

Budapesti Műszaki Főiskola

Bánki Donát Gépészmérnöki
Főiskolai Kar

Nagy István, f. adj.

**MECHATRONIKAI
PÉLDATÁR**

BUDAPEST
2001

1. KIADÁS

Lektorálta: Dr. Bencsik Attila

ELŐSZÓ

Ez a példagyűjtemény a Budapesti Műszaki Főiskola, Bánki Donát Gépészmérnöki Kar keretén belül, kiegészítésként használatos a Mechatronika Alapjai tantárggyal kapcsolatban, mint példagyűjtemény. Mivel gépészmérnöki karról van szó, a példák nagy része is inkább az ezzel kapcsolatos témakörökhöz kötődik, követve azt a tendenciát, hogy manapság a gépészetben is egyre nagyobb mértékben használatosak a villamos motorok. A példákban az elméleti levezetések helyett, inkább a gyakorlati dolgokra összpontosítottam. A megoldott példák mintapéldaként szolgálnak, és nagyon fontosak a hozzájuk tartozó megjegyzések, magyarázatok. Az egyes példák három csillaggal (***) vannak elválasztva egymástól, míg az egyes egymáshoz közel álló témakörök csak egy csillaggal (*).

Természetesen a gyakorlatot, egy bizonyos fokú elméleti felkészülés nélkül nem lehet elképzelni, ezért az egyes fejezeteknél a bevezetésben megtaláljuk, hogy milyen irodalomból tudunk felkészülni az adott részhez tartozó elméletre.

A jegyzet nem egy egészét képezi a mechatronikával kapcsolatos témaköröknek, hanem egy, az intézetünkben használatos ún. testreszabása a megadott témának.

A szerző.

TARTALOM

ELŐSZÓ	3
TARTALOM	4
I. MECHATRONIKA ALAPJAI.....	6
1. MÁGNESES TÉR HATÁSA	6
<i>Ampère tapasztalati törvénye</i>	6
<i>Mágneses indukció</i>	6
<i>Mágneses fluxus</i>	7
<i>Elektromágneses indukció</i>	7
Mozgási indukció	7
Nyugalmi indukció	8
Önindukció	8
Kölcsönös indukció	8
2. EGYENÁRAMÚ GÉPEK	13
<i>Alapfogalmak</i>	13
<i>Egyenáramú motorok indítása</i>	19
<i>Egyenáramú motorok fordulatszám változtatása</i>	21
<i>Egyenáramú motorok fékezése</i>	22
Generátoros fékezés	22
Ellenállásos fékezés	22
<i>További gyakorlásra szolgáló példák</i>	23
<i>Villamos motorok és villamos vezetékek melegedése</i>	27
Villamos áram hőhatása	27
Villamos motor melegedése	30
<i>Villamos motorok kiválasztása</i>	31
A munkapont megállapítása, stabilis, labilis üzemmódok	31
stabilis üzem	32
labilis üzem	32
<i>Villamos motor kiválasztása melegedés szempontjából</i>	34
3. VÁLTAKOZÓ ÁRAMÚ GÉPEK	43
<i>Homogén mágneses térben, két pólus között forgó légmagos</i> <i>vezetőkerettel előállított indukált feszültség</i>	43
<i>A váltakozó áram teljesítménye és ennek mérése</i>	46
TÖBBFÁZISÚ RENDSZEREK	48
<i>Háromfázisú rendszer</i>	48
Csillagkapcsolásnál	48
Delta kapcsolásnál	49
<i>Háromfázisú teljesítmény</i>	49

vonali összetevőkkel:	50
fázis összetevőkkel:	50
<i>Teljesítmény és fogyasztásmérés</i>	51
Teljesítménymérés négyvezetékes rendszerben	52
Teljesítménymérés háromvezetékes rendszerben	52
Teljesítménymérés két wattmérővel	54
A teljesítmény meghatározása fogyasztásmérővel	56
<i>Szinkron gépek</i>	57
Működési elvük	58
Üresjárási üzem	59
Rövidzárás	59
Nyomaték	59
Terhelési szög	60
<i>Szinkron motorok</i>	61
Indítás	61
<i>Aszinkron gépek</i>	66
<i>Háromfázisú csúszógyűrűs gép</i>	66
Működési elv	66
<i>Háromfázisú gépek rövidrezárt forgórészszel</i>	71
A rövidrezárt forgórészű gép üzeme:	71
Indítás	71
Fékezés	71
Fordulatszám változtatás	72
<i>Egyfázisú aszinkron gépek</i>	72
Működési elv	73
TÁRGYMUTATÓ	81
FELHASZNÁLT IRODALOM	83

I. MECHATRONIKA ALAPJAI

1. Mágneses tér hatása

A példák megoldásához szükséges alapismeretek:

Ampère tapasztalati törvénye

Párhuzamos áramok közötti erőhatás:

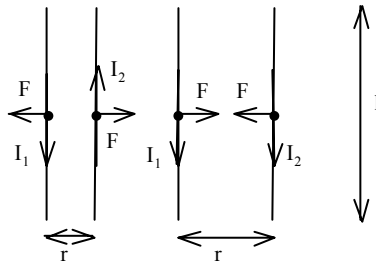
- egyirányú áramok bizonyos F erővel vonzzák egymást.
- ellentétes irányú áramok bizonyos F erővel taszítják egymást.

Ezt az erőt elektrodinamikus erőnek nevezzük, és nagyságát Ampère, francia fizikus állapította meg a köv. összefüggéssel:

$$F = k \cdot \frac{I_1 I_2 l}{r} [N]; \quad (1)$$

Ahol k arányossági tényező, és értéke, - amennyiben az erőt [N]-ban, áramerősséget [A]-ban mérjük-, $k = 2 \cdot 10^{-7}$

I/1.1. ábra



Mágneses indukció

Vizsgáljuk az egyik vezető (I_1) mágneses terét a másik vezetőhöz (I_2) képest úgy, hogy a másik vezető adatait egységnyire választjuk ($I_2 = 1[A]$, $l = 1[m]$). Akkor Ampère tapasztalati törvényéből kiindulva megkapjuk a mágneses indukció képletét:

$$B = k \cdot \frac{I}{r}; \left[\frac{Vs}{m^2}; T(Tesla) \right]; \quad (2)$$

Ez esetben a **k**-nak is dimenziót kell adni, (k [Vs / Am]).

Mágneses fluxus

Egy **A** felületen áthaladó indukcióvonalak összességét mágneses fluxusnak nevezzük.

$$\underline{\Phi} = \underline{B} \cdot \underline{A} \text{ [Vs, W (Weber)]};$$

Megj.:

Ha a mágneses tér nem homogén, akkor megpróbáljuk közel homogén terekre bontani. Természetesen a képletet ekkor integrálos alakban használjuk:

$$\int d\underline{\Phi} = \int_A \underline{B} \cdot d\underline{A};$$

Elektromágneses indukció

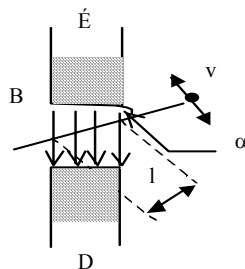
Mozgási indukció

Ha **l** hatásos hosszúságú vezetőt mozgatunk **B** indukciójú mágneses térben **v** sebességgel, akkor a vezetõben

$$U_i = \underline{B} \cdot l \cdot v \cdot \sin\alpha \text{ [V]};$$

nagyságú feszültség indukálódik, ahol **α** az indukcióvonalak és a mozgásirány által bezárt szög.

I/1.2. ábra



Nyugalmi indukció

A vezető áll, a mágneses tér pedig időben változik.

Önindukció

Ha egy tekercsen váltakozó áramot vezetünk keresztül, ez a tekercs körül létrehoz egy váltakozó mágneses teret ami viszont a nyugalmi indukció alapján a tekercsben U_i feszültséget indukál.

$$U_i = L \cdot di / dt ;$$

Kölcsönös indukció

Ha I_1 áramú N_1 menetszámú tekercs mágneses terébe egy N_2 menetszámú tekercset helyezünk, akkor ebben is U_{i2} feszültség indukálódik.

$$U_{i2} = N_2 \cdot \frac{d\Phi_{12}}{dt} ;$$

Φ_{12} - az I_1 által létrehozott mágneses tér N_2 tekercsben záródó része.

* * *

1.1 Egy villamos ívkemence hajlékony tápkábelein $I=20[\text{kA}]$ áram folyik. A kábelek $2[\text{m}]$ hosszúak és $40[\text{cm}]$ -re vannak egymástól. Mekkora a tápkábelek között fellépő erő?

Megoldás:

Amper tapasztalati törvénye alapján:

$$F = k \cdot \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot l}{r} ;$$

ahol k (arányossági tényező) = $2 \cdot 10^{-7}$

$$F = 2 \cdot 10^{-7} \cdot [(20 \cdot 10^3)^2 \cdot 2] / 0,4 = 400 [\text{N}]$$

* * *

1.2. Egy egyenáramú motor forgórész vezetőjében $72[\text{A}]$ áram folyik. Mekkora erő hat erre a vezetékre, ha a mágneses indukció $0,8[\text{Vs}/\text{m}^2]$? A forgórész tengelyirányú hossza $30[\text{cm}]$. (17,3 [N])

Megj.:

A mágneses tér hatása az áramra:

Figyeljük meg, hogy ha az (1) és a (2) összefüggést összevonjuk, és az I_2 áramot általánosan I -vel jelöljük, (vagyis csak egy vezeték környezetében vizsgáljuk az indukciót: $I_1=1$), ezáltal kapjuk a következő összefüggést:

$$F = B \cdot I \cdot l \text{ [N]};$$

Vagyis mondhatjuk, hogy a ***B***- indukciójú mágneses térben lévő, ***I***-áramot vivő, ***l***-hosszúságú vezetékre ható erő nagysága: ***F***.

* * *

1.3. Egy Deprez (ejtsd: Depré) - műszer tekercsének oldalhosszúságai $1,4$ és $2[\text{cm}]$. A $2[\text{cm}]$ hosszú oldal van a mágneses térben. A tekercs menetszáma 80 . A műszer légrésében a mágneses indukció $0,12[\text{Vs}/\text{m}^2]$. Mekkora a tekercset kitérítő nyomaték, ha a tekercsben $20 [\text{mA}]$ áramerősségű áram folyik?

Megoldás:

A kitérítő erő egy tekercsoldalra és egy menetre számítva:

$$F = B \cdot I \cdot l$$

$$F_1 = 0,12 \cdot 0,02 \cdot 0,02 = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ [N]}$$

nyolcvan vezetékre ható erő:

$$F = 80 \cdot F_1 = 384 \cdot 10^{-5} \text{ [N]}$$

A nyomaték a két tekercsoldalra ható erőpárból:

$$M = F \cdot D$$

$$M = 384 \cdot 10^{-5} \cdot 0,014 = 5,37 \cdot 10^{-5} \text{ [Nm]}$$

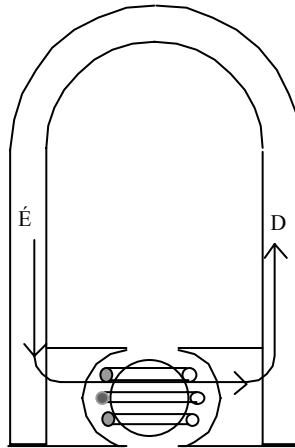
* * *

1.4. Egy Deprez- műszer belső vashengerének átmérője 1,6[cm] magassága 2 [cm]. A henger felületén a mágneses indukció 0,5 [Vs/m²]. Tegyük fel, hogy a henger felületének 2/3-ad részén lép át a fluxus és ezen a felületrészen a mágneses indukció konstans. Mekkora a hengeren átmenő fluxus?

Megj.:

A Deprez (ejtsd Depré) műszer szerkezete egy patkó alakú mágnes melynek végeihez csatlakoznak a lágvas saruk. A saruk közötti térben egy lágvas henger van. A saruk és a lágvas henger közötti légrés homogén. Ebbe a légrésbe helyezik bele a vékony, szigetelt huzalból készült tekercset. A légrés mágneses tere és a tekercsbe vezetett áram kölcsönhatása következtében a villamos nyomaték a tekercset el akarja fordítani egy ún. visszatérítő rúgó ellenében. Mivel a légrésben az indukció mindenütt azonos, a kitérítés csak a tekercsbe vezetett áram (mértendő mennyiség) nagyságától függ. Lásd. I/1.3. ábra.

I/1.3. ábra
A Deprez műszer mágneses köre és lengőtekerce



Megoldás:

A fél hengerpalást felülete (mert egyszerre csak ezen a felületen hat a mágneses indukció):

$$A' = \frac{D}{2} \cdot \pi \cdot h;$$

$$A' = 1,6 / 2 \cdot \pi \cdot 2 = 5,02 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Ennek 2/3-ad részén lép be a fluxus, tehát a hasznos felület:

$$A = 2/3 A' = 3,35 \cdot 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

Maga a fluxus:

$$\Phi = B \cdot A = 0,5 \cdot 3,35 \cdot 10^{-4} = 1,67 \cdot 10^{-4} \text{ [Vs]}$$

* * *

1.5. Egy egyenáramú motor forgórészének átmérője 30[cm], hossza 40[cm]. A forgórész hengeres felületének 150°-os részén lépnek be az indukcióvonalak, amelyeket ezen a felületen homogénak tételezünk fel. Mekkora a mágneses indukció a hengerfelületen, ha a forgórészen átmenő fluxus 0,2 [Vs]? (**1,27 [Vs/m²]**).

* * *

1.6. Egy patkómágnes által kifejtett mágneses indukció $0,8 \text{ [Vs/m}^2\text{]}$. A mágnes szélessége 3 [cm] . A mágnes által létrehozott mágneses térbe egy tekercset helyezünk, melynek menetszáma 20 . Számítsuk ki mekkora feszültség indukálódik a tekercsben, ha ezt a tekercset 40 [cm/s] sebességgel elhúzzuk (az indukciójonalakra merőlegesen) a mágnes teljes szélessége előtt?

Megoldás:

A mozgási indukció alapján:

$$U_i = N \cdot B \cdot l \cdot v$$

$$U_i = 20 \cdot 0,8 \cdot 0,03 \cdot 0,4 = \mathbf{0,192 \text{ [V]}}$$

* * *

1.7. Egy egyenáramú generátor forgórészét 1000 [1/min] sebességgel forgatja a hajtógép. Mekkora feszültség indukálódik a forgórész egy vezetékében, amikor az indukciójonalakat létesítő pólus előtt elhalad? A vezeték határos hossza 40 [cm] , a pólusból kilépő indukciójonalak sűrűsége $1 \text{ [Vs/m}^2\text{]}$. A vezeték a forgórész tengelyétől 20 [cm] távolságra van. **(8,4 [V])**.

