



GÜNEŞ ENERJİSİ İLE ÇALIŞAN BİR SULAMA SİSTEMİ İÇİN BOOST KONVERTÖRLÜ ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR SÜRÜCÜSÜ

Mahir DURSUN*, Ali SAYGIN

Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü, ANKARA

ÖZET

Bu çalışmada güneş enerjisi ile çalışan 300W gücündeki 3 fazlı 12/8 kutuplu bir anahtarlamalı relüktans motor için boost konvertör tasarlanmıştır. Tasarlanan konvertör sistemden maksimum verim elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Bu sürücü sistemi sulama sistemindeki santrifuj su pompasının sürülmesinde kullanılmıştır. Ayrıca, tasarlanan sürme sistemi ile ilk hareket anındaki darbe akımları önlenmiştir. Sürücü sisteminde düşük maliyetli ve yeterli performansa sahip bulunan PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjili sulama sistemi, Anahtarlamalı relüktans motor, Santrifuj pompa, Boost Konvertör, Verim.

A SWITCHED RELUCTANCE MOTOR DRIVER WITH BOOST CONVERTER DESIGNED FOR A PHOTOVOLTAIC ARRAY IRRIGATION SYSTEM

ABSTRACT

In this study, a boost converter was designed to drive a 300W, three phase, 12/8 poles SRM supplied by a photovoltaic source. The designed converter has been used to obtain maximum efficient from the system. This driver system has been used to drive a centrifugal pump for irrigation. Beside by using drive this system, stroke current has been disabled during the start up of the by pump motor. PIC16F877 microcontroller was used in drive system due to its low cost and superior performance.

Keywords: Photovoltaic array irrigation system, Switched reluctance motor, Centrifugal pump, Boost converter, Efficiency.

1. GİRİŞ

Tarımsal amaçlı pompa sürme sistemlerinde elektrik enerjisinin bedelsiz temini, sistemin enerji nakil hattından çok uzakta olması yada enerji naklinin mümkün olmaması, rüzgar enerjisinde olduğu gibi hareketli parçasının olmaması nedeniyle sık bakım gerektirmemesi ve yaklaşık otuz yıl bakım gerektirmeden kullanılabilmesi gibi nedenlerle güneş enerjisi (GE) kaynağı tercih edilmektedir[1].

GE kaynağından beslenen klasik bir sulama sistemi; güneş paneli, pompa, batarya grubu, gerilim regülatörü, frekans invertörü ve asenkron motordan oluşur. GE kaynağından beslenen su pompalama sistemleri genel olarak diğer pompalama sistemlerine benzemekle birlikte, sistemin verimini ve kararlılığını sağlamak için bazı ilave denetim ve depolama ünitelerine ihtiyaç duyarlar[2].

Güneş enerjili bir sulama sisteminin verimi; motor verimi, uygun büyüklük, motor denetim tipi (başlatma/durdurma ve hız denetimi), güç kaynağının kalitesi, elektromekanik enerji dönüşüm sistemi, malzemenin kalitesi, kullanılan devrenin verimi ve sürücü ile yükün hız-moment karakteristiği ile pompanın debi-moment talebi arasındaki uyum ile de yakından ilgilidir[3]. Bu sistemlerde sürücü ve pompa arasındaki moment hız karakteristiğinin uyumsuzluğu, kullanılan sürücünün güneş enerji sistemlerine uygun olmaması ve ilave devreler gerektirmesi nedeniyle enerjinin önemli bir bölümü, boşa gitmektedir[4-6]. Ayrıca sürücünün beslediği enerjinin kalitesi de bu verimi etkilemektedir.

GE kaynaklı sulama sistemlerinin verimini artırmak için son yıllarda çeşitli tahrik sistemleri ve denetim teknikleri üzerinde durulmaktadır. Bunlar; genelde güneş izleyicisinin takip kalitesini artırmak, pompanın maksimum verim noktasında çalışmasını sağlamak, tahrik sistemindeki asenkron motorun momentinin ileri denetim teknikleriyle ayarlanması, klasik doğru akım (DA) motorunu gerilim artıran (boost) konvertörün çıkışından beslemek suretiyle motorun bakır kayıplarını azaltmak ya da fırçasız DA motoru kullanılarak verim artırılmaktadır[7-10]. Fakat, bu sistemlerde ilk hareket anında yüksek akım çekilmesi nedeniyle daha gereğinden daha büyük güçte güneş paneli kullanımı gerekir[11].

