

Doğrusal Hareketli Asenkron Motor Sürücülü Mekanik Osilatör ve Evirici ile Kontrolü

Mechanical Oscillator Driven by Linear Induction Motor and It's Control with Inverter

Murat KÜÇÜKALİ¹, Ömür AKYAZI², Adem Sefa AKPINAR³

^{1,2,3}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

¹m.kucukali@gmail.com, ²oakyazi@gmail.com

Özet

Günümüzde birçok sistemde doğrusal hareket, döner hareketli elektrik motoru, kayış veya dişli sistemlerinin bileşimi ile gerçekleştirilmektedir. Döner hareketi doğrusal harekete dönüştürmek için bütün bu ek sistemler gereklidir. Bu ek sistemlerden dolayı sürtünme kayıplarında, eylemsizlik momentinde ve sistemin toplam kütleinde artış olur. Fakat kayıpların mümkün olduğunca azaltılması, sistemin daha az hareketli parçaya sahip olması ve daha az bakıma gerek duyulması bu tür sistemlerden beklenen özelliklerdir.

Bu çalışmada, pompa düzeneklerinde olduğu gibi ileri-geri periyodik hareketlerde, belirtilen sakıncaları ortadan kaldırmak için Tüpsel Yapılı Doğrusal Hareketli Asenkron Motor tasarımı yapılmış ve mekanik bir osilatör olarak kontrolü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deneysel sonuçlar dikkate alınarak motor ve kontrol sisteminin daha verimli hale getirilebilmesi için önerilerde bulunulmuştur.

Abstract

Today, the linear motion in numerous system is realized by combination of conventional (rotary) electric motor, belt or gear systems. All these systems are necessary to convert the rotary motion to the linear motion. Because of these additions, some problems occur such as frictions losses, increment in moment of inertia and mass of total system. But reducing losses, fewer moving parts and longer system life with less maintenance are the features expected in such systems.

In this study, periodic forward-rearward motions as in pump mechanism, to eliminate these kind of drawbacks, The Tubular Structured Linear Asynchronous Motor is designed and it's control as a mechanic oscillator is realized. In addition to this, some experimental results are obtained to make suggestions to increase efficiency of the motor and control system.

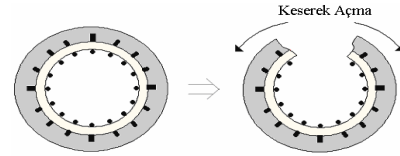
1. Giriş

Teknolojideki gelişmelere bağlı olarak doğrusal hareketin elde edilmesinde farklı sistemler geliştirilmektedir. Gelenekselleşmiş doğrusal hareket sistemleri olan hidrolik, pnömatik, vidalı mil ve diğer elektromekanik çözümlere alternatif olarak doğrusal motorların kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır[1].

Tipik doğrusal hareket elemanları, Doğrusal Hareketli Motor (DHM)'ler, hidrolik silindirlere ve kontrol valflarıdır. Elektriksel, hidrolik ve pnömatik üç değişik doğrusal hareket sistemi içinde en az donanım ve bakım gerektiren kısım elektriksel olanlardır[1]. DHM'ler cazip fiyat avantajları ile diğer sistemlere karşı ciddi bir alternatif konumuna gelmektedir.

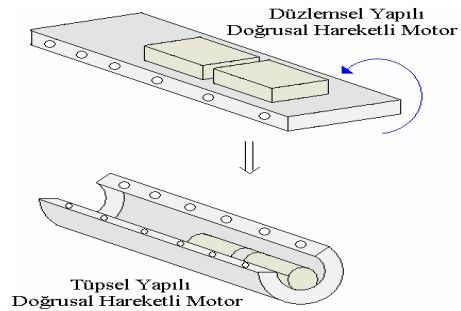
1.1. Doğrusal Hareketli Asenkron Motor

Doğrusal Hareketli Asenkron Motor (DHAM), Şekil 1'de görüldüğü gibi döner hareketli bir sincap kafes asenkron motorun kesilip açılmasıyla oluşan durum dikkate alınarak düşünülebilir. Bu motor, ikincil kısmı sincap kafesli bir motorun doğrusal gösterimidir[2].