* * *

2. Egyenáramú gépek

A példák megoldásához szükséges alapismeretek:

(A példák számolásánál az egyszerűbb számolás érdekében a tekercsek induktivitását elhanyagoljuk, és csak a tekercsek ellenállásával számolunk, továbbá az egyenáramú motoroknál a szénkeféken eső (kb. 0,5[V]) feszültségeket is elhanyagoljuk.)

Alapfogalmak

Veszteségek: - azon teljesítmények, melyek hővé, (...etc.), alakulnak át, ezért a generátorban, mint villamos, a motorban, mint mech. teljesítmények nem hasznosíthatók.

Összetevőik:

1. *vasvesztesség* - a forgórész vastestében, ill. a pólussarukban keletkezik az "n" - fordulatszámmal történő átmágnesezéskor (örvényáram, hiszterézis veszteség,)
2. *armatúra, rézvesztesség* - az armatúra tekercseiben folyó áram okozza (armatúra-tekercselésen fellépő veszteségek.)
3. *gerjesztési veszteség* - a gerjesztő tekercseken fellépő veszteségek. (a fő ill. segédpólus tekercsein fellépő veszteségek és a kompenzáló tekercsen fellépő veszteség).
4. *mechanikai veszteségek* - amelyet az egyes súrlódások (csapágy, kefe), ill. a szellőzés okoz.

* * *

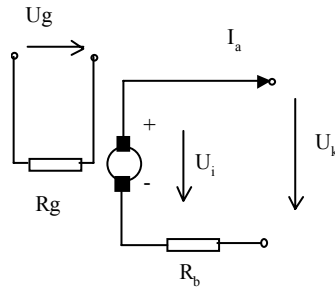
2.1. Egy külső gerjesztésű ($U_g/I_g = 220[V]/2[A]$) egyenáramú generátor kapocsfeszültsége 220[V], indukált feszültsége 230[V], armatúraköri belső ellenállása 0,30[Ω]. A generátor gerjesztőkörön kívüli összvesztessége 3,5[kW].

Mekkora a generátor:

- armatúraárama? **(33,33[A])**
- leadott teljesítménye? **(7,33 [kW])**
- belső teljesítménye? **(7,66 [kW])**
- a meghajtáshoz szükséges mechanikai teljesítmény? **(10,83[kW])**
- a gép hatásfoka? **(65 %)**

A megoldás menete:

I/2.1 ábra



$$I_a = (U_k - U_i) / R_b;$$
$$P_{lead.} = U_k \cdot I_a;$$
$$P_{belső} = U_i \cdot I_a;$$
$$P_{mech.} = P_{lead.} + P_{veszt.};$$
$$\eta = P_{lead.} / (P_{mech.} + P_{gerj.});$$

* * *

2.2. Egy külső gerjesztésű egyenáramú generátor névleges feszültsége 220[V], névleges armatúraárama 50[A], az armatúrakör ellenállása 0,25[Ω], a gerjesztőkör ellenállása 100[Ω] a gerjesztő feszültség 220[V], és a gerjesztőkörön kívüli összvesztés 2,4[kW]. Mekkora a generátor:

1. Indukált feszültsége [232,5 V]
2. Leadott teljesítménye [11 kW]
3. Belső teljesítménye [11,625 kW]
4. A hajtáshoz szükséges mech. teljesítmény [13,4 kW]
5. A gép hatásfoka? [79,5 %]

Megj.:

A generátor névleges feszültsége a névlegesen leadott kapocsfeszültség. Kapcsolási rajz, lásd I/2.1 ábra

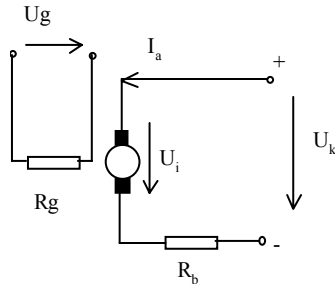
* * *

2.3. Egy külső gerjesztésű egyenáramú motor kapocsfeszültsége 220[V], gerjesztő feszültsége 220[V], armatúraárama 20[A], névleges szögsebessége 100 [rad/s], az armatúraköri ellenállás

0,5[Ω], gerjesztőköri ellenállása 250[Ω], a mechanikai veszteség a felvett teljesítmény öt százaléka. Rajzolja le a motor kapcsolási rajzát, számítsa ki a motor névleges nyomatékát, belső teljesítményét, indukált feszültségét, motor hatásfokát.

Megoldás:

I/2.2 ábra



A motor hálózathálból felvett teljesítménye:

$$P_1 = U_k \cdot I_a = \mathbf{4,4 [kW]};$$

A motor indukált feszültsége:

$$U_i = U_k - (I_a \cdot R_b) = \mathbf{210 [V]};$$

A motor belső teljesítménye:

$$P_b = U_i \cdot I_a = \mathbf{4,2 [kW]};$$

Mechanikai veszteség:

$$P_v = 0,05 \cdot P_1 = \mathbf{220 [W]};$$

A motor tengelyén leadott teljesítmény (hasznos teljesítmény):

$$P_2 = P_b - P_v = \mathbf{3,98 [kW]};$$

Gerjesztőköri veszteség:

$$P_g = U_g^2 / R_g = \mathbf{190 [W]};$$

A motor névleges nyomatéka (kiindulunk a névleges teljesítményből és a névleges szögsebességből):

$$M_n = P_n / \Omega_n = \mathbf{39,8 [Nm]};$$

A motor hatásfoka:

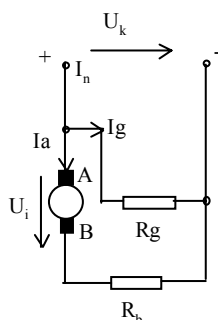
$$\eta = P_2 / (P_1 + P_g) = 86,5 [\%]$$

* * *

2.4. Egy párhuzamos gerjesztésű (mellékáramkörű) egyenáramú motor kapcsolási rajza 440[V], névleges árama 120[A], az armatúraköri ellenállás 0,17[Ω], a gerjesztőköri ellenállás 110[Ω]. Rajzolja fel a motor kapcsolási rajzát. Mekkora feszültség indukálódik a motor A, B kapcsain?

Megoldás:

I/2.3 ábra



Megj.:

Üresjáráskor a párhuzamos gerjesztésű (sönt) motoroknál nagyon kicsi (1-2 %) armatúraáram folyik. Ez az áram általában a csapágyak súrlódását, ...etc, győzi le, esetünkben elhanyagoljuk.

A gerjesztő áram változása alig okoz fluxusváltozást, és a fordulatszám a kapcsolófeszültséggel kb. arányos. Ennek alapján, a párhuzamos gerjesztésű motor a feszültségingadozásokra kevésbé érzékeny, mint a külső gerjesztésű.

Külső gerjesztésű motoroknál, ha a motor szerkezete a fluxus állandóságát biztosítja, (pl. kompenzáló tekercseléssel) a fordulatszám az armatúraáram növekedésével lineárisan csökken. A csökkenés a névleges áramig csak néhány százalék, épp ezért a külső gerjesztésű motorok fordulatszám-tartó jellegűek.

Az ábrából látható, hogy $U_k = U_g$, így könnyen ki tudjuk számolni az I_g – gerjesztő áramot.

$$I_g = U_k / R_g = 4 \text{ [A]};$$

Ebből az armatúraáram:

$$I_a = I_n - I_g = 116 \text{ [A]};$$

A kapcsokon lévő indukált feszültség a névleges terheléskor:

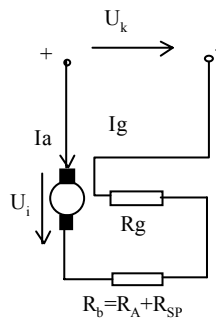
$$U_{AB} = U_i = U_k - (I_a \cdot R_b) = 420,28 \text{ [V]};$$

* * *

2.5. Egy egyenáramú soros (főáramkörű) motor armatúraköri ellenállása $R_A + R_{SP} = 0,189 \text{ [}\Omega\text{]}$, (ahol R_{SP} a segédpólusok tekercseinek ellenállása). A gerjesztő tekercs ellenállása $R_g = 0,084 \text{ [}\Omega\text{]}$. Mérés alapján a leadott teljesítmény $P_2 = 52,3 \text{ [kW]}$, és a fordulatszám 650 [1/perc] . A kapocsfeszültség 550 [V] , az indukált feszültség 521 [V] . Mekkora a motor névleges nyomatéka, az összveszteség, armatúraköri veszteség, gerjesztőköri veszteség? Mekkora a motor hatásfoka?

Megoldás:

I/2.4 ábra



A motor árama:

$$I_a = \frac{U_k - U_i}{R_b + R_g} = 106,2 \text{ [A]};$$

A felvett teljesítmény:

$$P_1 = U_k \cdot I_a = \mathbf{58,42 [kW]};$$

Névleges nyomaték:

$$M_n = P_2 / \Omega_n = \mathbf{769 [Nm]};$$

Gerjesztőköri veszteség:

$$P_g = I_a^2 \cdot R_g = \mathbf{947,4 [W]};$$

Armatúraköri veszteség:

$$P_a = I_a^2 \cdot (R_A + R_{SP}) = \mathbf{2,13 [kW]};$$

Az összveszteséget megkapjuk, ha a felvett és leadott teljesítményeket egymásból kivonjuk:

$$P_{\text{összv.}} = P_1 - P_2 = \mathbf{6,12 [kW]};$$

Ha az összveszteségből kivonjuk a gerjesztési és armatúraköri veszteséget, megkapjuk a súrlódási (s), ventilációs (ve), és vasveszteségek (va) összességét:

$$P_{s,ve,va} = P_{\text{összv.}} - P_g - P_a = \mathbf{3044,3 [W]};$$

Hatásfok:

$$\eta = P_2 / P_1 = \mathbf{89,5 \%};$$

* * *

Egyenáramú motorok indítása

Az indukált feszültség indításkor nulla, tehát a motorban, $\mathbf{I_{az} = U_k / R_b}$ nagyságú zárlati áram alakul ki ami többszörösen meghaladja az $\mathbf{I_n}$ névleges armatúraáramot, (mivel $\mathbf{R_b}$ általában nagyon kicsi). Ezért, hogy a motor tekerceselését ne égessük el a zárlati árammal, az armatúrakörbe beiktatunk egy indító ellenállást ($\mathbf{R_i}$), amit az indítás folyamán fokozatosan iktatunk ki (ahogy az indukált feszültség kialakul). Az indító áram nagysága:

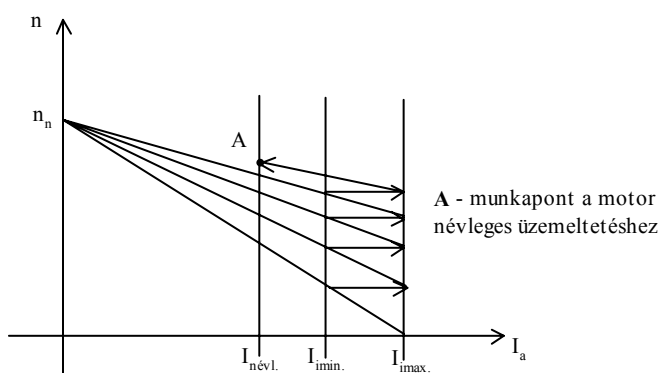
$$I_i = \frac{U_k}{R_b + R_i};$$

Végül az armatúraáram kialakulása:

$$I_a = \frac{U_k - U_i}{R_b + R_i};$$

Ahol az indításkor az $U_i=0$, és $R_i=\max.$, majd R_i fokozatosan csökken, egész nulláig, és U_i növekszik egész addig, amíg az armatúraáram el nem éri a névleges értékét.

I/2.5 ábra



Egyenáramú motorok fordulatszám változtatása

Az egyenáramú motorok fordulatszámát gazdaságosabban lehet változtatni, mint bármelyik váltakozó áramú motorét. A lehetőségeket a következő képlettel írhatjuk fel:

$$n = \frac{U_k - I_a (R_b + R_e)}{k_1 \cdot \Phi},$$

ahol:

R_e - armatúrakörbe beiktatott előtét ellenállás

k_1 - a gép szerkezetéből adódó motorállandó (katalógusadat)

Φ - az armatúrában valóban fellépő fluxus

Ezekből kifolyólag a fordulatszám változtatás módjai:

1. Armatúraköri ellenállás megnövelése előtétellenállással
2. Kapocsfeszültség változtatása (esetleg motorok sorba kapcsolása)
3. Fluxus csökkentés (gerjesztő tekercsel párhuzamosan egy ellenállás beiktatása, gerjesztő fesz. változtatása.).

A fordulatszám változtatásánál elsősorban az U_k kapocsfeszültség változtatása jöhet számításba. Külső gerjesztésnél erre szolgál a *WARD - LEONARD* kapcsolás.

Másodsorban a **soros-párhuzamos** kapcsolás (ha a két motor sorba van kapcsolva, mindegyikre a hálózati feszültség fele jut - amennyiben a motorok egyforma teljesítményűek-, és a motorok ugyanakkora armatúraárammal, és kb. feleakkora fordulatszámmal forognak mint amikor párhuzamosan vannak kapcsolva.). Ez a helyzet az akkumulátoros gépek meghajtásánál, itt a cellák soros-párhuzamos kapcsolgatásával állítjuk elő a különböző kapocsfeszültségeket (pl. villás targonca)

Az R_e előtétellenállással történő fordulatszám szabályzás a veszteségek miatt nem annyira terjedt el. Többnyire kis armatúraáramú motoroknál használatos, ugyanis az előtét ellenálláson fellépő veszteség:

$$P_{e.veszt.} = I_a^2 \cdot R_e;$$

ami hő formájában disszipálódik.

Fluxus változtatással történő fordulatszám szabályozásnál a gerjesztő tekercsel párhuzamosan egy változtatható ellenállású „rezisztort” (ellenállás) kapcsolunk be az áramkörbe. Itt is felmerül a hőveszteség kérdése, de sokkal kisebb - mint az armatúrákörbe beiktatott előtét ellenálláson-, mivel ezen az ellenálláson csak a gerjesztőáram folyik keresztül.

Egyenáramú motorok fékezése

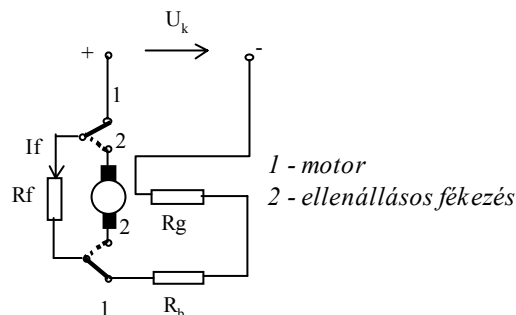
Generátoros fékezés

Ha az állandó kapocsfeszültségű motor ($U_k = \text{kons.}$) fordulatszáma valamilyen okból az n_0 (üresjárási fordulatszám) fölé emelkedik (lejtőn lefelé guruló vonat) ebből kifolyólag megnő az indukált feszültség, nagyobb lesz mint a kapocsfeszültség (U_k) és az eddig motorként működő gép a továbbiakban generátorként fog működni és áramot nyom vissza a hálózatba. Természetesen az ellentétes irányú áram a generátor forgórészére fékező hatással van.

