

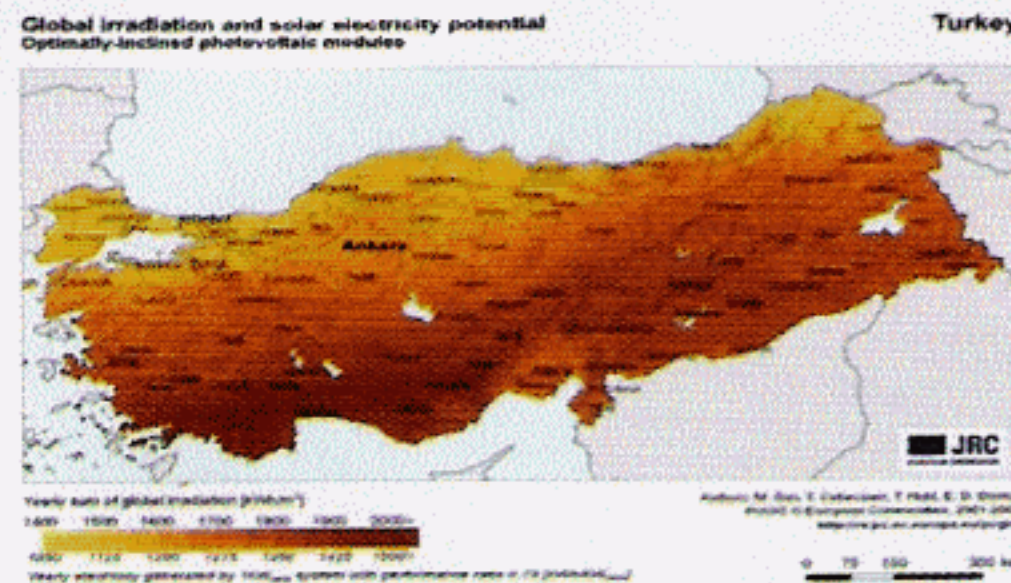
Şebeke Bağlantılı Tek Fazlı Güneş Enerjisi Sistemlerinin Evirici Yapıları

Ziya ÖZKAN, Ahmet M. HAVA (ozziya@metu.edu.tr, hava@metu.edu.tr)
Orta Doğu Teknik Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği

Yerleşim yerlerinde birkaç kW ve altındaki güç düzeylerinde güneş enerjisini güneş pilleri ile elektrik enerjisine dönüştürüp şebekeye aktarmada tek fazlı eviriciler yaygınca kullanılır. Eviricilerde öncelikle yüksek enerji verimliliği, ekonomiklik ve az kaçak akım aranır. Bu çalışmada bu amaçla geliştirilen çeşitli evirici yapıları incelenecektir.

1. Giriş

Gün geçtikçe azalan fosil yakıtlar ve artan küresel ısınma, yenilenebilir enerji kaynaklarını göz ardı edilemez kılmaktadır. Avrupa medeniyetlerinin şimdiye kadar teknolojisinde ve ticaretinde önemli yol aldığı bu kaynaklardan güneş, enleminin verdiği avantajla Türkiye'de yıllık toplam ışıma enerjisi yoğunluğu (kWh/m^2) olarak yüksek potansiyel arz etmektedir [1]. Bu alanda Türkiye'de termal güneş enerji sistemleri (örneğin su ısıtma) konusunda önemli ticari başarı sağlanmışken güneş pilli enerji sistemleri (GÜPES) konusunda emekleme aşaması söz konusudur. GÜPES'lerin maliyetinin büyük çoğunluğunu yaklaşık %50-60 ile güneş panelleri (pilleri), oluşturmaktadır. Bunları %10-20 ile eviriciler takip etmektedir.



Şekil 1: Türkiye'nin metrekare başına düşen yıllık güneş enerjisi haritası (kWh/m^2) [1].

Dolayısıyla eviriciler, GÜPES'lerin önemli ve teknoloji yoğun iki parçasından birini oluşturur. Bu çalışmada tek fazlı GÜPES'lerde kullanılan eviriciler incelenecektir.

