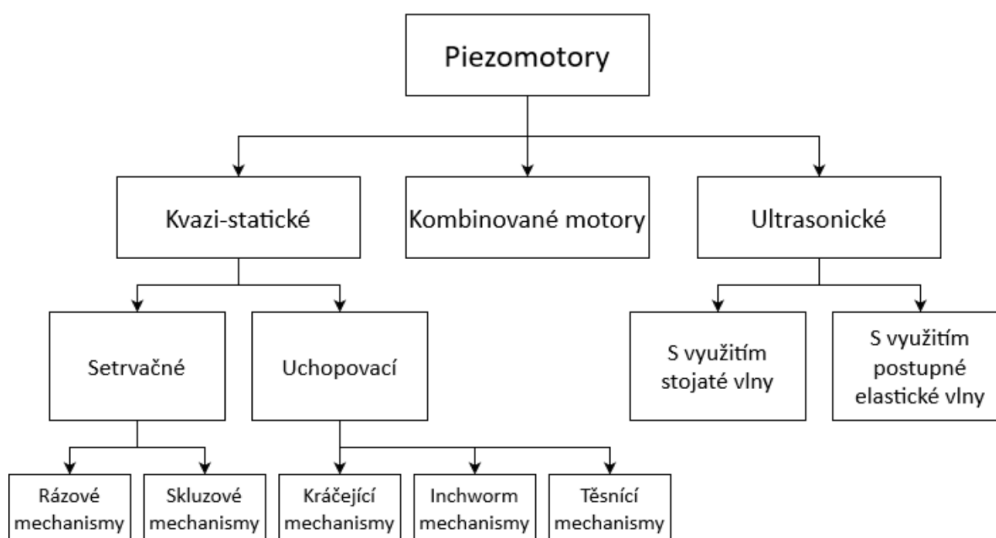


Piezomotory

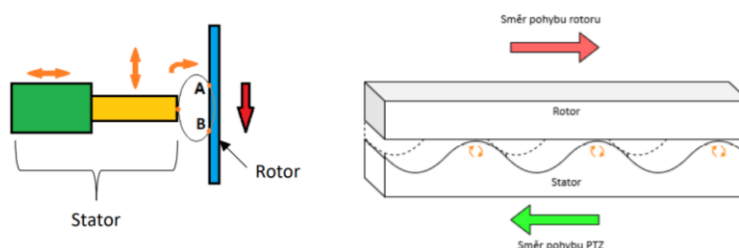
Piezelektrický motor, též označován jako piezomotor je zařízení fungující na principu zpětného piezelektrického jevu. Piezelektrický jev byl objeven na konci 19. století bratry Curieovými. Ti přišli na to, že při deformaci krystalové mřížky piezelektrického materiálu vzniká elektrický náboj. Reverzaci tohoto procesu, tedy působením vlivu elektrického pole na krystalovou mřížku získáme její deformaci. Pro dosažení co nejdelšího rozsahu pohybu piezomotory využívají piezelektrické akční členy (piezoaktuátory) vyrobené z piezelektrického materiálu. Typickým představitelem piezelektrického materiálu je titaničitan-zirkoničitan olovnatý (PZT). Piezomotory lze rozdělit podle jejich provozních frekvencí na: ultrasonické, kvazi-statické (nazývané též nerezonující) a kombinované, tedy kombinaci dvou předešlých. Tyto skupiny lze i dále dělit podle dalších kritérií. Rozdělení piezomotorů je znázorněno na obr. 1 (Los, 2016; Peng, 2015).



Obr. 1 Rozdělení Piezomotorů (Spanner, 2016; Peng, 2015; Piezo Motors)

Ultrasonické piezomotory

Motory poháněny ultrazvukovými vibracemi buzenými rezonancí označujeme jako ultrasonické nebo též ultrazvukové. Tyto motory se skládají ze statoru a rotoru. V piezelektrických elementech zabudovaných ve statoru produkuje vibrační energie hnací sílu, která prostřednictvím tření pohání rotor motoru. Rezonančně vybuzená PZT mohou produkovat stojatou nebo postupnou elastickou vlnu. Dle tohoto aspektu je tedy lze rozdělit do dvou skupin. Princip jejich fungování je znázorněn na obr. 2. (Los, 2016; Peng, 2015).