Ellenállásos fékezés

Az R_f - fékező ellenállás segítségével történik, ami az armatúrával párhuzamosan van elhelyezve (lásd I/2.6 ábra). Az átkapcsolás után a forgórészben továbbra is indukálódik feszültség, ami az R_f ellenálláson keresztül olyan áramot indít meg (I_f), amely gátolja a forgórész mozgását (az I_f és a keletkezett mágneses tér kölcsönhatása révén).

I/2.6 ábra



* * *

További gyakorlásra szolgáló példák

2.6. Egy külső gerjesztésű egyenáramú motor kapocsfeszültsége és gerjesztő feszültsége $220[\text{V}]$, armatúraárama $18[\text{A}]$, névleges szögsebessége $120[\text{rad/s}]$, armatúraköri ellenállása $0,3[\Omega]$, gerjesztőköri ellenállása $230[\Omega]$. A mechanikai veszteség a felvett teljesítmény $8[\%]$. Milyen a motor hatásfoka és névleges nyomatéka? [**85%**; **29,54Nm**]

* * *

2.7. Egy párhuzamos gerjesztésű motor kapocsfeszültsége $120[\text{V}]$ névleges árama $80 [\text{A}]$. Az armatúraköri ellenállás $0,2[\Omega]$, a gerjesztőköri ellenállás $130[\Omega]$. Mekkora a motor belső teljesítménye, és hatásfoka, ha a mechanikai veszteség $80[\text{W}]$? [**8,238[kW]**; **84,97%**].

* * *

2.8. Egy egyenáramú külső gerjesztésű generátor meghajt egy egyenáramú soros kapcsolású motort.

A generátor adatai:

$U_{(g)kap}=U_{(g)ger}=220[\text{V}]$, $R_{g(g)}=130[\Omega]$, $R_{b(g)}=0,25[\Omega]$,
 $U_{i(g)}=250[\text{V}]$, a gerjesztőkörön kívüli generátor veszteségek
 $P_{\text{övg}}=3.2[\text{KW}]$

A motor adatai:

$R_{g(m)}=0,55[\Omega]$, $R_{b(m)}=0,035[\Omega]$, $P_{\text{vmech}(m)}=3[\text{KW}]$;

Rajzolja le a kapcsolást. Mekkora a generátor hatásfoka?

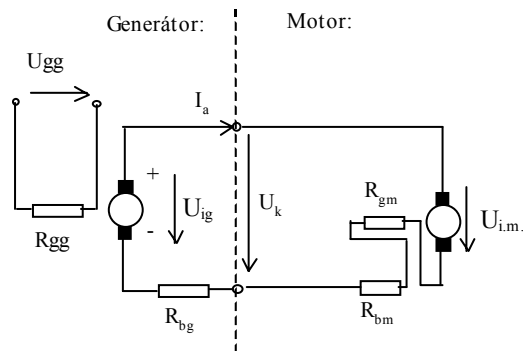
Mekkora a motor hatásfoka?

Megj.:

Az index-ek értelmezését az ábra megadja, ill.: (g)-generátor adatai, (m)-motor adatai.

Megoldás:

I/2.7 ábra



Megj.:

Amennyiben a generátor és motor között lévő összekötő vezetékek ellenállását elhanyagoljuk, látjuk, hogy a generátor kapocsfeszültsége (U_k) megegyezik a motor kapocsfeszültségével. Az armatúraáram (I_a) is ugyanaz lesz a generátornál, mint a motornál, ugyanis az ábrából látszik, hogy egy hurokról van szó. Ezekből kifolyólag a generátor leadott teljesítménye megegyezik a motor felvett teljesítményével ($P_{\text{lead.g.}} = P_{\text{felv.m.}}$). Ezek a tények nagyban leegyszerűsítik számításainkat.

Kiszámoljuk az armatúraáramot:

$$I_a = \frac{U_{i(g)} - U_k}{R_{b(g)}} = 120[A];$$

A motor indukált feszültsége:

$$U_{i(m)} = U_k - I_a \cdot (R_{g(m)} + R_{b(m)}) = 149,8[V];$$

A teljsítmények:

$$\begin{aligned}P_{lead(g)} &= P_{felv(m)} = U_k \cdot I_a = \mathbf{26,4[kW]}; \\P_{felv(g)} &= P_{lead(g)} + P_{összv(g)} = \mathbf{29,6[kW]}; \\P_{ger(g)} &= U_{g(g)}^2 / R_{g(g)} = \mathbf{372,30 [W]}; \\P_{bels(m)} &= U_{i(m)} \cdot I_a = \mathbf{17,976[kW]}; \\P_{lead(m)} &= P_{bels(m)} - P_{\nu mech(m)} = \mathbf{14,976[kW]};\end{aligned}$$

A hatásfokok:

$$\eta_{gen.} = P_{lead(g)} / (P_{felv(g)} + P_{ger(g)}) = 88 \%;$$

$$\eta_{mot.} = P_{lead(m)} / P_{felv(m)} = 56,7 \%;$$

* * *

2.9. Egy egyenáramú külsőgerjesztésű generátor meghajt egy egyenáramú párhuzamos kapcsolású motort.

A generátor adatai:

$$U_{(g)kap} = U_{(g)ger} = 220[V], \quad R_{g(g)} = 120[\Omega], \quad R_{b(g)} = 0,5[\Omega],$$

$$U_{i(g)} = 250[V], \quad P_{\delta v(g)} = 3.2[kW];$$

A motor adatai:

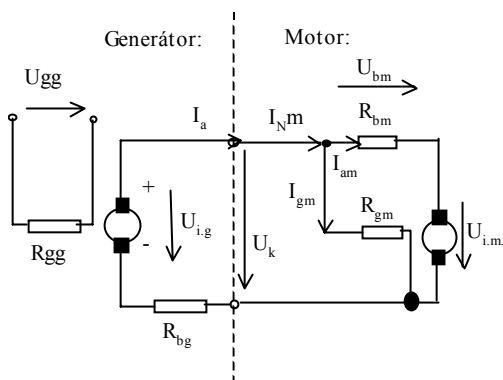
$$R_{g(m)} = 90[\Omega], \quad R_{b(m)} = 0.35[\Omega], \quad P_{vmch(m)} = 3[kW].$$

Rajzolja le a kapcsolást. Mekkora a generátor hatásfoka?

Mekkora a motor hatásfoka?

Megoldás:

I/2.8 ábra



Kiszámoljuk a generátor armatúraáramát, ami egyenlő a motor névleges áramával:

$$I_{a(g)} = I_{N(m)} = \frac{U_{i(g)} - U_k}{R_{b(g)}} = 60[A];$$

A motor indukált feszültsége:

$$\begin{aligned}I_{g(m)} &= U_k / U_{g(m)} = 2,44[A]; \\I_{a(m)} &= I_{N(m)} - I_{g(m)} = 57,56[A]; \\U_{i(m)} &= U_k - (I_{a(m)} \cdot R_{b(m)}) = 199,86[V];\end{aligned}$$

A teljesítmények:

$$\begin{aligned}P_{lead(g)} &= P_{felv(m)} = U_k \cdot I_{a(g)} = 13,2[kW]; \\P_{felv(g)} &= P_{lead(g)} + P_{összv(g)} = 16,4[kW]; \\P_{ger(g)} &= U_{g(g)}^2 / R_{g(g)} = 403,3[W]; \\P_{bels(m)} &= U_{i(m)} \cdot I_{a(m)} = 11,5[kW]; \\P_{lead(m)} &= P_{bels(m)} - P_{vmch(m)} = 8,5[kW];\end{aligned}$$

A hatásfokok:

$$\begin{aligned}\eta_{gen} &= \frac{P_{lead(g)}}{P_{felv(g)} + P_{ger(g)}} = 78,5\% \\ \eta_{mot.} &= P_{lead(m)} / P_{felv(m)} = 64,4\%;\end{aligned}$$

* * *

Villamos motorok és villamos vezetékek melegedése

Villamos áram hőhatása

A vezetőben hőenergiává ill. hőmennyiséggé alakuló villamos munka az alábbi összefüggés alapján számítható

$$W = I^2 \cdot R \cdot t [Ws];$$

A hőtanban a hőmennyiség jele **Q** (A hőmennyiség hőtani és elektrotechnikai egységei közötti összefüggést mérésekkel állapították meg:

$$\begin{aligned}1 \text{ Ws} &= 0,239 \text{ cal} \\ 1 \text{ Wh} &= 3600 \cdot 0,239 \text{ cal} = 0,86 \text{ kcal}.\end{aligned}$$

További alapfogalom, amivel meg kell ismerkednünk a fajhő - ami **1kg** tömegű anyag hőmérsékletét **1 °C**-kal növeli- jele: **c**, mértékegysége [Ws / kg°C].

A fajhő meghatározásából adódik, hogy ha c fajhőjű, m tömegű test hőmérsékletét akarjuk 1°C -szal növelni, akkor:

$$Q = m \cdot c \text{ [cal];}$$

hőmennyiséget kell azzal közölni.

A villamos áram hőhatását Joule törvénye alapján kapjuk:

$$\begin{aligned} Q &= 0,239 \cdot I^2 \cdot R \cdot t \text{ [cal];} & t[\text{s}] \\ Q &= 0,86 \cdot I^2 \cdot R \cdot t \text{ [kcal];} & t[\text{h}] \end{aligned}$$

Megj.:

A munka az erő, és az erő irányában történő elmozdulás szorzata:

$$\begin{aligned} W &= F \cdot s \text{ [Nm];} \\ 1[\text{Nm}] &= 1[\text{J}] \end{aligned}$$

A teljesítmény egységnyi idő alatt végzett munka:

$$P = \frac{W}{t}; \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{Watt} \right];$$

Ezekből:

$$W = P \cdot t \text{ [Ws = Joule];}$$

Összefüggés a Joule és Cal között:

$$\begin{aligned} 1[\text{Ws}] &= 1[\text{J}] = 0,239 \text{ [cal];} \\ 1[\text{Wh}] &= 0,86 \text{ [kcal];} \end{aligned}$$

Tehát a c fajhőjű, m tömegű test hőmérsékletét az R ellenálláson I áramerősségű áram t idő alatt a következő hőmérsékletkülönbséggel növeli:

$$\vartheta_V - \vartheta_K = I^2 \cdot R \cdot t / c \cdot m ;$$

ahol ϑ_V a végső, és ϑ_K a kezdeti hőmérséklet.

A villamos vezetékek a belsejükben hővé alakuló villamos energia hatására melegszenek. Figyelembe kell vennünk, hogy

a vezető melegedés közben a környezetének hőt ad le, (amennyiben nincs tökéletesen hőszigetelve). A hőleadással kapcsolatban még meg kell jegyeznünk, hogy akkor sem jöhet létre hőleadás, vagy csak nagyon minimális, ha a melegedés rendkívül gyors, mint pl. zárlati áramok esetében.

*

2.10. Egy villamos főzőlap ellenállása $80,5[\Omega]$, feszültsége $220[V]$. Mekkora hőmennyiség fejlődik, ha a főzőlap 30 percen keresztül van bekapcsolva?

Megoldás:

Kiszámoljuk a főzőlap áramfelvételét:

$$I = \frac{U}{R} = 220 / 80,5 = 2,73[A];$$

A hőmennyiség:

$$Q = 0,86 \cdot I^2 \cdot R \cdot t = 258,53[kcal];$$

* * *

2.11. Egy $A=95[\text{mm}^2]$ keresztmetszetű nemesített alumínium szabadvezetéken $I=15[\text{kA}]$ zárlati áram alakult ki. Mekkora lesz a vezető hőmérsékletnövekedése, ha a lekapcsolás $t=0,25[\text{s}]$ múlva következik be? A nemesített alumínium vezető fajlagos ellenállása $R_{\rho(al)} = 0,033[\Omega\text{mm}^2 / \text{m}]$, fajsúlya $\gamma = 2,8 [\text{kp} / \text{km mm}^2]$ (1km hosszra számítva), fajhője $c = 920[\text{Ws} / \text{kg } ^\circ\text{C}]$.

Megoldás:

1km hosszra a vezető ellenállása, és súlya:

$$R = \rho_{(al)} \cdot \frac{l}{A} = 0,347 [\Omega];$$
$$m = \gamma \cdot l \cdot A = 266[\text{kg}];$$

A hőfoknövekedés:

$$\vartheta_V - \vartheta_K = I^2 \cdot R \cdot t / c \cdot m = 79,8 [^{\circ}\text{C}];$$

* * *

Villamos motor melegedése

A villamos motor különböző veszteségei hővé alakulnak és a motor egyes részeinek hőfokát a környezet hőmérséklete fölé emelik. A tekercselésben és vastestben a tekercs- ill. vasvesztésből keletkező hőmennyiség a hűtőlevegővel érintkező kisebb hőmérsékletű felületek felé áramlik. Innen a környezet felé távozik.

