

# ELEKTROTECHNIKA

A MAGYAR ELEKTROTECHNIKAI EGYESÜLET  
(A MŰSZAKI ÉS TERMÉSZETTUDOMÁNYI EGYESÜLETEK TAGJA) HIVATALOS KÖZLÖNYE

Официальный орган Венгерского Электротехнического Общества – Official Organ of the Hungarian Electrotechnical Association – Organe officiel de l'Association Électrotechnique Hongroise – Organo ufficiale dell'Associazione Elettrotecnica Ungherese – Offizielles Organ des Ungarischen Elektrotechnischen Vereines

## Áramgenerátor jellegű inverterről táplált aszinkronmotor egyen- és váltóirányító tirisztorainak gyújtási automatikája

Dr. FEKETE GÁBOR – Dr. SZENTIRMAI LÁSZLÓ, Miskolc\*

### 1. Célkitűzések, tudományos megközelítés és működés

#### 1.1. Célkitűzések

Az áramgenerátor-jellegű inverter (ÁGI) alkalmas az aszinkronmotorok pontos, biztonságos és gazdaságos működtetésére, ezért a legutóbbi években az aszinkronmotorok ismét az érdeklődés fókuszába kerültek. Kedvezőtlen és veszélyes környezetben, pl. az olajiparban, szénbányákban, vegyi üzemekben stb. is használhatók. E cikkben bemutatott új rendszert a miskolci Műszaki Egyetem Elektrotechnikai Tanszéke fejlesztette ki, ahol kiválóan működik.

Az új hajtás-elektronika koncepciójának kidolgozásához a következő három célkitűzést fogalmaztuk meg:

a) *energiatakarékossági szempont:* olyan áramgenerátoros jellegű inverterről táplált aszinkronmotor-hajtás létrehozása, amely négyegyedűs üzemmódban teljesen automatizált működésű és energiát táplál vissza a hálózatba, amikor az aszinkron motorgenerátoros üzemmódban dolgozik;

b) *gazdaságossági szempont:* különleges elektronikus áramkörök és szabályozási körök megalkotása, hogy a hajtás az általában nélkülözhetetlen, de súlyos és veszteséges, továbbá nagy térfogatú fojtótekercs nélkül is működhessen;

c) *műszaki szempont:* új tirisztor gyújtási stratégia megalkotása azzal a céllal, hogy a hajtás kedvező tulajdonságokkal rendelkezzen, másrészt a forgó mágneses tér fenntartása abban az esetben is, amikor az aszinkronmotor állórésztekercsében az áramvezetés szaggatott.

#### 1.2. Tudományos megközelítés és működés

Az ÁGI-ről táplált aszinkronmotor hatásvázlatát, amely kielégíti a fentebb vázolt követelményeket, az 1. ábra mutatja. Ebben a rendszerben teljesen új vonás, hogy az aszinkronmotor mindkét esetben működik, vagyis amikor fojtótekercs van az egyenáramú körben és akkor is, amikor nincs. Az utóbbi esetben az újonnan kifejlesztett automatika gondoskodik az aszinkronmotor megbízható működéséről.

