

Practicum kortsluitankermotor met frequentie-omvormer

Doel van de meting

Deze proef dient om de student inzicht te geven in de werking van de kortsluitankermotor. Tevens om te leren hoe de nominale gegevens, zoals opgegeven door de fabrikant, geïnterpreteerd moeten worden.

Inleiding

Bij deze metingen moet gekeken worden hoe de motor zich gedraagt onder verschillende belastingen. Als belasting wordt een synchrone machine gebruikt.

Hiermee kan het koppel ingesteld worden en samen met het toerental gemeten worden.

Een KA-motor kan in ster of in driehoek op het net aangesloten worden, dit is afhankelijk van de gegevens van de motor.

Staat op de kenplaat van de motor 220V/380V, dan betekent dit dat de fasespanning ten hoogste 220V mag zijn. Dus op een net van 3 x 380V (lijnspanning) kan deze motor dus alleen in ster worden aangesloten.

De door ons gebruikte motor kan in ster en driehoek aangesloten worden.

Het toerental van een KA-motor wordt bepaald door de frequentie van de aangelegde spanning en het aantal poolparen in de motor.

Op het lab hebben we de beschikking over frequentieomvormers waarmee de frequentie traploos geregeld kan worden. Tijdens de metingen dient onderzocht te worden hoe de motor zich gedraagt (koppel-toeren) bij verschillende frequenties. Over de principe werking van een frequentieomvormer is een bijlage toegevoegd.

Vorbereiding van de metingen: Lees onderstaande bijlagen en presentatie.

Bijlage: Draaistroom-asynchroonmotor

Bijlage :Eigenschappen van de kortsluitankermotor.

Bijlage :De kenplaat van een motor.

Bijlage :Uitvoeringsvormen elektromotoren.

Bijlage :Principe van de frequentie-omvormer.

Kenplaatgegevens van de machine zuil A1 en A5: _____ Kenplaatgegevens van de machine A6:

Motor: 4 kW

IP55

Motor: 4 kW

IP55

400/690V

$\cos\phi = 0,84$

400/690V

$\cos\phi = 0,81$

8,3/4,8A

1445 omw/min

8,1/4,7A

1455 omw/min

isolatieklasse H

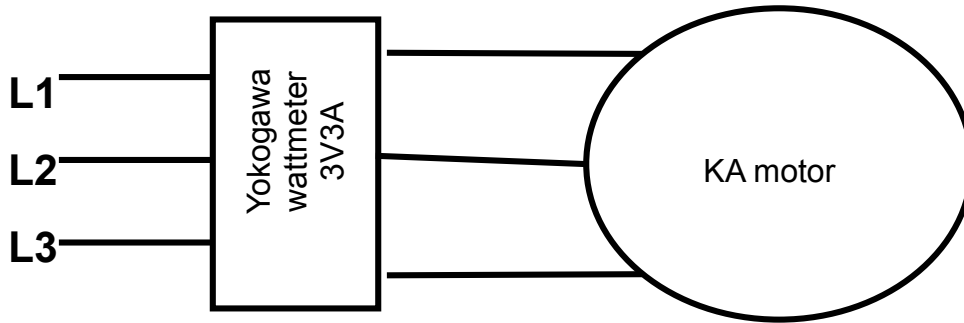
isolatieklasse H

Metingen:

De KA-motor aansluiten volgens onderstaande schema 1.

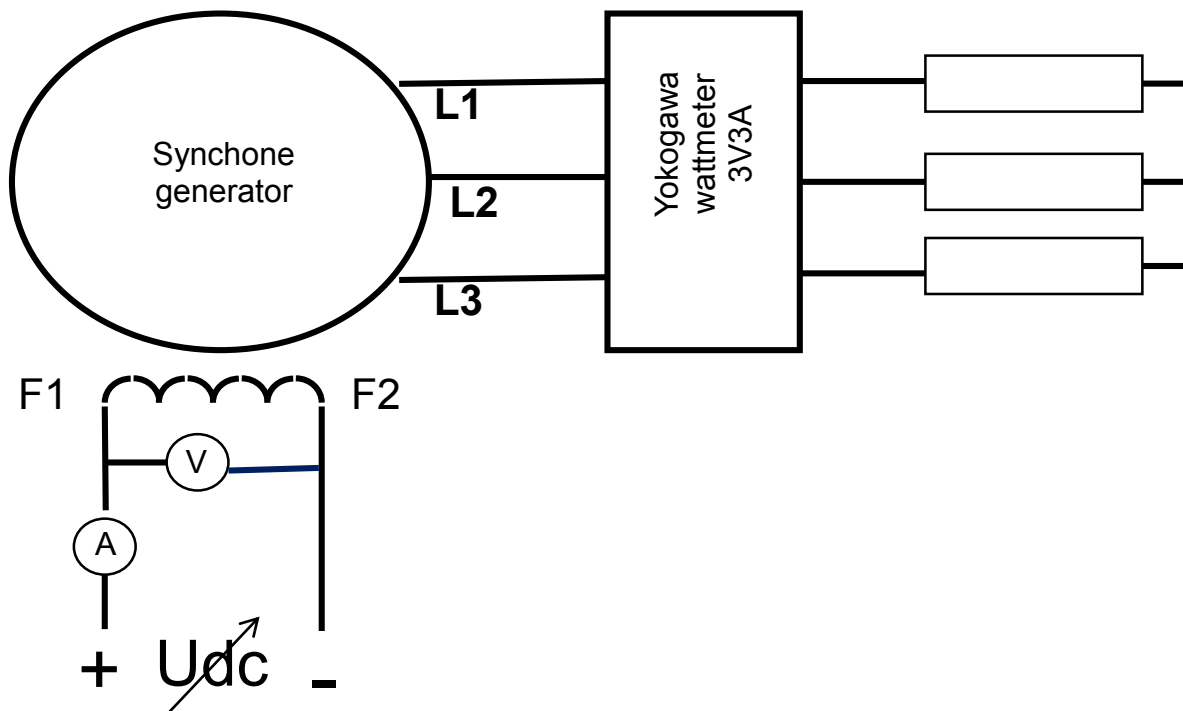
Voor aansluiten van de motor in ster of driehoek zie bijlage: "Eigenschappen van de kortsluitankermotor" in dit diktaat

Schema 1



De synchrone generator aansluiten volgens onderstaande schema 2.

Schema 2



Neem in de voeding van de motor de wattmeter van Yokogawa op volgens de aansluitmethode 3V3A.

De motor eerst in ster schakelen en voor 2^e deel van meting 1 in driehoek.

