

(Ph. D.) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI



**VÁLTAKOZÓ ÁRAMÚ ASZINKRON RENDSZERŰ HIDRAULIKUS
HAJTÁSOK TERVEZÉSI ÉS KONSTRUKCIÓS KÉRDÉSEI,
TELJESÍTMÉNY ILLETVE MOZGÁS ÁTVITELI
TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA**

(tézisleírás)

Erdélyi János Péter
okleveles gépészmérnök

Tudományos vezető:
Dr. Lukács János
műszaki tudományok kandidátusa

Doktori Iskola vezetője:
Dr. Tisza Miklós
egyetemi tanár

**Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola
Miskolc, 2013.**

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG

- elnök: Dr. Tisza Miklós DSc, egyetemi tanár (ME)
- titkár: Dr. Kamondi László CSc, egyetemi docens (ME)
- tagok: Dr. Szaladnya Sándor CSc, professzor emeritus (ME)
- Dr. Baranyi László CSc, egyetemi tanár (ME)
- Dr. Gyeviki János PhD, egyetemi docens (SZTE)

HIVATALOS BÍRÁLÓK

- Dr. Jánosi László CSc, habil egyetemi tanár (SZIE)
- Dr. Kröell Dulay Imre CSc, ny. egyetemi docens (ME)
- Dr. Czupy Imre, PhD, habil egyetemi docens

Jelölésjegyzék

v	(x, t) sebesség (m/s)
t	idő (s)
λ	csőszűrődési tényező
D	csőátmérő (m)
Y	potenciális energia (J)
a	nyomás hullám terjedési sebessége (m/s),
g	gravitációs gyorsulás (m/s^2),
α	csővezeték vízszintessel bezárt hajlásszöge (fok).
$n_{m,d}$	hidromotor fordulatszáma (üresjárás, deltakapcsolás) (1/min)
$n_{m,cs}$	hidromotor fordulatszáma (üresjárás, csillagkapcsolás) (1/min)
A_g	a hidrogenerátor fázistereiben lévő erőképző felületek (m^2)
A_m	a hidromotor fázistereiben lévő erőképző felületek (m^2)
e	a működtető tárcsa excentricitása (m)
ω_g	a hidrogenerátor szögsebessége (1/s)
R_m	nyomatéki sugár (m)
K	fordulatszám tényező
$n_{m,t}$	hidromotor kimenő tengelyének fordulatszáma (terheléses) (1/min)
i	0,827 (csillag kapcsolás esetén) vagy $i = 0,95$ (delta kapcsolás esetén)
p_t	terhelés hatására fellépő fázisnyomás (MPa)
K_t	terhelési tényező (m^3/MPa)

I. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A munkafolyamatokban a munkafolyamat jellegétől, gépeinek szerkezeti felépítésétől függően különböző anyagok és energiák áramlanak és alakulnak át más anyaggá, illetve energiává.

A munkafolyamat berendezéseinek működését jellemző paraméterek, és a berendezések a munkafolyamaton belüli elhelyezése sok esetben szükségessé teszi a folyamatba bevezetett energia átalakítását.

A munkafolyamat berendezéseinek (gépeinek) működtetéséhez szükséges energiák sokfélék. Lehetnek például mechanikus, villamos, hidraulikus, pneumatikus, egyéb energiák valamint ezek vegyes alkalmazása, mint például az elektrohidraulikus berendezések esetében.

Az erő és a munkagépek közé - az esetek többségében - hajtóműveket építenek nyomaték, illetve fordulatszám módosítása céljából. Ez a megoldás mindig gazdaságosabb, mintha az erőgépet terveznék olyanra, hogy közvetlenül hajthassa a munkagépet. A hajtóművek konstrukciója igen változatos, megtalálhatók köztük a mechanikus, villamos, pneumatikus, hidraulikus vagy ezekből kialakított hibrid rendszerek. Az előbbi hajtómű típusok közül mindig a gyakorlat által megszabott követelmények alapján választjuk ki a legmegfelelőbbeket.

A hidraulikus hajtások területén megkülönböztetünk egyenáramú és váltakozó áramú hidraulikus hajtásokat. Az egyenáramú hidraulikus hajtások három fő egysége a szivattyúk, a hidromotorok és az őket összekötő csővezetékek. A bevezetett energiát (például: villamos, mechanikus) a szivattyúk alakítják át hidraulikus energiává, ez az energia a csővezetékeken keresztül jut a

hidromotorba, a hidraulikus energia a hidromotor kimenő tengelyén mechanikus energiává alakul át.

