

Praktische combinaties van aandrijfmachines met elektronische omzeters

# Moderne elektrische aandrijftechniek

De basis van de elektrische aandrijving is de elektrische machine, de omzetter van elektrische in mechanische energie (of omgekeerd). In de moderne elektrische aandrijftechniek zal deze, afhankelijk van de gestelde eisen, veelal via een vermogenselektronische omzetter gevoed worden uit een bron van elektrische energie (elektriciteitsnet, accu, generator).

Enkele argumenten om voor een elektrische aandrijving te kiezen in plaats van bijvoorbeeld een hydraulische of pneumatische zijn:

- elektriciteit is eenvoudig te transporteren;
- een elektrische aandrijving heeft een hoog rendement en lage nullastverliezen;
- een elektrische aandrijving is schoon en geluidsarm;
- een elektrische aandrijving is onderhoudsarm;
- een elektrische aandrijving is direct beschikbaar (bijvoorbeeld geen opwarmtijd).

### Stationaire karakteristieken

Bij de beschouwing van aandrijvingen wordt vaak gebruik gemaakt van koppel-hoeksnelheidskarakteristieken. In figuur 1 zijn als voorbeeld de karakteristieken van een asynchrone machine en van een ventilator weergegeven in het koppel-hoeksnelheidsvlak. Dit koppel-hoeksnelheidsvlak wordt vaak gebruikt bij het vastleggen van de eisen aan een aandrijving.

M.J. HOEIJMAKERS

Voor het verloop van veel processen is mechanische energie nodig, die bijvoorbeeld via een elektrische aandrijving kan worden geleverd. Deze mechanische energie kan overgedragen worden via een translerende of een roterende beweging. Dit artikel geeft een overzicht van een aantal veel gebruikte aandrijvingen met een roterende as en hun kenmerkende technische eigenschappen.

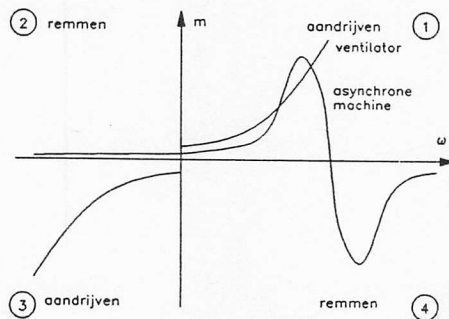


Fig. 1. De karakteristieken van een asynchrone machine en van een ventilator in het koppel-hoeksnelheidsvlak.

Als men de ventilator met de asynchrone machine met een constant toerental wil aandrijven, zal het aandrijvende koppel van de asynchrone machine in evenwicht moeten zijn met het belastende koppel van de ventilator. Bij een ventilatoraandrijving zal overigens meestal alleen het eerste kwadrant beschouwd worden.

### Dynamisch gedrag

In veel gevallen (zoals bijvoorbeeld bij tractie, pompen, compressoren en ventilatoren) zal men geen bijzondere eisen stellen aan het dynamische gedrag van een aandrijving. Er zijn echter ook situaties waarbij (juist) hoge eisen gesteld worden (zoals bij robots, staalwalsen en liften). Hierbij wil men het elek-

trische koppel instantaan kunnen sturen.

### Gelijkstroommachine

Voor het koppel van de gelijkstroommachine (fig. 2) geldt:

$$m_e = C i_a \Phi_f \quad (1)$$

Hierin is  $C$  een machineconstante,  $i_a$  de ankerstroom en  $\Phi_f$  de hoofdflux.

Voor het ankercircuit geldt:

$$u_a = R_a i_a + e_a = R_a i_a + C \omega_m \Phi_f \quad (2)$$

Hierin is  $u_a$  de ankerspanning,  $R_a$  de ankerweerstand,  $e_a$  de rotatiespanning en  $\Phi_m$  de mechanische hoeksnelheid.

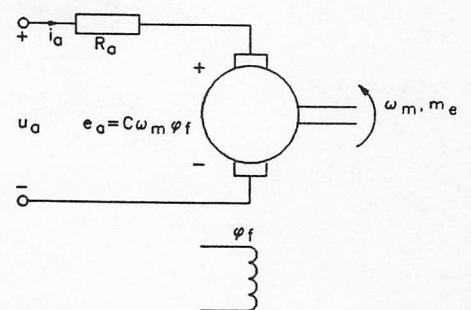


Fig. 2. Gelijkstroommachine.

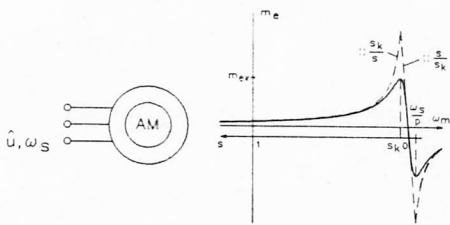


Fig. 3. Asynchrone kooiankeremachine.

