

Villamos hajtások és mozgásvezérlők – 6. rész

Zsuffa Attila – Q-TECH Mérnöki Szolgáltató Kft.

Cikksorozatunk előző részében a léptetőmotorok jellemzőit ismertettük. A jelen folytatás a léptetőmotor-meghajtók rövid ismertetését foglalja össze.

A léptetőmotor-meghajtók feladata a villamos teljesítmény előállítás a motor működéséhez a vezérlőrendszer által megkívánt módon, vagyis a vezérlőjelek megfelelő átalakítása a motort működtető teljesítménnyé.

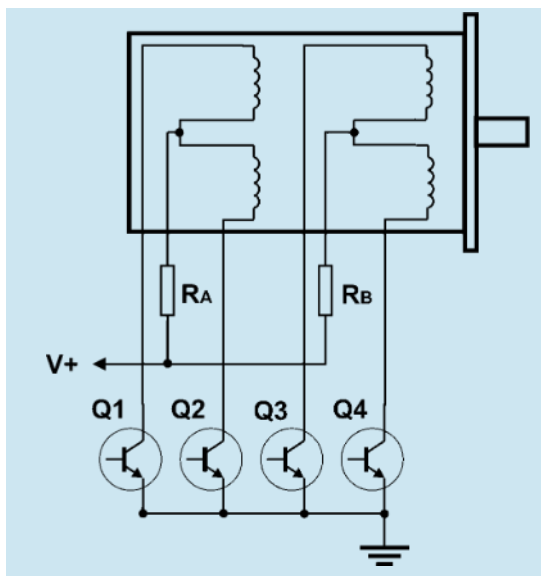
A léptetőmotor a meghajtó által szolgáltatott villamos teljesítményt alakítja át a mozgás során nyomatékká. A nyomaték a motor állandó mágneses forgórésze, és az állórész tekercselése által létrehozott mágneses mező interakciójának eredményeként jön létre. Az állórész által létrehozott mágneses mező intenzitása a tekercsen átfolyó árammal arányos, ezt az áramot kell a meghajtó áramkörnek szolgáltatnia.

A léptetőmotor-meghajtók vezérlő jelként a felsőbb szintű vezérléstől általában irány- és léptetőimpulzusokat kapnak (step, dir). Egy léptetőimpulzus hatására a léptetőmotor az irányjel által meghatározott irányba egy lépést hajt végre.

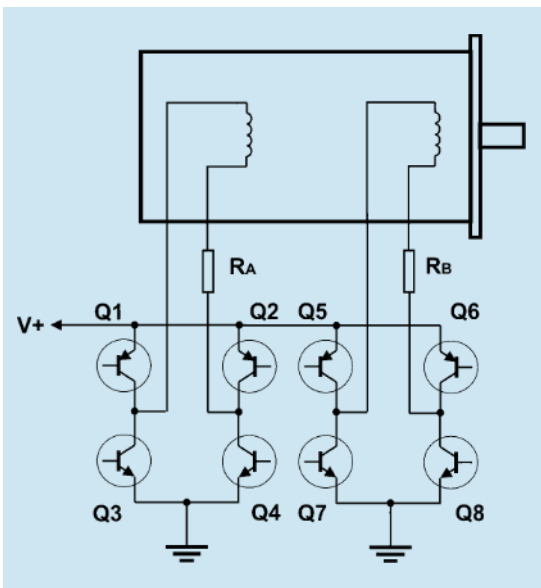
Az ipari alkalmazásokban leggyakrabban használt kétfázisú léptetőmotorok egy körülfordulást 200 lépéssel tesznek meg, vagyis 200 léptetőimpulzusra van szükségük. Ha 3000 fordulat/perces fordulatszámot kívánunk elérni ezekkel a motorokkal, akkor a léptetőfrekvenciának 10 kHz-nek kell lennie. Ez a frekvencia sokkal nagyobb, mint bármely léptetőmotor start-stop frekvenciája, tehát egyetlen léptető motor sem bírja követni. A megoldás a vezérlőjel lassú felfuttatása, valamint az egész lépés felbontása több részre.

