



Anahtarlamalı Relüktans Motorlarda Sürücü Devrelerinin Karşılaştırılması

Comparison of Driver Circuits for Switched Reluctance Motors

B. Durak, A.Y. Yeksan, L.T. Ergene

Elektrik Mühendisliği Bölümü
İstanbul Teknik Üniversitesi
durakbu@itu.edu.tr, yeksan@itu.edu.tr, ergenel@itu.edu.tr

Özet

Güç elektroniği teknolojisine paralel olarak ilerleyen motor sürücü devreleri, sürücü devresine ihtiyaç duyan motorların çalışmalarında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Gelişen yarı iletken teknolojisi ile birlikte sayısal kontrol ve bilgisayar destekli tasarım kullanımının yaygınlaşması ile yapısının basit, maliyetinin düşük olması ve farklı hız ayarlarında rahatlıkla çalıştırılabilir olması gibi nedenlerle anahtarlamalı relüktans motorlarına olan ilgi artmaktadır. Bu çalışmada, 6/4 kutuplu 3 fazlı bir anahtarlamalı relüktans motoru için üç farklı sürücü devre modeli incelenmiştir. Öncelikle anahtarlamalı relüktans motoru ve sürücü devrelerine kısaca değinilmiş ve daha sonra ele alınan farklı sürücü devre modelleri arasında motorun çıkış parametreleri göz önünde bulundurularak gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır. Sürücü devre modellerinin benzetimleri PSIM Benzetim Programı ile yapılmıştır.

Abstract

There is no doubt that many significant movements in power electronics come into existence because of the technological developments in recent years. Developments in power electronics led a significant improvement on motor drive techniques and these improvements on motor drives provided great conveniences in the motor applications. Switched reluctance motors have many advantages such as low cost manufacturing, simple structure and easy operation for different speed levels. However, these motors require a drive circuit and rotor position sensors for the operation. In this paper, three different types of driver models were examined for a 6/4 poles, three phase switched reluctance motor. Before all else, the structure and the basic operating principles of SRM were described. Subsequently, the motor output parameters for three different drive models were considered and necessary comparisons were made. All drive systems were modeled by using PSIM software.

1. Giriş

Anahtarlamalı relüktans motorları (ARM), statoru ve rotoru çıkık kutuptan oluşan ve sadece statorunda sargı bulduran, rotorunda herhangi bir sargı ya da sürekli mıknatıs buldurmeyen basit yapılu elektrik makinalarıdır. ARM'lerin her fazı birbirinden fiziksel, manyetik ve elektriksel bakımdan bağımsız oldukları için asenkron ve doğru akım makinelerine göre güvenilir makinalardır. Ayrıca rotorlarında herhangi bir

sargı ya da sürekli mıknatıs buldurmamakları için ARM'lar oldukça yüksek hızlara çıkabilmektedirler.

Anahtarlamalı relüktans motorlarının düzgün çalışabilmesi için sürekli bir moment üretilmesi gerekmektedir. Bu da stator kutbuna göre rotor kutbunun konumunun konum algılayıcılar ile izlenip uygun faz sargılarının sırasıyla beslenmesine bağlıdır. Bunu gerçekleştirebilmek için de uygun güç elektroniği devrelerine yani sürücü devrelerine ihtiyaç duyulur. Bu motorların dezavantajı ise moment dalgalanmasının fazla olmasıdır.

Gelişen yarıiletken teknolojisi ile beraber güç elektroniği devrelerinin kullanımı da kolaylaşmış ve yaygınlaşmıştır. Dolayısıyla ARM'lerin çalışabilmesi için gerekli olan sürücü devrelerinde meydana gelen ilerlemeler sonucu endüstriyel uygulamalarda anahtarlamalı relüktans motorları, asenkron ve doğru akım motorları ile uygulamada rekabet edebilir hale gelmiştir.

2. Anahtarlamalı Relüktans Motorları

Anahtarlamalı relüktans motorları ile ilk kez 1838 yılında Dawidson tarafından İskoçya'da bir elektrikli lokomotif hareket ettirmek için kullanılırken karşılaşılmıştır. Uzun yıllar kontrolünün zorluğundan dolayı çalışmalar yapılmamıştır. Ancak motor ve sürücü devre teknolojinin gelişimi bu motorlara olan ilginin tekrardan artmasına sebep olmuştur.

2.1. Yapısı ve Çalışma Prensibi

Anahtarlamalı relüktans motorları, diğer elektrik makinalarına kıyasla son derece basit bir yapıya ve kurulumuna sahip elektrik makinalarıdır. Hem statoru hem de rotoru çıkık kutuplu yapıya sahip olduğundan bu motorlar çift çıkıklı relüktans motorları olarak da adlandırılmaktadırlar. Sadece statorunda sargı bulduran ARM'lerin rotorlarında herhangi bir sargı ya da sürekli mıknatıs bulunmaz.

