

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Automatika Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

ASZINKRON MOTOROK ELEMZÉSE GYAKORLATI SZEMSZÖGBŐL

Szerző: **Bendiák István**
Villamosmérnök BSc. szak, III. évf.

Konzulensek: **Peresztegi Sándor**
Címzetes Egyetemi Docens
Laczkó István
Fejlesztőmérnök

Budapest, 2014.

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	2
Bevezető	4
1. Aszinkron motorok hatásfokára vonatkozó új szabvány előírások^[1]	5
1.1. Új hatásfok osztály besorolás létrejöttének okai	5
1.2. A magas hatásfokú aszinkron motorok előnyei [3]	6
1.3. Frekvenciaváltós üzem [3]	6
2. Aszinkron motorok légrése	7
3. Kalickás forgórészű aszinkron motorok nyomatéki viszonyai	10
4. Aszinkron motorok pólusszám növelésének hatásai	12
4.1. Pólusszám növelés változatlan geometriai méretekkel [7]	12
4.1.1. Kétpólusú motor mágneses köre	12
4.1.2. Nyolcpólusú motor mágneses köre	12
4.2. Aszinkron motorok mágneses körének változásai a pólusszám növelése esetén	14
4.3. Aszinkron motorok teljesítmény tényezőjének változása növekvő pólusszám esetén.	15
4.4. Aszinkron motorok tekercsfejének változása növekvő pólusszám esetén	16
5. Kalickás forgórészű aszinkron motorok forgórészközi ellenállásának változtatása	17
5.1. Forgórész ellenállás változtatása az Alumínium ötvöztetésével ^[8]	18
5.2. Forgórész ellenállás változtatása a rövidrezáró gyűrű magasságának változtatásával	18
5.3. Aszinkron motorok speciális fordulatszám változtatási megoldása ^[9]	19
6. Aszinkron szervomotorok tervezésénél felmerült speciális probléma bemutatása ^[10]	21
7. Aszinkron motorok villamos autók meghajtására^[12]	23
7.1. Tesla nevét viselő vállalat	23
7.2. Villamos energia utántöltésének kérdése	23
7.3. Aszinkron motorok új generációja	24
7.4. Villamos autókban használandó vontató motorok összehasonlítása	24
7.5. Villamos autók versenyben	24
8. Önállóan elvégzett frekvenciaváltós mérések jellemzése	26
8.1. Aszinkron motorok fluxusának vizsgálata 50 Hz és 60 Hz frekvenciákon	30
8.1.1. Aszinkron motor 50 és 60 Hz-es hálózati feszültséggel	30
8.2. Aszinkron motorok mérési eredményeinek feldolgozása informatikai környezetben	31
8.2.1. Aszinkron motorok melegedés mérés elvégzését segítő program	33
9. Aszinkron motorok tervezési kérdései gyakorlati szempontok alapján ^[13]	35
9.1. Általános megjegyzés az aszinkron gép működési elvéhez	35

9.2. Tervezési irányelvek, követelmények	35
9.3. A tervezés szokásos menete	37
9.4. Számítógépes tervezési módszerek	40
10. Összefoglalás	41
11. Ábrajegyzék	42
12. Irodalomjegyzék	44
13. Melléklet	45
 Frekvenciaváltós mérések programjának futtatási eredménye	45
 A frekvenciaváltós mérésekhez készült c-ben megírt program kódolása	47
Rövid részlet	47
 A melegedés mérésekhez készült c-program kódolása (rövid részletben)	54

Aszinkron motorok elemzése gyakorlati szemszögből

Bevezető

A TDK dolgozat elkészítésénél fontos szempont volt, hogy a gyakorlatban előforduló olyan lényeges ismereteket vázoljon, amelyek a meglévő egyetemi tankönyvekben nem találunk meg. A napjainkban gyakran használt motor típus elterjedésének egyik oka egyszerű szerkezete, a kalickás kivitel esetén csúszó kontaktusok hiánya, kevés karbantartási igény. Nikola Tesla szabadalmából (1888) elinduló gyártás és fejlesztés mostanság sem állt meg! A szervóhajtásokban, villamos autóban megjelent különleges kivitelű motorok mutatják életképességét, hogy eltérő követelményű hajtások esetében is megállja a helyét.



1. ábra. Nikola Tesla 1856-1943.

A dolgozatban nélkülözhetetlenek tarjuk konkrét gyakorlati példákon elemezni forgórész ellenállás változtatási lehetőségeket, és ennek hatását a nyomaték-fordulatszám jelleggörbére. Rövid jellemzésben bemutatjuk a frekvenciaváltós üzem egyszerűbb általános jellemzőit. A póluspárok és a meddőteljesítmény kapcsolatát. A fluxus kialakulását kettő és több pólusok esetében, állórész lemezcsomag kihasználtságát. A légrés kérdése: Hogyan lehet optimális légrést kialakítani? Ennek gyártási módszere, mivel a gép meddőteljesítménye felvétele nagyban függ a légrés nagyságától, nem elhanyagolható szempont olyan megvalósítási lehetőség, ami minél kedvezőbb legyen a motorok működése szempontjából. Villamos autók új generációjának megjelenése. Egy új verseny indítása a szinkron és aszinkron meghajtó motorok jellemzőinek összehasonlításával. A tervezési szempontok gyakorlati oldalról való megközelítése, milyen követelményeknek kell megfelelni, mechanikai feltételek teljesítése, rezgés, zaj problémák csökkentése érdekében. A jelen dolgozat egy új szemlélet módot ad a műszaki élet egyik gyakran és elterjedten használt forgógép típusáról.

1. Aszinkron motorok hatásfokára vonatkozó új szabvány előírások^[1]

Új szabvány előírás készült, mivel az energiafelhasználás legjelentősebb szektora a villamos gépek által elfogyasztott villamos energia.

Az EuP (2005/32/EC Irányelv) által rögzített fontosabb határidők.

Ezek az alacsonyabb hatásfok osztályok kivonásának időpontjait rögzítik.

IE1 osztályú motorok 2011.06.15-ig hozhatók forgalomba.

Ezen időpont után csak min. IE2 vagy magasabb osztályú, olyan villamos motor hozható kereskedelmi forgalomba, amelyre az EuP irányelv, és így a szabvány kötelezően vonatkozik.

IE2 osztályú (7,5...375 kW) motorok 2014.12.31-ig hozhatók forgalomba.

Ezen időpont után csak min. IE3 vagy magasabb osztályú (vagy min. IE2+szabályzó) olyan villamos motor hozható kereskedelmi forgalomba, amelyre az EuP irányelv, és így a szabvány kötelezően vonatkozik.

IE2 osztályú (0,75...7,5 kW) motorok 2016.12.31-ig hozhatók forgalomba.

Ezen időpont után csak min. IE3 vagy magasabb osztályú (vagy min. IE2+szabályzó) olyan villamos motor hozható kereskedelmi forgalomba, amelyre az EuP irányelv, és így a szabvány kötelezően vonatkozik [1].

Az IE4 Super Prémium osztály előkészítés alatt van. Lehetséges, hogy ezt a legmagasabb hatásfok osztályt csak állandó mágnesű motorokkal lehet biztosítani.

Az 1.1. táblázatban látható a régivel összehasonlítva az új szabvány változásai.

Hatásfok osztályok	Régi IEC 60034-2	Új IEC 60034-30; 2008 MSZ EN 60034-30; 2009
Szabvány alatti motorok	EFF3	
Normál hatásfokú motorok	EFF2	IE1
Magas hatásfokú motorok	EFF1	IE2
Prémium hatásfokú motorok		IE3

1.1. táblázat. Hatásfok osztályok a régi és az új IEC szabvány szerint.

1.1. Új hatásfok osztály besorolás létrejöttének okai

Az egyik oka az IEC 60034-30:2008 szabvány bevezetésének (tartalmazza a hatásfok osztályokat) hogy a villamos gépeket világszinten összehasonlíthatóvá válnak [2].

A másik oka a Kyoto-i szerződés, mely 2020-ra a CO₂ kibocsátása jelentős csökkenését írja elő a benne résztvevő országoknak, az EU-nak megoldást kellett keresni az energiafogyasztás csökkenésére. Ennek nyomán meghatároztak egy irányelvet, mely hivatalosan a 640/2009 számú EU rendeletben adtak ki.

A 2020 fontos dátum, érinti a nagy autógyártókat is. Jelentős hányadban elektromos autók gyártását követeli meg. A legnagyobb gyártók már napjainkban is rendelkeznek hibrid illetve tisztán elektromos típussal.

1.2. A magas hatásfokú aszinkron motorok előnyei [3]

- A magas hatásfokú aszinkron motorok kevesebb villamos energiát fogyasztanak. Az igazi zöld program, hogy az el nem fogyasztott energiát meg sem kell termelni.
- A magasabb hatásfok alacsonyabb motor hőmérséklettel párosul, amelynek pedig jelentős élettartam növekedés a hatása. Ez közvetetten szintén energia megtakarítást jelent.
- Az energiatakarékos villamos motorok üzembe állítása országos vagy „erőközponti” méretekben, új erőművek üzembe állítását pótolhatja és segít a globális problémák erősödésének mérséklésében.

1.3. Frekvenciaváltós üzem [3]

Az energiatakarékos aszinkron motorok jelentős része frekvenciaváltóról üzemel.

A motor szigetelésére gyakorolt igénybevétel miatt, fontos a megfelelő méretű és helyzetű fázisszigetelők alkalmazása. Ezek állapotát az igényes motor gyártók impregnálás előtt és után is ellenőrzik.

A frekvenciaváltós motoroknál a védelmet a frekvenciaváltó tartalmazza, így megfelelő áramkorlát esetén az indulásoknál elmaradó áramlökések révén a tekercselés élettartama növekedni fog.

A csapágyáramok kialakulásának megelőzésével a csapágymelegedés csökkenthető.

Szívattyúk motorjainak egy részénél ahol a motortengely a víz révén nulla potenciálra kerül, nem alakul ki csapágyáram. A többi esetben szigetelt külső gyűrűvel rendelkező csapágyakat (kerámia csapágy) kell alkalmazni.

A frekvenciaváltós motorok fordulatszáma az üzemeltetés által megkívánt fordulatszámokhoz igazítható, ez kisebb teljesítményfelvételt és kisebb csapágy igénybevételt jelent.

A szívattyús és ventilátoros alkalmazásoknál az elérhető energia megtakarítás akár 50 % is lehet [4].

Ezt a frekvenciaváltós üzemben fellépő többlet energia megtakarítást az új szabvány valamilyen szinten kezeli, hiszen a forgalomba hozatalnál megenged eggyel alacsonyabb motor hatásfok osztályt amennyiben szabályzóval együtt forgalmazzák.

2. Aszinkron motorok légrése

Aszinkron motorok egyenletes légrésének biztosítása

A 1.1. táblázatban az [5] irodalomban található villamos gépek légréseinek méreteire látunk értékeket.

A villamosgép típusa	Teljesítmény	Pólusszám	Légrés, mm
Kalickás aszinkron motor	3 kW	2p=4	$\delta=0,25$
Kalickás aszinkron motor	10 kW	2p=4	$\delta=0,45$
Csúszógyűrűs aszinkron motor	200 kW	2p=6	$\delta=1$
Egyenáramú motor	46 kW	2p=4	$\delta=3$
Hengeres forgórészű szinkron generátor	115 kVA	2p=6	$\delta=2$
Turbógenerátor	> 1 MVA	2p=2	$10 \leq \delta \leq 65$

2.1. táblázat. Villamos forgógépek légrése.

Nem forgó alapgépünk a transzformátor, amelynél a vasmag zárt, elméletileg légrést nem tartalmaz (technológiai illesztési légrés kivételével).

Az előbbieket alapján belátható, hogy a kis értékű és lehetőleg egyenletes nagyságú légrés biztosítása elsősorban az aszinkron gépnél lényeges a meddő teljesítmény kis értéken tartása érdekében.

A táblázatból látható, hogy a turbógenerátor légrése két nagyságrenddel is nagyobb lehet mint az aszinkron motor légrése!

Fontos az adott termék szerelési sorrendjének végiggondolása, utána ez logikusan diktálja a megmunkálás során kiadódó méretek tűréseinek szigorúságát.

Példa kalickás forgórészű motorra [6].

1. Tengely megmunkálása.

1.2. Egyesíteni kell a kiöntött forgórész lemezcsomaggal és utána precízen végleges méretekkel megmunkálni.

2. Motorház (Frame) készítés, itt a megfelelő furatátmérő fontos.

2.2. Tekercselt lemezcsomag készítése, bemelegítjük a motorházba.

2.3. Komplet állórész megmunkálása , lényeges a furatátmérő, furatról kell megmunkálni a motorház pajzsokkal illeszkedő peremeit.

3. Hajtásoldali pajzs megmunkálás (Ho pajzs, DE bracket).

Egy felfogással kell megmunkálni a csapágyfészkek átmérőt és a motorházzal illeszkedő peremet.

4. Hajtás ellenoldali pajzs megmunkálás (Heo pajzs, NDE bracket).

Egy felfogással kell megmunkálni a csapágyfészkek átmérőt és a motorházzal illeszkedő peremet.

A hossz méretek túrésát pedig az befolyásolja, hogy a csapágyaknak feszülés nélkül be kell férni a helyükre, sőt még a csapágytámasztó rugónak is.

Lássuk ebből a folyamatból a tengely a kész forgórész és a megmunkált tekercselt állórész rajzait egy sorozatban gyártott 100-as tengelymagasságú motor esetén.

Aszinkron motoroknál a kis értékű, egyenletes légrés biztosítása, korrekt gyártástechnológiát igényel, meglehetősen szigorúan tűrésezett alkatrészekkel.

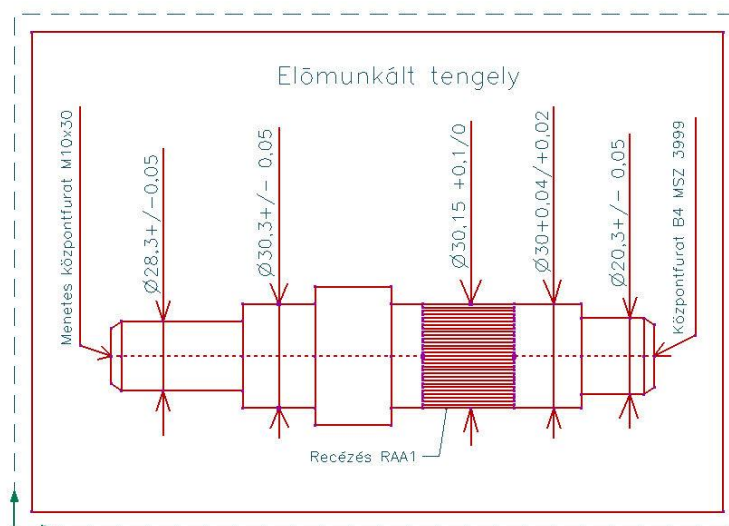
Előmunkált tengely

Az aszinkron motorgyárak közül a hajdanvolt EVIG Dinamóban az volt a tervezési gyakorlat, hogy a 132-es tengelymagasságig a tengelyek nem véglegesen voltak megmunkálva.

A tengelyvégen, és a csapágyhelyeknél 0,3 mm megmunkálási ráhagyást kapott a tengely.

Oka az volt, hogy a forgórész testtel való egyesítésig ill. egyesítéskor létrejöhet minimális deformáció és ez a kis értékű légrésnél komoly légrés aszimmetriát eredményezhet.

A következő ábrán láthatjuk az előmunkált tengelyt a megmunkálási ráhagyásokkal.



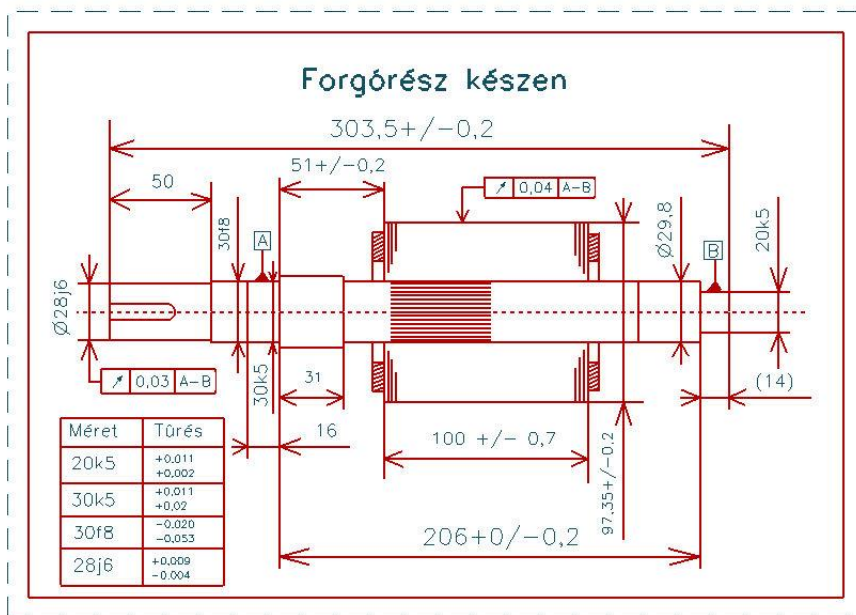
2.1. ábra. Előmunkált tengely elvi kialakítása.

A tengelyvég és a csapágyhelyek végleges megmunkálása a tengely és a forgórész test egyesítése után történt. Ugyanekkor lett megmunkálva a forgórész palást átmérő is.

A tengely illetve a forgórész megmunkálása a tengely végeiben elhelyezett központfuratokról („csúcsfurat”) történik, fontos lépés ezek precíz, szabvány szerinti kialakítása.

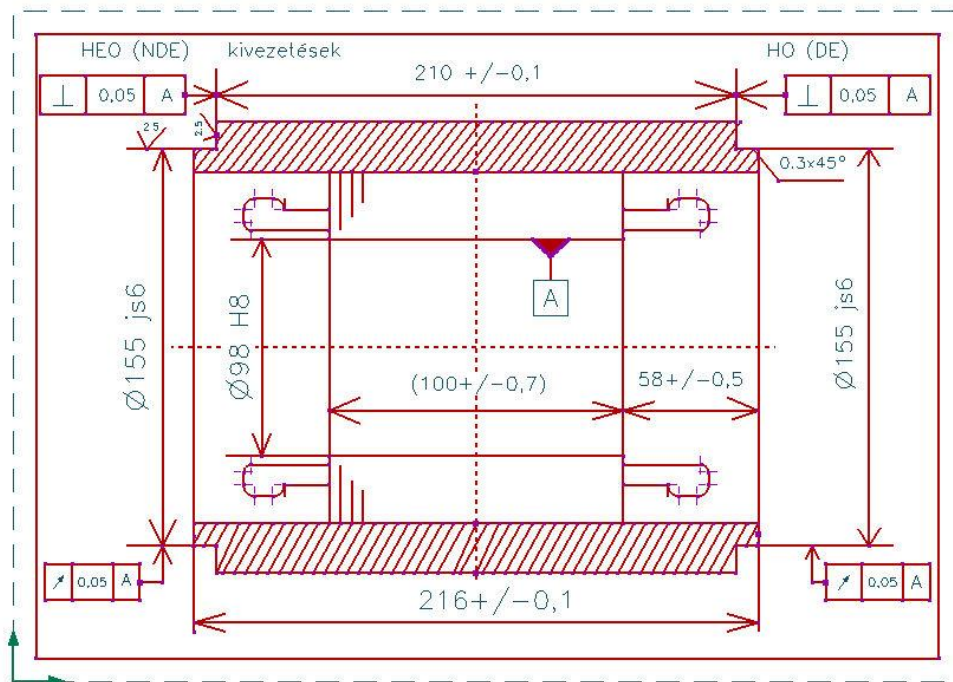
A tűrésezett palástátmérő viszont a csapágyhelyekhez képest van megadva, mivel a valóságos ütés a csapágyazott forgórészen keresztül jön létre, nem pedig a tengely csúcs furataihoz képest.

