

2. EGYFÁZISÚ VÁLTAKOZÓÁRAMÚ SOROS KOMMUTÁTOROS MOTOROK

Az egyfázisú váltakozóáramú soros kommutátoros motor működése és felépítése hasonló a soros egyenáramú motoréhoz. A soros gerjesztésű egyenáramú motor forgásiránya – mint ismert – a tápfeszültség polaritásának felcserélésével változatlan marad. Egyfázisú táplálásnál a polaritásváltás a tápláló feszültség frekvenciájának megfelelően f -szer következik be másodpercenként. A váltakozóáramú táplálás miatt a motorban nem állandó, hanem váltakozó mágneses tér alakul ki, aminek a gép jellemzőire különböző hatásai vannak. A továbbiakban ezeket a hatásokat fogjuk vizsgálni.

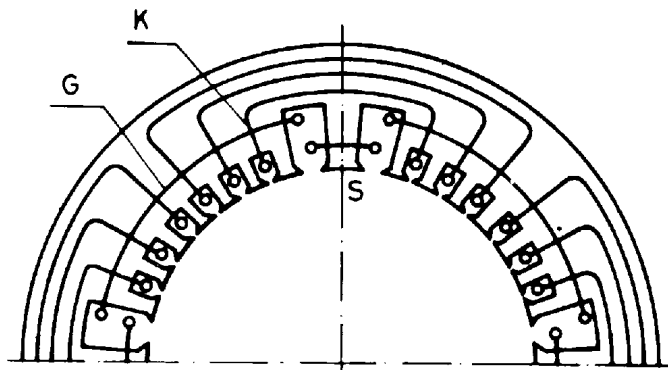
Az egyfázisú táplálás előnyét felhasználva ezek a motorok a hálózathoz transzformátoron keresztül vagy közvetlenül csatlakoznak. A géptípus több változata közül csak az egyfázisú soros kommutátoros motorral (vasúti vontatómotorok) és az univerzális motorral (háztartási gépek) fogunk foglalkozni.

2.1. AZ EGYFÁZISÚ SOROS KOMMUTÁTOROS MOTOR MŰKÖDÉSI ELVE ÉS FELÉPÍTÉSE

Mint már említettük, a gép működése hasonló, mint az egyenáramú soros motoré. Az egyenáramú soros motor kapocsfeszültségének polaritását felcserélve a motor nyomatékának iránya nem változik, mert a motor armatúraáramának irányváltásával együtt megváltozik a fluxus iránya is. Ismert, hogy a motor nyomatéka a két jellemző (a fluxus és az armatúraáram) szorzatával arányos, ezért ha mind a két jellemző előjele megváltozik, akkor a motor nyomatékának iránya változatlan marad. Ezt a jelenséget kihasználva a soros egyenáramú motort táplálhatjuk egyfázisú váltakozó feszültségről is. Ekkor a tápláló frekvenciának megfelelően változik a kapocsfeszültség polaritása, de a motor mindkét félperiódusban ugyanabban az irányban fejti ki a forgatónyomatékot. Váltakozóáramú táplálásnál természetesen az armatúratekerccseléssel sorba kötött gerjesztőtekerccselésen is váltakozóáram fog folyni, ami a gépben váltakozó mágneses teret hoz létre. A változó fluxus miatt ennél a géptípusnál nem csak a forgórész lemezelt, hanem az állórészen a pólus és a

koszorú is. Az állórész lemezt sajtolással alakítják ki úgy, hogy egyben az állórészen elhelyezkedő különböző tekercselések helyét is biztosítják.

Az állórészen foglal helyet a gerjesztőtekercselésen kívül még a kommutációt javító segédpólus, valamint az armatúratekercselés által létrehozott armatúra gerjesztést hatását a kerület mentén csökkentő kompenzáló tekercselés. A 2.1. ábrán



2.1. ábra Egy nagyobb teljesítményű soros kommutátoros motor felépítése

láthatjuk az egyfázisú soros kommutátoros motor állórész lemeztetének kialakítását, az ábrában feltüntettük a tekercselések elhelyezését is. G-vel a gerjesztőtekercselést, S-sel a segédpólust és K-val a kompenzáló tekercselést jelöltük. Az állórész a forgórész között kis légrést kialakítva a gerjesztőtekercs menetszáma kicsi lehet, így a tekercselés az állórészlemez egy-egy nagyobb hornyában helyezhető el. Ebben a nagyobb horonyban helyezhető el a segédpólus tekercselés is, így a segédpólus lényegében egy-egy nagyobb foggá alakul át az egyenáramú soros gerjesztésű géphez képest, mint ezt a 2.1. ábrán láthatjuk.

A soros gerjesztésű egyenáramú motor esetén az időben állandó fluxus miatt a gerjesztő- és az armatúratekercselésben csak ohmos jellegű feszültségesések lépnek fel. Ezzel szemben egyfázisú soros motorok esetén a szinuszosan változó mágneses tér miatt a tekercselésekben induktív feszültségesések is fellépnek, ami a motor teljesítménytényezőjét jelentősen lerontja.

Az egyfázisú soros kommutátoros motor forgórésze az egyenáramú gépekéhez hasonló. A forgórész lemezelt, tekercselése általában hurkos egyjártú (esetleg kétjártú) kommutátoros tekercselés.

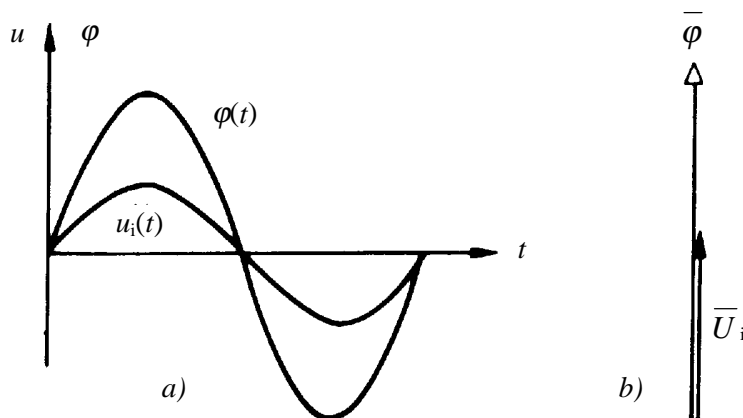
2.2. AZ EGYFÁZISU SOROS KOMMUTÁTOROS MOTOR ARMATÚRA TEKERCESELÉSÉBEN KELETKEZŐ FESZÜLTSEGEK

2.2.1. A forgási indukált feszültség

Az egyenáramú gépeknél az indukált feszültséget

$$u_i = \frac{z \cdot p}{a} \cdot n \cdot \Phi_{\max} \quad (2.1)$$

alakban határoztuk meg, ilyenkor a Φ_{\max} fluxus gépben időben állandó. Az egyfázisú soros kommutátoros motornál azonban a fluxus időben változik (2.2. ábra). A



2.2. ábra. Az egyfázisú soros kommutátoros motor fluxusa és indukált feszültsége
a) időfüggvények; b) vektorábra

(2.1) egyenlet ekkor is igaz, azonban az állandó fluxus helyére a $\varphi(t) = \Phi_{\max} \cdot \sin \omega t$ szinuszosan változó fluxus pillanatértékeit kell helyettesíteni:

$$u_i(t) = \frac{z \cdot p}{a} \cdot n \cdot \Phi_{\max} \cdot \sin \omega t, \quad (2.2)$$

vagyis a forgás következtében keletkező indukált feszültség is szinuszosan változik. (2.2)-ből látható, hogy a feszültség időfüggvénye fázisban van a fluxussal és egyenesen arányos a fordulatszámmal. A forgási indukált feszültség maximális értéke:

$$U_{i\max} = \frac{z \cdot p}{a} \cdot n \cdot \Phi_{\max}. \quad (2.3)$$

Ez az érték megegyezik az állandó fluxus esetén keletkező indukált feszültséggel. A feszültség effektív értéke:

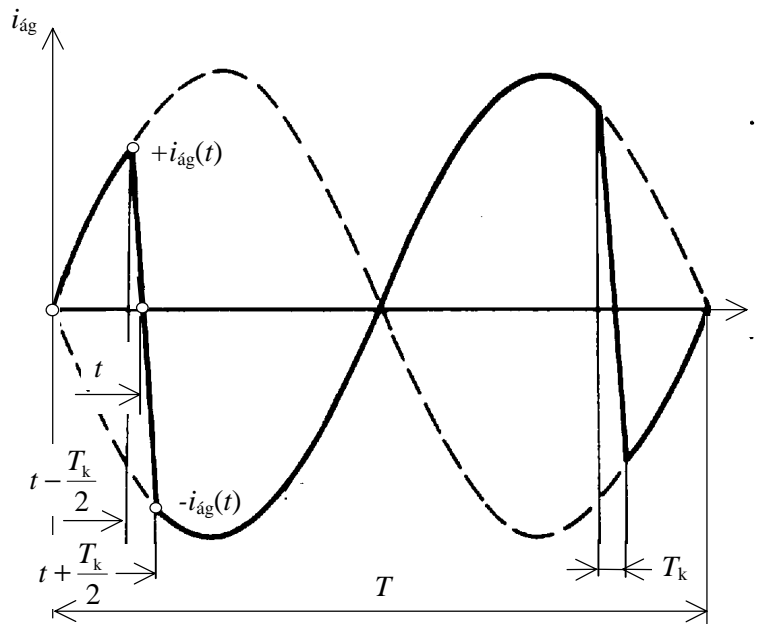
$$U_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{z \cdot p}{a} \cdot n \cdot \Phi_{\max}, \quad (2.4)$$

vektoriális iránya pedig megegyezik a fluxuséval, amint azt a 2.2a és b ábrán láthatjuk. Azonos maximális indukciót feltételezve az indukált feszültség effektív értéke $\sqrt{2}$ -ed része az egyenáramú gépének.

