

A folyamatirányítás eszközei

Végrehajtó szervek - 3.

Dr. Telkes Zoltán

Az irányítástechnikai készülékeket ismertető cikksorozat soron következő részében a végrehajtó szervek összefoglalásának keretében, a villamos végrehajtók családjából a váltakozó áramú aszinkron-szervomotorok és a léptetőmotorok részletes ismertetésére kerül sor.

Váltakozó áramú, aszinkron-szervomotor

A váltakozó áramú, aszinkron-szervomotor működési elvét az általános, m -fázisú, rövidre zárt forgórészű aszinkronmotorok elvéből származtatják. Mechanikai felépítésének vázlata az 1. ábrán látható.

Az aszinkronmotorok működés módjának megértéséhez előnyös az egy-, ill. háromfázisú transzformátorok üzemének ismerete, mert az aszinkrongép egy – lényegét tekintve legalább két-fázisú – transzformátor. Ennek primer tekercselése az állórészen, szekunder tekercselése pedig a forgórészen van elhelyezve.

Az m -fázisú (leggyakrabban 2 vagy 3 fázisú) tekercseléssel ellátott állórész – azonos m -fázisszámú hálózatról gerjesztve – a légrésben forgó mágneses mezőt hoz létre, amelynek szögsebessége:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_s}{p},$$

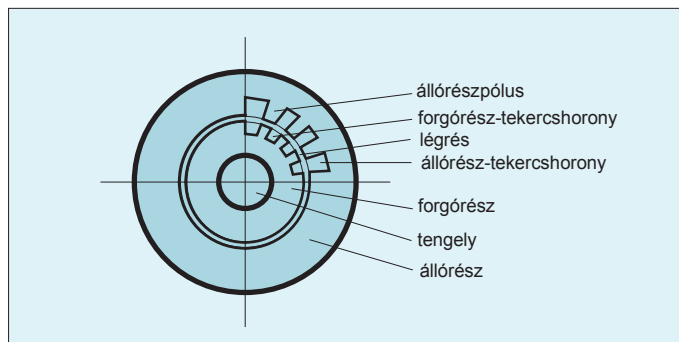
ahol f_s a gerjesztő feszültség frekvenciája és p a póluspárok száma.

Ebben a térben a rövidre zárt forgórész vezetőiben feszültség indukálódik, a forgórész zárt áramkörében áram folyik, és ez az áram lép kölcsönhatásba a forgó mezővel. A kölcsönhatás következtében képződő nyomaték iránya olyan, hogy a forgórészt a forgó mezővel azonos irányban magával viszi, elméletileg (vesztésgmentes esetben) azonos ω körfrekvenciával.

Részletesebben vizsgálva ez azt jelenti, hogy – bármely időpontban pillanatfelvételt készítve – a kerület menti indukcióeloszlás szinuszos, amely első ránézésre nem tűnik homogén térnek. Tehát van egy kvázi homogén tér, amely ω_0 körfrekvenciával forog a gép tengelye körül. Ha a gép ω körfrekvenciával forog, a forgó tér $\omega_0 - \omega$ körfrekvenciával metszi a forgórész rövidre zárt tekercseit, tehát abban $\omega_0 - \omega$ körfrekvenciájú áramok keletkeznek. Ebből meghatározható egy tekercsnek az eredő mágneses momentuma. Azt találjuk, hogy az eredő momentum $\omega_0 - \omega$ körfrekvenciával forog a forgórészhez képest, vagyis az állórészhez képest $(\omega_0 - \omega) + \omega = \omega_0$ – vagyis az indukcióval megegyező – körfrekvenciával, csak egy β szöggel lemaradva attól. Az is kimutatható, hogy β sohasem nulla, ezért a vektoriális szorzat mindaddig nullától különböző nyomatékértéket ad, ameddig $m \neq 0$, ez pedig csak az $\omega = \omega_0$, ún. szinkronfordulaton következik be.