A váltakozó áramú hidraulikus (VAH) hajtások három fő építési egysége a váltakozó áramú hidrogenerátor (VHG), a váltakozó áramú hidromotor (VHM) és a fázisvezetékek. Emellett a hajtás üzemszerű működésének feltétele a fázisvezetékek nyomás védelme valamint a résveszteség pótlása. A váltakozó áramú hidraulikus hajtásoknál a váltakozó áramú hidrogenerátor (VHG) állítja elő a váltakozó áramú hidraulikus energiát (pulzáló fázis-folyadékárammá), mely a fázisvezetéseken keresztül jut a váltakozó áramú hidromotorba (VHM). A váltakozó áramú hidromotor kimenő tengelyén kapjuk a hajtónyomatékot.

A váltakozó áramú hidraulikus hajtások részletes jellemzése a hidrogenerátor, a hidromotor és a fázisvezetékek együttes tárgyalásával végezhető. A fázisvezetéseken áramló munkafolyadék áramlástani elemzése, modellezése során figyelembe kell venni, az alkalmazott csőanyagok rugalmassági modulusát, valamint a fázisvezetékek hosszát, átmérőjét (térfogatát). Különböző rugalmasságú csőanyagok (acél, réz, gumi) alkalmazásával, különböző karakterisztikájú hajtások hozhatók létre. Az elméleti modellezésnél a fázisfolyadék áramlását, egydimenziós instacionárius áramlásnak, a fázisvezetéseket rugalmasnak tekintettük. A cél a fázisvezetéseken létrejövő áramlások nyomás és sebesség jelleggörbéinek meghatározása volt, az adott peremfeltételek mellett. A gyakorlati méréseket a kivitelezett váltakozó áramú hidraulikus aszinkron (A-VAH) kísérleti berendezésen végeztük el. Meghatároztuk a hajtás üresjárási és terhelési karakterisztikáit. A mérési vizsgálatok eredményeiből igazolhatóak az elméleti összefüggések.

A kutató munka során célkitűzésünk volt, hogy az ismert, extra alacsony fordulátú (0-15 1/min) és extra indítónyomatékú (62000 Nm), váltakozó áramú hidraulikus

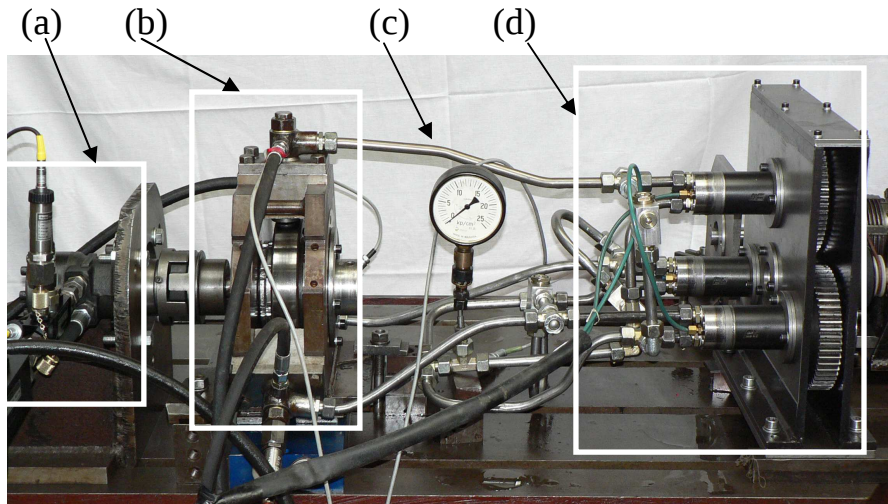
nem szinkron hajtást továbbfejlesszük. A nem szinkron hajtás esetében a fordulatszám maximumát, a hidromotor fázistereiben lévő alternáló fázisdugattyúk tehetetlensége szabja meg. Az ipari igények sok helyen megkövetelik a nagy indítónyomaték mellett, a magasabb fordulatszámok (300-500 1/min) biztosítását. A magasabb fordulatszám elérése megvalósítható a szabadalmaztatott (lajstromszám: 54216) váltakozó áramú hidraulikus aszinkron hajtással. A konstrukció újdonsága, hogy a hidromotor fázistereiben forgó nyomatékképző elemek vannak. A kutatás célja, a szabadalom alapján elkészített kísérleti váltakozó áramú hidraulikus aszinkron hajtás átviteli tulajdonságainak meghatározása.

