

Piëzo-elektrische elementen en hun toepassingen

Ir. M. Breuning.

Ferro-electricity and the piezo-electric effects are briefly described. Natural materials having such properties are mentioned. But the main attention is given to the relatively young, man-made piezo-electric ceramic materials and (PZT: lood-titasaat-zirkonaat) the different shapes in which they are available. The most recent development of these is the multilayer configuration. The dynamic behaviour is briefly mentioned. Its application in vibrating systems for various purposes discussed. Finally a number of different, well known as well as recently developed, applications is surveyed.

Piëzo-elektriciteit

Piezo-elektriciteit is het verschijnsel dat in sommige niet-metallische kristallen een elektrische polarisatie wordt opgewekt wanneer zulke kristallen mechanisch worden belast door druk- of schuifspanningen.

Dit verschijnsel werd in 1880 ontdekt door de gebroeders Pierre en Paul-Jacques Curie

Op gemetalliseerde eindvlakken loodrecht op de drukrichting vertonen die kristallen onder drukbelasting een elektrische lading; de ladingen van de tegenover elkaar liggende vlakken hebben een tegengesteld teken. Het kristal wordt gepolariseerd. De grootte van de lading is evenredig met de drukkracht. De richting van de polarisatie keert om als men de druk vervangt door trek.

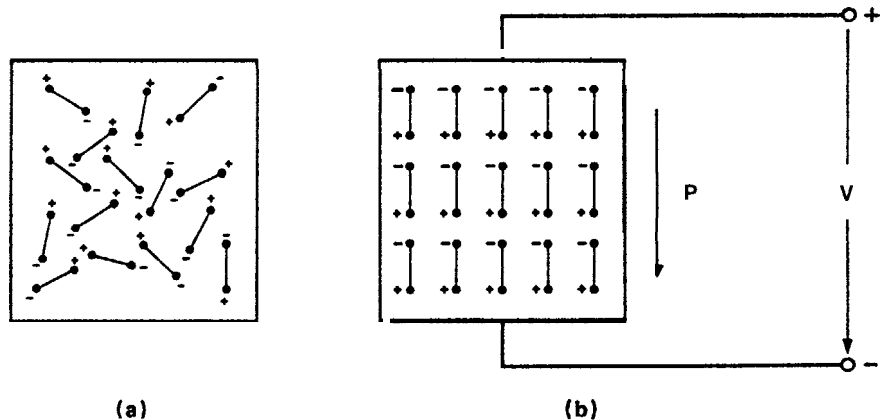
Het rendement waarmee mechanische energie wordt omgezet in elektrische is 25 tot 40%.

Het verschijnsel wordt verklaard doordat een verschuiving respectievelijk verdraaiing optreedt van de positieve en negatieve ionen ten opzichte van elkaar door de vervorming van het kristal onder belasting.

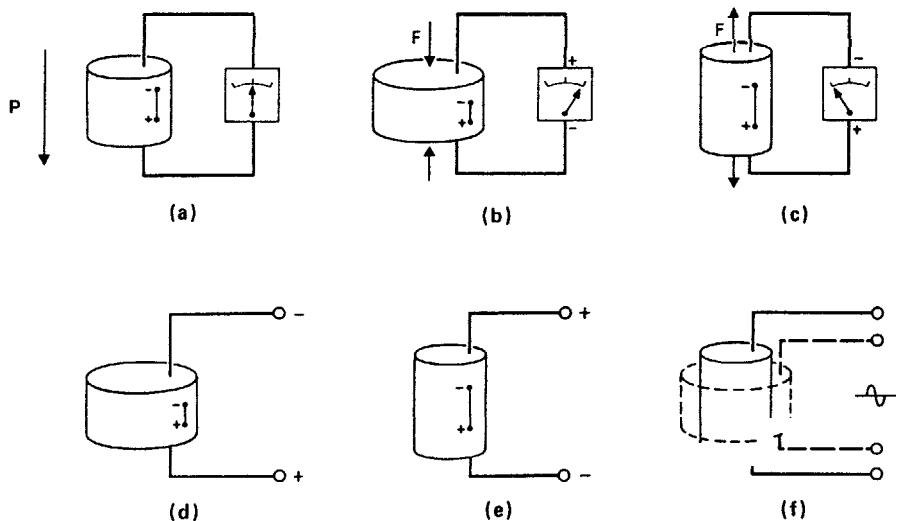
Ook het omgekeerde effect kan worden opgeroepen. Wanneer een elektrische spanning op de eindvlakken van een kristal wordt aangebracht, is een vormverandering te meten.

Materialen

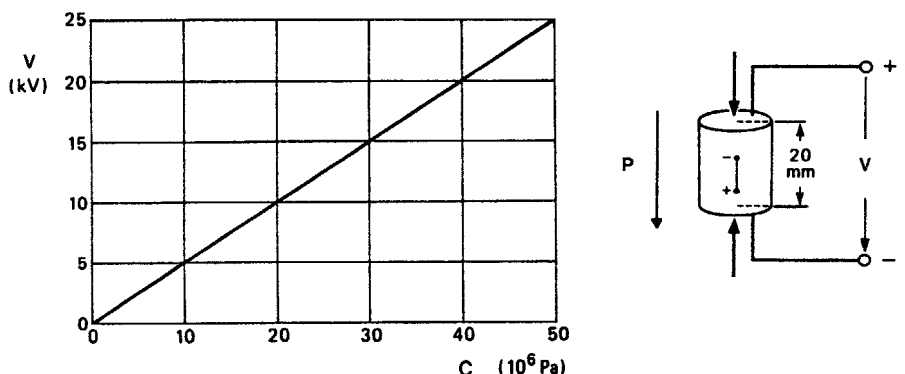
Bekende materialen met piëzo-elektrische eigenschappen zijn: kwarts, toerma-



Figuur 1 De polair georiënteerde gebiedjes in piëzo-elektrisch materiaal vóór (a) en na (b) polarisatie, ideaal voorgesteld. In (b) is P de polarisatierichting en V de polarisatiespanning.



