

Villamos hajtások és mozgásvezérlők – 7. rész

Lineáris motorok

Zsuffa Attila – Q-TECH Mérnöki Szolgáltató Kft.

A lineáris mozgató állandó feladatot jelent a géptervezőknek. A hagyományos technikák (pneumatikus és hidraulikus hengerek, szíj- és orsóhajtások) korlátozott dinamikai és pozicionálási lehetőségeit kiterjesztő lineáris motorok gyors, flexibilis tervezési lehetőséget kínálnak. Cikksorozatunk következő része áttekintést ad az iparban egyre terjedő lineáris motorokról.

A folyamatos technológiai fejlődés következtében egyre több alkalmazásban használják ki a lineáris motorok által kínált új lehetőségeket. Az ipari lineáris motor műszaki szempontból hagyományos szervomotor, mely forgó mozgás helyett minden áttétel és közlőmű nélkül egyenes vonal menti elmozdulást képes létrehozni.

A lineáris motorok minden mozgási paramétere (sebesség, gyorsulás, mozgásprofil, pozicionálás – lásd az 1. táblázatot) a hagyományos forgó szervomotorokéihoz hasonlóan kézben tartható és szabályozható.

Az összehasonlításból látható a lineáris motorok számos előnyös tulajdonsága. Ezek közül is legfontosabbak a nagy gyorsulás, a nagy pontosság, az egyszerű mechanikai felépítés és a mechanikai rendszerbe való egyszerű integrálhatóság. A lineáris motorok viszont a forgó motorokkal szemben véges mozgástartománnyal rendelkeznek. A lineáris motorok alkalmazhatósága igen széles körű. A fontosabbak ezek közül: anyagkezelés, adagolás, csomagolás, rakodó-, válogató- és címkézőgépek, élelmiszer-feldolgozás, robotok, elektronikai szerelés, fűvelőtőgyártás, NYÁK-ok gyártása, ellenőrzése, beültetése, fűrése, koordinátamérő gépek, szerszámgép, lézeres kivágó, precíziós köszörő, egérszégűgyi berendezések stb.

1. táblázat – A forgó és lineáris motorok összehasonlítása

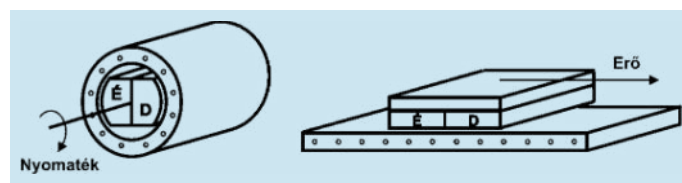
	Forgó motor	Lineáris motor
Gyorsulás	Magas	Nagyon magas
Sebesség	Magas	Nagyon magas
Ismételhetőség	Jó	Kiváló
Pontosság	Jó	Kiváló
Hatékonyság	Átalakítás kell: forgó → lineáris	Közvetlen lineáris mozgatóerő
Kopás	Sok súrlódó alkatrész	Nincs kopó alkatrész
Karbantartási igény	Magasabb	Alacsony
Fenntartási költség	Magas	Alacsony
Mozgási tartomány	Tetszőleges	Véges

2. táblázat – Lineáris motor technológiák tulajdonságainak összehasonlítása

Lineáris motor technológia	Max. mozgató erő (N)	Gyorsítás (m/s ²)	Sebesség (m/s)	Fontos tulajdonság
Léptetőmotor	300	9,8 (1g)	1,5	Olcsó, nyílt hurkú vezérlés
Kefés DC	1500	50 (5g)	4	Egyszerű DC-meghajtás
Indukciós AC	2500	50 (5g)	50	Nagyon hosszú pálya
Vasmagmentes BLDC	3000	98 (10g)	10	Nagyon sima működés
Vasmagos BLDC	15 000	98 (10g)	8	Nagy erő kifejtésre képes

A szakirodalomban a forgó motorokhoz hasonlóan a lineáris motorok esetében is különböző technológiák ismeretesek, és majdnem minden forgó motornak van lineáris megfelelője. Az ipari lineáris motorok között a legelterjedtebb a kefések DC-motor, a kefémentes DC (BLDC)-motor vasmagos és vasmag nélküli változatban, az AC indukciós motor és a léptetőmotorok különféle változatai. Ezek legfontosabb paramétereit és fontos tulajdonságait mutatja a 2. táblázat.

