

Het selecteren van aandrijvingen

Uitgave
11/2001



	1	Inleiding	6	1
	2	Draaistroomaandrijvingen met vaste toerentallen.....	9	2
	3	Draaistroomaandrijvingen met een frequentieregelaar.....	26	3
	4	Servoaandrijvingen.....	33	4
	5	Draaistroomaandrijvingen met mechanische variatoren	39	5
	6	Reductoren	46	6
	7	Formules in de aandrijftechniek	56	7
	8	Rekenvoorbeeld rijwerkaandrijving	65	8
	9	Rekenvoorbeeld hijswerkaandrijving.....	92	9
	10	Rekenvoorbeeld kettingtransporteur met frequentieregelaar	103	10
	11	Rekenvoorbeeld rollenbaan met frequentieregelaar	107	11
	12	Rekenvoorbeeld draaitafelaandrijving met frequentieregelaar	112	12
	13	Rekenvoorbeeld transportband.....	117	13
	14	Rekenvoorbeeld kruk-drijfstangaandrijving	122	14
	15	Rekenvoorbeeld spilaandrijving.....	126	15
	16	Rekenvoorbeeld portaal met servoaandrijvingen.....	131	16
	17	Tabellenbijlage en legenda van tekens.....	148	17
	18	Index.....	153	18



1	Inleiding	6
2	Draaistroomaandrijvingen met vaste toerentallen	9
2.1	Werking van de draaistroomkortsluitrotormotor	9
2.2	Nominale gegevens van de draaistroomkortsluitrotormotor	11
2.3	Bedrijfssoorten volgens IEC 34 (EN 60034)	14
2.4	Rendement η , vermogensfactor $\cos \varphi$ en isolatieklasse	15
2.5	Beschermingsklasse	17
2.6	Beveiliging van de wikkelingen	18
2.7	Dimensioneren van de motor	19
2.8	Zachte aanloop en zachte omschakeling	20
2.9	Remmotoren	23
3	Draaistroomaandrijvingen met een frequentieregelaar	26
3.1	Frequentieregelaars	27
3.2	MOVIMOT [®] motorreductoren met geïntegreerde frequentieregelaar	27
3.3	Motorbedrijf met een frequentieregelaar	28
3.4	Het projecteren met SEW-frequentieregelaars	30
4	Servoaandrijvingen	33
4.1	Servomotoren	34
4.2	Servoregelaars MOVIDYN [®]	36
4.3	Applicatieregelaars MOVIDRIVE [®] en MOVIDRIVE [®] compact	37
4.4	Projecteringsvolgorde	38
5	Draaistroomaandrijvingen met mechanische variatoren	39
5.1	Eigenschappen	39
5.2	Keuze van de variator	40
6	Reductoren	46
6.1	Standaardreductoren voor motorreductoren	46
6.2	Het dimensioneren van standaardreductoren met de bedrijfsfactor	49
6.3	Reductoren voor servoaandrijvingen	52
6.4	Radiale krachten, axiale krachten	54
7	Formules in de aandrijftechniek	56
7.1	Basisbewegingen	56
7.2	Massatraagheidsmomenten	58
7.3	Statisch of dynamisch vermogen	60
7.4	Weerstandskrachten	61
7.5	Koppels	62
7.6	Vermogen	62
7.7	Rendementen	62
7.8	Spilberekening	63
7.9	Speciale formules	64



8	Rekenvoorbeeld rijwerkaandrijving.....	65
8.1	Berekening en keuze van de motor	66
8.2	Berekening en keuze van de reductor	73
8.3	Rijwerkaandrijving met 2 snelheden	75
8.4	Rijwerkaandrijving met een frequentieregelaar	81
9	Rekenvoorbeeld hijswerkaandrijving.....	92
9.1	Pooltalomschakelbare motor.....	93
9.2	Motor met frequentieregelaar.....	97
10	Rekenvoorbeeld kettingtransporteur met frequentieregelaar	103
10.1	Berekening en keuze van de motor	104
10.2	Berekening en keuze van de reductor	106
11	Rekenvoorbeeld rollenbaan met frequentieregelaar	107
11.1	Berekening en keuze van de motor	108
12	Rekenvoorbeeld draaitafelaandrijving met frequentieregelaar	112
12.1	Berekening en keuze van de motor	113
12.2	Berekening en keuze van de reductor	116
13	Rekenvoorbeeld transportband	117
13.1	Berekening en keuze van de motor	119
13.2	Berekening en keuze van de variator.....	121
14	Rekenvoorbeeld kruk-drijfstangaandrijving.....	122
14.1	Berekening en keuze van de motor	124
15	Rekenvoorbeeld spilaandrijving	126
15.1	Berekening.....	127
15.2	Controle berekening.....	128
16	Rekenvoorbeeld portaal met servoaandrijvingen	131
16.1	Optimalisering van het bewegingsdiagram	132
16.2	Berekening van het vermogen	134
16.3	Berekening en keuze van de reductor	136
16.4	Berekening en keuze van de motoren	139
16.5	Keuze van de aandrijfelektronica	143
17	Tabellenbijlage en legenda van tekens	148
17.1	Tabellenbijlage	148
17.2	Legenda van tekens.....	150
18	Index.....	153

1 Inleiding

De SEW-EURODRIVE organisatie

SEW-EURODRIVE is één van de toonaangevende ondernemingen op de markt van de elektrische aandrijftechniek. Het omvangrijke productenpakket en het brede dienstenpakket maken SEW tot de ideale partner bij het oplossen van veeleisende aandrijfproblemen.

Het hoofdkantoor van de onderneming bevindt zich in Bruchsal/Duitsland. Met fabrieken in Duitsland, Frankrijk, USA, Brazilië en China wordt een wereldwijde aanwezigheid verzekerd. In assemblagebedrijven in meer dan 30 industrielanden van de wereld, worden met de op voorraad gehouden onderdelen in de omgeving van de klant, met een bijzonder korte levertijd en met gelijkblijvende hoge kwaliteit, de individuele aandrijvingen samengebouwd. Verkoop, advies, service en onderdelenservice van SEW treft u wereldwijd in meer dan 60 landen aan.

Het productenpakket

- Reductoren en motorreductoren met
 - Rechte reductoren t.m. 18000 Nm
 - Vlakke reductoren t.m. 18000 Nm
 - Kegewielreductoren t.m. 50000 Nm
 - Spiroplan[®]-haakse reductoren t.m. 70 Nm
 - Wormwielreductoren t.m. 4200 Nm
 - Spelingsarme planetaire reductoren t.m. 3000 Nm
 - Rechte en kegelwielplanetaire reductoren t.m. 415000 Nm
 - Reductoren met parallelle assen t.m. 65000 Nm
- Draaistroomremmotoren t.m. 75 kW
- Asynchrone servomotoren t.m. 200 Nm
- Synchrone Servomotoren t.m. 47 Nm
- Explosie veilige aandrijvingen volgens ATEX 100a
- MOVIMOT[®] motorreductoren met geïntegreerde frequentieregelaar
- MOVI-SWITCH[®] motorreductoren met geïntegreerde schakel- en beveiligingsfunctie
- Frequentieregelaars MOVITRAC[®], MOVIDRIVE[®] en MOVIDYN[®] voor de trappenloze toerentalverandering van standaard-draaistroomaandrijvingen en servoaandrijvingen
- Mechanische variatoren VARIBLOC[®] t.m. 45 kW en VARIMOT[®] t.m. 11 kW

Vast of variabel toerental

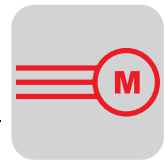
Indien één of twee toerentallen gewenst zijn kan netbedrijf met een ééntoerige motor of een pooltalomschakelbare draaistroommotorreductor toegepast worden. Bij meer dan twee toerentallen of bij trappenloze toerentalverstelling komen met MOVITRAC[®], MOVIDRIVE[®], MOVIMOT[®] en MOVIDYN[®] elektronisch geregelde aandrijvingen in aanmerking. Voor kleine instelbereiken tot 1 : 8 worden ook de mechanische variatoren VARIBLOC[®] of VARIMOT[®] toegepast.

- Regeling** Wanneer aandrijvingen zijn opgenomen in een regelkring, komen elektronisch geregelde aandrijvingen in aanmerking. De voordelen van dergelijke aandrijvingen zijn bijvoorbeeld een hoog aanloopkoppel, een bijzondere versnellings- of vertragingsskarakteristiek, beveiliging tegen overbelasting door koppel en stroombegrenzing, meerkwadrantenbedrijf enz. Bovendien kunnen met MOVITRAC[®], MOVIDYN[®] of MOVIDRIVE[®] elektronisch geregelde aandrijvingen in synchronoedrijf toegepast worden, gepositioneerd worden of ook via veldbuscommunicatie en geïntegreerde volgordesturing in geautomatiseerde systemen opgenomen worden.
- Gebruiksomstandigheden** Normale draaistroomasynchronomotoren en servomotoren met of zonder reductor zijn zelfs onder de zwaarste condities door hun eenvoudige en robuuste bouw en door de hoge beschermingsklasse veilige en duurzaam betrouwbare aandrijvingen. In alle gevallen zijn echter gedetailleerde kennis en het rekening houden met de gebruiksomstandigheden bepalend voor het resultaat.
- Onderhoud** De normale draaistroommotor en de servomotor kunnen nagenoeg zonder onderhoudsinspanningen jarenlang zonder problemen functioneren. Het onderhoud van reductoren beperkt zich tot een regelmatige controle van het oliepeil, de conditie van de olie en de voorgeschreven olie vervanging c.q. verversingstermijn. Daarbij dient gelet te worden op de juiste soort olie die door SEW toegestaan is en op de juiste vulhoeveelheid. Slijtage, reserve- en vervangingsonderdelen voor SEW-aandrijvingen zijn in alle belangrijke landen van de wereld uit voorraad leverbaar.
- Selectie** Bij het veelvoud aan verschillende bewegingsverlopen lijkt geen enkele aandrijftoepassing hetzelfde. In werkelijkheid zijn echter alle aandrijftoepassingen tot drie standaardoplossingen te herleiden:
- een lineaire beweging in het horizontale vlak
 - een lineaire beweging in het verticale vlak
 - een draaibeweging
- Allereerst worden de gegevens van de last zoals massa's, massatraagheidsmomenten, snelheden, krachten, schakelfrequenties, bedrijfstijden, geometrie van wielen en assen geïnventariseerd. Met deze gegevens wordt het benodigde vermogen berekend rekening houdend met het rendement en het uitgaande toerental. Met deze resultaten wordt de motorreductor, geselecteerd rekening houdend met de individuele bedrijfsomstandigheden uit de betreffende SEW-catalogus. Welke soort motorreductor daarbij gekozen wordt, volgt uit de volgende keuzecriteria. Omdat de gebruikseigenschappen van motorreductoren onderling verschillen, worden in de volgende hoofdstukken deze eigenschappen afzonderlijk weergegeven.
- De volgende onderverdeling wordt gemaakt:
- draaistroomaandrijvingen met één of meerdere vaste toerentallen
 - draaistroomaandrijvingen met een frequentieregelaar
 - servoaandrijvingen
 - draaistroomaandrijvingen met een mechanische variator
 - soorten reductoren

**SEW-
berekennings-
programma
ProDrive**

Het SEW-berekenings ProDrive dient voor een snelle en effectieve selectie van SEW-aandrijvingen met alle noodzakelijke gegevens voor het beoordelen van de toepassing. Daarbij staan de omvangrijke gegevens van de elektronische SEW-catalogus EKAT als database ter beschikking.

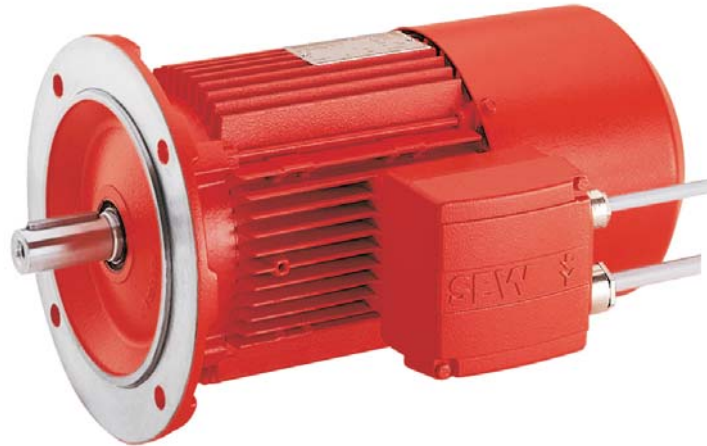
De gebruiker kan kiezen tussen ongeregelde en geregelde draaistroomaandrijving en servoaandrijvingen. Voor de keuze van een reductor staan de rechte, vlakke, kegelwiel-, wormwiel-, planetaire en Spiroplan[®]-reductoren ter beschikking. Bovendien kunnen ook de in aanmerking komende frequentieregelaars en hun opties bepaald worden.



2 Draaistroomaandrijvingen met vaste toerentallen

Uitvoerige informatie over de draaistroomkortsluitrotormotoren DR/DT/DV vindt u in de catalogi "Motorreductoren" en "Polumschaltbare Getriebemotoren".

2



00624AXX

Afbeelding 1: Draaistroomkortsluitrotormotor

2.1 Werking van de draaistroomkortsluitrotormotor

Vanwege zijn eenvoudige constructie, de hoge betrouwbaarheid en z'n gunstige prijs is de draaistroomkortsluitrotormotor de meest toegepaste elektromotor.

Aanloopgedrag

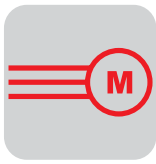
Het aanloopgedrag wordt beschreven door de koppel-toerentalkromme. Vanwege de toerentalafhankelijke weerstanden van de rotor resulteren er bij de draaistroomkortsluitrotormotor toerentalafhankelijke (slipafhankelijke) waarden voor het koppel tijdens het aanlopen.

Pooltalomschakelbare motoren

Afbeelding 2 geeft de koppel-toerentalkromme van een pooltalomschakelbare motor met zijn karakteristieke eigenschappen weer. Pooltalomschakelbare motorreductoren zijn de goedkoopste toerentalveranderbare aandrijvingen en worden vaak als rij- of hijsaandrijving toegepast. Daarbij dient het hoge toerental als ijlgang, met het lage toerental wordt gepositioneerd.

Tabel 1: Vaak toegepaste pooltalomschakelbare motoren

Pooltal	Synchroon toerental (min^{-1} bij 50 Hz)	Schakeling
4/2	1500/3000	Δ / Y (Dahlander)
8/2	750/3000	Y / Y (gescheiden wikkelingen)
6/4	1000/1500	Y / Y (gescheiden wikkelingen)
8/4	750/1500	Δ / Y (Dahlander)

**Werkpunt**

De motor doorloopt bij elke aanloop deze koppel-toerentakromme tot zijn stabiele werkpunt, waar de lastkarakteristiek en de motorkarakteristiek elkaar kruisen. Het stabiele werkpunt wordt bereikt, wanneer het lastkoppel kleiner is dan het losbreek- of zadelmoment.

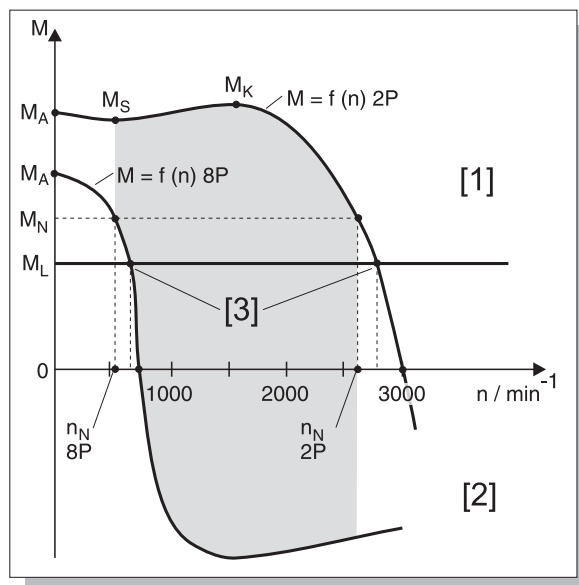
Omschakelkoppel bij pooltalomschakelbare motoren

Bij het omschakelen van de motor van de 2-polige naar de 8-polige wikkeling werkt de motor kortstondig vanwege het oversynchrone toerental als generator. Door omzetting van de bewegingsenergie in elektrische energie wordt met weinig verliezen en vrij van slijtage van het hoge naar het lage toerental vertraagd. Het voor het afremmen beschikbare remkoppel is in de eerste benadering:

$$M_U \approx (2 \dots 2.5) \cdot M_{A1}$$

M_U = omschakelkoppel
 M_{A1} = losbreekkoppel van de wikkeling voor het lage toerental

Het omschakelkoppel M_U is het gemiddelde verschil tussen de karakteristieken voor 2-polig en 8-polig bedrijf over het toerentalbereik tussen de nominale toerentallen van 8-polig en 2-polig bedrijf (als schaduw weergegeven bereik).



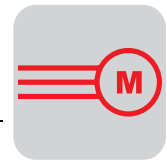
00625BXX

Afbeelding 2: Karakteristiek van een pooltalomschakelbare draaistroommotor

M_{A1}	= losbreekkoppel 8-polig	[1]	= motorbedrijf
M_{A2}	= losbreekkoppel 2-polig	[2]	= generatorisch rembedrijf
M_S	= zadelmoment	[3]	= stabiel werkpunt
M_K	= kipkoppel	2P	= 2-polig
M_N	= nominaal koppel	8P	= 8-polig
M_L	= lastkoppel		

Apparaat voor zachte omschakeling

Ter vermindering van het omschakelkoppel staan de elektronische apparaten voor een zachte omschakeling van de serie WPU ter beschikking.



2.2 Nominale gegevens van de draaistroomkortsluitrotormotor

SEW-EURODRIVE		Bruchsal / Germany			
Typ	DFV 160 M 4 /BM			3 ~ IEC 34	
Nr.	01.3001234568.0001.00			IM	B5
kW	11 S1			cos φ	0.83
○	50Hz V	220 - 240 Δ / 380 - 415 Y		A	39.0 / 22.5
	60Hz V	240 - 266 Δ / 415 - 460 Y		A	35.5 / 20.5
	r/min	1440 / 1740		IP	55
	Bremse V	230 AC		Nm	150
				Gleichrichter	BGE1.5
	Kg	109	Ma		
				Nm	i
					EFF 2
	Schmierstoff				
		Made in Germany 184 103 3.16			

03214AXX

Afbeelding 3: Motortypeplaatje

De specifieke gegevens van een draaistroomkortsluitrotormotor zijn:

- Bouwgrootte
- Nominaal vermogen
- Bedrijfssoort
- Nominaal toerental
- Nominale stroom
- Nominale spanning
- cos φ
- Beschermingsklasse
- Isolatieklasse

Deze gegevens, eventueel nog enkele meer, zijn aangegeven op het motortypeplaatje. Deze typeplaatgegevens refereren volgens IEC 34 (EN 60034) naar een omgevings-temperatuur van 40 °C en een opstellingshoogte van maximaal 1000 m boven de zee-spiegel.

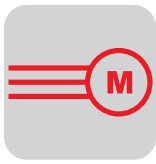
Pooltal

Draaistroomkortsluitmotorreductoren met een vast toerental worden meestal 4-polig uitgevoerd, omdat 2-polige motoren leiden tot meer geluid en tot een levensduurvermindering van de reductor. Hogerpolige motoren van hetzelfde vermogen (6-polig, 8-polig enz.) vereisen een groter bouwvolume en zijn door een slechter rendement en een ongunstiger cos φ alsmede een hogere prijs minder economisch.

Uit de onderstaande tabel kunnen de synchrone toerentallen bij verschillende pooltallen bij 50 Hz en bij 60 Hz ontleend worden.

Tabel 2: Synchrone toerentallen n_S bij 50 Hz en 60 Hz

Pooltal	2	4	6	8	12	16	24
n_S (min ⁻¹ bij 50 Hz)	3000	1500	1000	750	500	375	250
n_S (min ⁻¹ bij 60 Hz)	3600	1800	1200	900	600	450	300

**Slip**

Het nominaal toerental van de motor n_N bij nominaal vermogen is bij motorbedrijf altijd kleiner dan het synchrone toerental n_S . Het verschil tussen het synchrone toerental en het werkelijke toerental is de slip, gedefinieerd als:

$$S = \frac{n_S - n_N}{n_S} \cdot 100 \%$$

S = slip [%]
 n_S = synchroon toerental [min^{-1}]
 n_N = nominaal toerental [min^{-1}]

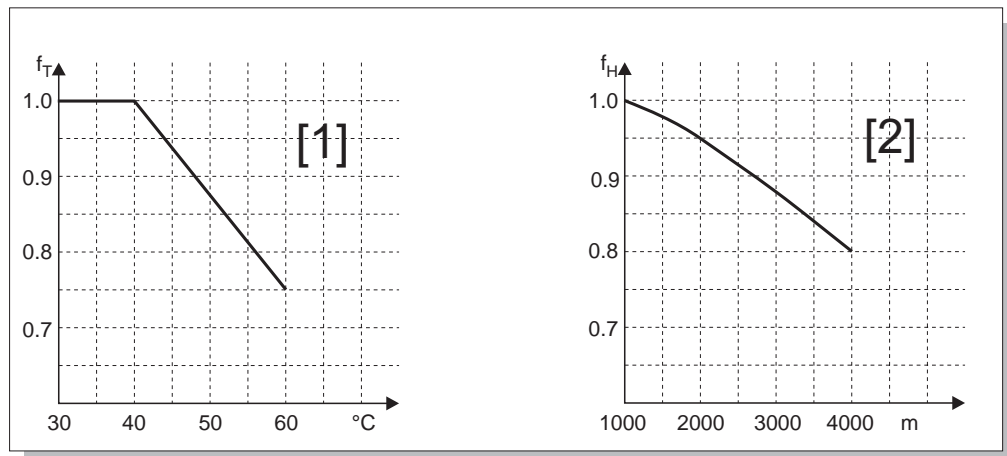
Bij kleine aandrijvingen, bijv. 0,25 kW nominaal vermogen, is de slip ca. 10 %, bij grotere aandrijvingen, bijv. 15 kW nominaal vermogen, is de slip ca. 3 %.

Vermogensreductie

Het nominale vermogen P_N van een motor is afhankelijk van de omgevingstemperatuur en van de opstellingshoogte. Het op het typeplaatje opgegeven nominale vermogen geldt voor een omgevingstemperatuur tot 40 °C en een maximale opstellingshoogte van 1000 m boven de zeespiegel. Bij afwijkingen dient het nominaal vermogen volgens de volgende formule gereduceerd te worden:

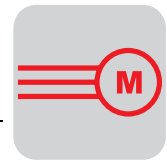
$$P_{N1} = P_N \cdot f_T \cdot f_H$$

P_{N1} = verminderd nominaal vermogen [kW]
 P_N = nominaal vermogen [kW]
 f_T = reductiefactor vanwege de omgevingstemperatuur
 f_H = reductiefactor vanwege de opstellingshoogte



00627CXX

Afbeelding 4: Vermogensreductie afhankelijk van omgevingstemperatuur [1] en opstellingshoogte [2]



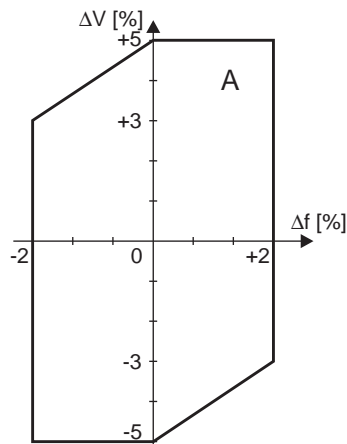
Toleranties

Volgens IEC 34 (EN 60034) zijn de volgende toleranties voor elektromotoren bij nominale spanning toegestaan. De toleranties gelden ook, wanneer in plaats van een eenduidige waarde voor de nominale spanning een nominaal spanningsbereik is aangegeven.

Spanning en frequentie:		Tolerantie A
rendement η :	bij $P_N \leq 50$ kW:	$-0,15 \times (1 - \eta)$
	bij $P_N > 50$ kW:	$-0,1 \times (1 - \eta)$
vermogensfactor $\cos \varphi$:		$-(1 - \cos \varphi) / 6$
slip S:	bij $P_N < 1$ kW:	± 30 %
	bij $P_N \geq 1$ kW:	± 20 %
losbreekstroom I_A :		+ 20 %
aanlooppkoppel M_A :		- 15 % ... + 25 %
kipkoppel M_K :		- 10 %
massatraagheidsmoment M_M :		± 10 %

Tolerantie A

De tolerantie A beschrijft het toelaatbare bereik, waarin frequentie en spanning van het betreffende nominale punt mogen afwijken. De volgende grafiek beschrijft dit bereik. Het met "0" aangeduide coördinatensnijpunt geeft altijd het nominale punt aan voor frequentie en spanning.

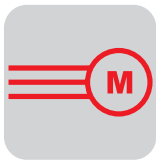


03210AXX

Afbeelding 5: Bereik van de tolerantie A

**Onderspanning/
onderdimensionering**

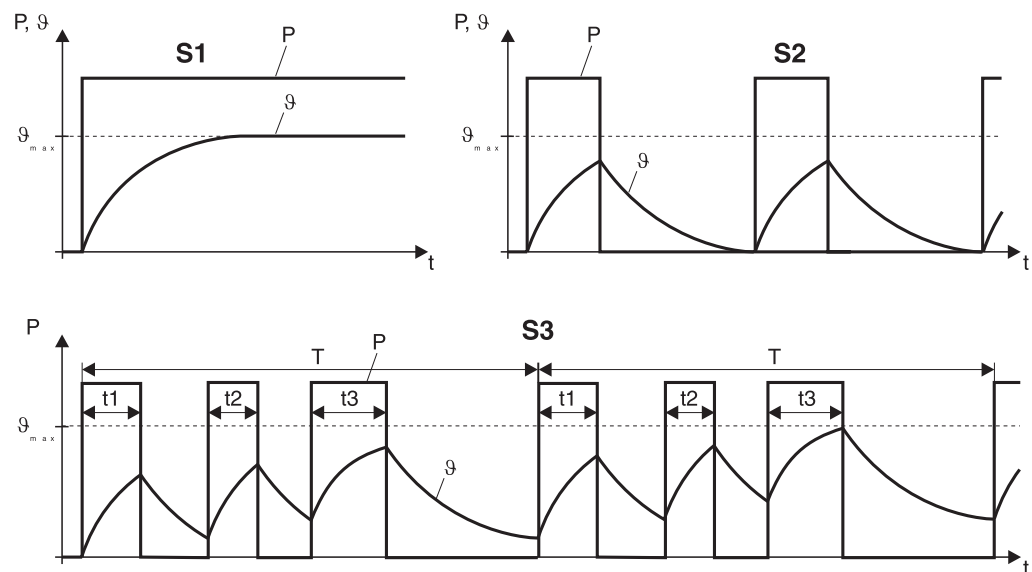
Bij onderspanning door zwakke elektriciteitsnetten of onderdimensionering van de motorkabels kunnen de cataloguswaarden zoals vermogen, koppel en toerental niet worden aangehouden. Dit geldt in het bijzonder bij het aanlopen van de motor, waarbij de aanloopstroom een veelvoud van de nominale stroom bedraagt.



2.3 Bedrijfssoorten volgens IEC 34 (EN 60034)

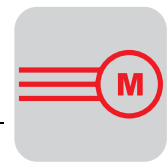
Het nominaal vermogen geldt altijd in samenhang met een bedrijfssoort en een inschakelduur.

- S1** Normaal wordt uitgelegd voor continue bedrijf S1, d. w. z. er is bedrijf met een constante last waarvan de duur voldoende is om de motor de thermische evenwichtstoestand te laten bereiken.
- S2** S2 is kortstondig bedrijf, d.w.z. bedrijf met een constante last voor een begrensde, vastgelegde tijd met aansluitende pauze, tot de motor de omgevingstemperatuur weer bereikt heeft.
- S3** S3 is intermitterend bedrijf zonder invloed van het inschakelproces op de opwarming. Kenmerkende eigenschap is de "Relatieve Inschakelduur ID". S3 wordt gekenmerkt door een reeks identieke lastspelen, bestaande uit een periode met constante last en een pauze waarin de motor stil staat.
- S4** S4 is intermitterend bedrijf met invloed van het inschakelproces op de opwarming, gekenmerkt door de relatieve Inschakeluur ID en het aantal schakelingen per uur.
- S5 - S10** Verder zijn er nog de bedrijfssoorten S5 ... S10 met deels analoge bepalingen als bij S1 ... S4.



03135AXX

Afbeelding 6: Bedrijfssoorten S1 / S2 / S3



Verhoging van het nominale vermogen

Wanneer een motor voor S1 met 100 % inschakelduur is gedimensioneerd en een geringere inschakelduur nodig is, kan het nominale vermogen volgens de volgende tabel verhoogd worden.

Tabel 3: Vermogenstijgingsfactor K

Bedrijfssoort		Vermogenstijgingsfactor K	
S2	Duur van de belasting	60 min	1,1
		30 min	1,2
		10 min	1,4
S3	Relatieve inschakelduur ID	60 %	1,1
		40 %	1,15
		25 %	1,3
		15 %	1,4
S4 - S10	Om het nominale vermogen en de bedrijfssoort te bepalen moeten het aantal en de soort van de schakelingen per uur, aanlooptijd, belastingstijd, soort rem, remtijd, onbelaste tijd, cyclusduur, stilstandstijd en vermogensbehoefte worden aangegeven.		Op aanvraag

Relatieve inschakelduur ID

Verhouding tussen de duur van de belasting en de cyclusduur (cyclusduur = som van de inschakeltijden en de spanningsloze pauzes). De maximale cyclusduur is 10 minuten.

$$ID = \frac{\sum t_e}{t_s} \cdot 100 [\%]$$

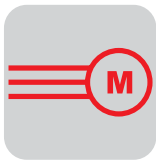
ID = relatieve inschakelduur [%]
 Σ t_e = som van de inschakeltijden [s]
 t_s = cyclusduur [s]

2.4 Rendement η, vermogensfactor cos φ en isolatieklasse

Op het typeplaatje van de motoren wordt conform EN 60034 als nominaal vermogen P_N het afgegeven vermogen, d.w.z. het aan de as ter beschikking staande vermogen weergegeven. Bij grote motoren zijn rendement η en vermogensfactor cos φ gunstiger dan bij kleine motoren. Rendement en vermogensfactor wijzigen ook met de belasting van de motor, d. w. z. ze worden bij deellast ongunstiger.

Schijnvermogen	$P_S = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_P$
Effectief vermogen	$P_1 = P_S \cdot \cos \varphi$
Nominaal vermogen	$P_N = P_1 \cdot \eta$

U₁ = netspanning [V]
 I_P = fasestroom [A]



Isolatieklasse volgens EN 60034

Het meest worden tegenwoordig motoren toegepast met isolatieklasse B. Bij deze motoren mag de temperatuur van de wikkelingen, uitgaand van een omgevingstemperatuur van 40 °C, maximaal 80 K toenemen. In de EN 60034-1 zijn de isolatieklassen vastgelegd. Alle pooltalomschakelbare motoren met gescheiden wikkeling zijn bij SEW standaard uitgevoerd in isolatieklasse F. In de onderstaande tabel zijn de maximale temperatuurstijgingen volgens EN 60034-1 opgevoerd.

Tabel 4: Isolatieklassen

Isolatieklasse	Maximale temperatuurstijging gerelateerd naar koelluchttemperatuur 40 °C	Afschakeltemperatuur van PTC's
B	80 K	130 °C
F	105 K	150 °C
H	125 K	170 °C

Bepaling van de wikkelingstemperatuur

De temperatuurtoename van een motor met koperen wikkelingen kan met een geschikt weerstandsmetinstrument worden bepaald via de weerstandstoename.

$$\vartheta_2 - \vartheta_{a2} = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + \vartheta_1) + \vartheta_1 - \vartheta_{a1}$$

- ϑ_1 = temperatuur van de koude wikkelingen in °C
- ϑ_2 = wikkelingstemperatuur in °C aan het einde van de test
- ϑ_{a1} = koelmiddeltemperatuur in °C aan het begin van de test
- ϑ_{a2} = koelmiddeltemperatuur in °C aan het einde van de test
- R_1 = weerstand van de koude wikkelingen (ϑ_1) in Ω
- R_2 = weerstand aan het einde van de test (ϑ_2) in Ω

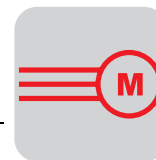
$\vartheta_a = \text{const.}$

De invloed van de omgevingstemperatuur ϑ_{a1} en ϑ_{a2} kan verwaarloosd worden, indien de omgevingstemperatuur tijdens de meting niet wijzigt. Daaruit volgt de vereenvoudigde formule:

$$\vartheta_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} (235 + \vartheta_1) + \vartheta_1$$

Gaan we er verder van uit, dat de temperatuur van de koude wikkelingen gelijk is aan de omgevingstemperatuur, dan blijkt de temperatuurtoename als volgt:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_2 - \vartheta_1$$



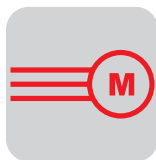
2.5 Beschermingsklasse

Afhankelijk van de omgevingscondities – hoge luchtvochtigheid, agressieve stoffen, gesproeid of gespoten water, stofopbouw enz. – worden draaistroommotoren en draaistroommotorreductoren met en zonder rem geleverd in de beschermingsklassen IP54, IP55, IP56 en IP65 volgens EN 60034 deel 5 EN 60529.

IP ¹⁾	1 ^e . Kengetal Beveiliging tegen vreemde voorwerpen	2 ^e . Kengetal Beveiliging tegen water
0	niet beschermd	niet beschermd
1	beschermd tegen vaste vreemde delen Ø 50 mm en groter	beschermd tegen druiwater
2	beschermd tegen vaste vreemde delen Ø 12 mm en groter	beschermd tegen druiwater, wanneer de behuizing tot 15° gekanteld wordt
3	beschermd tegen vaste vreemde delen Ø 2,5 mm en groter	beschermd tegen sproeiwater
4	beschermd tegen vaste vreemde delen Ø 1 mm en groter	beschermd tegen gespoten water
5	beschermd tegen stof	beschermd tegen waterstralen
6	stofdicht	beschermd tegen sterke waterstralen
7	-	beschermd tegen tijdelijke onderdompeling in water
8	-	beschermd tegen continue onderdompeling in water

1) IP = International Protection

Verhoogde bescherming tegen corrosie voor metalen delen en extra impregnering van de wikkelingen (bescherming tegen vocht en zuren) zijn eveneens mogelijk, evenals de levering van explosie veilige motoren en remmotoren volgens ATEX 100a.



2.6 Beveiliging van de wikkelingen

Stroom- of temperatuurafhankelijke beveiliging

De keuze van het juiste type beveiliging bepaalt in feite de bedrijfszekerheid van de motor. Een onderscheid wordt gemaakt tussen stroomafhankelijke en motortemperatuurafhankelijke beveiligingen. Stroomafhankelijke beveiligingen zijn bijv. smeltveiligheden of motorbeveiligingsschakelaars. Temperatuurafhankelijke beveiligingen zijn PTC's of bimetaalschakelaars (thermostaten) in de wikkelingen.

Temperatuurafhankelijke beveiligingen

Drie PTC-temperatuurvoelers worden in de motor in serie geschakeld en vanuit de klemmenkast aangesloten op een PTC-relais in de schakelkast. Drie¹ bimetaalschakelaars TH - eveneens in de motor in serie geschakeld - worden vanuit de klemmenkast direct in het bewakingscircuit van de motor opgenomen. PTC's of bimetalen spreken aan bij de maximum toelaatbare wikkelingstemperatuur. Ze hebben als voordeel dat ze de temperatuur meten waar deze optreedt.

Smeltveiligheden

Smeltveiligheden beschermen de motor niet tegen overbelastingen. Ze fungeren uitsluitend als kortsluitbeveiliging voor de toevoerleidingen.

Motorbeveiligingsschakelaars

Motorbeveiligingsschakelaars geven een voldoende bescherming tegen overbelasting bij normaal bedrijf met een lage schakelfrequentie, korte aanlooptijden en niet te hoge aanloopstromen. Voor schakelbedrijf met een hogere schakelfrequentie (> 60 c/h²) en voor bedrijf met een zware aanloop zijn motorbeveiligingsschakelaars ongeschikt. Wanneer de thermische tijdconstanten van de motor en de beveiligingsschakelaar niet overeenkomen, kan er bij de instelling op de nominale motorstroom, onnodig voortijdig afschakelen of het niet herkennen van de overbelasting ontstaan.

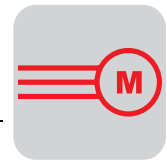
Kwalificatie van de beveiliging

In de volgende tabel wordt de kwalificatie van de verschillende beveiligingen voor verschillende uitschakeloorzaken weergegeven.

Tabel 5: Kwalificatie van de beveiliging

A = omvangrijke beveiliging B = beperkte beveiliging C = geen beveiliging	stroomafhankelijke beveiliging		temperatuursafhankelijke beveiliging	
	Smeltveiligheden	Motorbeveiligingsschakelaars	PTC's (TF)	Bimetaalschakelaars (TH)
Overstromen tot 200 % I _{nom}	C	A	A	A
Zware aanloop, reverseren	C	B	A	B
Schakelbedrijf tot 60 c/h ²)	C	B	A	A
Blokkering	C	B	B	B
1-fase-loop	C	B	A	A
Spanningsafwijking	C	A	A	A
Frequentieafwijking	C	A	A	A
Ontoereikende motorkoeling	C	C	A	A
Lagerschade	C	C	A	A

1. Bij pooltalomschakelbare motoren met gescheiden wikkelingen worden zes bimetaalschakelaars toegepast.
2. c/h \triangleq schakelingen per uur



2.7 Dimensioneren van de motor

S1-bedrijf

Het lastkoppel is de bepalende factor bij S1-bedrijf.

Elke motor wordt bemeten naar zijn thermische belastingsgraad. Vaak voorkomend is de aandrijftoepassing van de éénmalig in te schakelen motor (S1 = continue bedrijf = 100 % ID). De vanuit het lastkoppel van het lastwerktuig berekende vermogensbehoefte is gelijk aan het nominale vermogen van de motor.

S3/S4-bedrijf

Het massastraagheidsmoment en een hoge schakelfrequentie zijn de bepalende factoren bij S3- en S4-bedrijf.

Veel voorkomend is de toepassing met een hoge schakelfrequentie bij een gering tegenkoppel, zoals bijv. de rijwerkaandrijving. Hier is op geen enkele wijze de vermogensbehoefte doorslaggevend voor het dimensioneren van de motor, maar het aantal aanlopen van de motor. Door het frequente inschakelen vloeit elke keer de hoge aanloopstroom en warmt de motor hierdoor overproportioneel op. Wanneer de opgenomen warmte groter is dan de door de ventilator afgevoerde warmte, dan worden de wikkelingen ontoelaatbaar opgewarmd. Door een passende keuze van de isolatieklasse, of door een afzonderlijk aangedreven koelluchtventilator kan de thermische belastbaarheid van de motor verhoogd worden.

Nullastschakelfrequentie

Als nullastschakelfrequentie Z_0 geeft de fabrikant de toelaatbare schakelfrequentie aan van de motor bij 50 % ID, zonder lastkoppel en externe massa. Dit getal geeft aan, hoe vaak per uur de motor het massastraagheidsmoment van zijn eigen rotor, zonder lastkoppel bij 50 % ID, kan versnellen naar het maximale toerental.

Toelaatbare schakelfrequentie

Indien een extra massastraagheidsmoment versneld dient te worden, of als een extra lastkoppel optreedt, dan neemt de aanlooptijd van de motor hierdoor toe. Omdat tijdens deze aanloop een verhoogde stroom vloeit, wordt de motor thermisch hoger belast en neemt de toelaatbare schakelfrequentie af.

De toelaatbare schakelfrequentie van motoren kan bij benadering bepaald worden:

$$Z = Z_0 \cdot K_J \cdot K_M \cdot K_P \left[\frac{c}{h} \right]$$

Z = toelaatbare schakelfrequentie

Z_0 = nullastschakelfrequentie van de motor bij 50 % ID

$K_J = f(J_X, J_Z, J_M)$ correctiefactor toegevoegd massastraagheidsmoment

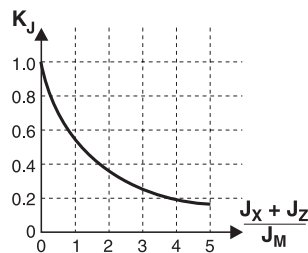
$K_M = f(M_L, M_H)$ correctiefactor tegenkoppel tijdens aanlopen

$K_P = f(P_X, P_N, ED)$ correctiefactor statisch vermogen en inschakelduur ID

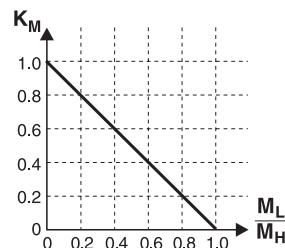


De factoren K_J , K_M en K_P kunnen voor de betreffende toepassing aan de hand van de diagrammen in de volgende afbeelding bepaald worden.

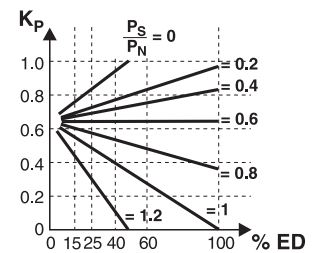
Als afhankelijke van het toegevoegde massa-tragheidsmoment



Als afhankelijke van het tegenkoppel tijdens het aanlopen



Als afhankelijke van het statisch vermogen en de inschakelduur ID



- J_X = som van alle externe massa-tragheidsmomenten gereduceerd op de motoras
- J_Z = massa-tragheidsmoment van de verzwaarde ventilator
- J_M = massa-tragheidsmoment van de motor
- M_L = tegenkoppel tijdens het aanlopen
- M_H = aanloopkoppel van de motor
- P_S = vermogensbehoefte na aanloop (statisch vermogen)
- P_N = nominaal vermogen van de motor

2.8 Zachte aanloop en zachte omschakeling

Ster-driehoekscha-keling

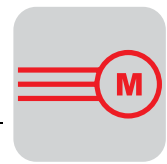
Het koppel van een draaistroomkortsluitrotormotor kan door het inschakelen van uitwendige smoorspoelen of weerstanden, of door gereduceerde spanning worden beïnvloed. De eenvoudigste vorm is de zogenaamde Δ/Δ -schakeling. Indien de wikkelingen van de motor in driehoekaansluiting Δ zijn berekend voor een netspanning van bijv. 400 V, en de motor wordt tijdens het aanlopen in ster aangesloten Δ aan het 400 V-net, dan volgt hieruit een koppel van slechts 1/3 van het koppel in driehoekschakeling. De stromen, ook de aanloopstroom, bereiken eveneens slechts 1/3 van de waarden ten opzichte van de driehoekschakeling.

Verzwaarde ventilator

Een reductie van de aanloopversnelling en de remvertraging en daardoor een zachte aanloop en zachte afremming kan bij bepaalde toepassingen bereikt worden door het toegevoegde massa-tragheidsmoment van een gietijzeren ventilator. Hierbij dient de schakelfrequentie gecontroleerd te worden.

Alternatieven voor-Ster-driehoek-schakeling

Met behulp van aanlooptransformatoren, de juiste smoorspoelen of weerstanden wordt een vergelijkbaar effect als met de Δ/Δ -omschakeling bereikt, waarbij door de grootte van de smoorspoelen en van de weerstanden het koppel gevarieerd kan worden.



