

A 4.45. ábra jelöléseit használva, tételezzük fel, hogy gépünk túllendült és éppen a **B** pontban üzemel. Mivel a motor által szolgáltatott  $M_2$  nyomaték nagyobb mint az  $M_1$  terhelőnyomaték, a gép forgórészére  $M = M_2 - M_1$  gyorsító nyomaték hat. Kiindulási feltételeink szerint felírhatjuk  $\operatorname{tg} \beta = \frac{M}{\alpha}$  alapján, hogy  $M = \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta$ .

Ugyanakkor tudjuk, hogy  $\operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta M}{\Delta \delta} = \frac{dM}{d\delta} = M_s$  szinkronozó nyomatékkal egyenlő.

A gyorsító nyomaték tehát az egyensúlyi helyzethez tartozó szinkronozó nyomaték, és az attól való terhelési szög eltérés ( $\alpha$ ) szorzata lesz:

$$M = M_s \cdot \alpha. \quad (4.61)$$

(Egyesekben esetleg kétség merül fel, hogy a szinkronozó nyomaték és egy szög szorzata nyomatékokat eredményez. Őket emlékeztetném arra, hogy az  $M_s$  szinkronozó nyomatékokat a villamos nyomaték terhelési szög szerinti differenciál-hányadosaként definiáltuk.)

Miközben a forgórész egyensúlyi szöghelyzetéből a hirtelen nyomaték-változás hatására kimozdul, szögsebessége különbözni fog a forgómező szögsebességétől. A viszonylagos elmozdulás miatt az eredő fluxus erővonalai metszik a forgórészen fellelhető összes zárt vezetőkeretet, és azokban feszültséget indukálnak. Az indukált feszültségek nagysága a relatív szögsebességtől függ, így az általuk megindított örvényáramok is, melyek természetüknél fogva gátolják a mozgást.

Hogy minél hatásosabban kialakulhassanak ezeket a gyors állapotváltozásokat akadályozó áramok, egyes gépeknél rézrudakból külön tekercselést készítenek a csillapítás növelése érdekében. Az örvényáram hatására kialakuló nyomaték a szerkezeti kialakításon és az eredő fluxus nagyságán kívül függ az állapotváltozás sebességétől, vagyis a relatív szögsebességtől ( $\omega_r$ ). Állandó kapocsfeszültséget feltételezve, az eredő fluxust a szerkezeti kialakításból adódó  $k$  állandóval összevonva, a csillapító nyomatékokat felírhatjuk a következő alakban:

$$M_{cs} = k \cdot \omega_r = k \cdot \frac{d\alpha}{dt}. \quad (4.62)$$

A forgórész és vele kapcsolatban lévő forgó tömegek gyorsításához ill. lassításához szükséges bizonyos nagyságú dinamikai nyomaték. A dinamikai nyomatékokat a forgó tömegek forgórészre redukált tehetetlenségi nyomatéka ( $J$ ) és a szöggyorsulás ( $\varepsilon$ ) szorzata határozza meg:

$$M_d = J \cdot \varepsilon = J \cdot \frac{d\omega_r}{dt} = J \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2}. \quad (4.63)$$

Ezekután felírhatjuk, hogy a terhelőnyomaték és a szinkron gép villamos nyomatékának különbségéből keletkező nyomaték a forgó tömegek gyorsítására (lassítására), és a keletkező csillapító nyomaték fedezésére fordítódik:

$$M_{vill} - M_{terh} = M_s \cdot \alpha = M_d + M_{cs}. \quad (4.64)$$

Az egyes nyomatékokat behelyettesítve, és az egyenletet rendezve kapjuk a forgórész relatív mozgását leíró differenciál egyenletet:

$$J \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + k \cdot \frac{d\alpha}{dt} - M_s \cdot \alpha = 0. \quad (4.65)$$

Az egyenletben szereplő állandók értékétől függően a forgórész periódikusan csillapodó lengéssel közelíti meg az új stabilis állapotot. A levezetett egyenlet egyetlen, hirtelen terhelésváltozás hatására bekövetkező lengéseket írja le. Ezt a szinkron gép önlengésének nevezik.

Nagyobb jelentőségük van az ún. gerjesztett lengéseknek. Gerjesztett lengésről akkor beszélünk, ha a gépre ható nyomaték nem állandó, hanem egy bizonyos érték körül periódikusan ismétlődik. A gerjesztett lengések általában állandósulnak. Nagyteljesítményű szinkron gép állandósult lengése a táphálózatot is nagyon zavarhatja, ugyanis a lengő gép áramfelvétele is periódikusan változik, és a létrejövő hálózati feszültségesés (vagy emelkedés) a hálózatra kapcsolt egyéb fogyasztó működését (pl.: izzólámpák) igen kedvezőtlenül befolyásolhatja.