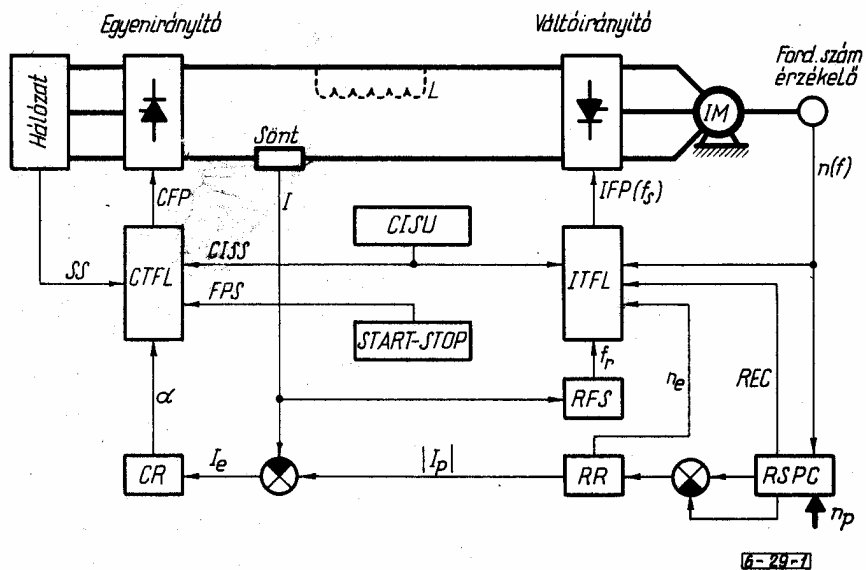
Ha a fojtótekercset az egyenáramú körből kiiktatjuk, mind az egyen-, mind a váltóirányító hidak közvetlenül kapcsolódnak egymáshoz. Az egyenáramú körben az új rendszernek nincs szüksége sem nagykapacitású kondenzátorra – bár azt a feszültséggenerátor jellegű inverterről (VSI) táplált hajtásokhoz általánosan használják –, sem pedig fojtótekercsre. Megjegyzendő, hogy az ÁGI-ről táplált, korábban kifejlesztett hajtások fojtótekercs nélkül nem tudnak működni.

Dr. FEKETE GÁBOR okl. gépészmérnök, okl. irányítástechnikai szakmérnök, a Nehézipari Műszaki Egyetem Elektrotechnikai Tanszékének adjunktusa;

Dr. SZENTIRMAI LÁSZLÓ okl. villamosmérnök, a műszaki tudomány kandidátusa, egyetemi tanár, a tanszék vezetője (Miskolc, Egyetemváros)

1. ábra. Áramgenerátor jellegű inverterről táplált aszinkronmotor-hajtás hatásvázlata (blokk-diagramja) fojtótekercs nélküli kapcsolásban

CFP – egyenirányító gyújtási impulzus, CISS – egyenirányító-váltóirányító szinkronjel, CISU – egyenirányító-váltóirányító szinkronozó egység, CR – áramszabályozó egység, CTFL – egyenirányító tirisztor gyújtás logika, FPS – gyújtási engedélyező jel,  $f_r$  – forgórész (rotor) frekvencia, IFP – váltóirányító gyújtási impulzus, IM – aszinkron (Indukciós) motor, ITFL – váltóirányító tirisztor gyújtási logika,  $I$  – áramellenőrző jel,  $I_e$  – áram hibajel,  $I_p$  – áram alapjel,  $L$  – fojtótekercs (induktív tekercs),  $n$  – fordulatszám,  $n_e$  – fordulatszám hibajel,  $n_p$  – fordulatszám alapjel, RSPC – alapjelet előállító áramkör, REC – forgásirányváltási kód, RFS – forgórészfrekvencia jeladó, RR – fordulatszám-szabályozó egység, SS – szinkronjel,  $\alpha$  – gyújtás-szög beállító jel,  $f_s$  – állórészfrekvencia



Az áramgenerátor-jelleget elektronikus áramkörök biztosítják. A pontozott vonal az  $L$  fojtótekercs lehetséges alkalmazását mutatja be abból a célból, hogyan működik közre a kívánt négynegyedes üzemmód megoldásában az újonnan kifejlesztett tirisztor gyújtási logika. Az automatika magába foglalja a fordulatszám-szabályozást az alárendelt áramszabályozással, továbbá a szlip-frekvencia és a nyomaték-szög szabályozást is.

A hajtási rendszer a START-STOP nyomógomb működtetésével indul. Az  $n_p$  fordulatszám alapjelet mindössze egyetlen potenciométer állítja elő. A potenciométert semleges helyzetéből kimozdítva, ill. elforgatva bármelyik kívánt irányban – előre vagy hátra – jön létre a forgás. A kívánt forgásirányt a REC kódolt jel veszi át a váltóirányító gyújtóegységhez. A potenciométer csúszó érintkezőjének helyzete adja végül is a kívánt forgásirányt és fordulatszámot.

