

Az állandómágneses hibrid léptetőmotor egyszerűsített vektoriális vezérlése

Dr. Szász Csaba, Dr. Marschalko Richard, Székely Ambrus
Kolozsvári Műszaki Egyetem

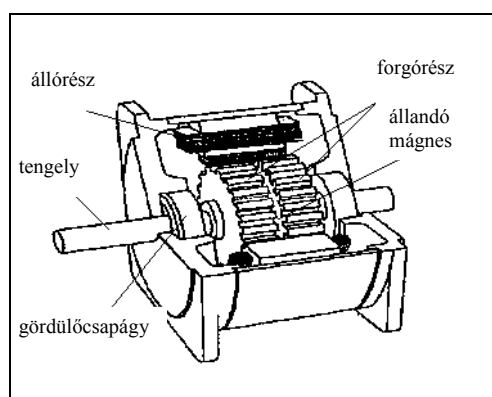
A dolgozat az állandómágneses hibrid léptetőmotor új, egyszerűsített vektoriális vezérlési módszerét mutatja be. A kétfázisú hibrid léptetőmotor eddig ismert vektoriális vezérlésének rövid leírása után, az „egyszerűsített vektoriális vezérlés” új fogalmát vezeti be. A kísérletezésre használt léptetőmotor bemutatása után, a dolgozat ismerteti a laboratóriumban használt számítógépes vezérlőrendszer felépítését és annak működését. A valós idejű számítógépes vezérlés alatt beolvasott adatok feldolgozása után nyert diagramok szemléltetik az eddig elért eredményeket, és bizonyítják az új vezérlési módszer megalapozottságát.

Bevezetés

Ismert, hogy a léptetőmotorok alkalmazási területe általában a dinamikai szempontból kevésbé igényes villamos hajtások, amelyek esetében elégséges a nyílt hurokban történő vezérlés. Ezek a szervóhajtások viszonylag olcsók és kielégítő teljesítményt nyújtanak kis forgási sebességek esetében, vagy akkor, ha a léptetőmotor tengelyén kevésbé változik a terhelőnyomaték értéke. Már bizonyított, hogy az elektromos gépek vektoriális vezérlési elméletének alkalmazásával lehetséges a léptetőmotorok dinamikájának nagyméretű javítása. Ezáltal kivitelezhetőek olyan zárt hurokban történő léptetőmotor-vezérlőrendszerek, amelyek eleget tudnak tenni igényes dinamikai követelményeknek megfelelő ipari alkalmazásoknak [1].

1. Az állandómágneses hibrid léptetőmotor

A laboratóriumi kísérletezésre használt állandómágneses hibrid léptetőmotor elvi rajza az 1-es ábrán látható.



1. ábra, Az állandómágneses hibrid léptetőmotor felépítése

A motor főbb paraméterei a következők: két fázis, 8 állórész pólus, 5 fog pólusonként, 50 fog a forgórészen, 200 lépés/fordulat, nominális forgatónyomaték $M_n=0.2\text{Nm}$, nominális áram $I_n=1\text{A/fázis}$, állandómágnes fluxus $\Psi_M=0.0044\text{Wb}$. A motor tengelyére 1000 impulzus/fordulat felbontású inkrementális impulzusadó van rögzítve.

2. Az állandómágneses hibrid léptetőmotor vektoriális vezérlése

A léptetőmotor vektoriális vezérlésének alapelmélete a szinkrongépek elektromágneses nyomatékának a forgórészorientált rendszerben felírt egyenletén alapszik (az ismert jelöléseket használva) [2]:

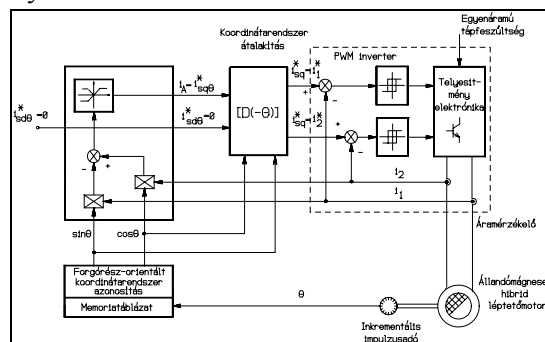
$$m_e = \frac{3}{2} p [\Psi_M i_{sq\theta} + (L_{sd} - L_{sq}) i_{sd\theta} i_{sq\theta}] \quad (1)$$

