

Çok Yüksek Verimli Kesintisiz Güç Kaynakları

*Bülent ÜSTÜNTEPE, İbrahim GÜNEŞ, Osman OKAY, Volkan ÇİNETCİ,
Mustafa ARDIÇ, (mardic@enel.com.tr) / ENEL Enerji
Ahmet M. HAVA (hava@metu.edu.tr) / ODTÜ Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü*

3S evirici yapısı, sahip olduğu yüksek giriş ve çıkış başarımları ve özellikle verim değeriyle ile eski nesil teknolojilerin yerini almaktadır. Girişten yaklaşık "1" güç katsayılı saf sinüs formunda akım çekilir, giriş akım THD değeri yüzde 4'ün altındadır. Küçülen süzgeç boyutlarıyla kazanılan dinamik yapı çıkış gerilim kalitesini önemli ölçüde yükseltir. 2,5 tepe katsayılı yük koşulunda yüzde 5'ten düşük harmonik bileşenli gerilim üretilir.

Kesintisiz güç kaynakları (KGK) kritik yüklerin kaliteli ve kesintisiz bir enerji ile beslenmesinde yaygınca kullanılan cihazlardır. Yakın zamana kadar izolasyon transformatörlü KGK'lar kullanılırken enerji verimliliğinin artan önemi ve çevresel kaygılar KGK sistemlerinin yapısında da önemli gelişimlere önayak olmuştur ve günümüzde transformatörsüz modern KGK'lar görevi devralmışlardır. Enerji verimliliği konusunun kanuni zorunluluk ve yaptırımlara dönüşme sürecinin yaşandığı günümüzde, KGK'larda iki seviyeli evirici (2S) yapısından üç seviyeli (3S) evirici yapısına geçilerek yüksek verim değerleri elde edilmektedir. Bu çalışmada, 3S eviricili KGK yapısı incelecek, başarımları yapılan deneysel başarımların testleri üzerinden görsel olarak ortaya konulacaktır. 3S evirici yapısı ile KGK boyutlarında meydana gelen değişim eski sistemlerle karşılaştırılacak, çevresel etkileri tartışılacaktır.

1. Giriş

Özellikle geçtiğimiz yüzyılın ikinci yarısından itibaren tekno-

loji ve sanayideki gelişmeler, insan hayatını kolaylaştıran pek çok yeniliği de beraberinde getirmiştir. Sürdürülen bu konforlu yaşam tarzı ve dünya nüfusundeki artış enerji tüketimindeki artışı da kaçınılmaz bir sonuç olarak karşımıza çıkarır. Dünya enerji ihtiyacının büyük kısmının kaynağı fosil yakıtlardır. Ancak, enerji tüketim miktarı mevcut seviyesinde kalsa dahi varolan kaynakların yakın gelecekte tükeneyeceği tahmin edilmektedir [1]. Bu nedenle bir taraftan dünya genelinde alternatif enerji kaynakları üzerine çalışmalar yoğunluk kazanırken, öte yandan refah seviyesinin düşürülmeden enerji tüketim miktarının düşürülmesi için enerji verimliliğinin artırılmasıyla ilgili çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır. Enerji verimliliği çalışmaları, özellikle gelişmiş ülkelerde çok çeşitli platformlarda artarak devam etmektedir. Bu çerçevede, büyük endüstri kuruluşları tarafından enerji verimi yüksek teknolojilere yönelik çalışmalar artmış; hükümetler bu çalışmaları destekleyen teşvikler ve gerekler yerine getirilmediği takdirde

uygulanacak yaptırımlarla ilgili yasal düzenlemeler hazırlamışlardır. Yerli üretimde arzın talebi karşılama oranı gün geçtikçe düşen ülkemizde bu kapsamda yürütülen çalışmalar sonucu 2 Mayıs 2007 tarihinde "Enerji Verimliliği Kanunu (EVK)" kabul edilmiştir [2]. Kanun, enerjinin etkin kullanılması, enerjinin üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve enerjinin kullanım aşamasında çevreye olan zararlı etkilerin asgari düzeye indirilmesi için enerji kaynaklarının ve enerjinin verimliliğini artırmayı amaçlar. Ayrıca, konuyla ilgili toplumun bilinçlendirilmesi ve desteklere ilişkin düzenlemeleri içeren maddeler ve teşviklere ilişkin esaslarda yerine getirilmeyen konularda cezai işlemleri kapsayan konular kanun kapsamında yer alır.