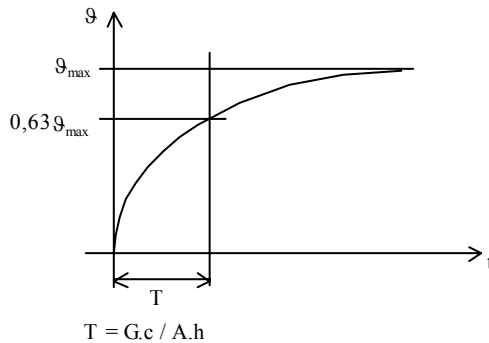
Ha a villamos motort helyettesítő homogén test súlya G a fajhője c , a elsejében hővé alakuló veszteség P_v , a hőátadó felület a környezet felé A , a felület hőátadási tényezője h , és a vizsgált test és a környezet közötti hőmérsékletkülönbség a "melegedés" ϑ , akkor a melegedés differenciálegyenlete a következőképpen írható:

$$P_v \cdot dt = G \cdot c \cdot d\vartheta + A \cdot h \cdot \vartheta \cdot dt ;$$

Egy bizonyos idő elteltével beáll az egyensúlyi állapot egy ϑ_{\max} melegedésnél, ami azt jelenti, hogy a testben keletkezett teljes hőmennyiség a hőátadó hűtő felületeken távozik.

$$\vartheta_{\max} = P_v / A \cdot h$$

I/2.9 ábra



Homogén test melegedési görbéje

*

Villamos motorok kiválasztása

A motor kiválasztásánál figyelembe kell venni a következő tényezőket:

- a hajtott gépnek legjobban megfelelő nyomatékgörbe
- megfelelő motorteljesítmény (ill. nyomaték)
- az indítással kapcsolatos követelmények kielégítése (ill. fékezéssel)
- a fordulatszám változtatás szükségessége (ill. forgásirányváltás)
- a motor mechanikai felépítése, védettség a környezet behatásaival szemben (érintésvédelem, motor geometria, üzemeltetési gazdaságosság)

A munkapont megállapítása, stabilis, labilis üzemmódok

A villamos motor és a vele összekapcsolt munkagép rendszert alkot, melynek együtt -járása a nyomaték-fordulatszám jelleggörbéken elemezhető. Ez a rendszer akkor dolgozik hatékonyan, ha a terhelő nyomaték (M_t) és a hajtómotor nyomatéka (M_m) megegyezik. Vagyis a két görbe metszéspontjában. Ezt a pontot a rendszer munkapontjának (A) nevezzük. Ha ebből a munkapontból, valamely külső behatás által, kitér a rendszerünk, akkor a külső behatás megszűnése után két lehetséges üzemállapot állhat fel:

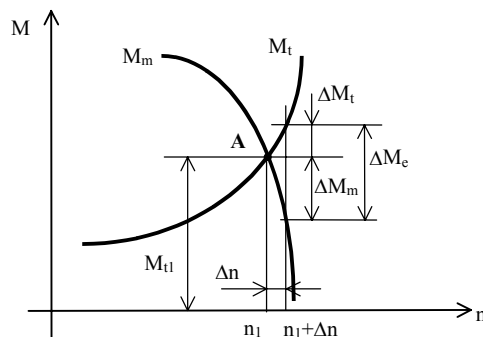
- visszaáll az eredeti állapot, **-stabilis üzem-** (I/2.10
ábra);

- nem áll vissza az eredeti állapot, **-labilis üzem-** (I/2.11
ábra);

stabilis üzem

Ha a fordulatszám n_1 -ről $n_1 + \Delta n$ értékre változik, akkor az M_{t1} terhelő nyomaték ΔM_t -vel nagyobb lesz, a motor nyomatéka viszont ΔM_m -mel csökken. Mivel azonban a motor nyomatéka ΔM_e -vel kisebb a terhelő nyomatéknál, (tehát nagyobb a terhelő nyomaték, ez viszont csökkenti a fordulatszámot) a fordulatszám n_1 -ig csökken és ismét az **A** munkapontba jutunk. Hasonló a helyzet átmeneti fordulatszám csökkenése esetén, amikor a motor nyomatéka lesz nagyobb a terhelő nyomatéknál, vagyis a rendszer felgyorsul az eredeti egyensúlyi állapotig (az **A** munkapontig).

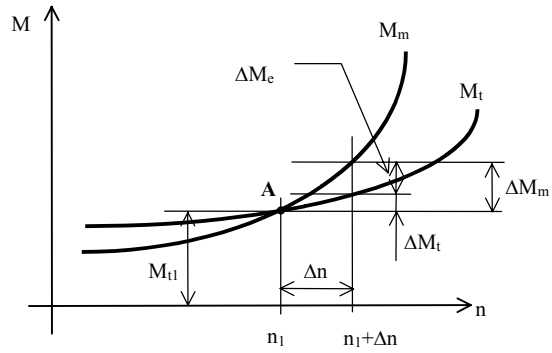
I/2.10 ábra



labilis üzem

A hajtás az egyensúlyi állapotból kitér, és a fordulatszám n_1 -ről $n_1 + \Delta n$ -re változik, akkor a motor nyomatéka ΔM_m -mel, a terhelő nyomaték pedig ennél kisebb ΔM_t -vel nő. Végül a motor nyomatéka ΔM_e -vel nagyobb a terhelő nyomatéknál. Így a motor fordulatszáma állandóan növekszik, "megszalad a motor". A fordulatszám Δn -nel való csökkenése esetén viszont a terhelő nyomaték fékező hatása érvényesül, és a rendszer megállásig lassul.

I/2.11 ábra



*

Villamos motor kiválasztása melegedés szempontjából

A villamos motorok a terhelés folyamán különböző üzemmódokban működhetnek:

- állandó (tartós) üzem (S_1) - az üzemi idő olyan hosszú, hogy a motort névleges teljesítményével terhelve, az eléri az állandósult hőmérsékletét. (A motoros hajtások nagy része ebbe a csoportba tartozik).
- rövid ideig tartó üzem (S_2) - a motort adott terheléssel rövid ideig járattuk, nem éri el a határhőmérsékletet, viszont az ezt követő kikapcsolási idő olyan hosszú, hogy a motor a környezeti hőmérsékletre hűl le.
- szakaszos üzem (S_3) - a kikapcsolási időtartam nem elegendő ahhoz, hogy a motor a környezeti hőre hűljön le. Itt a bekapcsolási időt (b_i) a periódusidő százalékában szokás megadni.

$$b_i\% = t_{\text{ü}} / (t_{\text{ü}} + t_{\text{sz}}) \cdot 100 ;$$

- állandó üzem szakaszos terheléssel (S_6) - a terhelési állapot üresjárási állapottal váltakozik. A szakaszos üzemhez képest a gép az üresjárási veszteséggel növeli a veszteségeit, mégis a gép számára kedvezőbb ez az üzemmód, mint a ki/be kapcsolgatás. Ezt az üzemmódot még "periodikusan állandó" üzemmódnak is szokás emlegetni.

A melegedéssel kapcsolatos motorkiválasztásnál az **állandó üzemi** motornál a terhelést felülről legjobban megközelítő névleges teljesítményű motort kell választani. **Rövid üzemi** terhelésre a gyárak általában külön motorsorozatokat gyártanak.

Periodikusan változó terhelésű üzemben a motor melegedése olyan egyenletesen terhelt motor melegedésével egyezik meg, amelyben a megfelelő hosszúságú t_j idő alatt ugyanannyi veszteségi energia képződik, mint az egyes szakaszok veszteségi energiájának összege. Az ún. **mértékadó veszteséget** (P_{vk}) a köv. összefüggés adja meg:

$$P_{vk} = \frac{\int_0^t P_v \cdot dt}{t_j} ;$$

Ha a terhelés ugrásszerűen változik és szakaszonként állandó, akkor az integrált az egyes szakaszok összegével helyettesíthetjük:

$$P_{vk} = \frac{\sum_{x=1}^n P_{vx} \cdot t_x}{\sum_{x=1}^n t_x};$$

$$P_{vk} = \frac{P_{v1} \cdot t_1 + P_{v2} \cdot t_2 + \dots}{t_1 + t_2 + \dots};$$

Gyakran előfordul, hogy az egyes szakaszokban a motor fordulatszáma, és ezáltal a hűtési viszonyok is megváltoznak. Ekkor figyelembe kell vennünk az egyes szakaszok melegedési időállandóit (T_n), amit a képletünkbe az α_n korrekciós tényező segítségével építünk be, ahol:

$$\alpha_n = T_n / T_{n+1};$$

Ezen az összefüggések tudatában, és amennyiben a vas- és súrlódási veszteségből származó rész állandó, (ami gyakorlatilag feltételezhető), akkor ki tudjuk számolni az egyenértékű tekercsvesztést (I_e), ami nem más mint a terhelő áramok négyzetes középértéke. Behelyettesítve: $P_{vn} = I_n^2 \cdot R$; $\alpha_n = T_n / T_{n+1}$:

$$I_e^2 \cdot R = \frac{I_1^2 \cdot R_{t1} + I_2^2 \cdot R_{t2} + \dots}{t_1 + \alpha_1 t_2 + \alpha_2 t_3 + \dots}; \quad / (1/R)$$

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + \dots}{t_1 + \alpha_1 t_2 + \alpha_2 t_3 + \dots}};$$

Azoknál a motoroknál, amelyeknél a fluxus állandó (egyenáramú sőt, aszinkron motor az üzemi szakaszon), az áram a nyomatékkal arányos, tehát az egyenértékű nyomatéokra érvényes, $M \sim I_e$:

$$M_k = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + \dots}{t_1 + \alpha_1 t_2 + \alpha_2 t_3 + \dots}};$$

Ha a fordulatszám csak kismértékben változik, akkor az egyenértékű teljesítmény is meghatározható az előzőekhez hasonlóan, $P \sim M$:

$$P_k = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + \dots}{t_1 + \alpha_1 t_2 + \alpha_2 t_3 + \dots}};$$

* * *

2.12. Határozzuk meg egy csévéelőgép hajtómotorjának teljesítményét, ha a huzal húzóereje $F=1600[\text{N}]$, dobátmérő $D=0,45[\text{m}]$.

A közlőmű adatai:

$a=120$ (áttétel); $\eta_k=0,75$;

A motor fordulatszáma $n_m=25/\text{s}$.

Megoldás:

A motor tengelyére átszámított nyomaték:

$$M_m \cdot \omega_m = M_{\text{terv}} \cdot \omega_{\text{terv}} \cdot 1/\eta;$$

képlet alapján számítható.

A szükséges motorteljesítmény:

$$P_m = M_m \cdot \omega_m = (M_{\text{terv}} \cdot \omega_m) / a \cdot \eta;$$

Mivel:

$$a = \omega_m / \omega_{\text{terv}};$$

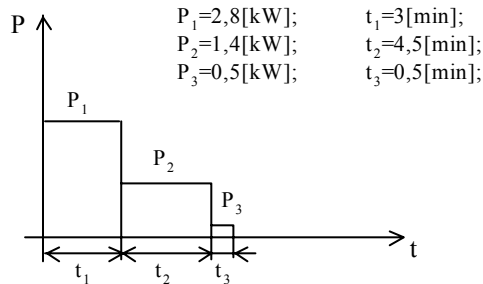
Az előzőbe visszahelyettesítve kapjuk:

$$P_m = F \cdot (D/2) \cdot 2\pi \cdot n_m / a \cdot \eta = \mathbf{628[W]};$$

* * *

2.13. Egy automata eszterga három művelete során az alábbi teljesítményeket igényli, (lásd I/2.12 ábra). Utána ezek a teljesítmények periodikusan megismétlődnek. Határozzuk meg a szükséges motorteljesítményt.

I/2.12 ábra



Megoldás:

Az egyenértékű teljesítmény:

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}} = 2,02[kW];$$

Ha egyéb szempontokat nem kell figyelembe venni, (mint pl.: indítás, max. nyomaték, ...etc.), akkor számunkra megfelel a motorkatalógusból kiválasztani egy 2[kW] teljesítményű motort.

* * *

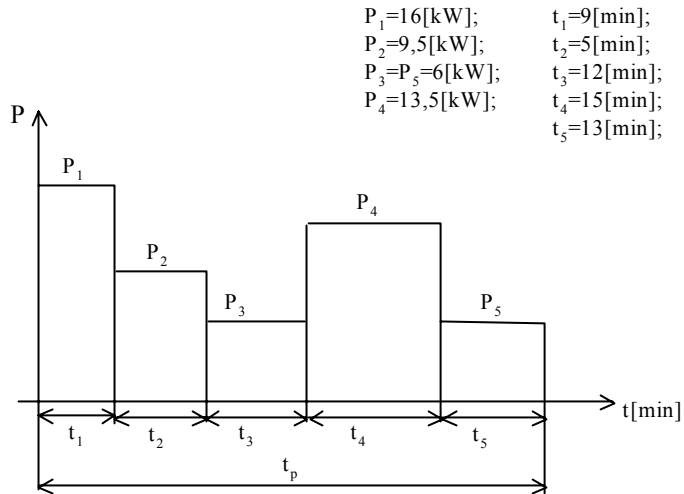
2.14. Ellenőrizzük, megfelel-e egy esztergapad motorja az új technológiához, ha a motor kapocstábláján a következőket látjuk:

$P_n=7,5[kW]; \quad n=1440[\text{ford./min}]; \quad (24[\text{ford./sec}]);$

$U_n=380[V]; \quad \eta=0,865; \quad \cos\varphi=0,855;$

A rendszer adatait lásd I/2.13 ábrán.

I/2.13 ábra



Megoldás:

Kiszámoljuk a motor névleges áramát, és összehasonlítjuk a teljesítményekből kapott egyenértékű árammal. Amennyiben az egyenértékű áram kisebb mint a névleges áram, a motor megfelel a terhelésnek.

A motor névleges árama:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = 15,4[A];$$

A motor egyenértékű árama:

$$I_e = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3 + P_4^2 \cdot t_4 + P_5^2 \cdot t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5}} = 10,88[A];$$

$I_n > I_e$, tehát a motor a terhelésnek **megfelel**.

* * *

2.15. Határozzuk meg egy emelőgép szükséges motorteljesítményét a százalékos bekapcsolási idő figyelembevételével, ha egy cikluson belül:

t₁=4[s]; P₁=29[kW];
t₂=12[s]; P₂=17[kW];
t₃= t_{sz} =68[s]; P₃=0[kW];
t₄=4[s]; P₄=17[kW];
t₅=12[s]; P₅=5[kW];

Megoldás:

A tényleges bekapcsolási idő (százalékosan):

$$b_i\% = [t_{\ddot{u}} / (t_{\ddot{u}}+t_{sz})] \cdot 100 = 32\%;$$

ahol $t_{\ddot{u}} = \text{üzemidő} = t_1+t_2+t_4+t_5 = 32[s]$;

A százalékos bekapcsolási idő megadja, hogy a teljes ciklusidő hány százalékában üzemel a motor. Az alkalmazandó motor szakaszos üzemű, melynek teljesítménye szabványos b_i -hez tartozik (esetünkben $b_{isz}=40\%$).

A 32%-os b_i -hez tartozó egyenértékű teljesítmény:

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_4^2 \cdot t_4 + P_5^2 \cdot t_5}{t_{\ddot{u}}}} = 16,1[kW];$$

A szabványos bekapcsolási időhöz tartozó motorteljesítmény (P_{mn}) a következő arányból tudjuk kiszámolni:

$$P_e^2 / P_{mn}^2 = b_i / b_{isz};$$

Ebből:

$$P_{mn} = (P_e \cdot b_i) / b_{isz} = \mathbf{12,88[kW]};$$

Tehát a szabványos bekapcsolási időből, a valós bekapcsolási időből és az egyenértékű teljesítményből meghatározott elégséges motorteljesítmény szakaszos üzemeltetés esetén **12,88[kW]**.

* * *

2.16. Egy üzemgép a műveletek során a következő teljesítményeket igényli:

- | | |
|----------------------------|-------------------------|
| 1.művelet: $P_1=5,5[kW]$; | $t_1=2[\text{min}]$; |
| 2.művelet: $P_2=3,5[kW]$; | $t_2=3[\text{min}]$; |
| 3.művelet: $P_3=6,5[kW]$; | $t_3=0,5[\text{min}]$; |

A meghajtást egy Δ kapcsolású 380[V] kapcsolófeszültségű és 0,8 teljesítménytényezőjű és 15[A] névleges fázisáramú motor szolgáltatja. A motor hatásfoka 85 %, a szlipje elhanyagolandó. Számolja ki megfelel-e ez a meghajtás az üzemgépnek.