Rotor ve stator kutup sayıları çift sayıda olmak üzere sayıca birbirinden az, fazla ya da birbirine eşit olabilir. Çoğunlukla stator kutup sayısı rotor kutup sayısından daha fazladır. Yüksek hız gerektiren uygulamalarda genelde rotor kutup sayısı stator kutup sayısına göre küçük seçilirken, yüksek moment gerektiren uygulamalarda ise rotor kutup sayısı stator kutup sayısına oldukça yakın seçilmektedir.

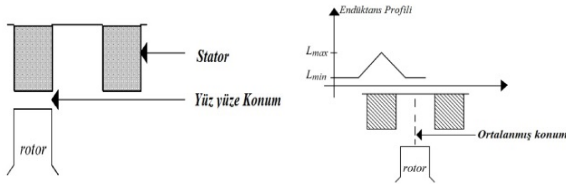
ARM'lerin tek fazlı olarak 2/2, 4/4, 6/6, 8/8; çift fazlı olarak 4/2, 8/4, 4/6, 8/6; üç fazlı olarak 6/4, 6/8, 12/8, 18/12, 24/16, dört fazlı olarak 8/6, 16/12 gibi birçok değişik dizilimleri oluşturulabilir. Genel olarak, ARM'in faz sayısı arttıkça

üretilen momentte meydana gelen dalgalanmada azalma gözlenir. Ancak faz sayısının artması sürücü devresindeki yarıiletken elemanların sayısının dolayısıyla maliyetin artmasına neden olur. Motorun kendi kendine kalkış yapabilmesi için en az iki fazlı, kalkış anında dönüş yönünü de belirleyebilmesi için en az üç fazlı olması gerekmektedir. ARM'nin kalkış yapabilmesi için stator ile rotor kutup sayılarının mutlaka farklı olması gerekmektedir.

Anahtarlamalı relüktans motorlarının çalışma prensibi, statoru ile rotoru arasındaki hava aralığında meydana gelen relüktans değişimi ile ilgilidir. ARM'de stator ile rotor arasındaki hava aralığının relüktans değeri kutupların çıkıntılı olmasından dolayı sabit değildir, değişkendir. Rotor konumuna göre halkalanma akılarının izlediği yolun değişmesi sonucu manyetik devredeki relüktans değeri de değişir.

$$\mathcal{R} = \frac{F}{\phi} = \frac{\mathcal{H} \cdot l}{\beta \cdot A} = \frac{l}{\mu \cdot A} \quad (1)$$

Anahtarlamalı relüktans motorlarında rotorun açısal değişimi ile özellikle l, μ ve A parametrelerinde meydana gelen değişiklikler sonucu manyetik devrenin relüktans değeri değişir.



Şekil 1: Stator ile rotor kutbunun konumları.

ARM'da bazı rotor konumlarının özel tanımları bulunmaktadır. Bu özel konumlardan biri olan Şekil 1'de gösterilen Yüz yüze (bakışık) konumunda, rotor kutuplarından bir tanesi stator kutuplarından bir tanesi ile tam olarak karşı karşıya bulunur. Rotor bu konumdayken yüz yüze bulunduğu stator sargılarından akım akitilmesi halinde herhangi bir moment üretilmez. Stator sargılarından akım akitilirken rotor yüz yüze konumdan uzaklaştırılırsa, rotoru tekrar bu eski konuma geri getirmeye çalışacak bir moment üretimi başlar. Stator ile rotor kutuplarının yüz yüze olduğu konumda, hava aralığı değeri minimum ve manyetik geçirgenlik değeri maksimum olacağı için manyetik devrenin relüktansı minimum değerinde olacaktır. Dolayısıyla, İfade (2)' den anlaşılacağı üzere bu konumdaki endüktans değeri maksimum değerine ulaşacaktır.

$$\mathcal{L} = \frac{\lambda}{i} = \frac{N \cdot \phi}{i} = \frac{N^2}{\mathcal{R}} \quad (2)$$

Diğer özel konum ise Şekil 1'de gösterilen ortalanmış konumdur. Bu konumda, bir stator kutbu ile artarda dizilmiş iki rotor kutbunun radyal eksenlerinin açıortayları çakışık durumda bulunur ve rotorun bu konumunda da moment üretimi olmaz.