A meghajtók funkcionálisan logikai részből és teljesítményrészből állnak. A logikai rész áll kapcsolatban a felsőbb szintű vezérléssel (PLC, NC, PC), és a vezérlőjelek megfelelő átalakítását végzi a teljesítményfokozat vezérléséhez, míg a teljesítményrész kapcsolódik a motorhoz és a vezérlésnek megfelelően szolgáltatja a motor tekercsek áramellátását.

A logikai rész funkciója kívülről nézve nagyon hasonló a különböző meghajtók esetén, felépítésükben és megvalósításukban mégis jelentős különbségek vannak. A motor meghajtása szempontjából a teljesítménymeghajtó rész a legfontosabb, tehát ezt nézzük meg egy kicsit részletesebben.



1. ábra Egyszerű unipoláris léptetőmotor-vezérlés (R-L-meghajtó)



2. ábra Egyszerű bipoláris léptetőmotor-vezérlés (R-L-meghajtó)

Unipoláris motormeghajtók

A legegyszerűbb teljesítményfokozata az unipoláris meghajtóknak van. Ezeket a meghajtókat azért nevezik unipoláris meghajtóknak, mert az áram minden motortekercs-csatlakozási ponton egy irányba folyik. Annak érdekében, hogy az azonos áramirány ellenére a másik tekercsfélben a mágneses mező iránya megváltozzon, a tekercselésnek bifilárisnak kell lennie (1. ábra).

Ebben az egyszerű felépítésű meghajtóban az áramot csak a motortekercselés ellenállása és a működtető feszültség határozza meg. Ez a meghajtó csak alacsony sebességen működik jól, a sebesség növelésével a nyomaték a tekercs induktivitása miatt jelentősen csökken. A tekercs induktivitása miatt az áram kialakulása exponenciális, végső értékét a feszültség és a tekercs ellenállása befolyásolja. Ha sokkal gyorsabb áramfelfutást akarunk elérni, a feszültséget kell megnövelni, aminek áramnövekedés a következménye. Az áramot korlátozhatjuk egy soros ellenállás beiktatásával (R_a , R_b). Az ilyen ellenállással korlátozott áramú meghajtókat R-L-meghajtóknak is hívják. A feszültség emelésével növekszik az áramváltozás sebessége is. Ezért a növekedésért extra árat fizetünk álló állapotban az ellenálláson disszipált teljesítménnyel, valamint a tápegység teljesítménye iránti igény növekedésével. Az unipoláris R-L-meghajtókat ezért csak kis teljesítményű alkalmazásokban érdemes használni. Az unipoláris meghajtók előnye az egyszerű, olcsó felépítés, és az alacsony sugározott zavarjel. Hátrányuk, hogy mivel csak egy tekercsfelet hajtanak meg egyszerre, azonos disszipációnál mintegy 40%-kal kisebb nyomatékot szolgáltatnak.

Bipoláris motormeghajtók

A legnagyobb teljesítményt és hatékonyságot a bipoláris meghajtókkal lehet elérni, mivel ezek képesek minden motortekercsen mindkét irányú áramot szolgáltatni. A bipoláris léptetőmotor-meghajtók általában a 2. ábrán látható híd elrendezésben mű-

ködtetik a léptetőmotor tekercseit. Egy-egy híd négy kapcsoló-transzisztorból áll. Kis teljesítményű, bipoláris meghajtóknál is alkalmazták az unipoláris meghajtóknál már ismertetett, soros korlátozó ellenállást, és ezzel bipoláris R-L-meghajtót hoznak létre. Nagyobb teljesítmények esetén az R-L-meghajtók nagy veszteségei, valamint a precízebb áramszabályozás miatt az áramszabályozást más módon célszerű megoldani. A leggyakrabban alkalmazott megoldás az úgynevezett recirkulációs chopper-meghajtás (3. ábra).