Bij aandrijvingen waarbij hoge eisen aan het dynamische gedrag gesteld worden, wordt de hoofdflux meestal constant gehouden, zodat het koppel evenredig is met de ankerstroom. Als we bedenken dat de ankerweerstand relatief (zeer) klein is, zien we dat de ankerspanning in dit geval evenredig is met het toerental. Wil men bij gegeven (maximale) ankerspanning het toerental verhogen, dan kan men dit doen door de flux te verlagen (veldverzwakking). Aan de voor tractiedoeleinden vaak gebruikte seriemachine wordt hier geen aandacht besteed.

**Asynchrone kooiankeremachine**

Voor het elektromagnetische koppel van de meest gebruikte asynchrone kooiankeremachine (inductiemachine; fig. 4) geldt (bij verwaarlozing van de statorweerstand):

$$m_e = p \frac{3}{4} \frac{1-\sigma}{\sigma L_s} \left( \frac{\hat{u}}{\omega_s} \right)^2 \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} = m_{ek} \frac{2}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} \quad (3)$$

Hierin is  $p$  het poolpaartal,  $\sigma$  de lekfactor,  $L_s$  de driefasige statorinductiviteit,  $\hat{u}$  de amplitude van de fasespanning en  $\omega_s$  de hoekfrequentie van de driefasige voeding. De slip  $s$  en de kipslip  $s_k$  zijn gedefinieerd als:

$$s = \frac{\omega_s - p\omega_m}{\omega_s} \text{ en } s_k = \frac{R_r}{\omega_s \sigma L_r} \quad (4)$$

Hierin is  $\omega_m$  de mechanische hoeksnelheid,  $R_r$  de rotorfaseweerstand en  $L_r$  de driefasige rotorinductiviteit.

De enige praktische manier om bij een gegeven asynchrone machine (in de beschouwde vermogensklasse) het toerental in te stellen is via de frequentie van de voedende spanning. Dit kan met behoud van kippkoppel gebeuren als  $\hat{u}/\omega_s$  (de statorflux) constant gehouden wordt (fig. 4).

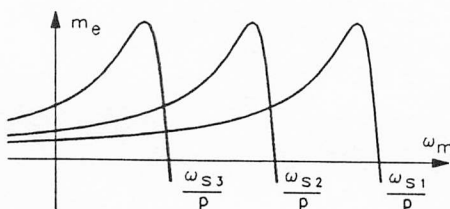


Fig. 4. De asynchrone machine bij variabele statorfrequentie met behoud van kippkoppel.

Het regelgedrag van draaistroommachines, en dus ook dat van de asynchrone machine, is lang niet zo eenvoudig als dat van een onafhankelijk bekrachtigde gelijkstroommachine (koppel evenredig met ankerstroom). Dankzij moderne regelprincipes, zoals de fluxgeoriënteerde regeling (ook wel veldgeoriënteerde regeling of vectorregeling genoemd), is het toch mogelijk om met deze machines dynamisch snelle aandrijvingen te realiseren. Bij een fluxgeoriënteerde regeling, waarvan de praktische mogelijkheden door de ontwikkeling in de micro-elektronica enorm zijn toegenomen, wordt de met de rotorwikkelingen gekoppelde flux constant gehouden en is de statorstroomcomponent die loodrecht op deze flux staat evenredig met het elektromechanische koppel.

**Asynchrone sleepringankeremachine**

Bij de asynchrone sleepringankeremachine zijn de rotorwikkelingen via sleepringen en borstels toegankelijk. Oorspronkelijk werd deze tweede elektrische poort gebruikt om de rotorweerstand bij een via het driefasenet gevoede machine uitwendig aan te passen: door vergroting van deze weerstand kan het koppel bij lage toerentallen vergroot

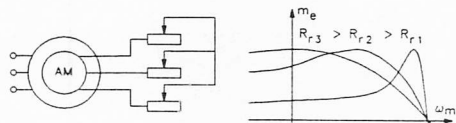


Fig. 5. Asynchrone sleepringankeremachine met extra rotorweerstand.

worden (fig. 5). In het algemeen kan men via deze poort energie aan en afvoeren; beschouw de vermogensbetrekking (alle verliezen behalve die in de rotorweerstand worden verwaarloosd):

$$P_s = \frac{\omega_s}{p} m_e = P_m + P_r = \omega_m m_e + P_r \quad (5)$$

Hierin is  $P_s$  het aan de statorzijde toegevoerde vermogen,  $P_m$  het via de as afgegeven mechanische vermogen en  $P_r$  het van de rotor afgevoerde elektrische vermogen (inclusief dissipatie in de rotorweerstand). Uit (5) volgt met (4):

$$P_r = \left[ \frac{\omega_s}{p} - \omega_m \right] m_e = \frac{\omega_s}{p} \frac{\omega_s - p\omega_m}{\omega_s} m_e = P_s s; P_s = \frac{\omega_s}{p} m_e \quad (6)$$

Dit betekent dat  $P_s$  een maat is voor het elektromechanische koppel en dat bij gegeven koppel via  $P_r$  de slip  $s$  en dus het toerental ingesteld kan worden.

