

Léptetőmotorok

működése és működtetése

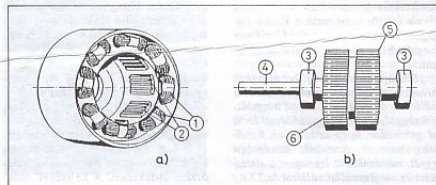
Dr. Fábán Tibor okl. villamosmérnök

Az utóbbi időkben a léptetőmotorok egyre népszerűbbek, szinte az élet minden területén találkozhatunk velük. A számtalan felhasználási lehetőség közül a „mutatók kvarcórákat; a CNC szerszámgépek, robotok beállító hajtóműveit; a floppy meghajtók, printerek, trógepek feje pozícionáló mechanizmusát említjük. A néhány $\mu W...$ tíz W teljesítményű léptetőmotorok népszerűségének oka elsősorban olcsóságukban, megbízhatóságukban, viszonylag egyszerű vezérlésükben keresendő.

A léptetőmotorok reprodukálható, pontos pozicionálásához – ellentétben a „konkurens” fordulatszám-szabályozott egyenáramú szervomotorok bonyolult érzékelő- és visszacsatoló áramköreivel – semmiféle különleges elemre nincs szükség. A motor, ha a terhelőnyomaték a megengedett határérték alatt marad, lépéstévesztés nélkül lép egyesével „fel-”, illetve „lefelé”, azaz inkrementál vagy dekrementál. További előny, hogy a beállási hibák nem adódnak össze; a statikus szögelméradás az előző lépések pontatlanságaitól nem függ. A beállási hibát – mely szokásosan a lépésszög $1...5\%$ -a – elsősorban a terhelőnyomaték befolyásolja.

A legelterjedtebb léptetőmotor-típusnál a forgórészét állandómágnésből, az állórészét ferromágneses anyagból készítik (1. ábra). Az állórész tekercseire kapcsolt feszültség-impulzusok hatására a rotor impulzusonként egy lépésszögnyi fordul el. A forgási irány a tekercsek gerjesztési sorrendjétől, ill. az impulzusok polaritásától függ. A forgórész gerjesztésmentes állapotban is megtartja helyzetét; a forgó- és az állórész közötti mágneses erőhatás következtében a motor tartónyomatékot fejt ki.

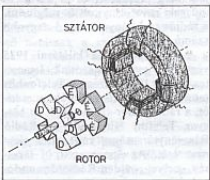
A 2. ábrán egyszerűsítve ábrázolt „ótpólusú” (precízebben: öt É-D pól-



1. ábra

luspárral bíró) léptetőmotor rotorja fogaskerékre emlékeztető kialakítású: két, egymáshoz képest ellentétesen mágnesezett „fogaskoszorúból” áll. Az azonos fogszámú, azaz pólusszámú fogaskoszorúk fél fogosztánsnyival el vannak forgatva. Az állórész mágneses köre kiálló pólusai, a mágneses póluspárokat a fázistekercsek gerjesztésével hozzák létre.

A rotor és a státor póluspárjainak száma nem azonos. Ha a forgórész pólusainak száma z , az állórész pólusainak száma pedig p , akkor a lépésszög szögfokokban: $\alpha = 360/(p-z)$.



2. ábra

Azaz, minél nagyobb a pólusok száma, annál kisebb a lépésszög. A kereskedelemben kapható léptetőmotoroknál a lépésszög a $0,9^\circ...30^\circ$ tartományon belüli diszkrét érték. Így az egy körülforduláshoz tartozó lépésszám $120...400$ lehet.

A sugárirányban elrendezett mágneses dipólusos forgórészen kívül többpólusúan váltakozva mágnesezett gyűrű alakú állandómágnest vagy „hibrid” rotort is használnak (3. ábra). Ez utóbbinál a mágneses póluspárokat lágymágneses fluxusvezető fogatárcsák közé fogott hengeres vagy gyűrű alakú állandómágnest hozza létre. Az állandómágnest többnyire számarány-kobalt, neodimium-vas-bór, alumínium-nikkel-kobalt összetételű, szinterelt vagy műanyag kötésű.

Egy kétfázisú gerjesztésű, ótpólusú forgórészű motor működési útjait a 4. ábrán mutatjuk be. A rotor É és D pólusait a működés szemléltetése érdekében megszámoztuk. Az állórész tekercspárjaira a 5. ábrán látható útmezésben kapcsoljuk a feszültséget. Értelmeszerűen az egymással szemben lévő állórészpólusok ger-

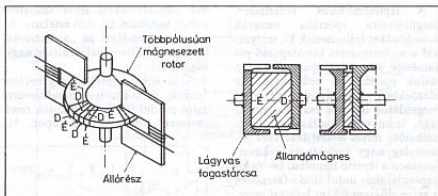
jesztése ellenkező. Megjegyzem, hogy a szakirodalomban a „fázis” kifejezést nemcsak a gerjesztőtekercsekre (vagy -párookra), hanem a gerjesztési útemekre is használják. Ez utóbbi értelmezésben a bemutatott motor négyfázisú léptetésű. Mivel a motornál $z=5$, $p=4$, így a lépésszög 18° .

