

Direct drive of gewoon een overbrenging, that's the question

De constructeur staat bij het ontwerpen van een machine wat betreft het aandrijfconcept voor de lastige keuze van of het direct koppelen van de last aan de aandrijving, of het toepassen van een mechanische overbrenging. Daarbij komt de vraag op : wat zijn de voordelen van 'direct drive' ten opzichte van de mechanische overbrenging en wanneer is de direct-drive-oplossing zinvol? In dit artikel tracht de auteur antwoorden te geven op deze vragen en handvatten te geven om tot een optimale systeemkeuze te komen.

Peter Domburg, Vector
Aandrijftechniek, Rotterdam

Bij een direct drive is er geen overbrenging tussen de aandrijving en de last. Het benodigde koppel wordt hier direct geleverd door de motor. Wanneer de last moet roteren, vervalt daarmee een reductor (afb. 1). Een voorbeeld van direct drive is de lineaire motor (afb. 2). De lineaire motor verplaatst de last zonder dat daarbij een kogelomloopspindel, tandheugel of tandriem nodig is om rotatie om te zetten in een lineaire beweging (afb. 3). Maar is de direct drive eigenlijk wel echt een volledig vernieuwende oplossing? Als idee is de direct drive niet zo nieuw en het is ook niet altijd de beste oplossing. Waarom dan toch kiezen voor een direct-drive-oplossing? Er zijn meerdere redenen om voor een direct drive-aandrijving te opteren. We noemen er hier vier:

- **Performance.** Wanneer de roterende last direct aan de motor gekoppeld wordt, is de reductor en daarmee een onderdeel minder nodig. Een reductor heeft enige mate van speling en torsie.

Wanneer snel en/of nauwkeurig gepositioneerd moet worden, kunnen deze twee zaken beperkend zijn voor zowel de regeldynamiek als voor de nauwkeurigheid van de positionering. Een reductor die is geoptimaliseerd voor servotoepassingen kan dit voor veel toepassingen oplossen. Voor zeer hoge eisen aan de dynamiek en/of nauwkeurigheid is een direct drive in het voordeel dan wel de enige oplossing. Ook een tandriem of kogelomloopspindel heeft beperkingen ten aanzien van de stijfheid en speling. Door dubbele voorgespannen moeren te gebruiken kan bijvoorbeeld de speling van de kogelomloopspindel worden verkleind. Ook voor deze componenten geldt dat als de eisen hoog zijn de lineaire motor in het voordeel is.

- **Energieverlies.** Ieder onderdeel in de machine dat draait of beweegt, zal enige mate van verlies hebben. Een kogelomloopspindel of een reductor heeft een verlies. Het weglaten van deze onderdelen kan een energiebesparing opleveren. Dat de direct drive-oplossing zelf ook met een bepaald rendement werkt, moet hierbij wel in ogenschouw worden genomen.

- **Geluid.** Minder bewegende onderdelen die geluid afgeven maakt de direct drive in veel gevallen stiller dan een systeem met een overbrenging.

- **Slijtage.** Minder onderdelen betekent vaak ook minder slijtage. Een andere vraag is wat te doen als een direct drive-aandrijving stuk gaat. Soms moet dan het geheel vervangen worden.

Voorbeelden van direct drive

In de pc zit een harde schijf met een direct drive. De vereiste positioneersnelheid en nauwkeurigheid voor de leeskop zijn de bepalende factoren. Bij een eventuele storing wordt de gehele harddisk vervangen. Hetzelfde geldt voor een cd-speler. Bij ventilatoren wordt de waaier soms zonder overbrenging gemonteerd op de motoras. Hierdoor kan een lager uitgespaard worden. Ook bij windmolens



Afbeelding 1. Voorbeeld: direct drive servomotoren.

zijn er toepassingen van direct drive om de verliezen te beperken. Gezien het grote vermogen van vaak >100 kW is een rendementsverbetering een aanzienlijke energiebesparing die op terugverdiendtijd ten opzichte van de extra investering beoordeeld kan worden. Waarom passen we eigenlijk een reductor toe? Hiervoor zijn twee redenen aan te geven. De meest toegepaste motor in de industrie is de asynchrone motor met een kortsluitrotor. Asynchrone elektromotoren met een kortsluitrotor draaien een relatief hoog toerental voor de last. De reductor verlaagt het toerental en vergroot het koppel, zodat deze aansluiten aan de benodigde waarden van de last. Het door de motor ter beschikking gestelde vermogen wordt met geringe verliezen omgezet. Als een asynchrone motor op een net met een frequentie van 50 Hz wordt aangesloten, draait de motoras onbelast bijna synchron met het statordraaiveld. Bij een tweepolige motor is dit $50 \cdot 60 = 3000$ omwentelingen per minuut. Om de verliezen in de reductor en het geluid te beperken wordt vaak voor een 4-polige motor gekozen die onbelast ongeveer 1500 omw/min draait. Dit toerental is voor veel toepassingen te hoog. Als we als voorbeeld een rollenbaan nemen (afb. 4) met een roldiameter van 100 mm en een gewenste snelheid van 6 meter/minuut dan is dit een toerental van 19 omw/min. Als de vierpolige motor belast ongeveer 1400 omw/min draait, is een overbrenging die in aanmerking komt ongeveer 70. De tweede reden voor het toepassen van een reductor is het verkrijgen van een goede controle (regelgedrag) van de last. Wanneer we naar de performance van de aandrijving kijken dan is het gewenst dat we