Figuur 2 Het piëzo-elektrische effect in een cilindrisch lichaam van PXE. Voor de duidelijkheid is slechts één dipool getekend. In (a) is P de polarisatierichting; (b) op druk belast; (c) op trek belast; (d) onder elektrisch veld tegengesteld aan P; (e) onder elektrisch veld in dezelfde richting als P; (f) onder wisselend elektrisch veld.



Figuur 3 De open spanning opgewekt in een 20 mm lang cilindrisch lichaam van PXE als functie van de drukspanning (gegeven in Pascal). P is polarisatierichting, V is open spanning, C is de drukspanning.

Piëzo-elektrische elementen en hun toepassingen

lijn, seignettezout, galliumarsenide, zink-sulfide en bariumtitaanaat.

Bij deze materialen is van nature een elektrische polarisatie van kleine gebieden aanwezig. De polarisatie kan worden gericht door een sterk elektrisch veld, soms bij hoge(re) temperaturen. Na afkoeling en verwijdering daarvan blijft een oriëntatie in de veldrichting over. De remanente polarisatie veroorzaakt ook een permanente deformatie in het materiaal: het wordt anisotropisch. Zo'n blijvende polarisatie kan worden opgeheven door het aanbrengen van een elektrisch veld in tegenovergestelde richting als het oorspronkelijke, verhoging van de temperatuur boven de Curie-temperatuur of te hoge mechanische druk.

Dit diëlektrisch gedrag van deze materialen is analoog aan de magnetische eigenschappen van ferro-magnetische materialen. In analogie worden ze dan ook ferro-elektrisch genoemd.

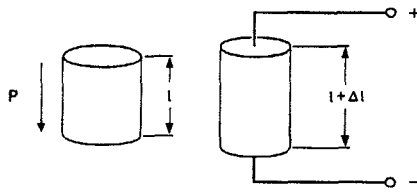
Keramische piëzo-elektrische materialen (PZT's)

In de laatste paar decennia (sinds de jaren vijftig) zijn keramische piëzo-elektrische materialen tot ontwikkeling gekomen en hebben snel vele toepassingen van het piëzo-elektrische effect mogelijk gemaakt. Deze polykristallijne materialen bestaan uit mengkristallen van loodtitaanaat (PbTiO_3) en loodzirconaat (PbZrO_3) waarvan kleine hoeveelheden van andere materialen worden toegevoegd. Ze worden onder andere door Philips Components onder de handelsnaam PXE geproduceerd en kunnen in allerlei vormen worden geleverd.

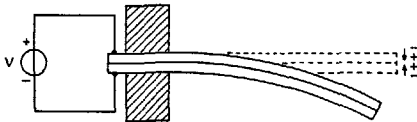
Kenmerkend voor deze ferro-elektrica is een hoge dielektrische constante (5000) en een zeer sterk piëzo-elektrisch effect (ca. 200 maal sterker dan bijvoorbeeld in kwarts)

Bij het afkoelen van de gesinterde keramiek tijdens de eerste fasen van de fabricage vormen zich gebiedjes met een polaire oriëntatie. Het materiaal vertoont in deze toestand nog geen piezo-elektrische eigenschappen. Het laat zich echter goed polariseren in een sterk gelijkspanningsveld, vooral bij temperaturen tussen de 100 en 200°C. De polarisatieveldsterkte bedraagt ca. 3 kV/mm; zie *figuur 1*. De polarisatie verdwijnt boven de zogenaamde Curietemperatuur; voor de gebruikelijke PXE's varieert deze van ca. 165 tot 325°C, afhankelijk van de samenstelling.

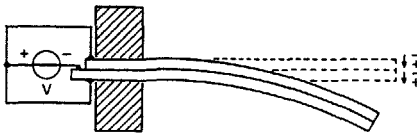
Om depolarisatie te voorkomen dient bij gepolariseerd materiaal een aangebrachte wisselende veldspanning of een



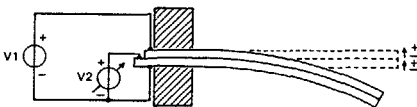
Figuur 4 Verlenging van een cilindrisch lichaam van PXE onder invloed van een gelijkspanning. In de figuur is P de polarisatierichting.



Figuur 5 Seriegeschakelde bi-morph.



Figuur 6 Parallelgeschakelde bi-morph.



$V_2 < V_1$
Figuur 7 Tegen depolarisatie beveiligende schakeling van een bi-morph bekrachtiging.

gelijkspanningsveld met tegengesteld teken als het oorspronkelijke polarisatieveld tot enkele honderden V/mm beperkt te blijven. Ook de toelaatbare drukspanning is begrensd. Voor gegevens met betrekking tot deze grenswaarden raadplege men de documentatie van de fabrikanten.

Het piëzo elektrisch-effect wordt in *figuur 2* schematisch verduidelijkt; het effect is hierbij in de figuur sterk overdreven. Om een idee te geven van de orde van grootte van het effect worden hier twee voorbeelden gegeven.