2.2. Moment Üretimi

Anahtarlamalı relüktans motorunun moment üretimi, bir solenoidde elektromekanik enerji dönüşümünün temel prensipleri kullanılarak açıklanabilir. N sarımlı bir solenoid, i akımı ile uyarıldığında bir ϕ akısı üretilir. Uyarma akımının

arttırılması ile hareketli endüvi sabit boyunduruğa doğru hareket edecektir.

$$W_e = \int e \cdot i \cdot dt = \int i \cdot dt \cdot \frac{dN\phi}{dt} = \int N \cdot i \cdot d\phi = \int F d\phi \quad (3)$$

Dönen elektrik makinalarında, mekanik enerjide meydana gelen artış elektromanyetik moment ve rotor konumundaki değişim cinsinden ifade edilebilir ve ifade (4)'teki gibi yazılır.

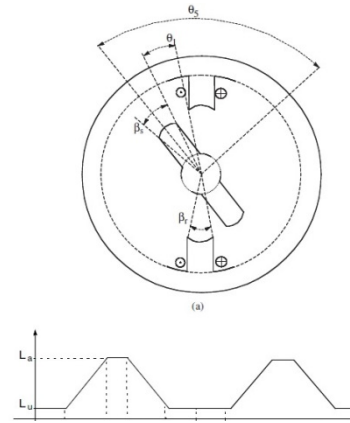
$$\delta W_m = T_e \delta \theta \quad (4)$$

$$T_e = \frac{\delta W_m}{\delta \theta} \quad (5)$$

Koenerji tanımından ve denklem (5)'ten faydalanarak hava aralığı momenti aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$T_e = \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \cdot \frac{i^2}{2} \quad (6)$$

Bu ifadede θ rotor konumunu göstermekte ve L bu konuma bağlı endüktansı göstermektedir. Bu endüktans değişimi ve açı tanımlamaları Şekil 2'de verilmiştir.

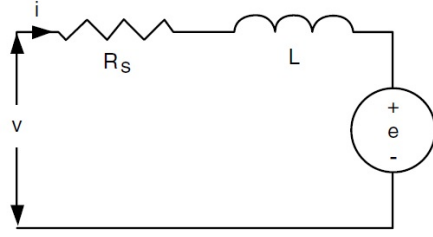


Şekil 2: İki kutuplu ARM için temel rotor konum tanımlamaları ve endüktans profili

ARM'larda üretilen moment, akımın karesi ile ilişkili olduğundan tek yönlü moment üretmek için akım da tek yönlü olabilir. Aynı şekilde moment, akımın karesi ile ilişkili olduğundan ARM'lar iyi bir kalkış momentine sahiptir. Ayrıca üretilen momentin yönü, rotor konumunun bir fonksiyonu olduğundan faz sargılarından akan akımın yönünden bağımsızdır. Sürekli bir moment üretimi sağlayabilmek için ise motorun her fazı, rotorun konumu ile bağlantılı olarak düzgün bir şekilde uyarılmalıdır.

2.3. Matematiksel Model

Anahtarlamalı relüktans motoruna ait bir faz eşdeğer devre modeli Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 3: ARM'a ait tek faz eşdeğer devresi.

ARM için fazlar arasındaki ortak endüktans ihmal edildiğinde, bir faza uygulanan gerilim; faz sargısındaki gerilim düşümü ile akımın zamana göre değişiminin toplamına eşittir ve denklem (7) ile verilmektedir.

$$v = R_s i + L(\theta, i) \frac{di}{dt} + \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \omega_m i \quad (7)$$

Endüklenen gerilim ve buna ilişkin sabit de yazılarak motora ilişkin bir matematiksel model çıkarılabilir.

$$e = \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \omega_m i = K_b \omega_m i \quad (8)$$

$$K_b = \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \quad (9)$$

Bir faz gerilimine ait olan denklem (7) akımla çarpılarak güç ifadesi bulunabilir.

$$p_i = v i = R_s i^2 + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L(\theta, i) i^2 \right) + \frac{1}{2} i^2 \frac{dL(\theta, i)}{dt} \quad (10)$$

3. Anahtarlamalı Relüktans Motorları Sürücü Devreleri

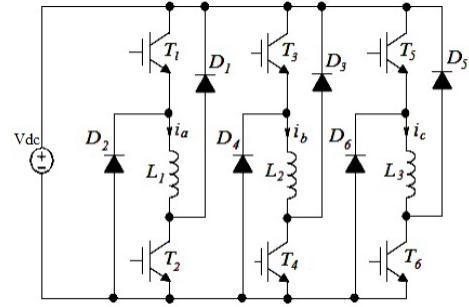
Sürücü devreleri, motor fazlarının uygun zamanlarda enerjilendirilmesi için gerekli olan komutların kontrolü ile ilgilenen bir güç kaynağı görevindedir. Motor fazlarının etkinleştirilmesi ve iletimin ne kadar süreceği bu devreler vasıtası ile gerçekleştirilir. Dolayısıyla, motora sadece elektrik enerjisi sağlamakla kalmayıp motorun düzgün çalışabilmesi için gerekli olan akım düzenlemelerini de yapar. Anahtarlamalı relüktans motorlarının düzgün çalışabilmeleri için motorun endüktans profili göz önünde bulundurularak rotor konumunun bir konum algılayıcısı tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Konum algılayıcısı tarafından belirlenen bu konumlara göre motor fazları uyarılır. Kontrolör ise motor performansını düzenler. Anahtarlamalı relüktans motorlarında kullanılan birçok sürücü devre çeşidi mevcuttur. Ancak çalışma kapsamında üç farklı sürücü devresi incelenmiş ve performans karşılaştırmaları yapılmıştır.

