

Vergelijking servo-aandrijvingen

P.H.W. Tolenaar en Ir. B. Dullo

Indutron BV, Sliedrecht

Ontwikkelingen van de laatste jaren hebben geleid tot de opkomst van een nieuw soort aandrijfsysteem, dat inmiddels rijp is voor toepassing in de serieproductie: de draaistroomservomotor met elektronische commutatie.

Hieronder volgt een beknopte vergelijking tussen enerzijds de zogenaamde conventionele gelijkstroomservo-aandrijving en anderzijds een nieuw systeem dat gebaseerd is op een synchroommotor zonder borstels, maar met elektronische commutatie, waarbij van de nieuwste vermogenstransistoren gebruik wordt gemaakt. Niet alleen deze nieuwe techniek op zichzelf, maar ook de kostprijs ervan is belangrijk voor een juiste systeemkeuze.

Elektronische Commutatie

Conventionele gelijkstroomservomotoren hebben een magnetisch veld, dat opgewekt wordt door permanente magneten (Barium-ferriet, ALNICO, Samarium-cobalt). Deze magneten bevinden zich in de stator van de motor; zie figuur 1. Het moment aan de motoras ontstaat doordat de ankerstroom door de op de rotor aangebrachte wikkelingen vloeit. Door deze mechanische opbouw is het noodzakelijk om de commutatie van de motorstroom te laten verlopen via borstels die zich in de stator bevinden en een op het roterende anker

aangebrachte collector. Bij de draaistroomservomotor is het basisprincipe omgedraaid: de permanente magneten bevinden zich op de rotor, terwijl een driefasenwikkeling in de stator ondergebracht is; zie figuur 2. De mechanische collector en de borstels die eerst nodig waren voor de commutatie zijn verdwenen en vervangen door een compacte besturingselektronica met elektronische commutatie, die niet aan slijtage onderhevig is

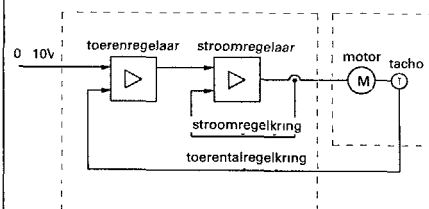
Regelgebied tot 1 : 10000

De gelijkstroomservomotor wordt naar keuze gebruikt in combinatie met thyris-

torregelaars of met transistorregelaars voor de regeling van het toerental. De regelektronica bestaat daarbij uit een cascadeschakeling van de stroomregelkring met een overkoepelende toerentalregelkring, zie figuur 3; de volgende vergelijkingen gelden hiervoor:

$$M \triangleq I_a$$

$$n \triangleq U_a$$



Figuur 3 Principeschema van een gelijkstroomservo-aandrijving

De borstelloze draaistroomservomotor wordt door een driefasen-transistorbrug gestuurd, waarvoor geldt:

$$M \triangleq I_a$$

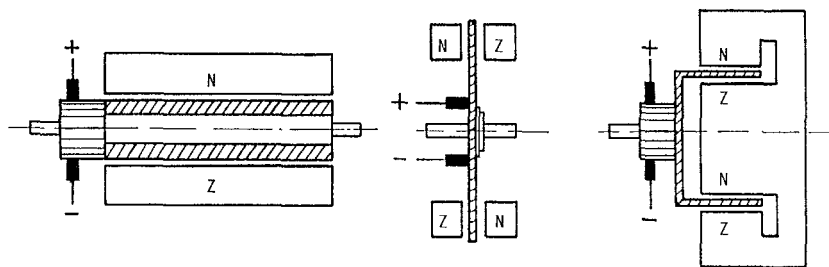
$$n \triangleq f$$

Hierin is:

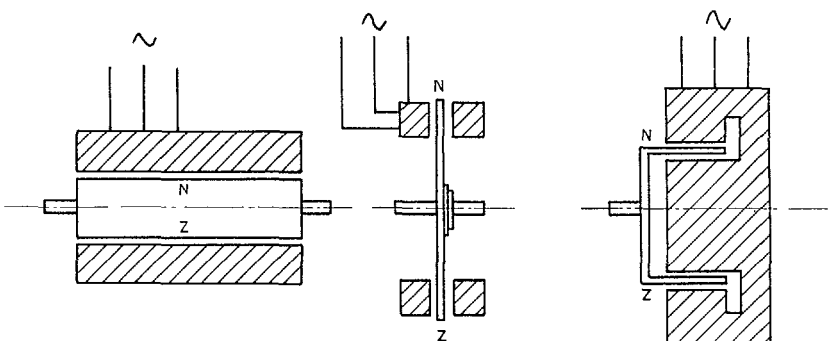
- M = motormoment in Nm
- I_a = ankerstroom in A
- n = toerental in omw/min
- U_a = ankerspanning in V
- f = frequentie in Hz

In de motor zijn een rotorpositiesensor en een borstelloze tachogenerator ingebouwd. De regelektronica hiervoor bestaat zoals bij de gelijkstroommotor uit een cascadeschakeling, maar dan met een stroomregelkring die via een digitaal werkende draaiveldregelaar met de rotorpositiesensor is verbonden, waardoor de elektronische commutatie in de statorwikkeling geregeld wordt; zie figuur 4. De regelektronica kan aangesloten worden op de gebruikelijke stuursignalen van +/- 10 V. Figuur 5 toont een modulair opgebouwde borstelloze draaistroomservo-aandrijving bestaande uit motormodule, regelektronica en motor.

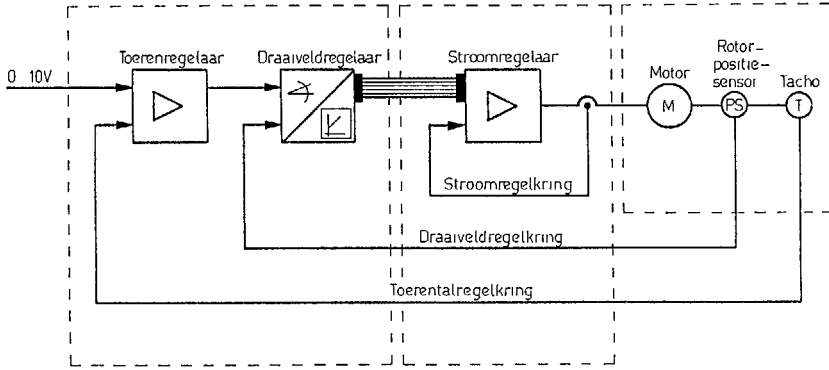
Door de huidige ontwikkelingen is het mogelijk om met draaistroomservomotoren een groot regelgebied te realiseren, tot 1 : 10000, zoals bij gelijkstroomservo-aandrijving mogelijk is.



Figuur 1 Gelijkstroomservomotor met staafanker, schijfanker en korfanker



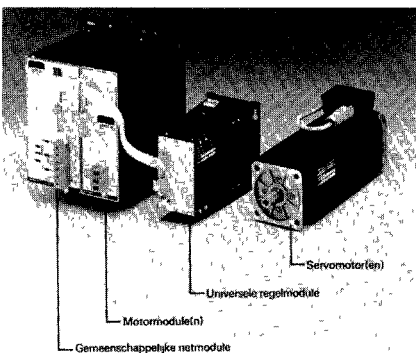
Figuur 2 Draaistroomservomotoren met staafanker, schijfanker en korfanker



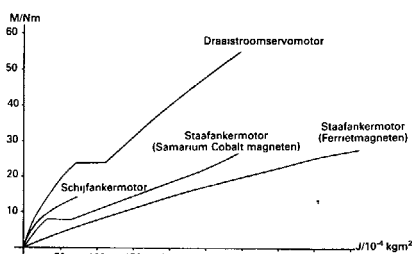
Figuur 4 Principeschema van een draaistroomservo-aandrijving

Klein massatraagheidsmoment

Een vergelijking van het massatraagheidsmoment met conventionele gelijkstroomservomotoren in staafanker- of schijfankeruitvoering, geeft voor de draaistroomservomotor aanmerkelijk betere waarden te zien. In figuur 6 is het nominale moment van verschillende motortypen aangegeven als functie van het massatraagheidsmoment. Door de bijzonder compacte bouwvorm van de borstelloze motor ontstaat een buitengewoon goede vermogen/gewicht-verhouding. In vergelijking met de staafankermotor (met ferrietmagneten) is het gewicht van een draaistroomservomotor ongeveer 50% lager, en ca. 30% lager in vergelijking met gelijkstroomservomotoren die een schijfvormig anker hebben.



