

Tevékenység:

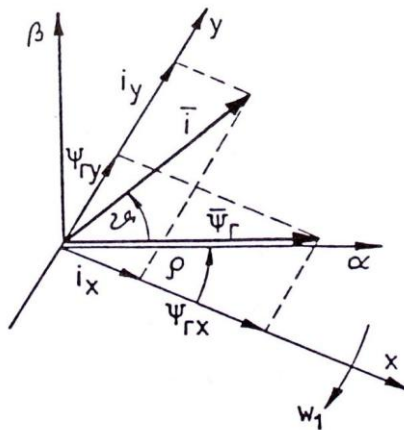
Rajzolja le az áram- és a forgórészfluxus összetevőit, az aszinkron motor mezőorientált szabályozásának elvét.

Jegyezze meg:

- az áram- és a forgórészfluxus α és β irányú összetevőit,
- az állórész feszültségegyenletét a Ψ_r forgórészfluxushoz rögzített koordináta-rendszerben,
- a feszültségegyenletet szétbontását α és β irányú összetevőkre,
- az álló-, és forgórészfluxus amplitúdójának számítási módját,
- az álló koordináta-rendszerből a mért i_x és i_y áramok átszámítását a forgórészfluxushoz rögzítettbe,
- a derékszögű koordináta-rendszerbeli komponensekből a fázisfeszültségeinek alapjeleinek számítását,
- az egyszerű mezőorientált szabályozás hátrányait.

Aszinkron motorok mezőorientált szabályozása

Bizonyos hasonlatosság állítható fel az egyenáramú motorral a szabályozás terén, ha a forgórészfluxushoz rögzített koordináta-rendszerben a motor i áramát felbontjuk két összetevőre, és ezeket külön szabályozzuk, 1. ábra. Ebben az esetben a forgórészfluxus irányába eső összetevő ezt a mennyiséget határozza meg, míg az arra az irányra merőleges összetevő a motor nyomatékát.



1. ábra: az áram- és a forgórészfluxus összetevői

Az ábrán x - y -nal az álló koordináta-rendszer tengelyeit, α - β -val a rotorfluxushoz rögzített koordináta-rendszert jelöljük. ρ a koordináta-rendszerek közti szög. A forgórészhez rögzített koordináta-rendszerre a szinkron gépeknél van szükség, d - q jelöléssel. A vastagon írt betűk a későbbiekben is vektorok.

A rotor- vagy forgórészfluxus szögsebessége, mivel azt az állórészben keringő mágneses tér hozza létre, azonos az állórész forgó mágneses terének sebességével az állórészhez viszonyítva, azaz maga a szinkron sebesség, függetlenül a rotor sebességétől.

A feszültséginverteres hajtásoknál közvetlenül a motorra adott feszültséget tudjuk szabályozni, és az áram a terheléstől és a motor impedanciájától fog függeni.

Az állórész feszültségegyenlete az alábbi alakú lesz egy olyan koordináta-rendszerben, melynek valós tengelyét a ψ_r forgórészfluxushoz rögzítjük:

$$u = iR + \frac{d\psi}{dt} + j\omega_1 \psi.$$

Itt

- ω_1 a ψ_r forgórészfluxushoz rögzített koordináta-rendszer szögsebessége, amely, mint említettük, megegyezik az állórészáram körfrekvenciájával,
- ψ az állórészfluxus.

Ha a $\psi = \psi_r + iL'$ egyenletet, ahol L' a tranziens induktivitás, beírjuk az előző egyenletbe, az alábbi összefüggést nyerjük:

$$u = iR + L' \frac{di}{dt} + \frac{d\psi_r}{dt} + j\omega_1 \psi_r + j\omega_1 iL'.$$

Jó közelítéssel a forgórészfluxus csak alapharmonikust tartalmaz, 1 index-szel, így írható:

$$\psi_r \approx \psi_{r1}.$$

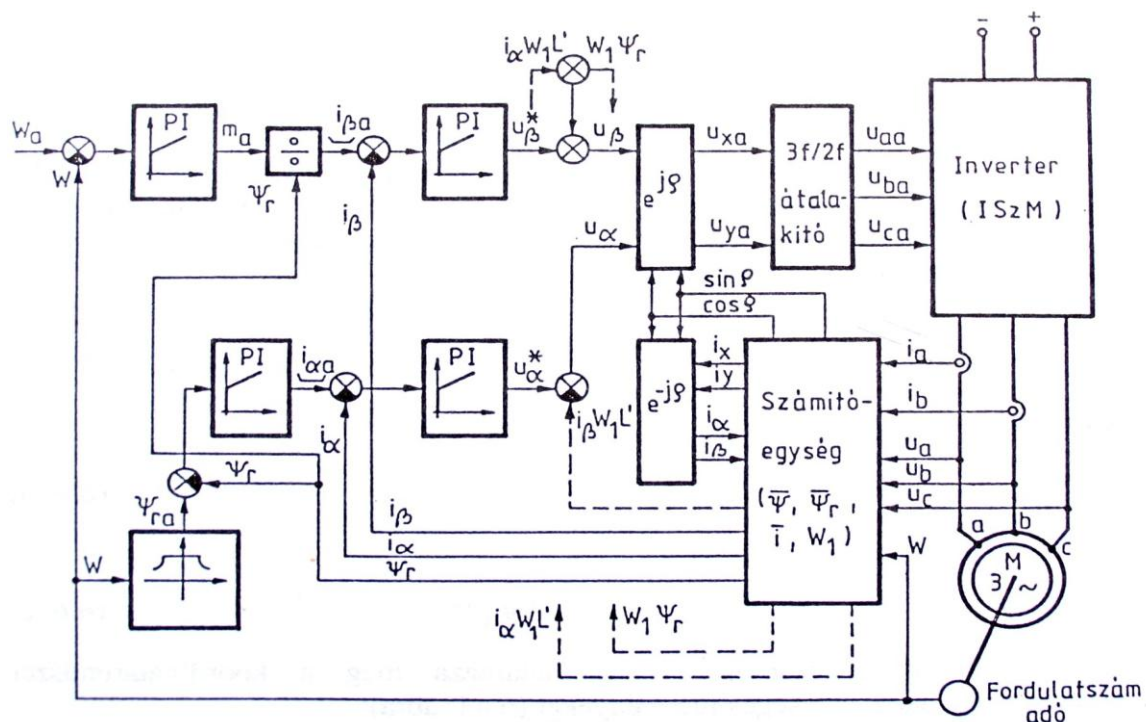
Ha ezt az egyenletet szétbontjuk α és β irányú összetevőkre:

$$u_\alpha = i_\alpha R + L' \frac{di_\alpha}{dt} - i_\beta \omega_1 L' + \frac{d\psi_{r1}}{dt}$$

$$u_\beta = i_\beta R + L' \frac{di_\beta}{dt} - i_\alpha \omega_1 L' + \omega_1 \psi_{r1}.$$

Az egyenletekből láthatóan azok nem függetlenek egymástól, mert az α irányú egyenlet β -, és fordítva, a β irányú α összetevőket is tartalmaz. Emiatt a ψ_{r1} fluxus változtatásakor változtatni kell az u_α és u_β feszültségeket is, továbbá meg kell ezt tenni a nyomaték változtatásakor is. Ezeknek a „keresztirányú” tagoknak a nagysága 5-20 % közt változhat, ami már nem hanyagolható el.