Koppelreductie bij pooltalomschakelbare motoren

Bij pooltalomschakelbare motoren is het eventueel nodig, bij het omschakelen van het hoge naar het lage toerental passende reducties in het koppel te bewerkstellingen, omdat de omschakelkoppels hoger zijn dan de aanloopkoppels. Hier is als goedkope oplossing, naast het gebruik van smoorspoelen en weerstanden, het omschakelen op 2-fasen toepasbaar. Dit houdt in, dat de motor tijdens het omschakelen gedurende een bepaalde tijd (instelbaar met een tijdrelais) in de wikkeling voor het lage toerental slechts met 2 fasen werkt. Hierdoor wordt het anders symmetrische draaiveld verstoord en de motor krijgt een lager omschakelkoppel.

$$M_{U2ph} \approx \frac{1}{2} \cdot M_U$$

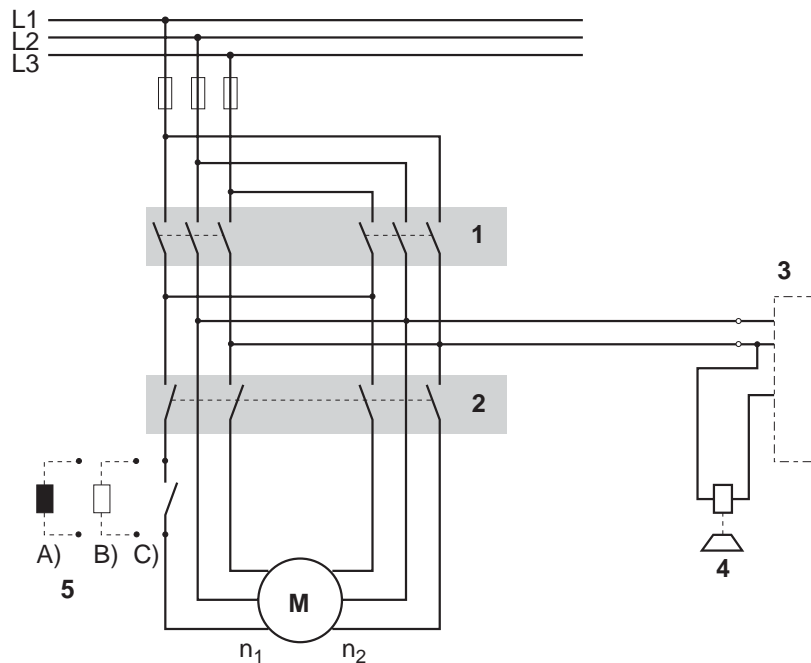
of

$$M_{U2ph} \approx (1 \dots 1.25) \cdot M_{A1}$$

- M_{U2ph} = gemiddeld omschakelkoppel 2-fasig
- M_U = gemiddeld omschakelkoppel 3-fasig
- M_{A1} = losbreekkoppel van de wikkelingen voor het lage toerental



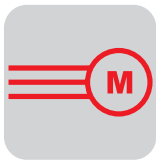
Bij hijswerken mag uit veiligheidsoverwegingen de 2-fasige omschakeling **niet** toegepast worden!



00629CXX

Afbeelding 7: Pooltalomschakeling

- 1 richtingsschakelen
- 2 snelheidsschakelen
- 3 remaansturing
- 4 rem
- n₁ lage toerental
- n₂ hoge toerental
- 5 Omschakelstootvermindering door
 - A omschakelsmoorspoel
 - B kortsluit-zachte aanloop-weerstand (Kusa)
 - C 2-fasig omschakelen



Nog voordeliger is het gebruik van het elektronisch apparaat voor zachte omschakeling WPU, dat elektronisch de 3^e fase bij het omschakelen onderbreekt en exact op het juiste tijdstip weer bijschakelt.



1812193

Afbeelding 8: Apparaat voor zachte omschakeling WPU

Het apparaat voor zachte omschakeling WPU wordt in twee fasen opgenomen en afhankelijk van het type wikkeling en de wijze van schakelen aangesloten.

2.9 Remmotoren

Uitvoerige documentatie over de remeigenschappen in samenhang met de verschillende remgelijkrichters en remaansturingen vindt u in de SEW-catalogi en in het handboek remmen (voorheen: Aandrijftechniek in de praktijk – SEW-platenremmen).

2



00630BXX

Afbeelding 9: Draaistroomremmotor en platenrem

Gebruik en werkingsprincipe

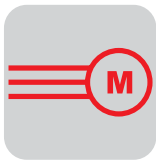
Voor veel toepassingen, waarbij een relatief nauwkeurig positioneren vereist is, dient de motor een extra mechanische rem te hebben. Naast deze toepassingen, waarbij de mechanische rem als werkrem wordt gebruikt, worden remmotoren ook toegepast wanneer het op veiligheid aankomt. Zo valt bijv. bij hijswerkaandrijvingen, waarbij de motor in een bepaalde positie elektrisch tot stilstand wordt gebracht, voor het op veilige wijze houden van die positie de "houdrem" in. Soortgelijke veiligheidseisen gelden bij de bedrijfsstoring "netonderbreking". Dan staan de mechanische remmen van de motoren garant voor de noodstop.

- bij het inschakelen van de spanning openen (lichten) de remmen elektromagnetisch,
- bij het afschakelen van de spanning vallen ze door veerdruk vanzelf in.

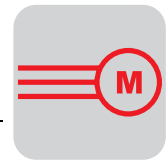
Remreactietijden

De remmen van SEW-remmotoren worden dankzij hun elektronisch gestuurde tweespoelen-remsysteem met een bijzonder korte aanspreektijd gelicht.

De reminvaltijd is vaak te lang, omdat bijv. de remgelijkrichter in de klemmenkast van de motors direct vanuit de motorklemmenstrook gevoed wordt. Bij het afschakelen van de motor wekt deze, zolang deze draait, een generatieve (remanente-) spanning op, die het invallen van de rem vertraagt. Echter ook het uitsluitend uitschakelen van de remspanning aan de wisselstroomzijde heeft aanzienlijke tijdvertragingen door zelfinductie van de remspoel tot gevolg. Hier helpt alleen de gelijktijdige onderbreking ook aan de gelijkspanningszijde, d.w.z. in de remspoelstroomkring.



- Remkoppels** SEW-platenremmen zijn door een variabele bezetting van de remveren instelbaar qua remkoppel. Bij het bestellen van de motor dient het gewenste remkoppel, overeenkomstig de gewenste eigenschappen, uit de catalogus gekozen te worden. Bij hijswerken dient bijv. het remkoppel uit veiligheidsoverwegingen ca. twee keer zo groot gedimensioneerd te worden als het benodigde nominale motorkoppel. Indien bij de bestelling niets wordt aangegeven, dan wordt de rem met het maximale remkoppel geleverd.
- Grensbelasting** Bij het dimensioneren van de rem, vooral bij nood-uit-remmen, dient erop gelet te worden, dat de maximaal toelaatbare arbeid per schakeling niet wordt overschreden. De betreffende diagrammen, die deze waarden tonen als afhankelijke van de schakelfrequentie en het motortoerental, vindt u in de SEW-catalogi en in het handboek remmen (voorheen: Aandrijftechniek in de praktijk – SEW-platenremmen).
- Remweg en stopnauwkeurigheid** De remtijd is opgebouwd uit twee afzonderlijke componenten:
- reminvaltijd t_2
 - mechanische remtijd t_B
- Tijdens de mechanische remtijd neemt het toerental en de snelheid van de motor af. Tijdens de invaltijd van de rem blijft de snelheid vergaand constant, evt. kan deze zelfs toenemen, bijv. bij hijswerkaandrijvingen tijdens het dalen, wanneer de motor reeds uitgeschakeld en de rem nog niet ingevallen is.
- De tolerantie voor de remweg onder gelijkblijvende omstandigheden bedraagt ca. $\pm 12\%$. Bij zeer korte remtijden kan een wat grotere invloed van de elektrische aansturing (relais- of schakeltijden) de stopweg verlengen. Bij PLC's kunnen extra tijden ontstaan door programmalooptijden en uitgangsprioriteiten.
- Mechanisch lichten van de rem** De rem kan, als optie mechanisch worden gelicht. Bij het mechanisch lichten wordt een lichtheboom (uit zichzelf terugspringend) of een inbusbout (vastzetbaar) meegeleverd.
- Remverwarming** Voor bijzondere omgevingsomstandigheden zoals bijv. het gebruik in de open lucht bij grote temperatuursverschillen of bij heel lage temperaturen (koelhuizen) is het noodzakelijk om de rem te beveiligen tegen vastvriezen. Dit vereist een speciaal aanstuurapparaat (in het SEW-leveringsprogramma).

**Remschakelaars**

De hoge stroomstootbelasting en de te schakelen gelijkspanning van een inductieve last in aanmerking genomen, dient de schakelapparatuur voor de remspanning en de gelijkstroomzijdige afschakeling ofwel met gelijkstroomschakelaars of met aangepaste wisselstroomcontacten volgens de gebruikscategorie AC3 volgens EN 60947-4-1 uitgevoerd te zijn.

De selectie van een remschakelaar voor netbedrijf is heel eenvoudig:

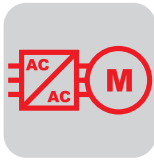
Voor de standaardspanningen $230 V_{AC}$ en $400 V_{AC}$ wordt een vermogensschakelaar met een nominaal vermogen van 2,2 kW of 4 kW bij AC3-bedrijf gekozen.

Bij $24 V_{DC}$ wordt de schakelaar gekozen voor DC3-bedrijf.

Tegenstroomremming
Gelijkstroomremming

Tegenstroomremmingen of reverseerbedrijf, d. w. z. het ompolen van de motorspanning bij het maximale toerental, vormen voor de motor een grote mechanische en thermische belasting. **De hoge mechanische belasting geldt ook voor de opvolgende reductor en overbrengingselementen. Hier dient in elk geval met de fabrikant van de aandrijving overlegd te worden.**

Met een gelijkstroomremming kunnen motoren zonder rem al naargelang de grootte van de gelijkstroom meer of minder snel afgeremd worden. Omdat deze vorm van remmen tot extra opwarming in de motor leidt, dient ook hier met de fabrikant overlegd te worden.



3 Draaistroomaandrijvingen met een frequentieregelaar

Uitvoerige informatie over draaistroomaandrijvingen met frequentieregelaars treft u aan in de catalogi van de frequentieregelaars MOVITRAC® en MOVIDRIVE®, de catalogus MOVIMOT®, het systeemhandboek "Aandrijfsystemen voor decentrale installatie" en in "Aandrijftechniek in de praktijk – Het toepassen van frequentiegeregelde draaistroommotoren".



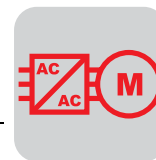
Afbeelding 10: SEW-frequentieregelaars MOVITRAC® 07, MOVIDRIVE® en MOVITRAC® 31C ^{04077AXX}

Draaistroommotoren en draaistroommotorreductoren worden bij voorkeur met frequentieregelaars traploos in toerental veranderd. De frequentieregelaar levert een variabel instelbare uitgangsfrequentie met een zich proportioneel wijzigende uitgangsspanning.



Afbeelding 11: MOVIMOT® motorreductor met geïntegreerde frequentieregelaar ^{04791AXX}

Voor toepassingen met decentrale installatie komen ook de MOVIMOT® motorreductoren met geïntegreerde frequentieregelaar in aanmerking.

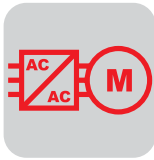


3.1 Frequentieregelaars

- Applicatieregelaar MOVIDRIVE®** De applicatieregelaars MOVIDRIVE® en MOVIDRIVE® *compact* met een vermogensbereik t.m. 90 kW voldoen aan de hoogste eisen van dynamiek en regelnaauwkeurigheid. De vectorgerregelde regelaars zijn ontworpen voor de inbouw in een schakelkast, naast elkaar plaatsbaar, compact en geoptimaliseerd voor een minimaal inbouwoppervlak.
- VFC** De uitvoering met VFC (Voltage mode flux control) met of zonder toerentalterugkoppeling maakt een hoge regelnaauwkeurigheid van asynchrone aandrijvingen mogelijk.
- CFC** Met de MOVIDRIVE® met CFC (Current mode flux control) worden de hoogste eisen aan nauwkeurigheid en dynamiek gerealiseerd. Asynchroonaandrijvingen bereiken met MOVIDRIVE® en CFC servo-eigenschappen.
- Frequentieregelaars MOVITRAC®** De frequentieregelaars MOVITRAC® maken een traploze elektronische toerentalverstelling van draaistroommotorreductoren en -remmotoren mogelijk. MOVITRAC®-regelaars zijn ontworpen voor de inbouw in een schakelkast. Het gebruiksvriendelijke bedienings- en informatieconcept voor de PC maakt een snelle inbedrijfstelling en een snelle service mogelijk.
- Servoregelaars MOVIDYN®** De modulaire servoregelaars MOVIDYN® voor synchronomotoren zijn bedoeld voor de inbouw in een schakelkast en bieden een hoge dynamiek en een groot instelbereik.

3.2 MOVIMOT® motorreductoren met geïntegreerde frequentieregelaar

Motorreductoren MOVIMOT® zijn compacte, gereed voor aansluiting gemonteerde, elektronisch in toerental verstelbare aandrijvingen met of zonder mechanische rem. MOVIMOT® is in alle standaarduitvoeringen en bouwvormen leverbaar als rechte, vlakke, kegelwiel-, Spiroplan®, planetaire of wormwielmotorreductor.



3.3 Motorbedrijf met een frequentieregelaar

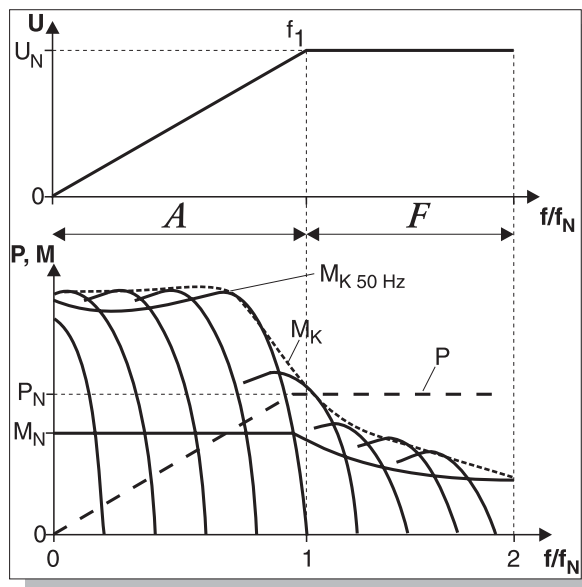
Bedrijfskarakteristieken

Constant koppel
tot de netfrequentie

Door wijziging van de frequentie en de spanning is de koppel-toerentalkromme van de draaistroomkortsluitrotormotor verschuifbaar over de toerental-as (zie de volgende afbeelding). Over het gebied met een proportionele samenhang tussen U en f (gebied A) wordt de motor met een constant veld gebruikt en kan deze belast worden met een constant koppel. Bereikt de spanning zijn maximale waarde en wordt de frequentie verder verhoogd, dan neemt het veld en daarmee het beschikbare koppel af (veldverzwakking, gebied F). Tot de kantelgrens kan de motor in het proportionele gebied (A) met een constant koppel gebruikt worden en in het gebied met veldverzwakking (F) met een constant vermogen. Het kippkoppel M_K daalt kwadratisch. Vanaf een bepaalde frequentie wordt $M_K < \text{beschikbare koppel}$,

bijv. bij kantelfrequentie $f_1 = 50 \text{ Hz}$

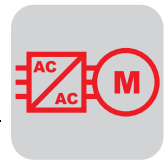
- en $M_K = 2 \times M_N$ vanaf 100 Hz
- en $M_K = 2,5 \times M_N$ vanaf 125 Hz.



Afbeelding 12: Bedrijfskarakteristieken met constant koppel en constant vermogen (veldverzwakkingsgebied)

00640BXX

- f_1 = kantelfrequentie
- A = proportioneel gebied
- F = veldverzwakkingsgebied

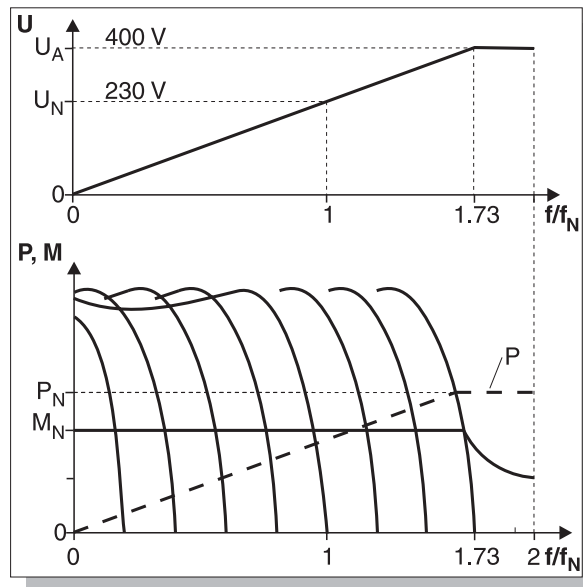


Constant nominaal koppel tot $\sqrt{3}$ x netfrequentie

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

Motor: 230 V / 50 Hz (Δ -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.

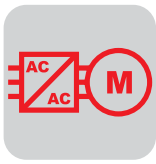
Vanwege de hoge thermische belasting van de motor in continubedrijf adviseert SEW echter alleen het benutten van het nominale vermogen van de eerstvolgende grotere in de lijst voorkomende motor (met isolatieklasse F!)

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

benutbaar vermogen bij Δ -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 bedrijfsoort 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 Δ -schakeling groter is dan in \sphericalangle -schakeling.



Dimensioneren van de motor

Koeling

Een voorwaarde voor een constant koppel is een gelijkblijvende koeling van de motoren ook in het onderste toerentalbereik. Dit is bij motoren met eigen koeling niet mogelijk, omdat met afnemend toerental de ventilatie eveneens afneemt. Indien geen afzonderlijk aangedreven ventilator wordt toegepast, dient ook het koppel gereduceerd te worden. Een afzonderlijk aangedreven ventilator kan alleen achterwege gelaten worden wanneer de motor overgedimensioneerd wordt. Het in vergelijking tot het afgegeven vermogen grotere motoroppervlak kan de warmteverliezen ook bij lagere toerentallen beter afvoeren. Het hogere massastraagheidsmoment kan onder sommige omstandigheden tot problemen leiden.

Rekening houden met het totale systeem

Bij de keuze van de maximale frequentie dienen ook de belangen van de motorreductor in overweging genomen te worden. De hoge omtrekssnelheid van de drijvende trap met de daaruit voortvloeiende gevolgen (woelingsverliezen, invloed van lagers en keerring, geluidsvorming) begrenst het hoogst toelaatbare toerental van de motor. De onderste grens van het frequentiegebied wordt door het totale systeem vanzelf bepaald.

Rondloopkwaliteit / regelnauwkeurigheid

De rondloopkwaliteit bij lage toerentallen wordt beïnvloed door de kwaliteit van de verkregen sinusvormige uitgangsspanning. De stabiliteit van het toerental onder belasting wordt bepaald door de kwaliteit van de slip- en de IxR-compensatie of alternatief door een toerentalregeling met het gebruik van een aan de motor aangebouwde toerental-encoder.

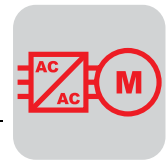
3.4 Het projecteren met SEW-frequentieregelaars

De door SEW gehanteerde bedrijfskarakteristieken van de draaistroommotorreductor zijn in het hoofdstuk *Motorbedrijf met een frequentieregelaar / Bedrijfskarakteristieken* beschreven. Uitvoerige informatie over het projecteren vindt u in de catalogi MOVIDRIVE® en MOVITRAC® alsmede in "Aandrijftechniek in de praktijk – *Het toepassen van frequentiegestuurde draaistroommotoren*".

Dimensioneer-richtlijnen van SEW

Bij regelaarbedrijf dienen de motoren uitgevoerd te worden in isolatieklasse F. Bovendien dienen temperatuurvoelers TF of thermostaten TH aangebracht te worden.

De motoren mogen slechts met het vermogen van de één typesprong kleinere motor of met een afzonderlijk aangedreven ventilator worden gebruikt.



Vanwege het toerentalbereik, het rendement en de $\cos \varphi$ worden bij voorkeur 4-polige motoren toegepast. De volgende mogelijkheden kunnen gekozen worden:

Tabel 6: Motoruitvoering

Toerentalbereik bij $f_{max} = 50 \text{ Hz}$	Aanbevolen uitvoering motor			
	Vermogen	Koelwijze ¹⁾	Isolatieklasse	Temperatuurvoelers TF / Thermostaat TH
1 : 5	P_C	Eigen koeling	F	ja
1 : 20 en meer	P_N	Vreemde koeling	F	ja

1) Let op voldoende koeling van de remspoel bij remmotoren (zie remmenhandboek, voorheen: Aandrijftechniek in de praktijk – SEW-platenremmen)

P_N = motorvermogen volgens de lijst (zonder reductie)

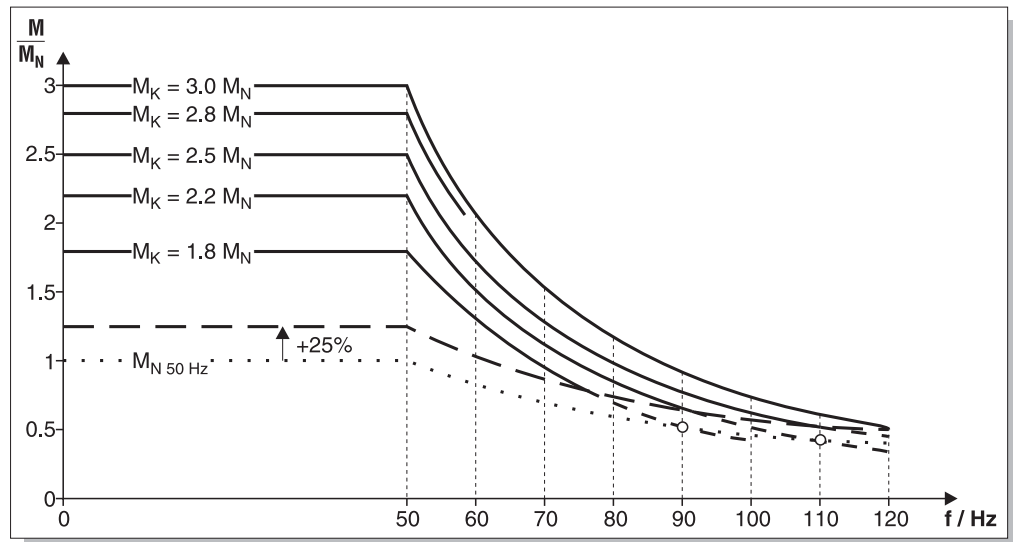
P_C = gereduceerd vermogen = benutting met het vermogen van de eerstvolgende kleinere lijstmotor

Toerentalbereik

Met toerentalbereik wordt het bereik bedoeld, waarin de motor continu gebruikt wordt. Wanneer lage toerentallen slechts kortstondig (bijv. bij aanlopen of positioneren) gebruikt worden, dienen deze bij het bepalen van het bereik niet meegerekend te worden.

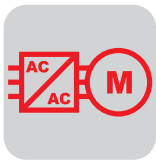
Kipkoppel

Bij de keuze van het maximale toerental in het veldverzwakkingsgebied via de bepaling van de maximale frequentie dient er rekening mee gehouden te worden dat het nominale koppel $M_{N50\text{Hz}}$ (gebaseerd op de nominale frequentie) omgekeerd evenredig vermindert, het kipkoppel M_K echter omgekeerd kwadratisch. Om een kipveilig bedrijf te verzekeren, dient de verhouding $M_K/M_N > 1$ te blijven (wij adviseren minimaal 1,25, zie volgende afbeelding).



00643BXX

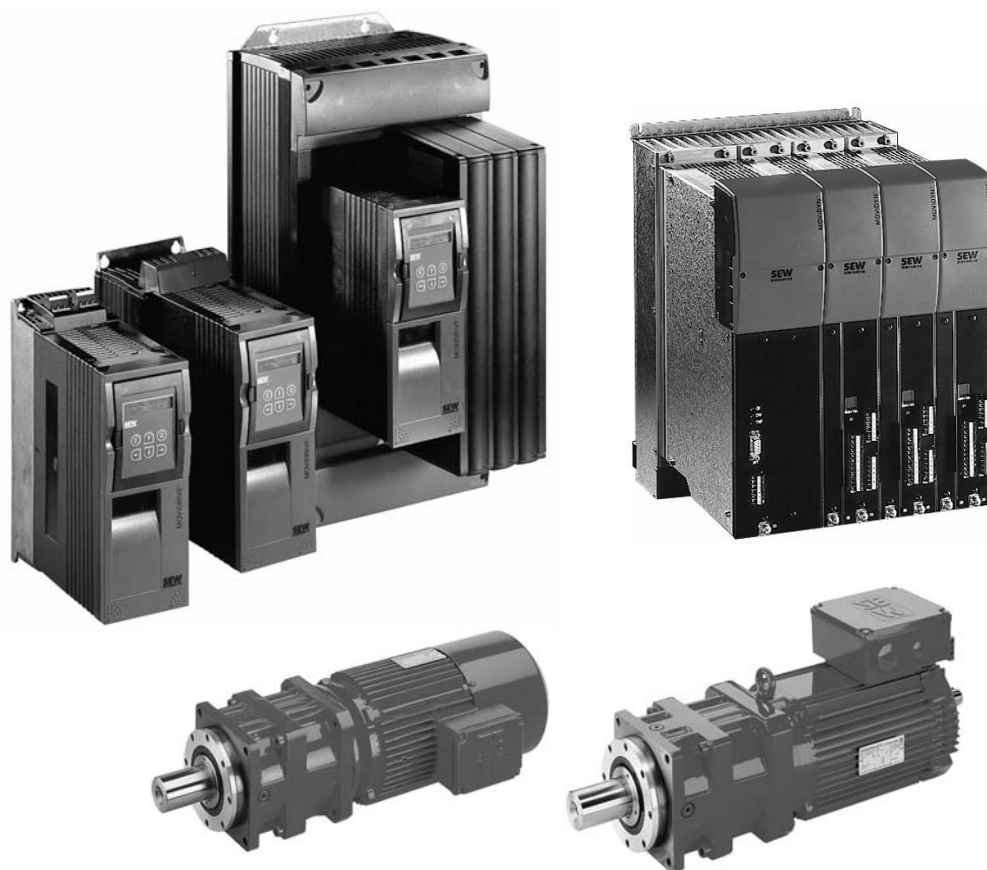
Afbeelding 14: Kwadratisch afnemend kipkoppel



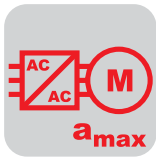
- Parallelbedrijf** Het parallelbedrijf van meerdere motoren aan één regelaar garandeert geen gelijk- of synchronloop. Conform de belastig van de afzonderlijke motoren kan het toerental door slip tot ca. 100 min^{-1} tussen nullast en nominale last verminderen. De toerentalafwijking is over het totale toerentalbereik vrijwel constant en kan ook niet door slip- en IxR-compensatie bij de regelaar vereffend worden. De instellingen van de regelaar hebben gedwongen betrekking op alle motoren, dus ook op de momenteel onbelaste.
- Beveiliging van motorleidingen** Bij parallelbedrijf van meerdere motoren aan één regelaar dient elke afzonderlijke motorleiding met een thermisch overstroomrelais (of een motorbeveiligingsschakelaar als gecombineerde vermogensbeveiliging) uitgevoerd te worden, want de stroombegrenzende werking van de regelaar slaat op alle parallel gebruikte motoren gemeenschappelijk.
- Railsysteem** Het bij - en afschakelen van afzonderlijke motoren aan een door een SEW-regelaar gevoed railsysteem is zonder beperking mogelijk. Bij een railsysteem mag de som van de nominale stromen van de motoren maximaal de nominale stroom van de regelaar opleveren, ofwel 125 % van de nominale stroom van de regelaar zijn bij een kwadratische belasting alsmede bedrijf met een constant koppel zonder overbelasting.
- Pooltalomschakelbare motoren aan een frequentieregelaar** Indien pooltalomschakelbare motoren worden toegepast en worden deze tijdens bedrijf omgeschakeld, dan dient er rekening mee gehouden te worden dat bij het omschakelen van laag- naar hoogpolige toestand de motor generatief gebruikt wordt. Voor dit geval dient de regelaar met een voldoende bemeten remweerstand uitgevoerd te zijn, anders kan een afschakeling wegens te hoge tussenkringspanning ontstaan. Bij het omschakelen van de hoog- naar de laagpolige toestand wordt de regelaar belast met een extra omschakelstroom. Deze dient hiervoor voldoende stroomreserve te hebben, anders volgt een afschakeling wegens overbelasting.
- Opties** De frequentieregelaars kunnen al naar behoefte met extra functies worden uitgebreid. Op basis van de vele optiemogelijkheden kan een groot aantal applicaties met de SEW-frequentieregelaars opgelost worden.
- Als voorbeeld staan ter beschikking:
- Toepassingsopties
 - Toerentalregeling
 - In-/uitgangsfuncties
 - Synchronloopregeling
 - Positioneerbesturing
 - Curvenschijf
 - Vliegende zaag
 - Baanspanningswikkelaar
 - Communicatieopties
 - Handbedieningsapparaten
 - Seriële interfaces
 - Veldbus-interfaces

4 Servo aandrijvingen

Uitvoerige informatie over servo aandrijvingen vindt u in de catalogi "Servomotorreductoren", in het systeemhandboek "MOVIDRIVE® applicatieregelaars" in de catalogus "MOVIDYN® servoregelaars" en in "Aandrijftechniek in de praktijk Servo-aandrijvingen".



Afbeelding 15: Applicatieregelaars MOVIDRIVE®, servoregelaars MOVIDYN®, asynchrone en synchrone servomotoren



Definitie

In de moderne aandrijftechniek worden bij veel toepassingen hoge eisen gesteld aan:

- Dynamiek
- Positioneernauwkeurigheid
- Toerentalnauwkeurigheid
- Regelbereik
- Geringe koppelrimpels
- Overbelastbaarheid

Dynamiek

De eisen aan de dynamiek, dus het gedrag in de tijd van een aandrijving, komen voort uit steeds sneller wordende bewerkingsprocessen, een verhoging van de bewegingsfrequentie en de daarmee samenhangende productiviteit van een machine.

Nauwkeurigheid

De grote nauwkeurigheid bepaalt heel vaak de toepassingsmogelijkheden van een aandrijfsysteem. Aan deze eisen dient een modern dynamisch aandrijfsysteem te voldoen.

Toerentalinstelbereik

Servo aandrijvingen zijn aandrijfsystemen die een dynamisch, zeer nauwkeurig en overbelastbaar gedrag in een groot toerentalinstelbereik realiseren.

4.1 Servomotoren

Opbouw

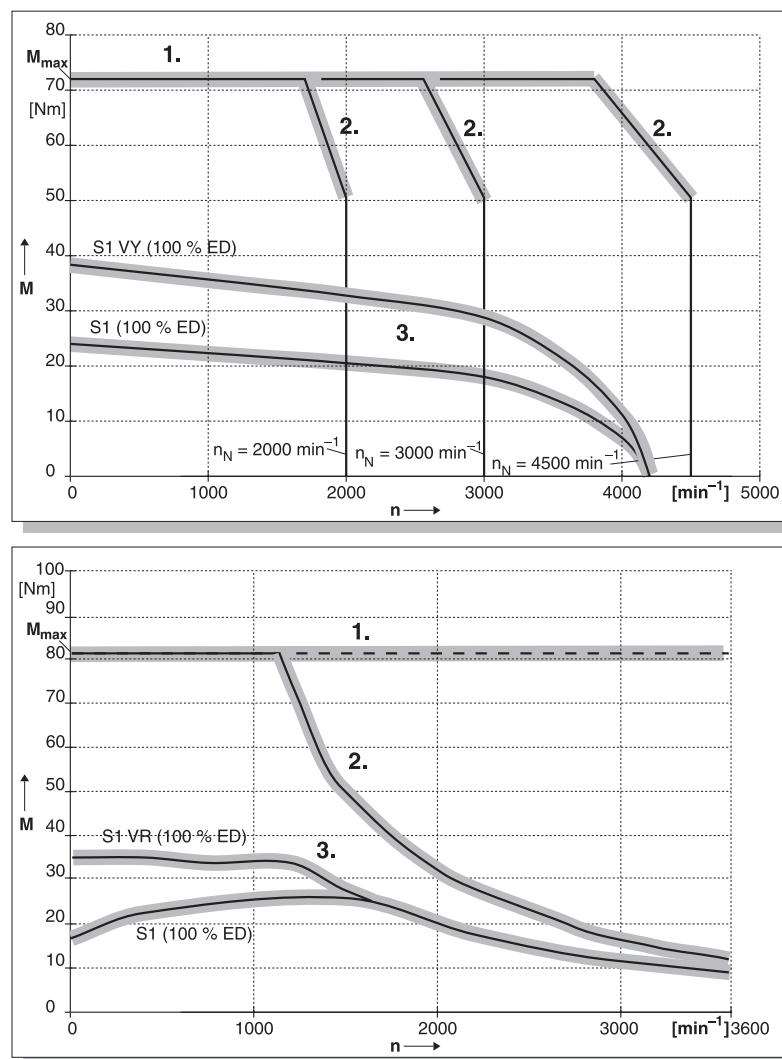
Door SEW worden asynchrone en synchrone servomotoren aangeboden. De statoren van deze beide motoren zijn in principe identiek, terwijl de rotoren verschillend zijn uitgevoerd:

- de asynchrone servomotor heeft een kortsluitrotor en het magneetveld wordt verkregen door inductie
- de synchrone servomotor heeft op de rotor gelijkde magneten, die een constant rotoormagneetveld opwekken.

Koppeltoerentalkrommen

Bij de koppel-toerentalkromme van de servomotor worden drie grenzen zichtbaar, waarmee bij het projecteren van een aandrijving rekening gehouden dient te worden:

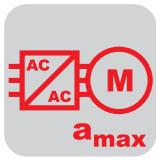
1. Het maximale koppel van een motor wordt bepaald door zijn mechanische uitvoering. Bij de synchrone servomotor speelt bovendien de belastbaarheid van de permanente magneten een rol.
2. Koppelbeperkingen in het hoge toerentalbereik zijn het resultaat van de spanning aan de klemmen. Deze is afhankelijk van de tussenkringspanning en de spanningsval over de leidingen. Op basis van de tegen-EMK (geïnduceerde poolradspanning in de motor) kan de maximale stroom niet meer opgelegd worden.
3. Een verdere grens is de thermische benutting van de motor. Bij het projecteren wordt het effectieve koppel berekend. Dit dient onder de S1-karakteristiek voor continuubedrijf te liggen. Een overschrijding van de thermische grens kan een beschadiging van de wikkelingenisolatie tot gevolg hebben.



00226BXX

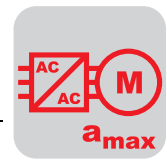
Afbeelding 16: Als voorbeeld koppel-toerentalkrommen van een synchrone en een asynchrone servomotor

VY = Afzonderlijk aangedreven ventilator voor synchroommotoren
 VR = Afzonderlijk aangedreven ventilator voor asynchroommotoren



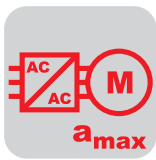
4.2 Servoregelaars **MOVIDYN**[®]

- Eigenschappen** Servoregelaars van het type MOVIDYN[®] zijn modulair opgebouwde regelaars, die permanent bekrachtigde synchroonmotoren met sinusvormige stromen voeden. Ze zijn met een netspanning van 380 ... 500 V_{AC} met 50/60 Hz te gebruiken en leveren uitgangstromen van 5 tot 60 A_{AC}. Servoregelaars MOVIDYN[®] werken samen met synchroonmotoren met resolverterugkoppeling.
- Netmodule MPB... en MPR...* De netmodulen dienen voor de vermogensvoeding van de aangesloten asmodulen via de tussenkring en voor de voedingsspanning van de sturelektronica via een primair schakelende gelijkspanningsvoeding. Ze bevatten bovendien de centrale remchopper of de terugvoeding naar het net, alle benodigde beveiligingsfuncties en de seriële interfaces RS-232 und RS-485.
- Asmodule MAS...* De aansluiting van de asmodulen aan de tussenkringspanning en de beschermingsaarde vindt plaats met stroomrails. Voor de voedingsspanning van de sturelektronica wordt een afzonderlijke 24 V_{DC}-bus gebruikt. Voor de communicatie tussen de apparaten onderling is aan de onderzijde van de apparatuur een databus aangebracht.
- Opties**
- Veldbus-interfaces PROFIBUS, INTERBUS, CAN und DeviceNet
 - Positioneerbesturing
 - In-/uitgangskarten
 - Verwerking van de waarden van absolute encoders
 - Afneembaar diagnoseapparaat met parameteropslag
 - Remweerstand
 - Netfilters, netsmoorspoelen, uitgangssmoorspoelen en uitgangsfilters



4.3 Applicatieregelaars **MOVIDRIVE[®]** en **MOVIDRIVE[®] compact**

Eigenschappen	<p>MOVIDRIVE[®] is een toepassingsgericht systeem van applicatieregelaars, dat met verschillende regelprocessen aan de individuele behoeften wordt aangepast.</p> <p>Steekbare optiekaarten en applicatiemodulen zijn alleen bij de MOVIDRIVE[®] toe te passen, niet bij de MOVIDRIVE[®] compact.</p>
Typen	<p>Voor servo aandrijvingen worden de volgende typen uit de serie MOVIDRIVE[®] gebruikt:</p> <ul style="list-style-type: none">• MOVIDRIVE[®] MDV: voor asynchrone servomotoren zonder en met encoderterugkoppeling. Naar keuze een vectorieel regelproces VFC (Voltage mode flux control) of CFC (Current mode flux control).• MOVIDRIVE[®] MDS: voor synchrone-servomotoren met encoderterugkoppeling. Regelproces CFC.
Systeembus	<p>Met de standaard aanwezige systeembus (SBus) kunnen meerdere MOVIDRIVE[®]-applicatieregelaars met elkaar gekoppeld worden. Daardoor kan een snellere uitwisseling van data worden gerealiseerd.</p>
Opties	<ul style="list-style-type: none">– Veldbus-interfaces PROFIBUS, INTERBUS, CAN und DeviceNet– Synchroonloop– Positioneerbesturing– In-/uitgangskaarten– Verwerking van absolute encoders– Afneembaar, duidelijk bedieningsapparaat met parameteropslag– Netterugvoeding– Applicatiemodulen



4.4 Projecteringsvolgorde

Het volgende volgordediagram geeft schematisch de handelwijze bij het projecteren van een positioneeraandrijving weer.

<p>Noodzakelijke informatie over het aan te drijven werktuig</p> <ul style="list-style-type: none"> • technische gegevens en omgevingsomstandigheden • positioneernaauwkeurigheid / instelbereik • berekening van de bedrijfscyclus
<p>Berekening van de relevante toepassingsgegevens</p> <ul style="list-style-type: none"> • statisch, dynamisch, generatief vermogen • toerentallen • koppels • gebruiksdigram (effectieve belasting)
<p>Reductorkeuze</p> <ul style="list-style-type: none"> • bepaling van de reductorgrootte, overbrengingsverhouding en reductoruitvoering • controle van de positioneernaauwkeurigheid • controle van de belasting van de reductor ($M_{a \max} \geq M_a(t)$)
<p>Systeemkeuze afhankelijk van</p> <ul style="list-style-type: none"> • positioneernaauwkeurigheid • instelbereik • regeling (positie / toerental / koppel)
<p>Aandrijfwijze asynchroon of synchroon</p> <ul style="list-style-type: none"> • versnelling • max. koppel • bedrijfsmatig laagste motortoerental
<p>Motorkeuze</p> <ul style="list-style-type: none"> • maximum koppel $< 300 \% M_N$ • effectief koppel $< M_N$ bij gemiddeld toerental • verhouding van de massa traagheidsmomenten J_L / J_M • maximum toerental • thermische belasting (instelbereik / inschakelduur) • motoruitvoering • reductor-motor-afstemming
<p>Regelaarkeuze</p> <ul style="list-style-type: none"> • motor-regelaar-afstemming • continuvermogen en piekbelasting • keuze van de remweerstand of terugvoedingsapparaat • keuze van de opties (bediening / communicatie / technologiefuncties)
<p>Controleren, of aan alle eisen voldaan wordt.</p>

5 Draaistroomaandrijvingen met mechanische variatoren

Uitvoerige informatie vindt u in de catalogus "Verstellgetriebemotoren".



Afbeelding 17: Wrijvingswiel-variatormotorreductor VARIMOT[®] met vlakke reductor en riem-variatormotorreductor VARIBLOC[®] met kegelwielreductor

04083AXX

5

5.1 Eigenschappen

Veel bewegingsverlopen vragen om aandrijvingen met een instelbaar toerental over een klein instelbereik, zonder bijzondere eisen aan de constantheid van het toerental, bijv. transportbanden, roeders, mengers enz. Hier wordt met behulp van de variatoren uitsluitend het toerental van de afzonderlijke werktuigen op een gunstige waarde ingesteld.

De mechanische variatoren worden vaak gecombineerd met een achteraf opgestelde reductor. De variatoren worden aangedreven door draaistroomkortsluitrotormotoren.

Algemeen toegepaste-variators

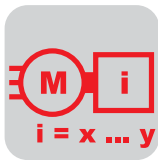
Zeer algemeen toegepast zijn:

- Wrijvingswielvariators met het beperkte instelbereik tot ca. 1 : 5.
- Riemvariators met het beperkte instelbereik tot ca. 1 : 8.

De instelbereiken kunnen door het gebruik van pooltalomschakelbare motoren (bijv. 4/8-polig) worden vergroot.

Regelbaarheid, versteltijd

Door de relatief lange versteltijden, al naar gelang het instelbereik 20 ... 40 s, is een regeling met deze mechanische variators zeer traag. Om die reden worden deze aandrijvingen alleen toegepast als instelbare aandrijving.



5.2 Keuze van de variator

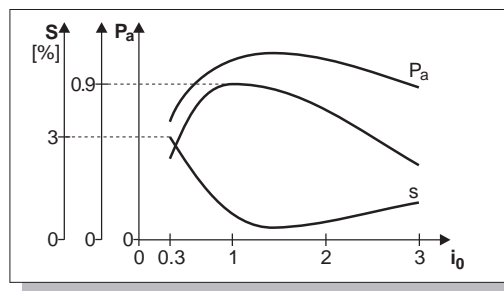
Om de variatoren te kunnen dimensioneren, dienen naast het benodigde vermogen en het instelbereik de omgevingstemperatuur, de opstellingshoogte en het soort bedrijf bekend te zijn. In de volgende afbeelding zijn het afgegeven vermogen P_a , het rendement η en de slip s weergegeven als afhankelijke van de overbrengingsverhouding i .

r

Dimensionerings-criteria

Omdat mechanische variatoren niet alleen het toerental maar ook het koppel omzetten, dienen ze volgens verschillende criteria gedimensioneerd te worden:

- volgens een constant koppel
- volgens een constant vermogen
- volgens een constant koppel en een constant vermogen (elk in een deel van het toerentalbereik)



00633BXX

Afbeelding 18: Karakteristieke waarden van de variator

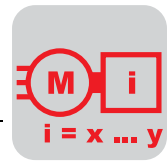
- P_a = vermogen
 η = rendement
 s = slip
 i_0 = overbrenging van de variator

Overbrenging

$$i_0 = \frac{n_{a0}}{n_{e0}}$$

- n_{a0} = uitgaand toerental zonder belasting
 n_{e0} = ingaand toerental zonder belasting

De bovenstaande grafiek toont het verloop van P_a , s en η conform metingen aan belaste variatoren. De grafiek toont een nauwe samenhang tussen het rendement en de slip bij de ingestelde overbrenging. Vanuit mechanische overwegingen, zoals de maximale wrijving tussen de riem (wrijvingsschijf) en de maximale omtreksnelheid, alsmede snelheidsafhankelijke wrijvingswaarden, resulteren hier geen lineaire verbanden. Om een variator optimaal te kunnen toepassen, is om die reden een verschillende beoordeling van de toepassingen noodzakelijk.