3.1. Asimetrik Köprü Çevirici

Faz başına iki anahtarlama elemanı ve iki diyot içeren asimetrik köprü çevirici ile tek yönlü anahtarlama yöntemi uygulanmaktadır. Her faz birbirinden bağımsız olarak kontrol edilmektedir.

Asimetrik çevirici devresi kullanılan ARM sürücülerinde anahtarlama için akım ya da gerilim kontrollü yöntemlerinden herhangi birisi kullanılabilir. Akım kontrollü sürücünün

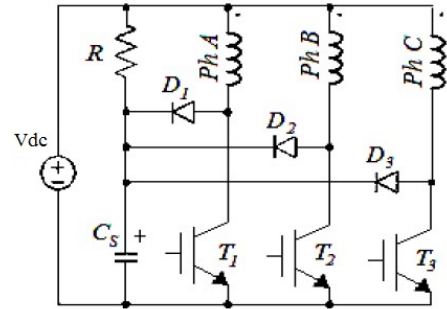
gerilim kontrollü sürücüye göre avantajı, faz akımının daha rahat ve düzgün olarak kontrol edilebiliyor olması sonucu moment dalgalılığında ya da gürültüde azalma gözlenmesidir.



Şekil 4: Asimetrik Köprü Çevirici.

3.2. R-Dump Çevirici

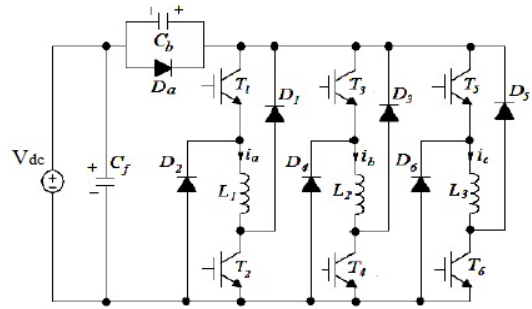
Tek anahtar/Faz sınıfına dahil olan R – Dump çevirici devresi faz başına bir anahtarlama elemanı ve bir diyot içermektedir. Sadece A fazı göz önünde bulundurulursa, T1 transistörü kesime gittiğinde, akım D1 diyotu üzerinden akarak Cs kondansatörünü şarj edip daha sonra R direnci üzerinden akar. T1 transistörü iletimdeyken, A fazının sargısında depolanan enerjinin bir kısmı, transistör kesime gittiğinde R direnci tarafından harcanacağından motor sürücüsünün verimi azalır.



Şekil 5: R-Dump Çevirici.

3.3. Seri Pasif Çevirici

Seri pasif çevirici topoloji olarak asimetrik çevirici ile çok benzer olup fark olarak bir serbest geçiş diyotu ve kapasiteler devreye eklenmiştir. T1 ve T2 kesimdeyken Cb kondansatörü şarj olur. Gerilim değerini yükseltmek amacıyla kullanılır. Anahtarlar iletime geçtiğinde gerilim değeri besleme gerilim değerine düşene kadar hızla azalır.



Şekil 6: Seri Pasif Çevirici.

4. Sürücü Devre Tasarımı ve Benzetim Sonuçları

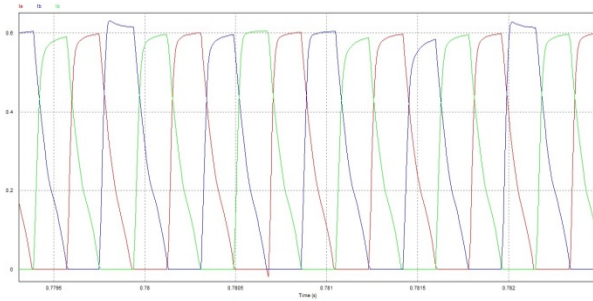
Anahtarlamalı relüktans motorunun çalışması için gerekli olan sürücü devre modellerinin benzetimleri PSIM Simülasyon Programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ilk olarak 3 fazlı 6/4 kutuplu bir ARM için üç adet farklı çevirici devre modelinin benzetimleri gerçekleştirilmiş ve daha sonra bu sürücü devrelerinin ve motorun kontrolünü sağlayacak kontrol devresi tasarlanmıştır. Son olarak, bu üç farklı sürücü devre modeli ile çalıştırılan motorun faz akımı, momenti, moment dalgalanması, Toplam Harmonik Bozulma (THB) gibi çıkış parametreleri belirlenip karşılaştırılmıştır.