De grootheden $P, U, I, f, \cos\varphi$ van de generator meten m.b.v. Yokogawa wattmeter (3V3A).

Het bekrachtigen van de generator wordt uitgevoerd "handmatig" met DC-voeding.

Let op! Deze DC-voeding heeft een eigen aan/uit-schakelaar.

Als belasting gebruik maken van een 3 fasen-weerstandkast.

Opstelling laten controleren.

Waarschuwing

De meting wordt uitgevoerd met een spanning van 400V, werk dus veilig voor uzelf en anderen. Verder hebben we te maken met sneldraaiende onderdelen. (dus niet aanraken en oppassen met loshangende kledingstukken, stropdassen ed. en lange haren).

Meting 1:

De motor inschakelen in ster.

Meet bij nullast alle grootheden zie meetprotocol.

De schakelaars op de weerstandkast op "6,9A /220V" zetten.

Nu de motor belasten tot $I_{nom} = 4,8$ of $4,7$ A door de magnetiseringsstroom van de generator op te regelen. Meet alle grootheden zie meetprotocol.

De belasting van de motor afhaken door de de magnetisatiestroom van de generator terug te regelen naar 0 A. De motor uitschakelen en de voedingsspanning uitzetten.

Meting 2:

De motor aansluiten in driehoek en aansluiting laten controleren.

Motor inschakelen. Meet bij nullast alle grootheden zie meetprotocol.

Nu de motor weer belasten tot $I_{nom} = 8,3$ of $8,1$ A. Meet alle grootheden zie meetprotocol.

De motor uitschakelen en de voedingsspanning uitzetten.

Meting 3:

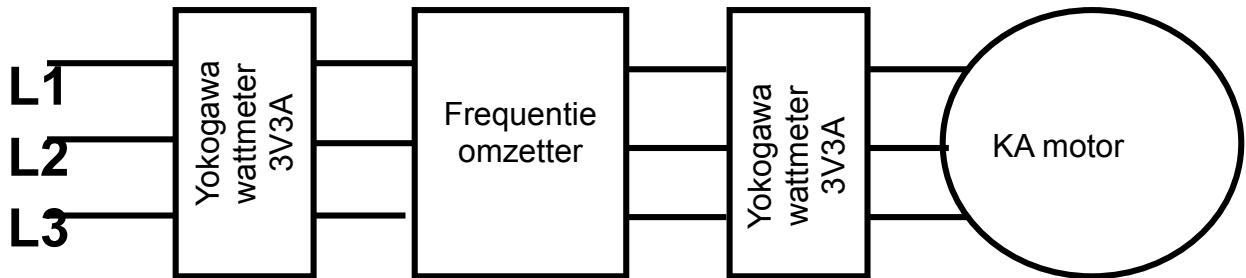
Bepaling van de $\cos\varphi$ bij verschillende belastingen van de motor.

Motor in driehoek. Meet de $\cos\varphi$ en de stroom bij verschillende waarden van het askoppel tussen 0 en 27 Nm. (Stappen van bijv 3 Nm).

Meting 4:

De motor in driehoek aansluiten volgens onderstaande schema 3. (Generator aangesloten laten volgens schema 2). De motor wordt nu aangesloten via de frequentieomzetter (FO). Voor deze FO wordt een tweede wattmeter geplaatst.

Schema 3



Opstelling laten controleren.

De voedingsspanning naar de FO inschakelen.

De motor starten en de uitgangsfrequentie afstellen op 30 Hz.

In nullast het toerental en koppel meten .

Nu de motor weer belasten tot $I_{nom} = 8,3A$. Meet alle grootheden zie meetprotocol.

De belasting van de motor afhaken.

Stel de frequentie nu af op 40Hz .

In nullast het toerental en koppel meten .

De motor weer belasten tot $I_{nom} = 8,3A$. Meet alle grootheden zie meetprotocol.

Elke volgende meting de frequentie verhogen met 10 Hz tot maximum 60 Hz..

Meting 5 (demo meting door docent):

Sluit de motor aan voor het doen van de kortsluitproef. **Laat de opstelling controleren.**

Voer de kortsluitproef uit.

Hiertoe dient de rotor geblokkeerd te worden. Met behulp van een drie-fase weerstandskast regelt u de voedingsspanning van nul tot de nominale stroom door de motor loopt.

Opdrachten KA motor en frequentieomzetter:

Deze opdrachten uitwerken na bestudering van de theorie.

1. Bereken mbv de kenplaatgegevens het nominaal koppel van deze motor in driehoek.

2. Wat betekent IP 55 zie bijlage "uitvoeringsvormen van elektromotoren".

3. Bij meting 1 en 2 is bij nullast en vollast M en n gemeten. Met deze twee punten van de koppeltoerenkromme is het werkgebied van deze karakteristiek te tekenen (lineair).

Zet deze twee lijnen in één figuur

Schets in dezelfde grafiek de rest van de koppel-toerenkromme. (Zie bijlage blz 36).

Zie bijlage eigenschappen van de kortsluitankermotor voor de verhouding van maximum- en aanzetkoppel.

Trek conclusies t.a.v. de invloed van ster en driehoek schakelen op het aanzetkoppel van de motor.

4. Teken een karakteristiek van de $\cos\phi$ als functie van de belasting (koppel). Trek je conclusies tav de $\cos\phi$ van een draaistroommotor in relatie tot de belasting.

5. Teken op dezelfde manier als bij opdracht 3 de lineaire delen van de koppeltoerenkrommen bij de verschillende frequenties van meting 4 in één figuur. (Zie bijlagen verderop)

Trek hieruit conclusies t.a.v. de invloed van frequentieverlaging/verhoging op het koppel van de motor.

6. Wat gebeurt er met de grootte van de uitgangsspanning bij frequentieverlaging/verhoging en wat is hiervan de invloed op het koppel van de motor?

7. Bepaal het rendement van de motor bij de verschillende meetsituaties.

Bepaal ook het rendement van de motor vanuit de kenplaatgegevens en vergelijk dit met het gevonden rendement en trek hieruit je conclusies.

8. Bepaal het rendement van de FO bij de verschillende meetsituaties.

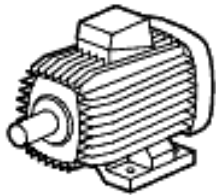
Wat is je conclusie tav van deze rendementen.

9. Hoe groot wordt de stroom als de rotor tijdens normaal bedrijf ($U = 3 \times 380 \text{ V}$) geblokkeerd wordt? (Bereken m.b.v. de meetgegevens van de kortsluitproef).