Az  $n_e$  kódolt jel a fordulatszám-szabályozó egységből érkezik és biztosítja a motoros üzemmódot abban az esetben, ha az éppen fennálló fordulatszám kisebb, mint amit az alapjel előír. A generátoros üzemmód akkor jön létre, amikor a fordulatszám ennél nagyobb lesz. A kívánt egyenirányító tirisztor gyújtási szöveget az áramszabályozó  $\alpha$  kimenő jele állítja be.

Az  $I$  áramjelet a söntellenállásról vesszük, ez gondoskodik a nyomatékképződés optimalizálásáról és előállítja a megfelelő  $f_r$  forgórész-frekvenciát. Motoros üzemmódban az állórész frekvencia:

$$f_s = f + f_r$$

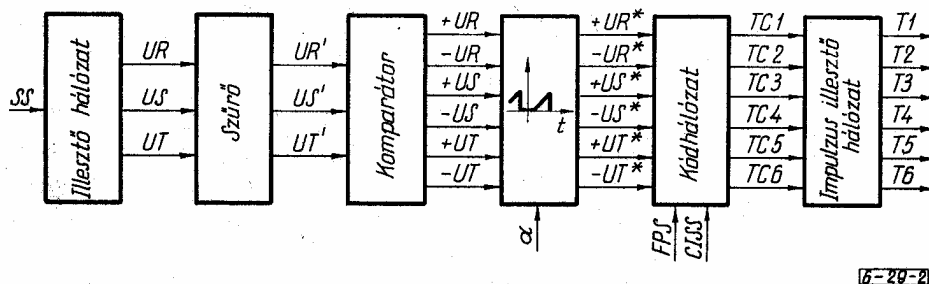
generátoros üzemmódban pedig:

$$f_s = f - f_r$$

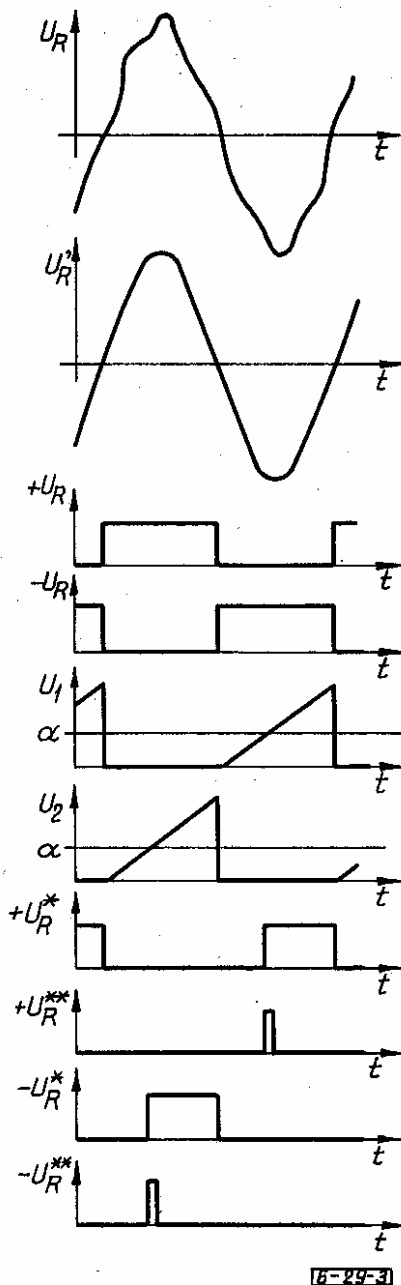
### 2. Egyenirányító gyújtási logika

Az egyenirányító gyújtási logika hatásvázlatát – felhasználva az 1. ábra jelöléseit – a 2. ábra mutatja. Az SS szinkronjel, amely a hálózathoz érkezik, egy illesztő hálózathoz jut, majd szűrési és fázis-shifting eljárások után a komparátor egységbe kerülnek. Ebből az egységből érkező jelek a kódhálózathoz jutnak azután, hogy az  $\alpha$  tirisztor gyújtási szögnek megfelelő jelekkel modifikáltuk.