Çizelge 1: Motor parametreleri.

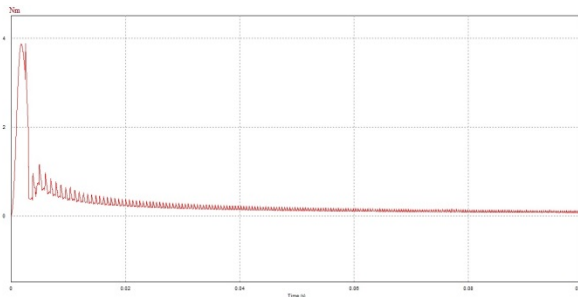
Faz sayısı	3
Stator kutup sayısı	6
Rotor kutup sayısı	4
DC Gerilim[V]	200
Maksimum endüktans [mH]	88
Minimum endüktans [mH]	1,8
Adım açısı [°]	30

4.1. Asimetrik Köprü Çevirici Benzetim Sonuçları

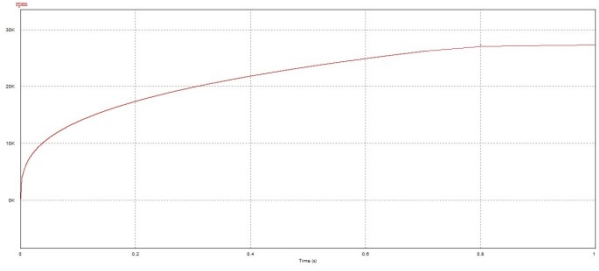
ARM'nun kararlı halde çalışmaya 0,8 – 1 sn arasında oturduğu gözlemlendi. Kararlı çalışma süresi boyunca, 27351 min^{-1} hızda ortalama faz akımı değeri, I_{ort} 0,346 A, maksimum akım değeri, I_{maks} 0,584 A ve ortalama moment değeri, M_{ort} 0,0511 Nm'dir. Akım yükselme süresi, t_y 0,1 ms ve düşme süresi, t_d 0,19 ms olduğu görüldü. Anahtarlamalı relüktans motorunun temel problemlerinden biri olan moment dalgalanması ise yaklaşık %8,5 olarak hesaplandı. Ayrıca, meydana gelen THB ise 0,138'dir. Bu sürücü devresinin benzetimine ait çalışma grafikleri Şekil 7, Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmektedir. Şekil 10'da ise A fazına ait akımın, Fourier analizi verilmektedir.



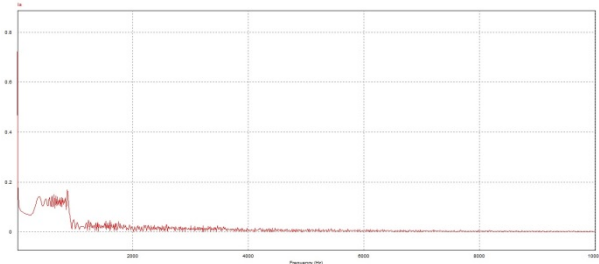
Şekil 7: Asimetrik çevirici 3 faz akım-zaman grafiği.



Şekil 8: Asimetrik çevirici moment - zaman grafiği.



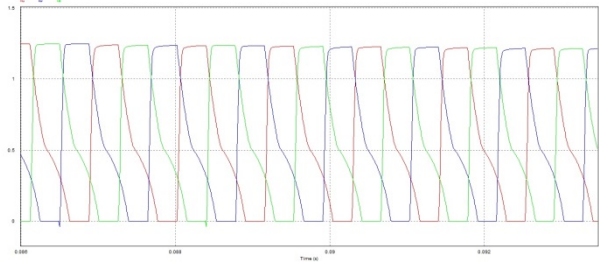
Şekil 9: Asimetrik sürücü hız-zaman grafiği.



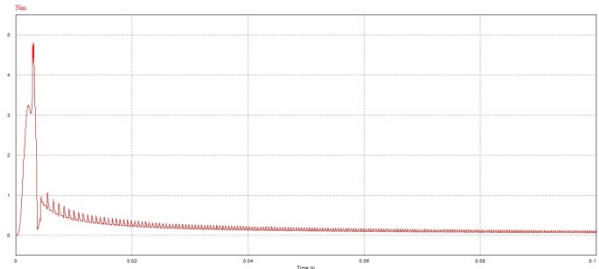
Şekil 10: Asimetrik sürücü Fourier analizi.