Dimensioneren voor constant koppel

De meeste aandrijftoepassingen vragen over het instelbereik een vergaand constant koppel. Hiervoor gedimensioneerde variatoren kunnen belast worden met een koppel dat berekenen is met de formule:

Uitgaand koppel

$$M_a = \frac{P_{amax} \cdot 9550}{n_{amax}} = const. \quad [Nm]$$

- M_a = uitgaand koppel [Nm]
- P_{amax} = maximum uitgaand vermogen [kW]
- n_{amax} = maximum uitgaand toerental [min^{-1}]

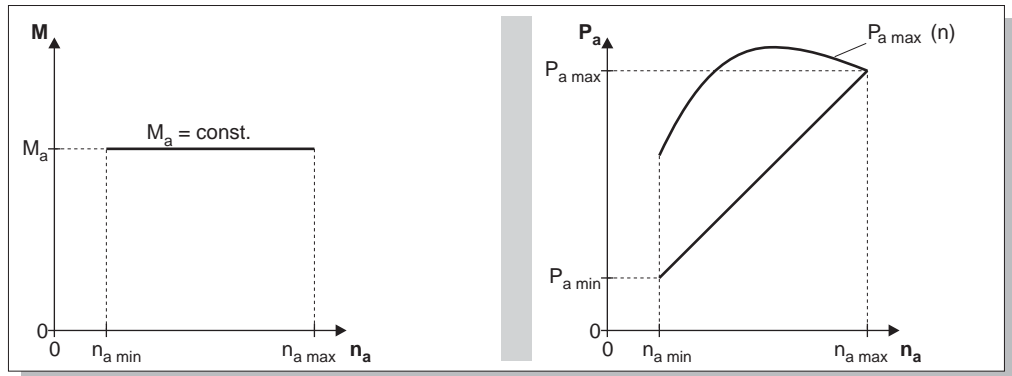
Bij het zodanig dimensioneren resp. soort bedrijf wordt de hierna opgestelde reductor over het gehele instelbereik gelijkmatig belast. De volledige benutting van de variator wordt alleen bij maximum toerental bereikt. Bij lage toerentalen is het benodigde vermogen lager dan het toelaatbare vermogen. Met de volgende vergelijking wordt het kleinste vermogen bij het laagste toerental van de variator berekend:

Uitgaand vermogen

$$P_{amin} = \frac{1}{R} \cdot P_{amax} \quad [kW]$$

- P_{amin} = minimum uitgaand vermogen [kW]
- R = toerentalinstelbereik

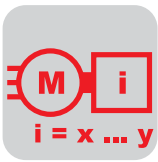
De volgende grafiek toont het koppel en het vermogen als afhankelijk van het toerental:



00634CXX

Afbeelding 19: Karakteristieke waarden van de variator bij een constant koppel

$P_{amax}(n)$ = maximum vermogen volgens test
 Definitiekoppel M_a = grenskoppel M_{amax} van de reductor



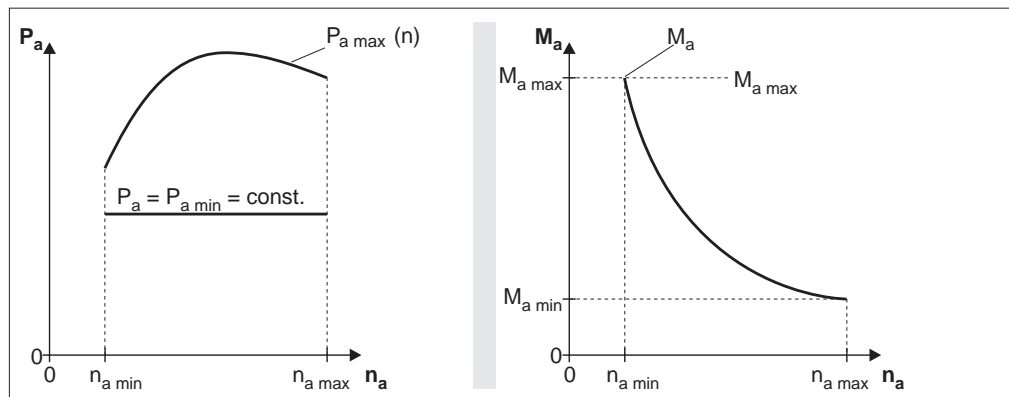
Dimensioneren voor constant vermogen

Uitgaand vermogen

Het uitgaand vermogen P_a kan binnen het gehele instelbereik worden afgenomen en met de volgende formule worden berekend:

$$P_a = \frac{M_{a \max} \cdot n_{a \min}}{9550} = \text{const.} \quad [\text{kW}]$$

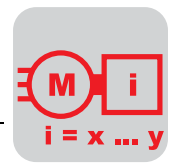
De variator wordt alleen bij het laagste uitgaande toerental volledig belast. De erachter opgestelde reductor dient geschikt te zijn voor de overdracht van het daarbij ontstane koppel. Deze koppels kunnen een factor 200 - 600 % hoger liggen dan bij het dimensioneren voor een constant koppel (zie de karakteristieken).



00635BXX

Afbeelding 20: Karakteristieke waarden van de variator bij een constant vermogen

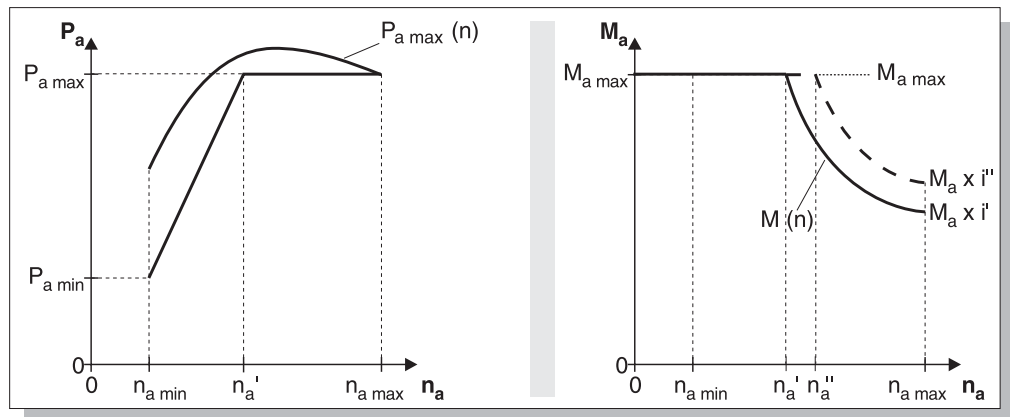
$P_{a \max}(n)$ = maximum vermogen volgens test
Definitiekoppel M_a = grenskoppel $M_{a \max}$ van de reductor



Dimensioneren voor constant vermogen en constant koppel

Bij deze belasting wordt de variator optimaal belast. De reductor dient zodanig gekozen te worden dat de maximaal optredende uitgaande koppels kunnen worden overgedragen. In het bereik $n_{a'} \dots n_{amax}$ blijft het vermogen constant. In het bereik $n_{amin} \dots n_{a'}$ blijft het koppel constant.

Indien men het beschikbare bereik van de variator niet volledig wenst te benutten, dan is het zinvol om vanwege het rendement het te benutten toerentalbereik bij de hogere toerentallen onder te brengen. In het hogere toerentalbereik is de slip van de variator het kleinst en het overbrengbaar vermogen het grootst.



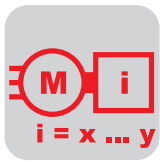
00636BXX

Afbeelding 21: Karakteristieke waarden van de variator bij een constant koppel en een constant vermogen

$P_{a\ max}(n)$ = maximum vermogen volgens test
 Definitiekoppel M_a = grenskoppel $M_{a\ max}$ van de reductor
 $M(t)$ = toelaatbaar koppelverloop

Uitgaand vermogen

$$P_{amin} = \frac{n_{amin}}{n_{a'}} \cdot P_{amax}$$

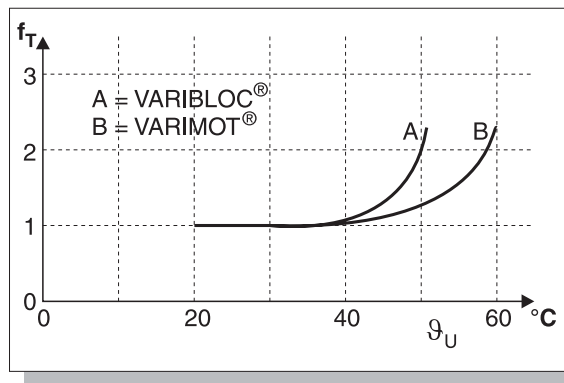
**Bedrijfsfactoren**

Voor de keuze van variatoren aan de hand van keuzetabellen gelden de volgende bedrijfsfactoren:

- f_B = bedrijfsfactor voor de soort belasting (zie de volgende tabel)
- f_T = bedrijfsfactor voor de invloed van de omgevingstemperatuur (zie de volgende grafiek)

De totale bedrijfsfactor volgt uit $f_B \times f_T$.

Soort belasting	f_B	Toelichting	Voorbeelden
I	1,0	gelijkvormig, stootvrij bedrijf	ventilatoren, lichte transportbanden, vulmachines
II	1,25	ongelijkvormig bedrijf met middelmatige stoten	hijswerktuigen, balanceermachines, kraanrijwerken
III	1,5	sterk ongelijkvormig bedrijf met heftige stoten	zware mixers, walsen, stanzen, stenenbrekers



00637BXX

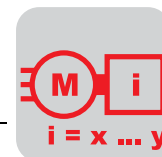
Afbeelding 22: Bedrijfsfactoren f_T

Overbelastingsbeveiliging*Elektronische overbelastingsbeveiliging*

De aanwezige motorbeveiliging, ongeacht van welk type, beveiligt niet de erachter opgestelde reductoren.

Om bij mechanische variatoren de erachter opgestelde reductoren tegen overbelasting te beveiligen, kan een elektronische beveiliging toegepast worden. Bij de elektronische overbelastingsbeveiliging worden het motorvermogen en het uitgaande toerental van de variator gemeten. Bij een constant koppel wijzigt het koppel lineair met het toerental, d.w.z. bij afnemend toerental dient het motorvermogen eveneens te verminderen. Wanneer dit niet het geval is, dan is er een overbelasting en wordt de installatie uitgeschakeld. Deze beveiliging tegen overbelasting is niet geschikt als beveiliging tegen blokkeren.

Daartegen zijn maximaalkoppelingen ook geschikt als beveiliging tegen blokkeren.



Aanwijzingen voor het selecteren

Het selecteren van variatoren is, zoals beschreven, afhankelijk van verschillende parameters. Hieronder worden de belangrijkste selectie-aanwijzingen in tabelvorm gegeven voor de VARIBLOC® en VARIMOT®.

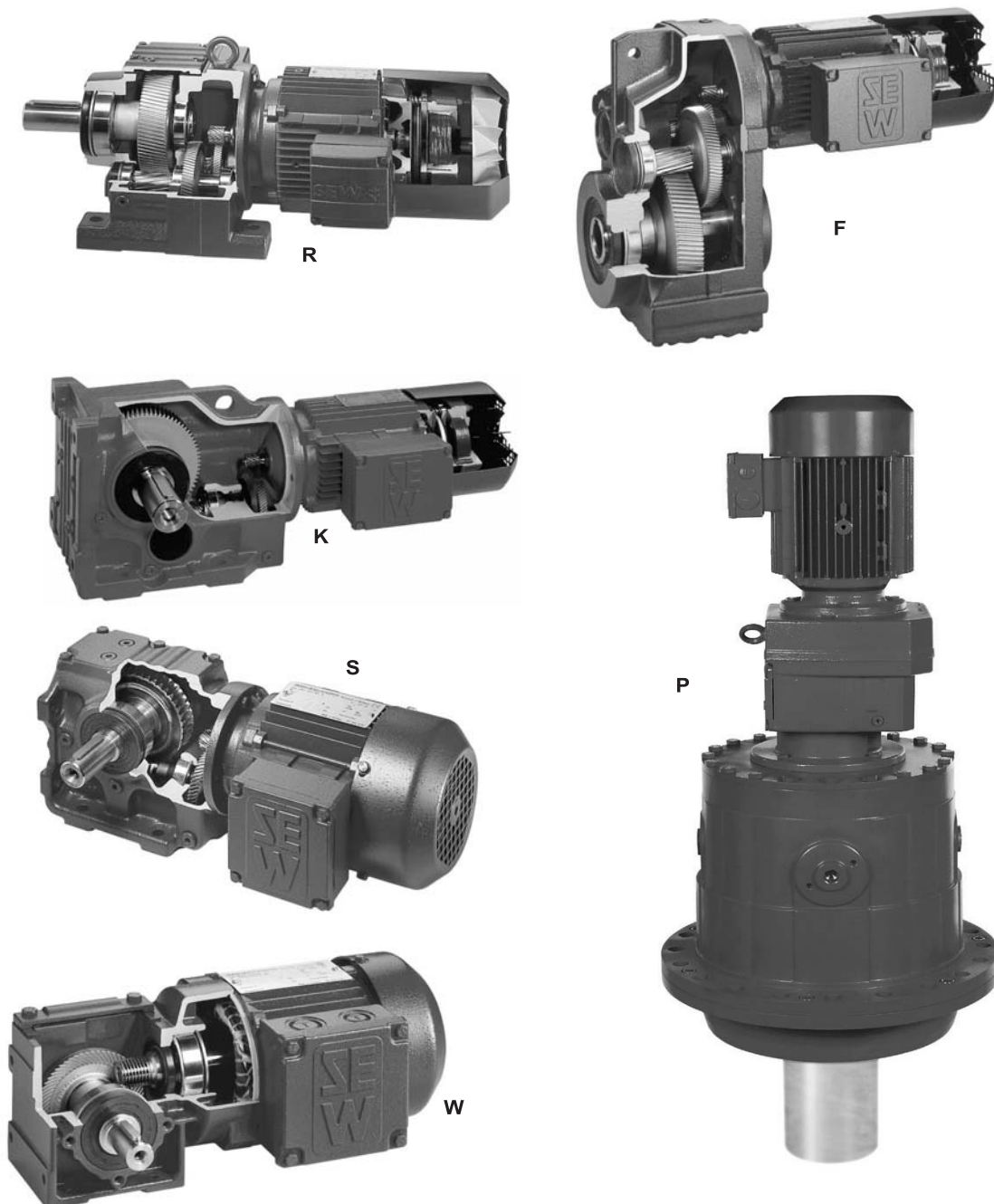
criterium	VARIBLOC® (riemvariator)	VARIMOT® (wrijvingswielvariator)
Vermogensbereik	0,25 ... 45 kW	0,25 ... 11 kW
Instelbereik	1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8 afhankelijk van het poottal van de aandrijfmotor en het ingaand vermogen.	1:4, 1:5 afhankelijk van het poottal van de aandrijfmotor en het ingaand vermogen
Verstelling in stilstand	Verstelling in stilstand is niet toelaatbaar, omdat de riemspanning alleen bij draaiende aandrijving wordt nagesteld.	Verstelling in stilstand is mogelijk, dient echter in bedrijf niet te vaak uitgevoerd te worden.
Belastingsaard	Ook geschikt voor wisselende belasting (stoten door materiaalvoer etc.), demping door de riem.	Alleen geschikt voor gelijkmatige belasting (bijv. transportbanden), bij belastingsstoten kan de wrijvingswiel doorslippen en kan daardoor het oppervlak beschadigd worden.
Explosieveiligheid	Zie voor de definitie van de explosieveiligheid van mechanische variatoren, "Aandrijftechniek in de praktijk – Explosieveilige aandrijvingen". Alle drijfriemen zijn elektrisch geleidend en verhinderen een statisch opladen door draaiende delen. Ter beveiliging van het minimale toerental worden momentele waardegevers met controle en afschakelen bij het draaien onder het minimum toerental toegepast. In explosiegevaarlijke omgeving dient bij voorkeur een elektronisch geregelde aandrijving toegepast te worden.	Zie voor de definitie van de explosieveiligheid van mechanische variatoren, "Aandrijftechniek in de praktijk – Explosieveilige aandrijvingen". De wrijvingsring is elektrisch geleidend en verhindert een statisch opladen door draaiende delen. Ter beveiliging van het minimale toerental worden momentele waardegevers met controle en afschakelen bij het draaien onder het minimum toerental toegepast. In explosiegevaarlijke omgeving dient bij voorkeur een elektronisch geregelde aandrijving toegepast te worden.
Slijtage	De riem is een slijtdeel, dat na ca. 6000 h bij nominale belasting vervangen dient te worden. Bij geringere belasting ontstaat een aanzienlijk langere levensduur.	Slijtarm, concrete gegevens ten aanzien van de vervangingsintervallen zijn niet mogelijk.
Verstelmogelijkheden	Handwiel of kettingwiel, elektrische of hydraulische afstandsbediening.	Handwiel, elektrische afstandsbediening.
Afreesapparaten	Analoge of digitale afreesapparaten, analoge aflezing met bijzondere schaalverdeling is gebruikelijk.	Analoge of digitale afreesapparaten, analoge aflezing met bijzondere schaalverdeling is gebruikelijk, instellingaflezing aan de behuizing.



6 Reductoren

6.1 Standaard reductoren voor motorreductoren

Uitvoerige informatie over SEW-reductoren vindt u in de catalogi "Getriebe", "Motorreductoren" en "Planeten Getriebemotoren".



Afbeelding 23: SEW-motorreductoren

Rechte motorreductoren **R**
 Kegelwielmotorreductoren **K**
 Planetaire motorreductoren **P**

Vlakke motorreductoren **F**
 Wormwielmotorreductoren **S**
 Spiroplan®-motorreductor **W**

04094AXX



Eigenschappen

De SEW-motorreductor bestaat uit één van de eerder genoemde elektromotoren met een reductor en vormt een constructieve eenheid. Criteria voor de keuze van het geschikte type reductor zijn onder andere plaatsingsruimte, bevestigingsmogelijkheden en de verbinding met het lastwerktuig. Gekozen kan worden uit rechte reductoren, vlakke reductoren, kegelwielreductoren in normale en spelingsarme uitvoering, alsmede wormwielreductoren, Spiroplan®-reductoren, planetaire reductoren en spelingsarme planetaire reductoren.

Rechte reductor met verlengde lagerpot

Een bijzondere uitvoering vormt de rechte motorreductor met verlengde lagerpot. Deze wordt aangeduid met RM en hoofdzakelijk gebruikt voor roerwerktoepassingen. RM-reductoren zijn voor bijzonder hoge dwars- en axiale krachten en buigende momenten gedimensioneerd. De overige gegevens komen overeen met die van de standaard rechte reductoren.

Gecombineerde reductoren

Uitzonderlijk lage uitgaande toerentallen zijn te realiseren in het bouwdoosysteem met gecombineerde reductoren door aanbouw van een passende rechte reductor aan de ingaande zijde.

Uitgaand toerental, uitgaand koppel

De grootte van de reductor richt zich naar het uitgaand koppel. Dit uitgaand koppel M_a is te berekenen uit het motorvermogen P_N en het uitgaande toerental n_a van de reductor.

$$M_a = P_N \cdot \eta \cdot \frac{9550}{n_a} \quad [Nm]$$

P_N = nominaal vermogen van de motor [kW]
 n_a = uitgaand toerental van de reductor [min^{-1}]
 η = rendement van de reductor

Bepaling van de motorreductor

De in de catalogus aangeboden SEW-motorreductoren worden beschreven door het afgenomen vermogen of door het afneembaar koppel bij een gegeven uitgaand toerental. Een verdere parameter is daarbij de bedrijfsfactor.



Rendement van de reductor

Verliezen

Typische verliezen in reductoren zijn wrijvingsverliezen bij de tandingrijping, in de lagers en bij de keerringen, alsmede woelingsverliezen door de oliedompelsmering. Verhoogde verliezen treden op bij wormwiel- en Spiroplan[®]-reductoren.

Hoe hoger het ingaande toerental van de reductor is, des te groter worden ook de verliezen.

Rendement van de veranding

Bij rechte, vlakke, kegelwiel- en planetaire reductoren bedraagt het rendement per tandwieltrap 97 % tot 98 %. Bij wormwiel- en Spiroplan[®]-reductoren ligt het rendement van de veranding afhankelijk van de uitvoering tussen de 30 % en 90 %. Tijdens de inloophase kan het rendement bij wormwiel- en Spiroplan[®]-reductoren nog tot 15 % geringer zijn. Indien het rendement minder dan 50 % bedraagt, is de reductor statisch zelfremmend. Dergelijke aandrijvingen mogen uitsluitend gebruikt worden wanneer geen aandrijving vanuit de last plaatsvindt, of wanneer dit zo gering is dat de reductor niet beschadigd kan worden.

Woelingsverliezen

Bij bepaalde bouwvormen is de eerste tandwieltrap volledig in het smeermiddel gedompeld. Bij grotere reductoren en hoge omtreksnelheid van de aandrijvende zijde ontstaan woelingsverliezen van een omvangsorde die niet verwaarloosd kan worden.

Woelingsverliezen gering houden

Gebruik indien mogelijk voor kegelwielreductoren, vlakke reductoren, rechte reductoren en wormwielreductoren de basisbouwvorm M1, om de optredende woelingsverliezen gering te houden.

Toelaatbaar samen te bouwen vermogen

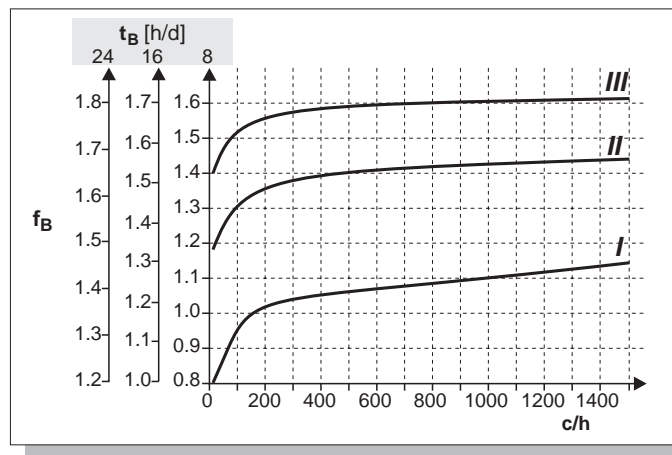
Afhankelijk van de toepassingsomstandigheden (opstellingsplaats, inschakelduur, omgevingstemperatuur enz.) dienen reductoren met een kritische bouwvorm en een hoog ingaand toerental gecontroleerd te worden op het toelaatbare samen te bouwen mechanische vermogen. In deze gevallen gelieve u SEW te raadplegen.



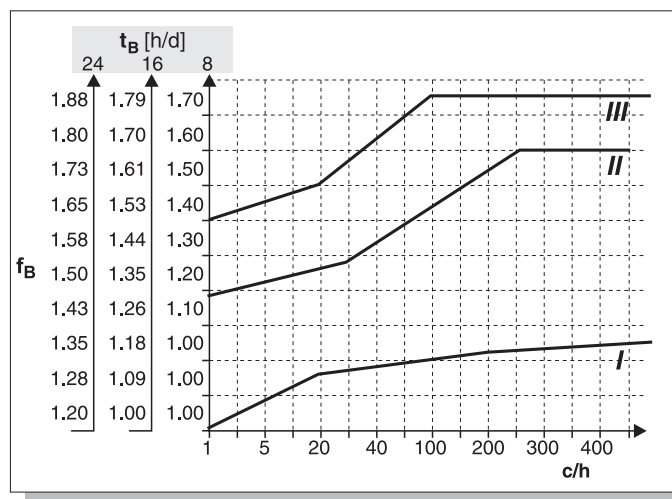
6.2 Het dimensioneren van reductoren met de bedrijfsfactor

Reductoren zijn gedimensioneerd voor een gelijkmatige belasting en een geringe inschakelbelasting. Bij afwijkingen van deze voorwaarden is het noodzakelijk om het theoretisch uitgaande koppel of het uitgaande vermogen te vermenigvuldigen met een bedrijfsfactor. Deze bedrijfsfactor wordt essentieel bepaald door de schakelfrequentie, de massaversnellingsfactor en de dagelijkse bedrijfsstijd. Bij een eerste benadering kunnen de volgende grafieken gebruikt worden.

Hogere bedrijfsfactoren ontstaan door gebruiksspecifieke bijzonderheden door overeenkomstige ervaringswaarden. Met het daaruit berekende afgenomen uitgaande koppel kan de reductor bepaald worden. Het toelaatbare uitgaande koppel van de reductor dient gelijk te zijn aan of groter te zijn dan het berekende koppel.



Afbeelding 24: Noodzakelijke bedrijfsfactor f_B voor R-, F-, K-, W-, S-reductoren 00656CXX



Afbeelding 25: Noodzakelijke bedrijfsfactor f_B voor P-reductoren 04793AXX

t_B = Bedrijfsstijd in uren/dag [h/d]
 c/h = Aantal schakelingen per uur

Tot schakelingen horen alle aanloop- en remprocessen, evenals omschakelingen van lage naar hoge toerentallen en omgekeerd.

**Stootgraad**

- I gelijkvormig, toelaatbare massaversnellingsfactor $\leq 0,2$
- II ongelijkvormig, toelaatbare massaversnellingsfactor ≤ 3
- III sterk ongelijkvormig, toelaatbare massaversnellingsfactor ≤ 10

$$f_a = \frac{J_X}{J_M}$$

f_a = massaversnellingsfactor
 J_X = alle externe massatraagheidsmomenten
 J_M = massatraagheidsmomenten aan de motorzijde

Voorbeeld

Stootgraad I bij 200 schakelingen/uur en bedrijfstijd 24h/dag levert op $f_B = 1,35$.

Bedrijfsfactor

$f_B > 1,8$

Bij enkele toepassingen kunnen echter ook bedrijfsfactoren $> 1,8$ voorkomen. Deze worden bijv. door massaversnellingsfactoren > 10 , door een grote speling in de overbrengingselementen van het lastwerktuig of door grote optredende dwarskrachten gegenereerd. In dergelijke gevallen vragen wij u SEW te consulteren.

Bepaling van de stootgraad

De stootgraden I t.m. III worden gekozen op basis van de meest ongunstige waarden van de massatraagheidsmomenten, zowel extern als ook op de motorzijde. Er kan geïnterpoleerd worden tussen de curven I t.m. III.

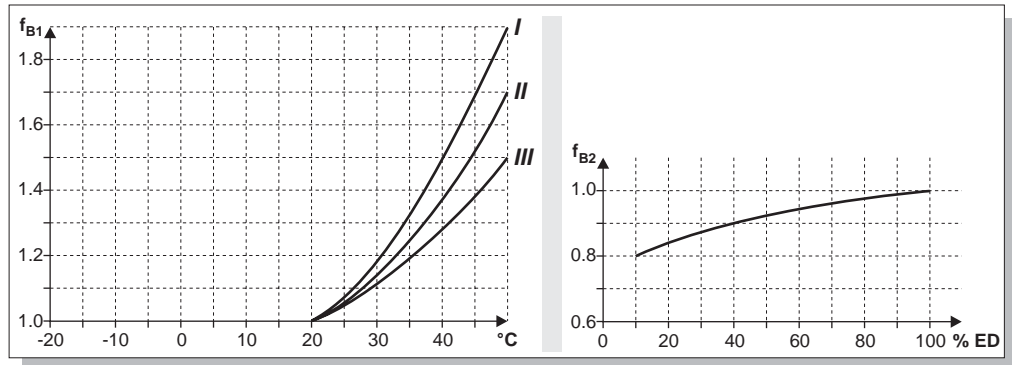
SEW-bedrijfsfactor

In de SEW-catalogus wordt voor elke motorreductor de bedrijfsfactor aangegeven. De bedrijfsfactor geeft de verhouding weer tussen de bemeting van het nominale vermogen van de reductor ten opzichte van het nominale vermogen van de motor. De bepaling van bedrijfsfactoren is niet genormaliseerd. Om die reden zijn de opgaven over bedrijfsfactoren leveranciersafhankelijk en niet onderling te vergelijken.



Extra bedrijfsfactoren voor wormwielreductoren

Bij wormwielreductoren dient bovendien rekening gehouden te worden met de invloed van de temperatuur en de inschakelduur bij het selecteren van de reductor. De volgende afbeelding toont de extra bedrijfsfactoren voor wormwielreductoren.



00657DXX

Afbeelding 26: Extra bedrijfsfactoren f_{B1} en f_{B2} voor wormwielreductoren

$$ID[\%] = \frac{t_B}{60} \cdot 100$$

ID = inschakelduur
 t_B = belastingstijd in min/h

Bij temperaturen < - 20 °C vragen wij u SEW te raadplegen.

Totale bedrijfsfactor voor wormwielreductoren

De totale bedrijfsfactor f_{BT} voor wormwielreductoren is te berekenen volgens:

$$f_{BT} = f_B \cdot f_{B1} \cdot f_{B2}$$

f_B = bedrijfsfactor volgens de grafiek "Noodzakelijke bedrijfsfactor f_B "
 f_{B1} = bedrijfsfactor vanuit de omgevingstemperatuur
 f_{B2} = bedrijfsfactor voor kortstondig bedrijf



6.3 Reductoren voor servoaandrijvingen

Servomotorreductoren bestaan uit synchrone of asynchrone servomotoren die samenwerken met:

- standaard reductoren: rechte reductoren R, vlakke reductoren F, kegelwielreductoren K, wormwielreductoren S
- spelingsarme reductoren: rechte reductoren R, vlakke reductoren F, kegelwielreductoren K
- spelingsarme planetaire reductoren PS.

Verdere informatie vindt u in de catalogus "Servomotorreductoren".

Spelingsarme planetaire motorreductoren

- **Spelingsarme planetaire motorreductoren serie PSF**

De serie PSF wordt aangeboden in de reductorgrootten 211/212 t.m. 901/902. Deze kenmerkt zich door een vierkante B5-flens met een volle uitgaande as.

- **Spelingsarme planetaire motorreductoren serie PSB**

De serie PSB wordt aangeboden in de reductorgrootten 311/312 t.m. 611/612. De specifieke uitgaande flensas is conform de norm EN ISO 9409. Deze norm behandelt de eisen aan industriëroboten. De serie PSB wordt vooral gebruikt bij industriële toepassingen, waarbij grote dwarskrachten optreden en een grote kantelstijfheid verlangd wordt.

- **Spelingsarme planetaire motorreductoren serie PSE**

De serie PSE wordt aangeboden in de reductorgrootten 211/212 t.m. 611/612. Deze kenmerkt zich door een ronde B14-flens met een volle uitgaande as. De PSE-reductorserie onderscheidt zich van de bestaande PSF-serie door een goedkopere constructie. De technische gegevens zoals spelingshoekverdraaiing, koppel en overbrengingsverhoudingen zijn vergelijkbaar met die van de PSF/PSB-reductor.

Gegevens voor het dimensioneren

Voor het dimensioneren van servomotorreductoren zijn de volgende gegevens vereist:

- uitgaand koppel M_{amax}
- uitgaande toerental n_{amax}
- dwarskracht / axiale kracht F_{Ra} / F_{Aa}
- verdraaiingshoek $\alpha < 1', 3', 5', 6', 10', > 10'$
- bouwvorm M1 ... M6
- omgevingstemperatuur ϑ_U
- nauwkeurig lastspel, d. w. z. opgave van alle benodigde koppels en actietijden en de te versnellen en te vertragen externe massastraagheidsmomenten.



Reductorspelings N en R PS.-reductoren worden naar keuze uitgevoerd met reductorspelings N (normaal) of R (gereduceerd):

Reductor	N	R
PS. 211 ... 901	$\alpha < 6'$	$\alpha < 3'$
PS. 212 ... 902	$\alpha < 10'$	$\alpha < 5'$

Verdraaiingshoek < 1' op aanvraag

Motorafsteuning Wanneer grote motoren met PS.-reductoren worden samengebouwd, dan is vanaf de volgende massaverhoudingen een afsteuning van de motor vereist:

PS. ééntraps: $m_M / m_{PS} > 4$

PS. tweetraps: $m_M / m_{PS} > 2,5$

Verdere aanwijzingen voor het projecteren van PS.-reductoren vindt u in de catalogi "Spelingsarme planetaire reductoren" en "Servomotorreductoren".

Spelingsarme servomotorreductoren R/F/K

Spelingsarme kegelwiel-, vlakke en rechte motorreductoren met synchrone of asynchrone servomotoren vormen in het koppelbereik van $M_{amax} = 200 \dots 3000 \text{ Nm}$ een uitbreiding op het programma van spelingsarme planetaire motorreductoren met een begrensde hoekverdraaiing.

De spelingsarme uitvoeringen zijn beschikbaar voor de reductorgrootten:

- R37 ... R97
- F37 ... F87
- K37 ... K87

Selectie

De aansluitmaten en overbrengingsverhoudingen zijn gelijk aan die van de normale uitvoeringen.

De spelingshoekverdraaiingen worden als afhankelijke van de reductorgrootte in de betreffende catalogi opgegeven.



6.4 Radiale krachten, axiale krachten

Extra criteria bij het kiezen van de grootte van de reductor zijn de te verwachten radiale en axiale krachten. Bepalend voor de toelaatbare radiale krachten zijn de sterkte van de as en de draagcapaciteit van de lagers. De in de catalogus aangegeven maximaal toelaatbare waarden zijn altijd gebaseerd op een krachtaangrijping in het midden van het aseinde bij de meest ongunstige krachtwerkrichting.

Krachtaangrijp- punt

Bij een krachtaangrijping buiten het midden resulteren grotere of kleinere toelaatbare radiale krachten. Hoe dichter de kracht bij de asborst aangrijpt hoe hoger de toelaatbare radiale krachten zullen uitvallen en omgekeerd. De formules voor krachtaangrijping buiten het midden kunt u ontleen aan de catalogus "Motorreductoren", hoofdstuk "Het selecteren van een reductor". De grootte van de toelaatbare axiale kracht kan alleen bij een bekende radiale kracht exact bepaald worden.

De radiale kracht aan het aseinde, bij de overdracht van het koppel aan de uitgaande as door middel van een kettingwiel of tandwiel, volgt uit het uitgaande koppel en de straal van het ketting- of tandwiel.

$$F = \frac{M}{r} \quad [N]$$

F = radiale kracht [N]
M = uitgaand koppel [Nm]
r = radius [m]

Bepaling van de radiale belasting

Bij het bepalen van de radiale kracht dient met toeslagfactoren gerekend te worden. Deze zijn afhankelijk van de toegepaste overbrengingselementen: tandwielen, kettingen, V-riemen, vlakke of tandriemen. Bij riemwielen werkt de invloed van de voorspanning belastingvergroterend. De met de toeslagfactor berekende radiale krachten mogen niet groter zijn dan de voor de reductor toelaatbare radiale kracht.

Overbrengingselement	Toeslagfactor f_z	Opmerkingen
directe aandrijving	1,0	–
tandwielen	1,0	≥ 17 tanden
tandwielen	1,15	< 17 tanden
kettingwielen	1,0	≥ 20 tanden
kettingwielen	1,25	< 20 tanden
smalprofiel V-riemen	1,75	invloed van de voorspankracht
vlakke riemen	2,50	invloed van de voorspankracht
tandriemen	1,50	invloed van de voorspankracht
heugels	1,15	< 17 tanden (rondsel)

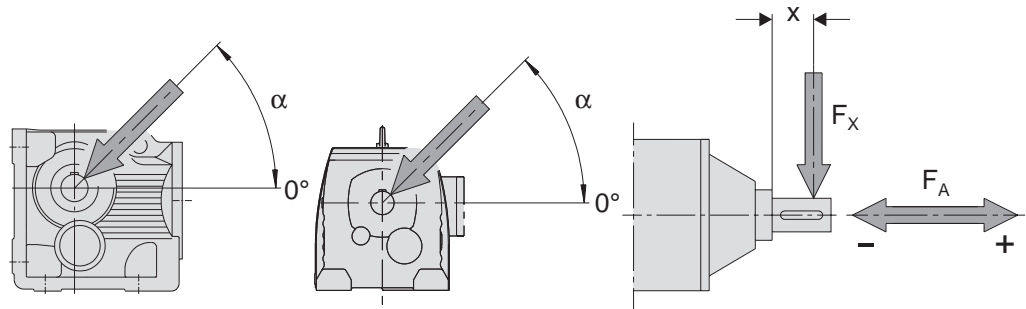


$$F_R = \frac{M_d \cdot 2000}{d_0} \cdot f_Z$$

F_R = radiale kracht [N]
 M_d = koppel [Nm]
 d_0 = gemiddelde diameter [mm]
 f_Z = toeslagsfactor

Definitie van de krachtaangrijping

De krachtaangrijping wordt overeenkomstig de volgende afbeelding gedefinieerd:



Afbeelding 27: Definitie van de krachtaangrijping

02355CXX

F_X = toelaatbare radiale kracht ter plaatse van X [N]
 F_A = toelaatbare axiale kracht [N]

7 Formules in de aandrijftechniek

7.1 Basisbewegingen

Alle toepassingen zijn te herleiden tot twee basisbewegingen:

Lineaire beweging (rijweraandrijving, hijsweraandrijving)		Roterende beweging (draaitafel)	
weg	s [m]	hoekweg	φ [rad] of [°] rad is de boogmaat in het eenhedenstelsel en is dimensieloos [rad] = 1 $360^\circ \triangleq 6,28 \text{ rad}$
snelheid	v [m/s]	hoeksnelheid toerental	ω [rad/s] of [1/s] n [min ⁻¹] $\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$
versnelling	a [m/s ²]	hoekversnelling	α [rad/s ²] of [1/s ²]
kracht	F [N]	koppel	M [Nm]
massa	m [kg]	massatraagheidsmoment	J [kgm ²]
		radius	r [m]
		diameter	D [m]

Kinematische samenhangen

Voor rechte of lineaire beweging geldt:

v = const.

a = const.

weg	$s = v \cdot t$	$s = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{a \cdot t^2}{2} = \frac{v^2}{2 \cdot a}$
snelheid	$v = \frac{s}{t}$	$v = \sqrt{2 \cdot a \cdot s} = \frac{2 \cdot s}{t} = a \cdot t$
versnelling	a = 0	$a = \frac{v}{t} = \frac{2 \cdot s}{t^2} = \frac{v^2}{2 \cdot s}$
tijd	$t = \frac{s}{v}$	$t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a}} = \frac{v}{a} = \frac{2 \cdot s}{v}$

Voor roterende bewegingen geldt:

$\omega = \text{const.}$

$\alpha = \text{const.}$

weg	$\varphi = \omega \cdot t$
snelheid	$\omega = \frac{\varphi}{t}$ $\omega = \sqrt{2 \cdot \alpha \cdot \varphi} = \frac{2 \cdot \varphi}{t} = \alpha \cdot t$
versnelling	$\alpha = 0$ $\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{2 \cdot \varphi}{t^2} = \frac{\omega^2}{2 \cdot \varphi}$
tijd	$t = \frac{\varphi}{\omega}$ $t = \sqrt{\frac{2 \cdot \varphi}{\alpha}} = \frac{\omega}{\alpha} = \frac{2 \cdot \varphi}{\omega}$

Omrekening van lineaire / roterende beweging

Aangezien een motorreductor onafhankelijk van de toepassing altijd een roterende beweging als basis heeft, dient een lineaire beweging in een roterende beweging omgerekend te worden en omgekeerd.

hoek	$\varphi = \frac{s}{r} = \frac{2 \cdot s}{D}$ $\varphi [^\circ] = \frac{2 \cdot 180}{\pi} \cdot \frac{s [mm]}{D [mm]} = 115 \frac{s [mm]}{D [mm]}$
snelheid	$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2 \cdot v}{D}$ $n [min^{-1}] = \frac{60 \cdot 1000}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{2 \cdot v [m/s]}{D [mm]} = 19100 \frac{v [m/s]}{D [mm]}$
versnelling	$\alpha = \frac{a}{r} = \frac{2 \cdot a}{D}$ $\alpha [1/s^2] = 2000 \frac{a [m/s^2]}{D [mm]}$

7.2 Massatraagheidsmomenten

Reductie van externe massatraagheidsmomenten

Om het aanloop- en remgedrag van een aandrijving te kunnen berekenen, dienen alle te versnellen massatraagheidsmomenten op de motoras verrekend en opgeteld te worden. Alle overbrengingsverhoudingen hebben hierbij conform de energieinhoud een kwadratische invloed.

extern massatraagheidsmoment

$$J_X = \frac{J_L}{i_T^2}$$

J_L = massatraagheidsmoment van de last
 J_X = extern massatraagheidsmoment betrokken op de motoras
 i_T = totale overbrengingsverhouding

Hieruit volgt voor een roterende toepassingsbeweging:

roterende beweging

$$J_X [kgm^2] = J_L [kgm^2] \cdot \left(\frac{n}{n_M} \right)^2$$

n = toerental na de totale overbrenging (open overbrenging en reductor)
 n_M = motortoerental

Op analoge wijze kan ook een lineair bewegende massa m op de motoras betrokken worden:

lineaire beweging

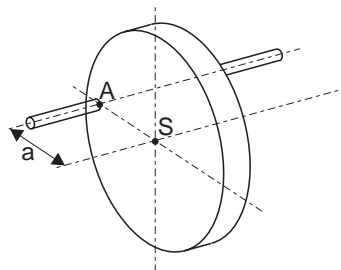
$$J_X [kgm^2] = 91.2 \cdot m [kg] \cdot \left(\frac{v [m/s]}{n_M [min^{-1}]} \right)^2$$

Roterende lichamen

Massatraagheidsmomenten van karakteristieke roterende lichamen

Lichaam	Positie van de rotatieas	Symbool	Massatraagheidsmoment J
ronde ring, dunwandig holle cilinder, dunwandig	loodrecht op het vlak van de ring		$J = m \cdot r^2$
massieve cilinder	langsas		$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$
holle cilinder, dikwandig	langsas		$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_1^2 + r_2^2)$
ronde schijf	loodrecht op het vlak van de schijf		$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$
ronde schijf	symmetrie as in het vlak van de schijf		$J = \frac{1}{4} \cdot m \cdot r^2$
kogel	door het middelpunt		$J = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$
kogel, dunwandig	door het middelpunt		$J = \frac{2}{3} \cdot m \cdot r^2$
staaf, dun, met lengte l	loodrecht op het midden van de staaf		$J = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2$

7



regel van Steiner

$$J_A = J_S + m \cdot a^2$$

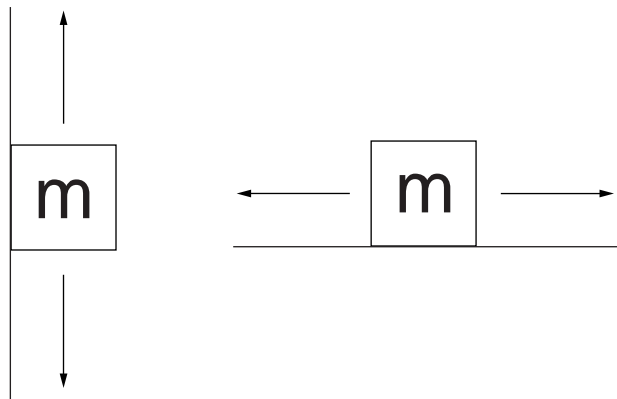
- J_S = massatraagheidsmoment van een lichaam, geldend voor een rotatieas die door het zwaartepunt S gaat
- J_A = massatraagheidsmoment van hetzelfde lichaam, geldend voor een rotatieas door A
- a = afstand tussen de beide parallel versprongen assen
- m = massa van het lichaam

7.3 Statisch of dynamisch vermogen

Het totale vermogen voor elke toepassing is te onderscheiden in een statisch en een dynamisch vermogen. Het statische vermogen is het vermogen bij een constante snelheid. Dit zijn in eerste instantie wrijvingskrachten en zwaartekrachten. In tegenstelling daarmee is het dynamisch vermogen het vermogen dat nodig is om te kunnen versnellen en vertragen. De beide vermogensaandelen hebben bij verschillende toepassingen verschillende invloeden.

horizontaal / verticaal

Deze samenhang dient aan de hand van de verticale en de horizontale beweging toegelicht te worden:



Om de toepassingen beter te kunnen vergelijken, gaan we uit van een identieke massa, een identieke snelheid en een identieke versnelling.

