

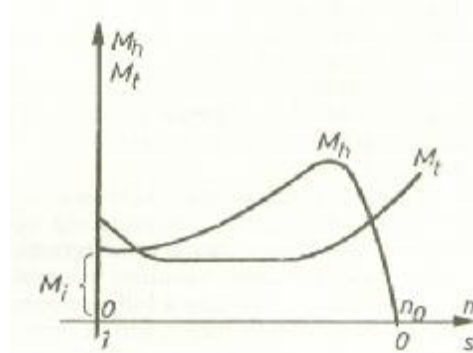
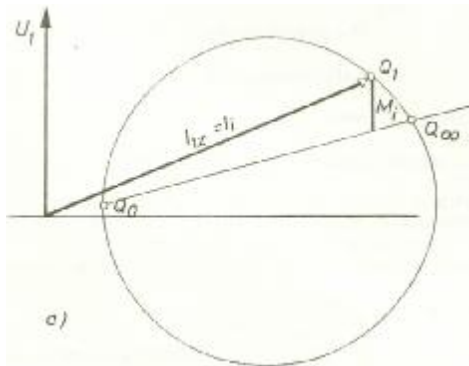
1. tétel

Ismertesse a nagy aszinkron motorok közvetlen indításának következményeit! Elemezze a közvetett indítási módokat!

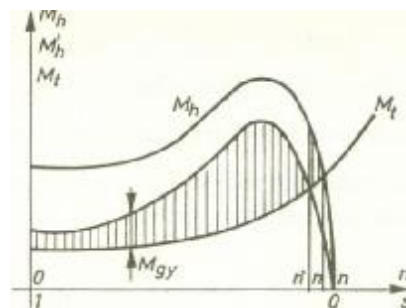
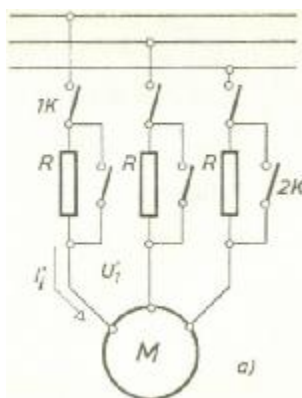
Kalickás motorok indítása

Közvetlen indítás. Az álló motor közvetlen hálózatra kapcsolása a legegyszerűbb és legüzembiztosabb indítási mód. A hálózatra kapcsolás pillanatában a még álló motor az állórész rövidzársi áramával megegyező  $I_i$  indítási áramot vesz fel a hálózatról és az  $M_i$  indító nyomatékot fejti ki. A kördiagramra tekintve megállapíthatjuk, hogy az indítási áram nagy (a névleges áram 3. . 9-szerese), viszont az indító nyomaték aránylag kicsi.

A kalickás motorokat úgy méretezik, hogy a közvetlen indítás áramát károsodás nélkül kibírják. A nagy indítási áram inkább a hálózatra és a hálózatra kapcsolt más gépekre, készülékekre lehet veszélyes, mert túlmelegedést és feszültségcsökkenést idéz elő. Túlmelegedés inkább csak gyakori indítás esetén lép fel, tönkre teheti a vezetékek szigetelését és zárlatot okozhat. A feszültségcsökkenés a hálózatot tápláló transzformátornak és a hálózat vezetékeinek ellenállásain bekövetkező feszültségesés miatt keletkezik, zavart okozhat a hálózatra kapcsolt más gépek és készülékek üzemében.



Kalickás motor közvetlen indítása: a) indítási áram és indító nyomaték, b) ilyen jelleggörbék esetén a motor nem indul el



Kalickás motor ellenállásos indításának a) kapcsolási vázlata és b) a gyorsító nyomaték ( $M_{gy}$ ) változása a fordulatszám növekedésével

A hálózat teljesítményétől függ, hogy milyen teljesítményű motor indítható róla közvetlenül. Kis teljesítményű fogyasztói hálózatról csak néhány kW-os, nagy teljesítményű hálózatról, például erőművekben, több MW-os motorok is közvetlenül indíthatók.

Az aránylag kis indító nyomatéknak az lehet a következménye, hogy a motor esetleg nem tud elindulni, ha álló állapotban nagy a terhelő nyomaték.

A következőkben olyan indítási módokat ismerünk meg, amelyekkel a kalickás motorok indítási árama csökkenthető. Sajnos ezeknél az indításoknál az amúgy is kis indító nyomaték még jobban csökken. Csak tekercselt forgórészű és különleges kalickás motoroknál lehet elérni, hogy miközben csökkentjük az indítási áramot, az indító nyomaték növekedjék.

