

Transformatörsüz Kesintisiz Güç Kaynakları ile Güç Kalitesi, Enerji Verimliliği ve Çevre Temizliğinin Arttırımı

Ahmet M. Hava

ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
İnönü Bulvarı, 06531 Ankara

hava@metu.edu.tr

Öz- Kesintisiz güç kaynakları (KGK) uygulama-kritik yükler için kaliteli güç aktarmak için yaygınca kullanılır. Yakın zamana kadar çevrim-içi, yalıtım transformatörlü KGK'lar (TKGK) yaygınca kullanım bulmuş, ancak son yıllarda artan hızla transformatörsüz KGK'lara (TSKGK) yerlerini bırakmaya başlamıştır. TSKGK'lar hem şebeke hem de yük tarafında güç kalitesi artımına, hem artan enerji verimliliğine hem de daha az malzeme kullanılarak ekonomiye ve temiz çevreye katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada, TKGK ve TSKGK'lar giriş akımı, çıkış gerilimi, enerji verimi vb. teknik özellikleri bakımından karşılaştırılacak, TSKGK'ların teknik üstünlükleri sergilenacaktır. Çalışma deneysel TSKGK başanım verileri ile desteklenecektir. Amaç kullanıcıları KGK teknolojileri konusunda bilinçlendirmek ve seçimde rehberlik sağlamaktır.

Anahtar sözcükler- Anahtarlama kipli güç kaynağı, Atım genişlik modülasyonu (PWM), çevrim-içi, doğrultucu, enerji, evirici, güç kalitesi, güç katsayısı, IGBT, kesintisiz güç kaynağı, KGK, tepe katsayısı, toplam harmonik bozulma, transformatör, üç düzeyli evirici, verim, yalıtım.

I. GİRİŞ

Son ikiyüzyıldaki bilimsel keşifler ve icatların açtığı ufuklar insanlığı özellikle son yarım yüzyılda olağanüstü rahata ve olanaklara kavuşturmuştur. Petrol ve elektrik enerjisine dayalı olarak insanlık olağanüstü fiziksel güç kapasitesine ulaşmıştır. Katalar arası fiziksel mesafeler modem hava araçları ile saatler boyutunda katedilebilir olmuş, elektronik ortamda bilgi iletişimi pratik anlamda gecikmesiz hale gelmiştir. Otomobillerle rahat ulaşım, bilgisayarlarla kolayca hesap, makinelerle kolayca üretim gerçekleştirilebilir hale gelmiştir. Ancak dünyanın yeraltı ve yerüstü zenginliklerinin sınırlı olması ve insan nüfusunun aşırı artışı nedeniyle enerji kaynakları, metaller, su kaynakları vb. yetersiz kalmıştır. Dolayısıyla 1970'li yıllardan başlamak üzere petrol, doğal gaz, metal/plastik/silikon malzeme ve elektrik enerjisi krizleri gittikçe artan sıklıkta yaşanmakta ve her kriz bir evvelkinden daha büyüklükte olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Enerji krizleri kadar büyük ve hızlı etki yaratmamakla birlikte, sanayide çok miktarda kullanılan metal, plastik ve kimyasal maddelerin yetersizliği kıtlık ve pahalılık, bolluğu da bilinçsiz ve aşırı üretim ve tüketim ortamında çevre kirlenmesi sorunları yaratmaktadır. Su kaynaklarına karşın metal, plastik ve kimyasallar, solunan havadaki zehirli gazlar ve doğrudan dokunduğumuz kimyasal malzemeler insan sağlığı üzerinde olumsuz etki yaratmakta ve kanser gibi öldürücü hastalıklar yaygınlaşmaktadır. Bu koşullarda, çevre bilincini geliştirmek, az (sadece gerektiği kadar) tüketmek ve doğayı kirlenmemek, kısaca "doğaya saygılı olmak" insanlığın yararına olan bir gereksinimdir. Dolayısıyla, elektrik enerji sistemleri için ve elektrik enerji sistemleri içinde yaygınca kullanılan bir aygıt sınıfı olan kesintisiz güç kaynakları (KGK) için de bu bakış açısı kaçınılmazdır.

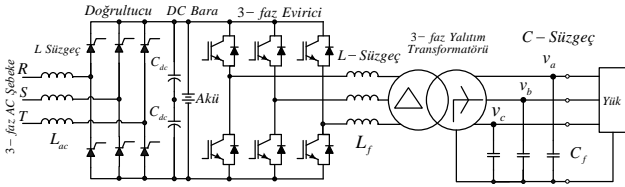
Türkiye'de kurulu elektrik şebekesi gücü 40GW ve işletmedeki güç 30GW değerlerine yakınken, işletmedeki gücün %10 gibi az bir kısmının bile bu KGK'lar üzerinden yükler aktarılması, KGK'ların enerji verimliliğini hem ülke toplamı hem de bireysel olarak kullanıcılar açısından zorunlu kılmıştır. 2007 yılında kabul edilen ve uygulaması 2009'da gerçekleştirilmeye başlanan Enerji

