

KARŞIT KUPLAJLI ANAHTARLI RELÜKTANS MAKİNASI İÇİN ASİMETRİK H TİPİ YARIM KÖPRÜ DÖNÜŞTÜRÜCÜNÜN ANAHTARLAMA KAYIPLARININ İNCELENMESİ

Cihan ŞAHİN¹

Ayşe ERGÜN AMAÇ²

Mevlüt KARAÇOR³

^{2,3}Elektrik Eğitimi Bölümü
Teknik Eğitim Fakültesi
Kocaeli Üniversitesi Umuttepe Yerleşkesi, 41380 İzmit.

¹Elektrik ve Enerji Programı
Tosya Meslek Yüksekokulu, Tosya, Kastamonu

¹e-posta: cihansahin1980@yahoo.com ayseergun@kocaeli.edu.tr mevlutkaracor@gmail.com

Anahtar sözcükler: ARM, KKARM

ÖZET

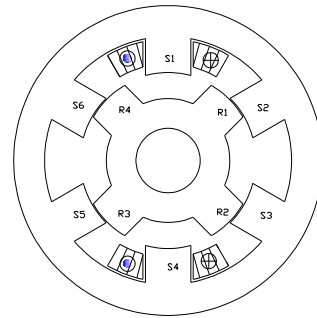
İlk Anahtarlı Relüktans Motoru (ARM) 1838 yılında üretilmesine rağmen, kontrolünün zor olması nedeniyle 1970'li yılların sonlarına kadar yaygınlaşmamıştır. 1960'lı yıllardan itibaren güç elektroniği ve yarıiletken anahtarların gelişmesi, ARM'nin kontrolünü kolaylaştırmış ve ARM sürücülerine olan ilginin artmasına neden olmuştur [1]. ARM stator dişleri etrafına sarılan kısa kutup adimli sargılardan oluşur. Bu sargı yapısı, 1993 yılında Mecrow'un ARM performansını arttırmak amacıyla yaptığı çalışmalarla farklı bir boyut kazanmıştır. Mecrow çalışmasında ilave sargı kullanmaksızın makine sargılarında basit değişiklikler yapmıştır. Bu değişikliklerle makinanın pozitif moment üretimi arttırılmıştır. Burada moment, fazlar arasında oluşan karsıt kuplajın rotor konumuna göre değişimiyle elde edilmiştir. Mecrow'un önerdiği sargı yapısıyla makinanın performansı artmış; moment dalgalılığı, kontrol zorluğu gibi bazı dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmada 3 fazlı, 6/4 kutuplu 100 W Karşit Kuplajlı Anahtarlı Relüktans Motoru için asimetrik H tipi köprü doğrultucunun spice tabanlı modeli çıkartılmış, anahtarlama kayıpları analiz edilmiştir.

1. GİRİŞ

ARM'ler oldukça basit bir yapıya sahiptir. Sadece statorunda sargı bulunan ARM'lerin, rotorunda sargı ya da mıknatıs yoktur. ARM'ler üzerine son yıllarda çok fazla çalışma yapılmasının en önemli nedeni, yapısının basit ve maliyetinin düşük olmasıdır [2]. ARM'nin en büyük dezavantajı; AA ve DA kaynaklardan doğrudan beslenememesi ve elektronik olarak anahtarlansadır [2]. ARM'ler, otomotiv endüstrisi, havacılık endüstrisi, demiryolu ve hafif raylı sistem araçlarının tahriği, ev aletleri (süpürgeler, beyaz eşyalar...vb), genel amaçlı endüstriyel sürücüler, servo sistemler, robot uygulamaları, özellikle dış rotorlu yapısıyla kompresör, fan, pompa, santrifüj tahriği gibi geniş bir kullanım alanına sahiptirler [3]. Ayrıca ARM'nin alternatif enerji

kaynakları ile çalışan taşıtlarda da kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