Kracht	Verticale beweging	Horizontale beweging
zwaartekracht	groot	nul
versnellingskracht	even groot	
wrijvingskracht	wordt in dit voorbeeld verwaarloosd	

Uit dit voorbeeld blijkt dat een hijswerk in zijn totaliteit een groter vermogen vraagt dan een rijwerk. Bovendien wordt bij het hijswerk de grootte van de motor voor 90 % door de zwaartekracht en daarmee door het statisch vermogen bepaald.

In tegenstelling daarmee wordt bij het rijwerk de motorgrootte voor 90 % door de versnellingskracht en daarmee door het dynamisch vermogen bepaald.

Hijswerk met con- tragewicht

Een verdere toepassing is een hijswerk met een contragewicht. Bij 100 % gewichtsvereffening wordt de zwaartekracht tot nul, echter verdubbelt het versnellingsvermogen zich omdat de te versnellen massa ook verdubbeld is. Het totale vermogen is echter geringer dan bij een hijswerk zonder contragewicht.

7.4 Weerstandskrachten

Weerstandskrachten zijn krachten die de beweging tegenwerken.

Statische weerstandskrachten

Statische en kinematische wrijving

wrijvingskracht

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

F_R = wrijvingskracht [N]

μ = wrijvingscoëfficiënt

F_N = gewichtskracht loodrecht op het oppervlak [N]

gewichtskracht

$$F_N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

m = massa [kg]

g = zwaartekrachtversnelling [m/s^2]

α = hellingshoek [°]

rijweerstand

$$F_F = m \cdot g \cdot \left(\frac{2}{D} \cdot \left(\mu_L \cdot \frac{d}{2} + f \right) + c \right)$$

F_F = rijweerstand [N]

D = loopwioldiameter [mm]

μ_L = lagerwrijvingscoëfficiënt

d = lagerdiameter [mm]

f = rolweerstandarm [mm]

c = spoorkrans- en flenswrijvingswaarde

De rijweerstand is opgebouwd uit:

rolweerstand

$$F = m \cdot g \cdot \frac{2 \cdot f}{D}$$

lagerwrijving

$$F = m \cdot g \cdot \mu_L \cdot \frac{d}{D}$$

wielflenswrijving

$$F = m \cdot g \cdot c$$

Zwaartekrachten

verticaal hijswerk

$$F = m \cdot g$$

hijscomponent

$$F = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Dynamische weerstandskrachten

Versnellingskracht

lineaire beweging

$$F = m \cdot a$$

roterende beweging

$$M = J \cdot \alpha$$

7.5 Koppels

lineaire beweging

$$M = F \cdot r = \frac{F \cdot D}{2} \quad M \text{ [Nm]} = \frac{F \text{ [N]} \cdot D \text{ [mm]}}{2000}$$

roterende beweging

$$M = J \cdot \alpha \quad M \text{ [Nm]} = J \text{ [kgm}^2\text{]} \cdot \frac{n \text{ [min}^{-1}\text{]}}{9.55 \cdot t_A \text{ [s]}}$$

7.6 Vermogen

lineaire beweging

$$P = F \cdot v \quad P \text{ [kW]} = \frac{F \text{ [N]} \cdot v \text{ [m/s]}}{1000}$$

roterende beweging

$$P = M \cdot \omega \quad P \text{ [kW]} = \frac{M \text{ [Nm]} \cdot n \text{ [min}^{-1}\text{]}}{9550}$$

7.7 Rendementen

Het totale rendement van de installatie wordt opgebouwd door vermenigvuldiging van alle afzonderlijke rendementen van de aandrijftrein. In de regel zijn dit:

- rendement reductor η_G
- rendement last η_L

totaal rendement $\eta_T = \eta_G \cdot \eta_L$

Dit totale rendement dient bij het statische en het dynamische vermogen gescheiden van elkaar beschouwd te worden.

7.8 Spilberekening

spiltoerental

$$n = \frac{v}{P}$$

$$n [\text{min}^{-1}] = \frac{v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \cdot 60 \cdot 10^3}{P [\text{mm}]}$$

n = spiltoerental
v = snelheid van de last
P = spilspoed

hoekweg

$$\varphi = \frac{2\pi \cdot s}{P}$$

$$\varphi [^\circ] = \frac{360 \cdot s [\text{mm}]}{P [\text{mm}]}$$

φ = hoekweg van de spil
s = weg van de last
P = spilspoed

hoekversnelling

$$\alpha = \frac{2\pi \cdot a}{P}$$

$$\alpha \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right] = \frac{2\pi \cdot a \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \cdot 1000}{P [\text{mm}]}$$

α = hoekversnelling van de spil
a = versnelling van de last
P = spilspoed

statisch koppel

$$M = \frac{F \cdot P}{2\pi \cdot \eta}$$

$$M [\text{Nm}] = \frac{F [\text{N}] \cdot P [\text{mm}]}{2\pi \cdot 1000 \cdot \eta}$$

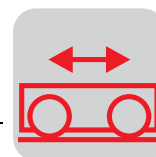
F = weerstandskracht van de last bijv. door wrijving
P = spilspoed
M = statisch koppel
 η = spilrendement (zie tabelbijlage)

Dynamische koppels worden berekend volgens de formules van de lineaire beweging.

7.9 Speciale formules

Toelichtingen op de afzonderlijke formules zie de tekenlegenda.

Grootte	Horizontale beweging en draai- beweging, verticale beweging omhoog	Verticale beweging omlaag (vereenvou- digde berekening met synchroon toeren- tal)
aanlooptijd [s]	$t_A = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta}\right) \cdot n_M}{9.55 \cdot \left(M_H - \frac{M_L}{\eta}\right)}$	$t_A = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta}\right) \cdot n_S}{9.55 \cdot (M_H - M_L \cdot \eta)}$
omschakeltijd [s]	$t_U = \frac{(J_M + J_X \cdot \eta) \cdot (n_2 - n_1)}{9.55 \cdot (M_U + M_L \cdot \eta)}$	$t_U = \frac{(J_M + J_X \cdot \eta) \cdot (n_{S2} - n_{S1})}{9.55 \cdot (M_U - M_L \cdot \eta)}$
remtijd [s]	$t_B = \frac{(J_M + J_X \cdot \eta) \cdot n}{9.55 \cdot (M_B + M_L \cdot \eta)}$	$t_B = \frac{(J_M + J_X \cdot \eta) \cdot n_S}{9.55 \cdot (M_B - M_L \cdot \eta)}$
aanloopweg [mm]	$s_A = \frac{1}{2} \cdot t_A \cdot v \cdot 1000$	$s_A = \frac{1}{2} \cdot t_A \cdot \frac{n_S}{n_M} \cdot v \cdot 1000$
omschakelweg [mm]	$s_U = \frac{1}{2} \cdot t_U \cdot v_2 \cdot 1000 \cdot \left(1 + \frac{n_1}{n_2}\right)$	$s_U = \frac{1}{2} \cdot t_U \cdot \frac{n_{S2}}{n_2} \cdot v_2 \cdot 1000 \cdot \left(1 + \frac{n_{S1}}{n_{S2}}\right)$
stopweg [mm]	$s_B = v \cdot 1000 \cdot \left(t_2 + \frac{1}{2} \cdot t_B\right)$	$s_B = v \cdot 1000 \cdot \left(t_2 + \frac{1}{2} \cdot t_B\right)$
stopnauwkeurigheid	$X_B \approx \pm 0.12 \cdot s_B$	$X_B \approx \pm 0.12 \cdot s_B$
aanloopversnel- ling [m/s ²]	$a_A = \frac{v}{t_A}$	$a_A = \frac{v}{t_A} \cdot \frac{n_S}{n_M}$
omschakelvertra- ging [m/s ²]	$a_U = \frac{v_2}{t_U} \cdot \left(1 - \frac{n_{M1}}{n_{M2}}\right)$	$a_U = \frac{v_2}{t_U} \cdot \left(1 - \frac{n_{M1}}{n_{M2}}\right) \cdot \frac{n_{S2}}{n_{M2}}$
remvertraging [m/s ²]	$a_B = \frac{v}{t_B}$	$a_B = \frac{v}{t_B}$
schakelfrequen- tie [c/h]	$Z_P = Z_0 \cdot \frac{1 - \frac{M_L}{M_H \cdot \eta}}{\frac{J_M + J_Z + \frac{J_X}{\eta}}{J_M}} \cdot K_P$	$Z_P = Z_0 \cdot \frac{1 - \frac{M_L \cdot \eta}{M_H}}{\frac{J_M + J_Z + J_X \cdot \eta}{J_M}} \cdot K_P$
remenergie [J]	$W_B = \frac{M_B}{M_B + M_L \cdot \eta} \cdot \frac{(J_M + J_Z + J_X \cdot \eta) \cdot n_M^2}{182.5}$	$W_B = \frac{M_B}{M_B - M_L \cdot \eta} \cdot \frac{(J_M + J_Z + J_X \cdot \eta) \cdot n_M^2}{182.5}$
remstandtijd [h]	$L_B = \frac{W_N}{W_B \cdot Z_N}$	$L_B = \frac{W_N}{W_B \cdot Z_N}$



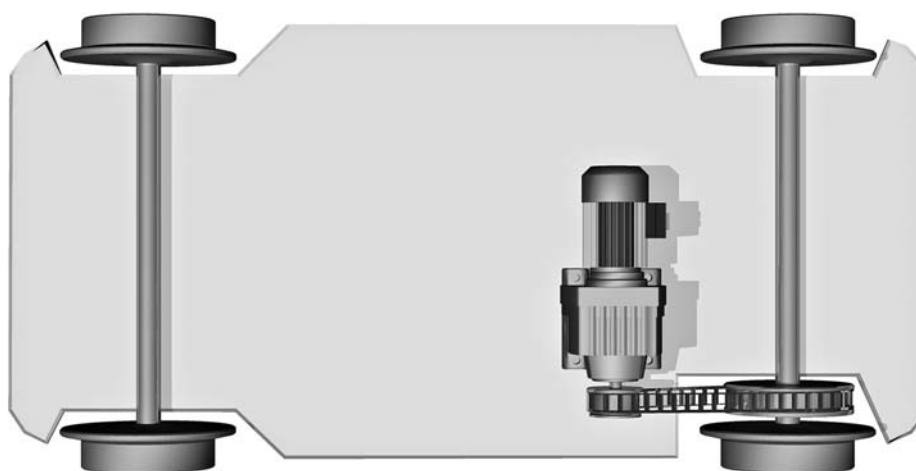
8 Rekenvoorbeeld rijwerkaandrijving

Gegevens

Met de volgende gegevens dient een draaistroomremmotor met een rechte reductor gekozen te worden:

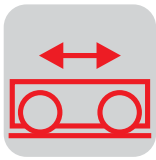
massa van de te verrijden wagen:	$m_0 = 1500 \text{ kg}$
lastmassa:	$m_L = 1500 \text{ kg}$
snelheid:	$v = 0,5 \text{ m/s}$
loopwieldiameter:	$D = 250 \text{ mm}$
wieltapdiameter:	$d = 60 \text{ mm}$
wrijvingscombinatie:	staal/staal
rolweerstandarm:	staal op staal $f = 0,5 \text{ mm}$
spoorkrans- en wielflenswrijvingswaarde:	voor wentellagers $c = 0,003$
lagerrolweerstandscoefficiënt:	voor wentellagers $\mu_L = 0,005$
open overbrenging:	kettingoverbrenging, $i_V = 27/17 = 1,588$
kettingwieldiameter (gedreven):	$d_0 = 215 \text{ mm}$
lastrendement:	$\eta_L = 0,90$
inschakelduur:	40 % ID
schakelfrequentie:	75 ritten/uur beladen en 75 ritten/uur leeg, 8 uren/dag

Er worden 2 wielen aangedreven. De wielen mogen bij het versnellen niet doorslippen.



Afbeelding 28: Rijwerkaandrijving

00777AXX



8.1 Berekening en keuze van de motor

Rijweerstand	$F_F = m \cdot g \cdot \left(\frac{2}{D} \cdot \left(\mu_L \cdot \frac{d}{2} + f \right) + c \right) \quad [N]$
beladen	$\underline{F_F} = 3000 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \left(\frac{2}{250 \text{ mm}} \cdot \left(0.005 \cdot \frac{60 \text{ mm}}{2} + 0.5 \text{ mm} \right) + 0.003 \right) = \underline{241 \text{ N}}$
leeg	$\underline{F_F} = 1500 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \left(\frac{2}{250 \text{ mm}} \cdot \left(0.005 \cdot \frac{60 \text{ mm}}{2} + 0.5 \text{ mm} \right) + 0.003 \right) = \underline{120.5 \text{ N}}$

Voor het berekenen van de rijweerstand is het niet van invloed hoeveel loopwielen gebruikt worden.

Statisch vermogen

Het statisch vermogen P_S houdt rekening met alle krachten die tijdens niet-versnellend bedrijf optreden. Dit zijn onder andere:

- rollende wrijving
- wrijvingskrachten
- hefkracht omhoog
- windkracht

$$P_S = \frac{F_F \cdot v}{\eta}$$

Rendement

η_T is het totale rendement van de installatie, bestaande uit het rendement van de reductor η_G en het rendement van de externe overbrengingselementen η_L . De rendementen van de overbrengingselementen kunnen ontleend worden aan de tabellenbijlage.

Rechte en kegelwielvertanding

Het rendement van de reductor kan bij rechte en kegelwielvertanding gesteld worden op $\eta_G = 0,98$ per tandwieltrap (bijv. 3-traps reductor: $\eta_G = 0,94$). De rendementen van wormwielaandrijvingen gelieve u, rekening houdend met de overbrengingsverhouding, te ontleen aan de catalogus SEW-motorreductoren.

Aangezien de reductor op dit tijdstip nog niet bepaald is, wordt met de gemiddelde waarde van 2- en 3-traps reductoren $\eta_G = 0,95$ gerekend.

Lastrendement

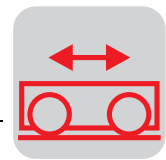
Het rendement van de last is afhankelijk van de overbrengingselementen na de reductor (bijv. kettingen, riemen, kabels, vertande delen ...).

Uit de tabellenbijlage: rendement van kettingen $\eta_L = 0,90 \dots 0,96$.

Wanneer geen nauwkeuriger waarden beschikbaar zijn, wordt met de kleinste waarde ($\eta_L = 0,90$) gerekend.

Totaalrendement

$$\underline{\eta_T} = \eta_G \cdot \eta_L = 0.95 \cdot 0.9 = \underline{0.85}$$



Rendement bij drijvende last

Rendementen bij drijvende lasten kunnen volgens de volgende formule berekend worden:

$$\eta' = 2 - \frac{1}{\eta}$$

Hieruit is in te zien dat bij een rendement van 50 % (0,5) en kleiner het rendement bij drijvende last tot 0 nadert (statisch zelfremmend!).

Statisch vermogen

beladen	$P_S = \frac{241 \text{ N} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.85} = 142 \text{ W} = \underline{0.142 \text{ kW}}$
leeg	$P_S = \frac{120.5 \text{ N} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.85} = 71 \text{ W} = \underline{0.071 \text{ kW}}$

Het berekende statische vermogen is betrokken op de motoras.

Dit vermogen is slechts een deel van het benodigde motorvermogen, omdat bij horizontale aandrijvingen het versnellingsvermogen (= dynamisch vermogen) maatgevend is.

Dynamisch vermogen

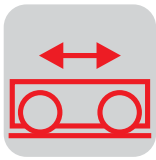
Het dynamische vermogen is het vermogen, waarmee het totale systeem (last, overbrengingselementen, reductor en motor) versnelt. Bij ongeregelde aandrijvingen biedt de motor een aanlooppoppel, waarmee dit systeem wordt versneld. Hoe hoger het aanlooppoppel, hoe groter de versnelling is.

Over het algemeen kunnen de massastraagheidsmomenten van de overbrengingselementen en reductoren verwaarloosd worden. Het massastraagheidsmoment van de motor is nog niet bekend, omdat de motor eerst nog bepaald moet worden. Om die reden dient een motor bij benadering uitsluitend berekend te worden uit het dynamische vermogen voor het versnellen van de last. Omdat echter de verhouding van last- tot motor-massastraagheidsmoment bij rijwerkaandrijvingen in normale gevallen zeer hoog is, kan de motor hier reeds heel nauwkeurig bepaald worden. Nochtans is een controle achteraf noodzakelijk.

Totaal vermogen	$P_T = P_{DL} + P_{DM} + P_S$
	$P_T = \frac{m \cdot a \cdot v}{\eta} + P_{DM} + \frac{F_F \cdot v}{\eta}$

- P_T = totaal vermogen
- P_{DL} = dynamisch vermogen van de last
- P_{DM} = dynamisch vermogen van de motor
- P_S = statisch vermogen
- η = totaal rendement

De ontbrekende waarde van de toelaatbare aanloopversnelling a_p dient nog berekend te worden. Het criterium hierbij is, dat de loopwielen niet mogen doorslippen.



Rekenvoorbeeld rijwerkaandrijving

Toelaatbare aanloopversnelling

De wielen slippen, wanneer de omtrekskracht F_U aan de wielen groter is dan de wrijvingskracht F_R .

Omtrekskracht

$$\text{Grensgeval: } F_U = m \cdot a = F_R = m' \cdot g \cdot \mu_0$$

m' = op de drijvende wielen afgesteunde massa, met 2 gedreven wielen van de 4 is $m' = m/2$

$\mu_0 = 0,15$ (wrijvingscoëfficiënt rustwrijving staal/staal, zie de tabellenbijlage)

toelaatbare versnelling

$$a_P = \frac{1}{2} \cdot g \cdot \mu_0 = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,15 = 0,74 \frac{m}{s^2}$$

Wanneer de versnelling a kleiner is dan de toelaatbare versnelling a_P , dan slippen de wielen niet door.

Totaal vermogen

(zonder het dynamische vermogen voor de motor)

beladen

$$\underline{P_T} = \frac{3000 \text{ kg} \cdot 0,74 \frac{m}{s^2} \cdot 0,5 \frac{m}{s}}{0,85} + \frac{241 \text{ N} \cdot 0,5 \frac{m}{s}}{0,85} = 1448 \text{ W}$$

leeg

$$\underline{P_T} = \frac{1500 \text{ kg} \cdot 0,74 \frac{m}{s^2} \cdot 0,5 \frac{m}{s}}{0,85} + \frac{120,5 \text{ N} \cdot 0,5 \frac{m}{s}}{0,85} = 724 \text{ W}$$

Zachte versnelling

Het doorslippen van de loopwielen door een te grote versnelling dient verhinderd te worden. Daarom wordt een 2-polige motor gekozen. Door de kleinere verhouding van het externe en motormassatraagheidsmoment is meer energie nodig om de motor naar het hoge toerental te versnellen. Het versnellingsproces verloopt zachter.

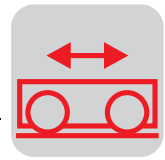
Aanloopkoppel

Bij 2-polige motoren in dat vermogensbereik is het aanloopkoppel M_H een factor 2 groter dan het nominale koppel. Omdat de ingevoerde versnelling de maximaal toelaatbare versnelling weergeeft, kiezen we eerst een motor waarvan het nominale vermogen kleiner is dan het voor de lege toestand berekende totale vermogen P_{tot} .

gekozen motor

DT71D2 /BM
 $P_N = 0,55 \text{ kW}$
 $n_N = 2700 \text{ min}^{-1}$
 $M_H/M_N = 1,9$
 $J_M = 5,51 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$

Gegevens uit de catalogus "Motorreductoren"



Herberekening

De tot dusver uitgevoerde berekening vond plaats zonder motorgegevens. Daarom is een gedetailleerde herberekening met motorgegevens noodzakelijk.

Aanloopgedrag

Op de motoras betrokken extern massastraagheidsmoment in lege toestand:

extern
massastraagheids-
moment

$$J_X = 91.2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_M} \right)^2 = 91.2 \cdot 1500 \text{ kg} \cdot \left(\frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2700 \text{ min}^{-1}} \right)^2 = 0.0047 \text{ kgm}^2$$

Koppels

nominaal koppel

$$M_N = \frac{P_N \cdot 9550}{n_M} = \frac{0.55 \text{ kW} \cdot 9550}{2700 \text{ min}^{-1}} = 1.95 \text{ Nm}$$

aanloopkoppel

$$M_H = 1.9 \cdot M_N = 3.7 \text{ Nm}$$

M_H is geen waarde uit de catalogus en dient berekend te worden.

lastkoppel onbeladen

$$M_L = \frac{F_F \cdot v \cdot 9.55}{n_M} = \frac{120.5 \text{ N} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 9.55}{2700 \text{ min}^{-1}} = 0.22 \text{ Nm}$$

M_L is uitsluitend een rekenwaarde zonder rendement.

lastkoppel beladen

$$M_L = \frac{F_F \cdot v \cdot 9.55}{n_M} = \frac{241 \text{ N} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 9.55}{2700 \text{ min}^{-1}} = 0.43 \text{ Nm}$$

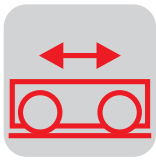
Aanlooptijd in lege toestand

$$t_A = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta} \right)}{9.55 \cdot (M_H - M_L)} = \frac{\left(0.000551 \text{ kgm}^2 + \frac{0.0047 \text{ kgm}^2}{0.85} \right) \cdot 2700 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (3.7 \text{ Nm} - 0.25 \text{ Nm})} = 0.49 \text{ s}$$

Aanloopversnelling in lege toestand

$$\frac{a_A}{t_A} = \frac{v}{t_A} = \frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.49 \text{ s}} = 1.02 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

De aanloopversnelling in lege toestand is ontoelaatbaar hoog. Met een verhoogd massastraagheidsmoment van de motor bijv. door het aanbouwen van een verzwaarde ventilator, kan de versnelling verminderd worden. Dit gaat echter ten koste van de toelaatbare schakelfrequentie. De keuze van een kleinere motor kan de versnelling eveneens verminderen.



Verzwaarde ventilator

Hernieuwde berekening in lege toestand met een verzwaarde ventilator ($J_Z = 0,002 \text{ kgm}^2$):

aanlooptijd

$$t_A = \frac{\left(J_M + J_Z + \frac{J_X}{\eta} \right) \cdot n_M}{9.55 \cdot \left(M_H - \frac{M_L}{\eta} \right)}$$

$$= \frac{\left((0.000551 + 0.002) \text{ kgm}^2 + \frac{0.0047 \text{ kgm}^2}{0.85} \right) \cdot 2700 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot \left(3.7 \text{ Nm} - \frac{0.22 \text{ Nm}}{0.85} \right)} = 0.71 \text{ s}$$

aanloopversnelling

$$\underline{a}_A = \frac{v}{t_A} = \frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.71 \text{ s}} = 0.70 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

De aanloopversnelling in de lege toestand is binnen het toelaatbare bereik, daarmee is een geschikte motor gevonden.

Aanlooptijd en aanloopversnelling in beladen toestand

aanlooptijd

$$t_A = \frac{\left(J_M + J_Z + \frac{J_X}{\eta} \right) \cdot n_M}{9.55 \cdot \left(M_H - \frac{M_L}{\eta} \right)}$$

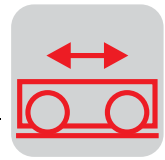
$$= \frac{\left((0.000551 + 0.002) \text{ kgm}^2 + \frac{0.0094 \text{ kgm}^2}{0.85} \right) \cdot 2700 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot \left(3.7 \text{ Nm} - \frac{0.43 \text{ Nm}}{0.85} \right)} = 1.2 \text{ s}$$

aanloopversnelling

$$\underline{a}_A = \frac{v}{t_A} = \frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.2 \text{ s}} = 0.41 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

aanloopweg

$$s_A = \frac{1}{2} \cdot t_A \cdot v \cdot 1000 = \frac{1}{2} \cdot 1.2 \text{ s} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 = 300 \text{ mm}$$



Toelaatbare schakelfrequentie

beladen

$$Z_{PL} = Z_0 \cdot \frac{1 - \frac{M_L}{M_H \cdot \eta}}{J_M + J_Z + \frac{J_X}{\eta}} \cdot K_P$$

$$Z_0 = 4600 \frac{c}{h}$$

Nullastschakelfrequentie van de motor volgens catalogus met remaansturing BGE.

$$\frac{P_S}{P_N} = \frac{0.142 \text{ kW}}{0.55 \text{ kW}} \approx 0.25 \quad 40 \% ED \quad \rightarrow \quad K_P = 0.7$$

$$Z_{PL} = 4600 \frac{c}{h} \cdot \frac{1 - \frac{0.43 \text{ Nm}}{3.7 \text{ Nm} \cdot 0.85}}{\frac{(0.000551 + 0.002) \text{ kgm}^2 + \frac{0.0094 \text{ kgm}^2}{0.85}}{0.000551 \text{ kgm}^2}} \cdot 0.7 = 112 \frac{c}{h}$$

leeg

$$\frac{P_S}{P_N} = \frac{0.071 \text{ kW}}{0.55 \text{ kW}} \approx 0.13 \quad 40 \% ED \quad \rightarrow \quad K_P = 0.85$$

$$Z_{PE} = 4600 \frac{c}{h} \cdot \frac{1 - \frac{0.22 \text{ Nm}}{3.7 \text{ Nm} \cdot 0.85}}{\frac{(0.000551 + 0.002) \text{ kgm}^2 + \frac{0.0047 \text{ kgm}^2}{0.85}}{0.000551 \text{ kgm}^2}} \cdot 0.85 = 247 \frac{c}{h}$$

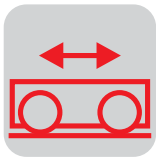
Met de volgende formule kan de toelaatbare schakelfrequentie voor de combinatie van een gelijk aantal ritten in beladen en onbeladen toestand per cyclus bepaald worden:

beladen en leeg

$$\underline{Z_C} = \frac{Z_{PL} \cdot Z_{PE}}{Z_{PL} + Z_{PE}} = \frac{112 \cdot 247}{112 + 247} = 77 \frac{c}{h}$$

Z_C = schakelfrequentie per cyclus
 Z_{PL} = toelaatbare schakelfrequentie beladen
 Z_{PE} = toelaatbare schakelfrequentie leeg

Aan de eis van 75 cycli per uur kan voldaan worden.

**Remgedrag***Remkoppel*

Versnelling en vertraging dienen qua getalgrootte identiek te zijn. Bovendien moet er rekening mee worden gehouden dat de rijweerstand en dus de daaruit voortvloeiende lastkoppels het remkoppel ondersteunen.

remkoppel $M_B \approx M_H - 2 \cdot M_L \cdot \eta = 3.7 \text{ Nm} - 2 \cdot 0.43 \text{ Nm} \cdot 0.85 \approx 2.8 \text{ Nm}$

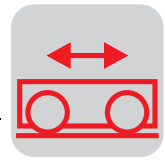
remtijd $t_B = \frac{(J_M + J_Z + J_X \cdot \eta) \cdot n_M}{9.55 \cdot (M_B + M_S \cdot \eta)} = \frac{(0.000551 + 0.002 + 0.0094 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2 \cdot 2700 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (2.5 + 0.43 \cdot 0.85) \text{ Nm}} = 1.0 \text{ s}$

remvertraging $a_B = \frac{v}{t_B} = \frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.0 \text{ s}} = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

stopweg $s_B = v \cdot 1000 \cdot \left(t_2 + \frac{1}{2} \cdot t_B \right) = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 \cdot \left(0.005 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 1.0 \text{ s} \right) = 252.5 \text{ mm}$

$t_2 = t_{2II} = 0,005 \text{ s}$ voor gelijk- en wisselstroomzijdige afschakeling van de rem (zie catalogus "Motorreductoren", hoofdstuk Draaistroomremmotoren).

remnauwkeurigheid $X_B = \pm 0.12 \cdot s_B = \pm 0.12 \cdot 252.5 \text{ mm} = \pm 30.3 \text{ mm}$



Remenergie

De remenergie wordt in de remvoering in warmte omgezet en is een maat voor de slijtage van de remvoering.

beladen	$W_{BL} = \frac{M_B}{M_B + M_L \cdot \eta} \cdot \frac{(J_M + J_Z + J_X \cdot \eta) \cdot n_M^2}{182.5}$
	$W_{BL} = \frac{2.5 \text{ Nm}}{(2.5 + 0.43 \cdot 0.85) \text{ Nm}} \cdot \frac{(0.000551 + 0.002 + 0.0094 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2 \cdot 2700^2 \text{ min}^{-2}}{182.5}$ $= 368 \text{ J}$
leeg	$W_{BE} = \frac{2.5 \text{ Nm}}{(2.5 + 0.22 \cdot 0.85) \text{ Nm}} \cdot \frac{(0.000551 + 0.002 + 0.0047 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2 \cdot 2700^2 \text{ min}^{-2}}{182.5}$ $= 244 \text{ J}$

De te rijden wagen wordt afwisselend in beladen en lege toestand gebruikt, zodat voor het berekenen van de standtijd van de rem de gemiddelde waarde W_B van de remenergie te gebruiken is.

remenergie	$W_B = \frac{W_{BL} + W_{BE}}{2} = \frac{368 \text{ J} + 244 \text{ J}}{2} = 306 \text{ J}$
------------	---

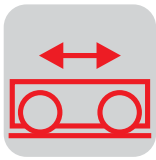
remstandtijd	$\underline{L}_B = \frac{W_N}{W_B \cdot Z} = \frac{120 \cdot 10^6 \text{ J}}{306 \text{ J} \cdot 150 \frac{\text{c}}{\text{h}}} = 2600 \text{ h}$	$W_N = \text{ nominale remarbeid}$ (zie de tabellenbijlage)
--------------	---	--

Na 2600 bedrijfsuren (komt bij 8 uren/dag overeen met ca. 1 jaar) dient op z'n laatst de rem nagesteld en de remschijf gecontroleerd te worden.

8.2 Berekening en keuze van de reductor

uitgaand toerental	$n_a = 19.1 \cdot 10^3 \cdot \frac{v}{D} \cdot i_V = 19.1 \cdot 10^3 \cdot \frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{250 \text{ mm}} \cdot \frac{27}{17} = 60.7 \text{ min}^{-1}$
--------------------	--

reductoroverbrenging	$\underline{i} = \frac{n_M}{n_a} = \frac{2700 \text{ min}^{-1}}{60.7 \text{ min}^{-1}} = 44.5$
----------------------	--

**Bedrijfsfactor**

Bij bedrijf met 8 uren/dag en 150 ritten/uur, dus 300 aanloop- en remprocessen per uur, wordt met behulp van de afbeelding "Noodzakelijke bedrijfsfactor f_B " in het hoofdstuk "Reductoren" de volgende bedrijfsfactor bepaald:

$$\frac{J_X}{J_M + J_Z} = \frac{0.0094 \text{ kgm}^2}{(0.000551 + 0.002) \text{ kgm}^2} = 3.68 \Rightarrow \text{Stootgraad 3}$$

$$f_B = 1.45$$

Bij een massaversnellingsfactor > 20 , hetgeen bij rijwerkaandrijvingen niet zelden voorkomt, dient er op gelet te worden dat de installatie zo spelingsvrij mogelijk is. Bij netbedrijf kan anders schade aan de reductor ontstaan.

Gekozen vermogen

Het gekozen vermogen voor het berekenen van de reductor is principieel het nominale motorvermogen.

uitgaand koppel

$$M_a = \frac{P_N \cdot 9550}{n_a} = \frac{0.55 \text{ kW} \cdot 9550}{60.7 \text{ min}^{-1}} = 86.5 \text{ Nm}$$

passende reductor: R27 met $n_a = 60 \text{ min}^{-1}$ en $M_{amax} = 130 \text{ Nm}$

Daarmee bedragen het uitgaande koppel M_a (betrokken op het nominale vermogen van de motor), bedrijfsfactor f_B en radiale belasting F_Q :

uitgaand koppel

$$\underline{M_a} = \frac{0.55 \text{ kW} \cdot 9550}{60 \text{ min}^{-1}} = \underline{87.5 \text{ Nm}}$$

bedrijfsfactor

$$\underline{f_B} = \frac{130 \text{ Nm}}{87.5 \text{ Nm}} = \underline{1.48}$$

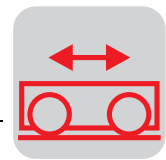
radiale kracht

$$F_Q = \frac{M_a \cdot 2000}{\frac{d_0}{i_V}} \cdot f_Z = \frac{87.5 \text{ Nm} \cdot 2000}{\frac{215 \text{ mm}}{1.59}} \cdot 1.25 = 1617 \text{ N}$$

Aantal tanden < 20 , dus $f_Z = 1,25$ (zie tabellenbijlage "Radiale krachten, Axiale krachten")

Bij riemaandrijvingen dient als extra rekening gehouden te worden met de riemvoerspankracht: $F_{Ra_zul} = 3530 \text{ N}$.

Daarmee staat de aandrijving vast: R27DT71D2 /BMG.



8.3 Rijwerkaandrijving met 2 snelheden

De rijwerkaandrijving uit het voorgaande voorbeeld dient voor het positioneren met een factor 4 lagere snelheid te rijden (8/2-polige motor). Bovendien dient de positioneer-nauwkeurigheid verminderd te worden tot ± 5 mm. De statische verhoudingen blijven gelijk.

Gegevens	Massa van de te verrijden wagen: $m_0 = 1500 \text{ kg}$
	Massa last: $m_L = 1500 \text{ kg}$
	Snelheid: $v = 0,5 \text{ m/s}$
	Loopwioldiameter: $D = 250 \text{ mm}$
	Van het voorgaande voorbeeld overgenomen:
	Rijweerstand: $F_F = 241 \text{ N}$
	Statisch vermogen: $P_S = 0,14 \text{ kW}$
	Totaal rendement: $\eta_T = 0,85$

Omschakelvertraging De procedure is gelijk aan die van het voorgaande voorbeeld, echter bij pooltalomschakelbare motoren is niet de aanloopversnelling, maar de omschakelvertraging van het hoge naar het lage toerental het kritische punt. Pooltalomschakelbare motoren leveren ongeveer het 2,5-voudige van het aanloopkoppel van de "langzame wikkeling" als omschakelkoppel.

Het aanloopkoppel van de "langzame wikkeling" is bij motoren van het te verwachten vermogensbereik ca. 1,7 x het nominale koppel. Daarmee wordt het te verwachten omschakelkoppel ca.:

omschakelkoppel

$$M_U = 2.5 \cdot 1.7 \cdot M_{N8P} = 4.25 \cdot M_{N8P}$$

M_{N8P} = nominaal koppel van de 8-polige wikkeling

Motorkeuze

Daarom wordt allereerst een motor gekozen, waarvan het 8-polige nominale vermogen minimaal een factor 4,25 kleiner is dan het vanuit de last berekende dynamische vermogen bij toelaatbare versnelling.

dynamisch vermogen

$$P_{DL} = \frac{3000 \text{ kg} \cdot 0.74 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.85} = 1300 \text{ W}$$

totaal vermogen

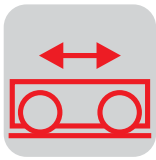
$$P_T = P_{DL} + P_S = 1300 \text{ W} + 140 \text{ W} = 1440 \text{ W}$$

$$\underline{P_{TU}} = \frac{1440 \text{ W}}{4.25} = \underline{340 \text{ W}}$$

gekozen motor

DT71D8/2 /BM
 $P_N = 0,06/0,25 \text{ kW}$
 $n_N = 675/2670 \text{ min}^{-1}$
 $M_H/M_N = 1,4/1,8$
 $J_M = 5,3 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$

Gegevens uit catalogus "Motorreductoren"



Nominaal motorkoppel voor het 2-polige toerental

nominaal koppel	$M_N = \frac{P_N \cdot 9550}{n_N} = \frac{0.25 \text{ kW} \cdot 9550}{2670 \text{ min}^{-1}} = 0.9 \text{ Nm}$
-----------------	--

aanlooppkoppel	$M_H = 1.8 \cdot M_N = 1.6 \text{ Nm}$
----------------	--

lastkoppel	$M_L = \frac{F_F \cdot v \cdot 9550}{n_N} = \frac{241 \text{ N} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 9.55}{2670 \text{ min}^{-1}} = 0.43 \text{ Nm}$
------------	---

M_L is een pure rekenwaarde zonder rendement.

extern massatraagheidsmoment

$$J_X = 91.2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_M} \right)^2 = 91.2 \cdot 3000 \text{ kg} \cdot \left(\frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2670 \text{ min}^{-1}} \right)^2 = 0.0096 \text{ kgm}^2$$

aanlooptijd

$$t_A = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta} \right) \cdot n_M}{9.55 \cdot \left(M_H - \frac{M_L}{\eta} \right)} = \frac{\left(0.00053 \text{ kgm}^2 + \frac{0.0096 \text{ kgm}^2}{0.85} \right) \cdot 2670 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot \left(1.6 \text{ Nm} - \frac{0.43 \text{ Nm}}{0.85} \right)} = 3.0 \text{ s}$$

aanloopversnelling

$$a_A = \frac{v}{t_A} = \frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{3.0 \text{ s}} = 0.17 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Omschakelvertraging

Bepalend bij pooltalomschakelbare motoren is echter de omschakelvertraging:

omschakeltijd

$$t_U = \frac{(J_M + J_X \cdot \eta) \cdot (n_2 - n_1)}{9.55 \cdot (M_U + M_L \cdot \eta)}$$

omschakelkoppel

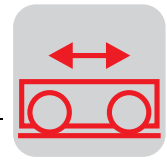
$$M_U = 2.5 \cdot M_{H8P} = 3 \text{ Nm}$$

omschakeltijd

$$t_U = \frac{(0.00053 + 0.0096 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2 \cdot (2670 - 675) \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (3 + 0.43 \cdot 0.85) \text{ Nm}} = 0.54 \text{ s}$$

omschakelversnelling

$$a_U = \frac{v \cdot \left(1 - \frac{n_{M1}}{n_{M2}} \right)}{t_U} = \frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left(1 - \frac{675 \text{ min}^{-1}}{2670 \text{ min}^{-1}} \right)}{0.54 \text{ s}} = 0.69 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$



Bij het omschakelen zonder last ligt de waarde op 1,22 m/s². Zoals reeds in het voorgaande voorbeeld werd berekend, ligt de maximaal toelaatbare versnelling op a_p = 0,74 m/s². Het omschakelgedrag kan nu door de twee volgende beschreven mogelijkheden verbeterd worden.

Verzwaarde ventilator

De verzwaarde ventilator verlengt door zijn grote massa traagheidsmoment de omschakeltijd. De toelaatbare schakelfrequentie wordt echter aanzienlijk verminderd.

Apparaat voor zachte omschakeling (WPU)

Het WPU-apparaat is nuttig voor de omschakelkoppelvermindering (met ca. 50 %) bij 2-fasig omschakelen. De derde fase wordt automatisch bijgeschakeld.

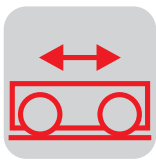
Onze voorkeur gaat uit naar de oplossing met de WPU omdat wij geen verliezen in de schakelfrequentie willen accepteren. In extreme gevallen is het ook mogelijk om beide middelen gelijktijdig te gebruiken.

Daarmee wordt voor de onbeladen situatie:

omschakeltijd	$t_U = \frac{(0.00053 + 0.0047 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2 \cdot (2670 - 675) \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (1.5 + 0.22 \cdot 0.85) \text{ Nm}} = 0.56 \text{ s}$
omschakelversnelling	$a_U = \frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left(1 - \frac{675 \text{ min}^{-1}}{2670 \text{ min}^{-1}}\right)}{0.56 \text{ s}} = 0.67 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

toelaatbare schakelfrequentie beladen

$Z_P = Z_0 \frac{1 - \frac{M_L}{M_H \cdot \eta}}{J_M + J_Z + \frac{J_X}{\eta}} \cdot K_P$
$Z_P = 9000 \frac{\text{c}}{\text{h}} \cdot \frac{1 - \frac{0.43 \text{ Nm}}{1.6 \text{ Nm} \cdot 0.85}}{\frac{0.00053 \text{ kgm}^2 + \frac{0.0096 \text{ kgm}^2}{0.85}}{0.00053 \text{ kgm}^2}} \cdot 0.65 = 180 \frac{\text{c}}{\text{h}}$



Extra warmte bij het omschakelen

Hiervoor dient vanwege de extra opwarming bij het omschakelen een factor van 0,7 verrekend te worden. Dus is de aandrijving in staat om de vol beladen wagen te verrijden met een schakelfrequentie van $Z_{PL} = 180 \cdot 0,7 = 126$ maal.

De toelaatbare schakelfrequentie wordt hoger wanneer de motor uitgevoerd is met isolatieklasse H of met een onafhankelijk aangedreven ventilator.

Een verdere mogelijkheid om de toelaatbare schakelfrequentie te verhogen is het aanlopen bij de lage snelheid (in de hoogpolige wikkeling).

Bij het aanlopen in het lage toerental en een daaropvolgend omschakelen naar het hoge toerental wordt de berekende schakelfrequentie met ca. 25% verhoogd.

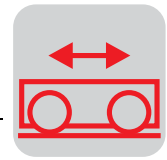
Daarbij ontstaat echter een extra belastingstoot die bij sommige toepassingen ongewenst is. Bovendien wordt de bewegingstijd verhoogd.

Schakelfrequentie van verschillende cycli

De wagen rijdt beladen in één richting en leeg terug. De toelaatbare schakelfrequentie in beladen toestand hebben wij berekend als 126 c/h. Met de voorgaande formules en de lege massa is nu de schakelfrequentie in onbelaste toestand te berekenen.

rijweerstand	$F_F = m \cdot g \cdot \left(\frac{2}{D} \cdot \left(\mu_L \cdot \frac{d}{2} + f \right) + c \right)$	
	$F_F = 1500 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \left(\frac{2}{250 \text{ mm}} \cdot \left(0,005 \cdot \frac{60 \text{ mm}}{2} + 0,5 \text{ mm} \right) + 0,003 \text{ N} \right) = 120 \text{ N}$	
statisch koppel	$M_L = \frac{F_F \cdot v \cdot 9550}{n_M} = \frac{120 \text{ Nm} \cdot 0,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 9550}{2670 \text{ min}^{-1}} = 0,22 \text{ Nm}$	M_L is een pure rekenwaarde zonder rendement.
toelaatbare schakelfrequentie	$Z_{PE} = 9000 \frac{\text{c}}{\text{h}} \cdot \frac{1 - \frac{0,22 \text{ Nm}}{1,6 \text{ Nm} \cdot 0,85}}{\frac{0,00053 \text{ kgm}^2 + \frac{0,0048 \text{ kgm}^2}{0,85}}{0,00053 \text{ kgm}^2}} \cdot 0,7 \cdot 0,7 = 320 \frac{\text{c}}{\text{h}}$	

De motor komt met 126 c/h beladen of na 320 c/h onbeladen tot zijn thermische verzaaging.