A cél elérése érdekében az alábbi lépéseket végeztem el:

- a hazai és külföldi szakirodalom áttekintése, irodalomkutatás,
- a váltakozó áramú hidraulikus hajtások csoportosítása, történeti áttekintése,
- mechanikai modell készítése, mely alapján a váltakozó áramú hidraulikus munkafolyadék nyomása és sebessége leírható,
- kísérleti berendezés készítése, amely különböző kapcsolásokban működtethető, ezzel igazolva a hajtás elméleti modelljét,
- mérések elvégzése a kísérleti berendezésen, a hajtás üresjárási és terheléses állapotában,
- a mérési eredmények kiértékelése és összegzése, majd összefüggések keresése a hidromotor fordulatszámának és hajtó nyomatékának leírására,
- a váltakozó áramú hidraulikus aszinkron hajtás továbbfejlesztési lehetőségeinek keresése.

II. AZ ELVÉGZETT VIZSGÁLATOK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

A váltakozó áramú hidraulikus aszinkron (A-VAH) hajtás vizsgálatához szükséges kísérleti berendezést (1. ábra) a Miskolci Egyetem Szerszámgépek Tanszéke műhelyében elkészítettük.

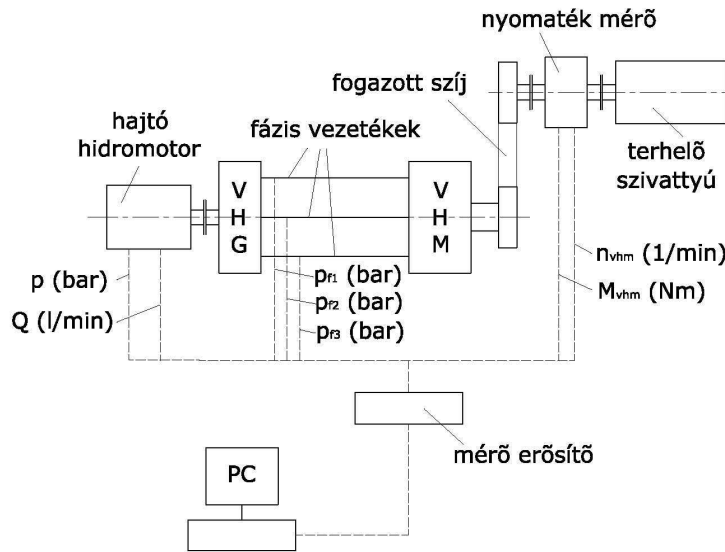


1. ábra. Kivitelezett A-VAH kísérleti berendezés.

A doktoranduszi munkában elkészített kísérleti A-VAH berendezés háromfázisú, hidrogenerátor (VHG) egységének (b) gerjesztő eleme excenter tárcsa. A VHG bemenő tengelyét egyenáramú hidromotor (a) hajtja. A váltakozó fázis-folyadékáram frekvenciáját, a hidrogenerátort hajtó motor fordulatszámának az állításával változtatjuk. Abban az esetben, ha a VHG-t hajtó motor – mint a kísérleti berendezésben is – egyenáramú hidromotor, akkor annak fordulatszámát egy hidraulikus fojtással szabályozhatjuk. A váltakozó fázis-folyadékáram amplitúdóját a hajtás álló állapotában, a hidrogenerátor kettős excenterének állításával változtathatjuk. A fázisvezetékek (c), merev, vastag falú acél csövek. A váltakozó áramú aszinkron hidromotor (d) (A-VHM) háromfázisú, a fázisokat fogazott elemek kapcsolják össze a hidromotor kimenő tengelyével.

A kísérleti méréseket az 1. ábrán látható kísérleti berendezésen végeztük. A mérések célja, hogy igazoljuk az aszinkron váltakozó áramú hidraulikus (A-VAH) hajtás, elméleti nyomaték és fordulatszám karakterisztikák összefüggéseit.

A mérés sematikus vázlata a 2. ábrán látható.