2. GÜPES'lerin Sağlaması Gereken Özellikler

Şebeke bağlantılı GÜPES'ler, öncelikli olarak şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili şebeke yaptırımlarına (grid code) uygun olmalıdır. Bu yaptırımlar, standartlarda tanımlanmış olup; akım harmoniği, güç katsayısı, kaçak akım gibi büyüklükler için sınırlamalar getirmektedir. Bunların yanında yüksek verim ve düşük maliyet sistem kurulumunda ve performansında önemli etkenler olup, kaçak akım karakteristikleriyle birlikte seçilen evirici yapısına göre değişmektedir. Bildiride evirici yapısına göre değişen bu temel karakteristikler aşağıdaki gibi ayrıntılandırılmıştır.

a) Yüksek Verim ve Düşük Maliyet

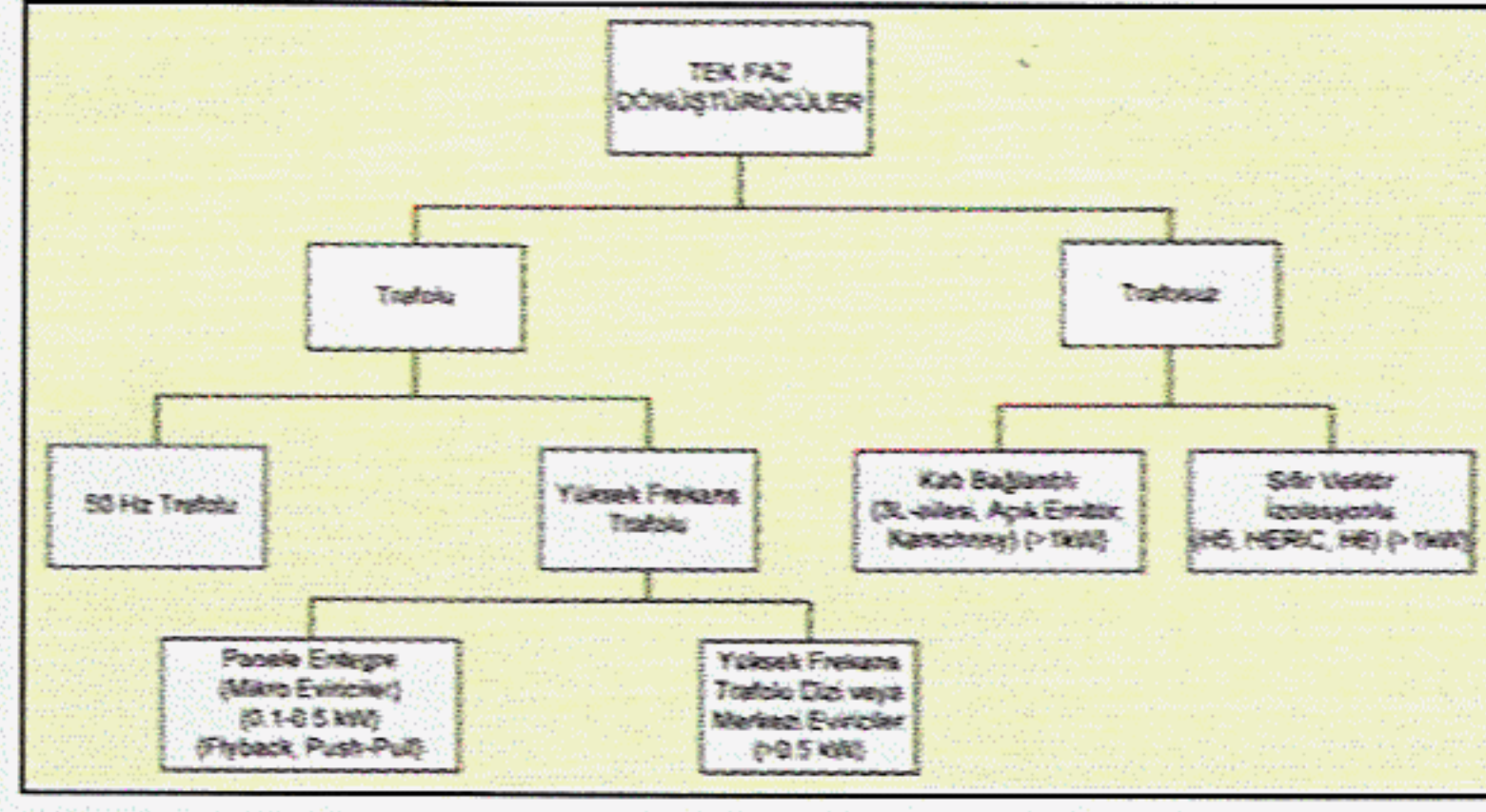
Gücün güneş panellerinden şebekeye aktarımındaki verim, seçilen evirici yapısının ve anah-

tarlama tekniğinin sonucudur. Verim sistemin kendini geri ödeme süresini belirlemede kilit görev üstlenmektedir. Standart eviricilerde anma gücündeki verim önemliyken, GÜPES'lerde seçilen evirici yapısının değişen ışıma şiddetiyle birlikte değişen yüklenme durumlarında değişik verimlere sahip olması, coğrafi yapıya göre verim hesabını doğurmuştur. Avrupa'nın ışıma yoğunluğuna (dolayısıyla yüklenme yoğunluğuna) göre değişen verim katsayılarının kullanıldığı verim hesabı 1'deki gibidir [2].

