

GÜNEŞ ENERJİLİ BİR SULAMA SİSTEMİNDE BOOST KONVERTERDEN BESLENEN ARM SÜRÜCÜ SİSTEMİNİN ANALİZİ

Mahir Dursun, Ali Saygın

Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
Elektrik Eğitimi Bölümü
Teknikokullar, Ankara
mdursun@gazi.edu.tr, asaygin@gazi.edu.tr

Özet: Türkiye yıllık güneş enerjisi potansiyeli bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Özellikle Türkiye'nin Güney ve Güney Doğu Bölgeleri güneş enerjisi bakımından oldukça zengindir. Bu bölgelerde geçim kaynaklarının başında tarım sektörü gelmektedir. Tarımsal amaçlı sulama sistemlerinde güneş enerjisiyle su pompalama sistemleri gittikçe yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada güneş enerjisiyle çalışan bir sulama sistemindeki pompa sürücüsü için boost konverterden beslenen anahtarlamalı relüktans motor (ARM) seçilerek sistemin dinamik performansı analiz edilmiştir. Sistemin matematik modeli elde edilmiş ve gerekli bilgisayar algoritması geliştirilerek benzetim sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjili Sulama Sistemi, Anahtarlamalı Relüktans Motor, Santrifuj Pompa, Boost Konverter, Modelleme ve Simülasyon

1. Giriş

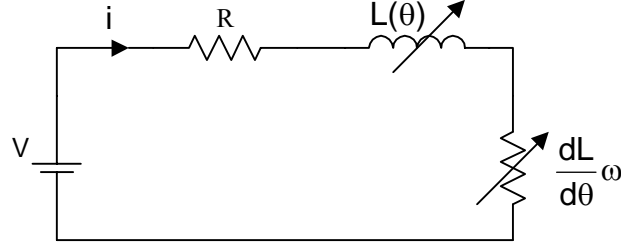
Güneş panelleri güneşten aldıkları ışığı direk olarak doğru akım (DA)'a dönüştürdüklerinden güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi ile beslenen alıcıların da DA yükü olması durumunda sistemin verimi artar, maliyeti ise azalır. Bu nedenle son yıllarda PV sistemlerden elektrik üretimine oldukça önem verilmiş ve yoğun araştırmaların sonucunda bu konuda önemli ilerlemeler sağlanmıştır. Bu sistemlerden üretilen elektrik enerjisinin miktarı da her geçen yıl artmaktadır. Güneş enerjisinin yaygın kullanıldığı alanların başında tarımsal amaçlı sulama sistemleri gelmektedir. Özellikle tarımın yaygın geçim kaynakları arasında olduğu Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde sulama sistemleri oldukça önemlidir.

Sulamaların ürün maliyetine olan önemli etkisi nedeniyle güneş enerjisinden(PV) üretilen elektrikle tarımsal sulama yapılan alanlar gittikçe yaygınlaşmaktadır. Bu sulama sistemlerinde yaygın olarak DA motorları kullanılmaktadır[1-9]. Bu motorların kullanıldığı sistemlerde boost konverterinin kullanılması durumunda daha iyi verim alındığını bildiren çalışmalar literatürde yer almaktadır[7-8]. Bu sistemlerde klasik DA motorunun kullanılmış olması fırça ve kolektör kayıplarını önleyememiştir. Alternatif olarak görülen fırçasız DA motorunun kullanılması da vektör alan yöntemi gibi karmaşık denetim tekniklerine ihtiyaç duyulması nedeniyle yeterince yaygınlaşmamıştır. Bu sürücüler güneş enerjili sulama sistemlerinde optimum verimli olarak çalışmamaktadırlar. Asenkron motorun sürücü olarak kullanıldığı sistemler ise frekans invertörüne ihtiyaç duyduklarından maliyeti artırırlar[10-13]. Üstelik hem asenkron motor ile pompa arasındaki tork-hız uyumsuzluğu nedeniyle hem de pompa ile frekans invertöründen beslenen asenkron motor kayıplarının artması nedeniyle sistem verimli değildir.