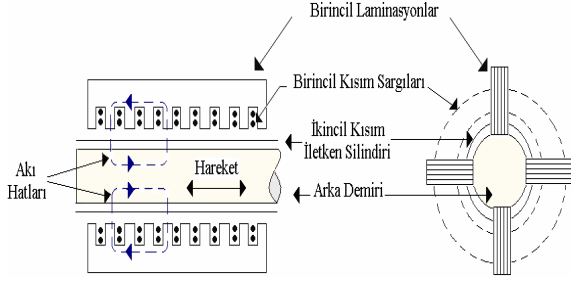
Şekil 1: Döner hareketli motorun kesilerek açılması [2].

Genişlik, Şekil 2'de görüldüğü gibi çember şeklini alacak şekilde yuvarlanırsa TYDHAM elde edilir.



Şekil 2: TYDHAM'nin elde edilmesi [2].

Bu şekilde elde edilen TYDHAM'nin enine ve boyuna kesitleri Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3: TYDHAM'nin enine ve boyuna kesiti [2].

1.2. Doğrusal Hareketli Motorların Üstünlükleri

Doğrusal hareketli motorlar klasik döner hareketli motorlara göre birçok üstünlüklere sahiptirler. Bunlar [3]:

- Yüksek hız: Doğrusal Hareketli Motorlarda hız besleme gerilimine ve kontrol devresine bağlıdır. Tipik olarak DHM'ler, saniyede 3 mt (1 mikron hassasiyet), daha düşük hassasiyetlerde 5 mt/sn'ye ulaşmaktadır.
- Yüksek hassasiyet: DHM sürücülü sistemlerde doğruluk, kararlılık ve tekrarlanabilirlik gibi değişkenler geri besleme devresinin limitleri dahilinde değiştirilebilir.
- Yüksek Tepki Hızı: DHM sürücülü sistemlerde tepki hızı mekanik iletimli sistemlerdeki tepki hızından yaklaşık 100 kat daha fazladır.

Bu temel üstünlüklerin yanı sıra;

- Mekanik bağlantılar (aktarma, kavrama, redüktör gibi) olmadığı için verim daha yüksektir.
- Yine mekanik iletim (aktarma) olmadığı için makinede boşluk (salgı) oluşmaz.
- Günümüz DHM'lerinde temas parçaları olmadığı için aşınma çok azdır.
- Uzun ömürlü ve daha az bakım gerektiren bir çalışma sergiler

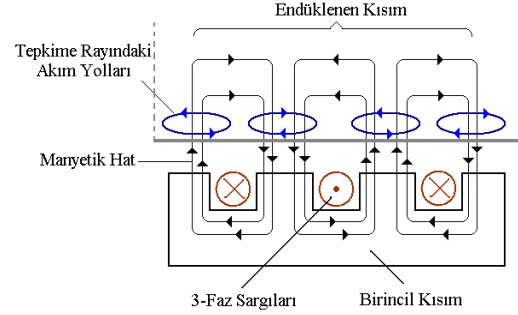
Bununla birlikte DHM'ler bazı olumsuzluklara da sahiptir:

- Motor sıcaklığı performansını direkt etkiler.
- Motorun, stator ve rotor arasındaki çekim kuvvetinin büyüklüğü yatay da elde edilen kuvvetin 2 ila 5 katı kadardır. Motor seçimi yapılırken göze alınacak en önemli faktördür.

1.3. Tüpsel Yapılı Doğrusal Hareketli Asenkron Motorların Çalışma İlkesi

Şekil 4'de TYDHAM'nin çalışma ilkesi gösterilmektedir. Birincil kısım(stator)daki 3-fazlı sargılar, endüklenmiş manyetik alan üretir ve bu manyetik alan motorun hareketli ikincil kısmında (reaksiyon yüzeyi veya silindiri üzerinde) endüklenme ile akım yolları oluşmasına neden olur. TYDHAM'nin hareketli kısmındaki itme kuvveti, bu değişken manyetik alan ile ikincil kısım üzerindeki endüklenmiş akımların etkileşimi sonucu ortaya çıkar [4,5].