$$\eta_{\text{euro}} = 0.03 \cdot \eta_{5\%} + 0.06 \cdot \eta_{10\%} + 0.13 \cdot \eta_{20\%} + 0.10 \cdot \eta_{30\%} + 0.48 \cdot \eta_{50\%} + 0.20 \cdot \eta_{100\%} \quad (1)$$

b) Düşük Kaçak Akım

Güneş panelleri, evlerin çatıları gibi insanların kolaylıkla ulaşabileceği yerlere kurulduğundan güvenlik gereği topraklanmalıdır. Bu sistemlerin pozitif ve negatif terminalleri, topraklanan yüzey ile ihmal edilemeyecek ölçüde parazit sığalar oluşturur. Bu sığaların değeri, temel olarak panel teknolojisine, panel alanına, panel inceliğine, değişen hava koşullarına bağlıdır ve kW başına 10-100 nF aralığında değişebilmektedir [3]. TN ve TT dağıtım sistemlerinde, trafosuz yapılar, galvanik yalıtıma sahip olmadıkları için bu sığaların üzerinde oluşabilecek yüksek frekanstaki gerilim değişimlerinden kaynaklanabilecek kaçak akımlara karşı korumasızdırlar. Yapısal olarak ya da anahtarlama tekniği ile engellenmeyen kaçak akım, elektromanyetik uyumluluk problemlerine, güneş panellerinde verim düşümüne ve en önemlisi çarpıl-



Şekil 2: Tek faz GÜPES'lerin yapısal sınıflandırılması.

ma tehlikesine yol açar [3]. Bu etkilerden dolayı DIN VDE 0126-1-1 standardına göre bu akımın tepe değeri 300 mA ile sınırlandırılmıştır. GÜPES'lerde oluşabilecek kaçak akımlar büyük oranla yüksek frekanslı ortak mod gerilimi değişimi kaynaklıdır. Ortak mod gerilimi, evirici bacalarının DC baranın orta noktasına göre gerilimlerinin aritmetik ortalaması olarak tanımlanır [4]. Kaçak akımlar, parazit sığalar üzerindeki ortak mod gerilimi değişiminden ya da farklı etkilerden dolayı parazit sığalar üzerinden yol bulur.

3. GÜPES Evirici Yapıları

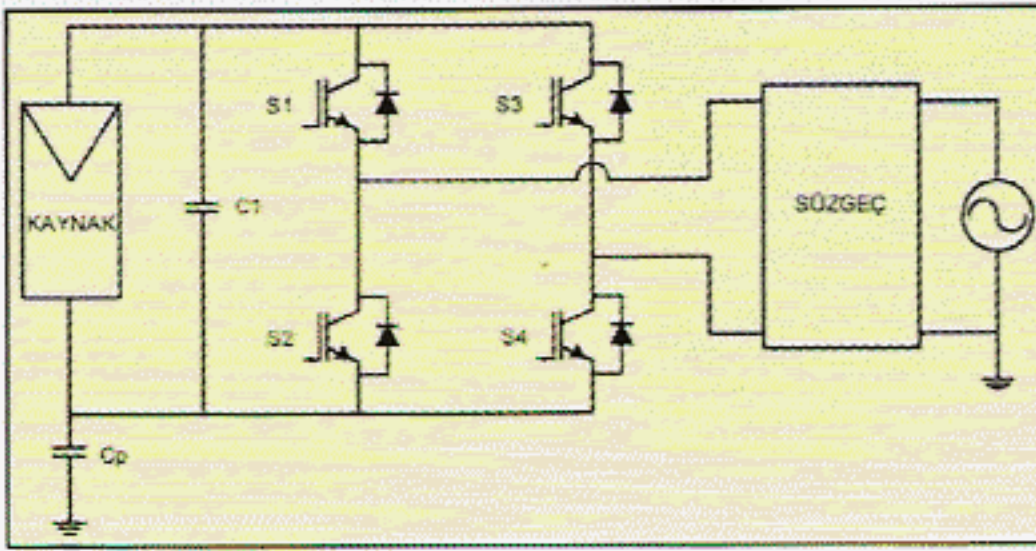
Yüksek verim, düşük maliyet, düşük kaçak akım özelliklerini sağlayan eviricileri geliştirmek için yaklaşık 30 yıldır ve özellikle son 5 yıl içinde çok yoğun çalışmalar yapılarak GÜPES uygulamaları için çeşitli evirici yapıları geliştirilmiştir. GÜPES'ler, yapı itibarıyla trafolu ve trafosuz olmak üzere ikiye ayrılır. Trafonun kullanımı galvanik yalıtım sağladığı için panellerin parazit sığasından kaynaklanan kaçak akımların akmasını önemli ölçüde engeller. Trafonun düşük frekansta (50 Hz) şebeke ara yüzünde kullanılması verimi, boyutu ve maliyeti olumsuz etkilediği için düşük frekans trafo çözümü günümüzde kabul görmektedir. Trafonun güneş pilleri