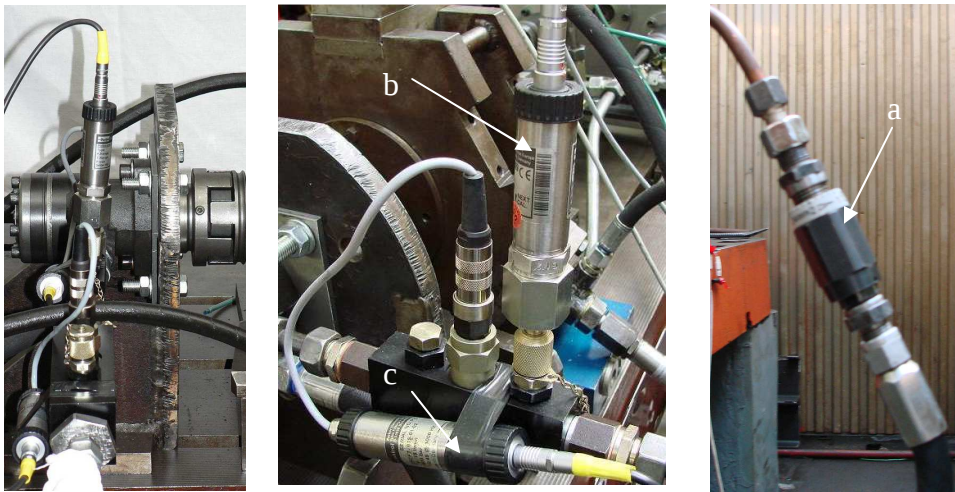
2. ábra. A mérés elrendezése

A fenti mérés összeállítással meghatározhatjuk a hajtóművek mértékadó jellemzőit, a hidromotor egység fordulatszámát és terhelhetőségét, illetve ezek összefüggéseit.

A mérések során, mértük a hajtó egyenáramú hidromotor térfogatáramát (Q) és a hozzá tartozó nyomást (p). A váltakozó áramú hidromotor tengelyét műterheléssel terheltük. A gyakorlatban a hidromotort érő terhelések váltakozhatnak, így szükséges volt a műterhelés változtathatósága. Ezt a terhelő szivattyú tartály ágába helyezett fojtásával valósítottuk meg. A terhelés hatására előálló fázisnyomásokat (p_{f1} , p_{f2} , p_{f3}) mértük. A hidromotor tengelyének fordulatszám szabályozását, a hidrogenerátort hajtó egyenáramú hidromotor fokozatmentes állításával valósítottuk meg. A terhelő szivattyú és a A-VHM közé nyomaték és fordulatszám-mérő van elhelyezve. Ezzel mérhetjük a VHM által leadott nyomatékot (M) és fordulatszámot (n).

A vizsgálandó jeleket HBM Spider 8 mérőerősítővel mértük és továbbítottuk a PC felé. A vizsgált jeleket a számítógép képernyőjén megjeleníthetjük, és adatbázisban elmenthetjük. Az elmentett adatbázisokból később táblázatok, jelleggörbék, karakterisztikák készíthető grafikus (diagramos) formában.

A fentiekben ismertetett méréssorozat célja, hogy bemutassa a hajtás üresjárási és terhelési állapotában a fázisnyomások, a hidromotor hajtónyomatékának és fordulatszámának változását.

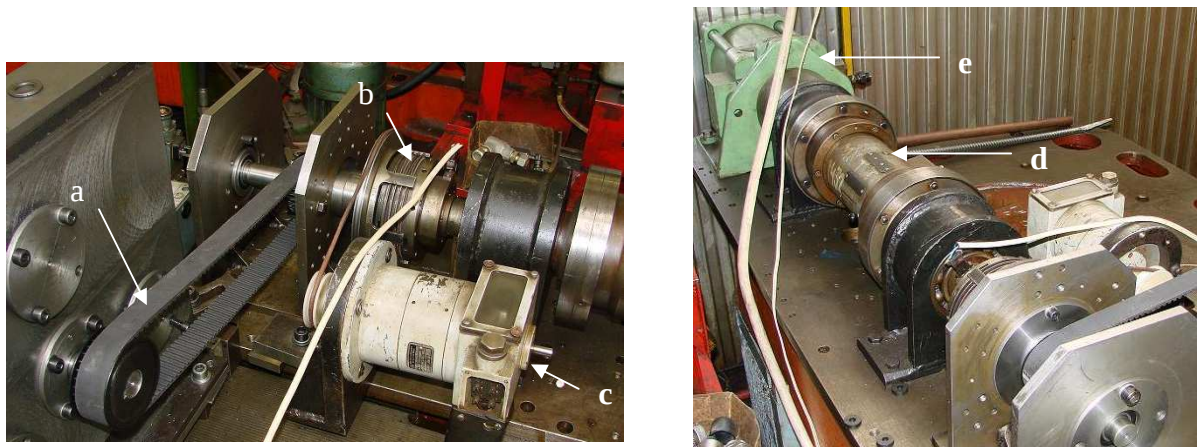


3. ábra. A hajtó egyenáramú hidromotor, bemeneti fojtással és a mérő fejekkel.

A fenti ábrán látható a nyomó ágba épített fojtás (a), valamint a nyomás (b) és a térfogatáram (c) mérésre használt érzékelők. Az érzékelőkhöz kapcsolt kijelzőről valós időben leolvasható a térfogatáram és a nyomás értéke. Ismerve a hajtó hidromotor egy fordulatra elnyelt olaj mennyiségét, a térfogatáram értékéből meghatározható a hidrogenerátor fordulatszáma.