In *figuur 3* is weergegeven de open spanning indien een 20 mm lang element wordt onderworpen aan drukspanning. In *figuur 4* is schematisch (en overdreven) de verlenging aangegeven die in een cilindrisch proefstuk van 20 mm lengte wordt veroorzaakt door een gelijkspanningsveld van 1000 V/mm; deze bedraagt ca. 10 μm .

De door de remanente polarisatie veroorzaakte anisotropie leidt niet alleen tot een vormverandering in de richting van die polarisatie, maar ook tot een vormverandering in het vlak loodrecht daarop. Bij het aanbrengen van een elektrisch

veld op een gepolariseerd PXE kan dan ook van vervorming in meer dan één richting gebruik gemaakt worden. Men spreekt van d_{31} indien de vervorming in het vlak loodrecht op de polarisatie wordt gebruikt; van d_{33} indien de vervorming in de richting van de polarisatie wordt gebruikt

Multilayer PXE's

De meest recente ontwikkeling in de PXE-technologie is de fabricage van multilayer-elementen. Deze fabricagewijze van elementen is om een aantal redenen zeer aantrekkelijk. Ten eerste komt ze sterk overeen met die van keramische multilayer condensatoren. In de tweede plaats is de polarisatiespanning bij dunne lagen beperkt. Bij 3 kV/mm is deze voor een laagdikte van 0.02 mm (20 μm) slechts 60 V. Ook is de aanstuurspanning lager omdat de benodigde veldsterkte eerder wordt bereikt ($E \cdot d = V$).

Als Curietemperatuur voor de multilayer PXE's wordt 220°C opgegeven.

Uitvoeringsvormen van PXE-producten

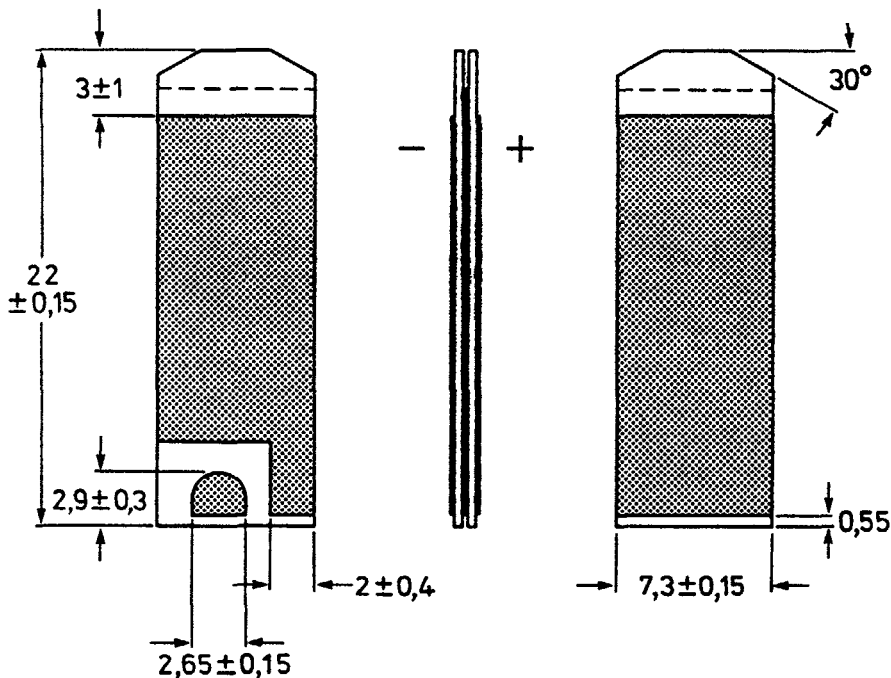
Philips levert de PXE materialen in verschillende samenstellingen met overeenkomstig verschillende eigenschappen, zodat een optimale keuze kan worden gedaan voor verschillende toepassingen. De uitvoeringsvormen kunnen zijn:

- ronde schijven van 5 tot 25 mm diameter en diktes van 0,3 tot 2 mm;
- rechthoekige platen van 4 x 4 tot 12 x 6 mm, diktes van 0.3 tot 1 mm.

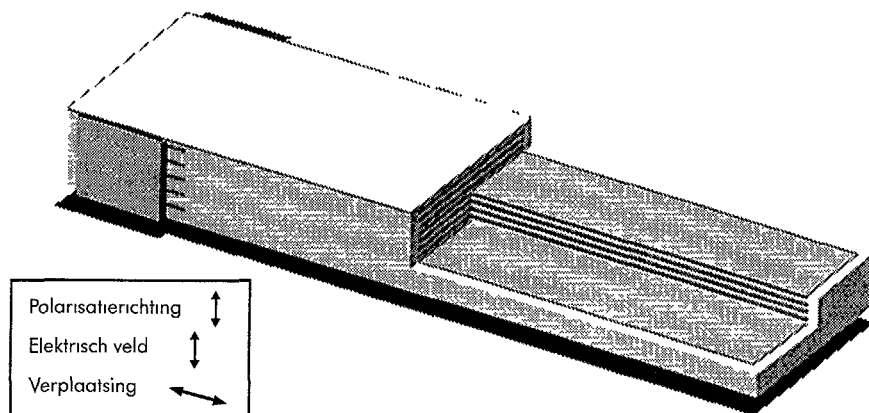
Boven- en ondervlak zijn voorzien van een dunne elektrodelag van nikkel. Overigens worden ook andere materialen voor de elektroden gebruikt. Bijvoorbeeld een zilver-glas emaille, dat opgedrukt of gespoten wordt en na gestookt te zijn een zeer goed elektrisch contact met het keramisch materiaal oplevert. Voor goed geleidende zeer dunne elektroden wordt ook goud toegepast. Platina en palladium elektroden laten zich met het keramisch materiaal mee uitstoken.