ve evirici ara yüzünde yüksek frekansta kullanılması ise bu olumsuzlukların azaltılmasında önemli rol oynar. Yüksek frekans trafosunun kullanıldığı alanlardan biride panele bütünlük dönüştürücülerdir (PBD, module integrated converter, MIC). PBD'ler küçük güçlerde üretildiği için verimi daha düşük, kW maliyeti daha yüksektir. PBD'ler her panelin ışımaya göre tepe gücünde çalışmasını sağlar. Her bir panelin tepe gücünün toplamı bütün panellerin tepe gücünden fazla veya bu güce eşit olacağından sistem toplam veriminin önemli ölçüde artması mümkün olmaktadır. Trafosuz yapılar ise trafodaki çekirdek ve bakır kayıplarını içermemesinden kaynaklanan yüksek verime sahiptir. Özellikle dizi ve merkezi evirici olarak bu sistemler trafolu sistemlerden verim ve maliyet açısından avantajlıdır. Bu yapılarda galvanik yalıtım olmadığı için kaçak akımın engellenmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur.

Kaçak akımı engelleme yöntemine göre trafosuz sistemler de kendi içinde katı bağlantılı ve sıfır vektör yalıtımlı olmak üzere ikiye ayrılır. Katı bağlantılı yapılarda şebeke kaynak DC devresi ile daimi olarak bağlantılıdır. Bu sayede parazit sığa gerilimi sabit tutularak kaçak akımlar engellenir. Sıfır vektör yalıtımlı yapılarda ise ortak mod gerilimi değişiminden kaynaklanan kaçak akım, ortak mod geriliminin değiştiği sıfır gerilim darbelerinde yalıtım sağlanarak engellenir. Şekil 2'de tek fazlı GÜPES'lerin yapısal sınıflandırılması kullanılan güç aralıkları ile özetlenmiştir.

3.1. H4 Eviricili GÜPES

H4 tam köprü evirici devresi güç elektroniğinin çok çeşitli uygulamalarında uzun yıllardır yaygınca kullanılmaktadır. İki yarım köprü eviriciden oluşan H4 yapısı, tek ve çift kutuplu olmak üzere iki tür anahtarlama tekniği ile anahtarlanabilir. Tek kutuplu anahtarlama ortak mod gerilimi yüksek olup kaçak akım sınırları aşılar ve bu durumda galvanik yalıtım gerekir (50 Hz trafosu ile). Çift kutuplu anahtarlama da anahtarlama kayıpları yüksek olup verim düşmektedir. Dolayısıyla bu yapıda her iki anahtarlama tekniği de başarılı sonuç vermediğinden bu çözümün kullanımı ilk nesil GÜPES'lerle sınırlı kalmış ve yerini daha üstün trafosuz GÜPES yapılarına bırakmıştır.