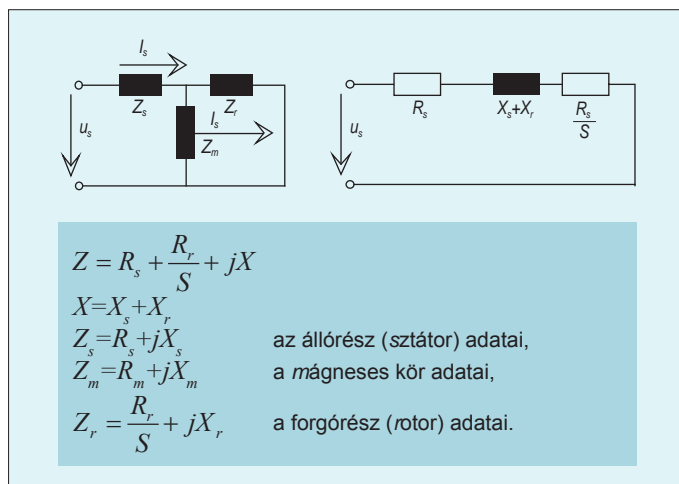
Végeredményben tehát a forgórész körfrekvenciája mindig kisebb, mint a forgó mezőé. A két körfrekvencia relatív különbségét szlipnek (S) nevezik (A szlipet a szakirodalom kisbetűvel jelöli, de itt a Laplace-operátorral való összetéveszthetőség elkerülése érdekében nagybetűs jelölést alkalmazunk):

$$S = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \text{ valamint } \omega_0 = (1 - S)\omega_0.$$



1. ábra Aszinkron-szervomotor vázlata

A váltakozó áramú aszinkronmotorok helyettesítő kapcsolása tehát a következő: a kapcsolás feszültség egy része az állórész ohmos ellenállásán, ill. szórt inductívitasán esik, fedezi a mágneses kör vasvesztését, és csak a megmaradó rész hozza létre a forgórész vezetőivel csatolásban lévő forgó mágneses teret. A forgórészbe indukált feszültség egy része a forgórész-tekercselés szórt inductívitasán esik, nyomatékot csak az áram wattos komponense hoz létre. A helyettesítő kapcsolás a 2. ábrán látható.



2. ábra Aszinkronmotorok teljes és egyszerűsített villamos helyettesítő képe

Ha a gyakorlatban az impedanciák egyes elemei között lényeges eltérések vannak, akkor a helyettesítő kép egyszerűsíthető. Szervomotor esetén, ha az állórész R_s ohmos ellenállása, a forgórész (vesszővel jelölve a menetszám arányosan az állórészre) redukált R'_r ellenállása, az állórész X_s szórt reaktanciája, a forgórész-tekercs redukált X'_r szórt reaktanciája, a mágneses kör X_m reaktanciája és a mágneses kör R_m vasvesztésége kö-

zötti arányokat vizsgáljuk, akkor az $R_s \cdot R_r \cdot X_s \cdot X_r \cdot X_m \cdot R_m = 1:1:3:3:100:1000$ arányszámokat kapjuk. Ekkor tehát elhanyagolhatók és a helyettesítő képből kimaradhatnak az m -indexű tagok.

A motor forgását leíró egyenlet felírásához az ω_0 frekvenciájú m fázisú hálózatról felvett P teljesítmény kifejezéséből indulhatunk ki. A motor nyomatéka a forgómező közvetítésével a légrézen keresztül a forgórésznek átadott P_b hatásos belső teljesítményből számítható:

$$M = \frac{P_b}{\omega_0} = \frac{m}{\omega_0} U_s^2 \frac{\frac{R_r}{S}}{\left(R_s + \frac{R_r}{S} \right)^2 + X^2}$$

A nyomaték a szlipnek is függvénye. Az *indítónyomaték* a zérus szögsebességhez tartozó helyen:

$$M = \frac{m}{\omega_0} U_s^2 \frac{R_r}{(R_s + R_r)^2 + X^2}$$

A *billenőnyomaték* a nyomatéki görbének az a pontja, amelyet maximális teljesítmény esetén ad le a motor, és itt a nyomatéknak (a szlip függvényében) maximuma van:

$$\frac{R_r}{S_B} = \sqrt{R_s^2 + X^2}$$

Ebből kifejezhető a billenőnyomaték helye:

$$S_B = \frac{R_r}{\sqrt{R_s^2 + X^2}}$$

A billenőnyomaték értéke:

