene motor is de andere niet) die vermogensgrens veel lager ligt. Deze remedie is ook effectief met het oog op de kans op wikkelschade. Het snelle schakelregime kan eveneens een overbelasting vormen van de diëlektrische integriteit van de isolatie van de statorwikkeling.

*\* Arie Mol is zelfstandig adviseur en als Mol Rotating Equipment Consultant (Molrec) betrokken bij ontwerp en trouble-shooting van industriële roterende machines*

## **7. Parameters**

### **7.1. Inleiding**

De parameters van een frequentieregelaar zijn van belang omdat ze de functies van de regelaar bepalen. De parameters verschillen telkens van frequentieregelaar tot frequentieregelaar, en dan ook nog eens van fabrikant tot fabrikant.

In paragraaf 5.2. wordt de VAT20 van GE besproken.

## 7.2. Functies en parameters van de VAT20.

### 7.2.1. Waarom VAT20?

In deze bundel wordt de VAT20 besproken. De reden is zeer eenvoudig; in het labo elektriciteit van het VTI Brugge zijn er 8 frequentieregelaars VAT20 aanwezig.

Deze regelaars waren prijstechnisch zeer interessant, alsook qua vermogen in geschikt ten opzichte van de aanwezige motoren. Ook qua didactische mogelijkheden om de regelaars eenvoudig te bedienen waren niet onbelangrijk bij de keuze.

### 7.2.2. info VAT20 [II]

#### **7.2.2.1. Functie [I]**

Deze kleine, flexibele en prijsgunstige kwaliteitsaandrijving is geschikt voor nominale vermogens van 0,2 tot 2,2kW op een enkelfasig net van 200-240V.

De VAT20 voldoet aan de algemene UL- en CSA-normen en is standaard voorzien van een ingebouwde EMC-filter klasse A. Een optionele DIN-railmontagekit is eveneens beschikbaar.

De performantie van de VAT20 overtreft die van andere gelijkaardige aandrijvingen. De VAT20 is standaard voorzien van een toetsenbord met display, programmeerbare digitale en analoge in- en uitgangen, diverse frequentie-instellingen, een jog-functie, een DC-rem en andere functies. Dit laat de gebruiker toe voor een beperkt budget de VAT20 in te zetten voor een veelheid aan applicaties.

#### **7.2.2.2. Eigenschappen [I]**

- Enkel- of driefasige digitale frequentieregelaars voor driefasige AC inductiemotoren 0,2 tot 2,2kW
- IP20 beschermingsgraad
- DIN rail montage of paneel montage met optionele kit
- Spanningsbereik: Enkelfasig 200-240VAC en driefasig 380-460V, 50/60Hz. Motorvermogen van 0,2 tot 2,2 kW
- Overbelastingcapaciteit 150% / 60 s
- Omgevingstemperatuur -10 tot 50°C
- Ingebouwd bedieningspaneel met LED display
- Ingebouwd EMC filter voor industriële omgeving (klasse A)
- Wereldwijde standaarden UL & CSA en CE

Hierna staan twee tabellen uit de handleiding van de VAT20 met een aantal belangrijke eigenschappen:

## Standaard, 200V series

Typenummer VAT20		U20N0K2_	U20N0K4_	U20N0K7_	U20N1K5_	U20N2K2_
Geschikt nominaal motorvermogen (kW)		0,2	0,4	0,75	1,5	2,2
Nomi-naal	Motor (pk)	1/4	1/2	1	2	3
	Stroom (A)	1,4	2,3	4,2	7,5	10,5
	Vermogen (kVA)	0,53	0,88	1,6	2,9	4,0
	Massa (kg)	0,76	0,77	0,8	1,66	1,76
Max. ingangsspanning		Enkefasig 200-240V (+10%-15%), 50/60Hz (+/-5%)			Enkel-/driefasig 200-240V (+10%-15%), 50/60Hz (+/-5%)	
Max. uitgangsspanning		Drie fasen 200/240V +10%-15%				
Afmetingen (B x H x D)		72x132x118			118x143x172	
EMC specificaties		Klasse A				

## Functionele kenmerken

Type VAT20		CPU-versie 1.6 (zie parameter Fn_29)	CPU-versie 1.6 (zie parameter Fn_29)
Type ingangssignaal		PNP-ingangstype (BRON)	
Regelmethode		Sinusgolf PWM-regeling	
Freq.-rege-ling	Frequentiebereik	0~120Hz	0~200Hz
	Resolutie-instelling	Digitaal : 0,1Hz (0~99.9Hz) 1Hz (100~120Hz) Analoog: 0,06Hz/60Hz	Digitaal : 0,1Hz (0~99.9Hz) 1Hz (100~200Hz) Analoog: 0,06Hz/60Hz
	Toetsenbordinstelling	Rechtstreeks geïnstalleerd met ▲▼ toetsen.	
	Externe signaalinstelling	0~10V, 4~20mA, 0~20mA	
	Andere functie	Boven- en ondergrens frequentie	
Algem. bedien.	Draaggolffrequentie	4-8kHz	4-16kHz
	Tijd versnellen/vertragen	0.1~ 999 s	
	V/F-patroon	8 patronen	
	Koppelregeling	Afstelbare koppelverhoging (manuele koppelverhoging)	
	Multifunctionele invoer	2 ingangen te gebruiken als: vaste snelheid 1 (SP1) / JOG / Externe noodstop / Externe Reset	2 ingangen te gebruiken als: vaste snelheid 1 (SP1) / vaste snelheid 2 (SP2) / JOG / Externe noodstop / Externe Reset
	Multifunctionele uitgang	1a Relaisklem, in te stellen als FOUT / RUN / FREQ BEREIKT	
	Remkoppel	Ongeveer 20%, bijkomende remweerstand niet toegelaten	100% met externe remweerstand
Andere functie	Vertragen of vrij uitlopen, Automatische reset, frequentie / spanning / tijd gelijkstroomremmen instelbaar met constanten.		
Indicatorfunctie		3 x 7 segmentweergave van frequentie / regelaarparameter / foutgeheugen / programmaversie	
Gebruikstemperatuur		-10 tot +50°C	
Luchtvochtigheid		0~95% RV zonder condensatie.	
Trilling		Onder 1 G ( 9.8 m/s <sup>2</sup> )	
EMC-specificatie		Klasse A (Ingebouwde filter)	
Beschermingswaarde		IP20	
UL		UL508C	
Beveili-gings-functie	Overbelastingsbeveiliging	150% gedurende 1min.	
	Overspanning	DC-spanning > 410V (200V serie), DC > 800V (400V serie)	
	Onderspanning	Gelijkstroomspanning < 200V	
	Tijdelijk stroomverlies	0 ~ 2 sec : VAT20 kan terug gestart worden met snelzoeken	
	Afslagpreventie	Versnellen / Vertragen / Constante snelheid	
Beveili-gings-functie	Kortsluiting uitgangsklem	Elektronische schakelbeveiliging	
	Aardingsstoring	Elektronische schakelbeveiliging	
	Andere functie	Warmteafleidende beveiliging, Stroombegrenzing	
Installatie		Installatie met schroefmontage of op DIN-rail (optie).	

### 7.2.3. Alternatieven voor de VAT20

#### **7.2.3.1. Alternatief: Emotron**

Zie foto hieronder... Emotron en de GE VAT20 lijkt als 2 druppels water op elkaar. De Altivars van Telemecanique en de frequentieregelaars van Toshiba zijn ook een dergelijk soort tweelingbroers.



#### **7.2.3.2. Andere merken**

Naast GE en Emotron zijn er nog andere merken en fabrikanten:

- Schneider Telemecanique → Altivar
- Siemens → Micromaster
- GE → VAT
- Danfoss
- SEW Drives
- Omron
- ...