Çevresi üzerinden birleştirildiği takdirde, halka sargılar ile indüklenme olan tüp yapı arasındaki simetrik dağılıma sahip çekim kuvveti yok edilebilir.



Şekil 4: TYDHAM'nin çalışma ilkesi [4].

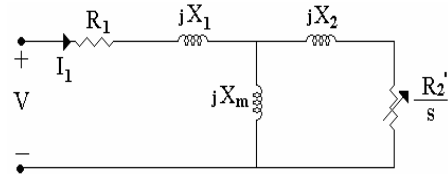
Doğrusal hareketli motor ve aktüatörlerin kullanım alanlarına ait bilgi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: DHM'lerin kullanım alanları [4].

Kayan Kapılar	Asansörlerde	Kalıpcılıkta
Krenlerde Sürücü Sistem Olarak	Sahne, perde Hareketleri	Karıştırma Sürücüsü Olarak
Doğrusal Hızlandırıcılarda	Parça kesme işlemlerinde	Yolcu Taşımacılığı
Test Düzeneklerinde	Vagonların Alt Düzeneklerinde	Depo Otomasyonu
Çelik Tüp Hareketlerinde	Sarım İşlemlerinde	Metal Levha Hareketleri
Robot Sistemlerinde	Konveyör Sistemlerinde	Hassas Vana Kontrolünde
Pnömatik Silindir Yerine	Hidrolik Silindir Yerine	Havalandırma Sistemlerinde
Medikal Ekipmanlarda	Parça Kesme İşlemlerinde	Paketleme Makinelerinde

1.4. Tüpsel Yapılı Doğrusal Hareketli Asenkron Motorların Eşdeğer Devresi

TYDHAM'lerin silindirik yapısından dolayı uç etkileri göz ardı edilebilecek kadar etkisizdir. Bu nedenle elektriksel eşdeğer devre oluşturulurken uç etkileri hesaba katılmayacaktır. TYDHAM 1-faz eşdeğer devresi Şekil 5'de gösterilmiştir. Tasarım yöntemleri ve eşdeğer devre Tek Yanlı Düzlemsel Yapılı Doğrusal Hareketli Asenkron Motor (TYDYDHAM)'lar ile yaklaşık olarak aynıdır. Fakat silindirik yapısı, birincil kısım bobin uç bağlantıları ve enine uç etkilerinin olmamasından dolayı TYDYDHAM için elde edilen ifade ve açıklamaların bazıları değişmektedir [6].



Şekil 5: TYDHAM eşdeğer devresi

Manyetik reaktans X_m , denklem 1, birincil kısım faz direnci R_f , denklem 2 ve birincil kısım kaçak reaktansı X_f , denklem 3 ile verilmiştir.

$$X_m = \frac{6\mu_0\omega_l D_0 k_w^2 W_1^2 \tau}{\pi p g_e} \quad (1)$$

$$R_f = \rho_{co} J_{co} \frac{\pi D_{avp} W_1^2}{W_1 I_{lr}} \quad (2)$$

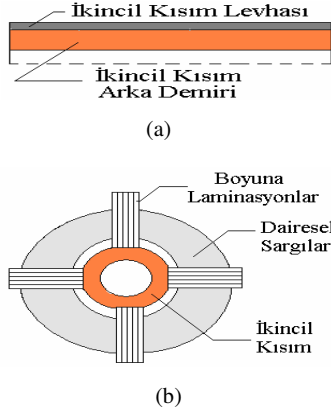
$$X_f = 2\mu_0 \omega_l \frac{\pi D_{orb}}{\rho q} (\lambda_s + \lambda_d) W_1^2 \quad (3)$$

Burada,

$$\lambda_s \sim \frac{1}{12} \frac{h_s}{w_s} (1 + 3\beta) \quad ; \quad \lambda_d = \frac{5(g_{ei}/w_s)}{5 + 4(g_a/w_s)} \quad (4)$$

İkincil kısım faz direnci R_2 ,

$$R_2' = \frac{6\pi D_{orti}}{p\tau d_a \sigma} k_w^2 W_1^2 \quad (5)$$



Şekil 6: (a) Arka demirli ikincil kısım, (b) Boyuna sac tabakalı TYDHAM [6].