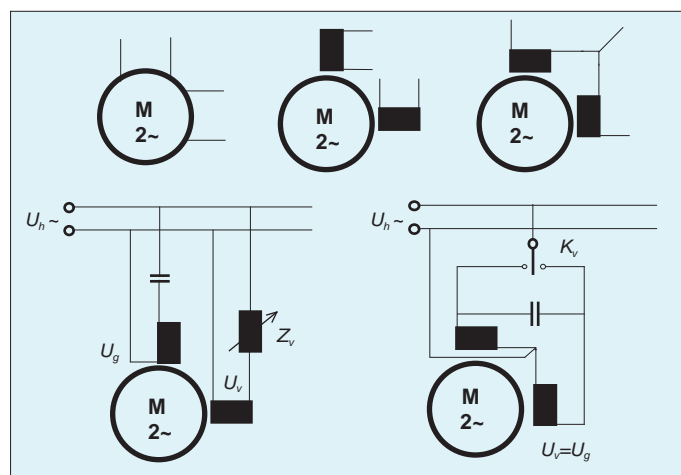
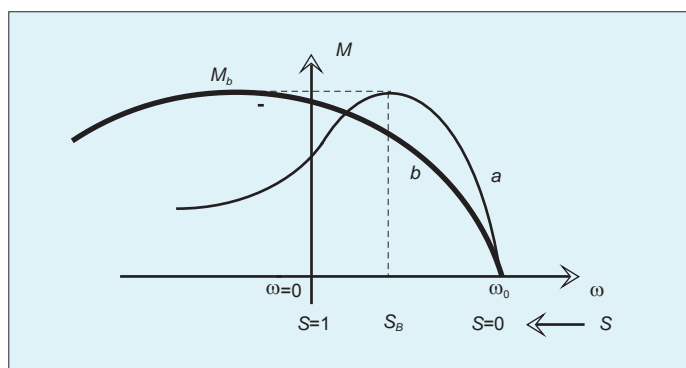
$$M_B = \frac{m}{\omega_0} U_s^2 \frac{1}{2(R_s + \sqrt{R_s^2 + X^2})}$$

Látható, hogy a forgórész-ellenállás és az állórész-ellenállás hányadosával beállítható a billenőnyomaték helye. A normál esetben a forgórész-ellenállás kisebb, ezért a billenőnyomaték a működési tartomány valamely ($1 > S > 0$) pontjában van (a 3. ábra *a*-jelű görbéje).

Ha tovább növeljük a forgórész-ellenállást, a billenőnyomatékhoz tartozó szlip is növekszik ($S=1$ az $\omega=0$ helyen van, $S>1$ pedig negatív fordulatszám-tartományt jelent). Az ilyen billenőnyomatékú motor megfelel a szervomotor-követelményeknek (a 3. ábra *b*-jelű görbéje).

A kétfázisú aszinkron-szervomotor ($m=2$) ennek a kategóriának az irányítástechnikában gyakran használt változata. Elő-

3. ábra Az aszinkronmotorok nyomaték-szögsebesség jelleggörbéi



4. ábra Kétfázisú aszinkronmotorok ábrázolásai (fent) és vezérlési módjai (lent)

nye, hogy egyfázisú hálózatról is működtethető, ha az állórész két (térben 90° -kal eltolt) tekercsét szintén 90° -kal eltolt fázisú feszültséggel gerjesztjük. A váltakozó feszültség (közel) 90° -os eltolását – pontosabban a második fázistekercsben folyó áram 90° -os késését – az előzőhöz képest úgy érjük el, hogy a tekercsrel olyan kondenzátort kapcsolunk sorba, aminek az impedanciája az adott frekvencián jóval nagyobb, mint a tekercs ohmos ellenállása.

Aszinkron-szervomotorok speciális kétfázisú gépet fejlesztettek ki. Ez az ún. *Ferraris*-típusú¹ motor, amely serleges forgórészű, és úgy tekercselték, hogy a nyomaték a fordulatszám függvényében közel lineárisan csökken². Szabályozástechnikai szempontból az aszinkrongépekről nagyjából ugyanaz mondható el, mint az egyenáramú gépekről: igen nagyok a transziens áramlökések, nehézkes az álló állapot stabilizálása stb.

