

DOĞRUSAL HAREKETLİ ASENKRON MOTOR PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ VE MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

Emre ÖZKOP¹

Adem Sefa AKPINAR²

^{1,2} Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi

Karadeniz Teknik Üniversitesi, 61080, Trabzon

¹e-posta: eozkop@ktu.edu.tr

²e-posta: akpinar@ktu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Doğrusal Hareketli Asenkron Motor, LIM, Mathematical Model, Parametre Hesaplama

ABSTRACT

The main goal in this paper is to present a linear induction motor parameter determination method and to obtain a mathematical model of Linear Induction Motor (LIM). In LIM motor parameter determination, this method is developed basically from the equivalence between the LIM and the ordinary asymmetrical induction motor. Experimental procedures with the LIM prototype can support the theoretical and experimental validation for this method.

1. GİRİŞ

Yaklaşık 165 yıllık geçmişi bulunan Doğrusal Hareketli Motorlar (DHM), teknolojinin hızlı gelişmesi ve ihtiyaçların farklı boyutlara kayması ile hayatımızda kapladığı alan gün geç tikçe artmaktadır. Günümüzde DHM'lu sistemlere çokça rastlamaktayız; tren, yürüyen merdiven, spor aleti, asansör, CD-rom, kaldırma, yazıcı, fotokopi makinesi, robot...v.b [1-5].

Bu tür makinelerin dinamik performansını geliştirmek için çok fazla çaba harcanmaya günümüzde devam edilmektedir. Doğrusal Hareketli Asenkron Motor (DHAM)u sürerken yüksek geçiş davranışının korunması, uygulanan kontrolde DHAM parametrelerinin değişiminden kaynaklanan parametrik karışıklığın önlenmesi için kontrol yöntemi seçimine dikkat göstermek gerekir.

Bu yazının amacı, tek yanlı doğrusal hareketli asenkron motor modelinin gerçekleşip, üzerinde yapılacak deneylerle DHAM parametrelerinin belirlenip matematiksel modelini gerçekleştirmektir.

2. DOĞRUSAL HAREKETLİ ASENKRON MOTOR

DHAM'da primer çekirdek oluklarına yerleştirilmiş iletkenlerden meydana gelen üç fazlı sargılar mevcuttur. Oluklar içinde bulunan iletken tel sayısı, diğer bir ifade ile sarım sayıları, eşittir. Her bir fazı oluşturan sargılar, seri olarak bağlanmıştır. Bundan dolayı, bir fazı oluşturan sargılardan aynı akım değeri, faz başından faz sonuna doğru akar.

Alan teorisinde DHAM sargılarından akım, akım levhası ile temsil edilmektedir. Fakat gerçekte, akım iletkeninde yoğunlaşmış ayrı bir değerken akım levhası sürekli ve dağılmış bir değerdir. Her ikisinin Fourier denklemlerinin temel bileşenleri, aynı sinüzoidal manyetomotor gücü üretiyorsa akım tabakası sargı akımına eşit olur.

Prime akımları:

$$\begin{aligned} i_1 &= \sqrt{2}I_1 e^{j\omega t}, \quad i_2 = \sqrt{2}I_2 e^{j(\omega-2\pi/3)t} \\ i_3 &= \sqrt{2}I_3 e^{j(\omega-4\pi/3)t} \end{aligned} \quad (1)$$

Primer sargının üç faz akımlarının birleşimi yürüyen bir manyetomotor güç üretir.

$$A_1 = \frac{3\sqrt{2} w_1 k_{w_1} I_1}{\pi p_1} e^{j(\omega t - kx - \frac{\pi}{2})} \quad (2)$$

$$k = \frac{\pi}{\tau} \quad (k: \text{kutup arası açıklıkla bağıntılıdır.}) \quad (3)$$

Akım levhasındaki akım dağılımı:

$$j_1 = J_1 e^{j(\omega t - kx)} \quad (\text{A/m}) \quad (4)$$

Bu akım dağılımının üreteceği manyetomotor gücü:

$$A_1 = \frac{J_1}{k} e^{j(\omega t - kx - \frac{\pi}{2})} \quad (5)$$

Buradaki A_1 denklem (2)'deki A_1 ile eşit olacağından J_1 değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