Verimliliği Kanunu [1] doğrudan KGK'lar için kural içermese de, KGK kullanan sanayi ve işletmeler için etki doğrudandır ve Kanunun konuyla ilgili destek ve yaptırımları da benzer biçimde geçerlidir. Aynı biçimde şebeke tarafında KGK'ların yarattığı güç kalitesi problemleri, KGK'ların yapımında kullanılan malzemelerin maliyeti ve çevreye olumsuz etkileri de ihmal edilemez. Şebeke güç kalitesi konusundaki yaptırımlar da kullanıcıyı doğrudan etkiler [2], [3]. Dolayısıyla, KGK'lar da bir evrim süreci geçirmekte ve sözkonusu boyutlarda gelişim göstermektedirler. Bu çalışmada modern KGK'lar; enerji verimliliği, güç kalitesi, ekonomiklik ve çevre duyarlılığı bakımından ele alınacak ve bu özellikler itibarı ile eski nesil transformatörlü KGK'lar (TKGK) ile yeni nesil transformatörsüz KGK'lar (TSKGK) ayrıntılı incelenecektir. Çalışmada bu iki tip KGK'nın devre topolojik yapıları, denetim özellikleri, giriş-çıkış başanım karakteristikleri, KGK bileşen ve yapıları karşılaştırmalı incelenecektir. Çalışma çeşitli deneysel verilerle ve internet ortamından sağlanan ulusal ve uluslararası şirketlerin ürün katalog bilgileriyle desteklenecektir. Çalışmada ticari ürünlerin şirket ad bilgileri tarafsızlık adına saklı tutulacaktır (ürün bilgilerini hakemli konferans bildirimlerinde tebliğ eden firmalar hariç).

II. KGK DEVRE TOPOLOJİLERİ

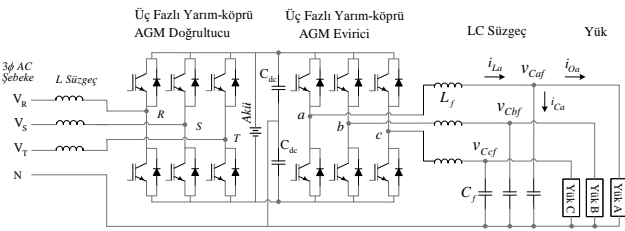
Geleneksel olarak, üç fazlı, büyük güçlü ve uygulama-kritik yük uygulamalarında kullanıcıya her koşulda sürekli ve kaliteli güç sağlayan çevrim-içi KGK'lar ardışıl bağlı AC/DC ve DC/AC katlar kullanır [4]. Çevrim-içi KGK'larda giriş ve çıkış katları DC bara ile ayrıldığından, çıkış başanım girişten bağımsız olarak yüksek tutulabilir ve oldukça güvenilir güç kaynağı elde edilir.

TKGK'da, Şekil 1'de görüldüğü gibi, girişte (AC/DC dönüşüm aşamasında) tristörlü doğrultucu kullanılır. TKGK'nın temel devre diyagramında gösterilmemekle beraber, uygulamada giriş harmonik süzgeçleri, faz kaydırma transformatörü ve tepkin güç düzeltim kondansatörleri de gerekli olup, TKGK boyut ve karmaşasını iyice artırır. DC bara gerilimi üretildikten sonra, ikinci basamakta kullanılan transistörlü evirici ile DC/AC gerilim dönüşümü sağlanır. Tristörlü doğrultucudan sağlanan DC gerilimin şiddeti (400 V) şebeke geriliminin tepe değerinden az olduğundan ($380\sqrt{2}$ V), DC/AC dönüşüm sürecinde çıkıştan şebeke anma gerilimini üretmekte yetersiz kalınır ve transformatörle gerilim yükseltme zorunluluğu doğar. Transformatör çıkış temel frekansında çalışıp tüm yük gücünü çıkışa aktardığından, anma gücü çıkış anma gücüne eşit olup TKGK'nın en ağır ve büyük elemanıdır. DC bara ile transformatör arasında kullanılan DC/AC dönüştürücü olan anahtarlama kipli, IGBT anahtarlı, gerilim kaynaklı evirici (GKE) ile temel frekansın yüzlerce katında anahtarlama yapılarak atım genişlik modülasyonu (AGM) ile evirici çıkış gerilimi oluşturulur ve bu gerilim LC alçak geçiren süzgeç ile süzülerek TKGK'nın temiz sinüs çıkış gerilimi oluşturulur. Transformatör akımının geçici halde doymasını engellemek için TKGK'nın dinamik bantgenişliği düşük yapılıdır. Bu yapı yüklenme anlarında gerilim çökmesini engelleyemediğinden, LC süzgeç boyutları büyük yapılıdır [5]. Sonuç olarak, TKGK devre topolojisi karmaşıktır ve TKGK yapısal olarak da hantal, ağır ve büyük boyutludur [6].



Şekil 1: Üç fazlı TKGK temel devre diyagramı.

Şekil 2'de gösterildiği gibi, TSKGK'larda girişte geleneksel triştörlü doğrultucu kullanılmaz. Şebekeden bir güç katsayılı ve sinüs akım çeken, daha üstün teknoloji olan anahtarlama kipli IGBT transistörlü gerilim yükseltici tipi doğrultucular (GKE yapısı ile aynı ama çalışma kipi farklı) kullanılır. Böylece girişteki büyük harmonik süzgeçleri, faz kaydırma transformatörleri ve tepkin güç düzeltim kondansatörlerine gerek kalmaz. Bu yapıdaki doğrultucularla, şebeke geriliminin tepe değerinden yeterince yüksek değerlerde ve üzerindeki kırıntı değeri ihmal edilebilecek miktarda olan DC bara gerilimi sağlanır ve kolayca denetlenir (380/400V_{LL-rms} şebeke için ±400V DC bara gerilimi). Bara geriliminin yüksek olması sayesinde KKG'nın çıkış katında yükseltici transformatöre gerek kalmaz ve DC baradan evirici ile çıkış gerilimi doğrudan üretilebilir. Böylece transformatörden tasarruf edilir. Ayrıca transformatörsüz yapının hızlı dinamik tepkiyi olanaklaştırması sayesinde çıkış LC süzgeçlerinin boyutları da küçültülebilir. Dolayısıyla TSKGK toplam boyut, ağırlık, malzeme maliyeti ve yapısal karmaşa bakımından TKGK'dan oldukça üstündür.