Indítás az állórész-tekercselés körébe iktatott /háromfázisú rezisztenciával vagy reaktanciával (indító fojtótekercsel). Ha a motort rezisztenciákon keresztül kapcsoljuk a hálózatra (1K kapcsoló bekapcsolva), akkor az indítási áram kisebb ( $I_i'$ ), mint közvetlen indításkor. Az indítási áram a motor tekercseivel sorba kapcsolt rezisztenciákon feszültségesést hoz létre, a motorra tehát kisebb feszültség jut ( $U_1'$ ). Közvetlen indításnál az  $U_1$  hálózati feszültség létesíti a motor  $I_i$  áramát, rezisztenciás indításnál a motorra jutó  $U_1'$  feszültség hozza létre az  $I_i'$  áramot. Ez azt jelenti, hogy amilyen arányban csökken a soros ellenállások miatt a motorra jutó feszültség, ugyanolyan arányban csökken az indítási áram is, tehát ha

$$U_1/U_1' = b, \text{ akkor } I_i/I_i' = b \quad \text{és} \quad U_1' = U_1/b, \quad I_i' = I_i/b$$

A kördiagram átmérője a motorra jutó feszültséggel arányos. Rezisztenciás indításnál a motorra jutó feszültség  $U_1/b$ , tehát b-ed részére csökken a kördiagram átmérője is, azaz minden metszék a kördiagramban  $1/b$ -szeres lesz. A közvetlen indításnál fellépő indító nyomaték  $M_i = 3U_1y_1/\omega_{g0}$ . Rezisztenciás indítás esetén az

$$M_i' = \frac{3 \frac{U_1 y_i}{b} \frac{y_i}{b}}{\omega_{g0}}$$

képlettel határozhatjuk meg az indító nyomatékokot. Ezt az előző összefüggéssel összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy

$$M_i' = \frac{M_i}{b^2}$$

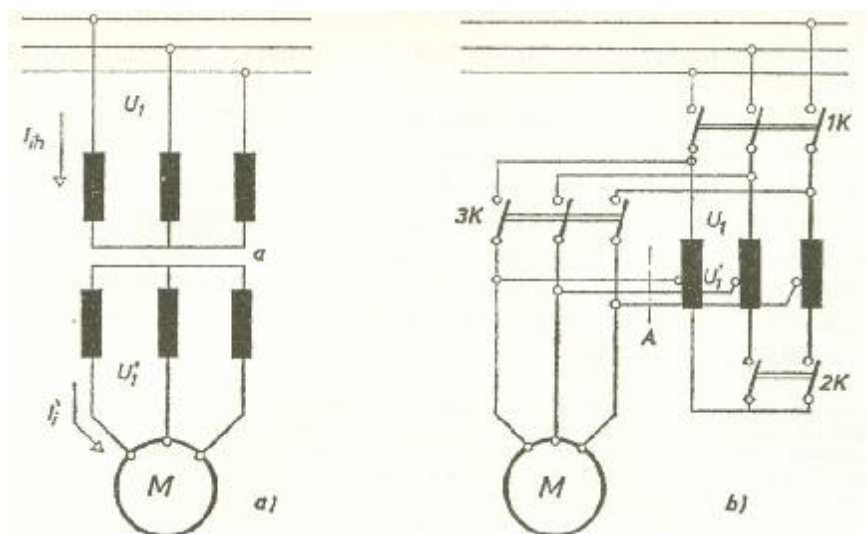
tehát rezisztenciás indításnál az indító nyomaték négyzetesen csökken s ezért ez az indítási mód csak ott alkalmazható, ahol az indítás kis terheléssel történik.

Csak az indító nyomaték csökken négyzetesen. A felgyorsulás folyamán csökken az áramfelvétel, csökken a feszültségesés, nő a motorra jutó feszültség, s ezért a növekvő fordulatszámokhoz tartozó nyomatékok egyre kisebb arányban csökkennek. Az  $M_h$ -val jelöltük a motor hajtónyomatékának jelleggörbéjét, ha a motor közvetlenül a hálózatra van kapcsolva. Ellenállás beiktatása esetén az  $M_h$  jelű jelleggörbe érvényes. A terhelő nyomaték változását az  $M_t$  jelű görbe mutatja. Rezisztenciás indításnál a motor kezdetben az  $M_h$ - $M_t$  nyomatékkülönbség gyorsítja. Ez a gyorsító nyomaték, az ábrán  $M_{gy}$ -vel jelöltük. A motor addig a fordulatszámig gyorsul, amelynél  $M_h - M_t = M_{gy} = 0$ . Ezt a fordulatszámot  $n'$ -vel jelöltük. Amikor a motor már tovább nem gyorsul, azaz elérte az  $n'$  fordulatszámot, akkor közvetlenül a hálózatra kell kapcsolni. Ez az R rezisztenciák rövidzárásával történhet (az ábrán a 2K kapcsoló bekapcsolásával). Ettől kezdve a motort az  $M_h - M_t$  nyomaték gyorsítja a fordulatszámig. Itt  $M_h - M_t = M_{gy} = 0$ . E fordulatszám elérésekor fejeződik be a motor indítása.