Bu makalede güneş enerjisinden beslenen sulama sisteminde 300W gücündeki 3 fazlı 12/8 kutuplu bir anahtarlamalı relüktans motor kullanılmıştır. Güneş panellerinden elde edilen doğru gerilimin değeri bir buck konvertör çıkışında artırılarak bir ARM'nin beslenmesinde kullanılarak sistemin verimi artırılmıştır.

2. Anahtarlamalı Relüktans Motorun Dinamik Denklemleri

ARM'lerde motor faz endüktansı rotor pozisyonu ve sargıdan geçen akıma bağlı olarak değişir. ARM'nin genel devre denklemi Eşitlik (1) de verilmiştir. Bir faz için ARM'nin eşdeğer devresi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1 ARM nin bir fazı için eşdeğer devre

Eşdeğer devreden her bir stator sargısı (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 sargı (faz) akımı, $M(\theta)$ karşılıklı endüktans, θ rotor pozisyon açısı, i' ilgili fazdan önce uyarılan sargı akımıdır. Doyum ihmal edildiğinde flux $\Psi=L(\theta, i)$ olduğundan Eş. (1) yeniden düzenlendiğinde,

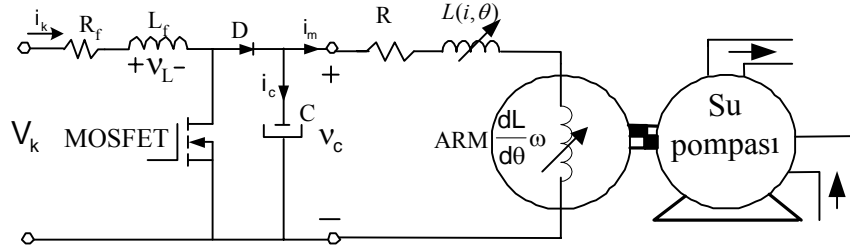
$$V = Ri + \frac{dL(\theta, i)}{dt} - M(\theta) \frac{di'}{dt} \quad (2)$$

olmaktadır. Burada $L(\theta)$ faz endüktansını göstermektedir. Eş. (2)'deki türevsel ifade parçalara ayrıldığında karşılıklı endüktans ihmal edilerek; Eş. (3) olmaktadır. Burada ω açısal hızdır.

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

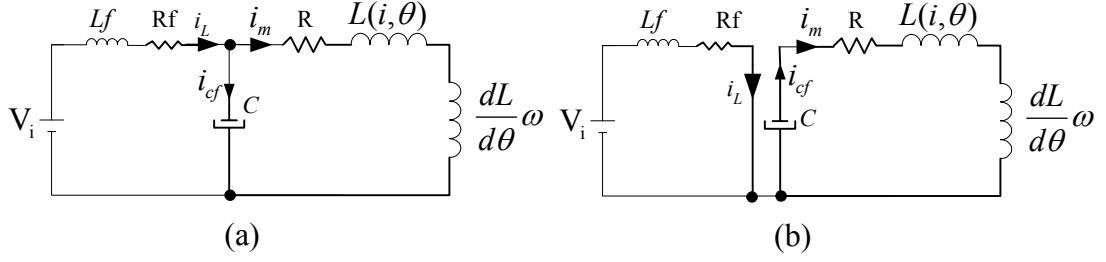
2. Anahtarlamalı Relüktans Motor Sürücülü Boost Konverter-Güneş Enerjili Bir Sulama Sisteminin Dinamik Modeli

Şekil 2.'de Güneş paneli-boost konverter ve motorun devre şeması görülmektedir. Şekil 3.a'da Anahtarın kesim durumunda Şekil 3.b'de ise iletim durumunda iken sistemin elektrik devre şeması görülmektedir. Sistemin dinamik performansı boost konverter anahtarının iletimde ve kesimde olduğu durumlar için iki adet diferansiyel denklem ile ifade edilmiştir. Boost konverterin kesim periyodu kıyıcı anahtarın kesim frekansı ile ilgilidir ve Eş (4) ile ifade edilir.



