

FOTOVOLTAİK ENERJİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİNDE KULLANILABİLECEK BİR SERİ REZONANS İNVERTÖR DEVRESİNİN İNCELENMESİ

Engin ÇETİN*, Bekir Sami SAZAK**

*Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elek.-Elt. Mühendisliği Bölümü, Kampüs/Denizli

**Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, Kampüs/Denizli

Geliş Tarihi : 03.12.2003

ÖZET

Bilindiği üzere güneş enerjisi, çevreyle dost, yenilenebilir ve en kolay bulunabilen 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, alternatif enerji kaynaklarının başında gelmektedir. Fotovoltaik sistemler, güneşten elektrik enerjisi üreten sistemlerdir. Yapılan bu çalışmada, fotovoltaik enerji sistemlerinde kullanılan bir seri rezonans inverter devresi incelenmiştir. Devrenin sistem üzerindeki etkileri ele alınmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Fotovoltaik sistem, Seri rezonans invertör

EXAMINING A SERIES RESONANT INVERTER CIRCUIT TO USE IN THE PHOTOVOLTAIC ENERGY CONVERSION SYSTEMS

ABSTRACT

As we know, solar energy is the energy source which is environment friendly, renewable, and can be found easily. Particularly, in the recent years, interest on producing electrical energy by alternative energy sources increased because of the fact that underground sources are not enough to produce energy in the future and also these sources cause environmental pollution. The solar energy is one of the most popular one among the alternative energy sources. Photovoltaic systems produce the electrical energy from the sunlight. In this study, a series resonant inverter circuit which is used in the photovoltaic energy conversion systems has been examined. Effects of the series resonant inverter circuit on the photovoltaic energy conversion system have been investigated and examined

Key Words : Photovoltaic system, Series resonant inverter circuit

1. GİRİŞ

Mevcut enerji üretim kaynaklarının hızla tükenme eğilimi içine girmesi, hammadde fiyatlarının artması, çevreye ve insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkileri, kullanımlarındaki bir takım zorluklar, son yıllarda yeni ve yenilenebilir enerji

kaynakları üzerine yapılan çalışmaları arttırmıştır (Çetin ve ark., 2001). Her şeyden önce fotovoltaik enerji; temiz, çevreye ve canlılara zararı olmayan, hiçbir atık içermeyen bir enerji üretim türüdür. Petrol, doğalgaz, kömür v.b. fosil ve nükleer yakıtlara dayalı enerji üretim sistemlerinin çevreye verdiği zarar malumdur. Çevre dostu olmalarının yanı sıra fotovoltaik sistemler, aynı zamanda

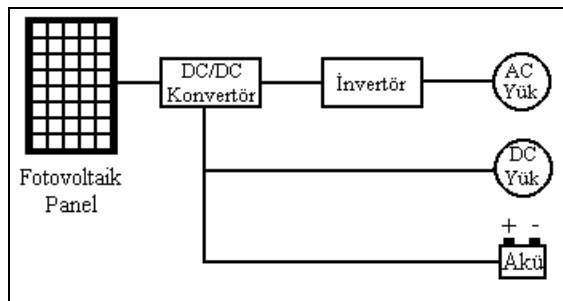
modülerdirler. Yani ihtiyaca göre, istenilen yere monte edilebilirler. İhtiyacın artması durumunda, sisteme yeni fotovoltaik modüller kolaylıkla çok kısa sürede ilave edilebilir. Diğer enerji üretim kaynakları için bu durum söz konusu değildir. Özellikle son kullanıcıların yakınına kurulan fotovoltaik sistemler, iletim ve dağıtım cihazları gereksinimini azaltır ve yerel elektrik hizmetinin güvenilirliğini artırır (Kelly, 1998).

Fotovoltaik sistemlerin, soğutma sistemlerinin işletmeye alınmasıyla birlikte sıcak yaz günlerinde maksimum elektrik talebinin ortaya çıktığı ABD'nin güneyi gibi bölgelerde özellikle değerli olduğu kanıtlanmıştır (Kelly, 1998).

Fotovoltaik sistemlerin işletme ve bakım maliyetleri, diğer enerji üretim sistemlerine göre son derece düşük, hatta yok denecek kadar azdır (İstanbuluoğlu, 1998). Özellikle kırsal alanlarda, petrol kullanan enerji kaynakları karşısında son derece ucuz ve temiz enerji elde edilebilir. Hareketli parçalarının olmayışı işletme-bakım maliyetlerini düşüren en büyük özellikleridir.