Şekil 2: Üç fazlı TSKGK temel devre diyagramı.

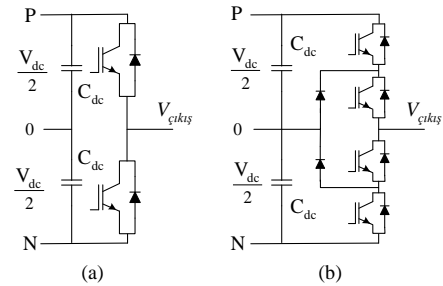
TSKGK'da DC/AC çıkış aşamasında yaygınca kullanılan temel evirici yapısı, Şekil 2'de gösterilen, iki düzeyli ve DC bara ortak noktalı yarım-köprü evirici yapısıdır. Ancak dört bacaklı evirici yapısı da kullanılmakta ve bu yapıda DC baranın orta noktası kullanılmamakta, böylece çıkışta dengesiz yüklemekten kaynaklanan DC bara gerilim dengesizliği (nötr nokta gerilimi salınımı) gibi sorunlar engellenmektedir [7], [8]. Ancak, yarım köprü yapısı ile yük dengesizliği kolayca karşılanmakta, fazların birbirinden bağımsız denetimi sağlanmakta ve modüler yapı oluşmakta ve bu nedenle bu yapı daha fazla tercih edilmektedir.

Şekil 3'a'da gösterildiği gibi, iki düzeyli eviricide evirici faz başına çıkış gerilimi $-V_{dc}/2$ ve $+V_{dc}/2$ olmak üzere iki düzey arasında anahtarlama sıklığında değiştiğinden, evirici akımı üzerindeki kırıntı büyük ve gerekli bastırıcı LC çıkış süzgecinin boyutu da büyük olur. Anahtarlama frekansını yükseltmek verimi azalttığından, başarımda belirli sınırlamalar söz konusudur. Daha yüksek başarımla ise üç düzeyli evirici [9], [10] kullanımı ile sağlanır. Şekil 3.b'de gösterilen üç düzeyli evirici yapısında çıkış gerilimi $-V_{dc}/2$, 0 ve $+V_{dc}/2$ düzeylerinden oluştuğundan, çıkış gerilimi ve akımı üzerindeki kırıntı da daha düşük şiddette olur. Dolayısıyla, iki düzeyli eviriciye göre daha az kırıntı, daha küçük çıkış LC süzgeçleri ve daha yüksek enerji verimi söz konusudur. Özellikle kısmi yükte iki düzeyli eviriciden oldukça üstün verim elde edilir [11]. Bu nedenle yakın zamanda uluslararası KKG piyasasında üç düzeyli eviriciler de yaygınlaşma sürecine girmiştir. Bu özellikle yerli ürünler de piyasaya çıkmakta ve başarılı uygulama sonuçları alınmaktadır. Ancak anahtar sayısının

artışı kısmi maliyet yükselmesine neden olmaktadır. Bu maliyet artan enerji verimi ile çok kısa sürede amorti edildiğinden [11], bu maliyetin müşteri tarafından kabul görmesi zor olmamaktadır.

Özet olarak, yapı itibarı ile TKGK ve TSKGK karşılaştırması boyut, fiyat ve çevre duyarlılığı (önemli oranda azalan malzeme tüketimi) bakımından TSKGK'nın üstünlüğünü göstermektedir [6]. Yardımcı birimler olan elektromanyetik uyumluluğu sağlayan ek süzgeç devreleri, soğutma sistemleri vb. de düşünüldüğünde farkın daha da büyüyeceği barizdir. Ancak TSKGK'nın üstünlüğü sadece yapıda (boyut ve ağırlıkla ilgili olarak) değil, daha ağırlıklı olarak toplam başarımdadır.

Üstün anahtarlama, denetim ve koruma yöntemleri sayesinde TSKGK eski nesil ürünlerden oldukça üstün başarımla sergiler. Denetim yöntemleri olarak vektör denetim, tekrarlı denetim, rezonans süzgeçleri ile denetim, durum-uzay yöntemleri ile denetim vb. oldukça gelişmiş olup TSKGK ürünlerinde uygulama bulmaktadır [5], [8], [12]. Dolayısıyla çıkış gerilimi ve giriş akımının denetiminde kararlı hal başarımları ve dinamik bantgenişliği oldukça yüksek olup çoğu uygulama gereksinimini fazlasıyla karşılamaktadır.

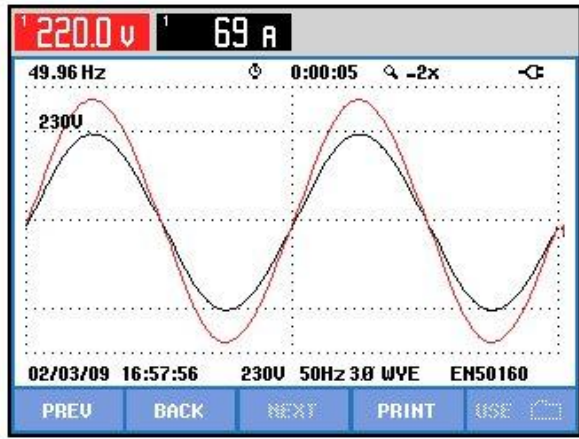


Şekil 3: Evirici devre topolojileri tek-faz diyagramları. (a) İki düzeyli evirici. (b) Üç düzeyli evirici.