A feszültség-inverteres hajtás mezőorientált szabályozásának egy lehetséges blokkvázlata látható az alábbi, 2. ábrán:



2. ábra: aszinkron motor mezőorientált szabályozásának elve

Mérendők a motor u feszültsége és i árama, közelebbről ezek összetevői. Ezekből egy számítógép álló koordinátarendszerben értelmezve kiszámítja az állórészfluxus összetevőit:

$\psi = \psi_x + j \psi_y = \int u - iR dt + \psi_0$, majd a forgórészfluxus összetevőit:

$$\psi_{rx} = \psi_x - i_x L', \text{ és}$$

$$\psi_{ry} = \psi_y - i_y L'.$$

A forgórészfluxus amplitúdója :

$$\psi_{r1} = \sqrt{(\psi_{rx})^2 + (\psi_{ry})^2}.$$

Továbbá meghatározandók a koordináta-transzformációkhoz szükséges függvények is:

$$\cos \rho = \psi_{rx} / \psi_{r1}, \text{ és}$$

$$\sin \rho = \psi_{ry} / \psi_{r1}, \text{ itt } \rho \text{ két koordinátarendszer közti szög.}$$

Az álló koordinátarendszerből a mért i_x és i_y áramokat át kell számítani a forgórészfluxushoz rögzítettbe.

Mivel $i_{\alpha,\beta} = i_{x,y} e^{-j\rho}$, írható, hogy

$$i_{\alpha} = i_x \cos \rho + i_y \sin \rho, \text{ és}$$

$$i_{\beta} = i_y \cos \rho - i_x \sin \rho.$$

A szabályozási megoldás két szabályozókört tartalmaz, az egyik a szögsebességet, a másik a forgórészfluxust szabályozza. A külső alapjel az ω_a sebesség, amely a fordulatszám-szabályozó bemenetére hat.

A fluxusszabályozó alapjele az aktuális, tényleges fordulatszám, melynek függvényeként képezzük a ψ_r forgórészfluxus ψ_{ra} alapjelét, a hatásvázlat bal alsó sarkánál.

A fordulatszám-szabályozó a nyomatékalapjelet állítja elő, baloldalt fent, amelyből az i_β áramösszetevő kívánt értéke a nyomaték- és fluxusalapjelekből kapható meg:

$$i_{\beta a} = m_a / \psi_{r1}.$$

-

Az i_β áramszabályozó kimenete az ábrán az u_β^* feszültségjel lesz.

Az ábrán szaggatott vonal jelzi az egyes összetevők kölcsönhatását, a fentebb említett kereszthatások következményeit. A jelek bekötése a szaggatott vonal szerint megszünteti a kölcsönhatást, míg ha nem kötjük be azokat, a szabályozás minőségi jellemzői romlani fognak. Példaként, a fordulatszám változtatáskor szükséges u_a úgy jön létre, hogy ilyenkor a ψ_r forgórészfluxus átmenetileg kissé változik, és a szabályozója fogja kikényszeríteni az u_a szükséges változását.

Ez a hatás lesz kiküszöbölhető azáltal, hogy az $i_{\beta a} \omega_1 L'$ ú.n. kompenzációs összetevővel állítjuk elő az u_a ilyen esetekben szükséges változtatását.

Az u_{xa} és az u_{ya} alapjelek értékeit, amelyek a motor alapharmonikus feszültségét írják elő amplitúdóra, frekvenciára és fázishelyzetre, az álló koordinátarendszerbe történő átszámítás után kapjuk.

A két derékszögű koordinátarendszerbeli komponensből a háromfázisú vektorok számítási módja szerint kapjuk a fázisfeszültségek alapjeleit:

$$u_{aa} = u_{xa},$$

$$u_{ba} = - (1/2) u_{xa} + ((\sqrt{3})/2) u_{ya},$$

$$u_{ca} = - (1/2) u_{xa} - ((\sqrt{3})/2) u_{ya}.$$

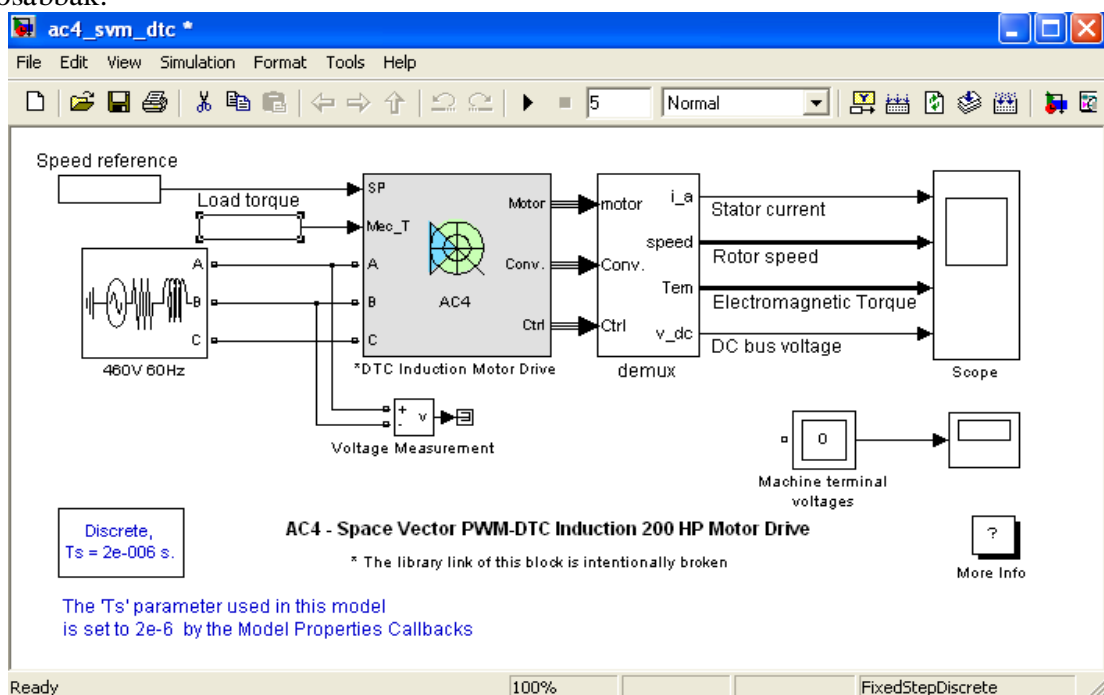
A mezőorientált szabályozás kivitelezéséhez néhány motorparaméter ismerete szükséges, így R , L' és L_r aktuális értékeinek ismerete, ami a jelentős hőmérsékletváltozások miatt nem egyszerű. Továbbá a forgórészfluxus számértékének előállítása sem problémamentes, elsősorban az integrálás miatt, amelynek pontos végrehajtása főként kis frekvenciákon jelent gondot. Az R ellenállás értékét kell pontosan ismerni, mert kis frekvenciákon a hatása jelentős. Ennek következtében a fenti ... ábrán bemutatott mezőorientált szabályozás főként a 10 Hz feletti frekvencia-, illetve sebességtartományban ad jó eredményt.