Az egyenirányító motoros üzemben működik, amikor energiát továbbít az inverternek. Ebben az esetben a tirisztorok gyújtásszögének  $90^\circ$ -nál kisebbnek kell lennie. Generátoros üzemben viszont az egyenirányító energiát szolgáltat vissza a hálózatba, tehát ekkor a gyújtási szög  $90^\circ$ -nál nagyobb.

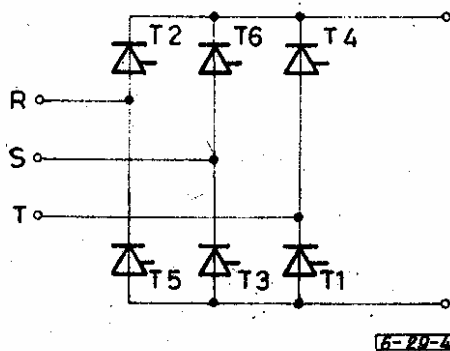


2. ábra. Az egyenirányító gyújtóegység hatásvázlata



6-29-3

3. ábra. Az egyenirányító tirisztorok gyújtóegységének időfüggvényei az R fázisban



6-29-4

4. ábra. Egyenirányító egyszerűsített kapcsolási rajza

A szinkronjelek előbb leírt időbeli módosítását egy fázis jelére vonatkoztatva a 3. ábra mutatja.

Az egyenirányító egyszerűsített kapcsolását a 4. ábra szemlélteti. A 2. ábrában bemutatott kimenő jelek azonosak az itt szereplő tirisztorok gyújtójeleivel. Az impulzus illesztő hálózat a CFP tirisztor gyújtó impulzusokat állítja elő a kívánt alakban és teljesítményben.

A kódhálózat átvitelét a következő összefüggések határozzák meg:

$$TC1 = (((+UR^*) + (-UT^*)) \cdot (+\overline{US}^*) \cdot CISS + (+UR^{**})) \cdot FPS$$

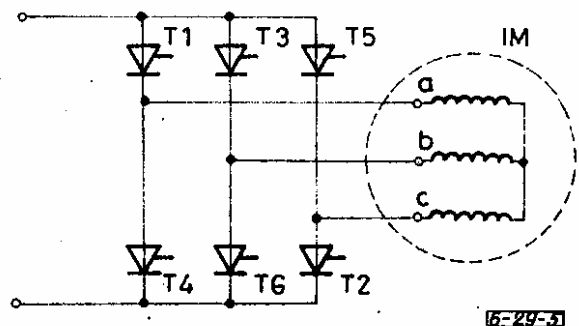
$$TC2 = (((-UT^*) + (+US^*)) \cdot (-\overline{UR}^*) \cdot CISS + (-UT^{**})) \cdot FPS$$

$$TC3 = (((+US^*) + (-UR^*)) \cdot (+\overline{UT}^*) \cdot CISS + (+US^{**})) \cdot FPS$$

$$TC4 = (((-UR^*) + (+UT^*)) \cdot (-\overline{US}^*) \cdot CISS + (-UR^{**})) \cdot FPS$$

$$TC5 = (((+UT^*) + (-US^*)) \cdot (+\overline{UR}^*) \cdot CISS + (+UT^{**})) \cdot FPS$$

$$TC6 = (((-US^*) + (+UR^*)) \cdot (-\overline{UT}^*) \cdot CISS + (-US^{**})) \cdot FPS$$