**Synchrone machine**

Het toerental van een synchrone machine

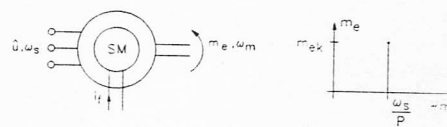


Fig. 6. Synchrone machine.

kan alleen ingesteld worden via de hoekfrequentie ( $\omega_s$ ) van de voedende spanning; het kippkoppel  $m_{ek}$  is afhankelijk van deze hoekfrequentie  $\omega_s$ , de amplitude van de voedende spanning  $\hat{u}_s$  en de bekrachtigingsstroom  $i_f$  (fig. 6).

In tegenstelling tot de asynchrone machine, die blindvermogen opneemt, kan de synchrone machine ook blindvermogen leveren (afhankelijk van de grootte van de bekrachtigingsstroom). Hoewel het in principe mogelijk is om bij de synchrone machine een fluxgeoriënteerde regeling toe te passen, wordt dit vanwege de complexiteit van de beschrijving van deze machine niet vaak gedaan. Als de synchrone machine is uitgerust met permanente magneten, wat bij kleinere machines steeds vaker het geval is, is het realiseren van een dynamisch snelle aandrijving echter minder moeilijk.

**Omzetters**

In het navolgende worden een aantal voor de elektrische aandrijftechniek van belang zijnde vermogenselektronische omzetters kort beschreven. Dit zijn omzetters met een hoog rendement dat afhankelijk van de schakel-

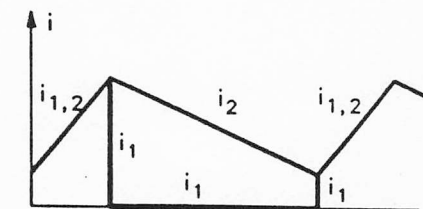
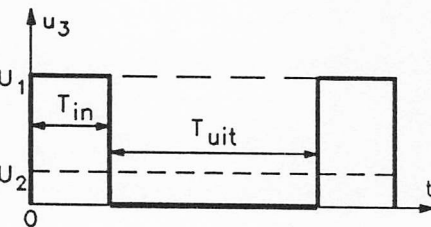
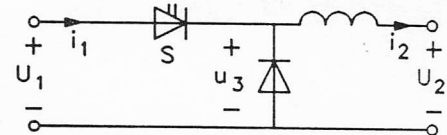
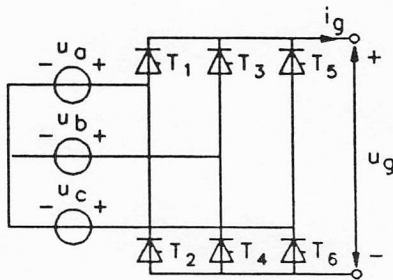


Fig. 7. Een hoog/laag-chopper.



$$U_2 = \frac{T_{in}}{T_{in} + T_{uit}} U_1$$

De schakelaar S kan behalve een GTO ook een ander in- en uitschakelbaar element zijn, zoals een transistor, een thyristor met doofcircuit, een FET of een IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). In het vervolg zal steeds een GTO als voorbeeld gebruikt worden.

**Mutator**

Een mutator is een wisselspanning-gelijkspanningsomzetter (en omgekeerd) die gebruik maakt van de wisselspanning voor de commutatie van de stromen erin (natuurlijke commutatie). De driefasenbrugmutator (fig. 8) is de meest gebruikte.

Door middel van periodiek schakelen van de thyristoren kunnen verbindingen tot stand gebracht worden tussen elk van de wisselspanningsfasen en de gelijkspanningsklemmen. De mutator kan gestuurd worden door de zogenaamde ontsteekhoek  $\alpha$  te variëren (een diodebruggelijkrichter is te beschouwen als een mutator met een ontsteekhoek  $\alpha$  van 0). De dikgetrokken lijn in figuur 8 stelt de gelijkspanning voor. Hierbij is aangenomen dat de spanning over een thyristor in geleiding nul is en dat de zogenaamde commutatietijd verwaarloosbaar klein is.

Daar de gelijkstroom altijd positief is, wordt de richting van de energiestroom bepaald door de polariteit van de gelijkspanning. Voor de gemiddelde waarde hiervan,  $U_g$ , geldt bij de hier beschreven driefasige brugmutator:

$$U_g = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \hat{u} \cos(\alpha)$$

Hiermee kunnen voor de gemiddelde energiestroom de volgende drie mogelijkheden onderscheiden worden:

$U_g > 0$ : gelijkrichterbedrijf;  $0 < \alpha < 90^\circ$ ;

$U_g = 0$ :  $\alpha = 90^\circ$ ;

$U_g < 0$ : wisselrichterbedrijf;  $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ ;

**Spanningsinverter**

Een spanningsinverter (fig. 9a) is een gelijkspanning-wisselspanningsomzetter waarbij de gelijkspanning (over de condensator) door middel van periodiek schakelen op de wisselspanningsklemmen wordt gezet. In tegenstelling tot hetgeen het geval is bij de mutator, moeten hier in- en uitschakelbare elementen worden toegepast.