Afbeelding 3. Applicatie met lineaire servomotor.

een groot vermogen kunnen onttrekken aan de aandrijving. Het te onttrekken dynamische vermogen is maximaal als de lastmassatraagheid en de motormassatraagheid op elkaar zijn afgestemd. Deze afstemming heeft te maken met de toe te passen overbrenging van de reductor. Optimaal vermogen kan onttrokken worden als $J_{last} / i_2 = J_{motor}$. Hierbij is i de toegepaste

overbrenging. We noemen J_{last} / i_2 de gereduceerde massatraagheid of J'_{last} van de last. Een keuze van $J_{last} / i_2 = J_{motor}$ is optimaal voor het regelgedrag, maar maakt de motor ook relatief groter en dus duurder. Voor een prijstechnisch optimum kan een grotere verhouding voor $J_{last} / i_2 = J_{motor}$ gewenst zijn. Hoewel de performance hierbij minder zal worden, kan dit goed genoeg zijn. Bij bepaalde massatraagheidsverhoudingen is de last niet meer te regelen. Dit moet uiteraard vermeden worden en maakt de keuze van de reductie vooral bij dynamische (servo)aandrijvingen heel belangrijk. De Engelse benaming voor de bepaling van de juiste massatraagheidsverhouding is inertia matching.

Voorbeeld

Als op de bovengenoemde rollenbaan aan massa 2500 kg ligt, is de lastmassatraagheid $m \cdot r^2 = 6,25 \text{ kgm}^2$. De gereduceerde massatraagheid met een overbrenging van $i=70$ bedraagt dan:

$$6,25 / (70^2) = 0,0013 \text{ kgm}^2 = 13 \text{ kgcm}^2$$

Een 0,37 kW-motor met een massatraagheid van 5 kgcm^2 geeft een $J'_{last} / J_{motor} = 2,5$. Dit is een prima keuze.

Consequenties van direct drive

Machines gaan steeds sneller lopen, maar toch vraagt de last meestal een relatief hoog koppel en een laag toerental. Door meer wikkelingen te leggen en het toepassen van een groot aantal poolparen wordt het toerental lager en het koppel groter. Het toepassen van meer poolparen heeft een aantal consequenties. Meer poolparen maken de motor groter en duurder. Direct drive werkt door het ontbreken van de reductor vaak met een ongunstige verhouding voor de J_{last} / J_{rotor} . Als een dergelijke motor in een hoogdynamische servoaandrijving wordt toegepast, is een hoge kwaliteit van de regelaar en encoder nodig en luistert de tuning (het afregelen van de regelacties) extra nauw om het systeem een goede performance te geven. Vaak levert het een iets slechter rendement op en is een grotere stroom (regelaar) nodig. Om deze reden wordt in combinatie met een reductor vaak gekozen voor een 4-polige motor. Dit reduceert



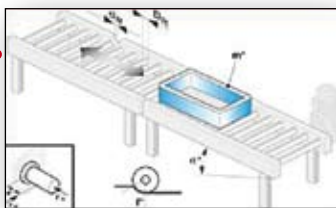
Afbeelding 2. Lineaire servomotoren.

verliezen en geluid en optimaliseert de prijs-prestatieverhouding.

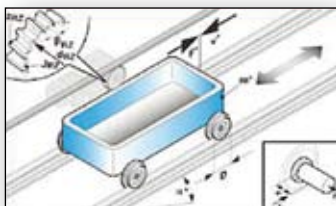
Wanneer welke aandrijving?

Wanneer kiezen we nu welke aandrijving? De prijs-prestatieverhouding is hierbij het eerste waaraan gedacht wordt. Als we kijken naar de prestatie die met een servoreductor en/of kogelomloopspindel niet gehaald kan worden, komen we in de hightech toepassingen met gewenste nauwkeurigheden in het (sub)micrometerbereik. Voor rotaties is de grens voor de nauwkeurigheden van een servoreductor kleiner dan ongeveer een boogminuut. Dergelijke toepassingen zijn bijvoorbeeld veelvuldig te vinden in de halfgeleiderbranche. Hierbij gaat nauwkeurigheid vaak ook gepaard met een grote dynamiek. Dit kan oplopen tot versnellingen $\gg 10 \text{ m/s}^2$. Bij de kogelomloopspindel kan naast de gelimiteerde snelheid, acceleratie en nauwkeurigheid ook de levensduur een beperkende factor zijn. De lineaire motor wordt ook toegepast als met tandriemen misschien wel de snelheid, maar niet de gewenste nauwkeurigheid haalbaar is. Wanneer de hoogste specificaties gewenst zijn ten aanzien van nauwkeurigheid en/of dynamiek is direct drive het onderzoeken waard dan wel de enige keuzemogelijkheid. Daarnaast bestaan er toepassingen waar hoge eisen worden gesteld aan de maximale geluidsproductie of het rendement.