Bij veel toepassingen, bijvoorbeeld als actuator¹⁾, is een grotere verplaatsing of uitslag gewenst dan kan worden verkregen met eenvoudig gebruik van de d_{31} of d_{33} -richting. Bovendien zijn voor enigszins bruikbare uitslagen zeer hoge spanningen nodig.

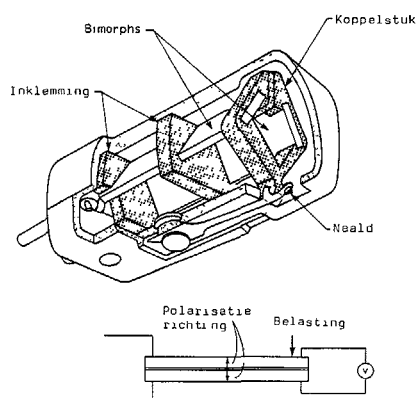
Door toepassingen van de zogenaamde bi-morph (analoog aan een bi-metaal) en gebruik van de d_{31} verplaatsingsrichting kunnen veel grotere uitslagen worden ge-



Figuur 8 Parallel geschakelde bi-morph van Philips' PXE5 materiaal als toegepast voor de "dynamic track sensing" in de Philips VCR 2000. Resonantiefrequentie tussen 900 en 1300 Hz. Vrije lengte 15,2 mm. Uitslag tussen 25 en 100 Hz bij 300 V : 215 tot 280 μ m.



Figuur 9 Multilayer-actuator voor d_{31} verplaatsing.



Figuur 10 Stereo pick-up voor grammofoon.

realiseerd. Een bi-morph bestaat uit twee op elkaar bevestigde XE-strippen, aan één einde ingeklemd en vrij uitragend (cantileverd); zie de figuren 5 en 6. Men onderscheidt een seriegeschakelde opstelling en een parallel geschakelde. Bij serieschakeling hebben de buitenste contactvlakken van de bi-morph hetzelfde spanningsteken; bij parallelschakeling een tegengesteld spanningsteken. Bij bekrachtiging zal, door de tegengestelde polarisatie-richting, de ene laag inkrimpen en de andere uitzetten. Dit heeft hetzelfde mechanische effect als de ongelijke uitzetting van de lagen van een bi-metaal.

Met een schakeling als in figuur 7 worden beide lagen in hun polarisatie-richting bekrachtigd, zodat langzame verandering van eigenschappen door depolarisatie wordt vermeden.

Gewoonlijk wordt de serie-uitvoering alleen passief, als opneemelement, gebruikt om mechanische beweging of trilling te detecteren (pick-up element, accelerometers, e d).

Vooral de parallel geschakelde uitvoering wordt actief, als actuator, gebruikt; dus met spanning bekrachtigd. Bijvoorbeeld voor het volgen van het signaalspoor door de video (beeld)signaalafkastkop in videotape-recorders: dynamic track sensing; zie figuur 8.

De multilayer elementen worden tot nu toe uitgevoerd als veellaagse rechthoekige strippen; afmetingen 3,5 x 17 mm, dik 1 mm. Tussen de lagen zijn elektrodelagen aangebracht, die afwisselend naar beide zijanten doorlopen en worden voorzien van contactvlakken; zie figuur 9. Bij een even aantal lagen is de uitzetting in d_{31} -richting rechthoekig. In figuur 10 is de verplaatsingskarakteristiek gegeven als functie van de bekrachtigingsspanning voor verplaatsing in de d_{31} -richting, dat wil zeggen loodrecht op de polarisatie-richting.

Een als bi-morph uitgevoerde combinatie van twee strippen levert een buigende actuator als eerder beschreven.

Overigens kan de multilayer ook worden gebruikt voor verplaatsing c.q. uitslag in de polarisatie-richting, dus d_{33} .

Eigenschappen die voor de toepassing als actieve elementen van belang kunnen zijn

De keramische piezo-elektrische materialen vertonen een aantal eigenschappen die bij bepaalde toepassingen van belang kunnen zijn. Voor actuator-toepassingen kan de niet-lineairiteit van de uitzetting als functie van de bekrachtigingsspanning soms van belang zijn. Deze varieert voor verschillende samenstellingen van enkele procenten tot ca. 10%. Verder is sprake van een zekere hysteresis, dat wil zeggen dat de genoemde relatie bij toename van de bekrachtigingsspanning en bij afname daarvan niet geheel identiek is. Ook dit is afhankelijk van de samenstelling en varieert van ca. 2% tot ca. 15%.

Tenslotte is er een zekere na-kruip van de uitzetting bij de bekrachtiging en ook na het wegnemen daarvan. Ze varieert, wederom afhankelijk van samenstelling, van

Piëzo-elektrische elementen en hun toepassingen

1 tot 20% van de in eerste instantie verkregen uitzetting, over een tijdsduur van 10 tot 100 seconden.

Verder dient men rekening te houden met de lineaire uitzettingscoëfficiënt, die van 1 tot 5×10^{-6} per °C kan bedragen.