Ugyanaz az elv, amely a forgó motorokban a forgatónyomatékot hozza létre, a lineáris motorokban hosszirányú mozgatóerő formájában nyilvánul meg.



1. ábra A lineáris motor származtatása forgó motorból (elvi rajz)

Annak szemléltetésére, hogy a lineáris motor hogyan hozza létre ezt a mozgatóerőt, képzeletben vegyünk egy forgó motort, vágjuk fel a forgó tengellyel párhuzamosan a tengely közepig, majd hajtsuk szét a felvágott motort az 1. ábra szerint. Jegyezzük meg, hogy a lineáris motor villamos meghajtásához a forgó motoroknál használt motormeghajtókat (erősítőket) használhatjuk¹.

A következőkben vázlatosan ismertetjük az egyes lineáris motortechnológiákat, előnyeiket és hátrányaikat.

Lineáris léptetőmotorok

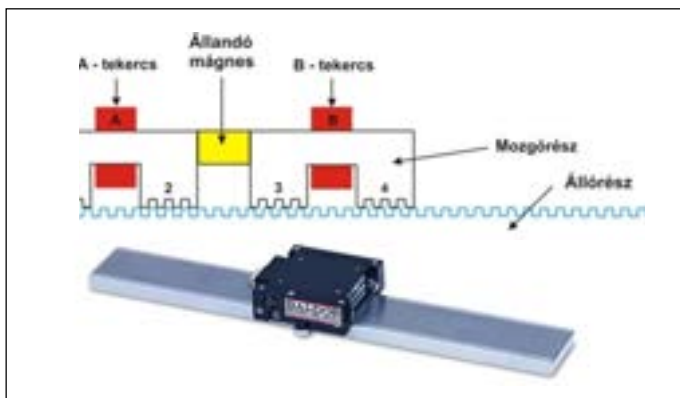
A lineáris motorok között – a nyílt hurkú működtetés következtében – a lineáris léptetőmotor adja a legolcsóbb pozicionáló rendszermegoldást. Egyszerű felépítése és vezérelhetősége miatt legtöbbször a kétfázisú lineáris léptetőmotorokat alkalmazták. A kétfázisú lineáris léptetőmotor lényegében egy állandó mágnesű lineáris szinkronmotor. A motor két fő részből, az álló-, és mozgórészből áll. A 2a. ábra az elvet, a 2b annak egy konkrét megvalósítását² mutatja.

Az állórész hidegen hengerelt acélból készült, fogazott sín.

A fogazást sok esetben fotokémiai eljárással alakítják ki. A foghézagokat epoxigyantával töltik ki, és az egész

¹ A mozgásvezérlésre használt motorok meghajtó áramköröit részletesen tárgyaltuk cikksorozatunk 2006-ban megjelent, előző folytatásaiban.

² A konkrét típusok képeit itt és a további ábrákban is a Baldor cég hozzájárulásával közöljük