A pontosabb eredményt adó szabályozásokat különféle megközelítésekkel javították, többek között úgy, hogy a rotorfluxus értékét egy modell segítségével állítják elő, amelynek szintén gyenge pontja a melegekedések miatti időállandó-változások jó becslése. Mindezek, és más, itt nem említettek miatt a mezőorientált szabályozások igen sokféle részmegoldással dolgoznak, némelyikük jelentős matematikai apparátussal operálva. Továbbiakban az irodalomra utalunk.

MATLAB-szimulációs lehetőségek aszinkron motoros hajtások vizsgálatára

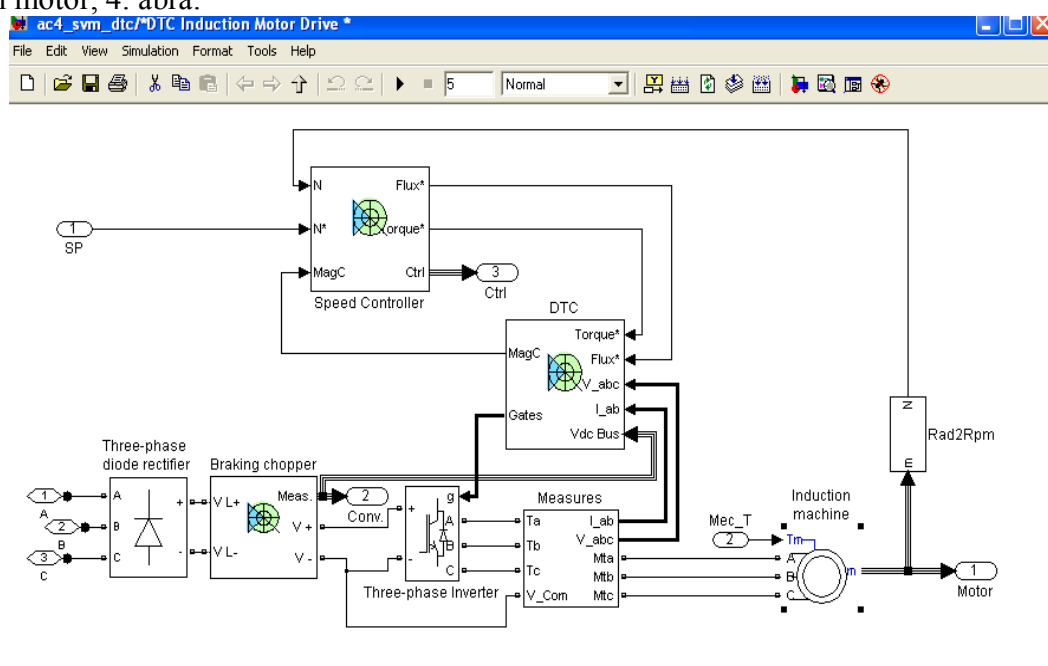
Az alábbiakban bemutatjuk egy MATLAB programban modellezett 147 kW teljesítményű aszinkron motoros hajtás modelljének felépítését, rendszertechnikáját és néhány szimulációs futtatási eredmény-ábráját.

A 3. ábrán a tápegység, a sebesség-alapjel és a tehelőnyomaték beírásának blokkjai, egy nyomatékszabályozásra is alkalmas motorirányítási blokk és a mérőrendszer blokkjai a fontosabbak.



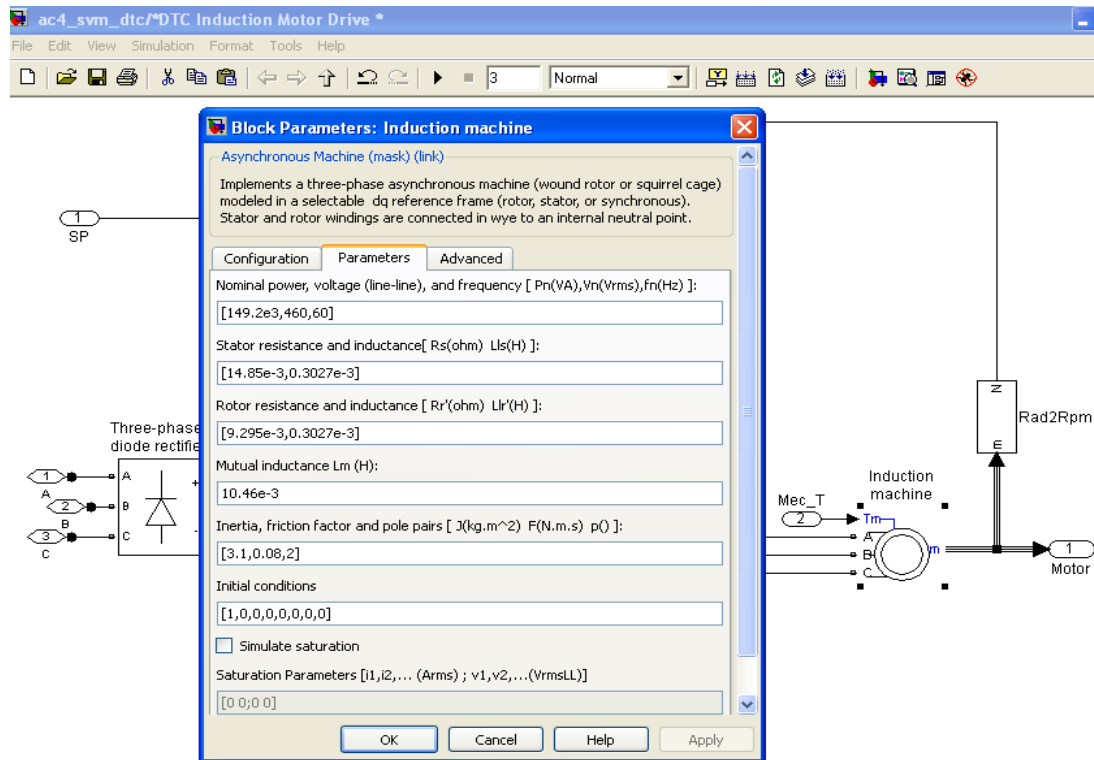
3. ábra. A MATLAB programban modellezett 147,06 kW teljesítményű aszinkron motoros hajtás fő ábrája

A hajtás fő ábrájának kinyitása után látható a modell struktúrája: a háromfázisú egyenirányító és a szaggatós fékkapcsolás, a háromfázisú inverter, a modell mérőegysége, végül az aszinkron motor, 4. ábra.