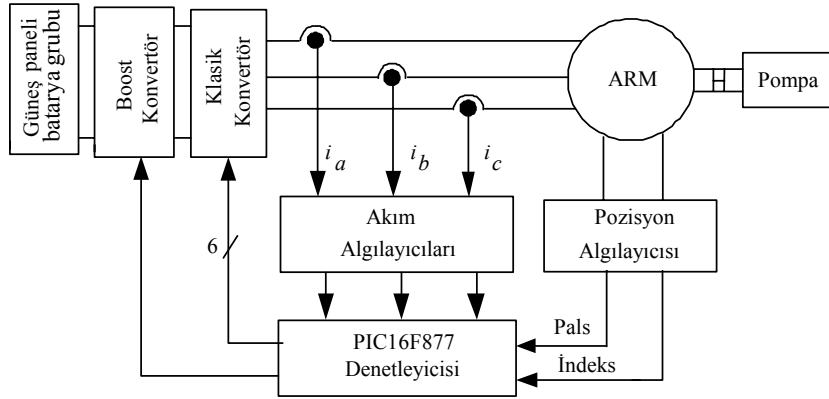
Anahtarlamalı relüktans motorlar (ARM) ise; yapıları oldukça basit, fiyatları verimleri ve ayarlanabilen hız, akım ve moment özellikleri nedeniyle değişken hızlı sürücüler için oldukça uygundur[12]. Son yıllarda özellikle değişken hızlı sürücülerde, elektrikli arabalarda, kompresör ve fanlarda, su pompalarında, çamaşır makinelerinde ve uzay endüstrisinde redüktöre ihtiyaç duyulmaksızın yüksek verimli olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu motorlar direkt DA ile çalıştırlarından güneş enerjisi ile çalışan asenkron motorlara göre daha uygundur. Fakat, yüksek verim ve yüksek performans elde etmek için iyi bir denetim devresine ihtiyaç duyarlar.

Bu motorun su pompalama sisteminde iyi bir performansa sahip olduğu bilinmesine rağmen, güneş enerjisi ile beslenerek sulama sisteminde kullanıldığında boost konverterden beslenmemişlerdir. Bu çalışmada ise, güneş enerjili bir tarımsal amaçlı sulama sisteminde 300 W gücündeki bir ARM, bir boost konvertör kullanılarak motor bakır kayıplarının azaltılmıştır. Ayrıca, klasik asenkron motor sürücülü sistemlerdeki DA-AA dönüşümündeki kayıplar önlenmiştir. Sistemde klasik DA motoru kullanımındaki fırça ve bakır kayıplarından, fırçasız DA motorundaki karmaşık denetim teknikleri ve pahalı motor kullanımından sakınılmıştır. Bunların yerine güneş enerjili sulama sistemleri için bir boost konvertörden beslenen ARM'nin denetiminde klasik konvertör kullanılarak hem motor bakır kayıpları azaltılmış hem de sürücü karakteristiği ile su pompasının hız-moment karakteristiğinin uyumlu hale getirilmesi ile sistem maliyetinin azaltılması, verimin ise artırılması amaçlanmıştır.

2. ARM İLE ÇALIŞAN BİR GÜNEŞ ENERJİLİ SULAMA SİSTEMİ

Tasarlanan ARM'li güneş enerjisiyle çalışan bir sulama sisteminin blok diyagramı Şekil 1.'de görülmektedir. Sistem; güneş paneli, batarya, gerilim seviyesini artırmak amacıyla kullanılan boost konvertör, ARM'nin sürülmesi

için kullanılan 3 fazlı bir klasik konvertör, ARM, konum algılayıcı, santrifuj pompa ve denetleyiciden oluşmaktadır[13,14].



