

A BME Villamos Energetika Tanszék nagy teljesítményű villamos hajtásrendszerének üzembehelyezése és identifikálása

Az inverterek, frekvenciaváltók megjelennek a korszerű megújuló energiával és e-mobilitással kapcsolatos alkalmazásokban is. A modern szélerőművekben kétoldalról táplált aszinkron gépekkel történik a villamos energia termelése[1], amelyek rotorkörét frekvenciaváltóval táplálják. Az energiatárolás nem oldható meg akkumulátorok nélkül, és az akkumulátorban tárolt energia felhasználásához inverter szükséges. A négynegyedes tulajdonság manapság alapkövetelménnyé válik az energiagazdálkodás tudatosságának növekedésével.

A cikk bemutatja a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamos Energetika Tanszékének erősáramú laboratóriumában található három villamos gépből álló 55 kW-os hajtásrendszert. Az elmúlt tanév során sikerült a négynegyedes frekvenciaváltót és áramirányítót tartalmazó rendszert üzembehelyezni, az itt szerzett tapasztalatok és eredmények kerülnek bemutatásra.

The inverters, frequency changers appear in the modern applications connected to the renewable energies and e-molbity fields. In the modern wind turbine systems double-fed induction machines are used in to generate electrical power, their rotor circuit is fed by converters. The storage of the energy is indispensable without the usage of accumulators, and the stored energy is injected into the grid by inverters. Nowadays, the four-quadrant feature becomes a basic expectation in accordance with the increasing consciousness usage of energy.

The article presents a drive system of the Electrical Energetics Faculty of Budapest University of Technology and Economics with 55kW performance. This assembly consist of three different kinds of electrical machines. During the former semester an entire system with a four quadrant frequency changer and a current controller was put into operation, in this article the experiences and results are presented.

Kulcsszavak: modern hajtás, négynegyedes hajtás, aszinkrongép, frekvenciaváltó

1. BEVEZETÉS

Az oktatás a Villamos Művek és Energiaátalakítók csoport életében nagyon fontos szerepet játszik. Önálló laboratóriumos, szakdolgozó és diplomatervező hallgatók projektmunkákban dolgoznak, és a jövőben be tudnak majd kapcsolódni az új gépcsoport kimérésébe, oktatásban való alkalmazásába is.

A cikk célja a rendszer bemutatása mellett a jövőben elvégezhető hallgatói feladatok bemutatása is.

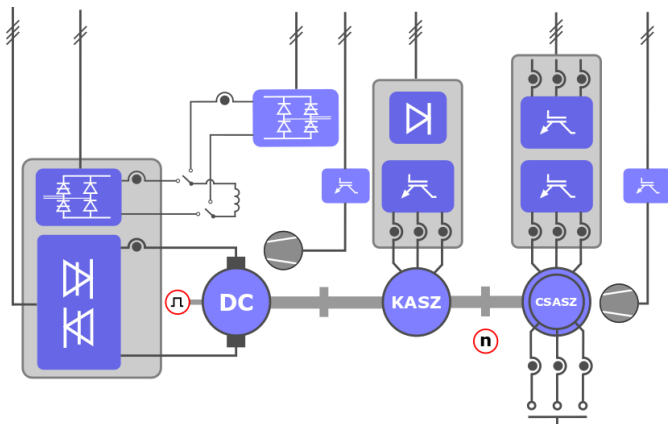
2. A GÉPCSOPORT BEMUTATÁSA

A cikkben bemutatott gépcsoportban csúszógyűrűs (CSASZ) és kalickás (KASZ) aszinkrongép is található, így az elrendezés mindkét típusú villamos gép vizsgálatára alkalmas. A két aszinkron géppel egy tengelyen lévő harmadik villamos gép egy egyenáramú gép, amely az egyszerű szabályozhatósága (és természetesen a rendszer magasabb fokú diverzifikáltsága) miatt került beépítésre. Az egyenáramú gép közvetve statikus nyomaték mérésére is alkalmazható. Mindhárom villamos gép Leroy Somer gyártmányú, a CSASZ 55kW, a KASZ 55kW, a DC gép 47,5kW névleges teljesítménnyel rendelkezik. Ezek a teljesítmények messze meghaladják az eddig a reguláris hallgatói mérésekben szereplő gépek (2-15kW) teljesítményét. A nagyobb teljesítményszint számos olyan jelenséggel jár, amelyek nem megfigyelhetők kisebb gépek esetében (pl. speciális horonykialakítás). A CSASZ különlegessége, hogy megfelelő gerjesztőteljesítmény rendelkezésre állása esetén, a forgórész egyenárammal gerjesztve, szinkron géppé alakítható, így a gépcsoportban (1. Ábra) egyszerre lehet jelen a három tradicionális géptípus.

