

ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MAKİNALARIN AKI VE ENDÜKTANS ÖLÇÜM METOTLARININ İNCELENMESİ

Oğuz ÜSTÜN*

Özet

Bu makalede anahtarlamalı relüktans makinaların akı ve endüktans ölçüm metotları incelenmiştir. Genel olarak kullanılan üç ölçme metodu statik DC, statik AC ve dinamik ölçme metotları ayrı ayrı ele alınmıştır ve aralarındaki farklar ortaya konulmuştur. Amaç anahtarlamalı relüktans makinaların endüktans profilinin çıkartılmasında hangi yöntemin daha uygun olduğunun ortaya koyulmasıdır. Bu amaca yönelik olarak öncelikle gerçek anahtarlamalı relüktans makinaların endüktans profiline yakın bir endüktans modeli belirlenmiştir. Bu model kullanılarak ölçme yöntemlerinin benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda 8/6 bir anahtarlamalı relüktans makina ile ölçümler yapılarak deneysel sonuçlarla da bu benzetim çalışması desteklenmiştir.

Anahtar kelimeler: Anahtarlamalı relüktans makinalar, endüktans ölçümü, akı ölçümü, statik test, dinamik test.

INVESTIGATION OF FLUX AND INDUCTANCE MEASUREMENT METHODS OF THE SWITCHED RELUCTANCE MACHINES

Abstract

In the present study, flux and inductance measurement methods of the switched reluctance machines have been investigated. The three measurement methods which are static DC, static AC and dynamic measurement methods have been discussed separately, and difference among them have been introduced. The aim is to present the proper method for the providing the inductance profile of the switched reluctance machine. For this reason, firstly an inductance model that approximates the real inductance profile of the switched reluctance machine has been identified. Simulation studies of the measurement methods have been achieved by using this model. The simulation results have been proved with experimental measurements of an 8/6 switched reluctance machines.

Key Words: Switched Reluctance Machines, inductance measurement, flux measurement, static test, dynamic test

1. Giriş

Anahtarlamalı relüktans makinaların yüksek seviyeli bir performans kapasitesine sahip olması, dayanıklı olması, imalatlarının basit ve ucuz olması nedeniyle hem endüstriyel hem de ev aletleri uygulamalarında bu makinaları önemli bir tercih konumuna getirmiştir (Lawrenson vd., 1980). Bu avantajların yanı sıra anahtarlamalı relüktans makinalar yapısından kaynaklanan yüksek nonlineerliğe sahiptir. Bunun nedeni, akım ve pozisyona bağlı olarak manyetik akılarındaki değişimdir. Bu makinaların yüksek hassasiyetli endüstriyel uygulamalarda kullanılabilmesi için, hız, pozisyon ve tork kontrollerinin yapılmasında akım-akı-pozisyon bilgilerinin tam olarak bilinmesi gerekmektedir (Ustun 2009). Bu bilgilerin elde

* Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Gököy, Bolu.
E-posta: oguzustun@ibu.edu.tr

edilmesinde başta gelen çalışma akının ölçülmesi işlemidir. Elde edilen akı bilgisine göre ya modelleme ya da makinaların denetimleri gerçekleştirilir.

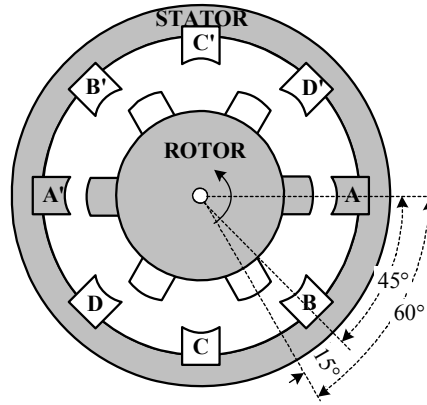
Anahtarlamalı relüktans makinaların akı ve endüktans profilinin elde edilmesinde çeşitli ölçüm metotlarının kullanıldığı çalışmalar literatürde görülmektedir (Beno ve Marimuthu, 2009; Cheok, ve Ertugrul, 2001; Cheok ve Wang, 2007; Gobbi vd., 2008; Hajdarevic ve Kofler, 2003; Radimov vd., 2005; Ray ve Erfan, 1994; Sharma d., 1999; Wang vd., 2008). Bu ölçüm yöntemlerini genel olarak statik ve dinamik ölçme olarak sınıflandırabiliriz. Statik ölçmede kendi içinde AC ve DC test yöntemi olarak ikiye ayrılabilir.

Bu çalışmada endüktans ve akı profilinin çıkartılmasında kullanılan yöntemlerin analizleri yapılarak aralarındaki farklar incelenmiştir. Ölçüm metotlarının hassasiyetlerinin daha rahat gözlenebilmesi için öncelikle gerçek motor endüktans profiline yakın bir endüktans modeli geliştirilmiş ve ölçüm metotları bu modele göre test edilmiştir. Böylece ölçmede oluşabilecek gürültü vb. etkilerde ortadan kaldırılmıştır. Üstelik geliştirilen model ile istenen endüktans değerinin bilinmesi de ölçme hatalarının incelenmesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır. Gerçek makinalarda endüktans değeri bilinmediği için kıyaslama imkanı da söz konusu değildir. Bu model kullanılarak üç ölçüm yöntemi için C programında yazılımlar yapılmış ve karşılaştırmaları hem sayısal hem de grafiksel olarak gösterilmiştir. Bunun yanı sıra test yöntemlerinin deneysel olarak nasıl gerçekleştirileceği ve nelere dikkat edilmesi gerektiği de ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu amaçla deneysel çalışmalarda gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümü şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci anahtarlamalı relüktans makinanın genel yapısı ve eşdeğer devre modeli anlatılmış, üçüncü bölümde statik test yöntemi, dördüncü bölümde dinamik test yöntemi ve son bölümde genel bir değerlendirme yapılmıştır.

