

Uç Etkili Lineer Asenkron Motorun Matlab/Simulink ile Modellenmesi

Modelling of a Linear Induction Motor with End Effect Using Matlab/Simulink

Berrin Süslüoğlu, Vedat M.Karşlı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Gaziantep Üniversitesi

susluoglu@ganep.edu.tr, vkarsli@gantep.edu.tr

Özet

Lineer asenkron motorun (LAM) yüksek performanslı vektör kontrolünde, LAM'ın uç etkilerini içeren iyi bir matematiksel modelinin kullanımı, doğru akı ve itme kuvveti tahmini için oldukça önemlidir. Bu çalışmada, LAM'ın uç etkileriyle beraber primer eksen takımında modellenmesi Matlab/Simulink kullanılarak sunulmuştur. Benzetim çalışmalarından, uç etkilerinin LAM'ın verimliliğini olumsuz olarak etkilediğini ve vektör kontrollü çalışmalarda göz önüne alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Abstract

In the high performance vector control of Linear Induction Motor (LIM), the usage of a good mathematical model of LIM with end effect is important for correct thrust and flux estimations. In this paper, the modelling of a LIM with end effects in stationary reference frame is presented by using Matlab/Simulink. From the simulation results, it can be seen that end effects affect LIM's efficiency in a bad way and it should taken account during its vector control process.

1. Giriş

Doğrusal hareket elde etmek için dişli gibi dönüştürücülerle kullanılan döner tip elektrik makinelerinin yerine lineer tip makineleri kullanmak güç kaybını azaltmaktadır. Bunun yanı sıra basit, güçlü, güvenilir olmaları, mekanik dönüştürücülere ihtiyaç duymamaları lineer makineleri tercih edilir kılmıştır. Yaklaşık 167 yıllık geçmişi bulunan lineer asenkron motorlar, teknolojinin hızlı gelişmesi ile değişken hızlı kontrol sistemleri olarak çeşitli endüstri alanlarında tren, asansör, yürüyen merdiven, robot, CD-rom, yazıcı, fotokopi makinesi v.b. yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır [1].

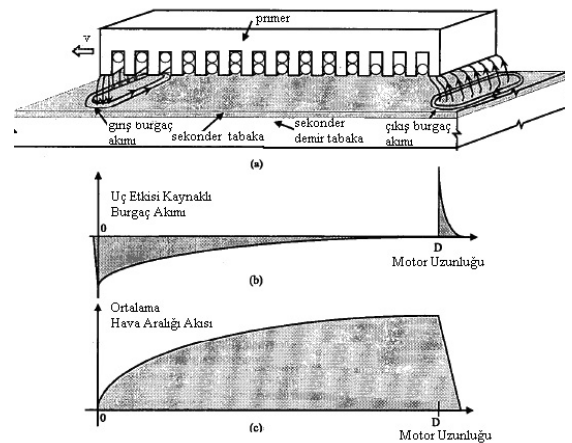
Lineer asenkron motorlu sürücülerin dinamik performansını geliştirmek için günümüzde çalışmalar devam etmektedir. Yüksek performans elde etmek için, lineer asenkron motoru sürerken seçilen kontrol yöntemi önemlidir. Doğrudan alan yönlendirmeli ve doğrudan moment kontrollü, yüksek performans gösteren sürücülerin uygulanabilmesi için kontrol edilen lineer asenkron motorun matematiksel modelinin iyi bilinmesi gerekir.

Uç etkileri nedeniyle, döner asenkron motorun d-q eksenindeki matematiksel modellemesi lineer asenkron motora uygulanamaz. Literatürdeki çalışmalarda ağırlıklı olarak manyetik alan analiz yöntemleri kullanılarak LAM'un eşdeğer parametreleri türetilmiştir [1, 2].

Bu çalışmanın amacı, motor kontrol algoritmasında gömmeye uygun, uç etkili doğrusal hareketli asenkron motorun matematiksel modelinin verilip, benzetim çalışmalarıyla sonuçların doğrulanmasıdır.