Obr. 2) Princip funkce motoru se stojatou vlnou a s postupnou elastickou vlnou

Jak je znázorněno na obr. 2 a) stator motoru na principu stojaté vlny se skládá ze dvou částí. Vlastního PZT a vibrujícího dílu. Vibrační část generuje ohyb a PZT je buzena napětím, což vede k eliptickým trajektoriím na špičce statoru z bodu A do bodu B. Stator v místě dotyku tlačí na rotor a nutí jej k

mírnému pohybu. Z bodu B do bodu A se již stator a rotor nedotýkají, a tedy nepřenáší žádný pohyb. Dosažení větších vzdáleností je tedy možné opakováním pohybu po eliptické dráze. (Peng, 2015)

Obr. 2 b) ukazuje princip motoru s postupnou elastickou vlnou. Na rozdíl od motoru se stojatou vlnou, který využívá jeden eliptický pohyb generovaný ve statoru, u motoru s postupnou elastickou vlnou všechny body na povrchu statoru sledují eliptickou trajektorii. Obecně lze postupnou elastickou vlnu generovat kombinací dvou stojatých vln s fázemi vzájemně posunutými o 90°. Motory na tomto principu díky vysoké amplitudě a vlnám o vysoké frekvenci nacházejí své uplatnění jako součásti ostření fotoaparátů, nebo u přesných mikroskopů. (Peng, 2015)

Kvazi-statické piezomotory

Na rozdíl od ultrasonických motorů, poháněných pomocí rezonance statoru, jsou kvazi-statické motory piezoelektrické motory poháněné v nižším frekvenčním rozsahu, než jsou jejich mechanické rezonanční frekvence. Proto jsou často taky označovány jako non-resonant tedy nerezonanční motory. Obecně lze říct, že existují dva režimy polohování těchto motorů. První je režim dlouhého zdvihu. S vysokou frekvencí je PZT aktivován rychle a opakovaně v sérii malých kroků. Motor tedy může teoreticky dosáhnout neomezeného rozsahu pojezdu akumulací zdvihů krokového pohybu. Druhý režim určování polohy je režim jemného určování polohy. Při aplikaci pomalu se měnícího stejnosměrného napětí na PZT lze dosáhnout až nano-metrické stupnice přesnosti v rámci jednoho zdvihu PZT. Kvazi-statický motor je tedy bez jakýchkoli externích komponent mechanického zvětšení schopen hrubého i jemného polohování s jednoduchou konstrukcí a kompaktní velikostí. (Brahim,2017; Peng,2015)

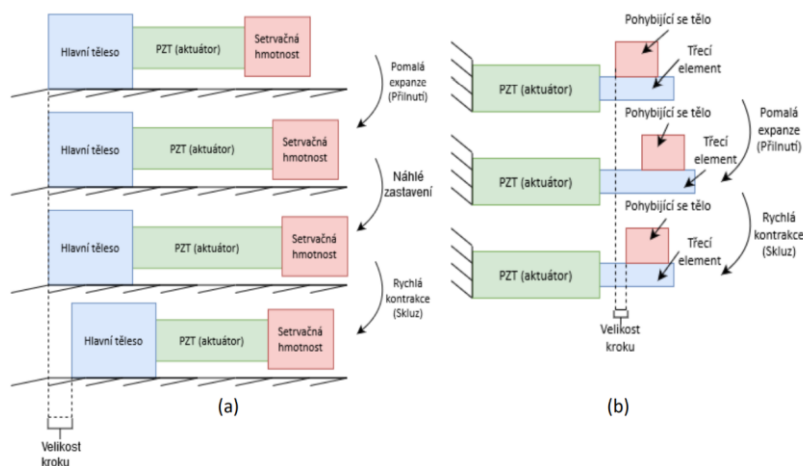
Nerezonanční piezomotory pracují na principu upínání nebo na principu setrvačnosti. U motorů upínacího typu se rotor předává „ruku v ruce“ mezi dvěma sadami upínacích a hnacích akčních členů. V kterémkoli okamžiku je jedna sada upnutá k rotoru a pohybuje jím ve směru unášení, zatímco druhá je uvolněna a pohybuje se v opačném směru, aby byla připravena na nové upnutí. U motorů setrvačného typu se využívá setrvačnost a rozdíl mezi statickými a dynamickými koeficienty tření. (Spanner,2016)