4.2. R-Dump Çevirici Benzetim Sonuçları

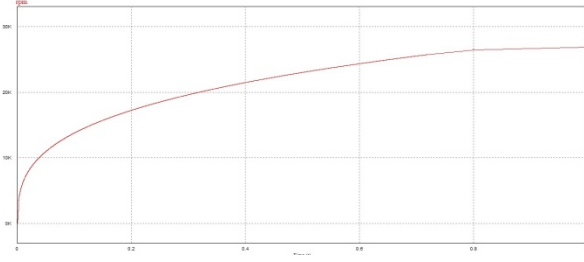
Devrede yer alan R direnci ve C kondansatörünün değerleri ise sönümlenme faktörü formülü yardımıyla hesaplanmıştır. R ve C değerleri hesaplamalarında, $R_f=0,615\Omega$, $C_f=16\mu\text{F}$ ve $L_f=133\mu\text{H}$ değerler referans olarak alındı. Yapılan hesaplamaları sonucu elde edilen değerler ile çalıştırılan R-Dump çevirici devresinin kararlı hal süresince, 26556 min^{-1} hızda ortalama faz akımı değeri, I_{ort} 0,444 A, maksimum akım değeri, I_{maks} 0,614 A ve ortalama moment değeri, M_{ort} 0,0532 Nm'dir. Akım yükselme süresi, t_y 0,1 ms ve düşme süresi, t_d 0,33 ms olduğu görüldü. Momentinde meydana gelen dalgalanma ise yaklaşık %13 olarak hesaplandı. Ayrıca, meydana gelen THB ise 0,126'dır. Bu sürücü devresinin benzetimine ait çalışma grafikleri Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'de gösterilmektedir. Şekil 14'de ise A fazına ait akımın, Fourier analizi verilmektedir.



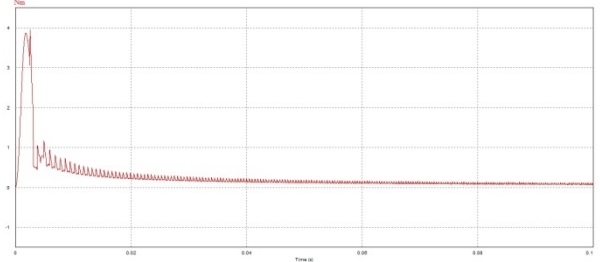
Şekil 11: R-Dump çevirici üç faz akım-zaman grafiği.



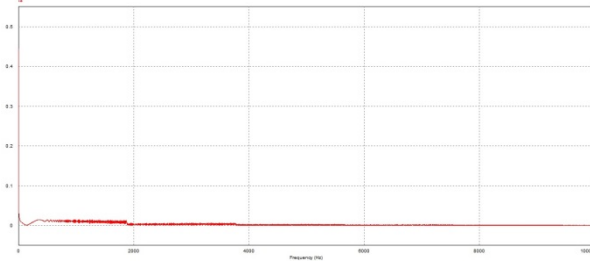
Şekil 12: R-Dump çevirici moment - zaman grafiği.



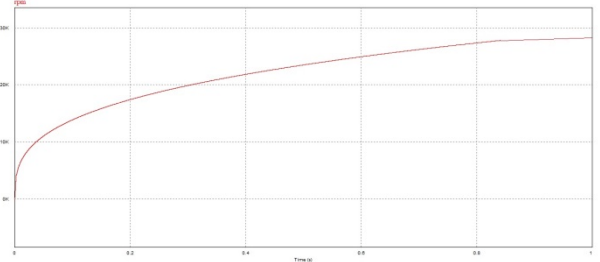
Şekil 13: R-Dump çevirici hız-zaman grafiği.



Şekil 16: Seri pasif çevirici moment - zaman grafiği.



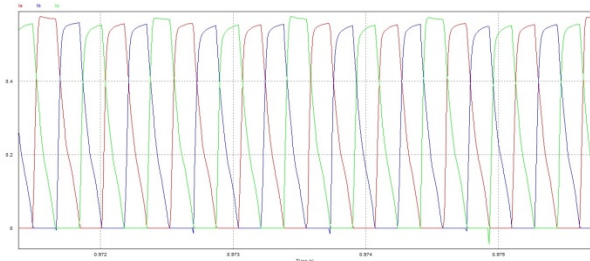
Şekil 14: R-Dump çevirici Fourier analizi.



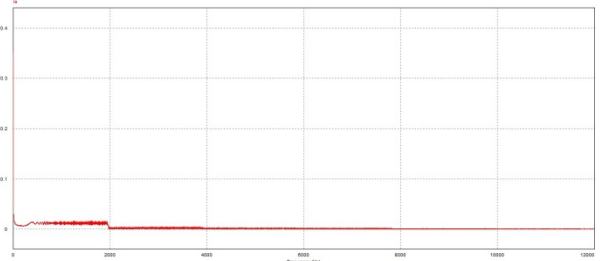
Şekil 17: Seri pasif çevirici hız-zaman grafiği.