Fotovoltaik sistemler için gerekli enerji her yerde ve bedava bulunabilir niteliktedir. Diğer enerji üretim sistemleri için böyle bir durum söz konusu değildir. Örneğin rüzgar türbinlerinin çalışması için rüzgarın yıl boyu, belli bir hızın üzerinde esmesi gerekmektedir. Ancak fotovoltaik sistemlerin çalışması için, gün ışığının olması yeterlidir. Düşünülenin aksine, doğrudan güneşe ihtiyaç yoktur.

Fotovoltaik sistemler, enerji ihtiyacının olduğu aklımıza gelebilecek her yerde uygulama alanı bulabilmektedir. Bunların başında aydınlatma ve haberleşme sistemleri gelmektedir. Gerekli düzenekler sağlandığı takdirde AC ve DC yükler, aküler veya bunların üçü birden beslenebilmektedir (Çetin ve ark., 2000). Şekil 1'de, böyle bir sistem görülmektedir.



Şekil 1. Çok amaçlı bir fotovoltaik sistem

Fotovoltaik yapılar, sistemde kullanılan fotovoltaik panellerin verimlerinin istenilen seviyede olmaması

nedeniyle yüksek verimlilikle çalıştırılmamaktadır. Bu sebeple ana enerji üretim kaynağı olarak yaygın bir şekilde kullanılmamaktadır. Fotovoltaik panellerin üretiminde kullanılan yarıiletken teknolojisi, ancak % 15'lik bir enerji dönüşüm verimine müsaade etmektedir (Parmaksız, 1997). Ancak verim arttırmaya yönelik çalışmalar artarak devam etmektedir.

2. PWM VE REZONANS TEKNİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Fotovoltaik panellerin ürettiği DC gerilimin AC alıcılar tarafından kullanılabilir hale getirilmesi için invörtör devreleri kullanılır. Rezonans invörtörler, temelde bir L-C rezonans bölümünü içerirler. L-C devresi içinde osilasyon halinde bulunan gerilim ve akım yüke uygulanır. Seri ya da paralel L-C devresi kullanılabilir. Bu konvertörlerde yüke aktarılan güç, rezonans ve anahtarlama frekanslarıncaya kontrol edilir (Gu and Harada, 1988).

PWM (Pulse Width Modulated-darbe genişlik modülasyonu) invörtörlerde ise, invörtör çıkışının belirlenebilmesi için, bir referans sinyali oluşturulur. Referans sinyalinin frekansı invörtör çıkış frekansını, gerilim tepe değeri ise etkin çıkış gerilim değerini belirler. Her yarım döngüdeki darbe sayısı, taşıyıcı (genellikle üçgen dalga) frekansına bağlıdır (Rashid, 1993). Bu invörtörlerde DC giriş gerilimi sabittir. İnvörtör, AC çıkış geriliminin değerini ve frekansını kontrol eder (Mohan et al., 1989). PWM kontrollü invörtörlerdeki anahtarlama elemanları, çıkış geriliminin ve/veya akımının istenilen şekline bağlı olarak tetiklenebilir. Bununla birlikte anahtarlama elemanları yüksek di/dt değerli yük akımında iletim veya kesime giderler. Anahtarlar, yüksek gerilim zorlamasına maruz kalırlar. Bir anahtarın anahtarlama güç kaybı, anahtarlama frekansıyla birlikte lineer olarak artar. İletim ve kesim kaybı, toplam güç kaybının önemli bir kısmını oluşturur. Ayrıca invörtör dalga şekillerindeki yüksek di/dt ve dv/dt'den dolayı elektromagnetik parazitler üretilir (Rashid, 1993).

PWM kontrolün dezavantajları, eğer anahtarlama elemanları kesime veya iletime eleman üzerindeki gerilim ve/veya akım sıfır olduğunda geçirilirse elimine edilir veya minimuma indirilir. PWM invörtörlere nazaran rezonans invörtörlerde anahtarlama kayıpları ve anahtar zorlamaları oldukça azdır (Hua and Lee, 1993). Akım ve gerilim, rezonans invörtörlerdeki L-C devresi ile sifira gitmeye zorlanır.

