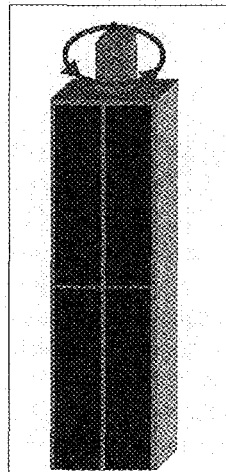


# Servobesturing corrigeert niet-lineariteit van

In de aanhoudende trend naar miniaturisatie, stijgende motorprestaties en het zoeken naar nieuwe aandrijftechnologieën heeft onder andere de ontwikkeling en het gebruik van piëzomotoren gestimuleerd. Nu deze motoren een tijd op de markt zijn, worden hun verdiensten én beperkingen steeds duidelijker. In dit artikel wordt ingegaan op enkele eigenschappen van resonante piëzomotoren en met name die, welke voor problemen kunnen zorgen bij het gebruik van dit soort motoren in positioneerservo's. Daarnaast worden oplossingen beschreven die genoemde onhebbelijkheden corrigeren zodat een controleerbaar motorgedrag ontstaat.

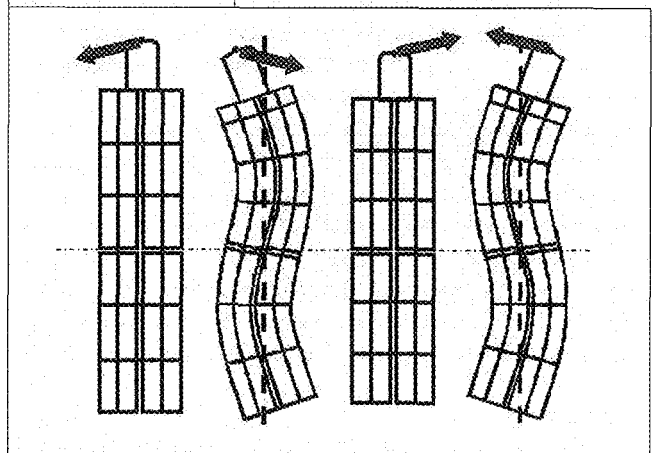
## De piëzomotor

Het werkingsprincipe van de huidige piëzomotoren is gebaseerd op twee verschillende technologieën. De statische piëzomotoren realiseren een beweging door uitzetting van piëzomateriaal dat onder (elektrische) spanning wordt gezet. Door deze uitzetting geschikt over te brengen op een te verplaatsen last en de spanning op het piëzo-element aan- en uit te schakelen, wordt beweging gerealiseerd. Bij de resonante piëzomotoren wordt ook een elektrische spanning over een piëzo-element aangebracht, echter, dit gebeurt met een dermate hoge frequentie dan het piëzomateriaal in resonantie raakt. Door een aantal van deze elementen te combineren wordt vervolgens een ellipsvormige beweging gerealiseerd (zie afbeelding 1). Deze beweging kan via een wrijvingscontact overgebracht worden op een last, waardoor aandrijving van die last wordt verkregen. Door een lengteverandering en een kromming van de piëzo-elementen goed op elkaar af te stemmen, wordt de ellipsvormige beweging van de tip gerealiseerd (zie afbeelding 2). Afbeelding 3 laat een voorbeeld zien van een reso-



Afb. 1 Piëzomotor, opgebouwd uit vier piëzokristallen. De tip maakt een ellipsvormige beweging

Afb. 2 Vier bewegingsstadia uit de cyclus. De piëzo-elementen buigen en ondergaan een lengteverandering. De onderlinge relatie tussen deze twee fenomenen zorgt dat de ellipsvormige beweging aan de tip gerealiseerd kan worden.