Om dit in cycli uit te kunnen drukken dient een gemiddelde waarde volgens de volgende formule berekend te worden.

toelaatbare schakelfrequentie

$$Z_P = \frac{Z_{PE} \cdot Z_{PL}}{Z_{PE} + Z_{PL}} = \frac{320 \frac{c}{h} \cdot 126 \frac{c}{h}}{320 \frac{c}{h} + 126 \frac{c}{h}} = 90 \frac{c}{h}$$

Meer dan 2 belastingswijzen

Bij meer dan 2 verschillende belastingswijzen dienen de afzonderlijke schakelingen omgerekend te worden naar nullastschakelingen.

Aanname

Het rijwerk rijdt over een hellend vlak.

De cyclus bestaat uit:

1. Rit: met last omhoog
2. Rit: met last omlaag
3. Rit: met last omhoog
4. Rit: zonder last omlaag

Daarna begint de cyclus van voren af aan.

Waarden voor de schakelfrequenties

De waarden zijn willekeurig gekozen.

Schakelfrequentie	Met last omhoog	Met last omlaag	Zonder last omhoog	Zonder last omlaag
schakelfrequentie [c/h]	49	402	289	181

Nullastschakelfrequentie

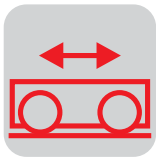
De toelaatbare nullastschakelfrequentie van de motor is volgens de catalogus 1200 c/h. Vervolgens wordt berekend met hoeveel nullastschakelingen een belaste schakeling in de betreffende rit overeenkomt.

$$\begin{aligned}
 1200/49 &= 24,5 \text{ met last omhoog (24,5 nullastschakelingen komen overeen met een lastschakeling)} \\
 + 1200/402 &= 3,0 \text{ met last omlaag} \\
 + 1200/49 &= 24,5 \text{ met last omhoog} \\
 + 1200/181 &= 6,6 \text{ zonder last omlaag} \\
 &\underline{58,6}
 \end{aligned}$$

In woorden

Van de 1200 c/h, die de motor in nullast mag aanlopen, werden 58,6 nullastschakeling in een cyclus "verbruikt".

Daardoor mogen $1200/58,6 = 20,5$ spelcycli per uur gemaakt worden.



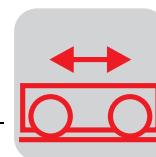
Berekening van de stopnauwkeurigheid

De berekeningen zijn gebaseerd op ritten met last, omdat de remweg langer en daarmee de stopnauwkeurigheid hier kleiner is dan bij ritten zonder last.

Remkoppel

Het remkoppel wordt evenals in het vorige voorbeeld gekozen op 2,5 Nm.

remtijd	$t_B = \frac{(J_M + J_Z + J_X \cdot \eta) \cdot n_M}{9.55 \cdot (M_B + M_L \cdot \eta)}$ $t_B = \frac{(0.00053 + 0.0096 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2 \cdot 675 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (2.5 + 0.43 \cdot 0.85) \text{ Nm}} = 0.21 \text{ s}$
remvertraging	$a_B = \frac{v}{t_B} = \frac{0.13 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.21 \text{ s}} = 0.62 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
remweg	$s_B = v \cdot 1000 \cdot \left(t_2 + \frac{1}{2} \cdot t_B \right)$ <p>$t_2 = t_{2II} = 0,005 \text{ s}$ voor gelijk- en wisselstroomzijdige afschakelen van de rem.</p> $s_B = 0.13 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 \cdot \left(0.005 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 0.21 \text{ s} \right) = 14 \text{ mm}$
stopnauwkeurigheid	$X_B \approx \pm 0.12 \cdot s_B = \pm 0.12 \cdot 14 \text{ mm} = \pm 1.7 \text{ mm}$

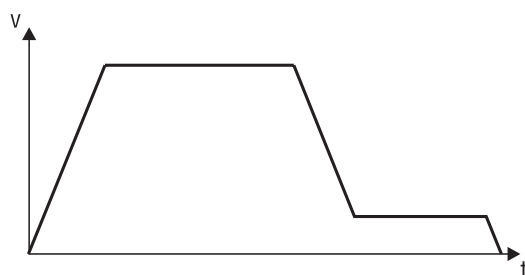


8.4 Rijwerkaandrijving met een frequentieregelaar

Gegevens

Een wagen met een leeg gewicht van $m_0 = 500$ kg dient een last van $m_L = 5$ t over een afstand van $s_T = 10$ m in $t_T = 15$ s te verplaatsen. Op de terugweg rijdt de wagen onbelast en dient daarom leeg met de dubbele snelheid te rijden.

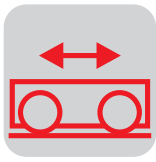
Voor het versnellen is $a = 0,5$ m/s² opgegeven. Bovendien dient na het vertragen om de positioneeruauwkeurigheid te verbeteren gedurende 0,5 s met positioneersnelheid ingepland te worden.



00780AXX

Afbeelding 29: Rij-grafiek

loopwieldiameter:	$D = 315$ mm
wielapdiameter:	$d = 60$ mm
wrijvingscombinatie:	staal/staal
rolweerstandarm:	staal op staal $f = 0,5$ mm
spoorkrans- en wielflenswrijving:	voor wentellagers $c = 0,003$
lagerrolweerstandscoefficiënt:	voor wentellagers $\mu_L = 0,005$
open overbrenging:	kettingoverbrenging, $i_V = 27/17 = 1,588$
kettingwieldiameter (reductoren):	$d_0 = 215$ mm
lastrendement:	$\eta_L = 0,90$
reductorrendement:	$\eta_G = 0,95$
inschakelduur:	60 % ID
toeslagfactor radiale belasting:	$f_Z = 1,25$
instelbereik:	1 : 10
schakelfrequentie:	50 ritten/uur



Optimalisatie van de rij-grafiek

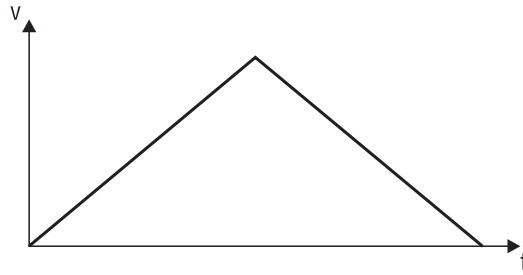
Optimalisatie op minimale versnelling.

$$a = \frac{4 \cdot s}{t^2}$$

$$v = \frac{2 \cdot s}{t}$$

$$t_A = \frac{t}{2}$$

$$s_A = \frac{s}{2}$$

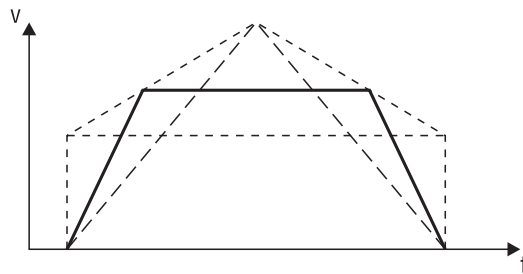


00781AXX

Afbeelding 30: Optimalisatie op versnelling

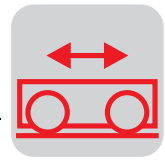
Optimalisatie op snelheid. De versnelling is opgegeven.

$$v = \frac{a \cdot t - \sqrt{(a \cdot t)^2 - 4 \cdot a \cdot s}}{2}$$



00782AXX

Afbeelding 31: Optimalisatie op snelheid

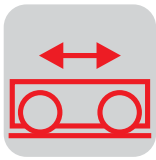


Positioneertijd

Hoewel de positioneertijd verwaarloosd wordt, is het resultaat voldoende nauwkeurig.

snelheid	$\underline{v} = \frac{0.5 \frac{m}{s^2} \cdot 14.5 s - \sqrt{\left(0.5 \frac{m}{s^2} \cdot 14.5 s\right)^2 - 4 \cdot 0.5 \frac{m}{s^2} \cdot 10 m}}{2} = 0.77 \frac{m}{s}$
aanlooptijd	$t_A = \frac{v}{a} = \frac{0.77 \frac{m}{s}}{0.5 \frac{m}{s^2}} = 1.54 s$
aanloopweg	$s_A = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t_A = \frac{1}{2} \cdot 0.77 \frac{m}{s} \cdot 1.54 s = 0.593 m$
omschakeltijd	$t_U = \frac{\Delta v}{a} = \frac{(0.77 - 0.077) \frac{m}{s}}{0.5 \frac{m}{s^2}} = 1.39 s$
omschakelweg	$s_U = t_U \cdot \left(\frac{\Delta v}{2} + v_1\right) = 1.39 s \cdot \left(\frac{(0.77 - 0.077) \frac{m}{s}}{2} + 0.077 \frac{m}{s}\right) = 0.588 m$
positioneerweg	$s_P = v \cdot t = 0.077 \frac{m}{s} \cdot 0.5 s = 0.0385 m$
rijweg	$s_F = s_T - s_A - s_U - s_1 = 8.78 m$
rijtijd	$t_F = \frac{s}{v} = \frac{8.78 m}{0.77 \frac{m}{s}} = 11.4 s$
totale tijd	$\underline{t_T} = t_A + t_F + t_U + t_1 = 14.8 s$

De rijcyclus is dus berekend.



Vermogensberekening

rijweerstand

$$F_F = m \cdot g \cdot \left(\frac{2}{D} \cdot \left(\mu_L \cdot \frac{d}{2} + f \right) + c \right)$$

$$\underline{F_F} = 5500 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \left(\frac{2}{315} \cdot \left(0.005 \cdot \frac{60 \text{ mm}}{2} + 0.5 \text{ mm} \right) + 0.003 \right) = \underline{385 \text{ N}}$$

statisch vermogen

$$\underline{P_S} = \frac{F_F \cdot v}{1000 \cdot \eta} = \frac{385 \text{ N} \cdot 0.77 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1000 \cdot 0.85} = \underline{0.35 \text{ kW}}$$

lastkoppel

$$\underline{M_L} = \frac{F_F \cdot v \cdot 9550}{n_N} = \frac{385 \text{ N} \cdot 0.77 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 9.55}{1400 \text{ min}^{-1}} = \underline{2.02 \text{ Nm}}$$

M_L is een pure rekenwaarde zonder rendement.

Dynamisch vermogen zonder motormassatraagheidsmoment voor het inschatten van het motorvermogen.

dynamisch vermogen

$$\underline{P_{DL}} = \frac{m \cdot a \cdot v}{1000 \cdot \eta} = \frac{5500 \text{ kg} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.77 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1000 \cdot 0.85} = \underline{2.49 \text{ kW}}$$

Totaal vermogen zonder vermogen voor het versnellen van het motormassatraagheidsmoment, dat nog niet vaststaat.

totaal vermogen

$$\underline{P_T} = P_S + P_{DL} = 0.35 \text{ kW} + 2.49 \text{ kW} = \underline{2.84 \text{ kW}}$$

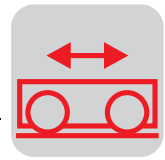
Omdat voor het versnellen door de frequentieregelaar 150 % nominale stroom ter beschikking gesteld kan worden, kiezen we een 2,2 kW motor.

gekozen motor

DV100M4 /BMG

 $P_N = 2,2 \text{ kW}$ $n_N = 1410 \text{ min}^{-1}$ $J_M = 59 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2 \text{ (incl. rem)}$

gegevens uit de catalogus "Motorreductoren"



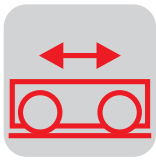
Versnellings-
vermogen

aanloopkoppel	$M_H = \frac{\left(J_M + \frac{1}{\eta} \cdot J_X \right) \cdot n_M}{9.55 \cdot t_A} + \frac{M_L}{\eta}$
extern massatraagheids- moment	$J_X = 91.2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_M} \right)^2 = 91.2 \cdot 5500 \text{ kg} \cdot \left(\frac{0.77 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1400 \text{ min}^{-1}} \right)^2 = 0.1517 \text{ kgm}^2$
aanloopkoppel	$M_H = \frac{\left(0.00481 \text{ kgm}^2 + \frac{1}{0.85} \cdot 0.1517 \text{ kgm}^2 \right) \cdot 1400 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot 1.54 \text{ s}} + \frac{2.02 \text{ Nm}}{0.85} = 19.8 \text{ Nm}$
nominaalkoppel	$M_N = \frac{2.2 \text{ kW} \cdot 9550}{1400 \text{ min}^{-1}} = 15 \text{ Nm}$
M_H / M_N	$\frac{M_H}{M_N} = \frac{19.8 \text{ Nm}}{15 \text{ Nm}} = 132 \%$

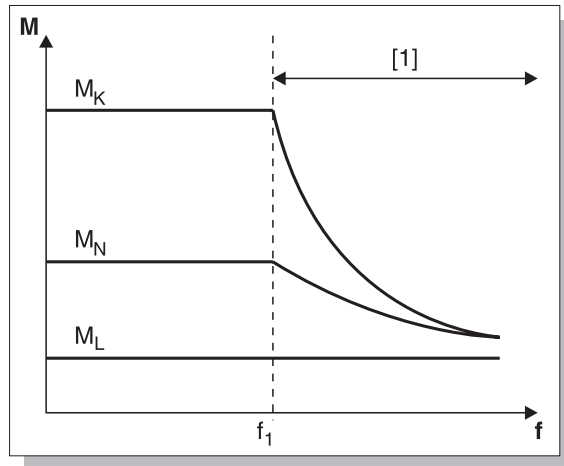


Omdat in het onderste toerentalbereik (< 25 % van het nominale toerental) het van de motoras afneembare koppel niet proportioneel is met de motorstroom, wordt bij 150 % motorstroom (aangepaste regelaar) met een motorkoppel van 130 % M_N gerekend.

In ons berekeningsvoorbeeld is 132 % M_N nodig en is dus nog net toelaatbaar.

**Instelbereik****Veldverzwakkingsgebied**

Wanneer de motor boven de kantelfrequentie f_1 (in het zogenaamde veldverzwakkingsgebied) gebruikt wordt, dan dient erop gelet te worden dat zowel het omgekeerd evenredig dalende nominale koppel alsook het quadratisch verminderde kippkoppel hoger is dan het benodigde lastkoppel.



00783BXX

Afbeelding 32: Veldverzwakkingsgebied

[1] = veldverzwakkingsgebied
 f_1 = kantelfrequentie

Verminderd toerental in het gebied van een constant koppel

Motoren met eigen koeling kunnen bij het bedrijf met een gereduceerd toerental vanwege het verminderde ventilatortoerental de ontstane warmte niet volledig afvoeren. Bepalend voor een juiste dimensionering is hier de juiste kennis van de maximale inschakelduur en de belasting op koppel in dit gebied. Vaak dient een afzonderlijk aangedreven ventilator of een grotere motor toegepast te worden, die vanwege het grotere oppervlak meer warmte kan afvoeren.

Dimensioneringsrichtlijnen in het instelbereik

- minimaal isolatieklasse F
- temperatuurvoelers (TF) of bimetaal-schakelaars (TH) in de motor aanbrengen
- vanwege instelbereik, rendement η , en $\cos \varphi$ 4-polige motoren gebruiken

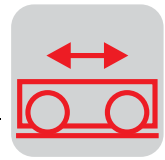
Uitvoerige aanwijzingen voor het projecteren hiervoor vindt u in "Aandrijftechniek in de praktijk – Het toepassen van frequentiegeregelde draaistroommotoren".

Veldverzwakkingsgebied

Omdat de last bij het snelle terugrijden heel gering is, wordt de motor in veldverzwakking bij 100 Hz gebruikt. Dit maakt een controle op koppel noodzakelijk.

Nominaal koppel motor bij kantelfrequentie: $M_N = 15 \text{ Nm}$

Kippkoppel bij kantelfrequentie: $M_K = 35 \text{ Nm}$



bij 100 Hz-bedrijf

nominaal koppel	$M_{N(100Hz)} = 15 \text{ Nm} \cdot \frac{50 \text{ Hz}}{100 \text{ Hz}} = 7.5 \text{ Nm}$
kipkoppel	$M_{K(100Hz)} = 35 \text{ Nm} \cdot \left(\frac{50 \text{ Hz}}{100 \text{ Hz}}\right)^2 = 8.75 \text{ Nm}$

Het lastkoppel bedraagt bij $m_0 = 500 \text{ kg}$ (onbelaste rit) inclusief het aandeel voor het versnellen en rendement $0,22 \text{ Nm} + 1,5 \text{ Nm} = 1,72 \text{ Nm}$. Dus is het bedrijf in veldverzwaking toelaatbaar.

87 Hz-Karakteristiek

Bij toepassing van de 87 Hz-karakteristiek kan voor het vorige voorbeeld een motor gekozen worden die een typesprong kleiner is.

gekozen motor

DT 90 L4 BMG
 $P_N = 1,5 \text{ kW}$ bij $n_N = 1400 \text{ min}^{-1}$
 $P_N = 2,2 \text{ kW}$ bij $n_N = 2440 \text{ min}^{-1}$
 $J_M = 39,4 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$ (incl. rem)

Gegevens uit de catalogus
 "Motorreductoren"

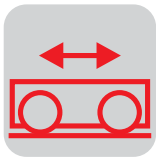
Deze motor kan bij toepassing van de 87 Hz-karakteristiek in samenwerking met een 2,2 kW-regelaar bij continu bedrijf een vermogen afgeven van 2,2 kW.

Het lastkoppel bedraagt, berekend naar het nieuwe nominale toerental $n_N = 2440 \text{ min}^{-1}$, **ML = 1,16 Nm.**

Het nieuwe nominale koppel van de motor bedraagt bij $n_N = 2440 \text{ min}^{-1}$ en $P_N = 2,2 \text{ kW}$, **MN = 8,6 Nm.**

extern massa-traagheidsmoment	$J_X = 91.2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_M}\right)^2 = 91.2 \cdot 5500 \text{ kg} \cdot \left(\frac{0.77 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2440 \text{ min}^{-1}}\right)^2 = 0.0497 \text{ kgm}^2$
aanloopkoppel	$M_H = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta}\right) \cdot n_M}{9.55 \cdot t_a} + \frac{M_L}{\eta} = 11.72 \text{ Nm}$
M_H / M_N	$\frac{M_H}{M_N} = \frac{11.72 \text{ Nm}}{8.6 \text{ Nm}} = 136 \%$

De 87 Hz-karakteristiek is toelaatbaar.

**Toerentalregeling**

De eigenschappen van de draaistroommotor aan de frequentieregelaar worden door de optie "Toerentalregeling" verbeterd.

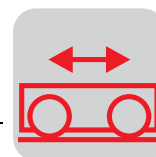
- De volgende componenten zijn extra noodzakelijk:
 - aan de motor gebouwde encoder
 - in de regelaar geïntegreerde toerentalregeling
- De volgende aandrijftechnische eigenschappen worden door een toerentalregeling bereikt:
 - Instelbereik van het toerental tot 1:100 bij $f_{\max} = 50$ Hz
 - Lastafhankelijkheid van het toerental $< 0,3$ % betrokken op n_N en lastsprong $\Delta M = 80$ %
 - Uitregeltijd bij lastverandering wordt tot ca. 0,3 ... 0,6 s verminderd

Bij de juiste combinatie met een regelaar kan de motor zelfs kortstondig koppels genereren die groter zijn dan het kipkoppel bij netbedrijf. Maximale versnellingswaarden worden bereikt wanneer de aandrijving geprojecteerd wordt op $f_{\max} < 40$ Hz en de kantelfrequentie ingesteld is op 50 Hz.

Synchroonloop

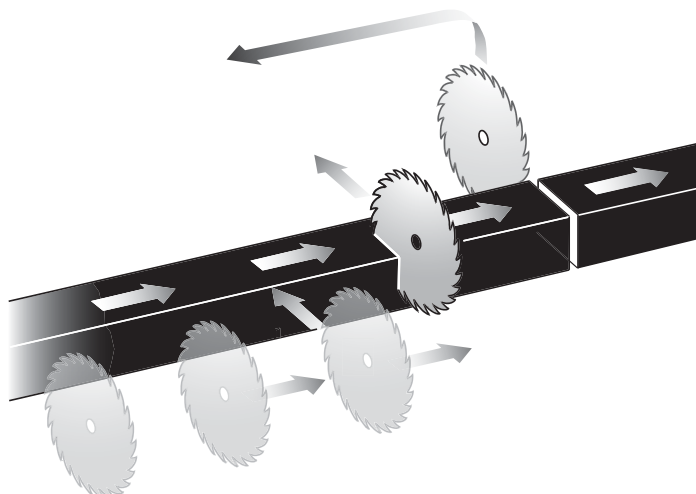
Met de functie "Synchroonloop" kan een groep asynchroommotoren hoeksynchroon ten opzichte van elkaar of in een instelbare proportionele verhouding gebruikt worden.

- De volgende componenten zijn extra noodzakelijk:
 - aan de motor gebouwde encoder
 - in de regelaar geïntegreerde synchroonloopregeling/toerentalregeling
- De volgende taken zijn oplosbaar:
 - Hoeksynchrone loop van 2 tot 10 aandrijvingen ("elektrische as")
 - Proportionele loop (instelbare synchroon-overbrengingsverhouding, "elektronische reductor")
 - Tijdelijke synchroonloop met interne verwerking van het hoekverschil tijdens de vrijloop ("vliegende zaag")
 - Synchrone loop met verplaatsing zonder nieuw referentiepunt (koppelproefstanden, het opwekken van onbalans in trillers)
 - Synchrone loop met verplaatsing en met nieuw referentiepunt (overzetbanden)



"Vliegende zaag" Een continu bewegende staaf van kunststof dient op nauwkeurige lengten van een meter gezaagd te worden.

Gegevens	verplaatsingsnelheid:	0,2 m/s
	max. verplaatsingsweg van de zaag:	1 m
	massa van de zaag:	50 kg
	duur van het zaagproces:	1 s / 0,4 m



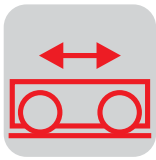
Afbeelding 33: "Vliegende zaag"

50306AXX

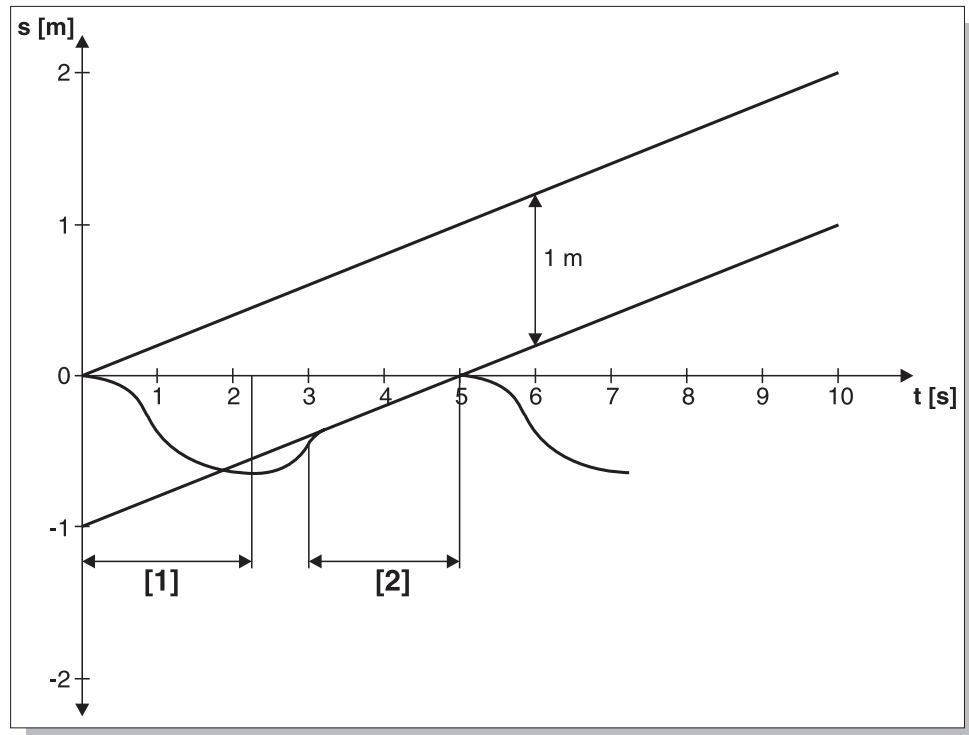
Om wille van de eenvoud zijn de kettingwioldiameters gelijk (215 mm). De bandaandrijving ligt vast met R37 DT71D4 ($i = 39,17$) berekend op een regelaarfrequentie van 30 Hz. Zo mogelijk dient dezelfde reductor ook gebruikt te worden voor de zaagverplaatsing.

Toelichting De 30 Hz van de bandaandrijving is gekozen opdat de zaag bij dezelfde overbrengingsverhouding van de reductor, de mogelijkheid heeft de band snel in te halen. Dit is niet dwingend noodzakelijk. Bij de keuze van verschillende overbrengingsverhoudingen van de reductor is een aanpassing in de synchroonloopelektronica programmeerbaar.

Vrijloop Na het in synchroniteit van de aandrijvingen uitgevoerde zagen, volgt een tijdelijk begrenste vrijloop van de zaagaandrijving. De afstand tussen de assen wordt intern echter verder geteld. Bovendien kan een zogenaamde slaaf-teller geprogrammeerd worden. Deze berekent over het geprogrammeerde aantal pulsen een nieuw referentiepunt dat nauwkeurig over de te zagen lengte versprongen ligt.



De vrijloop gebruikt de zaagas om terug te verplaatsen. Een daar aangebrachte fotoelektrische beveiliging beëindigt de vrijloop met een binair signaal naar de synchronloopregeling. De zaagas positioneert op het nieuwe referentiepunt. Door een programmeerbaar uitvoerrelais in de regelaar (Slave in Position) wordt het zaagproces in werking gesteld.



00785BXX

Afbeelding 34: Weg-tijdgrafiek van de "vliegende zaag"

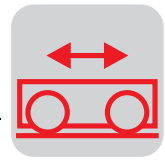
- [1] = terugvoer
[2] = synchronloop

Na 2 seconden dient de retourweg (800 mm, 200 mm reserve) afgelegd te zijn.

Regelaarfrequentie

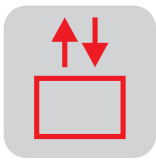
Met de bekende "Formules in de aandrijftechniek" blijkt, dat bij een versnelling van 1 m/s^2 een snelheid van $0,55 \text{ m/s}$ bereikt wordt, hetgeen overeenkomt met de volgende regelaarfrequentie:

$$f = \frac{0,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 30 \text{ Hz} \approx 85 \text{ Hz}$$

*Weg-tijd grafiek*

D. w. z. dezelfde aandrijving als in de transportband kan gebruikt worden, waarbij de 87 Hz-karakteristiek gebruikt kan worden. Een bepaling van het vermogen als in de voorgaande voorbeelden dient uitgevoerd te worden. Het ophalen dient in 1 seconde plaats te vinden en wordt door de regelaar met f_{\max} afgelegd. De versnelling wordt bepaald door de ingestelde K_P -regelfactor. Daarna resteren nog 2 seconden voor het zagen, hetgeen nog enige reserve overlaat.

Zoals uit de weg-tijdgrafiek te zien is, is het voor het projecteren belangrijk dat de retourslag beëindigd dient te zijn, kort voordat het zagen begint, om onnodig lange ophaalwegen te besparen.



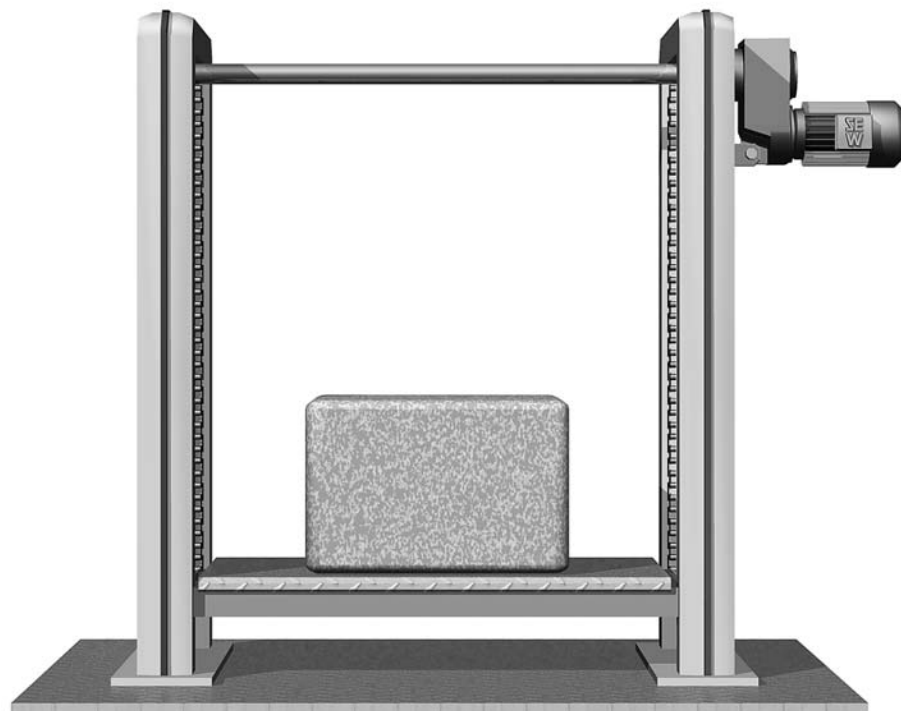
9 Rekenvoorbeeld hijswerk aandrijving

Gegevens

Hijswerk aandrijvingen hebben het grootste deel van het koppel al nodig voor de onversnelde (quasi-stationaire toestand). Voor het versnellen van de massa's is daarom een geringer koppelaandeel nodig (uitzondering: hijswerk met contragewicht).

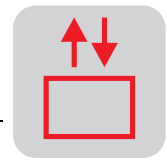
massa van het hefplateau:	$m_0 = 200 \text{ kg}$
massa van de last:	$m_L = 300 \text{ kg}$
hijs snelheid:	$v = 0,3 \text{ m/s}$
kettingwioldiameter:	$D = 250 \text{ mm}$
lastrendement:	$\eta_L = 0,90$
reductorrendement:	$\eta_G = 0,95$
totaal rendement:	$\eta = \eta_L \cdot \eta_G \approx 0,85$
inschakelduur:	50 % ID
1 aandrijving, directe aandrijving	

Er dient een pooltalomschakelbare motor met een toerentalverhouding van 1 : 4 toegepast te worden.



Afbeelding 35: Hijswerk

00786AXX



9.1 Pooltalomschakelbare motor

Het gekozen motorvermogen dient groter te zijn dan het berekende statische (quasi-stationaire) vermogen.

statisch vermogen

$$\underline{P_S} = \frac{m \cdot g \cdot v}{1000 \cdot \eta} = \frac{500 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1000 \cdot 0.85} = \underline{1.73 \text{ kW}}$$

De motor wordt op basis van het benodigde vermogen bij de grootste snelheid gekozen. De toerentalverhouding van 1:4 is optimaal voor een 8/2-polige motor.

gekozen motor

DT100LS8/2 /BMG
 P_N = 0,45/1,8 kW
 n_M = 630/2680 min⁻¹
 M_H = 10,9/14,1 Nm
 J_M = 48,1 · 10⁻⁴ kgm²
 Z₀ = 2600/9000
 M_B = 20 Nm
 M_U = 2,5 · M_H (8-polig) = 27,3 Nm

extern
massatraagheids-
moment

$$\underline{J_X} = 91.2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_M} \right)^2 = 91.2 \cdot 500 \text{ kg} \cdot \left(\frac{0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2680 \text{ min}^{-1}} \right)^2 = \underline{0.00057 \text{ kgm}^2}$$

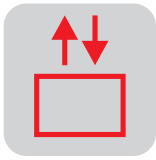
statisch motorkoppel

$$\underline{M_L} = \frac{m \cdot g \cdot v \cdot 9.55}{n_M} = \frac{500 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 9.55}{2680 \text{ min}^{-1}} = \underline{5.2 \text{ Nm}}$$



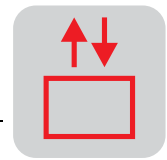
LET OP!

De last ondersteunt de motor naar omlaag en werkt deze opwaarts tegen. Daardoor dienen bij de volgende berekeningen voor opwaartse en neerwaartse bewegingen deels verschillende formules toegepast te worden (Hoofdstuk Formules in de aandrijftechniek).



Opwaarts

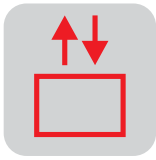
aanlooptijd	$t_A = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta} \right) \cdot n_M}{9.55 \cdot \left(M_H - \frac{M_L}{\eta} \right)} = \frac{\left(0.00481 + \frac{0.00057}{0.85} \right) \text{ kgm}^2 \cdot 2680 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot \left(14.1 - \frac{5.2}{0.85} \right) \text{ Nm}} = 0.19 \text{ s}$
aanloopversnelling	$a_A = \frac{v}{t_A} = \frac{0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.19 \text{ s}} = 1.58 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
aanloopweg	$s_A = \frac{1}{2} \cdot t_A \cdot v \cdot 1000 = \frac{1}{2} \cdot 0.19 \text{ s} \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 = 28.5 \text{ mm}$
omschakeltijd van 2- naar 8-polig	$t_U = \frac{(J_M + J_X \cdot \eta)(n_2 - n_1)}{9.55 \cdot (M_U + M_L \cdot \eta)}$ $= \frac{(0.00481 + 0.00057 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2 \cdot (2680 - 630) \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (27.3 + 5.2 \cdot 0.85) \text{ Nm}} = 0.036 \text{ s}$
omschakelvertraging	$a_U = \frac{v \cdot \left(1 - \frac{n_{M1}}{n_{M2}} \right)}{t_U} = \frac{0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left(1 - \frac{630 \text{ min}^{-1}}{2680 \text{ min}^{-1}} \right)}{0.036 \text{ s}} = 6.4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
omschakelweg	$s_U = \frac{1}{2} \cdot t_U \cdot v_2 \cdot 1000 \cdot \left(1 + \frac{n_1}{n_2} \right) = \frac{1}{2} \cdot 0.036 \text{ s} \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 \cdot \left(1 + \frac{630 \text{ min}^{-1}}{2680 \text{ min}^{-1}} \right) = 6.7 \text{ mm}$



Remwaarden

Bij het berekenen van de remwaarden dient een toerentalverandering als gevolg van een "dode tijd" meegerekend te worden. Deze dode tijd ontstaat tussen het afschakelen van de motor en het invallen van de rem.

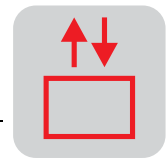
toerentalverandering en dode tijd	$\Delta n = \frac{9.55 \cdot M_L \cdot \eta \cdot t_2}{J_M + J_X \cdot \eta}$
	$t_2 = 0.015 \text{ s}$
remtijd	$\Delta n = \frac{9.55 \cdot 5.2 \text{ Nm} \cdot 0.85 \cdot 0.015 \text{ s}}{0.00481 \text{ kgm}^2 + 0.00057 \text{ kgm}^2 \cdot 0.85} = 121 \text{ min}^{-1}$
	$t_B = \frac{(J_M + J_X \cdot \eta)(n - \Delta n)}{9.55 \cdot (M_B + M_L \cdot \eta)} = \frac{(0.00481 + 0.00057 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2 \cdot (630 - 121) \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (20 + 5.2 \cdot 0.85) \text{ Nm}} = 0.011 \text{ s}$
remvertraging	$a_B = \frac{v \frac{n_{M1} - \Delta n}{n_{M2}}}{t_B} = \frac{0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{(630 - 121) \text{ min}^{-1}}{2680 \text{ min}^{-1}}}{0.011 \text{ s}} = 5.2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
remweg	$s_B = 10^3 \cdot v \cdot \frac{n_{M1}}{n_{M2}} \cdot \left(t_2 \cdot \frac{n_{M1} - \frac{\Delta n}{2}}{n_{M1}} + \frac{1}{2} \cdot t_B \cdot \frac{n_{M1} - \Delta n}{n_{M1}} \right)$
	$s_B = 10^3 \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{630}{2680} \cdot \left(0.015 \text{ s} \cdot \frac{630 - \frac{121}{2}}{630} + \frac{1}{2} \cdot 0.011 \text{ s} \cdot \frac{630 - 121}{630} \right) = 1.3 \text{ mm}$
stopnauwkeurigheid	$X_B \approx \pm 0.12 \cdot s_B = \pm 0.12 \cdot 1.3 \text{ mm} = \pm 0.16 \text{ mm}$
rekenfactor statisch vermogen en inschakelduur ID	$\frac{P_S}{P_N} = \frac{1.73 \text{ kW}}{1.8 \text{ kW}} = 0.96 \quad ID = 50 \% \quad \rightarrow \quad K_P \approx 0.32$
schakelfrequentie	$Z_P = Z_0 \cdot \frac{1 - \frac{M_L}{M_H \cdot \eta}}{J_M + J_Z + \frac{J_X}{\eta}} \cdot K_P = 2600 \frac{\text{c}}{\text{h}} \cdot \frac{1 - \frac{5.2 \text{ Nm}}{14.1 \text{ Nm} \cdot 0.85}}{\left(0.00481 + \frac{0.00057}{0.85} \right) \text{ kgm}^2} \cdot 0.32 = 413 \frac{\text{c}}{\text{h}}$



Neerwaarts

Aangezien de motor generatief gebruikt wordt, worden voor de berekeningen van de neerwaartse beweging het synchrone motortoerental 3000 min^{-1} en 750 min^{-1} gehanteerd.

aanlooptijd	$t_A = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta} \right) \cdot n_M}{9.55 \cdot (M_H - M_L \cdot \eta)} = \frac{\left(0.00481 + \frac{0.00057}{0.85} \right) \text{ kgm}^2 \cdot 3000 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (14.1 - 5.2 \cdot 0.85) \text{ Nm}} = 0.09 \text{ s}$
aanloopversnelling	$a_A = \frac{v \cdot \frac{n_{S2}}{n_{M2}}}{t_A} = \frac{0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{3000 \text{ min}^{-1}}{2680 \text{ min}^{-1}}}{0.09 \text{ s}} = 3.7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
aanloopweg	$s_A = \frac{1}{2} \cdot t_A \cdot \frac{n_{S2}}{n_{M2}} \cdot v \cdot 1000 = \frac{1}{2} \cdot 0.09 \text{ s} \cdot \frac{3000}{2680} \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 = 15 \text{ mm}$
omschakeltijd	$t_U = \frac{(J_M + J_X \cdot \eta)(n_{S2} - n_{S1})}{9.55 \cdot (M_U - M_L \cdot \eta)}$ $= \frac{(0.00481 + 0.00057 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2 \cdot (3000 - 750) \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (27.3 - 5.2 \cdot 0.85) \text{ Nm}} = 0.055 \text{ s}$
omschakelvertraging	$a_U = \frac{\frac{n_{S2}}{n_{M2}} \cdot v \cdot \left(1 - \frac{n_{S1}}{n_{S2}} \right)}{t_U} = \frac{\frac{3000}{2680} \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \left(1 - \frac{750}{3000} \right)}{0.055 \text{ s}} = 4.6 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
omschakelweg	$s_U = \frac{1}{2} \cdot t_U \cdot \frac{n_{S2}}{n_{M2}} \cdot v \cdot 1000 \cdot \left(1 + \frac{n_{S1}}{n_{S2}} \right)$ $= \frac{1}{2} \cdot 0.055 \text{ s} \cdot \frac{3000}{2680} \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 \cdot \left(1 + \frac{750}{3000} \right) = 11.5 \text{ mm}$
remtijd	$t_B = \frac{(J_M + J_X \cdot \eta)(n_{S1} - \Delta n)}{9.55 \cdot (M_B - M_L \cdot \eta)} = \frac{(0.00481 + 0.00057 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2 \cdot (750 - 121) \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (20 - 5.2 \cdot 0.85) \text{ Nm}} = 0.03 \text{ s}$
remvertraging	$a_B = \frac{\frac{n_{S2}}{n_{M2}} \cdot v \cdot \frac{n_{S1} + \Delta n}{n_{S2}}}{t_B} = \frac{\frac{3000}{2680} \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{750 + 121}{3000}}{0.03 \text{ s}} = 3.2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
remweg	$s_B = 10^3 \cdot v \cdot \frac{n_{S2}}{n_{M2}} \cdot \frac{n_{S1}}{n_{S2}} \cdot \left(t_2 \cdot \frac{n_{S1} + \frac{\Delta n}{2}}{n_{S1}} + \frac{1}{2} \cdot t_B \cdot \frac{n_{S1} + \Delta n}{n_{S1}} \right)$
stopnauwkeurigheid	$s_B = 10^3 \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{3000}{2680} \cdot \frac{750}{3000} \cdot \left(0.015 \text{ s} \cdot \frac{750 + \frac{121}{2}}{750} + \frac{1}{2} \cdot 0.03 \text{ s} \cdot \frac{750 + 121}{750} \right) = 2.8 \text{ mm}$
	$X_B \approx \pm 0.12 \cdot s_B = \pm 0.12 \cdot 2.8 \text{ mm} = \pm 0.3 \text{ mm}$



rekenfactor statisch vermogen en inschakelduur ID

$$\frac{P_S \cdot \eta^2}{P_N} = \frac{1.73 \text{ kW} \cdot 0.85^2}{1.8 \text{ kW}} = 0.69 \quad ID = 50 \% \quad \rightarrow \quad K_P \approx 0.55$$

schakelfrequentie

$$Z_P = Z_0 \cdot \frac{1 - \frac{M_L \cdot \eta}{M_H}}{\frac{J_M + J_Z + J_X \cdot \eta}{J_M}} \cdot K_P = 2600 \frac{c}{h} \cdot \frac{1 - \frac{5.2 \text{ Nm} \cdot 0.85}{14.1 \text{ Nm}}}{\frac{(0.00481 + 0.00057 \cdot 0.85) \text{ kgm}^2}{0.00481 \text{ kgm}^2}} \cdot 0.55 = 885 \frac{c}{h}$$

Het toelaatbaar aantal cycli wordt als volgt bepaald:

aantal cycli

$$\frac{Z_C}{h} = \frac{Z_{1P} \cdot Z_{2P}}{Z_{1P} + Z_{2P}} = \frac{413 \cdot 885}{413 + 885} \cdot \frac{c}{h} = 281 \frac{c}{h}$$

De toelaatbare opwarming bij het schakelen van het hoge naar het lage toerental vermindert de toelaatbare schakelfrequentie afhankelijk van het type motor. In ons geval is de verminderingsfactor 0,7.

Dus zijn maximaal 196 cycli (op- en neerwaartse bewegingen) mogelijk.

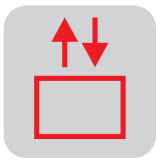
De berekening van de reductor vindt plaats als in het vorige voorbeeld.