2. ábra Lineáris léptetőmotor felépítése (elvi rajz)

felületet kemény krómozással fedik be. A mozgórész két precízen fogazott, lemezzel acél tekercstestből és a közöttük elhelyezett állandó mágnesből áll. A lemezzel tekercstestek hordozzák az állórész tekercselését. A tekercsek végeit kivezetik a mozgórészt tokozó, epoxigyantával kiöntött alumíniumházból. A csapágyazás a tokozott mozgórészre van felerősítve, amely a mozgórész vezetését és az állórész és mozgórész közötti légrést hivatott biztosítani. A csapágyak előfeszítését az állórész és mozgórész közötti mágneses vonzóerő végzi. Mivel a légrés nagysága erősen befolyásolja a maximális mozgóerőt, ezért a nagyobb mozgóerőjű motorok létrehozásához szükséges kis légrésről légcsapágyazás gondoskodik. Az állórész és a mozgórész fogmértete azonos, az egy egész lépéshez tartozó lépéstávolságot a foghézag mérete határozza meg. Az állórészt és a mozgórészt többféle méretben gyártják az alkalmazás erőszükségletéhez való jó alkalmazkodás érdekében.

A lineáris léptetőmotor működése a következő: a mozgórész tekercsének gerjesztése a megfelelő póluson koncentrálja az állandó mágnes erővonalait. Mivel a mágneses erővonalak a legközelebbi útton (értsd: a legkisebb mágneses ellenállású pályán) záródnak, a mozgórész úgy mozdul el, hogy az adott mozgórész pólus fogai az állórész fogjaival szemben álljanak. A 2a. ábra szerinti elrendezésben a B tekercset megfelelő polaritással gerjesztve az erővonalak a 4. számú póluson koncentrálnak. A mozgórész jobb felé mozdul el. Belátható, hogy a tekercsek megfelelő polaritása és sorrendű gerjesztésével a mozgórészt tetszőleges irányú haladó mozgásra lehet kényszeríteni.

A működési elvből néhány hátrány is következik. Mivel a mágneses erővonalak a nem gerjesztett tekercs pólusain keresztül záródnak, ez a mozgással ellentétes irányú erőt fejt ki, csökkentve ezzel a hasznos mozgóerőt. Ezenkívül az álló- és mozgórész közötti vonzóerő növeli a súrlódást, ami szintén a mozgóerő ellen hat. Mindezen hátrányok együttes hatásaként a lineáris léptetőmotorok mozgóereje erősen korlátozott.

A lineáris léptetőmotorok legfontosabb jellemzői (tipikus értékek):

- Mozgóerő: 300 N
- Gyorsítás: $9,8 \text{ m/s}^2$ [1 g]
- Sebesség: 1,5 m/s
- Ismétlési pontosság: 10 μm
- Felbontás: 5 μm
- Légrés < 25 μm
- Nyílt hurkú pozicionálás
- Meghajtás: mikrolépéses meghajtóval

A lineáris léptetőmotorok működtetéséhez a forgó léptetőmotorok meghajtásához használt meghajtók használhatók.

Lineáris DC-motorok

A lineáris DC-motorok ideálisak nagy úthosszú, nyílt vagy zárt hurkú mozgásvezérléshez. A pozicionálási célra hasz-

nált lineáris DC-motorokat lineáris útmérővel kell ellátni. A lineáris DC-motor az állandó mágnesű forgó DC-motor „síkbaterített” változata (3. ábra). Ez azt jelenti, hogy az állórész tekercselt, és a kommutátorok is itt találhatók, a keféket pedig a mozgórészen találjuk.

A példánkban ismertetett megoldás mozgórésze egy nikkelezett acéllap, amelyre az állandó mágnesek ragasztással vannak rögzítve. A keféket hordozó nyomtatott áramköri lemezt az acéllap oldalára szerelik fel. Mivel a kefék a mozgórészen vannak elhelyezve, az energia-hozzávezetést egy megfelelő keresztmetszetű, flexibilis kábellel kell megoldani. A mozgórész acéllapján – hogy az alkalmazáshoz egyszerűen illeszthető legyen – szerelőfuratokat helyeznek el.

Az állórész lemezzel acélból készül, amelyen kialakítják a tekercsekkel körülvett pólusokat. A tekercsek csatlakoztatva vannak a kommutátor szegmensekhez, amelyek az állórész oldalára szerelt alumíniumlapon a mozgásiránnyal párhuzamosan vannak elhelyezve.