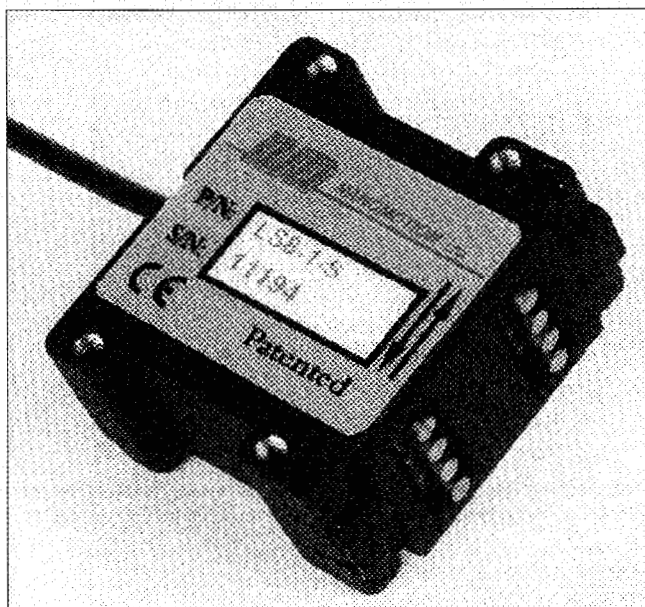
nante piëzomotor met acht aandrijftips.

De piëzomotor is vooral geschikt als kleine vermogens nodig zijn met een grote dynamiek in snelheid en nauwkeurigheid, of in situaties waarbij geen magnetische- en of elektrische strooivelden gewenst zijn.

## Niet lineaire aspecten

Indien de piëzomotor wordt gebruikt voor servotoepassingen, dan wordt de motor, via een drive, bestuurd door een motion controller. Deze motion controllers zijn veelal opgebouwd uit een al dan niet complexe digitale regelaar en diverse, meer of minder uitgebreide software functies, zoals setpoint generatoren, diagnostische routines etc. De digitale regelaar is altijd lineair, soms met eenvoudige niet lineaire features zoals clipping- en verzadigingsmogelijkheden. Dit is meestal voldoende voor het goed besturen

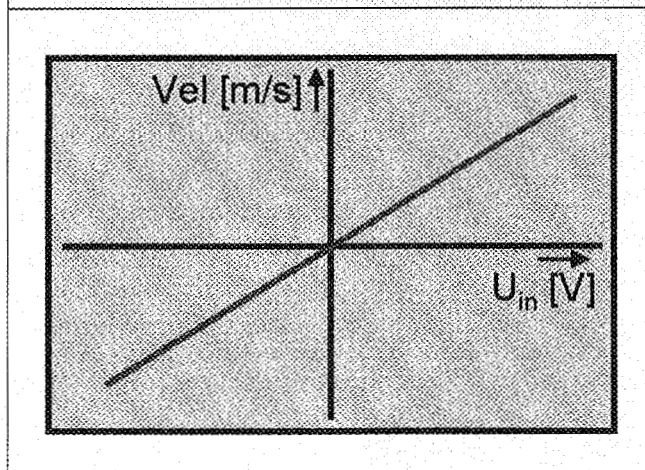
# eert piëzomotoren



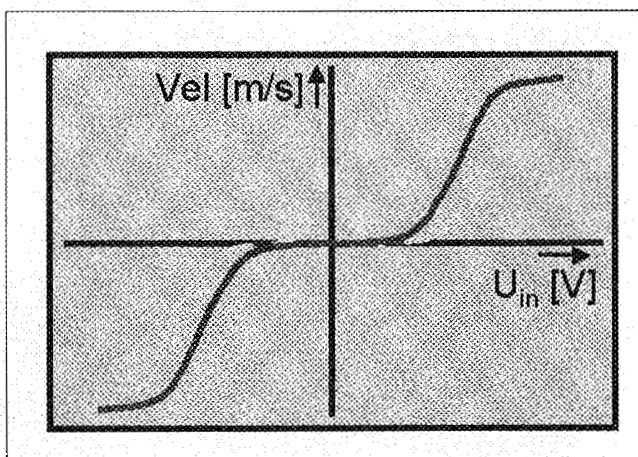
Afb. 3 Voorbeeld van een piëzomotor. Aandrijving vindt plaats via de acht cirkelvormige contactpunten.

Afb. 4a Voorbeeld van een overdracht van een reguliere DC-motor.

