

# BİR DC ALICIYI BESLEYEN GÜNEŞ PİLİ SİSTEMİNİN SIFIR AKIM ANAHTARLAMA TEKNİĞİYLE VERİMİNİN ARTTIRILMASI

Engin ÇETİN, Adem ÜKTE ve Bekir Sami SAZAK  
Pamukkale Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 20017 Çamlık / DENİZLİ  
engincetin@pamukkale.edu.tr ademukte@pamukkale.edu.tr sazak@pamukkale.edu.tr

## ÖZET

Bilindiği üzere güneş enerjisi, çevreyle dost, yenilenebilir ve en kolay bulunan enerji kaynağıdır. Özellikle son yıllarda, petrol, kömür gibi yeraltı kaynaklarının sınırlı olması ve çevre kirliliğine sebep olmaları, elektrik üretiminde alternatif enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmıştır. Güneş enerjisi de, bu alternatif enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Ancak üretiminde kullanılan malzemelerin özelliklerinden dolayı güneş pilleri, istenilen verimde çalıştırılmamaktadır. Bu noktada yapılması gereken, eğer güneş pili üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmıyorsa, pil çıkışındaki elektronik düzenler üzerindeki kayıpları azaltmak, böylelikle toplam sistem verimini arttırmaktır.

Bu çalışmada, yarıiletken anahtarlardaki anahtarlama kayıplarının, sıfır akım anahtarlama (SAA) tekniği kullanılarak azaltılması ve bunun genel sistem kayıpları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Daha sonra bu teknik, düşük verime sahip olan güneş pili sistemlerine uygulanmıştır. Bu amaçla, güneş pili çıkışının, bir DC alıcının kullanabileceği şekle dönüştürülmesini sağlayan elektronik düzenler üzerinde durulmuştur. Sonuçta; bu düzenler üzerindeki anahtarlama kayıplarının, SAA kullanılarak büyük oranda azaltıldığı, buna bağlı olarak genel sistem veriminin arttığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Pili, Sıfır Akım Anahtarlama.

## 1.GİRİŞ

Güneş pilleri, özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarla, maliyetlerin watt başına 7 dolara kadar düşmesi ve pil veriminin %15'lere çıkması sonucunda, özellikle şebeke elektriğinin ulaşmadığı yerlerde, diğer enerji kaynaklarına göre tercih edilen enerji kaynakları haline gelmiştir (Parmaksız, 1997). Ayrıca yaz aylarında, klima yükünün de devreye girmesiyle şebekeye destek mahiyetinde de kullanılabilirler. Bu tip yerlerde dizel jeneratör, rüzgar jeneratörü gibi hareketli parça içeren kaynaklar yerine güneş pillerinin kullanımı, işletme-bakım maliyetlerini büyük oranda düşürmektedir. Ayrıca güneş pilleri, çevreyle de dost enerji kaynaklarıdır.

Bu avantajlarına rağmen güneş pilleri, üretimlerinde kullanılan yarıiletken malzemelerden dolayı, istenilen yüksek verimde çalıştırılmamaktadır. Çünkü gelen güneş ışığının bir kısmı yansımakta, bir kısmı yarıiletken malzeme tarafından emilmekte, kalmı ise elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Elektrik enerjisine dönüştürülen kısım, güneş piline gelen enerjinin yaklaşık %15'i kadardır. Ayrıca ortam sıcaklığının belli bir değerin üzerine çıkması da, sistem verimini olumsuz yönde etkilemektedir (McNelis, 1992).

Bu şartlar altında sistem verimini arttırmanın tek yolu, güneş pili çıkışında bulunan ve pil üzerine gelen güneş ışığının şiddetiyle değeri değişen doğru gerilimi, DC alıcıların kullanabileceği şekle dönüştüren elektronik düzenlerdeki kayıpların azaltılmasıdır. Bu düzenlerdeki kayıplar, daha çok yarıiletken anahtarlardaki anahtarlama kayıplarından ileri gelir ve genel sistem kayıpları içerisinde önemli bir yer tutar.

Anahtarlama kayıplarının azaltılmasında sıkça kullanılan bir teknik, Sıfır Akım Anahtarlama (SAA) adıyla anılan ve temeli yarıiletken anahtarın iletim ve yalıtım durumuna geçerken içinden geçen akımın sıfır yapılması esasına dayanan tekniktir. Bilindiği üzere anahtarlama amındaki kayıplar, anahtarın iletim ve yalıtım durumuna geçmesi esnasında, anahtar üzerinde akım ve gerilimin beraberce bulunmasından ileri gelir. SAA, rezonans anahtarlama şekillerinden birisidir. Zira burada, SAA yapabilmek için bir rezonans devresi kurulur (Ogiwara, 1993). Bu devre, enerji depolama ve aktarma görevini üstlenir.