A rezisztenciákon létrejövő energiaveszteség miatt a rezisztenciás indítást csak kisebb motoroknál alkalmazzák. Nagyobb teljesítményű motoroknál vasmagos fojtótekercset alkalmaznak. A fojtók beruházási költsége nagyobb, de rajtuk alig jön létre veszteség. Az indítás lefolyása egyébként a rezisztenciás indítással teljesen megegyezik.

Transzformátoros indítás. A motorra jutó feszültség nem csak a motorral sorba kapcsolt rezisztenciákkal vagy reaktanciákkal csökkenthető, hanem transzformátorral is.  $U_1$  hálózati feszültség és a transzformátoráttétel esetén a motorra jutó feszültség:

$$U_1' = \frac{U_1}{a}$$



Kalickás motor transzformátoros indításának a) elve és b) kapcsolási vázlata

Ha közvetlen indításnál az  $U_1$  feszültség a motoron  $I_i$  indító áramot létesít, akkor az  $U_1'$  feszültségnél fellépő indító áram

$$I_i' = \frac{I_i}{a}$$

Tehát transzformátoros indításnál a motor indítóárama a közvetlen indításnál fellépő áram  $1/a$ -szorososa.

A transzformátorok primer árama mindig közelítőleg a szekunder áram  $1/a$ -szorososa. Tehát a primer oldalon fellépő indítási áram, azaz indításkor a hálózatot terhelő áram:

$$I_{ih} = \frac{1}{a} I_i' = \frac{1}{a} \frac{I_i}{a} = \frac{I_i}{a^2}$$

Tehát transzformátoros indításnál a hálózatot terhelő indító áram a közvetlen indításnál fellépő áram  $1/a^2$ -szerese. A motorra jutó feszültség kiszámításánál a transzformátor a áttételének ugyanaz a szerepe, mint a rezisztenciás indításnál a  $b$  arányossági tényezőnek. Ez azt jelenti, hogy a transzformátoros indításnál fellépő indító nyomaték

$$M_i' = \frac{M_i}{a^2}$$

tehát az indító nyomaték transzformátoros indításnál is négyzetesen csökken. Ezt természetesen a tervezésnél figyelembe kell venni, nehogy a motor ne tudjon elindulni.

Az indítás folyamata transzformátoros indításnál is az ábrához hasonlóan játszódik le, azzal a különbséggel, hogy a nyomatékcsökkenés aránya állandó minden fordulatszámra. Ha a transzformátoron keresztül indított motor eléri az  $n'$  állandósult fordulatszámot, akkor a motort a névleges feszültségre kapcsoljuk.

Gazdaságosabb takarékkapcsolású transzformátor alkalmazása.. A motort az 1K és a 2K kapcsolók bekapcsolásával indítjuk. Ha a fordulatszám állandósul, akkor a 2K kapcsolót nyitjuk és a 3K kapcsolót zárjuk. Ezzel a motort közvetlenül a hálózatra kapcsoltuk.

Érdekes a 2K kapcsoló szerepe. Belátható, hogy a 3K kapcsoló minden további nélkül nem kapcsolható be, mert ezzel nemcsak a motorra juttatjuk a hálózati feszültséget, hanem a transzformátor kisméretű kapcsaira is. Ettől a transzformátor tönkremenne. Ennek

elkerülése érdekében a 3K bekapcsolása előtt a motort az A helyen le kellene a transzformátorról kapcsolni. Ez hátrányos lenne, mert így az átkapcsolás idejére a motor feszültség nélkül maradna. Ezért nem az A helyen kapcsolunk le, hanem a 3K bekapcsolása előtt nyitjuk a 2K-t. Így a motor nem marad feszültség nélkül, hanem rövid időre sorba kapcsolódnak tekercseivel - mint fojtótekercsek - a transzformátor tekercselésének felső részei. Ha már a 2K kapcsoló nyitva van, azaz felbontottuk a transzformátor csillagpontját, akkor nem okoz bajt, ha a kisfeszültségű kapcsokra a hálózati feszültség kerül.