(Igen.)

* * *

2.17. Lásd 2.16. példa, csak a meghajtást egy Y kapcsolású motor szolgáltatja, és az adatok:

- | | |
|---------------------------|------------------|
| 1. művelet: $P_1=3$ [kW]; | $t_1=5$ [min]; |
| 2. művelet $P_2=5$ [kW]; | $t_2=3$ [min]; |
| 3. művelet $P_3=6$ [kW]; | $t_3=0,5$ [min]; |
- (Nem.)

* * *

3. Váltakozó áramú gépek

A példák megoldásához szükséges alapismeretek:

Homogén mágneses térben, két pólus között forgó légmagos vezetőkerettel előállított indukált feszültség

Színuszosan váltakozó áram létrehozására színuszosan váltakozó feszültségre van szükség, amit megkaphatunk, ha egy vezetőkeretet forgatunk egy \mathbf{B} indukciójú homogén mágneses térben állandó szögsebességgel. Amikor a keret az indukcióvonalakkal párhuzamos, a keretben nem indukálódik feszültség, mikor viszont a keret az indukcióvonalakra merőleges, a keretben maximális feszültség indukálódik. A keretben indukálódott feszültséget a keretre kapcsolt csúszógyűrűkön tudjuk mérni voltméter segítségével. A voltméteren leolvasott adat a mérőműszer típusától függően effektív (gyakoribb), vagy közép feszültség.

A színuszosan váltakozó periodikus feszültség (áram) közép, ill. effektív (négyzetes közép) értékei:

$$U_k = \frac{2U_{\max}}{\pi}; \quad (I_k = \frac{2I_{\max}}{\pi};)$$
$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}}; \quad (I_{\text{eff}} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}};)$$

Megj.

A váltakozó áramú gépek az effektívebb teljesítés érdekében általában többpólusúak. Ezeknél a gépeknél a póluspárok száma megadja a színuszosan keletkezett feszültség periodusainak számát. (pl.: ha $p=3$ - azaz, ha a póluspárok száma három-, akkor egy körfordulás alatt 3 periódus játszódik le.) Ebből, n fordulatszám esetén a keletkezett indukált feszültség frekvenciája:

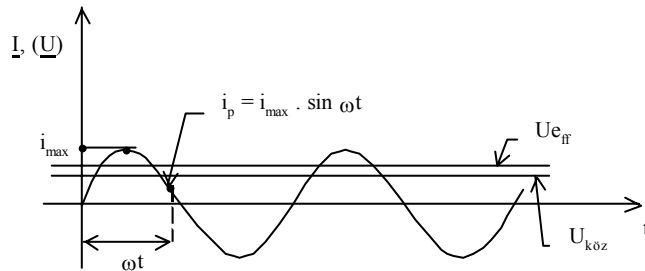
$$f = p \cdot n;$$

Ebből kifejezhetjük n -t, (amit szinkron fordulatszámunknak nevezünk):

$$n_0 = f/p;$$

Ami azt jelenti, hogy ezzel a szinkronfordulatszámmal kell forgatni a p póluspárú gépeket, ha egy bizonyos (pl.: 50 [Hz]) frekvenciájú váltakozó áramot szeretnénk előállítani.

I/3.1 ábra



3.1 Forgassunk egy $B=0,5[\text{Vs} / \text{m}^2]$ mágneses indukciójú homogén erőterben, az erővonalakra merőleges tengely körül, $n=500/\text{min}$ fordulatszámmal egy $N=100$ menetű, $l=20[\text{cm}]$ hatásos hosszúságú vezetőkeretet. A keretoldalak tengelytől mért távolsága $r=15[\text{cm}]$. Határozzuk meg az indukált feszültség maximális értékét, a feszültség frekvenciáját és körfrekvenciáját! Írjuk fel a feszültség változását leíró szinuszfüggvényt!

Megoldás:

Egy vezetőben az indukált fesz.:

$$U_i = B \cdot l \cdot v \cdot \sin\alpha;$$

Vezetőkeretben:

$$U_i = 2 \cdot B \cdot l \cdot v \cdot \sin\alpha;$$

N menetszám esetén:

$$U_i = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot v \cdot \sin\alpha;$$

Amennyiben amplitúdót (vagyis nem időben változó pillanatnyi) értékre vagyunk kíváncsiak:

$$u_{max} = 2N \cdot B \cdot l \cdot v;$$

*

A kerületi sebesség:

$$v = n \cdot 2\pi \cdot r / 60 = 7,85[\text{m/s}];$$

A max. feszültség:

$$u_{\max} = 2N \cdot B \cdot l \cdot v = 157,1[\text{V}];$$

Egy periódus ideje a percnkénti ford. számból:

$$T = 60 / n = 0,12[\text{s}];$$

Ebből a frekvencia:

$$f = 1 / T = 8,33[\text{Hz}];$$

A körfrekvencia:

$$\omega = 2\pi f = 52,36 [\text{rad/s}];$$

A feszültség változását leíró szinusz függvény:

$$u_p = u_{\max} \cdot \sin \omega t = 157 \sin 52,36t;$$

* * *

3.2. Határozzuk meg a $p=1$, $p=2$, $p=3$ póluspárú gépek szinkron fordulatszámát $f=50[\text{Hz}]$ frekvencia esetén! Határozzuk meg mindhárom esetre a gép szögsebességét és a körfrekvenciát.

Megoldás:

$$n_{p=1} = f / p = 50 [\text{ford/s}];$$

$$\omega_{gp=1} = 2\pi n_{p=1} = 314 [1/\text{s}];$$

$$n_{p=2} = f / p = 25 [\text{ford/s}];$$

$$\omega_{gp=2} = 2\pi n_{p=2} = 157 [1/\text{s}];$$

$$n_{p=3} = f / p = 16,66 [\text{ford/s}];$$

$$\omega_{gp=3} = 2\pi n_{p=3} = 104,7 [1/\text{s}];$$

($\omega_{gp=3}$, a gép szögsebessége)

A körfrekvencia mindhárom esetben ugyanaz, mivel ez csak a frekvenciától függ:

$$\omega = 2\pi f = 314 \text{ [rad/s];}$$

Megj.:

A gép szögsebessége (ω_g) és az előállított feszültség körfrekvenciája (ω) csak $p=1$ póluspárú gépnél egyezik meg.

* * *

3.3. Mekkora frekvenciájú és körfrekvenciájú feszültséget állít elő egy $n=500$ [ford./min.] fordulatszámmal forgó $p=2$ póluspárú szinkron generátor? (**16,3[1/s], 104,72[rad/s]**) ;

* * *

A váltakozó áram teljesítménye és ennek mérése

(Rövid ismertetés)

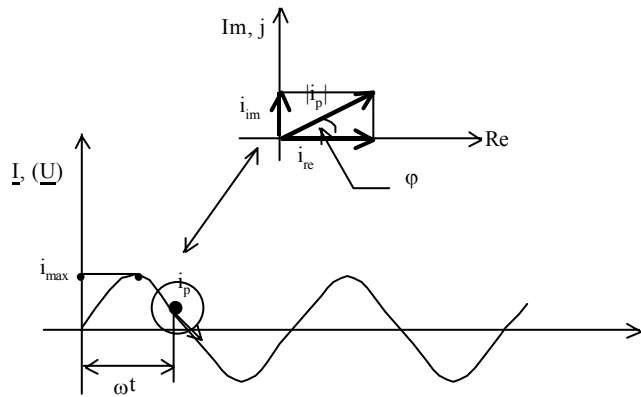
A váltakozó áram teljesítményét a feszültség és az áramerősség effektív értékeiből és a teljesítménytényező ($\cos\varphi$) szorzatából számoljuk ki.

$$P = (u_{\max} / \sqrt{2} \cdot i_{\max} / \sqrt{2}) \cdot \cos\varphi = U \cdot I \cdot \cos\varphi ;$$

Ez azt jelenti, hogy a teljesítmény függ az áram és a feszültség között lévő fázisszögtől. (Pl. Ha $\varphi=0$, $\cos\varphi=1$ és $P = U \cdot I$ ami az egyenáramú teljesítmény és egyben a legnagyobb teljesítmény is (ismerve a \cos függvényt)).

Általában az áram φ szöggel késik/siet a feszültséghez képest, ezért két összetevőre bontható. A feszültséggel fázisban lévő *hatásos* (hasznos, R_e -valós), és a feszültséghez képest 90° -ot késő/siető *meddő* (I_m -képzetes) összetevőkre.

I/3.2 ábra



A I/3.2 ábrát figyelembe véve nyilvánvaló, hogy:

$$I_{h(\text{Re})} = I \cos\varphi ;$$

$$I_{m(\text{im})} = I \sin\varphi ;$$

Ezekből az összetevőkből a feszültséget véve alapul kiszámolhatunk háromfajta teljesítményt:

Hasznos teljesítmény:

$$P_h = U \cdot I_h = U \cdot I \cdot \cos\varphi \text{ [W]};$$

ami a feszültség és a hatásos áramösszetevő szorzata.

Meddő teljesítmény:

$$Q = U \cdot I_m = U \cdot I \cdot \sin\varphi \text{ [VAr (volt amper reaktív)]};$$

A meddőteltjesítmény munkavégzésre nem képes. Induktív meddőteltjesítmény általában önindukciós tekercsek fluxusának előállítására fordítódik, kapacitív meddőteltjesítmény kondenzátorok feltöltését és kisütését végzi. (Az önindukciós tekercs meddőteltjesítményt vesz, a kondenzátor ad.)

Látszólagos teljesítmény:

$$S = U \cdot I \text{ [VA]};$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2};$$

Megj.

Szinkrongenerátorok és transzformátorok látszólagos teljesítményét szokás megadni, mert szigetelésük egy megengedett legnagyobb feszültségre, tekercselésük egy megengedett legnagyobb áramerősségre készül.

*

Többfázisú rendszerek

Bevezetésképpen ismételjük át a jegyzetben leírtakat azokkal a jelölésekkel, amiket a példákban használunk majd.

Háromfázisú rendszer

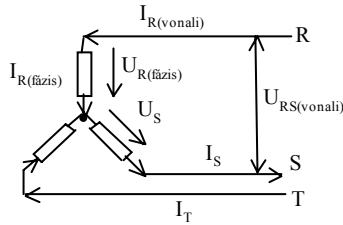
A háromfázisú generátornak 3 egymástól független tekercse van, egymáshoz képest 120^0 -os szögben elhelyezve, melyekre (külön külön is) kapcsolhatjuk a fogyasztókat. Ezekről a kapcsolásoktól függően beszélhetünk **csillag**, vagy **delta** (háromszög) kapcsolásokról. (Többfázisú motoroknál még ismert a tört-csillag kapcsolás.) Mindegyik kapcsolásnál megkülönböztetünk **vonali** (I_v , U_v), illetve **fázis** (I_f , U_f) összetevőket. Ezen összetevők között matematikai összefüggés is felírható.

Csillagkapcsolásnál

A vonali áram megegyezik a fázisárammal, mivel a fogyasztót figyelembe véve egy hurokról beszélhetünk. A feszültségekkel kapcsolatban viszont elmondhatjuk, hogy a vonali feszültség nagysága (vektoriálisan) egyenlő a két hozzá tartozó fázisfeszültségek vektoriális összegével, ami szimmetrikus terhelésnél matematikailag a következőképpen fejezhető ki:

$$\begin{aligned} I_{v(Y)} &= I_{f(Y)}; & (I_{v(Y)} - \text{vonali áram, csillagkapcsolásnál}); \\ U_{v(Y)} &= \sqrt{3} \cdot U_{f(Y)}; & (U_{f(Y)} - \text{fázisfeszültség, csillagkapcsolásnál}); \end{aligned}$$

I/3.3 ábra



$$I_R(\text{vonali}) = I_R(\text{fázis})$$

$$\underline{U}_{RS}(\text{vonali}) = \underline{U}_R(\text{fázis}) + \underline{U}_S(\text{fázis}) \text{ [vektoriálisan]}$$

vagy szimm. terhelésnél:

$$U_{RS}(\text{vonali}) = \sqrt{3} \cdot U_R(\text{fázis}) = \sqrt{3} \cdot U_S(\text{fázis})$$

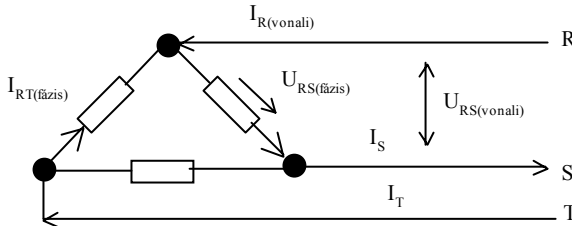
Delta kapcsolásnál

A vonali feszültség megegyezik a fázisfeszültséggel, az áramok viszont, -mivel 3 csomópontról beszélhetünk, összetevőkre bonthatók. Szimmetrikus terhelésnél a matematikai kifejezés:

$$\mathbf{I}_{V(\Delta)} = \sqrt{3} \cdot \mathbf{I}_{f(\Delta)} ; \quad (I_{V(\Delta)} - \text{vonali áram delta kapcsolásnál});$$

$$\mathbf{U}_{V(\Delta)} = \mathbf{U}_{f(\Delta)} ; \quad (U_{f(\Delta)} - \text{fázisfesz. delta kapcsolásnál});$$

I/3.4 ábra



$$U_{RS}(\text{vonali}) = U_{RS}(\text{fázis})$$

$$\underline{I}_R(\text{vonali}) = \underline{I}_{RT}(\text{fázis}) + \underline{I}_{RS}(\text{fázis}) \text{ [vektoriálisan]}$$

vagy szimm. terhelésnél:

$$I_R(\text{vonali}) = \sqrt{3} \cdot I_{RT}(\text{fázis}) = \sqrt{3} \cdot I_{RS}(\text{fázis})$$

Háromfázisú teljesítmény

Itt is ugyanúgy, mint az egyfázisú rendszereknél, beszélhetünk három fajta teljesítményről (P, Q, S), csak ha figyelembe vesszük a

háromfázisú rendszernél a vonali ill. fázisösszetevőket akkor még ez a három teljesítmény is kétféleképpen kiszámolható:

vonali összetevőkkel:

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V \cdot \cos\varphi ; \\ Q &= \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V \cdot \sin\varphi ; \\ S &= \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V ; \end{aligned}$$

fázis összetevőkkel:

$$\begin{aligned} P &= 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \cos\varphi ; \\ Q &= 3 \cdot U_f \cdot I_f \cdot \sin\varphi ; \\ S &= 3 \cdot U_f \cdot I_f ; \end{aligned}$$

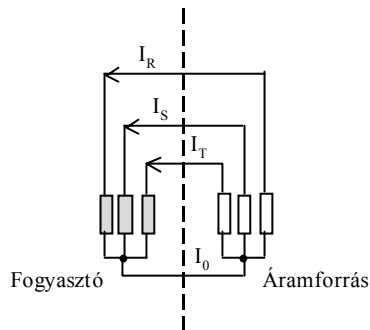
Megj.:

Szimmetrikus terhelés - ha a három fázistekercsre kapcsolt fogyasztók nagyságra, jellegre, ellenállásra megegyeznek, tehát a terhelés mindhárom tekercsen (táp) azonos nagyságú és fázisú. (A fázisszög ilyenkor 120°).