Bij gebruik bij hogere temperaturen, vooral dicht bij de Curietemperatuur, bestaat gevaar voor langzame depolarisatie. Anderzijds kunnen de keramische piëzomaterialen zowel in vacuüm als bij zeer lage (cryogene) temperaturen functioneren. Vochtige atmosfeer kan tot overslag of lek langs het oppervlak aanleiding geven. Een goede bescherming tegen vocht is daarom noodzakelijk.

Piëzo-elementen hebben een zekere capaciteit (analoog aan een condensator), gepaard aan een meestal lage weerstand. Voor het elektrisch circuit waarin zo'n element is opgenomen kan de aldus resulterende lage impedantie tot grote stroomsterktes aanleiding geven.

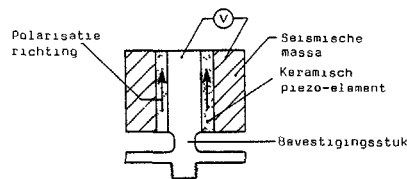
Eenmaal bekrachtigd wordt vrijwel geen vermogen opgenomen en wordt geen warmte door verliezen gegenereerd.

De lading en daarmee de uitzetting kan na het verwijderen van de bekrachtiging uren behouden blijven; om de uitzetting op te heffen moet dus ontladen worden. De reactiesnelheid bij het omzetten van een bekrachtigingsspanning in een uitzetting c.q. vormverandering is zeer hoog; ze hangt af van de mechanische resonantie frequentie van de te bewegen delen. De kortste reactietijd is $\frac{1}{2}\tau$, waarbij $\tau = 1/\text{freq.}$

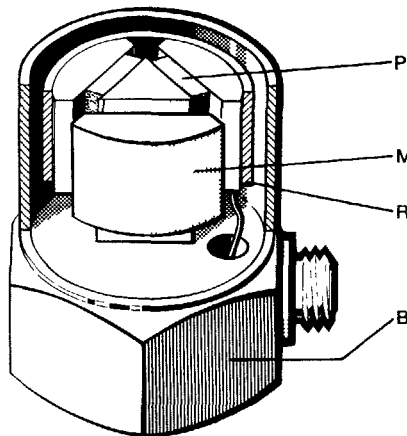
In vergelijking met elektromagnetische actuators kunnen relatief grote krachten worden geleverd door relatief kleine volumes piëzo-elektrisch materiaal. De grootte van de uitzetting c.q. slag is echter zeer beperkt.

Voorbeelden van toepassingen

Met behulp van piëzo-elementen laten zich mechanische trillingen omzetten in een elektrisch signaal. Dit vond onder andere toepassing in pick-ups voor het afspeelen van traditionele grammofoonplaten. In *figuur 10* is een stereo pick-up als voorbeeld afgebeeld. Hierin zijn twee bi-morphstrippen toegepast, onder 90° ten opzichte van elkaar en 45° ten opzichte van het plaatoppervlak. De beweging van de naald ten opzichte van de beide flanken van de groef in de plaat wordt via een koppelstuk omgezet in een beweging van ieder van de twee strippen, die aldus een linker en rechter stereosignaal leveren. De toepassing van bi-morphs levert voor de kleine naaldbewegingen relatief hoge mechanische spanningen in de



Figuur 11 Doorsnede van een versnellingsopnemer met cilindrisch piëzo-element.



Figuur 12 Versnellingsopnemer met vlakke piëzo-elementen (Brüel & Kjaer); M = seismische massa, P = piëzoelektrisch element, B = voet, R = klemring.

strippen en daarmee een hoge signaalsterkte (orde van grootte 0.5 V).

In *figuur 11* is een uitvoeringsvorm van een versnellingsopnemer (accelerometer) geschetst. Verticale versnellingskrachten op de seismische massa veroorzaken afschuifspanningen in het piëzo-element en aldus een elektrisch signaal. Een andere uitvoering, van de bekende Deense fabrikant Brüel & Kjaer laat *figuur 12* zien.

Ook detonatie (klop)detectoren, die in door turbo-oplading hoog opgevoerde benzinemotoren worden toegepast, werken op overeenkomstige wijze.

Voor vele wel bekend is het kwartskristal, zoals toegepast in stabiele frequentiegeneratoren. Zo'n kwartskristaloscillator maakt gebruik van één der eigen trillingfrequenties, die bepaald worden door de vorm en afmeting van het kristal. Een wisselspanning brengt het kristal in mechanische trilling. Wordt in de eigen frequentie aangestoten, dan wordt het trillingscircuit op die frequentie gestabiliseerd; een stabiliteit van $1 : 10^9$ is goed bereikbaar. Dit wordt onder andere toegepast voor stabilisatie van de draaggolf van radiozenders en in elektrische uurwerken, waarmee een afwijking van slecht enkele seconden per jaar bereikt kan worden. Met behulp van piëzo-elementen laten

zich ook hoogfrequente transformatoren realiseren. Een excitatiewisselspanning wordt daarbij via mechanische trilling omgezet in een ander spanning.

Voor de meeste lezers is ook de toepassing van piëzo-elementen voor het opwekken van ultrasonische mechanische trillingen niet onbekend.