1, 2, 3 ve 5' nolu denklemler, ikincil kısmı demir üzerine monte edilmiş (Şekil 6 (a)) ve birincil kısmı boyuna sac tabakalı TYDHAM'ler için geçerlidir (Şekil 6 (b)).

TYDHAM'ler düşük hız uygulamaları için tasarlandığında itme ve normal kuvvetler daha basit hale getirilebilir. Dolayısıyla itme kuvveti F_x denklem 6'daki gibi bulunur.

$$F_x = \frac{3I_2'^2 R_2'}{s2\tau f_1} = \frac{3I_1^2 R_2'}{s2\tau f_1 \left[\left(\frac{1}{sG_{ei}} \right)^2 + 1 \right]} \quad (6)$$

Demir kayıpları ihmal edilirse verim denklem 7 ile ifade edilebilir.

$$\eta = \frac{F_x 2\tau f_1 (1-s)}{F_x 2\tau f_1 + 3R_1 I_1^2} \quad (7)$$

Düşük frekanslı uygulamalarda daha yüksek itme kuvveti için Şekil 7'deki yapı tercih edilebilir.



Şekil 7: Dairesel, enine laminasyonlu TYDHAM [6].

Bu durumda ikincil kısım direnci ve kaçak reaktansı denklem 8 ve denklem 9 ile verilmiştir.

$$R_2' = 12\rho_{co} \frac{\pi D_{orti}}{A_{ring} N_{s2}} k_w^2 W_1^2 \quad (8)$$

$$X_2' = 24\mu_0 \omega_l (\pi D_{orti}) \frac{(\lambda_{s2} + \lambda_{d2})}{N_{s2}} k_w^2 W_1^2 \quad (9)$$

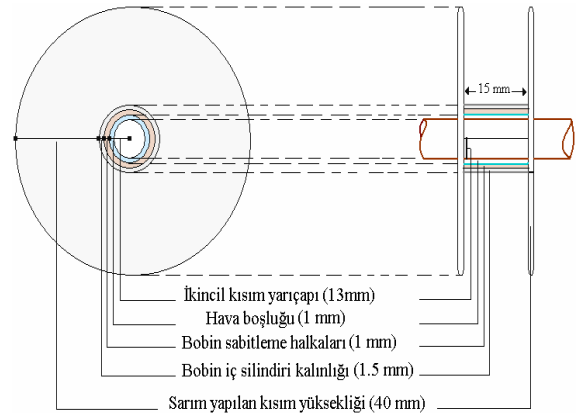
Bu bağımlılarda;

- D_{orb} : Birincil kısım sargıların ortalama çapı, m
- D_{orti} : İkincil kısım ortalama çapı, m
- D_o : Birincil kısım delik çapı, m
- g : Hava aralığı, m
- k_w : Sargı faktörü
- k_c : Carter katsayısı
- W : Sarım sayısı
- β : Dalga sayısı, m^{-1}
- λ : Dalga uzunluğu, m
- σ : İletkenlik, S/m
- τ : Kutup adım aralığı, m
- μ_0 : Manyetik geçirgenlik (hava)
- σ : İletkenlik
- τ : Birincil kısım kutup adım aralığını ifade eder.

2. Yapılan Çalışmalar

2.1. Birincil Kısım

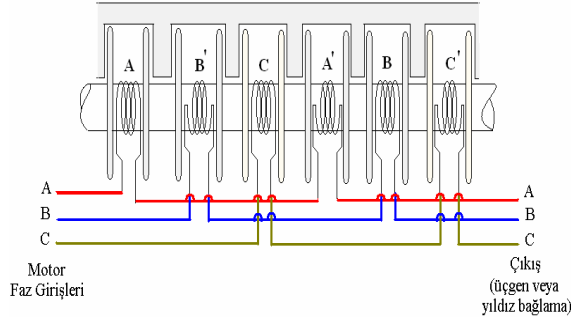
Makinenin durağan haldeki birincil kısmında kullanılan temel elemanlar; her faz için iki adet olmak üzere toplam altı adet bobin ve akı yolu relüktansını düşürmek için kullanılacak sac paketlerdir. Şekil 8'de, kullanılan bobinlerden birine ait ölçüler verilmiştir.