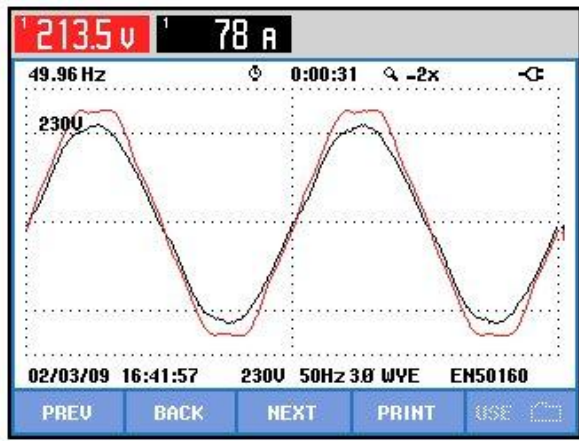
III. KKG BAŞARIMI

KKG'ların başarımları en temel işlev olarak çıkış gerilim kalitesi başarımları, ardından şebeke ile etkileşimi bakımından giriş başarımları, son olarak da enerji verimliliği başarımları boyutlarında incelenir. Birinci boyut, müşteriye hizmet için, ikinci boyut bu işlevi gerçekleştirirken şebekeyi temiz tutarak toplama fayda için, üçüncü boyut ise enerji masrafını en az tutarak hem müşteriye hem toplama fayda içindir. Dolayısıyla her ne kadar bir öncelik sıralaması söz konusu olsa da, sonuç olarak bu üç boyutta da başarımlar için önemli ölçütler ve standartlar söz konusudur.

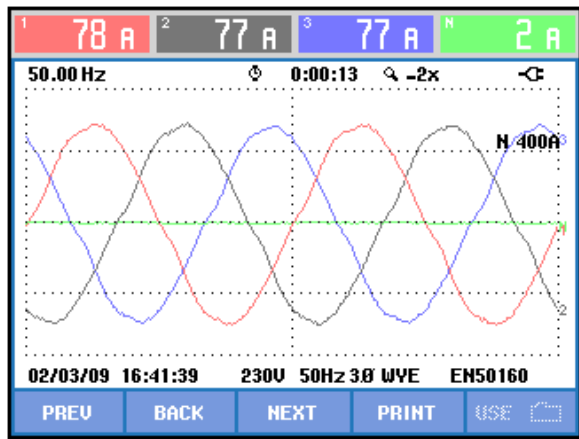
TSKGK, TKGK'dan daha küçük boyutlu çıkış LC süzgeçleri kullanır ve çıkış başarımları itibarı ile yükün dengesiz ve/veya harmonikli olmasından kaynaklı olan bozucu akım bileşenlerini uygun denetim yöntemleri kullanarak doğrudan eviriciden hızlıca karşılama yeteneği ile çıkış impedansını düşürür ve yüklemenin çıkış gerilimine bozucu etkilerini hızlı ve yüksek doğrulukla tepkiyerek karşılar. Yüksek tepe katsayılı ($TK=I_{max}/I_{rms} >3$) ve/veya dengesiz akım çeken yüklerle milisaniye altı sürelerde tepkiyebilir ve çıkış geriliminin ideal sinüse yakın olmasını sağlar. Çıkış gerilimi regülasyonu ($GR=(V_{ref-rms}-V_{1-rms})/V_{ref-rms}$) genellikle %1'den iyi, çıkış gerilimi toplam harmonik bozulması ($THD_v=V_{h-rms}/V_{1-rms}$) doğrusal yükte %1-2 ve $TK >3$ yükte %2-5 değerlerinin arasındadır (Şekil 4). Geleneksel TKGK yapısında bu değerlerden daha kötü çıkış başarımları sergilenmekte ve pasif elemanlara (büyük LC süzgeçler kullanarak ve çıkış transformatörünün kaçak indüktansının azlığına dayalı yük akımı sıfır bileşeni dolayım yolu sağlama mekanizmasına) dayalı bozucu etki bastırma yeteneği yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla TSKGK üstündür.



Şekil 4: Anma direnç yükünde 60 kVA TSKGK çıkış gerilimi ve yük akımı dalga şekilleri. $THB_V < \%1$, $GR < \%1$.



Şekil 5: TSKGK giriş akımı ve şebeke gerilimi dalga şekilleri (60 kVA TSKGK, anma yükü). $THB_V > \%4.4$, $THB_I < \%3.9$



Şekil 6: TSKGK üç faz ve nötr giriş akımı dalga şekilleri (60 kVA TSKGK, anma yükü).

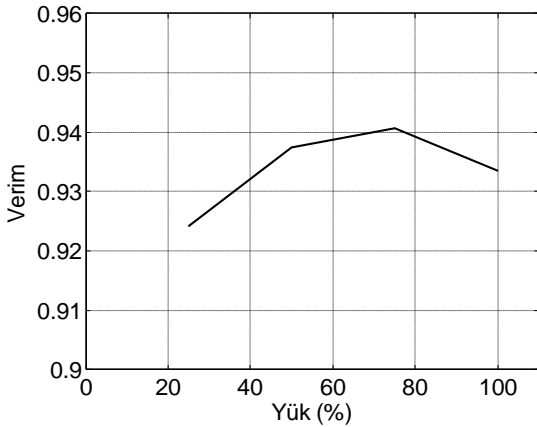
TSKGK ve TKGK giriş başarımları arasındaki fark, çıkış başarımları arasındaki farktan çok daha bariz ve belirleyicidir. Zira TSKGK'da girişte kullanılan AGM ile çalışan IGBT anahtarlı doğrultucu her türlü yüklemde şebekeden bir ("1") güç katsayılı, ideal sinüse çok yakın ve fazlar arasında dengeli akım çeker. TKGK'da şebeke frekansında anahtarlanan tristörlü doğrultucu ile şebekeden çekilen akımın TSKGK'daki ile aynı özellikleri gösterebilmesi, kullanılan tüm faz kaydırma transformatörleri, pasif LC süzgeçler ve kondansatörlere rağmen olanaksızdır.