A lineáris DC-motoroknak többféle mechanikus kialakítása létezik, de ez a működési elvet nem befolyásolja. Az álló- és mozgórész közötti légrést a csapágyazás tartja fenn. Ezt az álló- és mozgórész közötti mágneses vonzóerő feszíti elő.

A lineáris DC-motorok működtetéséhez a kefés DC forgó motorok meghajtói használhatók a motor áram- és feszültségigényének és a tekercselés induktivitásának figyelembevételével.

A lineáris DC-motorok legfontosabb jellemzői (tipikus értékek):

- Mozgóerő: 1500 N
- Gyorsítás: 50 m/s^2 [5 g]
- Sebesség: 4 m/s
- Ismétlési pontosság: 10 μm
- Felbontás: 1 μm (az alkalmazott útmérőtől függően)
- Légrés < 65 μm
- Zárt hurkú pozicionálás külső útmérővel
- Meghajtás: DC-szervoverősítő

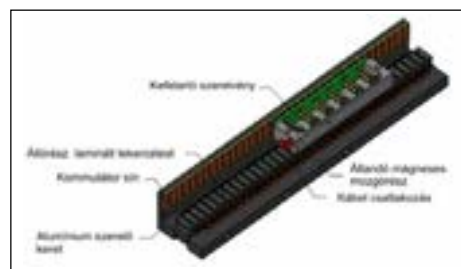
Lineáris AC indukciós motorok

A lineáris AC indukciós motorok működési elve megegyezik a forgó kalickás motorokéval. Elsősorban olyan alkalmazásokban használatosak, ahol nagy távolságú mozgatás egy sebességgel

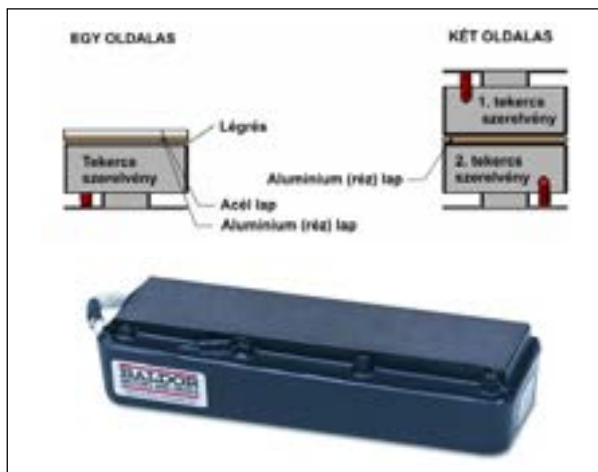
szükséges, de nem követelmény a nagy pozicionálási pontosság.

A lineáris AC indukciós motor (4. ábra) két részből áll: egy tekercsszerelvényből és egy a felhasználó által szolgáltatott, 2 rétegű, úgynevezett reakciólemezről.

A tekercsszerelvény lemezzel acél szegmenseket tartalmaz, amelyek háromfázisú tekercselés és hőérzéke-



3. ábra Lineáris DC-motor



4. ábra Lineáris AC indukciós motor

lők helyezkednek el. Az egész szerelvényt tokozzák és jó hővezetésű epoxigyantával öntik ki.

A reakciólemez egy 3 mm vastag alumínium- (vagy réz)-rétegből és egy hidegen hengerelt, 6 mm vastag acélrétegből tevődik össze, ennek alumínium (réz) oldala kerül a tekercsszerelvénnyel szembe. A reakciólemez szélességének meg kell egyeznie a tekercsszerelvénnyel szélességével.

A felhasználó által szállított csapágyazásnak kell fenntartania a légrést (0,6 - 1 mm) az álló és mozgórész között.