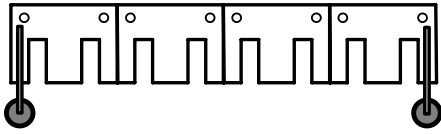
$$J_1 = \frac{3\sqrt{2} k w_1 k_w I_1}{\pi p_1} = \frac{3\sqrt{2} w_1 k_w I_1}{p_1 \tau} \quad (\text{A/m}) \quad (6)$$

(4) ve (6) denklemleriyle belirlenen akım tabakası primer sargılarda aynı sinüzoidal manyetomotor gücü üreten eşdeğer akım tabakasıdır.

DHAM sekonderi genellikle homojen ve iletken metal levhalardan yapılırlar. Sekonderin homojen mıknatıslanmayan iletken levha olduğu varsayılacaktır.

2.1 Stator

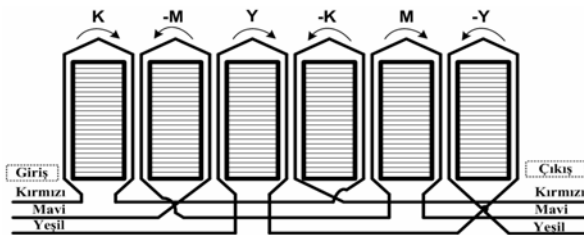
Elde edilebilir trafo saçları, stator uzunluğu ve kutup sayısı stator tasarımını sınırlandırmaktadır. Her birinin kalınlığı 0.5mm olan trafo sacının uzunluğu 66mm dir. Oluşturulan DHAM'un boyu 264mm dir. Toplam 200 adet yukarıdaki boyutlara sahip trafo sacı kullanılmıştır (Şekil 1.).



Şekil 1. Tasarlanmış olan DHAM

2.2 Stator Sargı Düzeni

Tasarlanan Tek Yanlı Doğrusal Asenkron Motor (TYDHAM)un statorunda iki tabakalı sargılar kullanılmıştır. Akım tüketimi azaltmak için sarımlar seridir. Kutup aralığı 99mm dir. Stator sargı düzeni Şekil 2.'de gösterilmiştir. Her bir kangala 60 sarım yapılmıştır.



Şekil 2. Stator sargı düzeni (üst görünüş)

2.3 Tepki Tabaka Tasarımı

Tepkime levhası ya katı yada yaprak levhalardan oluşmaktadır. Başarımı iyileştirmek için tepkime levhası ya alüminyum yada bakır iletken tabaka ile kaplanır. TYDHAM tasarımında, ikincil parça DHAM'un manyetik devresinin önemli bir parçasıdır. Eğer tepkime levhası yaprak tabaka yerine katı tabaka olursa DHAM performansı büyük ölçüde azalır. Yapraklı tepkime levhası ile, girdap akımları yapraklar tarafından taşınır ve dirençsel kayıplar meydana gelir. Meydana gelen dirençsel kayıplar ihmal edilebilir. İtme miktarı DHAM'nin tepkime tabakasının geçirgenliğine bağlıdır. Düşük geçirgenlik sonucu düşük itme ve zayıf güç faktörü oluşur. Farklı malzemeler kullanılarak (tepkime levhasında) itme miktarında değişimler gözlemlenir.

2.4 Doğrusal Hareketli Motor Üzerinde Yapılan Deneyler

2.4.1 DC Primer Direnci

DC gerilim altında primer direncinin gerçek değeri sargı uçları (faz-faz veya tek faz) arasındaki DC gerilimin ve akımın ölçülmesi ile elde edilebilir. Her fazın sargı direnci hassas ölçü aletiyle ölçüldü ve Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. DHAM'da hesaplanan direnç değerleri

$R_{(K-M)}$	$R_{(K-Y)}$	$R_{(Y-M)}$
14,45	14,53	14,52

2.4.2 Açık-Sekonder Devre Testi

AC primer sargı direnci ve kaçak reaktansı, eşdeğer devrenin sekonder kısmının bağlantısını keserek elde edebiliriz [6]. DHAM'un yüksüz kayması, döner kısmının kaymasından çok daha yüksek olmasından dolayı klasik yüksüz test kullanılamaz. İki diğer metot kullanılabilir:

- Test edilen DHAM'un değişken frekans beslemeli ikinci bir motor yardımıyla senkron hızda sürülmesi ($s=0$)
- Sekonder sargılarını, hava aralığı korunarak benzer boyutlara sahip ferromanyetik olan çekirdek levha ile yer değiştirmek.