2. Primer Eksen Takımında Uç Etkili Lineer Asenkron Motorun Modellenmesi

LAM'ın matematiksel modeli temelde asenkron motor modeline benzemektedir. Doğrusal hareketli motorlarda, döner tip motorlardan farklı olarak, enerjinin verildiği taraf primer, diğer taraf ise sekonder diye adlandırılmıştır. Ancak LAM'ların primer ve sekonderlerinin uzunlukları sınırlıdır. Bu yüzden döner tip makinelerde ortaya çıkmayan, motor boyunca manyetik akı dağılımını bozucu uç etkisi ortaya çıkar. Şekil 1'de görüldüğü üzere bu uç etkisi giriş kısmında yüksek, çıkış kısmında giriş kısmına göre daha düşük seviyededir.

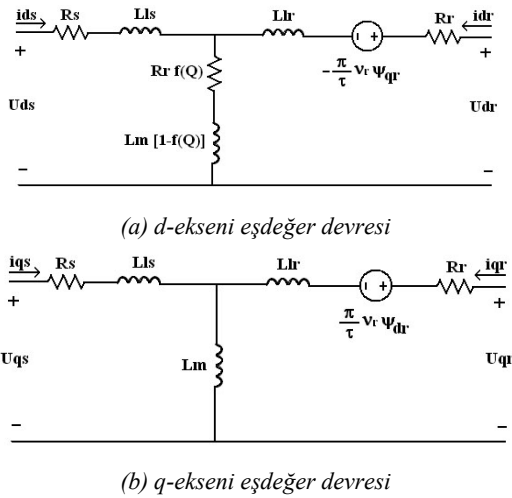


Şekil 1: v hızı ile hareket eden sonlu primerin oluşturduğu uç etkisi: [3]

- (a) Primer boyunca oluşan burgaç akımı
- (b) Ortalama hava aralığı akısı grafiği

Değişen manyetik alan içinde kalan iletkenlerde Faraday Kanunu'na göre indüklenen gerilim etkisiyle sekonderden akım akar. Bu akımın oluşturduğu manyetik alan da primer tarafı etkileyerek oluşan itme kuvvetini azaltıcı etki oluşturur.

Literatürde LAM'ın sekonder eksen takımında uç etkilerini de içeren matematiksel modeli verilmiştir [3,4]. Hız ayarlı asenkron motor sürme sitemlerinin kararsız durumları için, motoru durağan eksen takımında modellemek daha uygun olduğundan [5], Şekil 3'te, primer eksen takımında LAM'ın uç etkilerini de içeren eşdeğer devre şeması oluşturulmuştur. Bu devre şemasının dönen tip motora ait devre şemasından tek farkı, d- eksenini eşdeğer devresindeki paralel koldaki hızla bağlı giriş ve çıkış eddy akımlarından kaynaklı kayıpları temsil eden seri direnç ve yine aynı koldaki uç etkisini yansıtan mıknatıslama bobininin eklenmesidir.



Şekil 2: Primer Eksen Takımında Uç Etkili LAM'ın Eşdeğer Devre Modeli

Uç etkisi faktörü, hızla bağlı ters fonksiyon yardımıyla ifade edilir [3].

$$f(Q) = \frac{1 - e^{-Q}}{Q} \quad (1)$$

burada $Q = \frac{PDR_r}{2v_r L_r}$, D primer tarafın uzunluğudur.

Motorun hareket doğrultusundaki boyunun sonlu oluşundan kaynaklı uç etkisi, yalnızca motorun hareketli kısmının uzunluğu, kutup sayısı, kutuplar arası açıklık gibi motorun dizaynına ait büyüklüklere bağlı olmayıp motorun çalışma hızına da bağlı olduğu (1) numaralı denklemden anlaşılmaktadır.