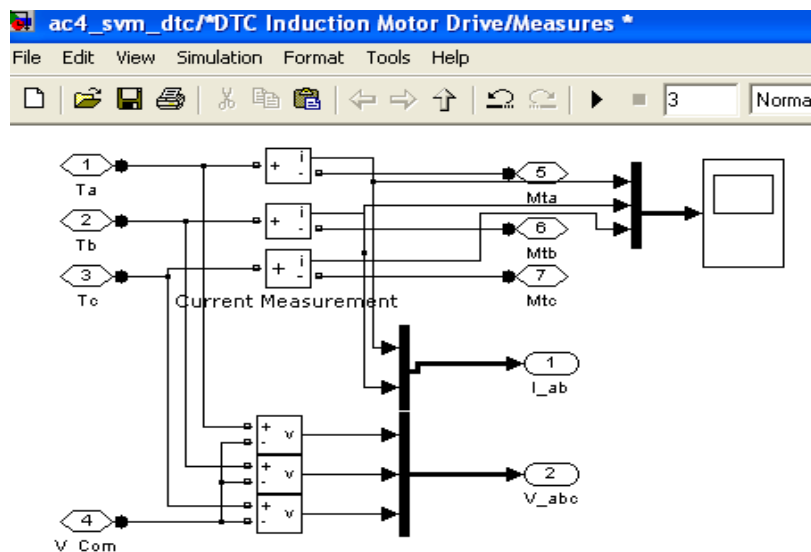
4. ábra. A modellezett aszinkron motoros hajtás struktúrája: lent a háromfázisú egyenirányító és a szaggatós fékkapcsolás, a háromfázisú inverter, a modell mérőegysége, végül az aszinkron motor, fent a sebességszabályozó, középen az áramvektor-szabályozó

Az aszinkron motor adatlapja könyvtárból választható motor adatokkal is kitölthető, de bármely más motor adatai is beírhatóak, 5. ábra.



5. ábra. Az aszinkron motor adatlapja

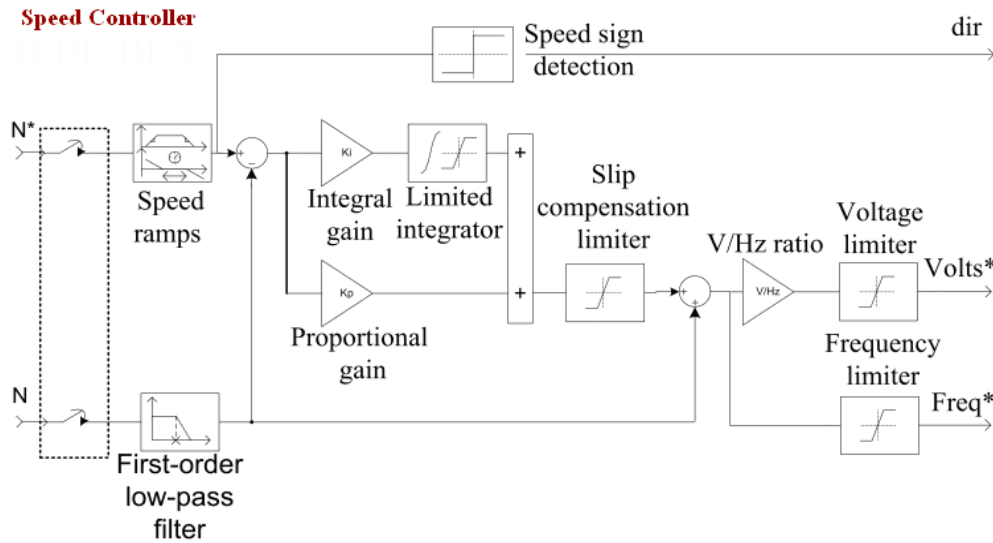
A modell felépítése itt is lehetővé teszi, hogy egyes mérőműszereket utólag is beköthessünk, 6. ábra.



6. ábra. A modell mérőblokkja az utólag beillesztett oszcilloszkóppal az egyes fázisáramok időfüggvényeinek rajzoltatásához

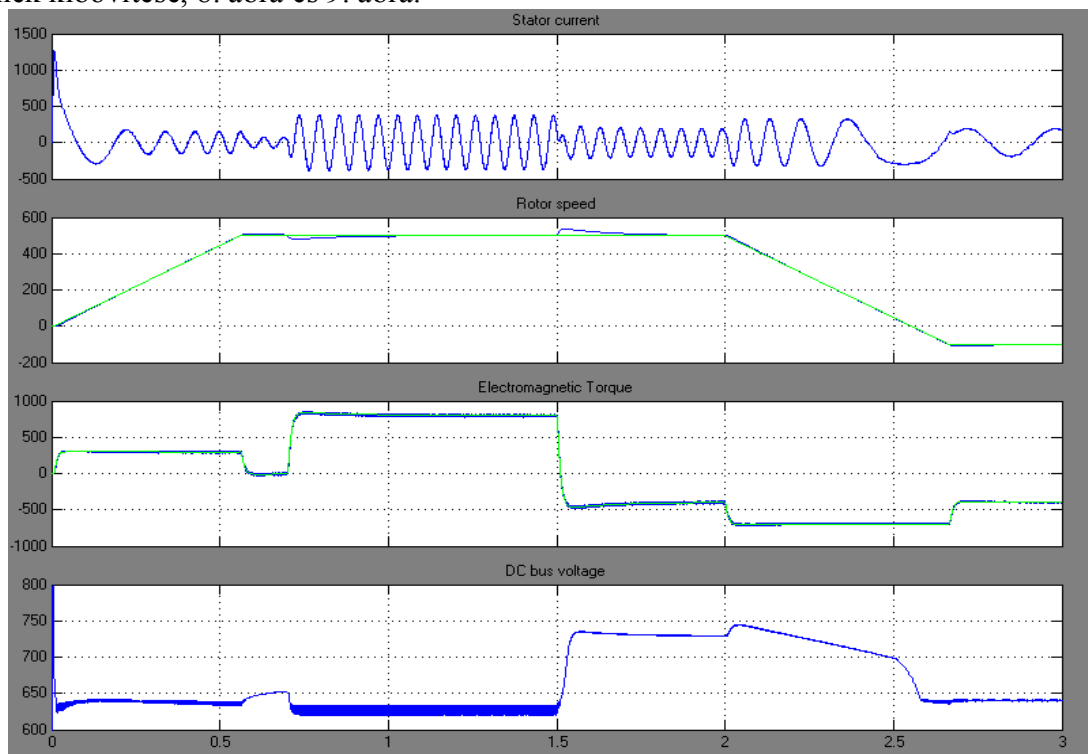
A modell sebességszabályozójának felépítési elve követhető az alábbi, 7. ábrán.