Şekil 8: Birincil kısım sargılarından birine ait ölçüler

Sargı genişlikleri 15 mm ve sargı yükseklikleri 40 mm'dir. Fakat sarımların zarar görmemesi için bazı koruma tedbirleri alındığından yükseklik 36 mm'ye ve genişlik 15 mm'ye düşürülmüştür. Buradan sargı alanı 5,4 cm² ve sarım sayısı 675 sarım olarak hesaplanmıştır. Sargı direnci ise 2.5Ω'dur.

Klasik döner hareketli asenkron motorlardaki sargı bağlantıları, TYDHAM için kullanılmıştır. Üç fazlı döner bir alan oluşturmak için en az altı sargı gereklidir. Bu sargıların uygun bir düzende yerleştirilmesi gerekir. Şekil 10'daki düzende yerleştirilen sargılardan A-A' arası mesafe kutup adım aralığıdır ve TYDHAM kutup adım aralığı $\tau=11$ cm'dir. A-C' sargıları arası toplam mesafe 20 cm'dir.



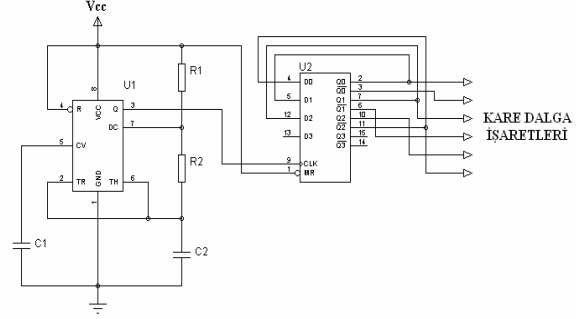
Şekil 10: Birincil kısım faz sargılarının bağlantıları

2.2. İkincil Kısım

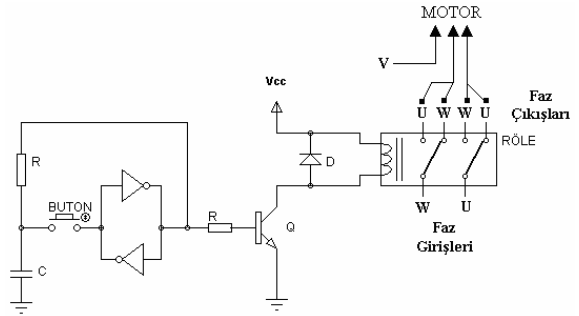
TYDHAM ikincil kısmı, manyetik alandan etkilenmeyen bakır silindir ve bakır silindirin içine yerleştirilen, manyetik alanın nüfuz ettiği çelik silindirden oluşmaktadır. Bakır silindirin çapı 12 mm'dir. Silindirin uzunluğu 60 cm olup her ikisi de yekpare yapıdadır. Burada bakır silindir, başarıyı artırmak için kullanılır [7]. Motorun periyodik bir hareket yapabilmesi için birincil kısma sabitlenmiş iki adet anahtar bulunmaktadır. İkincil kısmın hareketli silindir bloğuna monte edilmiş iki çıkıntı bu anahtarlardan herhangi birine temas ettiğinde sinyal üretilmektedir. Bu sinyal ile motora uygulanan 3 fazdan 2'si kontaktörler ile yer değiştirilir. Böylece motora uygulanan hareketli manyetik alanın yönü her anahtar sinyali ile yön değiştirmektedir. Bu sayede periyodik olarak motor ileri-geri hareket yapmaktadır.