A vizsgálatot különböző excentricitások (amplitúdók) és hidrogenerátor fordulatszámok (frekvenciák) mellett végeztem. Az excentricitás állítása, csak a hidrogenerátor álló állapotában történhet. Minden beállított excentricitás mellett, a hidrogenerátor fordulatszámát adott tartományban változtattuk (1. táblázat).

A 4. ábrán látható az aszinkron hidromotor és a hozzá kapcsolt mérő, terhelő egységek.



4. ábra. A hidromotor kimenő tengelye és a hozzá kapcsolt terhelő berendezés.

A váltakozó áramú aszinkron hidromotor kimenő tengelyét fogazott szíj (a) köti össze a terhelő egységgel. A hidromotor üresjárási és terhelési üzeme közti váltást, elektromos tengelykapcsolóval (b) valósítottuk meg. Az elektromos tengelykapcsoló a fordulatszám mérőhöz (c) és a nyomaték-mérőhöz (d) csatlakozik. A nyomaték-mérő tengelye össze van kötve a terhelő egyenáramú szivattyú (e) meghajtó tengelyével.

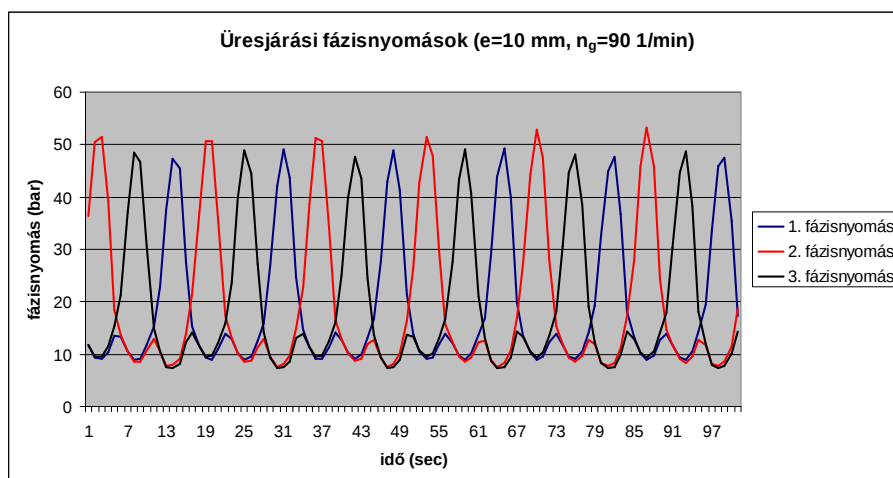
Elsőként a hajtás üresjárási vizsgálatát végeztük el. Az 1. táblázat szerinti excentricitások és hidrogenerátor fordulatszámok mellett, mértük a fázisnyomások és a csillag kapcsolású hidromotor fordulatszám értékeit.

1. táblázat. Az üresjárási mérések beállításai.

amplitúdó (mm)	hidrogenerátor fordulatszám (1/min)			
2,5	140	180	250	320
5	90	180	250	320
7,5	90	180	250	320
10	50	90	130	180

A mért adatokat adatbázisban tároltuk, melyekből tetszőleges jelleggörbéket készíthetünk a kívánt paraméter változásának bemutatására.

Az 5. ábra fix generátor fordulatszám mellett mutatja a három fázisvezetékben kialakult fázisnyomások jelleggörbéit.

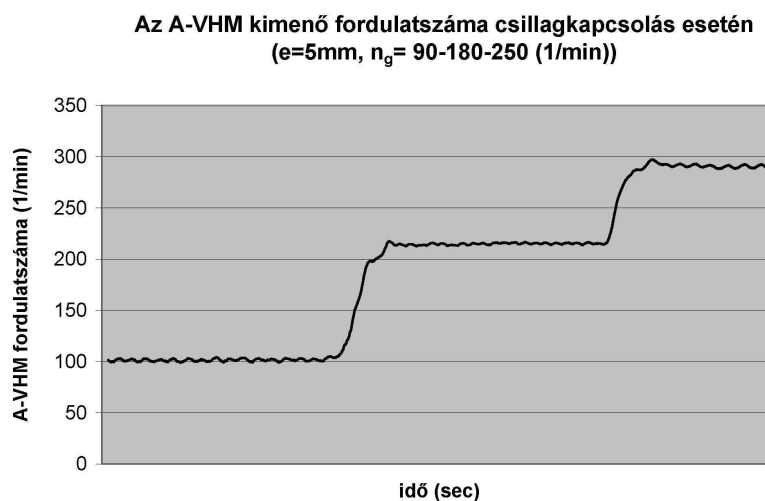


5. ábra. A fázisvezetékben fellépő fázisnyomások (üresjárás)

Az 5. ábráról látható, hogy a VHG által előállított fázis-folyadékáramok periodikus jellegűek. A fázisnyomások alsó értékét, a résveszteség pótló szivattyú alapnyomása adja (kb. 5 bar), míg a felső értékek a terhelés (üresjárási is) következtében adódnak.