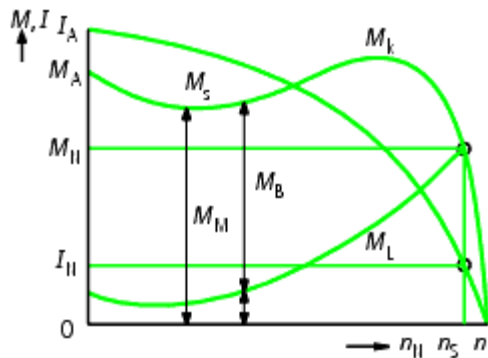
Bijlage: Draaistroom-asynchroonmotor

Een aandrijving vereist op de eerste plaats een motor, waarvan de eigenschappen m.b.t. toerental, draaimoment en regelbaarheid passen voor de gestelde toepassing.

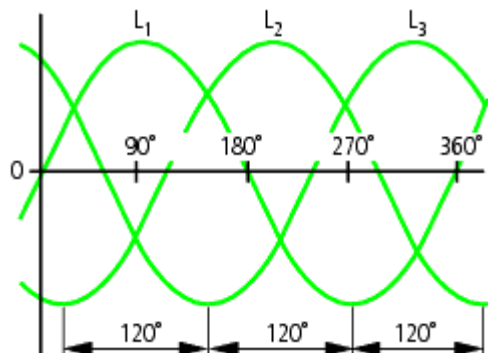
De wereldwijd meest toegepaste motor is de draaistroom-asynchroonmotor. De robuuste en eenvoudige constructie, alsmede de hoge veiligheidsklassen en gestandaardiseerde bouwvormen zijn kenmerken van de voordelige en meest gebruikelijke elektromotor.



Kenmerkend voor de draaistroommotor zijn de startkarakteristieken, met aanlooptmoment M_A , kantelmoment M_k en nom. moment M_N .



Bij een draaistroommotor zijn drie wikkelingslussen, telkens $120^\circ/p$ (p = aantal poolparen) t.o.v. elkaar geplaatst. Door het aansluiten van een driefasige met 120° in de tijd verschoven spanning, wordt in de motor een draaiveld opgewekt.



Door de inductiewerking worden in de rotorwikkeling draaiveld en draaimoment opgewekt. Het toerental van de motor is daarbij afhankelijk van het aantal poolparen en de frequentie van de voedingsspanning. De draairichting kan door het wisselen van twee aansluitfasen worden omgekeerd:

$$n_s = \frac{f \times 60}{p}$$

n_s = omwentelingen per minuut

f = frequentie van de spanning in Hz

p = aantal poolparen

Voorbeeld: 4-polige motor (aantal poolparen = 2), netfrequentie = 50 Hz, $n = 1\ 500\ \text{min}^{-1}$ (synchrone toerental, toerental van het draaiveld)

Vanwege de diverse verliezen kan de rotor van de asynchroonmotor het synchrone draaiveldtoerental niet bereiken. Het verschil tussen synchroontoerental en rotortoerental wordt slip genoemd.

Sliptoerental:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Toerental van een asynchrone machine:

$$n = \frac{f \times 60}{p} (1 - s)$$

Voor vermogen geldt:

$$P_2 = \frac{M \times n}{9550} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$$P_1 = U \times I \times 3 - \cos \varphi$$

P_2 = asvermogen in kW

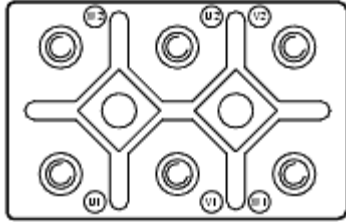
M = draaimoment in Nm

n = toerental in min^{-1}

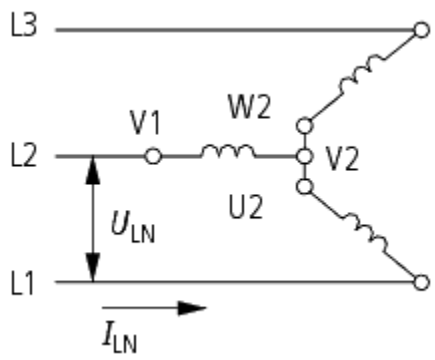
De elektrische en mechanische nom. gegevens van de motor zijn op de typeplaat vermeld.

Motor & Co GmbH	
Typ 160 I	
3 ~ Mot.	Nr. 12345-88
ΔY 400/690 V	29/17 A
S1 15 kW	cos φ 0,85
1430 U/min	50 Hz
Iso.-Kl. F	IP 54 t
IEC34-1/DE 0530	

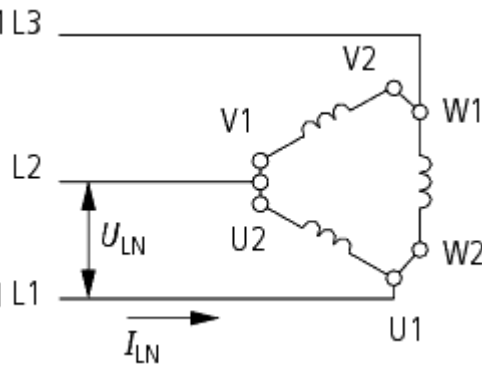
De elektrische aansluiting van de draaistroom-asynchroonmotor volgt in de regel met zes aansluitbouten. Daarbij maakt men onderscheid tussen twee principe schakelingen, de ster- en de driehoekschakeling.



Y-schakeling



Driehoekschakeling

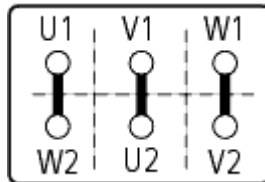
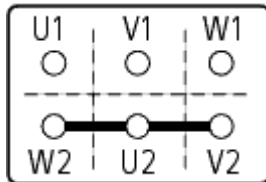


$$U_{LN} = \sqrt{3} \times U_W$$

$$I_{LN} = I_W$$

$$U_{LN} = U_W$$

$$I_{LN} = \sqrt{3} \times I_W$$



Opmerking:

In de bedrijfsschakeling moet de nominale spanning van de motor overeenstemmen met de netspanning.