İkinci metot TYDHAM'larda daha kolay bir şekilde uygulanabilir. Giriş gücü P_{10} (üç faz tarafından tüketilen), faz gerilimi V_1 , faz akımı I_{10} ve giriş frekansı f ölçülebilir. Giriş gerilimi rated gerilim değerine ayarlanmalıdır ($V_1=V_{1r}$). Gerilim ve akımlar, olabilecek dengesizliği algılayabilmek için her fazda ölçülmelidir. Güç, gerilim ve akım ölçü aletiyle ölçüldü ve Tablo 2. ve 3.'de verilmiştir.

Tablo 2. Ölçülen gerilim, akım ve harmonik değerleri

	V _{KM} (V)	V _{YM} (V)	I _K (A)	I _M (A)	I _Y (A)
Temel	60.7	59.7	3.47	3.43	2.85
0th	2.2	2.4	0.0	0.0	0.0
1st	-60.7	-59.8	-3.5	3.5	-2.8
2nd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3rd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4th	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5th	1.7	1.7	0.0	0.0	0.0

Tablo 3. Ölçülen faz-faz gerilim, güç, faz-nötr akım, toplam güç ve güç faktörü değerleri

V _{KM}	60.7 V	V _{YM}	59.7 V	Pt	-277.2 W
I _K	3.47 A	I _Y	2.85 A	Qt	-198.8 VAR
P _{KM}	-206.3 W	P _{YM}	-70.86 W	St	341.1 VA
Q _{KM}	-44.16 VAR	Q _{YM}	-154.6 VAR	Pft	-0.81
S _{KM}	211.0 VA	S _{YM}	170.4 VA	dpft	-0.82

2.4.3 Kilitli Rotor Testi

Kilitli rotor testi ile giriş gücü P_{kisa} (Üç faz tarafından tüketilen), giriş gerilimi V_1 ve giriş akımı I_{kisa} ölçülebilir. Ölçülen değerler Tablo 4. ve 5.'de verilmiştir. 'kisa' simgesi kısa devre anlamında kullanılmış olup yapılan test, transformatör kısa devre testinin benzeridir [7].

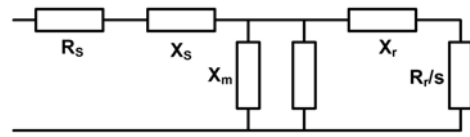
Tablo 4. Ölçülen gerilim, akım ve harmonik değerleri

	V _{KM} (V)	V _{YM} (V)	I _K (A)	I _M (A)	I _Y (A)
Temel	60.9	60.8	3.56	3.51	2.96
0th	1.4	1.5	0.0	0.0	0.0
1st	-60.8	-60.7	-3.6	3.5	-3.0
2nd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3rd	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4th	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5th	1.2	1.2	0.0	0.0	0.0

Tablo 5. Ölçülen faz-faz gerilim, güç, faz-nötr akım, toplam güç ve güç faktörü değerleri

V _{KM}	60.9 V	V _{YM}	60.8 V	Pt	-289.6 W
I _K	3.56 A	I _Y	2.96 A	Qt	-205.0 VAR
P _{KM}	-212.8 W	P _{YM}	-76.74 W	St	354.8 VA
Q _{KM}	-42.72 VAR	Q _{YM}	-162.2 VAR	Pft	-0.82 i
S _{KM}	217.2 VA	S _{YM}	180.0 VA	dpft	-0.82 i

DHAM'a ait eşdeğer devre modeli aşağıda verilmiştir [8,9].