Emellett a CSASZ kivezetett forgórész tekercseléssel rendelkezik, ami lehetővé teszi a rotor paraméterek valós idejű identifikációját, a rotorban lévő folyamatok megfigyelhetőségét.

A gépcsoportot működés közben mutatja a következő videó:

https://drive.google.com/open?id=1orcrTHBeosuBCW5oCaCG_ni0Du4w81Md



1. Ábra. A gépcsoport blokkvázlata

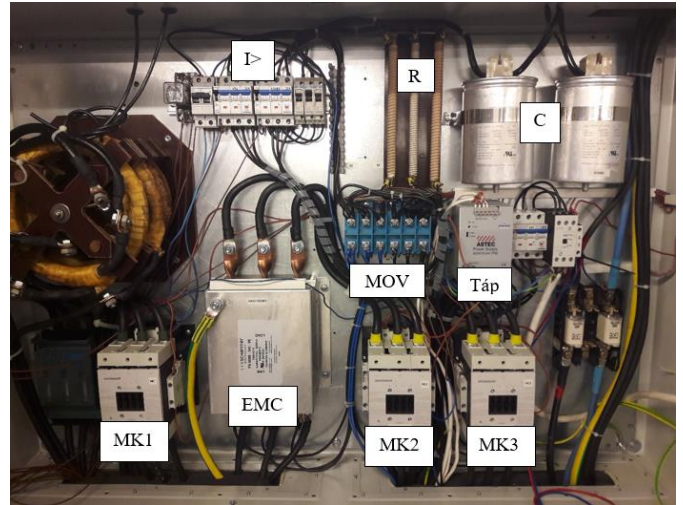
3. A TELJESÍTMÉNYELEKTRONIKÁK BEMUTATÁSA

Az egyenáramú gépet egy négynegyedes Mentor MP típusú áramirányító, a CSASZ-t egy SPMD négynegyedes frekvenciaváltó, a KASZ-t pedig egy kétnegyedes Leroy-Somer frekvenciaváltó táplálja. Végeredményül a gépcsoport két gépe (DC, CSASZ) képes a konvertereik révén generátoros és motoros üzemre is, míg a középső KASZ csak motorként tud üzemelni. A CSASZ hajtás felépítése úgy történt, hogy hálózatbarát módon vissza tudjon táplálni a hálózat felé. Ehhez két, egyforma felépítésű SPMD frekvenciaváltó került beépítésre, amelyek csak a vezérlésük módjában különböznek.

A hálózatoldali SPMDR előállítja a motor oldali SPMDM-nek szükséges DC feszültséget a hálózati 50Hz-es feszültségből. Az SPMDM pedig az előállított DC feszültségből változtatható frekvenciájú AC feszültséget állít elő. A frekvenciaváltó egyes egységei a megszokott háromfázisú, kétszintű IGBT hídkapcsolásból épülnek fel, visszaram diódákkal [2]. A hálózat barát üzemhez szükséges a hálózat oldali elektronikát regeneratív módba állítani, ekkor az eszköz PLL fáziszárt hurokban a hálózatra szinkronoz [3]. A hálózatbarát üzem mód ismérve, hogy a hálózatba injektált áram felharmonikus értékei alacsonyak, a feszültség alakja közel megegyező a hálózati feszültség alakjával. A minőségi mutatók teljesítéséhez beépítésre került egy passzív elemekből álló T-szűrő is (két induktivitás és egy kapacitás (C)), és ezen felül egy rádiófrekvenciás zavarok kiszűrésére szolgáló RF szűrő (EMC) is. A 2. Ábra mutatja a négynegyedes hajtáshoz tartozó kapcsolószekekrényt, amelyben a korábban már jelzett elemeken kívül, az előtöltő és vezérlő mágneskapcsolók (MK1-3), túlfeszültséglevezetők (MOV), illetve a segédüzem tápja és fűláramvédelme ($I>$) került elhelyezésre.