Bijlage: Eigenschappen van de kortsluitanker motor

De KA-motor is de meest voorkomende elektromotor in de techniek. Dit is het geval dankzij een aantal gunstige eigenschappen te weten:

1. bedrijfszeker, robuuste uitvoering en onderhoudsvrij
2. groot aanzetkoppel
3. tussen nullast en vollast een nagenoeg constant toerental
4. overbelastbaar
5. door middel van vermogenselektronica goed in toeren regelbaar

Als belangrijkste nadelige eigenschap kan genoemd worden de hoge aanzetstroom bij directe aanzet. Deze aanzetstroom is afhankelijk van het motorvermogen en toerental en ligt tussen 3 à 7 maal I_{nominaal} (zie onderstaande tabel)

vermogen kW	vollast- toerental omw./min.	vollaststroom		vollast- cos φ	vollast rendement		aanloop- stroom %	aanloop- koppel %	max. koppel %	min. koppel %
		220 V	380 V		stand- daard %	geluid- arm %				
		A	A							
0.18	1360	1.10	0.63	0.73	59		320	210	220	200
0.25	1370	1.42	0.82	0.74	62		340	190	200	190
0.37	1360	1.90	1.10	0.77	67		360	190	210	180
0.55	1380	2.70	1.55	0.77	70		440	170	170	150
0.75	1380	3.45	2.0	0.78	72		480	210	220	200
1.10	1410	4.85	2.80	0.78	77		560	220	240	210
1.50	1415	6.60	3.80	0.76	78		600	280	300	260
2.2	1425	9.60	5.55	0.77	78.5		620	270	300	260
3.0	1430	11.8	6.80	0.83	81		620	220	250	210
4.0	1430	15.3	8.85	0.83	83		660	250	290	230
5.5	1440	21.6	12.5	0.82	83		650	240	320	210
7.5	1435	28.5	16.5	0.82	85		550	200	230	150
11.0	1440	40.0	23.0	0.83	87		600	210	260	170
15.0	1455	52.0	30.0	0.86	89		600	210	250	170
18.5	1455	63.0	36.5	0.86	89		600	230	250	170
22	1465	75.5	43.5	0.85	90		650	220	260	180
30	1460	100	58.0	0.87	90		600	200	240	170
37	1470	121	70.0	0.87	92		650	200	250	170
45	1465	150	86.5	0.86	92		650	220	250	170
55	1475	180	104	0.86	93	94	700	240	230	180
75	1480	246	142	0.86	93	94	700	200	220	170
90	1480	293	169	0.86	94	95	700	210	220	160
110	1485		207	0.86	94	95	700	210	240	190
132	1485		245	0.87	94	95	700	230	240	200
160	1480		296	0.87	94.5	95.5	650	180	210	160

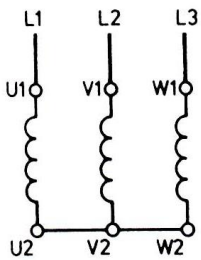
Bij gebruik van KA-motoren aan de wal tot 4 kW is directe aanzet op een driefasen net toegestaan. Daarboven moet men gebruik maken van een aanzetmethode om de aanzetstroom te beperken. De meest gebruikte aanzetmethoden zijn:

- a. ster-driehoek aanzetten, de aanzetstroom en koppel zijn $1/3$ van de waarde in driehoek
- b. softstarter, de spanning naar de motor wordt vanaf 40% opgeregeld tot 100%. Dit geeft een rustige aanloop. Ook is een softstop mogelijk. Het motorkoppel is kwadratisch afhankelijk van de motorspanning, dus is niet het volledige aanzetkoppel beschikbaar.
- c. aanzetten mbv een frequentie-omvormer, mbv van dit apparaat wordt de frequentie geregeld van 0 tot bijvoorbeeld 50 Hz in een ingestelde tijd. Voordeel hiervan is dat de motor aanloopt met het maximale koppel.

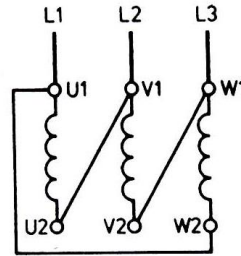
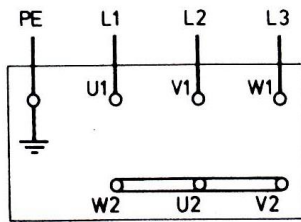
Motorgegevens:

Elke elektromotor moet voorzien zijn van een kenplaat. Op de kenplaat moeten o.a. de volgende technische gegevens vermeld worden:

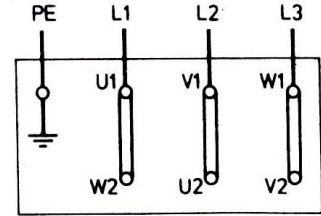
- Stroomsoort.
Hiermee wordt aangeduid voor welke stroomsoort de motor geschikt is, b.v. wisselstroom, draaistroom enz.
- Type en fabricagenummer.
Gebruikelijke aanduidingen voor het type van de motor zijn:
KA = Kortsluitankermotor (enkele kooiconstructie)
DKA of SKA = Dubbel kortsluitankermotor (dubbele kooiconstructie) respectievelijk speciaal kortsluitankermotor
SA = Sleepringankermotor
- Nominale vermogen.
Dit is het mechanische vermogen aan de as, uitgedrukt in watt (W) of kilowatt (kW).
- Nominale stroom.
Deze stroom wordt uit het net opgenomen wanneer de motor het vollastkoppel levert. Indien twee nominale spanningen op de motor vermeld zijn, moeten de beide hierbij behorende nominale stromen in dezelfde volgorde worden aangegeven.
- Nominale spanning.
De nominale spanning is de effectieve waarde van de spanning die tussen de hoofdklemmen moet worden aangesloten.
Voor driefasenmotoren is deze spanning gelijk aan de nominale gekoppelde spanning van het net, de z.g. *lijnsparing*. Een driefasenmotor is afhankelijk van de schakeling van de motorwindingen, geschikt voor twee netspanningen.
De veel gebruikte aanduiding 220/380 V op een driefasenmotor betekent dat deze motor geschikt is voor een netspanning van 220 V en 380 V.
De laagst aangegeven spanning komt overeen met de nominale spanning van elke winding van de motor.
Als één waarde van de spanning aangegeven is, moet tevens de schakeling vermeld worden. Zo niet, dan is de aangegeven spanning de nominale spanning van de fasewinding.
- Naast de genoemde gegevens moet de kenplaat nog nominale gegevens vermelden over het toerental, de frequentie, de arbeidsfactor en het soort bedrijf.



Motor aangesloten op een netspanning van 380 V



Motor aangesloten op een netspanning van 220 V



Voorbeelden kenplaat Motor 1:

380 - 415 V D	50Hz
7,5 kW	n = 1450 omw/min
14,6 A	cos φ = 0,85
IP55	

Deze motor mag in driehoek geschakeld worden op een net van 3 x 380 V (*in ster mag ook maar dan wordt het vermogen dat de motor kan leveren 1/3 van dat bij driehoek*).