2.2.2. A reaktancia feszültség

Az egyenáramú gépeknél már megismertük azt a jelenséget, hogy a kommutáló tekercsben önindukciós feszültség keletkezik az áram nagyságának változása miatt. Ezt az önindukciós feszültséget neveztük *reaktancia feszültségnek*. A reaktancia feszültség értéke az

$$u_r = L \cdot \frac{di}{dt} \quad (2.5)$$



2.2. ábra. Az egyfázisú soros kommutátoros motor kommutációja

összefüggés alapján számítható, di/dt a kommutáló tekercs áramának változása a T_k kommutációs idő alatt.

A váltakozó feszültségről táplált soros kommutátoros motor kommutációja bonyolultabb, mint a sima egyenáramról táplálté, mert a motor ágárama (a kommutáció ideje alatt is) szinuszosan változik:

$$i_{\text{ág}}(t) = \sqrt{2} \cdot \frac{I_a}{2a} \cdot \sin \omega t, \quad (2.6)$$

amely összefüggésben I_a az armatúraáram effektív értéke. Lineáris kommutációt feltételezve és a futópontot a kommutációs idő felébe helyezve kommutáló tekercs áramának változása a kommutáció alatt (lásd a 2.2. ábrát):

$$\frac{di}{dt} = \frac{\Delta i_{\text{ág}}}{T_k} = -\frac{i_{\text{ág}}\left(t + \frac{T_k}{2}\right) - i_{\text{ág}}\left(t - \frac{T_k}{2}\right)}{T_k} = -\sqrt{2} \cdot \frac{I_a}{2a} \cdot \left[\sin i_{\text{ág}}\left(t + \frac{T_k}{2}\right) + \sin i_{\text{ág}}\left(t - \frac{T_k}{2}\right) \right].$$

A $\sin(\alpha \pm \beta)$ addíciós tételeket felhasználva írható:

$$\frac{di}{dt} = \frac{\Delta i_{\text{ág}}}{T_k} = -\sqrt{2} \cdot \frac{I_a}{2a \cdot T_k} \cdot \sin \omega t \cdot \cos\left(\frac{\omega T_k}{2}\right).$$

A gyakorlatban törekednek arra, hogy a kifejezés második tényezője minél kevésbé befolyásolja a reaktancia feszültség nagyságát. Ez megoldható pl. a táplálási frekvencia csökkentésével (a svájci vasút 50 Hz helyett 16,66 Hz-et használ). Ha teljesül, hogy a tápláló hálózat frekvenciájának T periódusideje sokkal

nagyobb, mint a T_k kommutációs idő, akkor $\cos\left(\frac{\omega T_k}{2}\right) = \cos\left(\frac{\pi \cdot T_k}{T}\right) \approx 1$. Ezzel a reaktancia feszültség:

$$u_r = L \cdot \frac{di}{dt} \approx -\sqrt{2} \cdot L \cdot \frac{I_a}{2 \cdot a \cdot T_k} \cdot \sin \omega t. \quad (2.7)$$

Mivel T_k kommutációs idő fordítottan arányos a kommutátor kerületi sebességével – azaz a motor fordulatszámával – ezért a reaktancia feszültség effektív értékét (2.7) alapján a következő formában is felírhatjuk:

$$U_r \approx -c_r \cdot n \cdot I_a. \quad (2.8)$$

A reaktancia feszültség tehát arányos a fordulatszámmal valamint az armatúraárammal, és az időben szinuszosan változik az armatúraárammal azonos fázisban. A reaktancia feszültség értéke a rövidrezárt tekercsekben változik aszerint, hogy a keféáramnak éppen milyen értéke van a kommutáció időpontjában, a maximális érték a maximális keféáramnál lép fel.

2.2.3. A segédpólus gerjesztés által indukált feszültség

A kommutáció javítása érdekében az egyfázisú soros motoroknál is segédpólust alkalmaznak. A segédpólus gerjesztéssel létrehozott indukció által a forgórész tekercselés egy vezetőjében indukált feszültség:

$$u_{sp}(t) = -B_{sp}(t) \cdot v_a \cdot l_i, \quad (2.9)$$

ahol $B_{sp}(t)$ a segédpólus alatt az indukció pillanatértéke, v_a az armatúra kerületi sebessége és l_i a hasznos vezetőhossz.

A kommutáció zajlása alatt a kefe – két szomszédos kommutátorszelet között – $N = z/2K$ menetet zár rövidre. A segédpólus mágneses terét viszont

$$2 \cdot N = \frac{z}{K} \quad (2.10)$$

sorbakapcsolt vezető metszi. Az armatúra kerületi sebességét felírhatjuk

$$v_a = r_a \cdot \omega = 2\pi \cdot r_a \cdot n$$

alakban. Továbbá az armatúra sugarát a pólusosztással kifejezve: $r_a = p \cdot \tau_p / \pi$, amit a sebesség egyenletébe helyettesítve adódik, hogy

$$v_a = 2 \cdot p \cdot \tau_p \cdot n. \quad (2.11)$$

A (2.10) és a (2.11) egyenleteket visszahelyettesítve a (2.9) egyenletbe megkapjuk, hogy mekkora a segédpólus által a rövidrezárt vezetőkben indukált feszültség:

$$u_{sp}(t) = 2 \cdot p \cdot \tau_p \cdot l_i \cdot \frac{z}{K} \cdot n \cdot B_{sp}(t). \quad (2.12)$$

A segédpólus mágneses tere szintén szinuszosan változik:

$$B_{sp}(t) = B_{spmax} \cdot \sin \omega t, \quad (2.13)$$

így az általa indukált feszültség effektív értéke:

$$U_{sp} = \sqrt{2} \cdot p \cdot \tau_p \cdot l_i \cdot \frac{z}{K} \cdot n \cdot B_{spmax} \cdot \quad (2.14)$$

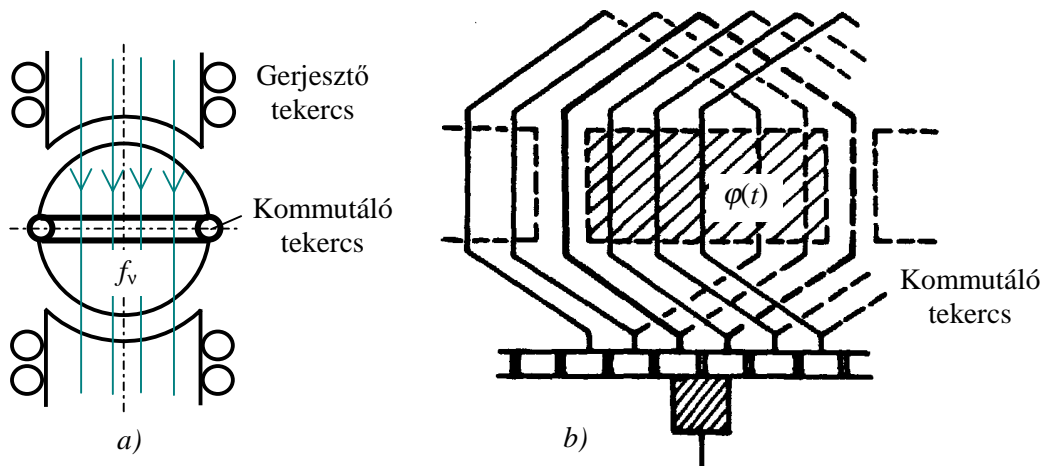
Amennyiben a telítést nem vesszük figyelembe, akkor a segédpólus indukció az armatúraárammal arányos, így az előbbi egyenlet átírható a következő alakra:

$$U_{sp} = c_{sp} \cdot n \cdot I_a, \quad (2.15)$$

vagyis a segédpólus által az armatúra éppen rövidrezárt tekercsében indukált feszültség arányos a fordulatszámmal és az armatúraárammal.

2.2.4. A transzformátoros feszültség

Az egyfázisú soros kommutátoros motor gerjesztőtekercselése által létrehozott váltakozó fluxus az armatúra tekercselésében az armatúra fordulatszámától függetlenül (mint a transzformátoroknál a szekunder tekercselésben) feszültséget indukál. A transzformátoros úton indukált feszültség azokban a menetekben a legnagyobb, amelyek körülfogják a teljes $\varphi(t)$ főfluxust. Ezek a menetek a semleges zónában fekszenek és a kommutátoron levő kefék éppen rövidre zárják őket (2.4a ábra).