Ez a chopper-híd a hagyományos hídhoz képest két recirkulációs diódát és egy áramfigyelő ellenállást tartalmaz. Ez az áramfigyelő ellenállás tipikusan kis értékű ($0,1 \Omega$), és a motorárammal arányos, visszacsatoló jelet lehet nyerni róla, amit a vezérlő logika az áramszabályozáshoz használ fel.

A tekercs áramellátását a szemben lévő felső és alsó kapcsolótranszisztorok (pl. Q1-Q4) látják el a teljes tápfeszültség tekercsre kapcsolásával. Az áram közel lineárisan növekszik. Az áram növekedését az R_s -ellenálláson eső feszültség figyelésével lehet érzékelni. Amikor az áram elérte a kívánt értéket, a Q1 tranzisztor kikapcsol, és a tekercsben tárolt energia a Q4 tranzisztoron és a D1 diódán keresztül fenntartja az áramot. A rendszer veszteségeinek következtében az áram lassan csökken. Ha az áram lecsökken egy adott szint alá, a Q1 ismét bekapcsol, „feltölti” a tekercset energiával, és ez a ciklus ismétlődik. A folyamat közben az áram átlagos értéke nagyon jól kézben tartható a tápfeszültség fenti módon leírt kapcsolgatásával („chopperelésével”). A fenti módszer igen hatékony és gazdaságos, mivel a tranzisztorokon – ha jól vannak vezérelve – a disszipáció kicsi. A tápegységből felvett teljesítmény (szemben az R-L-meghajtókkal) legnagyobb része a motor tengelyén keresztül mechanikai energiává alakul.

A chopperes meghajtóknak alapvetően két változata terjedt el, az egyik a pulzus-szélesség-modulációt (PWM), a másik a határérték-modulációt használja az áram szabályozására.

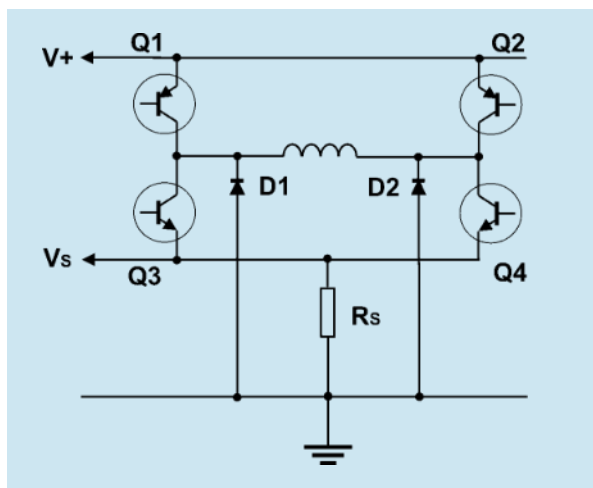
A PWM-szabályozásnál a motor átlagos árama van szabályozva, ami nagyon precíz áramszabályozást tesz lehetővé. A határérték-szabályozásnál az áram csúcsértékére történik a szabályozás.

A határérték-szabályozás a motorok széles tartományát tudja kezelni, de hatásfoka rosszabb, mint a PWM-szabályozásé. A PWM-szabályozást ott célszerű használni, ahol a motortekercs ellenállása nagy, vagy hosszú motorkábeleket kell használni.

A szabályozás komplexitásának növelésével természetesen a rendszer ára is emelkedik.