A következő ábrán a megmunkált forgórész látható.



2.2. ábra. Megmunkált forgórész.

A következő ábrán látjuk a tekercselt állórész rajzát, a gyártáshoz szükséges túrésezett méretekkel.



2.3. ábra. Tekercselt állórész.

A megmunkálások a furatról történnek. A furathoz képest vannak megadva a megmunkált állórész ház vállainak radiális ütései és homlok merőlegesség értékei.

Az aszinkron motorok zajának jelentős részét az okozza, hogy a ház vállainak megmunkálása nem precíz, nem a fenti rajz szerinti.

3. Kalickás forgórészű aszinkron motorok nyomatéki viszonyai

Kalickás forgórészű motorok indítási jellemzői

A különböző forgórész kialakítások az indító nyomatékot befolyásolják.

A jelenleg érvényben lévő szabvány meghatározza a kalickás aszinkron motorokra a nyomatéki és áramfelvételi viszonyokat.

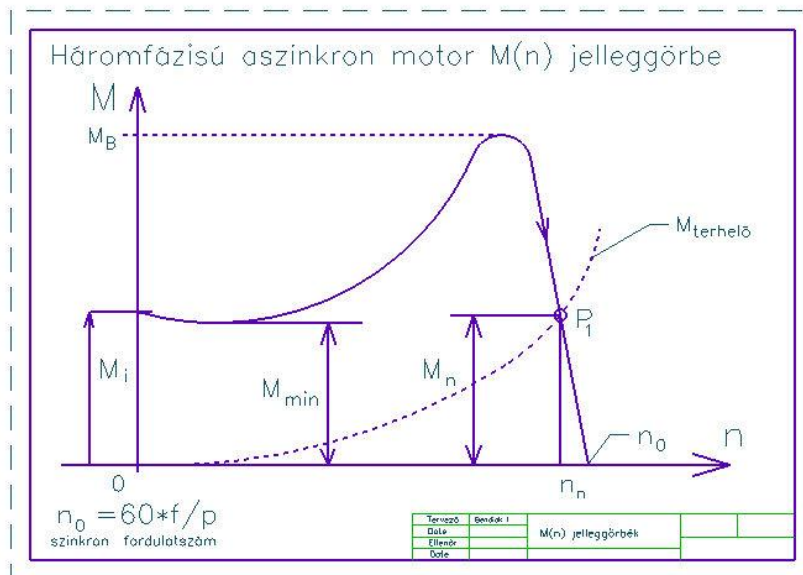
IEC60034-12ed2.0.pdf

Egyfordulatú kalickás aszinkron motorok indítási jellemzői.

Szimbólum	Jellemzők	Jellemzők (magyarul)
J	External inertia	Külső tehetetlenségi nyomaték
p	Number of pole pairs	Póluspárok száma
P_N	Rated output	Névleges teljesítmény ($P_n = M_n \cdot \omega_n$)
S_l	Locked rotor apparent power	Indítási látszólagos teljesítmény ($\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{rz}$) / P_n
T_N	Rated torque	Névleges nyomaték, M_n
T_l	Locked rotor torque	Indító nyomaték (viszony), M_i / M_n
T_u	Pull-up torque	Nyereg-nyomaték (viszony), M_{min} / M_n
T_b	Breakdown torque	Billenő nyomaték (viszony), M_B / M_n

3.1. táblázat. Egyfordulatú kalickás aszinkron motorok indítási jellemzői.

A következő ábrán egy tipikus M-n jelleggörbét ábrázolunk, feltüntettük a jellemző értékeket.



3.1. ábra. Kalickás aszinkron motor tipikus M-n jelleggörbéje.

A következő táblázatokban csak a Normál kivitelű (N) motorokra vonatkozó értékeket mutatjuk be.

Nem adjuk meg a Növelt nyomatékú (H) motorok és Robbanásbiztos "e" kivitelű motorok táblázatos értékeit.

Normál (N) kivitelű motorok

Table 1 – Minimum values of torques for design N

Range of rated output kW	Number of poles											
	2			4			6			8		
	T_l	T_u	T_b	T_l	T_u	T_b	T_l	T_u	T_b	T_l	T_u	T_b
$0,4 \leq P_N \leq 0,63$	1,9	1,3	2,0	2,0	1,4	2,0	1,7	1,2	1,7	1,5	1,1	1,6
$0,63 < P_N \leq 1,0$	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,7	1,2	1,8	1,5	1,1	1,7
$1,0 < P_N \leq 1,6$	1,8	1,2	2,0	1,9	1,3	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
$1,6 < P_N \leq 2,5$	1,7	1,1	2,0	1,8	1,2	2,0	1,6	1,1	1,9	1,4	1,0	1,8
$2,5 < P_N \leq 4,0$	1,6	1,1	2,0	1,7	1,2	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
$4,0 < P_N \leq 6,3$	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,9	1,3	1,0	1,8
$6,3 < P_N \leq 10$	1,5	1,0	2,0	1,6	1,1	2,0	1,5	1,1	1,8	1,3	1,0	1,7
$10 < P_N \leq 16$	1,4	1,0	2,0	1,5	1,1	2,0	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
$16 < P_N \leq 25$	1,3	0,9	1,9	1,4	1,0	1,9	1,4	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
$25 < P_N \leq 40$	1,2	0,9	1,9	1,3	1,0	1,9	1,3	1,0	1,8	1,2	0,9	1,7
$40 < P_N \leq 63$	1,1	0,8	1,8	1,2	0,9	1,8	1,2	0,9	1,7	1,1	0,8	1,7
$63 < P_N \leq 100$	1,0	0,7	1,8	1,1	0,8	1,8	1,1	0,8	1,7	1,0	0,7	1,6
$100 < P_N \leq 160$	0,9	0,7	1,7	1,0	0,8	1,7	1,0	0,8	1,7	0,9	0,7	1,6
$160 < P_N \leq 250$	0,8	0,6	1,7	0,9	0,7	1,7	0,9	0,7	1,6	0,9	0,7	1,6
$250 < P_N \leq 400$	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6	0,75	0,6	1,6
$400 < P_N \leq 630$	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6	0,65	0,5	1,6
$630 < P_N \leq 1\,600$	0,5	0,3	1,6	0,5	0,3	1,6	0,5	0,3	1,6	0,5	0,3	1,6
NOTE The values given are per unit T_N .												

Table 2 – Maximum values of locked rotor apparent power for design N and H

Range of rated output kW	S_l
$0,4 \leq P_N \leq 6,3$	13
$6,3 < P_N \leq 25$	12
$25 < P_N \leq 63$	11
$63 < P_N \leq 630$	10
$630 < P_N \leq 1\,600$	9
NOTE S_l is expressed as a per unit value of P_N (kVA/kW).	

3.2. és 3.3. táblázatok. A szabvány adatai.

4. Aszinkron motorok pólusszám növelésének hatásai

4.1. Pólusszám növelés változatlan geometriai méretekkel [7]

Amennyiben a forgórész átmérőt nem változtatjuk (a geometriai viszonyokat változatlanul hagyjuk), vizsgáljuk meg egy kétpólusú és egy nyolcpólusú állandó mágnesű motor mágneses körében bekövetkező viszonyokat.

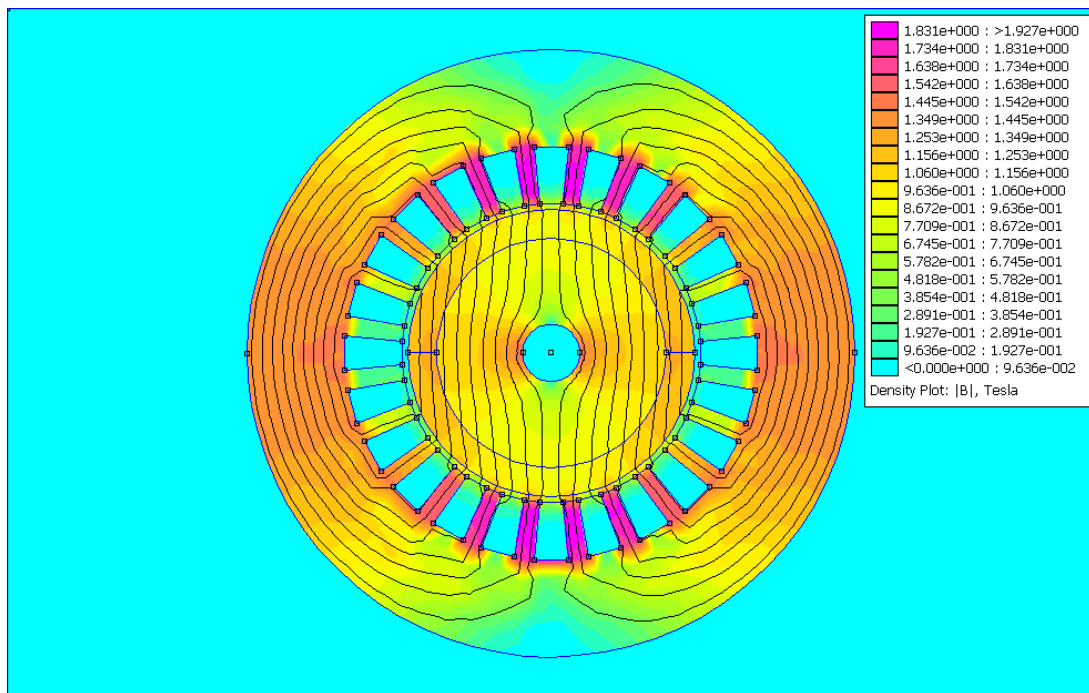
A kétpólusú motor mágneses körének szakaszaiban normális telítési viszonyokat találunk.

4.1.1. Kétpólusú motor mágneses köre

A forgórész koszorú indukció kb. 1,1 Tesla,

A fogak közül 4-4 telítésben van, kb. 1,8 Tesla,

Az állórész koszorú indukció kb. 1,4 Tesla.



4.1. ábra. Kétpólusú állandó mágnesű motor mágneses köre.

Növeljük a pólusszámot nyolcra ($2p=8$) és vizsgáljuk meg a mágneses kör szakaszaiban kialakult viszonyokat.

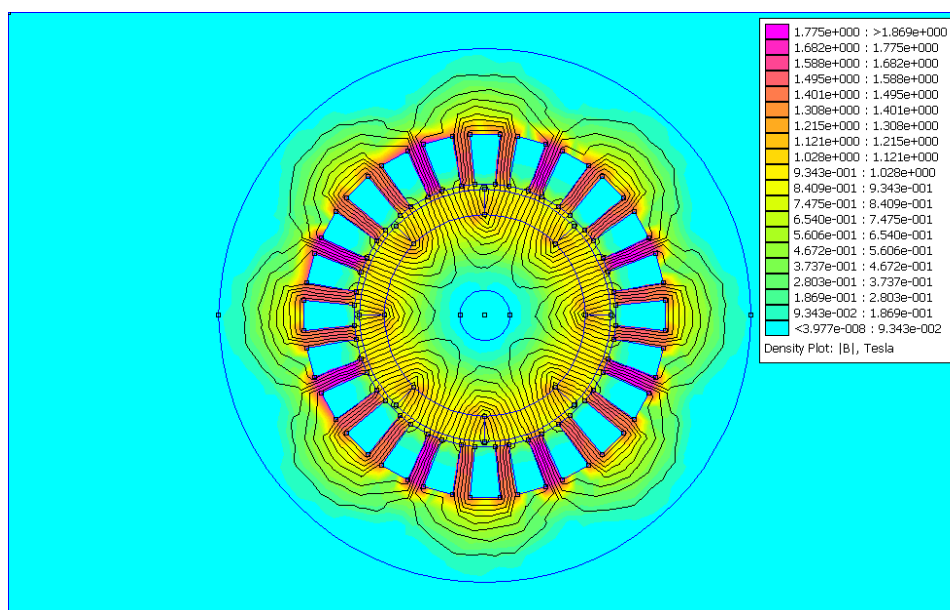
4.1.2. Nyolcpólusú motor mágneses köre

A forgórész koszorúban csak az előző fluxus negyede halad, a mágneses kör kihasználatlan, lehetne erőteljesen csökkenteni a forgórész koszorú magasságát.

A fogak közül nyolcnak a telítettsége megmarad, mivel negyedére csökkent a pólus fluxus, de a pólussal kapcsolódó fogak száma is negyedére csökkent, rajtuk keresztül halad a pólus fluxusa az állórész koszorúba.

Az állórész koszorúban szintén csak a negyede halad a kétpólusú fluxusban létrejött értékhez képest, a koszorú magasságot csökkenteni kell a lemez jó kihasználása miatt.

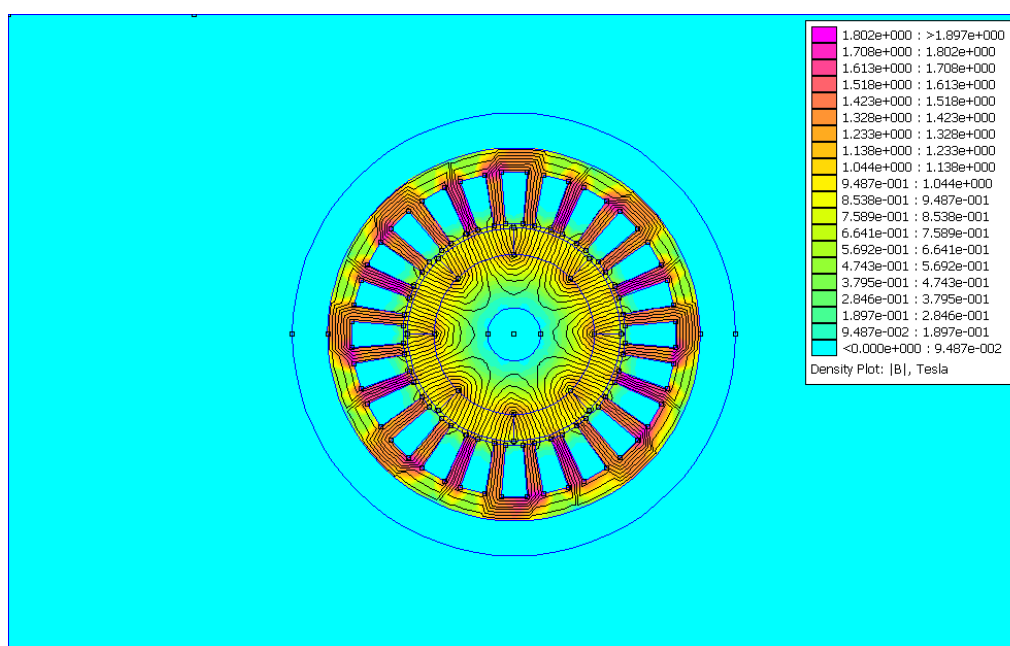
A következő ábra a nyolcpólusú motor mágneses körét mutatja.



4.2. ábra. Nyolcpólusú állandó mágnesű motor mágneses köre.

A következő ábra nyolcpólusú motornál ugyanazon furatátmérő és ugyanazon állórész koszorú indukció mellett azt ábrázolja, hogy az állórész koszorú magasságot kb. felére lehet csökkenteni.

Az ábrából az is látszik (mivel meghagytuk az eredeti külső átmérő kontúrját), hogy a lemez (vagy tekercselt lemezcsomag) mechanikai szilárdsága, már ránézésre is jelentősen csökkent.



4.3. ábra. Nyolcpólusú állandó mágnesű motor módosított mágneses köre.

4.2. Aszinkron motorok mágneses körének változásai a pólusszám növelése esetén

Az állórész koszorú kihasználtságát igyekeznek megtartani, csökken az állórész koszorú magassága.

A külső átmérőnek maradnia kell, hiszen ugyanabba a motorházba kerül a tekercselt lemezcsomag. Megnövelik az állórész lemez furatát, megmarad az állórész horony és így csökken a koszorú magasság.

A nagyobb forgórész átmérőnél, a forgórész átmérővel arányosan nő a pólus fluxus ez is növeli az állórész koszorú jobb kihasználtságát. A fluxus növeléshez ha kell állórész horonyszám növelés is társul, így több fog viszi át a fluxust és nem lesz megengedhetetlenül nagy fog telítődés.

A forgórész kihasználtságának tartása nem ilyen fontosságú, mivel a forgórész vasvesztesége az alacsony frekvencia ($f_2 = s \cdot f_1$) miatt alacsony.

Az aszinkron motorok esetén alkalmazott változtatásokat látjuk a következő táblázatokban, egykalickás 80-as 90-es; 100-as; 112-es és 132-es tengelymagasságú motorok geometria jellemzőit ismertettük.

A használt jelölések tartalma:

H: tengelymagasság; 2p: pólusszám; Dk: állórész külső átmérő; D: állórész furat átmérő;

Z1: állórész horonyszám; A: állórész horonymagasság; C: állórész horonyszáj nyílás;

Qh1: állórész horony területe; D2: forgórész külső átmérő; Z2: forgórész horonyszám;

A: forgórész horonymagasság; C: forgórész horonyszáj nyílás; Qh2: forgórész horony területe; Qgy: rövidre záró gyűrű területe.

A 80; 90; 100 tengelymagasságú motorok lemezjellemzői.

H	80;90	80;90	100	100	100
2p	2	4;6;8	2	4	6;8
Dk	132	132	148	148	148
D	67	80	80	89	98
Z1	24	36	24	36	36
A	15,15	14,1	15,5	15,9	15,5
C	2	2	3	2,2	2
Qh1	87,3	59,1	110,8	75,1	79,2
Forgórész adatok					
D2	66,3	79,4	79,3	88,4	97,4
Z2	17	28	22	28	33
A	11,7	12,15	14,9	16,05	16,55
C	1,5	1	1	1,2	1
Qh2	41,6	32,9	53,3	48,4	49,7
Qgy	260/185	243	250	240	140

4.1. táblázat. Lemezjellemzők 80, 90, 100-as tengelymagasságú motoroknál.

A 112 és 132 tengelymagasságú motorok lemezjellemzői.

H	112	112	112	132	132	132
2p	2	4	6;8	2	4	6;8
Dk	170	170	170	200	200	200
D	92	104	116	105	122	135
Z1	24	36	36	36	36	36
A	16,8	16,95	15,45	23,7	19,75	18,7
C	3	2,6	2,1	2,5	2,6	2,1
Qh1	133,9	92	85	155	119,8	112,8
Forgórész adatok						
D2	91,2	103,3	115,3	103,3	121,2	134,3
Z2	22	28	33	28	28	33
A	15,7	18,95	17,9	16,41	22,2	18,15
C	1	1	1	1	1	1
Qh2	67,5	66,2	66,7	75,9	84,6	58,3
Qgy	240	240	170	290	315	175

4.2. táblázat. Lemezzel jellemzők 112 és 132-es tengelymagasságú motoroknál.

4.3. Aszinkron motorok teljesítmény tényezőjének változása növekvő pólusszám esetén.

Az aszinkron motor a működéséhez szükséges fluxusát a hálózatról felvett meddő teljesítmény hozza létre.

Növekvő pólusszám esetén többször kell átmágnesezni a légrést, ez olyan mintha légrést növelnénk.

Következmény, hogy nő a meddő teljesítmény igény, azaz a $\cos\phi$ csökken.

A következő táblázat mutatja a változásokat.

	H=80			H=90		
	P (kW)	$\cos\phi$	n (RPM)	P (kW)	$\cos\phi$	n (RPM)
2p=2	0,75	0,83	2850	2,2	0,9	2960
2p=4	0,75	0,72	1420	1,5	0,78	1410
2p=6	0,55	0,62	920	1,1	0,64	920
2p=8	0,25	0,63	660	0,55	0,57	680
	H=112			H=132		
	P (kW)	$\cos\phi$	n (RPM)	P (kW)	$\cos\phi$	n (RPM)
2p=2	4	0,9	2890	7,5	0,91	2890
2p=4	4	0,82	1440	7,5	0,84	1455
2p=6	2,2	0,75	960	5,5	0,82	945
2p=8	1,5	0,68	715	3	0,73	705

4.3. táblázat. Motor teljesítmények, teljesítménytényezők a pólusszám és tengelymagasság függvényében.