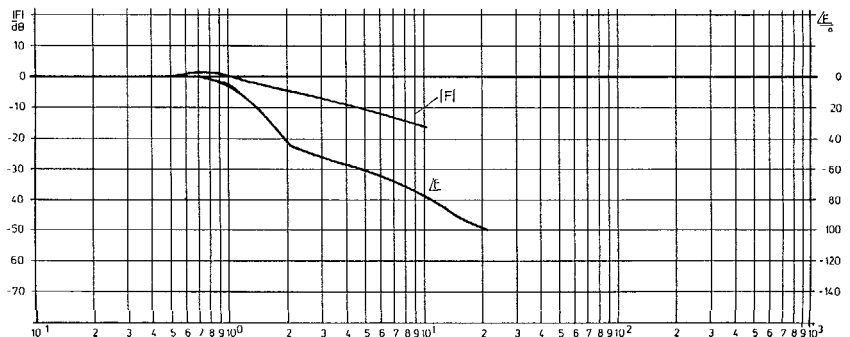
Figuur 5 Modulaar opgebouwde borstelloze draaistroomservo-aandrijving



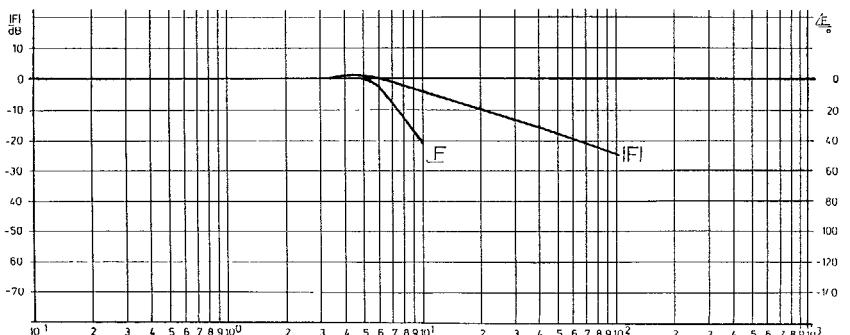
Figuur 6 Draaimoment als functie van het massatraagheidsmoment. Vergelijking tussen drie typen gelijkstroomservomotoren met een draaistroomservomotor

Bijzondere dynamische eigenschappen

Voor de beoordeling van het dynamisch gedrag van de verschillende servosystemen zijn responsmetingen verricht die een en ander duidelijk weergeven. De metingen zijn uitgevoerd zonder een externe belasting. De aanloopstroom was begrensd op de tweevoudige nominale ankerstroom; het toerental bedroeg 2000 omw/min. Figuur 7 toont de karakteristiek van een gelijkstroom-staafankermotor met ferrietmagneten en een nominaal asmoment van 7 Nm. Deze motor was gekoppeld aan een 6-puls thyristorregelaar volgens het zogenaamde kringstroomprincipe. Vanwege het hoge toerental mocht de tweevoudige ankerstroom slechts in het on-



Figuur 7 Karakteristiek van gelijkstroomservomotor met staafanker (ferrietmagneten) met thyristorregelaar



Figuur 8 Karakteristiek van gelijkstroomservomotor met schijfanker met transistorregelaar. In de figuren 7, 8, 9 en 10 is links, verticaal de toerental-amplitudeverhouding; rechts, verticaal, de faseverschuiving en horizontaal de frequentie f (Hz)

derste toerentalgebied toegestaan worden en daarom werd deze stroom door de toerentalafhankelijke stroomregeling automatisch in het hoge gebied begrensd.