2.2. ábra. A transzformátoros feszültség keletkezése
a) térbeli vázlat; b) tekercselési vázlat

A transzformátoros feszültséget az indukciótörvény alapján az

$$\bar{u}_t = N_t \cdot \frac{d\bar{\varphi}}{dt} \quad (2.16)$$

alakban írhatjuk fel, ahol $N_t = z/2K$ a kefék által rövidrezárt menetek száma. Feltételezve, hogy az egy menettel kapcsolódó fluxus szinuszos lefolyású írhatjuk, hogy:

$$\varphi(t) = \Phi_{\max} \cdot \sin \omega t, \text{ ill. } \varphi(t) = \text{Im}[\Phi_{\max} \cdot e^{j\omega t}] = \text{Im}\bar{\varphi} \quad (2.17)$$

Az (2.16) összefüggést felhasználva a transzformátoros feszültség effektív értéke:

$$U_t = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{z}{2K} \cdot \Phi_{\max} = 4,44 \cdot f \cdot \frac{z}{2K} \cdot \Phi_{\max}. \quad (2.18)$$

A transzformátoros feszültség azonban a (2.16) és (2.17) egyenletek értelmében (a differenciálás következményeként) a főfluxus idővektorához képest 90° -kal siet, ezért vektoros alakban a következők szerint írható fel:

$$\bar{U}_t = j \cdot \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{z}{2K} \cdot \bar{\varphi}. \quad (2.19)$$

Ha eltekintünk a telítéstől, akkor a főfluxus arányos a motor áramával és így a (2.19) egyenlet adott tápfrekvencián:

$$\bar{U}_t = j \cdot c_t \cdot f \cdot \bar{I}_a. \quad (2.20)$$

Az eddigieket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a transzformátoros feszültség egyenesen arányos a főfluxus Φ_{\max} maximális értékével és a táphálózat f frekvenciájával, de a fordulatszámától nem függ. Idővektora a főfluxushoz képest 90° -kal siet.

Mivel a transzformátoros feszültség a kefe által rövidrezárt tekercsben lép fel, a kefén az egyik éltől a másik felé zárlati áram folyik. Ez az áram jelentős kefeszikrázást hozhat létre, amit célszerű csökkenteni.

A transzformátoros feszültség értékének csökkentési lehetőségei a (2.18) egyenletből kiolvashatók:

- A tápfrekvencia csökkentésével kisebb lesz U_t értéke, ebben az esetben a gép teljesítménytényezője is javul, mert a már említett induktív feszültségesések is kisebbek lesznek;
- A két kommutátorszelet által rövidrezárt menetek számát $z/2K$ -t a lehető legkisebbre célszerű választani. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy lehetőleg $z/2K = 1$ legyen;
- A transzformátoros feszültség értéke csökkenthető akkor is, ha többjártú tekercselést alkalmazunk. Mint ismeretes, ekkor $a = m \cdot p$, ahol m a tekercselés járatainak száma. Ebben az esetben a két kommutátorszelet által rövidrezárt menetszám úgy írható, hogy

$$N_t = \frac{z}{2K} \cdot \frac{p}{a} = \frac{z}{2K} \cdot \frac{p}{m \cdot p} = \frac{z}{2K} \cdot \frac{1}{m}. \quad (2.21)$$

Ezt felhasználva a (2.18) és a (2.19) egyenleteket átírhatjuk a következő formába is:

$$U_t = 4,44 \cdot f \cdot \frac{z}{2K} \cdot \frac{p}{a} \cdot \Phi_{\max} = 4,44 \cdot f \cdot \frac{z}{2K} \cdot \frac{1}{m} \cdot \Phi_{\max}, \quad (2.22)$$

illetve:

$$\bar{U}_t = 4,44 \cdot f \cdot \frac{z}{2K} \cdot \frac{1}{m} \cdot \bar{\varphi}. \quad (2.23)$$

A (2.4) és a (2.22) összefüggés felhasználásával az indukált feszültség és a transzformátoros feszültség aránya:

$$\frac{U_i}{U_t} = \frac{K}{\pi} \cdot \frac{n}{f}. \quad (2.24)$$

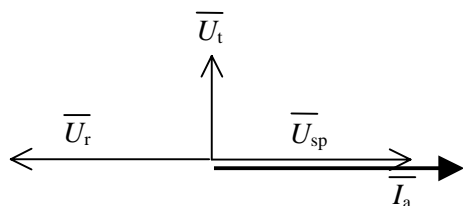
A normális kommutáció érdekében a transzformátoros feszültség értéke a teljes fordulatszám-tartományban nem haladhatja meg a 2...3,2 V-ot.

2.2.5. A szikrafeszültség és a kommutáció javítása

Az eddig tárgyalt négy feszültség közül három: a reaktancia, a transzformátoros- és a segédpólus által indukált feszültség a kefe által rövidrezárt tekercsben indukálódik. Mivel mindhárom feszültség szinuszosan változik, vektoriálisan összegezhető. Ennek a három feszültségnek a vektoriális összegét *szikrafeszültségnek* nevezzük:

$$\bar{U}_{sz} = \bar{U}_r + \bar{U}_{sp} + \bar{U}_t. \quad (2.25)$$

Az egyenáramú gépek kommutációjánál már szó volt arról, hogy a rövidrezárt tekercsben indukálódó feszültségek zárlati áramot hajtanak át a kefén. Késleltetett kommutáció esetén a lefutóélen nagy lesz az áramsűrűség, ezért szikrázás lép fel. A rövidzárlati áram nagyságát a kefe átmeneti feszültsége és az indukált feszültségek közötti különbség határozza meg. A szikrafeszültség értéke a gyakorlatban 2,5...3 V lehet üzem közben, de indításkor elérheti a 4 V-ot is.



2.5. ábra. A kommutáló mentben indukálódó feszültségek vektorhelyezete

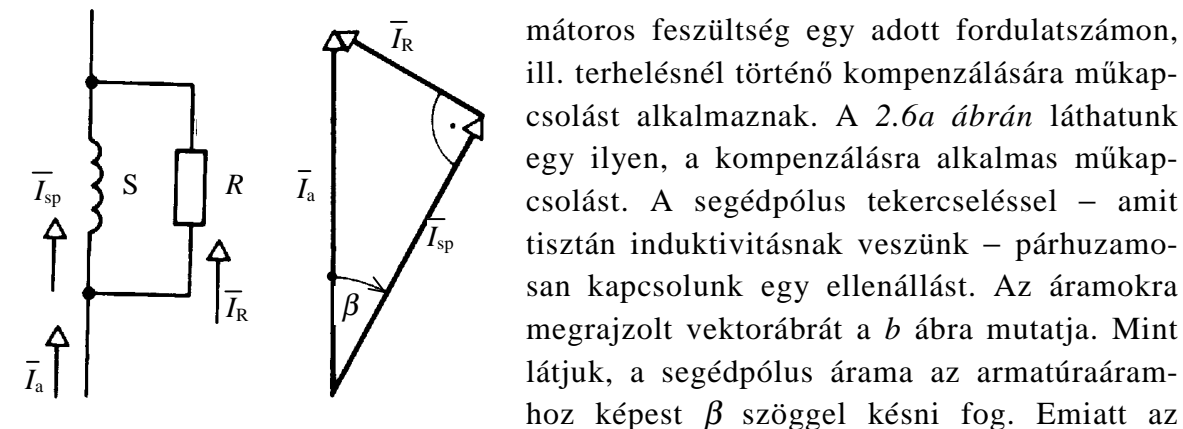
A reaktancia feszültség a fordulatszámmal és az armatúraárammal arányos, tehát a segédpólus által indukált feszültséggel ellensúlyozható, mert az ugyanezen jellemzőkkel arányos.

A transzformátoros feszültség nem függ a fordulatszámtól, ezért a segédpólus által indukált feszültséggel csak adott fordulatszámon lehet hatását kompenzálni. Például induláskor (kis fordulatszámon) a segédpólus által beindukált- és a reaktanciafeszültség is nulla. Ezekből adódik, hogy ilyenkor a transzformátoros feszültségnek van meghatározó szerepe.

A szikrafeszültséget felírható a (2.8), a (2.15) és a (2.20) egyenletekkel:

$$\bar{U}_{sz} = \bar{U}_r + \bar{U}_{sp} + \bar{U}_t = -c_r \cdot n \cdot \bar{I}_a + c_{sp} \cdot n \cdot \bar{I}_a + j \cdot c_t \cdot f \cdot \bar{I}_a \quad (2.26)$$

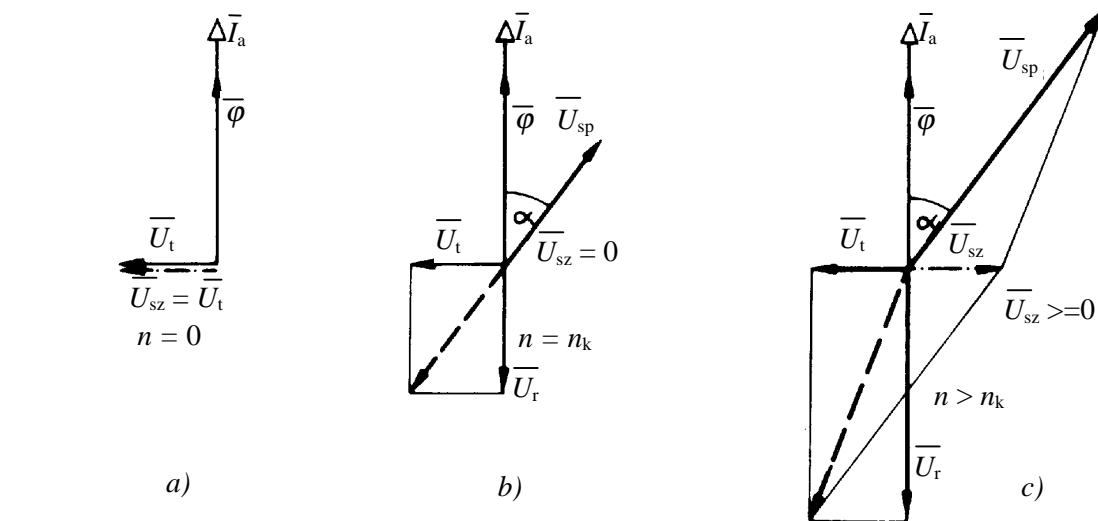
A három feszültség vektorábráját megrajzolva (2.5. ábra) láthatjuk, hogy az $\bar{U}_r + \bar{U}_{sp} + \bar{U}_t$ vektorok eredője nem lehet nulla. Mint már említettük, a segédpólus által indukált feszültség helyes megválasztásával elérhetjük, hogy bármely fordulatszámom $\bar{U}_r = \bar{U}_{sp}$ legyen. A transzformátoros feszültség egy adott fordulatszámom, ill. terhelésnél történő kompenzálására műkapcsolást alkalmaznak. A 2.6a ábrán láthatunk egy ilyen, a kompenzálásra alkalmas műkapcsolást. A segédpólus tekercseléssel – amit tisztán induktitásnak veszünk – párhuzamosan kapcsolunk egy ellenállást. Az áramokra megrajzolt vektorábrát a b ábra mutatja. Mint látjuk, a segédpólus árama az armatúraáramhoz képest β szöggel késni fog. Emiatt az armatúraáram nem lesz fázisban a segédpólus alatti eredő gerjesztéssel sem, hanem attól egy α szöggel eltér (2.7. ábra). (A segédpólus alatti eredő gerjesztést a segédpólus gerjesztés, az armatúragerjesztés és a kompenzáló tekercselés gerjesztése együttesen határozzák meg.) Mivel \bar{U}_r és \bar{U}_{sp} nagysága függ a fordulatszámtól ezért egy adott R értéknél – ami meghatározza β és α szögeket – csak az n_k fordulatszámon jöhet létre az, hogy a transzformátoros feszültséget megszüntetjük.