4.4. Aszinkron motorok tekercsfejének változása növekvő pólusszám esetén

A növekvő pólusszámnál jelentősen kisebb lesz tekercselési lépés, így csökken a tekercsfejben elhelyezkedő réz (inaktív rézmennyiség) mennyisége.

Ez jelenti a tekercsfej magassági méretének jelentős csökkenését is.

Fontos fogalom az átmérős horonylépés: $y_{há} = \frac{Z}{2p}$

Z: a hornyok száma ; 2p: a pólusok száma

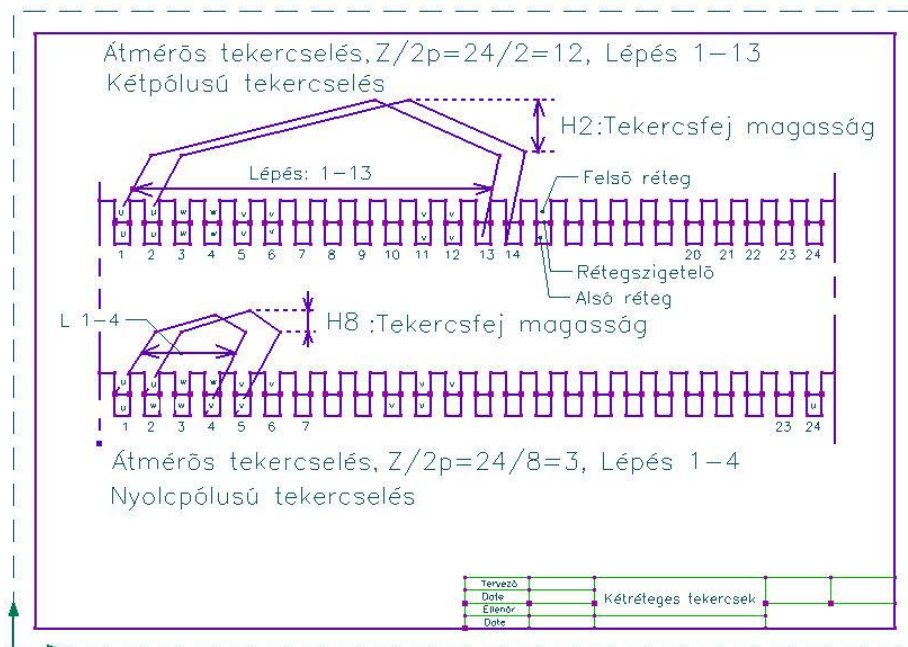
Példa 1: Kétpólusú motor, $Z=24$; $y_{há}=24/2=12$; Lépés: 1-ből-13-ba.

A tekercs egyik oldala az 1-es horonyban helyezkedik el, a másik a 13. horonyban.

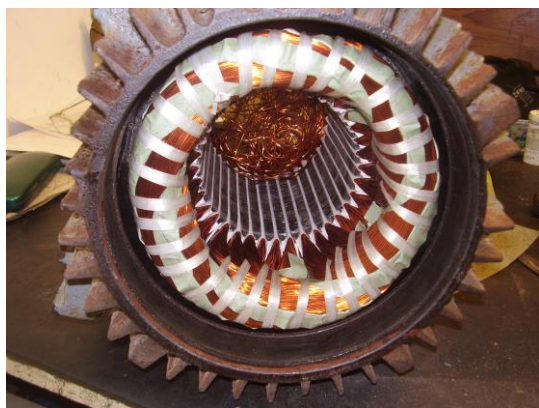
Példa 2: Nyolcpólusú motor, $Z=24$; $y_{há}=24/8=3$; Lépés: 1-ből-4-be.

A tekercs egyik oldala az 1-es horonyban helyezkedik el, a másik a 4. horonyban.

A következő ábrán két-két berajzolt fél tekercset látunk.



4.4. ábra. Kétpólusú és nyolcpólusú tekercselemek.



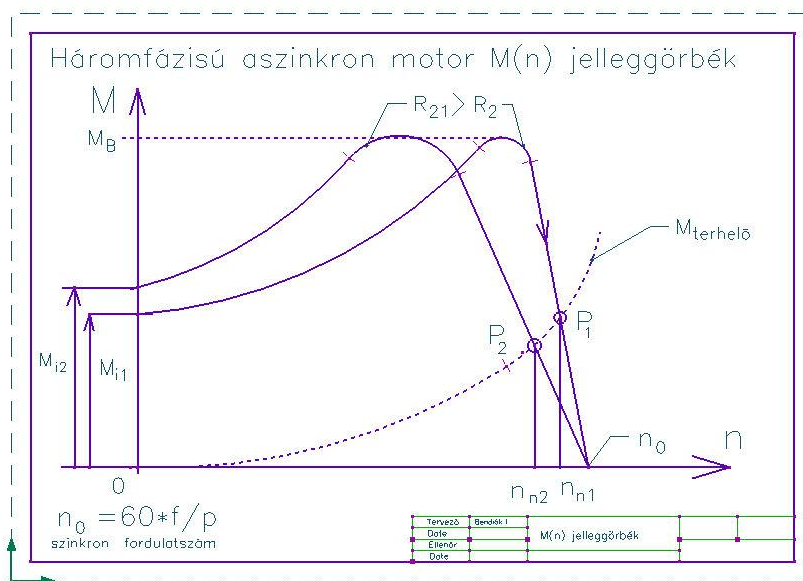
4.5. ábra. Kétpólusú tekercsfej készítés közben, 24 pólusú tekercsfej.

5. Kalickás forgórészű aszinkron motorok forgórészközi ellenállásának változtatása

Az ipari gyakorlatban a kisebb teljesítményű (néhány kW teljesítményig) az aszinkron motorokat nagy sorozatokban alkalmazzák ventilátorok és víz szivattyúk hajtására.

Ezeknél a hajtásoknál a terhelőnyomaték álló állapotban gyakorlatilag nulla és a nyomaték négyzetesen nő a fordulatszám függvényében.

A következő ábra ezt az esetet mutatja két különböző forgórész ellenállással rendelkező háromfázisú aszinkron motorra.



5.1. ábra. Háromfázisú aszinkron motorok ventilátoros terhelőnyomaték karakterisztikával.

A mechanikai teljesítmény a nyomaték és a szögsebesség szorzata, így a motorteljesítmény a fordulatszám köbével arányos.

Azaz nem túl nagymértékű fordulatszám változtatás elég jelentős mechanikai teljesítmény változtatást jelent, például ugyanannál a ventilátornál.

Példa: 10 %-al lecsökkentjük az üzemi fordulatszámot.

A motorteljesítmény: $0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,73$ azaz 27 %-al csökkent a motor teljesítmény.

Ezt a fizikai tényt a motor gyártók kihasználták kétféle technológiával.

Háromfázisú aszinkron motorok esetében a forgórész ellenállás változásának hatására a billenő nyomaték változatlan marad, növekvő ellenállás esetén a billenő nyomaték helyzete eltolódik az álló állapot irányába. A speciális nyomaték karakterisztika következtében az indítónyomaték értéke nő.

Ezen két területen az indító nyomaték növekedés nem követelmény.

5.1. Forgórész ellenállás változtatása az Alumínium ötvöztetésével ^[8]

A vezetőképesség alakulása a következő táblázatban látható.

Anyagok	Átlagos vezetőképesség %-ban
Cu	100
Al99EK	60
öAlSi3	48
öAlSi6	40
öAlSi12	32

5.1. táblázat. Vezetőképesség alakulása különböző anyagok esetén.

Ezzel a technológiával a motorgyártó azonos szerkezeti elemekkel négy különböző teljesítményű motort tud szállítani. Egy változó van, a forgórész kiöntésére szolgáló anyag összetétele.

Minőség biztosítása vonzat: Amennyiben az alvállalkozó nem tartja az anyagminőséget, ez komoly minőségi problémákat okozhat a villamos motor gyártónál. Szükséges , hogy a minőségbiztosítási osztály rendszeresen ellenőrizze a beérkezett idegenárú minőségét.

5.2. Forgórész ellenállás változtatása a rövidrezáró gyűrű magasságának változtatásával



5.2. ábra. Kalickás forgórész, magas rövidrezáró gyűrűkkel.

Minőség biztosítása vonzat: Ebben az esetben a gyártó Al99EK alumíniumot alkalmaz, a beszerzési osztálynak és a minőség biztosítási osztálynak a feladata egyszerűbb, nem kell csak egyféle anyagot beszerezni és ellenőrizni.

Ennél a technológiai megoldásnál a motorgyártó vagy külön szerszámot készít vagy betétezi a forgórész öntőszerszámot.

Hátrány: A motorféleség kevesebb, mint az ötvöztött változatoknál, ott látjuk, hogy egy mérettel négy különböző motorteljesítmény érhető el.

5.3. Aszinkron motorok speciális fordulatszám változtatási megoldása ^[9]

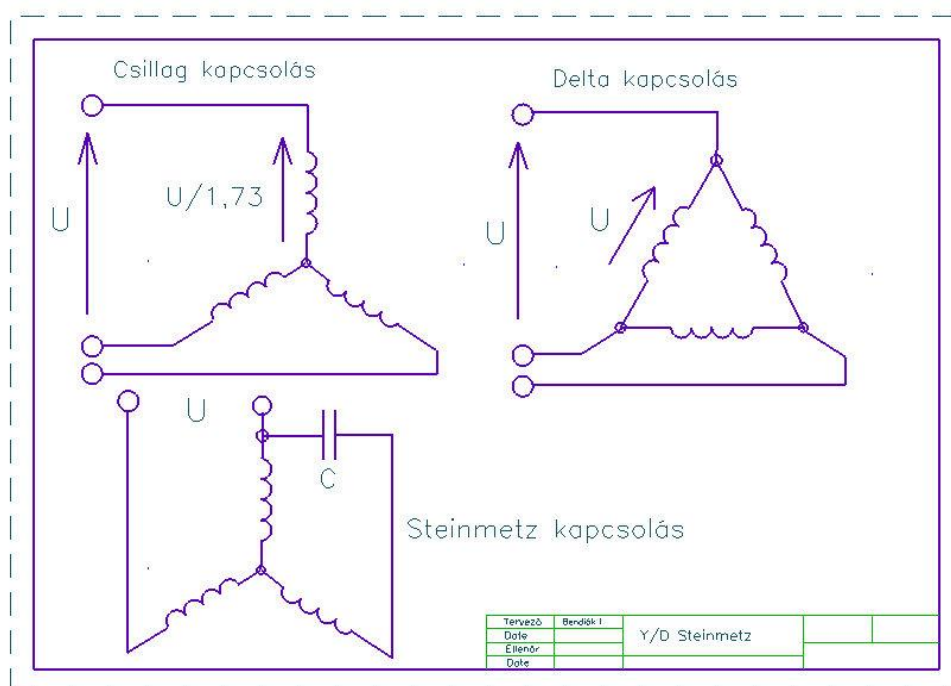
Hűtéstechikában alkalmazott aszinkron motorok esetében a frekvenciaváltóval megoldott fordulatszám változtatás adja a legkorrektebb megoldást.

Azonban a költségek minimális szinten tartása fontos szempont a hűtőegység gyártóknál is.

A következőkben egy gyakorlatban alkalmazott megoldást mutatunk be ahol az aszinkron motorral három különböző fordulatszám megoldása lehetséges.

Ezt, Delta/Csillag/Steinmetz kapcsolással lehet megvalósítani.

A három kapcsolást a következő ábrán láthatjuk.



5.3. ábra. Csillag Delta és Steinmetz kapcsolások.

A motort ugyanaz a ventilátor terheli.

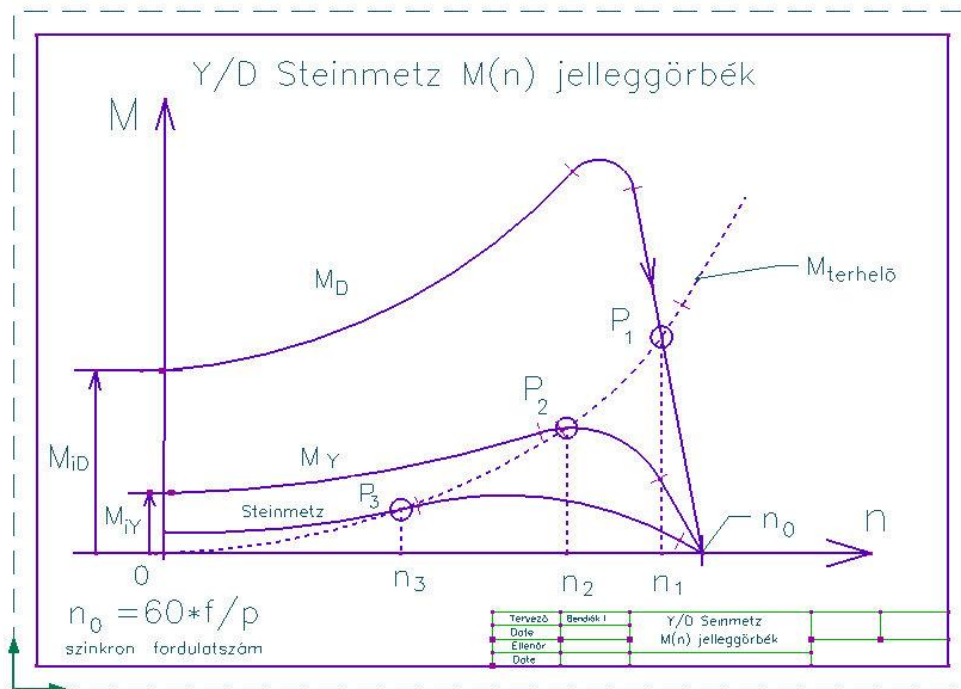
Sok esetben ezekben az egységekben a motorok vertikális helyzetűek és egy hűtőegységben több ventilátoros aszinkron motor található.

Megjegyzés: amennyiben ezek az egységek a közel-keleti klímához hasonló területen dolgoznak, akkor a motorokban komoly mennyiségű kondenz víz képződik, így az üzemeltetési helyzet figyelembevételével, megfelelő helyeken, kondenz furatokkal és kondenz dugókkal is el kell látni az aszinkron motorokat

Egy gyakorlati igény volt a következő: 700 RPM/550 RPM/330 RPM, $f=50$ Hz.

Ezt az igényt, hatpólusú ($2p=6$) motorral lehetett kielégíteni.

A következő ábrán láthatjuk a kialakuló fordulatszámokat, Delta, Csillag és Steinmetz kapcsolások esetén.



5.4. ábra. Aszinkron motor M - n jelleggörbéi Delta, Csillag és Steinmetz kapcsolásban.

Az ábrán néhány érdekesség látható.

1. A csillag kapcsolásban a munkapont, jó közelítéssel a billenő nyomatéknál alakul ki.
2. A Steinmetz kapcsolásban a munkapont a billenőpont előtt, a „hátoldalon” jön létre, amit instabil is szakasznak szoktak nevezni. Ugyanakkor tudjuk, hogy a stabil üzemi pont kialakulását a motor és a terhelőnyomaték jelleggörbék menete határozza meg.

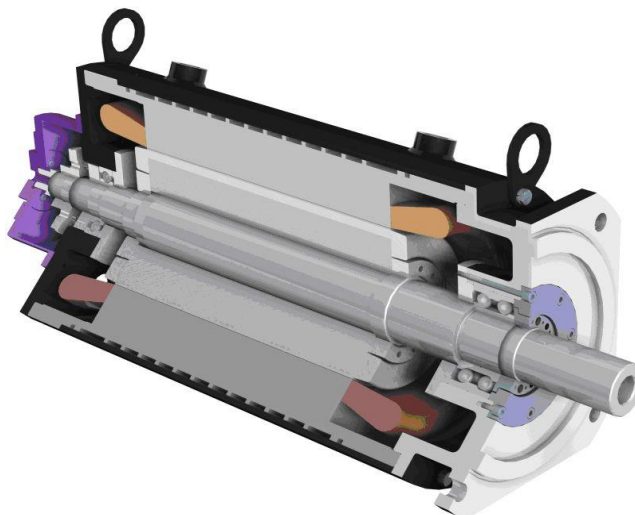
Megjegyzés:

1. A zaj kierősödött a Steinmetz kapcsolásban, mivel a lemezcsomag hegesztve készült és a hegesztési hő deformálta a furatot, ennek következtében a furat nem volt körkörös. A zajproblémát ebben az esetben a lemezcsomag pántolással történő készítésével lehetett megoldani.

A zajproblémát az okozta, hogy a magasabb pólusszámú motorok az állórész koszorú magasságának csökkentése miatt kevésbé stabilak mechanikailag, érzékenyebbek a gyártástechnológiára.

6. Aszinkron szervomotorok tervezésénél felmerült speciális probléma bemutatása ^[10]

Az aszinkron motorok megjelentek a szokásosnál nagyobb fordulatszámú kivitelben is. A problémát a forgórész stabilitási kérdései jelentik. Nézzünk egy példát erre a típusra.



6.1. ábra. Aszinkron szervomotor metszete.

Vizsgáljunk meg egy konkrét katalógus adatot [11].

Típus	AI S100LW20H (kifutó gyártmány)	AI S100LW15-26H	AI S132LW15H (kifutó gyártmány)	AI S132LW08-15H
NCT cikkszám (rendelési szám)	40-00010203-00	40-00010202-01	40-00010204-00	40-00010204-01
Névleges teljesítmény, P_n	15 kW	10.5/20.0 kW	22.0 kW	12.6/22 kW
Névleges nyomaték, M_n	72 Nm	67/72 Nm	140 Nm	140/140 Nm
Névleges áram, I_n	32 A	24/46 A	55 A	29.4/48 A
Mágnesező áram, I_m	12 A	12/23 A	23 A	20/20 A
Névleges fordulatszám, n_n	2000 min ⁻¹	1500/2650 min ⁻¹	1500 min ⁻¹	860/1500 min ⁻¹
Mezőgyengítés határa, n_{mgv}	8500 min ⁻¹	7200/11000 min ⁻¹	6500 min ⁻¹	2850/5000 min ⁻¹
Legnagyobb fordulatszám, n_{max}	15000 min ⁻¹	10000/15000 min ⁻¹	10000 min ⁻¹	10000 min ⁻¹
Névleges frekvencia f_n	68.5 Hz	51.5/91 Hz	51.1 Hz	29.6/51.1 Hz
Teljesítménytényező, $\cos\varphi_n$	0.89	0.85/0.83	0.84	0.74/0.87
Hatásfok, η_n	0.91	0.90/0.915	0.92	0.88/0.92
Névleges feszültség, U_n	330 V	330 V Y/300 V D	300 V	380 V Y/330 V D
Tehetetlenségi nyomaték, J	440 kgcm ²	440 kgcm ²	1100 kgcm ²	1100 kgcm ²
Tömeg, m	85 kg	85 kg	160 kg	160 kg
Védettség	IP54	IP54	IP54	IP54
Szigetelési osztály	F	F	F	F
Hűtési mód	Folyadékhűtés	Folyadékhűtés	Folyadékhűtés	Folyadékhűtés
Jeladó típusa	GEL 244	GEL 244	GEL 244	GEL 244
Jeladó impulzusszáma/jel	256/TTL	256/TTL	256/TTL	256/TTL

6.1. táblázat. Aszinkron szervomotorok (NCT) katalógus adatai.