Az SPMD-t közvetlenül nem lehet a hálózatra kapcsolni, mivel a DC körben lévő kondenzátor miatt nagy töltőáram indulna meg. Emiatt az R-el jelölt ellenállásokon keresztül kapcsoljuk rá a kondenzátort a hálózatra (MK2), s a feltöltődése után a frekvenciaváltó

meghúzza az MK3 meghúzótekercsét, s kisöntöli a töltőellenállásokat. A töltő gomb (az ábrán nincs) maximum 3-4 másodpercig lehet benyomva, ennyi idő alatt a kondenzátornak fel kell töltenie, és MK3-nak működni kell, hosszabb nyomás esetén az ellenállások túlterhelődhetnek és elszakadhatnak.

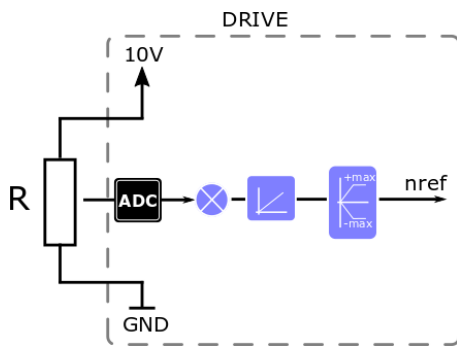


2. Ábra. A négynegyedes frekvenciaváltóhoz tartozó kapcsolószekekrény

A Mentor MP egy négynegyedes tirisztoros egyenáramú áramirányító. A hálózati kommutációs hídkapcsolású tirisztoros áramirányító gyakori alkalmazás olyan hajtásokban, alkalmazásokban, ahol a nyomatékszabályozás követelmény. A Mentor MP egy gyújtásszögvezérelt (α) áramirányító, a szabályozási körök végén kialakuló beavatkozó jel a gyújtásszög, amellyel a kialakuló áram középértékét lehet befolyásolni (kis gyújtásszöggel nagy áram, nagy gyújtásszöggel kis áram).

4. ANALÓG ÉS DIGITÁLIS VEZÉRLŐJELEK ELŐÁLLÍTÁSA

Két analóg referencia jelet konfiguráltam be, a fordulatszám és a nyomaték alapjelet. A két megoldás teljesen analóg, csak kis mértékben tér el. Az inverter saját 10V-os referenciafeszültségét használtam fel a potméterek bekötéséhez. Tekintettel kellett lenni rá, hogy ez a 10V-os kimenet csak 20mA-el terhelhető, ezért elég nagy ellenállású potmétert kellett választani, viszont elég kicsit ahhoz, hogy a kialakuló referenciajel értékelhető legyen és ne túl zavarérzékeny. Ugyanez igaz a nyomaték alapjelt adó potméterrel is. A két potméter együtt terheli az inverter 10V-os kimenetét. Két megoldás adódik arra, hogy pozitív és negatív nyomatékot is elő lehessen állítani (tehát tudunk fékező és hajtó nyomatékot is adni a tengelyre). Az első, hogy a bemenetet offszeteljük, a potméter középállásában állítjuk 0-ra az értékét, és a skálázását 2-szeresre állítjuk.



3. Ábra. Az analog referencia előállítása

Ekkor a potméter középállása lesz a nulla szint, bal oldali állása a negatív (fékező) nyomaték, míg a jobb oldali állása a hajtó (motoros) nyomaték. A kétszeres skálázás miatt a potméter tartományából nem veszünk. A másik megoldás, hogy az invertálási lehetőséget választjuk egy digitális bemenet felhasználásával és az alapjelet invertáljuk, amikor nyomaték előjelet akarunk változtatni.

5. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK, TAPASZTALATOK KÖZREADÁSA

A mérések elvégzésekor és elemzésekor a [5], [6], [7], és [8] könyvek kapcsolódó fejezeteit vettem alapul.

5.1 AZ ALACSONY ALAPHARMONIKUS FESZÜLTÉG MÉRÉSE AZ INVERTER KIMENETÉN

Mivel az inverter kapcsolási frekvenciája 6kHz és emiatt a vonali feszültségben a feszültség impulzusok periódus ideje a 83 μ s, úgy döntöttem, hogy analóg szűrő segítségével előszűröm az inverter kimenő feszültségét. Így több periódus alapján számolhattam alapharmonikus feszültséget.

A szűrőt X típusú kondenzátorokból és 0805-ös SMD ellenállásokból építettem, ezért 5 db 10k Ω -os ellenállást kötöttem sorba minden fázisban azért, hogy a feszültség és teljesítmény igénybevétel ne okozzon problémát. Utóbbira azért volt szükség, mert a furatszerelt ellenállások esetében a parazita kapacitás értéke nagy volt (kb 1 nF–ot mértem) a szűrő bemenetén, ami a feszültség inverter kimenetén kapacitív terhelésként jelent meg, és erős áramtorzulást okozott.