Bir anahtarda toplam güç kayıpları,

$$P_{\text{TOPLAM}} = P_{\text{İLETİM}} + P_{\text{ANAHTARLAMA}} + P_{\text{KAPI}} + P_{\text{SIZINTI}} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada;

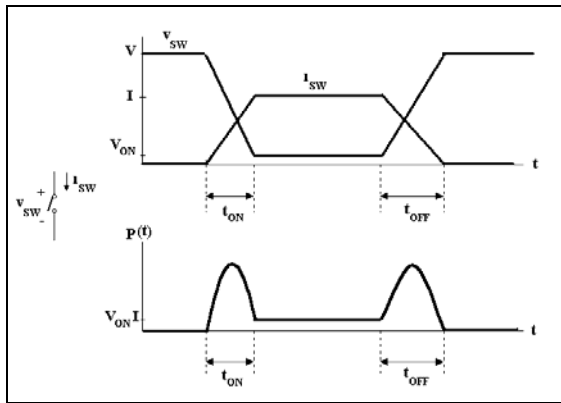
$P_{\text{İLETİM}}$ - Anahtar iletime geçtikten sonra yük akımının geçmesi sebebiyle oluşan kayıpları,

$P_{\text{ANAHTARLAMA}}$ - Anahtar iletim ve yalıtım durumuna geçerken oluşan kayıpları,

P_{KAPI} - Anahtarın iletim ve yalıtım durumuna geçiren tetikleme sinyalinin oluşturduğu kayıpları,

P_{SIZINTI} - Anahtar yalıtım durumunda iken geçen sızıntı akımlarının oluşturduğu kayıpları ifade etmektedir (Sazak, 1997).

Bir anahtar uçlarındaki gerilim, içinden geçen akım ve anahtarda oluşan güç kayıpları Şekil 2'de verilmiştir. Anahtar iletim durumunda iken üzerinde oluşan ileri yön gerilim düşümü ve geçen akım sebebiyle güç kaybı oluşur. Aynı zamanda bir anahtarın bir durumdan diğerine geçmesi için zamana ihtiyaç vardır. Bu anahtarlama süresi boyunca da anahtarlama kayıpları oluşur. Anahtarda tetikleme sinyali ve sızıntı akımları sebebiyle oluşan kayıplar, iletim ve anahtarlama kayıpları yanında ihmal edilebilir.



Şekil 2. Bir anahtarda iletim ve yalıtım anındaki güç kayıpları

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

Bu eşitlikte;

V - Devre gerilimi (V)

I_{DC} - Anahtar akımı (A)

f_{SW} - Anahtarlama frekansı (Hz)

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

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

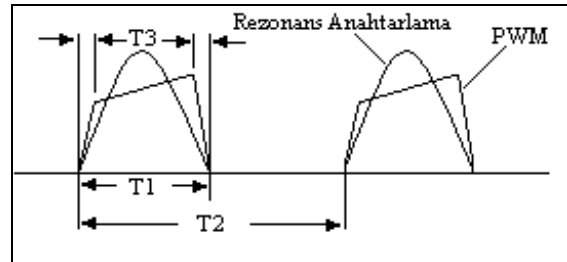
$T_{r(V)}$ - İletime geçerken anahtar geriliminin düşme zamanı (sn)

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

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

şeklinde dir.

Rezonans invörtörler, Şekil 3'te görüldüğü üzere sinüsoidal dalga formuna sahiptirler. Böylelikle daha düşük harmonik gürültü oluşumunun yanı sıra, akım dalga formunda keskin kenarın olmaması çok daha az parazitik gürültü demektir. Diğer yandan, PWM darbe dizisinin keskin kenarları sadece anahtarlama frekansında harmonikler üretmez, aynı zamanda invörtördeki parazitik elemanları daha yüksek frekanslarda (10-30 MHz) parazit üretecek şekilde tahrik eder. Parazitik gürültüler şebeke vasıtasıyla yayılabilir, bu da ek filtreleme maliyetini beraberinde getirir (Marchetti, 1999).



Şekil 3. PWM ve rezonans anahtarlama tekniklerince üretilen akım dalga formları (T1 anahtarın iletimde olduğu süre, T2 işlem periyodu, T3 anahtar üzerindeki akımın yükselme ve düşme zamanı)

Şekil 3'te, PWM ve rezonans anahtarlama tekniklerince üretilen akım dalga formları görülmektedir. PWM invörtörlerdeki en önemli problem, anahtarlama kayıplarıdır. Bu, yüksek frekanslarda, anahtarlama elemanlarının tetiklenmesini imkansız kılar. Çünkü anahtarlama kayıpları frekans ile birlikte yükselir. Ayrıca enerji depolama ve anahtarlama amacıyla kullanılan bobin ve kondansatörün daha büyük değerlerde seçilmesi gerekir. Bu da invörtörün fiziki boyut ve ağırlığını artırır. Anahtarlama elemanlarında ısınma meydana gelir. Anahtarlama kayıplarının hesabı, güç devresinin termal boyutlandırılması açısından önemlidir (Akkaya, 1997). Rezonans invörtörlerde kullanılan soğutucuların boyutları, PWM invörtörlerde kullanılanlara nazaran, kayıpların

azaltılmasına bağlı olarak daha küçüktür. Bununla birlikte, anahtarlama kayıplarından dolayı oluşan güç yayılımı, doğrudan doğruya işlem frekansıyla artar. Bu noktada verim hızla düşer, anahtar elemanı üzerindeki termal ve elektriksel zorlamalar iyice artar (Marchetti, 1999).