Deze motor kan in ster-driehoek ingeschakeld worden om de aanzetstroom te beperken

$$I_{\text{aanzet ster}} = 1/3 \times I_{\text{aanzet driehoek}}$$

380 - 415 V betekent dat de spanning mag variëren tussen 380 en 415 V

$$P_{\text{as}} = 7,5 \text{ kW}$$

$$P_{\text{in}} = U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} = 400 \cdot 14,6 \cdot 0,85 \cdot \sqrt{3} \quad P_{\text{in}} = 8588 \text{ W}$$

$$\eta = P_{\text{as}} / P_{\text{in}} = 0,87$$

$$M_{\text{as}} = P_{\text{as}} / 2\pi \cdot n = 49,4 \text{ Nm}$$

IP55 geeft de beschermingsklasse aan tegen binnendringen van stof en water, zie bijlage uitvoeringsvormen.

Motor 2:

220 / 380 V	15,3 / 8,8 A
4 kW	cos φ = 0,85
n = 1450 omw/min	50 Hz
IP54	

Deze motor mag alleen in ster geschakeld worden op een net van 3 x 380 V.

De nominale stroom is dan 8,8 A.

De maximale spanning over één spoel mag 220 V zijn.

Bepaal nu zelf het rendement en het askoppel.

Bijlage: De kenplaat van een motor.

De kenplaat van een motor

Hiernaast is een voorbeeld van een kenplaat afgedrukt.

Volgens IEC-1 en NEN 3173 dient een kenplaat (voorkeursbenaming!) een aantal motor-eigenschappen te vermelden. Deze zijn onder andere:

- Fabrikant
- Serienummer
- Bedrijfstype (niet nodig bij S1: continubedrijf)
- Nominaal vermogen in kW
- Nominale spanning
- Nominale stroom
- Stroomsoort (3~ betekent draaistroom)
- Nominale frequentie
- Nominaal toerental
- Isolatieklasse
- Beschermingsklasse
- Pictogram van de schakelwijze (ster/driehoek)
- Cos φ
- Omgevingstemperatuur (niet nodig bij θ < 40 °C)
- Motorgewicht (niet nodig bij m < 1000 kg)

Gegevens van de motor van de afgebeelde kenplaat:

- Voor voeding vanuit driefasennet met frequentie 50 Hz
- Vermogen 0,75 kW
- Toerental 1400 min⁻¹
- Cos φ = 0,74
- Beschermingsklasse IP55
- Isolatieklasse F
- De motor kan in ster geschakeld worden: 380 V op de aansluitklemmen; 2,1 A per motorfase.
- De motor kan in driehoek geschakeld worden: 220 V op de aansluitklemmen; 3,6 A per motorfase.

ABB Motors

Motor 3~ 50 Hz No.MK113019-A
 MT 80B19-4 IP55 Cl.F
 ● 0.75 kW 1400 r/min cos φ = 0.74 ●
 380 VY 2.1 A 220 VΔ 3.6 A
 ⚡ EEx e II T3 IA/IN=4.7
 DEMKO No. Ex82-102 tE= 9s

- Aanloopstroom 4,7 · nominale stroom.
 - Als de motor niet aanloopt, moet binnen 9 seconden de overbelastingsbeveiliging aanspreken.
 - Bijzonder: deze motor is in een uitvoering met 'verhoogde veiligheid' (EExe) toepasbaar in explosiegevaarzone 1.

Het askoppel bedraagt:

$$T = \frac{P \cdot 9,55}{n} = \frac{750 \cdot 9,55}{1400} = 5,1 \text{ Nm}$$

Het rendement is te berekenen als quotiënt van nuttig (nominaal) vermogen en ingaand vermogen:

$$P_{in} = \sqrt{3} \cdot U I \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 2,1 \cdot 0,74 = 1021,6 \text{ W}$$

$$P_{as} = 750 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_{as}}{P_{in}} = 0,73$$

Het synchrone toerental bedraagt 1500 min⁻¹.

De relatieve slip

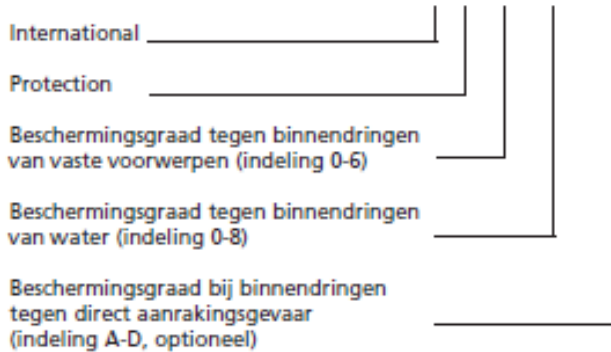
$$s = \frac{n_{slip}}{n_d} = \frac{1500 - 1400}{1500} = 0,066 = 6,6\%$$

Bijlage: Uitvoeringsvormen van elektromotoren:

IP beschermingsgraden.(kopie uit Holec handboek).

IP staat voor International Protection. Met deze codering wordt de mate van bescherming aangegeven, die elektrisch materieel biedt tegen het binnendringen van vocht en vaste voorwerpen en tegen direct aanrakingsgevaar.

De codering wordt als volgt aangegeven: I P 0-6 0-8 (A-D)



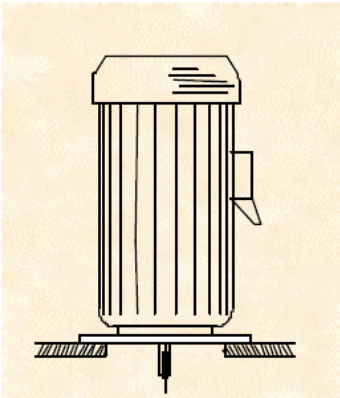
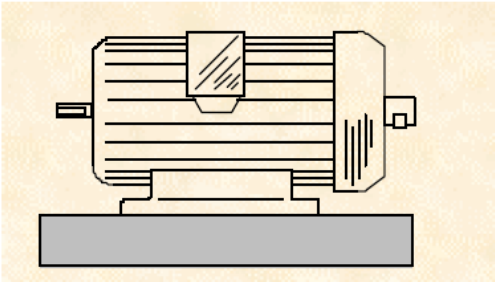
eerste ken-cijfer	beschermingsgraad		
	beknopte beschrijving	IP-aanduiding	benaming
0	niet beschermd	IP 0X(X)	
1	beschermd tegen binnendringen van een bol Ø 50 mm	IP 1X(X)	
2	beschermd tegen binnendringen van een bol Ø 12,5 mm	IP 2X(X)	aanrakings-veilig
3	beschermd tegen binnendringen van een draad Ø 2,5 mm	IP 3X(X)	
4	beschermd tegen binnendringen van een draad Ø 1 mm	IP 4X(X)	
5	beschermd tegen binnendringen van stof	IP 5X(X)	stofvrij
6	beschermd tegen binnendringen van stof bij onderdruk	IP 6X(X)	stofdicht