Şekil 3. DHAM devre şeması

Yapılan ölçümlerin kullanılması sonucu elde edilen devre elemanları değerleri aşağıda verilmiştir.

$$R_s = 7.2\Omega, X_s = 9,26\Omega, X_r = 0\Omega, R_r = 2.68\Omega$$

$$X_m = 16.55\Omega, V_{g(faz-faz)} = 60V, m = 8kg, \tau = 0.099m$$

$$f_r = 50Hz$$

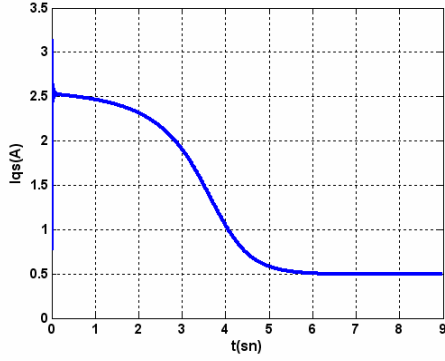
Bir DHAM'un matematiksel modeli bir asenkron makine modeline benzemektedir. Benzer noktalardan hareketle aşağıdaki matematiksel model elde edilir.

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \end{bmatrix} = \frac{1}{L_s L_r - M^2} \begin{bmatrix} -L_r r_s & [M^2(\omega_e - \frac{\pi}{\tau} V_r)] & M r_r & -M L_r \frac{\pi}{\tau} V_r \\ -[M^2(\omega_e - \frac{\pi}{\tau} V_r) - L_r L_s \omega_e] & -L_r r_s & L_r M \frac{\pi}{\tau} V_r & M r_r \\ M r_s & M L_s \frac{\pi}{\tau} V_r & -L_s r_r & [M^2 \omega_e - L_s L_r (\omega_e - \frac{\pi}{\tau} V_r)] \\ -L_s M \frac{\pi}{\tau} V_r & M r_s & -[M^2 \omega_e - L_s L_r (\omega_e - \frac{\pi}{\tau} V_r)] & -L_s r_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \end{bmatrix}$$

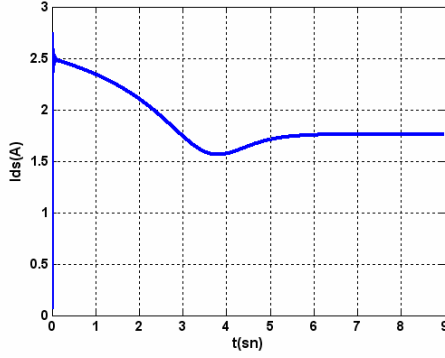
$$+ \frac{1}{L_s L_r - r - M^2} \begin{bmatrix} L_r & 0 & -M & 0 \\ 0 & L_r & 0 & -M \\ -M & 0 & L_s & 0 \\ 0 & -M & 0 & L_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{qs} \\ V_{ds} \\ V_{qr} \\ V_{dr} \end{bmatrix}$$

4. SONUÇLAR

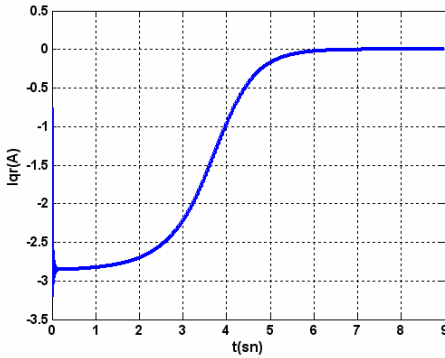
Elde edilen sistem parametre değerleri belirtilen matematiksel model içerisinde kullanılarak elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



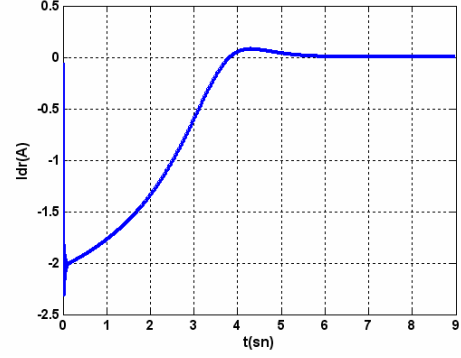
Şekil 4. DHAM'un senkron hızla dönen d-q eksen sisteminde I_{qs} akımının zamanla değişimi