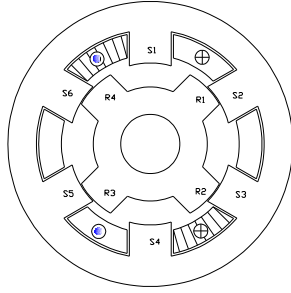
ARM'lerde moment, rotor ve stator arasındaki hava aralığına bağlı olarak değişen Relüktansa göre üretilmektedir. ARM'de uygun durumda olan faz; doğru gerilimle uyarıldığı anda, hareketli olan rotor, devrenin relüktansını azaltacak yönde hareket eder. Sargıların sırayla uyarılmasıyla rotorun dönüşünde süreklilik sağlanır. Şekil 1'de 6/4 ARM'nin stator-rotor yapısı gösterilmiştir. ARM stator dişleri etrafına sarılan kısa kutup adimli sargılardan oluşur [4]. Bu sargı yapısı, 1993 yılında Mecrow'un ARM performansını arttırmak amacıyla yaptığı çalışmalarla farklı bir boyut kazanmıştır. Mecrow çalışmasında ilave sargı kullanmaksızın makine sargılarında basit değişiklikler yapmıştır. Bu değişikliklerle makinanın pozitif moment üretimi arttırılmıştır. Burada moment, fazlar arasında oluşan karsıt kuplajın rotor konumuna göre değişimiyle elde edilmiştir. Şekil 1'de ARM genel sargı yapısı görülmektedir.



(a) (b)
Şekil 1: Klasik Anahtarlı Relüktans Makinası

Mecrow tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada ortalama çıkış momenti klasik ARM lere göre %20-30 daha fazladır. Mecrow'un gerçekleştirdiği bu ARM modeli Tam Kutup Adimli ARM (Fully Pitched SRM) veya Karşit Kuplajlı ARM (Mutually Coupled SRM)

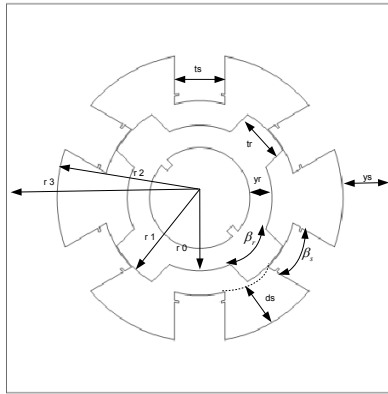
olarak adlandırılmıştır [4]. Şekil 2’de KKARM genel sargı yapısı görülmektedir.



Şekil 2: Karşıt Kuplajlı Anahtarlı Relüktans Makinası

2. MAKİNA TASARIMI VE MAXWELL 2D ORTAMINDA STATİK ANALİZİ

Analizi gerçekleştirilen makine, 3 faz 6/4 kutuplu ortalama 100 W gücünde kare stator yapısına sahip küçük güçlü olarak tasarlanmıştır. Makinanın genel ölçüleri ‘‘Matlab GUI Based SRM Design Program’’ ile elde edilmiştir [5]. Şekil 3’de önerilen makinanın geometrik yapısı verilmektedir. 100 W 6/4 KKARM nin ölçüleri ise Tablo 1’de sunulmuştur.



Şekil 3: 100 W KKARM

Sembolü	Değeri	Sembolü	Değeri
r_0	18.75 mm	y_s	13 mm
r_1	24.5 mm	y_r	5.75 mm
r_2	37 mm	d_s	12.00 mm
r_3	50 mm	d_r	5.75 mm
t_s	13.05 mm	β_r	30°
t_r	13.05 mm	β_s	30°
g	0.5 mm		

Tablo 1: KKARM geometrik değerleri

Çalışmada, klasik ARM ve KKARM, Maxwell 2D paket programında ‘‘Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)’’ analiz edilmiştir. Klasik ARM ve KKARM’nin farklı akımlarda, moment, akı ve endüktans değişimleri incelenmiştir.

KKARM ‘da her zaman en az iki faz iletimde olduğundan, kayıplar klasik ARM’ye göre daha fazladır. Bu kayıplar hem sargılarda, hem de gerekli önlemler alınmazsa dönüştürücüde artar. Klasik ARM ile KKARM’yi etkin bir şekilde karşılaştırma yapabilmek için kayıpların eşitlenmesi gerekir [4]. Klasik ARM ve KKARM için bakır kayıpları sırasıyla eşitlik 1 ve eşitlik 2 de gösterilmiştir. Klasik ARM ‘k’ KKARM ise ‘tk’ (tam kalıp) olarak sembolize edilmiştir[6].

$$P_k = \frac{1}{3} * i_k^2 * R_k \dots \dots \dots [1]$$

$$P_{tk} = \frac{2}{3} * i_{tk}^2 * R_{tk} \dots \dots \dots [2]$$

KKARM nin faz direncinin, klasik ARM’nin faz direncinden %60 oranında daha yüksektir [6].