Súlyosodik a helyzet, ha a gerjesztőnyomaték frekvenciája megegyezik, (vagy egészszámú többszöröse) a gép önlengési frekvenciájával. Ilyenkor a lengések amplitúdója fokozatosan növekszik, rezonancia lép fel, és a gép kiesik a szinkronizmusból.

## 4.6. KÜLÖNLEGES SZINKRON GÉPEK

### 4.6.1. Körmöspólusú generátor

A közlekedési eszközök és a félvezető technika fejlődésével igény jelentkezett a járművek villamosenergia ellátásának korszerűsítésére. Az erre a célra korábban használt egyenáramú generátoroknak (töltődinamóknak) ugyanis két jelentős hátrányuk volt:

- a kommutátoros, tekercselt forgórész korlátozta a fordulatszám növelését, és ezzel a teljesítményegységre eső súly csökkentését,
- a kommutátor és a keferendszer állandó gondozást igényelt.

E hátrányokat küszöböli ki a 4.46. ábrán vázolt körmöspólusú generátor. Elnevezését a hosszmetset alsó felén látható forgórészről kapta. A forgórészen egy hengeres gerjesztőtekercs van, melyet csúszógyűrűkön keresztül egyenárammal táplálunk. A gerjesztőtekercs tengelyirányban létrehozott mágneses terét a forgórészre jobb és baloldaltól felpréselt D és É jelű körmös acél gyűrűk vezeték a lemezelt állórészbe. A baloldali gyűrű körmei alkotják az északi pólusokat, a jobboldali a délieket. Az északi pólusok és a déli pólusok tehát külön-külön mágnesesen párhuzamosan vannak kapcsolva.

A gerjesztés által létrehozott erővonalak az északi körmökből a gépben sugárirányban kilépnek, és megkerülve az állórész hornyokban lévő armatura tekercselést, újból sugárirányban térnek vissza a déli körmökhöz. (Az északi és déli körmök között akkora légrést kell hagynunk, hogy a mágneses ellenállás az állórész felé jóval kevesebb legyen, és az erővonalak a leírt útvonalat válasszák.)

Az ábrán vázolt gépnél 6 északi és 6 déli körm hozza létre a 12 pólusú mágneses teret. A forgórészt forgásba hozva, ez a 12 pólusú mágneses tér metszi az állórészen lévő rendszerint háromfázisú tekercselést, és abban feszültséget indukál.

Az indukált feszültség effektív értéke:

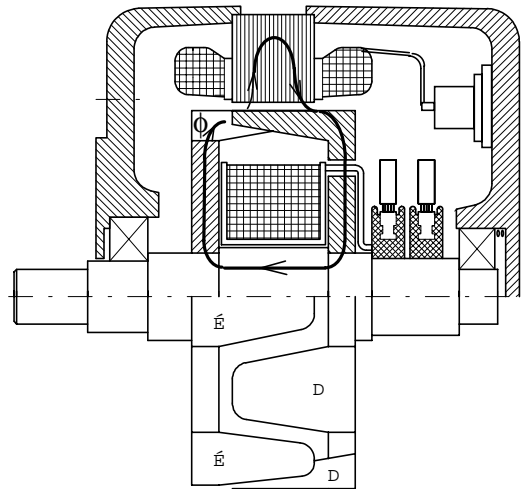
$$U_i = 4 \cdot k_f \cdot f \cdot N \cdot \xi \cdot \Phi_{max}, \text{ tehát függ a}$$

generátor fordulatszámától. Gépjárművekben, ahol a hajtómotor fordulatszáma tág határok között változik, ugyanúgy szükség van gerjesztésszabályozóra, mint az egyenáramú töltődinamóknál. A szinkron gép szinkron reaktanciája függ a frekvenciától  $X_d = X_a + X_s = 2\pi \cdot f \cdot (L_a + L_s)$ , és ez egy frekvenciával lineárisan növekvő reaktancia sorbakapcsolását jelenti a fogyasztóval, a gerjesztésszabályozás kérdését csak igénytelen esetben (pl.: kerékpár világítás állandómágnesű forgórésszel) oldja meg.

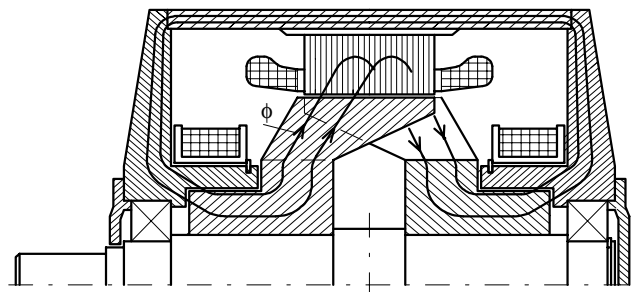
Az egyszerű felépítésű forgórész lehetővé teszi a járműgenerátorok magas üzemi fordulatszámát, ami jó súlyegységre eső teljesítmény hasznosítást, és az előállított többszáz Hz-es háromfázisú váltakozó feszültség egyenirányítása után viszonylag síma egyenfeszültséget eredményez.