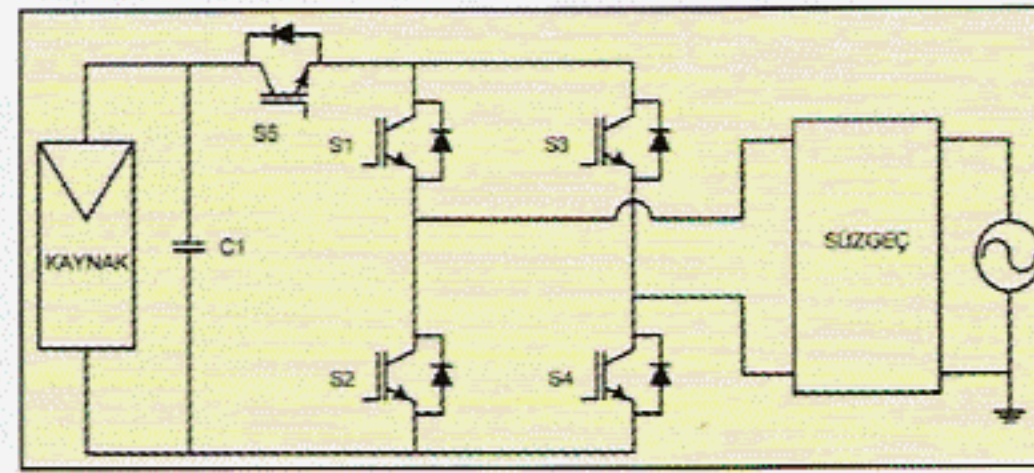


Şekil 3: H4 eviricili GÜPES.

3.2 H5 Eviricili GÜPES

H5 yapısı, H4 yapısına fazladan bir anahtar eklenmesiyle oluşturulmuştur. En yüksek verimli yapılardan olan H5, GÜPES uygulamalarında kW güçlerde yaygınca kullanılmaktadır. Pozitif çıkış gerilim referansı boyunca S1 anahtarı iletimde tutulur. Bir darbe genişlik modülasyon (DGM) periyodundaki pozitif gerilim S4 ve S5 anahtarlarının iletime geçmesi ile elde edilir. Negatif çıkış gerilim referansı boyunca S3 anahtarı iletimdedir. Bir DGM periyodundaki negatif gerilim S2 ve S5 anahtarlarının iletime geç-

mesi ile elde edilir. Devre "bir" güç katsayısıyla çalıştığı için DGM periyodundaki sıfır gerilimleri şebeke akımının pozitif gerilim referansında S1 anahtarı ve S3 diyotundan, negatif gerilim referansında ise S3 anahtarı ve S1 diyotu üzerinden yol bulmasıyla elde edilir. Yukarıda anlatılan anahtarlama tekniği sonucunda çıkış gerilimi H4 tek kutuplu anahtarlama ile aynı olur. Fakat sıfır gerilim darbelerinde değişen ortak mod gerilimi, iki sistem izole hale geldiğinden ortak mod kaynaklı kaçak akım oluşturmaz. Yapıda enerji verimi oldukça yüksek olup, %98'e ulaşabilmektedir.



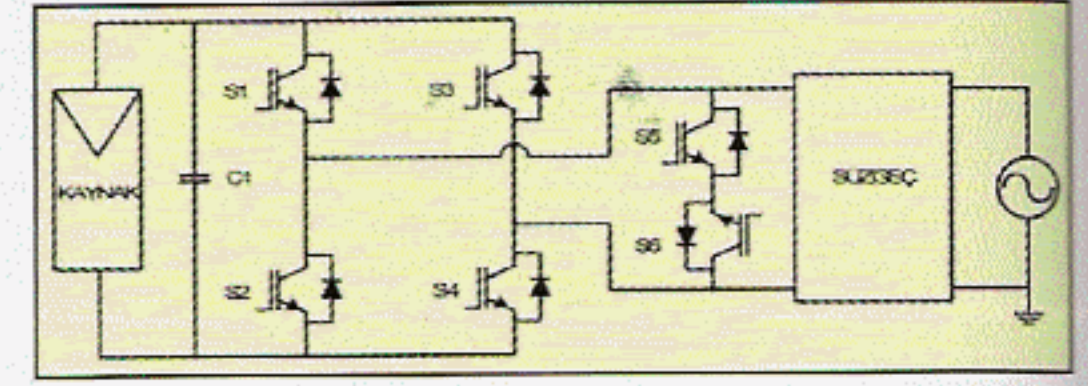
Şekil 4: H5 eviricili GÜPES.

3.3. Heric Eviricili GÜPES

Heric yapısı H5'e benzer şekilde sıfır gerilim bölgelerinde AC ve DC sistemleri izole ederek ortak mod akımının akmasını engeller. Pozitif gerilim referansında S6 anahtarı iletimdeyken bir DGM periyodunda pozitif gerilim darbesi S1, S4 anahtarlarının iletime geçmesiyle elde edilir. Bu DGM periyodundaki sıfır gerilim darbesi ise S1, S4 anahtarlarının kesime geçirilmesiyle elde edilir. İletimde olan S6 anahtarı ve S5 diyotu, şebeke gerilimi ile aynı fazda olan akıma yol sağlar. Negatif gerilim referansında ise S5 anahtarı iletimdeyken bir DGM periyodundaki negatif gerilim darbesi için S2, S3 anahtarları iletime geçirilir. Sıfır gerilim darbesinde kesime geçen bu iki

anahtar, akımın S5 anahtarı ve S6 diyotu üzerinden yol bulmasını sağlar.