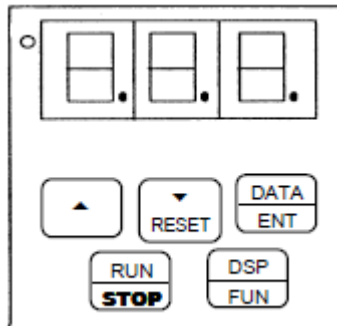
#### Opdracht:

- Zoek zelf in de datasheets van een fabrikant van frequentieregelaars een analoog model als de Vat20; m.a.w. de door jou voorgestelde frequentieregelaar moet:
  - Zelfde motor(vermogen) aandrijven
  - Op een zelfde soort net aangesloten worden
  - In dezelfde omgeving gebruikt worden.

## 7.2.4. De parameters VAT20 (handleiding)

### 7.2.4.1. **Inleiding**

Men kan de functies via het display wijzigen.



1. Druk op stop als de motor draait.
2. Druk op 'FUN'. Dit staat voor functies.
3. Door de pijltjestoetsen te gebruiken kan men door de verschillende functies scrollen.
4. Als er op de display bijvoorbeeld 'F04' staat, druk op 'ENT'. Nu kan men de instelling van deze functie veranderen. Zet 'F04' op '0'. Bevestig met 'ENT'.
5. Door nogmaals op 'FUN' te drukken, komt men weer in het startscherm.
6. Druk op 'RUN'.

#### Opdracht:

- Herhaal de bovenstaande zaken maar verander: 'F04' van waarde; namelijk '1'.
  - Wat merk je op?

**7.2.4.2. Overzicht functies (= parameters)**

Functie	FN_	Functiebeschrijving	Eenheid	Bereik	Instelling fabriek	Opm
	0	Fabrieksaftelling			0	
Tijd versnellen / vertragen	1	Tijd versnellen	0.1SEC	0.1 ~ 999 S	5.0	(1)(3)
	2	Tijd vertragen	0.1SEC	0.1 ~ 999 S	5.0	(1)(3)
Bedieningswijze	3	0: Vooruit / Stop, Achteruit / Stop 1: Start / Stop, Vooruit / Achteruit	1	0 ~ 1	0	
Draairichting motor	4	0: Vooruit 1: Achteruit	1	0 ~ 1	0	(1)
V/F-Patroon	5	Instelling V/F-patroon	1	1 ~ 6	1/4	(2)
Boven-/ondergrens frequentie	6	Bovengrens frequentie	0.1Hz	1.0 ~ 120Hz 1.0 ~ 200Hz	50/60Hz	(2)(3) (4)
	7	Ondergrens frequentie	0.1Hz	0.0 ~ 120Hz 0.0 ~ 200Hz	0.0Hz	(3)(4)
SP1-frequentie	8	SP1-frequentie	0.1Hz	1.0 ~ 120Hz 1.0 ~ 200Hz	10Hz	(3)(4)
JOG-frequentie	9	JOG-frequentie	0.1Hz	1.0 ~ 120Hz 1.0 ~ 200Hz	6Hz	(4)
Bedieningsregeling	10	0: toetsenbord 1: externe terminal	1	0 ~ 1	0	
Frequentieregeling	11	0: toetsenbord 1: externe terminal(0~10v/0~20mA) 2: externe terminal (4~20mA)	1	0 ~ 2	0	
Draaggolffrequentie	12	Instelling draaggolffrequentie	1	1 ~ 5 1 ~ 10	5	(4)
Koppelcompensatie	13	Winst koppelcompensatie	0.1%	0.0 ~ 10.0%	0.0%	(1)
Stopmethode	14	0: vertraagde stop, 1: vrije uitloop	1	0 ~ 1	0	
Instelling gelijkstroomremmen	15	Tijd gelijkstroomremmen	0.1S	0.0 ~ 25.5S	0.5S	
	16	Injectiefrequentie gelijkstroomrem	0.1Hz	1 ~ 10Hz	1.5Hz	
	17	Niveau gelijkstroomrem	0.1%	0.0 ~ 20.0%	8.0%	
Elektronische thermische beveilig.	18	Beveiliging op nominale motorstroom	1%	50 ~ 100% (0-200)	100%	(4)
Aansluitpunt multifunctionele invoer	19	Functie klem 1 multifunct. invoer	1: Jog 2: Sp1 3: Noodstop 4: Extern basisblok		2	
	20	Functie klem 2 multifunct. invoer	5: Reset 6: Sp2		5	(4)
Multifunctionele uitvoer	21	Klem multifunctionele uitvoer	1: In gebruik 2: Frequentie bereikt 3: Fout		3	
Instructie omkeren	22	0: Omkeerloop ingeschakeld 1: Omkeerloop uitgeschakeld	1	0 ~ 1	0	
Tijdelijke voedings- onderbreking	23	0: ingeschakeld 1: uitgeschakeld	1	0 ~ 1	0	
Autom. herstart	24	Aantal automatische herstarts	1	0 ~ 5	0	
Fabriekinstelling	25	010: Initialiseren constanten 50Hz systeem 020: Initialiseren constanten 60Hz systeem				(2)
Sp2 frequentie	26	Sp2 frequentie	0.1Hz	1.0 ~ 200Hz	20	(4)
Sp3 frequentie	27	Sp3 frequentie	0.1Hz	1.0 ~ 200Hz	30	(4)
Direct start	28	0: ingeschakeld 1: uitgeschakeld	1	0 ~ 1	1	(5)
Softwareversie	29	CPU-programmaversie				
Fouthistoriek	30	Geheugen laatste 3 defecten				

(1) Merk op dat deze parameter tijdens de RUN-modus aangepast kan worden

(2) Zie Fn\_25

(3) Als het ingestelde bereik groter is dan 100, wordt de insteleenheid 1.

(4) Enkel indien CPU versie 1.9 (zie Fn\_29)

(5) Enkel indien CPU versie 2.1 (zie Fn\_29)



### 7.2.5. Bespreking van de parameters

- **F01: tijdsversnelling**

- Tijd nodig om te versnellen.
- In te stellen waarde: tussen 0.1 en 999 sec.
- Te berekenen m.b.v. de volgende formule:

$$TijdVersnelling = WaardeFn01 \times \frac{ingestelde\ frequentie}{60Hz}$$

- Merk op dat de versnelling die behaald kan worden voor een deel afhankelijk is van de gewenste frequentie. Immers hoe hoger de frequentie, hoe langer het zal duren vooraleer de frequentieregelaar zijn gewenste waarde bereikt.

- **F02: Tijdvertraging**

- Tijd nodig om te vertragen.
- In te stellen waarde: tussen 0.1 en 999 sec.
- Te berekenen m.b.v. de volgende formule:

$$TijdVertraging = WaardeFn02 \times \frac{ingestelde\ frequentie}{60Hz}$$

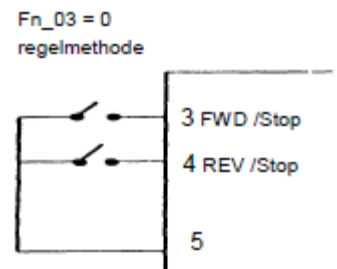
- Opmerking: ook het vertragen is afhankelijk van de ingestelde frequentie. Al wil men nog zo snel stoppen, het hangt voor een stuk af van de frequentie waarop de motor draait.

- **F03: selectie externe bedieningswijze**

- Bij deze functie stelt men de functie in van een aantal digitale ingangen: namelijk ingang 3 en 4; met connector 5 als COM.
- Er zijn twee instellingen mogelijk: 0 of 1.

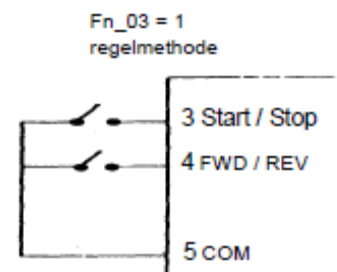
- Instelling = '0'

- Ingang 3 werkt dan als FWD/Stop: vooruit of stop
- Ingang 4 werkt dan als REV/Stop: achteruit of stop
- Via een drukknop worden de respectievelijke digitale ingangen verbonden met connector 5; de COM – of de gemeenschappelijke klem.