Şekil 2 Boost Konverterli ARM ile Pompa Sürülmesi Devre Şeması

$$T_k = (1 - \delta) / f \quad (4)$$



Şekil 3. Boost konverter ve ARM birleşik devresi a) Anahtar açık b) Anahtar kapalı

Burada; f kıyıcının frekansı, δ görev sayıklı ve T peryodudur. Görev süresi $0 \leq t \leq T_k$ aralığında iken karşılıklı endüktans değeri ihmal edilerek;

$$Vk = (R_f + R_a)i_a + (L_f + L)\frac{di}{dt} + k_e.\omega \quad (5)$$

$$T_e = k_e.i_a = J\frac{d\omega}{dt} + T_p \quad (6)$$

$$T_p = k_p.\omega^2 + B_f.T_p \quad (7)$$

$$i_k = i_c + i_m \quad (8)$$

olur. Burada T_e motor tarafından endüklenen elektromanyetik tork, T_p pompa torku, J eylemsizlik katsayısı, k_p pompanın moment katsayısı, pompa sürtünme katsayısı B_f , ω rotorun açısal hızı (rad/s), R motor faz sargı direnci, L_a motor faz sargı endüktansı, R_k kıyıcı endüktansının direnci, L_f =kıyıcının endüktansı, V_k güneş panelinin çıkış gerilimi, iki güneş panelinden çekilen akımdır. Güneş panelinin çıkış gerilimi panel değişkenleri ile birlikte Eş. (9) ile yeniden yazılırsa;

$$Vk = R_s.i_a + \frac{1}{\wedge} \ln\left(\frac{I_{ph} + I_o - i_k}{I_o}\right) \quad (9)$$

olur. Burada R_s Güneş panelinin iç direnci, I_{ph} güneş panelinin akım değeri, I_o ters doyum akımı (0.0081), \wedge güneş panelinin gerilim sabiti ($=0.0042 \text{ V}^{-1}$)'dir. MOSFET iletimde olduğu zaman boost konverter kıyımdadır. Kıyım süresince D_s diyodu güneş panellerini motor devresinden ayırır. Bu durumda motor fazları klasik konverter devresine bağlanan kondansatör üzerinden beslenir. $T_{off} < t \leq T$ durumunda sistemin denklemleri Eş. (10), Eş. (11) ve Eş. (12) olur.

$$T_e = J\frac{d\omega}{dt} + k_p.\omega^2 + k_f.\omega \quad (10)$$

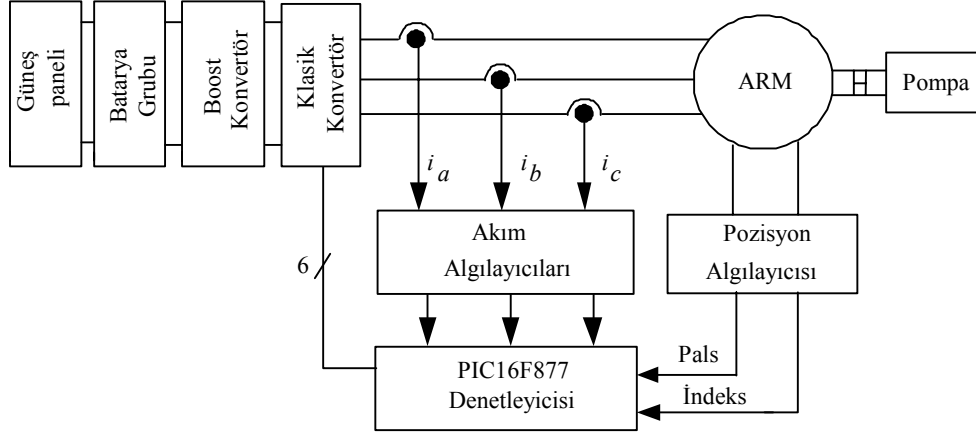
$$Vk = R_f.i_a + L_f\frac{di}{dt} \quad (11)$$

$$V_c = R_a.i_a + L\frac{di}{dt} + k_e.\omega \quad (12)$$

olur. Güneş panelinin çıkış gerilimi yine Eş. (9) ile belirtilir.

Tasarlanan ARM'li güneş enerjisiyle çalışan bir sulama sisteminin blok diyagramı Şekil 4.'de görülmektedir. Sistem; güneş paneli, batarya, gerilim seviyesini artırmak amacıyla kullanılan boost konverter, ARM'nin sürülmesi için kullanılan 3 fazlı bir klasik konverter, ARM, pozisyon algılayıcısı, santrifüj pompa, 3 adet akım algılayıcısı ve PIC16F877 mikrodenetleyicisinden oluşmaktadır[14].