A tekercseket 3 fázisú feszültséggel gerjesztve haladó mozgást végző mágneses mező keletkezik. Ez a mágneses mező a reakciólemezben örvényáramot indukál, amely szintén mágneses mezőt hoz létre. Ezek kölcsönhatásaként lineáris erő, illetve mozgás jön létre. A mozgás sebessége arányos a bemenő frekvenciával és a lemezeltekercsszerelvénnyel pólusosztásával. Az álló- és mozgórész között vonzóerő csak a tekercsek gerjesztésekor keletkezik. A tekercsszerelvénnyel is a reakciólemez is lehet mozgórész.

A lineáris AC-motoroknál tipikusan a reakciólemez mozog az álló, egymás után elhelyezett, teljes mozgástartományt lefedő tekercsszerelvények felett. A reakciólemez hossza két tekercsszerelvénnyel hosszúságú, mivel így jön létre a két szomszédos tekercsszerelvénnyel szükséges átfedése. Ha viszont a tekercsszerelvénnyel mozog, a reakciólemez hossza egyenlő a tekercsszerelvénnyel hosszával megnövelt teljes mozgástartománnyal.

Két tekercsszerelvényt egymással szembe fordítva – közöttük a reakciólemez – megnövelhető a mozgatóerő. Az így módon kialakított motort kétoldalú motornak nevezik. Ebben az esetben nem szükséges kétrétegű reakciólemez használni, hanem egy 6 mm vastagságú alumínium- (réz)-réteg is elegendő. Természetesen ebben az esetben is a felhasználónak kell gondoskodnia a reakciólemez vezetől és tartó szerkezet kialakításáról. Azonos konstrukciós paraméterek és azonos légrés esetén a kétoldalú motor teljesítménye négyszerese az egyoldalú motorénak.

A lineáris AC indukciós motorok működtethetők közvetlenül a hálózatról, ez esetben a sebesség állandó. Ha a sebesség változtatására is szükség van, akkor frekvenciaváltós meghajtást kell alkalmazni. Ha pozicionálást is kell végezni, akkor egy lineáris útmérő és visszacsatolt frekvenciaváltós meghajtás (vagy visszacsatolt szervoerősítő) adja a megoldást.

A lineáris AC indukciós motorok legfontosabb jellemzői (tipikus értékek):

- Mozgatóerő: 2500 N
- Gyorsítás: 50 m/s² [5 g]
- Sebesség: 50 m/s
- Légrés < 1 mm
- Zárt hurkú pozicionálás külső útmérővel
- Meghajtás: direkt hálózatról vagy frekvenciaváltóról, szervoerősítővel

A lineáris, vasmagmentes BLDC-motorokat elsősorban olyan alkalmazásokban használják, ahol lényeges a nagy erő kifejtés, valamint a pontos pozicionálás. A működési elv megegyezik a forgó, vasmagmentes BLDC-motorokéval, azaz lényegében annak „kiterített”



5. ábra Vasmagmentes, lineáris, BLDC-motor

változata. Ez azt jelenti, hogy míg a forgó motornál a forgórész hordozza az állandó mágneset, és az állórész a tekercselést, addig a lineáris változatnál általában a mágnespálya áll, és a tekercselés mozog.

A lineáris, vasmagmentes BLDC-motor (5. ábra) két részből áll: az U profilú mágnespályából és a tekercsszerelvényből, amely általában a mozgórészt alkotja. Az U profil alakú mágnespálya kemény krómozással, hidegen hengerelt acélból készül. Az U profil belső oldalaira váltakozó polaritással mágneseket ragasztanak. A mágnespálya profilok modulárisak, a modulok egymás után szerelhetők, ezáltal tetszőleges úthossz kialakítására van lehetőség.

A tekercsszerelvénnyel háromfázisú, vasmagmentes tekercselést tartalmaz,

melyet jó hővezető képességű epoxigyanta vesz körül. A tekercselés hőmérsékletét a beépített termisztorokkal lehet figyelni. Mivel a szerelvénnyel nem tartalmaz vasmagot, az álló- és mozgórész között mágneses vonzóerő nem lép fel. A tekercsszerelvényt a felhasználó által szolgáltatott csapágyazással kell ellátni. A csapágyazásnak és a megvezetésnek kell gondoskodnia a tekercsszerelvénnyel központosított mozgásáról az U profilban. A tekercsszerelvénnyel – az elektronikus kommutáció vezérlésére – három Hall-elemet is elhelyeznek.