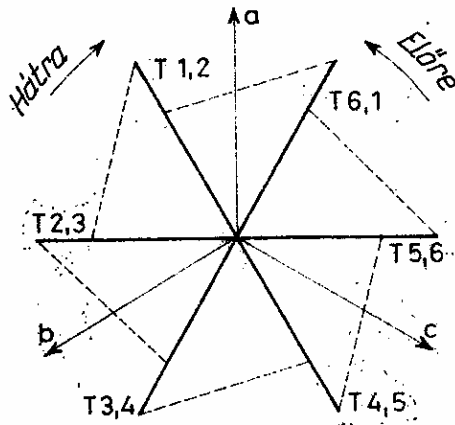
6-29-5

5. ábra. A váltóirányító és az aszinkronmotor egyszerűsített kapcsolási vázlata

### 3. Váltóirányító gyújtási logika

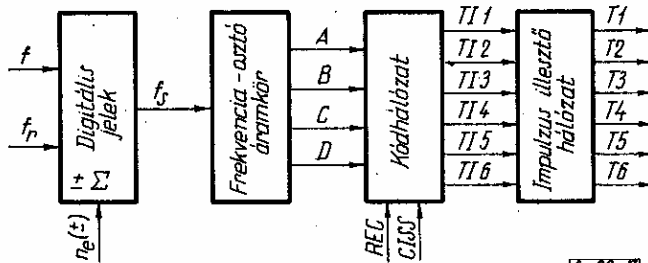
A térvektort vagy más néven az eredő mező Parkvektort – amelyet az a, b, és c állórész-tekercecseken folyó áramok létesítik – a 6. ábra mutatja, ha szagatott áramvezetés lép fel. A váltóirányító gyújtóegység hatásvázlata a 7. ábrán szerepel ugyanazokkal a jelölésekkel, amelyeket a 2., 5. és 6. ábrákon is már feltüntettünk.

A rendszer működésének alapelve, hogy a kódhálózat révén olyan időtartományokat hozzon létre, ahol az összetartozó tirisztorpárok gyújtása szükséges – hasonlóan mint az egyenirányító gyújtóegység kódhálózata esetében – a kívánt forgásiránynak megfelelően.



6-29-7

6. ábra. Az áram Park-vektor fojtótekeres nélküli üzemben



6-29-7

7. ábra. A váltóirányító gyűjtőegység hatásvázlata

Az összetartozó négy tirisztor szinkrongyűjtása amelyet a zárt áramkör létrehozása kíván meg ugyanabban az időpillanatban, bármely időpontban létrehozható az előbb említett kódhálózattal, vagyis a CISU egyenirányító-váltóirányító egység CISS szinkronjelei révén. Az eredmény még szaggatott áramvezetés esetében is biztosítja a forgó mágneses teret.

A 6. ábra felhasználásával *előre* forgásirányban a T1, 2; T2, 3; T3, 4 stb. tirisztorpárok, míg *hátra* forgásirányban a T1, 2; T6, 1; T5, 6 stb. tirisztorpárok gyűjtanak egymás után, 60° szögeltéréssel. A kódhálózat átvitelét a következő összefüggésekkel határozhatjuk meg:

$$T11 = \bar{D} \cdot \bar{C} \cdot CISS$$

$$T12 = (\bar{D} \cdot (\bar{C} \cdot B + C \cdot \bar{B}) \cdot REC + \bar{B} \cdot (\bar{D} \cdot \bar{C} + D \cdot C) \cdot REC) \cdot CISS$$

$$T13 = (\bar{B} \cdot (\bar{D} \cdot C + D \cdot \bar{C}) \cdot REC + D \cdot (\bar{C} \cdot B + C \cdot \bar{B}) \cdot REC) \cdot CISS$$

$$T14 = D \cdot \bar{C} \cdot CISS$$

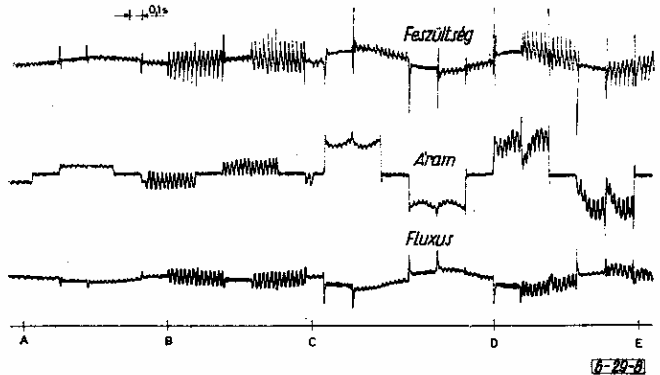
$$T15 = (D \cdot (\bar{C} \cdot B + C \cdot \bar{B}) \cdot REC + \bar{B} \cdot (\bar{D} \cdot C + D \cdot \bar{C}) \cdot REC) \cdot CISS$$

$$T16 = (\bar{B} \cdot (\bar{D} \cdot \bar{C} + D \cdot C) \cdot REC + \bar{D} \cdot (\bar{C} \cdot B + C \cdot \bar{B}) \cdot REC) \cdot CISS$$

