

HOE KIES IK DE MEEST OPTIMALE ELEKTRISCHE AANDRIJFTECHNOLOGIE VOOR MIJN MACHINE?

Voor elektrische aandrijvingen met vermogens tot 1.5 kW is het gebruik van de Brushless DC-motor (BLDC), Permanent Magneet Synchroon Motor (PMSM), StappenMotoren (SM) en Brushed DC-motor (BDC) wijdverspreid. Voor uw machinetoepassing is er meestal voldoende informatie beschikbaar bij de leverancier om de motor te dimensioneren. Maar bij het kiezen voor een bepaalde motortechnologie en te grasduinen in de datasheets van dergelijke motoren sluit je meteen een gans gamma aan alternatieven uit. Nochtans, de keuze voor de ene of andere technologie kan een zeer grote impact hebben op de werking van de aandrijving, de kostprijs en de best haalbare performantie.

De onderzoeksgroep Elektromechanische Aandrijvingen van Universiteit Gent campus Kortrijk vergeleek enkele karakteristieken en zette de keuzecriteria naast elkaar in het kader van het TeTRa project AMoCAD.

Voor motoren met een vermogen tot 1500 Watt twijfelen de machinebouwers vaak - of net te weinig - welke type motor te kiezen voor de aandrijving. De onderzoeksgroep Aandrijvingen van UGent vergeleek daarom meer dan 140 motoren van meer dan 8 fabrikanten en 5 verschillende technologieën. Typische vergelijkende criteria zijn o.a. koppel, snelheid, vermogensdichtheid en kostprijs. Theoretisch bestaan er enkele vuistregels om het type motor te selecteren. Deze motorstudie moet uitwijzen of deze vuistregels, ondanks de technologische vooruitgang, nog altijd up-to-date zijn.

INZICHT IN DE WERKING VAN DE MOTOR HELPT U DE KEUZE BEPALEN

Naast een vergelijking op basis van prestaties, is het belangrijk essentiële werkingsprincipes van de motoren te kennen. Deze verschillen naargelang de aangelegde spanning, de opbouw en het aantal polen en hoe het magnetisme wordt opgewekt en koppel gegenereerd.

THEORETISCH GEZIEN HEEFT ELKE TYPE MOTOR ZIJN STERKTES

Gebaseerd op de werking van de motor technologieën en hun werkingsprincipes zijn er een aantal algemene vuistregels.

- Een BDC-motor of gelijkstroommotor is soms interessant door zijn eenvoudige koppelvorming, waarvoor in principe geen omvormer nodig is. De levensduur is echter gelimiteerd door slijtage van de koolstofborstels.
- BLDC-motoren zijn ideaal geschikt voor hoge snelheidstoepassingen.
- PMSM-motoren leveren de beste prestaties met minimale koppelrimpel en hoge energie-efficiëntie.

- Inductiemotoren combineren een robuuste werking met een lage kostprijs.
- Stappen motoren zijn geschikt voor positioneerapplicaties zonder terugkoppeling.

Niet elk type motor heeft een omvormer of feedbacksignaal nodig om te kunnen functioneren. Een BDC-motor vereist enkel het aanleggen van een DC-spanning, terwijl een inductiemotor simpelweg op het AC-net kan worden gevoed. Standaard is een omvormer nodig voor zowel de BLDC-motor, de stappenmotor als de PMSM. De BLDC en PMSM hebben bijkomend zelfs een feedbacksignaal (Hall, encoder of resolver) nodig om te kunnen functioneren. De positie bij de stappenmotor is namelijk gekend aan de hand van het aantal gestuurde pulsen door de omvormer. Bijgevolg is het type regeling dat gebruikt kan worden afhankelijk van de minimale configuratie van de motor. Dit wordt weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Welke regeling is mogelijk met de motor bij minimale configuratie

Motor technology	ON/OFF	Speed Control	Position Control
BDC	✓		
IM (Direct on line)	✓	✓	
BLDC + Drive + Hall	✓	✓	
PMSM + Drive + Encoder	✓	✓	✓
Stepping Motor + Drive	✓	✓	✓

Het regelprincipe waarop de snelheids- en positieregeling gebaseerd is, wordt cascaderregeling genoemd. Dit principe wordt praktisch het meest gebruikt in positioneertoepassingen.