A transzformátoros indítás előnye a reaktanciás indítással szemben, hogy itt a hálózati indítási áram négyzetesen csökken. Hátránya a transzformátor és a kapcsolókészülékek nagy beruházási költsége, ezért ezt az indítási módot csak nagy motoroknál alkalmazzuk, ahol a motor árához viszonyítva a transzformátor és a kapcsolókészülékek ára már nem olyan jelentős.

### Mélyhornyú és kétkalickás motorok

A kalickás motorok közvetlen indításánál nagy az indítási áram és aránylag kicsi az indító nyomaték. Rezisztenciás, fojtótekercses, transzformátoros és csillag-háromszög indítással az indítási áram csökkenthető, de ezzel csökken az amúgy is kis indító nyomaték. Különleges kalickás forgórészekkel el lehet érni, hogy közvetlen indításnál változatlan indító nyomaték mellett kisebb indító áram lépjen fel, sőt az indító nyomaték még növelhető is.

Mélyhornyú motorok. Ennél a különleges kalickás motornál a kalicka rúdjaik sugárirányú (magassági) mérete a rúd szélességénél sokkal nagyobb, ezért a rudak elhelyezésére szolgáló hornyok mélyek, mélyen benyúlnak a gép tengelye felé. A rudak ilyen alakja elősegíti, hogy a forgórész szórt fluxusának egy része az ábrán látható módon záródjék. Az indukcióvonalak a nagy permeabilitású, tehát a fluxust jól vezető vasban összesűrűsödnek, míg a kis permeabilitású réz vagy alumínium vezetőben közel egyenletesen oszlanak el. Ez azt eredményezi, hogy a hornyban elhelyezkedő vezető mélyebben fekvő, azaz a légréstől távolabb lévő részeit több indukcióvonal veszi körül, mint a légrészhez közelebbi részeket. Ezek az indukcióvonalak  $f_2$  frekvenciával váltakoznak, a rudakban feszültséget indukálnak, tehát ezek létesítik a forgórész szórási reaktanciáját. Mivel a rúd légréstől távolabb lévő részeit több indukcióvonal veszi körül, ezért ezeknek a részeknek nagyobb a szórási reaktanciájuk. Úgy fogható fel, mintha a rúd szálakból állna (szaggatott vonal) s a szálak reaktanciája csökkenne a légrés felé haladva. A forgórész árama ott igyekszik folyni, ahol a reaktancia kisebb, tehát kiszorul a rúdhoz a légrészhez közelebb lévő részére. Ez az áramkiszorítás jelensége vagy skin hatás. A rudakban tehát az áramsűrűség nem egyenletes, a légrészhez közelebb lévő részekben nagy, a tengely felé haladva csökken. A helyzet olyan, mintha az áram nem folyna a rúd teljes keresztmetszetén, csak annak egy részén. A hasznos keresztmetszet csökkenése miatt a rúd rezisztenciája megnövekszik. A reaktancia a frekvenciával egyenesen arányos. Ezért nagy frekvencián az áram jobban kiszorul a légrészhez közelebb lévő részekbe, tehát ez a jelenség nagy frekvencián jobban megnöveli a rúd rezisztenciáját. A frekvencia csökkenésével a rúd rezisztenciája csökken.

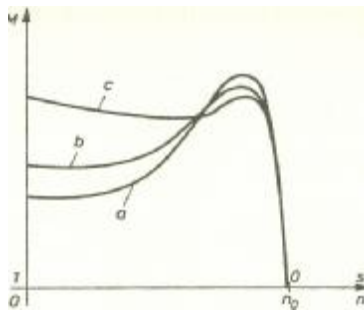
A motor indításakor  $f_2 = f_1$ , ezért a forgórész rezisztenciája nagy. Olyan a helyzet, mint a csúszógyűrűs motor indításánál, amikor rezisztenciát kapcsolunk a csúszógyűrűk közé. A motor tehát kis indítási árammal indul. Ahogy növekszik a fordulatszám és csökken a  $f_2$  frekvencia, úgy csökken a forgórész rezisztenciája. A helyzet most is a csúszógyűrűs motorhoz hasonló, hiszen indításkor annak forgórész áram köréből is rezisztenciát iktatunk ki. A névleges fordulatszámon  $f_2 = 2 \dots 3$  Hz. Az áramkiszorítás itt már alig jelentkezik, a forgórész rezisztenciája a közönséges kalickás motoréval egyezik meg. A mélyhornyú motor indítása tehát a csúszógyűrűs motoréhoz hasonlóan játszódik le, de a mélyhornyú motornál a rezisztencia kiiktatása automatikusan, külső beavatkozás nélkül következik be.