TSKGK'da giriş güç katsayısı 0.99'dan büyük ve giriş akım toplam harmonik bozulması ($THB_I = I_{h-rms}/I_{1-rms}$) %3-5 (Şekil 5) olup, faz akımları dengelidir (Şekil 6). TKGK'da giriş güç katsayısı yükde değişken ve 0.9'dan küçük, akım toplam harmonik bozulması %10'dan büyüktür. Şebeke gerilimi dengesizse şebeke akımı da dengesiz olur ve bunun DC barayı (akü ve kondansatörleri) yıpratıcı etkisi büyüktür. Dolayısıyla, giriş başarımları itibarı ile bu iki yapı karşılaştırıldığında, TSKGK'nın üstünlüğü barizdir. Özellikle şebekeden çekilen güç kalitesi ile ilgili ölçütlerin ve yaptırımların uygulanmaya başlandığı günümüzde [2], [3], [13]-[16], birkaç kilovat ve üzerinde güçlerde giriş başarımları artık sadece şebeke için değil, aynı zamanda KKG'nın kullanıcısı olan müşterinin de sorumluluğu haline gelmiş ve bu nedenle ayrıca önem kazanmıştır. Uygulamada özellikle yüzlerce kilovatlık KKG'ların şebekeye etkilerinin kuvvetli olacağı dikkate alındığında, üstün giriş başarımları sergileyen TSKGK'ların yaygınlaşmasının zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Pasif ya da etkin süzgeçlerle güç kalitesinin düzeltilmesi yaklaşımı ise KKG uygulamalarında hem ekonomiktir, hem başarımlarını sınırlamaları hem de harmonik rezonans riski ile KKG güvenilirliğini azaltması bakımından tercih edilmemesi gereken bir yaklaşımdır. Bu nedenle TSKGK'nın yüksek giriş başarımları, bu yapının TKGK'ya tercih edilmesinde en büyük etkidir. Yakın geçmişte TKGK'dan TSKGK teknolojisine genel yönelimin zorlayıcı etkenlerinin başında giriş güç kalitesi gelmiştir ve çoğu ilk ürün ara teknoloji olan transformatörlü IGBT doğrultucu girişli KKG yapısındadır.

KKG'lar banka, hastane ve alışveriş merkezi gibi büyük ve kesintisiz güç gerektiren uygulamalarda, uzun süreli enerji kesintisi durumunda ($\Delta t \gg 5-15$ min) yüklere akülerden yeterince enerji sağlayamaz. Zira akü maliyeti olağanüstü yüksek olur. Bunun için tipik olarak dizel motor ve senkron generatörden oluşan gen-set olarak adlandırılan yapılar statik geçiş anahtarları üzerinden KKG girişine bağlanır ve akü kapasitesini aşan uzun süreli kesinti durumlarında gen-set devreye girerek yükü enerjiyi sağlar. Bu durumda KKG yük ile gen-set arasında kullanılabilir ve yükte sabit genlik ve frekansta kaliteli gerilim sağlar. TSKGK'nın giriş başarımlarının yüksek olması, KKG'nın generatörden beslenmesinde de kolaylık sağlar. Eski nesil girişli tristörlü doğrultucu TKGK'ların çektiği akımın harmonikli olması senkron generatörü harmonik akımları ile yükleyerek ısıtır ve generatör terminal gerilimini bozar. Bu da TKGK'nın generatöre göre oldukça büyük (yaklaşık 1.5-2 katı) seçilmesini gerektirir. Oysa TSKGK'nın pratik açıdan harmoniksiz sayılan akımı generatör gerilimini bozmaz ve bu nedenle generatörlerin gücü TSKGK gücüne yakın (yaklaşık 1.1-1.3 katı) seçilir. Böylece generatör gücünden (maliyet ve boyuttan) tasarruf edilir.

Enerji verimliliği başarımları da KKG'nın uygulamada ekonomikliğini ve çevreye dostluk düzeyinin önemli bir boyutunu belirler. TKGK'nın transformatörleri (girişteki faz kaydırma transformatörü de dahil olmak üzere), harmonik süzgeçleri ve diğer tüm devre ve yardımcı elemanlarının (soğutucular da dahil olmak üzere) üzerinde oluşan kayıplar nedeniyle enerji verimi düşüktür. Tipik olarak yüzlerce kVA güce kadar anma verimi %86-92'dir (artan güçlerde artan verim). Ancak TSKGK'ların anma verimi %88-94'tür [17], [18]. Bunun nedeni transformatörlerin ortadan kalkması ve soğutucular dahil birçok aradevrenin önemli ölçüde küçülmesi, dolayısıyla da kayıpların azalmasıdır. KKG'lar genellikle sürekli devreye olduklarından, iki puanlık verim artışı, yıllık elektrik faturası olarak büyük bir değer ifade eder, ve KKG seçiminde müşterinin TSKGK'yı seçmesi için yeterlidir. Bundan da öte, iki düzeyli evirici yerine üç düzeyli eviricinin kullanımı ile verim %1-2 daha artırılabilmekte ve %90-96 anma verimi değerlerine ulaşılmaktadır ki; bu değerler KKG'nın artan maliyetinin amortisi için kullanım ömrünün çok kısa bir kısmının (3-4 ay gibi kısa bir sürenin) yettiğini göstermektedir [11], [17]-[19]. Bundan da öte, üç düzeyli