Bij het eenvoudigste schakelpatroon ontstaan de spanningsvormen zoals die in fig.

9b zijn geschetst. Meestal wordt echter naar sinusvormige spanningen gestreefd; deze kan men min of meer verkrijgen door zogenaamde pulsbreedtemodulatie toe te passen (zie ook [4]). Hierbij worden de fasespanningen via een regelmatig patroon van "dips" voorzien (in fig. 9c één per halve periode). Door de breedte en de positie van de dips te kiezen kan men behalve de grootte van de grondharmonische spanning ook de totale harmonische vervorming van de uitgangsspanning beïnvloeden. Het aantal schakelhandelingen wordt echter beperkt door de schakelverliezen en de maximaal toelaatbare schakelsnelheid.

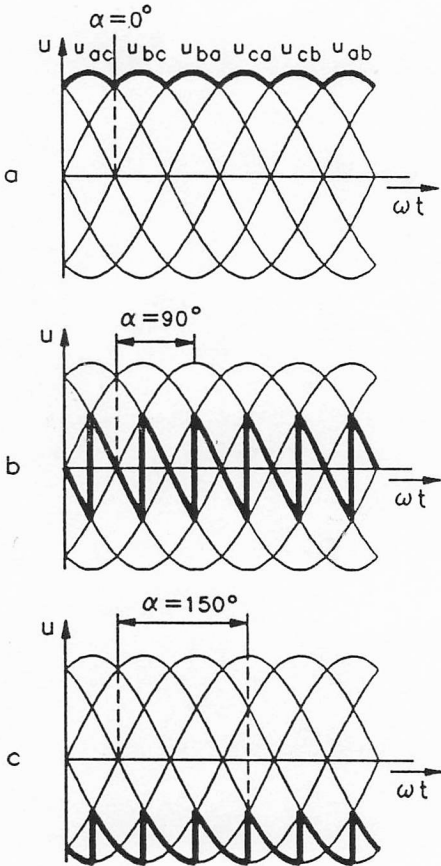


Fig. 8. Driefasenbrug-mutator.

snelheid en de grootte van het vermogen tussen 90 en 99 % ligt. Omdat de vermogens-elektronica een vakgebied is dat, vooral door nieuwe mogelijkheden op het gebied van de micro-elektronica en de vermogens-elektronische schakelementen, een stormachtige ontwikkeling doormaakt, is het hier gegeven overzicht dan ook zeker niet volledig en sterk tijdgebonden.

**Chopper**

Een chopper is een gelijkspanning-gelijkspanningsomzetter. Een elementaire vorm hiervan, een hoog/laag-chopper, is in figuur 7 weergegeven. Als de schakelaar S, in dit geval een GTO (Gate Turn Off) thyristor, periodiek geopend en gesloten wordt (gedurende  $T_{in}$  gesloten; gedurende  $T_{uit}$  open) geldt voor de hoog-laagchopper:

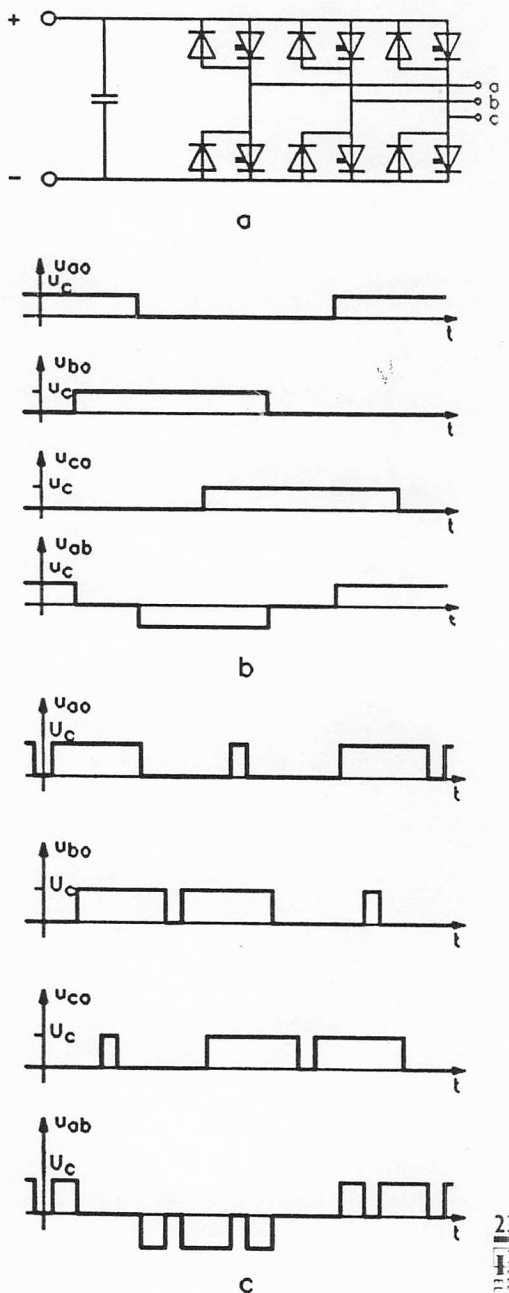


Fig. 9. Spanningsinverter.