A hidromotor tengelyének üresjárási fordulatszám mérését is elvégeztük. A hidromotor fordulatszám elméleti összefüggéseinek helyességét, mérési eredményekkel támasztottuk alá. Azonos hidrogenerátor fordulatszám és excentricitás mellett mértük az aszinkron hidromotor kimenő tengelyének üresjárási fordulatszámait csillag majd deltakapcsolásban. A mérési eredmények igazolták az elméleti összefüggések helyességét.

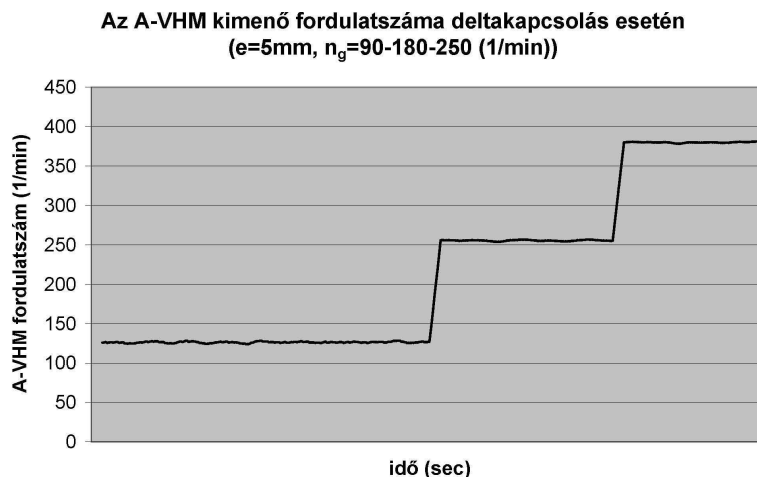
Az összehasonlító mérések fordulatszám-idő görbéit csillagkapcsolás esetén a 6. ábra, deltakapcsolás esetén a 7. ábra mutatja.



6. ábra. Az A-VHM kimenő tengelyének fordulatszáma (üresjárási, csillagkapcsolás).

Az eredmények összehasonlíthatósága érdekében, a két kapcsolás esetén, ugyanazt a hidrogenerátor excentricitást (e) és fordulatszámokat (n_g) állítottuk be.

4550



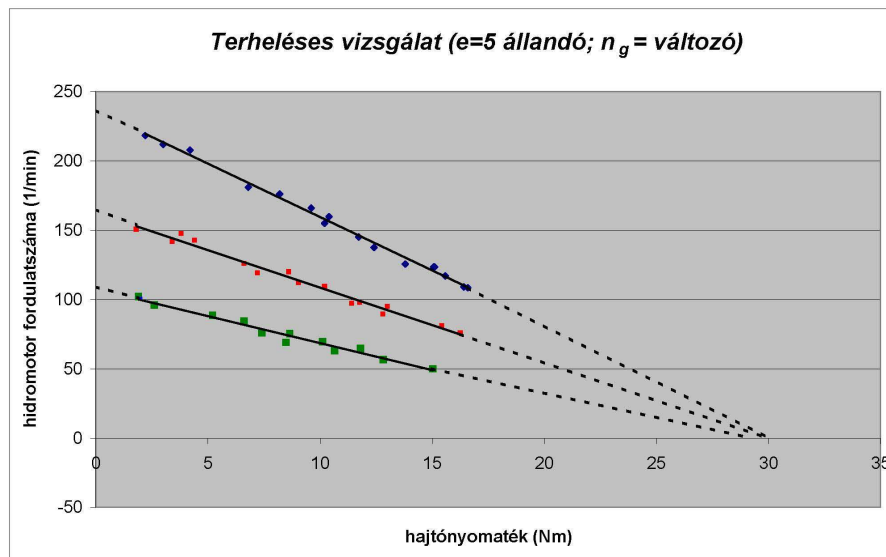
7. ábra. Az A-VHM kimenő tengelyének fordulatszáma (üresjárás, deltakapcsolás).

Az ábrákról jól látható, hogy azonos hidrogenerátor paraméterek mellett, deltakapcsolásban magasabb hidromotor fordulatszámok adódnak, mint csillagkapcsolásban.

Az üresjárási mérések után, elvégeztük az A-VAH hajtás terheléses vizsgálatát. A terheléses mérések célja, hogy megismerjük az A-VAH hajtás nyomaték és fordulatszám karakterisztikáit.