2. Anahtarlamalı Relüktans Makina

Anahtarlamalı relüktans makinalar adından da anlaşılacağı üzere rotorundaki çıkıntılı kutuplardan kaynaklan relüktans etkiye bağlı olarak çalışan makinalardır. Rotorlarında sargı yoktur. Besleme ve denetimleri stator sargılarından gerçekleştirilir. Rotorlarının çıkıntılı kutuplu olmaları nedeniyle manyetik devreleri pozisyona bağlı olarak değişmektedir. Buna bağlı olarak akı ve endüktans profilleri de pozisyona bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu relüktans makinaların moment üretebilmeleri için gerekli doğal karakteristiğidir. Bunun yanında manyetik devrede özellikle yüksek akım değerlerinde doyma etkisiyle yine bir değişim görülür. Pozisyona bağlı akı değişimi bu tip makinalarda olması gereken bir durumken doyma etkisiyle meydana gelen değişim hem modelleme hem de kontrol açısından önemli bir sorundur. Sonuç olarak bu tip makinalar da akı ve endüktans profili akım ve rotor pozisyonuna bağlı nonlineer bir değişim gösterir.



Şekil 1. 8/6 anahtarlamalı relüktans makine kesit görünümü

Bu çalışmada kullanılan 8/6 anahtarlamalı relüktans mmakinanın kesit görünümü Şekil 1’de verilmiştir. Şekil 1’den görüldüğü gibi 4 fazlı rotor kutup aralığı 60° , stator kutup aralığı 45° ve bunların arasındaki fark olan adım açısının 15° olduğu görülmektedir. Buna göre akı ve endüktansın değişimi 60° ’lik açılarla periyodik olarak değişmektedir. Her bir fazın anahtarlama da 15° ’lik açılarla yapılmaktadır. Dolayısıyla 60° ’lik bir periyotta 4 faz iletim kesim durumu oluşmaktadır.

2.1. Anahtarlamalı relüktans makinanın eşdeğer devresi

Anahtarlamalı relüktans makinaların genel eşdeğer devreleri Şekil 2’de olduğu gibi verilebilir. Buna göre temel bir eşdeğer devre fazlar arasındaki karşılıklı endüktans ihmal edilerek aşağıdaki gibi çıkartılabilir. Bir faza uygulanan gerilim direnç üzerine düşen gerilim ve akı bağıntısının değişim oranının toplamına eşittir. Bu ifade aşağıdaki gibi verilebilir (Krishnan, 2001),

$$v = Ri + \frac{d\lambda(\theta, i)}{dt} \quad (1)$$

Burada R stator faz direncidir ve λ bir fazın akı bağıntısıdır,

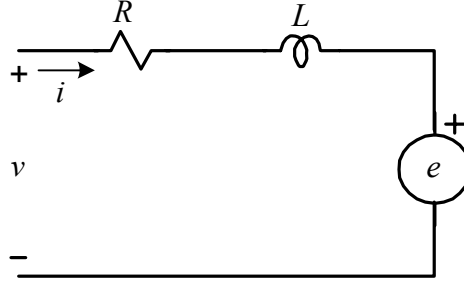
$$\lambda = L(\theta, i)i \quad (2)$$

Burada L endüktansı rotor pozisyonu ve faz akımına bağlıdır. Buna göre faz gerilim denklemi,

$$\begin{aligned} v &= Ri + \frac{d\{L(\theta, i)i\}}{dt} = Ri + L(\theta, i)\frac{di}{dt} + i\frac{d\theta}{dt} \cdot \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \\ &= Ri + L(\theta, i)\frac{di}{dt} + \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \omega_m i \end{aligned} \quad (3)$$

$$e = \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \omega_m i \quad (4)$$

Bu denklemde, sağ taraftaki üç terim sırasıyla omik gerilim düşümü, endüktif gerilim düşümü ve indüklenen elektro motor kuvvetini gösterir, sonuç olarak elde edilen denklem DC seri makina ile benzerdir (Krishnan, 2001).



Şekil 2. Anahtarlamalı relüktans makinanın eşdeğer devresi

2.2. Benzetim çalışması için endüktans modeli

Bu çalışmada statik ve dinamik testler için benzetim çalışmasında 8/6 anahtarlamalı relüktans makinaların endüktans karakteristiğine yakın pozisyon ve akıma bağlı nonlineer endüktans ifadesi ortaya konulmuştur. Eşitlik 6'da verilen endüktans ifadesi akım ve pozisyona bağlı bir Gaussian fonksiyonu ile minimum endüktans değerinin eklenmesinden oluşturulmuştur.