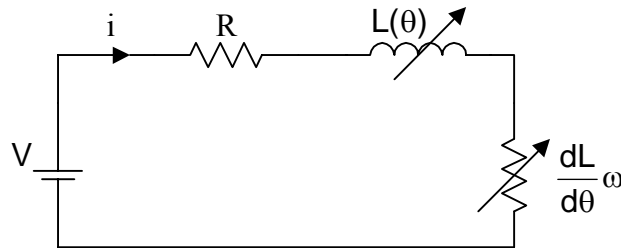
Şekil 1. Anahtarlamalı relüktans motorla çalışan güneş enerjili bir sulama sistemi.

Güneş enerjili sulama sistemlerinde kullanılan motorlar genellikle bir frekans konvertöründen beslenen asenkron motordur. Çeşitli DA motorları da kullanılmaktadır. Bunlardan klasik DA motorlarında fırçalardaki gerilim düşümü nedeniyle oluşan tork ve güç kayıpları, araştırmacıları fırçasız DA motorlarına yönelmiştir. Ancak bu motorların sürülmesinde vektör denetimi gibi karmaşık denetim tekniklerine ihtiyaç duyulması, sürülmesindeki zorluk ve moment denetiminin güçlüğü ve pompa karakteristiğine benzetiminin zorluğu nedeniyle kullanımı yaygınlaşmamıştır. Bu nedenle DA ile beslenen, denetimi kolay, verimi yüksek, hız moment karakteristiği ise santrifuj pompanın karakteristiğine uygun olan ARM seçilmiştir. ARM'nin sürülmesinde PIC16F877 mikrodenetleyicisi ve klasik konvertör kullanılmıştır. Motor çalışma geriliminin yükseltilip akımının azaltılarak motor bakır kayıplarının azaltılması amaçlanmıştır. Bu nedenle, batarya grubundan alınan gerilimin değeri bir boost konvertör vasıtasıyla yükseltilmiştir. Boost konvertörün çıkışı motor faz akımlarının denetimini sağlayan klasik konvertörün girişine bağlanmıştır.

3. ANAHTARLAMALI RELÜKTANS MOTOR ve KONVERTÖR TASARIMI

3.1 Anahtarlamalı Relüktans Motorun Dinamik Denklemleri

ARM'lerde motor faz endüktası, rotor pozisyonu ve sargıdan geçen akıma bağlı olarak değişir. ARM'nin genel devre denklemi Eş. (1)'de verilmiştir. Şekil 2.'de ARM'nin bir fazı için eşdeğer devresi görülmektedir.



Şekil 2. ARM nin bir fazı için eşdeğer devre.

Eşdeğer devreden her bir faz için gerilim diferansiyeli Eş.(1),

$$V = Ri + \frac{d\psi(\theta, i)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada, V kaynak gerilimi, R stator sargı direnci, ψ manyetik akı, i faz sargı akımı, $M(\theta)$ karşılıklı endüktans, θ rotor pozisyon açısı, i' ilgili fazdan önce uyarılan sargı akımıdır. Doyum ihmal edildiğinde manyetik akı; $\psi = L(\theta, i)$ olduğundan Eş. (1) yeniden düzenlendiğinde,

$$V = Ri + \frac{dL(\theta, i)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (2)$$

olmaktadır. Burada $L(\theta, i)$ faz endüktansını göstermektedir. Eş. (2)'deki türevsel ifade parçalara ayrıldığında karşılıklı endüktans ihmal edilerek;

$$V = Ri + L(\theta) \frac{di}{dt} + i \frac{dL(\theta)}{dt} \quad (3)$$

şekline gelir. Karşılıklı endüktans değeri ihmal edildiğinde Eş. (3), Eş. (4) şekline gelir.

$$\frac{dL(\theta, i)}{dt} = \frac{dL(\theta, i)}{d\theta} \omega \quad (4)$$

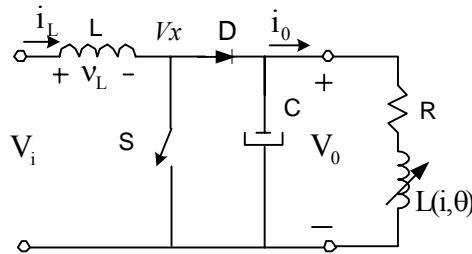
Aynı zamanda;

$$\frac{di}{dt} = \frac{di}{d\theta} \omega \quad (5) \text{ ve } V = Ri + L(\theta) \frac{di}{d\theta} \omega + i \frac{dL(\theta)}{d\theta} \omega \quad (6)$$

olmaktadır. Burada ω açısal hızdır [15].