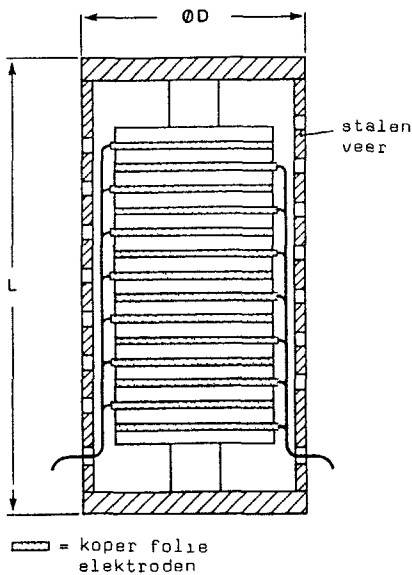
Hiervoor worden meestal axiaal gepolariseerde schijven of ringen van keramisch materiaal (PXE) gebruikt. De te kiezen samenstelling wordt afgestemd op de specifieke toepassing en de daarvoor geschikte frequentie.

Eén van dergelijke toepassingen is die voor onderwaterechopeling: sonar. Hiervoor wordt veelal een schijf gebruikt in de d_{33} trillingsrichting, ondergebracht in een beschermend kunststoffen omhulding. De gebruikelijke frequentie ligt tussen 150 en 200 kHz, waarmee een compacte omzetter (transducer) met een goede richtingsvoorkeur en redelijk bereik te realiseren is. De detectie van het echosignaal geschiedt eveneens met behulp van een piëzo-element.

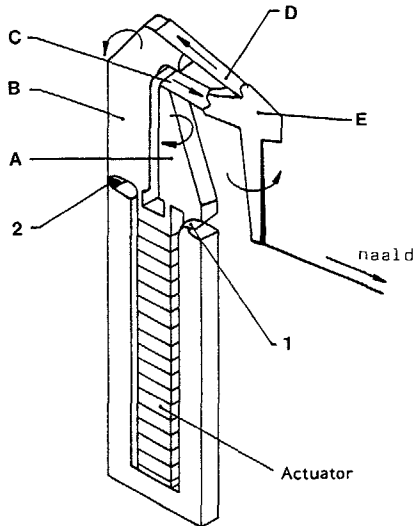
Een eenvoudige ultrasonische omzetter voor ultrasonische reinigingsbaden wordt verkregen met een schijf die gelijmd is aan een metalen schijf die weer wordt gelijmd op de onderkant van een, meestal kleine, tank of vat. De schijf wordt voor radiale trilling in d_{31} richting gebruikt bij frequenties van 40 tot 60 kHz. Ze doet de bodem van de tank of het vat trillen in velerlei gecompliceerde patronen, waardoor ultrasonische energie op de vloeistof van het bad wordt overgedragen.

Voor hoge ultrasonische trillingsintensiteiten wordt bij voorkeur een op druk voorgespannen sandwich-constructie toegepast van twee schijven of ringen, gescheiden door een dunne metalen plaat en gevat tussen twee metalen blokken. De schijven worden gebruikt in de d_{33} trillingsrichting; de gehele samenstelling is gedimensioneerd als een halvegolf lengte-resonator. Ze wordt bijeengehouden door één of meer schroefbouten die de piëzo-schijven onder drukspanning houden om te voorkomen dat daarin tijdens het trillen een trekspanning kan ontstaan.

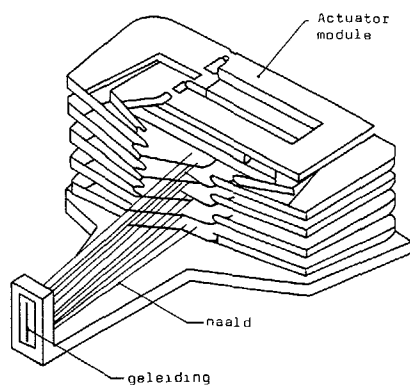
Deze opbouw heeft het voordeel van een goede warmte-afvoer en minder verliezen door de goede mechanische eigenschappen van de metalen delen, waarbij de piëzo-elektrische omzettingfactor niet minder is dan van een enkelschijfomzetter. Een dergelijke transducer werkt meestal met een frequentie van 20 tot 50 kHz.



Figuur 13 Uit een stapel PXE-schijven opgebouwde krachtige actuator.



Figuur 14 Actuator met hefboommechanisme voor naalddrukker.



Figuur 15 Opbouw van een matrixdrukker.

Ze worden zowel voor ultrasonere reinigingsbaden gebruikt als, vooral, voor het ultrasoon lassen van kunststoffen. Voor het laatste toepassingsgebied wordt in de regel gebruik gemaakt van een mechanische amplitude-omvormer. Dit is een trompetvormig metalen koppelstuk van bij voorkeur een materiaal met lage akoestische impedantie zoals aluminium. Voor diepgaande studie van ultrasonere transducers en hun toepassing voor het lassen van onder andere kunststoffen raadplege men [4] uit de bij dit artikel gevoegde literatuurlijst.

Met een stapel PXE-schijven, waarbij de d_{33} beweging wordt gebruikt, zijn actuators te bouwen die grote krachten kunnen leveren. Een dergelijke constructie is afgebeeld in *figuur 13*. Ze worden in een aantal afmetingen geleverd. De stapel wordt daarbij door het als drukveer uitgevoerde stalen huis voorgespannen met ca. 1000 N. Tussen de schijven zijn elektrodes van koperfolie aangebracht.

De hoge voorspanning, die elke speling tussen de schijven opheft, geeft de constructie grote stijfheid. De in de figuur afgebeelde actuator heeft een reactietijd van 200 μ sec. Bij afmetingen $D = 32$ mm en $L = 100$ mm is de slag bij 500 V ca. 50 μ m, bij 800 V ca. 80 μ m en de maximale drukkracht 5000 N.