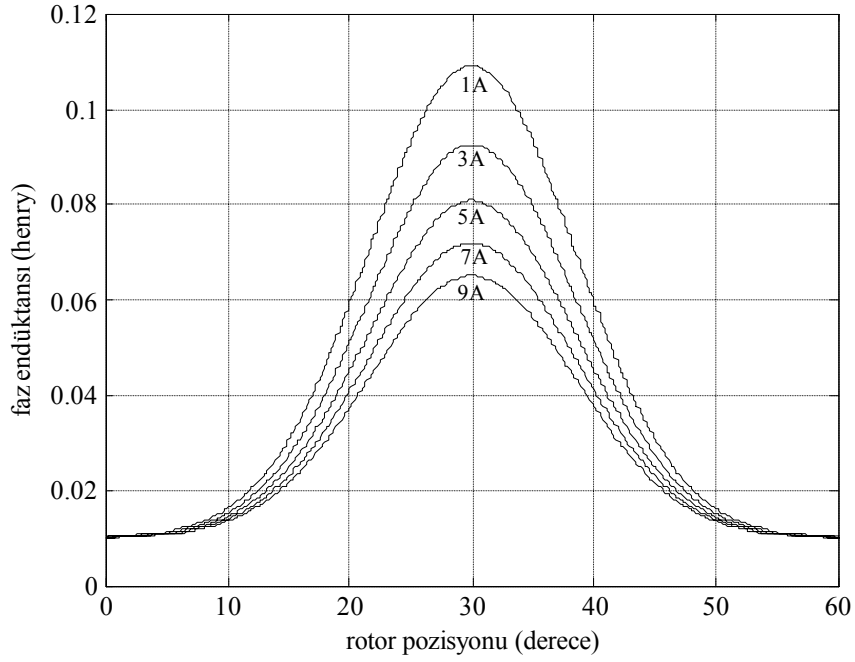
$$L(\theta, i) = L_u + \left(\frac{L_a}{1 + i_{pu}} \right) \exp \left(- \left[\frac{\theta_{pu} - \eta}{\sigma} \right]^2 \right) \quad (5)$$

Eşitlik 5'de L faz endüktans değişimini, L_u minimum endüktans değerini, $L_a + L_u$ maksimum endüktans değerini, i_{pu} per-unit olarak akım değerini, θ_{pu} per-unit olarak rotor pozisyonunun değerini, η Gaussian fonksiyonun orta noktasını, σ Gaussian fonksiyonun genişlik değerini göstermektedir. $\eta = 30/60$, $\theta_{pu} = \theta/60$ ve $i_{pu} = i/9$ olarak elde edilir. σ değeri endüktans eğiminin sürekli olduğu pozisyon aralığının yaklaşık 20° olacak şekilde ayarlanmıştır. Tablo 1'de verilen bu değerler 8/6 anahtarlamalı relüktans makina için geçerlidir. Diğer tip 12/8, 6/4 relüktans makinalarda da bu parametreler hesaplanıp Eşitlik 6'da yerine konularak kullanılabilir.

Tablo1. Endüktans modelinde kullanılan parametre değerleri

L_u	L_a	η	σ	i_{pu}	θ_{pu}
0.01	0.11	0.5	0.2	[0,1]	[0,1]

Farklı akım değerleri için Eşitlik 6 kullanılarak elde edilen endüktans grafiği Şekil 3'de verilmiştir. Şekil 3'e bakıldığında endüktans hem akım hem de pozisyona bağlı bir değişim göstermektedir. Akım arttığında endüktans değerinin düştüğü görülmektedir. Böylece klasik bir anahtarlamalı relüktans makinaya ait endüktans profiline yaklaşılmıştır. Burada verilen endüktans ifadesinin, genel bir ifade olduğu, gerçek makina endüktansını göstermediği ve sadece benzetim çalışması için üretildiğine dikkat edilmelidir.



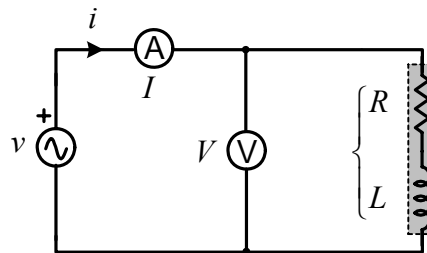
Şekil 3. Benzetim çalışması için faz endüktans değişim grafiği

3. Statik Ölçme Yöntemi

Statik ölçme temel olarak AC ve DC test olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Statik ölçmede rotor belirli bir pozisyonda kilitlenerek makina faz sargısına AC ya da DC gerilim uygulanarak o pozisyondaki akım ve gerilim bilgileri alınarak endüktans ve akı değerleri hesaplanır ve bu nedenle statik ölçme olarak adlandırılır. Daha sonra pozisyon kısmi olarak değiştirilerek bir rotor kutup aralığı tamamlanincaya kadar bu işlemler tekrarlanır.

3.1. AC test yöntemi

Statik AC test yöntemi için kullanılan deney düzeneği Şekil 4'de verilmiştir. Buna göre; deney düzeneği ayarlı AC gerilim kaynağı, ampermetre ve voltmetreden oluşmaktadır.