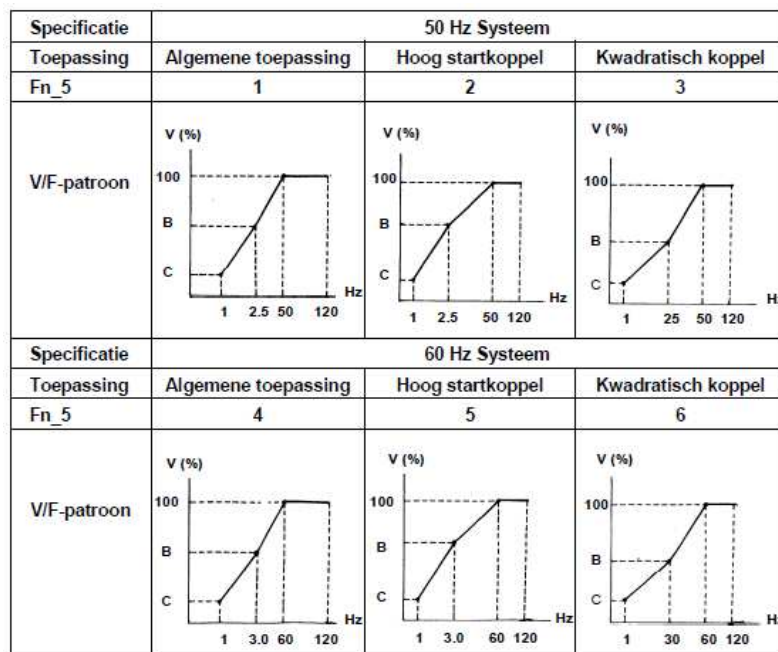


- Instelling = '1'

- Ingang 3 werkt dan als Start/Stop: de frequentieregelaar werkt of stopt afhankelijk van dit ingangsignaal.
- Ingang 4 werkt dan als FWD/REV: afhankelijk van het elektrisch signaal bij ingang 4 zal de motor vooruit of achteruit draaien.
- Via een drukknop worden de respectievelijke digitale ingangen verbonden met connector 5; de COM – of de gemeenschappelijke klem.



- Opmerking:
  - Als F22 = '1' dan wordt het commando om achteruit te draaien genegeerd!
- **F04: Instelling van de draairichting**
  - Wanneer er geen drukknop gebruikt wordt om de frequentieregelaar te doen draaien; dan kan men gebruik maken van deze functie om de motor toch andersom te laten draaien.
  - Instellingen:
    - '0': vooruit
    - '1': achteruit
  - Opmerking:
    - Als F22 = '1' dan is het commando om achteruit te draaien NIET bereikbaar: er komt 'LOC' op het scherm.
- **F05: instelling U/f-patroon**
  - Er zijn twee manieren om de wisselrichter te sturen. De bekendste en eenvoudigste (en dus goedkoopste) methode is het sturen van de frequentie m.b.v. de U/f-karakteristiek.
  - Door de manier waarop de verhouding U/f (spanning t.o.v. de frequentie) verandert, zal ook het koppel wijzigen. De verhouding  $(U/f)^2$  bepaalt immers het kipkoppel  $T_k$ ; ofwel het maximaal koppel. Door aan deze verhouding te sleutelen verandert het maximumkoppel gedurende de aanloop tot de gewenste frequentie.
  - Er zijn zes instellingen mogelijk; veel variatie of instellen van de U/f-karakteristiek is er hier niet mogelijk bij de frequentieregelaar. Men heeft dus de keuze uit zes mogelijke toepasbare curven. Bij complexere regelaars kan men de curve en dus elk belangrijk punt volledig definiëren naar keuze; weliswaar geen willekeurige keuze.



Figuur 31: U/f-karakteristieken: 3 voor 50Hz, 3 voor 60Hz

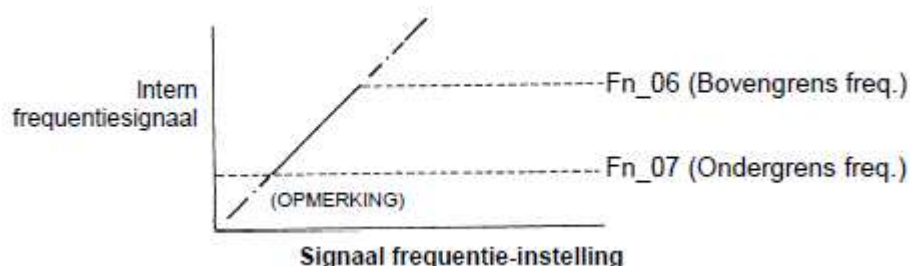
- Opmerking:
  - De letters B en C in de voorgaande figuur stellen een spanningswaarde voor in procenten van de maximale spanning:

Fn 5	B	C
1/4	10%	8%
2/5	15%	10.5%
3/6	25%	7.7%

- De zes karakteristieken zijn in te delen in 2 netsystemen en drie toepassingsgebieden.
  - De eerste keuze is het net: 50Hz-net of 60Hz-net? Dit is belangrijk als:
    - Frequentieregelaar enkel als aanzetmethode gebruikt wordt.
    - Men een optimaal koppel wil bij 50Hz of bij 60Hz. Anders is er puur theoretisch geen bezwaar tegen het gebruik van een 60Hz-karakteristiek op een 50Hz-motor.
  - De tweede keuze is in het geval van de belasting:
    - Bij een pompbelasting, ventilator e.d. kiest men voor een kwadratisch koppel. (3 of 6)
    - Wenst men echter een hoog startkoppel – in functie van de belasting – dan kiest men beter voor optie '2' of '5'.
    - De andere gevallen vinden zich terug in optie '1' of '4'
- Opdrachten:
  - Welke instelling zou men in Europa nemen om de snelheid van een pomp te regelen?
  - Als men een 60Hz-karakteristiek neemt om een transportband met een motor van 1500tr/min aan te drijven; wat is het gevolg voor het maximum koppel bij het vragen van 50Hz bij de 60Hz-karakteristiek i.p.v. 50Hz te vragen bij een 50Hz-karakteristiek?

- **F06: bovengrens frequentie**

- Men kan de maximumfrequentie die de regelaar naar de motor kan sturen, instellen. Hoger dan deze frequentie kan men niet geraken.
- De range voor de bovengrens gaat
  - van 1 tot 120Hz of
  - van 1 tot 200Hz (enkel voor CPU-versie 1.9)