#### 4. Az elmélet igazolása. Oszcillogram és oszcilloszkóp felvételek

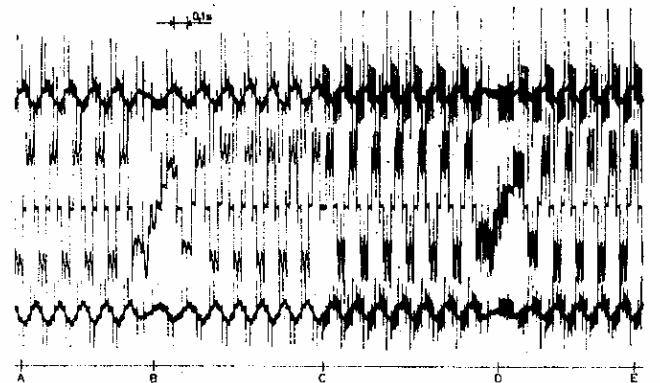
Mind motor, mind generátor üzemmódban a hajtás működését oszcilloszkóp felvételeken mutatjuk be. Az oszcilloszkóp felvételek részben fojtótekeres nélküli üzemmódban készültek. A 8. ábra időfüggvényeket mutat 200 min<sup>-1</sup> fordulatszám esetére. Az „A–C” szakaszon az áram a névleges érték 30%-a volt, míg a „C–E” szakaszon a névlegessel volt egyenlő. Az „A–B” és „C–D” szakaszokban a felvételek fojtótekeres beiktatásával, míg a „B–C” és „D–E” szakaszokban fojtótekeres nélkül készültek. A „B” és „D” időpontokban a fojtótekerest kikapcsoltuk, mielőtt a rendszer üzemben volt. A „B–C” szakaszon – mint látható – az áramvezetés szaggatott.

A 9. ábra a forgásirányváltást névleges terhelés esetén mutatja „Előre” irányban 155 min<sup>-1</sup> fordulatszámhoz „Hátra” irányban 155 min<sup>-1</sup>-re változtatásához kb. 0,7 másodpercre van szükség. A hajtás fojtótekeressel működik az „A–C” szakaszon, míg a fojtótekeres nélkül a „C–E” tartományban. A „B” és „C” időpillanatok előtt generátor üzemben fékezés történik és ezután gyorsítás figyelhető meg a motoros üzemmódban.



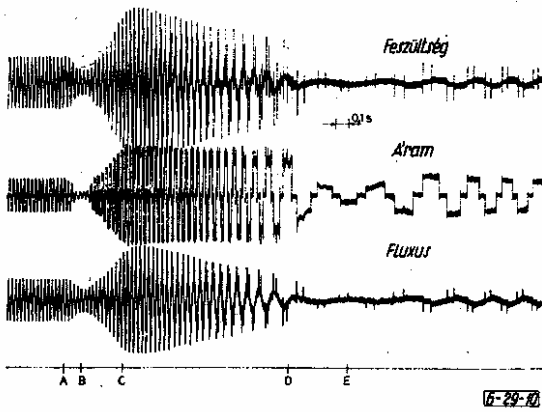
6-29-8

8. ábra. Időfüggvényeket bemutató oszcillogramok 200 min<sup>-1</sup> fordulatszám esetén

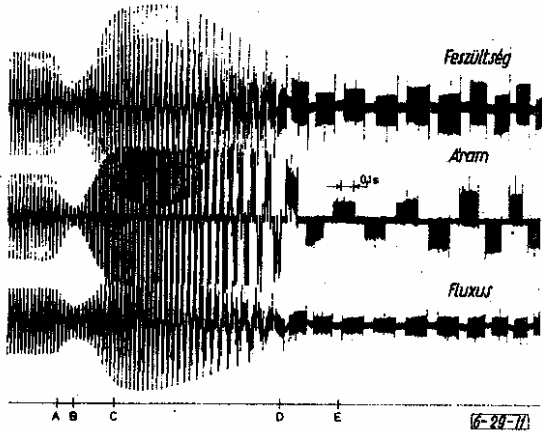


6-29-9

9. ábra. Időfüggvényeket bemutató oszcillogramok az aszinkronmotor forgásirányváltása esetére. Fent: feszültség; közepén: áram; lent: fluxus