Bunu önlemek için rezonans invörtörler kullanılır. Her bir anahtar periyodunda enerji, rezonans sağlamak suretiyle sıfır akımda veya gerilimde invörtör çıkışına iletilir. Anahtarlama kaybı sıfırdır. Bu konuda yapılan çalışmalar, anahtarlama anında akım ya da gerilimden birinin sıfır yapılmasının anahtar kayıplarını önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur (Miller and Buchanan, 1995).

Rezonans invörtörler, yüksek frekanslarda çalışabilirler. Böylelikle kapasitif ve indüktif elemanlardaki enerji depolama ihtiyacı azalır. Bu da, invörtör boyut ve maliyetlerinin küçülmesi demektir (Bhat and Dewan, 1988). Bu özelliklerinden dolayı da rezonans invörtörler PWM invörtörlerden daha avantajlıdır.

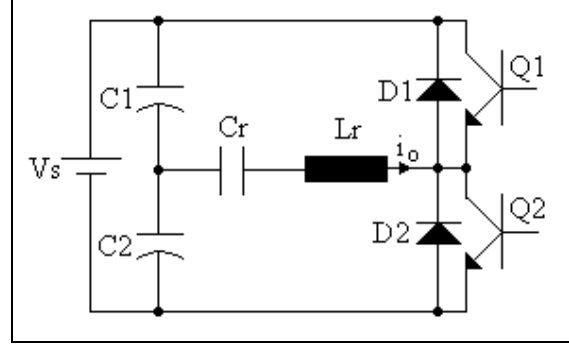
PWM birimlerinin verimi, tam yükten düşük yüklerle doğru azalırken, rezonans invörtörler % 20 yükten tam yüke kadar sabit verime sahiptirler. Bu nokta da oldukça önemlidir. Zira, eğer PWM invörtöre bağlı yük dinamikse ya da işlem düşük yüklerdeyse verim de düşebilir. Rezonans invörtörler geniş çıkış aralığı ve güç paylaşma yeteneği sayesinde güç arttırımı için paralel işlem kolaylığı sağlar (Marchetti, 1999).

3. İNCELENEN YARIM KÖPRÜ SERİ REZONANS İNVERTÖR DEVRESİ

Fotovoltaik sistemler, fotovoltaik panel fiyatlarının pahalı olması nedeniyle maliyeti yüksek yapılarıdır. Bu itibarla, fotovoltaik sistemlerin içerisinde bulunan invörtör devrelerinin maliyetinin düşük olması amaçlanır. Buradan hareketle, bu çalışmada iki anahtardan oluşan yarım köprü seri rezonans invörtör devresi kullanılmıştır.

Şekil 4'te, bir yarım köprü seri rezonans invörtör devresi görülmektedir. Seri rezonans invörtörlerin çalışma prensibi, "rezonans akımı osilasyonuna" dayanır. Komütasyon ve anahtarlama elemanları yük ile sönümsüz bir devre oluşturacak şekilde bağlanır. Anahtarlama elemanı üzerindeki akım, devrenin doğal karakteristiklerinden dolayı sıfıra iner. Eğer anahtarlama elemanı bir tristör ise, bu durumda tristör, kendiliğinden yalıtıma gider. Bu tip invörtörlerin ürettiği dalga formu yaklaşık olarak

sinüsoidaldir. Çoğunlukla sabit çıkış uygulamalarında (örneğin indüksiyon ısıtma ve fotovoltaik sistemler gibi) kullanılır. Rezonans elemanlarının boyutları, anahtarlama frekansı arttıkça küçülür (Rashid, 1993).



Şekil 4. Yarım köprü seri rezonans invörtör.

Yarım köprü seri rezonans invörtörde, çıkış geriliminin her bir yarım döngüsünde sadece bir anahtar iletimdedir. Bu; invörtör frekansını ve kaynaktan yüke enerji transferini sınırlar (Rashid, 1993).

Q1 anahtarı iletimdeyken rezonans akımı Q1, L_r rezonans bobini ve C_r rezonans kondansatörü üzerinden akar. Q1 yalıtıma geçtiğinde rezonans osilasyon akımı (invörtör çıkış akımı), D1 diyotu üzerinden bu kez ters yönde akmaya devam eder. Bu diyot, geri besleme diyotudur. Rezonans kolu üzerinde biriken enerjinin, kaynağa iletilmesini sağlar. Q2 iletime geçtiğinde rezonans akımı bu sefer Q2, L_r ve C_r üzerinden akacaktır. Q2'nin yalıtıma geçip Q1'in devreye girmesine kadar bu kez D2 diyotu üzerinden kaynağa geri besleme yapılır.