Şekil 4. Statik AC test devresi

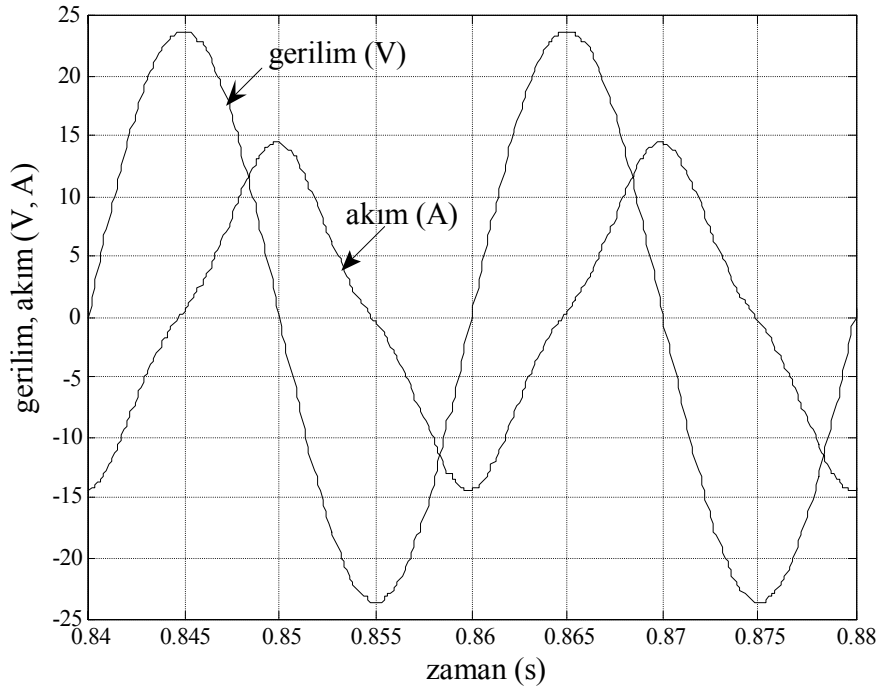
Bu test çalışmasında makina fazına istenen etkin akım değeri geçecek biçimde bir AC gerilim uygulanarak etkin akım (I) ve gerilim (V) değerleri ölçülür. Bu değerlere göre endüktans hesabı klasik elektrik devrelerinin kararlı durum analizi ile aşağıdaki gibi gerçekleştirilir,

$$L = \left((V/I)^2 - R^2 \right)^{1/2} / \omega \quad (6)$$

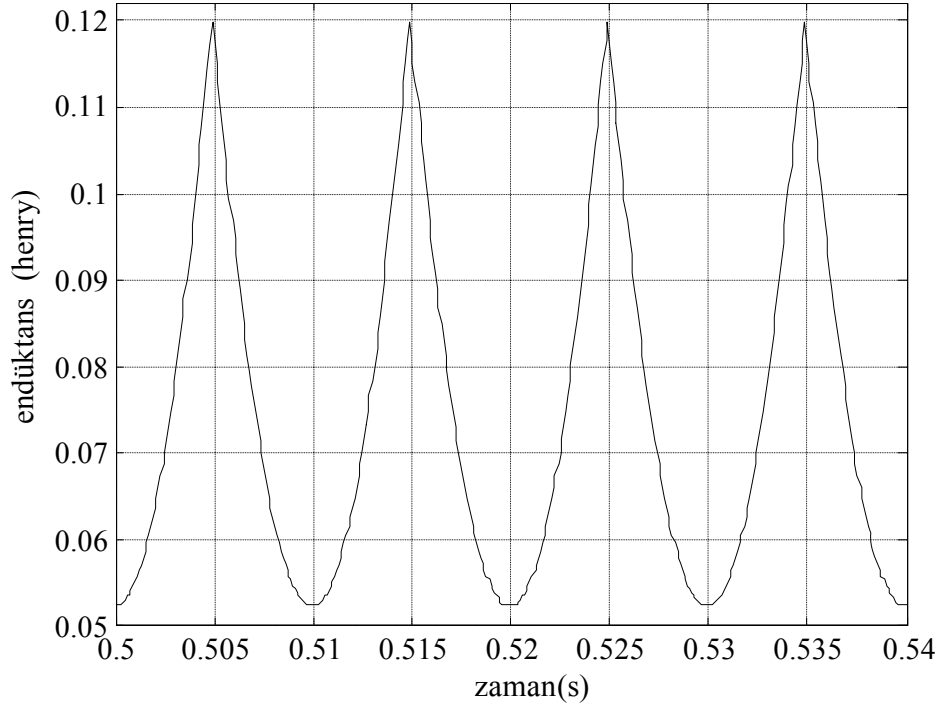
burada, $\omega = 2\pi f$ elektriksel açısal hızı göstermektedir.

Bu ölçme yönteminin doğruluğunun test edilmesi için rotor pozisyonu 30° sabit iken, devreden $I = 9A$ geçecek biçimde maksimum gerilim değeri $\hat{V} = 236.5V$ ve 50Hz frekanslı bir AC kaynak gerilimi uygulanmıştır $R = 1.0\Omega$ olarak alınmıştır ve bu parametre değerlerine göre benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmasında elde edilen akım ve gerilim grafikleri Şekil 5’de görülmektedir. Akım-gerilim grafiklerinin değişimlerinin daha iyi görünebilmesi için gerilim değerleri 1/10 oranında verilmiştir.