10. ábra. Időfüggvények fordulatszámcsökkenés esetén: 1000 min<sup>-1</sup>-ről 130 min<sup>-1</sup>-re csökken a fordulatszám, a fojtótekerics bekapcsolt állapotban



11. ábra. Időfüggvények fordulatszámcsökkenés esetén: 1000 min<sup>-1</sup>-ről 100 min<sup>-1</sup>-re csökken a fordulatszám, a fojtótekerics nincs bekapcsolva



12. ábra. Áram Park-vektor motor üzemmódban, fojtótekerics nélkül, hatágú belső csillag nem záródik

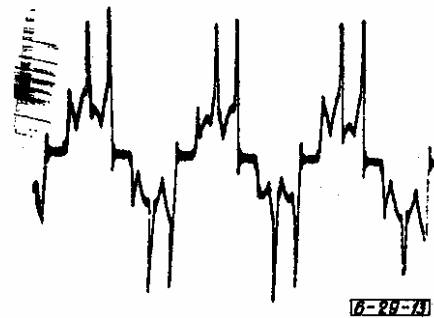
A 10. ábrában az „A” időpillanatban az alapjelet a 130 min<sup>-1</sup> fordulatszám-értéknek megfelelően állítjuk be. Az „A – B” időtartományban az áramfelvétel (motoros üzemmódban) automatikusan csökken, majd „B – C” szakaszon az áramtermelés (generátoros üzemmódban) megkezdődik. A „C – D” időtartományban az áramkorlát lassítja a rendszert. A „D – E” szakaszon az áramtermelés csökken. Az „E” időpillanatban motoros üzemben gyorsítás, valamint a

130 min<sup>-1</sup> fordulatszámértékre való beállítás történik. Az „A – E” szakaszon generátoros üzemmód jön létre, mindazonáltal a kinetikus energia visszatáplálása az ellátó hálózatba a „B – E” szakaszon következik be.

Figyelembe véve a tirisztor gyújtási stratégiát, a „B” pont környezete rendkívül fontos, mert a forgó mágneses tér fennmarad szaggatott áramvezetés esetén is. Megjegyzendő, hogy a korábban kifejlesztett tirisztor-gyújtási stratégiák ezt az eredményt nem tudják felmutatni.

A 11. ábra hasonló folyamatot mutat be, mint amit a 10. ábrán láttunk, de itt a fojtótekerics nincs beiktatva. A fordulatszámot 1000 min<sup>-1</sup>-ről 100 min<sup>-1</sup>-re csökkentettük. Az időpontok és időtartományok teljesen hasonló módon értelmezhetők, mint ahogy a 10. ábrával kapcsolatban elmondottuk.

Az áram Park-vektor motoros üzemmódban a 12. ábra mutatja. Folyamatos áramvezetés látható, mert a 6-ágú belső csillag nem záródik. Ezenkívül ugyancsak megfigyelhető a kommutáció folyamata. A 13. ábra áramcsúcsot mutat a fázisáram időfüggvényéből amelyik a kommutáló kondenzátort polarizálja. A



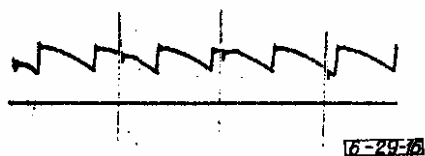
13. ábra. Fázisáram-felvétel motoros üzemmódban fojtótekerics nélkül