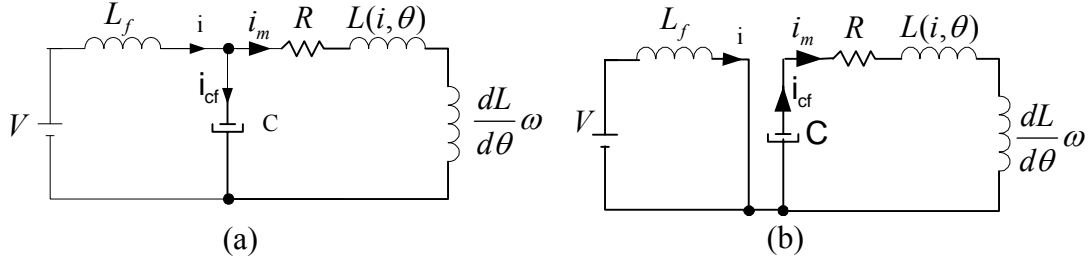
3.2 Boost Konvertör

Boost konvertörler giriş geriliminin değerini çıkışta artıran konvertörlerdir. Son yıllarda değişik tipte filtreleme ve denetim teknikleriyle doğru gerilimin seviyesini değiştirmek için pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Regüleli güç kaynakları, kesintisiz güç kaynakları ve DA motoru hız denetimi kullanım alanlarının başında gelir. Şekil 3.'de Boost konvertör ile anahtarlamalı relüktans motor bağlantı şeması görülmektedir. S anahtarı olarak 50 kHz anahtarlama frekansında çalıştırılan bir mosfet kullanılmıştır. Şekil 3.'deki devrede anahtar kapandığında D diyodu kesime gideceğinden, yük C kapasitörü üzerinden beslenir. Bu anda V_x gerilimi sıfırdır ve i_L akımı artar. Anahtar açıldığında ise kapasitör şarj olur. Çıkış geriliminin dalga şekli, filtre kapasitörü C 'nin değerine bağlıdır.



Şekil 3. Boost konvertör ile anahtarlamalı relüktans motor bağlantı şeması.

Şekil 4.a'da Boost konvertör anahtarının açık olma durumunda motor bir fazının eşdeğer devresi görülmektedir. Bu durumda kaynaktan çekilen akım, kondansatör şarj akımı ve motor tarafından çekilen akımın toplamıdır. Şekil 4.b'de Boost konvertör anahtarının kapalı olma durumundaki eşdeğer devre görülmektedir. Bu durumda kaynak geriliminin tamamı giriş endüktansı üzerinde düşerken kaynaktan çekilen akım artmaktadır. Bu moda motor sargıları çıkış filtre kapasitörü tarafından beslenmektedir.



Şekil 4. Boost konvertör ve ARM birleşik devresi a) Anahtar açık b) Anahtar kapalı.

Şekil 4.'deki S anahtarı açıkken kaynaktan çekilen akım Eş. (8) ile gösterilir.

$$i = i_m + i_{cf} \quad (7)$$

Motor faz akımları pozisyona göre değişmektedir. Buna göre devrenin denklemini yeniden düzenlenirse motor faz akımlarının pozisyona göre değişimi Eş.(5)'deki karşılığı yerine konularak Eş. (8) ile, motor faz gerilimi ise boost konvertördeki filtre kapasitöründeki gerilimin zamana göre değişimi Eş. (9) ile temsil edilir.