2.6. ábra. A transzformátoros feszültséget kompenzáló műkapcsolás

A 2.7. ábrán három különböző fordulatszámra rajzoltuk fel a feszültségvektorokat. Az a ábránál $n = 0$, ekkor csak transzformátoros feszültség van. A b ábra mutatja azt az esetet, amikor \bar{U}_{sp} -vel meg tudjuk szüntetni mind a transzformátoros,

és a segédpólus alatti eredő gerjesztést a segédpólus gerjesztés, az armatúragerjesztés és a kompenzáló tekercselés gerjesztése együttesen határozzák meg.) Mivel \bar{U}_r és \bar{U}_{sp} nagysága függ a fordulatszámtól ezért egy adott R értéknél – ami meghatározza β és α szögeket – csak az n_k fordulatszámon jöhet létre az, hogy a transzformátoros feszültséget megszüntetjük.



2.7. ábra. A szikrafeszültség három különböző fordulatszámom

mind a reaktancia feszültséget. Ekkor $n = n_k$, és a szikrafeszültség $\bar{U}_{sz} = 0$. A c ábrán $n > n_k$, ebben az esetben a feszültségvektorok eredője a szikrafeszültség és $\bar{U}_{sz} \geq 0$.

Természetesen az egyfázisú soros kommutátoros motoroknál is figyelembe kell vennünk a kommutátor szeletfeszültségét, amelynek közepes értéke:

$$U_{szk} = \frac{2p}{K} \cdot U_i. \quad (2.27)$$

2.3. A SOROS KOMMUTÁTOROS MOTOR HELYETTESÍTŐ VÁZLATA, VEKTORÁBRÁJA ÉS ÁRAMMUNKADIAGRAMJA

Az egyfázisú soros kommutátoros motor kapcsolási vázlatát a 2.8a ábrán ábrázoltuk. A betűjelölések megegyeznek a 2.1. ábrán jelöltekkel, tehát a G a gerjesztőtekerecs; S a segédpólus tekerecs és K a kompenzáló tekerecs. A gerjesztőtekerescsen átfolyó I_a áram által létrehozott fluxus a forgórész tekerceselésben az U_i forgási indukált feszültséget hozza létre. A kapcsolási vázlat alapján egy egyszerűsített helyettesítő vázlatot rajzolhatunk fel (b ábra), ahol az R ohmos tag a motor armatúrakörének teljes ellenállása. A teljes ellenállás az egyes tekerceselések, a kefe és a kefeátmenet ellenállásainak összege. Az X reaktancia a motor összevont reaktanciája, amely magában foglalja a különböző tekerceselések szórás reaktanciáját, a gerjesztőtekerecs által létesített főfluxus reaktanciáját (X_g) és az armatúratekerceselés reaktanciájának nem kompenzált részét. Az egyszerűsített helyettesítő vázlat alapján a motor feszültség egyenlete:

$$\bar{U} = (R + jX) \cdot \bar{I} + \bar{U}_i. \quad (2.28)$$

A forgási indukált feszültség effektív értéke a (2.4) egyenlet alapján:

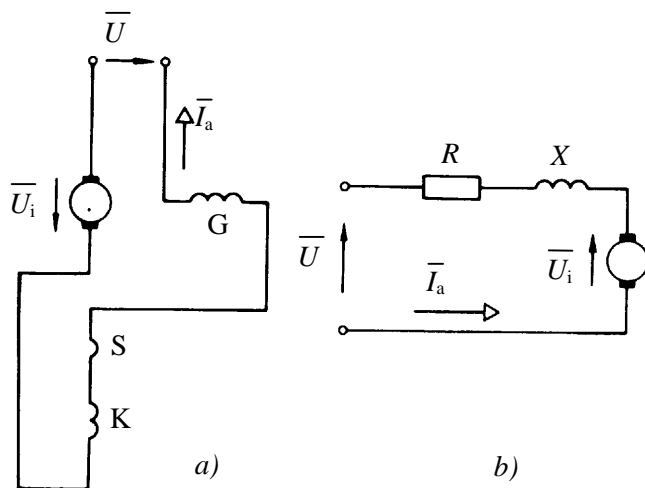
$$U_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{z \cdot p}{a} \cdot n \cdot \Phi_{\max}. \quad (2.29)$$

Ha a gerjesztőtekerecs menetszáma N_g és induktivitása L_g , akkor a fluxus:

$$\varphi = \frac{L_g}{N_g} \cdot i. \quad (2.30)$$

Az áram $i(t) = \sqrt{2} \cdot I_a \cdot \sin \omega t$ szinuszos változásánál a pólusokban keletkező örvényáramok fluxuskésleltető hatását elhanyagolva a fluxus: $\varphi(t) = \Phi_{\max} \cdot \sin \omega t$. A (2.30) egyenletbe a szinuszos változásokat beírva és Φ_{\max} -t kifejezve adódik, hogy

$$\Phi_{\max} = \sqrt{2} \cdot \frac{L_g}{N_g} \cdot I_a = \frac{\sqrt{2}}{N_g} \cdot \frac{X_g}{2\pi \cdot f} \cdot I_a. \quad (2.31)$$



2.8. ábra A soros kommutátoros motor helyettesítő kapcsolási vázlata
 a) a kapcsolási vázlat; b) a helyettesítő kapcsolási vázlat

A Φ_{max} fluxus értékét a forgási indukált feszültség egyenletébe helyettesítve kapjuk:

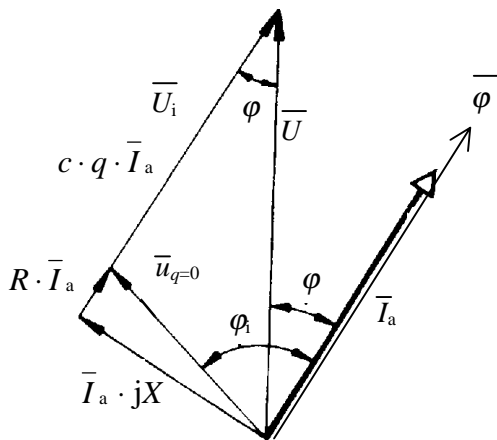
$$U_i = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{z \cdot p}{a} \cdot \frac{X_g}{N_g} \cdot \frac{n}{f} \cdot I_a \quad (2.32)$$

Felhasználva még a váltakozóáramú gépeknél a szinkron fordulatszámra kapott ismert $n_0 = f / p$ összefüggést:

$$U_i = c \cdot \frac{n}{n_0} \cdot I_a = c \cdot q \cdot I_a \quad (2.33)$$

ahol $q = n / n_0$ a fordulatszám és a szinkron fordulatszám aránya. A soros kommutátoros motornál szinkron fordulatszámról nem beszélhetünk, így az előbbi egyenletben is csak vonatkoztatási alapként használjuk. A forgási indukált feszültséget vektoriális alakban is felírhatjuk:

$$\bar{U}_i = c \cdot q \cdot \bar{I}_a \quad (2.34)$$



2.9. ábra A soros kommutátoros motor vektorábrája

Ezt a vektoros alakot behelyettesítve a motor (2.29) feszültség-egyenletébe kapjuk, hogy

$$\bar{U} = (R + jX) \cdot \bar{I}_a + c \cdot q \cdot \bar{I}_a \quad (2.35)$$

(2.35)-ből a gép armatúraárama:

$$I = \frac{U}{\sqrt{(R + c \cdot q)^2 + X^2}} \quad (2.36)$$

A (2.35) egyenletet felhasználva megrajzolható a váltakozóáramú soros kommutátoros motor vektorábrája (2.9. ábra). A vek-

torábra egy adott áram és fordulatszám esetén lett felrajzolva. A vektorábrába bejelöltük az indításkor szükséges $\bar{u}_{q=0}$ feszültségvektort, és az ehhez tartozó φ_i szögértéket is.