Léptetőmotorok meghajtási módjai

A gépépítők folyamatosan növekvő igényeinek következményeként a meghajtókkal szemben támasztott igények is folyamatosan nőnek. A gyártók egyre nagyobb teljesítményt kívánnak egyre kisebb fizikai méretek mellett, valamint igénylik a sebesség, a hatásfok és a pontosság növelését is. Ez a folyamatos igénynövekedés vezette a gyártókat a hagyományos egész lépéses meg-



3. ábra Bipoláris recirkulációs chopper

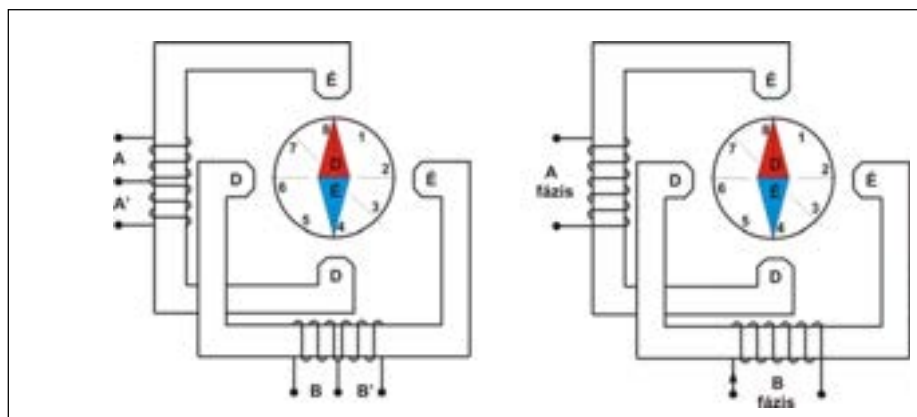
hajtási módtól először a féllépéses meghajtáshoz, majd a mini- és a mikrolépéses meghajtásig. Ezekben a meghajtótechnológiákban a szabványosnak nevezhető 200 lépés/körülfordulást, vagyis az egy lépésre eső $1,8^\circ$ -os teljes lépést osztják fel több részre. A féllépéses meghajtás egy körülfordulást 400 lépéssel hajt végre. A minilépéses (ministep) technológiában maximum $1/16$ lépésre bontanak egy egész lépést (3200 lépés/fordulat), míg a mikrolépéses (microstep) meghajtók esetében nem ritka az $1/256$ felbontás sem (51 200 lépés/fordulat). Ezt az osztott lépéses technológiát csak a hagyományos egész; vagy fél lépéses meghajtásnál sokkal precízebb áramvezérléssel lehet megoldani. Az egyes meghajtási

módok az unipoláris és bipoláris motorok meghajtásánál is alkalmazhatók.

Az alábbiakban röviden ismertetjük az egyes meghajtási módokat. Az ismertetésben a 4. ábrán szereplő jelöléseket használjuk.

Hullámhajtás (Wave Drive)

A hullámhajtásnál mindig csak egy fázis van bekapcsolva. Az állórész az alábbi sorrendben van gerjesztve $A \rightarrow B \rightarrow A' \rightarrow B'$ (bipoláris motornál A' és B' polaritáscserét jelent). A forgórész a következő pozíciókat foglalja el: $8 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 6$. Unipoláris és bipoláris tekercselés esetén ez a gerjesztési sorrend a forgórész azonos mechanikai pozícióit eredményezi. E meghajtási mód hátránya, hogy unipoláris esetben a tekercsek 25%-a, bipoláris esetben 50%-a van kihasználva, ezért a lehetségesnél kisebb nyomatékot kapunk.



4. ábra Unipoláris és bipoláris tekercselésű léptetőmotorok

Egész lépéses meghajtás (Full Step Drive)

Az egész lépéses meghajtásnál két fázis egyszerre van bekapcsolva. Az állórész gerjesztése az alábbi sorrend szerint történik: $AB \rightarrow A'B \rightarrow A'B' \rightarrow AB'$. A forgórész a következő pozíciókat foglalja el: $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7$. Az egész lépéses módban a tengely szögelfordulása egy-egy lépés hatására megegyezik a hullámhajtásával, csak a pozíció van eltolódva egy egész lépés felé. Az unipoláris tekercselésű motor nyomatéka (azonos tekercselési paramétereknél) kisebb, mint a bipoláris tekercselésű motoré.