A kétfázisú aszinkron-szervomotor elektromechanikai időállandója nagy hasonlóságot mutat az egyenáramú motoréhoz. Itt a részletes levezetést nem végezzük el.

A kétfázisú aszinkron-szervomotor egyszerűsített vázlata a 4. ábra felső sorában látható. Bal oldalt az egyszerű, rajzdokumentációk céljára szabványosított mód, középen és jobb oldalt a részletesebb, szakkönyvekben használatos forma. A kétfázisú aszinkron-szervomotor vezérlésének két fő módszere van, amint azt a 4. ábra alsó sora is mutatja. A bal oldalon a vezérlőfázisba beiktatott teljesítményerősítő folytonosan változtatható vezérlőimpedanciája (a konverter főáramköre) a motor szögsebességét is folytonosan változtatja, míg a gerjesztőfázis feszültsége állandó, fáziskésése pedig 90° . Az alsó, jobb oldali ábrán pedig a háromállású működtetés látható, amikor megszűnik a vezérlő- és gerjesztőfázis külön szerepe, a vezérlőkapcsoló középállásban üres, a jobb és bal oldali állásban pedig fázist kapcsol az egyik vagy másik kapocsra. Ezen állapotokban a kondenzátor hol az egyik, hol másik tekercsrel kapcsolódik sorba, ezáltal felcserélődik a késleltetett fázis, a motor a középállású nulla fordulatszám körül vagy az egyik vagy a másik forgásirányban forog névleges fordulatszámon, vagyis itt nincs lehetőség és szükség a vezérlőfeszültség által előállítható folytonos fordulatszám-változtatásra.

A kétfázisú szervomotor a leggyakrabban alkalmazott készülék a villamos végrehajtó szervekben.

¹ Galileo Ferraris, fizikus és elektrotechnikus, 1847-ben született és 1897-ben halt meg Torinóban.

² A Zipernowsky-Déri-Bláthy által 1885-ben feltalált transzformátor és a Ferraris-motor szolgált alapul Kandó Kálmánnak a villamos vontatás terén végzett úttörő munkájához.

TELJES LÉPÉSES ÜZEMMÓD										FÉLLÉPÉSES ÜZEMMÓD																	
EGYPÓLUSÚ					KÉTPÓLUSÚ					EGYPÓLUSÚ								KÉTPÓLUSÚ									
	1	2	3	4		1	2	3	4		1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8
K1	0	0	+1	+1	K1	-1	-1	+1	+1	K1	+1	0	0	0	0	0	+1	+1	K1	+1	0	-1	-1	-1	0	+1	+1
K2	+1	0	0	+1	K2	+1	-1	-1	+1	K2	+1	+1	+1	0	0	0	0	0	K2	+1	+1	+1	0	0	0	-1	-1
K3	+1	+1	0	0	K3	+1	+1	-1	-1	K3	0	0	+1	+1	+1	0	0	0	K3	-1	0	+1	+1	+1	0	-1	-1
K4	0	+1	+1	0	K4	-1	+1	+1	-1	K4	0	0	0	0	+1	+1	+1	0	K4	-1	-1	-1	0	+1	+1	+1	0

1. táblázat Léptetőmotor vezérlésének változatai az 5. ábra alapján

Léptetőmotor

A léptetőmotor forgórésze nem forog folyamatosan, hanem diszkrét bemenőjel hatására meghatározott szöggel elfordul (lép). A legelterjedtebb típus állórésze tekercselt, a forgórésze állandómágnes. A fázisokra egymás után kapcsolt impulzusjelek a forgórészt ezekkel szinkronban léptetik. Ha az egyes fázisokhoz egy körülfordulás alatt több állórészpólus is tartozik, akkor a lépésszög kisebb. A sokpólusú jelző azt jelenti, hogy az állórésztekercsek valamilyen gerjesztési állapotában a forgórész kerületén a légrésben a **B** indukció- és **m** mágneses momentum-vektor között eltolás alakul ki, a nyomaték arányos a köztük lévő szög szinuszával, tehát a forgórész elfordul.