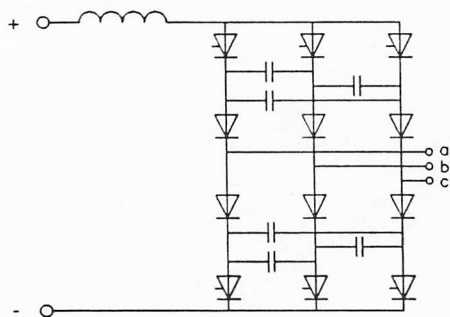


Fig. 10.  
Stroominverter.

**Stroominverter**

Een stroominverter is een gelijkspanning-wisselspanningsomzetter waarbij een gelijkstroom (door een spoel) door middel van periodiek schakelen naar de wisselspanningsklemmen wordt gestuurd. Evenals dat het geval is bij de spanningsinverter, moeten hier in- en uitschakelbare elementen worden toegepast. Een in de praktijk vaak toegepaste stroominverter is in figuur 10 weergegeven. Pulsbreedtemodulatie is bij dit type invertoren niet gebruikelijk.

In [4] wordt nader ingegaan op moderne ontwikkelingen op het gebied van de stroominvertoren.

**Cycloconverter**

Een cycloconverter is een omzetter van een (meestal) driefasige wisselspanning naar een (meestal) driefasige wisselspanning waarbij de uitgangsfasespanningen worden opgebouwd door een (gerimpelde) gelijkspanning (ongeveer) sinusvormig te variëren. De meeste cycloconvertoren bestaan uit zes driefasenbrugmutatoren (fig. 11): el-

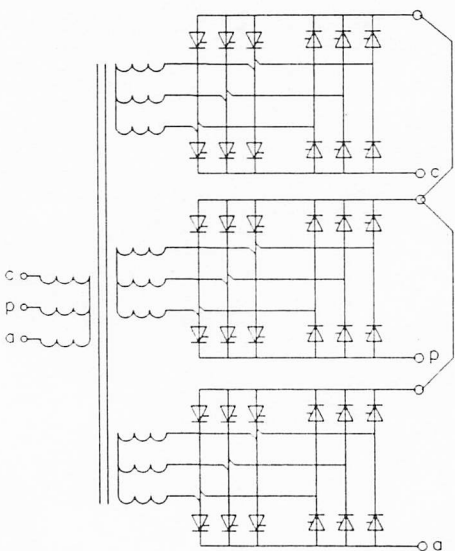


Fig. 11.  
Cycloconverter.

ke uitgangsfase wordt gevoed uit twee aan gelijkspanningszijde antiparallel geschakelde mutatoren. Dankzij deze antiparallelschakeling kan de richting van de uitgangsfasestroom omkeren. Omdat de uitgangsspanning een tamelijk sterke rimpel heeft (hij bestaat in feite uit stukken van de voedende netspanningen), wordt de uitgangsfrequentie in de praktijk begrensd op ongeveer de helft van de frequentie van het voedende net.

**Aandrijfsystemen**

Van de vele mogelijke aandrijfsystemen die kunnen ontstaan als de beschreven machines worden gecombineerd met de beschreven vermogenslektronische omzeters, worden er om technisch-economische redenen slechts enkele gebruikt. De op dit moment belangrijkste systemen zijn hier vermeld. Voor uitgebreidere beschrijvingen wordt naar boeken over de elektrische aandrijftechniek verwezen, zoals [1], [2] en [3].

**Gelijkstroommachine met één mutator**

Dit systeem bestaat uit één mutator en een gelijkstroommachine (fig. 12), waarbij de ankerstroom slechts in één richting kan lopen. Als het veld van de machine constant gehouden wordt, kunnen dan ook maar twee kwadranten van het koppel-hoeksnelheidsvlak (fig. 1) bestreken worden (twee-kwadrantaandrijving). Om een dynamisch snelle aandrijving te verkrijgen wordt de mutator in het algemeen uitgerust met een ankerstroom(=koppel)regeling.

Als men de richting van het elektromechanische koppel wil kunnen omkeren, kan men de ankerklemmen of de klemmen van de veldwikkeling met een schakelaar omkeren.

**Gelijkstroommachine met dubbele mutator**

Tegenwoordig wordt echter meestal de in figuur 12 getekende mutator uitgevoerd met twee anti-parallelle thyristoren per brugtak om de ankerstroom te kunnen omkeren (fig. 13). Hierdoor ontstaat een situatie waarin als het ware twee mutatoren aan gelijkspanningszijde anti-parallel staan en waarbij steeds slechts één van de twee brugmutatoren in bedrijf is. Het zo ontstane systeem is een in de praktijk zeer vaak toegepaste vierkwadrantaandrijving.