A nulladik léptetési útemben a kiindulási helyzetet állítják be (4.a ábra). A forgórész D1, ill. E4 pólusát az állórész I₁ árammal gerjesztett felső É, ill. alsó D pólusa vonzza magához. Mivel az I₁ által gerjesztett bal, ill. jobb oldali pólusokkal szemben az É3, D2, ill. D5, É5 pólusok szimmetrikusan helyezkednek el, az erőhatások itt kiegyenlítik egymást.

Az első léptetési útemben U₂-t reverzálják. Ennek hatására az állórész felső pólusa D, az alsó É lesz (4.b ábra). A pólusok a D1-et, ill. az É4-et tasztítják. A forgórész elfordul, és újabb stabil helyzetet csak akkor veszi fel, amikor a bal, ill. a jobb oldali állórészpólusok az É3-at, ill. a D5-öt maguk elé vonzzák. A rotor ekkor az előző stabil helyzethez képest éppen egy lépésszögnyi fordul el.

A második léptetési útemben U₁-et (4.c), majd a harmadik útemben ismét U₂-t reverzálják (4.d). A feszültségpolaritás és így az áramirány-változtatás hatására bekövetkező mágneses vonzási/tasztítási jelenségek az előzőek alapján kikövetkeztethetők. A mágnesessétség szempontjából a kiindulási állapotot a negyedik útemben az U₁ reverzálásával éri el. A négy útem alatt a forgórész egy fogosztásnyit, azaz $360^\circ/5 = 72^\circ$ -ot fordult el (4.e). A reverzalások sorrendi ismétlése a motor az óramutató járásával megegyező irányba léptet. Az ábrákból az is látható, hogy nem szükséges minden időpillanatban mindkét fázistekercs gerjesztése: például a nulladik útemben U₁ (vagy I₁) zérus is lehet.

Az állórész tekercselése alapján bipoláris és unipoláris (másként: bifiláris tekercselésű) motorokról beszélhetünk. A bipoláris motoroknál állórész-póluspáronként csak egy gerjesztőtekercs szükséges, melyre – a léptetés irányától függően – kétféle polaritással kapcsolható a feszültség. (Innen a „bipoláris” elnevezés!) Az unipoláris motoroknál a póluspárok vasmagján kettős, bifilárisan készített középkivezetéses tekercselés helyezkedik el. A feszültséget hol az egyik, hol a másik tekercsfélre kap-



3. ábra

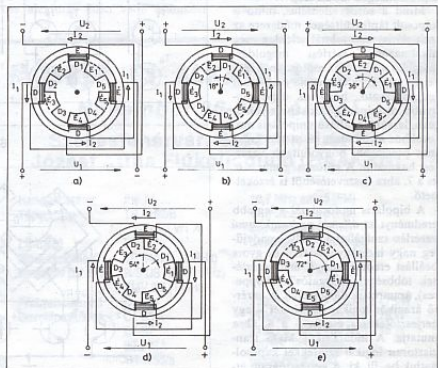
csolják, így a vezérlő áramkörben az áram mindig azonos irányba folyik, vagyis „egypolarítású”.

A bipoláris motorokat rendszerint 2 vagy 4, az unipolárisokat 3, 4 vagy 8 fázistekercssel készítik. A fázisonkénti áram 0,2...2 A (12...48 V-on), a vezérlő áramimpulzusok időtartama 10 μs...1 ms. Az indítónyomaték általában 0,004...0,4 Nm. A bipoláris típusok nyomatéka hozzávetőlegesen 30%-kal nagyobb, mint az azonos felépítésű és fázisáramú unipoláris motoroké.

A 6. ábrán bipoláris léptetőmotor tranzisztoros vezérlésének vázlatát és a működtetés idődiagramját mutatjuk be. Az „I” az adott tranzisztorok

bekapcsolt, a „0” pedig ezek kikapcsolt állapotát jelenti. Az állórészen feltüntetett mágneses pólusok az I. útem gerjesztési állapotának felelnek meg. A gerjesztőtekercs a tranzisztor-négyes alkotta hídkapcsolás átlójában van. Az összetartozó pnp-npn tranzisztorok (pl. T₁ és T₅, ill. T₂ és T₆) vezérlése azonos, de a párokat egymást kizáró.

A 7. ábrán a bifiláris léptetőmotor vezérlése és a tranzisztorok váltóérintkezés elektromechanikus kapcsolókkal való helyettesítése látható. A működési idődiagram az előző ábrával megegyező. A T₅...T₈ működtetését – értelemszerűen – figyelmen kívül kell hagynunk.