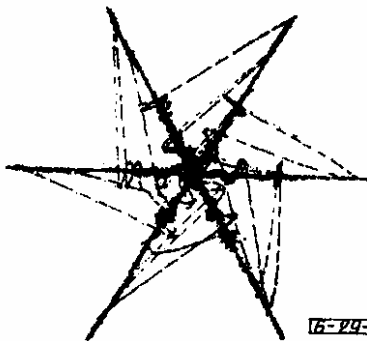
14. ábra. Feszültség Park-vektor motoros üzemmódban, fojtótekerics nélkül



15. ábra. Fázisfeszültség időfüggvénye motoros üzemmódban, fojtótekerics nélkül



6-29-16



6-29-17



6-29-18

16. ábra. Az egyen- és váltóirányító hidak közös feszültsége, motoros üzemmódban, a zérus tengely is látszik, energiafelvétel (fogyasztás)

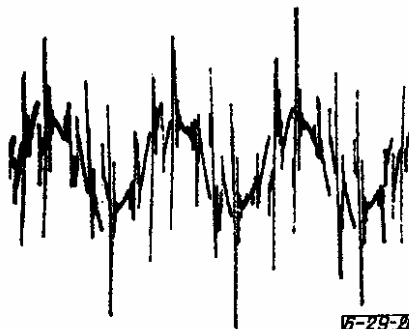
17. ábra. Áram Park-vektor generátoros üzemmódban, fojtótekerccs nélkül, szaggatott áramvezetés, záródó csillagalak

18. ábra. Fázisáram időfüggvénye generátoros üzemmódban, fojtótekerccs nélkül



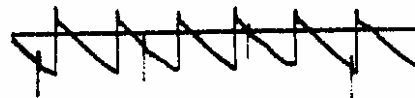
6-29-19

19. ábra. Feszültség Park-vektor generátoros üzemmódban, fojtótekerccs nélkül, a felvétel hosszú idejű tárolással készült és a következmény az eredő feszültségmező amplitúdóváltozása



6-29-20

20. ábra. Fázisfeszültség időfüggvénye generátoros üzemmódban, fojtótekerccs nélkül



6-29-21

21. ábra. Az egyen- és váltóirányító hidak közös feszültsége, generátoros üzemmód, a zérus tengely is látszik, energiavisszatáplálás

feszültség Park-vektort a 14. ábra mutatja be. Az  $L' di/dt$  feszültségváltozás, amelyik az áramváltozás irányában jelenik meg (12. ábra), jól nyomon követhető; itt  $i$  jelenti az áram Park-vektort és  $L'$  az aszinkronmotor tranziens induktivitását.

A függőleges valós tengelyre vett vetület a feszültséget jelenti egy fázisban, amint azt a 15. ábrán láthatjuk. Az áramkommutációk és az 50 Hz hálózati frekvencia egyhatod periódusai jól követhetők.

### 5. Következtetések

Új tirisztor gyújtási logika került kifejlesztésre, és ez közreműködik a forgó mágneses tér fenntartásában még akkor is, amikor az áramvezetés szaggatott. Az áram kommutációs folyamatának megváltoztatása energiatakarékos üzemet biztosít, csökkentheti a nyomatékliktetést és lehetővé teheti az aszinkron-

motorok négynegyedes üzemmódját egészen 300 kilowatt névleges teljesítményhatárig. Különleges előny, hogy fojtótekerccsre egyáltalán nincs szükség a közbelső egyenáramú körben. A kiváló működést igazolják az oszcilloszkóp felvételek, amelyek egy 3,0 kilowatt teljesítményű aszinkronmotor vizsgálata során készültek.

### IRODALOM

- [1] FEKETE, G. – SZENTIRMAI, L.: Áramgenerátor jellegű inverterről táplált aszinkronmotor-hajtás négynegyedes üzemre. Nemzetközi Villamosgép-Kongresszus Kiadványa, Lausanne (1984), 835 – 838. sz. oldalakon.
- [2] FEKETE, G. – SZENTIRMAI, L.: Áramgenerátor jellegű inverterről táplált aszinkronmotor-hajtások. Szabadalmi bejelentések. Országos Találmányi Hivatal, Budapest (1985) bej. lajstromszámok: 1673/85 és 1674/85.

Érkezett: 1986. V.