Fél lépéses meghajtás (Half Step Drive)

A fél lépéses meghajtás a hullámhajtás és az egész lépéses meghajtás kombinációja. Minden második lépésben csak az egyik fázis

zis van gerjesztve, egyébként pedig egyszerre két fázis. Az állórész gerjesztése az alábbi sorrend szerint történik: $AB \rightarrow B \rightarrow A'B \rightarrow A' \rightarrow A'B' \rightarrow B' \rightarrow AB' \rightarrow A$. A forgórész a következő pozíciókat foglalja el: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8$. Mint látható, az egy-egy pozícióváltáshoz tartozó szögelfordulás feleakkora, mint a hullám- és egész lépéses meghajtás esetén. A fél lépéses működés csökkenti a rezonanciát az egész lépéseshez viszonyítva.

Mini- és mikrolépéses meghajtás (Ministep-, Microstep Drive)

A mini- és mikrolépéses meghajtás csak a motor egész lépésének felbontásában különbözik. Minilépéses meghajtóknak nevezik az egész lépést maximum 16 (20) részre bontó vezérlést, míg az ennél nagyobb felbontású meghajtókat mikrolépésesnek nevezik. A továbbiakban az egyszerűség kedvéért csak a mikrolépéses meghajtóról beszélünk.

A mikrolépéses meghajtó a motor állórész fluxusának olyan mozgását végzi, melynek következtében a motor tengelye lényegesen simábban mozog, mint az az egész vagy fél lépéses meghajtásnál tapasztalható. A simább mozgás eredményeként kisebb a vibráció, alacsonyabb a működési zaj, kisebb az egy lépéshez tartozó szögelfordulás, és pontosabb pozicionálás érhető el.

A motor forgórészét az állórész forgó fluxusa forgatja. A motor által szolgáltatott nyomaték (M) függ a tartónyomatéktól (M_t), az állórész fluxuspozíciójától (Θ_s) és a forgórész pozíciójától (Θ_r) az alábbi összefüggés szerint:

$M = M_t \cdot \sin(\Theta_s - \Theta_r)$, ahol Θ_s és Θ_r villamos szöghelyzetet jelöl.

A villamos és a mechanikus szöghelyzet közötti összefüggés az alábbi:

$\Theta_{vil} = (n/4) \Theta_{mech}$, ahol n a fordulatonkénti egész lépések száma.

Amikor egy léptetőmotort egész- vagy fél lépéses módban működtetünk, az állórész fluxusa 90, vagy 45 villamos fokot fordul minden lépésnél. A nyomatékformulából kitűnik, hogy a motor pulzáló nyomatékot hoz létre. Ennek oka, hogy a $(\Theta_s - \Theta_r)$ nem állandó a Θ_s szakaszos mozgásának következtében.

A 90 vagy 45 fokos állórész fluxus forgatás igen egyszerűen megvalósítható, hiszen csak két áramszint szükséges, és a két szint kombinációjával (a névleges áram 0 és 100%-a) létrehozható a fluxus forgatása (5. ábra).

A mikrolépéses meghajtásnál – függetlenül attól, hogy az egész lépés vagy mikrolépésre van felbontva – minden mikrolépés-pozícióhoz két áramkomponenst kell előállítani az alábbi összefüggések szerint:

$$I_A = I_{csúcs} \cdot \sin(\Theta_s)$$

$$I_B = I_{csúcs} \cdot \cos(\Theta_s)$$

A nyomatékformulából kiderül, hogy mikrolépéses meghajtás esetén a mikrolépés-felbontástól függően a forgórész mozgása sokkal simább lassú forgatás esetén is, mint az egész, vagy fél lépéses meghajtásnál.