Voor een gelijkstroom-schijfankermotor met een nominaal moment van 7 Nm is het resultaat van gelijksoortige metingen in afbeelding 8 en 9 te zien. In afbeelding 8 is de motor aangesloten op een transistorregelaar met pulsbreedtemodulatie, en in afbeelding 9 op een thyristorregelaar met kringstroom. Door de afwijkende opbouw en geringe zelfinductie van de schijfankermotor mag hier bij het hoge toerental de tweevoudige ankerstroom wel als aanloopstroom toegestaan worden.

De meetresultaten van een draaistroomservomotor met eveneens 7 Nm zijn in afbeelding 10 te zien. Deze motor is aangesloten op een draaistroom-brugschakeling met pulsbreedtemodulatie. Ook hier kon bij het hoge toerental de tweevoudige ankerstroom toegestaan worden, omdat enerzijds de collector ontbreekt en anderzijds geen commutatieproblemen kunnen ontstaan.

De draaistroomservomotor heeft ten opzichte van de gelijkstroomservomotor de volgende voordelen:

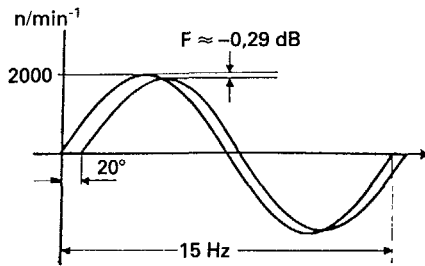
- onderhoudsvrij (geen mechanische collector),
- leverbaar in explosieveilige uitvoering,

- goede dynamische eigenschappen,
- geen toerentalafhankelijke stroombegrenzing nodig,
- eenvoudige inbedrijfstelling.

De voordelen van een gelijkstroomaandrijving zijn:

- bijzonder goede regeleigenschappen,
- goedkoper dan voor draaistroom,
- bekende technologie,
- eenvoudiger opbouw van de elektronische regelunits.

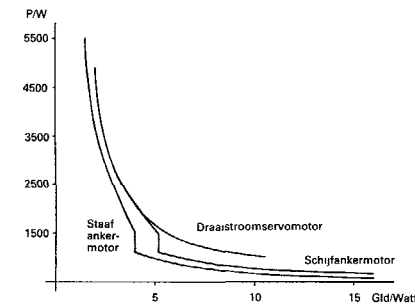
Aangezien beide systemen op een gelijkstroomtussenkring gebaseerd zijn, is het mogelijk om een aantal aandrijvingen met gebruikmaking van slechts een enkele netmodule op te bouwen, waarbij zowel gelijkstroom als draaistroom motormodules naar keuze gebruikt mogen worden. Ook kan hierbij een netmodule gekozen worden met de



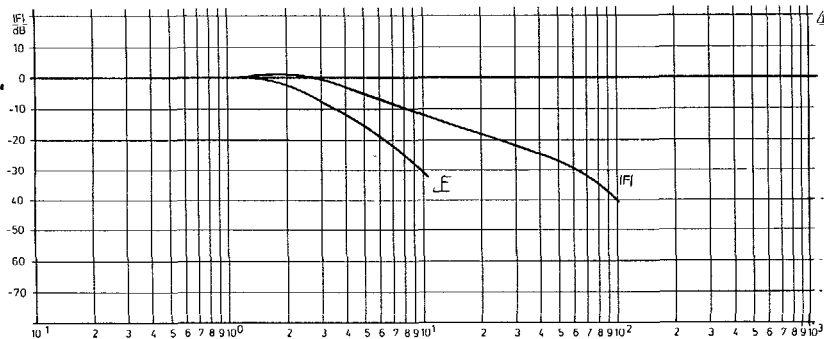
Figuur 11 Faseverschuiving bij 15 Hz van de draaistroomservomotor

mogelijkheid om tijdens generatorbedrijf van de motor de vrijkomende elektrische energie in het net terug te voeden (bijvoorbeeld bij wikkelaandrijvingen).