9.2 Motor met frequentieregelaar

Gegevens

De hijswerk aandrijving dient met een frequentiegestuurde aandrijving uitgevoerd te worden.

massa van het hefplateau:	$m_0 = 200 \text{ kg}$
massa van de last:	$m_L = 300 \text{ kg}$
hijsnelheid:	$v = 0,3 \text{ m/s}$
kettingwioldiameter:	$D = 250 \text{ mm}$
kantelfrequentie:	$f_1 = 50 \text{ Hz}$
max. frequentie:	$f_{\text{max}} = 70 \text{ Hz}$
versnelling/vertraging:	$a = 0,3 \text{ m/s}^2$
instelbereik:	$1 : 10$
lastrendement:	$\eta_L = 0,90$
reductorrendement:	$\eta_G = 0,92$
totaal rendement:	$\eta = \eta_L \cdot \eta_G \approx 0,83$
inschakelduur:	50 % ID
reductor:	kegelwielreductor zonder open overbrenging

**statisch vermogen**

Het gekozen motorvermogen dient groter te zijn dan het berekende statische (quasi-stationaire) vermogen.

$$P_S = \frac{m \cdot g \cdot v}{1000 \cdot \eta} = \frac{500 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1000 \cdot 0.83} = 1.77 \text{ kW}$$



Principeel dienen hijswerkaandrijvingen aan een frequentieregelaar gebaseerd te worden op een maximale frequentie van 70 Hz. Wanneer de aandrijving de maximale snelheid bereikt bij 70 Hz in plaats van bij 50 Hz, dan wordt de overbrengingsverhouding en daarmee de koppeloverbrenging een factor 1,4 (70/50) hoger. Indien nu de kantelfrequentie ingesteld wordt op 50 Hz, dan wordt het uitgaande koppel door deze maatregel tot de kantelfrequentie een factor 1,4 hoger en daalt dan bij 70 Hz tot factor 1,0. Door deze instelling wordt een koppelreserve van 40 % tot en met de kantelfrequentie geprojecteerd. Dit maakt een hoger startkoppel en meer veiligheid bij hijswerken mogelijk.

Bepaling van de motor

Gebaseerd op de aanname dat het dynamisch vermogen bij hijswerken zonder contra-gewicht relatief gering is (< 20 % van het statisch vermogen), kan de motor bepaald worden door P_S .

Statisch vermogen

$P_S = 1,77 \text{ kW}$
 gekozen motor $P_N = 2,2 \text{ kW}$
 regelaar $P_N = 2,2 \text{ kW}$

Thermische beoordeling

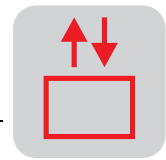
Uit thermische overwegingen en ook op basis van de betere magnetisatie wordt geadviseerd, de motor bij hijswerken 1 typesprong groter te kiezen. Dit is vooral aan de orde, wanneer het statisch vermogen dicht bij het nominaal vermogen van de motor ligt. In het betreffende voorbeeld is de afstand groot genoeg, zodat een overdimensionering van de motor niet noodzakelijk is.

Motorkeuze

Daaruit volgt de motor:

DV100M 4 BMG
 $P_N = 2,2 \text{ kW}$
 $n_M = 1400 \text{ min}^{-1}$ bij 50 Hz / 1960 min^{-1} bij 70 Hz
 $J_M = 59 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$
 $M_B = 40 \text{ Nm}$

gegevens uit de catalogus
 "Motorreductoren"



extern massa- traagheidsmoment	$J_X = 91.2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_M}\right)^2 = 91.2 \cdot 500 \text{ kg} \cdot \left(\frac{0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1960 \text{ min}^{-1}}\right)^2 = 0.001 \text{ kgm}^2$
lastkoppel	$M_L = \frac{m \cdot g \cdot v \cdot 9.55}{n_M} = \frac{500 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.3 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 9.55}{1960 \text{ min}^{-1}} = 7.2 \text{ Nm}$
aanloopkoppel	$M_H = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta}\right) \cdot n_M}{9.55 \cdot t_A} + \frac{M_L}{\eta}$

Bij een aangenomen versnelling van 0,3 m/s² wordt de aanlooptijd t_A = 1 s.

aanlooptijd	$M_H = \frac{\left(0.00481 + \frac{0.001}{0.83}\right) \text{ kgm}^2 \cdot 1960 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot 1 \text{ s}} + \frac{7.2 \text{ Nm}}{0.83} = 9.8 \text{ Nm}$
-------------	---

Hieruit is te zien, dat bij hijswerken het versnellingskoppel slechts een gering aandeel heeft tegenover het statische lastkoppel.

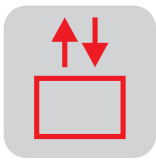
Zoals reeds genoemd dient het aanloopkoppel kleiner te zijn dan 130 % van het door de regelaar beschikbaar gestelde nominale koppel, omgerekend vanuit het nominale vermogen.

nominaalkoppel	$M_N = \frac{P_N \cdot 9550}{n_M} = \frac{2.2 \text{ kW} \cdot 9550}{1960 \text{ min}^{-1}} = 10.7 \text{ Nm}$
M _H / M _N	$\frac{M_H}{M_N} = \frac{9.8 \text{ Nm}}{10.7 \text{ Nm}} = 92 \% < 130 \%$
vermogen tijdens aanlopen	$P = \frac{M_H \cdot n_M}{9550} = \frac{9.8 \text{ Nm} \cdot 1960 \text{ min}^{-1}}{9550} = 2.02 \text{ kW}$

**Vermogens van de
bedrijfstoestanden**

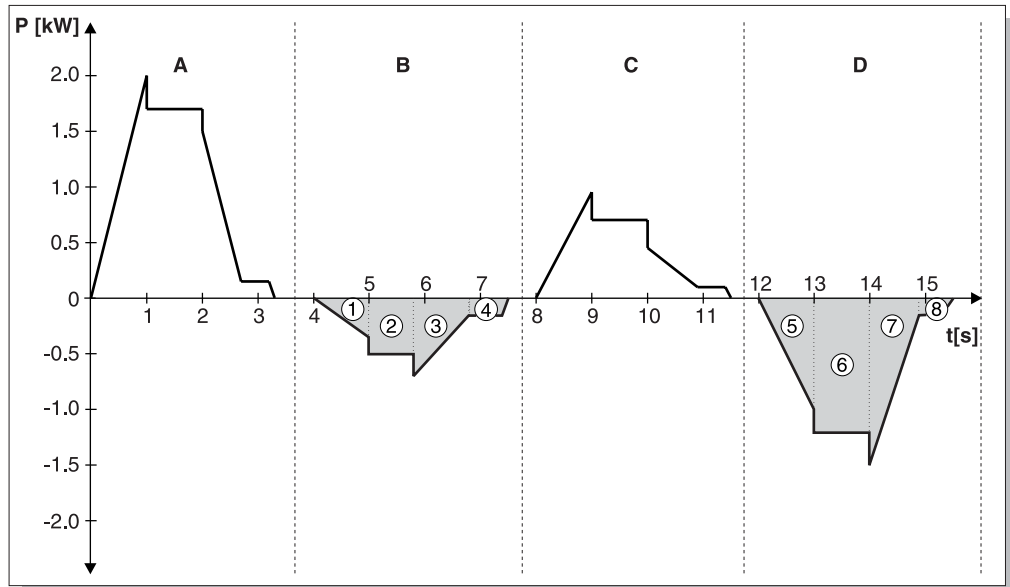
Op dezelfde wijze worden nu de vermogens van alle bedrijfstoestanden berekend. Daarbij dient op de werkzame richting van het rendement en op de bewegingsrichting (omhoog/omlaag) gelet te worden!

Vermogenswijze	Zonder last op	Met last neer	Zonder last neer	Met last neer
statisch vermogen	0,71 kW	1,77 kW	- 0,48 kW	- 1,20 kW
statisch en dynamisch aanloop- vermogen	0,94 kW	2,02 kW	- 0,25 kW	- 0,95 kW
statisch en dynamisch remver- mogen	0,48 kW	1,52 kW	- 0,71 kW	- 1,45 kW

**Remweerstand**

Om een uitspraak te kunnen doen over het benodigde nominale vermogen van de remweerstand, dient de bewegingscyclus nader bekeken te worden.

Aangenomen bewegingscyclus (twee maal per minuut = 4 remfasen per 120 s):



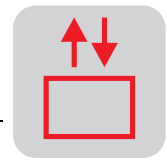
00795BXX

Afbeelding 36: Bewegingscyclus met A = met last op / B = zonder last neer / C = zonder last op / D = met last neer

*gemiddeld
remvermogen*

De gearceerde vlakken komen overeen met de generatieve remarbeid. **De inschakelduur van een remweerstand is gebaseerd op een cyclusduur van 120 s.** In ons geval is de remweerstand 7 s per cyclus in bedrijf en daarmee 28 s per referentietijd. De inschakelduur is daarmee 23 %. Het gemiddelde remvermogen is te berekenen vanuit de afzonderlijke vermogens:

$$P_B = \frac{|P_1| \cdot t_1 + |P_2| \cdot t_2 + \dots + |P_n| \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$



De tussenberekening komt overeen met de oppervlakteberekening van de bovenstaande afbeelding:

$$|P_1| \cdot t_1 = \frac{0.25}{2} \text{ kW} \cdot 1 \text{ s} = 0.125 \text{ kW s}$$

$$|P_2| \cdot t_2 = 0.48 \text{ kW} \cdot 1 \text{ s} = 0.48 \text{ kW s}$$

$$|P_3| \cdot t_3 = \left(0.045 + \frac{0.71 - 0.045}{2} \right) \text{ kW} \cdot 0.9 \text{ s} = 0.34 \text{ kW s}$$

$$|P_4| \cdot t_4 = 0.048 \text{ kW} \cdot 0.5 \text{ s} = 0.024 \text{ kW s}$$

$$|P_5| \cdot t_5 = \frac{0.95}{2} \text{ kW} \cdot 1 \text{ s} = 0.475 \text{ kW s}$$

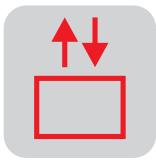
$$|P_6| \cdot t_6 = 1.2 \text{ kW} \cdot 1 \text{ s} = 1.2 \text{ kW s}$$

$$|P_7| \cdot t_7 = \left(0.12 + \frac{1.45 - 0.12}{2} \right) \text{ kW} \cdot 0.9 \text{ s} = 0.707 \text{ kW s}$$

$$|P_8| \cdot t_8 = 0.12 \text{ kW} \cdot 0.5 \text{ s} = 0.06 \text{ kW s}$$

De gemiddelde belasting bedraagt:

$$P_B = \frac{3.41 \text{ kW s}}{6.8 \text{ s}} = 0.5 \text{ kW}$$



maximaal remvermogen

Het maximale remvermogen bedraagt $P_{\max} = 1,5 \text{ kW}$. Deze waarde mag de tabelwaarde van de gekozen remweerstand bij 6 % ID niet overschrijden.

Voor een frequentieregelaar MOVITRAC® 31C022 voor het gebruik van een motor van 2,2 kW ziet de keuzetabel voor remweerstand er als volgt uit:

Deel van de tabel "remweerstand BW... voor MOVITRAC® 31C...-503"

Remweerstand type Bestelnummer	BW100-002 821 700 9	BW100-006 821 701 7	BW068-002 821 692 4	BW068-004 821 693 2
belastbaarheid bij 100% ID ¹⁾	0.2 kW	0.6 kW	0.2 kW	0.4 kW
50% ID	0.4 kW	1.1 kW	0.4 kW	0.7 kW
25% ID	0.6 kW	1.9 kW	0.6 kW	1.2 kW
12% ID	1.2 kW	3.5 kW	1.2 kW	2.4 kW
6% ID	1.9 kW	5.7 kW	1.9 kW	3.8 kW
weerstandswaarde	100 $\Omega \pm 10 \%$		68 $\Omega \pm 10 \%$	
werkstroom	0.72 A _{AC}	1.8 A _{AC}	0.8 A _{AC}	1.4 A _{AC}
bouwwijze	draadweerstand op keramische staf			
elektrische aansluitingen	klemmen op keramiek voor 2.5 mm ² (AWG 14)			
bescherming	IP 20 (NEMA 1) (indien gemonteerd)			
omgevingstemperatuur	- 20 ... + 45 °C			
koelwijze	KS = eigen koeling			
geschikt voor MOVITRAC®	31C022 ... 31C030			

1) inschakelduur van de remweerstand gebaseerd op een cyclusduur $T_D \leq 120 \text{ s}$.

In de regel van 25 % ID vindt men met 0,6 kW effectief vermogen de hier passende remweerstand: ofwel BW100-002 of BW068-002.

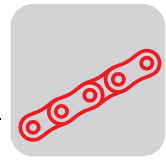
Verdere technische gegevens en projecteeraanwijzingen voor het kiezen van remweerstand vindt u in de catalogus "MOVITRAC® 31C frequentieregelaars" en in "Aandrijftechniek in de praktijk – Het projecteren van frequentieregelaars".

De berekening van de reductor vindt plaats op dezelfde manier als in het vorige voorbeeld.

Voordelen van de frequentieregelaar

Indien men de frequentiereguleerde aandrijving vergelijkt met die van de pooltalomschakelbare motor, dan kunnen de volgende voordelen voor het frequentieregelaarbedrijf genoemd worden:

- schakelfrequentie heel hoog
- stopnauwkeurigheid wordt overeenkomstig de lagere positioneersnelheid beter
- rijgedrag (versnelling en vertraging) wordt wezenlijk verbeterd en instelbaar



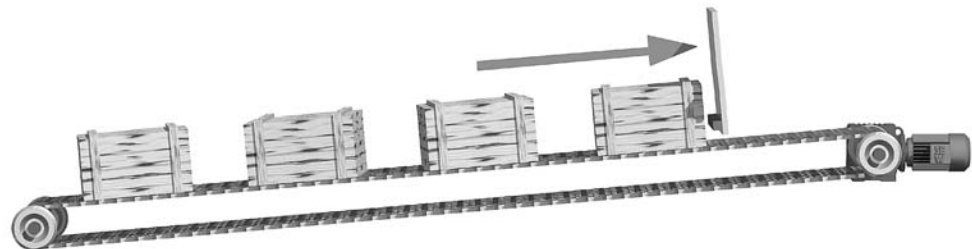
10 Rekenvoorbeeld kettingtransporteur met frequentieregelaar

Gegevens

Een kettingtransporteur dient houten kisten met een snelheid van 0,5 m/s langs een helling van $\alpha = 5^\circ$ omhoog te transporteren. Er zijn maximaal 4 kisten met elk 500 kg op de transporteur. De ketting heeft zelf een massa van 300 kg. De wrijvingscoëfficiënt tussen ketting en ondergrond is volgens opgave $\mu = 0,2$. Aan het einde van de kettingtransporteur is een mechanische aanslag aangebracht, die tot taak heeft de kisten vóór het afschuiven op een tweede band recht te plaatsen. Bij dit proces slijpt de houten kist op de ketting met een wrijvingscoëfficiënt van $\mu = 0,7$.

Er dient een wormwielreductor, geregeld tot ca. 50 Hz toegepast te worden.

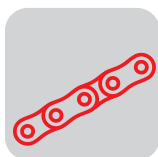
snelheid	$v = 0,5 \text{ m/s}$
helling	$\alpha = 5^\circ$
massa van het te transporteren product	$m_L = 2000 \text{ kg}$
massa van de ketting	$m_D = 300 \text{ kg}$
wrijvingscoëfficiënt tussen ketting en ondergrond	$\mu_1 = 0,2$
wrijvingscoëfficiënt tussen kist en ketting	$\mu_2 = 0,7$
gewenste versnelling	$a = 0,25 \text{ m/s}^2$
kettingwioldiameter	$D = 250 \text{ mm}$
schakelfrequentie	10 schakelingen/uur en 16 uren/dag



10

Afbeelding 37: Kettingtransporteur

00796AXX



10.1 Berekening en keuze van de motor

Weerstandskrachten

Beschrijving

Helling met wrijving, krachtrichting naar boven! De gewichtskracht bestaat uit het gewicht van de 4 kisten en de halve ketting.

$$F_S = F_G \cdot \frac{\sin(\alpha + \rho)}{\cos \rho} \quad \mu = \tan \rho / \rho = \arctan 0.2$$

$$F_S = (2000 + 150) \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\sin(5^\circ + 11.3^\circ)}{\cos 11.3^\circ} = 6040 \text{ N}$$

Uitrichen

Slipwrijving (kist-ketting) op het scheve vlak, krachtrichting naar beneden!

$$F_S = F_G \cdot \frac{\sin(\rho - \alpha)}{\cos \rho} = 4900 \text{ N} \cdot \frac{\sin(35^\circ - 5^\circ)}{\cos 35^\circ} = 2990 \text{ N} \quad \rho = \arctan 0.7$$

Rendement wormwielreductor

Afhankelijk van de overbrengingsverhouding is het rendement van een wormwielreductor zeer verschillend. Om die reden dient op dit moment waarop het benodigde koppel en overbrengingsverhouding nog niet berekend zijn, met een voorlopig aangenomen rendement van 70 % gerekend te worden. Dit maakt een controle achteraf noodzakelijk. Voor het rendement van de ketting dient volgens de tabel met 0,9 gerekend te worden.

statisch vermogen

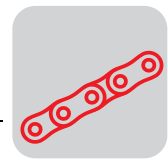
$$P_S = \frac{F \cdot v}{\eta} = \frac{9030 \text{ N} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.7 \cdot 0.9 \cdot 1000} = 7.17 \text{ kW}$$

Omdat de kettingtransporteur in continubedrijf "doorloopt", wordt een motor gekozen, waarvan het nominale vermogen groter is dan het maximale statische vermogen. Tijdens kortstondig bedrijf kan hier vaak een kleinere motor toegepast worden. Hiervoor is dan echter een nauwkeurige thermische controle door SEW nodig.

Motorkeuze

Hieruit volgt de motor:

DV 132M 4 BM
 $P_N = 7,5 \text{ kW}$
 $n_M = 1430 \text{ min}^{-1}$
 $J_M = 0,03237 \text{ kgm}^2$
 $M_B = 100 \text{ Nm}$



extern massatraagheidsmoment	$J_X = 91.2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_M}\right)^2 = 91.2 \cdot (2000 + 300) \text{ kg} \cdot \left(\frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1430 \text{ min}^{-1}}\right)^2 = 0.026 \text{ kgm}^2$
lastkoppel	$M_L = \frac{F \cdot v \cdot 9550}{n_M} = \frac{9030 \text{ N} \cdot 0.5 \cdot 9.55}{1430 \text{ min}^{-1}} = 30.2 \text{ Nm}$
aanloopkoppel	$M_H = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta}\right) \cdot n_M}{9.55 \cdot t_A} + \frac{M_L}{\eta}$

Met een aangenomen versnelling van $0,25 \text{ m/s}^2$ wordt de aanlooptijd $t_A = 2 \text{ s}$.

$$M_H = \frac{\left(0.03237 + \frac{0.026}{0.63}\right) \text{ kgm}^2 \cdot 1430 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot 2 \text{ s}} + \frac{30.2 \text{ Nm}}{0.9 \cdot 0.7} = 53.4 \text{ Nm}$$

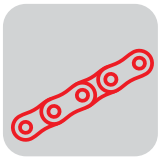
Het aanloopkoppel is hier gebaseerd op "worst case", d. w. z. als 4 kisten op de ketting liggen en één daarvan zich tegen de aanslag bevindt.

Nominaal koppel

Zoals reeds genoemd dient het aanloopkoppel kleiner zijn dan 130 % van het door de regelaar ter beschikking gestelde nominale koppel, omgerekend vanuit het nominale vermogen.

	$M_N = \frac{P_N \cdot 9550}{n_M} = \frac{7.5 \text{ kW} \cdot 9550}{1430 \text{ min}^{-1}} = 50.1 \text{ Nm}$
M_H / M_N	$\frac{M_H}{M_N} = \frac{53.4 \text{ Nm}}{50.1 \text{ Nm}} = 107 \% < 130 \%$

Keuze frequentieregelaar bijv. MOVIDRIVE® MDF 0075.



10.2 Berekening en keuze van de reductor

uitgaand toerental

$$n_a = 19.1 \cdot 10^3 \cdot \frac{v}{D} \cdot i_V = 19.1 \cdot 10^3 \cdot \frac{0.5 \frac{m}{s}}{250 \text{ mm}} \cdot 1 = 38.2 \text{ min}^{-1}$$

reductoroverbrenging

$$i = \frac{n_M}{n_a} = \frac{1430 \text{ min}^{-1}}{38.2 \text{ min}^{-1}} = 37.4$$

Bedrijfsfactor

Bij 16 uren bedrijf/dag en 10 schakelingen/uur wordt de volgende bedrijfsfactor bepaald (hoofdstuk "Reductoren", noodzakelijke bedrijfsfactor f_B):

$$f_M = \frac{J_X}{J_M} = \frac{0.026 \text{ kgm}^2}{0.032 \text{ kgm}^2} = 0.8$$

Met een massaversnellingsfactor $f_M = 0,8$ volgt stootgraad II en de bedrijfsfactor f_B is 1,2.

Reductorkeuze

Hier kan een reductor S97 met $n_a = 39 \text{ min}^{-1}$, $M_{amax} = 3300 \text{ Nm}$ bij een $f_B = 2,0$ gekozen worden.

Controle van het rendement

In de catalogus Motorreductoren wordt voor deze reductor een rendement aangegeven van 86 %. Omdat in aanvang een rendement van 70 % werd aangenomen, kan nu gecontroleerd worden, of een kleinere aandrijving voldoende zou zijn.

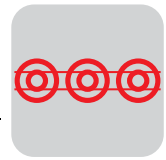
statisch vermogen

$$P_S = \frac{9030 \text{ N} \cdot 0.5 \frac{m}{s}}{0.86 \cdot 0.9 \cdot 1000} = 5.83 \text{ kW}$$

De eerst kleinere motor is met 5,5 kW nominaal vermogen te klein.

Gekozen aandrijving

Daarmee staat als aandrijving vast: **S97 DV132M 4 BMG**.



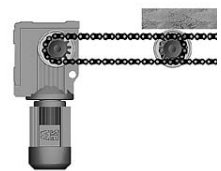
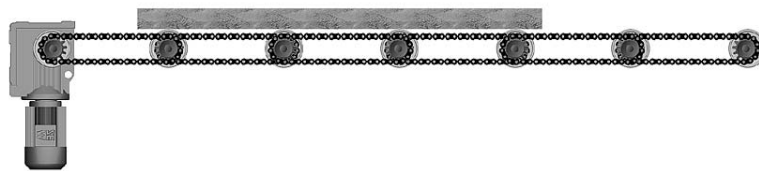
11 Rekenvoorbeeld rollenbaan met frequentieregelaar

Gegevens

Stalen platen dienen door middel van rollenbaanaandrijvingen getransporteerd worden. Een stalen plaat heeft de afmetingen 3000 · 1000 · 100 mm. Per baan zijn 8 stalen rollen met een diameter van 89 mm en een lengte van 1500 mm geplaatst. Alle banen worden door één frequentieregelaar gevoed. De kettingwielen hebben 13 tanden en een moduul van 5. De lagertapdiameter van de rollen bedraagt $d = 20$ mm. Er kan zich altijd slechts één plaat op een baan bevinden.

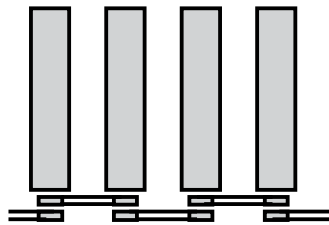
Maximale snelheid 0,5 m/s, maximaal toelaatbare versnelling 0,5 m/s².

snelheid	$v = 0,5$ m/s
gewenste versnelling	$a = 0,5$ m/s ²
rol- buitendiameter	$D_2 = 89$ mm
rol- binnendiameter	$D_1 = 40$ mm
kettingwioldiameter	$D_K = 65$ mm
massa van de stalen plaat	$m = 2370$ kg



00797AXX

Afbeelding 38: Rollenbaan met meer-motorenaandrijving



00798BXX

Afbeelding 39: Kettingordening



11.1 Berekening en keuze van de motor

Rijweerstand

De massa van de plaat is $m = 2370 \text{ kg}$ bij een soortelijke massa van $7,9 \text{ kg/dm}^3$ (staal) en een volume van 300 dm^3 . De rijweerstand wordt berekend als bij het rijwerk. De waarden voor c en f kunnen ontleend worden aan de tabellenbijlage.

$$F_F = m \cdot g \cdot \left(\frac{2}{D_2} \cdot \left(\mu_L \cdot \frac{1}{2} \cdot d + f \right) + c \right)$$

$$F_F = 2370 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \left(\frac{2}{89 \text{ mm}} \cdot \left(0.005 \cdot \frac{1}{2} \cdot 20 \text{ mm} + 0.5 \text{ mm} \right) + 0 \right) = 287 \text{ N}$$

statisch vermogen

Belangrijk is nu het rendement.

Volgens de tabel is het rendement van ketting $\eta_1 = 0,9$ per volledige omspanning. Beschouwt men de kettingordering, dan zijn er in ons geval 7 volledige omspanningen.

Het totale rendement van de ketting η_2 berekent men volgens $x = \text{aantal omspanningen} = 7$ dus als:

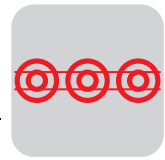
ketting rendement

$$\eta_2 = \eta_1^x = 0.9 \cdot 7 = 0.48$$

Daarmee is het benodigde statische motorvermogen bij een reductorrendement van $\eta_G = 0,95$:

statisch vermogen

$$P_S = \frac{F_F \cdot v}{\eta_G \cdot \eta_2} = \frac{287 \text{ N} \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.95 \cdot 0.48 \cdot 1000} = 0.31 \text{ kW}$$



**extern massa-
traagheidsmo-
ment en motor-
moment**

Het externe massa-traagheidsmoment is in dit geval te verdelen in het massa-traagheidsmoment van de plaat en het massa-traagheidsmoment van de rollen. Het massa-traagheidsmoment van de ketting kan bij deze verhoudingen verwaarloosd worden.

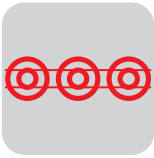
masatraagheidsmoment plaat	$J_X = 91.2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_M}\right)^2 = 91.2 \cdot 2370 \text{ kg} \cdot \left(\frac{0.5 \frac{m}{s}}{1400 \text{ min}^{-1}}\right)^2 = 0.0276 \text{ kgm}^2$
volume rol	$V = \left(\frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot l\right) - \left(\frac{\pi}{4} \cdot D_1^2 \cdot l\right)$
	$V = \left(\frac{\pi}{4} \cdot 89^2 \text{ mm}^2 \cdot 1500 \text{ mm}\right) - \left(\frac{\pi}{4} \cdot 40^2 \text{ mm}^2 \cdot 1500 \text{ mm}\right) = 7446752 \text{ mm}^3 = 7.45 \text{ dm}^3$
massa rol	$m = V \cdot \rho = 7.45 \text{ dm}^3 \cdot 7.9 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 58.9 \text{ kg}$
massatraagheidsmoment rol	$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (r_2^2 + r_1^2)$
	$J = \frac{1}{2} \cdot 58.9 \text{ kg} \cdot (0.0445^2 + 0.020^2) \text{ m}^2 = 0.07 \text{ kgm}^2$

Om een gemeenschappelijk referentiepunt van het motormassa-traagheidsmoment en het externe massa-traagheidsmoment te hebben, dient het externe massa-traagheidsmoment met de overbrenging van de reductor "gereduceerd" te worden.

extern massa-traagheidsmoment	$J_X = J \cdot \left(\frac{n_a}{n_M}\right)^2$
-------------------------------	--

Het uitgaande toerental is te berekenen uit de snelheid van de platen en de roldiameter.

uitgaand toerental	$n_a = \frac{v \cdot 1000 \cdot 60}{\pi \cdot D_2} = \frac{0.5 \frac{m}{s} \cdot 1000 \cdot 60}{\pi \cdot 89 \text{ mm}} = 107.3 \text{ min}^{-1}$
--------------------	--



Daarmee is het op de motoras gereduceerde massa-tragheidsmoment van één rol:

gereduceerd massa-
tragheidsmoment

$$J_X = 0.07 \text{ kgm}^2 \cdot \left(\frac{107.3 \text{ min}^{-1}}{1400 \text{ min}^{-1}} \right)^2 = 0.00041 \text{ kgm}^2$$

Het totale externe massa-tragheidsmoment is dan:

extern massa-tragheidsmoment

$$J_{XT} = J_{XP} + J_{XR} = 0.0276 \text{ kgm}^2 + 7 \cdot 0.00041 \text{ kgm}^2 = 0.03047 \text{ kgm}^2$$

Dynamisch benodigd aanloopkoppel voor het versnellen van de last (zonder motor) aan de ingaande as van de reductor, voor het inschatten van het motorvermogen.

dynamisch koppel

$$M_{DL} = \frac{J_X \cdot n_M}{9.55 \cdot t_A} = \frac{0.03047 \text{ kgm}^2 \cdot 1400 \text{ min}^{-1}}{0.95 \cdot 0.48 \cdot 9.55 \cdot 1 \text{ s}} = 9.8 \text{ Nm}$$

dynamisch vermogen

$$P_{DL} = \frac{M_{DL} \cdot n_M}{9550} = \frac{9.8 \text{ Nm} \cdot 1400 \text{ min}^{-1}}{9550} = 1.44 \text{ kW}$$

Het toe te passen totale vermogen (zonder versnellingsvermogen van de motormassa, die nog niet vastligt) ligt nabij:

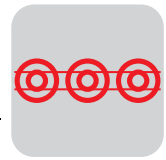
totaal vermogen

$$P_T = P_S + P_{DL} = 0.31 \text{ kW} + 1.44 \text{ kW} = 1.75 \text{ kW}$$

Motorkeuze

Er wordt een 2,2 kW motor gekozen.

DV 100M4 /BMG
 $P_N = 2,2 \text{ kW}$
 $n_N = 1410 \text{ min}^{-1}$
 $J_M = 59,1 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$



aanloopkoppel	$M_H = \frac{\left(0.0059 + \frac{0.03047}{0.95 \cdot 0.48}\right) \text{kgm}^2 \cdot 1410 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot 1 \text{ s}} + 2.09 \text{ Nm} = 12.8 \text{ Nm}$
nominaalkoppel	$M_N = \frac{P_N \cdot 9550}{n_M} = \frac{2.2 \text{ kW} \cdot 9550}{1410 \text{ min}^{-1}} = 15.0 \text{ Nm}$
M_H / M_N	$\frac{M_H}{M_N} = \frac{12.8 \text{ Nm}}{15.0 \text{ Nm}} = 85 \% < 130 \%$

Meermotorenaandrijving

- Bij meermotorenaandrijvingen dient met het volgende rekening gehouden te worden:
- Ter compensatie van het capacitief gedrag van de kabels wordt bij groepsaandrijvingen een uitgangsfiler aanbevolen.
 - De frequentieregelaar wordt gekozen naar de som van de motorstromen.

Keuze van de aandrijving

Volgens de catalogus is de nominale stroom van de gekozen motor 4,9 A. Er is dus ook een frequentieregelaar met een nominale uitgangsstroom van $3 \cdot 4,9 \text{ A} = 14,7 \text{ A}$ of meer benodigd.

Gekozen wordt MOVIDRIVE® MDF 60A 0075-5A3-4-00 (16 A).

De keuze van de reductor vindt plaats conform het eerdere voorbeeld en leidt tot de volgende aandrijving:

KA47DV100M4 /BMG
 i = 13,65
 $P_N = 2,2 \text{ kW}$
 $1410/103 \text{ min}^{-1}$
 $M_a = 205 \text{ Nm}$
 $f_B = 1,75$
 $M_B = 40 \text{ Nm}$

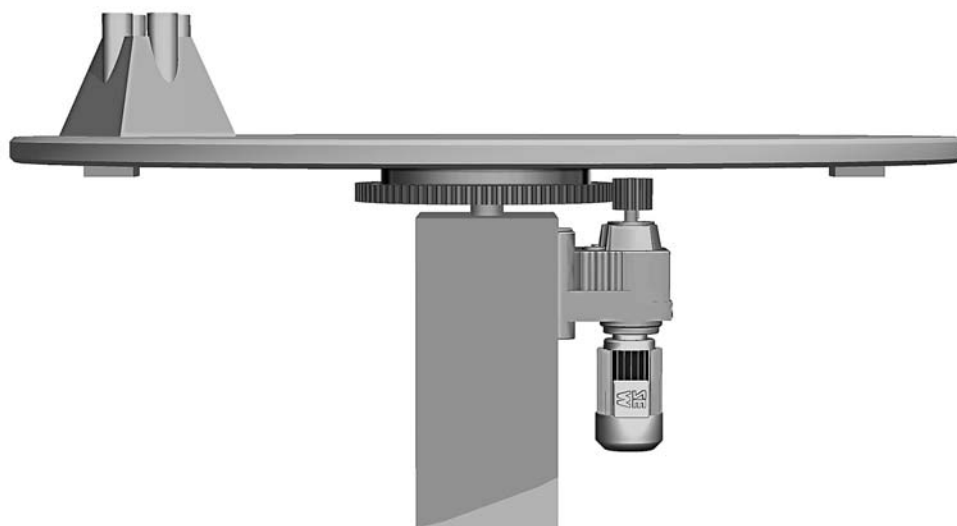


12 Rekenvoorbeeld draaitafelaandrijving met frequentieregelaar

Gegevens

Ter bewerking dienen 4 werkstukken elke 30 seconden over 90° graden gedraaid te worden. Het bewegingsproces dient na 5 seconden beëindigd te zijn en de maximale versnelling mag niet groter zijn dan $0,5 \text{ m/s}^2$. De toelaatbare positioneer tolerantie ligt op $\pm 2 \text{ mm}$, betrokken op de buitendiameter van de tafel.

tafeldiameter:	2000 mm
massa van de tafel:	400 kg
massa van het werkstuk:	70 kg (afstand zwaartepunt tot rotatieas: $l_S = 850 \text{ mm}$)
open overbrenging via tandkrans:	$i_V = 4,4$
diameter van de lagering staal/staal:	900 mm
rolwrijvingscoëfficiënt μ_L :	0,01
positionieren via snelgang / kruipgang:	R 1:10



Afbeelding 40: Draaitafelaandrijving

00800AXX



12.1 Berekening en keuze van de motor

Massatraagheidsmoment

tafel	$J_T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 = \frac{1}{2} \cdot 400 \text{ kg} \cdot 1^2 \text{ m}^2 = 200 \text{ kgm}^2$
werkstuk	$J_W = 4 \cdot J_S + m \cdot l_S^2$

J_S = Steinerandeel van het werkstuk
 l_S = afstand werkstukzwaartepunt – rotatiepunt

Vereenvoudigde berekening

Omdat de werkstukken symmetrisch rond het rotatiepunt zijn verdeeld, kan vereenvoudigd met de volgende formule gerekend worden:

werkstuk	$J_W = 4 \cdot m \cdot r^2 = 4 \cdot 70 \text{ kg} \cdot 0.85^2 \text{ m}^2 = 202.3 \text{ kgm}^2$
----------	--

Het massatraagheidsmoment van de tandkrans dient in dit geval verwaarloosd te worden. Daarmee is het totale externe massatraagheidsmoment:

totale massatraagheidsmoment	$J_X = J_T + J_W = 200 \text{ kgm}^2 + 202.3 \text{ kgm}^2 = 402.3 \text{ kgm}^2$
------------------------------	---

Toerental en aanlooptijd

Opgave van de versnelling $a = 0,5 \text{ m/s}^2$

snelheid	$v = \frac{a \cdot t - \sqrt{(a \cdot t)^2 - 4 \cdot a \cdot s}}{2}$
weg	$s = \frac{U_T}{4} = \frac{6.283 \text{ m}}{4} = 1.57 \text{ m}$
snelheid	$v = \frac{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4.5 \text{ s} - \sqrt{\left(0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4.5 \text{ s}\right)^2 - 4 \cdot 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1.57 \text{ m}}}{2} = 0.43 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
toerental	$n = \frac{v \cdot 60}{U_T} = \frac{0.43 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 60}{6.283 \text{ m}} = 4.1 \text{ min}^{-1}$
aanlooptijd	$t_A = \frac{v}{a} = \frac{0.43 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.86 \text{ s}$

**Vermogen**

Aangezien het massastraagheidsmoment van de draaitafel in normale gevallen belangrijk hoger is dan het motormassastraagheidsmoment, kan het aanloopvermogen hier reeds voldoende nauwkeurig berekend worden met het aanloopvermogen voor het externe massastraagheidsmoment.

totaal vermogen	$P_T = P_{DL} + P_S$
dynamisch vermogen	$P_{DL} = \frac{J_X \cdot n_T^2}{91200 \cdot t_A \cdot \eta} = \frac{402.3 \text{ kgm}^2 \cdot 4.1^2 \text{ min}^{-2}}{91200 \cdot 0.86 \text{ s} \cdot 0.9} = 0.096 \text{ kW}$
statisch vermogen	$P_S = \frac{\Sigma m \cdot g \cdot \mu_L \cdot d \cdot n_T}{2 \cdot 1000 \cdot 9550 \cdot \eta} = \frac{680 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.01 \cdot 900 \text{ mm} \cdot 4.1 \text{ min}^{-1}}{2 \cdot 1000 \cdot 9550 \cdot 0.9} = 0.014 \text{ kW}$
totaal vermogen	$P_T = 0.096 \text{ kW} + 0.014 \text{ kW} = 0.11 \text{ kW}$

Gekozen motor

DR63S4 /B03
 $P_N = 0,12 \text{ kW}$
 $n_M = 1380 \text{ min}^{-1}$
 $J_M = 0,00048 \text{ kgm}^2$
 $M_B = 2,4 \text{ Nm}$

extern massastraagheidsmoment	$J_X = J_X \cdot \left(\frac{n}{n_M}\right)^2 = 402.3 \text{ kgm}^2 \cdot \left(\frac{4.1 \text{ min}^{-1}}{1380 \text{ min}^{-1}}\right)^2 = 0.00355 \text{ kgm}^2$
statisch koppel	$M_S = \frac{P_S \cdot 9550 \cdot \eta}{n_M} = 0.09 \text{ Nm}$
aanloopkoppel	$M_H = \frac{\left(J_M + \frac{J_X}{\eta}\right) \cdot n_M}{9.55 \cdot t_A} + M_S$
	$M_H = \frac{\left(0.00048 + \frac{0.00355}{0.9}\right) \text{ kgm}^2 \cdot 1380 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot 0.86 \text{ s}} + \frac{0.09 \text{ Nm}}{0.1} = 0.84 \text{ Nm}$
nominaal koppel	$M_N = \frac{0.12 \text{ kW} \cdot 9550}{1380 \text{ min}^{-1}} = 0.83 \text{ Nm}$

Daarmee is een veilige aanloop verzekerd.



Controle van de stopnauwkeurigheid

De motor dient vanuit een toerental dat overeenkomt met 5 Hz (R = 1:10) mechanisch geremd te worden. Geremd wordt vanuit de minimale snelheid van $v = 0,043 \text{ m/s} \Rightarrow n_M = 138 \text{ min}^{-1}$.

remtijd	$t_B = \frac{(J_M + J_X \cdot \eta) \cdot n_M}{9.55 \cdot (M_B + M_S \cdot \eta)}$
	$t_B = \frac{(0.00048 + 0.00355 \cdot 0.9) \text{ kgm}^2 \cdot 138 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot (2.4 + 0.09 \cdot 0.9) \text{ Nm}} = 0.021 \text{ s}$
remvertraging	$a_B = \frac{v}{t_B} = \frac{0.043 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.021 \text{ s}} = 2.0 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
stopweg	$s_B = v \cdot 1000 \cdot \left(t_2 + \frac{1}{2} \cdot t_B \right) = 0.043 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 \cdot \left(0.003 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 0.021 \text{ s} \right) = 0.6 \text{ mm}$
positioneernauwkeurigheid	$X_B \approx \pm 0.12 \cdot s_B = \pm 0.12 \cdot 0.6 \text{ mm} = \pm 0.072 \text{ mm}$

Deze waarde houdt de invaltijd van de rem in, echter geen externe invloeden van tijdvertraging (zoals PLC-scantijden).



12.2 Berekening en keuze van de reductor

overbrenging

$$i = \frac{n_M}{n_a \cdot i_V} = \frac{1380 \text{ min}^{-1}}{4.1 \text{ min}^{-1} \cdot 4.4} = 76.5$$

Uitgaand koppel

Bedrijf met 16 h/dag en $Z = 120$ c/h (waarbij door aanlopen, omschakelen naar langzame snelheden en remmen 360 lastwisselingen per uur ontstaan).

koppelverhouding

$$\frac{J_X}{J_M} = \frac{0.00355 \text{ kgm}^2}{0.00048 \text{ kgm}^2} = 7.4$$

Daarmee krijgen we stootgraad III en een noodzakelijke bedrijfsfactor van $f_B = 1,6$.

uitgaand koppel

$$M_a = \frac{P_N \cdot 9550}{n_a} \cdot f_B = \frac{0.12 \text{ kW} \cdot 9550}{4.1 \text{ min}^{-1} \cdot 4.4} \cdot 1.6 = 102 \text{ Nm}$$

**gekozen
aandrijving**

R27DR63S4 /B03

$i = 74,11$

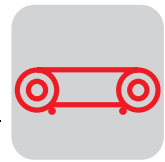
$f_B = 2,1$

$M_a = 62 \text{ Nm}$

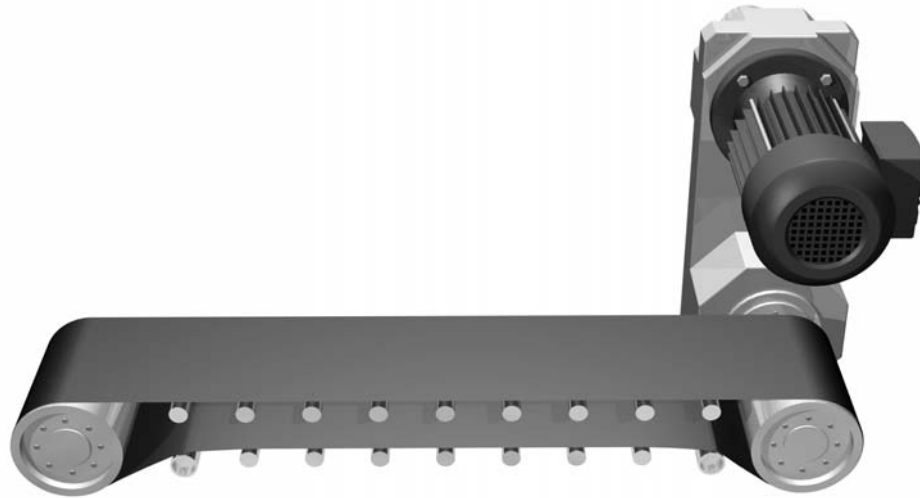
Reductorspeling

De speling van de reductor aan de uitgaande zijde bedraagt bij deze reductor $0,21^\circ$. Omgerekend op de omtrek van de tafel komt dit overeen met een weg van $0,85 \text{ mm}$.

Dat betekent dat vergaand het grootste aandeel van de speling van de installatie uit de open overbrenging komt.