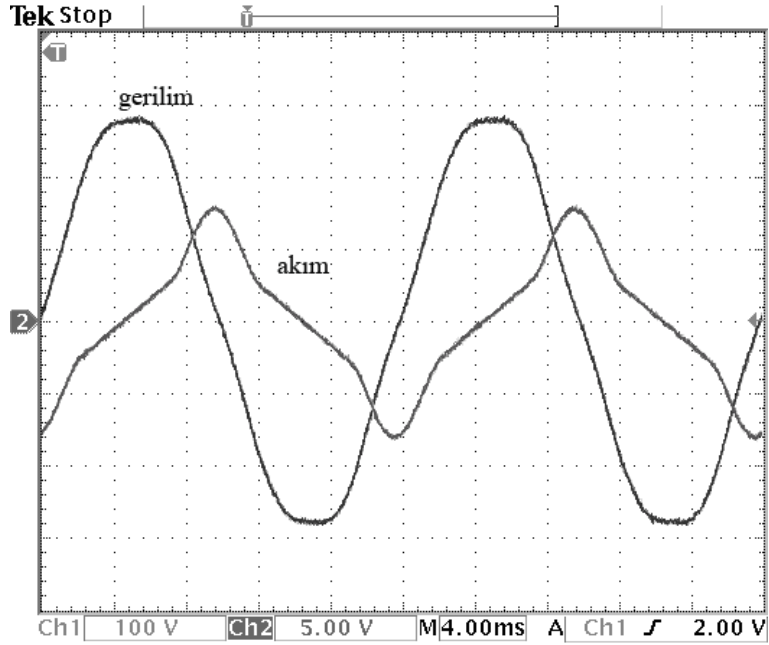
Yapılan benzetim çalışmasında, Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanan endüktans değeri 0.059H olarak elde edilmiştir. Eşitlik 5’e göre ise istenen endüktans değeri 0.064H dir. Buna göre AC test yönteminde yaklaşık olarak %10’luk bir hatanın olduğu ortaya çıkmaktadır. Burada oluşan hatanın sebebi endüktansın doyma etkisiyle Şekil 6’da görüldüğü gibi bir değişim göstermesidir. AC akımın sinüzoidal değişimi sonucu akımın üst değerlerine çıkıldıkça doymaya bağlı olarak endüktans değerinin düştüğü görülmektedir. Endüktanstaki bu değişim Şekil 5’de görüldüğü gibi akımın sinüzoidal formunun bozulmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak, akımda istenmeyen harmoniklerin oluşumu kaçınılmazdır. Bu durumun gerçek verilerle ispatı için deneysel olarak ölçümler gerçekleştirilmiş ve Şekil 7 ve 8’de gösterilen akım-gerilim değişimi ve akım-harmonik değişimleri elde edilmiştir.



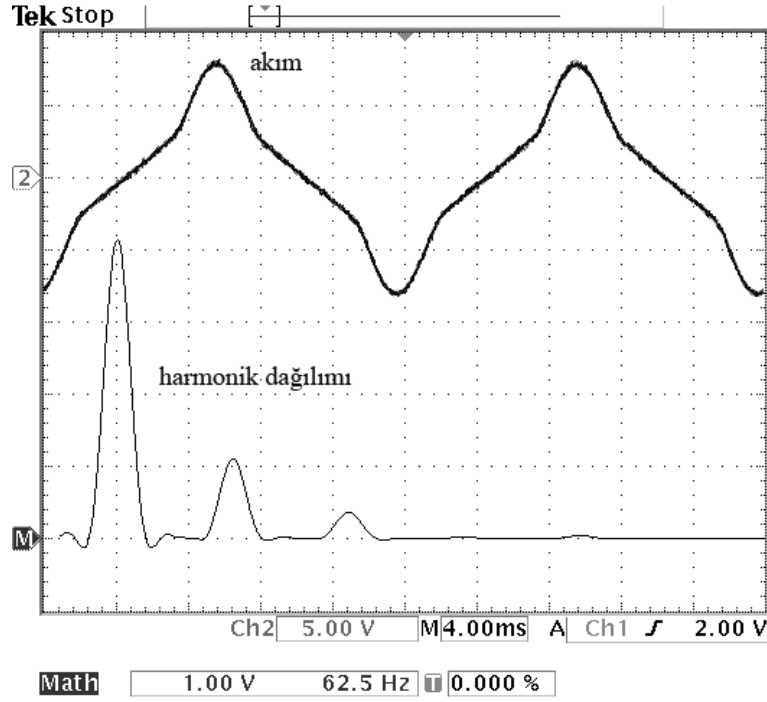
Şekil 5. AC test için benzetim ile elde edilen akım ve gerilim grafiği



Şekil 6. 30°'de sabit rotor pozisyonunda 9A etkin akım durumunda benzetim çalışmasında elde edilen endüktans değişim grafiği



Şekil 7. AC test için deneysel olarak elde edilen akım ve gerilim grafiği

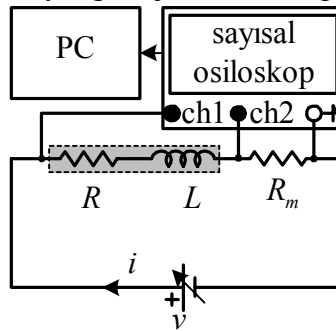


Şekil 8. AC test için deneysel olarak elde edilen akım ve harmonik dağılım grafiği

Deneysel sonuçlardan da görüldüğü gibi akım dalga formuna temel bileşenin ile birlikte 2. ve 4. harmonik bileşenlerinin etkin olduğu görülmektedir. Bu verilere göre şu söylenebilir. Özellikle yüksek akımlarda yani doymanın çok olduğu durumlarda AC test yöntemiyle ölçme yapılacaksa mutlaka harmonik bileşenlerinin de hesaplama katılması ve buna göre endüktansın elde edilmesi oldukça önemlidir.

3.2. DC test yöntemi

Statik DC test yöntemi için kullanılan deney düzeneği Şekil 9’da verilmiştir. Şekle bakıldığında ayarlı bir DC gerilim kaynağı, dijital osiloskop ve bilgisayardan oluşmaktadır.