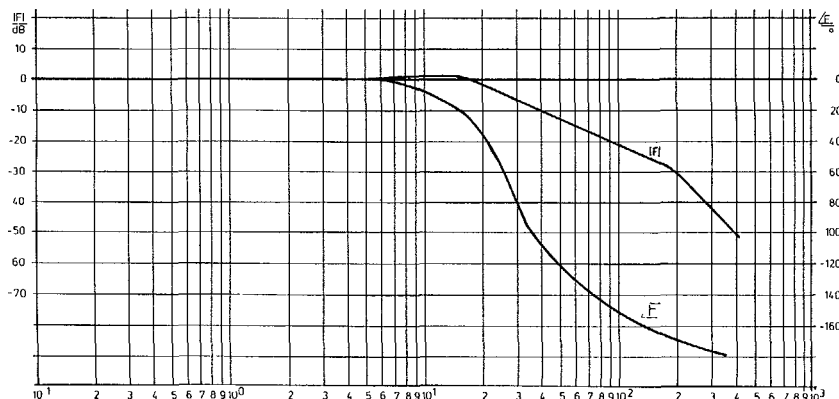
In figuur 11 worden de meetresultaten van de draaistroomservomotor verduidelijkt. Aan de ingang van de toerenregelaar is een sinusvormige referentiewaarde met een amplitude van 10Vpp aangelegd. Dit heeft een sinusvormig toerentalverloop van de motoras tot gevolg met een amplitude van 2000 omw/min. Tot een frequentie van 6 Hz zijn zelfs bij deze grote amplitude geen resonantieverschijnselen of faseverschuiving meetbaar. In afbeelding 11 is het gedrag bij een frequentie van 15 Hz weergegeven. Opmerkelijk is dat de faseverschuiving bij een frequentie van 30 Hz nog steeds onder 90 graden blijft.



Figuur 12 Vermogen als functie van de prijs per Watt voor twee typen gelijkstroomservomotoren en de draaistroomservomotor



Figuur 9 Karakteristiek van gelijkstroomservomotor met schijfanker met thyristorregelaar



Figuur 10 Karakteristiek van draaistroomservomotor met transistorregelaar

Prijsvoordeel vanaf 1,5 kW

Om de economische haalbaarheid van de verschillende systemen te onderzoeken, zijn diverse calculaties voor complete aandrijfsystemen gemaakt, bestaande uit motor, toerentalregelaar, smoorspoel (indien nodig) en nettransformator. Aangezien de draaistroomservomotor uitmuntende dynamische eigenschappen heeft in combinatie met een draaistroomtransistorbrug met pulsbreedtemodulatie, is bij de calculatie van de andere aandrijfsystemen eveneens uitgegaan van het gebruik van een regeleenheid in transistortechniek. Het resultaat van de berekeningen is te zien in figuur 12. Vanwege de complexere elektronische eenheden voor de besturing van de draaistroomservomotor zijn deze voor kleine vermogens wezenlijk duurder dan een gelijkstroomstelsel voor klein vermogen. Vanaf ongeveer 1,5 kW wordt de meerprijs voor de elektronische eenheid opgeheven door de aanmerkelijk goedkopere draaistroommotor. De kostprijs komt dan op hetzelfde niveau als van een aandrijving met gelijkstroomschijfanker-motor.

Inbedrijfstelling niet complexer

Doordat de regelelektronica evenals bij de bestaande systemen is voorzien van een gestandaardiseerde ingang van +/- 10V, is het enige meerwerk dat ontstaat de bedrading naar de motorklemmen, de borstelloze draaistroomtachogenerator en de rotorpositiesensor. De signalen van de tachogenerator en de sensor zijn in een gemeenschappelijke connector ondergebracht die met de regelelektronica verbonden moet worden. Hiervoor staan kant en klare verbindingskabels met connectors ter beschikking, die meteen aangesloten kunnen worden.

Conclusie

Voor systemen waarbij een gelijkmatige loop en goede regeleigenschappen van essentieel belang zijn zullen voorlopig nog gelijkstroomssystemen worden ingezet. Afgezien van de hogere kostprijs bij kleine vermogens, biedt een moderne draaistroomservo-aandrijving vanaf ongeveer 1,5 kW belangrijke voordelen, met name ten aanzien van het onderhoud en dynamisch gedrag. Daarom zullen deze systemen meer en meer worden toegepast.