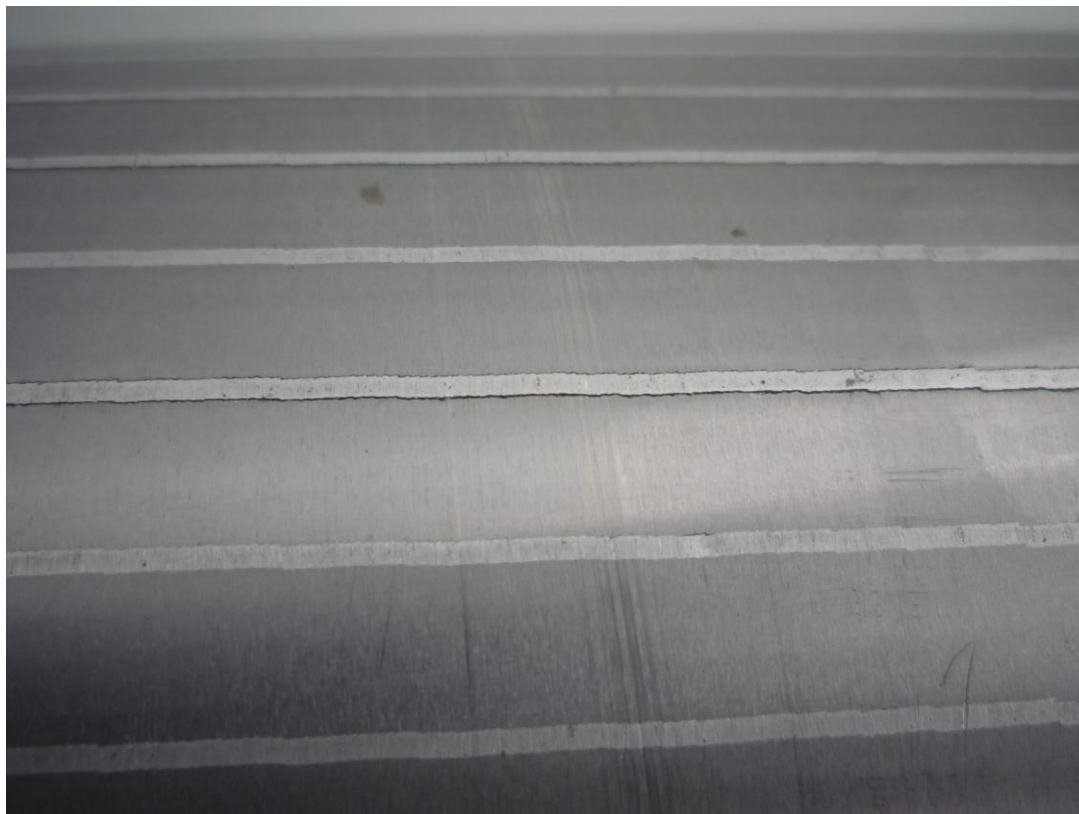
Az adatokból látható, hogy a maximális fordulatszám jóval meghaladja egy „átlagos” gyártási technológiájú motornál megszokott értéket. A teljesítmény/kg arány is szembetűnően eltér, a teljesítmények pl.: 15 kW és 22 kW esetében 85W/kg és 160W/kg.

Gyakorlati probléma: A kísérleti példánynál megmozdultak a kalicka rúdjai és így elromlott a kiegyensúlyozottság.

Eredmény: A kalicka rúdjai kitüremkedtek a horonyszájánál. A magas 15000 RPM fordulatszám és a nagy gyorsító nyomaték valamint a vele társuló magas termikus igénybevétel okozta egyes rudak elmozdulását. Forgás közben a kalicka rudak a fellépő centrifugális erő hatására kifelé mozdulnak el, a kiegyensúlyozatlanság többlet rezgést és zajt okoz.

A mechanikai probléma korrigálását különböző forgórész ötvöző anyagok jelentik, nő a villamos ellenállás de szilárdságilag jobban megfelelnek a követelményeknek, mint az Al99EK (azaz a tiszta alumínium).

A következő ábrán láthatjuk a kalicka rudak elmozdulását.



6.2. ábra. Kalicka rudak elmozdulása.

Az 6.2. ábrán láthatjuk, hogy alulról a harmadik és az ötödik kalicka rúd kitüremkedik a horonyszáján.

7. Aszinkron motorok villamos autók meghajtására^[12]

Villamos autó fejlesztése nem újdonság, a villamos forgó gépek megjelenése óta próbálkoztak villamos hajtású járművek építésével. A tulajdonképpen ha végignézzük, megvizsgáljuk a villamos hajtásokban szereplő gépek családját, akkor már tudjuk is, hogy olyan motor típusra lenne szükség ahol nincs csúszó kontaktus és ezzel együtt legyen üzem biztos. Ezek lehetnek az állandó mágnesű szinkron gépek és az aszinkron gépek. Talán nem is annyira egyértelmű –miért pont az aszinkron motor?- mivel komoly meddőteljesítmény igénye van a mágneses tér felépítéséhez. Tulajdonképpen a gyártástechnológiák fejlődése lehetővé tette ezen gép típusok megjelenését a villamos autókba is.

7.1. Tesla nevét viselő vállalat

A Tesla Motors elektromos meghajtású autókat gyártó amerikai vállalat, amelynek központja a Szilícium-völgyben, Palo Altóban található. A vállalatot 2003-ban alapította Martin Eberhard, Elon Musk, JB Straubel, Marc Tarpenning és Ian Wright. A nevét a szerb származású feltalálóról, Nikola Tesláról kapta.

7.2. Villamos energia utántöltésének kérdése

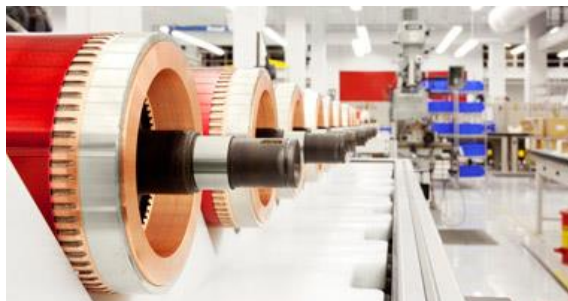
A cég által fejlesztett technológiában az egyik legnagyobb kihívást az akkumulátorok újratöltésének korlátozott lehetőségei, a feltöltés módja és az ehhez szükséges idő idő hossza jelenti. Ezért a Tesla Motors 2012 szeptemberében bejelentette, hogy ingyenes újratöltő hálózat kiépítésébe kezd. Az állomások napelemmel állítják elő az energiát, a felesleget pedig visszatáplálják az elektromos hálózatba.

Az első hat állomásból álló hálózat 2012 októberében nyílt meg San Francisco és Las Vegas között, a második pedig két hónappal később Washington és Boston között. 2014 elejére a 74 töltőállomás üzemelt és elhelyezkedésük lehetővé tette, hogy februárban két S modell 76.5 óra alatt megtegye a Los Angeles és New York közötti távot, bebizonyítva ezzel a hálózat használhatóságát.

2013-ban a cég bejelentette, hogy Európában is újratöltő-hálózat kialakítását tervezi Németországban, 2015 végéig 40-50 töltőállomást állítanak üzembe. 2014-re Európában 14 állomás üzemelt.

7.3. Aszinkron motorok új generációja

A meghajtó motor csúcstechnológiájú aszinkron motor, magas hatásfokkal és jobb melegendési viszonyokkal a „hagyományos gépekhez mérten. A forgórész rudazat rézből készül, így kisebb lesz a forgórész körüli veszteség is.



7.1. ábra. Speciális rézrudazatú forgórészek.

Érdekesség a rudak és a rövidrezáró gyűrű találkozásánál speciális bandázs látható, ennek valószínűleg az a szerepe, hogy védje a centrifugális erő okozta esetleges sérüléstől! A motoroknak teljesen eltérő mechanikai követelményeknek kell megfelelni a megszokott viszonyokhoz képest. A kalicka és a rudak stabilitása nagyon fontos szilárdságilag.

7.4. Villamos autókban használandó vontató motorok összehasonlítása

Aszinkron motor		PM szinkron motor	
Előnyei	Hátrányai	Előnyei	Hátrányai
Hagyományos szerkezeti anyagok			Jó minőségű mágnesek drágák
Hagyományos technológia			Részben új technológia
Alacsony ár			Drágább megoldás
Működtető elektronika valamivel egyszerűbb			
	Forgórészveszteség van	Forgórészveszteség nincs	
	Zárt gépeknél a hűtés kevésbé intenzív	Hűtés megoldott zárt gépeknél	
Átgondoltan lehet nyitott kivitelű			Célszerű a zárt kivitel
	Hagyományos konstrukció javasolt	Könnyebb a konstrukciós változtatás	

7.1. táblázat. Aszinkron és szinkron vontató motorok összehasonlítása.

7.5. Villamos autók versenyben

A **Tesla Roadster**, a Tesla Motors első terméke. A cég állítása szerint a prototípussal képesek voltak kevesebb mint négy másodperc alatt álló helyzetből 100 km/h-ra gyorsulni, a végsebesség pedig 201 km/h. Egy lítium-ion akkumulátor egyszeri feltöltésével az autó 394

km megtételére képes. A kocsi fogyasztása (999 Wh/km) megfelel 1,74 l/100 km benzinfogyasztásnak.

Az autót 2006. július 19-én a kaliforniai Santa Monica repülőtérének Barker Hangárjában mutatták be egy meghívásos alapú rendezvényen, melyen 350-en vettek részt. Az autó szerepelt a 2007-es modellév újdonságait bemutató autókiállításokon San Franciscóban, majd Los Angelesben. Utóbbin *Chris Paine*, a „Ki ölte meg az elektromos autót?” című dokumentumfilm írója és rendezője támogatásáról biztosította a projektet.



7.2. ábra. Tesla Roadster, Tesla S 85 kW, Aszinkron motor: 310 kW.

Az autóversenyzés veszélyes üzem. Elég egy műszaki vagy emberi hiba és máris kész a tragédia. Mégis, mióta gépkocsikat készítenek, versenyeznek is vele. Az első rekord melyet egy autóval értek el 1898. december 18.-án volt és *Gaston de Chasseloup-Laubat* gróf állította fel Párizs közelében, egy közúton. A rekorder a *Jeantaud Duc* névre hallgató, elektromos meghajtású jármű volt. A kimért kilométeres távot 57 másodperc alatt tette meg, ami 63.13 km/h átlagsebességnek felelt meg. A XIX. század végét két versenyző párharca jellemezte, melyet a Párizs közeli Achères-ben vívtak, s végül is Jenatzy nyert meg, mikor **1899. április 29.-én Jamais Contene (Örök elégedetlen) névre hallgató kocsiával felállította az első 100 km/h feletti (105.88 km/h) rekordot.** Ezzel az eredménnyel az elektromos hajtású rekorderek ideje is lejárt.

7. 3. ábra. Camille Jenatzy nevű belga sofőr.

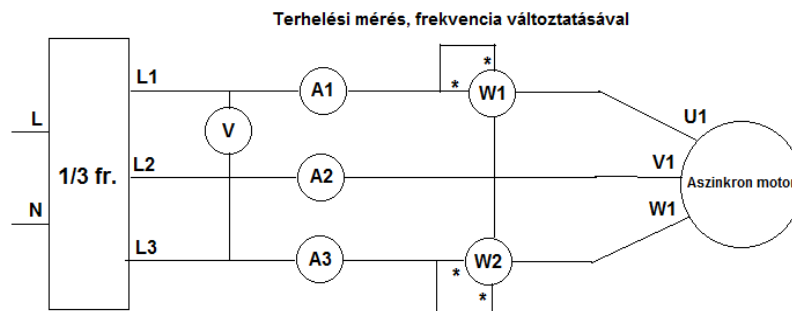


8. Önállóan elvégzett frekvenciaváltós mérések jellemzése

Aszinkron motor működésének vizsgálata $f=50$ Hz és $f=60$ Hz frekvenciákon. Alkalmazott frekvenciaváltó adatai: Model: CIMR-JCBA0003BAA, MAX APPLI. Motor: 0.75 kW/0.55 kW, Input: AC1PH 200-240 V, output: AC3PH 0-240 V 0-400 Hz, 3.3 A/3A. IP20 Yaskawa, típus: JZAB0P4BAA. A készülék adatai alapján alkalmazható a kiválasztott a motor üzemeltetésére.

A mérésben résztvevő motor adatai/számított paraméterei: típus: 80S-6/4 (motor két pólusrendszerű, két külön adattáblával rendelkezik, itt 4 pólus rendszer érvényes). $P_{névleges}=330$ W, $U_{névleges}=220$ V (delta-kapcsolás), $I_{névleges}=1.7$ A, $n_{névleges}=1400$ RPM, $\text{hatásfok}_{névleges}=68$ %, $\text{slip}_{névleges}=6.66\%$, $\cos\varphi_{névleges}=0.75$, $P_{\text{felvett névleges}}=485$ W, $M_{névleges}$ (számított)=2.25 Nm.

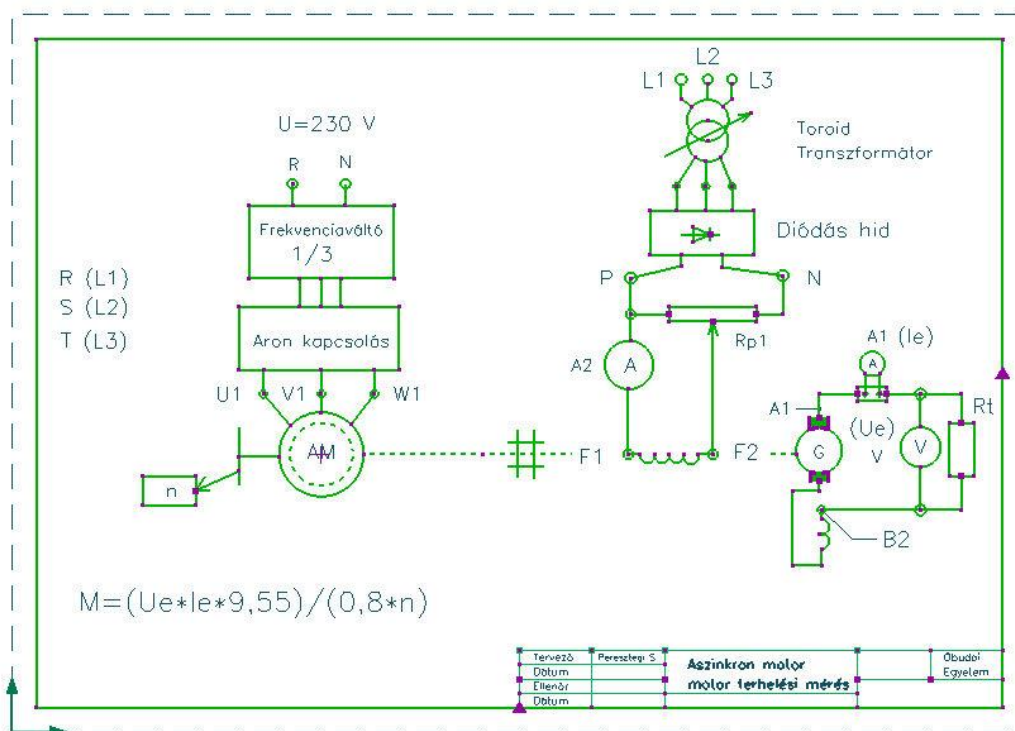
Egyenáramú terhelő gép adatai: (külső gerjesztésű egyenáramú generátor), $P_{névleges}=500$ W, $U_{névleges}$ armatúra= 24 V, $U_{névleges}$ gerjesztő=24 V, $I_{névleges}$ armatúra=30 A, $I_{névleges}$ gerjesztő=0.8 A, $n_{névleges}=1450$ RPM, $\text{hatásfok}_{névleges}=70$ %, $M_{névleges}$ (számított)=3.29 Nm. A számítások alapján a generátor alkalmas a motor terhelésének vizsgálatára. A terhelő gépek adataiból levonható következtetés, hogy a gép alkalmas az aszinkron motor vizsgálatára. Elsősorban a fordulatszámok közel azonossága, illetve a terhelő gépnek „nagyobb” nyomatékkal célszerű rendelkezni a motor vizsgálata miatt.



8.1. ábra. Mérési kapcsolás.

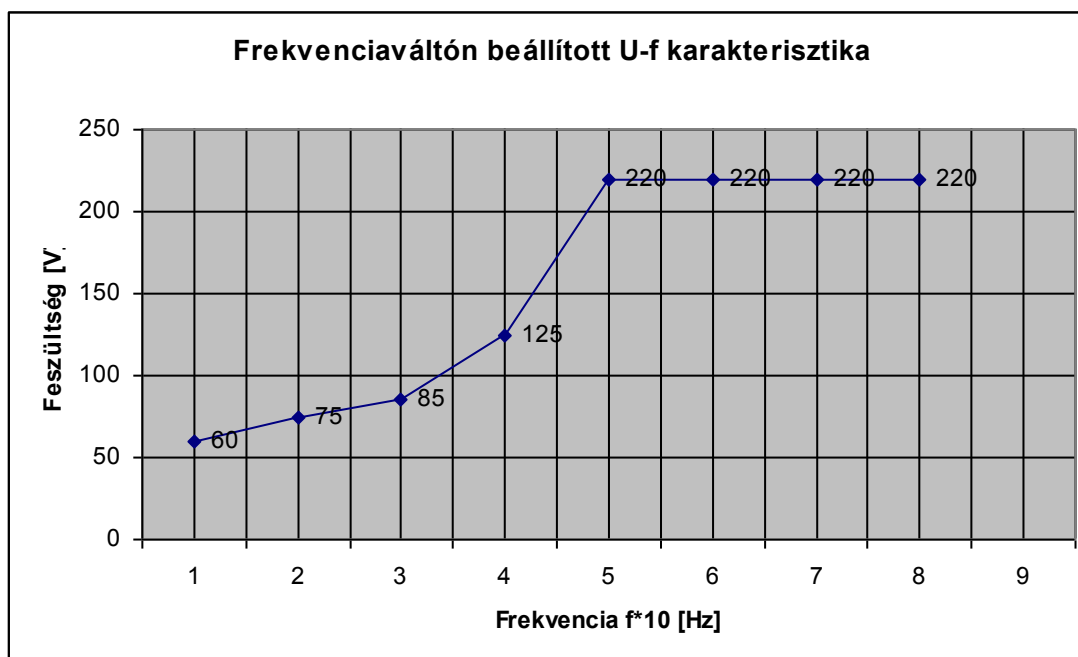
A mérést a jól ismert Aron-kapcsolásban végeztem. Figyelve a wattmérők előjelhelyes leolvasását. Három árammérőt alkalmaztam a szimmetriák vizsgálata miatt.

Mérési kapcsolási vázlat, méréshez szükséges gépek összeállítása



8.2. ábra. Mérési kapcsolási vázlat.

Az U-f jelleggörbét a motor üresjárási állapotában vettem fel.