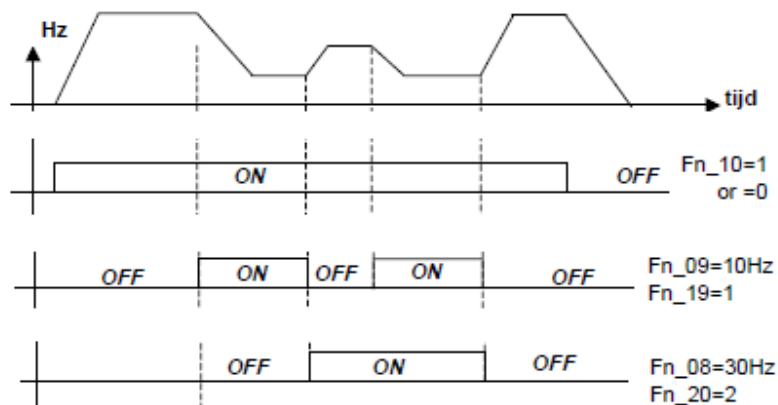


- Opmerking
  - Men kan de CPU-versie controleren in parameter F29.
- **F07: ondergrens frequentie**
  - Naast een bovengrens kan men ook een ondergrens voor de frequentie instellen. De ingestelde waarde is frequentie waaronder de motor niet zal draaien.
  - De range voor de ondergrens gaat
    - van 1 tot 120Hz of
    - van 1 tot 200Hz (enkel voor CPU-versie 1.9)
  - Opmerking:
    - Opmerking:
      - Als Fn\_07 = 0 Hz, en de frequentie-instructie gelijk is aan 0Hz, zal de frequentieregelaar stoppen bij snelheid 0.
      - Als Fn\_07 > 0 Hz, en de frequentie-instructie is Fn\_07, zal de frequentieregelaar de uitvoer regelen volgens de instelling van Fn\_07.
- **F08: SP1-frequentie**
  - Deze SP1 is de afkorting voor setpoint 1. Het is de waarde waarnaar de frequentieregelaar zal streven in een bepaalde situatie:
    - Als een van de functies F19 of F20 ingesteld is op '2'  
**én**  
het elektrisch signaal op de multifunctionele invoerklem is 'AAN' – of 'HOOG', de ingang is dus bekrachtigd,  
**DAN**  
werkt de frequentieregelaar aan de sp1-frequentie die in F08 ingesteld werd.
  - Ook deze range varieert
    - van 1 tot 120Hz of
    - van 1 tot 200Hz (enkel voor CPU-versie 1.9)
  - Opmerking:
    - De volgorde voor het aflezen van de frequentie-instelling is:
      1. Jog (F09)
      2. Sp1 (F08)
      3. Toetsenbordinstelling of extern frequentiesignaal
- **F09: JOG-frequentie**
  - De JOG-frequentie staat in de literatuur niet éénduidig beschreven. Het Nederlandse woord 'joggen' betekent 'rustig lopen'. In de context van motoren kan dit beschouwd worden als het terugschakelen naar een lagere snelheid.
  - De JOG-frequentie wordt aangeroepen in de volgende situatie:
    - Als een van de functies F19 of F20 ingesteld is op '1'  
**én**  
het elektrisch signaal op de multifunctionele invoerklem is 'AAN' – of 'HOOG', de ingang is dus bekrachtigd,  
**DAN**  
werkt de frequentieregelaar aan de JOG-frequentie die in F08 ingesteld werd.

- Ook deze range varieert
  - van 1 tot 120Hz of
  - van 1 tot 200Hz (enkel voor CPU-versie 1.9)

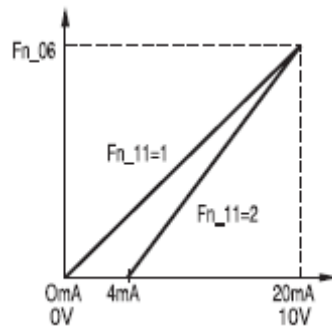
- **F10: de bedieningsregeling**

- In functie 10 stelt men in of de bedieningsinstructies via het toetsenbord of via de externe terminals gebeuren.
  - F10 = '0':
    - Bedieningsinstructie is via het toetsenbord ingesteld.
  - F10 = '1'
    - Bedieningsinstructie is via een externe terminal ingesteld.
- Opmerking:
  - Ook al is F10='1'; de noodstop op het toetsenbord kan nog steeds bediend worden.
  - Bij het instellen van F10='1' – dus via de externe terminals – moet er rekening gehouden worden met de parameters F23 (direct herstarten na spanningsverlies) en F24 (aantal herstarten mogelijk)!
- Opdracht:
  - Leg in eigen woorden uit wat er weergegeven wordt op de onderstaande grafiek:



- **F11: bron van de frequentieregeling**

- In F11 wordt de bron van het setpoint voor de frequentie afgesproken.
  - F11 = '0':
    - de gewenste frequentie wordt ingesteld op het toetsenbord.
  - F11 = '1':
    - de gewenste frequentie wordt ingesteld via het analoge signaal op TM2 (0-10V of 0-20mA).
  - F11 = '2':
    - de gewenste frequentie wordt ingesteld via het analoge signaal op TM2 (4-20mA).
- Opdracht
  - In de manual staat bij F11 de volgende grafiek. Wat bedoelt men met deze grafiek?



o Opmerking:

- Bij inschakelen van de JOG-frequentie of van de SP1-frequentie, dan wordt de frequentie aangeroepen die in SP1-snelheid ingesteld is. De 'up-down'-pijltjestoetsen worden nu uitgeschakeld. Als de SP1-verbinding 'uit' is, dan wordt de oorspronkelijke instelling hersteld. Zie ook de opmerking bij F08 voor de prioriteiten tussen de verschillende frequenties onderling; idem dito voor de oefening bij F10.
- Tijdens het versnellen wordt het toetsenbord even uitgeschakeld.
- Let op: de switch 'SW1' moet correct geschakeld worden!

**SW1 functiebeschrijving**

SCHAKELAAR 1	Extern signaaltype
	0~20mA analog signaal (indien Fn_11 ingesteld op 1 ) 4~20mA analog signaal (indien Fn_11 ingesteld op 2 )
	0~10 VDC analog signaal (indien Fn_11 ingesteld op 1 )

• **F12: draaggolfrequentie**

- o De gelijkspanning en -stroom in de tussenkring wordt m.b.v. een wisselrichter terug naar wisselspanning en -stroom gebracht. De theorie van dit wisselrichten wordt nu nog even buiten beschouwing gehouden, maar het is zo dat er een elektrische hulp golf nodig is in het stuursysteem van de wisselrichter. De snelheid van deze golf worden in F12 ingesteld.
- o De draagfrequentie is bij de CPU-versie 1.0 en hoger (raadpleeg hiervoor F29) mogelijk in te stellen tussen 1 en 10. Andere CPU's bekomen maar een instelling tot 5.

- o De tabel:

F <sub>n_12</sub>	Draaggolffrequentie	F <sub>n_12</sub>	Draaggolffrequentie	F <sub>n_12</sub>	Draaggolffrequentie
1	4 kHz	5	8 kHz	9	15 kHz <sup>(1)</sup>
2	5 kHz	6	10 kHz <sup>(1)</sup>	10	16 kHz <sup>(1)</sup>
3	6 kHz	7	12 kHz <sup>(1)</sup>		
4	7.2 kHz	8	14.4 kHz <sup>(1)</sup>		

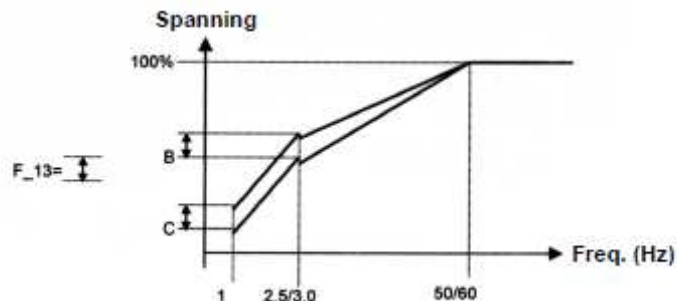
(1) Als F<sub>n\_12</sub> = 7 tot 10, moet de frequentieregelaar werken onder lage belasting.

- o Opmerking:

- De hogere draaggolffrequenties kunnen EMC-problemen geven:
  - Andere – externe – elektrische toestellen worden dan gestoord zoals men dat in de vaktaal zegt. Dit betekent dat een GSM bijvoorbeeld geen ontvangst heeft naast de frequentieregelaar; of dat de frequentieregelaar van de buurman plots rapper draait – of niet draait.

- **F13: winst koppelcompensatie**

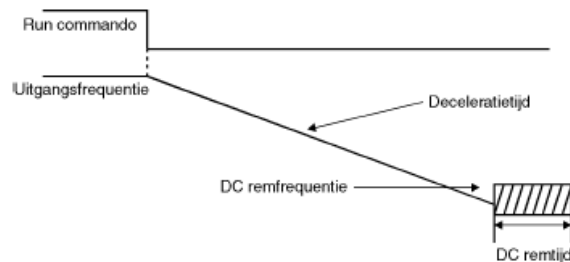
- o Bij de frequenties lager dan de kippfrequentie in de U/f-karakteristiek verandert de spanning lineair met de frequentie. In de koppeltoerentalcurven ziet men in de praktijk het kippkoppel zakken, hoewel dit niet gewenst is. Een lager koppel bij het aanzetten zou immers voor problemen kunnen zorgen. Door de spanning iets op te krikken t.o.v. de voorspelde waarde zal ook het kippkoppel toenemen.



