

Voice-coil

Een voice-coil actuator is uitermate geschikt voor korteslagbewegingen met nauwkeurige positionering. Het is een directe aandrijving, vrij van hysteresis. De gebruiker kan snelheid, positie, kracht, richting en versnelling controleren in toepassingen zoals regelkleppen, beamleiding en servobesturing van de X-, Y-, en Z-as. Dit artikel belicht de techniek achter voice-coil actuatoren.

• Gerard van Seggelen •

De hier besproken voice-coil actuatoren (VCA's) zijn lineaire motoren met de spoel als bewegend deel; zie Afbeelding 1. Vorig jaar heeft Wijdeven Power Supplies & Inductive Technology een geheel nieuw programma VCA's geïntroduceerd met als optie een energieloze (zwaarte)krachtcompensatie. Hiervoor is onder meer het specialisme op het gebied van wikkeltechnieken, zoals de orthocyclische, gebruikt.



Afbeelding 1. Voorbeeld van een VCA.

De toepassing van VCA's is onder te verdelen in drie gebieden:

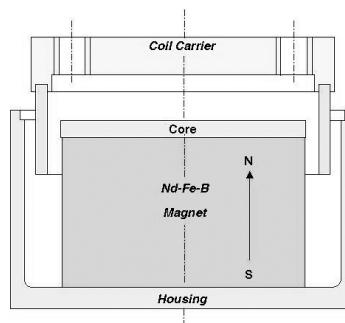
- Eenmalige productiemachines, zoals specifieke assemblage- en procesmachines.
- In serie vervaardigde productiemachines, zoals wafer-

steppers, weefmachines, kopieermachines, laserlas- en lasergraveermachines en pick & place-machines.

- In serie vervaardigde gebruiksproducten, zoals consumentenelektronica, regelkleppen, autofocuspositionering van spiegels.

Principewerking

Een eenvoudige lineaire VCA is opgebouwd uit een ronde buis met bodem vervaardigd van magneetijzer (zie Afbeelding 2). Hierin wordt een axiaal gemagnetiseerde magneet geplaatst. De magneet wordt afgedekt met een ronde plaat magneetijzer (core). De coil beweegt zich in de flux die door de lucht oversteekt naar het magneetijzer.



Afbeelding 2. Doorsnede van een VCA.

actuatoren

De werking van een VCA is gebaseerd op de wet van Lorentz. Deze wet zegt dat een stroomvoerende geleider, geplaatst in een magnetisch veld, een kracht ondervindt.

De kracht is te bepalen uit de 'motorformule':

$$F = I \cdot l \cdot B \quad (1)$$

Waarin:

F = kracht op de stroomvoerende draad [N]

l = lengte van de draad [m]

I = elektrische stroom [A]

B = magnetische flux dichtheidsvector [T]

Door toepassing van moderne magnetische materialen kan een magnetisch veld worden gerealiseerd zonder elektrische verliezen zoals die optreden bij een stroomvoerende spoel. Het meest toegepaste magneetmateriaal is neodymium-ijzer-borium (NdFeB).

Door het ontbreken van commutatie en wrijving is bij een constant magneetveld de kracht welke de spoel ondervindt evenredig met de stroom door deze spoel. Omdat de massa van het bewegend deel zich beperkt tot de spoelhouder en spoel, is de VCA zeer geschikt voor snelle en nauwkeurige kleine verplaatsingen. De VCA kan met behulp van een terugkoppeling en een plaatsopnemer in elke gewenste stand worden geregeld, dit met hoge acceleraties.

Design

Het design van precisie-VCA's is uitdagender dan het in eerste instantie lijkt. De eenvoudige lineaire relatie als voorgesteld in Formule 1 is in de praktijk gecompliceerder. De volgende factoren spelen hierin onder meer een rol:

- Fluxdichtheid
- BH-curve van het magneetijzer (verband tussen B en de magnetische veldsterkte H over en in een materiaal)
- Stroke (verplaatsingslengte)
- Weerstandverandering door opwarming
- Fluxafhankelijkheid van temperatuur
- Tegen-EMK door beweging van de spoel

In het design zijn een aantal inputparameters nodig om te kunnen komen tot een goede specificatie, onder meer:

- Geometrie
- Kracht

- Stroke (verplaatsingslengte)
- Massa van het bewegend gedeelte
- Gebruikstemperatuur

Tijdens het design wordt getracht de eigenschappen van de VCA te optimaliseren op de gevraagde eisen en wensen. De applicatie waarin de VCA gebruikt gaat worden, is bepalend voor de informatie die nodig is om tot een goed design te komen. Bij het handhaven van een vaste kracht, zijn er bijvoorbeeld andere eisen dan onder servo-condities.