Bu konuda yapılan çalışmalar, anahtarlama amında akım ya da gerilimden birinin sıfır yapılmasının anahtar kayıplarını önemli ölçüde azalttığı ortaya koymuştur (Sazak, 1997). Bununla birlikte bu tekniğin kullanılması, iletim kayıplarını arttırmaktadır. Çünkü bu teknik, anahtar içinden geçmekte olan akımın tepe değerinde bir artışa neden olmaktadır. Fakat yüksek frekanslarda, anahtarlama kayıpları iletim kayıplarından daha yüksek değerlerde olduğundan,

anahtardaki toplam güç kaybı, alternatif anahtarlama metodlarına göre çok daha azdır (Sazak, 1997). Yapılan bu çalışmada, SAA tekniğinin tüm sistem kayıpları üzerindeki etkisi, iletim anında artan anahtar kayıpları da gözönüne alınarak incelenmiştir. Tekniğin bir güneş pili sistemine uygulanması halinde, SAA tekniği uygulanmamış güneş pili sistemine göre verimin önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir.

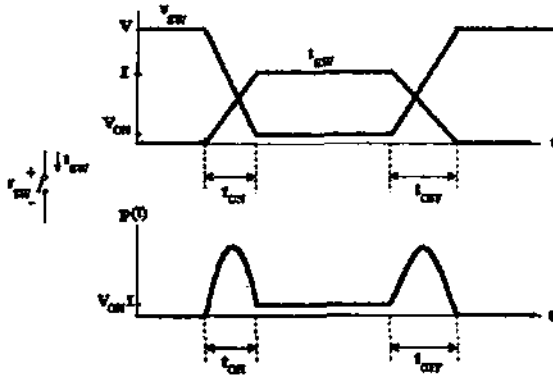
## 2. BİR YARIİLETKEN ANAHTARDAKİ GÜÇ KAYIPLARI

Bir yarıiletken anahtarda, anahtar iletime geçtikten sonra anahtar üzerinden yük akımının geçmesi nedeniyle "iletim kayıpları" meydana gelir ( $P_I$ ). Anahtar iletim ve yalıtım durumuna geçerken oluşan kayıplar ise, "anahtarlama kayıpları"dır ( $P_A$ ). Anahtar iletim ve yalıtım durumuna geçiren tetikleme sinyalinin oluşturduğu kayıplar "kapı kayıpları" ( $P_K$ ), anahtar yalıtım durumunda geçen sızıntı akımlarının oluşturduğu kayıplar ise, "sızıntı kayıpları" ( $P_S$ ) şeklinde adlandırılır.

Buradan toplam güç kayıpları ( $P_T$ ),

$$P_T = P_I + P_A + P_K + P_S \quad (1)$$

şeklinde belirlenir.



Şekil 1 İletim ve yalıtım anında, bir yarıiletken anahtardaki güç kayıpları

Şekil 1'de, bir anahtarın uçlarındaki gerilim, içinden geçen akım ve anahtarda oluşan güç kayıpları görülmektedir. Dikkat edilirse, anahtarlama esnasında, yarıiletken anahtar üzerinde hem gerilim hem de akım bulunmaktadır. Anahtarın iletime geçmesi durumunda, içinden I akımı akacak, bu da  $P=V.I$  şeklinde bir iletim kaybına neden olacaktır.

Anahtarlama kayıpları, anahtarın iletim ve yalıtım durumuna geçmesi arasında oluşur. Çünkü herhangi bir durumdan diğerine geçilmesi için belli bir süreye ihtiyaç vardır ve anahtarlama kayıpları bu süre içerisinde ortaya çıkar.

Burada ihmal edilebilecek kayıplar, iletim ve anahtarlama kayıpları yanında çok küçük olan kapı ve sızıntı akımı kayıplarıdır.

## 3. SIFIR AKIM ANAHTARLAMAMININ KAYIPLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Yapılan bu çalışmada, anahtar elemanı olarak bir IGBT kullanılmıştır. Bu IGBT'de oluşan kayıplar, 40 kHz anahtarlama frekansı ve 2 A yük akımı için belirlenmiştir. Burada toplam iletim kaybı,

$$P_I = I_{DC}^2 \times R_{CE} \quad (2)$$

$$P_I = 2^2 + 0,4 = 1,6 \text{ W}$$

şekindedir. Formülde  $I_{DC}$  anahtar akımı (A),  $R_{CE}$  ise; IGBT'nin iletim anındaki direnç değeridir.