Az átlagos járműgenerátoroknál nagyobb teljesítményű, igényesebb körmöspólusú generátorokat készíthetik csúszógyűrű nélküli kivitelben is. Ezeknél az axiális mágneses teret az acél pajzsokon elhelyezett két gerjesztőtekercs hozza létre, és a mágneses tér armatura tekercseléssel való kapcsolódását itt is körmöspólusú gyűrűk biztosítják.

A mágneses tér záródása ezeknél a gépeknél az armatúra vastesten kívül, a jó mágneses vezetőképességű (acél) állórészházban történik. (A gép tengelyének viszont antimágneses anyagból kell készülnie, különben mágnesesen sőtölné a körmös pólusokat.)



4.46. ábra. Gépjárművekben használt körmöspólusú generátor.



4.47. ábra. Kefenélküli körmöspólusú generátor.

#### 4.6.2. Reluktancia motor

Az ipari gyakorlatban gyakran adódhat olyan feladat, amikor két vagy több motornak pontosan megegyező fordulatszámmal kell járnia. Az ilyen feladat több-féleképpen is megoldható, de néhány kW teljesítményig a legegyszerűbb és legolcsóbb megoldás reluktancia motorok alkalmazása.

A reluktancia motor tulajdonképpen egy gerjesztés nélküli, kiállópólusú szinkron gép. A kiállópólusú szinkron gép nyomatékának tárgyalásakor ismertük meg a reluktancia nyomaték fogalmát, melynek nagysága az  $X_d$  hosszirányú és  $X_q$  keresztirányú szinkron reaktanciák különbözőségétől függ:

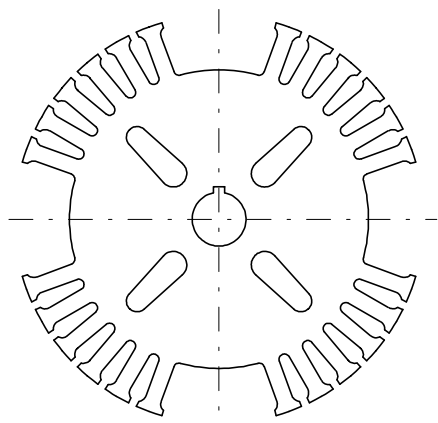
$$M_r = \frac{m}{\omega_o} \cdot \frac{U^2}{2} \cdot \frac{X_d - X_q}{X_d \cdot X_q} \cdot \sin 2\delta$$

Ennek a nyomatéknak a hasznosításán alapszik a reluktancia motor működése.

A szinkron gépek motoros üzemmódban való használatának van egy meglehetősen nagy nehézsége: a szinkron gépnek nincs indítónyomatéka, önmagától nem tud felgyorsulni a forgórész álló helyzetből, az armatura által létrehozott forgó mágneses tér fordulatszámára.

A szinkron gépek egyik indítási módjánál a forgórészt indító kalickákkal látják el, és az armaturát hálózatra kapcsolva a forgó mágneses tér a forgórészt aszinkron motorként a szinkron fordulatszám közelébe pörgeti, majd gerjesztéslökéssel a gép szinkronizmusba ugratható.

Ez adta a gondolatot, hogy egy rövidrezárt forgórészű aszinkron motor forgórészét úgy alakítsák ki, hogy a forgómező pólusszámának megfelelően mágnesesen aszimmetrikus legyen, és a létrejövő reluktancia nyomaték a forgórészt felpörgés után szinkronba ugrassa. A felpörgésnek és szinkronba ugrásnak természetesen határt szab a motort indításakor terhelő nyomaték és a felgyorsítandó rendszer tehetetlenségi nyomatéka, ezért a reluktancia motorok névleges teljesítménye kb. feleakkora, mint a vele azonos nagyságú aszinkron motoroké.



4.48. ábra. Reluktancia motor forgórészének lemezrajza.

A reluktancia motor állórésze tehát megegyezik egy szinkron (vagy aszinkron) gép állórészével, lemezelt vastestében rendszerint háromfázisú tekercselés van, mely forgó mágneses teret hoz létre.

Forgórésze azonban úgy van kialakítva, hogy helyet kapjon rajta az aszinkron gépekre jellemző kalickarendszer, ugyanakkor jelentős különbség legyen a hossz és keresztirányú mágneses vezetés között a minél nagyobb reluktancia hatás elérése érdekében.