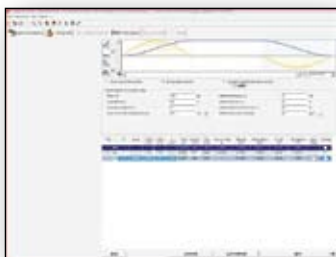
4



Afbeelding 4. Rollenbaan.



Afbeelding 5. Selectievoorbeeld.



Afbeelding 6. Workbench selectieprogramma.

Selectievoorbeeld

Om een en ander concreet te maken, volgt hier een selectievoorbeeld (afb. 5). Het gaat om een wagen die in 1 seconde een last 2 meter verplaatst. De totale bewegende massa bedraagt 100 kg. De versnelling hierbij bedraagt 10 m/s^2 . De gewenste nauwkeurigheid bedraagt 1 mm.

Wegtijddiagram Workbench-selectieprogramma

Het selectieprogramma Workbench van SEW-Eurodrive maakt al de benodigde berekeningen en geeft een direct drive-motor en een servomotor met planetaire reductor (afb. 6). Als we de oplossingen vergelijken blijkt het volgende. De servomotor met planetaire reductor is voor deze toepassing: compacter, goedkoper, lichter, eenvoudiger. Voorts is er sprake van een langere levensduur (grotere radiale krachten mogelijk) en is de massatraagheidsverhouding aanzienlijk beter. Het verschil in geluid en rendement is voor deze toepassing niet zo groot/belangrijk en is daarom niet verder uitgewerkt. De gevonden servomotor met een reductor blijkt gunstiger te zijn dan een direct drive-oplossing. Wanneer de eisen hoger zouden zijn, komt er een grens dat een oplossing met een tandriem niet realiseerbaar is en we een

lineaire motor nodig hebben. We zitten daar nu duidelijk onder. Naast prijs en prestatie is het goed om ook het volgende te bedenken. Een servomotor met reductor is eenvoudig te ontwerpen in verband met de grotere radiale krachten die de reductor kan hanteren. De te verwachten lagerlevensduur neemt in beginsel met de derde orde toe door de kracht te verlagen en is in bovenstaand vraagstuk daarom voor de reductor tweemaal zo groot. Opvallend is dat de massa van de motorreductor aanzienlijk kleiner is dan die van de direct drive-motor. Dit is vooral van belang wanneer de motor ook beweegt. Het systeem is eenvoudiger te servicen daar zonnodig goedkopere, losse onderdelen te vervangen zijn.

Tips

Benader het vraagstuk integraal. Wanneer bijvoorbeeld naar de prijs van de regelaar wordt gekeken, is een systeem met een servomotorreductor nog goedkoper. Kijk dus naar alle componenten voor een goede vergelijking. Dit geldt ook voor het vergelijken van het rendement, de performance, het geluid en de levensduur. Een kogelomloopspindel heeft bij zeer hoge belasting en hoge snelheid een korte levensduur. Een vergelijking met een lineaire motor ligt voor de hand. Hierbij moet zorgvuldig aandacht besteed worden aan de bewegende kabels en de kabelrups. Vergeet zaken als eenvoud van ontwerp, inbedrijfname, service en veiligheid niet. De fabrikant van de machine heeft met deze bijkomende kosten te maken. De gebruiker van de machine zal geïnteresseerd zijn in de Total Cost of Ownership. Zaken als onderhoud, bedrijfszekerheid, levensduur en energieverbruik spelen hierbij een rol.

Conclusie

Het toepassen van een reductor is vaak een optimale keuze; direct drive kan de beste oplossing zijn vooral bij hoge eisen aan snelheid en/of nauwkeurigheid. Kijk naar het gehele systeem en beoordeel alle factoren. Een systeem is meer dan de eigenschappen van de losse componenten. Denk daarbij aan zaken als eenvoud van ontwerp, inbedrijfname en service over de gehele life cycle van de machine. Let daarbij naast de technische aspecten ook op de Total Cost of Ownership. Een selectieprogramma kan behulpzaam zijn om de benodigde componenten voor een bepaalde toepassing te berekenen. Het is daarmee heel bruikbaar om snel inzicht te krijgen, het optimale systeem te kiezen en reduceert tevens de engineeringstijd.

www.vector.nu