Anahtarlar üzerindeki ters kutuplanma gerilimi, anahtarlara ters ve aynı zamanda paralel bağlı olan diyotlar tarafından sınırlanır (Rashid, 1993).

Rezonans kondansatörü ve rezonans bobininin seçiminde, rezonans frekansı ön planda yer almaktadır. Bilindiği üzere rezonans frekansı,

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Anahtarın sıfır akımda iletime ve yalıtıma geçmesi için, anahtarlama frekansının rezonans frekansından küçük olma zorunluluğu vardır. Bu şekilde anahtar içinden geçen akım, anahtarlama sinyali kesilmeden önce sıfıra gitmiş ve anahtar kayıpsız olarak yalıtıma geçmiş olur.

4. SİSTEMİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Çalışmanın bu kısmını, yapılan çalışmanın daha ayrıntılı incelenebilmesini sağlamak amacıyla üç bölümde ele almak mümkündür. Aşağıda bu üç bölüm incelenmiştir.

4. 1. Güç Devresi

Güç devresi, yarım köprü seri rezonans invertör devresidir. Oluşturulan yarım köprü seri rezonans invertör devresinde kullanılan C1 ve C2 gerilim bölücü kondansatörleri, DC gerilim kaynağı görevini üstlenirler. Örneğin devredeki anahtarlardan S1 iletimde S2 yalıtımda iken, C1 kondansatörü tarafından; S1, C ve L elemanlarının olduğu kısmın beslemesi yapılır. Aynı durum, S2 iletimde ve S1 yalıtımdayken, C2 için geçerlidir.

Öncelikle invertörü beslemek için 5V çıkışlı bir DC/DC konvertör kullanılmıştır. C1 ve C2 şeklinde sembolize edilen giriş kapasiteleri, gerilim bölme ve filtreleme görevini üstlenirler. Bu kondansatörler eşdeğerdir ve her birinin üzerinde, kaynak geriliminin yarısı değerinde bir gerilim bulunmaktadır. Kondansatörlerin kapasite değerleri, filtreleme işlemini daha iyi yapabilmeleri için mümkün olduğunca büyük seçilir. Aynı zamanda nominal gerilim değerleri de, üzerlerine uygulanacak gerilim değerine dayanabilecek nitelikte olmalıdır. Bu amaçla 2200 µF/63V'luk alüminyum elektrolitik tip kondansatörler seçilmiştir.

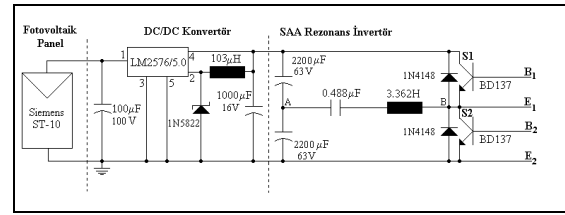
İkinci bölümde bahsedildiği üzere, kullanılan fotovoltaik panelin gücü 10W'tır. Bu itibarla seçilen anahtarlar 10W'lıktır. Anahtar kollektör-emetör gerilim değerinin V_S gerilim değerini karşılar nitelikte olması önemlidir (Kassakian et al., 1992). Bu noktada 10W / 1.5A / 60V karakteristik değerlerine sahip BD137 tipi güç tranzistörü seçilmiştir.

Uygulama devresi, 50 Hz çıkış frekansına göre kurulmuştur. Anahtarlama sinyallerinin periyodu 20ms'dir. Bu itibarla, seçilen rezonans frekansının 50Hz'den büyük olması gerekir.

Çıkış sinyali AC olacağından kullanılacak rezonans kondansatörünün pozitif ve negatif alternansta iletimi sağlama zorunluluğu nedeniyle kutupsuz olarak seçilmesi gerekir. 124.3 Hz rezonans frekansına göre yapılan bu çalışmada, $L=3.362H$ olarak alınmış, denklem 1'e göre C değeri 0.488µF olarak hesaplanmıştır.