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{V - V_c}{L_f} \quad (8)$$

$$\frac{dv_c}{d\theta} = \frac{i - i_m}{C} \quad (9)$$

Ka, Kb ve Kc motor fazları için birer sabit olmak üzere, Eş. (10), Eş. (11) ve Eş. (12) ile gösterilirse;

$$K_a = R + \omega(dL_a / d\theta) \quad (10)$$

$$K_b = R + \omega(dL_b / d\theta) \quad (12)$$

$$K_c = R + \omega(dL_c / d\theta) \quad (13)$$

olur. Motor ve konvertör elemanlarının tamamı durum uzay formunda;

$$\dot{X} = Ax + Bu \quad (14)$$

ile gösterilirse Eş. (15) elde edilir.

$$\dot{X} \begin{bmatrix} i \\ i_a \\ i_b \\ i_c \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{\omega L} \\ 0 & -\frac{K_a}{\omega L_a} & 0 & 0 & -\frac{1}{\omega L_a} \\ 0 & 0 & -\frac{K_a}{\omega L_a} & 0 & -\frac{1}{\omega L_b} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{K_a}{\omega L_a} & -\frac{1}{\omega L_c} \\ \frac{1}{\omega C} & -\frac{1}{\omega C} & -\frac{1}{\omega C} & -\frac{1}{\omega C} & -\frac{1}{\omega C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ i_a \\ i_b \\ i_c \\ V_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{1}{\omega L} \\ \frac{\omega L}{0} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot [V] \quad (15)$$

Anahtar kapalı iken; devrenin denklemi Eş. (16) ve Eş. (17) ile ifade edilir.

$$\frac{di}{d\theta} = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{-V_c}{L_f} \quad (16)$$

$$\frac{dv_c}{d\theta} = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{i_m - i}{C} \quad (17)$$

3.2.1 Boost Konvertörde Akım ve Çıkış Gerilimi

Boost konvertörde yük akımı (i_L), anahtarın iletimi (t_i) süresince artarak t_i süresi sonunda tepe (I_{max}) değerine ulaşır. Anahtar kesimde olduğu (t_k) süresinde de azalarak t_k süresi sonunda minimum (I_{min}) değerine ulaşır. Bu durum i_L Eş. (18) ile belirtilir.

$$I = \frac{T_s V_0}{2L} \cdot D(1-D)^2 \quad (18)$$

Çıkış gerilimi V_0 sabitken I_0 , D 'ye göre değişir. Ayrıca I maksimum değerine Eş. (18)'e göre $D = 0.5$ iken ulaşmaktadır.

$$I_{max} = \frac{T_s V_0}{8L} \quad (19)$$

Çıkış akımının tepe değeri Eş. (20) ile, giriş akımı Eş. (21)'e göre bulunur.

$$I_{o.tepe} = \frac{2}{27} \frac{T_s V_0}{L} = 0.074 \frac{T_s V_0}{L} \quad (20)$$

$$I = 4D(1-D) \cdot I_{o.tepe} \quad (21)$$

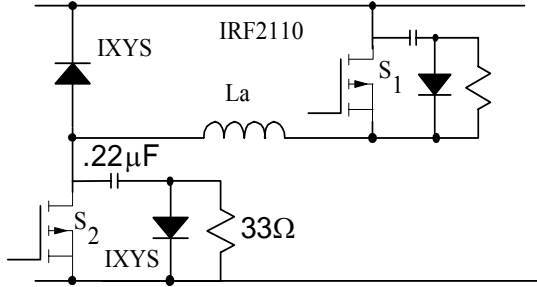
Çıkış gerilimindeki dalgalanma;

$$\Delta V_o = D \frac{T_s}{\tau} \quad (22)$$

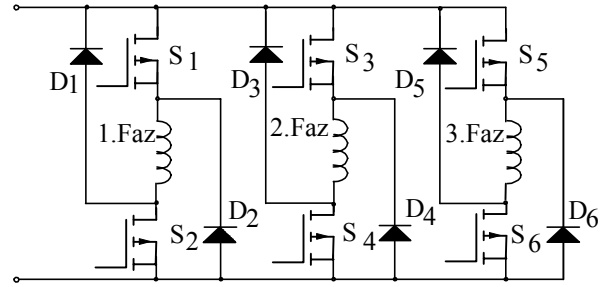
olur. Burada $\tau = RC$ olarak devrenin zaman sabitesidir [8].