tweede kencijfer	beschermingsgraad			
	beknopte beschrijving	IP-aanduiding	benaming	opmerking
0	niet beschermd	IP X0(X)	gewoon	
1	beschermd tegen druppelend water	IP X1(X)	druipwaterdicht	
2	beschermd tegen druppelend water bij een schuine stand tot 15°	IP X2(X)		
3	beschermd tegen sproeiend water	IP X3(X)	regenwaterdicht	
4	beschermd tegen opspattend water	IP X4(X)	spatwaterdicht	
5	beschermd tegen waterstralen	IP X5(X)	sputwaterdicht	
6	beschermd tegen stortzeeën	IP X6(X)		
7	beschermd tegen onderdompeling	IP X7(X)	waterdicht	onderdompeling 1 meter diep, 30 min. lang
8	beschermd tegen verblijf onder water	IP X8(X)	drukwaterdicht	onderdompeling, diepte en tijd nader overeen te komen

Isolatieklasse met de daarbij behorende maximaal toelaatbare temperatuur van de isolatie.

isolatieklasse	Maximaal toelaatbare temp.
A	105 °C
E	120 °C
B	130 °C
F	155 °C
H	180 °C

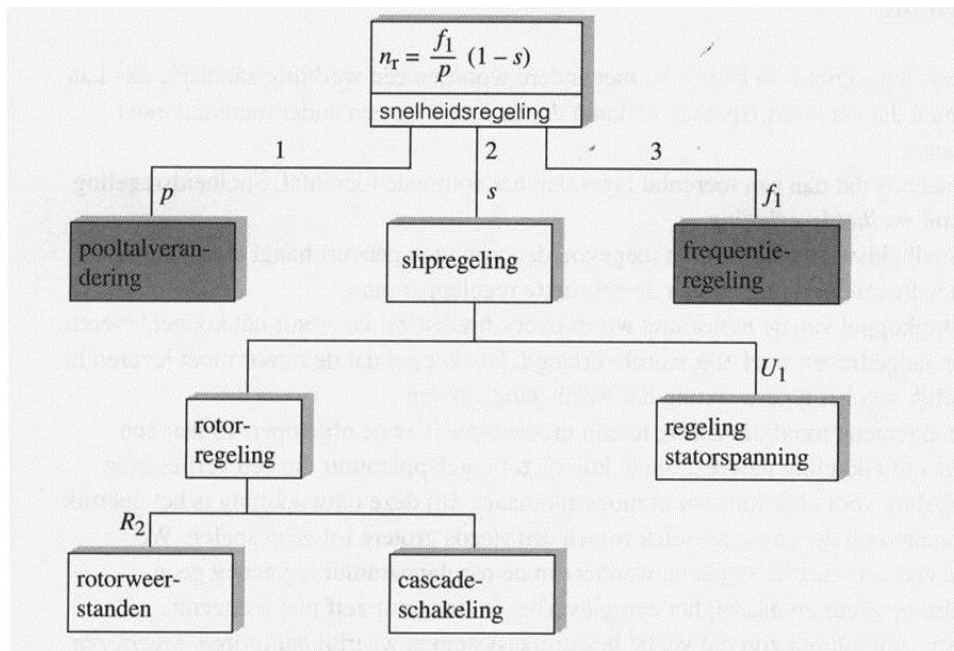
De meest gebruikte verticale en horizontale uitvoeringsvorm

<p>V1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verticale as • Horizontaal bevestigingsvlak • 2 lagerschilden • 1 asuiteinde aan de flenszijde onderaan • Bevestiging door flens met gaten in het onderste lagerschild 	
<p>B3</p> <ul style="list-style-type: none"> • Horizontale as • Horizontaal bevestigingsvlak • 2 lagerschilden • 1 asuiteinde • Bevestigingspoten aan het huis 	

Bijlage: Toerenregeling en frequentieomzetter voor draaistroommotoren.

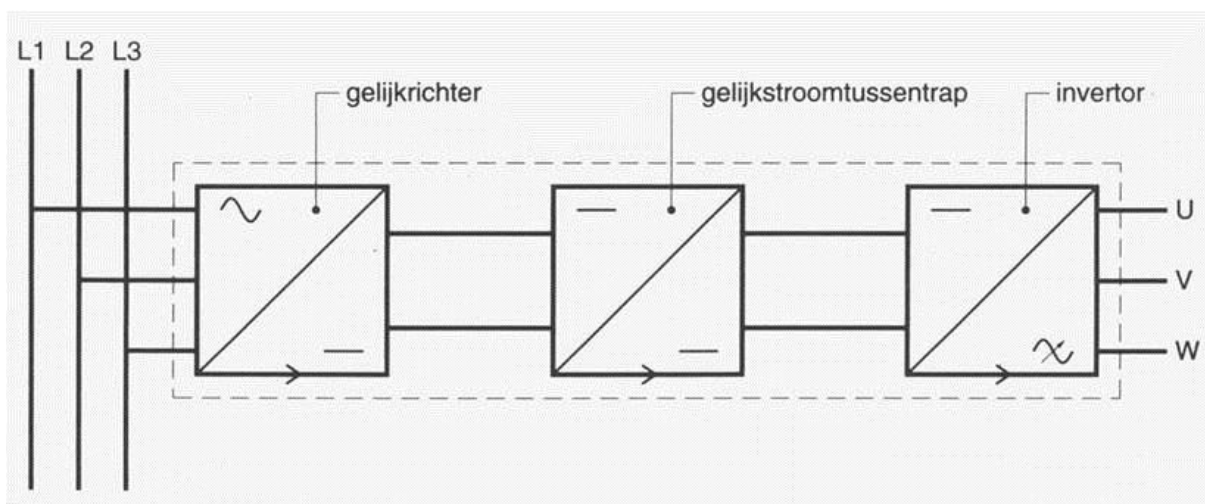
Uit onderstaande schema is te zien dat er 3 mogelijkheden zijn om de snelheid van een draaistroommotor te regelen. Aanpassen aantal poolparen (bijv bij dahlander motor), slipregeling (wordt niet veel meer toegepast) en frequentieregeling.