eviricinin yüke bağlı verim eğrisi iki düzeyliden farklı olarak yatay karakteristik gösterir [11] ve özellikle kısmi yüklerde çok üstündür (Şekil 7). Dolayısıyla enerji verimliliği yaptırımlarının arttığı (doğrudan zorlayıcı yaptırımlar veya enerji fiyatının artması nedeniyle müşterinin dolaylı olarak bu yaptırıma yönelmesiyle) gelecek yıllarda bu yaklaşıma yönelim kaçınılmazdır. Sadece müşteri değil, toplum da bu yaklaşımdan fayda görecektir, zira tüketilen enerjinin azalması, bu enerjiyi üretecek santrallerin çevreye zehirli gazların salınımı azaltması anlamına gelmektedir. TSKGK bu bakımdan en çevreci ve doğru yaklaşımdır. TSKGK'nın yüksek verimi, KGK'nın işlevi bakımından çok daha önemli bir getiri sağlar. Artan KGK verimi sayesinde, KGK'nın ürettiği ısı az olur ve iç sıcaklığı düşük olur ve bu da TSKGK'nın ısıl başarımının çok yüksek, güvenilirliğinin de geleneksel yapıya göre oldukça üstün olmasını sağlar. KGK'nın işlevinin güvenilirliği ile ölçüldüğü uygulama-kritik yük uygulamalarında bu özellik vazgeçilmezdir.



Şekil 7: 6 kVA, tek-faz, üç düzeyli TSKGK verim eğrisi (ulusal bir KGK üreticisinin ürünü).

IV. DİĞER ÖZELLİKLER

KGK'ların seçiminde yukarıda ayrıntılı incelenen temel başarımlar ölçütlerine ve özelliklerine ek olarak daha birçok ölçüt ve özellik söz konusudur. Bunlardan önde gelen birkaçı galvanik yalıtım, elektromanyetik uyumluluk, akustik gürültü, boyutlar itibarı ile ofis ya da fabrika ortamında KGK'nın kapladığı yer (hacim, ağırlık), koruma fonksiyonları, akü boyutlandırması, paralellenebilirlik (yedekleme veya güç artırımı için), kullanılan malzemenin yapısı ve üretim teknolojisi itibarı ile çevreye etkileridir. Aşağıda, KGK'lar bu yönleriyle kısaca karşılaştırılacaktır.

KGK'nın giriş ve/veya çıkışında yalıtım transformatörü kullanarak sağlanan galvanik yalıtım (şebeke ve yükün birbiriyle elektriksel iletken bağlantılarının olmaması durumu) genellikle bazı özel uygulamalarda müşterinin tercih ettiği bir yaklaşımdır. Amaç; koruma devrelerinin daha kolay çalışması, arızaların yalıtılması ve ilgili tarafta algılanarak korumaların devreye girmesi, KGK ile şebeke arasında elektromanyetik gürültü etkileşiminin olmaması (özellikle yalıtım transformatörünün ekranlanması ile ortak mod gürültülerinin trafo üzerinden akışının engellenmesi durumunda), müşterinin topraklama tipini isteğine göre seçebilmesi, vb. teknik getirilerden faydalanmaktır. Ancak bu getiriler, çoğu uygulamada götürüler yanında zayıf kalmakta, ve galvanik yalıtım zorunlu azınlık uygulamalar hariç, çoğu uygulamada tercih edilmemektedir.

Uygulamada eko-mod olarak adlandırılan, yükü uygulama-kritik olmayan zamanlarda yüksek verimle ($\eta > \%98$) şebekeden doğrudan beslemeyi sağlayan tristör yangeçit (bypass) yapısını kullanan yapı, giriş ve çıkış nötr

iletkenlerini birleştirmeyi gerektirir ve galvanik yalıtım bozulur. Yangeçit yapısı, ek olarak, aşırı yüklenme durumlarında yükün şebekeden doğrudan beslenmesini sağlar ve yükte kesintiyi önler. Dolayısıyla, yangeçit yapısının getirileri büyüktür ve kullanımı uygulamada yaygındır. Bu durumda galvanik yalıtımın sağlanması ancak daha karmaşık yapılarla sağlanabilir ve tercih edilmez. Dolayısıyla galvanik yalıtım yapmak yerine, onun sağladığı getirileri başka yollarla TSKGK yapısına kazandırmak tercih edilir. Elektromanyetik gürültüler, uygun yapıda yüksek frekans süzgeç yapıları ile kolayca bastırılabilir. Şebeke, yük ve KGK hataları hızlı elektronik koruma devreleri ile başarılı biçimde algılanır ve hızlı koruma algoritmalarıyla etkin koruma yapılır. Uzman Ar-Ge takımları bünyesinde geliştirilen, modern teknolojiye dayalı bileşenler, aygıtlar ve ileri düzeyde tasarım yaklaşımlarını kullanan ve CE, UL, VDE gibi uluslararası standart onay belgeli modern TSKGK'ların (örneğin EN 62040-1 [20], EN 62040-2 [21], EN 62040-3 [22] standart testlerinden geçen CE markalı ürünlerin) ulusal ve uluslararası şirketler tarafından dünya pazarında baskın ürünler olarak yer alması, sözkonusu KGK'ların tüm gerekli özellikleri sağladığını göstermektedir. Özet olarak, galvanik yalıtım, çoğu KGK uygulaması için bir gereksinim değildir ve bu uygulamalarda TSKGK'ların tüm getirileri dikkate alınarak bu teknolojiye en çok düzeyde faydalanılmalıdır. Uluslararası pazardaki modern ürünlerin çoğunun TSKGK yapısında olması da bu yaklaşımın günümüzde çoğunlukla benimsendiğini göstermektedir.