Setrvačné piezomotory

Setrvačné motory ve srovnání s jinými piezoelektrickými motory mají jednoduchou mechanickou konstrukci. Ta upřednostňuje tyto motory při miniaturizaci pro velmi kompaktní polohovací systémy. Setrvačné motory používají setrvačnost hnané části k jejímu pohonu prostřednictvím nepřerušovaného třecího kontaktu ke generování pohybu. Existují dva základní funkční principy setrvačných motorů, jeden s pevným aktuátorem a druhý s pohyblivým aktuátorem (nazývaný také jako motor s rázovým aktuátorem). (Brahim, 2017)

Rázové piezomotory

Setrvačný pohon založený na principu rázového hnacího členu je metoda využívající statické tření a impulzivní setrvačnou sílu způsobenou rychlými deformacemi PZT. Jak je znázorněno na obr. 3 a), tento mechanismus se skládá z hlavního tělesa, PZT a setrvačné hmoty. Hlavní těleso je v třecím kontaktu s vodící plochou, ale aktuátor a závaží se této plochy nedotýkají. Při pomalém rozpínání PZT se pohybuje vpřed i hmota, zatímco hlavní těleso si vlivem tření udržuje svou polohu. Po náhlém zastavení této expanze okamžitě následuje rychlé smrštění. Tím se překoná tření mezi vodící plochou a hlavním tělesem a dojde ke skluzu. (Peng, 2015; Brahim, 2017)



Obr. 3 Popis principu setrvačného motoru: a) Rázového, b) Skluzového (Peng, 2015)

Sklužové piezomotory

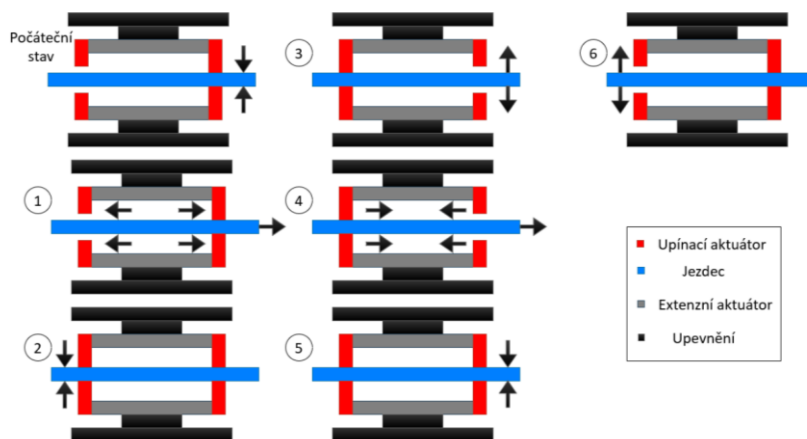
Obr. 3 b) znázorňuje princip funkce skluzového setrvačného piezomotoru. Tento princip byl odvozen z mechanismu rázového piezomotoru, při využití třecího prvku k přenosu pohybu z PZT na pohybující se těleso. Jeden konec aktuátoru je připevněn k základně a druhý k třecímu elementu. Při pomalém rozpínání aktuátoru se posouvá jak třecí element, tak i na něm umístěné pohyblivé těleso. Následně při rychlé kontrakci díky své setrvačnosti není těleso schopno sledovat pohyb aktuátoru, překoná statické tření a zůstává na svém místě. Kontinuálním opakováním těchto operací lze docílit teoreticky nekonečného posuvu. (Peng, 2015; Brahim, 2017)

Uchopovací/upínací piezomotory

Piezelektrické motory založené na krokovém režimu, se nazývají motory na bázi upínání. Jak již sám název napovídá, tyto motory jsou založeny na posloupnosti upínacích a uvolňovacích pohybů. V závislosti na provozním principu a použitých pohyblivých částech lze rozlišit několik kategorií těchto krokových motorů. (Peng, 2015; Brahim, 2017)