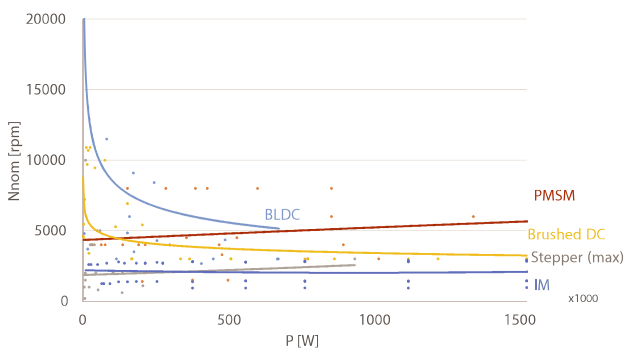
KWANTITATIEVE VERGELIJKING OP BASIS VAN DATASHEETS

Bovenstaande lijst van vuistregels is vrij algemeen aanvaard en bekend. Nieuw is echter dat de onderzoeksgroep Aandrijvingen meer dan 140 motoren vergeleek op basis van volume, nominale snelheid, nominaal koppel, maximaal koppel, maximale snelheid, vermogen, rotor inertie, maximum versnelling en prijs.

Snelheid

Wanneer de nominale rotatiesnelheid vergeleken wordt met het vermogen in Figuur 1 dan wordt bevestigd dat BLDC-motoren uitermate geschikt zijn voor hoge snelheidstoepassingen. In het bijzonder kleine BLDC-motoren zijn ten gevolge van hun lage inertie zeer hoge snelheden (ca. 20000 – 60000 rpm) halen.

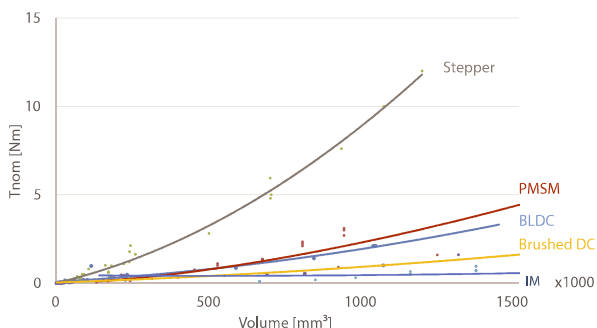
Stappenmotoren blijken een slechte optie te zijn voor hoge snelheidsapplicaties. De maximale snelheid van permanent magneet motoren is begrensd tot 8000 rpm door de mogelijkheid van de omvormers om een sinusvormige stroom te genereren. Tenslotte zal de maximale snelheid van de BDC-motoren beperkt zijn tot 10000 rpm door de slijtage van de borstels bij hogere snelheden. Het nominale toerental van inductiemachines wordt gekenmerkt door de netfrequentie. Door de machine aan te sturen met een omvormer kan het maximale toerental van inductiemachines makkelijk tot het dubbel van het nominaal toerental worden opgetrokken, weliswaar met een gereduceerd koppel.



Figuur 1: Vergelijking motoren: Snelheid i.f.v. Vermogen

Koppeldichtheid

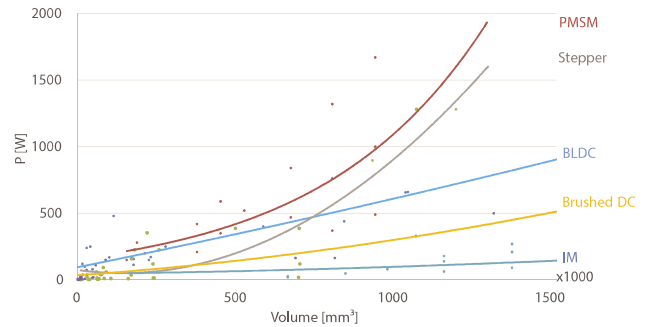
In Figuur 2 wordt het leverbare koppel vergeleken met het volume van de motor. Dit illustreert de excellente koppeldichtheid van stappenmotoren. Dankzij hun optimale commutatie zijn PMSM gekenmerkt door een hogere koppeldichtheid dan BLDC en BDC-motoren. Inductiemotoren bezitten het laagste maximaal koppel in vergelijking tot het volume.



Figuur 2: Vergelijking motoren: Koppel i.f.v. Volume

Vermogendichtheid

Wanneer de inbouwruimte beperkt is, kan de vermogendichtheid een richtinggevende factor zijn. Op Figuur 3 is te zien dat de PMSM de beste eigenschappen heeft dicht gevolgd door de stappen motoren.