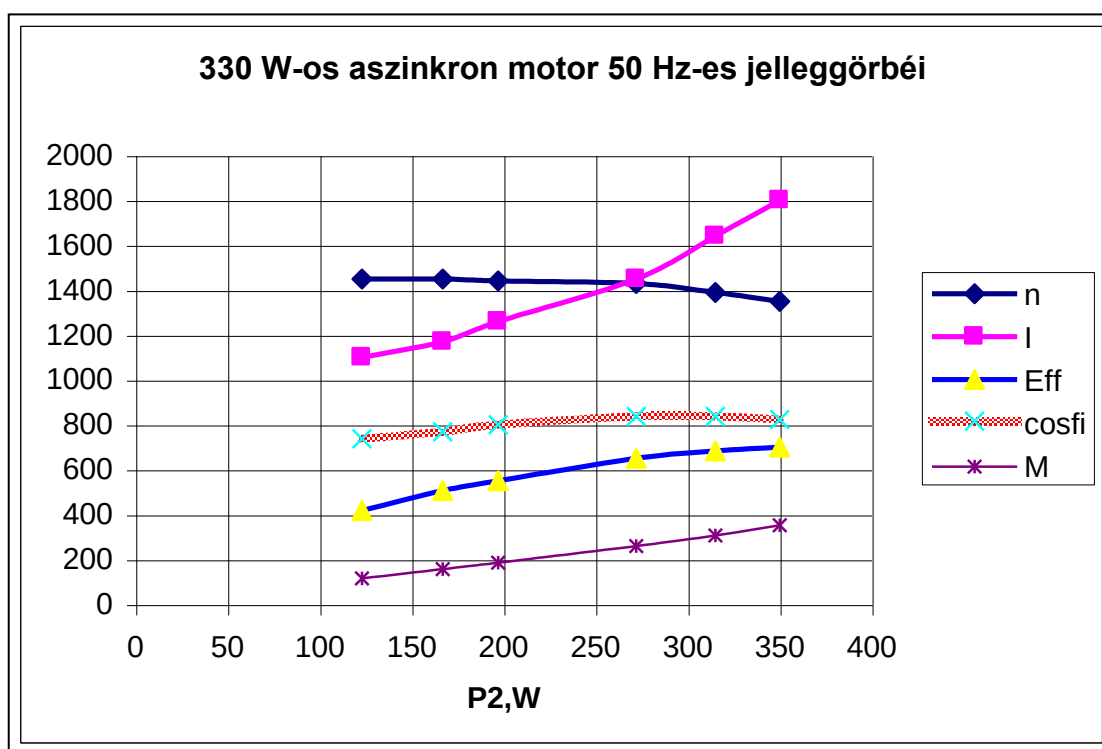
8.3. ábra. A frekvenciaváltón beállított U-f karakterisztika.

A terhelési mérés elvégzésére szükség van egy külső gerjesztésű egyenáramú generátorra, vele közös tengelykapcsolaton foglal helyet a terhelt gép, illetve a fordulatszám mérésére szolgáló tachométer generátor. A generátort toroid transzformátor és diódás híd segítségével felgerjesztem a névleges értékre és állandón tartom, a mérés során nem változtatom. Az

armatúra körben teljesítmény ellenállás biztosítja a villamos fogyasztó szerepét, a mérés során ennek változtatása jelenti a különböző terhelési pontokat. Az aszinkron motort egyfázisú hálózatról üzemeltettem a korábban bemutatott 1/3-as frekvenciaváltó segítségével.

Különböző frekvenciákon való mérés: $f=50$ Hz, $f=60$ Hz, legalább hat mérési ponttal, felvenni a terhelési jelleggörbét, megvizsgálni a hatásfokot, teljesítménytényezőt, slipet, nyomatékot. A működési sajátosságból adódóan névleges frekvencia felett nyomaték-gyengülést „várunk”. A motor leadott nyomatékának számítási elve: Egyenáramú gép számított hatásfoka η , aszinkron motor fordulatszáma n , 9.55-ös szorzó állandó alapján: $M_{\text{motor}} = ((U_{\text{armatura}} * I_{\text{armatura}}) * 9.55) / (\eta_{\text{egyenáramú gép}} * n_{\text{aszinkron motor}}) = M_{\text{aszinkron motor}} [\text{Nm}]$, a behelyettesítést alapegységben kell elvégezni, áramerősség amper, feszültség volt, fordulatszámot 1/min-ben. A képlet alapján látható, hogy ez közelítő számítás, de tájékoztatást, egyféle lehetőséget ad a motor leadott nyomatékának megállapítására.

Cél a mérési adatok alapján a terhelési jelleggörbe felvétele!



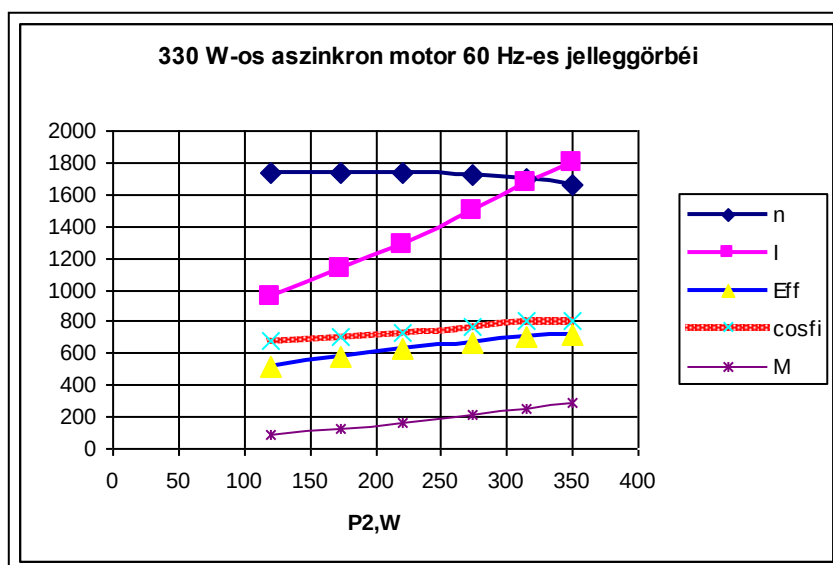
8.4. ábra. Terhelési jelleggörbék, $f=50$ Hz.

Mérési eredmények táblázatba foglalása

P1, W	P2, W	cosfi	n, RPM	M, Nm	Eff.	U, V	I, A
295	123	0,738	1449	1,16	0,417	210	1,1
322	167	0,769	1449	1,57	0,52	205	1,17
357	197	0,8	1441	1,86	0,55	205	1,26
420	272	0,838	1430	2,59	0,65	200	1,45
463	315	0,837	1390	3,06	0,68	195	1,64
500	350	0,823	1350	3,53	0,7	195	1,8

8.1. táblázat. Mérési eredmények, f=50 Hz.

A fordulatszámmerést egyáramú tachogenerátor segítségével végeztem. Adatai: 1000 RPM esetén ad 60 V egyenfeszültséget, állandója 1000RPM/60 V=16.66RPM/V, pl.: 86.97 V mért feszültség esetén (Deprez-műszerrel) esetén $n=16.66 \cdot 86.97=1448.92$ RPM



8.5. ábra. Terhelési jelleggörbék, f=60 Hz.

P1, W	P2, W	cosfi	n, RPM	M, Nm	Eff.	U, V	I, A
230	120	0,682	1733	0,94	0,52	205	0,95
286	174	0,71	1731	1,32	0,61	205	1,137
334	220	0,735	1730	1,67	0,66	205	1,282
399	272	0,769	1724	2,15	0,68	200	1,5
461	315	0,799	1699	2,54	0,68	200	1,667
490	350	0,807	1658	2,87	0,71	195	1,8

8.2. táblázat. Mérési eredmények, f=60 Hz.

8.1. Aszinkron motorok fluxusának vizsgálata 50 Hz és 60 Hz frekvenciákon

A fejezet létjogosultságát indokolja a frekvenciaváltós motorral elérhető jelentős villamos energia megtakarítás. Indokolja továbbá, az a tény, hogy vannak jelentős aszinkron motor gyártók aki frekvenciaváltóval egybeépített (kompakt) motorokat is készítenek.

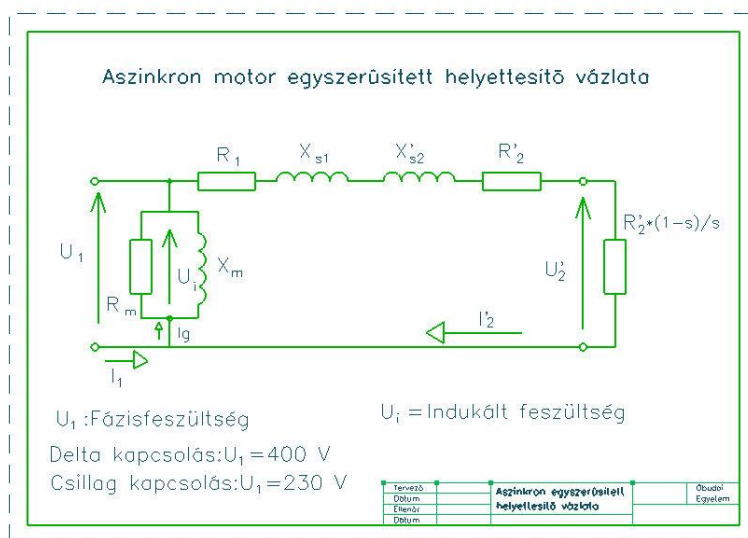
A következőkben röviden vizsgáljuk meg az aszinkron motorok fluxusának változását 50 Hz és 60 Hz esetén, amennyiben a tápfeszültség azonos.

8.1.1. Aszinkron motor 50 és 60 Hz-es hálózati feszültséggel

Elvi vizsgálat.

Az aszinkron motorokat jól kihasznált, tehát normál fluxussal tudjuk optimálisan üzemeltetni. Most röviden vizsgáljuk meg annak a következményeit, hogy az 50 Hz-re tervezett motort ugyanazon névleges feszültségről 60 Hz-en üzemeltetjük változatlan névleges teljesítmény esetén.

Az elvi változásokat az egyszerűsített helyettesítő vázlat ($U_1=U_i$) alapján láthatjuk.



8.6. ábra. Aszinkron motor egyszerűsített helyettesítő vázlata.

Az aszinkron motor nyomatéka a tekercselésben indukálódott feszültség négyzetével arányos.

$$M \sim U_i^2,$$

$$\text{Az indukált feszültség, } U_{if} = 4,44 \cdot f \cdot \xi_1 \cdot N_1 \cdot \Phi_m$$

Vizsgáljuk meg a fluxus elvi változását ugyanazon feszültség esetén 50 Hz és 60 Hz eseteire.

Az egyszerűsített vázlat alapján:

$$U_{nf} = U_{if} = 4,44 \cdot f \cdot \xi_1 \cdot N_1 \cdot \Phi_m$$

Delta kapcsolásnál: $U_n = U_{nf} = U_{if}$

Nézzük meg 400 V-os hálózati feszültségre a bekövetkező változást .

$$400 = 4,44 * 50 * \xi_1 * N_1 * \Phi_m \quad (1)$$

$$400 = 4,44 * 60 * \xi_1 * N_1 * \Phi_m'' \quad (2)$$

A második egyenletet osztjuk az elsővel , majd kifejezzük Φ_m'' -öt, adódik,

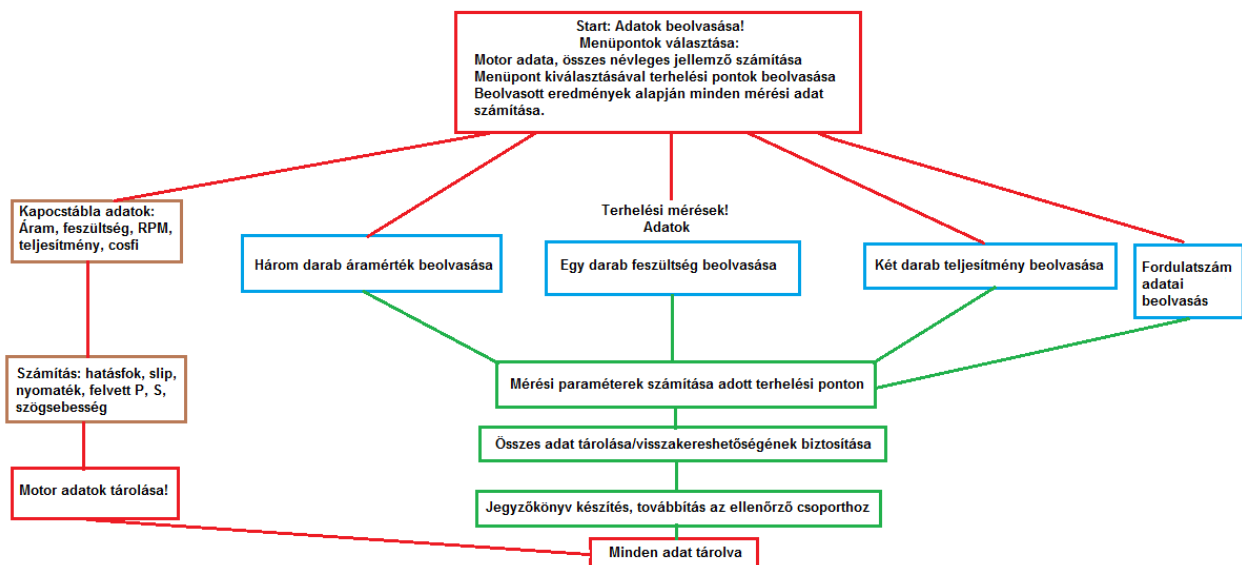
$$\Phi_m'' = 50/60 * \Phi_m = 0,83 * \Phi_m$$

Tehát a motor fluxusa csökken ami az aszinkron motor nyomatékának csökkenését fogja okozni. A nyomaték csökkenésének mértéke függ a motor tervezésekor meghatározott tekercselési adatoktól is.

8.2. Aszinkron motorok mérési eredményeinek feldolgozása informatikai környezetben

A mérések közben felmerült a kérdés hogyan lehetne, gyorsítani, pontosítani és korszerűsíteni a mérési eredmények korrekt és eredményes számítását különösen akkor, ha több motort kell viszonylag rövid idő alatt megvizsgálni és dokumentációt adni róluk. Erre született meg az általam készített c-ben írt program, ami jelen „állásában” kimondottan Aron-kapcsolásos mérésekhez van igazítva, természetesen tetszőlegesen bonyolítható mindig az adott mérés technikai követelményekhez.

A program működését szemléltető blokkvázlat.

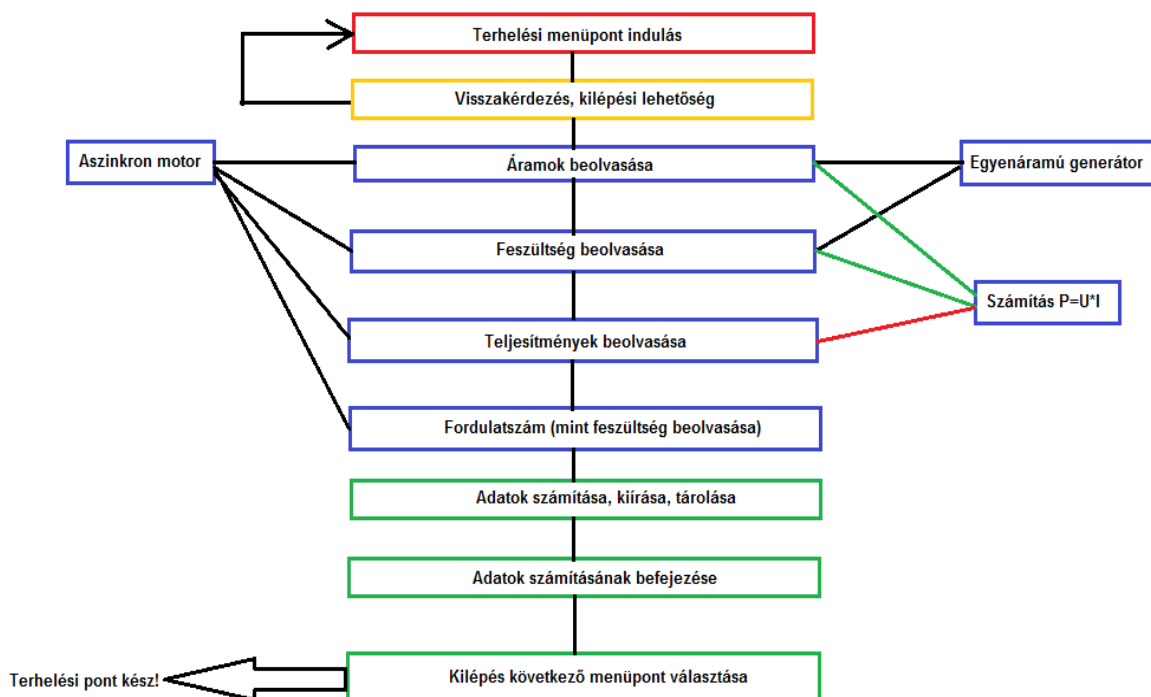


8.7. ábra. Terhelési mérést támogató program megoldási (összesített) algoritmus.

A program csak Aron-kapcsoláshoz alkalmazható, ha három wattmérős megoldást alkalmazunk, akkor átírásra szorul, viszont könnyedén megtehető és használható. A méréseknél szereplő mértékegységek a tárolt fájlban is feltüntetésre kerülnek. Adatok könnyedén visszakereshetők. Természetesen nem zárjuk ki a kézi számítást, célszerű ellenőrzéseket végezni.

A piros jelzés a megoldási folyamatok elindulását jelzi. A kék szín a mérési eredmények fontossága, ha valamelyik adat rosszul van megadva, akkor hibás eredmény kapunk! A program nem számít pl.: műszerállandókat, tehát konkrét kiszámolt értéket kell megadni. A wattmérőknél különösen fontos az előjelhelyes megadás! A zöld szín a beolvasott és számításra kerülő adatok összehangolt folyamatát jelzi. A végén a piros jelzés, „minden adat tárolva” fájlban visszakereshetők a mérés eredményei. A továbbfejleszthetőség mindig igény lesz, további lehetőségek pl.: felvett áram maximum, felvett és leadott teljesítmény, nyomaték maximum számítása, összehasonlítása. A jelen program egyszerűbb megoldást mutat be. A menüszervezet jobb érhetőségét segítő a következő folyamatábra.

A program egy menüpontjának működési algoritmusát szemléltető ábra.



8.8. ábra. Menüpont működésének folyamatábrája.

A programban összesen hat menüpont található, a terhelési pontokba belépve megjelenik egy visszakérdező üzenet, még az elején is van lehetőség a menüpontból való kilépésre. A

helyes válaszadás után elindul az adatok beolvasása. Aszinkron motor adatai esetében áramok, feszültség, teljesítmények beolvasása, az egyenáramú generátor esetében a –az ábrán levő zöld vonal azt jelzi- , hogy a teljesítmény „nem kell” megadni, egyszerű szorzatból számításra kerül. A fordulatszám¹, mint feszültség érték megadása után befejeződik az adatok beolvasása, következnek a számítások. A zöld téglalapok jelzik a mérési eredmények végét, a terhelési menüpont befejezését. A program többi menü pontja ugyanezen az „elven” működik.

8.2.1. Aszinkron motorok melegedés mérés elvégzését segítő program

A melegedési mérések során alkalmazható szintén c-nyelven írt program, ami segíti, gyorsítja és pontosítja a feladat végrehajtását.

A működése hasonlóan -mint a frekvenciaváltós mérések esetében- menüszerkezet segítségével valósítja meg a mérési pontok szétválasztását, könnyebb kezelhetőségét. A program megírása szinten konkrétgyakorlati mérésből született meg.