KGK'lar elektrik sistemlerinde yüklere kaliteli enerji sağlamada yaygınca kullanılan cihazlardır. 2008 yılı itibari ile yaklaşık 42 GW kurulu güce sahip olan [3] Türkiye'de zayıf şebeke koşulları nedeniyle KGK kullanım oranları yüksek seviyelerdedir. Bu nedenle KGK'lar, enerji verimliliği açısından kritik cihazlardır. EVK'da doğrudan KGK'lara yönelik hükümler yer almasa da KGK kullanan sanayi kuruluşları için destek ve yaptırımlar doğrudandır. Ayrıca KGK'ların şebeke tarafında yarattıkları güç problemleri ihmal edilemez, şebeke güç kalitesi ile ilgili yaptırımlar da aynı biçimde kullanıcıyı etkiler [4], [5], [6].

Son on yıllık süreçte yarı iletken teknolojisindeki gelişmelere pa-

3S eviricili KGK'larda Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) ile yüksek frekansta anahtarlanan gerilim yükseltici IGBT doğrultucu tipi kullanılır. Bu yapıdaki doğrultucular ile şebeke geriliminin tepe değerinden yeterince yüksek (± 400 V DC) değerde kararlı bir DC bara gerilimi oluşturulur.

ralel olarak KGK yapılarında da önemli gelişmeler olmuştur; ağır, hantal, düşük başarımlı transformatörlü KGK'lar yerlerini enerji verimliliği yüksek, çevreye duyarlı, üstün başarımlı yeni nesil KGK'lara bırakmışlardır. 2S eviriciye sahip KGK'larla başlayan bu süreç, günümüzde yerini yüksek verimli 3S eviricili KGK'lara bırakmaktadır.

Bu çalışmada, 3S eviricili KGK yapısı incelenecek, deneysel sistem giriş, çıkış ve verim başarımları ve grafik sonuçları sunulacaktır. Ayrıca, KGK yapımında kullanılan malzeme miktarlarındaki değişimin KGK boyutlarına ne oranda yansıdığı ve bu değişimin çevre etkisi incelenecektir.

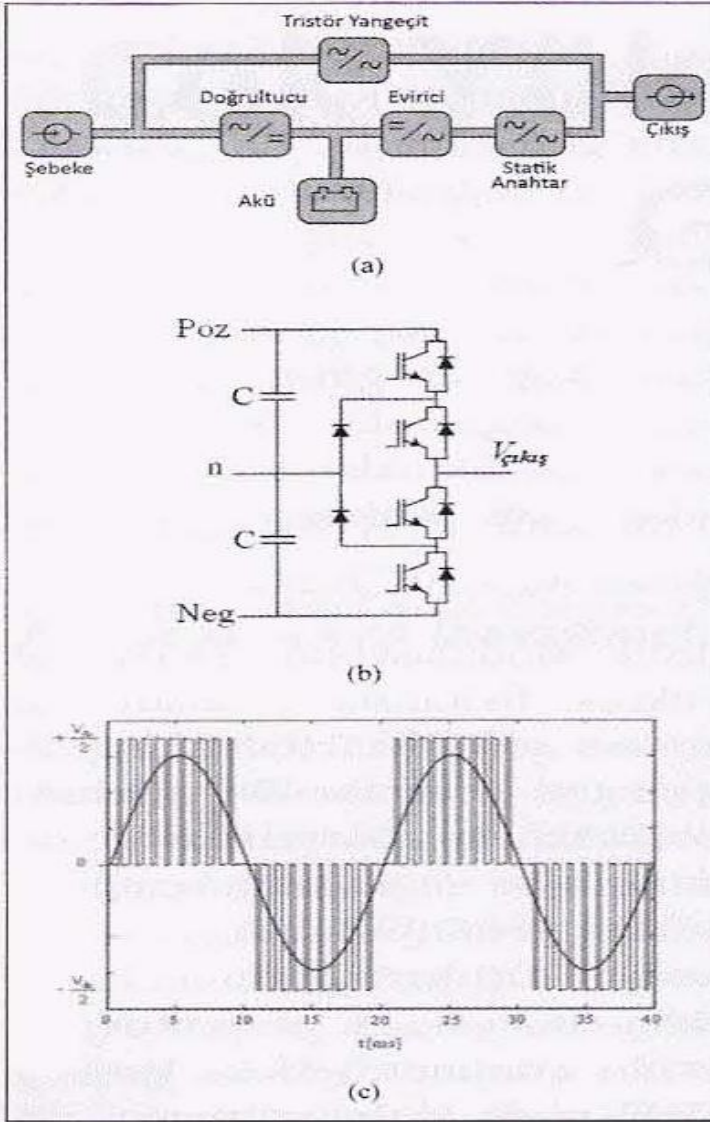
2. 3S Eviricili KGK Yapısı

KGK'lar, AC şebeke gerilimini DC gerilime dönüştüren doğrultucu ve bu DC gerilim ile çıkışta temiz bir AC gerilim üreten evirici yapılarından oluşurlar. Ayrıca, KGK yapısında bakım ya da arıza durumunda yükün beslenmesinde görev alan tristör yan-