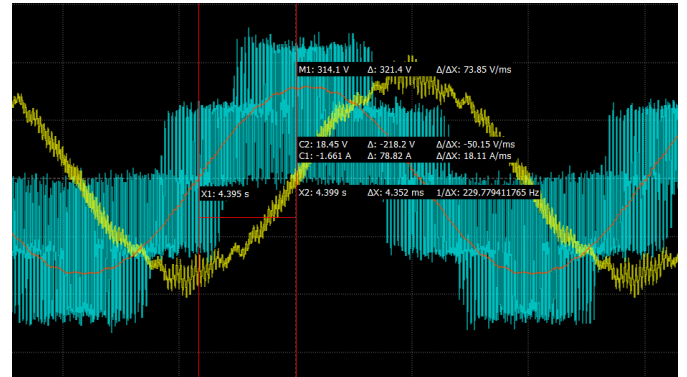
A szűrő törésponti frekvenciáját 1 dekádra helyeztem a vonali feszültség 12kHz-es frekvenciájától és 1 dekádra az alapharmonikus frekvenciától, így kb 1kHz körül törésponti frekvencia mellett döntöttem.

$$R = 50 \text{ k} \quad C = 3,3 \text{ nF} \quad f_0 = 964 \text{ Hz} \quad (1)$$

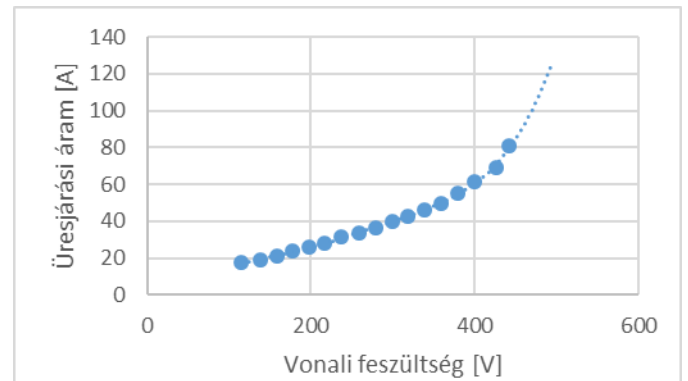
5.2. ÜRESJÁRÁSI MÉRÉS

Az üresjárás mérés célja az üresjárás áram nagyságának, fázisszögének és az üresjárás teljesítménynek a meghatározása. Ezekkel kaptam meg a kördiagram üresjárás pontját, ezen felül a helyettesítőkapcsolás keresztágának elemeit határozhatjuk meg.

Üresjárás esetén a gép szinte csak mágnesező áramot vesz fel, így a feszültség és áram időeltolódása 4ms feletti, a rendszer erősen induktív, ahogy a 4. Ábra mutatja.



4. Ábra. Az üresjárás áram alakja ($\Delta t=4,35\text{ms}$)

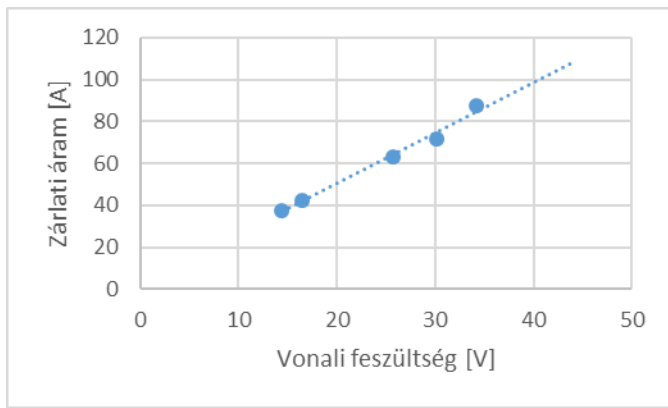


5. Ábra. Az üresjárás mérés mérési pontjai

A 440V-os mérésnél 80A-rel kezdtem a mérést, ezután a feszültséget folyamatosan csökkentve lefelé mértem. A görbe alakja a gép mágnesezési görbéjét adja, ugyanis a feszültséget átskálázva közelítőleg a fluxust is ábrázolhatnánk.