Működése:

A motor elindítása előtt az állórészen tekercs ellenállást mérünk hideg állapotban. Ebből meghatározzuk az ohmos összetevőt, a szabadonfutás végén újra elvégezzük ezt a mérést és megvizsgáljuk a tekercs ellenállás változását. A program **külön menürészletben összehasonlítja az állórész ellenállás változás értékeit!**

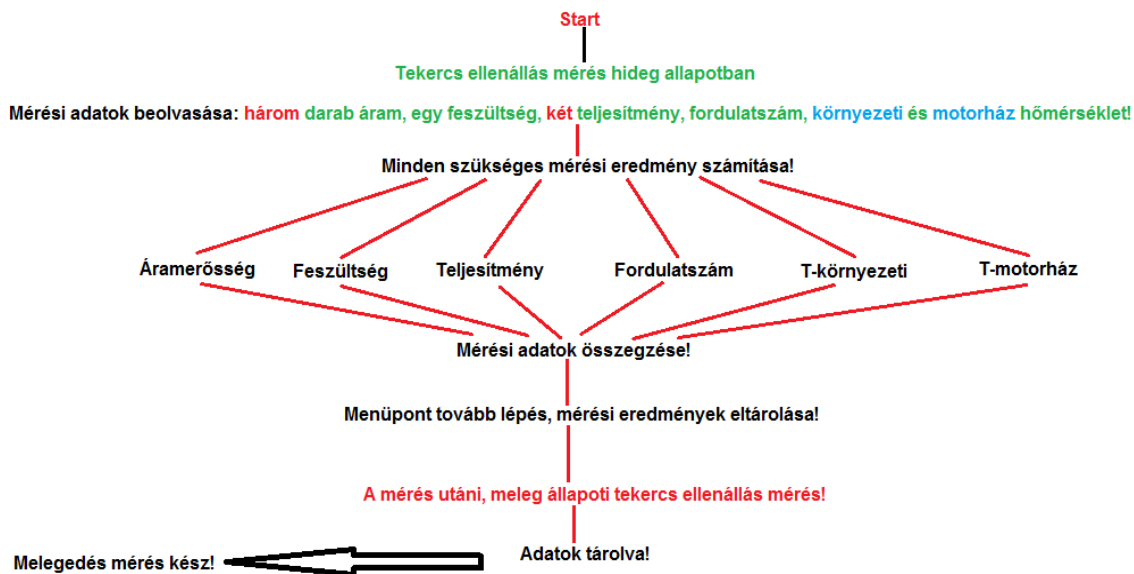
Az melegedés során fellépő fordulatszám változás szintén egy másik feldolgozó menü végzi, ahol tárolja és elmenti a mérés során bekövetkező fordulatszám csökkenést!

A mérés Aron-kapcsolásban zajlik, három áramérték, egy feszültség érték, két teljesítmény érték, környezeti és motorház hőmérséklet és fordulatszám értékek beolvasása. Ezek után megkezdődik a szükséges adatok számítása.

A program hozzáigazítható hosszabb és több mérési ponttal rendelkező feladatokhoz is. Az aszinkron motorgyárak által meghatározott mérési feladatokat kívánja támogatni az itt használt program részlet!

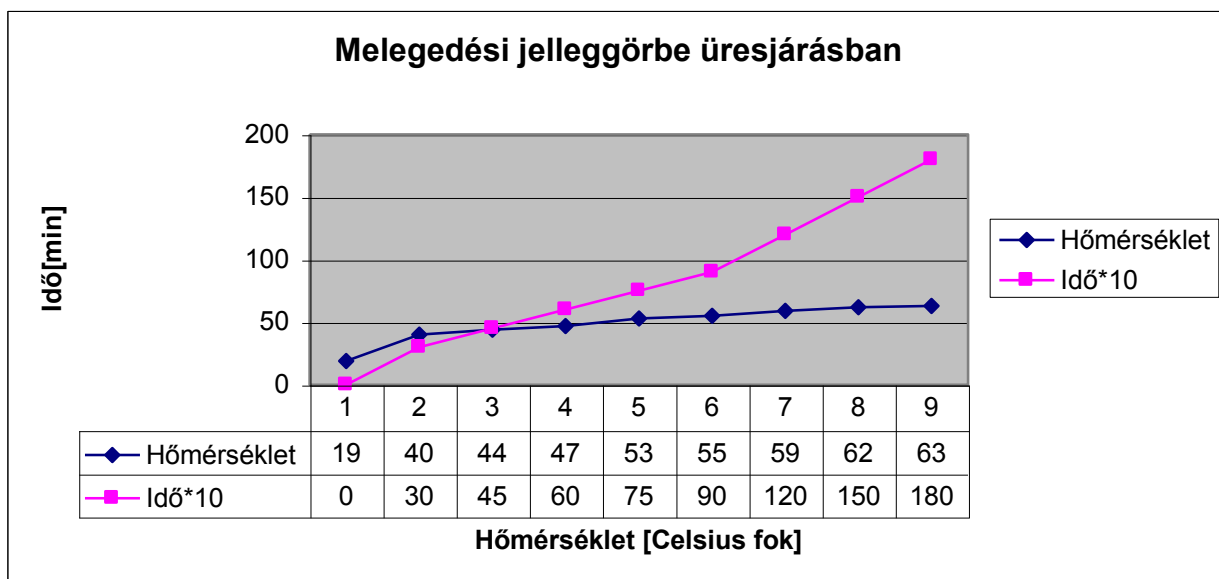
A folyamatábrán végigkövethető a működési folyamat, a színtkiemelések optimálissá teszik az adatok „fontosságát”, különösen a wattmérők előjelhelyes beírása, amire a program külön figyelmeztető üzenetet is küld a mérést végző személy részére. A lefuttatás után kezdetben természetesen javasolt a futtatás hitelességének a megfelelő és figyelmes leellenőrzése.

¹ A program természetesen ismeri a tachogenerátorra (c=16.66 RPM/Volt) vonatkozó szorzó állandót és annak megfelelően számítja a fordulatszámot.



8.9. ábra. Melegedés mérési program folyamatábrája.

A melegedések viszonyok vizsgálata a hatásfok, a hűtés, tekercshőfok szempontjából is fontos jellemző. Mennyi hőenergiát engedünk a környezetbe?! Az új szabványokban való magas hatásfokú motorok gyártása szempontjából nélkülözhetetlenek tarjuk a melegedési viszonyok pontos ismeretét és vizsgálati módszerének korszerű megválasztását. A diagrammon látható melegedési mérést a korábban (frekvenciaváltós mérésnél) bemutatott aszinkron motoron végeztem.



8.10. ábra. Melegedési jelleggörbe üresjárásban.

9. Aszinkron motorok tervezési kérdései gyakorlati szempontok alapján ^[13]

Aszinkron villamos motorok tervezése

9.1. Általános megjegyzés az aszinkron gép működési elvéhez

Az aszinkron gép működési elvét leggyakrabban azzal magyarázzák, hogy az állórész által létrehozott forgó mágneses tér erővonalai metszik a forgórész vezetőit és így abban feszültség indukálódik.

Meg kell azonban jegyezni, hogy ez az erővonal metszést kiemelő magyarázat csak akkor teljesen igaz, ha a vezetők nincsenek „vasba ágyazva”, ami igen ritka eset.

A legelterjedtebb aszinkron gépeknél azonban az állórész és a forgórész vezetői is hornyokban helyezkednek el, így a fő fluxus erővonalai a vastest fogain és a koszorúkon keresztül záródnak, és csak igen kis részük „metszi” a vezetőket.

Ettől még az erővonalmetszésből levezetett következtetések igazak, kivéve azt, hogy a nyomaték képződése során nem a vezetőkre fog hatni az erő, hanem a vastest fogaira.

9.2. Tervezési irányelvek, követelmények

A tervezés során a legfontosabb cél a motorral szemben támasztott követelmények kielégítése.

A követelmények rendkívül szerteágazóak lehetnek.

1. Általános követelmények.

Az ilyen jellegű követelményeket az általános ipari felhasználású motorokra IEC 60034-1 szabvány tartalmazza (üzem típusok, névleges értékek, működési körülmények, melegedési határértékek, adattábla adatok, mérések és tesztek stb.)

Az általános célú motorokon kívül még nagyon sok speciális felhasználási terület létezik, amelyekre külön követelmények és előírások vonatkoznak. Ilyenek például a háztartási gépek (pl. házi vízmedence szivattyúmotorok), vasúti üzemű motorok (pl. metrókocsin üzemelő kompresszor motor), szerszámgépeken üzemelő (szervo) motorok stb.

2. A mechanikai kialakítással szemben támasztott követelmények.

Ezek a követelmények azért fontosak, mert sok esetben meghatározzák az aktív résszel szemben támasztott követelményeket is.

Ilyen követelmények például a gép hűtését nagyban befolyásoló védettségi fokozat (pl. IP23, IP54 stb.).

A gép beépítési méretei rendszerint valamilyen szabvány (pl. az IEC 60072) írja elő a gép nagyságától függően (pl. 112M, 132S, 200L stb.).

Az általános célú motorok teljesítmény-méret összerendelése is általában szabványban (IEC-NEMA) vagy más irányelvben (EU direktívák) rögzített.

Lehetnek speciális követelmények, mint például a gép rezgése nagy fordulatszámoknál (szerszámgép főorsó), ami miatt a tengely átmérőjét a lemezcsomag alatt a lehető legnagyobbra kell választani, vagy különleges szilárdsági követelmények (nyomásálló tokozású robbanásbiztos kivitel) stb.

3. A villamos adatokat befolyásoló követelmények.

A mai korban már a motorok villamos energiával való táplálása sem csak kizárólag feszültség-kényszer útján valósul meg, hiszen az áramirányítókban áramkényszert is alkalmaznak.

A hagyományos (feszültség kényszeres, vagy hálózati) táplálási módnál a motor tervezésére nagy befolyással van a feszültség szintje (törpe feszültség, kisfeszültség, nagy feszültség).

Leggyakrabban a kisfeszültségű (max. 690 V) motorokkal lehet találkozni.

A motorok nyomaték- és fordulatszám viszonyai rendkívül változatosak. A legáltalánosabb esetben a motorokat 2, 4, 6 és 8 pólusra tervezik és a szabványban előírt billenő- és indítónyomatékot kell teljesíteniük bizonyos indítási áramkorlát mellett.

A fordulatszám alapvetően a pólusszám megválasztásával befolyásolható, de igényesebb esetekben ma már erre frekvenciaváltót használnak (főleg 4 pólusú motorokhoz).

Sok esetben nem a motor névleges teljesítménye a mérvadó, hanem a felfutás során igényelt nyomaték (pl. kompresszorok esetén), amit a legelterjedtebb kalickás motoroknál a kalicka alakjával lehet befolyásolni (ha nem frekvenciaváltós motorról van szó).

Az áramirányítóról táplált motorokat a névleges fordulatszámnál lényegesen nagyobb fordulatszámokon is használják (pl. 4 pólusú 50 Hz-es motort 15000/min vagy annál nagyobb fordulatszámra, mit a tervezésnél szintén figyelembe kell venni).

Újabban az általános célú motorokra hatásfok követelmények is elő vannak írva, ami jobb és több anyagfelhasználást igényel. A jobb hatásfokú motoroknál a melegedés alacsonyabb, tehát a szigetelés hőállósági követelménye nem kritikus.

Vannak azonban olyan területek, ahol a motorok tervezésénél a melegedés fontos szerepet játszik (füstgáz elszívók, robbanásbiztos motorok) és ez befolyásolja az aktív anyagok (dinamólemez, rézhuzal) tömegét.

Az aktív részek arányát a motorhoz választott igénybevételekkel lehet befolyásolni. Lehet például választani viszonylag magas közepes légrésindukciót, ami azzal jár, hogy a vas telítődésének a korlátozása miatt több vasat kell használnunk, ami kisebb horonyméretekhez és kisebb rézfelhasználáshoz vezet. Nagyobb motoroknál az ilyen elven tervezett kalickás gép kevesebb indításra lesz alkalmas, mivel az indítási áram okozta hirtelen melegedést csak a réz tömegével lehet korlátozni (gyors melegedés esetén a hőmérséklet emelkedése adiabatikus).

Az indítások számának és körülményeinek minimálisan megkövetelt értékét az IEC 60012 szabályozza.

9.3. A tervezés szokásos menete

Az egyes gyártók gyakorlata eltérő lehet, de nagy számban vannak közös vonások is a tervezésben.

1. Fő méretek

A tankönyvek általában a gépállandókból és a villamos/mágneses igénybevételek szokásos értékeiből indulnak ki az aktív részek méreteinek a meghatározásánál.

Emellett érdemes figyelembe venni például a lemez gyártók kínálatában megtalálható lemez alakokat is. Jelenleg Európában a villamos gépek különféle komponenseire szakosodott nagy gyártók alakultak ki, akik rendszeresen kiállításokon mutatják be a termékeiket (pl. CWIEME).

A kvázi „szabványos” méretű lemezeken kívül gyártanak szabványos motorházakat, pajzsokat kapcsolóházakat stb.

Meg kell azonban jegyezni, hogy ezek a katalógusból választató komponensek (amelyek a gyártók weblapján megtalálhatók) csak a nagy számban gyártott, teljesen zárt, felületi hűtésű, általános célú kalickás motorokra vannak tervezve.

A speciális motorokra (pl. vízhűtés, átszellőzött kivitel, magas fordulatszám stb.) csak részben használhatók a katalógus alkatrészek.

2. Lemezalak

Ha nem tudunk a katalógusokból választani, akkor külső átmérőből kell kiindulni és a pólusszám függvényében kell meghatározni a furat átmérőjét. Nagyobb pólusszámhoz

nagyobb furatot lehet tervezni, mivel a koszorú mérete egyre kisebb lesz (a fluxus a pólusszám növelésével csökken a koszorúban).

A horonyszám megválasztását a tekercselés igényei mellett a gyárthatóság is befolyásolja.

Kisebb furat átmérőhöz kevesebb horonyszámot kell választanunk, hogy a 4 mm-nél kisebb fog méretet elkerüljük.

A legkedvezőbb horonyalakhoz párhuzamos falú fog és félig zárt horony tartozik.

Nagyfeszültségű motoroknál (3 kV felett) azonban csak nyitott állórész hornyok jöhetnek szóba a fazonhuzalos, előre gyártott tekercselés miatt.

Kalickás motoroknál igen fontos az állórész/forgórész horonyszám kombináció megválasztása, mivel rossz esetben ez felfutási nehézséget és zajt okozhat.

A kalickás forgórészű motorok forgórész horonyalakja rendkívül változatos, mivel ezzel befolyásolhatjuk a nyomaték-fordulatszám jelleggörbe alakját (mélyhornyú, kétkalickás stb.).

3. Tekercselés

A pólusonkénti és fázisonkénti állórész horonyszám minél nagyobb legyen és lehetőleg ne legyen tört szám.

Körhuzalos tekercselésű kisebb motoroknál a nagy darabszám miatt olyan tekercselést kell választani, ami géppel is kivitelezhető (automata tekercselőgépek).

Körhuzalos tekercselésnél a kívánt keresztmetszet rendkívül változatos módon kombinálható és befolyásolni lehet a fázisok kapcsolási módjával is soros/párhuzamos, csillag/delta.

4 kW alatt például az üzemi kapcsolás csillag szokott lenni, mivel delta esetén túl sok menet és ennek megfelelően túl vékony huzalok adódnának.

4. Mágneses kör

Alapvetően a légrés méretére kell ügyelni, amelynek mechanikai és mágneses korlátai egyaránt vannak (tankönyvekben vannak erre ajánlások).

A lemezminőség kiválasztása a követelményektől függ. A jó hatásfokú (energiahatékony) motorok esetében inkább az alacsony fajlagos veszteségű lemezek jöhetnek szóba (M400-50A, M250-35A stb.).

A lemez mágneses igénybevétele 1.6 T körül szokott lenni (a lemezméretek tervezésénél ezt figyelembe kell venni).

5. Ellenállások, szórási reaktanciák (a helyettesítő vázlat elemei)

Azt lehet mondani, hogy az aszinkron motor villamos számítása a szórásokról szól.

A helyettesítő vázlat paraméterei sohasem állandóak a motor munkapontjának a változásakor. Az ohmos ellenállást viszonylag könnyű számítani, de az áramkiszorulást és a vezető hőmérsékletét figyelembe kell venni. Állórész tekercseléseknél az áramkiszorulás a szokásos 50-60 Hz frekvenciánál csak olyan esetben növeli meg a tekercs ellenállását, ha a vezető magassága 10 mm-nél nagyobb (ez ritka).

A forgórészen már igen gyakori a 10 mm –nél mélyebb horony így az áramkiszorulással szinte mindig számolni kell.

A mágnesező reaktancia és a vasveszteséget reprezentáló ellenállás számítását csak mindig az adott szlip függvényében (iterációval) lehet meghatározni, mert a belső feszültség az áram hatására csökken.

A forgórész ellenállás kimondottan szlipfüggő (az áramkiszorulás és a kétkalickás hatások miatt).

Az állórész és forgórész szórési reaktanciák áramfüggők és a forgórész szórési reaktanciája még szlipfüggő is. Ezeknek a reaktanciáknak a számítására többszörös iterációt kell alkalmazni.

Külön szólni kell a szórési reaktanciáknak arról a részéről, amely a fogfejeket telíti. Ez a telítődés a nagyobb áramoknál például „kinyitja” a félig zárt hornyot.

6. Üzemi paraméterek, jelleggörbék

A paraméterek meghatározására ma már kizárólag csak a helyettesítő vázlatot használják (kördiagramot nem). A hatásfok meghatározásánál figyelembe kell venni, hogy az új IEC 60034-2 új módszert használ a járulékos veszteségek mérésére, és ez nem mindig egyezik a korábbi 0,5 % -os mértékkel.

7. Melegedés, szellőzés

A melegedés számítására is vannak ugyan hagyományos (analitikus) módszerek, de ezt így nehéz kiszámolni. Újabban léteznek véges elemes programok erre a célra, azok viszont drágák, így ebből a szempontból sokszor csak a tapasztalat segít.

8. Mechanikai számítások

Normál esetben csak a tengely lehajlását, a kritikus fordulatszámot és a csapágy élettartamot szokták számolni. Nyomásálló tokozású, vagy vasúti üzemű és egyéb speciális gépeknél azonban a motorház, talpak, egyéb konstrukciós elemek számítására is szükség lehet.

9. Zaj és rezgés számítás

A motorok állórészének különböző rendszámú deformációjáról és a rezgés valamint a zaj gerjesztő erőiről a szakirodalomban találhatók ugyan számítási módszerek, de ezek elég bonyolultak, ezért sok esetben a tapasztalat és a megfelelő horonyszám kombinációra vagyunk utalva.

9.4. Számítógépes tervezési módszerek

A piacon létező szoftverek alkalmasak akár hagyományos, akár véges elemes modellezésre is akár az elektromágneses, akár a melegedési, vagy akár a szilárdsági számításokról is legyen szó (Maxwell, Flux-3D, SPEED, stb).

Léteznek a 70-es években kifejlesztett, a hagyományos elveken alapuló számítógépes számítási módszerek, amelyek annak idején a kézi (logarléces) számítások módszerét követik, de lényegesen több iterációs ciklust használnak, így pontosabban is. Ezeket a gyárak mérnökei fejlesztették különféle platformokon (Visual Basic, MathCad, Excel stb).

10. Összefoglalás

A dolgozatban megvizsgáltuk azokat a fontos, gyakorlati jellemzőket, amelyeket a jelen szakirodalmakban még nem lehet megtalálni. Betekintést nyertünk az elmúlt évek/évtizedek aszinkron motor fejlődési és fejlesztési stratégiájában. A mindennapi élet egyik fő „kiszolgálója” a 19. században mint egy gondolat és ötlet jelent meg. Felfedezve lehetőségeit, technológiai esélyeit érdemes végigjárni, milyen távoli útra segítette az ember életminőségének javulását.

A másik nem elhanyagolható szerep, hogy egy külön nézőpontot adjunk az aszinkron motoros témának, nem pedig a korábban tapasztalt általános megközelítések oldaláról vizsgáljuk, hanem tisztán alkalmazási lehetőségek alapján. Gyártási és hatásfok javítási módszereket, illetve ezekből adódó nehézségeket.

A póluspárok kialakítása során adódó problémákkal való ismerkedés, ami egyrészt szerkezeti megvalósítás, másrészt villamos jellemző, nem csupán a fordulatszám csökkenését vesszük figyelembe, hanem a szerkezeti, motor tömegváltozási jellemzőket is, amelyek kihatnak a gyártástechnológiára.

A frekvenciaváltós alkalmazással való rövid ismerkedés jelen dolgozatban csak egyszerűbb példát mutat, de egy lehetőség pl.: arra, hogyan változnak az üzemi jellemzők a különböző frekvenciák használata esetén. Egyúttal komoly energia megtakarítást is eredményez számos jelentős ipari alkalmazás területén.