A 4.48. ábrán egy négy pólusú reluktancia motor forgórészének lemezrajzát láthatjuk. A

pólusközökben nincsenek fogak, általában kicsípi azokat. A hornyokban lévő rudakat a lemeztet végein teljesen körbefutó rövidrezáró gyűrűk kötik össze, hogy létrejöhessen a felpörgést előidézõ aszinkron nyomaték. A reluktancia hatás fokozására a pólusok középvezetében sugárirányú nyílásokat sajtolnak, így is növelve a hossz és keresztirányú mágneses vezeték közötti különbséget.

A reluktancia motor átlagos légrésmérete a kerület mentén jóval nagyobb a keresztirányú légrés megnövelése miatt, mint az azonos nagyságú aszinkron motoré. Ezért felfutás alatt nagyobb a mágnesező árama, rosszabb  $\cos\varphi$ -vel dolgozik mint az aszinkron motor. Szinkron üzemben sem javul a helyzet, mivel nincs gerjesztőtekerce a gépnek, és állandóan alulgerjesztett üzemiállapotban van.

Emiatt a reluktancia motor hatásfoka és súlyegységre eső teljesítmény kihasználása kb. fele az aszinkron motorénak, ezért csak 5 kW alatti teljesítmény tartományban használatosak. A kisebb teljesítmény miatt egyre kevésbé hanyagolhatók el a veszteségek, nő a különbség a tengelyen leadott mechanikai teljesítmény és a hálózatból felvett villamos teljesítmény között, így a tengelyen kifejtett nyomaték kisebb lesz az elméletileg kiszámított villamos reluktancia nyomatéknál, és a maximális terhelési szög az elméleti  $\delta_{m\max} = 45^\circ$  helyett csak  $\delta_{m\max} = 30..35^\circ$  lesz.

A leírt negatívumok ellenére mégis szívesen alkalmazzák egyszerű felépítése és olcsósága miatt olyan villamos hajtásoknál, ahol több motor együttfutása, vagy állandó fordulatszám a követelmény.

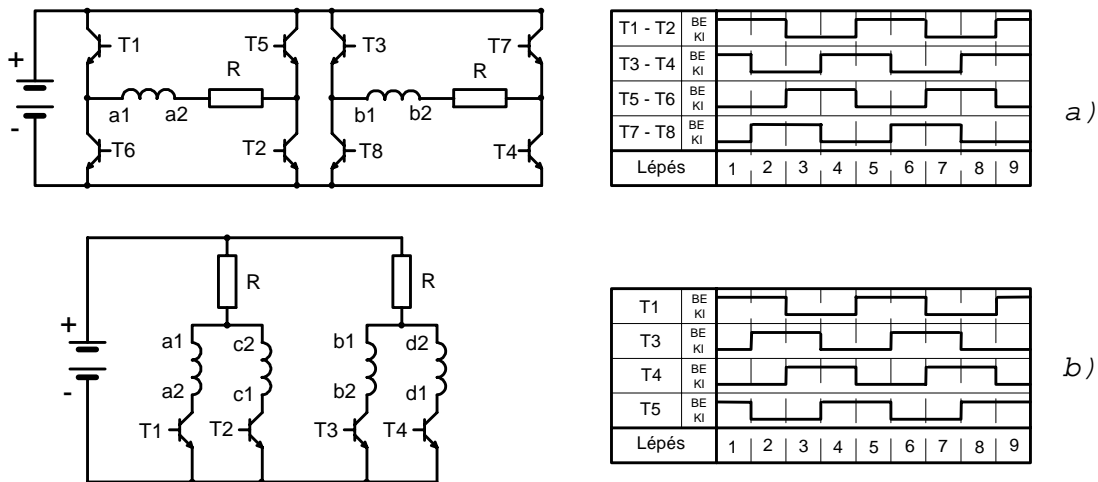
A frekvenciaváltós inverterek elterjedésével együtt a reluktancia motorok felhasználási köre is bővül, mivel több motor együttes, azonos mértékű fordulatszám változtatására nyílik lehetőség (pl.: csomagolástechnika, papír- és textilipar).

### 4.6.3. Léptetőmotorok

A léptetőmotorok felépítésüket tekintve a szinkron motorokhoz állnak legközelebb. Eltérés azonban, hogy amíg a szinkron gépeknél az állórészen elhelyezett tekercselés forgómezőt hoz létre, addig a léptető motoroknál a fázisok idővezérelt ki-be kapcsolása diszkrét helyzeteket felvevő „léptetett” mezőt és forgórészpozíciókat okoz. Ennek előnye, hogy a lépések számolásával egy túréhatáron belüli információval rendelkezünk a forgórész helyzetéről. A léptetőmotorok ezzel a módszerrel lehetővé teszik a visszacsatolás nélküli pozicionálást.