13 Rekenvoorbeeld transportband



Afbeelding 41: Transportband

05234AXX

Berekening volgens DIN 22101 "Rollentransportband"

Weerstandskrachten

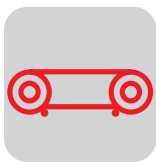
Om de bewegingsweerstand en de daaruit voortvloeiende vermogens te bepalen, worden de optredende krachten bij transportbanden ingedeeld in:

- hoofdweerstand F_H
- nevenweerstand F_N
- hellingsweerstand F_{St}
- bijzondere weerstanden F_S

De hoofdweerstand F_H van boven- en onderpart wordt voor het boven- en onderpart gezamenlijk bepaald. Aanname: lineaire samenhang tussen weerstand en bewegende last.

$$F_H = L \cdot f \cdot g \cdot \left(\frac{m_R}{L} + (2 \cdot m_{G'} + m_{L'}) \cdot \cos \alpha \right)$$

- L = lengte van de transporteur in m
- f = fictieve wrijvingswaarde (zie tabellenbijlage); aanname: f = 0,02
- g = 9,81 m/s²
- m_R = totale massa van de rollen in kg
- m_{L'} = maximaal getransporteerde last in kg/m
- m_{G'} = bandmassa in kg/m
- α = gemiddelde helling van de transportband



Nevenweerstand

- traagheids- en wrijvingsweerstand tussen transportgoed en band op een gegeven plaats
- wrijvingsweerstand tussen transportgoed en zij-geleiders
- wrijvingsweerstand door bandreinigers
- bandbuigweerstand

De som van de nevenweerstand F_N wordt verrekend door de rekenfactor C:

$$C = 1 + \frac{F_N}{F_H}$$

Wanneer het aandeel van de nevenweerstand ten opzichte van de totale weerstand gering is, kan de factor C uit de volgende tabel genomen worden:

Tabel 7: Nevenweerstandsfactor C afhankelijk van de lengte van de transporteur L

L [m]	< 20	20	40	60	80	100	150	200	300
C	3	2,5	2,28	2,1	1,92	1,78	1,58	1,45	1,31
L [m]	400	500	600	700	800	900	1000	2000	> 2000
C	1,25	1,2	1,17	1,14	1,12	1,1	1,09	1,06	1,05

De hellingsweerstand van de transportlast blijkt uit de volgende formule:

$$F_{St} = L \cdot g \cdot m_L' \cdot \sin \alpha$$

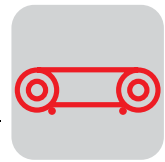
- L = lengte van de transporteur [m]
- g = 9,81 m/s²
- m_L' = maximaal getransporteerde last [kg/m]
- α = gemiddelde helling van de transportband

Bijzondere weerstanden

Bijzondere weerstanden zijn alle tot dusver niet opgevoerde extra weerstanden

Gegevens

Een transportband transporteert 650 t zand (droog) per uur. De maximale bandsnelheid bedraagt 0,6 m/s. De snelheid dient mechanisch met een factor 3 tot op 0,2 m/s verstelbaar te zijn. De transportband is 30 m lang. De 500 mm brede band heeft een massa van 20 kg/m. De massa van de rollen bedraagt ca. 500 kg. De diameter van de bandtrommel bedraagt D = 315 mm.



13.1 Berekening en keuze van de motor

Hoofdweerstand De hoofdweerstand F_H van boven- en onderpart wordt gezamenlijk voor onder- en bovenpart bepaald.

Aanname Lineaire samenhang tussen weerstand en bewegende last.

aanloopkoppel

$$F_H = L \cdot f \cdot g \cdot \left(\frac{m_R}{L} + (2 \cdot m_G + m_L) \cdot \cos \alpha \right)$$

$$F_H = 30 \text{ m} \cdot 0.02 \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \left(\frac{500 \text{ kg}}{30 \text{ m}} + \left(2 \cdot 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \cdot \cos 0^\circ \right) = 2100 \text{ N}$$

nevenweerstand

$$C = 1 + \frac{F_N}{F_H}$$

$$F_N = (C - 1) \cdot F_H = (2.4 - 1) \cdot 2100 \text{ N} = 2940 \text{ N}$$

Hellings- en bijzondere weerstanden zijn niet aanwezig.

Statisch vermogen

$$P_S = \frac{(F_H + F_N + F_{St} + F_S) \cdot v}{\eta}$$

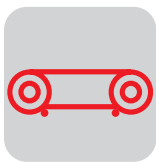
Zonder rendement voor reductor en variator volgt:

$$P_S = \frac{(2100 \text{ N} + 2940 \text{ N} + 0 + 0) \cdot 0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.9} = 3360 \text{ W}$$

gekozen motor

DV 112M 4 BMG
 $P_N = 4,0 \text{ kW}$
 $n_N = 1420 \text{ min}^{-1}$
 $M_H/M_N = 2,1$
 $J_M = 110,2 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$

13


**extern massa-
traagheidsmo-
ment**

Massatraagheidsmoment van de rechtlijnig bewegende componenten (transportgoed en band)

transportgoed / band

$$J_{X1} = 91.2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_M} \right)^2$$

$$J_{X1} = 91.2 \cdot 30 \text{ m} \cdot \left(2 \cdot 20 \frac{\text{kg}}{\text{m}} + 300 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \cdot \left(\frac{0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1400 \text{ min}^{-1}} \right)^2 = 0.171 \text{ kgm}^2$$

Rol (holle cilinder: $m_R = 500 \text{ kg}$, $r_A = 108 \text{ mm}$, $r_I = 50 \text{ mm}$)

rol

$$J_{X2} = \frac{1}{2} \cdot m_R \cdot (r_A^2 + r_I^2)$$

$$J_{X2} = \frac{1}{2} \cdot 500 \text{ kg} \cdot (0.108^2 + 0.050^2) \text{ m}^2 = 3.54 \text{ kgm}^2$$

Om een gemeenschappelijk referentiepunt van motor- en externe massatraagheidsmomenten te hebben, dient nu het externe massatraagheidsmoment met de reductoroverbrenging "gereduceerd" te worden.

gereduceerd
massatraagheids-
moment

$$J_{X2} = J_{X2} \cdot \left(\frac{n_R}{n_M} \right)^2$$

$$n_R = \frac{v \cdot 1000 \cdot 60}{\pi \cdot d_A} = \frac{0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 1000 \cdot 60}{\pi \cdot 108 \text{ mm}} = 106 \text{ min}^{-1}$$

$$J_{X2} = 3.54 \text{ kgm}^2 \cdot \left(\frac{106 \text{ min}^{-1}}{1420 \text{ min}^{-1}} \right)^2 = 0.02 \text{ kgm}^2$$

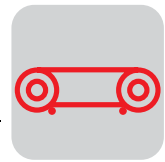
totaal
massatraagheids-
moment

$$J_X = J_{X1} + J_{X2} = 0.171 \text{ kgm}^2 + 0.02 \text{ kgm}^2 = 0.191 \text{ kgm}^2$$

nominaal koppel /
aanloopkoppel

$$M_N = \frac{P_N \cdot 9550}{n_N} = \frac{4.0 \text{ kW} \cdot 9550}{1420 \text{ min}^{-1}} = 26.9 \text{ Nm}$$

$$M_H = 2.1 \cdot M_N = 2.1 \cdot 26.9 \text{ Nm} = 56.5 \text{ Nm}$$



aanlooptijd	$t_A = \frac{\left(J_M + J_Z + \frac{J_X}{\eta} \right) \cdot n_M}{9.55 \cdot \left(M_H - \frac{M_S}{\eta} \right)}$ $t_A = \frac{\left(0.01102 + \frac{0.191}{0.76} \right) \text{kgm}^2 \cdot 1420 \text{min}^{-1}}{9.55 \cdot \left(56.5 \text{Nm} - \frac{22.6 \text{Nm}}{0.9} \right)} = 1.25 \text{s}$
aanloopversnelling	$a_A = \frac{v}{t_A} = \frac{0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1.25 \text{s}} = 0.48 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

13.2 Berekening en keuze van de variator

uitgaand toerental	$n_a = \frac{v \cdot 60000}{\pi \cdot D} \cdot i_V = \frac{0.6 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 60000}{\pi \cdot 315 \text{mm}} = 36.4 \text{min}^{-1}$
--------------------	--

Reductorkeuze

Uittreksel uit de catalogus "Verstellgetriebemotoren", VARIBLOC® met rechte reductor:

P _m /P _{a2} [kW]	n _{a1} - n _{a2} [1/min]	i	M _{a1}	M _{a2}	Typ	m [kg]
4,0/3,3	6,2 - 37	81,92	1450	870	R 87/VU/VZ31 DV 112M4	155

Uitgaand van het maximale toerental n_{a2} wordt een **R87 VU31 DV112M4 met i = 81,92** gekozen.

Nominaal vermogen

P_{a2} geeft het uitgaande nominale vermogen aan. Dit dient groter te zijn dan het berekende lastvermogen.

Koppel / toerental

Bovendien dienen de maximaal toelaatbare koppels als afhankelijke van de toerentallen gecontroleerd te worden.

Daarmee is de aandrijving vastgesteld.



14 Rekenvoorbeeld kruk-drijfstangaandrijving

Met krukaandrijvingen (vooral samengestelde curven) kunnen de meest gecompliceerde bewegingsprocessen met de hoogste dynamiek en herhalingsnauwkeurigheden op mechanische wijze volbracht worden.

Stangenoverbrengingen

Omdat dergelijke "stangenoverbrengingen" een grote rekeninspanning met zich meebrengen, die vrijwel uitsluitend met de bijbehorende rekenprogramma's verwerkt kan worden, wordt in dit hoofdstuk speciaal op de berekening van een kruk-drijfstangmechanisme ingegaan.

Roterend / translierend

Het kruk-drijfstangmechanisme dient voor het omzetten van een roterende in een translierende beweging. Het belangrijkste verschil met de reeds beschreven aandrijvingen is, dat het kruk-drijfstangmechanisme bij elk punt zijn dynamische waarden verandert. Dit is theoretisch vergelijkbaar met een open overbrenging, waarvan de overbrenging continu verandert.

Benaderingsformules

De benaderingsformules waarmee hier gerekend wordt, zijn bij constante hoeksnelheid als volgt:

$$s = r \cdot (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{2} \cdot r \cdot \sin^2 \varphi$$

$$v = \omega \cdot r \cdot \sin \varphi \cdot (1 + \lambda \cdot \cos \varphi)$$

$$a = \omega^2 \cdot r \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi)$$

ω = hoeksnelheid = $\pi \cdot n_a / 30$ [min^{-1}]
 n_a = uitgaand toerental [min^{-1}]
 λ = drijfstangverhouding = krukradius/drijfstanglengte
 φ = krukhoek [Grad]
 r = krukradius [m]
 s = momentele verplaatsingsweg van de last [m]
 v = momentele snelheid van de last [m/s]
 a = momentele versnelling van de last [m/s^2]

statisch vermogen /
dynamisch vermogen

$$P_S = \frac{F_F \cdot v}{1000 \cdot \eta_L \cdot \eta_G}$$

$$P_D = \frac{m \cdot a \cdot v}{1000 \cdot \eta_L \cdot \eta_G}$$

P_S = momenteel statisch vermogen [kW]
 P_D = momenteel dynamisch vermogen [kW]

Berekening van de cyclus

Om een nauwkeurig verloop van het vermogen te berekenen, zou de cyclus voor elke hoekgraad uitgerekend dienen te worden. Daarvoor is natuurlijk een computerprogramma voorbestemd en op die manier werkt ook het SEW-projecteringsprogramma.



Omloopsnelheid ≠ const.

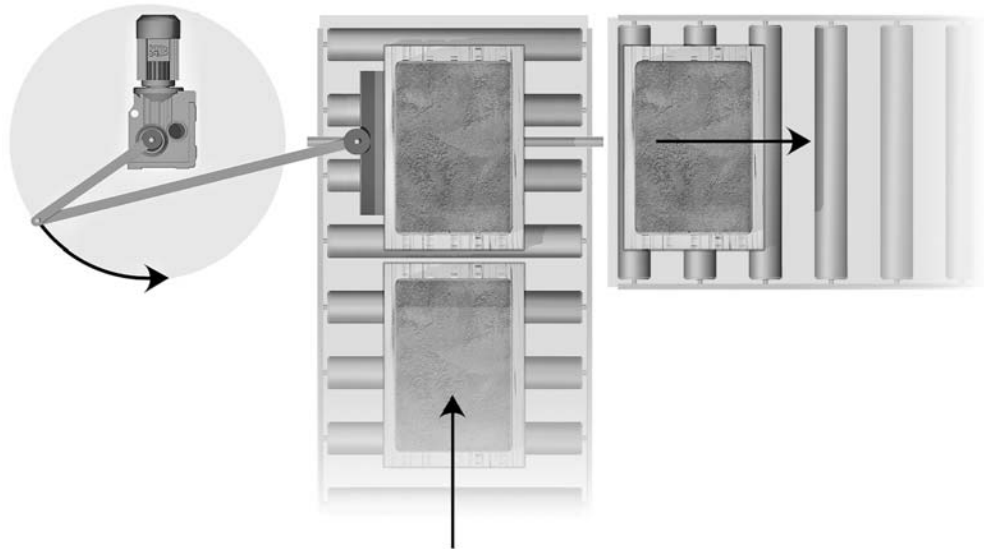
Een extra complicatie treedt op wanneer de omloopsnelheid niet constant is. Dit is bijv. het geval, wanneer de aandrijving aanloopt. Indien de aanlooppunten steeds bij de dode punten van het krukmechanisme liggen, dan kunnen deze normaliter bij de vermogensberekening verwaarloosd worden. Wanneer de aanlooppunten anders zijn, dienen de aanlopen wegens de invloed van de krukdynamiek met de motordynamiek afzonderlijk gecontroleerd te worden.

In het volgende voorbeeld dient echter slechts een vermogensinschatting op eenvoudige wijze plaats te vinden. Bij meer gecompliceerde toepassingen willen wij naar speciale rekenprogramma's verwijzen.

Gegevens

Een palletomzetter schuift 500 kg zware pallets van de ene rollentransportband op de andere. Dit dient te gebeuren met een slagfrequentie van 30 pallets/min.

Met pauze, start en stop volgt een uitgaande snelheid van 42 min^{-1} .



00810AXX

Afbeelding 42: Kruk-drijfstangaandrijving

- | | |
|--------------------------------|---------------------|
| rolweerstandarm hout op staal: | $f = 1,2$ |
| krukstraal: | $r = 0,5 \text{ m}$ |
| drijfstanglengte: | $l = 2 \text{ m}$ |



14.1 Berekening en keuze van de motor

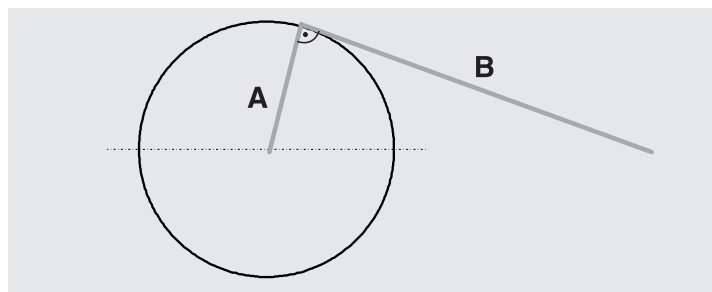
Om nu niet veel afzonderlijke punten te hoeven berekenen, worden twee dominante waarden gezocht.

- De hoek van het **maximale statische vermogen**
(max. snelheid, omdat $P \approx m \cdot g \cdot \mu \cdot v$)
- De hoek van het **maximale dynamische vermogen** ($P \approx m \cdot a \cdot v$)

Op het betreffende bepalende aandeel wordt de aandrijving vastgelegd. Dit zal normaliter bij hijswerk aandrijvingen het statische aandeel zijn en bij horizontale aandrijvingen het dynamische aandeel.

Maximum statisch vermogen

Het maximum statisch vermogen treedt in normale gevallen daar op, waar de snelheid haar maximale waarde heeft. Dit is het geval waar de kruk en de drijfstang een haakse hoek vormen.



00811BXX

Afbeelding 43: Punt van de maximale snelheid

Belangrijk is nu bij dit punt de snelheid.

Snelheid bij benadering:

snelheid

$$v = \omega \cdot r \cdot \sin \varphi \cdot (1 + \lambda \cdot \cos \varphi)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot 0.7 \text{ s}^{-1} = 4.4 \text{ s}^{-1}$$

$$\varphi = \arctan\left(\frac{l}{r}\right) = 76^\circ$$

$$v = 2.26 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

rijweerstand

$$F_F = m \cdot g \cdot \left(\frac{2}{D} \cdot \left(\mu_L \cdot \frac{1}{2} \cdot d + f \right) + c \right)$$

$$F_F = 500 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \left(\frac{2}{250 \text{ mm}} \cdot \left(0.005 \cdot \frac{1}{2} \cdot 60 \text{ mm} + 1.2 \text{ mm} \right) + 0.003 \right) = 70 \text{ N}$$



statisch vermogen

$$P = \frac{F \cdot v}{\eta}$$

$$P_S = \frac{70 \text{ N} \cdot 2.26 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{0.85 \cdot 1000} = 0.19 \text{ kW}$$

Maximaal dynamisch vermogen

Het maximale dynamische vermogen treedt op waar het product van versnelling en snelheid het maximum bereikt. Door afleiding naar de hoek en op nul stellen van de functie wordt deze waarde bereikt bij:

hoek

$$4 \cdot \lambda^2 \cdot \cos(4\varphi) + 9 \cdot \lambda \cdot \cos(3\varphi) + 4 \cdot \cos(2\varphi) - \lambda \cdot \cos\varphi = 0$$

$$\lambda = \frac{r}{l} = \frac{0.5 \text{ m}}{2 \text{ m}} = 0.25 \quad \Rightarrow \quad \varphi = 37^\circ$$

Daarmee wordt P_{\max} (ter wille van de eenvoud zonder massa traagheidsmoment van de rollen) bij $\varphi = 37^\circ$:

dynamisch vermogen

$$P_D = \frac{m \cdot a \cdot v}{1000 \cdot \eta_L \cdot \eta_G}$$

$$v = \omega \cdot r \cdot \sin\varphi \cdot (1 + \lambda \cdot \cos\varphi) = 1.6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$a = \omega^2 \cdot r \cdot (\cos\varphi + \lambda \cdot \cos(2\varphi)) = 8.44 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_D = \frac{500 \text{ kg} \cdot 8.44 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1.6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1000 \cdot 0.9 \cdot 0.95} = 7.9 \text{ kW}$$

Het wordt hier duidelijk, dat het statische aandeel in dit voorbeeld geen belangrijke rol speelt.

Motorkeuze

Voor de motor wordt een DV132M4BM met 7,5 kW gekozen, aangezien, zoals reeds opgemerkt, deze berekeningsmethode alleen als inschatting kan gelden. Voor het optimaliseren verwijzen wij nogmaals naar het projecteringsprogramma ProDrive.

Reductor dimensioneren

Het dimensioneren van de reductor vindt op dezelfde manier plaats als bij de eerdere voorbeelden.

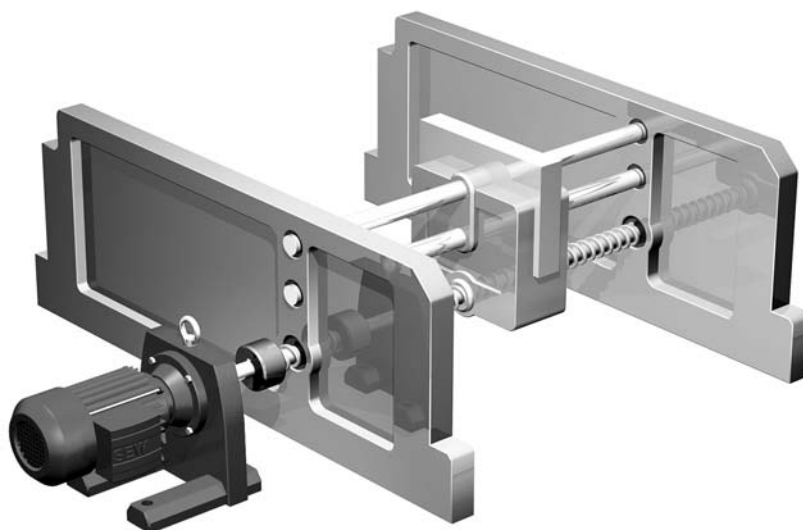
Daarbij geldt:

- benodigde overbrenging ca. 33
- benodigd uitgaand toerental ca. 43 min^{-1}



15 Rekenvoorbeeld spilaandrijving

Spilrendementen: zie tabellenbijlage



Afbeelding 44: Spilaandrijving

05276AXX

Gegevens

Voor het op lengte brengen van kunststof stafmateriaal dient de verplaatsing van de zaag met een spilaandrijving gerealiseerd te worden. De snelheid en de spilspoed zijn zodanig gekozen dat een pooltalomschakelbare motor (8/2-polig) zonder reductor gebruikt kan worden.

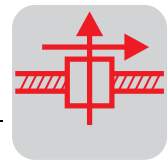
Het zaagproces dient daarbij in het lage toerental en de retourslag in ijlgang plaats te vinden. Verder dient de motor met een rem uitgevoerd te worden.

massa stafmateriaal:	$m_1 = 40 \text{ kg}$
massa verplaatsingsunit:	$m_2 = 150 \text{ kg}$
zaagkracht:	$F_1 = 450 \text{ N}$
wrijvingskracht van de geleiding:	$F_2 = 70 \text{ N}$
verplaatsingssnelheid:	$v_1 = 10 \text{ m/min}$
retoursnelheid:	$v_2 = 40 \text{ m/min}$
weg:	$s = 500 \text{ mm}$

Spilgegevens

420 zaagprocessen per uur dienen gerealiseerd te worden.

spilspoed:	$P = 15 \text{ mm}$
lengte van de spil:	$l = 1000 \text{ mm}$
diameter van de spil:	$d = 40 \text{ mm}$
soortelijke massa van staal:	$\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$
rendement:	$\eta = 35 \%$



15.1 Berekening

spiltoerental

$$n_1 = \frac{v_1}{P} = \frac{10 \frac{m}{min}}{15 mm} = \frac{0.167 \frac{m}{s} \cdot 60 \cdot 10^3}{15 mm} = 668 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = \frac{v_2}{P} = \frac{40 \frac{m}{min}}{15 mm} = \frac{0.67 \frac{m}{s} \cdot 60 \cdot 10^3}{15 mm} = 2680 \text{ min}^{-1}$$

Een 8/2-polige motor zonder reductor kan gebruikt worden.

statisch vermogen

Statisch vermogen bij het zagen in het lage toerental (uitsluitend zaagkracht):

zagen

$$P_{S1A} = \frac{F_1 \cdot v_1}{\eta} = \frac{450 N \cdot 0.167 \frac{m}{s}}{0.35} = 214 W$$

Statisch vermogen bij het zagen in het lage toerental (uitsluitend wrijvingskracht):

wrijvingskracht 8-polig

$$P_{S1B} = \frac{F_2 \cdot v_1}{\eta} = \frac{70 N \cdot 0.167 \frac{m}{s}}{0.35} = 33 W$$

Statisch vermogen bij de retourslag in het hoge toerental (uitsluitend wrijvingskracht):

wrijvingskracht 2-polig

$$P_{S2} = \frac{F_2 \cdot v_2}{\eta} = \frac{70 N \cdot 0.67 \frac{m}{s}}{0.35} = 134 W$$

Aangezien het dynamische vermogen afhangt van de motorgrootte, wordt in dit stadium een motor gekozen, die met zijn nominaal vermogen boven het statisch vermogen ligt. Het dynamisch vermogen wordt gecontroleerd op de toelaatbare schakelfrequentie.

gekozen motor

SDT90L 8/2 BMG
 $P_N = 0,3 / 1,3 \text{ kW}$
 $n_N = 630 / 2680 \text{ min}^{-1}$
 $M_H/M_N = 1,6 / 2,4$
 $J_M = 39,4 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$
 $Z_0 = 20000/3300 \text{ met BGE}$
 ID = S3 40/60 %



15.2 Controle berekening

Inschakelduur De motor is standaard voor S3-bedrijf gewikkeld.

tijd zaagslag $t_1 = \frac{s}{v_1} = \frac{0.5 \text{ m}}{0.167 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 3 \text{ s}$

tijd retourslag $t_2 = \frac{s}{v_2} = \frac{0.5 \text{ m}}{0.67 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.74 \text{ s}$

Cyclusduur 420 zaagsneden per uur geeft een totale tijd van $t_T = 8,5 \text{ s}$ per cyclus.

totale inschakelduur $ED = \frac{t_1 + t_2}{t_T} = 44 \% \Rightarrow OK$

Toelaatbare schakelfrequentie Z_P Om de schakelfrequentie te kunnen bepalen dienen nog berekend te worden:

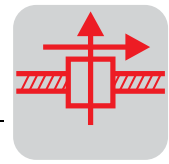
- lastkoppel M_L
- aanloopkoppel M_H
- correctiefactor k_P
- extern massastraagheidsmoment J_X

$$Z_P = Z_0 \cdot \frac{1 - \frac{M_L}{M_H \cdot \eta}}{J_M + \frac{J_X}{\eta}} \cdot k_P$$

lastkoppel M_L Berekening van het lastkoppel zonder verrekening van het rendement:

- door de zaagkracht F_1
Omdat het lastkoppel door het zagen pas optreedt na het aanlopen, heeft dit op de berekening van de schakelfrequentie geen invloed.
- door de wrijvingskracht F_2

$$M_{L2} = \frac{F_2 \cdot P}{2\pi \cdot 1000} = \frac{70 \text{ N} \cdot 15 \text{ mm}}{2\pi \cdot 1000} = 0.2 \text{ Nm}$$



Aankoopkoppel
 M_H

lage toerental	$M_{H1} = \frac{0.3 \text{ kW} \cdot 9550}{630 \text{ min}^{-1}} \cdot 1.6 = 7.2 \text{ Nm}$
hoge toerental	$M_{H2} = \frac{1.3 \text{ kW} \cdot 9550}{2680 \text{ min}^{-1}} \cdot 2.4 = 11.1 \text{ Nm}$

Correctiefactor k_P

lage toerental	$\frac{P_{S1B}}{P_N} = \frac{0.033 \text{ kW}}{0.3 \text{ kW}} = 0.11$	$ID = 44 \%$	\Rightarrow	$k_{P1} = 0.9$
hoge toerental	$\frac{P_{S2}}{P_N} = \frac{0.134 \text{ kW}}{1.3 \text{ kW}} = 0.1$	$ID = 44 \%$	\Rightarrow	$k_{P2} = 0.9$

**Extern massa-
traagheidsmoment**

van verplaatsingsunit / last	$J_{X1} = 91.2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n}\right)^2 = 91.2 \cdot (m_1 + m_2) \cdot \left(\frac{v_1}{n_1}\right)^2 = 12.1 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$
------------------------------	---

Extern massatraagheidsmoment J_{X2} van de spil. De spil wordt vereenvoudigd berekend als een massieve cilinder, die om zijn langsas roteert.

van de spil	$J_{X2} = \frac{1}{2} m_S \cdot r^2$
spilstraal	$r = \frac{d}{2} = 20 \text{ mm} = 0.02 \text{ m}$
spilmassa	$m_S = \pi \cdot r^2 \cdot l \cdot \rho = \pi \cdot 0.02^2 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ m} \cdot 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 9.86 \text{ kg}$
extern massatraagheidsmoment spil	$J_{X2} = \frac{1}{2} \cdot 9.86 \text{ kg} \cdot 0.02^2 \text{ m}^2 = 20 \cdot 10^{-4} \text{ kgm}^2$



Toelaatbare schakelfrequentie

Toelaatbare schakelfrequentie bij het lage toerental

$$\text{lage toerental} \quad Z_{P1} = Z_{01} \cdot \frac{1 - \frac{M_{L2}}{M_{H1} \cdot \eta}}{\frac{J_M + \frac{J_{X1} + J_{X2}}{\eta}}{J_M}} \cdot k_{P1} = 20000 \frac{c}{h} \cdot \frac{1 - \frac{0.2 \text{ Nm}}{7.2 \text{ Nm} \cdot 0.35}}{\left(39.4 + \frac{12.1 + 20}{0.35}\right) \cdot 10^{-4}} \cdot 0.9 = 4979 \frac{c}{h}$$

Toelaatbare schakelfrequentie bij het hoge toerental.

$$\text{hoge toerental} \quad Z_{P2} = Z_{02} \cdot \frac{1 - \frac{M_{L2}}{M_{H2} \cdot \eta}}{\frac{J_M + \frac{J_{X1} + J_{X2}}{\eta}}{J_M}} \cdot k_{P2} = 3300 \frac{c}{h} \cdot \frac{1 - \frac{0.2 \text{ Nm}}{11.1 \text{ Nm} \cdot 0.35}}{\left(39.4 + \frac{12.1 + 20}{0.35}\right) \cdot 10^{-4}} \cdot 0.9 = 846 \frac{c}{h}$$

Toelaatbare schakelfrequentie van de totale cyclus.

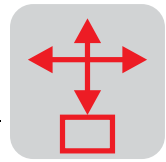
$$\text{totale cyclus} \quad Z_P = \frac{Z_{P1} \cdot Z_{P2}}{Z_{P1} + Z_{P2}} = \frac{4979 \cdot 846}{4979 + 846} = 723 \frac{c}{h} \Rightarrow \text{OK}$$

Vastleggen van de aandrijving

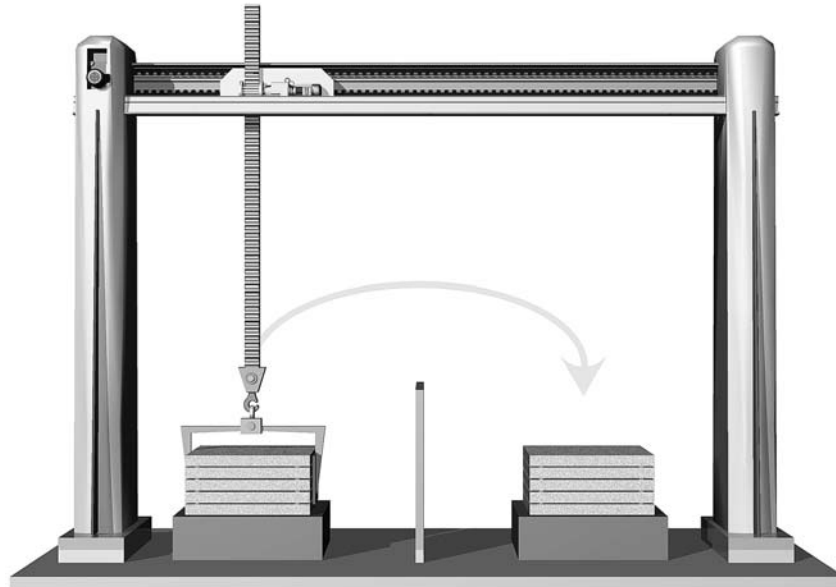
Dus ligt de aandrijving vast:

SDT90L8/2 /BMG

Aanloopgedrag, omschakelgedrag en remgedrag worden analoog met het "Rekenvoorbeeld Rijwerkaandrijving" behandeld.



16 Rekenvoorbeeld portaal met servoaandrijvingen



00818AXX

Afbeelding 45: Portaal met servoaandrijvingen

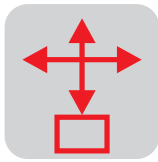
Gegevens Een twee-assig portaal dient met servotechniek uitgevoerd te worden.

X- as **Horizontale as, krachtoverdracht via een tandriem**

- $m_L = 100 \text{ kg}$ (som van de bewegende massa's)
- $D = 175 \text{ mm}$ (diameter van het riemwiel)
- $\mu = 0,1$ (wrijvingscoëfficiënt van de as volgens opgave fabrikant)
- $s = 3 \text{ m}$ (slag)
- $a_{\max} = 10 \text{ m/s}^2$ (maximale versnelling)
- $t_z = 4 \text{ s}$ (cyclustijd)
- $t = 2 \text{ s}$ (bewegingstijd)
- $\eta_L = 0,9$ (lastrendement)

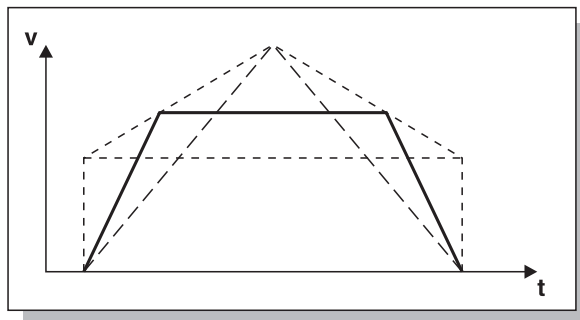
Y- as **Verticale as, krachtoverdracht via een tandheugel**

- $m_L = 40 \text{ kg}$ (massa van de last)
- $D = 50 \text{ mm}$ (diameter van het rondsel)
- $s = 1 \text{ m}$ (slag)
- $a_{\max} = 10 \text{ m/s}^2$ (maximale versnelling)
- $t_z = 2 \text{ s}$ (cyclustijd)
- $t = 0,75 \text{ s}$ (heftijd)
- $\eta_L = 0,9$ (lastrendement)



16.1 Optimalisering van het bewegingsdiagram

Bewegingsdiagram van de horizontale as



$$v = \frac{a_{max} \cdot t - \sqrt{(a_{max} \cdot t)^2 - 4 \cdot a_{max} \cdot s}}{2}$$

snelheid

$$v = \frac{10 \frac{m}{s^2} \cdot 2 s - \sqrt{\left(10 \frac{m}{s^2} \cdot 2 s\right)^2 - 4 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 3 m}}{2} = 1.64 \frac{m}{s}$$

aanlooptijd

$$t_A = \frac{v}{a_{max}} = \frac{1.64 \frac{m}{s}}{10 \frac{m}{s^2}} = 0.16 s$$

aanloopweg

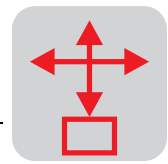
$$s_A = \frac{1}{2} \cdot a_{max} \cdot t_A^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 0.16^2 s^2 = 0.128 m$$

verplaatsingsweg

$$s_F = s - 2 \cdot s_A = 2.744 m$$

verplaatsingstijd

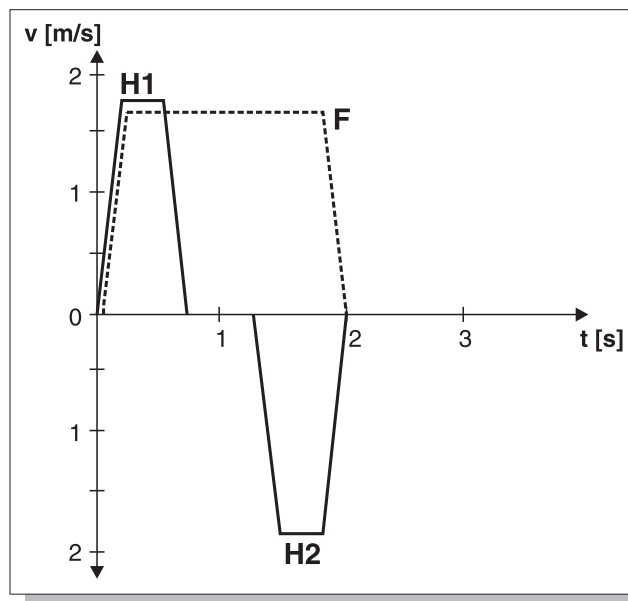
$$t_F = \frac{s_F}{v} = \frac{2.744 m}{1.64 \frac{m}{s}} = 1.67 s$$



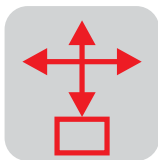
Bewegingsdiagram van de verticale as

<p>snelheid</p> $v = \frac{a_{max} \cdot t - \sqrt{(a_{max} \cdot t)^2 - 4 \cdot a_{max} \cdot s}}{2}$ $v = \frac{10 \frac{m}{s^2} \cdot 0.75 s - \sqrt{\left(10 \frac{m}{s^2} \cdot 0.75 s\right)^2 - 4 \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 1 m}}{2} = 1.73 \frac{m}{s}$
<p>aanlooptijd</p> $t_A = \frac{v}{a_{max}} = \frac{1.73 \frac{m}{s}}{10 \frac{m}{s^2}} = 0.17 s$
<p>aanloopweg</p> $s_A = \frac{1}{2} \cdot a_{max} \cdot t_A^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \frac{m}{s^2} \cdot 0.17^2 s^2 = 0.145 m$
<p>verplaatsingstijd</p> $s_F = s - 2 \cdot s_A = 0.71 m$
<p>verplaatsingsweg</p> $t_F = \frac{s_F}{v} = \frac{0.71 m}{1.73 \frac{m}{s}} = 0.41 s$

Bewegingsdiagrammen horizontale en verticale as



H1 = verticale as op
 H2 = verticale as naar
 F = horizontale as



16.2 Berekening van het vermogen

Horizontale as

rijweerstand	$F_{F1} = m_L \cdot g \cdot \mu_L = 100 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0.1 = 98.1 \text{ N}$
--------------	---

statisch koppel	$M_{S1} = F_{F1} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\eta_L} = 98.1 \text{ N} \cdot \frac{0.175 \text{ m}}{2} \cdot \frac{1}{0.9} = 9.5 \text{ Nm}$
-----------------	--

Versnelling

versnellingskracht	$F_{A1} = m_L \cdot a_{max} = 100 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1000 \text{ N}$
--------------------	---

versnellingskoppel	$M_{A1} = F_{A1} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\eta_L} = 1000 \text{ N} \cdot \frac{0.175 \text{ m}}{2} \cdot \frac{1}{0.9} = 97.2 \text{ Nm}$
--------------------	---

totaal koppel	$M_{AT} = M_{A1} + M_{S1} = 97.2 \text{ Nm} + 9.5 \text{ Nm} = 106.7 \text{ Nm}$
---------------	--

Vertraging

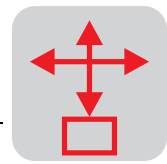
vertragingkoppel	$M_{B1} = -F_{A1} \cdot \frac{D}{2} \cdot \eta_L = -1000 \text{ N} \cdot \frac{0.175 \text{ m}}{2} \cdot 0.9 = -78.8 \text{ Nm}$
------------------	--

totaal koppel	$M_{BT} = M_{B1} + M_{S1} = -78.8 \text{ Nm} + 9.5 \text{ Nm} = -69.3 \text{ Nm}$
---------------	---

Verticale as omhoog

statische hefkracht	$F_{H2} = m_L \cdot g = 40 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 392 \text{ N}$
---------------------	---

statisch hef koppel	$M_{S2} = F_{H2} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\eta_L} = 392 \text{ N} \cdot \frac{0.05 \text{ m}}{2} \cdot \frac{1}{0.9} = 10.9 \text{ Nm}$
---------------------	---



Versnelling

versnellingskracht	$F_{A2} = m_L \cdot a_{max} = 40 \text{ kg} \cdot 10 \frac{m}{s^2} = 400 \text{ N}$
versnellingskoppel	$M_{A2} = F_{A2} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\eta_L} = 400 \text{ N} \cdot \frac{0.05 \text{ m}}{2} \cdot \frac{1}{0.9} = 11.1 \text{ Nm}$
totaal koppel	$M_{AT2} = M_{A2} + M_{S2} = 11.1 \text{ Nm} + 10.9 \text{ Nm} = 22 \text{ Nm}$

Vertraging

vertragingskoppel	$M_{B2} = -F_{A2} \cdot \frac{D}{2} \cdot \eta_L = -400 \text{ N} \cdot \frac{0.05 \text{ m}}{2} \cdot 0.9 = -9 \text{ Nm}$
totaal koppel	$M_{BT2} = M_{B2} + M_{S2} = -9 \text{ Nm} + 10.9 \text{ Nm} = 1.9 \text{ Nm}$

verticale as omlaag

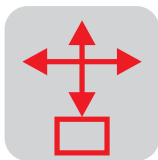
statische daalkracht	$F_{H3} = m_L \cdot a_{max} = 40 \text{ kg} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} = 392 \text{ N}$
statisch daalkoppel	$M_{S3} = F_{H3} \cdot \frac{D}{2} \cdot \eta_L = -392 \text{ N} \cdot \frac{0.05 \text{ m}}{2} \cdot 0.9 = -8.8 \text{ Nm}$

Versnelling

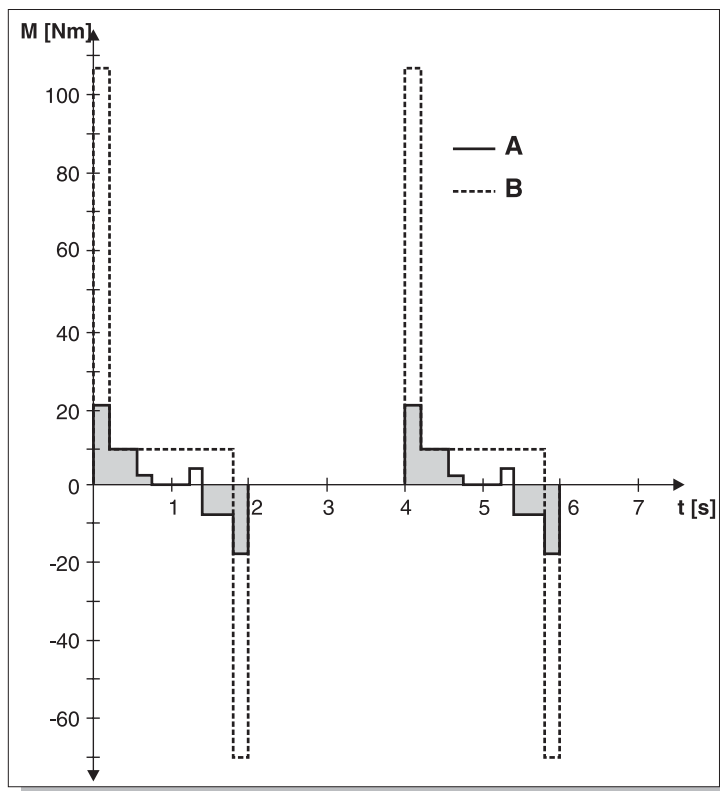
versnellingskracht	$F_{A3} = m_L \cdot a = 40 \text{ kg} \cdot 10 \frac{m}{s^2} = 400 \text{ N}$
versnellingskoppel	$M_{A3} = F_{A3} \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{1}{\eta_L} = 400 \text{ N} \cdot \frac{0.05 \text{ m}}{2} \cdot \frac{1}{0.9} = 11.1 \text{ Nm}$
totaal koppel	$M_{AT3} = M_{A3} + M_{S3} = 11.1 \text{ Nm} - 8.8 \text{ Nm} = 2.3 \text{ Nm}$

Vertraging

vertragingskoppel	$M_{B3} = -F_{A3} \cdot \frac{D}{2} \cdot \eta_L = -400 \text{ N} \cdot \frac{0.05 \text{ m}}{2} \cdot 0.9 = -9 \text{ Nm}$
totaal koppel	$M_{BT3} = M_{B3} + M_{S3} = -9 \text{ Nm} - 8.8 \text{ Nm} = -17.8 \text{ Nm}$



Hieruit resulteert het volgende uitgaande koppolverloop van de beide assen:



Afbeelding 46: Koppolverloop A = verticale as en B = horizontale as

00820BXX

16.3 Berekening en keuze van de reductor

Het maximaal optredende koppel aan de uitgaande as bepaalt bij spelingsarme planetaire reductoren de grootte van de reductor (vergelijkbaar met f_B -factoren bij SEW-standaardreductoren).