Kirchoff Gerilim Kanunu kullanılarak, primere bağlı eksen takımına göre primer ve sekonder gerilim denklemleri uzay vektörü fazörleri kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir:

d-q eksenindeki primer gerilim denklemleri:

$$u_{ds} = R_s i_{ds} + R_r f(Q)(i_{ds} + i_{dr}) + \frac{d}{dt} \psi_{ds}$$

$$u_{qs} = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \psi_{qs} \quad (2)$$

d-q eksenindeki sekonder gerilim denklemleri:

$$u_{dr} = R_r i_{dr} + \frac{\pi}{\tau} v_r \psi_{qr} + R_r f(Q)(i_{ds} + i_{dr}) + \frac{d}{dt} \psi_{dr}$$

$$u_{qr} = R_r i_{qr} - \frac{\pi}{\tau} v_r \psi_{dr} + \frac{d}{dt} \psi_{qr} \quad (3)$$

burada R_s , R_r sırasıyla primer ve sekonder dirençleri; ψ_{ds} primer tarafı; ψ_{dr} sekonder tarafı, v_r motorun elektriksel hızını, τ kutup arası açıklığı belirtmektedir.

Primer akısı uzay vektörüne ait denklemler:

$$\psi_{ds} = L_{ls} i_{ds} + L_m (1 - f(Q))(i_{ds} + i_{dr})$$

$$\psi_{qs} = L_{ls} i_{qs} + L_m (i_{qs} + i_{qr}) \quad (4)$$

Sekonder akısı uzay vektörüne ait denklemler:

$$\psi_{dr} = L_{lr} i_{dr} + L_m (1 - f(Q))(i_{ds} + i_{dr})$$

$$\psi_{qr} = L_{lr} i_{qr} + L_m (i_{qs} + i_{qr}) \quad (5)$$

burada L_m mıknatıslama, L_{lr} , L_{ls} sırasıyla sekonder ve primerin self endüktanslarıdır.

İtme kuvveti aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$F_e = \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} \frac{P}{2} (\psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds}) \quad (6)$$

LAM hareket denklemi ;

$$F_e - F_L = J \frac{d}{dt} \frac{2}{P} v_r + B \frac{2}{P} v_r \quad (7)$$

burada P kutup sayısı, F_L engelleyici kuvveti, J atalet momenti, B sürtünme katsayısı olarak gösterilmiştir.

Analizin kolay yapılabilmesi için, motorda hava aralığının düzgün, demir geçirgenliğinin sonsuz olduğu, hava aralığındaki akı yoğunluğunun yüzeye dik geldiği, oluk etkisi ve demir kayıpları olmadığı kabul edilmiştir.

LAM'a ilişkin (1)–(7) arası denklemler ile kurulan matematiksel model ile bilgisayarda benzetim çalışmaları yapılmıştır.

3. Benzetim Çalışmaları ve Sonuçlar

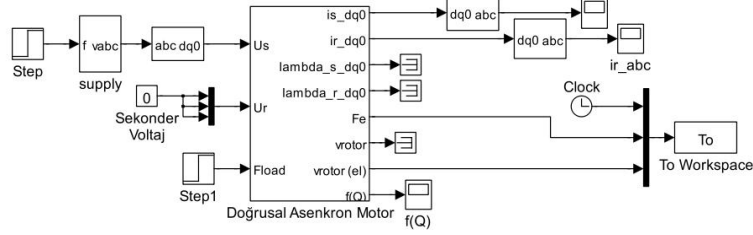
Benzetim çalışmaları MATLAB/SIMULINK programının SimPowerSystem kütüphanesi ile model dosyası hazırlanarak yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında kullanılan LAM'a ait parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. LAM Parametreleri