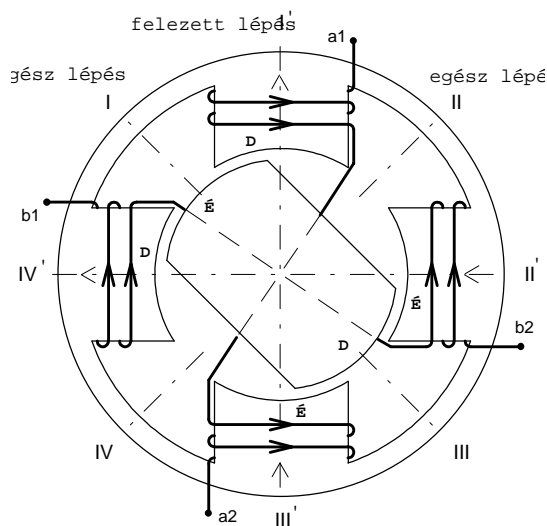
A léptetőmotorok állórésze mindig kiálló pólusú, ezeken a pólusokon helyezik el az egyenárammal gerjesztett „fázistekercseket”. A léptetőmotorok általában két-, öt-, és újabban háromfázisúak. A forgórész *aktív*, vagy *passzív* attól függően, hogy gerjesztjük-e vagy sem. Ha aktív, akkor a gerjesztést állandómágnes adja. A passzív forgórészű motorok mindig kiálló pólusúak (azaz eltérés van a  $d$  és  $q$  irányú reaktanciájuk között), amiért szokásos a *reluktancia-forgórészű léptetőmotor* elnevezés.

Egy kétfázisú motor lehetséges vezérlési módjaihoz tartozó kapcsolásokat és a vezérlés idődiagramját táblázatos formában a 4.49. ábrán mutatjuk be.



4.49. ábra Kétfázisú léptetőmotor a) bipoláris- és b) unipoláris vezérlése

*Bipoláris vezérlésnél* minden időpillanatban mindkét fázistekercs be van kapcsolva, a tranzisztoros kapcsolókból kialakított híd a tekercsek kapcsaira kapcsolt feszültség polaritását (és ezzel együtt a fázistekercsek áramirányát is) cserélgeti. *Unipoláris vezérlésnél* ezzel szemben a tekercset vagy ki-, vagy bekapcsoljuk, a polaritás változatlan. Bipoláris vezérlésnél több kapcsoló elem alkalmazása árán jobb a tekercsek kihasználtsága szemben az unipoláris vezérléssel, ahol egy adott időpillanatban a tekercselés fele inaktív. Az ebből adódó eredő gerjesztéscsökkenés természetesen kisebb fluxust és kisebb nyomatékot jelent.



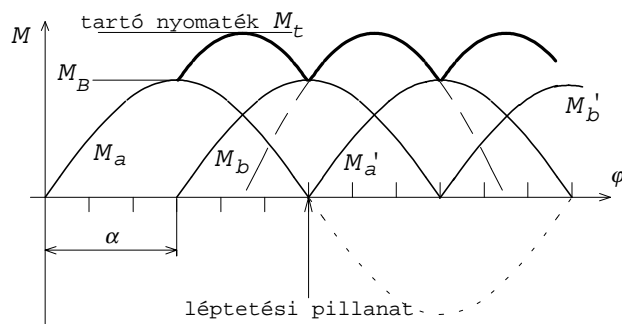
4.50. ábra Kétfázisú, bipolárisan vezérelt motor léptetési helyzetei

irányának megfelelően a forgórész a II-helyzetbe áll be és így tovább. A léptetéseket végigkövetve a forgórész sorra az  $I \Rightarrow II \Rightarrow III \Rightarrow IV \Rightarrow I \dots$  helyzeteket veszi fel, vagyis  $90^\circ$ -ként lépked. A valóságos léptetőmotorokban a lépésszöget a forgórész

A 4.50. ábrán vázlatos keresztmetszetével ábrázolt kétfázisú (a fázistekercsek *a*-val és *b*-vel jelöltek) léptetőmotort bipolárisan vezéreljük. A forgórész aktív, fogainak (mágneses pólusainak) számát  $Z_r$ -vel jelölve:  $Z_r = 2$ . A 4.49a ábrán megadott 1 lépésnél a T1-T2 és T3-T4 tranzisztorok bekapcsolásával az állórészen a megadott mágneses pólusok alakulnak ki, melyek eredője az I-el jelölt irányba mutat, ezért a forgórész a megadott módon áll be. Az ezt követő léptetéskor (T3-T4 ki-, T7-T8 bekapcsolásával) a *b* fázisban az áramirány megcserélődik, és így az új eredő gerjesztés

fogsámának növelésével csökkentik. Bizonyítható ugyanis, hogy a léptetőmotor egész-lépésszögét az

$$\alpha = \frac{360^\circ}{Z_r \cdot m} \quad (4.66)$$



4.51. ábra Kétfázisú léptetőmotor statikus nyomatéki görbéi

összefüggésből számíthatjuk, melyben  $Z_r$  a forgórész fogainak száma,  $m$  pedig a fázisszám (ebben a konkrét esetben  $m = 2$  és  $Z_r = 2$ , vagyis  $\alpha = 90^\circ$ ).