Inchworm piezomotory

Inchworm mechanismus je druh upínacího/podávacího mechanismu, jehož název se odvozuje z anglického názvu pro housenku. Způsob jeho pohybu totiž imituje pohyby housenky v přírodě. Obvykle se mechanismus Inchworm motoru skládá ze tří piezelektrických akčních členů, přičemž dva krajní se používají jako svorky k upnutí a střední slouží jako podávací mechanismus k posunutí podél hřídele. Pro dosažení nepřetržitého pohybu a vyšších sil jsou navrženy podobné konstrukce upínacích motorů s pěti akčními členy. Topologie a upínací sekvence Inchworm motoru jsou znázorněny na obr. 4. (Peng, 2015; Brahim, 2017)



Obr. 4 Schématický popis Inchworm motoru (Peng,2015)

V prvním kroku se extenzní aktuátor roztáhne a umožní jezdcí se pohybovat pryč od otevřené svorky. V následujících krocích 2 a 3 je realizováno přepnutí z uzavřené polohy jednoho krajního aktuátoru na otevřenou a z otevřené polohy druhého krajního aktuátoru na uzavřenou. Když se v kroku 4 následně extenzní aktuátor smršťuje, vzdálenost mezi krajními aktuátory se zmenšuje a jezdec se pohybuje dále stejným směrem vřed. Upínací akční členy znovu mění své role v krocích 5 a 6, a začíná nový cyklus. Velikost kroku Inchworm motoru závisí na maximálním namáhání extenzního aktuátoru a rychlost volnoběhu je přímo určena frekvencí upínacích pohybů. Směr pohybu motoru lze obrátit obrácením upínacích sekvencí. (Brahim, 2017)

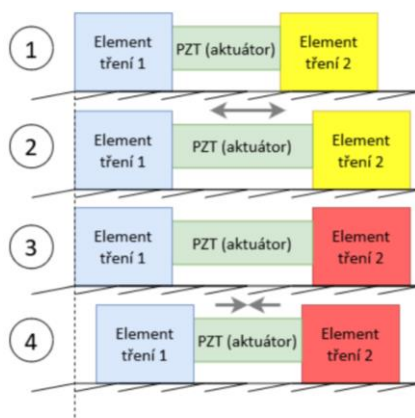
Těsnící piezomotory

Dalším členem skupiny upínacích piezomotorů je motor pracující na těsnícím principu. Princip fungování je velmi podobný fungování piezomotoru typu Inchworm. Rozdíl je v upínacím mechanismu, neboť u těsnícího motoru je pouze jeden. Jak je znázorněno na obr. 5, těsnící mechanismus se skládá z jednoho PZT a dvou třecích prvků. Třecí prvek (element tření) 1 je pasivní zařízení, které působí konstantní třecí silou, zatímco třecí element 2 je ovládán dvoupolohově metodou zapnuto-vypnuto, čímž vznikají operace upínání a uvolňování k základně. Třecí síly odpovídají vztahu (1):

$$F_{2\text{ off}} < F_1 < F_{2\text{ on}} \quad (1)$$

kde F_1 je konstantní třecí síla mezi třecím prvkem a základnou, zatímco $F_{2\text{ off}}$ a $F_{2\text{ on}}$ jsou třecí síly při upnutí a uvolnění třecího elementu 2.

Sekvence spuštění těsnícího piezomotoru je následující: V prvním kroku je třecí prvek 2 vypnutý. Následně se v kroku 2 aktuátor roztahuje, přičemž posouvá třecí element 2, zatímco element 1 zůstává nehybný. Ve 3. kroku se element 2 přepne do stavu On (zapnuto). V kroku 4 se PZT začne stahovat. Jelikož je síla $F_{2\text{ on}} > F_1$ tak se rozpohybuje třecí prvek 1. Změnu směru pohybu lze získat záměnou třecích elementů nebo záměnou operací akčního členu při zachování poměru ze vztahu (1). (Peng, 2015)

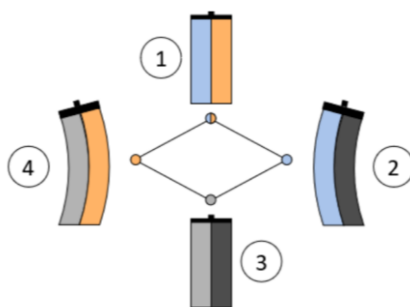


Obr. 5 Funkční princip těsnícího piezomotoru (Peng,2015)