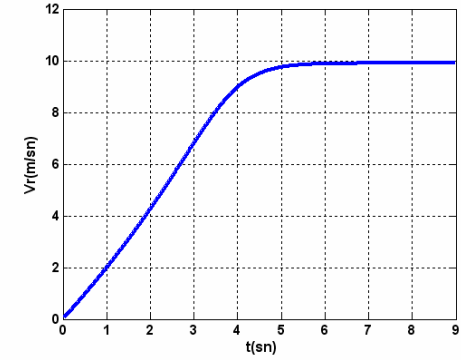
Şekil 5. DHAM'un senkron hızla dönen d-q eksen sisteminde I_{ds} akımının zamanla değişimi



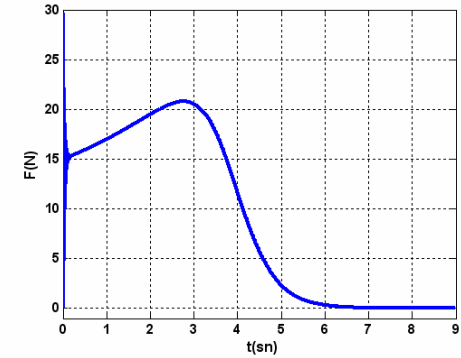
Şekil 6. DHAM'un senkron hızla dönen d-q eksen sisteminde I_{qr} akımının zamanla değişimi



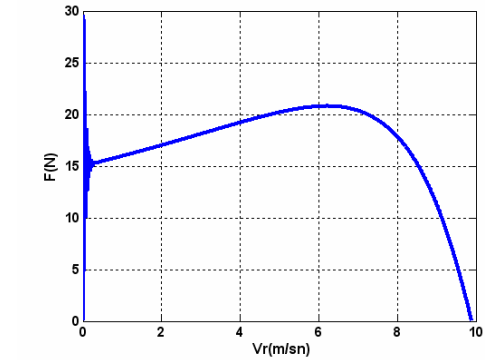
Şekil 7. DHAM'un senkron hızla dönen d-q eksen sisteminde I_{dr} akımının zamanla değişimi



Şekil 8. DHAM'un senkron hızla dönen d-q eksen sisteminde hızın zamanla değişimi



Şekil 9. DHAM'un senkron hızla dönen d-q eksen sisteminde itmenin zamanla değişimi



Şekil 10. DHAM'un senkron hızla dönen d-q eksen sisteminde itmenin hıza bağlı değişimi.

5. DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, bir DHAM modeli oluşturulmuş, bu model üzerinde yapılan deneyler yardımıyla DHAM parametreleri hesaplanmış, hesaplanan bu değerler, öngörülen DHAM denklem takımlarında yerlerin koyulup, benzetimleri yapılmıştır. Harmonikler bu çalışmada hesaba katılmamıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Gieras, J.F., Linear Induction Drives, Clarendon Pres, Oxford, 1994.
- [2] Nasar, S.A. ve Boldea, I., Linear Motors: Theory, Design and Practical Applications, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1987.
- [3] Nasar, S.A. ve Boldea, Linear Motion Electric Machines, John Wiley&Sons, ISBN 0-471-63029-2, 1976.
- [4] Laithwaite, E.R., Linear Electric Motors, Mills&Boon Limited, London, 1971.
- [5] Laithwaite, E.R., Transport Without Wheels, ISBN 0236400665, 1977.
- [6] Dos Santos, E.B., Neto, L.M., Camacho, J.R. ve Pontes, R.S.T, A Linear Induction Motor Parameter Determination Method, Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE, Vol.1, 2000, pp.354-358.
- [7] Neto, L.M., Dos Santos, E.B. ve Camacho, J.R., Linear Induction Motor Parameter Determination On Force Development Applications,0-7803-5936-6/00/\$10.00(c)2000.
- [8] Laithwaite, E.R., Propulsion Without Wheels, The English Universities Pres LTD, 1970.
- [9] Poloujadoff, M., The Theory of Linear Induction Machinery, Oxford Science Publications, 1980.