amely az előbbiekbem bemutatott mágneses hibrid léptetőmotor esetén ($L_{sd}=L_{sq}$) a következőképpen alakul:

$$m_e = z_p \Psi_M i_{sq\theta} \quad (2)$$

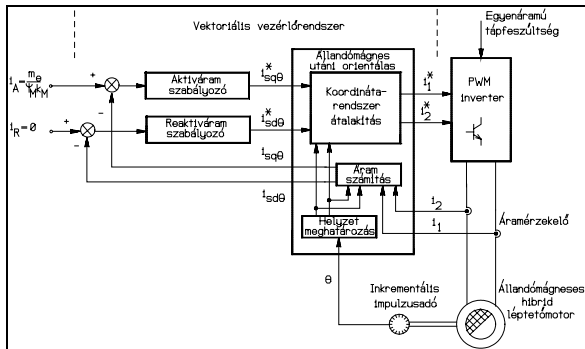
Ebből kifolyólag, az úgynevezett $i_{sq\theta}$ „aktív áram” amplitúdóját az alkalmazásnak megfelelően kell generálni, az $i_{sd\theta}$ „reaktív áramot” pedig zéróra állítani, és ennek megfelelően a légrés fluxus vektoramplitúdója állandó marad. A szabályozó áramkör pedig arra igyekszik hogy az „aktív áram” vektora merőleges maradjon a Ψ_M fluxus vektorára. Így a motor által kifejtett elektromágneses nyomaték maximális lesz. A fent leírt stratégia alapján működő vezérlőrendszer elvi rajza a 2-es látható.

Ennek a vektoriális vezérlőrendszernek viszont számos hátránya van: nincs lehetőség a motor sebességének, valamint a forgórész helyzetének a szabályozására, nem utolsósorban pedig, a vezérlőrendszernek bonyolult a hardware és software igénye.



2. ábra, Az állandómágneses hibrid léptetőmotor vektoriális vezérlőrendszere.

Megfelelő sebesség vagy nyomaték szabályozót beillesztve az aktív áram szabályozására, lehetségessé válik a vezérlőrendszer dinamikai paramétereinek a jelentős javítása [3]. Számítógépes szimulációk bizonyítják azt, hogy az új vezérlőrendszernek a legfőbb hátránya hogy a légrésben a fluxus változása jelentős két vezérlési ciklus között. A reaktív áram értékének zéróra rögzítése minden ciklus kezdetén nem bizonyul elégségesnek. Ennek a hátrálynak a kiküszöbölése érdekében született meg az állandómágneses léptetőmotor „teljes vektoriális vezérlésének” az ötlete. Az új vezérlőrendszer elvi rajza a 3-as ábrán látható.



3. ábra

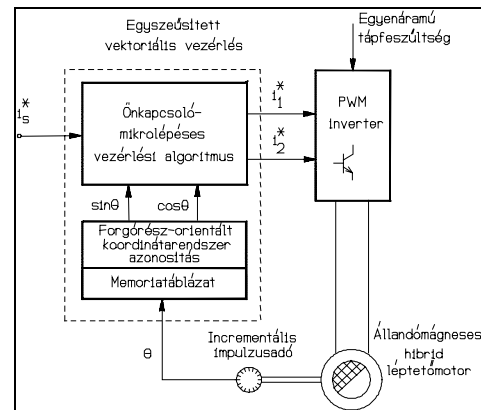
Az állandómágneses hibrid léptetőmotor teljes vektoriális vezérlőrendszere.

A két visszacsatolási hurok létezése a motor számára jó dinamikai paramétereket biztosít, viszont ez a vezérlési stratégia túl bonyolultnak és gazdaságtalannak bizonyul e kis teljesítményű léptetőmotor esetében.