Afb. 4b Voorbeeld van een overdracht van een piëzomotor. De gele lijnen symboliseren het verschuiven van de rode curve ten gevolge van verschillen per product en omstandigheden



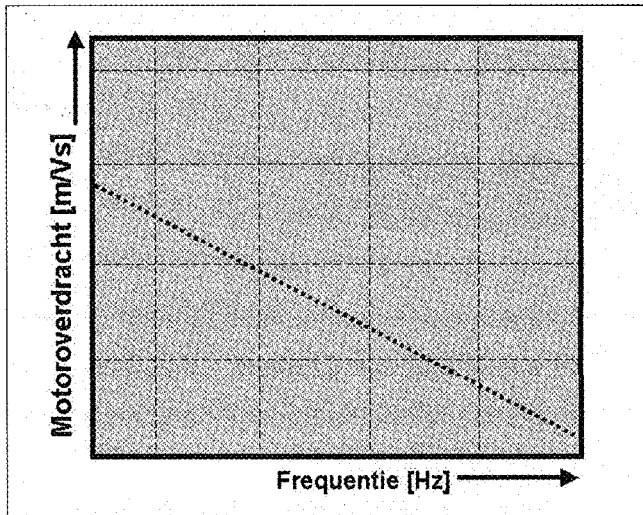
van een aandrijfketting die een min of meer lineair gedrag aan de dag legt. In afbeelding 4a is geschetst hoe bij gangbare DC-motoren (in snelheidsmode) de snelheid toeneemt als gevolg van een stijging van de ingangsspanning van de versterker. Als men dat vergelijkt met het gedrag van de piëzomotor (zie afbeelding 4b) dan valt onmiddellijk het niet-lineaire karakter van deze motor op. Het dode gebied rondom 0 kan oplopen tot 20 % van de totale uitstuurspanning  $U_{in}$ . Juist bij positie-servo's, waarbij er tijdens het settlen van de servo op zijn eindpositie vaak de regelaar output rondom 0 varieert, is dit een zeer hinderlijke bijkomstigheid. Een tweede, ongewenst verschijnsel is verduidelijkt in de afbeel-



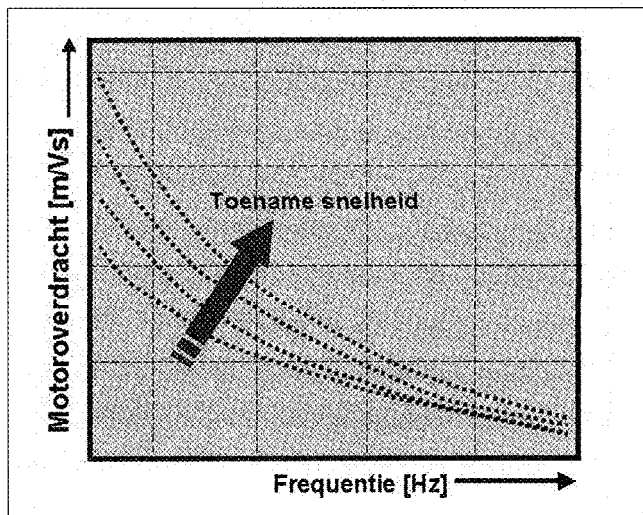
dingen 5a en 5b. Daar waar gangbare DC-motoren een lineair verband laten zien in een Bode-diagram (norm overdrachtsfunctie versus frequentie) dat nagenoeg onafhankelijk is van de snelheid van de servo (afbeelding 5a), zien we bij de piëzomotor dat dit verband niet alleen niet lineair is, maar dat zelfs een heel pallet van curven geldt, afhankelijk van de snelheid van de servo. Naarmate de snelheid van de servo toeneemt, neemt de open lus versterking toe, met name in het laagfrequente gebied. Het gevolg hiervan is dat instabiliteit kan optreden, zelfs quasi spontaan wanneer de motor stilstaat. We hebben dus te maken met een paradox: bij lage snelheden moet de lusversterking van de regelaar hoog zijn in verband de settling eigenschappen, maar bij hoge snelheden mag hij niet hoog zijn, omdat het systeem dan instabiel wordt. Gangbare filters, zoals laag doorlaat karakteristieken of notch-filters voldoen niet om deze effecten te elimineren.