2.3. Kontrol Kısımının Tasarımı

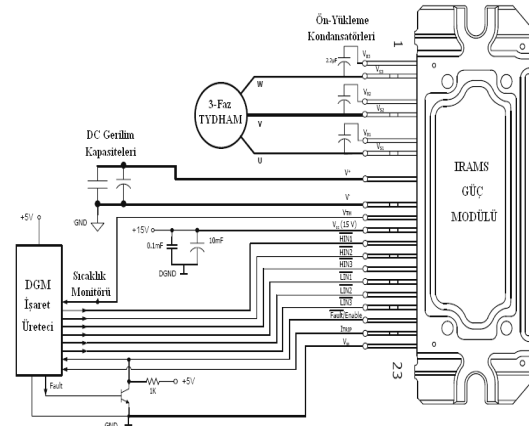
TYDHAM'nin kontrolü için farklı amaca yönelik üç devre kullanılmıştır. İlk devre kare dalga evirici işaret üretici devresidir (Şekil 11). Bu devre ile, aralarında 120°'şer derecelik açı bulunan 3 işaret çifti elde edilmektedir. İkinci devre, motora ileri-geri hareketini yaptıran yön değiştirme devresidir (Şekil 12). 3-fazlı gerilimlerden ikisinin motora giriş uçları yer değiştirilerek motor hareket yönü değiştirilir. Üçüncü devre ise kare dalga işaretlere göre yüksek d.a gerilimi anahtarlayarak motora uygulanacak gerilimleri üreten ve temel elemanı IRAMS10UP60B entegresi olan güç devresidir. (Şekil 13). Bu entegrenin önemli bir yararı, 'yumuşak başlatma devresi'ne sahip olmasıdır. Bu devre sayesinde motorun ilk kalkınması esnasında yüksek akımlar çekmesi önlenmektedir.



Şekil 11: Evirici işaret üretici devresi



Şekil 12: Yön değiştirme devresi

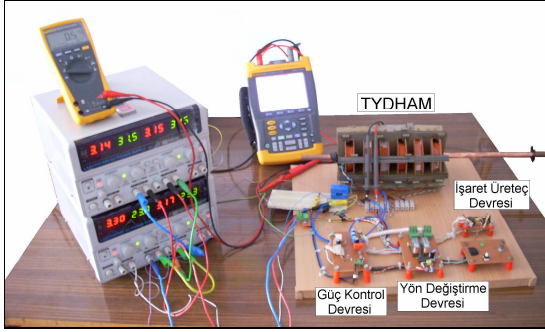


Şekil 13: IRAMS10UP60B entegresi içeren güç katı devresi

Çalışma frekansı $f=50$ Hz iken ikincil kısım hızı $U_r=0,6$ m/s olarak ölçülmüştür. Birincil kısımda oluşan doğrusal hareketli alanın hızı U_s ve ikincil kısım hızı U_r tespit edildiği takdirde, kayma oranı s denklem 10 ile hesaplanabilir.

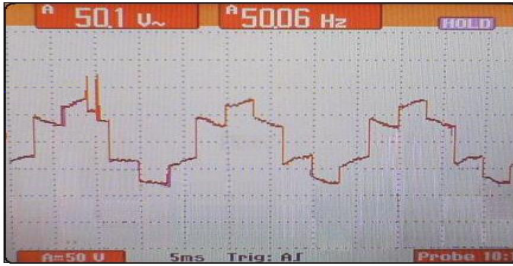
$$U_r = U_s (1 - s) \quad (10)$$

TYDHAM'nin mekanik bir osilatör olarak kullanıldığı ve frekans ile hız kontrolünün gerçekleştirildiği sistem Şekil 14 de gösterilmiştir.

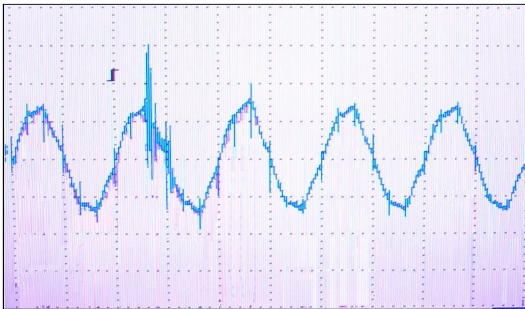


Şekil 14: TYDHAM'nin kontrol düzeneği

TYDHAM bir mekanik bir osilatör olarak çalışması için yön değiştirme devresinde kontaktörler kullanılmaktadır. Motora uygulanan faz-nötr gerilimlerinin dalga şekli ve yön değiştirme esnasında kontaktörlerde oluşan arkların neden olduğu bozulma Şekil 15'de gösterilmiştir. Yön değiştirme esnasında motorun faz akımlarının dalga şeklindeki bozulma ve harmoniklerin etkisi ise Şekil 16'da gösterilmiştir.