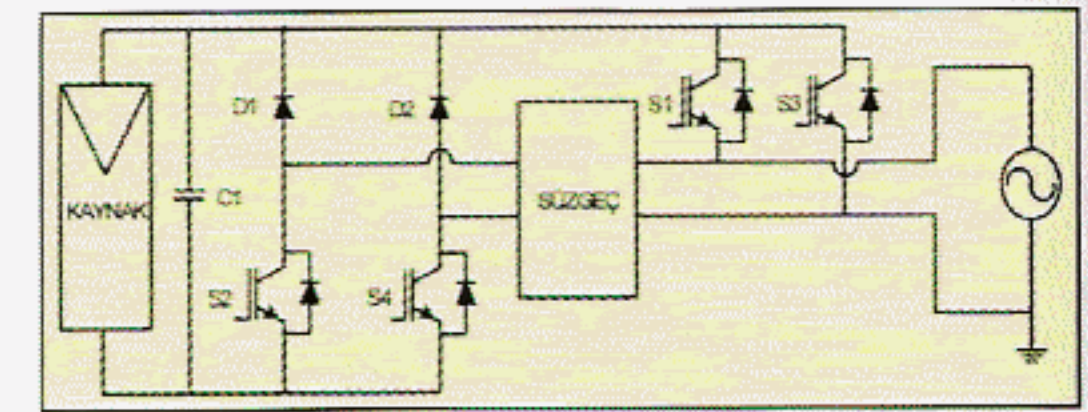
Heric yapısının çıkış gerilimi tek kutuplu anahtarlama ile aynıdır (üç seviyeli). Bunun yanında H5 yapısıyla benzer olarak sıfır gerilim darbelerinde yalıtım sağlandığı için bu iki yapının kaçak akım karakteristiği aynıdır ve tepe enerji verimi aynı şekilde %98'e ulaşabilmektedir.



Şekil 5: Heric eviricili GÜPES.

3.4. Açık Emitörlü GÜPES

Açık emitör yapısında pozitif gerilim referansı süresince S1 anahtarı iletimdedir. S4 anahtarı yüksek frekansta gerilim referansının örneklenmesiyle oluşturulan gerilim darbelerini üretir. Negatif gerilim referansı içinse benzer işlem S3 ve S2 anahtarları için geçerlidir. Bu yapının temel getirisi AC ve DC devreler arasındaki katı bağlantının S1, S3 anahtarlarıyla dönüşümlü olarak sağlanmasıdır. Bu yaklaşım sonucunda kaçak akım ihmal edilebilir düzeye iner.