4. ábra

A léptetőmotorok vezérlésére, meghajtására speciális integrált áramköröket fejlesztettek ki, melyek a motorvezérlés két alapvető paramétere, a beállási sebesség és a hatások optimálisan beállítható. Az előzőekben bemutatott vezérlési megoldások ugyanis csak kisnyomatékú, lassú pozicionálásoknál használhatók, mivel a fázistekercsek viszonylag nagy induktivitása következtében a léptető impulzus be- és kikapcsolásokor indukálódó feszültség a gerjesztőáram fel- és lefutási meredekségét erőteljesen csökkenti. Így a motor léptetési gyakoriságának növeledésekor a gerjesztőáram átlagértéke, és ezzel a nyomaték is gyorsan csökken. Megoldást jelenthet például a tápfeszültség növelése és soros áramkorlátozó ellenállás használata. Ekkor az indítónyomaték a meredekebben változó áram hatására nő, azonban a hatások az ellenálláson disszipáló energia következtében romlik. Ennél az „L/4R” meghajtásnál a gyakorlatban a fázistekercsrel sorbakapcsolt ellenállás értéke a tekeressel-ellenállás háromszorososa.

Elképzelhető, hogy két tápfeszültségforrást használunk, ezek közül a nagyobb – kb. kétszeres – feszültségű forrásról indítjuk a motort, a kisebb feszültségű forrás pedig a gerjesztés fenntartására szolgál (ún. kapcsolt tápfeszültségek módszere).

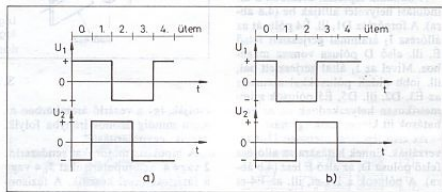
Mind a soros ellenállás, mind a kapcsolt tápfeszültségek módszere az unipoláris motoroknál jelenleg még alkalmazott vezérlési megoldás, azonban a bipoláris motoroknál egyre ritkább. Ez a tendencia csak azzal magyarázható, hogy az eleve nagyobb disszipációjú, kisebb nyomatékú, lassúbb beállású unipoláris motorokhoz az olcsóság okán nem érdemes precízebb, bonyolultabb vezérlést használni. A különbség már a 6. és a 7. ábra összevetéséből is érzékelhető.

A bipoláris motoroknál a legjobb eredményt az *állandó gerjesztőáramú* vezérlés szolgáltatja, mely egyidejűleg nagy indítónyomatékot és gyors beállási eredményez. A mai vezérlések többsége „szaggatós” (chopperes), áramrecirkulációs elvű. A vezérlő áramkör logikai felépítését – egy gerjesztőtekercs esetén – a 8. ábra mutatja. A hidáramkör MOS tranzistorait logikai szintekkel kapcsolhatjuk be, ill. ki. A gerjesztőáram átlagértékét a hidálóban megjelenő impulzussorozat kitélési tényezője-

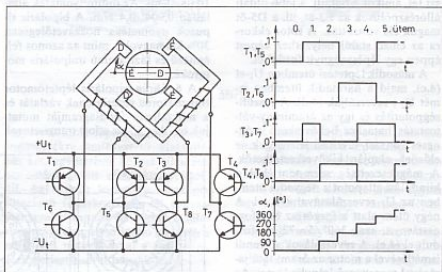
nek változtatásával lehet szabályozottan beállítani állandó értékre. Az áram amplitúdóját az „áramérzékelő” R_s és a referenciafeszültség nagysága szabja meg.

A G négyzöghullámú generátor állandó frekvenciájú impulzussorozatot produkál. Az impulzusok rendszeresen törlik a flip-flopot. Ha

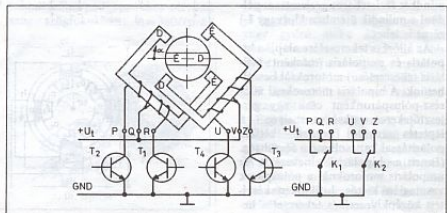
$E = „H”$ és például $IN_1 = „H”$, $IN_2 = „L”$, a T_1, T_4 kinyit. Az I_s csak addig folyik, amíg az R_s -en eső feszültség el nem éri az U_{ref} értékét. Ekkor a komparátor a flip-flopot beírja, azaz T_1 továbbra is vezet, de T_4 kikapcsol és T_2 kezd el vezetni. A gerjesztőáram megszűnése pillanatában indukálódó feszültség – a Lenz-tör-



5. ábra



6. ábra



7. ábra

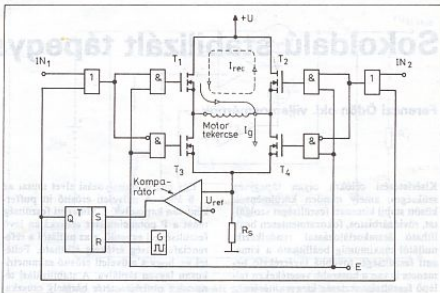
vény értelmében – az I_{rec} -vel azonos irányú áramot hoz létre. Az így indukált I_{rec} áramot a nyitott T_1 , T_2 körön keresztül recirkuláltjuk mindaddig, amíg a generátor óraimpulzusa nem törli a flip-flopot. A ciklus ezután az előzőek szerint ismétlődik.