Aszimmetrikus terhelés - ha a három terhelő ellenállás nem azonos.

Általában az áramforrásaink **Y** (csillag) kapcsolásúak. Attól függően, hogy a terhelésünk szimmetrikus, vagy aszimmetrikus, használhatunk 3 vagy 4 vezetékes rendszert.

I/3.5. ábra
négyvezetékes rendszer



Ha a fogyasztók szimmetrikusak, akkor három azonos nagyságú és fáziseltolású áramot kapunk. A három áramot bármikor összeadhatjuk, összegük nulla. A nulla vezetékben **nem folyik** áram $I_0=0$ [V]; - elhagyható.

Ha a terhelés aszimmetrikus, akkor a három áramerősség összege különbözik nullától, de Kirchoff csomóponti t. alapján:

$$I_R + I_S + I_T + I_0 = 0;$$

A nulla vezetékben **folyik áram**. (A fogyasztók egymástól függetlenek).

*

3.4. Mekkora teljesítménnyel hajtja a gőzturbina a 10[kV]-os, 88%-os hatásfokú generátort, ha a generátor 100[A] áramot ad le és a teljesítménytényezője $\cos\varphi=0,7$. Mekkora a generátor hasznos, meddő és látszólagos teljesítménye?

Megoldás:

$$P_{lead.} = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V \cdot \cos\varphi = 1,21[MW];$$

$$P_{felv.} = P / \eta = 1,376 [MW];$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V \cdot \sin\varphi = 1,235[MVA];$$

$$S = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V = 1,73[MVA];$$

* * *

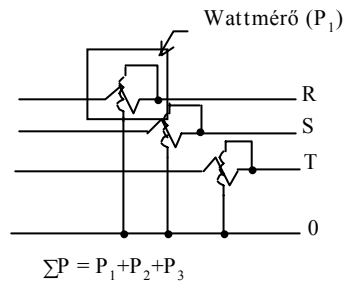
Teljesítmény és fogyasztásmérés

A váltakozó áram teljesítményét általában dinamikus mérőműszerrel (*watt méter*) mérjük, melynek állótekercsén folyik át az áram, lengőtekercsére előtétlen keresztül a feszültséget kapcsoljuk. A lengőrészre ható nyomaték az áramerősség pillanatértékével és a feszültség pillanatértékének szorzatával, azaz a pillanatnyi teljesítménnyel arányos.

Teljesítménymérés négyvezetékes rendszerben

- szimmetrikus rendszerben - egy fázis mérése egy wattmérővel
- aszimmetrikus rendszerben - három wattmérő (lásd I/3.6.ábra)

I/3.6 ábra

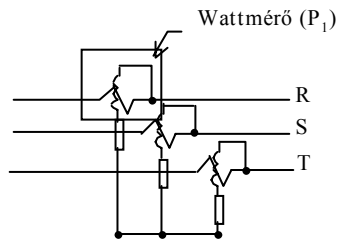


Teljesítménymérés háromvezetékes rendszerben

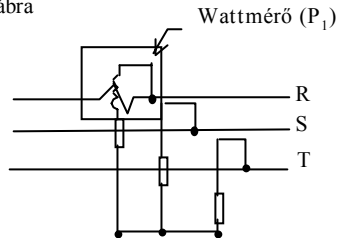
Mesterséges csillagpont létrehozásával. Ha nincs csillagpont, mesterséges csillagpontot hozunk létre a feszültségkapcsok csillagba kötésével.

- három műszeres, ritkán alkalmazott (I/3.7a ábra);
- egy műszeres $R_1=R_2=R_3$; $\Sigma P = 3 \cdot P_1$; (I/3.7b ábra);

I/3.7a ábra



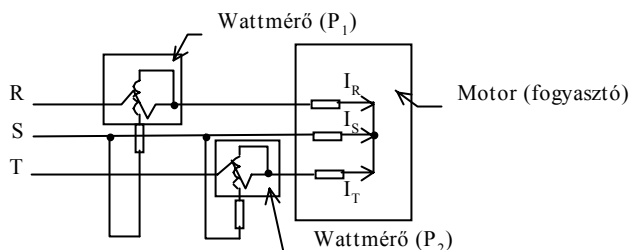
I/3.7b ábra



Teljesítménymérés két wattmérővel

Áron kapcsolás (lásd I/3.8 ábra):

I/3.8 ábra



Megj.:

A vonali feszültségek 30° -kal térnek el a fázisfeszültségektől.
Valamely fázisfeszültség épp merőleges a másik két fázis vonali feszültségére. (lásd I/3.9 ábra)

A pillanatnyi értékekre a Kirchoff törvényekből kiindulva:

$$\begin{aligned}i_R + i_S + i_T &= 0 \\ p &= u_R \cdot i_R + u_S \cdot i_S + u_T \cdot i_T\end{aligned}$$

mivel:

$$\begin{aligned}i_S &= -i_R - i_T \\ p &= u_R \cdot i_R - u_S \cdot i_R - u_S \cdot i_T + u_T \cdot i_T \\ p &= (u_R - u_S) \cdot i_R + (u_T - u_S) \cdot i_T\end{aligned}$$

Ebből:

1. wattmérő: fesz. tekercsre ($u_R - u_S$); áramtekercsre (i_R);
2. wattmérő: fesz. tekercsre ($u_T - u_S$); áramtekercsre (i_T);

Felírva az effektív értékekkel, figyelembe véve, hogy a vonali feszültségek 30° -kal eltérnek a fázisfeszültségektől:

$$\begin{aligned}P_1 &= U_V \cdot I_R \cdot \cos(30^\circ + \varphi); \\ P_2 &= U_V \cdot I_T \cdot \cos(30^\circ - \varphi); \\ \Sigma P &= P_1 + P_2 ;\end{aligned}$$

Megj.:

Szimmetrikus terhelésnél: $I_V = I_T = I_R$, ebből:

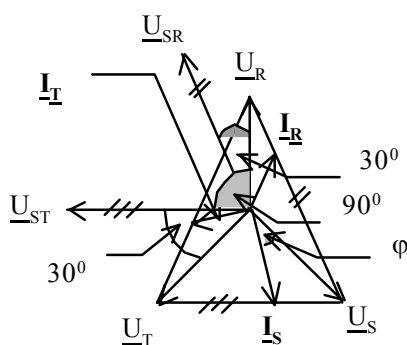
$$P = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V \cdot \cos\varphi; \quad \text{átlagteljesítmény;}$$

Ha $\varphi > 60^\circ$ a két wattmérőről leolvasott értékek kivonódnak:

$$\Sigma P = P_1 - P_2;$$

A mutató is a második wattmérőn először ellenkező irányba mozdul ki.

I/3.9 ábra



*

3.5. Egy 380[V]-os hálózatra kapcsolt motor teljesítményét Áronkapcsolásos módszerrel mérjük. Az egyik wattmérő 2[kW]-ot, a másik 0,8[kW]-ot mér. Mekkora a motor felvett, hatásos, meddő, látszólagos teljesítménye, felvett árama és a $\cos\varphi$?

Megj.

Mivel:

$$P_2 - P_1 = U_V \cdot I_V \cdot \sin\varphi;$$

és,

$$P_2 + P_1 = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V \cdot \cos\varphi;$$

Ebből:

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \cdot \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1};$$

Megoldás:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \sqrt{3} \cdot \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1} = 34,7^\circ;$$
$$\cos \varphi = 0,822;$$

A felvett teljesítmény:

$$P_{\text{felv}} = 2 + 0,8 = \mathbf{2,8[kW]};$$

A vonali áram: ($U_V = 380[V]$)

$$I_v = \frac{\Sigma P}{\sqrt{3} \cdot U_v \cdot \cos \varphi} = 5,18[A];$$

A meddő és látszólagos teljesítmények:

$$Q = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V \cdot \sin \varphi = \mathbf{1,95[kVAr]};$$
$$S = \sqrt{3} \cdot U_V \cdot I_V = \mathbf{3,4[kVA]};$$

(A példák számolásánál az egyszerűbb számolás érdekében a tekercsek induktivitását elhanyagoljuk és csak a tekercsek ellenállásával számolunk.)

* * *

A teljesítmény meghatározása fogyasztásmérővel

A villamos teljesítmény a fogyasztásmérő tárcsafordulatainak meghatározott idő (pl. 1 perc) alatti fordulatszáma, és a fogyasztásmérő C_m műszerállandója alapján is kiszámítható. Egyszerre általában csak a fogyasztók egy része van bekapcsolva. A bekapcsolt teljesítmény és az összes teljesítmény hányadosát *egyidejűségi tényezőnek* nevezik. A mértékegységekre vonatkozólag:

A teljesítmény:
$$P = \frac{n}{C_m} = \left[\frac{\frac{1}{h}}{\frac{1}{kWh}} \right] = [kW]$$

Vagyis a fordulatszámot [1/h], a műszerállandót pedig [1/kWh]-ban adjuk meg.

3.6. A fogyasztásmérő műszerállandója $C_m=601/kWh$. A ventilátoros hőkandalló bekapcsolása után a fogyasztásmérő tárcsája 2 perc alatt 4 fordulatot tesz meg. Mekkora a hőkandalló teljesítménye?

Megoldás:

A fogyasztásmérő fordulatszáma:

$$n = \frac{4.60 \text{ min}/h}{2 \text{ min}} = 1201/h;$$

A hőkandalló teljesítménye:

$$P = \frac{n}{C_m} = \frac{1201/h}{601/kWh} = 2kW;$$

3.7. A televízió bekapcsolása után a fogyasztásmérő tárcsája percenként két fordulatot tesz meg. A fogyasztásmérő műszerállandója $C_m=12001/kWh$. Mekkora teljesítményt vesz fel a televíziókészülék?

Szinkron gépek

A váltakozó áramú villamos energiatermelés legfontosabb gépei. Valamikor fő alkalmazási területük: gőz/víz-turbina hajtású háromfázisú generátorok, de manapság egyre elterjedtebb motorként is. Frekvenciája és fordulatszáma között merev összefüggés van, a forgórész a mágneses mezővel szinkron (együtt) forog.

$$n_0 = 60f / p ;$$

- n_0 - szinkron ford. szám
 f - frekvencia
 p - póluspárok száma

Szerkezeti felépítésük:

Állórész: - tekercseiben keletkezik az indukált feszültség
Forgórész: - egyenárammal gerjesztett elektromágneses rendszer, amely lehet **hengeres** vagy **kiálló pólusú**.

Hengeres: - nagy teljesítményű, magas fordulatszámú turbógenerátorok.

Kiálló pólusú: - általában kis fordulatszámú turbinák. A pólusok készülhetnek lemezelve, vagy tömör acélból. A pólusokon találhatóak a gerjesztő tekercsek.

Működési elvük

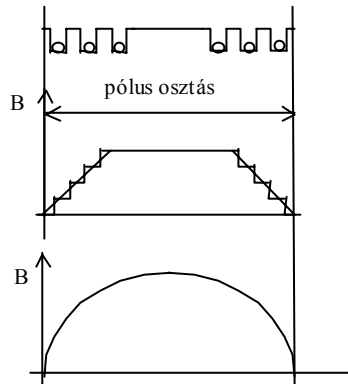
A forgórészt forgatva (gőz, víz, ...) a pólusok mágneses mezője metszi az állórész fázistekercseit, és azokban feszültséget indukál.

Az erővonalak záródási útvonala: - forgórész koszorú → forgórész hornyozás → légrés → állórész fogak → és az állórész koszorún záródnak.

Annak érdekében, hogy az indukált feszültség szinuszos legyen:

1. **Hengeres forgórész** esetében: csak a felület 2/3-ad részét látjuk el tekercseléssel. Így az indukált feszültség lépcsős lesz, amelynek az alapharmonikusa (Fourier analízis) jön számításba. (lásd I/3.10 ábra)
2. **Kiálló pólusok esetében:** a pólusfejek kialakításával, (ezáltal változó lesz a légrés) érik el a szinuszosan váltakozó feszültséget.

I/3.10 ábra



Üresjárású üzem

Ilyenkor a gép kapcsai terheletlenek és a gép feszültsége arányos a pólusfluxussal. A gép üresjárásban felvett teljesítménye a vasvesztés, kefesúrlódás, levegősúrlódás, ventilációs teljesítményt és a gerjesztő teljesítményt foglalja magába.

Rövidzárás

Ha a felgerjesztett szinkron generátor állórészének tekercseit rövidre zárjuk, akkor a gépen átfolyó áram erősségét a pólusfeszültség (U_p) és a szinkron reaktancia (X_{sz}) hányadosa határozza meg.

$$I_z = U_p / X_{sz} ;$$

Rövidrezárású mérésnél a gép felveszi az összes súrlódási és ventilációs veszteségeket, a gerjesztő teljesítményt, a rászertelt gerjesztőgép veszteségeit, valamint az állórész tekercsvesztéseket és a nem számottevő vasvesztéséget.

Nyomaték

Az $M-\delta$ (nyomaték - terhelési szög) jelleggörbén láthatjuk, hogy a hengeres forgórészű szinkron gép nyomatéka a terhelési szög (δ) szinuszával változik. Ha $\delta=90^\circ$ kapjuk a maximális nyomatékot, amit billenő nyomatéknak (M_b) nevezünk. Szinkron gépeknél a billenő nyomaték és a névleges nyomaték aránya:

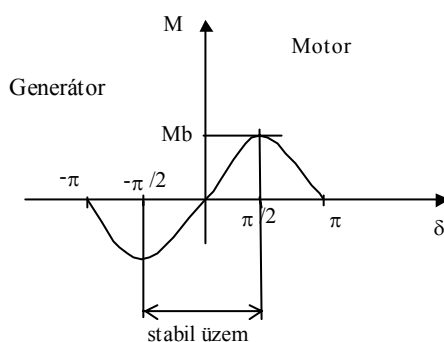
$$M_b / M_n = 1,8 - 2,4$$

Terhelési szög

Az a szög amivel elfordul a terhelt gép forgórésze az üresen járó gépéhez képest. Ha M_t a terhelő nyomaték, és $M_t > M_b$ akkor a gép kiesik a szinkronból és megáll. Ha M_t hajt, ebből következik, hogy δ előjelet vált és a gép generátorba megy át. (lásd I/3.11 ábra)

A kiálló pólusú szinkron gép M - δ jelleggörbéje nem szinuszos.

