

AA Kıyıcı Beslemeli Bir Fazlı Asenkron Motor Hız Kontrolü

Zeynep Bala DURANAY, Hanifi GÜLDEMİR

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Elazığ
zbduranay@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 01.02.2018; Kabul/Accepted:08.06.2018)

Özet

Bu çalışmada darbe genişlik modülasyonlu Alternatif Akım (AA) kıyıcı beslemeli bir fazlı indüksiyon motorun Matlab/Simulink ortamında benzetimi yapılmıştır. AA kıyıcılar girişindeki sabit genlik ve frekanslı gerilimden değişken genlik ve frekansta gerilim elde edilebilen güç elektroniği devreleridir. Kıyıcı devresi içerisinde çeşitli sayılarda güç anahtarları bulunmakta ve bu anahtarların iletimde ve kesimde tutulma prensibine göre çalışmaktadır. Bu çalışmada iki anahtarlı AA kıyıcı devresi kullanılmıştır. AA kıyıcı devresinde kullanılan anahtarlama elemanlarına uygulanan işaretinin görev oranı değiştirilerek kıyıcı çıkışında elde edilen gerilimin etkin değeri değiştirilmiştir. AA kıyıcıya yük olarak bir fazlı bir asenkron motor bağlanmıştır. Kıyıcı anahtarlarının görev oranı değiştirilerek bir fazlı asenkron motora uygulanan gerilimin değeri değiştirilmiş ve bu gerilim değişimine bağlı olarak motor hızı ayarlanmıştır. Motor hız kontrolü kapalı çevrimli olarak yapılmış ve kontrolde PI denetleyici kullanılmıştır. Oluşturulan sistemin benzetimi yapılmış çeşitli referans hız değerleri için sonuçlar verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bir Fazlı Motor, AA Kıyıcı, Faz Kontrolü, Gerilim Kontrolü, Hız Kontrolü

AC Chopper Fed Single Phase Induction Motor Speed Control

Abstract

In this paper, Pulse Width Modulated (PWM) AC chopper fed single phase induction motor is simulated using Matlab/Simulink. AC choppers are the power electronic circuits which convert constant amplitude constant frequency input voltage to variable amplitude and frequency voltage. There are different numbers of power switches within the chopper circuits. It operates according to the switch on and switch off of these power switches. Two switch AC chopper is used in this study. By changing the duty ratio of the signal applied to the switching element in the AC chopper circuit, the effective value of the voltage obtained at the chopper output has been changed. A single-phase asynchronous motor is connected as the load to the AC chopper. By changing the duty ratio of the switches, the value of the voltage applied to the single phase asynchronous motor is changed and the motor speed is adjusted according to this voltage change. A closed loop speed control with PI controller is implemented. Simulations are done for various reference speed values and results are presented.

Keywords: Single-Phase Induction Motor, AC Chopper, Phase Control, Voltage Control, Speed Control

1. Giriş

Bir fazlı asenkron motorların hız ayarlı şekilde çalıştırılabilmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Basitliği, ucuzluğu sebebiyle en yaygın kullanılanı ise güç elektroniği elemanları kullanarak motora uygulanan gerilimin kontrol edilmesi yöntemidir [1-2]. Motora uygulanan gerilimin değiştirilmesi için bir oto transformatörü kullanılabilir [3] ancak, bu oto transformatörünün büyüklüğü, ağırlığı dikkate alındığında bu tip gerilim kontrol yöntemi pek de tercih edilmemektedir. Motora uygulanan gerilimin kontrolü için kullanılan diğer yöntem

motora uygulanan alternatif gerilimin ters paralel bağlı tristörler ya da triaklar gibi yarı iletken anahtarlar kullanılarak kısılması yöntemidir [4-6]. Faz açısı kontrolü yönteminde yüke giden güç, kaynak ve yük arasında bağlı olan triakın tetikleme açısının değiştirilmesi ile kontrol edilir.

Triak istenilen faz açısında ilettime geçirilerek kaynak geriliminin bir kısmının motora uygulanması sağlanır. Tristör ya da triyak kullanılarak yapılan faz kontrol yöntemi sürekli olmayan giriş akımı dalga şeklinin oluşmasına ve yüksek dereceden kaynak harmoniklerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır [1, 7]. Bu harmonikler ilave kayıplara

sebepler olmakta, motor güç faktörünü ve verimini düşürmekte ve aynı zamanda motorun dinamik davranışını da olumsuz etkilemektedir [8].

Darbe Genişlik Modülasyonlu (DGM) alternatif akım kıyıcılarının kullanılması ile çıkış gerilimi ve akımı sinüs formuna daha yakın olmakta ve harmonik içerik azalmaktadır [9]. Tristörler yerine güç MOSFET' i ve IGBT gibi güç anahtarlama elemanlarının kullanılması ile oluşturulan AA kıyıcılar ile tristörlü devrelerin olumsuzlukları ortadan kaldırılabilir [10-12].

Bir fazlı indüksiyon motorun hızı, AA kıyıcının anahtarlama elemanlarının görev sürelerinin bağlı olarak kıyıcı çıkış geriliminin değiştirilmesi ile kontrol edilebilmektedir. Yüksek frekanslarda çalışan darbe genişlik modülasyonlu alternatif akım kıyıcılarla düşük frekanslı harmonikler bastırılmakta [132] oluşan yüksek frekanslı harmonikler ise kullanılacak küçük boyutlu filtrelerle elimine edilebilmektedirler. Bir fazlı asenkron motorlar için darbe genişlik modülasyonlu alternatif akım kıyıcı kontrolör kullanılarak bu kontrolörün performans karakteristiklerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi [14]'de verilmiştir.