TKGK'lar çıkışta yalıtım transformatörü sayesinde çıkışta DC gerilim üretmezler. TSKGK'da ise eviricinin çıkışta DC gerilim bileşeni üretmesi durumunda bu bileşenin geribesleme ile yeterli çözünürlükle algılanması ve deneteçle düzeltim yapılması sayesinde çıkış gerilimindeki DC bileşen kolaylıkla kabul edilir sınırların altına çekilebilir. Dolayısıyla, TSKGK'nın bu bakımdan doğal üstünlüğü de basit bir denetim çevrimi ile TSKGK tarafından dengelenmektedir. Ayrıca yükün çekebileceği asimetrik çıkış akımlarının da TSKGK'ya olumsuz etkileri azdır. Zira TSKGK çıkış akımları bobinler üzerinden denetlenmekte ve TKGK'daki gibi transformatörün doymasına neden olmamaktadır.

Hızlı ölçme ve koruma devreleri ve modern sayısal işlemcileri ile TSKGK ürünlerinde kısadevre koruma sadece sigortalar ve kesicilerle değil, ama bunlardan çok daha hızlı tepkiyen elektronik algılama ve yaniletkenlerle hızlı tepkime ile sağlanmaktadır. Özellikle donanım ve yazılımla koruma birleştirildiğinde üstün koruma işlevleri gerçekleştirilmekte ve önleyici bakım/koruma etkinlikleri sayesinde KGK güvenilirliği olağanüstü artırılmaktadır.

KGK'ların kullanım kolaylığı, internet üzerinden durum gözlenmesi, akü yönetimi, paralellenebilirlik, yedekleme, arıza önkestirimi, vb. birçok özellik bakımından değerlendirilmesi, bu teknolojilerin her iki tip KGK için kolayca gerçekleştirilebilirliğini gösterse de, modern mühendislik tasarımı olan TSKGK'ların yeni tasarım ürün olmaları gereği kullanılan deneteçler, gözlemleme algoritmaları, paneller, internet üzerinden etkileşim vb., bakımından daha üstün özelliklerle donatıldığını, TKGK'ların ise genel amaçlı uygulamalar için demode ürünler olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla ek özellikler ve işlevler bakımından da ticari TSKGK'lar üstündür.

Artan nüfus ve kalabalıklaşan büyük iş merkezlerinde ofis ortamlarında yer daralması sözkonusu olup, TSKGK'lar azalan boyutları ile bu ortamlara uyum sağlayan tek çözümdür. Akustik gürültünün de insan

kulağını rahatsız etmeyecek düzeye inisi (manyetik devreleri çok daha az olan ve devresindeki harmoniklerin frekansı çok daha yüksek olan TSKGK'nın akustik gürültü düzeyi TKGK'dan çok daha azdır), ofis ortamlarına TSKGK'ların yerleştirilmesini olanaklı hale getirmiştir. TKGK ve TSKGK ürünlerinin hacim ve ağırlık bakımından karşılaştırılması, TSKGK'nın hacim ve boyutunda %50 den fazla azalmayı işaret eder. Örneğin, 160 kVA gücünde TSKGK 500-700 kg ağırlığında ve 1.65 m³ den küçük hacimde iken, TKGK 1000-1500 kg ağırlığını bulur ve 2 m³ hacimden fazla yer kaplar. Yaklaşık 20 yıl önce uluslararası pazarda önemli payı olan bir uluslararası şirket tarafından üretilmiş bir 120 kVA TKGK'nın hacminin 2.9 m³ ve ağırlığının da yaklaşık 3000 kg olduğu dikkate alınırsa, KKG'nın boyutsal evriminin güç elektroniği teknolojisinin evrimi ile birlikte bu süreci yaşadığı ve TSKGK'ya yönelimin de doğal bir sonuç olduğu görülür.

TSKGK'nın boyut ve ağırlığının azalması, doğrudan malzeme kullanımının azalması ile ilgilidir ve hem daha az demir/bakır/plastik/kimyasal vb. kullanımı, hem de ürünün üretiminde daha az enerji ve insan gücü tüketimi demektir. Yüksek enerji verimine ek olarak TSKGK'nın malzeme ve üretim teknolojisi bakımından çevre duyarlı yeşil teknoloji olması, bu teknolojinin uygulamasının yaygınlaşacağına bir başka kanıtı olmaktadır.

TSKGK'nın bir diğer üstünlüğü, bakım ve onarım kolaylığıdır. Azalan bileşenler ve devre karmaşası sayesinde, devre kollarının bakımı ve onarımı TKGK'ya göre çok daha kolaydır. Hem denetim hem de korumanın yazılım ortamında gerçekleşmesi, hızlı, hassas ve ekonomik yapıya olanak vermektedir. Bu sayede bakım ve onarım gereksinimi azalmakta ve kolaylaşmaktadır.

Son olarak, TSKGK yapısının kullanımında akü ile ilgili boyut ele alınacaktır. TKGK'da DC bara gerilimi 400V olup, gerekli akü enerjisinin sağlanması daha az sayıda daha çok ampersaatlik akü seçimine dayanmaktadır. TSKGK'da ise 800V DC bara gerilimi daha çok seri bağlı daha az ampersaatlik akü kullanımı gerektirmekte, dolayısıyla toplamda akü (ve enerji maliyeti) aynı kalmaktadır. Ancak TSKGK'nın DC bara gerilim/akım kıpırtılarının az olması, ileri akü yönetim tekniklerinin kullanılması ve bazı uygulamalarda akü ile DC bara arasına yerleştirilen DC/DC dönüştürücü ile akülerin zorlanmalarının iyice azaltılması sayesinde, TSKGK'lar bu bakımdan da üstünlük sergiler.