A (2.35) egyenletből és a vektorábrából is látható, hogy adott armatúraáram- (ill. nyomaték-) értéknél a fordulatszámot (a q fordulatszám-viszonyt) a kapocsfeszültség változtatásával tudjuk módosítani. A vektorábra alapján meghatározhatjuk a motor teljesítménytényezőjét:

$$\cos \varphi = \frac{R + c \cdot q}{\sqrt{(R + c \cdot q)^2 + X^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{X}{R + c \cdot q}\right)^2}}. \quad (2.37)$$

A teljesítménytényező annál jobb, minél kisebb a gyökjel alatti tört értéke. Ez azt jelenti, hogy szerkezeti kialakításkor törekedni kell arra, hogy a teljes X reaktancia kicsi legyen, a $q = n/n_0$ fordulatszámviszony pedig nagy. A fordulatszámviszony fordítottan arányos a gép frekvenciájával, ezért a vasúti motorokat 25 vagy 16 2/3 Hz-en üzemeltetik, valamint nagy pólusszámmal készítik.

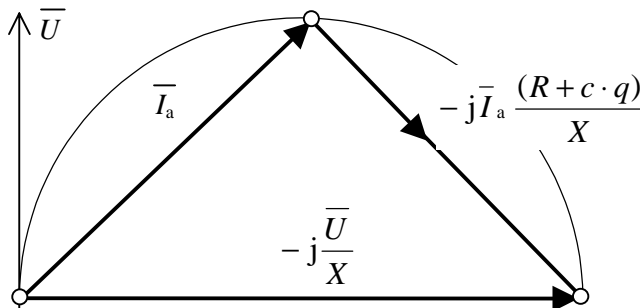
A (2.35) egyenletet jX -el osztva a következő áram-egyenletet kapjuk:

$$-j \cdot \frac{\bar{U}}{X} = \bar{I}_a - j\bar{I}_a \frac{(R + c \cdot q)}{X}. \quad (2.38)$$

Ha a telítést elhanyagoljuk – a gyakorlatban ez nem mindig engedhető meg éppen a soros jelleg miatt – akkor az armatúraáram (2.37) egyenlettel leírt helygörbéje kör, mint ahogy azt a 2.10. ábra mutatja.

A kördiagramot néhány nevezetes pont alapján határozhatjuk meg:

- a) Álló állapotban a motornak nincs forgási indukált feszültsége, $n = 0$ és $q = 0$. A motor árama ekkor az indítási áram, ami (2.35) alapján:



2.10. ábra. A soros kommutátoros motor árammunkadiagramjának származtatása

$$\bar{I}_i = \frac{\bar{U}}{R + jX}. \quad (2.39)$$

Az indítási áram effektív értéke és fázisszöge:

$$I_i = \frac{\bar{U}}{\sqrt{R^2 + X^2}} \quad \text{és} \quad \varphi_i = \arctg \frac{X}{R}; \quad (2.40)$$

- b) Az áram maximális értékét akkor kapjuk meg, ha a (2.36) egyenlet nevezőjében a valós rész nulla. Ekkor $-c \cdot q = R$, azaz: $q = -\frac{R}{c}$.

Az áram maximális értéke ebben az esetben:

$$\bar{I}_{\max} = \frac{\bar{U}}{jX}. \quad (2.41)$$

A maximális áram vektora a képzetes tengelybe esik és $I_{\text{msx}} = U / X$ effektív értéke adja a kördiagram átmérőjét;

- c) Ha a motor fordulatszáma eléri a végtelent ($n = \infty$, ill. $q = \infty$), akkor a (2.36) egyenlet értelmében $I_{\infty} = 0$, tehát a kördiagram átmege az origón.

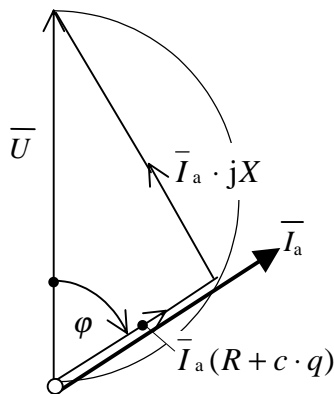
Az említett nevezetes pontok alapján megszerkeszthetjük a kördiagramot, amelynek K középpontja a képzetes tengelyen van $U / 2X$ távolságra az origótól és ugyanez az érték a kör sugara. A nevezetes pontokat is feltüntetve a kördiagramot a 2.11. ábrán rajzoltuk fel. Az ábrán az áram-munkadiagram mellett fordulatszám (pontosabban fordulatszám viszony) egyenest is felrajzoltuk. Az áram-munkadiagramon bejelöltünk egy A pontot és az arányos szerkesztéssel meghatároztott $q = n/n_0$ skálán a hozzá tartozó q_A -t is.

Az áram-munkadiagram segítségével meghatározhatjuk a motor felvett (P_1), ill. leadott mechanikai teljesítményét (P_m). A felvett teljesítmény:

$$P_1 = U \cdot I \cdot \cos \varphi,$$

vagyis állandó kapocsfeszültség esetén a felvett teljesítmény arányos az áram hatásos összetevőjével:

$$I \cdot \cos \varphi = \frac{P_1}{U}.$$

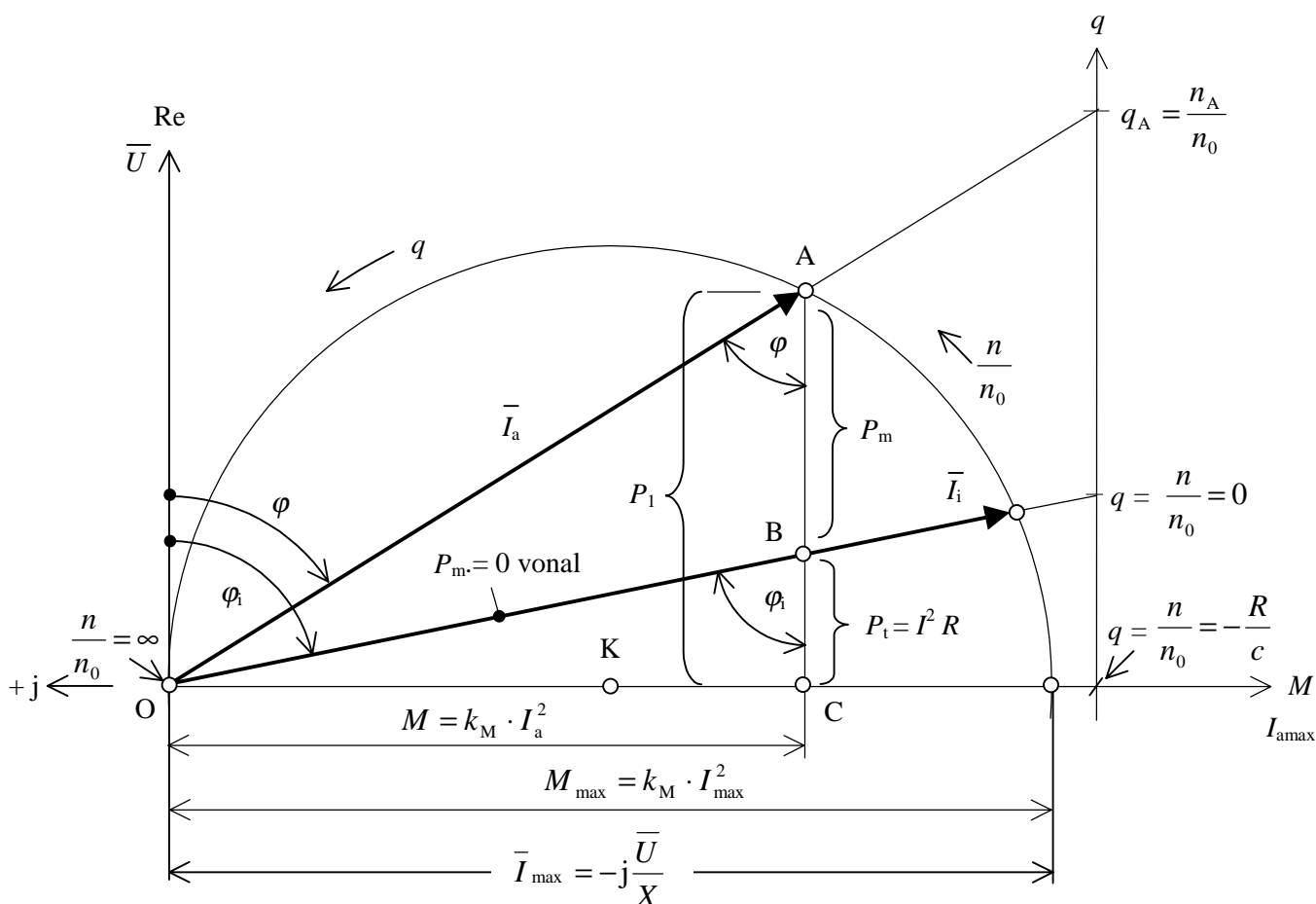


2.12. ábra. A soros kommutátoros motor vektorábrája általános esetben

Az áram-munkadiagramban a \overline{AC} metszék arányos a P_1 felvett teljesítménnyel, az arányossági tényező $1/U$.

A motor egyenleteiből és 2.12. ábrán felrajzolt vektorábrájából látható, hogy φ_i esetén nincs forgási indukált feszültség. Ebből következik, hogy az indítási áram $\cos \varphi_i$ -vel számított \overline{BC} komponense az R ellenálláson keletkező veszteséggel, a $P_t = I^2 \cdot R$ tekercsveszteséggel arányos. Ha a motor felvett teljesítményéből levonjuk a rézveszteségeket, akkor a mechanikai teljesítményt kapjuk:

$$P_m = P_1 - I^2 \cdot R. \quad (2.42)$$



2.11. ábra A soros kommutátoros motor áram-munkadiagramja (kördiagramja)

A mechanikai teljesítménnyel arányos metszék tehát az \overline{AB} szakasz és az arányossági tényező szintén $1/U$. Az indítási áram iránya által meghatározott egyenes így a P_m mechanikai teljesítmény nulla vonala.