2. Alternatif Akım Kıyıcı

Genel olarak AA kıyıcıları sabit genlikli ve frekanslı alternatif gerilimi işleyerek çıkışında yine AA olarak veren güç elektroniği devreleridir.

Alternatif Akım kıyıcıları sabit frekanslı ve sabit genlikli şebeke geriliminden sabit veya değişken frekanslı ve genlikli bir gerilime ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılırlar. Bu devrelerle, sabit genlik ve frekanslı bir alternatif giriş gerilimi yüksek frekansta anahtarlanarak istenilen genlik ve frekanslı çıkış gerilimi elde edilmektedir. AA kıyıcılarla elde edilen gerilimler endüstriyel ısıtma, ışık kontrolü, motor yumuşak başlatma [15] ve motor gerilim kontrolü gibi uygulamalarda kullanılmaktadır.

AA kıyıcıların çoğu çıkış geriliminin genliğini kontrol etmek için kullanılan faz kontrollü devrelerdir. AA kıyıcılarında faz açısı kontrolü ve aç-kapa (on-off) kontrolü olmak üzere iki yöntem kullanılır. Faz açısı kontrolü yönteminde yüke giden güç, kaynak ve yük arasında bağlı olan tristör ya da triyakın tetikleme

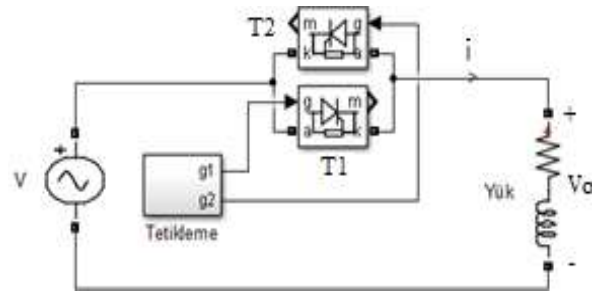
açısının değiştirilmesi ile kontrol edilir. İkinci yöntemde ise kıyıcıda kullanılan anahtarlar her bir yarım periyot içerisinde birkaç kez kapatılıp açılır. Oluşan bu darbelerin genişlikleri değiştirilerek çıkış gerilimi değiştirilir.

AA kıyıcılarda tristör, triak, IGBT gibi kontrollü anahtarlar kullanılarak sabit kaynak geriliminden ayarlanabilir AA gerilim elde edilmektedir. Bu çeviricilerin kalitesi, toplam harmonik bozulma ve giriş güç faktörü ile ölçülmektedir. Verimli bir çalışma için toplam harmonik bozulmanın mümkün olduğunca az olması, giriş güç faktörünün ise 1'e yakın olması gerekmektedir.

3. Faz Kontrollü AA Kıyıcı

Faz açısı kontrollü kıyıcı devresi, en basit hali Şekil 1' de görüldüğü gibi ters paralel bağlı iki tristörden oluşmaktadır. Yük ile kaynak arasında konan tristörlerin tetikleme açıları ayarlanarak kaynak geriliminin bir kısmının yüke uygulanması sağlanır ve böylece yük üzerindeki gerilimin etkin değeri değiştirilmektedir. Bu tip devre AA gerilim denetleyicisi olarak adlandırılmaktadır.

Omik yükte tristör üzerindeki gerilimin dalga şekli Şekil 2' de akım ve gerilim dalga şekilleri Şekil 3' de, endüktif yükteki çıkış dalga şekli ise Şekil 4' de verilmiştir.



Şekil 1. Tristör kontrollü AA kıyıcı

Omik yükte çıkış gerilimi ve dolayısıyla çıkış akımı yarım dalga simetrisine sahip olup, Doğru Akım (DA) bileşeni yoktur.

Kaynak gerilimi,

$$v_s = \sqrt{2}V \sin \omega t \quad (1)$$

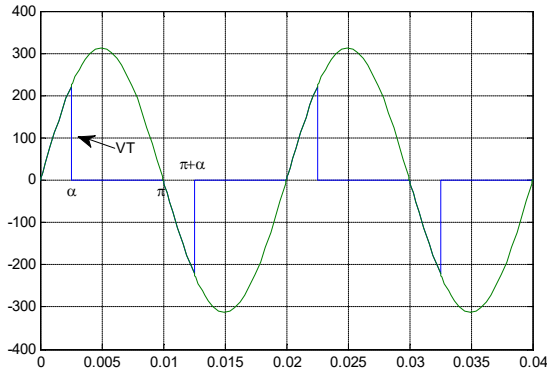
olarak alınıp, tristörün α açısında tetiklendiği varsayılırsa, çıkış geriliminin efektif değeri

$$V_o = \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} 2v_s^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}}$$

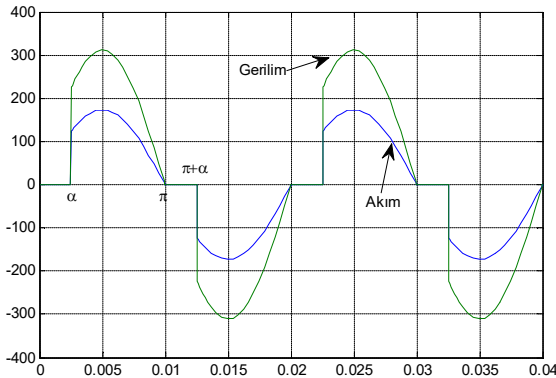
$$= v_s \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right]^{1/2} \quad (2)$$

olarak elde edilir.

Denklem 2 incelendiğinde, tetikleme açısı α 'nın 0 ile π arasında değiştirilmesi ile çıkış geriliminin de 0 ile v_s arasında değiştirilebileceği görülmektedir.