5.3. RÖVIDZÁRÁSI MÉRÉS

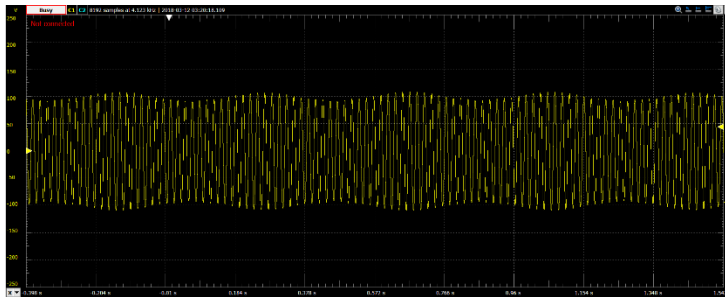
A rövidzársi mérést a DC gép segítségével végeztem el. A DC gépet fordulatszám szabályozott üzembe hoztam, s a fordulatszám alapjelet nullára állítottam. Ekkor a DC gép igyekszik a fordulatszámát nullán tartani. Mivel a DC gép nyomatéka nagyobb, mint az aszinkron gép indító nyomatéka (csökkentett feszültségen-csökkentett fluxuson), a DC gép nulla fordulaton tudja tartani a gépcsoportot, ami alkalmasan egy rövidzársi mérésnek felel meg. Az emelt (35V) vonali feszültség esetén a gépcsoport lassú forgása indul meg, azonban 5-10RPM-el csupán, ez még mindig jó közelítéssel tekinthető rövidzársi mérésnek. A mérés eredményét a 6. Ábra mutatja. A felvett teljesítményt és áramot a névleges feszültségre extrapolálva megkaptam a kördiagram rövidzársi pontját.



6. Ábra. A rövidzársi mérés mérési pontjai

5.4 A ROTOR ÁRAM ALAKJA

A rotor lassú forgása esetén a rövidzársi áramok változása figyelhető meg a rotor pozíciójának függvényében. A rövidzársi áram nagysága függ a rotor helyzetétől is. A felvett oszcillogrammot megfigyelve (7. Ábra) látható, hogy két lengés jelentkezik a rotor áramok alakjában. A lassú, alacsony frekvenciás ingadozás oka az, hogy a rövidzársi impedancia változik a rotor szög helyzetétől függően, R állandó értékű így tulajdonképpen a szórési reaktancia változik. A tekercselt forgórészű gépnél a légrésszórás és az eredő tekercsfaj szórás is változik [6]. A lassú ingadozás a primer és szekunder fázistekercsek egymáshoz viszonyított változó helyzete miatt adódik. Amikor a tekercsek tengelyei egybeesnek, a tekercsek ekkor vannak a legközelebb egymáshoz, a szórás minimális, ekkor a zárlati áramnak maximuma van. A nagyfrekvenciás lengés maga a szlipfrekvenciás áram.

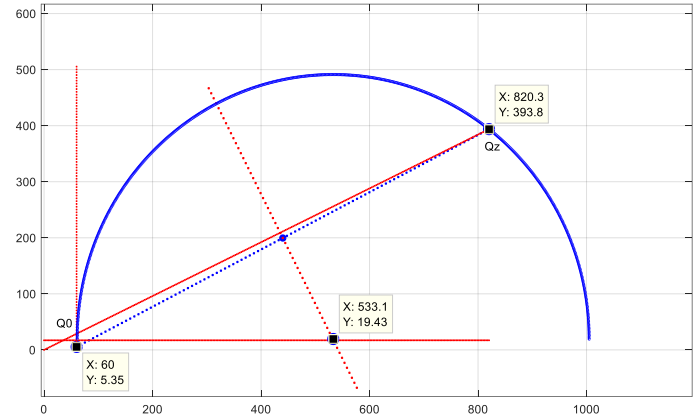


7. Ábra. A rotor áram alakja

5.5 A CSASZ KÖRDIAGRAMJA

A kördiagram aszinkron gépek esetében (hasonlóan a szinkron gépekéhez) rendszerint nem szabályos kör, hanem valamilyen magasabb rendű görbe. Szabályos kör pályát írta le az áramvektor végpontja, ami kirajzolja a kört, ha a hálózatról felvett kapocsfeszültség és frekvencia állandó értéke esetén a reaktanciák értéke az áram és a szlip függvényében nem változnának. Ez a gépeknél általában nem áll fenn, így a munkadiagram nem kör alakú lesz. Ahogy az 8. Ábrán látható, az esetemben elég jó kört adnak a pontok,

mivel a gép „tipikus” gép, nem pedig mélyhornyú vagy kétkalickás, amelyek esetében a torzulás jelentősebb.