Güç devresinin genel yapısı, Şekil 5'te görülmektedir. Güç devresinde, Siemens ST-10

fotovoltaik paneli kullanılmıştır. Panel çıkış gerilimi, panel üzerine gelen ışığın şiddetine göre sürekli olarak değiştiğinden, bu gerilim değerinin belirli bir sabit değerde tutularak invertör girişine uygulanması gerekmektedir. Bu amaçla, 6V ile 40V arası DC giriş değerlerinde 5V DC çıkış değeri veren LM2576/5.0 Buck tipi DC/DC konvertör kullanılmıştır. Kullanılan entegrenin çıkış akım değeri maksimum 3A, çıkış gerilim değeri ise maksimum 5.25V'tur. regülatör giriş ve çıkış filtre eleman değerleri, katalog verileridir. LM2576/5.0, monolitik bir entegre devredir. Dahili termal kesme ve akım sınırlama fonksiyonu vardır.



Şekil 5. SAA yarım köprü seri rezonans invertörlü fotovoltaik enerji dönüşüm sistemi.

4. 2. Kontrol Devresi

Tranzistörleri tetikleyen sinyallerin üretildiği devre, kontrol devresidir. Kontrol devresinin genel yapısı, Şekil 6'da görülmektedir. Şekilde görülen 555 entegresi, tranzistörleri tetikleyecek referans sinyallerini üretme için kullanılır. Bu referans sinyalinin periyodu 20ms'dir. Periyot iki eşit parçaya bölünmüş, bu şekilde darbe süresi 10ms olarak elde edilmiştir.

Uygulanan darbenin genliği 5 V'tur. Çünkü BD137 tipi tranzistör, bu gerilim değerinde tetiklenir. Şekil 6'da, referans sinyalinin üretildiği bölüm görülmektedir. 5V tepe değerli bir sinyal elde etmek için, entegre, 5V'luk bir kaynakla beslenir. Darbe süresini belirlemek için,

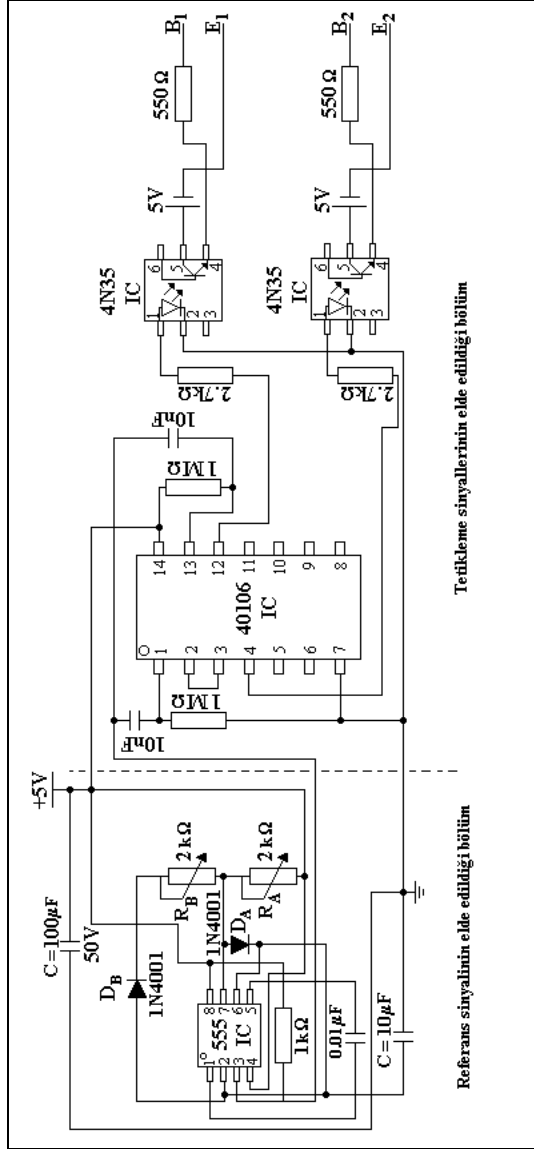
$$t_d = 0.695 \cdot R_A \cdot C \quad (4)$$

$$t_b = 0.695 \cdot R_B \cdot C \quad (5)$$

Burada; t_d darbe süresini, t_b ise toplam periyot içinde darbenin uygulanmadığı boşluk süresini belirtir. Bu iki denklemin toplamı, periyodu verir. Elde edilen referans sinyalinden tetikleme sinyallerinin elde edilmesi için, "40106 Hex Inverting Schmitt Trigger" entegresi kullanılmıştır. Eğer 40106 entegresinin çıkışlarındaki sinyaller, direkt olarak tranzistörlere uygulanırsa, 40106 entegresinin tek toprak hattı bulunması nedeniyle, tranzistörlerin emetör uçları kısa devre olacaktır. Bu da, gerilim bölücü kondansatörlerden birinin kısa devre olması demektir. Bu nedenle, güç ve kontrol devreleri

arasındaki izolasyonu sağlamak amacıyla, Şekil 6'da görülen 4N35 optoizolatör entegrileri kullanılmıştır.