The speed controller is based on a PI regulator that controls the motor slip. As shown in the following figure, the slip value computed by the PI regulator is added to the motor speed in order to produce the demanded inverter frequency. The latter frequency is also used to generate the demanded inverter voltage in order to maintain the motor V/F ratio constant.

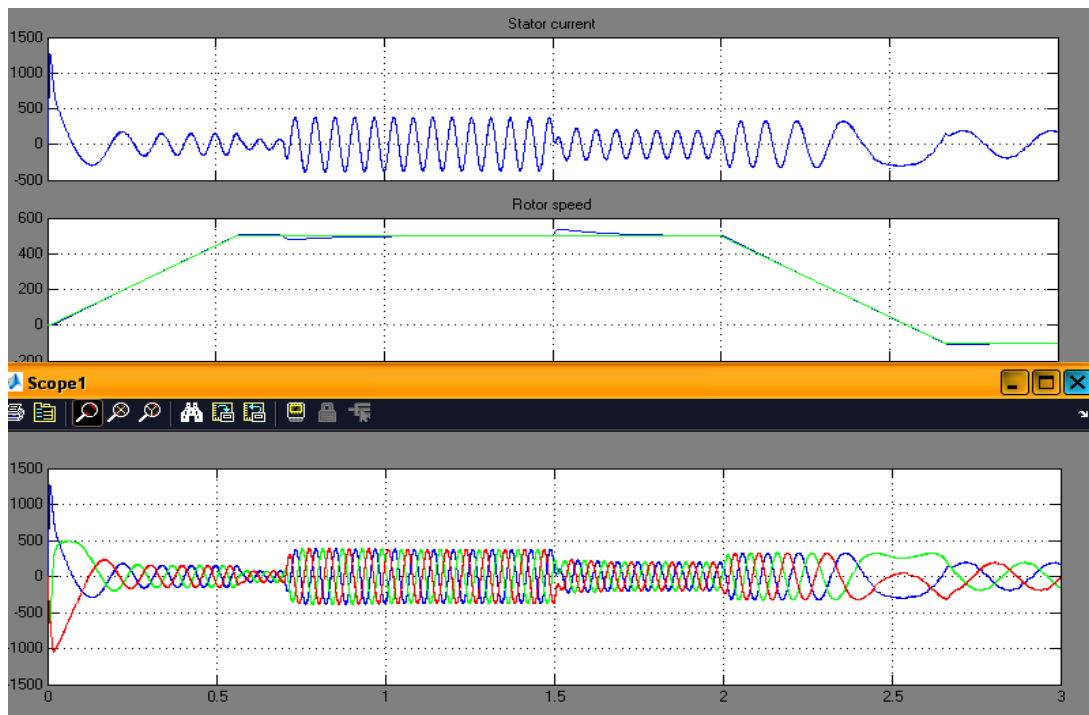


7. ábra. A MATLAB-programban alkalmazott aszinkron motoros hajtás sebességszabályozásának elvi vázlata

Egy adott fordulatszám- és nyomaték-alapjellel dolgozó szabályozás főbb időfüggvényei láthatók a 8. ábrán, a 0-3 s tartományban. A két egymást követő ábracsoportból a második az elsőnek kibővítése, 8. ábra és 9. ábra.

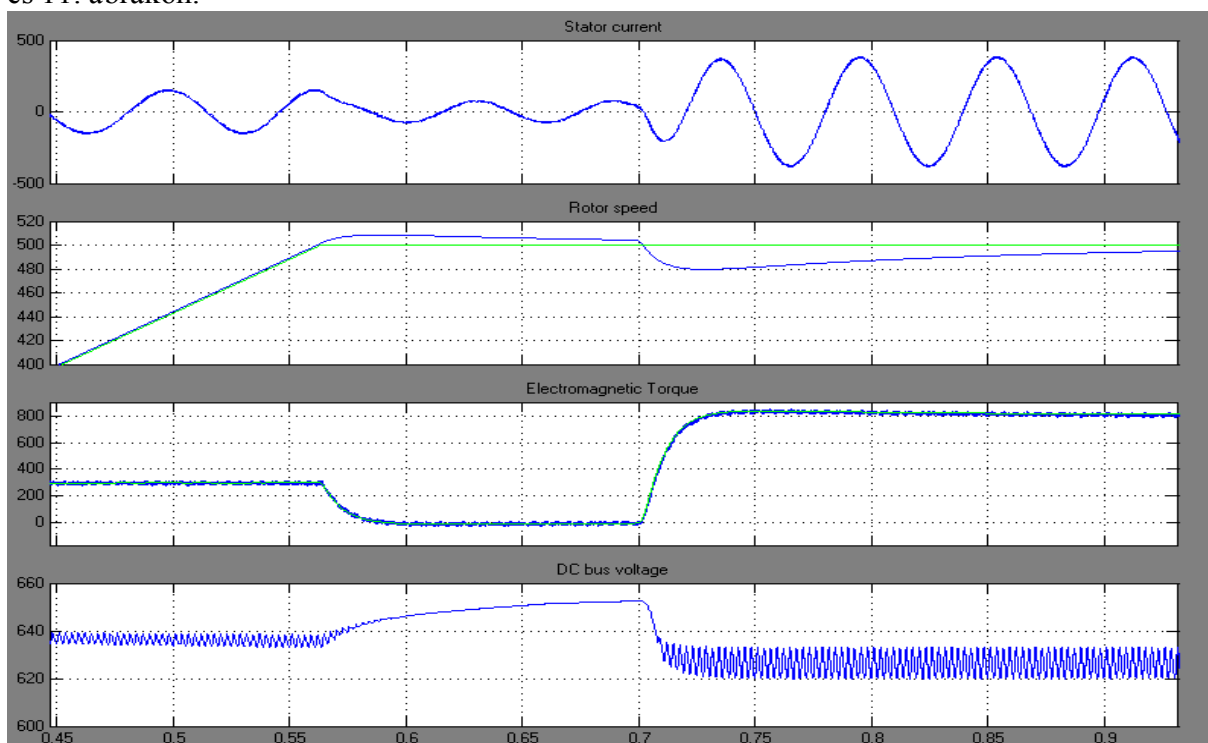


8. ábra. Egy adott fordulatszám- és nyomaték-alapjellel dolgozó szabályozás főbb időfüggvényei a 0-3 s tartományban. Fentről lefelé: egy fázisáram-, fordulatszám-, kifejtett elektromágneses nyomaték, valamint az egyenáramú kör feszültség szintje