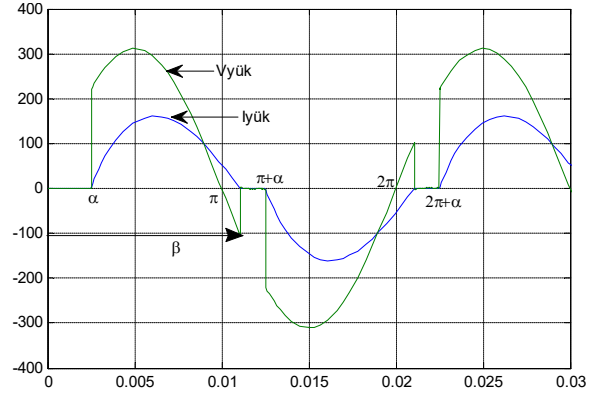


Şekil 2. Omik yükte kaynak ve T1 tristörü gerilimi



Şekil 3. Omik yükte çıkış gerilim ve akım dalga şekilleri

Yükün endüktif olması durumunda 0 ile π arasında T_1 tristörü doğru yönde polarlanmıştır. $\omega t = \alpha$ da T_1 tetiklendiğinde yük üzerinden akım akmaya başlar. $\omega t = \pi$ olduğunda yük üzerindeki gerilim ve kaynak gerilimi sıfır olmasına rağmen yükün endüktif özelliğinden dolayı akım sıfır olmayarak akmaya devam eder ve β açısında sıfıra ulaşır. T_2 tristörü $\omega t = \pi + \alpha$ da tetiklenir ve yük üzerinden ters yönde akım akmaya başlar.



Şekil 4. Endüktif yükte çıkış gerilim ve akım dalga şekilleri

Endüktif bir yük durumunda çıkış geriliminin etkin değeri,

$$V_o = \left[\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\beta} 2 V_s^2 \sin^2(\omega t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{V_s}{\pi} \left[\beta - \alpha + \frac{\sin(2\alpha)}{2} - \frac{\sin(2\beta)}{2} \right]^{1/2} \quad (3)$$

ile hesaplanabilmektedir.

Tristör tetikleme açısı α ile gösterilmiş olup çıkış frekansı giriş frekansı ile aynı değerdedir. Tristör içinden geçen akımın değeri ise

$$i = \begin{cases} L \frac{di}{dt} + Ri = \sqrt{2} V_s \sin \omega t & \alpha \leq \omega t \leq \beta \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilmekte olup yük açısının tetikleme açısından büyük ve küçük olma durumlarına bağlı olarak bu diferansiyel denklem çözülerek akım bulunabilmektedir [16].

Bu şekildeki faz kontrol yöntemi sürekli olmayan giriş akımı dalga şeklinin oluşmasına ve düşük dereceden kaynak harmoniklerinin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Anahtarlama anlarının yükün faz açısına bağımlı olması da yükün değişken olduğu durumlarda kontrolde güçlükler sebep olmaktadır. Harmonik içeriğinin yüksek olması ve tetikleme açısının hassas denetimini sağlayamaması bu devrenin olumsuz yönlerini oluşturmaktadır.

Bir AA kıyıcı devresi çift yönlü akım geçirebilen anahtarlar gerektirmektedir. Akımın yön değiştirmesi yani komütasyon olayı gerilim yükselmelerine sebep olabilmektedir.

Komütasyon olayı oldukça önemli olup, her iki anahtarın da kapalı olduğu anda alternatif bir akım yolu oluşturulmalıdır. Faz kontrollü devrelerde oluşan bu problemler, kıyıcı devresinde serbest dolaşım yolu eklenmesi ile iyileştirilebilmektedir.

Daha hassas kontrol imkanı sunması, çıkış gerilimi ve akımının sinüs formuna mümkün olduğunca yakın olması yani harmonik içeriğinin az olması darbe genişlik modülasyonlu alternatif akım kıyıcılarının kullanılması ile mümkün olmaktadır.

4. Darbe Genişlik Modülasyonlu Kontrol

Darbe genişlik modülasyonlu AA kıyıcıların performanslarını artırmak için kullanılan bir yöntemdir. Darbe genişlik modülasyonu, üretilecek olan darbelerin, genişliklerini kontrol ederek, çıkışta üretilmek istenen analog elektriksel değerin veya sinyalin elde edilmesi tekniğidir.

Darbe genişlik modülasyon tekniği, Şekil 5' de verilen en basit haliyle bir testere dişi sinyal ile bir referans gerilimin karşılaştırılması ile kontrol sinyali elde edilmektedir. Çıkış geriliminin kontrolü, referans gerilimin değiştirilmesi ile sağlanmaktadır. Genellikle sabit tutulan testere dişi sinyalin frekansı, anahtarlama veya kıyma frekansı olarak anılmaktadır.

Her bir yarım periyoddaki darbe genişliğinin ya da darbe sayısının artırılması, düşük dereceli harmoniklerin elimine edilmesi dolayısıyla güç faktörünün iyileştirilmesini sağlamaktadır.

Karşılaştırma işlemi sonunda çıkış gerilimi denklemi;

$$V_o = \begin{cases} V & V_{dc} > V_T \\ 0 & V_{dc} < V_T \end{cases} \quad (5)$$

olarak elde edilir.