Kalickarudak kétkalickás forgórészben



Kalitkarúd mélyhornyú forgórészben



a) közönséges egykalickás, b) mélyhornyú, és c) kétkalickás motorok nyomaték-fordulatszám jelleggörbéi

A mélyhornyú forgórészrel készült motornak az indítási árama kisebb és indító nyomatéka nagyobb, mint az azonos teljesítményű közönséges kalickás motoré.

**Kétkalickás motorok** A forgórészén két kalicka van. A belső kalicka rúdjai nagyobb, a külső rúdjai kisebb keresztmetszetűek, így a belső kalicka kisebb, a külső nagyobb rezisztenciájú. A rezisztenciák közti különbséget azzal is fokozzák, hogy a belső kalickát kisebb, a külsőt nagyobb fajlagos ellenállású anyagból készítik. A mélyhornyú forgórész indukcióvonal képéhez hasonlóan a belső kalickát több indukcióvonal veszi körül, mint a külsőt, tehát a belső szórási reaktanciája nagyobb, az áram kiszorul a külső kalickába. Ez a jelenség elsősorban  $f_1$ -gyel azonos forgórész frekvencián, tehát indításkor jelentkezik. Ilyenkor az áram szinte kizárólag a nagy rezisztenciájú külső kalickában folyik, ezért kicsi az indítási áram és nagy az indító nyomaték. A fordulatszám növekedésével, azaz a frekvencia csökkenésével az áram fokozatosan a kis rezisztenciájú belső kalickába húzódik, melynek rezisztenciája az azonos teljesítményű közönséges kalickás motor forgórész rezisztenciájával egyezik meg.

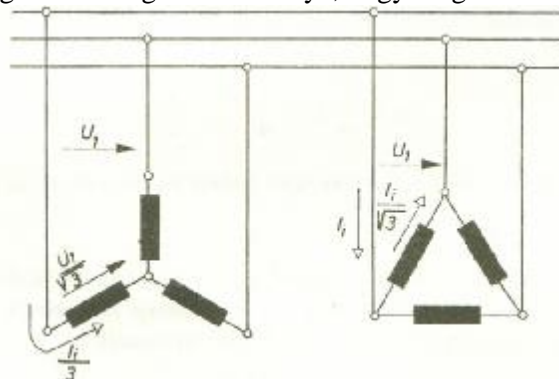
A kétkalickás motor indítási árama kisebb, indító nyomatéka nagyobb nemcsak a közönséges egykalickás, hanem a mélyhornyú motorhoz képest is. Közönséges egykalickás, mélyhornyú és kétkalickás motor nyomaték-fordulatszám jelleggörbéi láthatók az ábrán.

A közép- és nagyteljesítményű motorok (kb. 100 kW felett) a kisebb indítási áram és a nagyobb indító nyomaték miatt kizárólag mélyhornyú vagy kétkalickás kivitelben készülnek, de sokszor alkalmazzák ezeket a megoldásokat kisebb teljesítményeknél is.

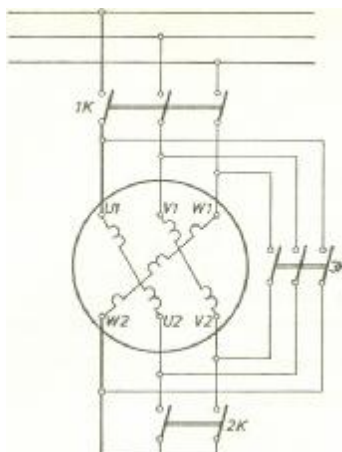
26. tétel

Milyen műszaki megoldásokat ismer az aszinkron motorok automatikus csillag-delta indítására

Csillag-delta (háromszög) indítás. Olyan kalickás motoroknál alkalmazható, amelyek névleges feszültsége háromszög kapcsolásban egyezik meg a hálózati feszültséggel. Az indítási áram csökkenése itt is azért következik be, mert csökkentjük a motor tekercseire jutó feszültséget. A csillag-háromszög indítás előnye, hogy megfelelő vagy kapcsolókon kívül



Kalickás motor csillag-háromszög indításának elve



A csillag-háromszög indítás kapcsolási vázлата

más berendezést nem igényel, ezért ez a kis és a közepes teljesítményű kalickás motorok leggyakoribb indítási módja.