- o M.b.v. F13 kan men nu de mate waarin deze spanning toeneemt procentueel instellen.
- o Opdracht:
  - Meet de koppeltoerentalcurven eens bij 0% en eens bij 10%. Doe dit voor per 10Hz bij alle frequenties tot 50Hz. Wat merk je op?

- **F14: Stopmethode**

- Er bestaan twee stopmethodes:
  - F14='0': vertraagde stop
  - F14='1': vrij uitlopen
- Opmerking:
  - F14 = '0':
    - Als de frequentieregelaar de stopinstructie krijgt, wordt er naar de frequentie in F16 teruggekeerd. Op dat moment wordt er een uitgangsvermogen geleverd zoals in F17 ingesteld staat. Dit uitgangsvermogen wordt aangehouden gedurende de tijd die in F15 terug te vinden is. Na die ingestelde tijd schakelt de regelaar over op volledige stilstand.



- F14 = '1':
  - De motor zal vrij uitlopen tot totale stilstand nadat de frequentieregelaar de vermogenuitvoer stopte.

- **F15: Tijd gelijkstroomrem**

- De hier ingestelde tijd (tussen 0 en 25.5 seconden) bepaalt hoe lang de gelijkstroomrem aangehouden blijft.
- Zie F14 voor meer uitleg.

- **F16: Startfrequentie gelijkstroomrem**

- Bij het remmen zal bij een bepaalde frequentie de gelijkstroomrem actief worden, op voorwaarde dat F14 = '1'. Deze frequentie wordt ingesteld bij F16.
- F16 varieert tussen 1 en 10Hz.
- Zie F14 voor meer uitleg.

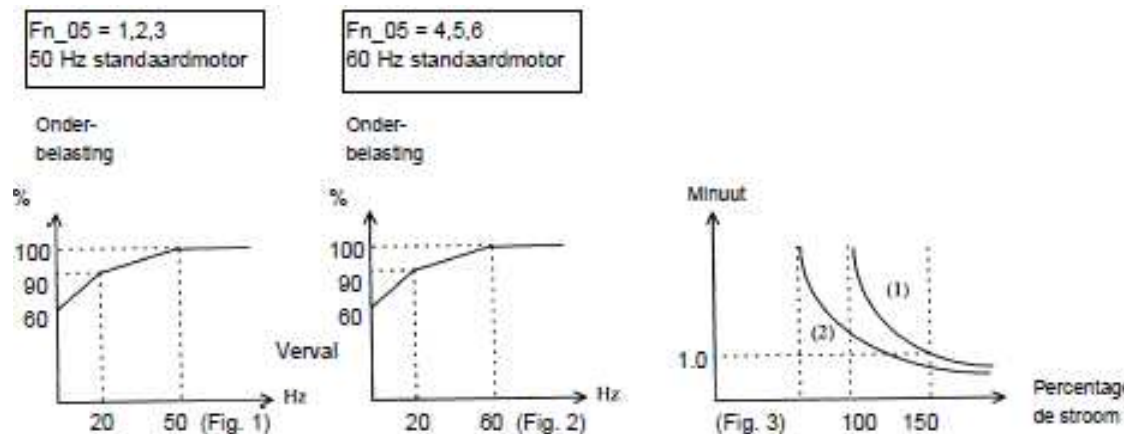
- **F17: niveau gelijkstroomrem = 0 tot 20%**

- In F17 wordt het niveau van de gelijkstroomrem ingesteld.
- Zie F14 voor meer uitleg.



- **F18: nominale motorstroom**

- F18 is in te stellen:
  - van 50 tot 100%
  - Van 5 tot 200% bij hogere CPU-versies. (zie F29)
- **Functie van de elektronische thermische beveiliging van de motor**
  - Nominale motorstroom  $I_m$
  - Nominale frequentieregelaarstroom  $I_f$
  - $I_m = I_f \times F_{n\_18}$
  - $F_{n\_18} = I_m / I_f$
  - Wanneer de belasting binnen 100% van de nominale motorstroom ligt, blijft de werking duren.
  - Wanneer de belasting 150% van de nominale motorstroom bereikt, kan de werking maar 1 minuut langer duren (zie curve (1) in figuur 3).



- Nadat de elektronische thermische beveiliging werd geactiveerd, wordt de frequentieregelaar onmiddellijk uitgeschakeld. De melding OL1 knippert. Om de werking te hervatten, op de RESET-knop drukken of een externe resetklem activeren.
- Wanneer de motor werkt aan een lage snelheid, is de efficiëntie van de hitteafvoer kleiner. Het activeringsniveau van de elektronische thermische beveiliging wordt ook verlaagd (wijziging van curve (1) naar curve (2) in figuur 3). Kies de gepaste  $F_{n\_05}$ -instelling voor de gebruikte motor om een betere beveiliging te bekomen.
- **Functie van de elektronische thermische frequentieregelaarbeveiliging**
  - Wanneer de belasting binnen 103% valt van de nominale frequentieregelaarstroom, blijft de werking duren. Wanneer de belasting 150% van de nominale frequentieregelaarstroom bereikt, kan de werking maar 1 minuut voortduren (zie curve (1) in figuur 3)
  - Nadat de elektronische thermische beveiliging van de frequentieregelaar werd geactiveerd, wordt de frequentieregelaar onmiddellijk uitgeschakeld. De melding OL2

knippert. Om de werking te hervatten, op de RESET-knop drukken of een externe resetklem activeren.

- **F19: functie multifunctionele ingangsklem 1**
  - **F20: functie multifunctionele ingangsklem 2**
- In F19 en F20 kan men de multifunctionele klemmen definiëren.

- **F19 of F20='1':**

- het al dan niet gebruiken van de JOG-frequentie. Zie ook F09.

- **F19 = '2' én F20 = '6':**

- controle van de multi-snelheid; enkel bij hogere CPU's (zie F29)
- Hieronder staat wat er gebeurt bij de verschillende instellingen:

TM2 SP1 klem	TM2 RESET klem	Uitgangsfrequentie
ON	OFF	SP1 (Fn_08)
OFF	ON	SP2 (Fn_26)
ON	ON	SP3 (Fn_27)

- **F19 = '6' én F20 = '2':**

- controle van de multi-snelheid; enkel bij hogere CPU's (zie F29)
- Hieronder staat wat er gebeurt bij de verschillende instellingen:

TM2 SP1 Terminal	TM2 RESET Terminal	Uitgangsfrequentie
ON	OFF	SP1 (Fn_26)
OFF	ON	SP2 (Fn_08)
ON	ON	SP3 (Fn_27)

- **F19 of F20 = '3':**

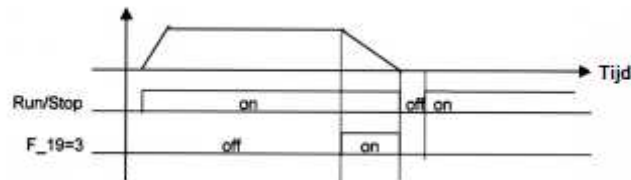
- Naam instelling: Extern signaal van de noodstop
- Indien deze terminal met deze instelling geactiveerd wordt, dan gaat de frequentie over tot een vertraagde stop. De instelling van F14 wordt genegeerd. Na het stoppen knippert E.S. (Emergency Stop).
- Na het wegnemen van het noodstopsignaal, moet men de RUN-schakelaar in 'OFF' plaatsen, en dan pas terug AAN-zetten (F10 = '1') of op de toets 'RUN' drukken (F10 = '0'). Hierna start de frequentieregelaar opnieuw op.