De industriële uitvoering van dit systeem is normaal gesproken uitgevoerd met een toerenregeling met binnen de toerenregellus nog een binnenlus voor de regeling van de ankerstroom, die evenredig is met het elektromechanische koppel als het veld constant is. Met dit systeem kunnen dynamisch redelijk snelle aandrijvingen gerealiseerd worden voor vermogens tot maximaal enige megawatts. De snelheid van de regeling wordt beperkt doordat elke thyristor slechts één

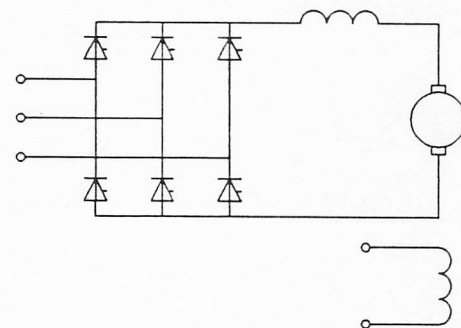


Fig. 12.  
Gelijkstroommachine met één mutator.

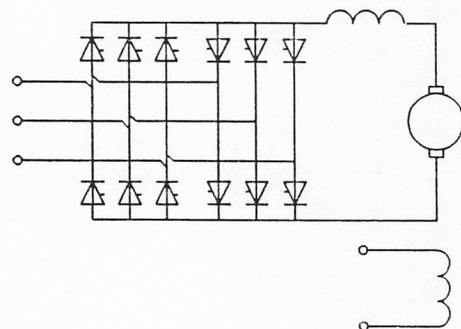


Fig. 13.  
Gelijkstroommachine met dubbele mutator.

maal per periode van de voedende wisselspanning ontstoken wordt.

**Gelijkstroommachine met chopper**

De gelijkstroommachine met chopper (fig. 14) kan worden toegepast als de machine gevoed wordt uit een gelijkspanningsbron. Daarnaast kan men met dit systeem veel

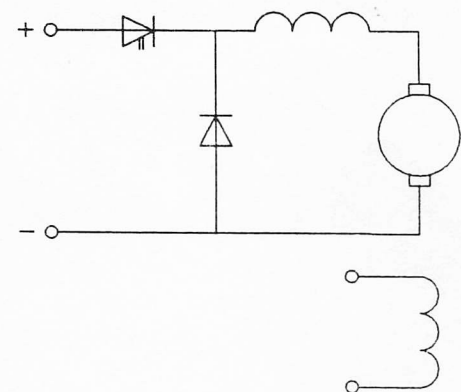


Fig. 14.  
Gelijkstroommachine met chopper.

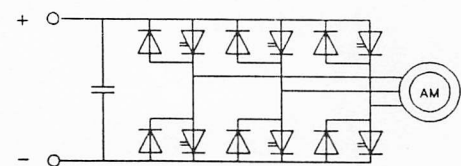


Fig. 15.  
Kooiankermachine met spanningsinverter.

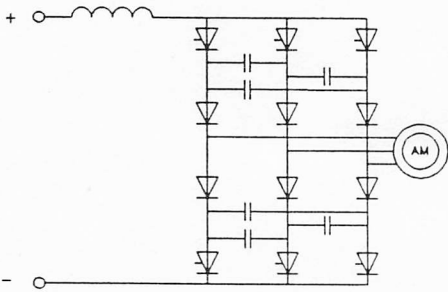


Fig. 16. Kooianker­ma­chine met stroom­in­ver­tor.

snellere regelingen dan met de hiervoor beschreven systemen realiseren omdat de schakelfrequentie van het schakelelement in dit systeem (hier een GTO) veel hoger kan zijn. Als alleen een driefasige voeding beschikbaar is, kan men de gelijkspanning verkrijgen via een diodebrug­gelijk­richter. De hier geschetste schakeling is een twee-kwadrantenaandrijving.

**Kooianker­ma­chine met spannings­in­ver­tor**

De steeds vaker toegepaste combinatie van kooianker­ma­chine met spannings­in­ver­tor (fig. 15) wordt, als deze via een gelijkrichter uit een driefasige bron gevoed wordt, ook wel aangeduid met de term asynchrone ma­chine met frequentie-om­zetter. Als dit systeem gevoed wordt via een diodebrug­gelijk­richter is echter alleen motor- en geen generator­be­drijf mogelijk. Het is in dat geval dan ook een twee-kwadrantenaandrijving. Om generator(rem)­be­drijf mogelijk te maken, kan men een weerstand in het gelijk­stroom­circuit opnemen om de remenergie te dissiperen of een extra als wisselrichter werkende mutator toevoegen.