Güç üçgenel benzetme yaklaşımı kullanılarak anahtarın iletim ve yalıtım durumuna geçmesi esnasındaki toplam kaybı bulmak mümkündür (Luk, 1992).

$$P_A = \frac{V \times I_{DC} \times f_{sw}}{2} [T_{r(I)} + T_{r(V)} + T_{f(I)} + T_{f(V)}] \quad (3)$$

$$= \frac{200 \times 2 \times 40 \times 10^3}{2} [21 + 21 + 120 + 120] \times 10^{-9}$$

$$= 2,256 \text{ W}$$

Bu eşitlikte;

V - Devre gerilimi (V)

$I_{DC}$  - Anahtar akımı (A)

$f_{sw}$  - Anahtarlama frekansı (Hz)

$T_{r(I)}$  - İletime geçerken anahtar akımının yükselme zamanı (sn)

$T_{r(V)}$  - İletime geçerken anahtar geriliminin düşme zamanı (sn)

$T_{f(I)}$  - Yalıtıma geçerken anahtar akımının düşme zamanı (sn)

$T_{f(V)}$  - Yalıtıma geçerken anahtar geriliminin yükselme zamanı (sn)

şekindedir.

Buradan anahtardaki toplam kayıp;

$$P_T = P_r + P_A \quad (4)$$

$$= 1,6 + 2,256$$

$$= 3,856 \text{ W}$$

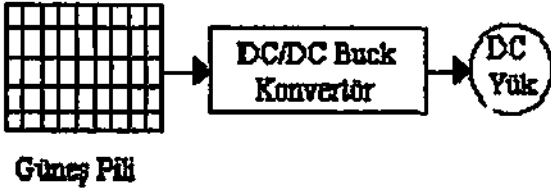
şeklinde bulunur. SAA tekniği uygulandığında, anahtar iletim ve yalıtım durumuna içinden akan akım sıfır iken geçtiğinden, anahtarlama kayıpları ortadan kalkar. Ancak bu tekniğin kullanımı anahtarlama kayıplarını ortadan kaldırmakla birlikte, anahtar akımının tepe değerindeki artış nedeniyle iletim kayıplarını arttırmaktadır. Bu artış yaklaşık %50 oranındadır (Meynard, 1987). Böylelikle SAA uygulandığında toplam güç kaybı;

$$P_T = 1,6 + 0,8 = 2,4 \text{ W}$$

olmaktadır. Görüldüğü üzere SAA uygulandığında toplam güç kaybı azalmaktadır. Bu fark, anahtarlama frekansı arttıkça daha da artacaktır.

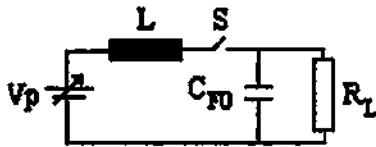
#### 4. SAA TEKNİĞİNİN GÜNEŞ PİLİ SİSTEMİNE UYGULANMASI

Şekil 2'de, bir DC alıcıyı besleyen güneş pili sistemi görülmektedir.



Şekil 2 DC alıcılar için güneş pili sistemi

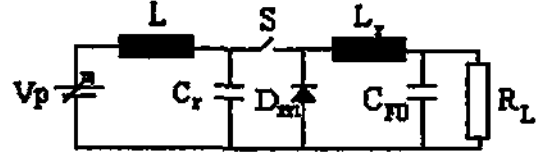
Şekil 2'deki konvertör, bir DC/DC Buck konvertördür. Bu konvertörün görevi, güneş ışığının şiddetiyle sürekli olarak değişen panel çıkış gerilimini belli bir değerde tutarak DC yükü beslemektir.



Şekil 3 Temel bir DC/DC Buck konvertör devresi

Şekil 3'te, temel bir Buck konvertör devresi görülmektedir. Burada kullanılan yariletken anahtar kontrollüdür ve istenilen frekansta açma-kapama yaptırılabilir. Bu surette konvertör çıkış gerilimi istenilen değere ayarlanabilir.

Şekil 3'teki devrede, anahtarın açılıp kapanması esnasında kayıplar meydana gelmektedir. Çünkü bu sırada akım ve gerilim anahtarda birlikte bulunmaktadır. Bunu önlemek için Quasi-Resonant (QR) tekniğinden faydalanılır. Bu teknikte konvertör devresine uygun şekilde bir diyot, bir bobin ve bir kondansatör yerleştirilir (Kazımcıoğlu, 1987). Şekil 4'te böyle bir devre görülmektedir.