A tekercsszerelvénnyel alumínium tartószerkezete a felerősítéshez szükséges.

A hőleadás javítására és a nagyobb mozgatóerő létrehozására egyes modellekben vízhűtést is alkalmaznak. Több tekercsszerelvénnyel sorba szerelésével a motor mozgatóereje növelhető. A lineáris BLDC-motorok működtetéséhez a BLDC forgó motorok működtetéséhez használt szervoerősítők használhatók. Pozicionálási feladatra külső lineáris útmérőt kell a lineáris motor mellé felszerelni.

A vasmagmentes, lineáris BLDC-motorok legfontosabb jellemzői (tipikus értékek):

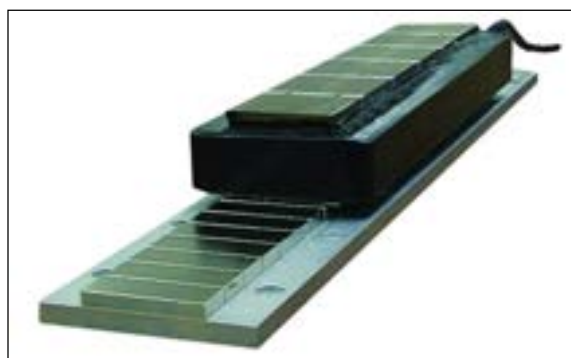
- Mozgatóerő: 3000 N
- Gyorsítás: 100 m/s² [10 g]
- Sebesség: 10 m/s
- Ismétlési pontosság: 1 µm (az alkalmazott útmérőtől függ)
- Felbontás: 0,1 µm (az alkalmazott útmérőtől függ)
- Légrés < 0,5 mm
- Zárt hurkú pozicionálás külső útmérővel
- Meghajtás: BLDC-szervoerősítő

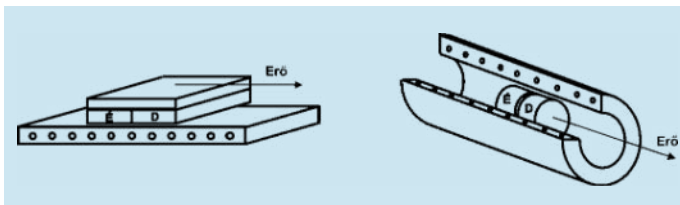
Vasmagos, lineáris BLDC-motor

A vasmagos, lineáris BLDC-motort (6. ábra) elsősorban olyan alkalmazásokban használják, ahol lényeges a nagy erő kifejtés és a nagy pontosságú pozicionálás. Működési elve megegyezik a vasmagos, forgó BLDC-motoréval. Két részből: a mágnespályából és a tekercsszerelvényből áll, és általában az utóbbi alkotja a mozgórészt.

A mágnespálya hidegen hengerelt acélból készül kemény krómozással. Az acéllapra váltakozó polaritással mágneseket ragasztanak. Az alaplapot a szereléshez furatokkal látják el. A mágnespálya profilok modulárisak,

6. ábra Vasmagos, lineáris BLDC-motor





7. ábra Lineáris csőmotor származtatása síkmotorból (elvi rajz)

sak, a modulok egymás után szerelhetők, ezáltal tetszőleges úthossz kialakítása lehetséges.

A tekercsszerelvény háromfázisú, lemezelt acélmagos tekercselést tartalmaz, melyet jó hővezető képességű epoxigyantával öntenek ki. A tekercselés hőmérsékletét a beépített termisztorokkal lehet figyelni. A tekercsszerelvényben helyezték el az elektronikus kommutálást vezérlő három Hall-elemet is.