2.4. AZ EGYFÁZISÚ SOROS KOMMUTÁTOROS MOTOR NYOMATÉKA ÉS JELLEGGÖRBÉI

Az egyenáramú gépeknél a nyomaték:

$$M = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{z \cdot p}{a} \cdot \Phi \cdot I_a \quad (2.43)$$

Az egyfázisú soros kommutátoros motornál ez az egyenlet szintén érvényes, ha az áram és a fluxus pillanatértékét helyettesítjük az egyenletbe:

$$m(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{z \cdot p}{a} \cdot \varphi(t) \cdot i_a(t) \quad (2.44)$$

Tételezzük fel, hogy az áram szinuszosan változik: $i(t) = \sqrt{2} \cdot I_a \cdot \sin \omega t$. A főpólusokban fellépő örvényáramok a kialakuló fluxust az áramhoz képest ε szöggel késleltetik, ezért: $\varphi(t) = \Phi_{\max} \cdot \sin(\omega t - \varepsilon)$.

Így a nyomaték:

$$m(t) = \frac{\sqrt{2}}{2\pi} \cdot \frac{z \cdot p}{a} \cdot \Phi_{\max} \cdot I_a \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varepsilon).$$

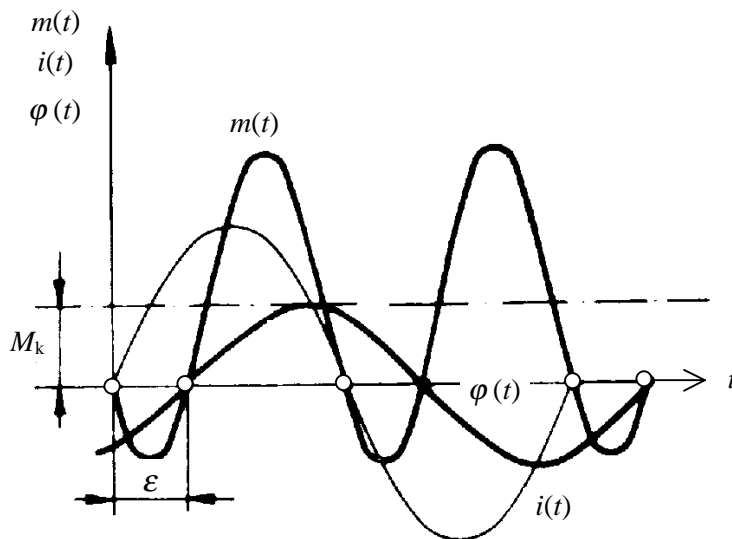
Átalakításokat végezve adódik, hogy

$$m(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{z \cdot p}{a} \cdot \frac{\Phi_{\max}}{\sqrt{2}} \cdot I_a \cdot [\cos \varepsilon - \cos(2\omega t - \varepsilon)], \quad (2.45)$$

ami azt jelenti, hogy a nyomaték kétszeres frekvenciával ingadozik az

$$M_k = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{z \cdot p}{a} \cdot \frac{\Phi_{\max}}{\sqrt{2}} \cdot I_a \cdot \cos \varepsilon \quad (2.46)$$

közéérték körül. A 2.12. ábrán felrajzoltuk a fluxus, az áram és a nyomaték változását az idő függvényében. Mint már említettük, az áram és a fluxus közötti eltolás

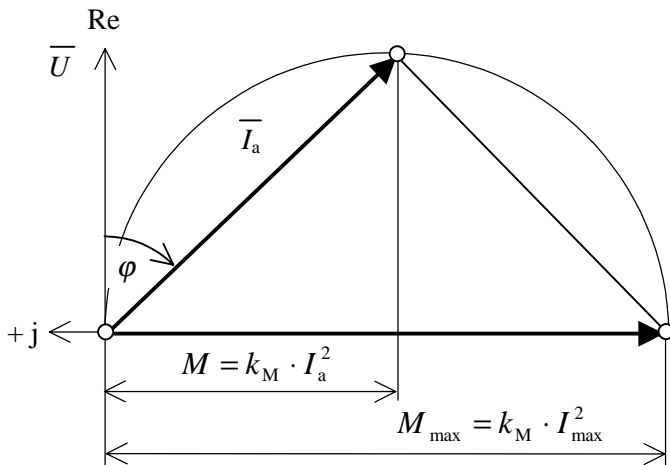


2.12. ábra. A soros kommutátoros motor nyomatéka az idő függvényében

a főpólusban fellépő örvényáramok miatt jön létre. Üzem közben az eltolás értéke kicsi és ezért $\cos \varepsilon \approx 1$, így a nyomaték egyszerűbb alakra hozható:

$$M_k \approx \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{z \cdot p}{a} \cdot \frac{\Phi_{\max}}{\sqrt{2}} \cdot I_a \quad (2.47)$$

A (2.43) és a (2.47) egyenleteket összehasonlítva láthatjuk, hogy ha az egyfázisú soros kommutátoros motornál ugyanakkora effektív értékű az armatúraáram és a maximális fluxus mint az egyenáramú gépnél, akkor a nyomaték értéke az egyenáramú géphez képesti csökkenése $1/\sqrt{2} = 0,707$ arányú.



2.12. ábra. A soros kommutátoros motor nyomatékai

A nyomatékot ideális gép esetén ($P_b=P_m$) meghatározhatjuk a belső teljesítményből is. A P_b belső teljesítmény a forgási indukált feszültség és az armatúraáram szorzata. Ezeket felhasználva:

$$M = \frac{P_m}{\Omega} \approx \frac{P_b}{\Omega} = \frac{U_i \cdot I_a}{\Omega} \quad (2.48)$$

Az egyenletbe behelyettesítve a forgási indukált feszültség (2.33) egyenlettel meghatározott alakját, és figyelembe véve, hogy $q = \Omega / \Omega_0$:

$$M = \frac{c}{\Omega_0} \cdot I_a^2 = k_M \cdot I_a^2, \quad (2.49)$$

vagyis az egyfázisú soros kommutátoros motor nyomatéka (a telítés elhanyagolása esetén) az áram négyzetével arányos.

A nyomaték (2.49) egyenlettel megadott alakja lehetőséget teremt arra, hogy a árammunka-diagramból a nyomatékkal arányos metszékét is le tudjuk olvasni.

Ez a következőképpen látható be: az áram $I \cdot \sin \varphi$ meddő komponense arányos az \overline{OC} szakasszal. A 2.11. ábrából viszont könnyen belátható, hogy a $\sin \varphi$ egyenlő az áram és az átmérő ($I_a \cdot X / U$) hányadosával:

$$\overline{OA} = I_a \cdot \sin \varphi = I_a \cdot \frac{I_a \cdot X}{U} = \frac{X}{U} \cdot I_a^2. \quad (2.50)$$

A kördiagramban tehát az \overline{OC} szakasz arányos az áram négyzetével, és így a nyomatékkal is. A 2.12. ábrán az áram-munkadiagramban bejelöltük a A-ponthoz tartozó nyomatékot, ill. a nyomaték maximális értékét (M_{max}), ami a kördiagram átmérőjével arányos.

Ha a nyomaték (2.49) egyenletébe a (2.36) összefüggés alapján behelyettesítjük az áram effektív értékét, akkor

$$M = k_M \cdot I_a^2 = k_M \cdot \frac{U^2}{(R + c \cdot q)^2 + X^2} = k_M \cdot \frac{U^2}{\left(R + c \cdot \frac{n}{n_0}\right)^2 + X^2}. \quad (2.51)$$

A (2.51) egyenlet megadja a kapcsolatot a nyomaték és az *armatúraáram*, ill. a nyomaték és fordulatszám (szögsebesség) között.

A maximális nyomaték $q = n / n_0 = -R / c$ fordulatszámnál lép fel és értéke:

$$M_{max} = k_M \cdot I_{max}^2 = k_M \cdot \frac{U^2}{X^2}. \quad (2.52)$$

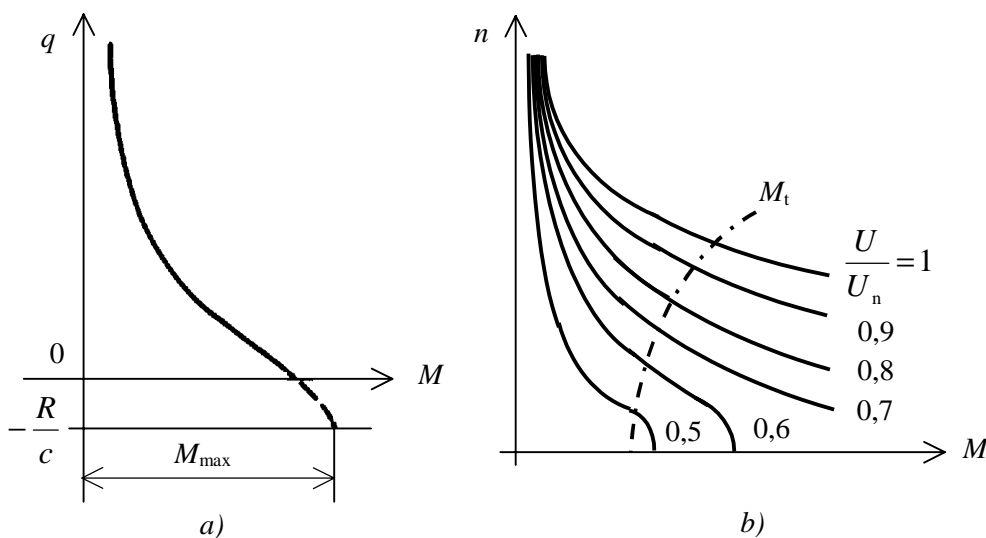
A két nyomaték hányadosát véve:

$$\frac{M}{M_{\max}} = \frac{X^2}{\left(R + c \cdot \frac{n}{n_0}\right)^2 + X^2}$$

Kapott összefüggésünkből a q fordulatszám-viszonyt kifejezve:

$$q = \frac{n}{n_0} = \frac{X}{c} \cdot \sqrt{\frac{M_{\max}}{M} - 1} - \frac{R}{c}, \tag{2.53}$$

ami alapvetően egy eltolt soros jellegű karakterisztika egyenlete.