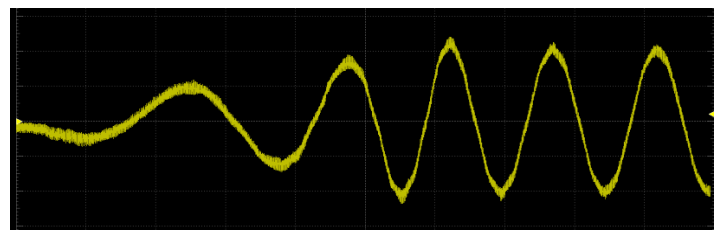


8. Ábra. A CSASZ kördiagramja

A kördiagramot az üresjárás és a rövidzársi pont segítségével rajzoltam fel. A diagramban a komplex áramok kerülnek ábrázolásra, a vízszintes tengelyen az áram képzetes része, a függőleges tengelyen az áram valós része (és a feszültség is) található, érvényes a vetület szabály.

5.6 A TERHELÉS VÁLTOZTATÁS HATÁSA A ROTOR ÁRAMRA

A terhelés változtatás esetén jelentkező szlip változást a rotor áramának jelalakjában is megfigyelhetjük. A változó terheléshez nem csak a rotor áram amplitúdójának változása tartozik, de a rotor áram frekvenciájának változása is, ami a szlippel arányos. A sztátor mező frekvenciájának és a rotor áram frekvenciájának hányadosa a szlippel egyezik meg.



9. Ábra. A rotor áramának alakja terhelésváltozás esetén

5.7 A CSASZ HELYETTESÍTÉKAPCSOLÁS KISZÁMÍTÁSA

A mérési eredményekből megfelelő számításokkal és elgondolásokkal kiszámíthatóak az aszinkron gép helyettesítőkapcsolásának elemei.

A tekercsek ellenállását négyvezetékes méréssel végeztem el, mind a sztátoron, mind a rotoron, felbontva a kapcsokat, így két tekercs ellenállását mértem ki. A lent leírt ellenállás értéke egy tekercsre vonatkozik.

Tekercsellemállások 20 °C fokon:

$$R_{S20} = 26\text{m}\Omega, R_{R20} = 85.35\text{m}\Omega \quad (2)$$

Átszámolva 120 °C fokra (üzemi hőmérsékletre):

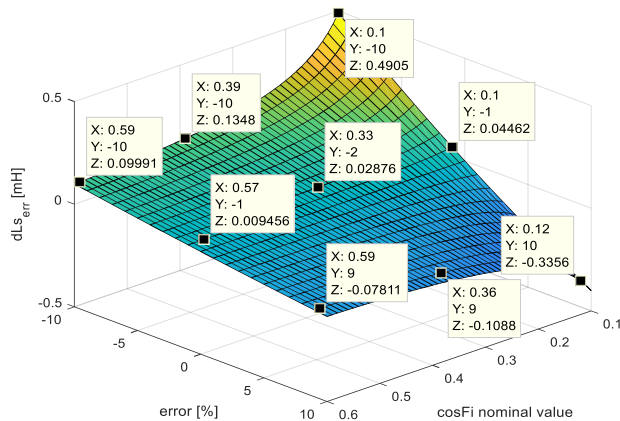
$$R_{S120} = 32.2 \text{ m}\Omega, R_{R120} = 105.8 \text{ m}\Omega \quad (3)$$

A szórás inductivitást két módszerrel is meghatároztam. Az első módszer a rövidzársi mérés során mért névleges áramhoz tartozó $\cos\varphi = 0,436$ ismerete alapján:

$$L_S = \frac{R}{2\pi \cdot f} \cdot \sqrt{\frac{1 - \cos\varphi^2}{\cos\varphi^2}} \quad (4)$$

$$L_S = 907 \mu\text{H} \quad (5)$$

Ez a számítási mód nagyon érzékeny a teljesítmény tényező mérésének hibájára, amit viszont a rövidzársi alacsony feszültség esetén jelentkező torz jelalak miatt pontatlanul határozhattam meg. A 10. Ábra mutatja a hibaszámítást különböző teljesítménytényezők esetén. A függőleges tengelyen az (5)-ben számított inductiváshoz viszonyított eltérés mértéke van ábrázolva, a teljesítménytényező változásának függvényében, illetve a hiba mértékének függvényében. Az ábráról leolvasható, hogy kis $\cos\varphi$ eltérés (hibás leolvasás, mérés) is nagy hibát okoz.