$$R_{tk} = 1,62 * R_k \dots \dots \dots [3]$$

Eşitlik [1] ve [3] de yerine yazılmasıyla, KKARM ve klasik ARM’nin akımları arasındaki ilişki

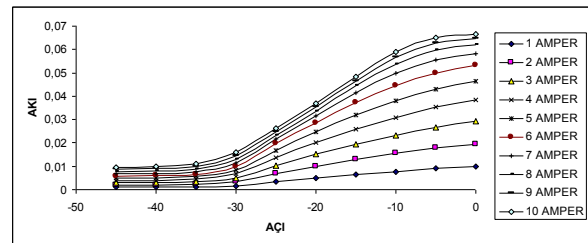
$$i_t = 0,559 * i_s \dots \dots \dots [4]$$

Şeklinde bulunur. Böylece klasik ARM ve KKARM’nin eşit bakır kayıplarında karşılaştırılabilmesi için gerekli eşitlikler elde edilmiştir.

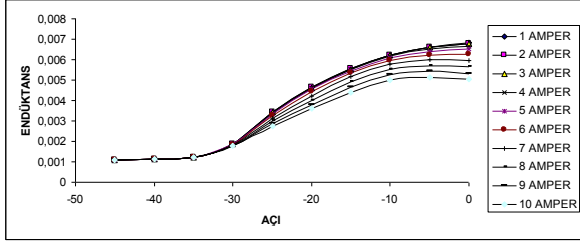
2.1. Analiz Sonuçları

2.1.1 Klasik ARM’ye ait analiz sonuçları

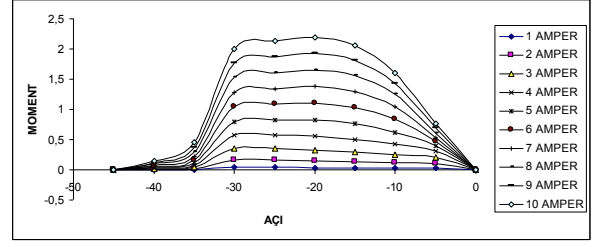
Maxwell 2D ile gerçekleştirilen analiz sonucunda Şekil 4’de sırasıyla klasik ARM’ye ait akı, endüktans ve moment eğrileri ,Şekil 5’de akı dağılımı görülmektedir.



Şekil 4-a

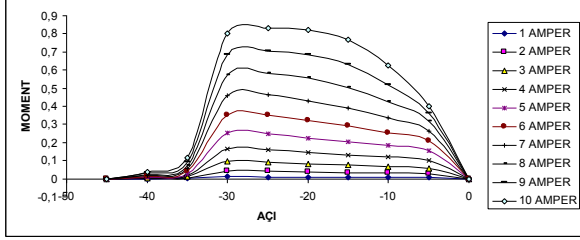


Şekil 4-b



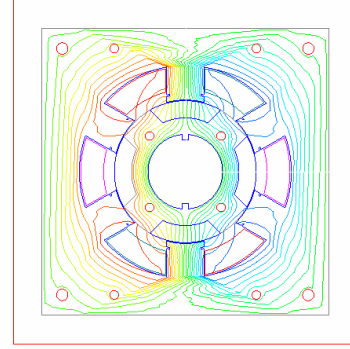
Şekil 6-c

Şekil 6. KKARM a) Akı b) Karşıt Endüktans c) Moment eğrileri

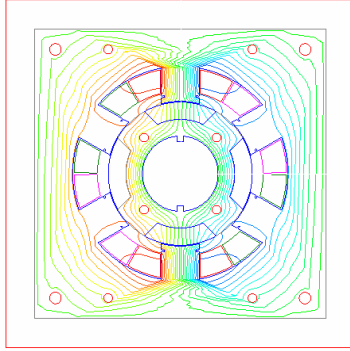


Şekil 4-c

Şekil 4. ARM a) Akı b) Endüktans c) Moment eğrileri



Şekil 7. KKARM 45° -10 Amperdeki akı dağılımı



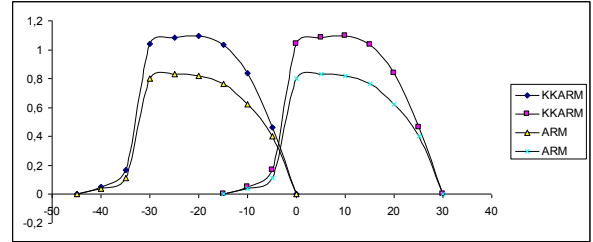
Şekil 5. ARM 45° -10 Amperdeki akı dağılımı