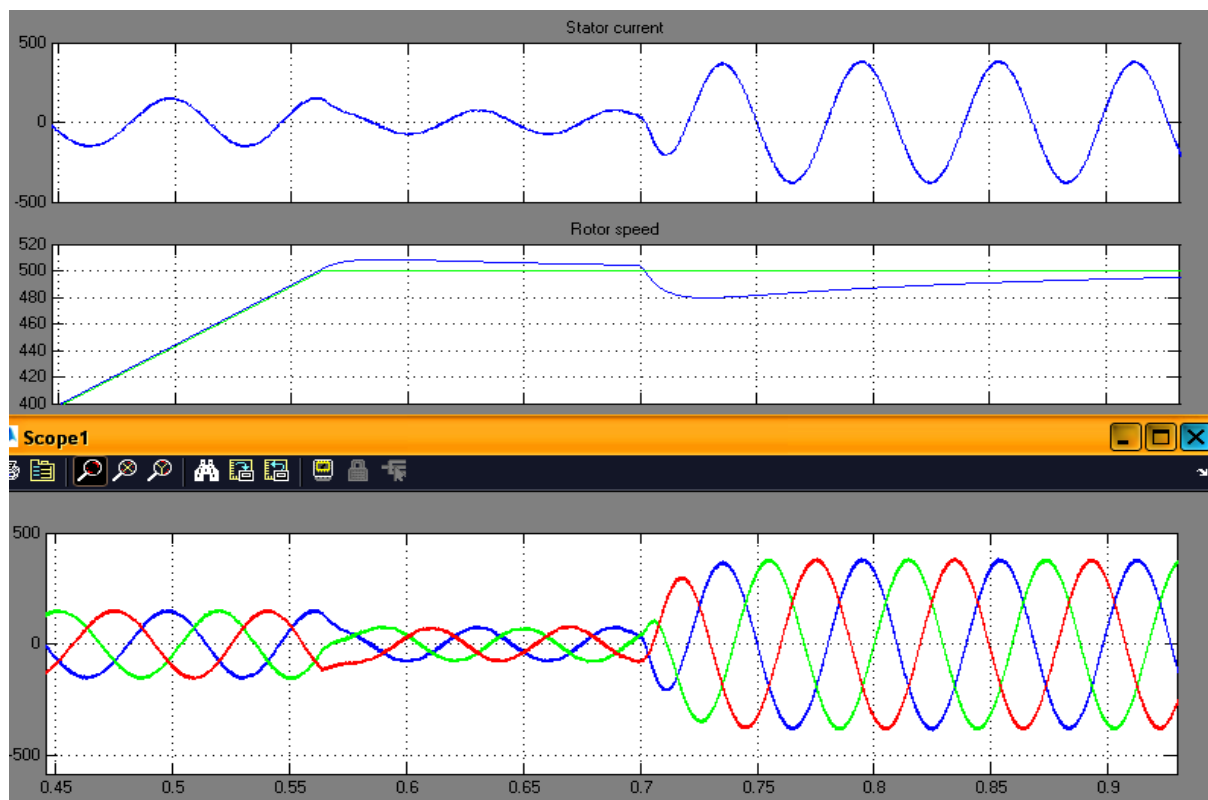


9. ábra. Az előző ábrásor bővítése a három fázisáram időfüggvényeivel. A kék jelű „a” fázisáram itt megismétlődik

Néhány kinagyított részlet figyelhető meg és elemezhető a következő két, egymást követő 10. és 11. ábrákon.

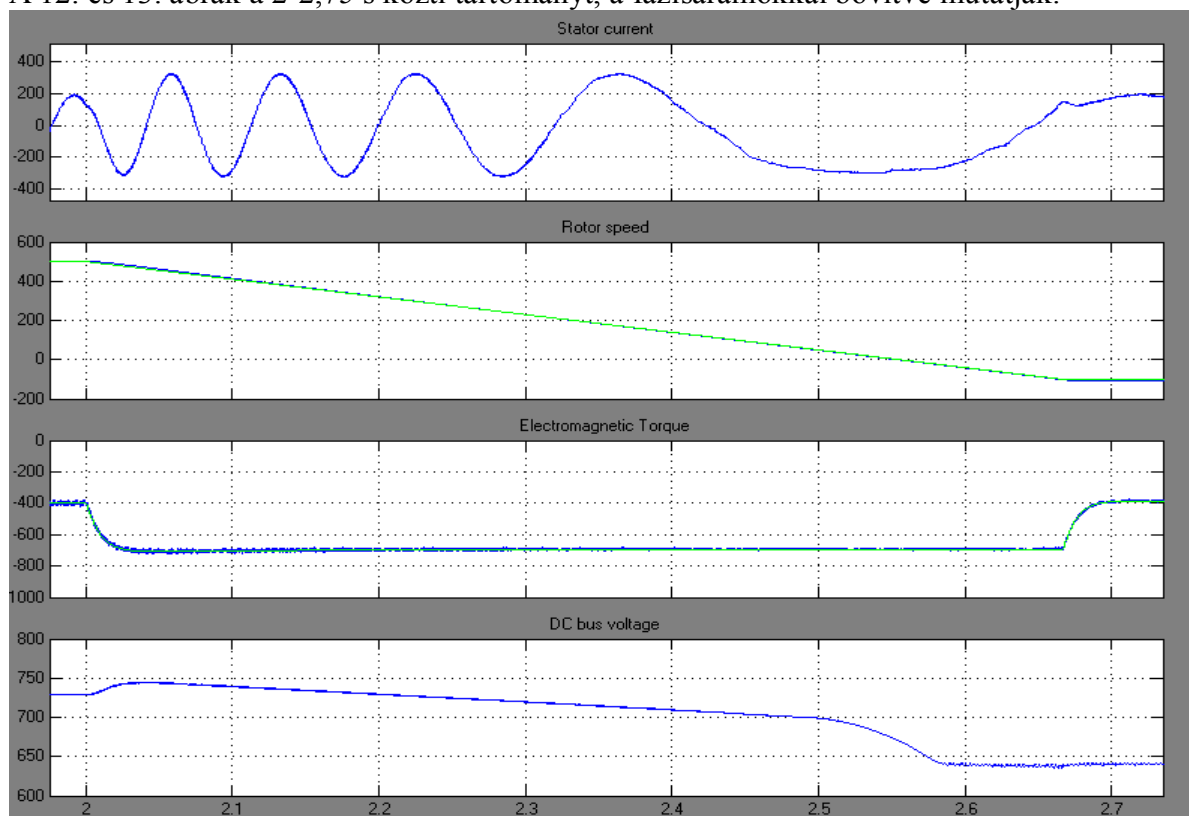


10. ábra. Az előző ábra kinagyított részlete a 0,45- 0,93 s időtartamban.