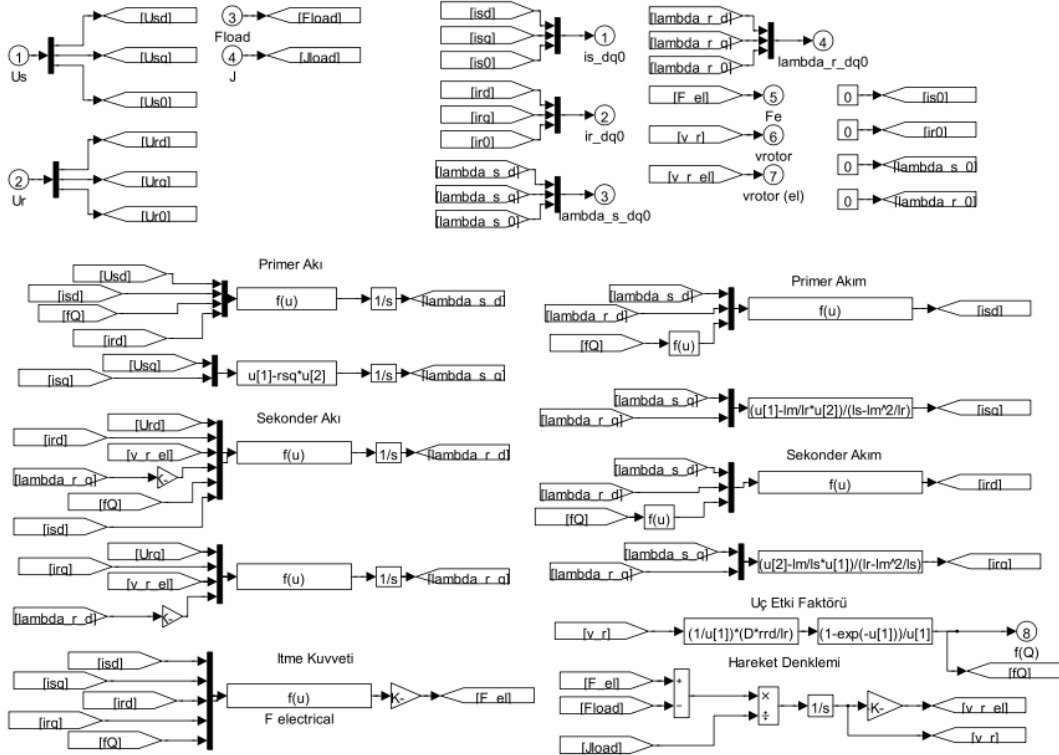
Şebeke voltajı ve frekansı	380 V, 50 Hz
Pole sayısı	2
Primer direnci- R_s	2.82 Ω
Sekonder direnci- R_r	48.84 Ω
Primer endüktansı- L_s	0.0714 H
Sekonder endüktansı- L_r	0.0563 H
Mıknatıslama endüktansı- L_m	0.0262 H
Kutup arası açıklık- τ	0.06 m
Hareketli kütle	1 kg
Primer uzunluğu-D	0.21 m

Denklemleri modellerken bazı sinyallerin süreksizlik gösterebileceği göz önüne alınarak türev bloğu yerine integral bloğu kullanılmıştır. Elde edilen dördüncü dereceden

elektirsel ve birinci dereceden mekanik diferansiyel denkleme dayalı doğrusal hareketli asenkron motor modeli Şekil 3'te gösterilmiştir.