Üretilen kare dalga darbe sinyallerinin genişliklerinin ortalaması, çıkışta üretilecek olan analog değerin elde edilmesini sağlar.

$$V_o = \frac{1}{T} \int_0^{t_1} f(t) dt = V \frac{t_1}{T} \quad (6)$$

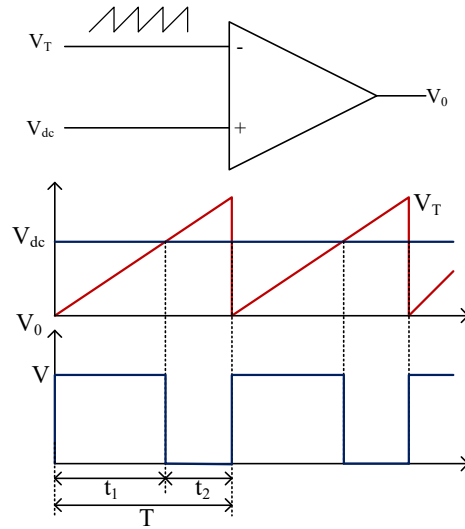
$$D = \frac{t_1}{T} \quad (7)$$

görev oranı olarak tanımlandığında, çıkış gerilimi,

$$V_o = V D \quad (8)$$

görev oranına bağlı olarak elde edilir.

Gerilimin kontrolü için çeşitli darbe genişlik modülasyon teknikleri kullanılmakta olup, bu teknikler içerisinde sinüzoidal darbe genişlik modülasyon tekniği en yaygın olup aynı zamanda harmoniklerin bastırılması için de kullanılmaktadır.



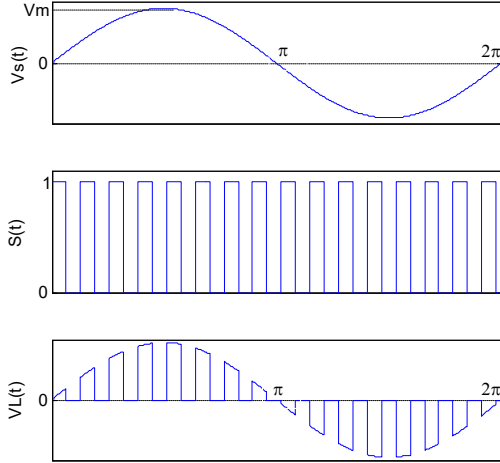
Şekil 5. Darbe genişlik modülasyon tekniğinin elde edilişi

5. Darbe Genişlik Modülasyonlu AA Kıyıcı

En basit şekliyle, darbe genişlik modülasyonlu kontrol tekniği Şekil 6' da görüldüğü gibi kaynak gerilimini yüksek frekansla kıyma temeline dayanmaktadır. Gerilim iki yönlü anahtarlarla kıyılarak anahtarlama elemanının görev oranı değiştirilerek yük akımı ve geriliminin etkin değeri değiştirilmektedir. Görev oranı ile yük akım ve gerilimi doğru orantılı olup, görev oranının artırılıp azaltılması yük üzerindeki gerilim ve yükten akan akımın artırılıp azaltılmasına sebep olmaktadır. Literatürde birçok darbe genişlik modülasyon tekniği bulunmaktadır [17-19]. Bu tekniklerin temel amacı çıkış geriliminin kontrolü yanında

harmoniklerin bastırılması ve güç faktörünün iyileştirilmesidir.

Kıyılmış gerilim, kaynak geriliminin Şekil 6' da görüldüğü gibi D görev oranlı ve ω_s anahtarlama frekanslı bir anahtarlama sinyali $s(t)$ ile çarpılmasıyla elde edilebilmektedir.



Şekil 6. Sinüzoidal işaretin darbe genişlik modülasyonlu kıyılması

Anahtarlama fonksiyonu $s(t)$ ' nin Fourier açılımı,

$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_s t + b_n \sin n\omega_s t) \quad (9)$$

Burada a_0 , ortalama değeri, a_n ve b_n ise Fourier katsayılarını, n harmonik derecesini ve ω_s ise anahtarlama frekansını belirtmektedir.

a_0 , a_n ve b_n katsayıları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$a_0 = \frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{t_1}{T} = D \quad (10)$$

$$a_n = \frac{1}{n\pi} \sin(n2\pi D) \quad (11)$$

$$b_n = -\frac{1}{n\pi} [1 + \cos(n2\pi D)] \quad (12)$$

Kaynak gerilimi,

$$v_s(t) = V_m \sin \omega t \quad (13)$$

olup, burada ω açılal frekans ve V_m ise kaynak gerilimi tepe değeridir.

Yük gerilimi kaynak gerilimi ile anahtarlama fonksiyonunun çarpımından elde edilmektedir.

$$v_L(t) = v_s(t) \cdot s(t) = V_m \sin \omega t \cdot s(t) \quad (14)$$

$$v_L(t) = a_0 V_m \sin \omega t + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n V_m (\cos n\omega_s t \cdot \sin \omega t) + b_n V_m (\sin n\omega_s t + b_n \sin \omega t)] \quad (15)$$

Bu ifadede yüksek frekanslı terimler filtre edildiğinde yük gerilimi kaynak frekansının temel bileşeni cinsinden ifade edilebilmektedir. Bu durumda,

$$v_L(t) = a_0 V_m \sin \omega t = D \cdot V_m \sin \omega t \quad (16)$$

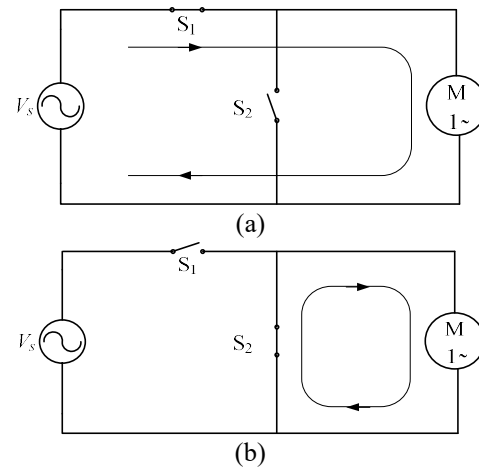
Yük geriliminin etkin değeri ise,

$$v_{Leff} = \frac{D \cdot V_m}{\sqrt{2}} \quad (17)$$

olmaktadır.