4.3. Seri Pasif Çevirici

Devredeki kondansatörün değeri başlangıçta $680\mu\text{F}$ olarak alınıp devre çalıştırıldı Daha sonra bu değer farklı aralıklarla azaltılarak devrenin çalışmasında meydana getirdiği değişimler incelendi ve $55\mu\text{F}$ bu sürücü devresinin çalışabilmesi için yeterli kapasite değeri olarak belirlendi. $55\mu\text{F}$ 'tan daha düşük değerler girildiğinde motorun çalışmaya başladığı ilk anda çektiği akımın çok yüksek olduğu gözlemlendi. Ayrıca $55\mu\text{F}$ ile $680\mu\text{F}$ arası değerler denendiğinde ortalama faz akımı ve ortalama moment değerleri neredeyse aynı iken akımın yükselme ve düşme süreleri bakımından farklılıklar olduğu belirlendi. $680\mu\text{F}$ değeri için devrenin faz akımının yükselme süresi $0,1\text{ms}$ ve düşme süresi $0,2\text{ms}$ iken, $55\mu\text{F}$ değeri için faz akımının yükselme süresi $63\mu\text{s}$ ve düşme süresi $0,18\text{ms}$ olarak kaydedildi. Tüm bunlara bağlı olarak C_2 kondansatörünün değeri $55\mu\text{F}$ seçildi. Belirlenen değerleri ile çalıştırılan Seri Pasif çevirici devresinin kararlı hal süresince, 27587 min-1 hızda ortalama faz akımı değeri, $I_{\text{ort}} 0,351$ A, maksimum akım değeri, $I_{\text{maks}} 0,628$ A ve ortalama moment değeri, $M_{\text{ort}} 0,0551$ Nm'dir. Akım yükselme süresi, $t_y 63$ μs ve düşme süresi, $t_d 0,18$ ms olduğu görüldü. Momentinde meydana gelen dalgalanma ise yaklaşık %3,5 olarak hesaplandı. Ayrıca, meydana gelen THB ise $0,131$ 'dir. Bu sürücü devresinin benzetimine ait çalışma grafikleri Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17'de gösterilmektedir. Şekil 18'de ise A fazına ait akımın, Fourier analizi verilmektedir.



Şekil 15: Seri pasif çevirici 3 faz akım-zaman grafiği.



Şekil 18: Seri pasif çevirici Fourier analizi.

5. Sürücü Devrelerinin Karşılaştırılması

Bu bölümde benzetimleri gerçekleştirilmiş olan Asimetrik Köprü, R-Dump ve Seri Pasif Çevirici ile modellenmiş bu üç sürücü devresinin çıkış parametrelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Benzetimleri yapılan üç sürücü devresine ait benzetim sonuçları Tablo 2'de yer almaktadır.

Anahtarlamalı relüktans motorunun temel sorunlarından biri olan moment dalgalılığı göz önüne alındığında Tablo 2'den anlaşılacağı üzere en iyi sürücü devre modeli, temeli asimetrik köprü çeviriciden gelen seri pasif çeviricidir. Ancak THB bakımından karşılaştırıldığında ise R-Dump çevirici en iyi sürücü devre modelidir. Verimler göz önünde alındığında ise R-Dump devresi içerdiği direnç elemanından dolayı verimi en düşük olan devre modelidir. Her uygulama için ideal sürücü devre modelinin farklılık gösterebileceği buradan anlaşılmaktadır. Örneğin, hassas moment kontrolü gerektirmeyen düşük hızlı ve performanslı uygulamalarda R-Dump sürücü modeli uygun olabilirken, hassas moment kontrolü ve yüksek verim gerektiren yüksek performanslı uygulamalarda, büyük güçlü sürücülerde hızlı demanyetize olabilen asimetrik ve seri pasif sürücü modeli ideal olmaktadır. Uçak-uzay uygulamaları hassas kontrol gerektiren uygulamalar olduklarından Asimetrik çevirici devreleri en ideal devre modelleridir.

Çizelge 2: Farklı sürücü devrelerine ait benzetim sonuçlarının karşılaştırılması.