(a) kapalı model



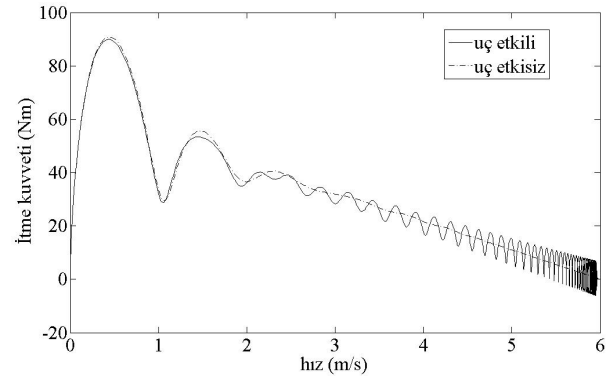
(b) açık model

Şekil 3: Lineer asenkron motorun Matlab/Simulink modeli

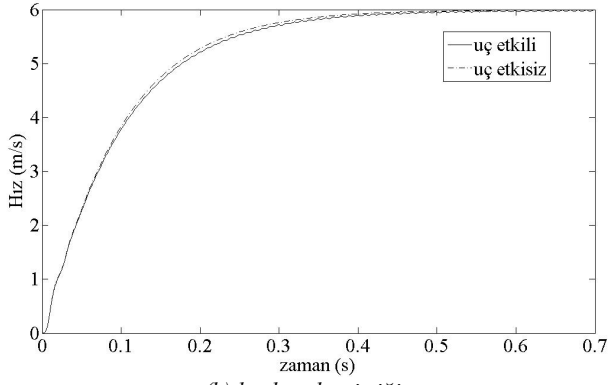
Dinamik uç etkili modelin lineer asenkron motora uygulamasını göstermek için, yüksüz ve yük durumlarında motora direkt yol verilerek benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Hareketsiz ve yüksüz durumdaki uç etkili ve uç etkisiz doğrusal hareketli asenkron motorun 380V luk 50 Hz lik şebekeye bağlanarak serbest hızlanma karakteristikleri Şekil 4' te gösterilmiştir.

Şekil 5'te ise yine uç etkili ve etkisiz doğrusal hareketli asenkron motora 0,6'ncı saniyede 40Nm lik yük uygulayarak, motor itme kuvvetinin bu yük değerini izleme başarımı ve hız değişimi gözlenmiştir.

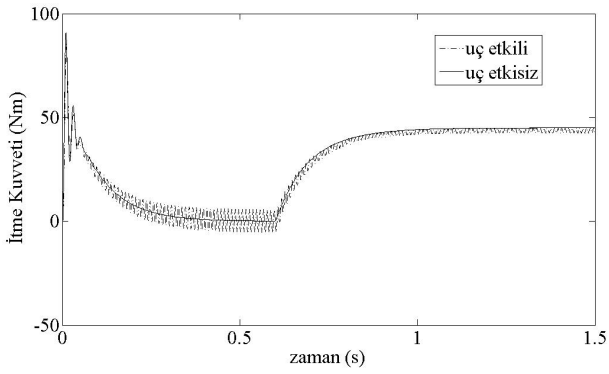


(a) itme kuvveti-hız karakteristiği

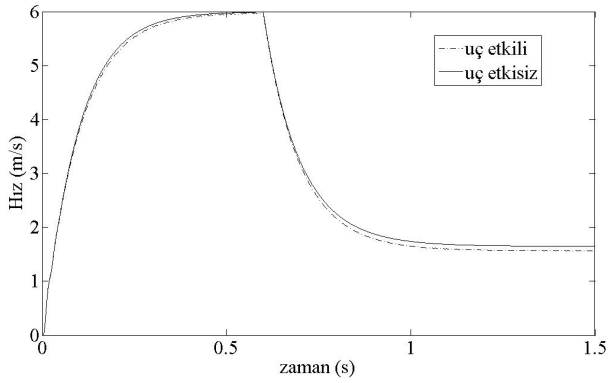


(b) hız karakteristiği

Şekil 4: Lineer asenkron motorun hareketsiz ve yüksüz durumdaki serbest hızlanma karakteristikleri