A méréssorozatot az 1. táblázatban látható excentricitások beállítása mellett végeztük. Egy fix excentricitás mellett, több hidrogenerátor fordulatot beállítva és azt fixen tartva terheltük a hajtást. A műterhelést az 4. ábrán (e) látható terhelő szivattyú szolgáltatta. A hidromotor kimenő tengelye a fogazott szíjon keresztül biztosította a terhelő szivattyú meghajtását. A terhelő szivattyú tartály ágába, fojtás beépítésével hoztuk létre a terhelést.

A 8. ábrán látható karakterisztika felvétele, állandó excentricitás mellett ($e=5\text{mm}$) a hidrogenerátort hajtó motor fordulatszámának változtatásával történt.



8. ábra. A VHM nyomaték és fordulatszám karakterisztikái (terheléses eset)

A diagram egy görbét úgy kapjuk meg, hogy fix hidrogenerátor fordulattal, a kimenő tengely terhelését változtatjuk. A különböző terhelések mellett különböző hidromotor fordulatszámokat kapunk. Azaz a terhelés nélküli esettől (üresjárás), eljutunk a teljesen lefékezett (maximális terhelés) hidromotor tengelyig.

A frekvencia és amplitúdó szabályozás módszerével, tetszőleges pontra rá lehet állni az aszinkron hajtás nyomaték-fordulatszám síkján.

III. ÚJ TUDOMÁNYOS ERDMÉNYEK (AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI)

1. Tézis

Az alábbi parciális differenciál egyenletrendszer segítségével bebizonyítottam, hogy merev és hidrodinamikailag rövid fázisvezetékek esetén a fázisvezetékben keletkező nyomás hullámok, nem hoznak létre veszélyes nyomás csúcsokat.

$$\begin{aligned} \text{a,} \quad & \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial x} + \frac{\lambda}{2D} v |v| = 0 \\ \text{b,} \quad & a^2 \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial t} + v \frac{\partial Y}{\partial x} + g v \sin \alpha = 0 \end{aligned}$$

A levezetett összefüggések segítségével kimutattam, hogy a váltakozó áramú aszinkron hidraulikus hajtás fázis-folyadékáramának nyomása és áramlási sebessége között a kapcsolat koncentrált paraméterként vizsgálható.

2. Tézis

Az alábbi összefüggésekkel bebizonyítottam, hogy a váltakozó áramú aszinkron hidromotor fázistereinek csillag- illetve delta kapcsolása, azonos hidrogenerátor paraméterek mellett, különböző üresjáratú fordulatszámot biztosít a váltakozó áramú hidraulikus aszinkron hajtás kimenő tengelyén.

$$\begin{aligned} \text{a,} \quad & n_{m,d} = 9,076 \cdot \frac{A_g \cdot e \cdot \omega_g \cdot K}{A_m \cdot R_m}, \\ \text{b,} \quad & n_{m,cs} = 7,901 \cdot \frac{A_g \cdot e \cdot \omega_g \cdot K}{A_m \cdot R_m} \end{aligned}$$

IV. AZ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTHATÓSÁGA

A váltakozó áramú hidraulikus aszinkron hajtás alkalmazható, stabil és mobil munkagépeknél, valamint csörlési feladatok ellátására (pl.: bányászat, mezőgazdaság, erdészet, hajózás, anyagmozgatás, stb.).

Stabil gépek esetében az aszinkron hidraulikus hajtás jól alkalmazható:

A szilikátiparban a cementgyártásnál használt forgó csökemencék, golyós malmok több MW-os hajtásaiként, a több tonnás betonelem sablonok tömörítési (vibrálási) műveleténél.

Anyagvizsgáló berendezéseknél, szakító, fárasztó gépek hajtásaként. Mivel a frekvencia fokozatmentesen szabályozható, ezért (lineáris motorral) alkalmas acélsodrony kötelek különböző frekvenciákkal történő fárasztásos, valamint szakító vizsgálatára.

Mobil gépek esetében az aszinkron hidraulikus hajtás jól alkalmazható:

Az erdészeti fakitermelések során szükséges a tuskók jó, könnyű megközelíthetősége. Az aszinkron hajtás alkalmazható az erdészeti mobilgép kerékhajtásaként, a kerékbe épített hidromotorok külön-külön indításával leállításával, a mobilgép akár helyben is képes megfordulni.

A bányászati és mezőgazdasági gépekben szintén alkalmazhatók a mobilgépek kerékhajtásaként. Emellett a bányászati homlokmarók, fúrógépek, nagy keverő tartályok, silók forgatására alkalmasak.