Kráčející piezomotory

Mezi upínací piezomotory patří i piezomotory simulující chůzi živých organismů. Dle tohoto pohybu jsou označovány jako kráčející. Tyto motory jsou navrženy pro polohování s velkým rozsahem pohybu za vyšších rychlostí. Mechanismy těchto motorů jsou složeny z multi-bimorfních aktuátorů slinutých do těles s minimálně dvěma nohama, které se připoutávají a uvolňují pomocí třecího kontaktu k lineární pohyblivé tyči nebo rotačnímu disku. Typickým představitelem těchto motorů jsou motory Piezo LEGS. (Routech s. r. o, 03 2013n. I.; Peng, 2015; Brahim, 2017)

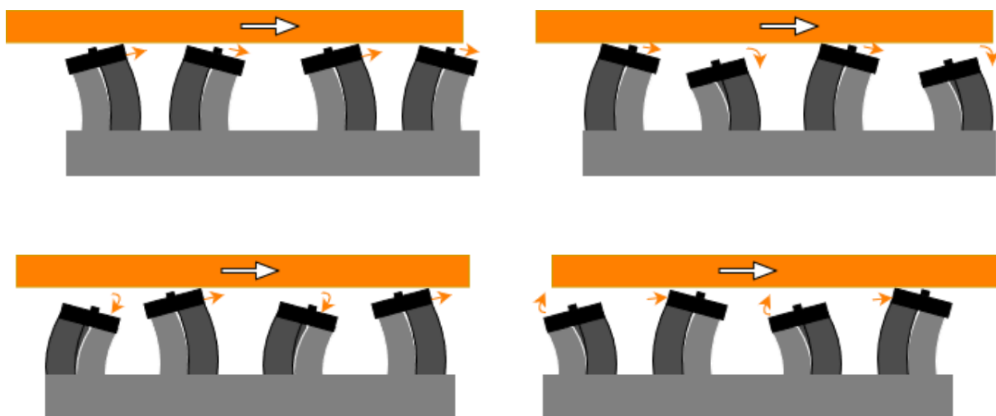
Při podrobném prozkoumání jedné z piezo-keramických nožek je patrné, že aktuátor je tvořen bimorfem. Tento akční člen využívá piezoelektrický element k deformaci jednostranně vetknutého nosníku a vytváří třecí síly vznikající vnitřním přepětím PZT v přímém kontaktu s rotorem nebo hnací tyčí. Jednotlivé části bimorfu lze samostatně ovládat. Na obr. 6 je pohyb jednoho bimorfu takového motoru znázorněn. (Piezo motors, 2007; Routech s. r. o., 03 2013n. I.)



Obr. 6 Pohyb jednoho bimorfu (PiezoMotor,2019)

V prvním kroku je přivedeno napětí na levou i pravou stranu, které zapříčiní, že se bimorf rozšíří do své maximální délky. Následně v kroku 2 se již napětí přivádí pouze na levou část nohy a tím dojde k deformaci nohy směrem doprava. V kroku 3 není přivedeno napětí na bimorf vůbec. Pro uzavření cyklu je v kroku 4 přivedeno napětí na pravou část bimorfu, tedy dojde k deformaci směrem doleva. (PiezoMotor,2019)

Vysvětlení principu pohybu kráčejících piezomotorů je znázorněno na obr. 7.



Obr. 7 Funkční princip pohybu motoru Piezo LEGS (PiezoMotor,2019)

Když už jsou všechny hnací nohy elektricky aktivovány, tak se pohybují (u 4-nohých) v párech ve směru oranžových šipek znázorněných v obr. 7. Zatímco první dvojice udržuje kontakt s tyčí a pohybuje se doprava. Druhý pár se začne zmenšovat a pohybovat doleva. (PiezoMotor, 2019; Routech s. r. o., 03 2013n. I.)

Po dokončení této fáze pohybu se druhý pár nohou prodlouží, a až se dostane do kontaktu s tyčí tak se začne pohybovat směrem doprava, zatímco první pár se zasunuje a směřuje doleva. V poslední fázi se první pár začne opět prodlužovat a posouvat směrem k tyči. (PiezoMotor, 2019; Routech s. r. o., 03 2013n. I.)