Şekil 4.'deki blok diyagramında görüldüğü gibi güneş panelinden elde edilen DA bir batarya grubunda 48V'ta depolanmıştır. Bu gerilim bir boost konverter girişine uygulanmış ve değeri konverter çıkışında 120V'ta yükseltilmiştir. Boost konverter çıkışında değeri yükseltilmiş bulunan gerilim klasik konverter vasıtasıyla ARM'ye uygulanarak motorun çalıştırılmasında kullanılmıştır. Motorun her bir faz akımı birer akım algılayıcısı ile gerilime dönüştürülmüştür. Bu gerilim denetleyicinin analog girişine uygulanmış ve faz akımlarının sınırlandırılmasında kullanılmıştır. Motorun çalışmasında pozisyon algılayıcısına ihtiyaç duyulduğundan bir adet pozisyon algılayıcısı kullanılmıştır. Pozisyon algılayıcısı bir turda 1024 pals ve 1024. pals ile birlikte bir reset sinyali vermektedir. Denetleyici olarak PIC16F877 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır.

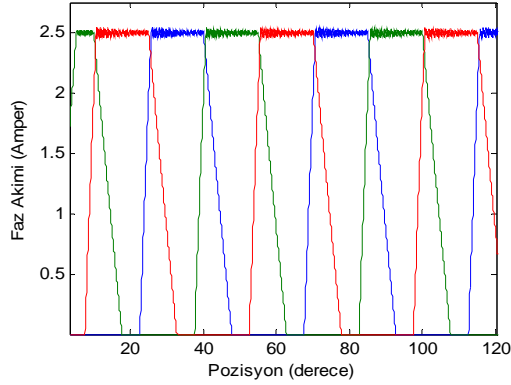


Şekil 4. Anahtarlamalı relüktans motorla çalışan güneş enerjili bir sulama sistemi

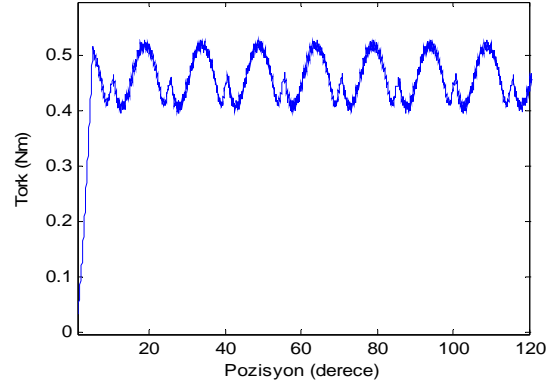
4. Benzetim Sonuçları

Tasarlanan sistem PV güç kaynağı, boost konverter, ARM ve santrifuj pompadan oluşmaktadır. Benzetimde kullanılan ARM 3 faz, 12/8 kutuplu, 2,5 A, 120V, 300 W, 1000 d/d nominal hızlı, sürtünme katsayısı $B=0.0012$, eylemsizlik momenti $J=0.00027$ 'dir. Çalışmada 48 V'luk batarya gerilimi, boost konverter çıkışında yükseltilerek 120V'ta sabit tutulmuştur.

Dinamik analizi yapılan sistemin matematik modelinin benzetimi, diferansiyel ifadeler 4^o Runga Kutta metodu ile C programlama dili kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen veriler MATLAB6.5 programı kullanılarak grafik olarak gösterilmiştir. Benzetim sonucunda elde edilen boost konverterli ARM'nin pozisyona göre akım grafiği Şekil 5.'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi motor faz akımları sırasıyla anahtarlanmış ve 2,5 A ile sınırlandırılmıştır. Faz akımlarının anahtarlama açısı negatif tork üretilmeyecek şekilde ayarlanmıştır. ARM'de kesim açısı motor hızına göre değiştirilerek değişik hızlarda için farklı anahtarlama stratejisi uygulanmıştır. Bu şekilde yapılan anahtarlama elde edilen torkun pozisyona göre değişimi Şekil 6.'da görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi torkta bir miktar dalgalanma vardır. Tork dalgalanması hassas ve sabit tork ihtiyacı olan yüklerde değişik denetim teknikleriyle önlenebilir. Fakat bu durumda ortalama tork bir miktar azalmaktadır. Ancak su pompası gibi yüklerde sabit torka ihtiyaç olmadığından verimin daha yüksek olması için tork sabit tutulmamıştır.