A dolgozat megírásával egyféle célunk és elhatározásunk volt a különleges gyakorlati megoldásokra való figyelem felhívás, valamint betekintést tenni tervezők és gyártók „egyedi” gondolkodásába, miként is oldják az egyszerűnek nem mondható műszaki feladatokat. Egyáltalán hogyan is néz ki egy forgógép tervezési folyamatának elindítása, a szabványban foglalt adottságok figyelembe tartásával a motor családok fejlesztése. Megfelelő indító, billenő és névleges nyomatékú motorok gyártása, különösen a hétköznapi élet eltérő pl.: gyors működésű hajtások megvalósításában való részvétel. Reméljük elegendő „még nem tárgyalt” ismeretet tudtunk bemutatni.

A jövőben tovább figyeljük a „motor piacot” szemmel tartva az új megoldások adta nagyszerű lehetőségeket, ezzel is tartani a lépést a különböző gyártók adta „ötletház” gazdag ismereteivel.

11. Ábrajegyzék

- 1. ábra. Nikola Tesla 1856-1943.**
- 1.1. táblázat. Hatásfok osztályok a régi és az új IEC szabvány szerint.**
- 2.1. táblázat. Villamos forgógépek légrése.**
- 2.1. ábra. Előmunkált tengely elvi kialakítása.**
- 2.2. ábra. Megmunkált forgórész.**
- 2.3. ábra. Tekercselt állórész.**
- 3.1. táblázat. Egyfordulatú kalickás aszinkron motorok indítási jellemzői.**
- 3.1. ábra. Kalickás aszinkron motor tipikus M-n jelleggörbéje.**
- 3.2. és 3.3. táblázatok. A szabvány adatai.**
- 4.1. ábra. Kétpólusú állandó mágnesű motor mágneses köre.**
- 4.2. ábra. Nyolcpólusú állandó mágnesű motor mágneses köre.**
- 4.3. ábra. Nyolcpólusú állandó mágnesű motor módosított mágneses köre.**
- 4.1. táblázat. Lemezz jellemzők 80, 90, 100-as tengelymagasságú motoroknál.**
- 4.2. táblázat. Lemezz jellemzők 112 és 132-es tengelymagasságú motoroknál.**
- 4.3. táblázat. Motor teljesítmények, teljesítménytényezők a pólusszám és tengelymagasság függvényében.**
- 4.4. ábra. Kétpólusú és nyolcpólusú tekercselemek.**
- 4.5. ábra. Kétpólusú tekercsfej készítés közben, 24 pólusú tekercsfej.**
- 5.1. ábra. Háromfázisú aszinkron motorok ventilátoros terhelőnyomaték karakterisztikával.**
- 5.1. táblázat. Vezetőképeség alakulása különböző anyagok esetén.**
- 5.2. ábra. Kalickás forgórész, magas rövidrezáró gyűrűvel.**
- 5.3. ábra. Csillag Delta és Steinmetz kapcsolások.**
- 5.4. ábra. Aszinkron motor M-n jelleggörbéi Delta, Csillag és Steinmetz kapcsolásban.**
- 6.1. ábra. Aszinkron szervomotor metszete.**
- 6.1. táblázat. Aszinkron szervomotorok (NCT) katalógus adatai.**
- 6.2. ábra. Kalicka rudak elmozdulása.**
- 7.1. ábra. Speciális rézrudazatú forgórészek.**
- 7.1. táblázat. Aszinkron és szinkron vontató motorok összehasonlítása.**
- 7.2. ábra. Tesla Roadster, Tesla S 85 kW, Aszinkron motor: 310 kW.**
- 7.3. ábra. Camille Jenatzy nevű belga sofőr.**
- 8.1. ábra. Mérési kapcsolás.**

- 8.2. ábra. Mérési kapcsolási vázlat.**
- 8.3. ábra. A frekvenciaváltón beállított U-f karakterisztika.**
- 8.4. ábra. Terhelési jelleggörbék, $f=50$ Hz.**
- 8.1. táblázat. Mérési eredmények, $f=50$ Hz.**
- 8.5. ábra. Terhelési jelleggörbék, $f=60$ Hz.**
- 8.2. táblázat. Mérési eredmények, $f=60$ Hz.**
- 8.6. ábra. Aszinkron motor egyszerűsített helyettesítő vázlata.**
- 8.7. ábra. Terhelési mérést támogató program megoldási (összesített) algoritmus.**
- 8.8. ábra. Menüpont működésének folyamatábrája.**
- 8.9. ábra. Melegedés mérési program folyamatábrája.**
- 8.10. ábra. Melegedési jelleggörbe üresjárásban.**

12. Irodalomjegyzék

- [1] Sztanó Péter: Ipari villamos motorok energiahatékonyságát szabályozó új szabványok és irányelvek az Európai Unióban. Leroy Somer kiadvány.
- [2] Farkas Szabolcs: Siemens Közlemény. Budapest. 2014.
- [3] Farkas András - Peresztegi Sándor:
Energiahatékonysági trendek és követelmények az újabb motorsorok fejlesztésénél.
Elektrotechnika. 2010. 05. szám.
- [4] Siemens Közlemény: Költségcsökkentés a hajtástechnikában. Elektrotechnika. 2008. 03. szám.
- [5] Dr Asztalos Péter: Villamosgépek II. Tankönyvkiadó. Budapest. 1972.
- [6] Peresztegi Sándor: Gyártástechnológiai anyag. Budapest.2014.
- [7]Peresztegi Sándor: Anyag a pólusszám változtatás hatásáról. Budapest. 2013.
- [8]Peresztegi Sándor: Iparban alkalmazott forgórész gyártási megoldás. Budapest.2010.
- [9]Peresztegi Sándor: Gyakorlatban alkalmazott fejlesztési anyag ismertetése. Budapest. 2010.
- [10] Laczkó István: Aszinkron szervomotor fejlesztésénél felmerült probléma bemutatása.
Budapest. 2014.
- [11] NCT katalogus.
- [12] <http://www.alternativenergia.hu/>
http://hu.wikipedia.org/wiki/Tesla_Motors
http://hu.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster
<http://hu.wikipedia.org/wiki/Elektromos>
- [13] Laczkó István: Aszinkron motorok tervezési kérdései gyakorlati szempontok alapján. Budapest. 2014.

13. Melléklet

Frekvenciaváltós mérések programjának futtatási eredménye²

1. mérés: $f=50$ Hz frekvencián végzett mérés futtatási eredménye

aszinkron motor adatai:

nevleges mechanikai (tengelyen leadott) teljesítmény (Watt)=330.000000

nevleges fordulatszám(1/min)=1400.000000

nevleges frekvencia(Hz)=50.000000

nevleges feszultseg(Volt)=220.000000

nevleges aram(Amper)=1.700000

alloresz szinkron fordulatszama(1/min)=1500.000000

teljesitmeny-tenyezo(cosfi)=0.750000

halozatbol felvett hatasos teljesitmeny(Watt)=485.265015

halozatbol felvett latszolasos teljesitmeny(VA)=647.020020

nevleges szogsebesseg(rad/sec)=146.533340

nevleges hatasfok(%)=68.004082

nevleges nyomatek(Nm)=2.252047

nevleges slip=0.066667

Első mérési pont

adatai a motor által felvett áramerősség(Amper)=1.100000

motor mért feszultsege(Volt)=210.000000

motor által felvett hatasos teljesitmeny(Watt)=295.000000

motor által felvett latszolasos teljesitmeny(VA)=399.630005

motor teljesitmenytenyezoje=0.738183

motor által leadott teljesitmeny(Watt)=142.500000

motor hatasfoka ezen ponton=48.305084

fordulatszám(1/min)=1448.920166

Második mérési pont adatai

a motor által felvett áramerősség(Amper)=1.213333

motor mért feszultsege(Volt)=205.000000

motor által felvett hatasos teljesitmeny(Watt)=330.000000

motor által felvett latszolasos teljesitmeny(VA)=430.308685

motor teljesitmenytenyezoje=0.766891

motor által leadott teljesitmeny(Watt)=186.200012

² A feltüntetett adatok a fájlba visszaadott eredményekből származnak, csak egy mérési frekvenciát (50 Hz) tartalmaznak, összesen hat mérési ponttal.

motor hatasfoka ezen ponton=56.424248

fordulatszám(1/min)=1448.920166

Harmadik meresi pont adatai

a motor által felvett áramerősség(Amper)=1.356667

motor mért feszültsége(Volt)=205.000000

motor által felvett hatásos teljesítmény(Watt)=400.000000

motor által felvett látszólagos teljesítmény(VA)=481.141846

motor teljesítménytenyezője=0.831356

motor által leadott teljesítmény(Watt)=216.000000

motor hatasfoka ezen ponton=54.000000

fordulatszám(1/min)=1441.089966

Negyedik meresi pont adatai

a motor által felvett áramerősség(Amper)=1.433333

motor mért feszültsége(Volt)=200.000000

motor által felvett hatásos teljesítmény(Watt)=410.000000

motor által felvett látszólagos teljesítmény(VA)=495.933350

motor teljesítménytenyezője=0.826724

motor által leadott teljesítmény(Watt)=291.200012

motor hatasfoka ezen ponton=71.024391

fordulatszám(1/min)=1429.927856

Ötödik meresi pont adatai

a motor által felvett áramerősség(Amper)=1.700000

motor mért feszültsége(Volt)=195.000000

motor által felvett hatásos teljesítmény(Watt)=480.000000

motor által felvett látszólagos teljesítmény(VA)=573.494995

motor teljesítménytenyezője=0.836973

motor által leadott teljesítmény(Watt)=334.200012

motor hatasfoka ezen ponton=69.625000

fordulatszám(1/min)=1389.943848

Hatodik meresi pont adatai

a motor által felvett áramerősség(Amper)=1.800000

motor mért feszültsége(Volt)=195.000000

motor által felvett hatásos teljesítmény(Watt)=500.000000

motor által felvett látszólagos teljesítmény(VA)=607.229980

motor teljesítménytenyezője=0.823411

motor által leadott teljesítmény(Watt)=369.200012

motor hatasfoka ezen ponton=73.840004

fordulatszám(1/min)=1349.959839

A frekvenciaváltós mérésekhez készült c-ben megírt program kódolása

Rövid részlet

```
#include <stdio.h>
void fv1(int);
void fv2(int);
void fv3(int);
void fv4(int);
void fv5(int);
void fv6(int);
void fv7(int);
void fv8(int);
void fv9(int);
void main(void)
{
    printf("Udvozlom a meresi adatgyujto es szamito programban!\n");
    printf("A program a aszinkron motor terhelesi meresehez keszult!\n");
    printf("A terhelso gep, kulso gerjesztesu egyenaramu generator!\n");
    printf("A terhelso gep adatai: P=500W, n=1450RPM, Pg=24V*0.8A,Ja=30A,Ua=24V, hat.fok=70%,
M=3.3Nm!\n");
    printf("Kerem pontosan kovesse az utasitasokat!\n");
    printf("Valassza ki a megfelelo szamitasi muveletet!\n");
    int a,b=1,u=0;
    while(b)
    {
        printf("Menupontok valasztasa!\n");
        printf("Kerem pontosan kovesse az utasitasokat!\n");
        printf("1-es gomb a merendo elso motor adatainak szamitasa!\n");
        printf("2-es gomb a merendo masodik motor adatainak szamitasa!\n");
        printf("3-os gomb Elso meresi pont valasztasa!\n");
        printf("4-os gomb Masodik meresi pont valasztasa!\n");
        printf("5-os gomb Harmadik meresi pont valasztasa!\n");
        printf("6-os gomb Negyedik meresi pont valasztasa!\n");
        printf("7-os gomb Otodik meresi pont valasztasa!\n");
        printf("8-os gomb Hatodik meresi pont valasztasa!\n");
        printf("9-es gomb a motor alapadatai menu pont!\n");
        printf("10-os gomb a kilepes!\n");
        scanf("%d",&a);
        switch(a)
        {
            case 1:
                fv1(u);
                break;
            case 2:
                fv2(u);
                break;
            case 3:
                fv3(u);
                break;
            case 4:
                fv4(u);
                break;
            case 5:
                fv5(u);
                break;
            case 6:
                fv6(u);
                break;
```

```

    case 7:
        fv7(u);
        break;
    case 8:
        fv8(u);
        break;
    case 9:
        fv9(u);
        break;
    case 10:
        printf("Kilepes\n");
        b=0;
        break;
    default:
        printf("Nincs ilyen menupont!\n");
        break;
}
}
return 0;
}
void fv1(int n)
{
    int q1=0;
    printf("A merendo elso motor adatainak szamitasa! Biztos hogy folytatja? Ha igen 2-es gomb ha nem 9-es gomb!\n");
    scanf("%d",&q1);
    if(q1==2)
    {
        float
Pn=0,fordnev=0,f1=0,In=0,Un=0,Sfel=0,Pfel=0,Mn=0,slip=0,omegn=0,hatasfok=0,szinkronford=0,cosfi=0;
        printf("A motor nevleges adatainak szamitasa!\n");
        printf("Adatok beolvasasa!\n");
        printf("A nevleges teljesitmeny (Watt-ban)!\n");
        scanf("%f",&Pn);
        printf("Nevleges fordulatszam (1/min)!\n");
        scanf("%f",&fordnev);
        printf("Mukodesi frekvencia (sztator frekvencia) (Hz)!\n");
        scanf("%f",&f1);
        printf("Nevleges feszultseg!\n");
        scanf("%f",&Un);
        printf("Nevleges aram!\n");
        scanf("%f",&In);
        printf("Kerem adja meg a motor polusparjabol adodo szinkron fordulatszamat!\n");
        scanf("%f",&szinkronford);
        printf("Nevleges cosfi!\n");
        scanf("%f",&cosfi);
        Pfel=1.73*Un*In*cosfi; /*halozatbol felvett hatasos teljesitmeny*/
        Sfel=1.73*Un*In;
        omegn=(6.28*fordnev)/60;
        hatasfok=Pn/Pfel*100;
        Mn=Pn/omegn;
        slip=(szinkronford-fordnev)/szinkronford;
        printf("Szamitott adatok!\n");
        printf("Felvett hatasos telj.(Watt-ban):%f\n",Pfel);
        printf("Felvett latszolas telj.(VA-ban):%f\n",Sfel);
        printf("nevleges omega (rad/s):%f\n",omegn);
        printf("Nevleges hatasfok (%-ban):%f\n",hatasfok);
        printf("Nevleges nyomatek (Mn-ben):%f\n",Mn);
        printf("Nevleges slip:%f\n",slip);
    }
}

```

```

float motor[13]; /*motor adatait tarolo tomb*/
int f=0;
for(f=0; f<13; f++) /*tomb kinullazasa*/
{
    motor[f]=0;
}
for(f=0; f<13; f++) /*tomb feltoltese*/
{
    motor[0]=Pn;
    motor[1]=fordnev;
    motor[2]=f1;
    motor[3]=Un;
    motor[4]=In;
    motor[5]=szinkronford;
    motor[6]=cosfi;
    motor[7]=Pfel;
    motor[8]=Sfel;
    motor[9]=omegn;
    motor[10]=hatafok;
    motor[11]=Mn;
    motor[12]=slip;
}
printf("A motor adatai fajl-ban is tarolva!\n");
FILE * fp;
fp = fopen ("file.txt", "w+");
fprintf(fp,"%s %s %s %s nevleges mechanikai (tengelyen leadott) teljesitmeny(Watt)=%f\n nevleges
fordulatszam(1/min)=%f\n nevleges frekvencia(Hz)=%f\n nevleges feszultseg(Volt)=%f\n nevleges
aram(Amper)=%f\n allore szinkron fordulatszama(1/min)=%f\n teljesitmeny-tenyezo(cosfi)=%f\n halozatbol
felvett hatasos teljesitmeny(Watt)=%f\n halozatbol felvett latszolasos teljesitmeny(VA)=%f\n nevleges
szogsebesseg(rad/sec)=%f\n nevleges hatafok(%)=%f\n nevleges nyomatek(Nm)=%f\n nevlges slip=%f\n",
"aszinkron","motor","adatai","elsomotor",motor[0],motor[1],motor[2],motor[3],motor[4],motor[5],motor[6],mot
or[7],motor[8],motor[9],motor[10],motor[11],motor[12]);
fclose(fp);
for(f=0; f<13; f++) /*tomb elemeinek kiirasa*/
{
    printf("A motor adatai tarolva:%f\n",motor[f]);
}
}
else if(q1==9)
{
    printf("Kilepes az elso merendo motor adatai szamito menubol!\n");
}
}

void fv3(int n)
{
    int q1=0;
    printf("1-es meresi pont inditasa!\n");
    printf("Biztos benne? Ha igen 2-es gomb! Ha nem 9-as gomb!\n");
    scanf("%d",&q1);
    if(q1==2)
    {
        float i1=0,i2=0,i3=0,io1=0,u11=0,p1o=0,p11=0,tacho=0,n=0;
        float p12=0,s1=0,cosfi1=0,ple1=0,merthatasfok=0;
        printf("Aramerosseg adatai beolvas!\n");
        printf("1-es fazis arammero!\n");
        scanf("%f",&i1);
        printf("2-es fazis arammero!\n");
        scanf("%f",&i2);
    }
}

```

```

printf("3-as fazis arammero!\n");
scanf("%f",&i3);
printf("Feszultseg beolvas!\n");
scanf("%f",&u11);
printf("Figyelem! A wattmerok által mutatott értéket elojelhelyesen kell megadni!\n");
printf("1-es wattmero beolvas!\n");
scanf("%f",&p11);
printf("2-es wattmero beolvas!\n");
scanf("%f",&p12);
printf("Mert fordulatszám adatai!\n");
printf("A tachogenerator által adott érték!\n");
printf("Az eredmény feszultsegben adja meg (volt-ban)!\n");
printf("A tachó-allandó nem kell megadni (autamtikusan 16.66 lesz)!\n");
scanf("%f",&tacho);
n=16.66*tacho;
io1=(i1+i2+i3)/3;
p1o=p11+p12;
s1=1.73*u11*io1;
cosfi1=p1o/s1;
printf("Fazis aramok atlagolt erteke: %f\n",io1);
printf("Mert hatasos teljesitmeny: %f\n",p1o);
printf("Mert cosfi erteke: %f\n",cosfi1);
printf("Mert latszolasos telj.: %f\n",s1);
printf("Aszinkron motor mert fordulatszama(1/min):%f\n",n);
float ia1=0,ua1=0,ig1=0,ug1=0;
printf("A terhelogepe adatai beolvas!\n");
printf("Armatura aram!\n");
scanf("%f",&ia1);
printf("Armatura feszultseg!\n");
scanf("%f",&ua1);
printf("Gerjeszto feszultseg, gerjeszto aram!\n");
scanf("%f %f",&ug1,&ig1);
ple1=(ua1*ia1)+(ug1*ig1);
printf("A terhelt motor által leadott mechanikai teljesitmeny: %f\n",ple1);
merthatasfok=(ple1/p1o)*100;
printf("A motor hatasfoka ebben a meresben: %f\n",merthatasfok);
printf("A mert es szamitott adatok tarolasa tombben!\n");
float meres1[8];
int f2=0;
f2=0;
while(f2<8)
{
    f2++;
    meres1[f2]=0;
}
f2=0;
while(f2<8)
{
    f2++;
    meres1[0]=io1;
    meres1[1]=u11;
    meres1[2]=p1o;
    meres1[3]=s1;
    meres1[4]=cosfi1;
    meres1[5]=ple1;
    meres1[6]=merthatasfok;
    meres1[7]=n;
}
FILE * fp2;
fp2 = fopen ("file.txt", "a+");