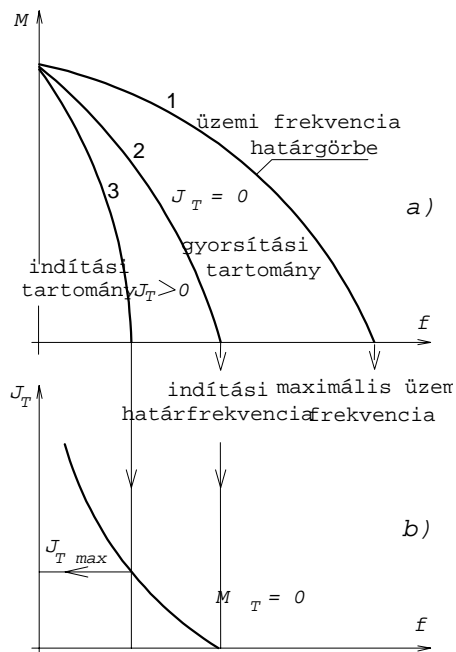
Léptetőmotoroknál szinkron jellegű nyomaték keletkezik, amely a terhelés függvényében  $M_B \cdot \sin \delta$  szerint változik. A 4.51. ábrán

kétfázisú gép esetén az elfordulási szög függvényében ábrázoltuk fázisok ún. *statikus* nyomatéki görbéit. Az eredő nyomatékot az éppen gerjesztett fázisok nyomatékának összege adja. Amikor az adott fázis nyomatéka előjelet vált, a tekercsben meg kell fordítani a gerjesztés irányát, ez a léptetés pillanata. Az ábrába vastagabb vonallal berajzoltuk az eredő nyomatéki görbét. Látható, hogy a nyomaték  $M_B$  és  $\sqrt{2} \cdot M_B$  között változik, legnagyobb értéke a *tartónyomaték*. Minél több fázist alkalmazunk, annál simább lesz az eredő nyomaték és nagyobb a tartónyomaték. A jelenleg igen gyakran alkalmazott ötfázisú léptetőmotoroknál a nyomaték  $3,08 \cdot M_B$  és  $3,24 \cdot M_B$  között ingadozik. Itt kell megjegyezni, hogy az aktív forgórészű léptetőmotoroknak az állórész kiálló pólusú kialakítása miatt gerjesztetlen állapotban is van (a gerjesztettnél jóval kisebb) *öntartó* nyomatéka, ami a reluktanciahatásból ered.

A léptetőmotor lépésszögét egészlépéses üzemben a 4.66 összefüggésből számíthatjuk. A felbontás növelésére gyakran alkalmazott módszer az ún. *lépésfelezés*. Mint már szó volt róla, egészlépéses bipoláris vezérlésnél a forgórész az I  $\Rightarrow$  II  $\Rightarrow$  III  $\Rightarrow$  IV helyzeteket veheti fel (4.50. ábra). I-ből II-be úgy jut, hogy a *b* fázisban megcseréljük az áramirányt. Ha ezzel szemben közbenső lépésként T3-T4 kikapcsolásával először csak megszüntetjük a *b* tekercs áramát, akkor a forgórész az egyedül gerjesztett *a* fázis mágneses tengelyébe, az I' irányba áll be, vagyis a lépésszög az eredeti (egész lépéses) érték fele:  $45^\circ$  lesz. (A lépésfelezéses és az egészlépéses üzem kombinálásával a forgórész által elfoglalható helyzetek rendre: I  $\Rightarrow$  I'  $\Rightarrow$  II  $\Rightarrow$  II'  $\Rightarrow$  III  $\Rightarrow$  III'  $\Rightarrow$  IV  $\Rightarrow$  IV'  $\Rightarrow$  I.)

Természetesen a gép nyomatéka is kisebb a fluxus (az eredő gerjesztés) csökkenése miatt. Ezt az elvet továbbfejlesztve jutunk az ún. *mikrosztep* eljárásához, amelynél a fázisok gerjesztésének egymáshoz képesti finom szabályozásával az eredő gerjesztés (és ezzel a forgórész) egy lépésen belüli tetszőleges helyzetét beállíthatjuk.