Şekil 5. Anahtarlamalı Relüktans Pozisyona Motorun Göre Faz Akımları



Şekil 6. Anahtarlamalı Relüktans Motorun Pozisyona Göre Tork Değişimi

5.Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, tarımsal sulamada güneş enerjili sulama sistemlerinde kullanılan santrifuj pompaların sürülmesinde; pompanın debi, hız ve moment ve karakteristiği ile hız-moment karakteristiği uyumlu olan ARM kullanılarak boost konverterden beslenmiştir. Sistemin dinamik analizi yapılarak bilgisayarda benzetim sonuçları elde edilmiştir. Kullanılan ARM ile sistemin maksimum verim noktasında çalıştırılması ve bu işlem için güneş enerjisinden elde edilen gerilimin seviyesi artırılarak motor akımının ve bakır kayıplarının azaltılması amaçlanmıştır. Güneş panellerinden elde edilen doğru gerilimin seviyesini artırmak için bir gerilim artırıcı (boost) konverter tasarlanmıştır. Tasarlanan konverter ile 3 fazlı 12/8 kutuplu, 120V, 300W gücündeki bir ARM, 48V'luk güneş panelinden beslenmiştir.

Kaynaklar

- [1] A. Rogers, "Theory of direct coupling between DC motors and photovoltaic solar arrays", Solar Energy, Vol. 23, s.193-198, 1979.
- [2] Hanithch R. ve Hauk R., 'Microcomputer controlled DC chopper for optimal operation od a solar generator-motor system', In Proceedings of Sixth E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, İngiltere, 1985.
- [3] Appelbaum J. ve Sharma M.S., "The operation of permanent DC motors powered by a common source of solar cells", IEEE Trans. on Energy Conversion, EC-4, s. 635-642, 1989
- [4] Saeid M.M., "Matching of DC motors to photovoltaic generators for maximum daily gross energy", IEEE Trans. on Energy Conversion, EC-3, s. 465-472, 1988.
- [5] Saeid M.M. ve Jaboori M.G., "Optimum solar array configuration and DC motor field parameters for maximum annual output mechanical energy", IEEE Transaction on Energy Conversion, EC-4, s. 459-465, 1989.
- [6] Saeid M.M. ve Hanafi A.A., "Optimal design parameters for a PV array coupled to a DC motor via a DC-DC transformer", IEEE Trans. on Energy Conversion, EC-6, s. 593-598, 1991.
- [7] Alghuwainem S.M., 'Application of a DC chopper to maximize utilization of solar-cell generators', IEEE/PES Winter Meeting, 92 WM, s 145-153, EC, New York, ABD,1991.
- [8] Alghuwainem S.M., 'Steady-state performance of DC motor supplied from photovoltaic generators with step up converter', IEEE Trans. on Energy Conversion, EC-7, s. 267-272, 1992.
- [9] Akbaba M., Qamber I. ve Kamal A., 'Matching of Separately excited dc motors to photovoltaic generators for maximum power output', Solar Energy, Vol. 63, No. 6, s. 375-385, 1998.
- [10] Akbaba M., Akbaba M. A. ve Alattawi A., 'A new model for I-V characteristic of solar cell generators and its applications', Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 37, s. 123-132, 1985
- [11] Dursun M., "PIC Mikrodenetleyicisi ile Anahtarlamalı Relüktans Motorun Sürülmesi", Politeknik Dergisi, Cilt:6, Sayı: 4,s. 651-659, Aralık 2003
- [12] Dursun M., "Anahtarlamalı Relüktans Motorla Su Pompası Tahriki", Doktora Tezi, Gazi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Eylül, 2002.
- [13] Elmas Ç, Dursun M., "Değişken Devirli Pompa Sistemlerinde Verim", 3th Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu,Cilt 1, s.376-375, Ağustos, Ankara, Türkiye, 2003
- [14] Dursun M., "An SRM Application to Centrifugal Pump System" 2. International Conference on Technical&Physical Problem in Power Engineering, s. 709-714, 6-8 September,İran, 2004