Algemeen gezien bepalen de volgende vier parameters de keuze van een actuator:

- Maximale kracht (F_{Peak})
- RMS kracht (F_{RMS})
- Snelheid (v)
- Verplaatsingslengte (L)

Maximale kracht

De maximale kracht (F_{Peak}) is de som van de krachten veroorzaakt door de last (F_L) en door wrijving (F_w) en de kracht ten gevolge van de versnelling van de massa (F_a).

In formulevorm:

$$F_{Peak} = F_L + F_w + F_a \quad (2)$$

De kracht ten gevolge van de last is altijd direct tegen de actuator in gericht. Bijvoorbeeld, een verticaal georiënteerde actuator die een massa ondersteunt, zal altijd de zwaartekracht als een component van de last ondervinden. Tenzij de last mechanisch wordt ondersteund, of de zwaartekracht wordt gecompenseerd.

De wrijvingskracht wordt bepaald door de mechanische configuratie van de complete bewegende samenstelling. Hierin zitten factoren als lagers, verbindingen, contactoppervlakken, enzovoort.

De kracht ten gevolge van de versnelling van de massa is het product van de massa van de last inclusief actuatorcoil en de versnelling (a) van de massa. In formulevorm:

$$F_{last+coil} = m_{last+coil} \cdot a \quad (3)$$

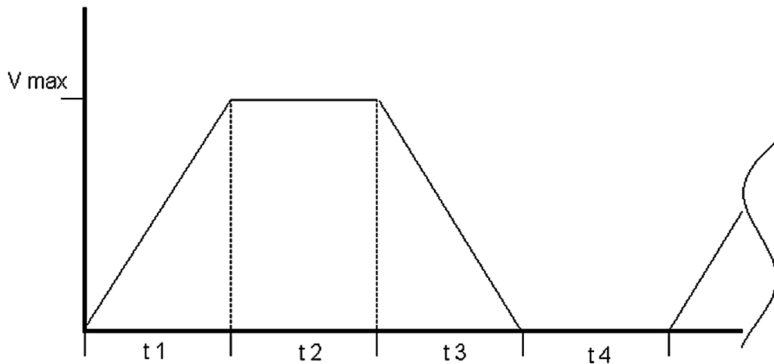
RMS kracht

De RMS kracht (root mean square) wordt gebruikt bij de benadering van de gemiddelde continue kracht die voor de

applicatie benodigd is. Bij de bepaling van deze kracht is het van belang het bewegingsprofiel van de applicatie te kennen. Bij een trapeziumvormige beweging (zie Afbeelding 3) wordt de RMS kracht beschreven door de volgende vergelijking:

$$F_{RMS} = \sqrt{\frac{F_p^2 t_1 + (F_L + F_w)^2 t_2 + (F_a - F_L - F_w)^2 t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} \quad (4)$$

Hierin is t_1 de versnellingstijd, t_2 de tijd waarin de last met constante snelheid verplaatst, t_3 de vertragingstijd en bij t_4 blijft de actuator op positie. Dit is de rusttijd in een bewegingsprofiel.



Afbeelding 3. Bewegingsprofiel

Snelheid

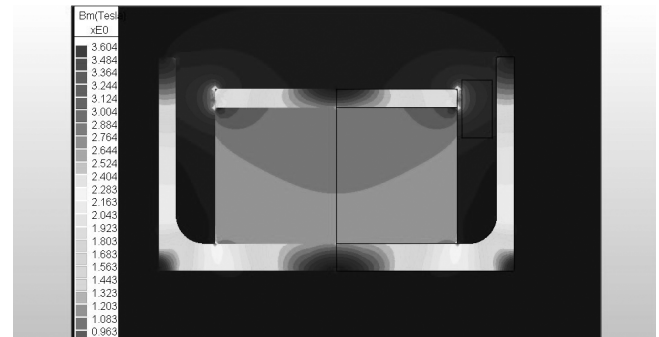
De snelheid (v) wordt bepaald door de configuratie van het mechanisch systeem dat aan de actuator gekoppeld is en het bewegingsprofiel. Bij een punt-tot-puntpositionering is vaak een snellere actuator nodig dan bij een applicatie waar een constante kracht wordt gevraagd.

Verplaatsingslengte

De verplaatsingslengte (stroke) kan worden aangegeven als de totale verplaatsing van het ene uiteinde tot aan het andere uiteinde, of als een plus/min-verplaatsing vanuit een middenstand (mid-stroke). De totale verplaatsingslengte van een VCA kan variëren van microns tot ongeveer 100 mm. De massa en het volume van de VCA nemen toe naarmate er grotere verplaatsingen worden gevraagd. Bij lange-slag-applicaties is er meer magneetmateriaal nodig en meer magneetijzer om de flux door te geleiden. Kracht en slag zijn omgekeerd evenredig aan elkaar, bijvoorbeeld: lange slag – kleine kracht, of korte slag – grote kracht.