A motort csillag kapcsolásban kapcsoljuk a hálózatra, majd ha a fordulatszáma állandósult, átkapcsoljuk háromszögbe. Ha a motort közvetlenül háromszögbe kapcsolnánk a hálózatra, akkor az  $I_i$  indítási árammal indulna. Ez a háromszög kapcsolat vonali árama. Az  $U_1$  hálózati vonali feszültség a tekercsben folyó fázisáramot létesíti, mely közvetlenül háromszögbe való indításnál  $I_i / \sqrt{3}$  volna. Mivel a motort nem háromszögbe, hanem csillagba indítjuk, ezért a fázistekercsre nem  $U_1$ , hanem csak  $U_1 / \sqrt{3}$  feszültség jut. Ha az  $U_1$  feszültség  $I_i / \sqrt{3}$  áramot létesít, akkor az  $U_1 / \sqrt{3}$  feszültség csak

$$\frac{I_i}{\sqrt{3}} = \frac{I_i}{3}$$

## Villamos gépek tantárgy tételei

áramot. Csillag kapcsolásnál a fázistekercs árama megegyezik a hálózatot terhelő árammal. Tehát csillag/háromszög indításkor a motor fázistekercsének indító árama  $1/\sqrt{3}$  -szorosra, a hálózati indító áram  $1/3$  -szorosra csökken.

Az indító nyomaték meghatározásánál vegyük figyelembe, hogy csillag kapcsolásban való indításkor a motor fázistekercsére  $U_1/\sqrt{3}$  feszültség jut és ez azt jelenti, hogy kördiagram minden metszéke is  $1/\sqrt{3}$  -szorosra csökken, tehát

$$M_1' = \frac{3 \frac{U_1}{\sqrt{3}} \frac{y_i}{\sqrt{3}}}{\omega_{g0}} = \frac{M_i}{3}$$

Csillag-háromszög indításkor az indítónyomaték  $1/3$  -szorosra csökken.

Három kapcsolóval a csillag-háromszög indítás az ábra szerint valósítható meg. Csillagba a motort az IK és 2K kapcsolók bekapcsolásával indítjuk. A háromszögbe való átkapcsolás a 2K nyitásával és a 3K kapcsoló zárásával történik. Készülnek különleges, de csak csillag-háromszög indításra alkalmas kapcsolók is.

Az indítás folyamán a nyomatékok az ábrának megfelelően változnak azzal a különbséggel, hogy  $M_h'$  minden fordulatszámánál  $M_h$  -nak az  $1/3$  -szorosa. Az átkapcsolást az  $n'$  fordulatszámánál kell elvégezni.

23. tétel

Milyen előnyökkel jár, ha csúszógyűrűs aszinkron motort a forgórész körbe iktatott ellenállások segítségével indítjuk? Az M-n jelleggörbe segítségével grafikusan mutassa be, hogy az egyes ellenállás-fokozatokat hogyan célszerű megválasztani!

Az  $s$  szlippel járó aszinkron motor helyettesítő kapcsolását ismerjük. Tudjuk, hogy az

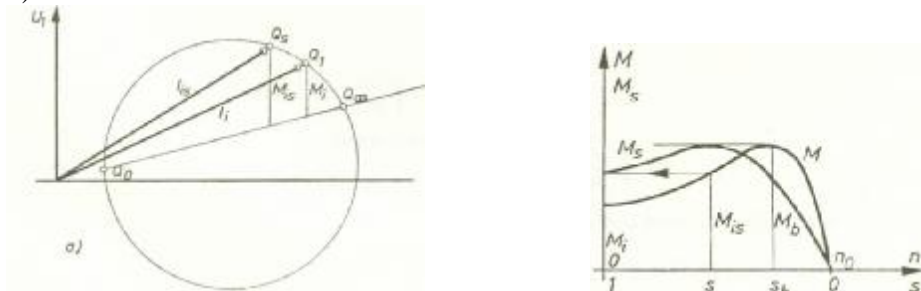
$$R'_k = R_2 \frac{1-s}{s}$$

rezisztencia a valóságban nincs a forgórész áramkörében, hanem a motor  $s$

szlip esetén úgy viselkedik - azaz akkora áramot vesz fel és olyan nagyságú nyomatékot fejt ki - mint az álló motor bekötött  $R'_k$  rezisztenciával. Ez azt jelenti, hogy az  $s$  szlipnek megfelelő áramfelvételt és nyomatékot álló állapotban is létre lehet hozni, ha az  $R_k = R'_k / a^2$  rezisztenciát valóban beiktatjuk a forgórész áramkörébe. Erre azonban csak csúszógyűrűs motoroknál van lehetőség, ahol a rezisztenciák a csúszógyűrűk közé köthetők be.