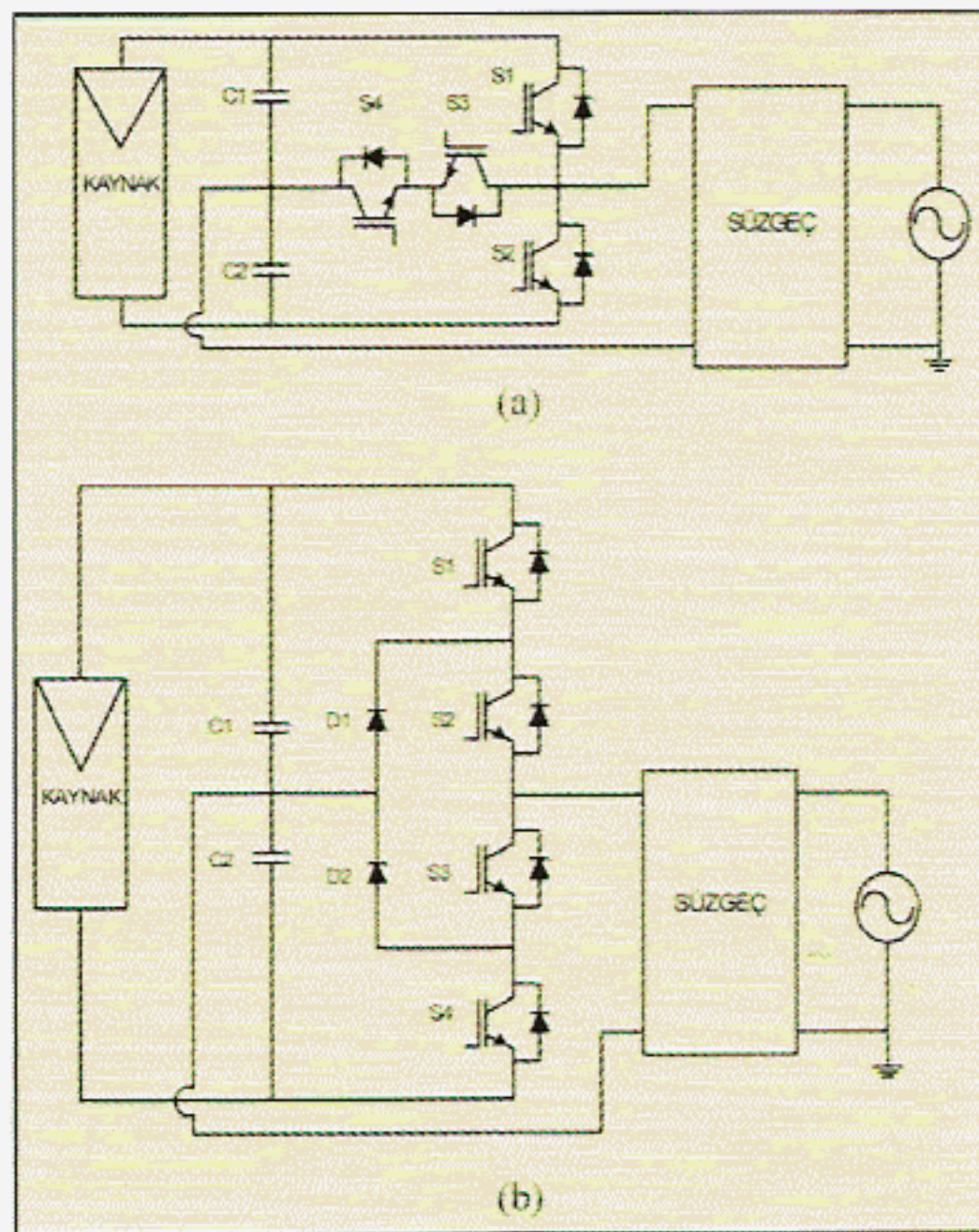


Şekil 6: Açık Emitör eviricili GÜPES.

3.5. Katı Bağlantılı Üç Düzeyli Eviricili GÜPES'ler

Katı bağlantılı üç düzeyli evirici yapılarına örnek olarak 3L-SC ve 3L-NPC eviricileri gösterilebilir (Şekil 7 a,b). Bu yapılar farklı anahtarlama matrislerine sahip

olmalarına rağmen DC ve AC devrelerde gösterdikleri gerilim akım etkileri aynıdır. Dolayısıyla sistem başarımları eşdeğerdir. Bu yapılarda şebeke nötrü DC baranın orta noktasıyla birleştirilmiştir ve bu sayede parazit sızımlar üzerindeki gerilimlerin değişmesi, dolayısıyla kaçak akımın engellenmesi amaçlanmıştır. 3L ailesine ait yapıların şebekeye aynı bir gücü aktarabilmesi için diğer yapılarda gerekli olan giriş geriliminin iki katı gereklidir. Düşük giriş gerilimlerinde eviricinin giriş gerilimini istenen seviyeye getirmek için güneş enerjisi kaynağı ve evirici arasında konulacak yükseltici devre verimi olumsuz etkiler. Pozitif gerilim referansı boyunca pozitif gerilim darbelerinde SC yapısında S1, NPC yapısında ise S1 ve S2 anahtarları iletimdedir. Pozitif gerilim referansındaki sıfır gerilim darbelerinde ise SC yapısında S4 ve S3 anahtarı, NPC yapısında ise S2 anahtarı ve D1 diyotu iletimdedir. Negatif gerilim referansında da benzer anahtarlar gerçekleştirilerek bu yapı-