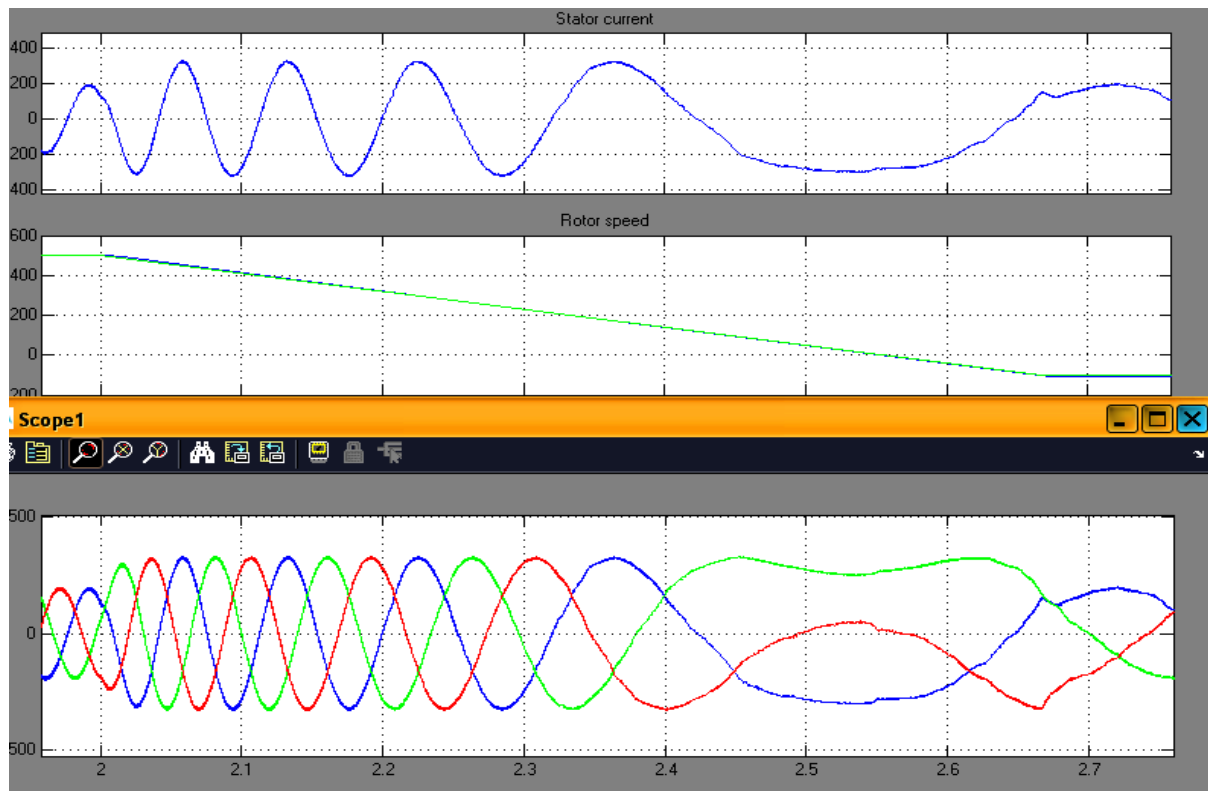


11. ábra. Az előző kinagyított részlet a 0,45- 0,93 s időtartamban, az egyes fázisáramok időfüggvényeivel bővítve.

A 12. és 13. ábrák a 2-2,75 s közti tartományt, a fázisáramokkal bővítve mutatják.



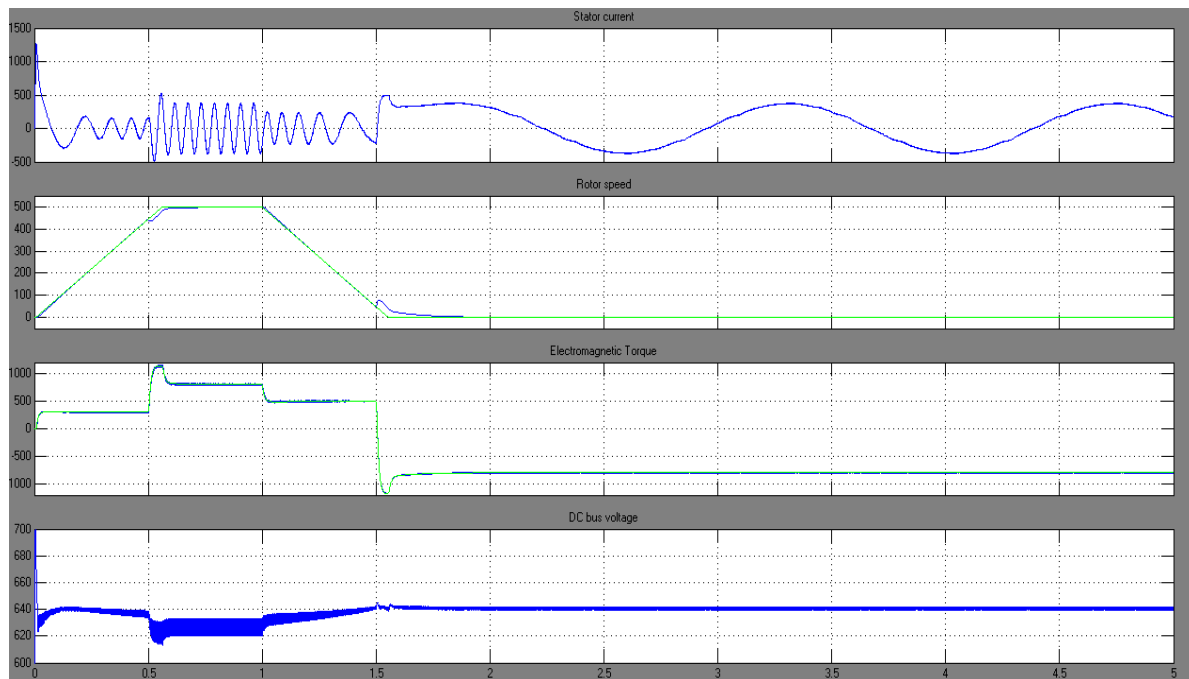
12. ábra. A 2-2,75 s közti tartomány részletesebb ábrázolása



13. ábra. A 2-2,75 s közti tartományrészletesebb ábrázolása, a fázisáramokkal bővítve

Az egyik legfontosabb megfigyelést a következő, 14. ábrán tehetjük.

Ismeretes, hogy az aszinkron motor nyomatékot kifejteni csak a szlip fennállása estén képes, és ez a motor álló esetében is igaz, ha a tengelyen ható terhelőnyomaték ellen-tartását várjuk. Kötélen tartott tehernél, vagy emelkedőben álló villamos hajtású járműnél, mechanikai fék alkalmazása nélkül ezek a normális üzem részei. Az alábbi, 14. ábrán az álló, de kívülről nyomatékkal terhelt motor ábracsoportja tekinthető meg, felfutó-, állandó-, majd zérusra csökkentett sebesség mellett. A felső diagram egyik fázis árama, amely a szlip-frekvenciával állítja elő a lassan forgó mágneses teret, míg alatta a már megállt motor zérus rotor-sebességű görberészlete látható.