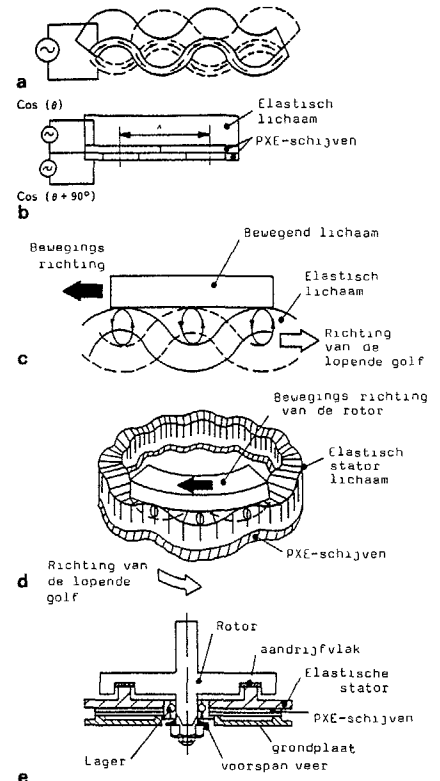
De maximale drukkracht wordt geleverd als geen slag gemaakt wordt; ze neemt af tot vrijwel nul aan het einde van de slag.

Zoals eerder is besproken, kan een vergroting van de beperkte uitzetting c.q. slag van PXE-elementen worden bereikt door een zogenaamde bi-morphconfiguratie. Deze wordt daar toegepast waar een relatief grote uitslag bij een relatief geringe kracht nodig is.

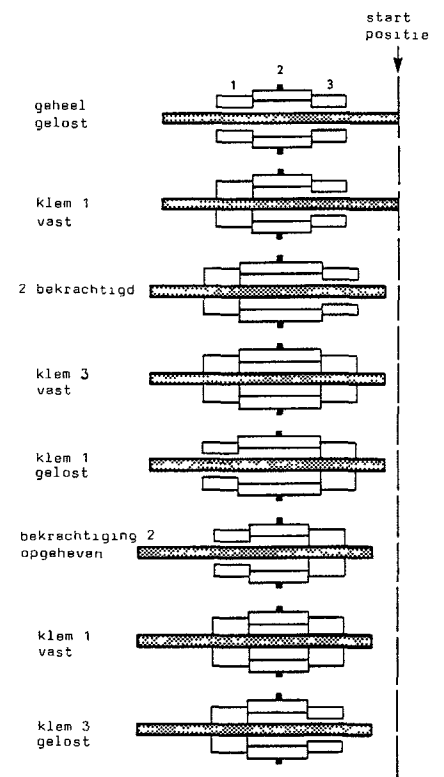
Ook door slimme hefboommechanismen kan de beperkte slag van PXE-elementen worden vergroot. Dit wordt bijvoorbeeld toegepast bij de aandrijving van de druknaalden van matrixdrukkers waarmee sommige typen printers en elektronische schrijfmachines zijn uitgerust.

In *figuur 14* is een dergelijk mechanisme afgebeeld. Wanneer de PXE-actuator wordt bekrachtigd en uitzet, kantelen de armen A en B om hun scharnierpunten 1 en 2. Hierdoor worden de koppelstangen C en D respectievelijk naar rechts (in de figuur) gedruwd en naar links getrokken, waardoor de arm E kantelt. Deze doet op zijn beurt de naald bewegen (in de figuur naar rechts) en met behulp van het inklinant een puntje op het papier drukken.

De gehele module is zeer plat en compact zodat een complete naalddrukker zich uit



Figuur 16 Lopende-golf motor.



Figuur 17 "Inchworm" lineaire aandrijving.

Piëzo-elektrische elementen en hun toepassingen

een stapel laat opbouwen; zie figuur 15. Deze naaldaandrijving kan hogere druksnelheden realiseren dan een vergelijkbare elektromagnetische. Doordat warmteontwikkeling te verwaarlozen is, kan de complete naalddrukker goed worden afgeschermd en is daardoor veel geruislozer.

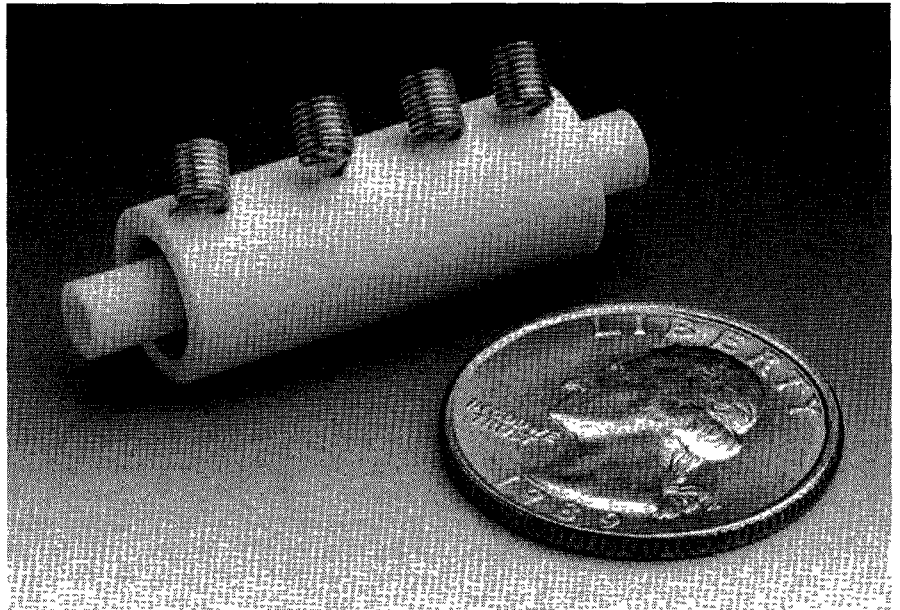
Een interessante roterende motor is onder andere ontwikkeld door de Japanse firma Matsushita. Het principe en de bouw zijn weergegeven in figuur 16. Het piëzo-elektrisch aandrivelement bestaat uit twee PXE-ringen met afwisselend gepolariseerde sectoren. Deze zijn bevestigd aan een elastische schijf en worden met wisselspanning bekrachtigd. De verschillend gepolariseerde sectoren trekken samen of verlengen en vervormen de elastische schijf (zie figuur 16a). De twee PXE-schijven zijn ten opzichte van elkaar de halve steek van de sectoren verschoven, (zie figuur 16b). Ze worden met twee, 90° in fase verschoven wisselspanningen bekrachtigd. Daardoor ontstaat een lopende golf. Sectoren van de elastische schijf bewegen daardoor in een elliptisch patroon, zie figuur 16c, zodanig dat een daarop rustende schijf (figuur 16d) wordt bewogen in een richting tegengesteld aan die van de lopende golf. De praktische uitvoering laat figuur 16e zien.