Egy ideális meghajtó képes a meghajtott motor mindkét fázisa számára a motor névleges fázisáramának 0-100%-a közötti bár-

Egy egész lépéshez tartozó mikrolépések száma	Egy mikrolépéshez tartozó tartónyomaték a teljes lépéshez tartozó nyomatékhoz viszonyítva
1	100,00 %
2	70,71 %
4	38,27 %
8	19,51 %
16	9,80 %
32	4,91 %
64	2,45 %
128	1,23 %
256	0,61 %

1. táblázat A nyomaték változása az egész lépéshez tartozó mikrolépések számának növelésével

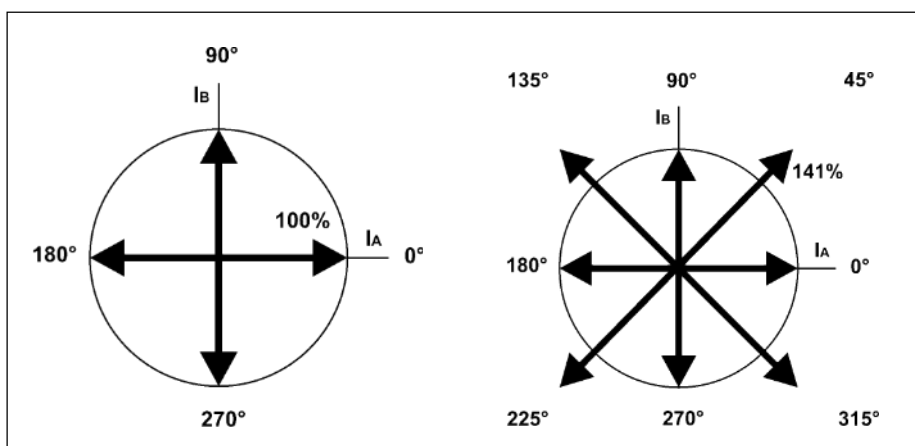
mely értéket előállítani. Ez azt jelenti, hogy a meghajtó a fluxus folyamatos forgatásával a motor folyamatos forgását és pulzálás nélküli nyomatékot képes létrehozni. A gyakorlatban a motor rezonanciafrekvenciájának háromszorosát meghaladó mikrolépéses frekvencia már nem okoz érzékelhető és számottevő változást a motor mozgásában, mivel a forgórész és a hajtott terhelés inerciája jelentős szűrőhatással rendelkezik. A precíz mikrolépéses meghajtás magas igényeket támaszt az áramszabályozás megvalósításában, különösen az alacsony fordulatszámok esetén.

Általánosságban elmondható, hogy mikrolépéses meghajtóknál az áramgenerálásnak közel szinuszosnak kell lennie. Azt is el kell mondani, hogy nem minden motor működik egyformán ugyanazzal a meghajtással. Az ideális meghajtó a motor igényei szerint állítja elő a fázisáramokat az ideális szinuszoshoz képest változtatható módon. Ezt általában úgy oldják meg, hogy az egyes mikrolépésekhez tartozó fázisáram-szinteket egy fixmemória-táblázatban (EPROM, EEPROM) előre eltárolják, és néhány ilyen előre meghatározott készletből kiválasztható a motornak leginkább megfelelő változat.

Bizonyos alkalmazásokban a mikrolépéses meghajtók felbontásnövelését kiválóan ki lehet használni. Például ahol relatíve kis elmozdulásokra van szükség, vagy nagyobb körülfordulásonkénti lépésszám szükséges, a léptetőmotor helyettesíteni tudja a mechanikus hajtóművet. Ez gyakran lényegesen egyszerűbb és olcsóbb megoldás, annak ellenére, hogy emiatt nagyobb léptetőmotort kell választani.