2.15. ábra A soros kommutátoros motor mechanikai jelleggörbéi

A 2.15a ábrában felrajzoltuk a fordulatszám(a q fordulatszám-viszony)-nyomaték jelleggörbét állandó kapcsolófeszültség esetén. A b ábra a fordulatszám-nyomaték jelleggörbéket különböző kapcsolófeszültségek esetén mutatja.

2.5. UNIVERZÁLIS MOTOROK

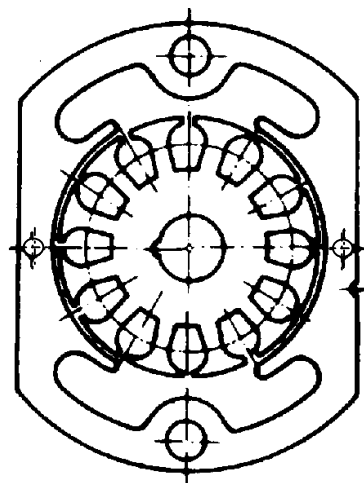
Azokat a soros kommutátoros motorokat, amelyeket egyenárammal és váltakozóárammal is táplálhatunk, *univerzális motoroknak* nevezzük.

Az univerzális motor igen elterjedt motortípus. Alkalmazzák háztartási gépekben, kéziszerszámok hajtómotorjaként, valamint irodai gépekben.

Előnye, hogy világítási hálózatról működtethető (amely lehet egyenáramú hálózat is). Teljesítménytartományuk általában 1...2000 W. Eltérően a többi motortípustól (például a kézfűró-gépek esetén) a motor adattábláján nem a leadott, hanem a felvett teljesítmény van feltüntetve. Az univerzális motorok maximális fordulatszáma nagy, értéke a 3000...20000 1/min tartományban változhat.

A motor leadott teljesítménye függvénye a fordulatszámnak, így a nagy fordulatszám miatt az ilyen típusú gépek fajlagos teljesítménye (leadott teljesítmény és a tömeg viszonya) kedvező. A jó kommutáció érdekében a szénkefék nagy ellenállásúak (hogy minél kisebb rövidzárási áram jöjjön létre).

Az univerzális motorok szerkezeti felépítése hasonló mint az egyenáramú gépeké. Jellegzetes álló-, ill. forgórész lemez kialakítást láthatunk a 2.16. ábrán. Az álló- és a forgórész lemezelt. Az állórész kiképzett pólusú, a pólustörzsön helyezkedik el a nagy menetszámú gerjesztőtekerccs. Az univerzális motor általában kétpólusú. A forgórész lemezen hornyok vannak, ezekben helyezkedik el a forgórész tekercselés, aminek kivezetései csatlakoznak a kommutátorhoz. Az álló- és a forgórész tekercsüket a két szénkefén keresztül kapcsolják sorba.

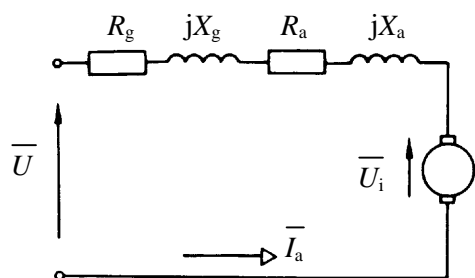


2.16. ábra. Jellegzetes univerzális motor szerkezeti kialakítás

A kétpólusú kialakítás miatt kis szeletszámú kommutátorok esetén is biztosítható a megengedhető szeletfeszültség. Mivel a motor segédpólussal nem rendelkezik, a jó kommutáció eléréséhez megfelelő kefehelyzetre van szükség. Az univerzális motor esetén megfelelő feszültség beindukálását nem a kefehelyzet állításával, hanem a tekercs végeinek megfelelő helyzetével, a „végelhúzással” biztosítjuk.

2.5.1. Helyettesítő kapcsolási vázlat, vektorábrák, terhelési jelleggörbék

Az univerzális motor a hálózatra csatlakoztatva szinuszos áramot vesz fel. Az áram a pólusokon levő gerjesztőtekerccsek által φ fluxust hoz létre, ami az armatúrán keresztül záródik. A fluxus kis elhanyagolással fázisban van az armatúraárammal. A forgórész forgása esetén a fluxus a forgórész tekercselésben forgási indukált feszültséget hoz létre, hasonlóan, mint az egyfázisú soros kommutátoros motornál (2.34 egyenlet). Az áram feszültségesést okoz a forgórész tekercselés ohmos ellenállásán ($\bar{I}_a \cdot R_a$), reaktanciáján ($\bar{I}_a \cdot jX_a$), valamint a gerjesztőtekerccselés ohmos ellenállásán ($\bar{I}_a \cdot R_g$) és a reaktanciáján ($\bar{I}_a \cdot jX_g$). A működésnek megfelelően



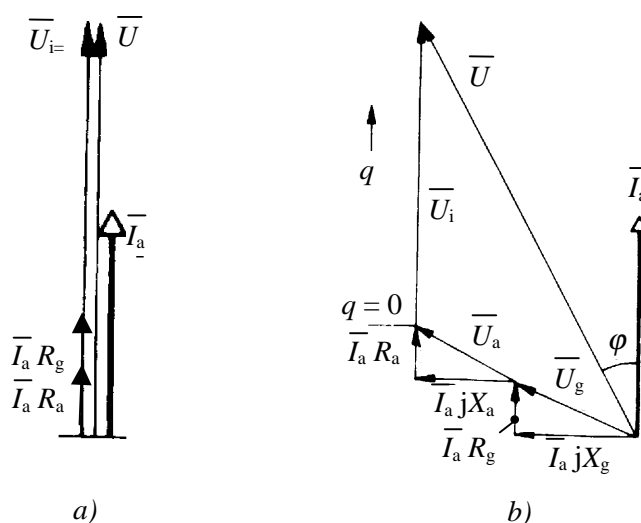
2.17. ábra. Az univerzális motor helyettesítő kapcsolási vázlata

megrajzolhatjuk az univerzális motor helyettesítő vázlatát (2.17. ábra). A helyettesítő vázlat alapján a feszültségegyenlet:

$$\bar{U} = [R_a + R_g + j(X_a + X_g)] \cdot \bar{I}_a + \bar{U}_i, \quad (2.54)$$

A helyettesítő vázlatnak megfelelő vektorábrát egyen-, illetve váltakozó áramú táplálásra a 2.18a, ill. b ábrán láthatjuk.

A helyettesítő vázlatban az ellenállásokat és reaktanciákat összevonva:



2.18. ábra. Az univerzális motor vektorábrája
 a) egyenáramú táplálás; b) váltakozóáramú táplálás

$$\bar{U} = (R + jX) \cdot \bar{I}_a + \bar{U}_i, \quad (2.55)$$

Ez az egyenlet azonos a (2.35) egyenlettel, tehát az univerzális motor esetén is használható az áram-munkadiagram, ami egy kör (2.12. ábra).

Ha elhanyagoljuk a helyettesítő vázlatban szereplő ohmos ellenállásokat, akkor könnyen megállapíthatjuk, hogy milyen változás következik be a fordulatszámban váltakozóáramú-, ill. egyenáramú tápláláskor.

A 2.19a ill. b ábrán a tekercsek ellenállásának elhanyagolásával

kapott az egyen- és a váltakozóáramra érvényes egyszerűsített vektorábrát rajzoltuk fel. Azonos feszültség és áram esetén az U_{iv} kisebb, mint az U_{ie} feszültség, mert váltakozó áramú tápláláskor fellép a $\bar{I}_a \cdot jX$ feszültségesés is. A vektorábra alapján írhatjuk, hogy:

$$U_{iv} \approx U_{ie} \cdot \cos \varphi. \quad (2.56)$$

A forgási indukált feszültség a (2.33) egyenlet értelmében arányos a fordulatszámmal, tehát:

$$n_v \approx n_e \cdot \cos \varphi. \quad (2.57)$$

Ebből az egyenletből az következik, hogy azonos feszültség és áram esetén a váltakozó áramú fordulatszám kisebb, mint egyenáram esetén. Ugyanerre az eredményre jutunk a nyomatékok alapján, ha elhanyagoljuk a veszteségeket.