Şekil 4 SAA uygulanmış bir Buck konvertör

Bu devredeki kondansatör ve bobin, anahtarın iletim durumuna geçmesi anında içinden geçen akım sıfır yapar ve anahtarın yalıtım duruma kapı sinyali yerine rezonans akımıyla geçişini rezonans oluşturmak suretiyle sağlar (Sazak, 1999).

QR tekniğinde, anahtarın açılma veya kapanma anında içinden geçen akım rezonans devresi yardımıyla sıfır yapılır. Böylelikle kayıplar azaltılmış olur.

Şekil 4'teki devrede, rezonans elemanları anahtar etrafına kapalı bir devre oluşacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu şekilde oluşan kapalı devreden rezonans akımı geçer. Burada amaç, kondansatörden bobine iletilen rezonans akımının anahtardan geçmesidir.

Bu devrede, anahtar açıldığında rezonans kondansatörü ( $C_r$ ), kaynak tarafından şarj edilir. Anahtar kapatıldığında, rezonans kondansatörü üzerindeki yükü rezonans bobinine ( $L_r$ ) anahtar üzerinden aktarır ve deşarj olur. Anahtardan geçen akım, rezonans akımından dolayı sinüsoidaldir. L bobininin görevi, girişteki dalgalanmayı önlemektir. Rezonans kondansatörünün gerilimi sıfıra düştüğünde, üzerindeki enerji bobine aktarılır. Bu noktada rezonans akımı sıfır olduktan sonra anahtar tetikleme sinyali kesilirse, anahtarlama çok az bir kayıpla sağlanmış olur.

Anahtar tekrar açıldığında, rezonans bobini,  $R_L$  yükü ve  $D_m$  diyodu üzerinden deşarj olur, bu sırada bir miktar akım  $C_{fo}$  kondansatörü üzerinden geçer.  $C_{fo}$ , çıkış filtresi olarak kullanılır. Bobin deşarj olurken rezonans kondansatörü kaynak tarafından şarj edilir. İşlem bu şekilde devam eder.

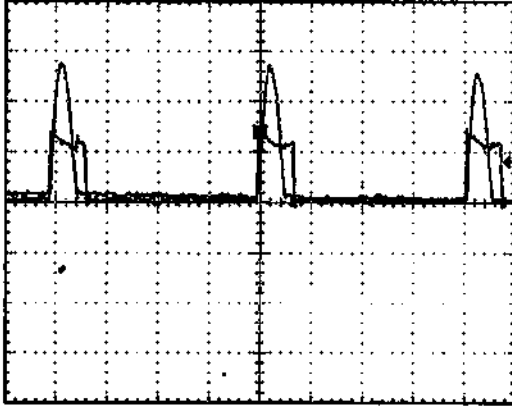
Burada önemli olan husus, anahtardan geçen akımın sıfırdan başlayıp tekrar sıfırda son bulmasıdır. Yani anahtardan geçen akım sinüsoidaldir. Dolayısıyla anahtarlama bu rezonans akımının sıfır olduğu anlarda

yapılır. Böylelikle çok az kayıpla kaynaktan yüke güç aktarımı yapılmış ve kayıpların azaltılmasıyla toplam verim artırılmış olur. Bu durum, toplam anahtar kaybı azaldığından yüksek frekanslarda da anahtarlama yapılabilmesine olanak sağlar.

### 5. DENEYSSEL SONUÇLAR

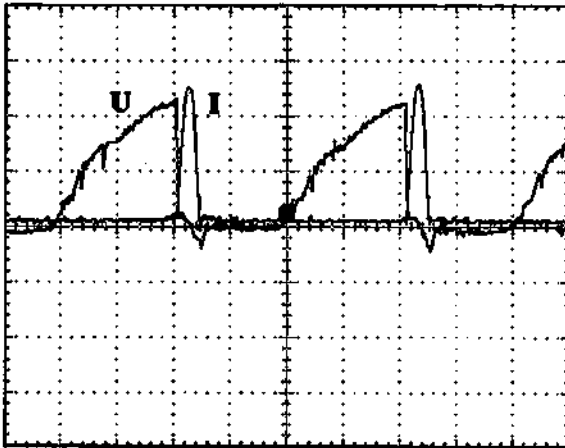
40 W, 20 V çıkış değerlerine sahip sistem, pratik olarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 5'te, IGBT içinden geçen akım ve tetikleme darbesi görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, IGBT tetikleme darbesi, IGBT içinden geçen akım sıfıra indikten kısa bir süre sonra kesilmektedir. Böylelikle anahtar kayıpsız bir şekilde kesime gitmiş olur.