Daarmee liggen de grootten van de planetaire reductoren op deze plaats reeds vast:

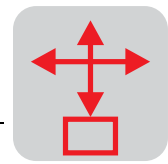
Horizontale as: $M_{\max} = 106,7$ Nm levert PSF 41x met toelaatbaar koppel $M_P = 150$ Nm

Verticale as: $M_{\max} = 22$ Nm levert PSF21x met toelaatbaar koppel $M_P = 40$ Nm



De catalogusopgaven van maximale koppels van spelingsarme planetaire reductoren zijn **maximaal toelaatbare piekwaarden**, terwijl bij SEW-standaardreductoren toelaatbare continue koppels opgegeven zijn. Om die reden zijn deze reductortypen vanuit de berekening **niet vergelijkbaar**.

Indien een SEW-standaardreductor toegepast kan worden, dan dient de keuze van de reductor plaats te vinden zoals bij frequentiereguleerde aandrijvingen (f_B -factoren).



Motortoerental

Om de overbrenging van de reductor te kunnen bepalen dient allereerst het toerental van de motor gekozen te worden.

Indien een aandrijving een bijzonder grote regelbaarheid en positioneer-nauwkeurigheid bij een zo gering mogelijk bouwvolume dient te hebben, dan dient het toerental van de motor zo hoog mogelijk gekozen te worden. Het voordeel ligt in de overbrenging van de reductor. Hoe hoger het motortoerental, hoe hoger de overbrenging van de reductor en daarmee ook het uitgaand koppel. Bovendien is de positieresolutie door de grotere overbrenging beter.

Het nadeel van het hoge motortoerental is de kortere lagerlevensduur en de mogelijk hogere benodigde motor-aanloopkoppels, omdat de motor in dezelfde tijd naar een hoger eigen toerental versneld dient te worden.

Leverbare toerentalen

SEW levert servomotoren in uitvoeringen voor 2000, 3000 en 4500 min⁻¹.

Na inschatting van de bovengenoemde voor- en nadelen kiezen wij motoren met 3000 min⁻¹.

Regelreserve

Om regelreserve te hebben, wordt de overbrenging zo gekozen, dat het maximale toerental zo mogelijk bij 90 % van het nominale toerental van de motor (hier 2700 min⁻¹) bereikt wordt.

Horizontale as

toerental

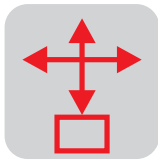
$$n_a = \frac{v \cdot 60}{D \cdot \pi} = \frac{1.64 \frac{m}{s} \cdot 60}{0.175 m \cdot \pi} = 179 \text{ min}^{-1}$$

overbrenging

$$i = \frac{n_M}{n_a} = \frac{2700 \text{ min}^{-1}}{179 \text{ min}^{-1}} = 15.1$$

gekozen reductor

PSF 412
 i = 16
 M_{amax} = 160 Nm
 α < 10 hoekminuten (in normale uitvoering)
 η = 0,94



Verticale as

$$\text{toerental} \quad n_a = \frac{v \cdot 60}{D \cdot \pi} = \frac{1.73 \frac{m}{s} \cdot 60}{0.05 m \cdot \pi} = 660.8 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{overbrenging} \quad i = \frac{n_M}{n_a} = \frac{2700 \text{ min}^{-1}}{660.8 \text{ min}^{-1}} = 4.1$$

gekozen reductor

PSF 311

 $i = 4$ $M_{\text{amax}} = 110 \text{ Nm}$ $\alpha < 6$ hoekminuten (in normale uitvoering) $\eta = 0,97$ **Positioneer-
nauwkeurigheid**

Met deze waarden is op dit moment reeds de statische positioneer-nauwkeurigheid te berekenen. De standaard resolutie van de encoder is 1024x4.

horizontale as

$$\Delta s = \pm \frac{D \cdot \pi \cdot \frac{\alpha}{2}}{360^\circ} \pm \frac{D \cdot \pi}{4096 \cdot i}$$

$$\Delta s = \pm \frac{175 \text{ mm} \cdot \pi \cdot \frac{10'}{2} \cdot \frac{1^\circ}{60'}}{360^\circ} \pm \frac{175 \text{ mm} \cdot \pi}{4096 \cdot 16} = \pm 0.14 \text{ mm}$$

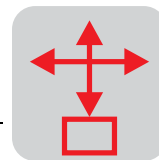
Toegevoegde speling van de installatie dient overeenkomstig opgeteld te worden.

Bij de verticale as kan er van uitgegaan worden dat de tanden altijd gedefinieerd op dezelfde flank aanliggen. Om die reden hoeft geen rekening gehouden te worden met het aandeel van de reductorspeling.

verticale as

$$\Delta s = \pm \frac{D \cdot \pi}{4096 \cdot i} = \pm \frac{50 \text{ mm} \cdot \pi}{4096 \cdot 4} = \pm 0.01 \text{ mm}$$

De extra speling in de installatie dient overeenkomstig opgeteld te worden.



16.4 Berekening en keuze van de motoren

De toe te passen motor dient aan 3 criteria te voldoen:

1. Het piekkoppel mag niet groter zijn dan het drievoud van het stilstandskoppel M_0 .
2. Het berekende effectieve koppel mag bij bedrijf zonder afzonderlijk aangedreven ventilator niet hoger zijn dan M_0 .
3. De verhouding van het externe tot het motormassatraagheidsmoment (actieve deel zonder rem) mag een factor 10 niet overschrijden.

De exacte waarden kunnen weliswaar pas bepaald worden wanneer de motor reeds vastligt, voor een voorlopige keuze zijn de gegevens echter reeds voldoende.

Horizontale as

1. Berekend last-piekkoppel (zonder versnelling van het motormassatraagheidsmoment).

$$MA = 106,7 \text{ Nm}$$

Betrokken op de motor resulteert dit in een voorlopig maximaal aanloopkoppel van:

aanloopkoppel

$$M_H = \frac{M_A}{i} = \frac{106,7 \text{ Nm}}{15} = 6,67 \text{ Nm}$$

Volgens criterium Nr. 1 mag het stilstandskoppel M_0 niet lager zijn dan $6,67 \text{ Nm}/3 = 2,22 \text{ Nm}$.

2. Het effectieve koppel is te berekenen volgens de formule:

effectief koppel

$$M_F = \sqrt{\frac{1}{t_z} \cdot (M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots + M_n^2 \cdot t_n)}$$

Volgens het koppelverloop (zie afbeelding 46) en na verrekening van de overbrenging van de reductor van 16 en de pauzetijd van 2 seconden is:

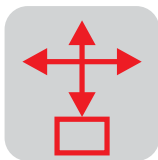
$$M_F = \sqrt{\frac{1}{4 \text{ s}} \cdot (6,67^2 \cdot 0,16 + 0,6^2 \cdot 1,67 + 4,3^2 \cdot 0,16) \text{ Nm}^2 \text{ s}} = 1,6 \text{ Nm}$$

Volgens criterium Nr. 2 mag het stilstandskoppel M_0 niet lager zijn dan 1,6 Nm.

3. Het externe massatraagheidsmoment is:

externe massatraagheidsmoment

$$J_X = 91,2 \cdot m_L \cdot \left(\frac{v}{n_M}\right)^2 = 91,2 \cdot 100 \text{ kg} \cdot \left(\frac{1,64 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2864 \text{ min}^{-1}}\right)^2 = 0,003 \text{ kgm}^2$$

**Motorkeuze**

Omdat volgens criterium 3 J_X/J_M niet groter dan 10 mag worden, moet een motor met een massastraagheidsmoment van $J_M > 0,0003 \text{ kgm}^2$ gekozen worden. Dus mag de motor niet kleiner dan een DY 71S ($J_M = 0,000342 \text{ kgm}^2$) worden.

gekozen motor

DY71SB
 $n_N = 3000 \text{ min}^{-1}$
 $M_0 = 2,5 \text{ Nm}$
 $J_M = 0,000546 \text{ kgm}^2$
 $I_0 = 1,85 \text{ A}$

Verticale as

1. Berekend last-piekkoppel (zonder versnelling van het motormassastraagheidsmoment).

MA = 22 Nm

Betrokken op de motor levert dit een voorlopig maximum aanloopkoppel op van:

aanloopkoppel

$$M_H = \frac{M_A}{i} = \frac{22 \text{ Nm}}{4} = 5.5 \text{ Nm}$$

Volgens criterium Nr. 1 mag het stilstandskoppel M_0 niet lager zijn dan $5,5 \text{ Nm}/3 = 1,83 \text{ Nm}$.

2. Het effectieve koppel is voor op- en neerwaartse bewegingen:

effectief koppel

$$M_F = \sqrt{\frac{1}{4 \text{ s}} (5.5^2 \cdot 0.17 + 2.7^2 \cdot 0.41 + 0.5^2 \cdot 0.17 + 0.6^2 \cdot 0.17 + 2.2^2 \cdot 0.41 + 4.5^2 \cdot 0.17) \text{ Nm}^2 \text{ s}}$$

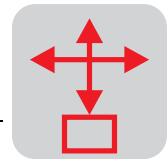
$$= 1.85 \text{ Nm}$$

Volgens criterium Nr. 2 mag het stilstandskoppel M_0 niet lager zijn dan 1,85 Nm.

3. Het externe massastraagheidsmoment is:

extern massastraagheidsmoment

$$J_X = 91.2 \cdot m_L \cdot \left(\frac{v}{n_M} \right)^2 = 91.2 \cdot 40 \text{ kg} \cdot \left(\frac{1.73 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2643 \text{ min}^{-1}} \right)^2 = 0.0016 \text{ kgm}^2$$



Motorkeuze

Omdat volgens criterium 3 J_X/J_M niet groter dan 10 mag worden, moet een motor met een motormassatraagheidsmoment $J_M > 0,00016 \text{ kgm}^2$ gekozen worden. Dus moet de motor groter dan een DY 56L ($J_M = 0,00012 \text{ kgm}^2$) worden.

gekozen motor

DY71SB
 $n_N = 3000 \text{ min}^{-1}$
 $M_0 = 2,5 \text{ Nm}$
 $J_M = 0,000546 \text{ kgm}^2$ (met rem)
 $I_0 = 1,85 \text{ A}$

Controle van de gekozen motor

Omdat dit op een eerder tijdstip niet mogelijk was, dient nu de aanloopbelasting met het motormassatraagheidsmoment gecontroleerd te worden.

Horizontale aandrijving

aanloopkoppel

$$M_H = \frac{\left(J_M + \frac{1}{\eta_L} \cdot J_X \right) \cdot n_M}{9.55 \cdot t_A} + M_S$$

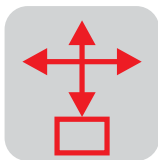
$$M_H = \frac{\left(0.000546 + \frac{1}{0.9} \cdot 0.003 \right) \text{ kgm}^2 \cdot 2864 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot 0.16 \text{ s}} + 0.6 \text{ Nm} = 7.9 \text{ Nm}$$

De motor DY71SB is dynamisch tot op het 3-voudige stilstandskoppel ($M_0 = 2,5 \text{ Nm}$) overbelastbaar. Daardoor is de motor te klein.

Motorkeuze

Nieuwe motor gekozen: DY 71MB

$n_N = 3000 \text{ min}^{-1}$
 $M_0 = 3,7 \text{ Nm}$
 $J_M = 0,000689 \text{ kgm}^2$ (met rem)
 $I_0 = 2,7 \text{ A}$

**Verticale aandrijving**

aanloopkoppel

$$M_H = \frac{\left(J_M + \frac{1}{\eta_L} \cdot J_X \right) \cdot n_M}{9.55 \cdot t_A} + M_S$$

$$M_H = \frac{\left(0.000546 + \frac{1}{0.9} \cdot 0.0016 \right) \text{ kgm}^2 \cdot 2643 \text{ min}^{-1}}{9.55 \cdot 0.17 \text{ s}} + 2.7 \text{ Nm} = 6.5 \text{ Nm}$$

De motor DY71SB is dynamisch tot het 3-voudige stilstandskoppel ($M_0 = 2,5 \text{ Nm}$) overbelastbaar. Daarmee is de motor juist gedimensioneerd.

Motorkeuze

Bevestigde motor: DY 71SB

$$n_N = 3000 \text{ min}^{-1}$$

$$M_0 = 2,5 \text{ Nm}$$

$$J_M = 0,000546 \text{ kgm}^2 \text{ (met rem)}$$

$$I_0 = 1,85 \text{ A}$$

Effectief koppel

Vervolgens wordt met het gewijzigde motormassatraagheidsmoment het effectieve koppel opnieuw bepaald.

Omdat de rekenprocedure hiervoor reeds uitvoerig gedemonstreerd is, worden nu de resultaten opgevoerd.

Horizontale aandrijving

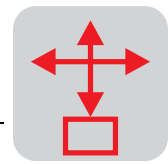
Totaal versnellingskoppel:	$M_{A1} = 8,1 \text{ Nm}$
Totaal vertragingskoppel:	$M_{B1} = -5,8 \text{ Nm}$
Statisch lastkoppel:	$M_{S1} = 0,6 \text{ Nm}$
Effectief motorkoppel:	$M_{M1} = 2,0 \text{ Nm}$

Verticale aandrijving (opwaarts)

Totaal versnellingskoppel:	$M_{A2} = 6,5 \text{ Nm}$
Totaal vertragingskoppel:	$M_{B2} = -0,5 \text{ Nm}$
Statisch lastkoppel:	$M_{S2} = 2,7 \text{ Nm}$

Verticale aandrijving (neerwaarts)

Totaal versnellingskoppel:	$M_{A3} = 1,6 \text{ Nm}$
Totaal vertragingskoppel:	$M_{B3} = -5,4 \text{ Nm}$
Statisch lastkoppel:	$M_{S3} = -2,2 \text{ Nm}$
Effectief motorkoppel:	$M_{M3} = 2,1 \text{ Nm}$



16.5 Keuze van de aandrijfelektronica

Er staan 2 mogelijkheden ter beschikking:

- **Modulaire techniek**, d. w. z. een netmodule voedt 2 asmodulen, die de aandrijvingen voeden.
- **2 Kompaktapparaten** (bevatten net- en asmodule) voeden de beide aandrijvingen. Uitvoerige informatie vindt u in de catalogus MOVIDYN®.

Wat de betere en meest gunstig geprijsde oplossing is, dient per geval beslist te worden. Hier wordt uitsluitend op basis van de betere aanschouwelijkheid de eerste mogelijkheid gekozen. Het projecteren van een Kompaktapparaat wordt op dezelfde wijze uitgevoerd als bij de frequentieregelaar.

Keuze van de asmodule

Uitgangspunten voor de keuze van de asmodule zijn:

- De te leveren piekstroom. Deze ligt bij de MOVIDYN® asmodulen MAS op de 1,5-voudige nominale uitgangsstroom.
- De gemiddelde motorstroom. Deze mag de nominale uitgangsstroom niet overschrijden.

De stromen zijn direct uit de reeds berekende koppels te bepalen.

Horizontale as

Voor de gekozen motor DFY 71MB wordt een nominale stroom van 2,7 A bij $M_0 = 3,7 \text{ Nm}$ opgegeven.

Het maximale aanloopkoppel is berekend als 8,1 Nm en komt daarmee overeen met een opgenomen stroomwaarde van:

maximale stroom

$$I_{max} = \frac{M_{max} \cdot I_0}{M_0} = \frac{8.1 \text{ Nm} \cdot 2.7 \text{ A}}{3.7 \text{ Nm}} = 5.9 \text{ A}$$

In tegenstelling tot het dimensioneren van de motor, waar de effectieve waarde maatgevend is, worden de asmodulen naar de gemiddelde waarde van het koppel en daarmee van de stroom gedimensioneerd.

gemiddelde stroomwaarde

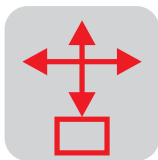
$$\overline{M} = \frac{M_1 \cdot t_1 + M_2 \cdot t_2 + \dots + M_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

$$\overline{M}_M = \frac{8.1 \text{ Nm} \cdot 0.16 \text{ s} + 0.6 \text{ Nm} \cdot 1.67 \text{ s} + 5.8 \text{ Nm} \cdot 0.16 \text{ s}}{4 \text{ s}} = 0.8 \text{ Nm}$$

$$\overline{I}_M = \frac{\overline{M}_M \cdot I_0}{M_0} = \frac{0.8 \text{ Nm} \cdot 2.7 \text{ A}}{3.7 \text{ Nm}} = 0.6 \text{ A}$$

gekozen asmodule:

MOVIDYN® MAS 51A 005-503-00 met $I_0 = 5 \text{ A}$ en $I_{max} = 7,5 \text{ A}$.

**Verticale as**

Voor de gekozen motor DFY 71SB wordt een nominale stroom van 1,85 A bij $M_0 = 2,5 \text{ Nm}$ opgegeven.

Het maximale aanloopkoppel is berekend als 6,5 Nm en komt daarmee overeen met een aangenomen stroomwaarde van:

maximale stroom

$$I_{max} = \frac{M_{max} \cdot I_0}{M_0} = \frac{6,5 \text{ Nm} \cdot 1,85 \text{ A}}{2,5 \text{ Nm}} = 4,8 \text{ A}$$

gemiddelde stroom

$$\overline{M_M} = \frac{(6,5 \cdot 0,17 + 2,7 \cdot 0,41 + 0,5 \cdot 0,17 + 1,6 \cdot 0,17 + 2,2 \cdot 0,41 + 5,4 \cdot 0,17) \text{ Nm} \cdot \text{s}}{4 \text{ s}} = 1,1 \text{ Nm}$$

$$\overline{I_M} = \frac{\overline{M_M} \cdot I_0}{M_0} = \frac{1,1 \text{ Nm} \cdot 1,85 \text{ A}}{2,5 \text{ Nm}} = 0,8 \text{ A}$$

gekozen asmodule:

MOVIDYN[®] MAS 51A 005-503-00 met $I_0 = 5 \text{ A}$ en $I_{max} = 7,5 \text{ A}$.

Keuze van de netmodule

Uitgangspunten voor de keuze van de netmodule zijn:

- De bereikbare piekstroom. Deze ligt bij MOVIDYN[®] netmodulen (bijv. MPB) op 2,0 · nominale uitgangsstroom gedurende 5 seconden.
- De gemiddelde stroomwaarde. Deze mag niet hoger zijn dan de nominale uitgangsstroom van de betreffende netmodule.

De stromen zijn de opgetelde stromen van de asmodulen:

gesommeerde stroom

$$I_{max(NM)} = I_{max_M(F)} + I_{max_M(H)} = 5,9 \text{ A} + 4,8 \text{ A} = 10,7 \text{ A}$$

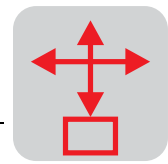
$$\overline{I_{NM}} = \overline{I_{M(F)}} + \overline{I_{M(H)}} = 0,6 \text{ A} + 0,8 \text{ A} = 1,4 \text{ A}$$

$I_{max_M(F)}$ = maximale motorstroom horizontale as
 $I_{max_M(H)}$ = maximale motorstroom verticale as
 $I_{M(F)}$ = motorstroom horizontale as
 $I_{M(H)}$ = motorstroom verticale as
 $I_{max(NM)}$ = maximale stroom netmodule
 I_{NM} = stroom netmodule

gekozen netmodule:

MOVIDYN[®] MPB 51A 011-503-00 met $I_N = 20 \text{ A}$.

Hierbij dient een netsmoorspoel ND 045-013 toegepast te worden.



Keuze van de remweerstand

De remweerstand komt eerst dan in werking, als het motorkoppel negatief (generatief) wordt. Beschouwt men het verloop van de uitgaande koppels, dan ziet men dat de inschakelduur (ID) bij ca. 20 % ligt. Het maximale generatieve koppel treedt op, wanneer de verticale as tijdens dalen vertraagt en gelijktijdig de horizontale as remt.

De remkoppels dienen eerst in vermogens omgerekend te worden.

Piek-remvermogen

aandrijving horizontale as

$$\hat{P}_{B1} = \frac{M_{B1} \cdot n_M}{9550} = \frac{5.8 \text{ Nm} \cdot 2864 \text{ min}^{-1}}{9550} = 1.74 \text{ kW}$$

Bij constante vertraging komt het gemiddelde remvermogen overeen met de helft van het piek-remvermogen.

Daarmee is $P_{B1} = 0,87 \text{ kW}$.

verticale aandrijving

$$\hat{P}_{B3} = \frac{M_{B3} \cdot n_M}{9550} = \frac{5.4 \text{ Nm} \cdot 2643 \text{ min}^{-1}}{9550} = 1.50 \text{ kW}$$

Daarmee is $P_{B3} = 0,75 \text{ kW}$.

totaal remvermogen

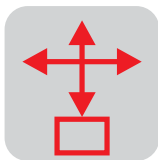
$$P_{BT} = P_{B1} + P_{B3} = 1.62 \text{ kW}$$

Uittreksel uit de keuzetabel remweerstand voor netmodule type MOVIDYN® MPB 51A 011-503-00.

Netmodule type	MPB 51A 011-503-00 (P _{BRCMAX} = 14 kW)				
	BW047-004	BW147	BW247	BW347	BW547
belastbaarheid bij					
100% ID	0,4 kW	1,2 kW	2,0 kW	4,0 kW	6,0 kW
50% ID	0,7 kW	2,2 kW	3,8 kW	7,6 kW	10,8 kW
25% ID	1,2 kW	3,8 kW	6,4 kW	12,8 kW	18,0 kW ¹⁾
12% ID	2,4 kW	7,2 kW	12,0 kW	24,0 kW ¹⁾	30,0 kW ¹⁾
6% ID	3,8 kW	11,4 kW	19,0 kW ¹⁾	38,0 kW ¹⁾	45,0 kW ¹⁾
weerstandswaarde	47 Ω ± 10 %				
uitschakelstroom van F16	1,5 A _{AC}	3,8 A _{AC}	5,3 A _{AC}	8,2 A _{AC}	10 A _{AC}
bouwwijze	draadweerstand				stalen lamellenweerstand
elektrische aansluiting	klemmen op keramiek voor 2,5 mm ² (AWG 14)				tapbout M8
massa	1,9 kg	4,3 kg	6,1 kg	13,2 kg	12 kg

1) Generatieve vermogensbegrenzing

In de regel van 25 % ID vindt men met 3,8 kW effectief vermogen de hier passende remweerstand: **BW 147**



Keuze van het koellichaam

Bij het samenstellen van koellichamen DKE dient erop gelet te worden, dat de modules niet over de stuiknaad van twee koellichamen gemonteerd mogen worden. Daardoor dienen eerst de "breedte-eenheden" (TE) van de afzonderlijke modules bepaald te worden.

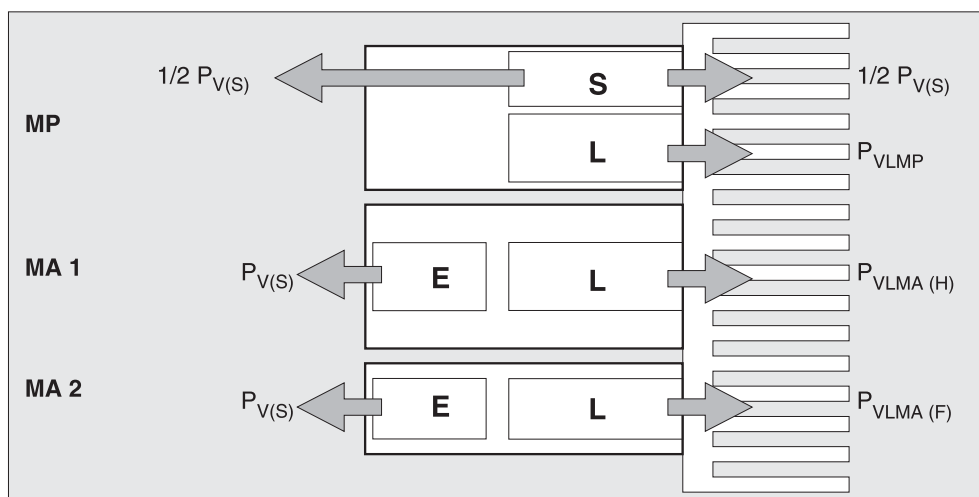
horizontale as MAS 51A-005-503-00	2 TE
verticale as MAS 51A-005-503-00	2 TE
netmodule MPB 51A-011-503-00	3 TE
totaal	7 TE

Daarmee wordt de DKE 07 met 7 breedte-eenheden gekozen.

Thermische weerstand

De thermische weerstand is volgens de tabel 0,4 K/W. Dit is de temperatuurverhoging ten opzichte van de omgevingstemperatuur in Kelvin per geïnstalleerd verliesvermogen in Watt. Hierbij is 80 °C toelaatbaar.

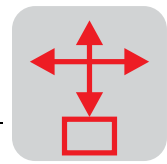
Thermische controle



00224CXX

Afbeelding 47: Samenstelling van het verliesvermogen

MP	= netmodule	S	= schakelnetdeel
MA 1	= asmodule horizontale as	L	= vermogensdeel
MA 2	= asmodule verticale as	E	= signaalelektronica
$P_{V(S)}$	= verliesvermogen schakelnetdeel		
P_{VLMP}	= verliesvermogen netmodule		
$P_{VLMA(H)}$	= verliesvermogen verticale asmodule		
$P_{VLMA(F)}$	= verliesvermogen horizontale asmodule		



Verliesvermogens

schakelnetdeel

$$P_{V(S)} = 12 W + 13 W \cdot a = 12 W + 13 W \cdot 2 = 38 W$$

a = aantal assen

horizontale as

$$P_{VLMA(F)} = 14 \frac{W}{A} \cdot I_{eff} = 14 \frac{W}{A} \cdot 1.5 A = 21 W$$

vermogensdeel in de asmodule

verticale as

$$P_{VLMA(H)} = 14 \frac{W}{A} \cdot 1.1 A = 15.4 W$$

vermogensdeel in de asmodule

netmodule

$$P_{VLMP} = 2 \frac{W}{A} \cdot I_{F(T)} = 2 \frac{W}{A} \cdot (1.5 + 1.1) A = 5.2 W$$

koellichaam

$$P_{KK} = \frac{1}{2} P_{V(S)} + P_{VLMP} + \Sigma P_{VLMA} = 60.6 W$$

$$\Delta \vartheta = P_{KK} \cdot R_{KK} = 60.6 W \cdot 0.4 \frac{K}{W} = 24.2 K$$

Daarmee is een thermische veiligheid tot een theoretische omgevingstemperatuur van 80 °C – 24,2 K = 55,8 °C gegarandeerd.

17 Tabellenbijlage en legenda van tekens

17.1 Tabellenbijlage

Rendementen van overbrengingselementen

Overbrengingselement	Voorwaarden	Rendement
draadkabel	per volledige omspanning van de draadschijf (met glij- of wentellagers)	0,91 – 0,95
v-riem	per volledige omspanning van het v-riemwiel (normale riemspanning)	0,88 – 0,93
kunststof banden	per volledige omspanning/rollen met wentellagers (normale bandspanning)	0,81 – 0,85
rubberen banden	per volledige omspanning/rollen met wentellagers (normale bandspanning)	0,81 – 0,85
tandriem	per volledige omspanning/rollen met wentellagers (normale bandspanning)	0,90 – 0,96
ketting	per volledige omspanning/wielen met wentellagers (afhankelijk van de grootte van de ketting)	0,90 – 0,96
reductor	oliesmering, 3-traps (parallele assen), afhankelijk van reductorkwaliteit; bij worm- en kegelwielreductoren: volgens opgave van de fabrikant	0,94 – 0,97

Lagerwrijvingscoëfficiënt

Lager	Wrijvingscoëfficiënt
wentellagers	$\mu_L = 0,005$
glijlagers	$\mu_L = 0,08^{-1}$

Wrijvingswaarden voor spoorkrans- en wielenswrijving

Spoorkrans en wielenswrijving	Wrijvingswaarde
wielen met wentellagers	$c = 0,003$
wielen met glijlagers	$c = 0,005$
dwanggeleide rollen	$c = 0,002$

Wrijvingscoëfficiënten van verschillende materiaalcombinaties

Combinatie	Soort wrijving	Wrijvingscoëfficiënt
staal op staal	rustwrijving (droog)	$\mu_0 = 0,12 - 0,60$
	glijdende wrijving (droog)	$\mu = 0,08 - 0,50$
	rustwrijving (vet)	$\mu_0 = 0,12 - 0,35$
	glijdende wrijving (vet)	$\mu = 0,04 - 0,25$
hout op staal	rustwrijving (droog)	$\mu_0 = 0,45 - 0,75$
	glijdende wrijving (droog)	$\mu = 0,30 - 0,60$
hout op hout	rustwrijving (droog)	$\mu_0 = 0,40 - 0,75$
	glijdende wrijving (droog)	$\mu = 0,30 - 0,50$
kunststof riem op staal	rustwrijving (droog)	$\mu_0 = 0,25 - 0,45$
	glijdende wrijving (droog)	$\mu = 0,25$
staal op kunststof	glijdende wrijving (droog)	$\mu_0 = 0,20 - 0,45$
	glijdende wrijving (vet)	$\mu = 0,18 - 0,35$

Rollende wrijving (rolweerstandarm)

Combinatie		Rolweerstandarm	
staal op staal		$f \approx 0,5 \text{ mm}$	
hout op staal (rollenbaan)		$f \approx 1,2 \text{ mm}$	
kunststof op staal		$f \approx 2 \text{ mm}$	
hard rubber op staal		$f \approx 7 \text{ mm}$	
kunststof op beton		$f \approx 5 \text{ mm}$	
hard rubber op beton		$f \approx 10 - 20 \text{ mm}$	
middelhard rubber op beton		$f \approx 15 - 35 \text{ mm}$	
Vulkollan® op staal	Ø 100 mm	$f \approx 0,75 \text{ mm}$	Let op! Weerstandarm van rollende wrijving is sterk fabrikantafhankelijk, en afhankelijk van de vorm en de temperatuur.
	Ø 125 mm	$f \approx 0,9 \text{ mm}$	
	Ø 200 mm	$f \approx 1,5 \text{ mm}$	
	Ø 415 mm	$f \approx 3,1 \text{ mm}$	

Spilrendementen

Spil	Rendement
trapeziumschroefdraad afhankelijk van spoed en smering	$\eta = 0,3 \dots 0,5$
kogelomloopspil	$\eta = 0,8 \dots 0,9$

Literatuurverwijzing

- DIN/VDE 0113* Bepalingen voor de elektrische uitrusting van bewerkings- en verwerkingsmachines met een nominale spanning tot 1000 V.
- EN 60034* Bepalingen voor roterende elektrische machines.
- Dubbel* Handboek voor de Machinebouw, Band I und II.
- SEW* Handboek voor de Aandrijftechniek.
- SEW* Gegevens van de fabriek.

17.2 Legenda van tekens

Legenda van tekens voor de **verzamelde formules** en bij de **rekenvoorbeelden**.

a	versnelling	m/s^2
a_A	aanloopversnelling	m/s^2
a_B	remvertraging	m/s^2
a_U	omschakelvertraging van het hoge naar het lage toerental	m/s^2
α	hoekversnelling	$1/s^2$
α	hellingshoek	°
c	toeslag voor nevenwrijving en zijwrijvingswaarde	–
d	wiellagertapdiameter	mm
d_0	rondsel- of kettingwieldiameter voor uitgaande as reductor	mm
D	loopwieldiameter, trommel- of kettingwieldiameter	mm
η	rendement	–
η'	gedreven rendement	–
η_G	rendement van de reductor	–
η_T	totaal rendement	–
η_L	rendement van de last of het lastwerktuig	–
f	rolweerstandsarm	mm
f	frequentie	Hz
f_B	bedrijfsfactor	–
f_Z	toeslagfactor voor berekening radiale kracht	–
F	kracht	N
F_F	rijweerstand	N
F_G	gewichtskracht	N
F_N	normaalkracht loodrecht op de ondergrond	N
F_Q	radiale kracht	N
F_R	wrijvingskracht	N
F_S	weerstandkracht (heeft invloed op het statisch vermogen)	N
g	zwaartekrachtversnelling: 9,81 (constante)	m/s^2
i	reductoroverbrengingsverhouding	–
i_V	overbrengingsverhouding open overbrenging	–
J	massatraagheidsmoment	kgm^2
J_L	massatraagheidsmoment van de last	kgm^2
J_M	motormassatraagheidsmoment	kgm^2
J_X	lastmassatraagheidsmoment, gereduceerd op de motoras	kgm^2
J_Z	extra massatraagheidsmoment (verzwaarde ventilator)	kgm^2
$K_J/K_M/K_P$	rekenfactoren ter bepaling van de schakelfrequentie Z	–
L_B	remstandtijd (tot nastellen)	h
m	massa	kg
m_0	eigen massa = massa zonder toegevoegde nuttige last	kg
m_L	massa van de last	kg

M	koppel	Nm
M_a	koppel aan de uitgaande as	Nm
M_B	remkoppel	Nm
M_H	gemiddeld aanloopkoppel	Nm
M_K	kipkoppel	Nm
M_L	statisch motorkoppel van de last (zonder η)	Nm
M_N	nominaal koppel	Nm
M_S	statisch koppel (met η)	Nm
M_U	omschakelkoppel van hoog naar laag toerental bij pool- talomschakelbare motoren	Nm
μ	wrijvingscoëfficiënt glijdende wrijving	–
μ_0	wrijvingscoëfficiënt rustwrijving	–
μ_L	lagerrolweerstandcoëfficiënt	–
n	toerental	min^{-1}
n_a	uitgaand toerental reductor	min^{-1}
n_M	motortoerental	min^{-1}
n_N	nominaal toerental	min^{-1}
n_S	synchroon toerental	min^{-1}
ω	hoeksnelheid	rad/s
P	vermogen	W
P_B	remvermogen	kW
P_{DM}	dynamisch motorvermogen voor de eigen massa	kW
P_{DL}	dynamisch motorvermogen voor het versnellen van de last	kW
P_T	totaal motorvermogen	kW
P_N	nominaal vermogen	kW
P_S	benodigd statisch motorvermogen	kW
φ	hoekweg	° oder rad
r	radius	mm
R	regelbereik (toerentalinstelbereik)	–
ρ	soortelijke massa	kg/dm^3
s	weg	mm
s_A	aanloopweg	mm
s_B	stopweg	mm
s_F	verplaatsingsweg	m
s_T	totale weg	m
s_P	positioneerweg	m
s_U	omschakelweg van het hoge naar het lage toerental	mm
t	verplaatsingstijd of slagtijd	s
t_1	aanspreektijd van de rem	s
t_2	invaltijd van de rem	s
t_A	aanlooptijd	s
t_B	remtijd	s
t_F	verplaatsingstijd	s

t_T	totale tijd (bewegingsdiagram)	s
t_U	omschakeltijd van het hoge naar het lage toerental	s
t_Z	cyclustijd	s
v	snelheid	m/s
V	volume	dm ³
v_P	positioneersnelheid	m/s
W_B	remarbeid	J
W_N	remarbeid tot nastellen	J
X_B	positioneernauwkeurigheid (remweg-tolerantie)	mm
Z_0	toelaatbare nullastachakelfrequentie	c/h
Z_P	berekende toelaatbare schakelfrequentie	c/h



18 Index

Numerics

- 1-fase-loop 18
- 2-fasig omschakelkoppel 21

A

- aanloopgedrag, draaistroomkortsluitrotormotor 9
- aanloopkoppel 13
- aanloopstroom 13
- aanlooptijd 19
- aanlooptransformator 20
- aanspreektijd 23
- aanwijzingen voor het selecteren, variatoren 45
- afschakeltemperatuur 16
- afzonderlijk aangedreven ventilator 30
- apparaat voor zachte omschakeling 10
- applicatieregelaar 37
- asmodule 36
- asynchrone servomotoren 34
- ATEX 100a 17
- axiale krachten 54

B

- bedrijfsfactor 49, 50
- bedrijfsfactor, wormwielreductoren 51
- bedrijfsfactoren, variatoren 44
- bedrijfskarakteristieken 28
- bedrijfssoort 11, 14, 19
- bedrijfssoort S1 14, 19
- bedrijfssoort S2 14
- bedrijfssoort S3 14
- bedrijfssoort S4 14
- bedrijfssoorten S5 - S10 14
- benutting, thermisch 35
- bepaling van de radiale belasting 54
- bescherming tegen corrosie 17
- bescherming tegen overbelasting 18
- bescherming tegen vreemde voorwerpen 17
- beschermingsklasse 11, 17
- beveiliging tegen water 17
- beveiliging van de wikkelingen 18
- beveiliging, kwalificatie 18
- bimetaal 18
- bi-metaalschakelaar 18
- bimetaalschakelaar 18
- blokkering 18
- bouwgrootte 11

C

- CFC 27, 37
- constant koppel 28
- constant koppel, variatoren 41, 43
- constant nominaal koppel 29
- constant vermogen, variatoren 42, 43
- continu bedrijf 14
- continubedrijf 19
- cos pi 11, 13, 15
- current mode flux control 27, 37
- cyclusduur 15

D

- demensionering 30
- dimensioneerrichtlijnen 30
- dimensioneren 52
- dimensioneren van de motor 19, 30
- dimensioneren, motor 19, 30
- dimensionering 30
- dimensioneringscriteria, variatoren 40
- draagcapaciteit van de lagers 54
- draaistroomkortsluitrotormotor 9
- driehoekschakeling 20
- duur van belasting 15

E

- effectieve koppel 35
- eigen koeling 30, 31
- explosie veilig 17
- extra bedrijfsfactor, wormwielreductoren 51

F

- frequentie 13
- frequentieafwijking 18
- frequentieregelaar 27
- frequentieregelaar, geïntegreerde 27
- frequentieregelaar, optie 32

G

- gecombineerde reductoren 47
- geïntegreerde frequentieregelaar 27
- grens, thermisch 35
- grensbelasting 24
- groepsaandrijving 32

H

- hoge schakelfrequentie 19
- houdrem 23

I

- inschakelduur 14
- inschakelduur ID 19
- inschakelduur, relatieve 15
- instelbereik 40
- intermitterend bedrijf 14
- international protection 17
- IP 17
- isolatieklasse 11, 15, 16, 30, 31
- IxR-compensatie 30

K

- kipkoppel 13, 28, 29, 31
- koeling 30
- koelluchttemperatuur 16
- koppel, constant 28
- koppel, maximaal 35
- koppelreductie, pooltalomschakelbare motoren 21
- koppel-toerental-kromme 9
- koppeltoerental-krommen 35
- kortsluitbeveiliging 18
- kortstondig bedrijf 14
- krachtaangrijppunt 54

**L**

lage temperatuur 24
 lagerpot, verlengd 47
 lagerschade 18
 lastkarakteristiek 10
 lastkoppel 19
 lichten, mechanisch, rem 24
 losbreekstroom 13

M

MAS, asmodule 36
 massatraagheidsmoment 13
 massaversnellingsfactor 50
 maximale koppel 35
 maximale temperatuurstijging 16
 maximale temperatuurstijgingen 16
 MDS 37
 MDV 37
 mechanisch lichten, rem 24
 mechanische variatormotorreductoren 39
 motorafsteuning 53
 motorbeveiligingsschakelaar 18
 motorkarakteristiek 10
 motorkoeling 18, 30
 motorleiding, parallelbedrijf 32
 motortypeplaatje 11
 motoruitvoering 31
 MOVIDRIVE® 37
 MOVIDYN® 27, 36
 MOVIMOT® 27
 MOVITRAC® 27
 MPB, netmodule 36
 MPR, netmodule 36

N

netmodule 36
 nominaal motorvermogen 47
 nominaal spanningsbereik 13
 nominaal toerental 11, 12
 nominaal vermogen 11, 12
 nominale gegevens 11
 nominale punt 13
 nominale spanning 11, 13
 nominale stroom 11
 nominale vermogen 14, 19
 noodstop 23
 nood-uit-rem 24
 normaal bedrijf 18
 nullastchakelfrequentie 19

O

omgevingscondities 17
 omgevingstemperatuur 11, 12, 16, 24
 omschakelkoppel 10, 21
 onderdimensionering 13
 onderspanning 13
 opstellingshoogte 11, 12
 overbelasting 18
 overbelastingsbeveiliging, variatoren 44
 overbrengingselement 54

overstroom 18

P

parallelbedrijf 32
 planetaire motorreductoren 52
 pooltal 11
 pooltalomschakelbare motoren 9
 pooltalomschakelbare motoren, frequentieregelaar 32
 projecteringsvolgorde, servoaandrijving 38
 PTC 18

R

radiale krachten 54
 railsysteem 32
 reductoren, spelingsarme 52
 reductorspeling 53
 regelaar, modulair 36
 regelnauwkeurigheid 30
 relatieve inschakelduur 15
 remcontact 25
 reminvaltijd 23, 24
 remkoppel 24
 remmotor 23
 remreactietijd 23
 remtijd 24
 remverwarming 24
 remweg 24
 rendement 13, 15, 48
 rendement van de reductor 47
 rendement van de vertanding 48
 reverseren 18
 riemvariators 39
 RM 47
 roerwerk 47
 rondloopkwaliteit 30

S

S1 14, 19
 S1-bedrijf 19
 S2 14
 S3 14, 19
 S3-bedrijf 19
 S4 14, 19
 S4-bedrijf 19
 S5 - S10 14
 schakelfrequentie 19, 20
 schakelfrequentie, toelaatbare 19
 servoaandrijving 52
 servomotoren 34
 servomotorreductoren 53
 servoregelaar 27, 36
 slip 12, 13
 slipcompensatie 30
 smeltveiligheden 18
 smoorspoel 20
 spanning 13
 spanningsafwijking 18
 spelingsarme planetaire motorreductoren 52
 spelingsarme reductoren 52



spelingsarme servomotorreductoren 53
 standaardreductoren 46, 52
 statisch vermogen 19
 ster-driehoek-schakeling 20
 sterkte van de as 54
 sterschakeling 20
 stootgraad 50
 stopnauwkeurigheid 24
 stroomafhankelijke beveiliging van de wikkeling 18
 stroomstootbelasting 25
 synchrone servomotoren 34
 synchrone toerental 12
 synchrone toerentallen 11
 synchroon toerental 9
 systeembus, MOVIDRIVE® 37

T

tegenkoppel 19
 temperatuur van de wikkeling 16
 temperatuurafhankelijke beveiliging van de wikkeling 18
 temperatuurvoeler 18, 30, 31
 TF 30, 31
 TH 30, 31
 thermische benutting 35
 thermostaat 18, 30, 31
 toegevoegd massa-traagheidsmoment 19
 toelaatbare schakelfrequentie 19
 toerentalbereik 31
 toeslagfactor 54
 tolerantie A 13
 toleranties 13
 totale bedrijfsfactor, wormwielreductoren 51
 tweespoelen-remsysteem 23
 type beveiliging 18
 typesprong 30

U

uitgaand koppel 47, 49
 uitgaand toerental 47
 uitgaand vermogen 49

V

variatormotorreductor, keuze 40
 variatormotorreductoren, mechanisch 39
 veldverzwakking 28
 veldverzwakkingsgebied 31
 ventilator, verzwaarde 20
 verdraaiingshoek 53
 verhoogde bescherming tegen corrosie 17
 verlengde lagerpot 47
 vermogen, statisch 19
 vermogensbehoefte 19
 vermogensfactor 15
 vermogensreductie 12
 verzwaarde ventilator 20
 VFC 27, 37
 voltage mode flux control 27, 37
 vreemde koeling 31

W

werkpunt, draaistroomkortsluitrotormotor 10
 werkrem 23
 wikkelingstemperatuur 16, 18
 woelingsverliezen 30, 48
 wrijvingsverlies 48
 wrijvingswielvariators 39

Z

zachte aanloop 20
 zachte omschakeling 20, 22
 zware aanloop 18