Egy csúszógyűrűs motor kördiagramja és nyomaték görbéje látható az **a** és **b** ábrákon. Ha ezt a motort rövidrezárt csúszógyűrűkkel közvetlenül indítjuk, akkor  $I_i$  árammal és  $M_i$  nyomatékkal indul.

b)



A csúszógyűrűk közé kötött ellenállások hatása: változás a) a kördiagramban, b) a nyomaték-fordulatszám jelleggörbén

Miközben a motor fordulatszáma növekszik, áramvektorának végpontja a kördiagramon a  $Q_1$  pontból kiindulva bal felé halad, nyomatéka az  $M$  jelű görbe szerint változik. Ez a motor természetes jelleggörbéje. Ha a motort az  $s$  szlippnél fellépő  $M_{is}$  nyomatékkal akarjuk indítani, akkor csúszógyűrűi közé fázisonként  $R_k = R_2 \frac{1-s}{s}$  rezisztenciát kell bekapcsolni. Az ábrából látható, hogy bár a motor indító nyomatéka így nagyobb, az indítási áram mégis kisebb.

Az  $R_k$  rezisztenciát növelve az indító nyomaték tovább növelhető. A legnagyobb indító nyomatékot akkor kapjuk, ha  $R_k = R_2 \frac{1-s_b}{s_b}$  rezisztenciát iktatunk be fázisonként. Ilyenkor a motor éppen az  $M_b$  billenő nyomatékkal indul.  $R_k$ -t tovább növelve az indító nyomaték már csökken.

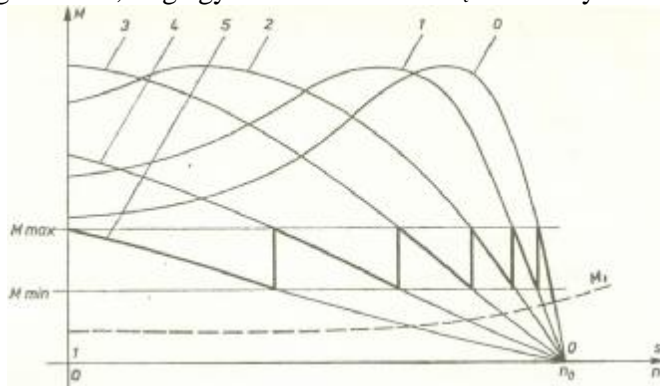
A kördiagramból látható, hogy az  $R_k$  rezisztencia növelésével az indítási áram mindig csökken.

Tehát a csúszógyűrűs motorok csúszógyűrűi közé iktatott rezisztenciával a motor indító nyomatéka a billenőnyomatékig növelhető, miközben az indítási áram csökken. Az  $R_k$  rezisztencia beiktatásával nemcsak az indító nyomaték, hanem a teljes nyomaték-fordulatszám jelleggörbe megváltozik. Miközben a motor fordulatszáma növekszik az áramvektor végpontja már nem a  $Q_1$  pontból, hanem a  $Q_s$  pontból indul és halad bal felé. Most a  $Q_s$  pont tartozik  $s = 1$  szliphez. A nyomatéki metszések ugyanazok, mint közvetlen



indításkor, csak hiányzanak az 1 és s szlipek közötti nyomaték értékek viszont az s és 0 szlipek közötti nyomatékok most a teljes motoros tartományra széthúzódnak. Ezt láthatjuk az ábra  $M_s$  jelű nyomatéki jelleggörbéjén is. A motor természetes jelleggörbéjének az s és 0 szlipek közé eső szakasza széthúzódik a teljes motoros tartományra. A billenő nyomaték nagysága nem változik meg, csak nagyobb szlipnél lép fel. Az  $R_k$  ellenállás növelésével a jelleggörbe egyre jobban elklúzódik bal felé és a billenő nyomaték egyre nagyobb szlipeknél lép fel- Ha az  $R_k$  ellenállás oly nagy, hogy az indító nyomaték már csökken, akkor ez azt jelenti, hogy a billenő nyomaték már a jelleggörbe fékmotoros tartományába kerül.