Az áramrecirkuláció megszűnteti az I_{rec} beállást késleltető hatását. E módszert a szakirodalom „one-phase chopping”-nak nevezi, mivel csak egyetlen áramkör (bemenet) logikai állapotát változtatják meg a kiinduló állapothoz képest.

A „two-phase chopping”-nál – hasonló logikai áramkörrel – mindkét vezérlőbemenet állapotát egyszerre változtatjuk ellentétésre, azaz I_{rec} pl. a nyitott T_2 , T_3 tranzisztorokon keresztül a tápegységbe „táplál vissza”. Ez valamivel gyorsabb beállást eredményez, de nagyobb a félvezetők disszipációja.

Két fázistekercsű motornál, megkettőzve az áramkört, az E (enable) engedélyező bemenet megfelelő vezérlésével mind az „one-phase-on”, mind a „two-phase-on” típusú vezérlés megvalósítható. Az előbbinél csak egy fázistekercs van mindenkor bekapcsolva, míg az utóbbinál egyidejűleg mindkét tekercset gerjesztjük.

Az SGS-Thomson cég L6204 típusú, „BCD” technológiával készült áramkör kétfázisú bipoláris léptetőmotorok meghajtására alkalmas, hü-



8. ábra

tőborda nélkül fázisonként 0,5...0,6 A-t képes leadni. (A „BCD” a bipoláris-CMOS-DMOS hibrid technológiát jelenti. A DMOS = double diffused MOS, azaz kétlépcsős diffúziós MOS eljárás, mellyel a source és a drain között igen rövid csatornát képeznek. Ezzel gyors működésű, kis felütési idejű impulzusok produkálására alkalmas, indukált csatornás MOS-FET-eket kapnak.)

A 20 kivezetéses IC-tokban két teljes hidkapcsolás, valamint a termikus megfűtás ellen védő áramköri

részlet és a szabályozás felépítéséhez szükséges feszültség-utárhűzős generátor található. Az IC mikrovezérlőhöz csatlakoztatható interfész felülettel is rendelkezik. Az egy hidáramkört tartalmazó, max. 3 A fázisáramú integrált áramkör típuszáma: L6203.

Irodalom:
Electronic Now. 1994. febr., 53..58. old.
Electronic Design. 38. (1990/7.),
103..108. old.
Magyar Elektronika 1990/7., 29..33. old.

MŰSZER ÉS ALKATRÉSZ BÖRZE

November 26-án 7 órától

Székesfehérvár, Széchenyi út 13.
József Attila Fiúkollégium (HA4KYN)

Telefon: (22) 312-730/24-52, 29-72 **műszer**
(22) 312-730/24-81, 26-06 **alkatrész**
Fax: (22) 312-970

Multiméterek	BM 518
Csővoltmérők	URV2
Digitális multiméterek	TR 1657
	TR 1665-A
RF millivoltmérők	MV 21 (10 MHz)
	CB 4182 (500 MHz)
	URV 5 (2 GHz)
	URV 3 (fej nélküli)
Szignálgenerátorok	PG 19 (AM 50 MHz)
	G4-116 (300 MHz)
	R6S SMLH (40 MHz)
	G4-151 (512 MHz)

Hanggenerátor	PIF IV.
Tápegység	TR 9162/B (2 x 40 V/1 A)
LC-mérő	E12-1A
Modulációmérő	TR 5402/A (1 GHz)
Szelektív μV mérő	R/S US H2 (60 MHz)
	SMV 8,5 (1 GHz)
Frekvenciamérő	Cs3-54
Oscilloszkópok	C1-65/A
	C1-67
	ST 509A
	TR 4655/a
	73 MHz szűrő (1 KF)

10,7 MHz szűrő (FM)	
11,5 MHz szűrő (FM)	
300 kHz szűrő (CW)	
Kvarcok:	4,433 MHz
	6,144 MHz
	8 MHz
	10 MHz stb.
2T931A	28 V - 175 MHz - 75 W
2T950A	28 V - 80 MHz - 75 W
2T951A	28 V - 80 MHz - 15 W
	220 μ F 385 V elkő
	GU50 RH adócső
	Kerámia bordás csövetest stb.