3. Az új, egyszerűsített vektoriális vezérlés stratégiája

Régóta ismert a léptetőmotor két hagyományos vezérlési módszere: a mikrolépéses, valamint az elektronikusan önszabályozott vezérlés. A mikrolépéses vezérlés esetében az állórészben folyó áramot úgy változtatjuk, hogy lehetségessé váljon a motor mechanikai lépésének a felosztása több, úgynevezett „mikrolépésre”, ezáltal megnövelve a forgórész mozgásának a felbontását. Az elektronikusan önszabályozó vezérlés pedig elvben nem más, mint az állórészben folyó áram fázorjának irányítása a forgórész minden mechanikai lépése után. Ez a vezérlési módszer könnyen megvalósítható a korszerű PWM inverterek segítségével. Figyelembe véve a fent említett két vezérlési módszert, lehetségessé válik az úgynevezett „önszabályozó mikrolépéses” vezérlési mód fogalmának bevezetése. Ebben az esetben az állórészben folyó áram vektora a forgórész helyzete után van irányítva nemcsak minden mechanikai lépés, hanem minden mikrolépés után. Figyelembe véve azt, hogy az állandómágneses hibrid léptetőmotor esetében a forgórész helyzete tulajdonképpen az állandó-

mágnes vektorának a helyzete is, ezt a módszert a léptetőmotor egyszerűsített vektoriális vezérlésnek is lehet nevezni [4]. Az új vezérlési módszer elvi rajza a 4-es ábrán látható.



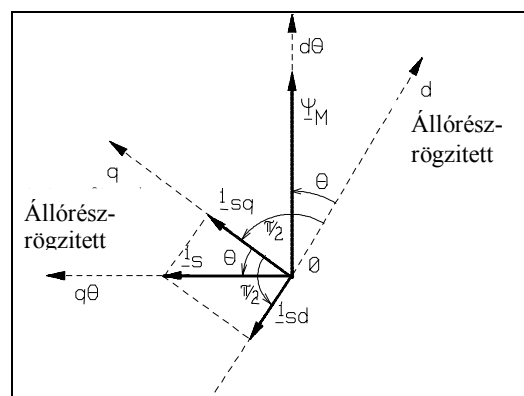
4. ábra

Az állandómágneses hibrid léptetőmotor egyszerűsített vektoriális vezérlése.

Nagyfelbontású inkrementális impulzusadó esetében az állórészben folyó áram vektorának az irányításában előálló hibák elhanyagolhatóak. A kísérletre használt kétfázisú állandómágneses hibrid léptetőmotor esetében csak a forgórész helyzetének a trigonometriai függvényeit, valamint a két fázis-áram értékeit kell valós időben feldolgozni a számítógép segítségével. Ennek megfelelően generálódik a PWM inverter bemenetére a megfelelő két referencia áram értéke:

$$\begin{aligned} i_1^* &= i_{sq}^* = i_s^* \cos \theta \\ i_2^* &= i_{sd}^* = -i_s^* \sin \theta \end{aligned} \quad (3)$$

Az 5-ös ábrán bemutatott fázor-diagram egyszerűen szemlélteti az előbb bemutatott vezérlési stratégiát.

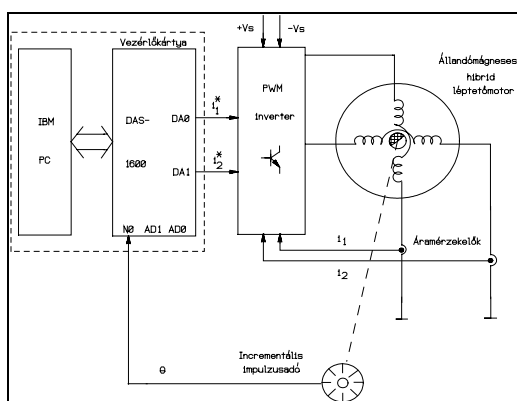


5. ábra, *Az egyszerűsített vektoriális vezérlés fázor-diagramja.*

Az állandómágneses hibrid léptetőmotor egyszerűsített vektoriális vezérlőrendszerének a matematikai modellezése és Matlab környezetben történő szimulálása után kapott eredmények a dolgozat végén, a laboratóriumban mért eredmények mellett vannak bemutatva.