A csúszógyűrűs motorok indítása általában több fokozatú rezisztenciával történik. Az ábrán öt fokozatú indító rezisztenciát rajzoltunk meg. Az egyes fokozatokhoz tartozó nyomaték-fordulatszám jelleggörbék láthatók az ábrán. 0-val jelöltük a motor természetes jelleggörbéjét (akkor érvényes, ha a csúszógyűrűk rövidre vannak zárva). Az 1 jelű jelleggörbe akkor érvényes, ha a forgórész áramkörébe a rezisztencia első fokozata van beiktatva (az a csillagpontot kialakító csúszó-érintkezők az 1 jelű álló érintkezőkön vannak). Ugyanígy a 2, 3, 4 és 5 jelű jelleggörbék akkor érvényesek, ha a rezisztencia második, harmadik stb. fokozatai vannak beiktatva. A motor indítását úgy végezzük, hogy a nyomatéka közben  $M_{max}$ -nál ne legyen nagyobb és  $M_{min}$  -nál ne legyen kisebb. Mielőtt a motort a hálózatra kapcsolnánk az indító rezisztencia mozgó érintkezőjét a legnagyobb fokozatra (esetünkben az 5.-re) állítjuk. A motor az 5 jelű jelleggörbén  $M_{max}$  nyomatékkal indul. Miközben fordulatszáma növekszik, nyomatéka csökken. Ha eléri az  $M_{min}$ -ot, akkor egy fokozatot kiiktatunk és ezzel áttérünk a 4 jelű jelleggörbére. A nyomaték  $M_{max}$ -ra ugrik fel és most már ezen a jelleggörbén csökken  $M_{min}$ -ig. Ekkor újabb fokozatot iktatunk ki. Így folytatjuk az utolsó fokozat kiiktatásáig. Ekkor a természetes jelleggörbére kerül a motor nyomatéka és addig csökken, míg egyenlő nem lesz az  $M_t$  terhelő nyomatékkal.

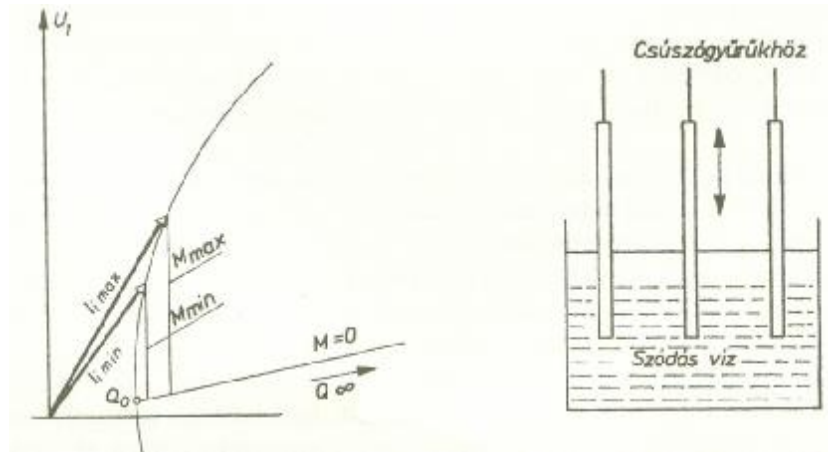


Csúszógyűrűs motor többfokozatú indításának jelleggörbéi

Az ábrán megrajzoltuk a motor kördiagramjának egy részét. Ebből látható, hogy a maximális és minimális nyomatékhoz meghatározott nagyságú áramok tartoznak. Indítás közben a motor áramfelvétele  $I_{imax}$  és  $I_{imin}$  között változik.

Az indító rezisztencia készülhet fémből. Gazdaságilag fontos, hogy mennél kevesebb anyagból készüljön, tehát mennél rövidebb legyen. Így a megfelelő rezisztenciát csak kis keresztmetszettel lehet elérni. Kis keresztmetszetű huzalnak kicsi a hűtőfelülete is és ezért az indító rezisztencia hamar túlmelegszik, tehát csak az indításhoz feltétlenül szükséges ideig szabad bekapcsolva tartani. Gyakran alkalmazunk olajhűtésű rezisztenciát.

Világosan látszik, hogy a fokozatok számának növelésével az  $M_{max}$  és  $M_{min}$  közti különbség csökkenthető, azaz az indítás egyenletesebbé tehető. Fokozatmentes, teljesen állandó nyomatékú indítás valósítható meg folyadékrezisztenciával. A csúszógyűrűvel összekötött



A többfokozatú indítás legnagyobb és legkisebb áramra

Folyadékindító

lemezeket szódás vízbe merítjük. Minél mélyebbre merülnek a lemezek a vízbe, annál kisebb a lemezek közötti rezisztencia. A vízbemerítés sebességét összhangban kell tartani a motor gyorsulásával. Végül a lemezeket rövidre kell zárni.

A csúszógyűrűs gépek gyakran el vannak látva rövidrezáró és kefelemelő szerkezettel, mellyel az indítás befejezése után a csúszógyűrűk közvetlenül rövidrezárhatók és a kefék a csúszógyűrűkről leemelhetők, hogy a forgórész tekercseinek rezisztenciáin kívül valóban ne legyen más rezisztencia a forgórész áramkörben és hogy a kefék üzem közben súrlódási veszteséget ne okozzanak. Ha van ilyen szerkezet, akkor indítás után a rezisztencia alaphelyzetbe állítható. A következő indításnál vigyázni kell, nehogy a motor rövidrezárt csúszógyűrűvel indítsuk.