geçit hattı bulunur. Şekil 1.a'da genel itibariyle KGK blok diyagramı gösterilmiştir. Bir çevrimiçi KGK'da doğrultucu ve evirici kısımları sürekli çalışma için tasarlanmışlardır. Evirici devrede iken KGK çıkış gerilim ve frekans değerleri girişten bağımsız olarak oluşturulur. Böylece, şebeke bozukluklarının olumsuz etkileri yük tarafına yansıtılmaz.

3S eviricili KGK'larda Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) ile yüksek frekansta anahtarlanan gerilim yükseltici IGBT doğrultucu tipi kullanılır. Bu yapıdaki doğrultucular ile şebeke geriliminin tepe değerinden yeterince yüksek (± 400 V DC) değerde kararlı bir DC bara gerilimi oluşturulur. Bu yüksek gerilim değeri evirici çıkışında şebeke gerilimi anma değerini oluşturmaya yeterli olacağından çıkış katında yükseltici transformatör kullanımına gerek kalmaz.

Transformatörün getirdiği bütün olumsuz etkiler de onunla beraber gider. Bu yapıda, şebekeden harmonik bileşen miktarı küçük, reaktif bileşen içermeyen, güç katsayısı 1'e yakın, saf sinüsoidal akım çekilir. Bu sayede, girişteki büyük harmonik süzgeçler, faz kaydırma transformatörleri ve tepkin güç düzeltim kondansatörleri kullanma ihtiyacı ortadan kalkar. Azalan bileşenler, doğrultucunun, şebeke geriliminin bozukluklarına daha hızlı tepki vermesine, şebeke geriliminde oluşabilecek dengesizliklerinden etkilenmemesine imkan verir. Ayrıca, rejeneratif yük uygulamalarında, bu doğrultucu yapıyla yükün sağladığı enerjinin



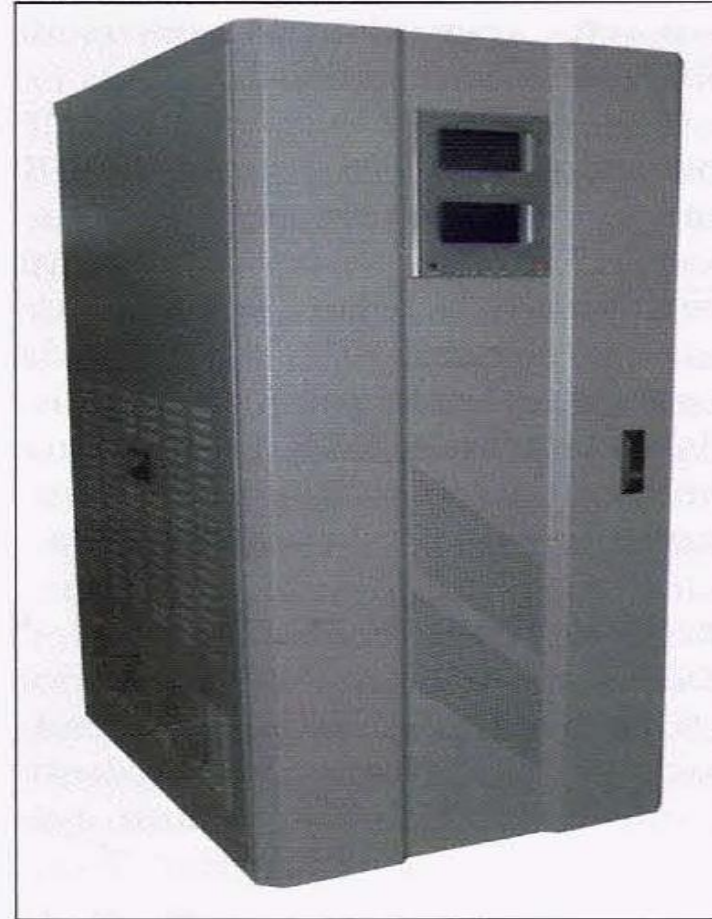
Şekil 1: 3S eviricili KGK yapısı: (a) KGK blok diyagramı, (b) evirici yapısı, (c) çıkış dalga şekli

şebekeye iadesi mümkündür. Bu tip uygulamalarda enerji tasarrufu sağlanır, enerjinin ısıya dönüşmesi engellenir [7].