Dankzij de toepassing van puls­breed­temo­dula­tie kan men er op betrekkelijk eenvoudige wijze voor zorgen dat de amplitude en de frequentie van de uitgangsspanning evenredig aan elkaar zijn (constante flux in de ma-

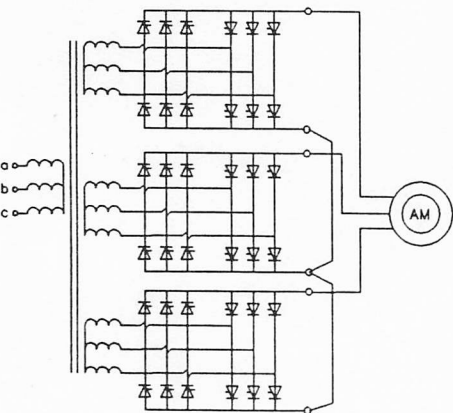
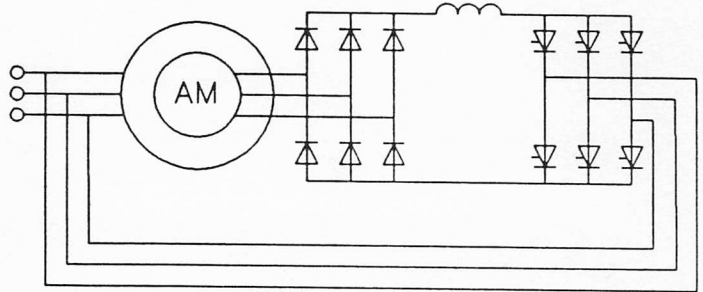


Fig. 17. Kooianker­ma­chine met cyclo­con­ver­tor.

Fig. 18. Ondersynchrone cascadeschakeling.



chine). Het is echter niet eenvoudig om met dit systeem een dynamisch snelle regeling, zoals een fluxgeoriënteerde regeling, te realiseren omdat het met een spannings­in­ver­tor niet mogelijk is om rechtstreeks stromen op te drukken. Dit betekent dat de stromen via de spanning (het puls­breed­temo­dula­tie­pat­roon) geregeld moeten worden. Voor kleinere vermogens (tot ongeveer 10 kW) kan men dit probleem nog oplossen door het pulspatroon rechtstreeks door de gewenste stroom te beïnvloeden; bij groter vermogen is dit vanwege de onregelmatigheden die hierdoor in het pulspatroon ontstaan niet meer toelaatbaar. Overigens hebben veel van de geleverde systemen geen echte fluxgeoriënteerde regeling, ook al dragen zij de naam vectorregeling.

**Kooianker­ma­chine met stroom­in­ver­tor**

De combinatie van kooianker­ma­chine met stroom­in­ver­tor (fig. 16) wordt meestal gevoed via een driefasenbrugmutator waarmee de stroom in het gelijk­stroom­circuit geregeld wordt. Omdat de polariteit van de spanning in het gelijk­stroom­circuit en de ontsteekvolgorde van de thyristoren in de inverter vrij te kiezen zijn, is het systeem van nature een vierkwadrantenaandrijving. Bovendien kan dit systeem relatief eenvoudig met een fluxgeoriënteerde regeling worden uitgerust, omdat met dit systeem stromen opgedrukt kunnen worden.

**Kooianker­ma­chine met cyclo­con­ver­tor**

De combinatie van kooianker­ma­chine met cyclo­con­ver­tor (fig. 17), een vierkwadrantenaandrijving, is geschikt voor laagtoerige aandrijvingen met een groot vermogen (enkele MW), zoals walsaandrijvingen. Omdat de cyclo­con­ver­tor betrekkelijk eenvoudig met een stroomregeling kan worden uitgevoerd, is het met dit systeem goed mogelijk om met een fluxgeoriënteerde regeling een dynamisch relatief snelle aandrijving te realiseren.

**Ondersynchrone cascadeschakeling**

De ondersynchrone cascadeschakeling (fig. 18) kan men rechtstreeks ontstaan denken uit figuur 5, waarbij echter geen dissipatie in de weerstanden plaatsvindt, maar waarbij elektrische energie uit de rotor via de diodebrug­gelijk­richter en de als wisselrichter

werkende mutator terug geleverd wordt aan het elektriciteitsnet.

Omdat er alleen energie aan de rotor onttrokken kan worden, werkt dit systeem onder het synchrone toerental in motor- en boven het synchrone toerental in generator­be­drijf. In het algemeen wordt het vermogens­elektronische om­zetting­ssysteem voor een (veel) kleiner vermogen gemaakt dan de ma­chine. Het systeem is dan ook alleen te gebruiken in een beperkt gebied rond het synchrone toerental. Voor het aanlopen van het systeem (lage rotorhoeksnelheid) wordt de diodebrug vaak afgeschakeld en wordt de rotor via weerstanden kortgesloten.

**Sleepringanker­ma­chine met cyclo­con­ver­tor**

Een variant op de ondersynchrone schakeling is de asynchrone sleepringanker­ma­chine met een cyclo­con­ver­tor (fig. 19). Met dit systeem is het ook mogelijk om energie aan de rotor toe te voeren. Hierdoor kan dit systeem ook boven het synchrone toerental als motor en onder het synchrone toerental als generator werken. Doordat de uitgangsfrequentie van de cyclo­con­ver­tor beperkt is, is ook het bedrijfstoerental van dit systeem beperkt tot een gebied rond het synchrone toerental. Voor het aanlopen is men dan ook aangewezen op voorzieningen als aanloopweerstand. Evenals de ondersynchrone schakeling is ook dit systeem geschikt voor zeer grote vermogens (tot ongeveer 10 MW).