A felbontásnövekedés nem jelenti azt, hogy a felbontással a motor pontossága is automatikusan növekszik. A motorgyártók adatlapjain általában megtalálható a lépéspontosság adata. A lépéspontosságot abszolút (pl. $\pm 0,05^\circ$), vagy relatív (pl. az egész lépés $\pm 2,5\%$ -a) értéként adják meg. Ez a lépéspontosság általá-

5. ábra Fluxus szögpozíciók (villamos szög) egész lépéses és fél lépéses meghajtás esetén – a fluxus arányos a tartónyomatékkal



ban úgy van definiálva, hogy mindkét fázis (2 fázisú motor esetén) egyforma, névleges árammal van gerjesztve. Egy olyan pozíció, melyben a fázisáramok különbözőek, megfelel valamelyik mikrolépés pozíciónak. Erre a pozícióra vonatkozóan a gyártó semmilyen adatot nem ad meg.

Nézzük meg egy gyakorlati példán, hogyan viszonyul egy mikrolépés nagysága a lépéshiba nagyságához.

Válasszunk egy 1/32 mikrolépéses meghajtást egy 1,8°-os, egész lépésű, kétfázisú szabványos motorral. Egy mikrolépés elméletileg $1,8^\circ/32=0,056^\circ$. A motor gyártó szerinti lépéspontossága $\pm 0,05^\circ$, ami azt jelenti, hogy $(2 \cdot 0,05)/0,056 = 1,78$ mikrolépés maximális eltérés lehetséges az elméleti pozíciótól. Amikor mikrolépéses meghajtást alkalmazunk, és abszolút pozicionálásra van szükség, vegyük ezt a ténytet figyelembe.

A mikrolépéses meghajtókkal kapcsolatosan említeni kell, hogy a mikrolépések számának növelése az egy lépéshez tartozó nyomaték drasztikus csökkenéshez vezet.

A gyakorlatban nincs olyan léptetőmotor, amelynek a nyomatéka az elméleti értéket elérné, függetlenül attól, hogy a meghajtó- és motorgyártó-technológiák folyamatosan fejlődnek. Minden terhelőnyomaték egy „mágneses holtjátékot” eredményez, ami a forgórész elméleti pozíciójától való eltérést jelenti, mindaddig, míg ennek legyőzéséhez nincs elegendő nyomaték.

Egy mikrolépés nyomatéka:

$$M_{\text{micr}} = M_t \cdot \sin(90/n),$$

ahol

M_{micr} = az egy mikrolépés által keltett nyomaték

M_t = az egész lépéshez tartozó tartó nyomaték

n = egy egész lépésen belüli mikrolépések száma

Az 1. táblázat érzékelteti a drasztikus nyomatékcsökkenést.

A fentiekből következik, hogy ha a terhelőnyomaték, plusz a súrlódási nyomaték, plusz a jeltorzulásokból, mechanikai és vilamos pontatlanságokból adódó veszteségi nyomaték nagyobb, mint a mikrolépéshez tartozó nyomaték, akkor ezeknek a legyőzéséhez több mikrolépésnyi nyomaték lenne szükséges. Ez azt jelenti, hogy egy mikrolépés kiadása nem feltétlenül okoz tényleges elmozdulást.

Mikrolépéses meghajtás alkalmazása esetén – a drasztikus nyomatékcsökkenés miatt – igen körültekintően kell eljárni a motormeghajtó kiválasztásánál.

Egyes léptetőmotor gyártók speciális motorokat készítenek mikrolépéses célra. Ezeknél a motoroknál a veszteségeket és a súrlódást minimálisra csökkentik és az áramnyomaték összefüggést linearizálják. Ezek együttes hatásaként növekszik a pozícionálási pontosság.

Az előzőekben említett hátrányos tulajdonságok ellenére a mikrolépéses meghajtás alkalmazása bizonyos területeken kifejezetten előnyös; ott például, ahol lényeges a mechanikai zaj csökkentése, kívánatos a finomabb mozgítás, vagy ahol a rezonancia komoly problémákat okoz. A mikrolépéses működtetés előnyös a mechanikai rendszer kímélése szempontjából is.

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