I/3.11 ábra



Szinkron motorok

Csak a pólusszáma és a hálózati frekvencia által megszabott állandó fordulatszámmal járhat, más fordulatszámon nem jön benne létre állandó egyirányú forgatónyomaték. Ezért indításáról valamiképpen gondoskodni kell.

Indítás

Külön indító motorral hozzák fordulatra a szinkron gépet. (Az indítómotor teljesítménye 5-15%-a a szinkron gép teljesítményének.) Ritkán alkalmazott.

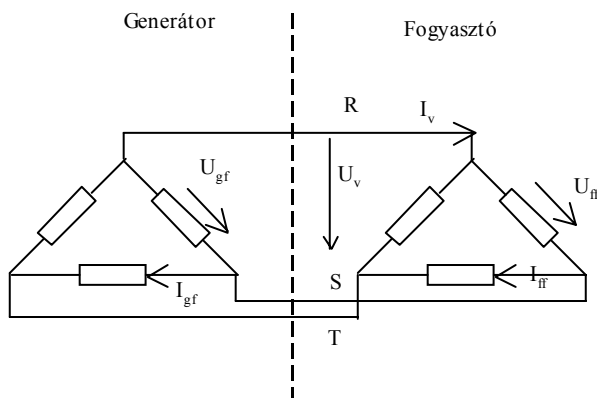
1. Aszinkron indítás - aszinkron motorként indul, és közel szinkron fordulatszámra gyorsul. Miután a gép aszinkron üzemben elérte a legnagyobb fordulatszámot, megszakítjuk az előzetesen rövidre zárt gerjesztő tekercs rövidzárását, és bekapcsoljuk a gerjesztő áramot, aminek következtében a gép néhány lengés után szinkronizálódik. A szinkron motor a δ terhelési szöggel jár és ha a nyomaték hirtelen változik, az új terhelési szög elérése lengések kíséretében játszódik le.

3.8. Egy háromfázisú szinkron generátor fázisfeszültsége $U_{gf} = 220[V]$. A háromfázisú fogyasztó mindegyik fázisa $Z_f = 100[\Omega]$ impedanciájú és $\cos\varphi = 0,8$ teljesítménytényezőjű. Az összekötő vezetékek ellenállása megközelítőleg nulla ohm. Vizsgáljuk meg a következő kapcsolásokat:

	Generátor:	Fogyasztó:
a.)	Δ	Δ
b.)	Δ	Y
c.)	Y	Δ
d.)	Y	Y

- a.) a generátor és a fogyasztó is deltába van kapcsolva:

I/3.12 ábra



Megoldás:

A fogyasztó fázisárama:

$$I_{ff} = U_{ff} / Z_f = 220 / 100 = \mathbf{2,2 [A]};$$

A vonali áram (delta kapcs.):

$$I_v = \sqrt{3} \cdot I_{ff} = \mathbf{3,8 [A]};$$

A vonali feszültség (delta kapcs.):

$$U_v = U_{ff} = U_{gf} = \mathbf{220 [V]};$$

A generátor fázisárama (delta kapcs.):

$$I_{gf} = I_v / \sqrt{3} = \mathbf{2,2 [A]};$$

A látszólagos teljesítmény:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v = 3 \cdot I_{ff} \cdot U_{ff} = \mathbf{1452 [VA]};$$

A hatásos teljesítmény:

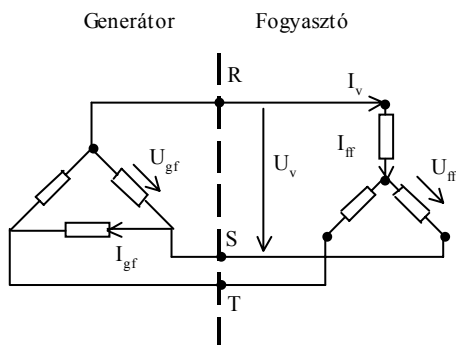
$$P = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v \cdot \cos \varphi = 3 \cdot U_{ff} \cdot I_{ff} \cdot \cos \varphi = \mathbf{1162 [W]};$$

A meddő teljesítmény:

$$Q = S \cdot \sin \varphi = 871 \text{ [var]};$$

b.) A generátor deltába a fogyasztó csillagba van kapcsolva:

I/3.13 ábra



Megoldás:

A fogyasztó fázisárama:

$$I_{ff} = U_{ff} / Z_f$$

A fogyasztó fázisfeszültsége (Y):

$$U_{ff} = U_v / \sqrt{3}$$

A vonali feszültség:

$$U_v = U_{gf}$$

(mivel a generátor Δ -ban van)

A fenti képleteket alkalmazva kapjuk:

$$U_{ff} = 127 \text{ [V]}; I_v = I_{ff} = 1,27 \text{ [A]};$$

A generátor fázisárama (Δ -kapcs.):

$$I_{fg} = I_v / \sqrt{3} = 0,73 \text{ [A]};$$

A látszólagos teljesítmény:

$$S = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v = 3 \cdot I_{ff} \cdot U_{ff} = 484 \text{ [VA]};$$

A hatásos teljesítmény:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v \cdot \cos \varphi = 3 \cdot U_{ff} \cdot I_{ff} \cdot \cos \varphi = 387 \text{ [W]};$$

A meddő teljesítmény:

$$Q = S \cdot \sin \varphi = 290 \text{ [var]};$$

Megj.:

Látható, hogy ha ugyanazon fogyasztót ugyanarra a hálózatra Δ -ból Y-ba kapcsoljuk a teljesítmény harmadrészre csökken.

$$S_b = S_a / 3$$

A c.) és d.) kapcsolásokat hasonlóan végezzük el.

* * *

3.9. Számítsa ki a motor hasznos teljesítményét, fázisáramát, fázisfeszültségét, ha a Δ -ba kapcsolt generátor fázisárama 10[A]. A Y-ba kapcsolt motor teljesítménytényezője 0,8 és a tekercsek impedanciája 10[Ω], hatásfoka 85 %. Az összekötő vezetékek ellenállását elhanyagoljuk.

Megoldás:

A vonali áram egyenlő lesz a motor fázisáramával:

$$I_v = I_{f_{mot}} = \sqrt{3} \cdot I_{f_{gen}} = 17,3[A];$$

A motor fázisárama:

$$U_{f_{mot}} = R_{f_{mot}} \cdot I_{f_{mot}} = 173[V];$$

Ebből a vonali feszültség:

$$U_v = \sqrt{3} \cdot U_{f_{mot}} = 299,6[V];$$

Ezek után a teljesítményt kiszámíthatjuk a vonali vagy a fázisadatokból is:

$$P = 3 \cdot U_{f_{mot}} \cdot I_{f_{mot}} \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot U_v \cdot I_v \cdot \cos \varphi = 7,182[KW];$$

* * *

3.10. A 3.9 példa alapján, csak a generátor Y-ba van kapcsolva a motor Δ -ba.

* * *

3.11. Számolja ki a **Y**-ba kapcsolt motor egy fázisának impedanciáját, ha a **Δ**-ba kapcsolt generátor fázisfeszültsége 220[V], egy tekercsének impedanciája 100[Ω].

Megoldás:

Mivel:

$$U_{fgen.} = 220[V] \rightarrow U_v = \mathbf{220[V]};$$

Ebből a motor fázisfeszültsége:

$$U_{fmot} = U_v / \sqrt{3} = \mathbf{127,16 [V]};$$

A generátor fázisárama:

$$I_{fgen} = U_{fgen} / R_{gen} = 220 / 100 = \mathbf{2,2[A]};$$

A motor fázisárama egyenlő a vonali árammal:

$$I_{fmot} = I_v = I_{fgen} \cdot \sqrt{3} = \mathbf{3,8[A]};$$

Ezekután a motor egy fázisának impedanciája:

$$R_{fmot} = U_{fmot} / I_{fmot} = \mathbf{33,46[\Omega]};$$

* * *

3.12. A 3.11 példa alapján, csak a motor **Δ**-ba van kapcsolva a generátor **Y**-ba.

* * *

Aszinkron gépek (indukciós gépek)

Egyszerű felépítésén és kedvező üzemi jellemzőinél fogva a legjobban elterjedt villamos gépek. A fordulatszám eltér a frekvenciából és a póluspárok számából adódó szinkron fordulatszámtól. Szerkezeti felépítésük alapján két nagy csoportra oszthatjuk őket:

- csúszógyűrűs
- rövidre zárt forgórészű.

Háromfázisú csúszógyűrűs gép

Működési elv

A hálózatra kapcsolt aszinkronmotor állórészében forgó mágneses mező alakul ki, amelynek szinkron fordulatszáma:

$$n_0 = 60 \cdot f_1 / p ;$$

n_0 - szinkr. ford. szám

f_1 - hálózat frekvenciája (ált. 50Hz)

p - gép póluspárjainak száma

A forgó mágneses mező erővonalai metszik az állórész és forgórész tekercseit, és bennük feszültséget indukálnak. A forgórész tekercseiben indukált feszültség a forgórész tekercselés zárt áramköreiben áramot indít. A forgórész árama és a forgó mágneses mező egymásra hatásából erő, ill. villamos nyomaték keletkezik, amely csökkenteni igyekszik a forgó mágneses mező és a forgórész közti fordulatszám különbséget (Lenz törvény). Három esetet különböztethetünk meg ezzel kapcsolatban:

$n < n_0$ - a nyomaték iránya megegyezik a forgásiránnyal (a nyomaték hajt)

$n = n_0$ - nincs nyomaték (egyszerre forognak, az erővonalak nem metszik egymást)

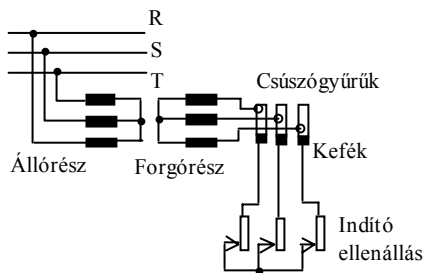
$n > n_0$ - a nyomaték iránya ellentétes a forgásiránnyal (a nyomaték fékez)

A forgó mező és a forgórész fordulatszámának különbségét szlipnek (s) - csúszás- hívjuk, és a nagyságára a következő összefüggés érvényes:

$$s = (n_0 - n) / n_0 ;$$

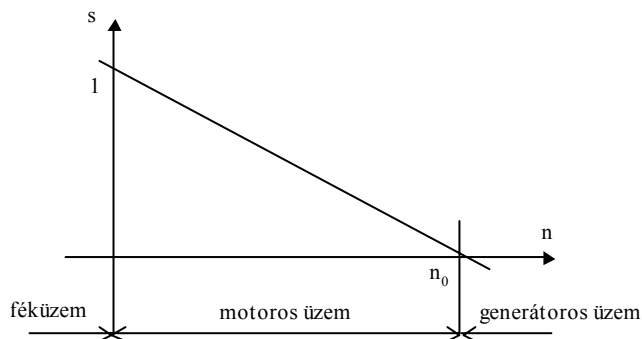
A csúszógyűrűs motor kapcsolási rajzát lásd I/3.14 ábra

I/3.14 ábra



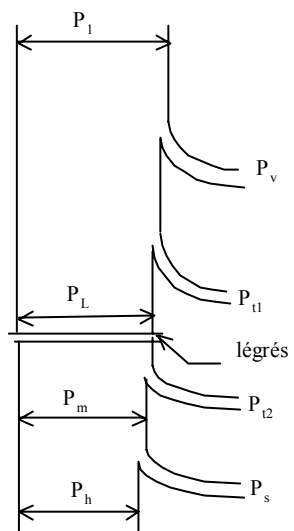
A szlip értéke terheléssel változik. Névleges terhelésnél a gép nagyságától függően 1-10 %. A szlip és fordulatszám közti összefüggést lásd I/3.15 ábra. Ha a forgórész áll $s = 1$, ha szinkron forog $s = 0$. E két érték között van az aszinkron gép motoros üzeme.

I/3.15 ábra



Az aszinkronmotor energiaábrája: lásd I/3.16 ábra -

I/3.16 ábra



- P_1 - A hálózathoz felvett teljesítmény ($= 3U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_1$)
Ebből levonásra kerül a gép vasvesztése, P_v
- P_{t1} - Az állórész tekercseiben keletkezett veszteség ($= 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1$)
- P_L - légrés teljesítmény ($= P_1 - P_v - P_{t1}$)
- P_m - mechanikai teljesítmény ($= P_1 - P_{t2}$)
- P_{t2} - A forgórész tekercsvesztése ($= 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2$)
- P_s - súrlódási és ventilációs veszteség
- $P_h (P_2)$ - hasznos teljesítmény

A nyomaték fordulatszám jelleggörbe, lásd I/3.17 ábra

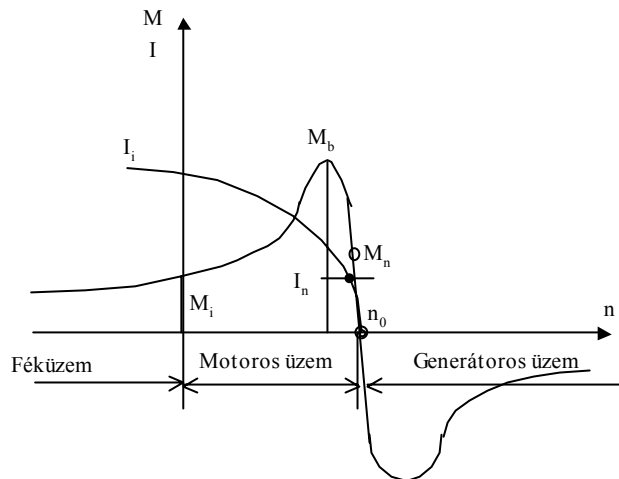
A motoros üzemállapotban a jelleggörbének három jellegzetes pontja van:

- a.) $n=0$ fordulatszámhoz tartozik az aszinkron gép M_i indítónyomatéka
- b.) $n=n_0$ fordulatszámánál a nyomaték nulla
- c.) a görbe maximuma adja az M_b maximális (billenő) nyomatékot, a hozzá tartozó szlip pedig a billenő szlip értékét.

stabil szakasz - ahol a növekvő nyomatékhoz csökkenő fordulatszám tartozik

labilis szakasz - ha a gépet egyre növekvő nyomatékkal terheljük a billenő nyomaték elérése után a gép labilis állapotba kerül.