Kontrol devresi, Şekil 6'da görülen B1, B2, E1 ve E2 uçları vasıtasıyla, Şekil 5'te görülen güç devresine bağlanır. Şekil 6'daki 550 Ω 'luk dirençler, tranzistörlerin baz uçlarına bağlanan ön dirençlerdir.

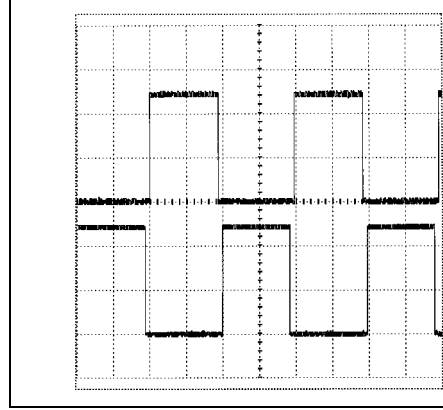


Şekil 6. Anahtar tetikleme sinyallerinin üretildiği kontrol devresi denklemlerinden yararlanılır (Pastacı, 1998).

4. 3. Deneysel Çalışma Sonuçları

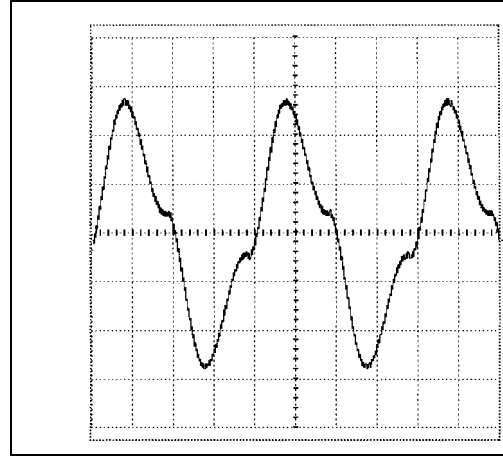
Sunulan sistemin güç ve kontrol devresi, pratik olarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 7'de S1 ve S2 anahtarlarına ait tetikleme sinyalleri görülmektedir.



Şekil 7. S1 ve S2 anahtarlarına ait tetikleme sinyalleri (U: 2V, T: 5 ms)

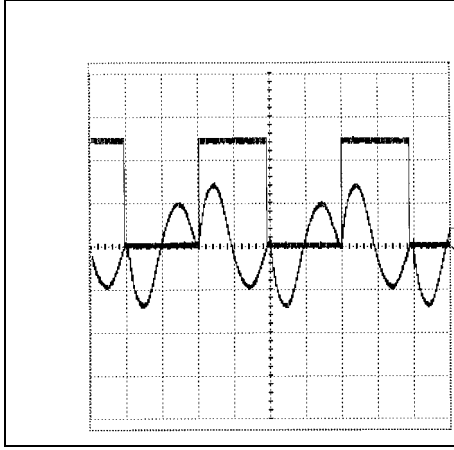
Şekil 8'de, rezonans kondansatörü üzerindeki gerilim dalga şekli görülmektedir. Eleman toleransları da dikkate alındığında, rezonans kondansatörüne ait gerilimin tepe değeri, şekilden de görüldüğü üzere, yaklaşık olarak kaynak gerilimine eşittir.



Şekil 8. Rezonans kondansatörü gerilim dalga şekli (U: 2V, T: 5 ms).

Şekil 9'da, S1 anahtarına ait tetikleme sinyali ile anahtar ve diyot içinden geçen akım dalga şekilleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü üzere, anahtar sıfır akımda açma kapama yapmaktadır. Bu durum anahtarlama kayıplarını ortadan kaldırmakta ve sistem verimini arttırmaktadır (Çetin, 2002).

Sistemde kullanılan BD137 tip tranzistörün iletim direnci ve yük akımı yardımıyla iletim kaybı, 5V kaynak gerilimi ve 1.8A yük akımı için denklem 6'dan hesaplanabilir. Denklemdeki R_{CE} ifadesi, anahtarın iletim anındaki direncini ifade eder.