3.2 Klasik Konvertör

ARM'nin çalışması klasik konvertör vasıtasıyla sağlanmaktadır. Şekil 5.'de Klasik konvertörün bir fazının koruma elamanlarıyla birlikte ARM'ye bağlantısı verilmiştir. Şekil 6.'da Klasik konvertör ve 3 fazının ARM'ye bağlantısı görülmektedir. Konvertörde ilgili faza akım verilmesi için faz sargısı ile seri bağlı bulunan her iki anahtar aynı anda iletme ve kesime geçirilmektedir. Fazın akımı kesilirken her iki anahtar kesime geçirilince faz sargısında depolanmış olan enerji kaynağa ya da bir sonraki faza aktarılmaktadır.



Şekil 5. Klasik konvertörün bir fazının koruma elamanları ile birlikte ARM'ye bağlantısı.



Şekil 6. Klasik konvertör ve 3 fazının ARM'ye bağlantısı.

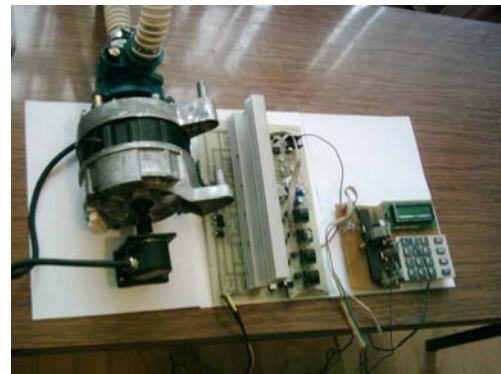
4. UYGULAMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

Tasarlanan sistem GE güç kaynağı, boost konvertör, ARM ve santrifuj pompadan oluşmaktadır. Uygulamada kullanılan ARM 3 faz, 12/8 kutuplu, 2,5 A, 120V, 300 W, $R=2.9\Omega$, $L_{min}=6.325\text{ mH}$, $L_{max}=59.375\text{ mH}$, 1000 d/d nominal hızlı, sürtünme katsayısı $B=0.0012$, eylemsizlik momenti $J=0.00027$ 'dir. Boost konvertör 69/120V'luktur.

Boost konvertörde gerilimin değeri, 10 kHz'lik anahtarlama frekansında kıyım yapılarak uygun değere getirilmektedir. Anahtarlama elemanı IRF2110 tipi bir mosfettir. ARM'de moment dalgalanmasını azaltmak için bir LC filtre konulmuştur. Filtre bobinin endüktansı 60 mH, kondansatörün değeri ise 250V, 1000 μF 'tır. Klasik konvertör devresi faz başına iki adet IRF2110 mosfet, IXYS600-12 hızlı toparlama diyotları ve koruma devrelerinden oluşmaktadır. ARM'nin çalışmasında motor miline bağlı bulunan 1024 pals/devir özelliğinde toplar (incremental) tip pozisyon algılayıcısı kullanılmıştır. Tasarlanan denetleyici iki adet PIC16F877, bir adet 2X16 LCD gösterge ve 16 tuşlu bir klavyeden oluşturulmuştur. Faz akımları LEM LTA25:SP1 tipi akım algılayıcıları ile algılanmıştır. Algılayıcılar 2.5A akım değerinde 2.5V çıkış gerilimi verecek şekilde ayarlanmıştır. Oluşturulan sistemde konvertörün görüntüsü Şekil 7.a'da, Konvertör, denetleyici, ARM ve pozisyon algılayıcısı ile birlikte oluşturulan tüm sistemin genel görünümü Şekil 7.b'de verilmiştir.