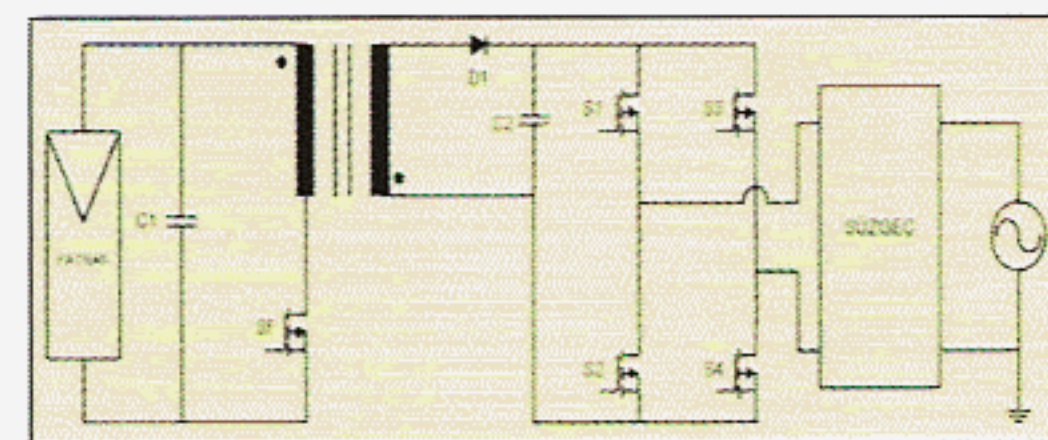
Şekil 7: Üç düzeyli GÜPES'ler, (a) 3L-SC, (b) 3L-NPC.

Yüksek verim, düşük maliyet, düşük kaçak akım özelliklerini sağlayan eviricileri geliştirmek için yaklaşık 30 yıldır ve özellikle son 5 yıl içinde çok yoğun çalışmalar yapıp GÜPES uygulamaları için çeşitli evirici yapıları geliştirilmiştir.

larda üç seviyeli çıkış gerilimi elde edilir. Yapısal olarak 3L-NPC eviricisinin çıkış gerilimi, giriş gerilim gereksinimi ve kaçak akım özellikleri 3L-SC eviricisiyle aynıdır. Bu yapılarda enerji verimi oldukça yüksektir ve özellikle kW üstü GÜPES'lerde ticari uygulamaları yaygındır.

3.6. Flyback Eviricili GÜPES

Birkaç yüz watt ve altında kullanımı yaygın bir DC-DC dönüştürücü olan flyback yapısı PBD'lerde kullanılır. Sabit DC çıkış gerilimi yerine doğrultulmuş sinüs gerilim üretilip, bu gerilim de bir 50 Hz eviricisi ile DC'den AC'ye evirilerek şebekeye bağlanır ve güç aktarımı sağlanır. Böylece gerilim yükseltimi ve galvanik yalıtım flyback trafosu üzerinden sağlanır. Yüklemeyle artan kayıpları azaltmak için devre rezonans geçiş modunda çalıştırılabilir ya da serpiştirilmiş



Şekil 8: Flyback Eviricili GÜPES

(interleaved) iki fazlı yapı kullanılabilir. Verim %95 seviyelerine ulaşabilir.

4. Sonuç

Yaygınlaşan uygulamalarıyla beraber, GÜPES'ler için çeşitli güç elektroniği çözümleri geliştirilmiş ve kullanım bulmuştur. Çözümler panele bütünleşik dönüştürücü gibi radikal farklılıklar ve geleneksel H4 eviriciden türetilen H5 gibi yüksek verimli yapıları kapsamaktadır. Her çözümün kendine özgü getiri ve götürüleri bulunmaktadır. Ancak yüksek verim, az kaçak akım, şebeke ile uyumlu çalışma, vb. uygulama için aranan temel özellikler olup, uygulamada kabul gören yapıların ortak özelliğidir. GÜPES topolojileri alanında yeni teknolojiler hızla geliştirilmekte ve özgün ürünler boyutunda araştırmalar devam etmektedir. Bu alanda Türkiye'de de araştırma çalışmalarının yoğunlaşması, uzun vadede bu alanda fikri hakların elde edilmesi ve katma değerli teknoloji üretilmesi için yaşamsaldır.

Kaynaklar

- [1] M. Suri, T. Cebecauer, T. Huld, E. D. Dunlop, "Global radiation and solar electricity potential optimally inclined photovoltaic modules Turkey" <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>
- [2] H. Haeberlin, L. Borgia, M. Kaempfer and U. Zwahlen, "New tests at grid-connected PV inverters: Overview over test results and measured values of the total efficiency Étot", in 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden, Germany, Sept. 2006.
- [3] D. Barater, G. Franceschini, E. Lorenzani, "Unipolar PWM for transformerless grid-connected converters in photovoltaic plants," International Conference on Clean Electrical Power, s. 387-392, Haziran 2009.
- [4] Z. Özkan, A.M. Hava "Yüksek Verimli Trafosuz Güneş Eviricisi Yapıları" ELECO 2010, Aralık 2010.