10. Ábra: A $\cos\varphi$ mérésnek hatása a szórás inductivásra

A második módszer az impedancia számítása alapján történt. A névleges áramig a labor korlátai miatt nem tudtam mérni, ezért a mérést 79A- komplex áram értéknél végeztem el.

$$X_L = \sqrt{Z_Z^2 - (R_{S80} + R_{R80})^2} \quad (6)$$

$$X_L = \sqrt{Z_Z^2 - (R_{S80} + R_{R80})^2} = 215,3 \text{ m}\Omega$$

$$L_S = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 685,4 \mu\text{H} \quad (7)$$

A keresztág mágnesező reaktanciájának és vasvesztési ellenállásának meghatározása az üresjárás mérés segítségével végezhető el.

$$U_0 = 230\text{V} \quad (8)$$

$$I_0 = 61,37 \text{ A} \quad I_{act0} = 5.35 \text{ A} \quad I_{react0} = 60 \text{ A} \quad (9)$$

$$R_v = \frac{U_0}{I_0} = 43,116 \quad (10)$$

$$X_m = \frac{U_0}{I_{react0}} = 3,84 \Omega \quad (11)$$

$$L_m = 12,3 \text{ mH} \quad (12)$$

6. TOVÁBBI MÉRÉSI LEHETŐSÉGEK

A gépcsoport számos olyan lehetséges kínál, amely további kutatás, oktatási vagy akár mérnöki munka alapjául szolgálhat. A kalickás aszinkron gép és a DC gép gépparamétereinek kimérése és a helyettesítőkapcsolásai meghatározása nem történt még meg. A csúszógyűrűs aszinkron gép helyettesítőkapcsolásának finomhangolása is várta magára, például a szórás inductivás primer és szekunder körre történő szétválasztásával. Hajtástechnikai szempontból számtalan mérést lehet elvégezni a Mentor MP tirisztoros áramirányítón és az SPMD IGBTs egységeken is. A négynegyedes tulajdonság vizsgálatához mérni kell a hálózatba injektált áram jelalakját, a szűrőkör és a teljesítményelektronika finomhangolásával javítani kell az energiamínőségi paramétereket. Komolyabb kutatási téma alapjául szolgálhat az IGBT-k kapcsolási frekvenciájának változtatásának hatásai [9].

További erősáramú szerelés után elérhető, hogy az csúszógyűrűs aszinkron gép tekercselt forgórészét egyenárammal legyen táplálva a csúszógyűrűkön keresztül. Ekkor eredményül egy gerjesztett forgórészű szinkron gépet fogunk kapni. Ezzel a módosítással a gépcsoportban DC, aszinkron és szinkron gép is jelen lesz. A szinkron gépre meg lehet valósítani a "Closed Loop Servo" üzemmódját az SPMD-nek.

7. A GÉPCSOPORT ÉRTÉKELÉSE OKTATÁSI SZEMPONTBÓL

Az első elemként kiindulhatunk a hálózat oldali aktív egyenirányító irányából. Ennek a paraméterezése, a működésének megértése, például PLL fáziszárt hurok megértése, felépítése pedagógia szempontból nagyon fontos. Manapság egyre gyakrabban használnak hálózatba visszatápláló hajtásokat, és egyre kevesebb az ellenállásfékezéssel megoldás. A modern iparnak és hajtástechnológiának olyan változása ez, amely energetikai megfontolások miatt is fontos. A hálózathoz szinkronizált esetben az IGBT-k működésének megfigyelése, a paraméterezés függvényében a feszültség alakja és a fojtók hatásának megfigyelése hasznos tudás lehet. A fojtók/szűrők méretezése akár önmagában érdekes, a DC kör kondenzátorával egyetemben.

Második elemként a géploldali inverter ugyancsak fontos oktatási célokat szolgálhat. Az inverter felparaméterezése, a motorhoz hangolása (megkülönböztethetünk „elégéses” és „optimális” üzemet) ugyancsak mérnöki feladat. Érdekes lenne kihatárolni, hogy két aszinkron géphez is hozzá kapcsolható az inverter, és a paraméterek eltérését

vizsgálni. Be lehet mutatni az U/f és a „Closed Loop vector control” vezérlést és szabályozást, az ezek közötti szabályozástechnikai eltéréseket valamint az eredményezett pontosságukat. Az aszinkron gép gerjesztett üzemiében megvizsgálható ezen felül a szinkron szervó üzemmód is. Az inverter által előállított jelek vizsgálata, a feszültség alak, annak alapharmonikusa, az áram jelalak és annak hullámossága a feszültség inverter paraméterezésének, tulajdonságainak, és a gép fizikai tulajdonságainak megfigyelését, mérését teszik lehetővé. A VSI gyakorlati megfigyelése az erős elméleti oktatás mellett nagyon fontos lenne a BME-n.