V. SONUÇ

Transformatörlü ve transformatörsüz KKG'ların ayrıntılı karşılaştırılması yapılmış ve transformatörsüz KKG teknolojisinin oldukça üstün teknoloji olduğu gösterilmiştir. Enerji verimliliği (> %90), KKG'nın giriş gücünün kalitesi (güç katsayısı "bir" ve $THB_I < \%5$) ve çıkış geriliminin kalitesi ($GR < \%1$ ve $THB_V < \%5$) bakımından TSKGK oldukça üstün bir başarımlı sergiler ve modern standart ve yönetmeliklerin gerektirdiği koşulları sağlar. Ağırlık ve hacim bakımından yaklaşık yarı yarıya daha az olan TSKGK'larda kullanılan malzeme de azdır. Dolayısıyla toplamda TSKGK yeşil bir ürün olup çevre dostudur.

Maliyeti bakımından TKGK'dan çok yüksek olmayan TSKGK'ların üç düzeyli evirici kullananlarının verimi ayrıca yüksek olup (en az %1-2), kısmen daha yüksek fiyatlı olan üç düzeyli eviricili TSKGK'nın ek yatırımı 3-4 ay gibi kısa zamanda amorti edilmiş olur. Dolayısıyla TSKGK yapıları ve üç düzeyli eviricili yapı uygulamada iyice yaygınlaşmaktadır.

Bu çalışmada, ayrıca TKGK'nın galvanik yalıtım özelliği üzerinde durularak, bu özelliğin uygulamada kullanıcı bilinci olmadan arandığı ve çoğu uygulamada gerekmiyip, yalnız tercih yapıldığında enerji israfına neden olduğu, bu konuda müşteriye ve KKG sistemini seçen, kuran ve işleten teknik kadroları bilinçlendirmek gerektiği gösterilmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Enerji Verimliliği Kanunu, Kanun no: 5627, Kabul tarihi: 18/4/2007, Resmi gazete, sayı 26510, 2 Mayıs 2007.
- [2] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK), Elektrik iletimi arz güvenilirliği ve kalitesi yönetmeliği, Resmi Gazete, sayı: 25639, tarih: 10/11/2004.
- [3] R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, S. Santoso, H.W. Beaty, *Electrical power systems quality*, McGraw-Hill, 2. Baskı, 2002.
- [4] A. King ve W. Knight, *Uninterruptible power supplies and standby power systems*, McGraw-Hill, 1. Baskı, 2003.
- [5] A.M. Hava, S. Çetinkaya, "Üç fazlı yalıtım transformatörlü kesintisiz güç kaynakları için tekrarlı denetç tasarımı ve deneysel uygulanması," TOK 2008, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, 13-15 Kasım 2008, sayfa 240-245.
- [6] R. Koffler, "Transformer or transformerless UPS?" IEE Power Eng. Journal, Cilt. 17, no. 3, s. 34-36, Haz./Temm. 2003.
- [7] J.G. Tracy ve H.E. Pfitzer, "Achieving high efficiency in a double conversion transformerless UPS," *IECON 2005 Konf. Kayıtları*, s. 942-945, 2005.
- [8] E. Demirkutlu, S. Çetinkaya, A.M. Hava, "Output voltage control of a four-leg inverter based three-phase UPS by means of stationary frame resonant filter banks," IEEE-IEMDC 2007 Konferansı, Antalya, 2007, Cilt.1, s. 880-885.
- [9] A. Nabae, I. Takahashi, H. Akagi, "A new neutral-point-clamped PWM inverter," IEEE Trans. Ind. Appl., Cilt.17, No.5, s.518-523, 1981.
- [10] B. Üstüntepe ve A.M. Hava, "Üç fazlı üç düzeyli nötr noktası bağlantılı evirici ve uygulamaları," ELECO 2006, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 6-10 Aralık 2006, Bursa, sayfa 126-130.
- [11] F. Cammarota ve S. Sinigaglia, "High efficiency on-line double-conversion UPS," *INTELEC 2007 Konf. Kayıtları*, s. 657-662, 2007.
- [12] Y. Dote ve R.G. Hof, *Intelligent Control: Power Electronic Systems*, Oxford University Press, 1998.
- [13] EN-61000-3-2 Std., Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase), Şubat 2009.
- [14] EN-61000-3-12 Std., Electromagnetic compatibility (EMC)-Part 3-12: Limits - Limits for harmonic currents produced by equipment connected to public low-voltage systems with input current > 16 A and < 75 A per phase, Kasım 2004.
- [15] EN-61000-3-4 Std., Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-4: Limits - Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A, Ekim 1998.
- [16] IEEE Std. 519-1992, IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electric power systems.
- [17] M. Kinoshita, M. Nakanishi, and Y. Yamamoto, "High efficiency double conversion uninterruptible power supply," *IPEC 2005 Konf. Kayıtları*, s. 1782-1787, 2005.
- [18] Y. Kandatsu, H. Masunaga, and Y. Yamamoto, "New technique to improve the efficiency of uninterruptible power supply," *PCC 2007 Konf. Kayıtları*, s. 1394-1400, 2007.
- [19] R. Teichmann and S. Bernet, "A comparison of three-level converters versus two-level converters for low-voltage drives, traction, and utility applications," IEEE Trans. Ind. Appl., Cilt.41, No.3, s. 855-865, 2005.
- [20] EN 62040-1, Uninterruptible power systems (UPS) - Part 1: General and safety requirements for UPS, Haziran 2008.
- [21] EN 62040-2, European Standard, "Uninterruptible power systems (UPS) - Part 2: Electromagnetic compatibility (EMC) requirements," Ekim 2005.
- [22] EN 62040-3, Uninterruptible power systems (UPS) - Part 3: Method of specifying the performance and test requirements, Mart 1999.