Şekil 9. S1 anahtarı tetikleme sinyali ile S1 anahtarı ve D1 diyodu içinden geçen akımın dalga şekli (U: 2V, I: 2A, T: 5 ms).

$$P_{\text{İLETİM}} = I_{\text{DC}}^2 \times R_{\text{CE}} \quad (6)$$

$$= (1.8)^2 \times 0.4$$

$$= 1.296\text{W}$$

Denklem 2'den anahtarlama kaybı;

$$P_A = \frac{5 \times 1.8 \times 50}{2} [10 \cdot 10^{-5}]$$

$$= 22.5 \text{ mW}$$

şeklinde hesaplanır. SAA uygulamak suretiyle anahtarın anahtarlama kaybı ortadan kalktığı için denklem 1'e göre toplam kayıplar sadece iletim kayıbından ibaret hale gelir. Bu da yaklaşık % 2'lik verim artışına tekabül eder. Özellikle anahtarlama frekansının, uygulanan gerilimin ve çekilen akımın yüksek olduğu uygulamalarda, SAA uygulanmamış devrelerde anahtarlama kayıplarındaki (dolayısıyla toplam kayıplardaki), buna karşılık SAA uygulanmış devrelerde ise sistem verimindeki büyük artış kaçınılmaz olacaktır.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan bu çalışmada, fotovoltaik sistemlerde kullanılan bir seri rezonans invörtör devresi ele alınmış ve incelenmiştir.

Sıfır-Akım anahtarlama seri rezonans invörtör devresi, anahtarlama kayıplarını ortadan kaldırmakla, anahtarlama kayıplarını ortadan kaldırmayan muadilleri arasında sistem verimini arttıran ve maliyeti azaltan bir düzenek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Kayıpların azalması, konvertörü yüksek frekanslarda çalıştırma imkânını 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. Bununla birlikte sistemin genel verimindeki artış, aynı iş için daha küçük güçte ve boyutta fotovoltaik panel kullanımına olanak verir. Bu da hem sistem boyutlarının küçülmesi, hem de maliyetin azalması demektir. Ayrıca sıfır akımda anahtarlama yapıldığında, güneş pili sisteminin yüksek frekanslarda bir elektromagnetik parazit üretici gibi çalışması da önlenmiş olur.

6. KAYNAKLAR

Akkaya, R. 1997. İzole Kapılı Bipolar Tranzistör (IGBT) Güç Kayıplarının Hesaplanması, Kaynak Elektrik Dergisi, Sayı:101, 111-120.

Bhat, A. K. S. and Dewan, S. B. 1988. Analysis And Design Of A High Frequency Link DC to Utility Interface Using Square Wave Output Resonant Inverter, IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 3, No. 3, 355-363.

Çetin, E., Ükte, A. ve Sazak, B. S. 2000. Bir DC Alıcıyı Besleyen Güneş Pili Sisteminin Sıfır Akım Anahtarlama Tekniğiyle Veriminin Arttırılması, **ELECO 2000 Bildiriler Kitabı (Elektrik)**, 176-180.

Çetin, E., Kecerlioğlu, M. S. ve Sazak, B. S. 2001. Fotovoltaik Panel Konum Kontrolünün Z80 Mikroişlemcisi Kullanılarak Gerçekleştirilmesi, **6. Türk-Alman Enerji Sempozyumu**.

Çetin, E. 2002. Sıfır Akım Anahtarlama Tekniğinin AC Besleme Yapan Bir Fotovoltaik Enerji Dönüştürme Sistemine Uygulanması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.

Gu, W. J. and Harada, K. 1988. A New Method To Regulate Resonant Converters, IEEE Transactions On Power Electronics, Vol. 3, No. 4, 430-439.

Hua, G. and Lee, F. C. 1993. Soft Switching PWM Techniques And Their Applications, **The European Power Electronics Association**, 87-92.

İstanbuluoğlu, S. 1998. Güneş; Elektrik Kaynağı, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Cilt: 39, Sayı: 403, 35-36.

Kassakian, J. G., Schlecht, M. F. and Verghese, G. C. 1992. Principles Of Power Electronics, Addison-Wesley Publishing Company, 738 p., USA.

Kelly, H. 1998. Fotovoltaik Teknolojiye Giriş, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Cilt: 39, Sayı: 403, 12-15.

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

Marchetti, R. 1999. Does Power Conversion Topology Matter ?, Canadian Electronics Journal, Vol. 14, No. 4.

Miller, E. J. and Buchanan, E. E. 1995. Resonant Switching Power Conversion Technique, Power Electronics Specialist Conference Record, PESC'95 pp. 188-193.

Mohan, N., Undeland, T. M. and Robbins, W. P. 1989. Power Electronics; Converters, Applications and Design, John Wiley And Sons Publication, 667 p., USA.

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

Pastacı, H. 1998. Elektronik Devreler, Birsen Yayınevi, 390 s., İstanbul.

Rashid, M. 1993. Power Electronics Circuits, Devices And Applications, Prentice Hall (Second Edition), ISBN 0-13-678996-X, 702 p., New Jersey.

Sazak, B. S. 1997. A New Unity Power Factor Quasi-Resonant Induction Heater, Ph. D. Thesis, University of Glamorgan, U.K.