2.1.3 Analiz sonuçlarının karşılaştırılması

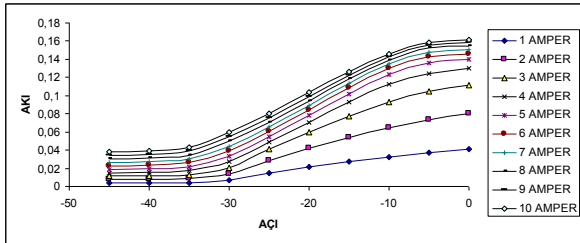
Analiz sonucunda elde edilen eğrilerin karşılaştırılması için eşitlik 4 den yararlanılmıştır. Burada KKARM'ye ait 6 Amperdeki moment ile, Klasik ARM'nin 10 Amperdeki momentini karşılaştırılmış, KKARM'nin momentini Klasik ARM'nin momentine değerine %30 daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8'de moment eğrilerinin karşılaştırılması görülmektedir.

2.1.2 Karşıt Kuplajlı ARM'ye ait analiz sonuçları

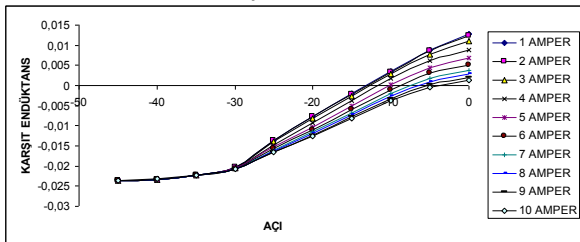
Maxwell 2D ile gerçekleştirilen analiz sonucunda Şekil 6'da sırasıyla KKARM'ye ait akı, karşıt endüktans ve moment eğrileri, Şekil 7'de akı dağılımı görülmektedir.



Şekil 8. ARM- KKARM moment eğrilerinin karşılaştırılması



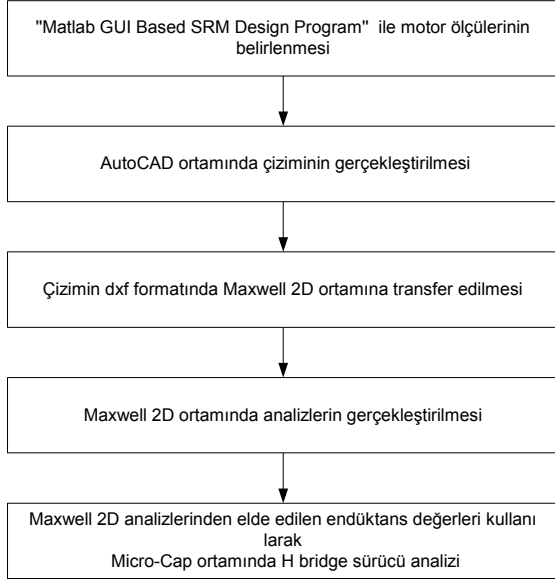
Şekil 6-a



Şekil 6-b

3. GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMA

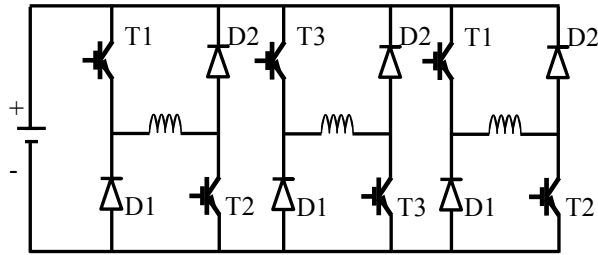
KKARM denetimi için kullanılacak H tipi yarım köprü dönüştürücü modellemesi spice tabanlı Micro-Cap ortamında gerçekleştirilmiştir. Micro-Cap programının tercih edilmesinin en önemli nedeni, geniş ve gerçekte kullanılan devre elemanlarının spice tabanlı modellerini içermesidir. Yapılan çalışmada sargı endüktans değerleri Maxwell 2D analizi sonuçlarından alınmıştır. Yapılan çalışmanın akış şeması Şekil 9 da gösterilmiştir.