Váltakozóáramú tápláláskor a nyomaték:

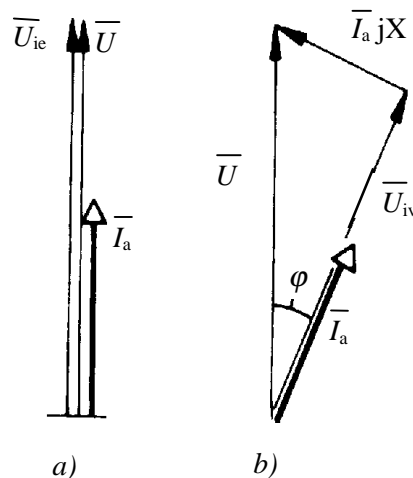
$$M \approx \frac{U \cdot I_a \cdot \cos \varphi}{\omega_v}$$

míg egyenáramú tápláláskor:

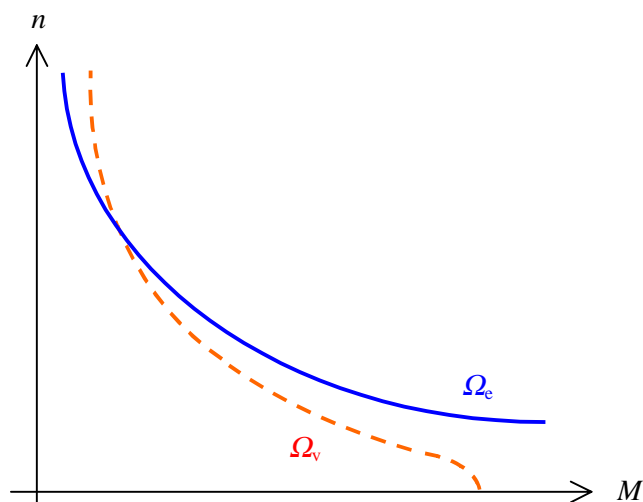
$$M \approx \frac{U \cdot I_a}{\omega_e}$$

A két egyenletből adódik, hogy azonos nyomatéknál:

$$\omega_v \approx \omega_e \cdot \cos \varphi.$$



2.19. ábra. Az univerzális motor egyszerűsített vektorábrája
 a) egyenáramú táplálás;
 b) váltakozóáramú táplálás

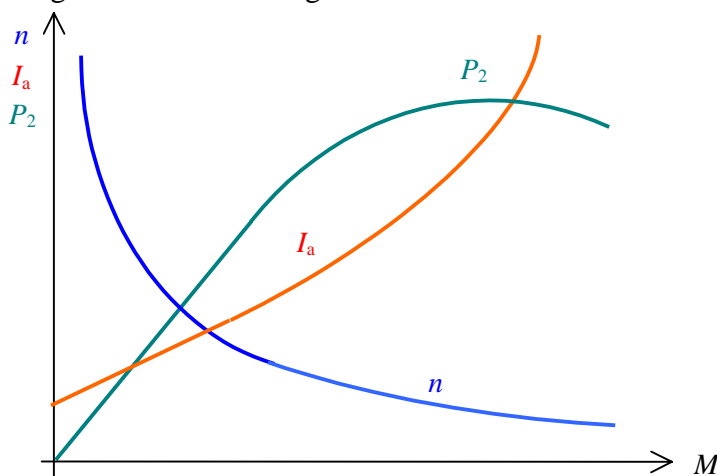


2.20. ábra. Az univerzális motor $n(M)$ karakterisztikái egyen-, ill. váltakozó áramú táplálásnál

A szögsebesség-nyomaték jelleggörbéket a 2.20 ábra mutatja. A gép jelleggörbéje a gerjesztőtekercs kapcsolásából adódóan tipikus soros jellegű karakterisztika. Kisebb armatúraáramoknál nem a feszültségesések, hanem a váltakozóáramú táplálás miatt a vastestben fellépő örvényáramok fluxuscsökkentő hatása módosítja a jelleggörbét. Így kis terheléseknél a váltakozóáramú karakterisztika az egyenáramú felett jár.

A gép maximális fordulatszáma 10000...30000 1/min, ügyelni

kell a terhelésmegszüntetés hatásaira (pl. porszívóknál a ventilátorlapátok eltávolításakor). A nagy fordulatszámok miatt az elfogadható élettartam biztosításához a forgórész precíz, dinamikus kiegyensúlyozása és kis kommutátor-ütés (kisebb, mint 0,01 mm) megvalósítása szükséges.

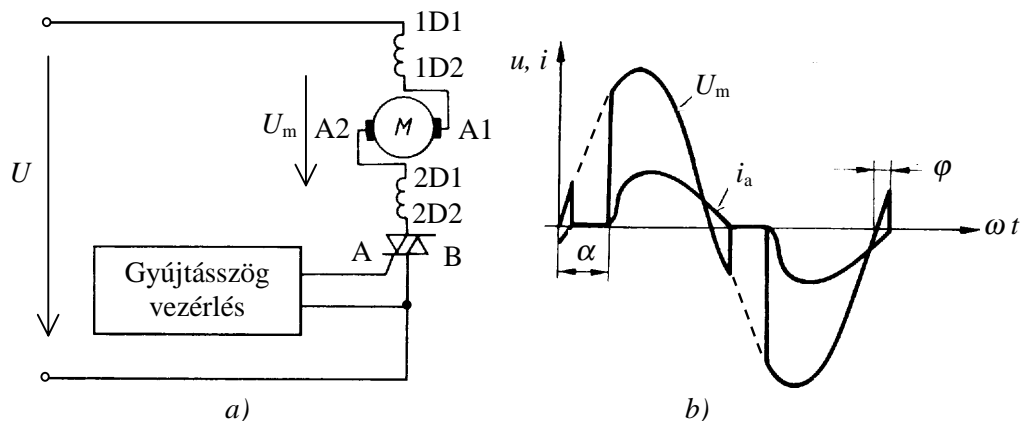


2.21. ábra. Az univerzális motor mérésrel felvett terhelési jelleggörbéi

A 2.21. ábrán egy univerzális motor mérésrel felvett terhelési jelleggörbéit láthatjuk.

2.5.2. Az univerzális motorok fordulatszám változtatása

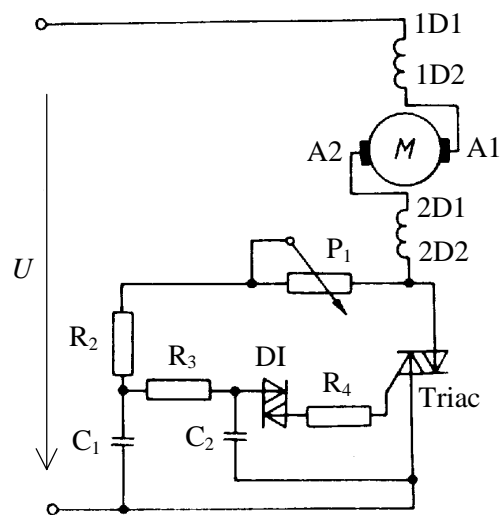
Az univerzális motor forgásiránya a gerjesztőtekercs és az armatúratekercs kapcsainak egymáshoz képesti felcserélésével oldható meg. A motor fordulatszámát a motorra jutó feszültség módosításával, ellenpárhuzamos tirisztorpáros (triac-os) egyfázisú szaggató kapcsolással szokták változtatni (2.22. ábra). Ebben a megoldásban az egyik félperiódusban az A, a másikban B jelű tirisztor vezet. A kialakuló



2.22. ábra. Az univerzális motor fordulatszám-változtatása

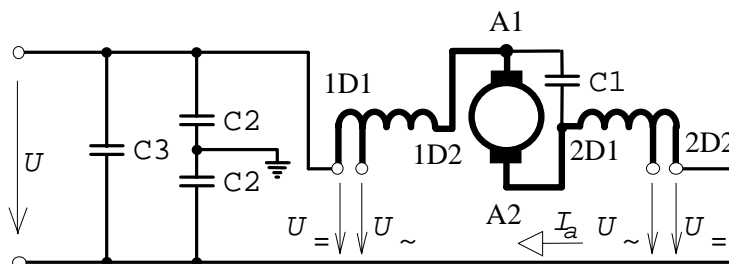
áram effektív értékének (pontosabban az alapharmónikusának) a nagysága a tiriszorok α gyújtásszögétől függ (b ábra). A gyújtásszöget egy gyújtásszög-vezérlővel tudjuk a null-átmenethez képest állítani. A vezérlés megoldására ma már a legkülönbözőbb integrált áramkörök állnak rendelkezésünkre. A motor armatúrakörének induktív jellege miatt a motoráram null-átmenete φ szöggel késik a feszültség null-átmenetéhez képest.

Egy triac-kal és diszkrét áramköri elemekkel megvalósított kapcsolást mutatunk be a 2.22. ábrán. Amikor a motor áramának null-átmenete után a triac kialszik, a C1 es C2 kondenzátor töltődni kezd a P1 potenciométeren és az R2 ellenálláson keresztül. Ha a C2 kondenzátor feszültsége eléri a diac (DI) küszöbfeszültségét, egy áramimpulzust ad a triac gyújtóelektródájára és begyújtja azt. A gyújtás szögét, ill. a gyújtáskésleltetés idejét a P1 potenciométerrel lehet beállítani.



2.22. ábra. Egyszerű egyfázisú szaggató kapcsolás

Sok esetben igény, hogy a névleges pont környékén a gép egyen- ill. változófeszültségről táplálva azonos fordulatszámmal járjon. Ez a követelmény a gerjesztőtekercsek megcsapolásával elégíthető ki (2.22. ábra). Az ábrába berajzoltuk egy lehetséges zavarszűrési megoldást is ($C1 \approx 100 \text{ nF}$, $C2 = 5..10 \text{ pF}$, $C3 \approx 100 \text{ nF}$).



2.22. ábra. A univerzális motor és zavarszűrőjének kapcsolása