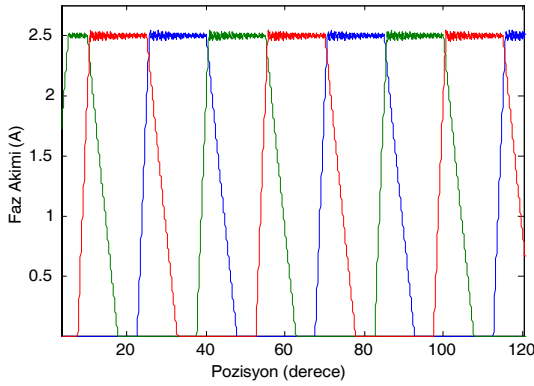
a)



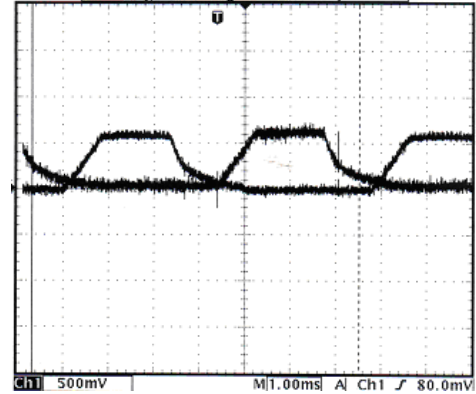
b)

Şekil 7. a) Konvertör b) Konvertör, denetleyici, ARM ve pozisyon algılayıcısı.

ARM, anma hızı olan 1000 d/d hızda denetleyicide döngü süresi ise $37.37 \mu S$ 'dir. Şekil 8.'de Girişine 69V uygulanan boost konvertörden beslenen ARM'nin faz akımlar görülmektedir. Akım algılayıcıları kullanılarak algılanan faz akımlarının denetimi nedeniyle ilk hareket anındaki enerji kaynağından darbe akımları çekilmesi önlenmiştir. Simülasyon sonuçlarından benzer uygulamalarda karşılaşılan ilk hareket anında karşılaşılan yüksek akımla kalkınmanın olmadığı görülür.

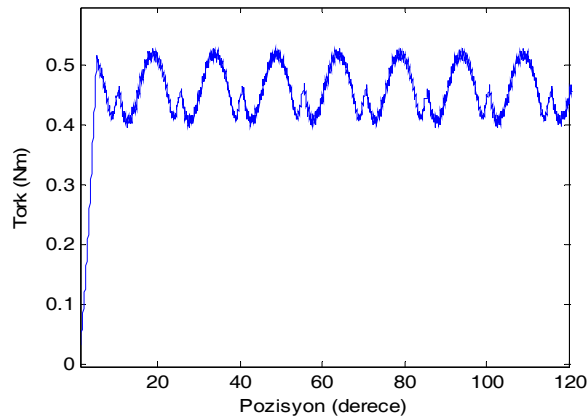


Şekil 8. Girişine 69V uygulanan boost konvertörden beslenen ARM'nin 3 faz akımı.



Şekil 9. ARM'nin 2 Faz akımı osiloskop görüntüsü.

Şekil 10.'da ise anahtarlamalı relüktans motorun tork değişimi görülmektedir. Tork değişim eğrisi ile uygulama ve benzetim sonuçlarından elde edilen akımlar kıyaslandığında üretilen tork dalgalanmasının normal motor torkuna benzer olduğu ve su pompasını sürmede kullanılabileceği sonucuna varılabilir.



Şekil 10. Anahtarlamalı relüktans motorun tork değişimi.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, güneş enerjili bir tarımsal amaçlı sulama sisteminde ARM ve ARM'nin sürülmesinde bir boost konvertör kullanılarak bakır kayıpları azaltılmış, 3 fazlı bir klasik konvertör kullanılarak hem motorun çalışması sağlanmış hem de ilk kalkınma anındaki darbe akımının oluşumu engellenmiştir. Tasarlanan sistemin bütünü ile de elektrik enerjisinin DA-AA dönüşümündeki kayıplar önlenmiştir. Sistemde klasik DA motoru kullanımındaki fırça ve bakır kayıplarından, fırçasız DA motorundaki karmaşık denetim teknikleri ve pahalı motor kullanımından sakınılmıştır. Bunların yerine güneş enerjili sulama sistemleri için bir boost konvertörden beslenen ARM'nin denetiminde klasik konvertör kullanılmıştır. Motor bakır kayıpları azaltılmış ve sürücü karakteristiği ile santrifuj su