6. DGM Kontrollü AA Kıyıcı Beslemeli Bir Fazlı Motor Devresi

Şekil 7' de verilen darbe genişlik modülasyonlu kıyıcı devresi en basit şekliyle iki tane iki yönlü anahtardan oluşmaktadır.

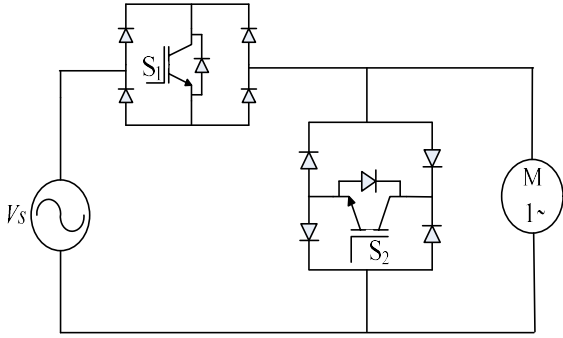


Şekil 7. Basit bir AA kıyıcı devresi ve akım yolları a)S₁ anahtarı kapalı b)S₂ anahtarı kapalı

Anahtarlardan bir tanesi yüke seri bağlı diğeri ise paralel bağlı durumdur. Seri bağlı S₁

anahtarları periyodik olarak yükü kaynağa bağlayıp kaynaktan ayırmakta ve bu şekilde gerilimi kıyarak yük üzerindeki gerilimi ayarlamaktadır. Yani S_1 anahtarları gerilimi kıyım için, S_2 ise S_1 açıldığında yük üzerinde birikmiş bulunan enerjinin deşarjı için yük akımının transferi, serbest dolaşım yolu için kullanılmaktadır.

Bir fazlı AA gerilim denetleyicisi, bir anahtar ve dört diyot kullanılarak Şekil 8’deki gibi düzenlenebilir. Dört diyot, köprü tipi doğrultucu gibi çalışmaktadır.



Şekil 8. İki anahtarlı AA kıyıcı devresi

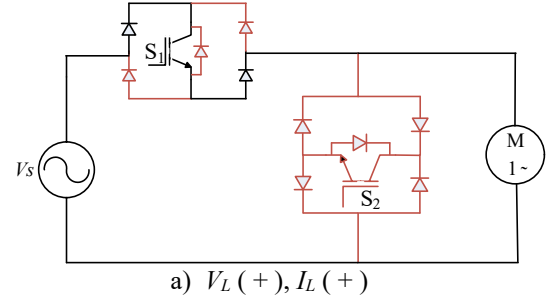
Devredeki köprü diyot ile anahtar yapısı iki yönlü anahtar gibi çalışmaktadır. Diyotlar anahtarlara ters gerilim uygulanmasını engellemektedir.

Pozitif yarım periyod süresince, S_1 anahtarı kapalı iken, yük akımı kaynaktan S_1 anahtarı üzerinden yüke doğru akar. Şekil 9-a bu modu göstermektedir. Bu mod süresince, güç bir fazlı indüksiyon motora aktarıldığından aktif mod olarak adlandırılmaktadır.

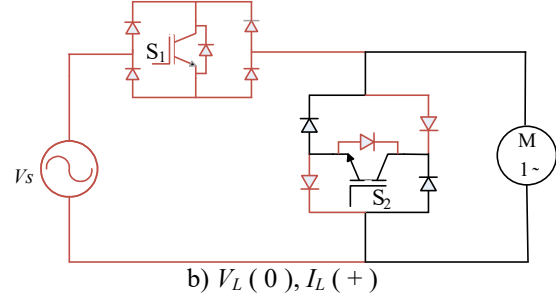
Pozitif yarım periyod süresince S_1 anahtarı açık olduğunda serbest dolaşım başlar. Yükte (sargıda) biriken enerji serbest dolaşır ve S_2 anahtarı üzerinden kendiliğinden söner. Şekil 9-b bu modu göstermektedir.

Negatif yarım periyod süresince, S_1 anahtarı kapalı iken yük akımı Şekil 9-c’de görüldüğü gibi kaynaktan, S_1 anahtarı üzerinden yüke doğru akar.

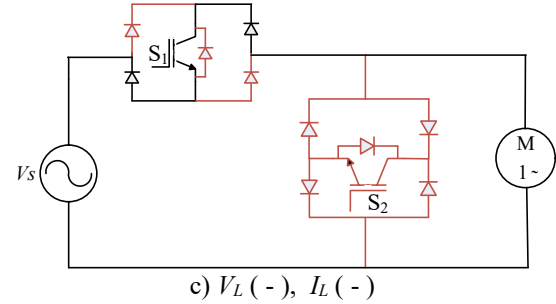
Negatif yarım periyod süresince S_1 anahtarı açık olduğunda serbest dolaşım başlar. Yükte (sargıda) biriken enerji serbest dolaşır ve Şekil 9-d’de görüldüğü gibi S_2 anahtarı üzerinden yük üzerinde harcanır.