Frequentie regeling kan via een elektronische regelaar en zien we steeds meer toegepast aan boord van schepen. Door regeling van bijvoorbeeld toerental van pompen en ventilatoren kan de opbrengst aangepast worden aan de behoefte en kan er energie bespaart worden. De investering van de frequentieomvormer is dan snel terugverdiend.



Onderstaande figuur is principe blokschema van een indirecte frequentieomvormer.

Voor de werking : zie boekje over frequentie-omzetter op DLWO en onderstaande tekst.



Bron: Aandrijftechniek 6MK auteurs A.F. Backer en A.J. Wessels
ISBN 9042516453/NUGI 169 uitgever Nijgh/Versluys.

Frequentieregelaars

Frequentieregelaars worden veel toegepast voor de elektronische snelheidsregeling van wisselstroom- en draaistroommotoren.

In paragraaf 7.3 van het kernboek *Energie-omzetting/Vermogenslektronica 4 MK* hebben we al kennisgemaakt met frequentieregelaars (statische frequentie-omzetters). We hebben daar gezien dat voor de rotatiefrequentie van het draaiveld geldt:

$$n_d = \frac{f}{p}$$

Met:

- n_d = rotatiefrequentie van het draaiveld (s^{-1});
- f = frequentie (s^{-1});
- p = aantal poolparen.

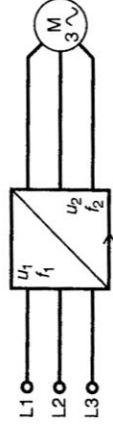
De rotatiefrequentie van wisselstroom- en draaistroommotoren kan dus worden gewijzigd door óf de frequentie óf het aantal poolparen te veranderen.

Met een frequentieregelaar kunnen we de frequentie continu veranderen. Binnen het regelgebied van de frequentieregelaar kan dus de rotatiefrequentie van wisselstroom- en draaistroommotoren traploos worden ingesteld.

- Bij een synchrone motor is de rotatiefrequentie van de rotor gelijk aan de rotatiefrequentie van het draaiveld, dus $n_r = n_d$.
- Een asynchrone motor heeft altijd een slip s van ongeveer 4%, waardoor de rotatiefrequentie van de rotor lager is dan die van de stator.

Hierbij geldt: $n_r = n_d \cdot (1 - s)$.

Figuur 10.2 toont de symbolen van een asynchrone motor die wordt gevoed via een frequentieregelaar. Deze symbolen zijn genormaliseerd in NEN 5152.



Figuur 10.2 Genormaliseerde symbolen van asynchrone motor en frequentieregelaar

10.1 Snelheidsregeling van draaistroommotoren

Bij de snelheidsregeling van draaistroommotoren verloopt de karakteristiek van de uitgangsspanning meestal zoals is weergegeven op figuur 10.3.

Tijdens het aanzetten en bij lage rotatiefrequenties is een extra spanning of boost nodig

- om het spanningsverlies in de stator te compenseren;
- voor het lostrekkoppelp. Om de motor op gang te brengen is een aanzetstroom nodig, dus een extra verhoging van de spanning.

Als we de karakteristiek van figuur 10.3 bekijken, dan zien we dat

- bij $n < n_{nom}$ de uitgangsspanning evenredig is met de frequentie;
- bij $n > n_{nom}$ de uitgangsspanning constant is.

Wanneer de spanning en de stroom niet groter worden dan de toegekende waarden, treedt er geen overbelasting op. Omdat $P_{\text{nom}} = U_{\text{nom}} \cdot I_{\text{nom}}$ wordt het mechanisch vermogen dan ook niet groter dan het toegekende vermogen.

In paragraaf 2.4 uit het kernboek *Energietechniek 2-3 MK* hebben we gezien dat voor het afgegeven mechanische vermogen van motoren geldt:

$$P = 2 \cdot \pi \cdot T \cdot n = c \cdot T \cdot n$$

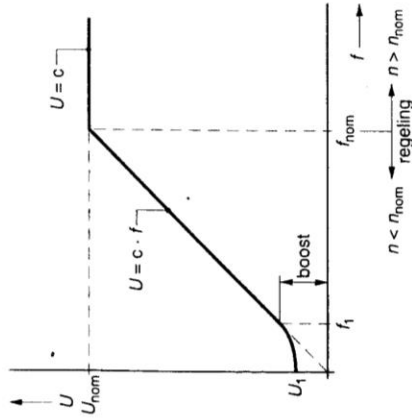
Met:

- P = mechanisch vermogen (W);
- T = koppel (N · m);
- n = rotatiefrequentie (s^{-1});
- c = constante.

Bij een constant vermogen en een hogere rotatiefrequentie zal het koppel dus afnemen, zie figuur 10.5a.

10.2 Snelheidsregeling van kortsluitanker-motoren

Wanneer de karakteristiek van de uitgangsspanning verloopt zoals in figuur 10.3 is weergegeven, dan geldt dat voor $n < n_{\text{nom}}$ de magnetische flux Φ en het maximale koppel T_{max} constant zijn. Dit betekent dat de koppel-toerenkarakteristiek bij verhoging van de rotatiefrequentie naar links verschuift, zie figuur 10.4.



Figuur 10.3 Karakteristiek van de uitgangsspanning bij de snelheidsregeling van draaistroommotoren

Snelheidsregeling bij $n < n_{\text{nom}}$

Bij snelheidsregeling beneden n_{nom} verandert de uitgangsspanning U evenredig met de frequentie f . Uit paragraaf 1.8 van het kernboek *Elektrotechniek 3 MK* weten we dat voor de impedantie van de stator geldt:

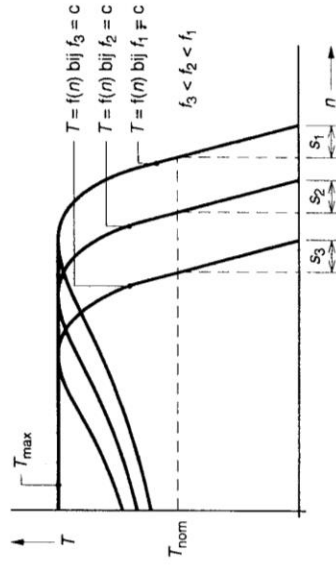
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

waarbij $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$.

Bij een netfrequentie van 50 Hz is de ohmse weerstand R relatief klein ten opzichte van de reactantie X_L . Naarmate de frequentie lager wordt, neemt de reactantie en daarmee de impedantie van de stator af. Bij een constante spanning zal de stroom steeds groter worden. Daarom moet de uitgangsspanning evenredig zijn met de frequentie, dus $U \propto f$.