Şekil 9. Statik DC test devresi

Bu çalışmada makina fazına DC gerilim uygulanarak istenen akım değerine ulaşıncaya kadar olan i ve v verileri sayısal osiloskop ile kaydedilir. Bu verilere göre endüktans hesabı bilinen elektrik devrelerinin geçici durum analizi ile aşağıdaki gibi gerçekleştirilir,

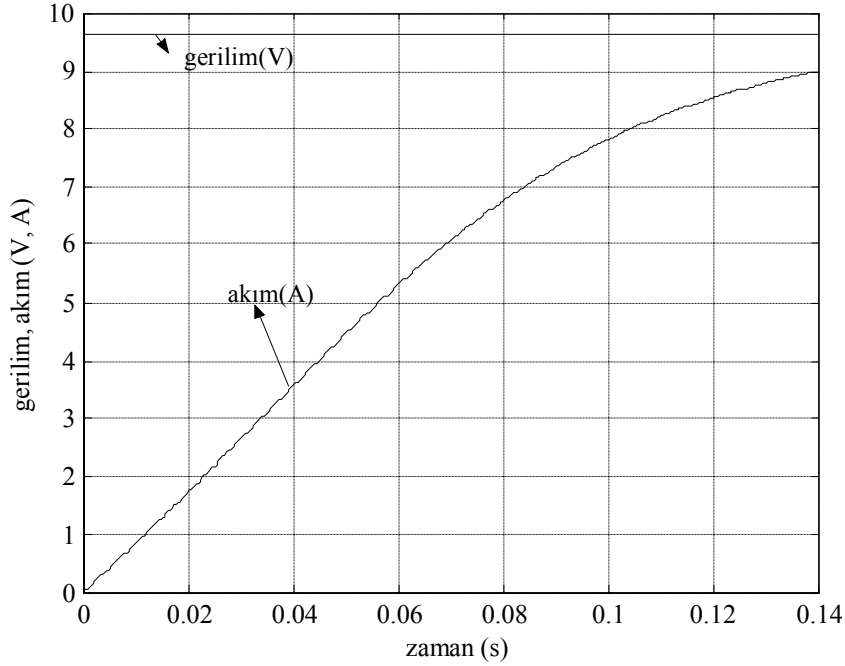
$$\lambda = \int [v - (R + R_m) i_m] dt \quad (7)$$

$$L = \lambda / i \quad (8)$$

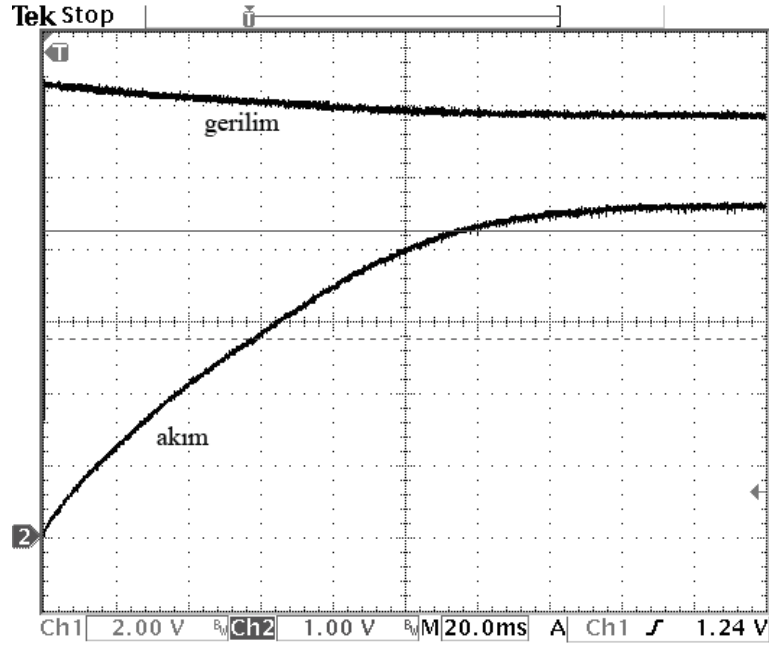
Burada λ akı bağıntısı ve R_m osiloskop ile akımın ölçülmesinde kullanılan ölçüm direncidir.

Rotor pozisyonu 30° 'de sabit durumda iken $v = 9.64V$ ve akım değeri 9A olacak biçimde benzetim çalışması gerçekleştirilmiş ve Şekil 10'da gösterilen akım ve gerilim değerleri elde edilmiştir. Benzetim çalışması için Eşitlik 7 ve 8 kullanılarak elde edilen endüktans değeri 9A için 0.0648H olarak bulunmuştur. Eşitlik 5 ile elde edilen istenen endüktans değeri 0.064 H olmaktadır. Buna göre hesaplama hatası sadece %0.3 olduğu görülmektedir.

Benzetim ile deneysel sonuçlar arasındaki farkların görülebilmesi için deneysel olarak da statik DC test gerçekleştirilmiş ve elde edilen akım gerilim grafiği Şekil 11'de verilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken Şekil 11'den görüleceği gibi gerilim kaynağının iç direncinden dolayı gerilim düşümünün meydana gelmesidir. Dolayısıyla hesaplama yaparken sayısal osiloskopa elde edilen veriler kullanılmalıdır. Sabit bir gerilim değeri kullanmak hatalı sonuç meydana getirecektir. Bu tip testlerde örnekleme sayısının artırılması için gerilim değerinin mümkün olduğunca düşük tutulması ve osiloskop örnekleme hızının de yüksek olması oldukça önemlidir.