pompasının hız-moment karakteristiğinin uyumlu hale getirilmesi ile sistem maliyeti azaltılmış, verim ise artırılmıştır. Bu amaçla güneş panellerinden elde edilen doğru gerilimin seviyesini artırmak için bir gerilim artırıcı (boost) konvertör tasarlanmıştır. Bu konvertör ile 3 fazlı 12/8 kutuplu, 120V, 300W gücündeki bir ARM, 34.5 V'luk iki adet güneş 150W'lık güneş paneli seri bağlı panelinden beslenmiştir. Denetleyici olarak PIC16F877 mikrodenetleyicisi klavye denetimli olarak kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Czanderna A. W., Jorgensen G. J., Accelerated Life testing and Service Lifetime Prediction for PV Technologies in the Twenty-First Century, National Renewable Energy Laboratory, NREL/CP- 520-26710, May 4, 1999.
2. Akbaba M, Qambur I, Kamal A., Matching of Separately Excited DC Motors to Photovoltaic Generators for Maximum Power Output, Journal of Solar Energy, 63,375–85,1998.
3. Akbaba M., Akbaba C. M, Dynamic Performance of a Photovoltaic-Boost Converter Powered DC Motor-Pump System, IEEE Electric Machines and Drives Conference, 356-361, 2001
4. Langridge D, Lawrence W, Wichert B., Development of a Photo-Voltaic Pumping System Using a Brushless DC Motor and Helical Rotor Pump. Journal of Solar Energy, 56, 151–160,1996.
5. Metwally HMB, Anis WR., Performance Analysis of PV Pumping Systems Using Switched Reluctance Motor Drives, Solar Energy, 56,161–168, 1996
6. Putta Swamy C. L., Bhim Singh, B. P. Singh, and S. S. Murthy, Experimental Investigations on a Permanent Magnet Brushless DC Motor Fed by a PV Array for a Water Pumping System, Journal of Solar Energy Eng., 122, 129-132, 2000
7. Elmas Ç, Dursun M., Değişken Devirli Pompa Sistemlerinde Verim, 2th International High Tech. Conference, 1, 376-385, Turkey, 2003.
8. Mohan N, Undeland T. M., Robbins W. P., Power Electronics, Converters, Applications and Design, John Wiley & Sons. Inc., New York, USA, 1995.
9. Dursun M., Anahtarlamalı Relüktans Motorla Su Pompası Tahriki, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2002.
10. Suehrcke H., Appelbaum J., Reshef B., Modelling a Permanent Magnet DC motor/centrifugal Pump Assembly in a Photovoltaic Energy System, Solar Energy, 59, . 37-42, 1997.
11. Güney İ., Onat N., Kıyak İ., Elektrik Makinelerini Besleyen Fotovoltaik Sistemlerdeki Geçici Rejimlerin Deneysel Olarak İncelenmesi, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 64-68, Ekim, Mersin, Türkiye,2005
12. Dursun M., PIC Mikrodenetleyicisi ile Anahtarlamalı Relüktans Motorun Sürülmesi, Politeknik Dergisi, Cilt:6, Sayı: 4, 651-659, 2003
13. Dursun M, Saygın A., Eğitim Amaçlı Güneş Enerjili Bir Sulama Sisteminde Boost Konvertörden Beslenen ARM sürücü Sisteminin Analizi, No:197, I. International Vocational and Technologies Congress, September, İstanbul, 2005
14. Dursun M, Saygın A., Güneş Enerjili Bir Sulama Sisteminde Boost Konvertörden Beslenen ARM sürücü Sisteminin Analizi, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 57-62, Ekim, Mersin, Türkiye,2005
15. Bay Ö. F., Anahtarlamalı Relüktans Motorun Bulanık Mantık Tabanlı Modellenmesi ve Kontrolü, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mayıs, 1996.