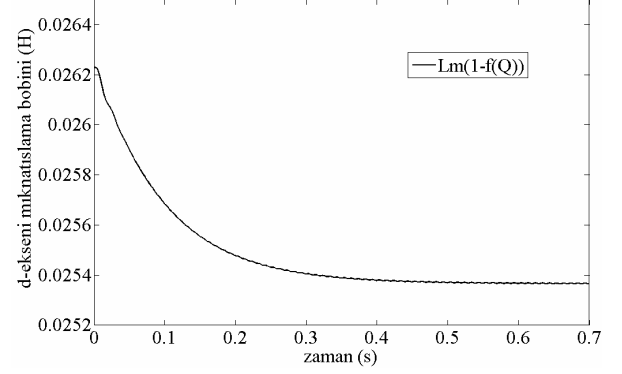
(a) itme kuvveti-hız karakteristiği



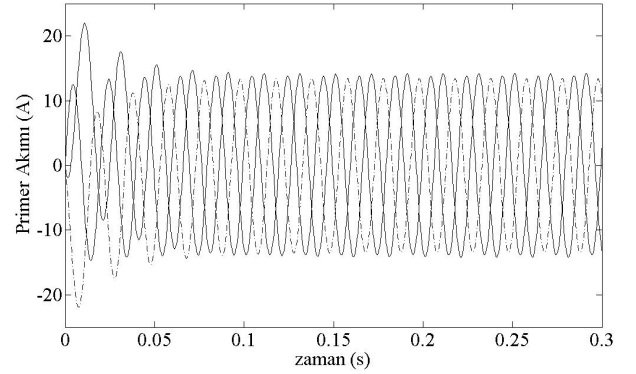
(b) hız değişimi

Şekil 5: Lineer asenkron motorun yük altındaki karakteristikleri

Şekil 6'da d-ekseni mıknatıslama bobininin döner motorlardaki gibi sabit kabul edilmediği, hıza bağlı fonksiyona bağlı olarak değiştiği gösterilmektedir.



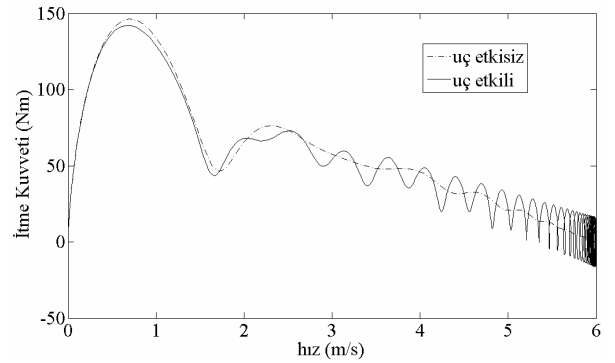
Şekil 6: Lineer asenkron motorun d-ekseni mıknatıslama bobin karakteristiği



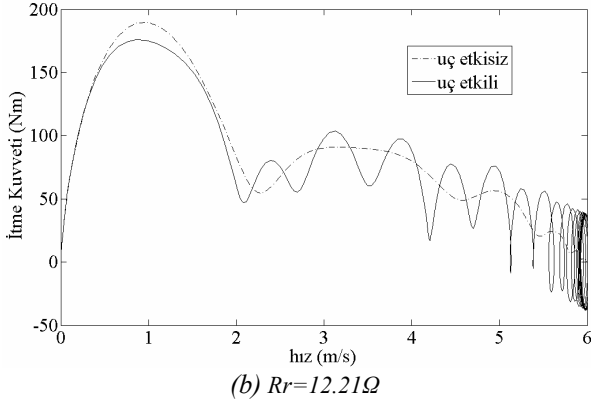
Şekil 7: Lineer asenkron motorun primer akım karakteristiği

Şekil 7'de, hıza bağlı uç etkisi sonucu oluşan dengesiz faz empadans dağılımının, motor besleme voltajı dengeli bile olsa dengesiz primer akımlarına yol açtığı gözlenmektedir.