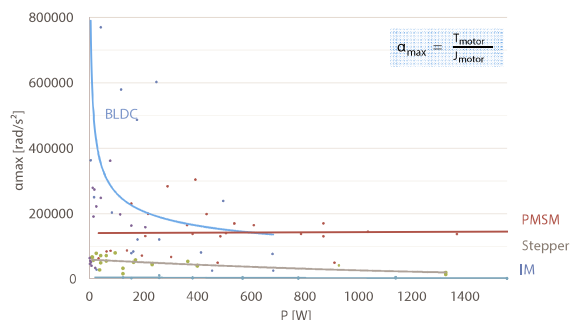


Figuur 3: Vergelijking motoren: Vermogen i.f.v. Volume

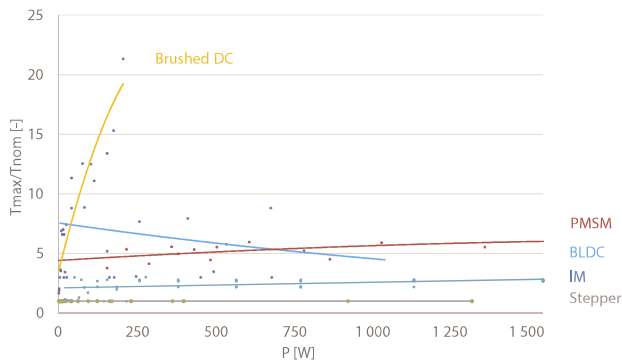
Versnelling en mate van overbelasting

Voor dynamische toepassingen is de maximale versnelling de belangrijkste keuzeparameter. Om deze vergelijking te maken dient het maximaal koppel van de motoren gedeeld te worden door de rotorinertie en uitgezet op basis van het vermogen in Figuur 4. De grafiek illustreert de sterke dynamische prestaties van BLDC-motoren in het vermogen bereik tot ca. 500W. Desalniettemin wordt de PMSM even interessant bij de hogere vermogens boven de 500W. Over het algemeen is de stappenmotor niet zo interessant voor het halen van grote versnellingen. Inductiemotoren worden beter vermeden voor zeer dynamische applicaties omwille van hun hoge inertie.

BDC, PMSM en BLDC-datasheets tonen naast een nominaal koppel een maximaal koppel toepasbaar over een beperkte tijd. De verhouding tussen deze twee grootheden kan worden beschouwd als de overbelastbaarheid. Deze parameter wordt voorgesteld in Figuur 5 en kan bruikbaar zijn in hoog dynamische toepassingen waar een tijdelijk extra koppel nuttig kan zijn voor een snelle acceleratie. Verrassend genoeg is de BDC-motor de best geschikte motor op het gebied van overbelasting, weliswaar bij een beperkt vermogen.



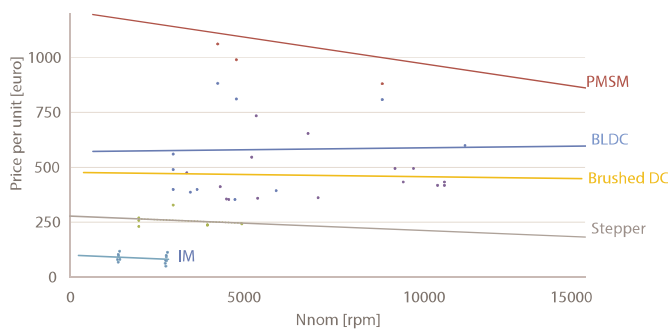
Figuur 4: Vergelijking motoren: Versnelling i.f.v. Vermogen



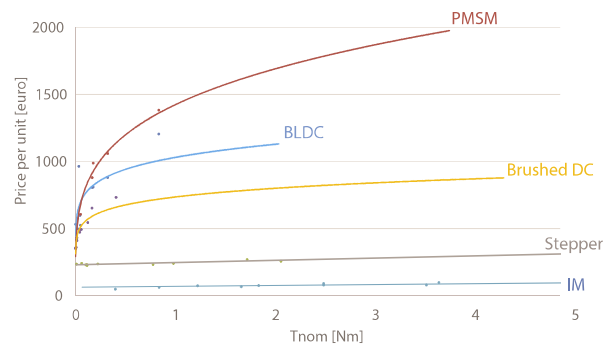
Figuur 5: Vergelijking motoren: Overbelastbaarheid i.f.v. Vermogen

Kostprijs

Tot slot is de prijs meestal ook doorslaggevend om een bepaalde motortechnologie te verkiezen. Naast de materiaalkostprijs is er natuurlijk de inspanning om een eventuele nieuwe technologie aan te leren. De vergelijkingen zijn gebeurd op basis van bruto catalogusprijzen. De prijs omvat telkens alle componenten nodig voor de minimumconfiguratie zoals reeds aangegeven in Tabel 1. De grafieken tonen het bijzonder prijsgunstig karakter van de inductiemachine terwijl de PMSM-encoder-omvormer combinatie in de meeste gevallen de duurste oplossing is.