4. A kísérleti vektoriális vezérlőrendszer felépítése

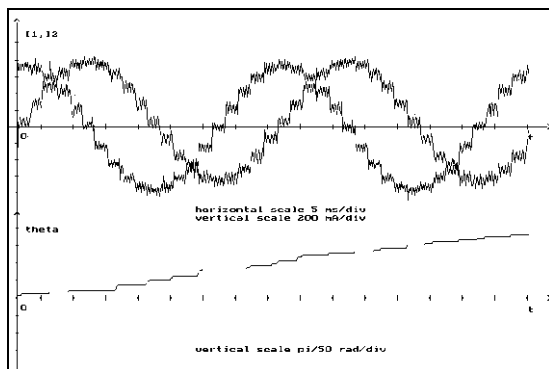
Az állandómágneses hibrid léptetőmotor vektoriális vezérlőrendszere alapján véve az IBM-személyi számítógépbe beillesztett, Keithley MetraByte DAS-1600-as típusú vezérlőkártyára épül (6. ábra). A léptetőmotort egy aszinkron, áramforrás típusú PWM inverter táplálja, mely úgy van megtervezve hogy lehetővé teszi bármely áramforma létrehozását a motor tekercseiben. Az inverter magas PWM frekvencián működik, a tápfeszültségét pedig 30 -120V között lehet változtatni, a követelményeknek megfelelően. A számítógép beolvassa a forgórész helyzetére vonatkozó információt, majd az önszabályozó-mikrolépéses algoritmus alapján, a két referencia áramot (i_1^* , i_2^*) fogja generálni az inverter bemeneteire.



6. ábra, A kísérleti vektoriális vezérlőrendszer

5. Kísérleti eredmények

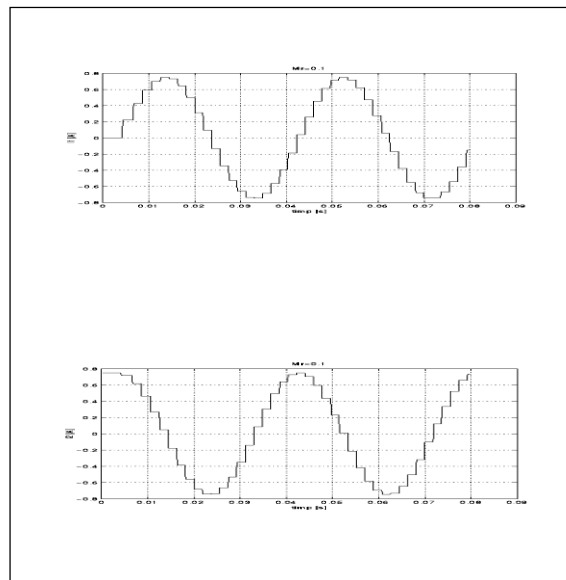
A laboratóriumban elért kísérleti eredmények az új vektoriális vezérlési módszer segítségével szabályozott léptetőmotor működését szemléltetik. A 7-es ábra az i_1^* és i_2^* fázisáramok, valamint a forgórész helyzetének a változását mutatja be. Az ábrán jól észrevehetőek a léptetőmotor mikrolépései (egy lépés megfelel 5 mikrolépésnek), minden mikrolépés után az i_1^* és i_2^* fázisáramok úgy vannak generálva hogy az állórészben levő aktív áram vektora merőleges legyen az állandómágnes fluxusának vektorára.



7. ábra. A fázisáramok és a forgórész helyzetének változása ($I_s^* = 0.75A$)

A diagramról leolvasható az, hogy abban az esetben ha a generált referencia-áram amplitúdója 0.75A (a terhelőnyomaték értéke $M_n=0.1Nm$), akkor a motor sebessége 100 lépés/s, ami pontosan 500 mikrolépés/s-nak felel meg.

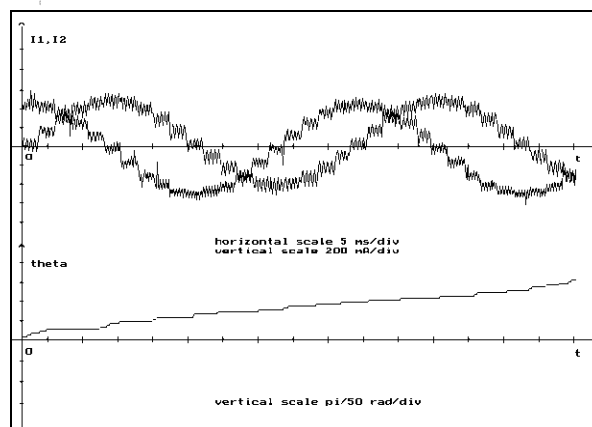
Az előbbi eredményeket össze lehet hasonlítani a 8-as ábrán bemutatott, Matlab szimulációs program segítségével kapott eredményekkel, melyek ugyanazok a körülmények között követik a léptetőmotor fázisáramainak a változását.