- Opdracht:

- Zou je de noodstop rechtstreeks aan deze terminal kunnen hangen?
- Hoe los je dit dan op?

- **F19 of F20 = '4':**

- Naam instelling: Extern basisblok (onmiddellijke uitschakeling)
- Indien er een hoog signaal is, zal de frequentieregelaar uitschakelen. Het ledje 'B.B.' zal knipperen. Herstarten zoals bij noodstop.

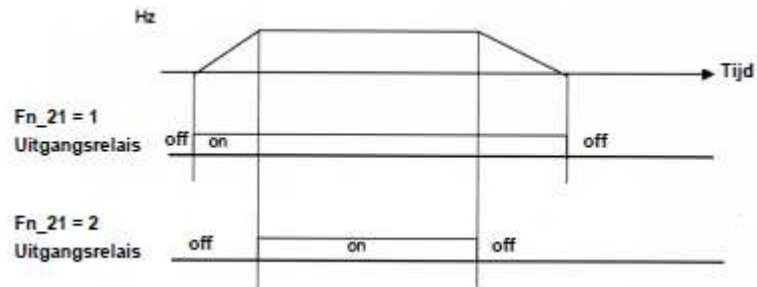


- **F19 of F20 = '5':**

- Naam instelling: Reset bij frequentieregelaarfout

- **F21: multifunctionele uitgangsklem**

- De uitgang kan - via F21 - drie instellingen hebben:
  - F21 = '1':
    - Signaal is actief als de frequentieregelaar in werking is.
  - F21 = '2':
    - Signaal is actief als de aangelegde frequentie overeenkomt met het setpoint.



- F21 = '3':

- Signaal is actief als er een foutcode optreedt in de frequentieregelaar.  
De uitgang reageert bij de volgende fouten: CPF, OL1, OL2, OCS, OCA, ACC, OCD, Acd, Ocb, OVC, LVC en OHC

- **F22: omkeerinstructie**

- In deze functie kan men ervoor zorgen dat de motor niet van zin kan veranderen. In sommige toepassingen – denk maar aan pompen – kan dit zeer interessant zijn.
- F22 = '0':
  - Men kan omkeren. (Zie F04)
- F22 = '1':
  - Men kan niet omkeren. Als F04 = '1', dan kan men F22 niet instellen.

- **F23: Herstart na tijdelijk stroomverlies**

- Het kan zijn dat de wisselstroomtoevoer kleiner is dan het niveau van de onderspanningbeveiliging. De frequentieregelaar zal dan direct stoppen met werken. Op het scherm komt: 'LV-C' tot de tussenstroomkring ontladen is.
- **F23='0': herstart is ingeschakeld**
  - Als de spanningsonderbreking korter is dan 2sec dan zal de regelaar herstarten. Hierbij is het aantal dat men kan herstarten NIET beperkt door F24.
  - Bij langere spanningsonderbreking is de werking van de regelaar afhankelijk van F10 en het stuurcommando.
    - (1) Fn\_10 = 0: de regelaar zal niet opnieuw starten.
    - (2) Fn\_10 = 1 en stuurcommando (FWD, REV) is OFF, regelaar zal niet opnieuw starten.
    - (3) Fn\_10 = 1 en stuurcommando (FWD, REV) is ON, regelaar zal automatische herstart uitvoeren.
    - Opmerking: om veiligheidsredenen is het wenselijk het stuurcommando weg te nemen na een spanningsonderbreking.
  - Indien de spanningonderbrekingstijd tussen de twee bovenstaande gevallen zit, dan is herstarten van de regelaar afhankelijk van de instellingen van F24.
- **F23='1': herstart is uitgeschakeld**
  - De regelaar herstart niet, ook al is de voedingspanning opnieuw aanwezig.
  - Bij langere spanningsonderbreking is de werking van de regelaar afhankelijk van F10 en het stuurcommando. (zie hierboven)

- **F24: aantal herstarts**

- F24 kan tussen 0 en 5 liggen.
  - Bij F24 = '0' is er geen herstart mogelijk.
  - Als F24 > '0' dan is dit o.a. afhankelijk van de instellingen in F23.
- De regelaar herstart niet als de regelaar is ingesteld op vertraging of gelijkstroomremmen.
- Het aantal keer dat er herstart werd, wordt terug op '0' geplaatst als:
  - Er geen extra storing voorkomt binnen de 10 minuten.  
OF
  - Er een RESET-sigitaal aanwezig is (via toetsenbord, of via terminals).

- **F25: functie fabrieksinstellingen**

- Hiermee wordt de regelaar indien nodig gereset naar de oorspronkelijke fabrieksinstellingen.
  - F25 = '010': initialiseren van de constanten voor 50Hz-systeem.
  - F25 = '020': initialiseren van de constanten voor 60Hz-systeem.

- **F26: SP2 (1 tot 200Hz): multi-snelheid 2**
- **F27: SP3 (1 tot 200Hz): multi-snelheid 3**
  - Zie F19 en F20
- **F28: direct start**
  - **F28 = '0':**
    - de regelaar is direct actief als er een extern 'RUN'-commando aanwezig is.
  - **F28 = '1':**
    - Direct start niet actief ook indien er een extern Runcommando aanwezig is.
    - Opmerking: F28 = 1 en F10 = '1': men moet eerst het Runcommando wegnemen, en dan opnieuw laten starten.
- **F29: softwareversie**
- **F30: fouthistoriek**

**8. Opdrachten**

Opdracht 1:

- a. Zet de frequentieregelaar terug in zijn fabrieksinstellingen.
- b. Je maakte hiervoor gebruik van F..... . Deze functie stelde je in op ..... .
- c. Welke U/f-karakteristiek ( 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6) wordt er dan geactiveerd? Wat is de kippfrequentie dan bij de U/f-karakteristiek?
- d. Draait de motor in de juiste richting?
- e. Probeer de frequentieregelaar zo in te stellen dat de motor in de andere richting draait. Welke functie gebruikte je hiervoor? F... Deze functie werd als volgt ingesteld: .....
- f. Stel de draairichting nu goed is, en zorg er voor dat de motor niet meer kan omkeren. Je maakte gebruik van functie F... Die ingesteld werd op `...'. Bij welke toepassingen is dit interessant? .....
- g. Als je de frequentieregelaar laat aanlopen tot 50Hz, welke spanning meet je dan?
- h. Vul de volgende tabel verder aan:

Frequentie (Hz)	Spanning (V)
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	

- i. Meet de koppeltoerentalcurven op voor de frequenties tot 50Hz uit de bovenstaande tabel. Wat merk je van het kippkoppel? .....
- .....
- Hoe zou je dit kunnen oplossen met deze frequentieregelaar? .....
- .....
- .....

Probeer je oplossing eens uit. Meet dan opnieuw voor elke frequentie tot 50Hz zowel de spanning als de koppeltoerentalcurve.

- Merk je een verschil? .....
- Hoe groot is het verschil? Druk dit verschil procentueel (%) uit.