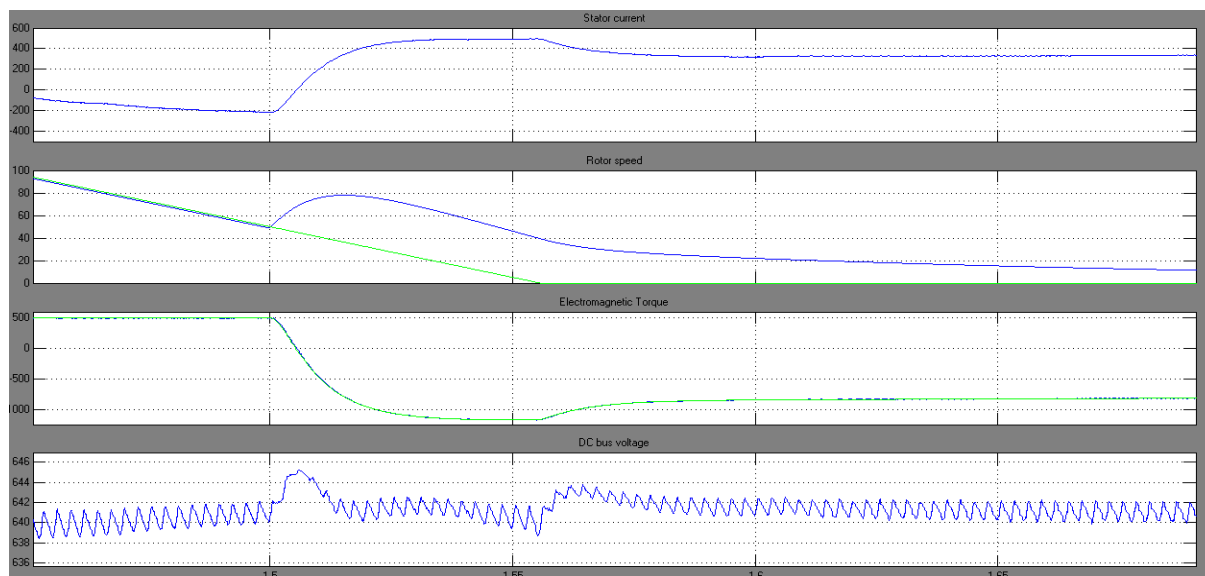
14. ábra. Az 1 s-nál beírt új, zérus sebességet előíró alapjel hatásai, a szlip fenntartása

A zérus sebességet előíró alapjel a megállás után állva tartatja a forgórészt annak ellenére, hogy kívülről 972 Nm értékű, de negatív előjelű terhelőnyomaték hat. Ez utóbbi tovább forgatná a motort, mintha egy lejtőben megállt aszinkron motoros hajtású városi villamoskocsi nem a mechanikus fékjével, hanem a motor villamos nyomatékával maradna egyhelyben.

Jól megfigyelhető a felső ábrán a $t=1,6$ s-tól az állórész-áram kis frekvenciája az álló rotornál, amikor a sebességszabályozó a motor működéséhez a szlipet, sebességkülönbséget a mágneses tér forgásának fenntartásával biztosítja.

A leolvasható periódusidő $T=1,4$ s, ebből a frekvencia $f=1/T=0,7$ Hz, a körfrekvencia $\omega=2\pi f=4,396$ rad/s, ez $n=41,98$ f/p fordulatszámnak felel meg. Ekkora a mágneses tér forgási sebessége az állórészben a 972 Nm nyomatékkal terhelt forgórész állva tartásakor. Gyakorlatilag ez a szükséges fordulatszám-különbség értéke egy adott nyomaték kifejtésekor.

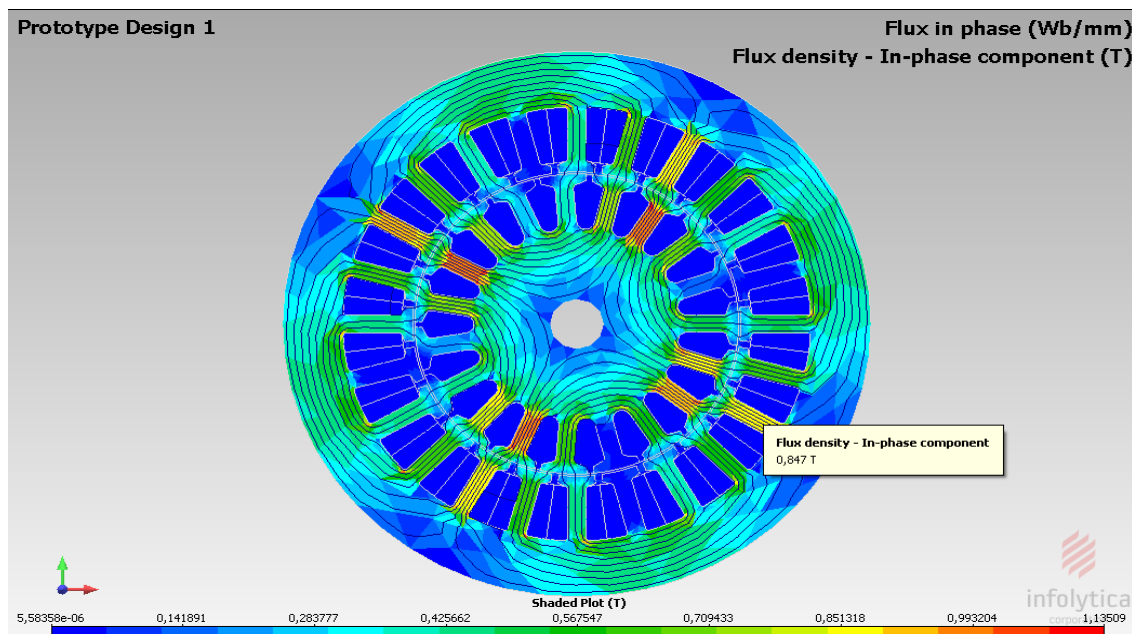
A további 15. ábrán egy tranziens esete látható, amelyben negatív előjelű terhelőnyomatékot jelentkeztettünk. Megfigyelhető a sebességszabályozás reagálása.



15. ábra. A sebességalapjelenek megfelelően csökkenő fordulatszám kialakulását az 1,5 s-nál megzavarja a negatív előjelű terhelőnyomaték jelentkezése, amely most gyorsítja a forgórészt. Ezt jelzi az 1,5 s időponttól emelkedő kék sebességvonal, amely a zöld jelű, az alapjellel előírt időfüggvényt elhagyja.

A sebességszabályozó reagálása következtében az állórészáram megnő, a motornyomaték gyorsan csökken, negatív előjelűvé válik, és generátoros üzemű állapot jön létre, amely a közbenső egyenáramú kör feszültségét is megemeli. A rotor sebessége ismét csökken, megkezdődik a megállás folyamata, amelyben az állvatartáshoz szükséges nyomatékot már motoros nyomatékként állítja majd be a szabályozó, a fentebb már leírtak szerint.

A 16. ábrán egy végeselemes eljárással számolt indukcióeloszlás helyi értékei láthatóak.



16. ábra. Az indukcióeloszlás helyi értékei egy négypólusú aszinkron motor álló- és forgórész vastestében, névleges áramnál és névleges sebességen.