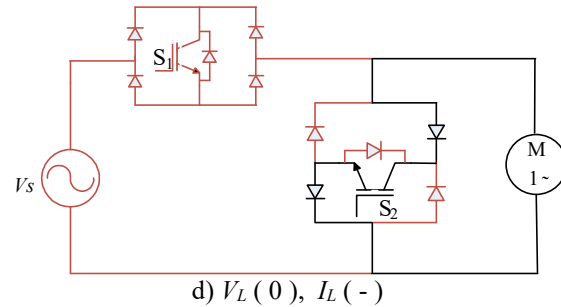
a) $V_L (+), I_L (+)$



b) $V_L (0), I_L (+)$



c) $V_L (-), I_L (-)$



d) $V_L (0), I_L (-)$

Şekil 9. AA kıyıcı çalışma modları

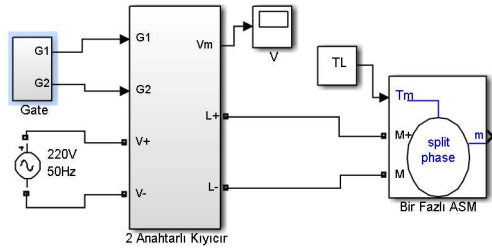
7. Benzetim Çalışması

Darbe genişlik modülasyonlu iki anahtarlı alternatif akım kıyıcı beslemeli indüksiyon motor Matlab/Simulink modeli Şekil 10’da verilmiştir. Yük olarak bir fazlı indüksiyon motor kullanılmıştır. Burada kullanılan motor 220V, 4 kutuplu, 1 HP, kondansatör başlatmalı ve çalıştırılmalı bir fazlı motordur.

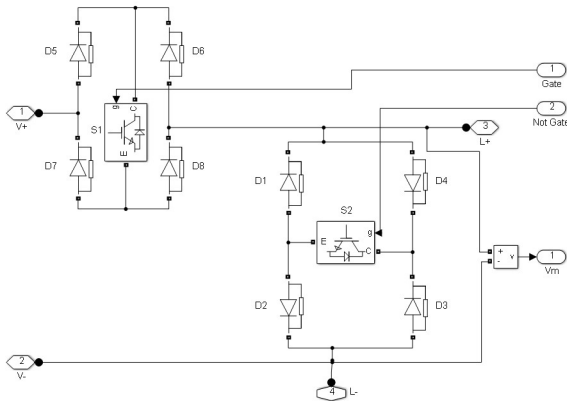
AA kıyıcı Matlab/Simulink modeli Şekil 11’de verilmiştir. Anahtarlara uygulanan işaretlerin

görev oranı değiştirilerek motora uygulanan gerilimin efektif değeri değiştirilmiş ve buna bağlı olarak da motor hızı incelenmiştir.

Devredeki anahtarların anahtarlama düzeni kaynak geriliminin polaritesi ve yük akımı dikkate alınarak belirlenmektedir. Akımın yönüne bağlı olmadan her durumda yük akımının sürekliliği sağlanacak şekilde bir anahtarlama düzeni kullanılmalıdır. Böyle bir anahtarlama düzeni Tablo 1’ de verilmiştir.



Şekil 10. AA kıyıcı bir fazlı indüksiyon motor Simulink modeli



Şekil 11. AA kıyıcı Simulink modeli

Tablo 1. Anahtarlama düzeni

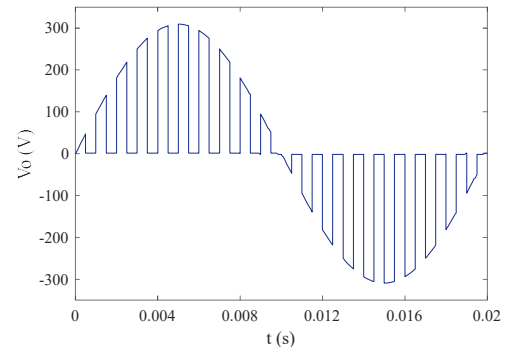
	S1	S2
$V_s > 0, I_L > 0$	1	0
$V_s < 0, I_L > 0$	0	1
$V_s < 0, I_L < 0$	1	0
$V_s > 0, I_L < 0$	0	1

Kaynak gerilimi ile yük akımı aynı polariteli olduğunda S1 kapalı S2 ise açık durumdadır. Kaynak gerilimi ile yük akımı farklı polaritelerde olduğunda S2 anahtarı kapalı S1 anahtarı açık durumdadır. Bu durumda yük akımının yönüne bağlı olmaksızın yük akımının sürekliliği sağlanmış olmaktadır.

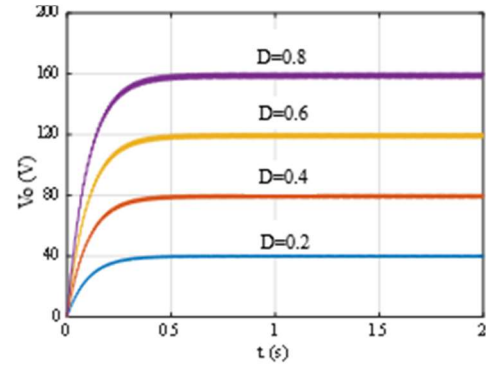
AA kıyıcı kullanarak elde edilen bir çıkış gerilimi örneği Şekil 12’ de verilmiştir. Burada

kıyılmış çıkış geriliminin rahat görülebilmesi için anahtarlama frekansı küçük tutulmuştur.

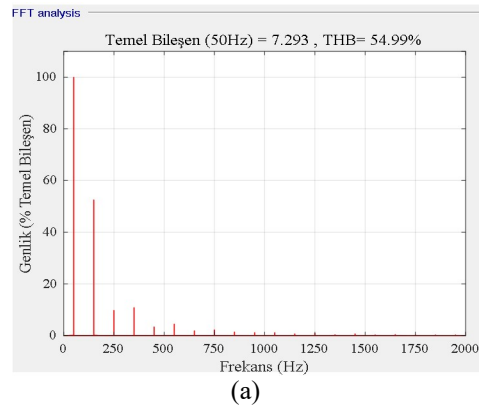
Anahtarlara uygulanan işaretin görev oranına bağlı olarak çıkış gerilimi efektif değeri de değişmektedir. Farklı görev oranlarında elde edilen çıkış gerilimi etkin değeri Şekil 13’de verilmiştir. Ters paralel bağlı tristörlü faz açılı kontrollü AA kıyıcı devresi ile iki anahtarlı AA kıyıcı devresi ile aynı yük beslenmiş ve elde edilen harmonik içerikler karşılaştırılmıştır. Her iki devreye ilişkin akım frekans spektrumu Şekil 14’ de verilmiştir.