```

```

    fprintf(fp2, "%s %s %s %s a motor által felvett áramerosseg(Amper)=%f\n motor mert
feszultsege(Volt)=%f\n motor által felvett hatasos teljesitmeny(Watt)=%f\n motor által felvett latszolas
teljesitmeny(VA)=%f\n motor teljesitmenytenyezoje=%f\n motor által leadott teljesitmeny(Watt)=%f\n motor
hatasfoka ezen ponton=%f\n fordulatszam(1/min)=%f\n", "Elso", "meresi",
"pont", "adatai", meres1[0], meres1[1], meres1[2], meres1[3], meres1[4], meres1[5], meres1[6], meres1[7]);
    fclose(fp2);
    f2=0;
    while(f2<7)
    {
        f2++;
        printf("1-es meresi adatok: %f\n", meres1[f2]);
    }
    printf("Elso meres befejezodott! Kerem lepjen tovabb!\n");
}
else if(q1==9)
{
    printf("Kilepes az 1-es meresi pontbol!\n");
}
}

```

Melegedés mérési program futtatási eredményei

tekercs-ellenallas hideg-allapotban

U1[Volt]=34.799999

I1[Amper]=1.700000

R1[Ohm]=20.470587

U2[Volt]=35.200001

I2[Amper]=1.710000

R2[Ohm]=20.584795

U3[Volt]=35.599998

I3[Amper]=1.730000

R3[Ohm]=20.578033

elso meresi pont

Aramerosseg [Amper]=1.120000

Feszultseg [Volt]==215.000000

Hatasos teljesitmeny [Watt]=95.000000

Latszolas teljesitmeny [VA]=416.584015

cosfi=0.228045

Fordulatszam [1/min]=1464.994141

Környezeti hőmérséklet [Celsius fok]=19.000000

Motorház hőmérséklet [Celsius fok]=19.000000

Masodik meresi pont

Aramerosseg [Amper]=1.186667

Feszultseg [Volt]==220.000000

Hatasos teljesitmeny [Watt]=95.000000

Latszolas teljesitmeny [VA]=451.645355

cosfi=0.210342

Fordulatszám [1/min]=1461.660645
Környezeti hőmérséklet [Celsius fok]=19.000000
Motorház hőmérséklet [Celsius fok]=40.000000

Harmadik merési pont

Aramerosseg [Amper]=1.166667
Feszultseg [Volt]==220.000000
Hatosos teljesitmeny [Watt]=100.000000
Latszolas teljesitmeny [VA]=444.033325
cosfi=0.225208
Fordulatszám [1/min]=1459.994019
Környezeti hőmérséklet [Celsius fok]=19.000000
Motorház hőmérséklet [Celsius fok]=44.000000

Negyedik merési pont

Aramerosseg [Amper]=1.186667
Feszultseg [Volt]==220.000000
Hatosos teljesitmeny [Watt]=110.000000
Latszolas teljesitmeny [VA]=451.645355
cosfi=0.243554
Fordulatszám [1/min]=1459.994019
Környezeti hőmérséklet [Celsius fok]=19.000000
Motorház hőmérséklet [Celsius fok]=47.000000

Otodik merési pont

Aramerosseg [Amper]=1.146667
Feszultseg [Volt]==212.500000
Hatosos teljesitmeny [Watt]=110.000000
Latszolas teljesitmeny [VA]=421.543335
cosfi=0.260946
Fordulatszám [1/min]=1458.327393
Környezeti hőmérséklet [Celsius fok]=19.000000
Motorház hőmérséklet [Celsius fok]=53.000000

Hatodik merési pont

Aramerosseg [Amper]=1.150000
Feszultseg [Volt]==217.000000
Hatosos teljesitmeny [Watt]=105.000000
Latszolas teljesitmeny [VA]=431.721497
cosfi=0.243212
Fordulatszám [1/min]=1458.327393
Környezeti hőmérséklet [Celsius fok]=19.000000
Motorház hőmérséklet [Celsius fok]=55.000000

Hetedik merési pont

Aramerosseg [Amper]=1.250000
 Feszultseg [Volt]==220.000000
 Hatasos teljesitmeny [Watt]=110.000000
 Latszolas teljesitmeny [VA]=475.750000
 cosfi=0.231214
 Fordulatszam [1/min]=1458.327393
 Környezeti hőmérséklet [Celsius fok]=19.000000
 Motorház hőmérséklet [Celsius fok]=59.000000
 Nyolcadik meresi pont
 Aramerosseg [Amper]=1.233333
 Feszultseg [Volt]==220.000000
 Hatasos teljesitmeny [Watt]=120.000000
 Latszolas teljesitmeny [VA]=469.406677
 cosfi=0.255642
 Fordulatszam [1/min]=1458.327393
 Környezeti hőmérséklet [Celsius fok]=19.000000
 Motorház hőmérséklet [Celsius fok]=62.000000
 Kilencedik meresi pont
 Aramerosseg [Amper]=1.216667
 Feszultseg [Volt]==220.000000
 Hatasos teljesitmeny [Watt]=115.000000
 Latszolas teljesitmeny [VA]=463.063354
 cosfi=0.248346
 Fordulatszam [1/min]=1458.327393
 Környezeti hőmérséklet [Celsius fok]=20.000000
 Motorház hőmérséklet [Celsius fok]=63.000000
 tekercs-ellenallas Meleg-allapotban U1[Volt]=41.799999
 I1[Amper]=1.702000
 R1[Ohm]=24.559341
 U2[Volt]=41.000000
 I2[Amper]=1.680000
 R2[Ohm]=24.404762
 U3[Volt]=41.200001
 I3[Amper]=1.706000
 R3[Ohm]=24.150059
 Fordulatszam-csokkenes ertekei
 első merés során számított ford.(1/min)=1464.994141
 második merés során számított ford.(1/min)=1461.660034
 harmadik merés során számított ford.(1/min)=1459.989990
 negyedik merés során számított ford.(1/min)=1458.319946

ötödik meres soran számított ford.(1/min)=1458.319946

hatodik meres soran számított ford.(1/min)=1458.319946

hetedik meres soran számított ford.(1/min)=1458.319946

nyolcadik meres soran számított ford.(1/min)=1458.319946

A melegedés mérésekhez készült c-program kódolása (rövid részletben)

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
void fv1(int);
void fv2(int);
void fv3(int);
void fv4(int);
void fv5(int);
void fv6(int);
void fv7(int);
void fv8(int);
void fv9(int);
void fv10(int);
void fv11(int);
void fv12(int);
void fv13(int);
int main(void)
{
    printf("Üdvözlöm a melegedés merési programban!\n");
    printf("A program az aszinkron motorok különböző melegedési üzemállapotainak vizsgálatára készült!\n");
    printf("Valassza ki a megfelelő számítási műveletet!\n");
    int a,b=1,u=0;
    while(b)
    {
        printf("Menüpontok választása!\n");
        printf("Kérem pontosan kövesse az utasításokat!\n");
        printf("1-es gomb!\n");
        printf("A motor akkor sz tekercsellenállásának mérése (ohmos összetevő)!\n");
        printf("2-es gomb!\n");
        printf("Elso melegedés merési pont!\n");
        printf("3-es gomb!\n");
        printf("Második melegedés merési pont!\n");
        printf("4-es gomb!\n");
        printf("Harmadik melegedés merési pont!\n");
        printf("5-es gomb!\n");
        printf("Negyedik melegedés merési pont!\n");
        printf("6-es gomb!\n");
        printf("Ötödik melegedés merési pont!\n");
        printf("7-es gomb!\n");
        printf("Hatodik melegedés merési pont!\n");
        printf("8-es gomb!\n");
        printf("Hetedik melegedés merési pont!\n");
        printf("9-es gomb!\n");
        printf("Nyolcadik melegedés merési pont!\n");
        printf("Tíz-es gomb!\n");
        printf("Kilencedik melegedés merési pont!\n");

        printf("Tekercsellenállás adatainak számítása MELEG állapotban!\n");
        printf("11-es gomb!\n");
        printf("A tekercsellenállás értékek változásának vizsgálata!\n");
    }
}
```

```

printf("12-es gomb!\n");
printf("Melegedes meres soran fellepo fordulatszam csokkenes osszehasonlitasa!\n");
printf("13-es gomb!\n");
printf("0-os gomb a kilepes!\n");
scanf("%d",&a);
switch(a)
{
case 1:
    fv1(u);
    break;
case 2:
    fv2(u);
    break;
case 3:
    fv3(u);
    break;
case 4:
    fv4(u);
    break;
case 5:
    fv5(u);
    break;
case 6:
    fv6(u);
    break;
case 7:
    fv7(u);
    break;
case 8:
    fv8(u);
    break;
case 9:
    fv9(u);
    break;
case 10:
    fv10(u);
    break;
case 11:
    fv11(u);
    break;
case 12:
    fv12(u);
    break;
case 13:
    fv13(u);
    break;
case 0:
    printf("Kilepes\n");
    b=0;
    break;
default:
    printf("Nincs ilyen menupont!\n");
    break;
}
}
return 0;
}
void fv1(int n)
{

```

```

int szam=0;
printf("Belepes a Menupontba!\n");
printf("Ha folytatja 1-s gomb Ha nem akkor 0-s gomb!\n");
scanf("%d",&szam);
if(szam==1)
{
float u1=0,i1=0,u2=0,i2=0,u3=0,i3=0,R1=0,R2=0,R3=0;
printf("Figyelem! A meres a motor hideg allapotara vonatkozik!\n");
printf("A tekercs ellenallas merest egyenfeszultseggel vegezzuk ebben az esetben!\n");
printf("Feszultseg erteke beolvas!\n");
scanf("%f",&u1);
printf("Aram erteke beolvasasa!\n");
scanf("%f",&i1);
R1=u1/i1;
printf("Feszultseg erteke beolvas!\n");
scanf("%f",&u2);
printf("Aram erteke beolvasasa!\n");
scanf("%f",&i2);
R2=u2/i2;
printf("Feszultseg erteke beolvas!\n");
scanf("%f",&u3);
printf("Aram erteke beolvasasa!\n");
scanf("%f",&i3);
R3=u3/i3;
float t1[9];
int f=0;
for(f=0; f<9; f++)
{
t1[f]=0;
}
for(f=0; f<9; f++)
{
t1[0]=u1;
t1[1]=i1;
t1[2]=R1;
t1[3]=u2;
t1[4]=i2;
t1[5]=R2;
t1[6]=u3;
t1[7]=i3;
t1[8]=R3;
}
for(f=0; f<9; f++)
{
printf("Tekercs ellenallas meresi eredmenyei: %f\n",t1[f]);
}
FILE *fp;
fp=fopen("file.txt","w+");
fprintf(fp,"%s %s\n U1[Volt]=%f\n I1[Amper]=%f\n R1[Ohm]=%f\n U2[Volt]=%f\n I2[Amper]=%f\n R2[Ohm]=%f\n U3[Volt]=%f\n I3[Amper]=%f\n R3[Ohm]=%f\n", "tekercs-ellenallas", "hideg-allapotban",t1[0],t1[1],t1[2],t1[3],t1[4],t1[5],t1[6],t1[7],t1[8]);
fclose(fp);
}
else if(szam==0)
{
printf("Kilepes!\n");
}
}
void fv2(int n)
{

```

```

float i1=0,i2=0,i3=0,u=0,p1=0,p2=0,cn=16.6666,un=0,i0=0,p0=0,cosfi=0,s=0,nm=0,tk=0,th=0;
printf("Elso melegedesi meres adatai beolvasa!\n");
printf("Aramerossegek beolvasasa!\n");
scanf("%f" "%f" "%f",&i1,&i2,&i3);
printf("Feszultseg beolvasasa!\n");
scanf("%f",&u);
printf("Teljesitmenyek elojelhelyes beolvasasa!\n");
printf("Elsonek a nagyobb wattmero erteket kell megadni!\n");
scanf("%f" "%f",&p1,&p2);
printf("Beolvasott adatok alapjan a meresi eredmenyek szamitasa!\n");
i0=(i1+i2+i3)/3;
printf("A motor uresjarasi arama[amper]=%f\n",i0);
printf("A motor uresjarai feszultsege[volt]=%f\n",u);
p0=p1+p2;
printf("A motor uresjarasi hatasos teljesitmenye[watt]=%f\n",p0);
printf("Kerem ellenorizze a teljesitmeny helyesseget!\n");
s=1.73*u*i0;
printf("A motor latszolasos uresjarasi teljesitmenye[VA]=%f\n",s);
cosfi=p0/s;
printf("A motor uresjarasi cosfije=%f\n",cosfi);
printf("A fordulatszam mint feszultseg beolvasasa!\n");
printf("A beolvasas soran korrigaljuk a tachogenerator kefe es vezetek feszultsegeseset!\n");
printf("+4 Volt javitast jelent!\n");
scanf("%f",&un);
printf("A beolvasas soran korrigaljuk a tachogenerator kefe es vezetek feszultsegeseset!\n");
printf("+4 Volt javitast jelent!\n");
nm=cn*(un+4);
printf("A motor aktualis mert fordulatszama[1/min]=%f\n",nm);
printf("A környezeti homerseklet bolvasasa!\n");
scanf("%f",&tk);
printf("A motorhaz homerseklet bolvasasa!\n");
scanf("%f",&th);
float t1[8];
int f=0;
for(f=0; f<8; f++)
{
    t1[f]=0;
}
for(f=0; f<8; f++)
{
    t1[0]=i0;
    t1[1]=u;
    t1[2]=p0;
    t1[3]=s;
    t1[4]=cosfi;
    t1[5]=nm;
    t1[6]=tk;
    t1[7]=th;
}
for(f=0; f<8; f++)
{
    printf("Elso melegedesi meres eredmenyei:%f\n",t1[f]);
}
FILE *fp;
fp=fopen("file.txt","a+");
fprintf(fp,"%s %s %s\n Aramosseg [Amper]=%f\n Feszultseg [Volt]=%f\n Hatasos teljesitmeny [Watt]=%f\n Latszolasos teljesitmeny [VA]=%f\n cosfi=%f\n Fordulatszam [1/min]=%f\n Környezeti hőmérséklet [Celsius fok]=%f\n Motorház hőmérséklet [Celsius fok]=%f\n",
"also","meresi","pont",t1[0],t1[1],t1[2],t1[3],t1[4],t1[5],t1[6],t1[7]);
fclose(fp);

```

```
}
```

Meleg állapotban való ellenállásmérés és fordulatszám csökkenést vizsgáló

programrészlet

```
void fv11(int n)
{
    float u1=0,i1=0,u2=0,i2=0,u3=0,i3=0,R1=0,R2=0,R3=0;
    printf("Figyelem! A meres a motor MELEG állapotara vonatkozik!\n");
    printf("A tekercs ellenallas merest egyenfeszultseggel vegezzuk ebben az esetben!\n");
    printf("Feszultseg erteke beolvas!\n");
    scanf("%f",&u1);
    printf("Aram erteke beolvasasa!\n");
    scanf("%f",&i1);
    R1=u1/i1;
    printf("Feszultseg erteke beolvas!\n");
    scanf("%f",&u2);
    printf("Aram erteke beolvasasa!\n");
    scanf("%f",&i2);
    R2=u2/i2;
    printf("Feszultseg erteke beolvas!\n");
    scanf("%f",&u3);
    printf("Aram erteke beolvasasa!\n");
    scanf("%f",&i3);
    R3=u3/i3;
    float t1[9];
    int f=0;
    for(f=0; f<9; f++)
    {
        t1[f]=0;
    }
    for(f=0; f<9; f++)
    {
        t1[0]=u1;
        t1[1]=i1;
        t1[2]=R1;
        t1[3]=u2;
        t1[4]=i2;
        t1[5]=R2;
        t1[6]=u3;
        t1[7]=i3;
        t1[8]=R3;
    }
    for(f=0; f<9; f++)
    {
        printf("Tekercs ellenallas (meleg allapot eseten) meresi eredményei: %f\n",t1[f]);
    }
    FILE *fp;
    fp=fopen("file.txt","a+");
    fprintf(fp,"%s %s U1[Volt]=%f\n I1[Amper]=%f\n R1[Ohm]=%f\n U2[Volt]=%f\n I2[Amper]=%f\n R2[Ohm]=%f\n U3[Volt]=%f\n I3[Amper]=%f\n R3[Ohm]=%f\n", "tekercs-ellenallas", "Meleg-allapotban",t1[0],t1[1],t1[2],t1[3],t1[4],t1[5],t1[6],t1[7],t1[8]);
    fclose(fp);
}

void fv12(int n)
{
    int szam=0;
    printf("Belepes a Menube!\n");
    printf("Ha folytatja 1-es gomb Ha nem folytatja 0-s gomb!\n");
}
```

```

scanf("%d",&szam);
if(szam==1)
{
float R1=0,R2=0,R3=0,R12=0,R22=0,R32=0,dR1=0,dR2=0,dR3=0;
printf("A tekercsellenallas ertekek megadasa!\n");
printf("Elso! A hideg allapotban mert ellenallas ertekek!\n");
scanf("%f %f %f",&R1,&R2,&R3);
printf("Masodik! A MELEG allapotban mert ellenallas ertekek!\n");
scanf("%f %f %f",&R12,&R22,&R32);
printf("Kulonbsegek kepzese!\n");
printf("A melegedes soran fellepo ellenallasvaltozas vizsgalata!\n");
dR1=R12-R1;
dR2=R22-R2;
dR3=R32-R3;
printf("Ellenallas novekedese!\n");
printf("1-es vonali ellenallas novekedese(Ohm)(+)=%f\n",dR1);
printf("2-es vonali ellenallas novekedese(Ohm)(+)=%f\n",dR2);
printf("3-es vonali ellenallas novekedese(Ohm)(+)=%f\n",dR3);
float t1[3];
int f=0;
for(f=0; f<3; f++)
{
t1[f]=0;
}
for(f=0; f<3; f++)
{
t1[0]=dR1;
t1[1]=dR2;
t1[2]=dR3;
}
for(f=0; f<3; f++)
{
printf("Tarolt ellenallas novekedesi ertekek(Ohm)=%f\n",t1[f]);
}
FILE *fp;
fp=fopen("file.txt","a+");
fprintf(fp,"%s %s elso vonali ellenallas erteke(Ohm)=%f\n masodik vonali ellenallas erteke(Ohm)=%f\n",
harmadik vonali ellenallas erteke(Ohm)=%f\n", "tekercsellenallas", "valtozasai",t1[0],t1[1],t1[2]);
fclose(fp);
}
else if(szam==0)
{
printf("Kilepes a Menubol!\n");
}
}
void fv13(int n)
{
float n1=0,n2=0,n3=0,n4=0,n5=0,n6=0,n7=0,n8=0;
printf("Legalabb nyolc fordulatszam ertekek beolvasasa!\n");
printf("Az eredmenyeket 1/min-ben kell megadni!\n");
scanf("%f %f %f %f %f %f %f %f",&n1,&n2,&n3,&n4,&n5,&n6,&n7,&n8);
float t1[7];
int f=0;
for(f=0; f<7; f++)
{
t1[f]=0;
}
for(f=0; f<7; f++)
{
t1[0]=n1;

```

```

    t1[1]=n2;
    t1[2]=n3;
    t1[3]=n4;
    t1[4]=n5;
    t1[5]=n6;
    t1[6]=n7;
    t1[7]=n8;
}
for(f=0; f<7; f++)
{
    printf("Fordulatszám értékek összevetése[1/min]:%f\n",t1[f]);
}
FILE *fp;
fp=fopen("file.txt","a+");
fprintf(fp,"%s %s\n első mérés során számított ford.(1/min)=%f\n második mérés során számított
ford.(1/min)=%f\n harmadik mérés során számított ford.(1/min)=%f\n negyedik mérés során számított
ford.(1/min)=%f\n ötödik mérés során számított ford.(1/min)=%f\n hatodik mérés során számított
ford.(1/min)=%f\n hetedik mérés során számított ford.(1/min)=%f\n nyolcadik mérés során számított
ford.(1/min)=%f\n", "Fordulatszám-csökkenés", "értékei",t1[0],t1[1],t1[2],t1[3],t1[4],t1[5],t1[6],t1[7]);
fclose(fp);
}

```