<b>Frequentie (Hz)</b>	<b>Spanning 1°maal (V)</b>	<b>Spanning 2°maal (V)</b>
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		

Opdracht 2:
-------------

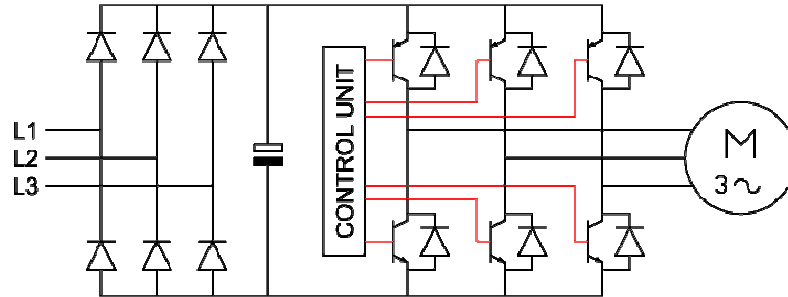
- Stel opnieuw de fabrieksinstellingen voor 50Hz in.
- Probeer de motor nu te doen remmen via de frequentieregelaar.
  - Probeer dit te doen m.b.v. de gelijkstroomrem.
    - Bij 100Hz moet de motor kunnen stoppen binnen de 10 seconden. Dit moet gecontroleerd gebeuren.
  - Stel de juiste functies in.
  - Met welke functies moet je dit doen?
- Stel de fabrieksinstellingen in.
- Laat de frequentieregelaar werken vanaf de terminals.
  - Gebruik een start- en een stopknop hiervoor die je moet blijven indrukken.
  - Leg uit hoe je dit doet.
    - Welke functies ga je gebruiken?
    - Hoe stel je deze functies in?
- Stel de parameters zo in dat de regelaar niet sneller dan 50Hz kan.



## 9. Extra: Binnen een frequentieregelaar

### 9.1. Inleiding

Een frequentieregelaar bestaat uit een gelijkrichter, een gelijkgerichte kring en een wisselrichter.



In deze bundel worden de verschillende stappen besproken; alsook de belangrijkste regelsystemen worden aangehaald: U/F en fluxvector.

## 9.2. Bouw

### 9.2.1. Overzicht van de bouw

Zoals net aangehaald bestaat de frequentieregelaar uit:

- Gelijkrichter
- Tussenkring
- Wisselrichter

### 9.2.2. Gelijkrichter

Het doel van een gelijkrichter ligt in het woord zelf. De taak van een GR bestaat er immers uit om een wisselspanning naar een gelijkspanning of -stroom om te vormen. Dit kan op verschillende manieren. Hieronder staan er een aantal elektronische oplossingen.

#### 9.2.2.1. éénfasige gelijkrichters (inductief belast)

	ENKELZIJDIG	DUBBELZIJDIG (middenaftakking)	DUBBELZIJDIG (brugschakeling)
$U_{gi}$ = gemiddelde afgegeven gelijkspanning bij nullast. $I_g$ = gelijkstroom door belasting			
Ideale diode en transformator. Netfrequentie: $f$			
$P_{gi} = U_{gi} \cdot I_g$			
<b>BELASTING</b>	Fig. 7-28		Fig. 7-29
	belasting		
$I_{RMS}$	$R$	$1,57 I_g$	$1,11 I_g$
$U_{RMS}$	$R$	$1,57 U_{gi}$	$1,11 U_{gi}$
rimpelfrequentie	$R$	$f$	$2f$
rimpelfactor $r(+)$	$R$	121	47,2
<b>TRANSFORMATOR</b>			
	belasting		
$U_{RMS}$ secundair	$R/L$	$2,22 U_{gi}$	$2,22 U_{gi}$ (totaal)
$I_{RMS}$ secundair	sinusgolf	$1,57 I_g$	$0,785 I_g$
	rechthoek	—	$0,71 I_g$
$V_{A}$ secundair	sinusgolf	$3,49 P_{gi}$	$1,23 P_{gi}$
	rechthoek	—	$1,57 P_{gi}$
$V_{A}$ primair	sinusgolf	$3,49 P_{gi}$	$1,23 P_{gi}$
	rechthoek	—	$1,11 P_{gi}$
<b>PER DIODE (minimale specificaties)</b>			
	belasting		
gemiddelde stroom $I_{FV}$	$R/L$	$I_g$	$0,5 I_g$
effectieve stroom $I_{F(RMS)}$	$R$	$1,57 I_g$	$0,786 I_g$
maximale stroom $I_{FPM}$	$R$	$3,14 I_g$	$1,57 I_g$
	$L$	—	$I_g$
maximale inverse $U_{RRM}$	$R/L$	$3,14 U_{gi}$	$3,14 U_{gi}$
vormfactor $a = \frac{I_{RMS}}{I_{AV}}$	$R$	1,57	1,57

**9.2.2.2. Driefasige gelijkrichters (inductief belast)**

	ENKELZIJDIG	DUBBELZIJDIG (middenaftakking)	DUBBELZIJDIG (brugschakeling)	
<p><math>U_{gi}</math> = gemiddelde nul-lastgelijkspanning op de belasting.</p> <p><math>I_g</math> = gelijkstroom door de belasting</p> <p>Ideale diode en transformator.</p> <p>Netfrequentie: <math>f</math></p> <p><math>P_{gi} = U_{gi} I_g</math></p>				
<b>BELASTING</b>		Fig. 7-31	Fig. 7-32	
	belasting			
$I_{RMS}$	$R$	$1,02 I_g$	$I_g$	$I_g$
$U_{RMS}$	$R$	$1,02 U_{gi}$	$U_{gi}$	$U_{gi}$
rimpelfrequentie	$R$	$3 f$	$6 f$	$6. f$
rimpelfactor $r$ (%)	$R$	18,3	4,3	4,3
<b>TRANSFORMATOR</b>				
	belasting			
$U_{RMS}$ (secondaire fase-spanning)	sinus / rechthoek	$0,855 U_{gi}$	$0,74 U_{gi}$	$0,428 U_{gi}$
$I_{RMS}$ secundair	sinus / rechthoek	$0,58 I_g$	$0,408 I_g$	$0,816 I_g$
VA secundair	sinus / rechthoek	$1,48 P_{gi}$	$1,81 P_{gi}$	$1,05 P_{gi}$
VA primair	sinus / rechthoek	$1,21 P_{gi}$	$1,28 P_{gi}$	$1,05 P_{gi}$
<b>PER DIODE (minimale specificaties)</b>				
	belasting			
gemiddelde stroom $I_{FAV}$	$R/L$	$0,333 I_g$	$0,167 I_g$	$0,333 I_g$
effectieve stroom $I_{F(RMS)}$	$R/L$	$0,577 I_g$	$0,408 I_g$	$0,577 I_g$
maximale stroom $I_{FPM}$	$R$	$1,21 I_g$	$1,05 I_g$	$1,05 I_g$
	$L$	$I_g$	$I_g$	$I_g$
maximale inverse $U_{RRM}$	$R/L$	$2,09 U_{gi}$	$2,09 U_{gi}$	$1,05 U_{gi}$
vormfactor $a = \frac{I_{RMS}}{I_{AV}}$	$R/L$	1,73	2,44	1,73