A léptetőmotorok dinamikus viselkedése szempontjából legfontosabb jelleggörbék a 4.52. ábrán a léptetési frekvencia függvényében rajzoltuk fel. A 4.52a



4.52. ábra Kétfázisú léptetőmotor  
a) dinamikus nyomatéki görbéi  
b) a terhelés megegedhető tehetetlenségi nyomatéka a léptetőfrekvencia függvényében.

ábrán a nyomaték jelleggörbékét mutatja. Az 1-el jelölt *üzemi frekvencia határgörbe* kívüli tartományban a motor nem képes lépéstévesztés nélkül üzemelni. A 2-vel, ill. a 3-mal jelölt nyomatéki görbék az 1 üzem frekvencia határgörbén belüli tartományt két részre bontják: az *indítási*-, ill. a *gyorsítási* tartományra. Az indítási tartományon belül a motor bárhol képes végrehajtani egy indítási, ill leállítási parancsot. A gyorsítási tartományban ezzel szemben a frekvencianövelést már csak korlátozásokkal végezhetjük, ha el akarjuk kerülni a lépéstévesztést. A 2-es görbe esetén a motor csak saját tehetetlenségi nyomatékát gyorsítja, az így elérhető legnagyobb frekvencia az *indítási határfrekvencia*. Ha a motor a terhelés tehetetlenségi nyomatékát is gyorsítja, az indítási tartomány szűkül (pl. a 3-as jelű görbével határolt terület). A gyárak  $M_r = 0$  terhelőnyomatékot feltételezve a léptetőfrekvencia függvényében megadják, hogy mekkora lehet az a maximális

tehetelenségi nyomaték, amellyel a motor saját tehetetlensége még megnövelhető (4.52b ábra).

Mint az a nyomatéki jelleggörbékéből látható, a motor nyomatéka a frekvencia függvényében csökken. Ez két okra vezethető vissza:

- A gerjesztőtekercs a menetszámból adódóan viszonylag nagy induktivitással, vagyis villamos időállandóval rendelkezik. A léptetési frekvencia növekedésekor viszont csökken az az idő, ami alatt a fázistekercs állandósult gerjesztőárama kialakulhat. Így elérünk egy akkora frekvenciához, amikor a nyomaték képzéséhez szükséges fluxus már nem tud kialakulni, a frekvencia további növekedésekor a nyomaték csökken. Ezt a hatást mérsékelhetjük az időállandó lecsökkentésével, (a tekercssel ellenállást kötünk sorba mint azt a 4.49. ábrán láthatjuk), áramgenerátoros táplálással, (a tekercs áramát ISZM modulációval szabályozzuk) és forszírozással, (egy kezdeti rövid időszakban jóval nagyobb feszültséget kapcsolunk a tekercsre).
- Az aktív forgórészű motorok pólusfluxusa indukált feszültséget hoz létre a gerjesztett állórész fázistekercsben, a két feszültség kivonódik egymásból, és a kialakuló állandósult áram értéke csökken. Mivel az indukált feszültség a fordulatszámmal nő, a nyomaték csökken. Ez a hatás a gerjesztetlen reluktancia-forgórészű motoroknál jóval kisebb, így azok nagyobb határfrekvenciáig



üzemeltethetők. Az aktív forgórészű motorok határfrekvenciája  $\leq 1$  kHz, míg a reluktancia forgórészűeké kb. 2,5 kHz.

Az aktív forgórészű motorokkal elérhető nyomaték nagyobb ( $\approx 15$  Nm), mint a reluktancia forgórészűeké ( $\approx 2$  Nm). Hátrány viszont, hogy a villamos gerjesztés jelentős lemágnesezést okoz, és a lépések alatt a mágnes munkapontja számottevően változik. Ezt küszöbölik ki az ún. *hibrid léptetőmotorok* melyeknél a fázistekercsek kereszt- (a tengelyre merőleges) irányú, a forgórész mágnesek pedig axiális irányú fluxust hoznak létre. Ezzel a megoldással egyesíthetők az aktív- ill. a reluktancia forgórészű motorok előnyei. A hibrid léptetőmotorok határfrekvenciája (1500...2500) Hz, nyomatéka nagy, lépésszöge kicsi. Hibrid léptetőmotorok lépésszögének nagyságrendje:  $3,75^\circ \dots 0,36^\circ$ .

A kisebb fázisszámú léptetőmotoroknál a lépésszög csökkentésére használják az ún. *multistack* eljárást, amelynek lényege, hogy több, teljesen azonos felépítésű (de nagyobb lépésszögű) motort rakunk tengely irányban egymás mögé az egységek számától függő szöggel (technológiailag) elfordítva. Szokásos lépésszögek:  $22,5^\circ$ ;  $18^\circ$ ;  $15^\circ$ ;  $9^\circ$ ;  $6^\circ$ .