Az álló- és mozgórész között az állandó mágnesek és a tekercselés vasmagja miatt jelentős – a mozgatóerőt közel tízszeresen (!) meghaladó – vonzóerő keletkezik. A mozgatni kívánt terhelésen kívül ezt a jelentős vonzóerőt is figyelembe kell venni a felhasználótól származó csapágyszorítás méretezésénél.

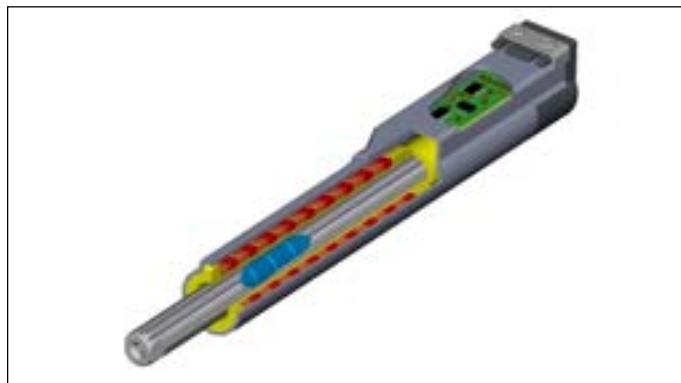
A vasmagos, lineáris BLDC-motorok legfontosabb jellemzői (tipikus értékek):

- Mozgatóerő: 15 000 N
- Gyorsítás: 100 m/s^2 [10 g]
- Sebesség: 10 m/s
- Ismétlési pontosság: 1 μm
- Felbontás: 0,1 μm (függ az alkalmazott útmérőtől)
- Légrés < 0,5 mm
- Zárt hurkú pozicionálás külső útmérővel
- Meghajtás: BLDC-szervoerősítő

Lineáris csőmotorok

A lineáris motorok egyik speciális mechanikai kialakítású változata a lineáris csőmotor (7. ábra). Ha a hagyományos, forgó BLDC-motort kiterítjük síkmotorra, ezután pedig ezt a síkmotort a mágneses tér haladási irányára merőlegesen összehajtjuk, akkor cső alakú, lineáris motort állíthatunk elő. A csőmotorok készülhetnek rövid és hosszú kivitelű tekercselt állórészszel. Mivel a hosszú tekercselés készítése költségesebb, ezért a gyakorlatban inkább a rövid tekercselésű változatok terjedtek el.

A rövid tekercselésű lineáris csőmotorokban (8. ábra) az állórészben van elhelyezve, a tekercselésen kívül, a mozgórész



8. ábra Lineáris csőmotor (metszet)

csapágyszorítása, a pozícióérzékelők és egy mikroprocesszoros áramkör is. A mozgórész egy rozsdamentes cső, amelyben változó polaritással nagy hatékonyságú neodymium mágneseket helyeznek el. A mozgórész végét úgy alakítják ki, hogy a terhelés közvetlenül hozzá kapcsolható legyen.

A lineáris csőmotorok 2 vagy 3 fázisú szinkron BLDC-motorok, amelyek működtetéséhez a forgó BLDC-motorok működtetéséhez használt szervoerősítők és mikrolépéses léptetőmotor-meghajtók használhatók. Nagy felbontású pozicionálási feladatra külső lineáris útmérőt kell a lineáris motor mellé felszerelni.

A lineáris csőmotorok legfontosabb jellemzői:

- Mozgatóerő: 600 N
- Gyorsítás: 200 m/s^2 [20 g]
- Sebesség: 5 m/s
- Ismétlési pontosság: 0,05 mm
- Felbontás: 1 μm (függ a külső útmérőtől)
- Zárt hurkú pozicionálás külső útmérővel
- Meghajtás: BLDC-szervoerősítő, mikrolépéses léptetőmotor-meghajtó

Q-TECH Mérnöki Szolgáltató Kft.

Tel.: (+36 1) 405-3338
 Fax: (+36 1) 415-9134
 E-mail: info@q-tech.hu
www.q-tech.hu