Een middelgrote motor heeft een diameter van 40 mm en is 12 mm dik. Bij 30 V 70 kHz heeft deze een onbelast toerental van 800 omw/min; bij 400 omw/min wordt een koppel van 0,06 Nm geleverd. De kleinste motor in de serie heeft een diameter van 17 mm en een dikte van 6 mm. Een levensduur van $1,5 \times 10^4$ uur schijnt bereikbaar te zijn.

Ze zijn licht, relatief langzaam lopend, hebben een relatief hoog koppel, zijn goed te regelen en reageren snel. Door de hoge frequentie van de wisselstroom zijn ze voor het menselijk oor geruisloos. Ze worden onder andere door Panasonic toegepast in hun autofocus videocamera's.

Ook door AEG zijn dergelijke motoren ontwikkeld. Inplaats van piëzo-ringen wordt ook een combinatie van één in sectoren afwisselend gepolariseerde ring en een messing statorring toegepast die eenzelfde bi-morph werking heeft.

Een lineaire aandrijving met grote slag is ontwikkeld door Burleigh Instruments en is commercieel verkrijgbaar in een aantal uitvoeringen onder de naam "Inchworm". De langste verkrijgbare slag is 250 mm.



Figuur 18 Kleine uitvoering van een "Inchworm" lineaire aandrijving.

De aandrijving bestaat uit drie cilindrische PXE-elementen, waarvan de twee buitenste met een nauwe passing om de as of stang sluiten; ze klemmen de stang vast indien bekrachtigd. Het middelste is vrij van de stang en zet bij bekrachtiging uit parallel daaraan.

Bij een juiste volgorde van bekrachtiging wordt de stang met zeer kleine stapjes van 4 nanometer verplaatst; zie figuur 17, waarin de cyclus van bekrachtiging van de drie elementen is aangegeven. Op deze wijze kan de stang over haar hele lengte worden verplaatst. Ook kan, door de volgorde van bekrachtiging om te keren - dat wil zeggen eerst element 3 te bekrachtigen - de beweging in de ander richting plaats vinden.

Het systeem wordt elektronisch gestuurd. De bekrachtiging van element 2 wordt met stapjes verhoogd zodat iedere cyclus uit maximaal 500 stapjes van 4 nm bestaat. Op deze wijze kunnen zowel de snelheid als de positie nauwkeurig geregeld worden (door middel van terugkoppeling). Ook wordt slijtage tot een minimum beperkt doordat 1 en 3 gelost worden als 2 niet beweegt. De snelheid kan variëren van 4 nm tot 2 mm per sec; de duwkracht bereikt 1,5 N. Een levensduur van 2×10^{12} stapjes is reeds geconstateerd.

Figuur 18 laat een kleine uitvoering van zo'n aandrijving zien; ter vergelijking van

de afmetingen is er een dollar naast gelegd.

Ook manipulatoren voor kleine bewegingen, X-Y tafels met kleine precieze slag of de nauwkeurige verplaatsing van optische elementen, laten zich zeer elegant met piezo-elementen realiseren.

Literatuur

- [1] Piezo-electric ceramic actuators: a review of machinery applications. T.G. King, M.E. Preston, B.J.M. Murphy* and D.S. Cannell[†]
- * Department of mech. Eng., Loughborough University of tech UK
- † Unilator Division, Morgan Matroc Ltd, UK
- Precision Engineering July '90 Vol 12 No 3
- [2] Philips Piezoelectric Ceramics Data Handbook, Philips Components Division
- [3] Ceramic Multilayer Actuator and Applications, Philips Components Division
- [4] Piezoelectric Ceramic Designers Guide, Philips Component Division
- [5] Piezoxide (PXE) Eigenschappen und Anwendungen, Philips Bauelemente VALVO / Philips
- [6] The Design of ultrasonic resonators with wide output cross-sections, Proefschrift TUE dr ir PLLM Derks
- [7] Piezoelectric Accelerometers Product Information and Catalogue; Bruel & Kjaer
- [8] Micropositioning Systems The Micropositioning Book, Burleigh Instruments (Optilas BV, Alphen a/d Rijn).

[†] Een actuator is een omzetter die elektrische bekrachtiging omzet in een beweging die een bepaalde kracht uitoefent