Şekil 10. DC test için benzetim ile elde edilen akım ve gerilim grafiği

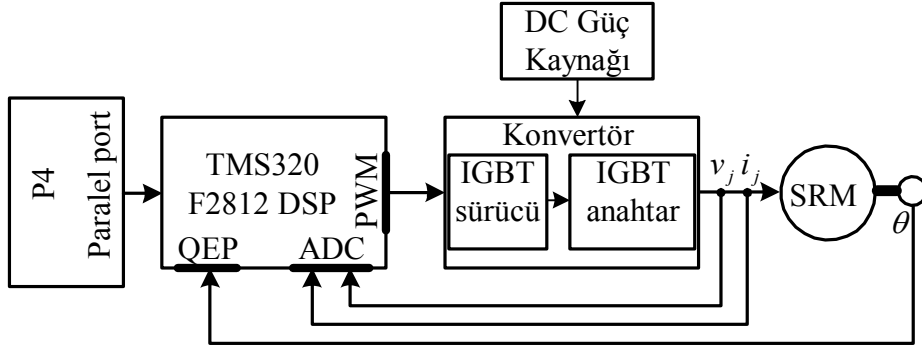


Şekil 11. DC test için deneysel olarak elde edilen akım ve gerilim grafiği

Statik AC test ile DC test arasında ölçme hatası olarak oldukça önemli bir fark olduğu ve DC test yönteminin daha elverişli bir ölçme biçimi olduğu açıkça görülmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi eğer AC test yöntemi kullanılacaksa mutlaka harmonik bileşenlerinin de hesaplamaya dahil edilmesi gerekir.

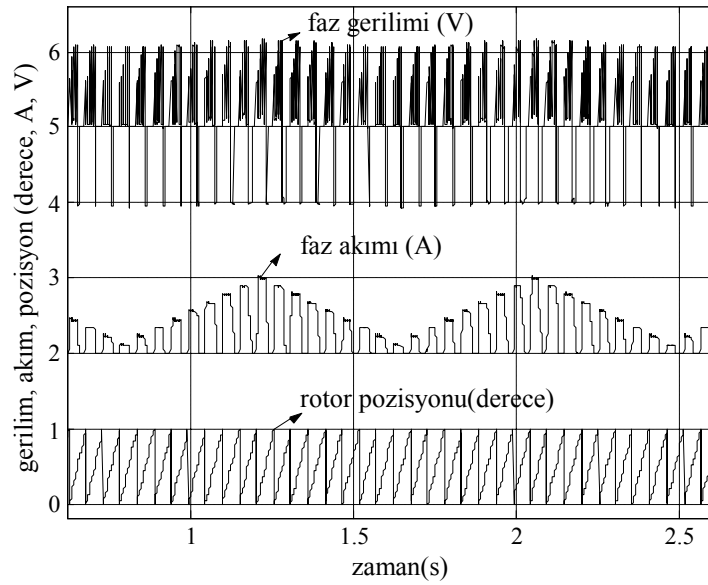
4. Dinamik Ölçme Yöntemi

Dinamik ölçme elektrik devresi çözümleme mantığı açısından statik DC ölçme mantığı ile aynıdır ve Eşitlik 7 ve 8’de verilen bağıntılar burada da kullanılır. Farklı olan tarafı motor hareketli iken ve normal bir hızda dönerken akım, gerilim ve pozisyon bilgisine bağlı olarak ani değerlerin elde edilmesi mantığına dayanmaktadır. Şekil 12’de gösterilen dinamik ölçme yöntemiyle ilgili deney düzeneği Ustun (2009)’da tarafından kullanılmıştır. Dinamik ölçme için yine sayısal osiloskop ya da veri transfer kartı kullanmak mümkündür. Fakat sınırlı sayıda verinin alınarak işlenmesi, işlem yoğunluğunun fazlalığı ve en önemlisi online uygulamalarda kullanılamaması gibi dezavantajlar ortaya çıkması mümkündür (Ustun 2009). Bu nedenle bu çalışmada real-time ve online çalışmalarında gerçekleştirilebileceği arayüz elemanı gerektirmeyen yüksek hız ve hafıza kapasitesine sahip aynı zamanda motor kontrollerinde etkin bir işlemci olan TMS320F2812 DSP işlemcisi kullanarak bu dinamik ölçme ve modelleme işlemini gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda kaynak kodlarının yazıldığı ve derlendiği bir bilgisayar, bir DSP, konvertör, DC kaynak, akım ve gerilim sensörü ve enkoderden oluşan bir deney devresi oluşturulmuştur. Motor üç fazına uygulanan referans akım sinyalleri 9A’de sabit tutularak 150 d/d hızına yakın devirlerde yüklü olarak açık döngülü çalıştırılır. Örnekleme yapacağı bir fazın referans akım sinyali ise her bir 60°’de düzenli olarak 1A ile 9A arasında sürekli olarak değiştirilerek Şekil 13 ve 14’de gösterilen akım, gerilim ve pozisyon bilgileri elde edilir. Akım ve gerilim bilgileri DSP’nin ADC(analog-to-digital) portundan ve pozisyon bilgisi ise DSP’nin QEP(quadrature encoder pulse) portundan modelleme işlemi tamamlanincaya kadar DSP’ye aktarılır. Akım ve gerilim sensöründen elde edilen akım ve gerilim bilgilerine göre gerçek akı bağıntısı Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanır. Yine elde edilen akı değeri ile ölçülen akım değeri kullanılarak endüktans değeri de hesaplanır.