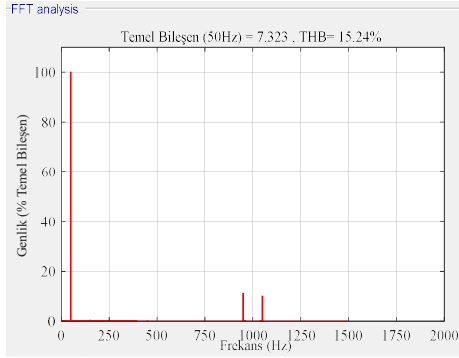
Şekil 12. Kıyılmış kaynak gerilimi (yük gerilimi)



Şekil 13. Farklı görev oranlarında çıkış gerilimi etkin değeri



(a)

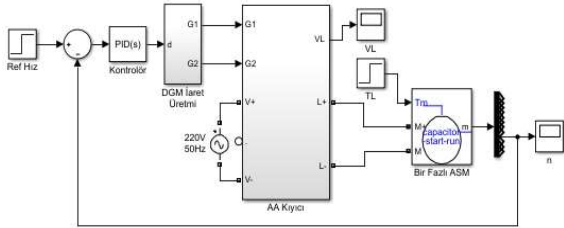


(b)

Şekil 14. Akım frekans spektrumu a) Ters paralel bağlı tristör b) İki anahtarlı kıyıcı

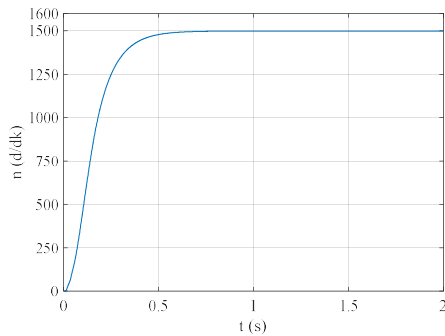
Harmonik spektrumdan da görüleceği üzere tristör kullanan kıyıcıda toplam harmonik bozulma %54.99 iken iki anahtarlı kıyıcı devresinde oluşan toplam harmonik bozulma ise %15.24 olmuştur.

Motor hızının kapalı çevrimli olarak kontrol edilebilmesi için oluşturulan Simulink programı Şekil 15’de verilmiştir.

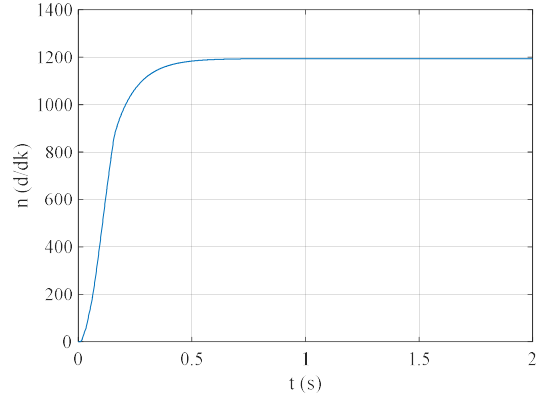


Şekil 15. Kapalı çevrimli hız kontrol sistemi

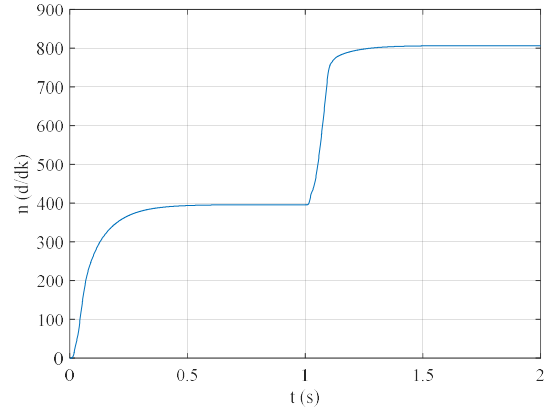
Kapalı çevrimli sistem değişik referans hızlarda çalıştırılarak benzetim sonuçları elde edilmiştir. Şekil 16’ de referans hız değeri motorun nominal hızı olan 1500 d/dk olarak alınmış, Şekil 17’da ise motor referans hız değeri 1200 d/dk olarak verilmiştir.



Şekil 16. 1500 d/dk’ lık referans hızda motor hız cevabı

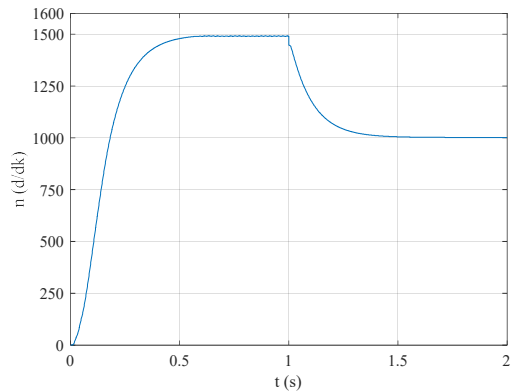


Şekil 17. 1200 d/dk’ lık referans hızda motor hız cevabı



Şekil 18. Referans hız değiştiğinde motor hız değişim cevabı

Motor 400 d/dk lık hızda dönerken $t=1s$ ’ de motor referans hızı 800 d/dk’ ya çıkarılmış ve elde edilen motor hızı Şekil 18’ de verilmiştir. Motor Nominal hızda 1500 d/dk ile dönerken referans hız değeri 1000 d/dk’ya düşürülmüş ve alınan cevap Şekil 19’ da verilmiştir.