**9.2.2.3. Gestuurde gelijkrichters = Mutatoren**

9.2.2.3.1. Halfgestuurde éénfasige brugschakeling

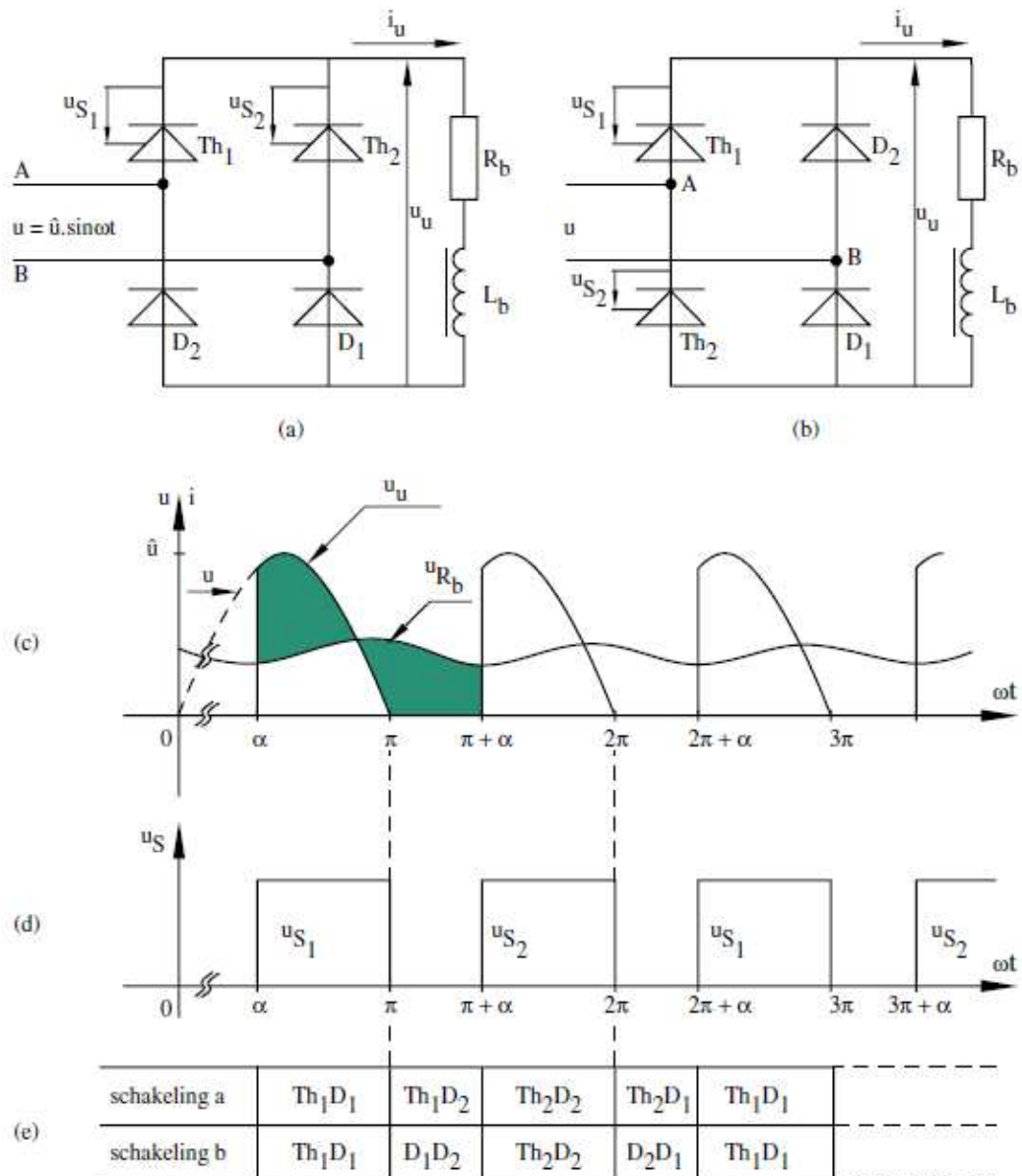
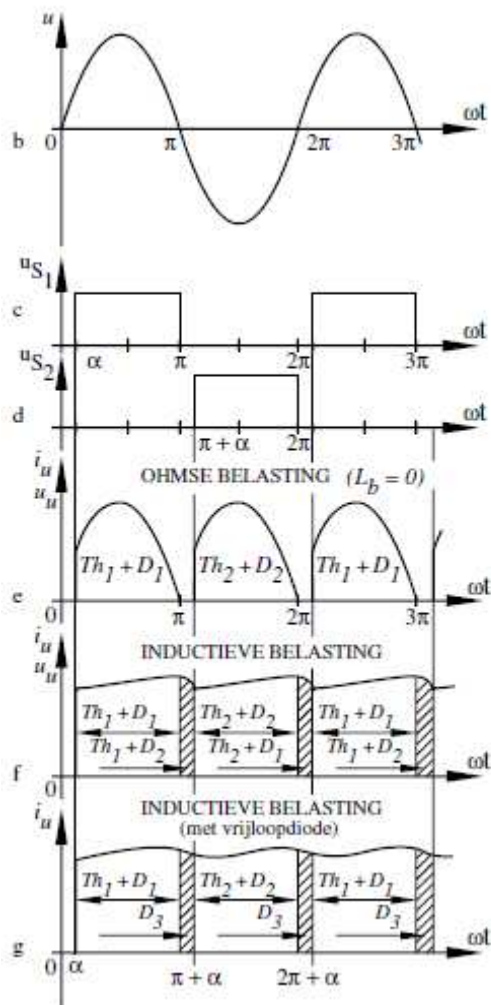
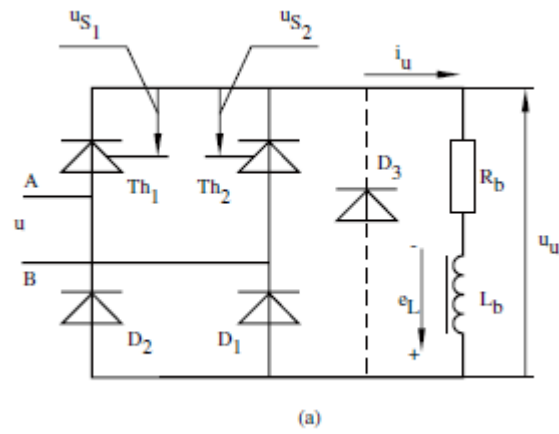


Fig. 8-31: Halfgestuurde B<sub>2</sub>-mutator.

**Opmerking:**

Vaak maak men gebruik van een vrijloopdiode; anders zou het kunnen dat de thyristor zou blijven geleiden!



9.2.3. Tussenkring

9.2.4. Wisselrichter

9.3. Werking van de onderdelen

9.4. Conclusies

## **10. Veiligheid (bron: MoviMot, SEW-Drive)**

### *Veiligheidsconcept*

- Bij dreigend gevaar moeten potentiële risico's van een machine zo snel mogelijk worden weggenomen. Stilstand met voorkoming van opnieuw aanlopen is in de regel de veilige toestand voor risicovolle bewegingen.
- De frequentieregelaar MOVIMOT® onderscheidt zich door de aansluitmogelijkheid van een extern gewaarborgd prototypegekeurd veiligheidsrelais (conform categorie 3, EN 954-1). Dit veiligheidsrelais schakelt alle actieve elementen die nodig zijn voor het genereren van impulsen voor de vermogenseindtrap (IGBT) naar de stroomloze toestand (uitschakeling van de 24V-voeding) als een aangesloten bedienings-element (bijvoorbeeld noodstopknop met vergrendelfunctie) wordt geactiveerd.
- De uitschakeling van de 24V-voeding waarborgt dat alle voedingsspanningen die voor de werking van de frequentieregelaar noodzakelijk zijn veilig worden onderbroken, zodat de installatie niet vanzelf opnieuw kan aanlopen.
- In plaats van door een galvanische scheiding van de aandrijving van het net door elektromagnetische of handbediende schakelaars, wordt door de hier beschreven uitschakeling van de 24V-voeding de aansturing van de vermogenshalfgeleiders in de frequentieregelaar op een veilige manier voorkomen. Daardoor wordt de functie die het draaiveld voor de desbetreffende motor genereert, uitgeschakeld. De motor kan in deze toestand geen koppel ontwikkelen, hoewel de voedingsspanning aangesloten blijft.
- De vereisten voor het veiligheidsrelais worden in de onderstaande paragrafen nauwkeurig vastgelegd en moeten strikt in acht worden genomen.

Als er een geschikte externe schakeling wordt gebruikt, via een veiligheidsrelais dat

- minimaal is toegelaten voor categorie 3,
- met twee kanalen is uitgevoerd,
- over kortsluitdetectie beschikt,

kan het aandrijfsysteem MOVIMOT® met veiligheidsuitschakeling volgens stop-categorie 0 of 1 (conform EN 60204-1) en gewaarborgde beveiliging tegen opnieuw aanlopen volgens veiligheids categorie 3 (conform EN 954-1) worden toegepast.

**11. Conclusies.**

In deze bundel werden dus de volgende zaken besproken:

- doel van een frequentieregelaar
- voordelen van een frequentieregelaar
- nadelen van een frequentieregelaar
- interne bouw van een frequentieregelaar
- opties bij een frequentieregelaar
- ...