Ha az ún. lépésszög kellően kicsi, az egyes tekercsek egyenfeszültséggel is gerjeszthetők, és ha betartjuk a gyártó cég által közölt léptetési sémát (1. táblázat) – az egyes tekercsre a táblázat szerint rákapcsolva, ill. lekapcsolva a tápfeszültséget –, akkor a motorra jellemző sebességi és terhelőnyomatéki tartományban a motor forogni fog. A vezérlés elve az 5. ábra és az 1. táblázat egybevetésével követhető.

A *K* kapcsolók időbeli ütemezését a 1. táblázat mutatja, minden egyes ütem egy léptetést – a példán 90° vagy 45° szögelfordulást – jelent. A táblázat a teljes lépéses és a féllépéses üzemmód mindkét esetét bemutatja.

A léptetőmotor ábrázolására többfajta jelölés terjedt el. A 6. ábra bal oldali oszlopának felső része a leegyszerűsített – tervdokumentációkban alkalmazott – szabványos jelölés, a középső a gerjesztések változatainak bemutatását szolgáló

(kapcsolási rajzokon alkalmazott) mód, az alsó pedig a szerkezeti felépítést is mutató vázlat, amelyet főleg szövegekben használnak.

A léptetőmotorok jelleggörbéi a 6. ábra jobb oldalán láthatók. A nyomatéki görbe a vízszintes tengely megfelelő átértelmezése után (az f_s lépésfrekvencia és az ω szögsebesség összevetése) nagy hasonlóságot mutat az aszinkronmotorok jelleggörbéjéhez. A két indítási görbe azt mutatja meg, hogy a motor milyen tehetetlenségi nyomatékkal növelve indítható, a lépéstévesztés nélküli üzem görbéje a már forgó motor határgörbéje.

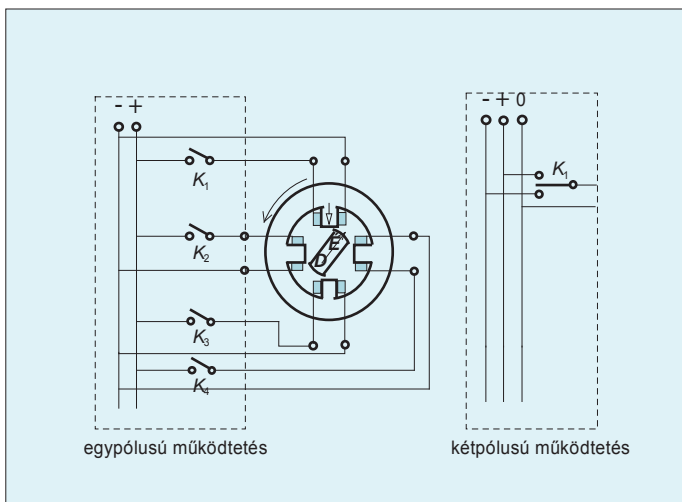
A léptetőmotorokat ritkán alkalmazzák nagy teljesítményigényű, folyamatirányítási feladatokban, mert csak speciális kialakítások adnak le megfelelő nyomatékot (pl. közös tengelyen több egyedi motor). Más területeken azonban a pontos helyzetbeállítás előnyös és üzembiztos, valamint az is előny, hogy nem kell hozzájuk helyzetbeállítót alkalmazni, ami egyébként a pneumatikus vagy a villamos egyenáramú és váltakozó áramú motoroknál rendszerint szükséges.

A folyamatirányítás eszközeit tárgyaló cikksorozat következő része a helyzetbeállítókkal és azon belül az alapfogalmak tisztázása után az analóg kialakításokkal foglalkozik. Az ismeretetés a korábban megismert készülékgenerációs elvet követi.

(Folytatjuk!)

editor@magyar-elektronika.hu

5. ábra Léptetőmotor működtetésének vázlata



6. ábra Léptetőmotorok ábrázolási formái (bal oldalon) és jelleggörbéi (jobb oldalon)