Şekil 19. Adım hız değişikliğinde motor hız değişim cevabı

8. SONUÇ

Bir fazlı indüksiyon motora uygulanan gerilimin efektif değeri, darbe genişlik modülasyonlu AA kıyıcı devresinde kullanılan anahtarlama elemanlarına uygulanan anahtarlama işaretlerinin darbe genişlikleri değiştirilerek ayarlanabilmektedir. Kullanılan AA kıyıcı devresi iki tane iki yönlü güç anahtarı içermektedir. Bu yapının avantajı diğer AA kıyıcı yapıları ile karşılaştırıldığında az sayıda anahtarlama elemanı kullanıldığından daha kolay bir şekilde kontrol edilebilmesidir.

Bu çalışmada AA kıyıcı anahtarlama elemanına uygulanan işaretin görev oranı değiştirilerek motora uygulanan gerilimin etkin değeri değiştirilmiş ve buna bağlı olarak motorun hızının değiştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla oluşturulan Simulink benzetim programı ile kapalı çevrimli olarak bir fazlı asenkron motor değişik referans hız değerlerinde çalıştırılmış ve alınan sonuçlar verilmiştir. Alınan sonuçlardan AA kıyıcı anahtarlama işareti görev oranı değiştirilerek motorun hızının da değiştirildiği gösterilmiştir.

9. Kaynaklar

1. Paice, D.A. (1968). Induction motor speed control by stator voltage control. *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, **2**: 585-590.
2. Saracoglu, B., Kale, M., Ozdemir, E. (2004). A novel technique for optimal efficiency control of induction motor fed by PWM IGBT AC chopper. *IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conf. (PESC 04)*, **5**: 3353-3358.
3. Bruce, F.M., Graefe, R.J., Lutz, A., Panlener, M.D. (1984). Reduced-voltage starting of squirrel-cage induction motors. *IEEE Trans. on Industry Applications*, **IA-20 (1)**: 46-55.
4. Sastry, V.V., Prasad, M.R., Sivakumar, T.V. (1997). Optimal soft starting of voltage-controller-fed IM drive based on voltage across thyristor. *IEEE Trans. on Power Electronics*, **12 (6)**: 1041-1051.
5. Yildirim, D., Bilgic, M. (2008). PWM AC chopper control single-phase induction motor for variable speed fan application. *Annual Conf. of IEEE Ind. Electronics*, **1 (1)**: 1337-1342.
6. Sriram, C., David, V., and Rao, J. (2015). Simulation design, control and analysis of induction motor based AC chopper. *International Electrical Engineering Journal (IEEJ)*, **6 (2)**:1771-1779.
7. Longya, X. (1992). Dynamic model of an integral-cycle controlled single-phase induction machine. *IEEE Trans. Energy Convers.*, **7 (4)**: 761-767.
8. Mazuccheli, M., Puglisi, L., Sciutto, G., Tenti, P. (1982). Improving the performance of AC:AC static converters with high frequency AC chopper control. *Proceedings of Powercon'9 Conference*, **1 (3)**: 1-9.
9. Hongxiang, Y., Min, L., Yancho, J. (2004). An advanced harmonic elimination PWM technique for AC choppers. *35th Annual IEEE Power Electronics Specialist's Conf.*, 161-165.
10. Ahmed, N.A., Amei, K., Sakui, M. (1999). A new configuration of single-phase symmetrical PWM AC chopper voltage controller. *IEEE Trans. on Indus. Electronics*, **46 (5)**: 942 – 952.
11. Hunyar, ., Veszpremi, K. (2001). Pulse width modulate IGBT AC chopper. *Proceedings of Periodical Polytechnica Ser. Electrical Eng.* **45 (3-4)**: 159 – 178.
12. Kmar, P. S., Mahendar, B., and Sruthi, M. (2014). Design and implementation of AC chopper. *Int. J. Emerg. Eng. Res. Technol*, **2(1)**: 36-41.
13. Choe, G.H., Wallace, A.K., Park, M.H. (1989). An improved PWM technique for AC choppers. *IEEE Trans. Power Electronics*, **4**: 496 – 505.
14. Nabil A. Ahmed, Kenji Amei, Masaaki Sakui, (2000). AC chopper voltage controller-fed single-phase induction motor employing symmetrical PWM control technique. *Electric Power Systems Research*, **55**: 15-25.
15. Thanyaphirak, V., Kinnares, V., Kunakorn, A. (2013). Soft starting control of single-phase induction motor using PWM AC chopper control technique. *2013 International Conference on Electrical Machines and Systems*, 26-29.
16. Hart, D.W., (2011). *Power Electronics*, Mc Graw Hill.
17. Zigirkas, G., Kalomiros, J. (2016). Voltage control of single-phase induction motors using asymmetrical PWM and fuzzy logic. *5th International Conference on Modern Circuits and Systems Technologies (MOCAST)*, 1-4.
18. Rao, S.S., Shailaja, N. (2005). Improving voltage regulation and harmonic elimination using genetic algorithm in PWM choppers. *IEEE Conference on International Telecommunication Energy (INTELEC'05)*, 449-454.
19. Bilgin, M.Z., Kılıcarıslan, U. (2010). Voltage harmonic elimination of PWM AC chopper using artificial neural network. *ELECO'2010*, 173-178.