Csörlési feladatok ellátásánál:

Munkavégzés során sok esetben szükséges csörlési feladatok elvégzése. Az erdészeti mobilgéphez csatlakoztatott csörlőhajtást működtetve, a kivágott fatörzsek kötélzet segítségével, a rosszul vagy egyáltalán nem megközelíthető helyekről is könnyen felvonszolhatók, mozgathatók.

Tengeri kikötőkben az óceánjáró hajók dokkolási műveletében (kötélzettel a parthoz vontatni a több ezer tonnás hajótesteket) és a fedélzeti anyagmozgatásban (nagy tároló konténerek mozgatása) egyaránt hasznosíthatók.

V. A TÉMÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓIM

Erdélyi János – Dr. Lukács János, GÉP Műszaki folyóirat LXI. 2010/9-10. Investigation of the asynchronous alternating current hydraulic (A-ACH) drive (p. 39-41)

Dr. Lukács János - Erdélyi János, GÉP Műszaki folyóirat LVII. 2006/8-9. Váltakozó áramú hidrogenerátor (VHG) működtető excenter tárcsáinak kiegyensúlyozási módszerei. (p. 54-57)

Dr. Lukács János - Erdélyi János, Pneumatika, hidraulika, hajtástechnika, automatizálás IX. Évf. 2005. A váltakozó áramú hidrogenerátor fázisdugattyúinak működtetési és konstrukciós kérdései (p. 60-63)

Erdélyi János - Fekete Tamás - Dr. Lukács János, Pneumatika, hidraulika, hajtástechnika, automatizálás XII. évf. 2008. A kontrakciós henger konstrukciós és működési tulajdonságai. (p.3-5)

Erdélyi János - Dr. Lukács János – Dr. Tolvaj Béla, Pneumatika, hidraulika, hajtástechnika, automatizálás XII. évf. 2008. Instacionárius áramlás az A-VAH hajtás fázisvezetékében. (p.40-42)

Erdélyi János - Dr. Lukács János – Dr. Tolvaj Béla, Pneumatika, hidraulika, hajtástechnika, automatizálás XIII. évf. 2009. A kísérleti aszinkron váltakozó áramú hidraulikus (AVAH) hajtás, elméleti és gyakorlati vizsgálata. (p. 25-29).

Erdélyi János - Dr. Lukács János, Pneumatika, Hidraulika, Hajtástechnika, Automatizálás XIV. évf. 2010. A kísérleti aszinkron váltakozó áramú hidraulikus hajtás (AVAH). (p 17-20).

Dr. Lukács János - Erdélyi János, Tavaszi Szél 2006. Kaposvár. Váltakozó áramú hidrogenerátorok (VHG) elméleti és konstrukciós kérdései. (p. 328-331)

Erdélyi János, OGÉT 2006. XIV. Nemzetközi Gépész Találkozó. Marosvásárhely. Románia. Váltakozó áramú hidraulikus aszinkron (A-VAH) hajtás (p. 113-116)

Dr. Lukács János - Erdélyi János, OGÉT 2004; XII. Nemzetközi Gépész Találkozó, Konferencia kiadvány. Váltakozó áramú hidraulikus (VAH) hajtás fordulatszámának állítása, hidromechanikus vezérléssel (p. 184-188).

Dr. Lukács János - Erdélyi János, Géptervezők és Termékfejlesztők XXI. Országos Szeminárium. 2005. november 10-11. A fázisdugattyúk berágódásának kérdése, váltakozó áramú hidrogenerátoroknál.

Dr. Lukács János - Erdélyi János, Doktorandusz Fórum 2005. november 9. Miskolci Egyetem. Váltakozó áramú hidraulikus (VAH) hajtás, forgó elemes fázistérrel. (p. 40-42)

Dr. Lukács János - Erdélyi János, Doktorandusz Fórum 2004. november. Miskolci Egyetem. Gépészmérnöki Kar. Szekciókiadvány. Extra nyomatékú váltakozó áramú hidraulikus (VAH) hajtás. (p. 70-75).

Dr. Lukács János - Erdélyi János, Pneu-Hidro XI. Nemzetközi Pneumatika - Hidraulika Konferencia 2004. Extra nyomatékú váltakozó áramú hidraulikus (VAH) hajtás. (p.115-119)

Dr. Lukács János - Erdélyi János, GÉP műszaki folyóirat, 54. Évf. 2003, Géptervezők és Termékfejlesztők XIX. Országos Konferencia. Váltakozó áramú, hidraulikus (VAH) hajtások, hidromotor egységében, a csillagponti visszatérítő mozgás létrehozása (p.28-30).