A léptetőmotorok alkalmazása (különösen a számítástechnikában) széleskörű. A teljesség igénye nélkül néhány fontosabb terület: adatrögzítők fejmozgató motorjai, X-Y írók; nyomtatók; regisztráló készülékek; robotok; CNC megmunkáló gépek stb.

## 4.7. SZINKRON GÉP SZÁMPÉLDÁK

**4.7.1. Számpélda.** Egy szinkron gép adattábla adatai: névleges teljesítmény:  $S_n = 7$  kVA ; névleges feszültség:  $U = 3 \times 400$  V ; névleges áram:  $I_n = 10$  A . Az armatúra Y kapcsolású, a frekvencia 50 Hz, a fordulatszám  $n = 1500$  1/min. A gép gerjesztőárama  $\cos\phi = 1$  teljesítménytényezőnél  $I_g = 1,3$  A.

*Feladatok:*

- a) Vizsgáljuk meg, hogyan változik a szinkrongép szinkronreaktanciája a telítettség függvényében!

Az üresjárási mérés adatai:

$I_g$ [A]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	1,5
$U_{of}$ [V]	90	165	200	220	231	260	290	340

A rövidzárási mérés adatai:

$I_g$ [A]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7
$I_{az}$ [A]	2,0	4,0	6,0	8,0	10	14

- b) Az üresjárási és rövidzárási mérésnél meghatározták a névleges pontokhoz tartozó teljesítményfelvételeket:  $P_{on} = 450 \text{ W}$  és  $P_{zn} = 650 \text{ W}$ . Az ellenállásmérés adatai  $20^\circ\text{C}$  hőmérsékletű gépen:  $R_a = 1,3 \text{ } [\Omega]$  és  $R_g = 70 \text{ } [\Omega]$ . Számítsuk ki a közölt adatok alapján a  $75^\circ\text{C}$ -ra vonatkoztatott gép névleges hatásfokát generátoros üzemiállapotban,  $\cos\phi = 1$ -nél, ha tudjuk hogy a járulékos tekercsveszteség 16%-a az armatúra rézveszteségének! Határozzuk meg a motor  $I_{an}$  névleges armatúraáramát!
- c) Válasszuk szét, és határozzuk meg az egyes veszteségeket névleges terhelésnél!
- d) Hányszorosára emelkedik a generátor kapocsfeszültsége, ha a névleges terhelést hirtelen lekapcsoljuk az armatúrától?

### Megoldás

a) A mérési adatok olyan részletesek, hogy a feladat megoldásához nem szükséges felrajzolni a jelleggörbét, az egyszerűsített helyettesítő vázlatban szereplő hosszirányú szinkronreaktancia az  $X_d = \frac{U_{of}}{I_{az}}$  összefüggésből közvetlenül számítható.

A rövidzárási és a gerjesztőáram közti kapcsolat lineáris, a hiányzó rövidzárási áramok egyszerű arányossággal számíthatók:

$$I_g = 1,0 \text{ A} \rightarrow I_{az} = 20 \text{ A}; \text{ és } I_g = 1,5 \text{ A} \rightarrow I_{az} = 30 \text{ A}.$$

A reaktanciák a fázisfeszültség függvényében:

$U_{of} \text{ [V]}$	90	165	200	220	231	260	290	340
$X_d \text{ } [\Omega]$	45	41,2	33,3	27,5	23,1	18,6	14,5	11,3

Névleges telítettségi állapotban, vagyis  $U_{nf} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{400}{\sqrt{3}} = 231 \text{ V}$  kapocsfeszültségnél:  $X_{d\text{telített}} = 23,1 \text{ } [\Omega]$ .

b.) Először számítsuk át a  $20^\circ\text{C}$ -os tekercsellenállásokat  $75^\circ\text{C}$ -ra! Az általunk használt hőmérséklet tartományban a réz úgy viselkedik, mintha  $-235^\circ\text{C}$ -on ellenállása nullára csökkenne, ezért az  $\frac{R_{75}}{235 + 75} = \frac{R_{20}}{235 + 20}$  arányosságot felhasználva:

$$R_{a75} = 1,3 \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 1,58 \text{ } \Omega, \text{ és } R_{g75} = 70 \cdot \frac{235 + 75}{235 + 20} = 85,1 \text{ } \Omega.$$

Üresjárásban a szinkrongép által felvett teljesítmény:  $P_{on} = P_{vas} + P_{surl} = 450 \text{ W}$ .

A rövidzárási felvett teljesítmény:  $P_{zn} = P_{aréz} + P_{jár} + P_{surl} = 650 \text{ W}$ .

A gerjesztőkör vesztesége:  $P_{gerj} = I_g^2 \cdot R_g = 1,3^2 \cdot 85,1 = 144 \text{ W}$ .