8. ábra

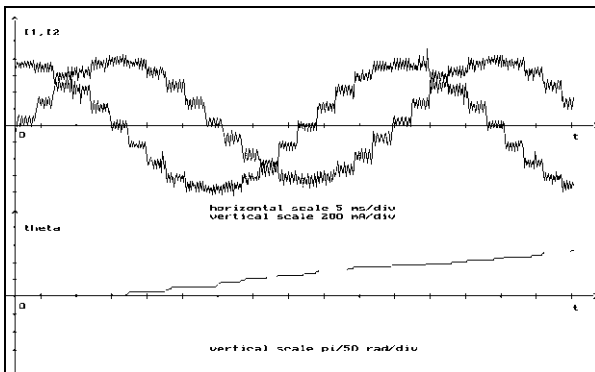
A fázisáramok változása a Matlab szimulációs program esetében ($I_s^* = 0.75A$)

A 9-es ábra ugyanazoknak a mennyiségeknek a változását szemlélteti, abban az esetben ha a terhelőnyomaték értéke nem változik, de a referencia-áram értéke 0.45A-re csökken. Ebben az esetben a léptetőmotor sebessége 80 lépés/s-ra, vagyis 400 mikrolépés/s-ra csökken.

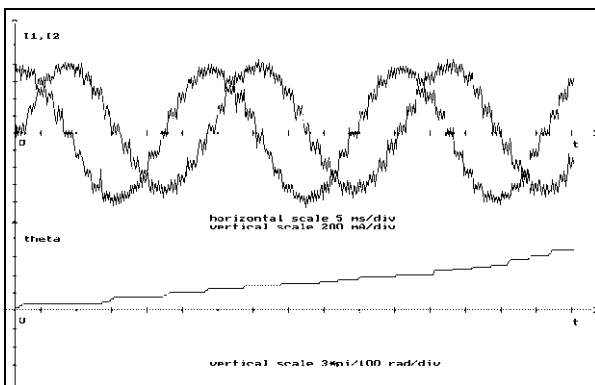


9. ábra. A fázisáramok és a forgórész helyzetének változása ($I_s^* = 0.45A$)

A 10 és 11-es ábrák a terhelőnyomaték változásának a hatását szemléltetik, abban az esetben ha a referenciaáramot 0.75A állandó értéken tartjuk. Észrevehető az, hogy a terhelőnyomaték csökkentésével a léptetőmotor sebessége megnő.



10. ábra. A fázisáramok és a forgórész helyzetének a változása ($M_n = 0.1Nm$)



11. ábra. A fázisáramok és a forgórész helyzetének változása ($M_n = 0.8Nm$)

6. Következtetések

A dolgozat a kétfázisú állandómágneses hibrid léptetőmotor egy hatékony és könnyen kivitelezhető, új vektoriális vezérlési módszerét mutatja be. Röviden ismerteti a mikrolépéses-önszabályozó vezérlési stratégia alapelvét, majd erre alapozva, bevezeti az egyszerűsített vektoriális vezérlés fogalmát. A kísérleti eredmények azt bizonyítják, hogy az új módszer a motor számára hatékony vezérlést biztosít.

Szakirodalom

1. Marschalko R., Szász Cs., Trifa V., Székely A. – Implementing of a vector controlled PM-hybrid stepping motor servodrive. PEMC'98 International Conference, Praga, 1998 (CD-ROM registration).
2. Kelemen Á., Imecs Mária - Vector Control of AC Drives, Volume 2, Ecriture Publisher, Budapest, Hungary, 1993.
3. Szász Cs. – Doktori disszertáció, Kolozsvár, Románia, 1999.
4. A. – Experimenting of a simplified vector control system with PM-hybrid stepping motor. PCIM'99 International Conference, Nürnberg