	Maks. Faz akımı I_{maks} [A]	Ort. Faz akımı I_{ort} [A]	Ort. Moment M_{ort} [Nm]	Hız n [d/dak]	THB	Moment dalgalılığı [%]	Akım yükselme süresi t_y [ms]	Akım düşme süresi t_d [ms]
Asimetrik	0,584	0,346	0,0511	27351	0,138	8,5	0,1	0,19
R-Dump	0,614	0,444	0,0532	26556	0,126	13	0,1	0,33
Seri Pasif	0,628	0,351	0,0551	27587	0,131	3,5	0,063	0,18

6. Sonuç

Bu çalışmada 3 fazlı 6/4 kutuplu bir anahtarlamalı relüktans motorunun yapısı, çalışması ve motora ait sürücü devre modelleri incelenip PSIM Benzetim programı ile Asimetrik, R-Dump ve Seri Pasif isimli üç farklı sürücü devre modelinin benzetimleri yapılmıştır. İncelenen devrelerde anahtarlama elemanı olarak npn transistörler kullanılmıştır. Yapılan benzetimler sonucu bu üç farklı sürücü devre modeli ile çalıştırılan motora ait faz akımı, momenti, moment dalgalanması, Toplam Harmonik Bozulması gibi çıkış parametreleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca motora ait farklı sürücü devre modellerinin avantaj ve dezavantajları da incelenmiştir. Çalışma boyunca incelenen ve benzetimleri yapılan sürücü devre modellerine ait karşılaştırma Tablo 3'de verilmiştir.

Çizelge 3: Sürücü devre modelleri arasında karşılaştırma.

Özellikler	Asimetrik	R – Dump	Seri Pasif
Faz bağımsızlığı	Tam	Tam	Tam
Serbest dolaşım	Var	Var	Var
Eleman sayısı	2N	N	2N
Kontrol	Basit	Basit	Basit
Performans	İyi	Zayıf	İyi
Verim	Yüksek	Düşük	Yüksek

Tablodan anlaşılacağı üzere dört bölgede çalışan bir ARM için en rahat ve kullanışlı sürücü devre modeli asimetrik ya da temeli asimetrik çevirici olan seri pasif çeviricidir. Makinanın her fazının kontrolünün birbirinden bağımsız gerçekleştirilebilmesi, devrede meydana gelen herhangi bir hata durumunda motorun çalışmaya devam edebilmesi, veriminin yüksek olması gibi özellikleri asimetrik çeviriciyi ideal kılmaktadır.

Her ne kadar asimetrik sürücü en ideal sürücü modeli olarak belirtilse de farklı uygulama alanları için farklı sürücüler ideal olabilmektedir. ARM için sürücü modeli belirlemeden önce motorun işletme durumundaki özellikleri çok iyi bilinmelidir ve bunlar göz önüne alınarak sürücü seçilmelidir.

7. Kaynaklar

- [1] **Dursun, M., Özden, S.**, 2008, “Değişken Hızlı Sürücülü ve Bulanık Mantık Denetimli Bir Anahtarlamalı Relüktans Motorun Asansör Tahrikinde Benzetimi ve Uygulanması”, Politeknik Dergisi, Cilt 11, Sayı 2, Syf 129-137.
- [2] **Ganguli, S.**, 2011, “Pspice Analysis of R-Dump Converter For Switched Reluctance Motor Drives”, Journal of Engineering Research and Studies, Vol. 2.

- [3] **Kim, J., Krishnan, R.**, 2009, “Single-Controllable-Switch-Based Switched Reluctance Motor Drive For Low-Cost Variable - Speed Applications,” Energy Conversion Congress on 20-24 Sep. 2009, pp. 2535-2542.
- [4] **Krishnan, R.**, 2001. “Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design and Applications, CRC Press, 2001.
- [5] **Liang, J., Lee, D.H., Xu, G., Ahn, J.W.**, 2010, “Analysis of Passive Boost Power Converter for Three-Phase SR Drive”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 57, No. 9, pp. 2961-2971.
- [6] **Mahmoud, S.M., El-Sherif, M.Z., Abdel-Aliem, E.S., Nashed, M.N.F.**, 2013, “Studying Different Types of Power Converters Fed Switched Reluctance Motor”, International Journal of Electronics and Electrical Engineering, Vol.1, No.4, pp.281-289.
- [7] **Sindhuja, S., Susitra, D.**, 2013, “Design of a Novel High Grade Converter for Switched Reluctance Motor Drive Using Component Sharing,” International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability on 10–12 Apr. 2013, pp. 1174-1178.
- [8] **Soares, F., Branco, P.J.C.**, 2001, “Simulation of 6/4 switched reluctance motor based on matlab/simulink environment”, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 37, No.3, pp. 989-1004.
- [9] **Yılmaz, M.**, 2014, “Elektrik-Elektronik Mühendisliğinin Temelleri”, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [10] **Zadeh, A.D., Adib, E., Farzanehfard, H., Saghaian-Nejad, S.M.**, 2011, “New Converter for Switched Reluctance Motor Drive With Wide Speed Range Operation,” Second Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference on 16–17 Feb. 2011, pp. 473-477.