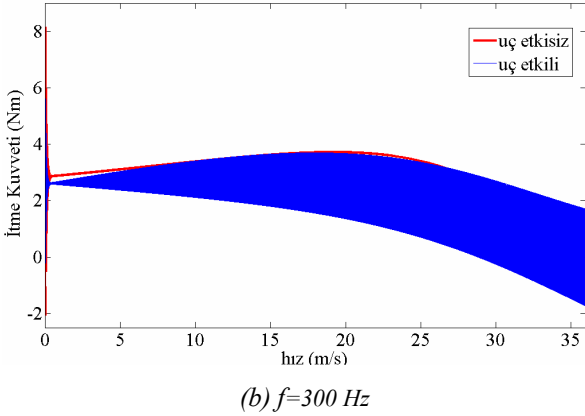
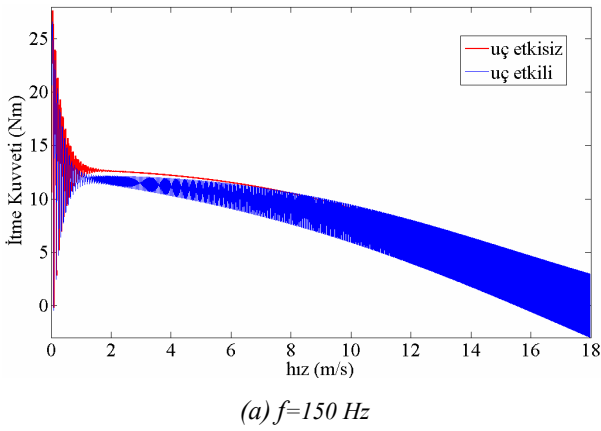
Benzetim çalışmalarında, sekonder direncin ve frekansın uç etkisine tesiri, Şekil 8'de; direnç değeri önce yarıya sonra ¼ değerine düşürülerek, Şekil 9'da; frekans önce 150 Hz ve ardından 300 Hz değerlerine yükseltilerek gösterilmiştir.



(a) $R_r=24.42\Omega$



Şekil 8: Lineer asenkron motorun farklı sekonder dirençleri için itme kuvveti-hız karakteristiği ($f=50$ Hz)



Şekil 9: Lineer asenkron motorun farklı frekans değerleri için itme kuvveti-hız karakteristiği ($R_r=48.84\Omega$)

Yüksek sekonder direncinin uç etkisini zayıflatığı benzetim çalışmalarında gözlenmiştir. Yüksek sekonder direnci ince sekonder iletken levha ile sağlanabilir. Ancak bu durum motorun mekanik olarak zayıflamasına ve performansında azalmaya sebep olur. Ayrıca frekans arttıkça motorun uç etkilerinden olumsuz etkilendiği ve motor performansında yine azalma olduğu gözlenmektedir.

Uç etkili doğrusal hareketli asenkron motorun itme kuvvetine ait benzetim sonuçlarında salınımlar görülmektedir. Bu noktada elde edilen sonuçlar [6] numaralı referans ile tutarlılık göstermektedir. Buna ek olarak, itme kuvveti, uç etkili modelde uç etkisiz modele göre hızla bağlı olarak daha küçüktür.

Bu çalışmada, lineer asenkron motorun uç etkisini içeren primer eksen takımındaki eşdeğer devre modeli verilmiştir. Motor modelinin kararsız rejimdeki performansı doğrudan şebeke voltajı ile beslenir durumdaki kalkış performansı benzetim çalışmaları ile gösterilmiştir.

LAM eşdeğer devresindeki uç etkisinden kaynaklanan, d-ekseni miknatıslama kolundaki parametrelerin hızla bağlı değişimleri göz önünde bulundurulduğu takdirde döner tip asenkron motorlar için kullanılan vektör kontrollü sürücüler LAM'a uygulanabilir.

4. Kaynaklar

- [1] Gieras, J. F., "Linear Induction Drives", *Oxford Science Publications*, 1994.
- [2] Pai R.M., Boldea I., Nasar S.A., "A Complete Equivalent Circuit of a Linear Induction Motor with Sheet Secondary", *IEEE Trans. On Magnetics*, vol. 24, pp: 639- 654, 1988.
- [3] Sung J. and Nam K., "A new approach to vector control for a linear induction motor considering end effect", *IEEE IAS Annual Meeting*, vol. 4, pp. 2284-2289, 1999.
- [4] Duncan, J., "Linear induction motor- Equivalent-circuit model", *IEE Proc., Part B - Electric Power Applications*, vol. 130, pp. 51-57, 1983.
- [5] Bose, Bimal K., "Power Electronics and AC Drives", *Prentice Hall*, 2001.
- [6] da Silva, E.F.; dos Santos, E.B.; Machado, P.C.M.; de Oliveira, M.A.A., "Dynamic model for linear induction motors", *IEEE International Conference on Industrial Technology*, vol. 1, pp: 478 – 482, 2003.