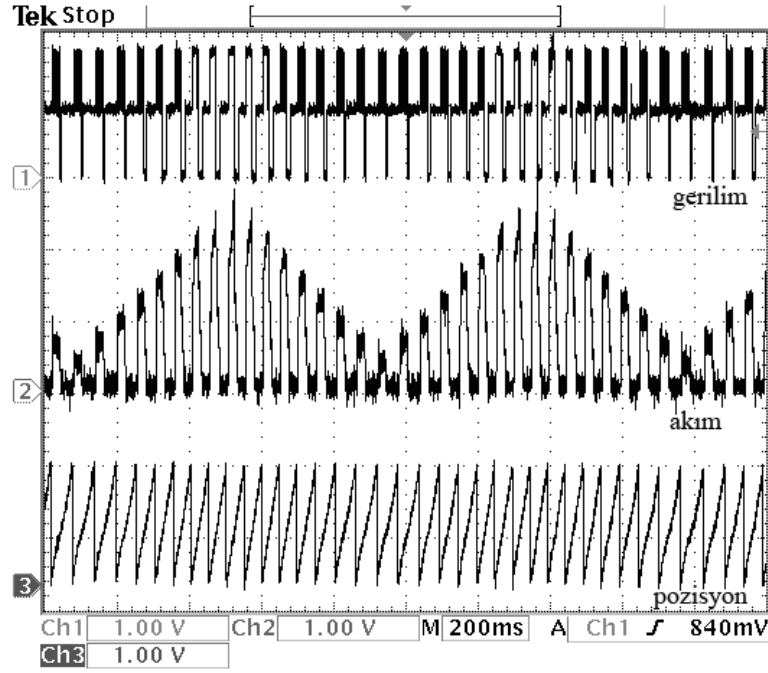


Şekil 12. Dinamik test ve gerçek zamanlı modellemede kullanılan deney düzeneği

Dinamik test yöntemi kullanılarak elde edilen veriler ya doğrudan anahtarlamalı relüktans motorların kontrolünde ya da gerçek zamanlı modelleme çalışmalarında kullanılır. Bu ölçme yönteminde dikkat edilmesi gereken hususlar akım ve gerilim sensörlerinin oluşmuş gürültünün en aza indirilmesi ve bunun yanında sensörlerin dönüşüm oranlarının uygun seçilmesidir.



Şekil 13. Dinamik test için benzetim ile elde edilen akım-gerilim-pozisyon bilgilerinin değişim grafiği



Şekil 14. Dinamik test için deneysel olarak elde edilen akım-gerilim-pozisyon bilgilerinin değişim grafiği

5. Sonuçlar

Bu çalışmada anahtarlamalı relüktans makinaların akı ve endüktans ölçüm metotları incelenmiştir. Genel olarak kullanılan üç ölçme metodu statik DC, statik AC ve dinamik ölçme metotları ayrı ayrı ele alınmıştır ve aralarındaki farklar ortaya konulmuştur. Amaç anahtarlamalı relüktans makinaların endüktans profilinin çıkartılmasında hangi yöntemin daha uygun olduğunun ortaya koyulmasıdır. Bu amaca yönelik olarak öncelikle gerçek anahtarlamalı relüktans makinaların endüktans profiline yakın bir endüktans modeli belirlenmiştir. Bu model kullanılarak ölçme yöntemlerinin benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda 8/6 bir SRM ile ölçümler yapılarak deneysel sonuçlarla da bu benzetimsel çalışma desteklenmiştir. Buna göre, statik çalışmalar için mevcut hesaplama yöntemleri kullanılacaksa ölçüm hatalarının en aza indirilmesi için DC test tercih edilmelidir. AC test kullanılacaksa mutlaka harmonik bileşenlerinin hesaplama katılması gerekir. Dinamik ölçmede ise sensörlerden alınan sinyallerin kalitesine dikkat edilmelidir.

Kaynaklar

- Beno, M. M., Marimuthu, N.S. (2009). A simple and low-cost measurement system for switched reluctance motor drive, *International Journal of Power Electronics*, 1(4), 381–396.
- Cheok, A. D., Ertugrul, N. (2001). Computer-based automated test Measurement system for determining magnetization characteristics of switched reluctance motors, *IEEE Trans. on Inst. and Meas.*, 50(3), 690-696.
- Cheok, A. D., Wang, Z. (2007). DSP-based automated error-reducing flux-linkage-measurement method for switched reluctance motors, *IEEE Trans. on Inst. and Meas.*, vol. 56, No. 6, 2007, 2245-2253.

- Gobbi, R. N., Sahoo, C., Vejian, R. (2008). Experimental investigations on computer-based methods for determination of static electromagnetic characteristics of switched reluctance motors. *IEEE Trans. on Inst. and Meas.*, 57(10), 2008.
- Hajdarevic, I., Kofler, H. (2003). A closer view on inductance in switched reluctance motors, *The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering*, 22(4), 847-861.
- Krishnan, R. (2001). *Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications*, CRC Pres, USA.
- Lawrenson, P. J., Stephenson, J. M., Blenkinsop, P. T., Corda, J., Fulton, N. N. (1980). Variable-speed switched reluctance motors. *IEE Proc. B*, 127(4), 253–265.
- Radimov, N., Hail, N. B., Rabinovici, R. (2005). Inductance measurements in switched reluctance machines. *IEEE Trans. on Magn.*, 41(4), 1296-1299.
- Ray W.F., Erfan F., (1994). A new method of flux or inductance measurement for switched reluctance motors, *International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives*, 26-28 October, London, UK, 137-140.
- Sharma, V. K., Murthy, S. S., Singh, B. (1999). An improved method for the determination of saturation characteristics of switched reluctance motors, *IEEE Trans. on Inst. and Meas.*, 48(5), 995-1000.
- Ustun, O. (2009). Measurement and real-time modeling of inductance and flux linkage in switched reluctance motors, *IEEE Trans. on Magn.*, (accepted paper).
- Wang, C., Liu, Y. H., Liao, W. H., Tu., C. L. (2008). An automated measurement system for determining magnetization characteristics of switched reluctance motors, *IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 13-16 July, Daejeon, Korea ,639-644.