Şekil 9. Gerçekleştirilen çalışmanın akış diyagramı

3.1 Asimetrik H tipi yarım köprü dönüştürücü

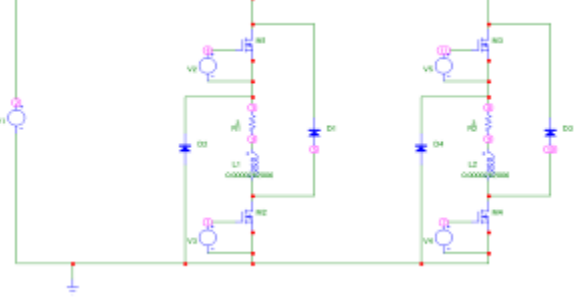
Şekil 10'da görülmekte olan asimetrik yarım köprü dönüştürücüde pozitif gerilim döngüsünde, faz sargısı anahtarlarının her ikisi de iletimdedir. Örneğin Faz A için T1 ve T2 aynı anda iletimdedir ve sargıdaki akım hızlı bir şekilde artar. Sıfır gerilim döngüsünde ise sadece bir anahtar iletimdedir (T1 kesimde), Faz sargısındaki akım T2 ve D2 üzerinden akmaya devam eder. Negatif gerilim döngüsünde ise, her iki anahtar da kapalıdır ve sargı üzerinde birikmiş enerji diyotlar üzerinden kaynağa geri yollar (D1, D2).



Şekil 10. Üç fazlı asimetrik H tipi yarım köprü dönüştürücü

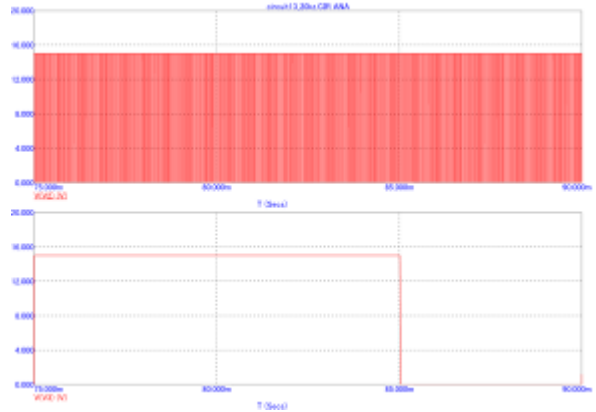
3.2. Devrenin Micro-Cap ortamında analizinin gerçekleştirilmesi.

Devrede Anahtar olarak Mosfet IRFP460 kullanılmıştır. Şekil 11 de Micro-Cap programında tasarlanan devre benzetimi görülmektedir. KKARM denetimi için devrede aynı anda iki faz etkin olacağından A ve B fazları incelenmiştir.



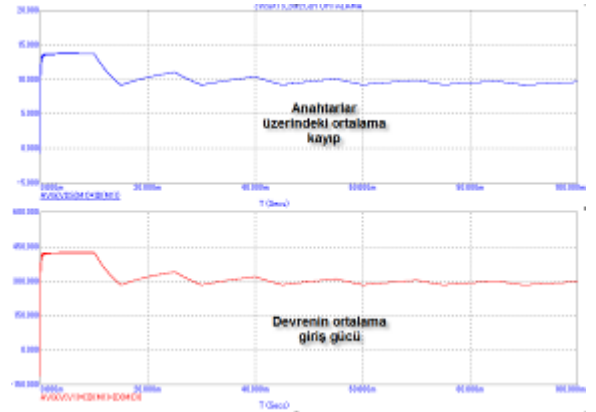
Şekil 11. Sürücü devresinin Micro-Cap ortamında benzetimi.

Benzetimi gerçekleştirilen devrede anahtarlar 20 KHz frekans altında kontrol edilmiştir. Aynı fazı kontrol eden iki anahtardan biri kıyıcı modda çalışırken diğer anahtar histerisiz denetimini sağlamıştır. Denetlenecek motorun ortalama gücü 100 Watt olacağından ve düşük gerilim altında çalışıldığından Mosfet tercih edilmiştir. Şekil 12'de kıyıcı modda çalışan M1 ve histerisiz denetimi gerçekleştiren M2 anahtarına ait tetikleme sinyalleri görülmektedir.