**Synchrone ma­chine met gelijk­stroom­tus­sentrap**

Bij de synchrone ma­chine met gelijk­stroom­tus­sentrap (fig. 20) wordt de voedende wisselspanning eerst met een mutator gelijkgericht en daarna met een mutator weer omgezet in een wisselspanning. Omdat een synchrone ma­chine blindvermogen kan leveren kan een om­zetter met natuurlijke commutatie gebruikt worden. Omdat de polariteit van de spanning in het gelijk­stroom­circuit en de ontsteekvolgorde van de thyristoren in de mutator aan machinezijde vrij te kiezen zijn, is het systeem van nature een vier-kwadrantenaandrijving. Deze aandrijving is geschikt voor zeer grote vermogens (tientallen MW) en hoge toerentalen; hij is echter minder geschikt voor aandrijvingen waarbij hoge eisen gesteld worden aan het dynamische

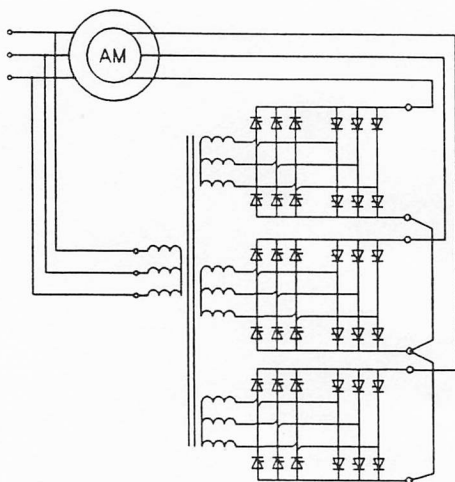


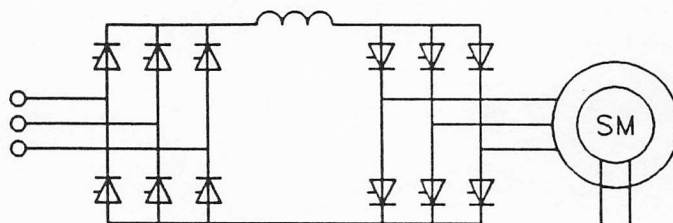
Fig. 19. Sleepringankermachine met cycloconverter.

gedrag. Een uitgebreidere beschrijving van dit systeem kan men in [5] vinden.

**Synchrone machine met cycloconverter**

Het systeem bestaande uit een synchrone machine met een cycloconverter lijkt zeer veel op de kooiankermachine met een cycloconverter: in figuur 17 moet de asynchrone

Fig. 20. Synchrone machine met gelijkstroomtussentrap.



machine vervangen worden door een synchrone. Een synchrone machine heeft als voordeel ten opzichte van een asynchrone machine dat zijn rendement wat hoger is. Bij dynamisch snelle aandrijvingen heeft hij echter als nadeel dat de borstelloze uitvoering (een machine met een opwekker met roterende diodebrug) minder geschikt is, zodat er in dat geval meestal sleepringen moeten worden toegepast.

[3] J.M.D. Murphy en F.G. Turnbull; *Power Electronic Control of AC Motors*; Oxford: Pergamon Press, 1988

[4] S.W.H. de Haan en A.C. Blom; *Een nieuw type inverter voor de aandrijftechniek*.

[5] A.M.M. Ozpalat en G. Dupain; *LCI's voor Megawatt aandrijvingen*; I<sup>2</sup>-Elektrotechniek/Elektronica, november 1989, p.48-52

**Litteratuur**

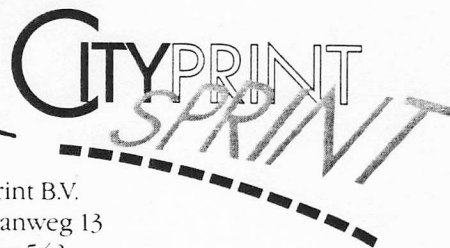
[1] B.K. Bose; *Power Electronics and AC Drives*; Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1986

[2] W. Leonhard; *Control of Electrical Drives*; Berlin: Springer-Verlag, 1985

# Cityprint special service: the short cut in PCB technology

CitySprint, de snelle service van Cityprint, levert prototypen en kleine productieseries printed circuit boards binnen 24 uur. Halen en brengen met onze eigen koeriersdienst is mogelijk.

Maakt u ook eens kennis met deze bijzondere dienst van Cityprint, Europa's meest moderne producent van dubbelzijdige tot flex rigid printed circuit boards.



Cityprint B.V.  
Plesmanweg 13  
Postbus 543  
7600 AM Almelo  
Tel: 05490 - 71234  
Fax: 05490 - 60805

PCB TECHNOLOGY AT YOUR SERVICE