Şekil 5 IGBT tetikleme darbesi ve içinden geçen akım

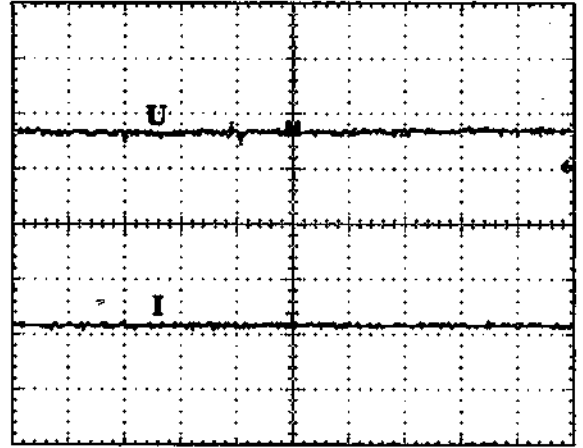
Şekil 6'da, IGBT uçlarındaki gerilim ve içinden geçen akım görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, akım ve gerilim anahtar üzerinde aynı anda bulunmamaktadır. Dolayısıyla anahtarın iletim ve kesime geçme durumunda SAA yapılmış olur. Böylelikle anahtarlama kayıpları ortadan kalkar ve toplam kayıplar sadece iletim kayıplarından ibaret hale gelir.



[U: 100V I: 15A T: 10ms]

Şekil 6 IGBT uçlarındaki gerilim ve içinden geçen akım

Şekil 7'de, konvertör çıkış gerilim ve akım değerleri görülmektedir. Görüldüğü gibi dalga şekilleri hemen hemen sabittir. Bu durum, çıkış filtre kondansatörü ile rezonans kondansatörünce sağlanır. Rezonans kondansatörü, her anahtarlama çıkışa sabit enerji aktarır.



[U: 15V I: 1A]

Şekil 7 Konvertör çıkış gerilim ve akım dalga şekilleri

### 6. SONUÇ

SAA, güneş pili sistemlerinde verim arttırmaya yönelik bir teknik olarak ortaya çıkmaktadır. Güneş pili üretimi üzerine yapılan çalışmalar, verimi arttırmada yetersiz kalmaktadır. Bu noktada yapılması gereken, pil çıkışındaki elektronik düzenlerde yoğunlaşmak ve bu düzenlerdeki anahtar kayıplarını azaltmak, böylelikle toplam sistem verimini arttırmaktır. Sunulan sistem, bu amaçla oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, SAA tekniği uygulandığı takdirde, genel sistem veriminin arttığını göstermektedir. Ayrıca kayıpların azalması, konvertörü yüksek frekanslarda çalıştırma imkanı da vermektedir. Eğer yüksek frekanslarda anahtarlama yapılırsa, reaktif elemanlarda depolanan enerji ihtiyacı azalır ve daha küçük boyutta reaktif eleman kullanılması sağlanır. Bu şekilde konvertör boyutu küçülmüş ve maliyet azalmış olur. Ayrıca sıfır akımda anahtarlama yapıldığında, güneş pili sisteminin yüksek frekanslarda bir elektromagnetik parazit üretici gibi çalışması da önlenmiş olur.

### 7. REFERANSLAR

Kazimierzuk, M. K. and Jozwik, J., 1987, "Generalized Topologies of Zero-Voltage Switching and Zero-Current Switching Resonant DC/DC Converter", IEEE National Aerospace and Electronics Conf., Vol.2, pp. 472-478.

Luk, C. K. P., 1992, "The Transputer Control of Induction Motor Drives", Ph.D. Thesis, May, Polytechnic of Wales, U.K.

McNelis, B., 1992, "The Direct Conversion of Solar Energy to Electricity", United Nations Publication, USA.

Meynard, T. A., Cheron, Y. and Foch, H., 1987, "Generalization of The Resonant Switch Concept Structures and Performances", HFPC, April Proceedings, pp. 54-69.

Ogiwara, H., Michihira, M. and Nakaoka, M., 1993, "Zero-Current Soft-Switched High-Frequency Inverter for Induction Heating Using Bipolar-Mode Normally-Off SITs", UPEC 1993, pp. 581-584.

Parmaksız, S., 1997, "Ulusal Şebekeye Bağlı Güneş Pili Sistemlerinin Modellenmesi ve Gerçeklenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Sazak, B. S., 1997, "A New Unity Power Factor Quasi-Resonant Induction Heater", Doktora Tezi, University of Glamorgan, U.K.

Sazak, B. S. ve Jayne, M. G., 1999, "Sıfır-Akım Anahtarlama Tekniğinin Buck Konvertöre Uygulanması", YTÜD 1999/1 Araştırma Makalesi, pp. 33-42.