FEM-BEM magneetsimulatie

Voor het ontwerpen van actuatoren heeft Wijdeven een analytisch rekenmodel ontwikkeld. In overleg met de klant worden de benodigde parameters op elkaar afgestemd. Uit het rekenmodel volgt een actuator die geschikt kan zijn voor de gevraagde applicatie. Om de actuatoren te optimaliseren gebruikt Wijdeven een FEM-BEM simulatiepakket. Met de eindige-elementenmethode (FEM) of rand-elementenmethode (BEM) wordt de fluxdichtheid gesimuleerd. Zaken als het in verzadiging treden van het magneetijzer worden hiermee snel helder (zie Afbeelding 4).



Afbeelding 4. Fluxdichtheid in een VCA.

Na het simuleren wordt duidelijk hoe de geometrie er uit zal komen te zien, welke clearance (ruimte lucht tussen spoel en magneetijzer) nodig is, en wat de actuatorconstante en force sensitivity bedragen. De actuatorconstante geeft het rendement van de VCA als de kracht gedeeld door de wortel van het vermogen ($[N/\sqrt{W}]$). De actuatorconstante is daarmee gerelateerd aan de warmteontwikkeling. In bijvoorbeeld een temperatuurgevoelige omgeving is het van belang de warmteontwikkeling in de spoel te minimaliseren. De keuze valt dan op een hoge actuatorconstante: bij de gewenste kracht een zo laag mogelijk gedissipeerd vermogen. De force sensitivity representeert de kracht per ampère ($[N/A]$) en is te vergroten door het aantal ampèrewindingen toe te laten nemen. Het gevolg hiervan is dat het gedissipeerd vermogen ook toe zal nemen. Een verbetering van de force sensitivity heeft hiermee een nadelig effect op de actuatorconstante. In iedere applicatie is het gewenst om force sensitivity zowel als actuatorconstante te optimaliseren. Dit is een spel tussen parameters als magneetvolume, spoelafmetingen, clearance, stroke, enzovoort. De actuatoren kunnen tot slot op kracht worden getest met een trekbank (zie Afbeelding 5). Hiermee zijn de waarden van de kracht die de actuator op de last kan leveren in de praktijk te controleren.



Afbeelding 5. Trekbank voor het testen van VCA's op kracht.

Nieuwe ontwikkelingen

Naast de standaard-VCA zijn tegenwoordig opties als energieloze krachtcompensatie, bladveerconstructies en position sensing mogelijk. De energieloze krachtcompensatie zorgt ervoor dat het product al energieloos zweeft in de gewenste stand. Aan de krachtcompensatie kan een veer karakteristiek worden meegegeven die is afgestemd op de applicatie. De geïntegreerde voice-coil actuator hoeft hierdoor veel minder energie te leveren om het gewenste doel te bereiken; ook is de massa van het bewegende deel kleiner, waardoor eventueel hogere versnellingen mogelijk zijn. Het unieke van deze compensatie zit in het meegeven van eigenschappen zoals een negatieve of positieve veer karakteristiek. Hiermee is het mogelijk om op de al aanwezige veer karakteristiek van de applicatie te 'tunen'.

Auteursnoot

Gerard van Seggelen is R&D Engineer Mechatronic Systems bij Wijdeven.

Informatie

Wijdeven Power Supplies & Inductive Technology
 gerard.van.seggelen@wijdeven.nl
 www.wijdeven.nl

URS Series High Precision Rotation Stages



Newport's **URS** family of rotation stages allows fastest rotation over large angles with outstanding bidirectional repeatability. When used with our XPS or ESP300 controllers, they can deliver smoothest motion at low speeds.

- Available in 3 sizes
- Unidirectional repeatability: 0.002°
- Max. payload: 300 N
- DC or stepper motorized models available
- Directly compatible with Newport VP, M-ILS & M-IMS series stages

XM Series Ultra-Precision Linear Motor Stages



- 10 nm sensitivity
- 300 mm/s speed
- Built to order

Delivers air bearing technology performances without the cost

XM Series stages combine ultra-precision motion with the high dynamics and reliability offered only by complex and costly air-bearing stages. Driven by a linear motor, XM stages represent the ultimate solution for demanding applications in:

- Wafer inspection
- Micro-electronics test and assembly
- Ultra-precision pick & place
- Sensor test & calibration

AD-030609-NL

Belgium
 Newport Spectra-Physics B.V.
 Tel: +32-(0)16 402 927
 Fax: +32-(0)16 402 227
 belgium@newport-de.com

Netherlands
 Newport Spectra-Physics B.V.
 Tel: +31-(0)30 65 92111
 Fax: +31-(0)30 65 92120
 netherlands@newport-de.com

Call our sales office for more information or check out our web site at:
 www.newport.com