## Compensatie van niet-lineariteiten

De genoemde niet-lineariteiten kunnen gecompenseerd worden in de digitale regelaar die de piëzomotor aanstuurt. Binnen het besturingsplatform "NYCe" van Nyquist Industrial Control is de mogelijkheid aanwezig om zeer snel speciale features aan de regelaarfunctionaliteit toe te voegen. In het geval van de dode



Afb. 5a Voorbeeld van een overdracht van een reguliere DC-motor.



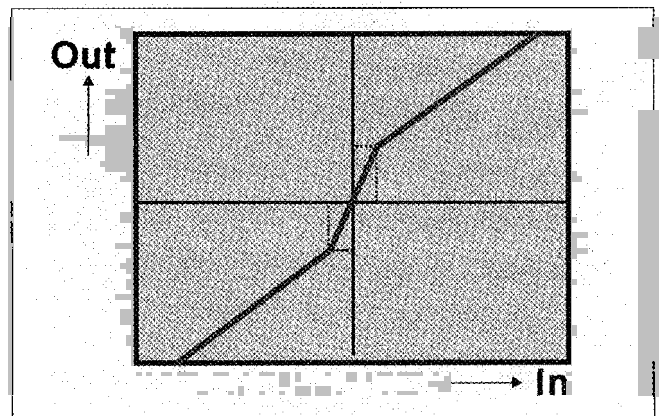
Afb. 5b Voorbeeld van een overdracht van een reguliere piëzometer

zone van de piëzomotor is een inverse functie geïntroduceerd (zie afbeelding 6). Door deze functie toe te voegen doorloopt de servo snel zijn dode gebied, hetgeen een gunstig effect heeft op het instelgedrag (settle) en het voorkomen van limit cycling. Om de wisselende open-loopversterking in de hand te houden is de integrator versterking afhankelijk gemaakt van de snelheid van de servo (zie afbeelding 7). Deze toevoeging is van nog grotere betekenis. Niet alleen is de stabiliteit van de kring gewaarborgd in alle snelheidsranges, ook een hoge versterking tijdens het instellen (settle) is hierbij gerealiseerd. Doorgaans levert dit een instelgedrag op van slechts enkele milliseconden.

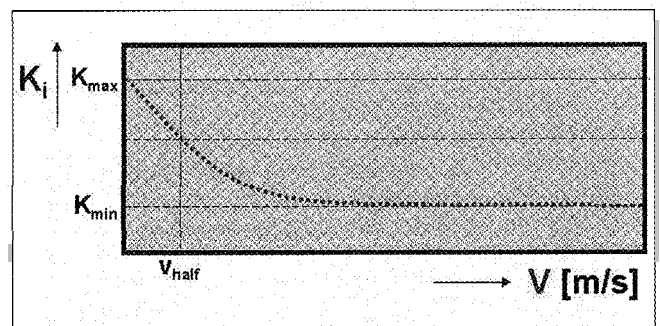
## Conclusie

Het compenseren van belangrijke niet lineaire aspecten van een resonant piëzomotor heeft geleid tot een aansturing die dusdanig is, dat de gebruiker van de motor op besturingstechnisch gebied de piëzomotor kan behandelen als een gewone DC-motor. Dit is plezierig voor de gebruiker, die zo niet opgezaagd wordt met

speciale regeltechnische eisen, andere besturingsmodules, andere software. In het ontwerpproces hoeft alleen, net als bij gangbare motoren, rekening gehouden te worden met de gebruikers parameters van de motor (koppel, toerental, duty-cycle enzovoort). Doordat de compenserende algoritmes volledig onder controle van software zijn, kan een gangbare DC-motor dus direct uitgewisseld worden met een piëzomotor (of vice versa), zonder aantasting van de besturingsstructuur of de applicatie software. Hierdoor ontstaat een mooie en welkome ontkoppeling tussen de aandrijfmethode en de applicatie programmatuur.



Afb. 6 Compensatie van de dode zone rondom 0. De helling is instelbaar via software.



Afb. 7 Automatische speed scheduling aanpassing. Bij lage snelheden wordt de versterking van het integrator gedeelte van de PID-regelaar hoog gemaakt, bij hoge snelheden laag. De waarden  $K_{max}$ ,  $K_{min}$  en  $V_{half}$  zijn instelbaar via software.