Figuur 6: Kostprijs i.f.v. Snelheid



Figuur 7: Kostprijs i.f.v. Koppel

VERGELIJKEND BESLUIT

De resultaten van de vergelijkende studie van motortechnologie tot 1500W zijn samengevat in Tabel 2. De belangrijkste conclusies zijn daarbij de volgende. Eerst en vooral zien we dat de BLDC het best geschikt is voor hoge snelheidstoepassingen. Voor hogere koppels is de stappenmotor de beste optie. Wat betreft vermogensdichtheid is de PMSM het best geschikt, terwijl de hoogste maximale versnellingen door een BLDC worden behaald. De overbelastingsgraad valt het best uit voor de BDC-motoren. Inductiemotoren zijn dan weer de meest economisch interessante oplossing.

Ten opzichte van de algemene vuistregels vallen enkele zaken op.

- Het is een algemene misvatting dat de BDC-motoren over het algemeen de goedkoopste optie zijn. Alhoewel dit type motor steeds interessant kan zijn omwille van zijn hoge overbelastingsgraad.
- BLDC-motoren zijn vooral interessant voor hogesnelheidstoepassingen en toepassingen waar een constante snelheid is vereist. Deze gebruiken voor positiecontrole zou kostinefficiënt zijn, maar kan rechtmatig zijn indien de keuze gemaakt is omwille van hun hoge dynamiek.

Tabel 2: Prestatie volgens de criteria (1: best en 5: slechtst)

Criterion	BDC	BLDC	PMSM	Stepping Motor	Induction Motor
Nominal speed	2-3	1	2-3	4-5	4-5
Nominal torque	4	3	2	1	5
Power density	4	3	1	2	5
Maximum Acceleration	-	1	2	4	5
Overload capacity	1	2-3	2-3	5	4
Electrical dynamics	1	2-3	2-3	4	-
Mechanical dynamics	5	2	3	1	4
Price	2	3	4	2	1

- PMSM zijn gekend als de duurste optie, maar die hogere prijs bevat reeds een positierugkoppeling wat zeer interessant kan zijn voor nauwkeurige positioneertoepassingen.
- Stappenmotoren scoren uitzonderlijk goed qua maximaal koppel. Deze zijn in het bijzonder interessant bij openloop positioneren. Dit type motor gebruiken voor het aandrijven van constante snelheidstoepassingen zoals ventilatoren of pompen zou een minder goeie optie zijn gezien de gelimiteerde maximale snelheid. In dat geval kan dit enkel worden verantwoord door hun lage prijs.
- Het hoge marktaandeel van inductiemotoren gaat hand in hand met hun interessante prijszetting. De afwezigheid van permanente magneten maakt hen ietwat groot, maar de mogelijkheid hen rechtstreeks op het net te koppelen kan in sommige gevallen de doorslag geven.

TeTRa project AMoCAD wil de meerwaarde van CAD simulatietools demonstreren aan KMO's

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van TeTRa project AMoCAD. Een TeTRa project is een door de overheid gesubsidieerde toegepast onderzoeksproject. Het doel hierin is dat bedrijven kennis opdoen rond het dimensioneren van complexe aandrijvingen. Dit jaar staat nog een studiedag ingepland waarin de mogelijkheden van CAE-tools worden gedemonstreerd en dit om de praktische implementatie van dergelijke tools bij KMO's te versnellen. Wil u meer weten over de uitgebreide projectresultaten, neem dan contact op via: amocad@ugent.be

Studiedag TETRA op 21 september 2017: Aandrijfselectie voor motion applicaties d.m.v. CAD-tools.

De auteur van dit artikel Heinz Vervaeke (heinz.vervaeke@ugent.be) werkt momenteel als wetenschappelijk medewerker bij de onderzoeksgroep Dynamic Systems and Control van Universiteit Gent campus Kortrijk. Het Tetra onderzoeksproject AMoCAD loopt in samenwerking met Sirris en voert hij samen met zijn collega's Foeke Vanbecelaere, Simon Houwen, Bart Vanwalleghem, Stijn Derammelaere en Kurt Stockman.

Compact PLC met talrijke functies voor de voedingsindustrie

MELSEC iQ-F series



 **MITSUBISHI ELECTRIC**
FACTORY AUTOMATION

ontdek meer op : www.esco.be
of bel naar : 02 717 64 60

 **escoDRIVES**