A Mentor MP-n láthatjuk az egyenáramú hajtásokra jellemző jelenségeket, például a szaggatott és folytonos vezetést. A kiadott áram jelalakok vizsgálatával a két szakasz nagyszerűen elhatárolható. A tirisztorok viselkedését, kapcsolását is megfigyelhetjük megfelelő felbontás mellett.

8. ÖSSZEZÉS

A két teljesítményelektronikai rendszerből és a három villamos gépből álló gépcsoport a mérési lehetőségek végtelen tárházául szolgál. A mérési összeállításban majdnem minden széleskörben használt tipikus teljesítményelektronikai egység és géptípus jelen van, így az összeállítás nagyszerű demonstrációs eszköz számtalan fizikai, hajtástechnikai vagy villamos gépek szempontjából fontos jelenség bemutatására, kimérésére.

Villamos gépes szempontból a jelenlévő három géptípus minden „alap” gép megfigyelését, kimérését lehetővé teszi. A kalickás aszinkron gép, az egyenáramú gép, illetve a CSASZ aszinkron gépként vagy szinkron gépként üzemelve alkalmas a helyettesítőkapcsolások kimérésre, olyan fontos fizikai jelenségek megfigyelésére, mint például a gépek működése, a forgómező létrehozása, a frekvenciaváltók hatása a gépekre, a telítés hatása, a magas frekvencia hatása [8].

A fentiekben túlmenően számos fontos mérnöki kompetenciát szerezhetünk, amely nem kapcsolódik a „reguláris” gépes-hajtásos témakörhöz, azonban az elsajátításuk előnyökkel jár. Ezek közé sorolom az analóg és digitális jelek ismeretét, megértését. A képességet például egy megfelelő potméter kiválasztására, a használt ipari jelszintek ismeretét. A fordulatszámjeladók, enkóderek, szinkron szervó üzemhez szükséges enkóderek működésének megértését. Egy egyszerű vezérlőpanel megépítésének képességét, forrasztással, villamos konstrukcióval. Fontos tudás a biztonságos munkavégzéshez kapcsolódóan a kapcsolókészülékek, védelmek (olvadó biztosító, kismegszakító) kiválasztása, a működtető relék, nyomógombok, jelző LED-ek, valamint kapcsoló eszközök, mágneskapcsolók kiválasztásának, működésének, bekötésének ismerete. A mérésekhez sokoldalúan számos mérőműszert alkalmazhatunk: a

hajtás saját méréseit, analóg műszereket, az analog discovery szkóp-adatgyűjtőket.

- [1] **Müller, MIT S., Deicke, M., De Doncker, Rik W.:** *Doubly Fed Induction Generator Systems*, <http://web.mit.edu/kirtley/binlustuff/literature/wind%20turbine%20sys/DFIGinWindTurbine.pdf> (2018. 07. 24.)
- [2] **Dr. Schmidt István, Dr. Veszprémi Károly:** *Hajtásszabályozások*, 2012
- [3] **Hajdú Endre, Kovács Krisztián:** *BME Mérési útmutató: Hálózatbarát feszültséginverterek mérése*
- [4] **Boldea, Ion; Nasar, Syed A.:** *The Induction Motor Handbook*, CRC Press, 2002
- [5] **Dr. Liska József:** *Villamos Gépek: IV. Aszinkron Gépek*, Tankönyvkiadó, Budapest, 1968, Tankönyvkiadó, Budapest, 1968
- [6] **Istvánfy Gyula:** *Villamos gépek mérése II.*, 1960, Tankönyvkiadó Vállalat
- [7] **Gemeter Jenő, Farkas András, Nagy Lóránt:** *Villamos gépek vizsgálati módszerei*, Budapest, 2010
- [8] **Kostic, Miloje:** *Equivalent Circuit and Induction Motor Parameters for Harmonic Studies in Power Networks*, <http://ev.fe.uni-lj.si/3-2012/Kostic.pdf> (2018. 07. 24.)