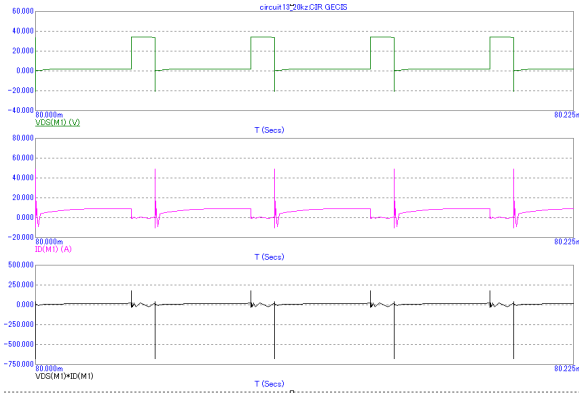
Şekil 12. M1 (V(V2)) ve M2 (V(V3)) anahtarları tetikleme sinyalleri.

Şekil 13'de devrenin ortalama giriş gücü ve anahtarlar üzerinde kaybolan ortalama güç eğrileri verilmektedir.



Şekil 13. Anahtarlar üzerindeki ortalama güç kaybı ve devrenin ortalama giriş gücü

Şekil 14’de anahtar üzerindeki akım-gerilim ve güç değişimleri görülmektedir.



Şekil 14. M1 anahtarına ait Akım-Gerilim ve Güç değişimleri

Benzetişimden alınan eğriler incelendiğinde anahtarlama kayıpları devrenin giriş gücünün %7 sine denk gelmektedir. Meydana gelen bu kayıpların yanında, anahtarların iletim ve kesim geçişlerinde ani güç kaybının yüksek değerlerde olması anahtar ömürlerini kısaltmaktadır. Bu dezavantajlar göz önüne alındığında devreye eklenecek bastırma hücrelerinin kayıpların giderilmesinin büyük etken olacağı düşünülmektedir. Ayrıca eklenen hücreler sayesinde geçişler esnasında engellenen yüksek ani güç kaybı sayesinde anahtar ömürlerinde de artış sağlayacağı düşünülmektedir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken önemli nokta bastırma devresinin getireceği ek külfettir. Bu külfetin en düşük seviyede tutulması gerekmektedir. Böylece düşük maliyetle kayıpların giderilmesi sağlanacaktır.

4. SONUÇ

Anahtarlama relüktans makinasının sargı yapısı değiştirilerek elde edilen KKARM veya diğer adıyla Tam adım sargılı Relüktans makinası klasik relüktans makinalarına göre % 20-30 daha yüksek moment sağlamaktadır. Daha yüksek moment sağlamanın en büyük etkeni aynı anda iki fazın devrede olmasıdır. Aynı anda iki fazın devrede olması anahtarlama

kayıplarını klasik ARM sürücüsüne göre iki katın a çıkarmaktadır. Bu durum güç elektroniğinde istenmeyen bir durum olmaktadır. Bu kayıpların giderilmesi için değişik yumuşak anahtarlama kayıpları uygulanabilir. Böylece yüksek moment elde edilen KKARM motorlarının sürücü noktasındaki kayıplarının da giderilmesiyle bu motorlara olan ilginin artacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Yadlapalli, N., “Implementation of a novel soft switching inverter for switched reluctance motor drivers”, Yüksek lisans tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University, Electrical Engineering, Blacksburg Virginia (1999).
- [2] Ünlü, M., “Anahtarlı Relüktans Makinasının Simülasyonu ve Dinamik Davranışı”, Yüksek lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2006.
- [3] Çoruh, N., “Küçük Güçlü Bir Anahtarlı Relüktans Motorunun Sürücü Devresi Tasarımı”, Yüksek lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2005.
- [4] Garip, S., “Kutup Başları Şekillendirilmiş Anahtarlama Relüktans Motorunda Tam Kutup Adımlı Sargının Moment Dalgınlığının İyileştirilmesine Katkısı”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
- [5] Kuyumcu, F. E., Karaçor, M., "Matlab GUI Based SRM Design Program", " ACEMP'07, International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics and Electromotion Joint Conference, Bodrum, Cilt I, p.p. 846-848, 2007.
- [6] Ozoglu, Y., Garip, M., Mese, E., "New Pole Tip Shapes Mitigating Torque Ripple in Short Pitched and Fully Pitched Switched Reluctance Motors", 37th IAS Annual Meeting Industry Applications Conference, IEEE, 43-50 Pittsburgh PA USA, 2002.