Şekil 15: İkincil kısmın yön değiştirmesi esnasında motorun faz-nötr gerilimlerinde oluşan bozulma ($f=50.06$ Hz, $v=50.1$ volt, $i = 1,76$ A)



Şekil 16: İkincil kısmın yön değiştirmesi esnasında motorun faz-nötr akımlarında oluşan bozulma ($f=25$ Hz, $v=50.1$ volt, $i = 1,6$ A)

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, TYDHAM tasarımı, altı adımlı evirici ile denetimi gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan deney düzeneği yardımıyla farklı anahtarlar frekansları için akım, gerilim ve güç değerleri gözlemlenmiştir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda yol gösterici olacağı düşünülen tespitler aşağıdaki gibidir:

- TYDHAM'lerin mekanik bir osilatör olarak düşük hızlarda kullanılabileceği ve hız ayarının kolaylıkla yapılabileceği tespit edilmiştir.
- Verime etki eden birincil ve ikincil kısımlar arasındaki hava boşluğu olabildiğince azaltılmalıdır.
- İkincil kısım et kalınlığı mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Böylece ikincil kısımda oluşan eddy akımlarının neden olduğu kayıplar da azaltılabilir.
- TYDHAM mekanik osilatör olarak kullanıldığında ileride hareket esnasında oluşacak akım dalgalanmaları da göz önüne alınarak bir tasarım yapılmalıdır.
- İkincil kısmın hareket mesafesi düşük olduğundan, ivmelenme de hız da düşük olmaktadır. Hız veya ivmenin, kaynaktan çekilen akımı etkileyeceği uygulamalarda ilave fren ve söndürme devreleri kullanılması gerekebilir.
- Makine, hızın bir fonksiyonu olarak periyodik hareket yapmaktadır. Hareket yönü, faz gerilimlerinin değiştirilmesiyle elde edildiğinden motor ve kontrol devresi tasarlanırken motor akım ve gerilimlerdeki ani değişimler göz önüne alınmalıdır.
- TYDHAM'ler genellikle düşük hızlarda kullanılmaktadır. Bu durumda çalışma frekansı da düşük olacaktır. Düşük frekanslarda motor gerilimindeki harmonikler artacağından aşırı ısınmalar meydana gelebilir. Makine tasarlanırken ve kontrol yöntemi seçilirken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

4. Kaynaklar

- [1] Karaçar, E., "Hidrolik ve Pnömatikçe Alternatif Çözüm; Doğrusal Motorlar", *II.Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi*, 2001, 487-493.
- [2] Gürdal, O., *Elektrik Makinalarının Tasarımı*, Atlas Yayınları, İstanbul, 2001.
- [3] 19 Nisan 2008 tarihinde aktif adres: <http://www.compumotor.com/whitepages/linearmotorarticle.pdf>
- [4] Hoang, V. N., "Design Of A Single-Sided Linear Induction Motor", *Lisans Tezi*, School Of Information Technology And Electrical Engineering, University Of Queensland, Brisbane, 2003.
- [5] Gürleyük, S. S., "Doğrusal Hareketli Sürekli Miknatıslı Tüpsel Yapılı Adım Motorun Dinamik Davranışının İncelenmesi ve Bulanık Mantık Temelli Denetimi", *Doktora Tezi*, KTÜ, Fen Bilimleri Enst., Trabzon, 1997.
- [6] Nasar, S. A., Boldea, I., *Linear Electric Motors: Theory, Design and Practical Applications*, Prentice-Hall Inc., Englewood, New Jersey, 1987.
- [7] Özkop, E., "Doğrusal Hareketli Asenkron Motorun Bulanık Mantıkla Kontrolü", *Yüksek Lisans Tezi*, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2006.