I/3.17 ábra



A csúszógyűrűs gép üzeme: - A csúszógyűrűs gépnél a következő üzemállapotokat kell figyelembe vennünk:

- *Indítás*
- *Fékezés:*
 - ellenáramú fékezés
 - egyenáramú fékezés
 - Siemens fékkapcsolás
 - AEG fékkapcsolás
 - BBC fékkapcsolás
- *Fordulatszám változtatás*
- *Generátoros üzem.*

Háromfázisú gépek rövidrezárt forgórészsel

Állórészük azonos a csúszógyűrűs gépek szerkezeti felépítésével, a forgórészük viszont kalickás ami lehet: alumíniummal beöntött forgórész, vagy vörösréz rudak két végükön gyűrűvel rövidre zárva. Ismerünk különleges forgórészű aszinkron motorokat is - mint pl. a kétkalickás forgórészű- ezekkel, az aszinkron motor indításával járó hátrányokat próbálják csökkenteni. A rövidrezárt forgórészű aszinkron gép szerkezete egyszerűbb, gyártása könnyebb, hatásfoka és fázistényezője jobb mint a csúszógyűrűs gépeké. Hátránya üzemtani, elsősorban indítási kérdésekben mutatkozik.

A rövidrezárt forgórészű gép üzeme:

Indítás

- *közvetlen indítás:* az állórész tekercseit közvetlen a hálózatra kapcsoljuk így a bekapcsolásnál a motor a rövidzárási, zárlati áramot veszi fel, ami a névleges áram kb. 5-8 szorososa. A gépeket úgy méretezik, hogy rövid időre kibírják ezt az áramot.
 - *csillag - delta indítás:* a tekercsek indításkor csillagba vannak kapcsolva, (így az indítási áramlökés harmadára csökken -de sajnos a nyomaték is.), majd az indítás befejezése után a tekercseket ismét deltába kapcsoljuk.
 - *lágymű indítás:* ohmos ellenállást, vagy induktív reaktanciát alkalmazunk, amit az indítás befejezése után a harmadik fázisból kiiktatunk.

Fékezés

- legelterjedtebb az ellenáramú fékezés, de lehet még generátoros, vagy egyenáramú fékezésről is beszélnünk.

Fordulatszám változtatás

- frekvencia megváltoztatásával (költséges)
- póluspárok számának megváltoztatásával (egymástól független tekercsrendszerekkel).

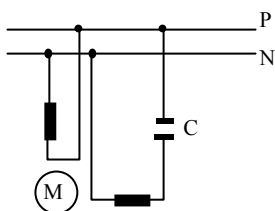
Egyfázisú aszinkron gépek

Kisebb teljesítményű motorok, mint pl asztali ventilátorok, ... etc.

Működési elv

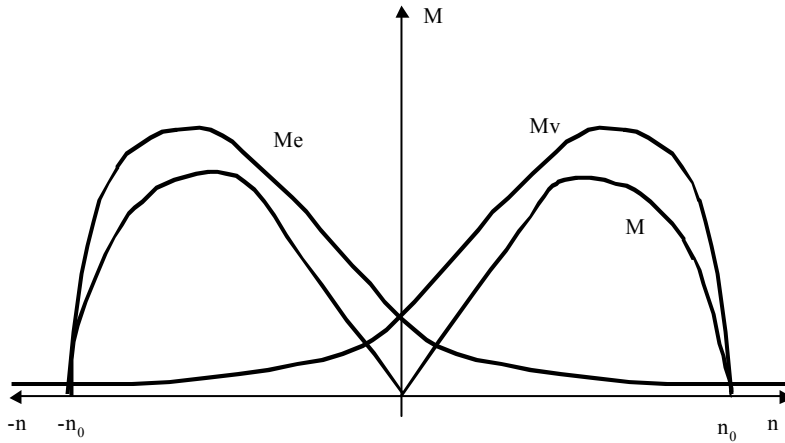
Az állórész tekercselésében egyfázisú áram folyik, ami időben változó de térben álló, *fluktuáló* mágneses mezőt hoz létre. Ha a motor áll, akkor a rövidrezárt forgórész rudazatában két, egymással ellenkező irányú forgó mágneses mező alakul ki, amik egymás hatását lerontják, nincs nyomaték, a motor nem indul. Ha valamelyik irányba külső erővel forgásba hozzuk a forgórészt, az forgásban marad. A másik indítási mód a segédfázis alkalmazása. Az állórészbe a motor tekercseléséhez képest térben eltolva segéd fázistekercselést helyeznek el, amit fojtótekercssel vagy kondenzátorral sorba kötve táplálják a főfázist tápláló hálózathoz (lásd I/3.18 ábra).

I/3.18 ábra



Az egyfázisú aszinkronmotor nyomaték-fordulatszám jelleggörbéje, lásd I/3.19 ábra.

I/3.19 ábra



Az $\mathbf{M-n}$ nyomaték-fordulatszám görbét, mint két nyomatéki görbe eredőjét, az $\mathbf{M_v}$ - veleforgó, és az $\mathbf{M_e}$ - ellenforgó nyomatékok görbéjéből szerkesztettük meg.

3.13. Egy 45[KW]-os hasznos teljesítményű, 6 pólusú, 3 fázisú 50[Hz] frekvenciájú feszültséggel táplált csúszógyűrűs aszinkronmotor névleges fordulatszáma 960/perc. A forgórész névleges fázisárama 95 [A]. A súrlódási és ventilációs veszteség 1,2 [KW].

Mekkora a motor:

- Mechanikai teljesítménye?
- A szinkron ford. száma?
- A szlip?
- A forgórész tekercs vesztesége?
- A névleges nyomatéka?

Megj.:

A megoldásoknál vegyük figyelembe a I/3.16 ábrát.

Megoldás:

Az aszinkronmotor mechanikai teljesítménye:

$$P_m = P_h + P_s = 46,2 \text{ [KW]};$$

A szinkron fordulatszám:

$$n_0 = 60 \cdot f / p = 1000 \text{ [ford. / perc] ;}$$

A szlip:

$$s = (n_0 - n) / n_0 = 0,04 = 4\% ;$$

A légrés teljesítmény:

Mivel a mech. teljesítmény:

$$P_m = P_1 \cdot (1 - s);$$

ebből:

$$P_1 = P_m / (1 - s) = 48,125 \text{ [KW]};$$

A forgórész tekercsvesztesége:

$$P_{12} = s \cdot P_1 = P_1 - P_m = 1,925 \text{ [KW]};$$

Ebből ki tudjuk számolni a forgórész egy tekercsének ellenállását:

Mivel:

$$P_{t2} = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \rightarrow R_2 = \frac{P_{t2}}{3 \cdot I_2^2} = 1925 / (3 \cdot 95^2) = \mathbf{0,071 [\Omega];}$$

Névleges fordulaton a forgórész feszültségének frekvenciája:

$$f_2 = s \cdot f_1 = \mathbf{2[\text{Hz}];}$$

(Ezért "nincs" a forgórészben vasveszteség.)

A tengely névleges szögsebessége:

$$\omega_n = 2\pi \cdot n / 60 = \mathbf{100,48 [\text{rad/s}];}$$

A névleges nyomaték:

$$M_n = P_n / \omega_n = \mathbf{448[\text{Nm}];}$$

* * *

3.14. Egy 4 pólusú, 380[V] feszültségű 50[Hz] frekvenciájú delta-kapcsolású aszinkronmotor üresjárási árama $I_{\bar{u}} = 5,65[\text{A}]$. Üresjárási teljesítménye $P_{\bar{u}} = 350[\text{W}]$, amiből a súrlódási veszteség, $P_s = 50[\text{W}]$. A hálózathoz felvett áram $I = 12[\text{A}]$, a szlip 3,5 %. Az állórész egy fázisának ellenállása $R_1 = 2,99[\Omega]$. A hálózathoz felvett teljesítmény $P_1 = 6390[\text{W}]$.

Mekkora a:

Motor teljesítménytényezője?

Állórész tekercsvesztesége? (üresjárási, terhelt.)

Tengely fordulatszáma?

Hatásfok?

Tengelyen leadott nyomaték?

Megoldás:

A motor teljesítménytényezője:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1} = \frac{6390}{3 \cdot 380 \cdot 12} = 0,809;$$

Az állórész fázisárama:

$$I_{lf} = I_l / \sqrt{3} = 6,93 [A];$$

Az állórész tekercsvesztesége:

$$P_{tl} = 3I_{lf}^2 \cdot R_l = 431 [W];$$

Az állórész ürejárási tekercsvesztesége:

$$P_{tlü} = 3 \cdot (I_{ü} / \sqrt{3})^2 \cdot R_l = I_{ü}^2 \cdot R_l = 95,45 [W];$$

Mivel:

$$P_{ü} \approx P_{vas} + P_s + P_{tlü}$$

ebből:

$$P_{vas} = 350 - 50 - 95,45 = 204,55 [W];$$

A légrésteljesítmény:

$$P_l = P_l - P_{vas} - P_{tl} = 5745,45 [W];$$

Szinkron fordulatszám:

$$n_0 = 60 \cdot f / p = 1500 \text{ /perc};$$

Tengely fordulatszám:

$$n = n_0 \cdot (1-s) = 1447,5 \text{ /perc};$$

Ebből a szögsebesség:

$$\omega = 2\pi \cdot n / 60 = 151,5 \text{ [rad/s];}$$

A mechanikai teljesítmény:

$$P_m = P_l \cdot (1-s) = 5553 [W];$$

A forgórész tekercsvesztesége:

$$P_{12} = s \cdot P_1 = 201,4[W];$$

A tengelyen leadott teljesítmény:

$$P_2 = P_h = P_m - P_s = 5503[W];$$

A hatásfok:

$$\eta = P_2 / P_1 = 0,86 = 86\%;$$

A tengelyen leadott nyomaték:

$$M = P_2 / \omega = 36,32[Nm];$$

* * *

3.15 Egy csúszógyűrűs aszinkronmotor billenő nyomatékához tartozó szlip $s_b = 12,5\%$. A forgórész ellenállás hányszorosát kell a motor indításakor a forgórészbe iktatni, ha azt akarjuk, hogy a motor a billenő nyomatékkal induljon?

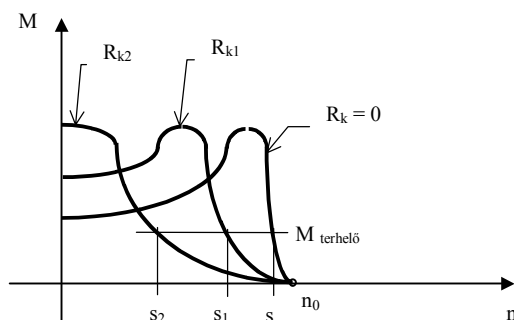
Megoldás:

Megj.:

A forgórész körbe iktatott R_k külső ellenállás hatása a nyomaték-fordulatszám jelleggörbére:

- a billenő nyomaték (M_b) helye balra tolódik
- az indító nyomaték növekszik, lásd I/3.20 ábra

I/3.20 ábra



Adott terhelő nyomatéknál az R_k értékétől függően különböző szlippel jár a motor, általában:

$$R_2 / s = (R_2 + R_k) / s_k ;$$

Ahol R_k a külső ellenállás, s_k az ennek hatására kialakuló szlip, így R_k beiktatásával -bár veszteségesen-, de fordulatszámot tudunk változtatni.

Feladatunkban:

$$\begin{aligned} s_k = I &= [(R_2 + R_k) / R_2] \cdot s_b ; \\ R_2 / s_b &= (R_2 + R_k) / s_k ; \\ R_k &= (R_2 / s_b) - R_2 ; \end{aligned}$$

Legyen:

$$\begin{aligned} R_k &= x \cdot R_2 ; \\ x \cdot R_2 &= (R_2 / s_b) - R_2 ; \end{aligned}$$

Tehát:

$$x = (1 / s_b) - 1 = (1 / 0,125) - 1 = 8 - 1 = 7 ;$$

Tehát hétszeres forgórészköri ellenállást kell beiktatnunk, ha a maximális nyomatékkal akarunk indítani.

* * *

TÁRGYMUTATÓ

A,Á

<i>állórész</i>	57
<i>Ampér tapasztalati törvénye</i>	7
Ampére tapasztalati törvénye	5
armatúraáram.....	16, 17, 19, 23
Áron kapcsolás	53
aszinkron	34, 60, 65, 66, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77
Aszinkron	60

B

<i>billenő nyomaték</i>	58, 68, 78
-------------------------------	------------

Cs

Csillag kapcsolás	47
csillagpont	51

D

Delta kapcsolás.....	48
Deprez	8, 9

E,É

effektív érték	45
egyenáramú gép.....	12
egyenáramú motorok.....	20
<i>egyenértékű áram</i>	37
egyenértékű teljesítmény.....	35, 36, 39
Ellenállásos fékezés.....	21
előtétellenállás.....	20

F

fajhő	26, 27
fázisösszetevő.....	49
fluxus.....	9, 10, 16, 20, 34
<i>forgórész</i>	57
frekvencia	44, 57, 60, 71

G

Generátoros fékezés	21
<i>gerjesztési veszteség</i>	12

H

Háromfázisú rendszer	47
Hasznos teljesítmény	46
<i>hatásfok</i>	75, 77

I,Í

indukcióvonal.....	6, 10, 11
--------------------	-----------

J

<i>Joule</i>	27
--------------------	----

K

Kirchoff.....	50, 53
kondenzátor	46
körfrekvencia	44

L

labilis üzem	31
Látszólagos teljesítmény	46
Lenz törvény.....	65

M

mágneses fluxus	6
mágneses indukció	5
mágneses tér	5, 6, 7, 8, 21
<i>mechanikai veszteségek</i>	12
Meddő teljesítmény	46
motorállandó.....	20
mozgási indukció.....	6
munkapont.....	30

N

<i>nulla vezeték</i>	50
----------------------------	----

Ny

nyomaték	58
----------------	----

P

periódus	42, 44
póluspár	43, 44, 45

R

rövidzár.....	58
---------------	----

S

stabilis üzem.....	31
--------------------	----

Sz

szinkron .42, 44, 45, 56, 57, 58, 59, 60, 65, 66, 74	
Szinkron	56, 58, 76
szinkron fordulatszám.....	44
szlip	66, 68, 74, 75, 77, 78

T

terhelési szög.....	59
---------------------	----

Ü, Ű

üzemmód.....	33
--------------	----

V

<i>vasveszteség</i>	12, 75
villamos áram	27
vonali összetevő	49

W

wattmérő.....	51, 53, 54
---------------	------------

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Klaus Beuth, Olaf Beuth: Az elektronika alapjai, II. Félvezetők
2. Lányi – Magyar: Elektrotechnika (Műszaki Könyvkiadó, Budapest)
3. Lukáts Miklós, ... : Elektrotechnika (BME – gépészmérnöki kar)
4. Dr. Gallai Sándor: Számítógépek áramkörei I. (KKVMF, Műszaki Könyvkiadó, Budapest)
5. H. Huber, und koll.: Elektrotechnikai szakszámítások (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1995.)