Snelheidsregeling bij $n > n_{\text{nom}}$

Bij snelheidsregeling boven n_{nom} moet de uitgangsspanning van de frequentieregelaar constant worden gehouden om overbelasting van de motor te voorkomen. Deze constante spanning is gelijk aan de toegekende spanning van het voedende net. Dit zal vrijwel altijd 400 V of 230 V zijn. Het voedende net bepaalt dus de maximale spanning die de frequentieregelaar kan afgeven. Deze spanning moet geschikt zijn voor de motor.



Figuur 10.4 Koppel-toerenkarakteristiek $T = f(n)$ voor verschillende rotatiefrequenties van een KA-motor

kipkoppel

Het maximale koppel T_{\max} noemen we ook wel *kipkoppel*. Op figuur 10.4 zien we dat

- de grootte van het maximale koppel constant is en onafhankelijk van de frequentie;
- bij verschillende frequenties de vorm van de koppel-toerenkarakteristiek hetzelfde is (deze vorm wordt bepaald door de rotorconstructie);
- de absolute slip bij elke ingestelde frequentie gelijk is ($s_1 = s_2 = s_3$). Dit is het geval als de motor met een constant koppel wordt belast.

We zien op figuur 10.5 voor een vierpolige kortsluitankermotor waarvan de snelheid met een frequentieregelaar wordt geregeld, drie karakteristieken als functie van de rotatiefrequentie:

- koppel $T = f(n)$;
- fasespanning $U_f = f(n)$;
- frequentie $f = f(n)$.

Voor de rotatiefrequentie van het draaiveld n_d van een vierpolige KA-motor ($p = 2$) kunnen we schrijven:

$$n_d = \frac{f}{p} = \frac{50 \text{ s}^{-1}}{2} = 25 \text{ s}^{-1} \quad (1500 \text{ min}^{-1})$$

Bij een slip van 4% is de toegekende rotatiefrequentie:

$$n_{\text{nom}} = n_d \cdot (1 - s) = 25 \text{ s}^{-1} \times (1 - 0,04) = 24 \text{ s}^{-1} \quad (1440 \text{ min}^{-1})$$

In figuur 10.5 onderscheiden we twee regelgebieden:

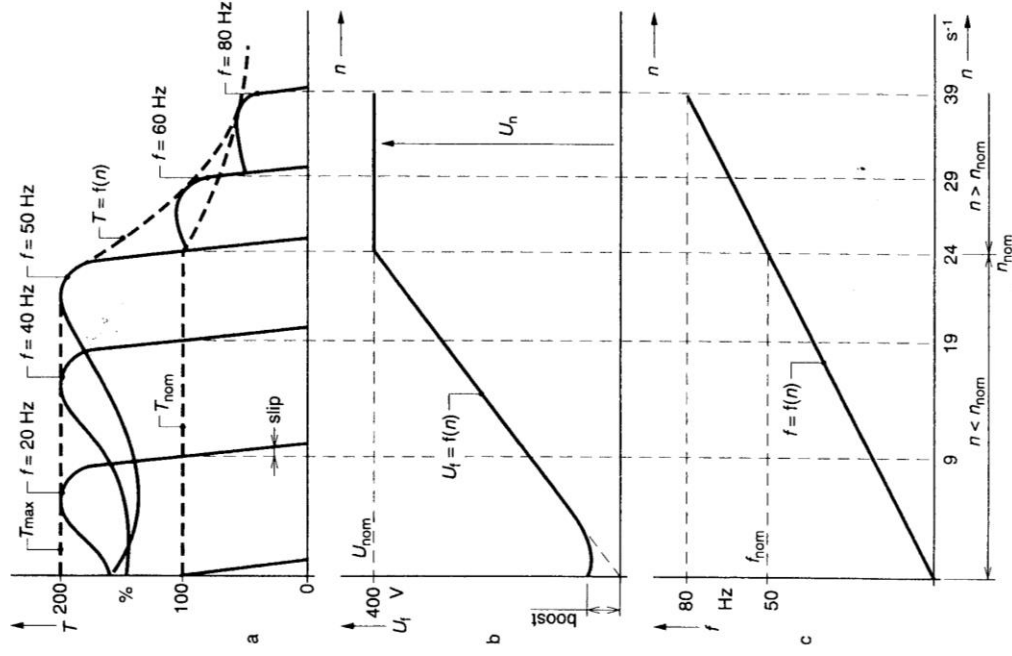
- regelgebied bij $n < n_{\text{nom}}$;
- regelgebied bij $n > n_{\text{nom}}$.

Regelgebied bij $n < n_{\text{nom}}$

De frequentie f van de spanning die de frequentieregelaar afgeeft is lager dan de toegekende frequentie f_{nom} van de wisselspanning van de motor (50 Hz). De koppel-toerenkarakteristiek verschuift naar links naarmate f lager is. De grootte van het maximale koppel T_{\max} verandert niet.

Regelgebied bij $n > n_{\text{nom}}$

De frequentie f van de spanning die de frequentieregelaar afgeeft is nu hoger dan de toegekende frequentie f_{nom} van de wisselspanning van de motor (50 Hz). De opgegeven spanning blijft constant. Dit zal vrijwel altijd 400 V of 230 V zijn. De koppel-toerenkarakteristiek verschuift naar rechts. De grootte van het maximale koppel T_{\max} verandert omgekeerd evenredig met de rotatiefrequentie n , dus $T_{\max} \cdot n = \text{constant}$.



Figuur 10.5 Karakteristieken voor een vierpolige KA-motor waarvan de snelheid wordt geregeld met een frequentieregelaar

KA-motor met frequentieomvormer

Meting 1:

	Pin [W]	U [V]	I [A]	cosφ	M [Nm]	n [omw/min]	bereken Pas [W]	bereken η motor
Nullast								
Vollast								

Meting 2:

	Pin [W]	U [V]	I [A]	cosφ	M [Nm]	n [/min]	bereken Pas [W]	bereken η motor
Nullast								
Vollast								

Meting 3:

M [Nm]	3	6	9	12	15	18	21	24	27
cosφ									
I [A]									

Meting 4:

Nullast.

Frequentie [Hz]	M [Nm]	n [omw/min]
30		
40		
50		
60		

Voor de frequentieomvormer.

Na de frequentieomvormer.

Bereken.

Freq [Hz]	Pin [W]	U [V]	I [A]	cosφ	Pin [W]	U [V]	I [A]	cosφ	M [Nm]	n [/min]	Pas [W]	η _{FO}	η _{motor}
30													
40													
50													
60													

Meting 5 kortsluitproef

U (V)	I (A)	P (W)