DC bara geriliminden AC sinüs gerilimi oluşturmak için evirici katında IGBT'ler kullanılarak ve DGM tekniği ile anahtarlama yapılarak yüksek frekanslı dikdörtgen gerilim darbeleri elde edilir. Bu darbe gerilimleri, KGK'nın çıkış LC süzgeci ile süzülerek yükü besleyen sinüs gerilim dalgaları haline getirilir. 3S evirici yapısında çıkış gerilimi $-V_{dc}/2$, 0 ve $+V_{dc}/2$ olmak üzere 3 seviyeden oluşur (Şekil 1.c). Böylece çıkıştaki yüksek frekanslı dikdörtgen gerilim darbeleri, ek basamakla

sinüse daha yakın forma getirmek ve çıkış harmoniklerini azaltmak mümkün olur.

Artırılan basamak sayısı sonucu düşen gerilim darbe hızı (dv/dt), güç yarı iletkenlerinin anma gerilimlerinin daha düşük seçilmesine olanak sağlar. 3S evirici yapısında genellikle 600 V IGBT modüller kullanılır ki, 2S eviricinin kullanıldığı sistemlerde kullanılan 1200 V IGBT'lere nazaran bu elemanların anahtarlama ve iletim kayıpları oldukça azdır. Bu sayede 3S eviricili KGK sistemlerinde özellikle yüksek güç seviyelerine çıkıldığında yüzde 95-97 gibi yüksek verim değerlerine ulaşmak mümkün olur. Ayrıca düşük dv/dt oranı, akustik gürültü ve elektromanyetik girişim seviyelerinin de önemli miktarda düşmesini sağlar. Tüm artılar bir araya getirildiğinde süz-



Şekil 2: 120 kVA 3 faz giriş 3 faz çıkış KGK

geç boyutlarındaki ciddi azalmalar boyut ve toplam sistem maliyete olumlu şekilde yansır.

3. 3S Eviricili KGK Deneysel Başarımı

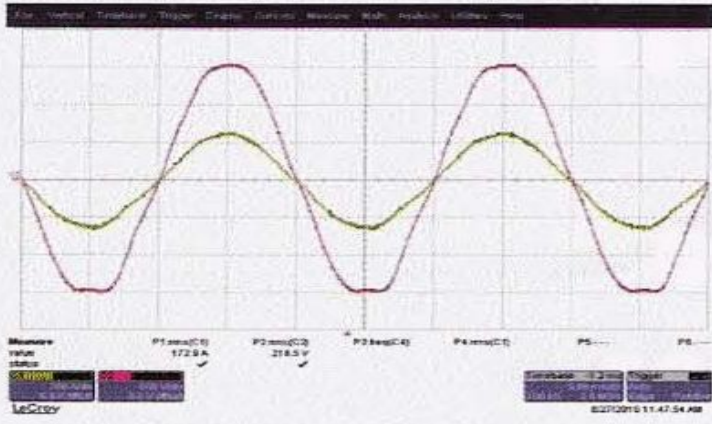
Bu bölümde çevrim içi 3S eviricili KGK'ların deneysel başarımları incelenecektir. Bu amaçla geliştirilen ve deneysel değerlendirilmesi yapılan, fotoğrafı Şekil 2'de gösterilen 120 kVA gücünde 3S eviricili KGK'ya ait giriş akım-gerilim ve çıkış akım-gerilim dalga şekilleri incelenecektir. Ayrıca, giriş akım ve çıkış gerilim harmonik analizi yapılacaktır. Tasarlanan KGK'nın temel veriyaprağı özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

GİRİŞ	
Gerilim	380/400/415VAC $\pm 15\%$
Frekans	50/60 Hz $\pm 10\%$
Güç katsayısı	$\geq 0,99$
THD _i	$\leq 4\%$
ÇIKIŞ	
Gerilim	380/400/415VAC
Gerilim regülasyonu	$\pm 1\%$ statik, $\pm 2\%$ dinamik (%100 yük değişiminde), <2 ms toparlanma zamanı
Frekans	50/60 Hz
Frekans toleransı	$\pm 0,1\%$ özsenkronizasyonlu, $\pm 1\%$ şebeke senkronizasyonlu
Güç faktörü	0,9
THD _v	$\leq 1\%$ lineer yükte, $\leq 5\%$ lineer olmayan yükte

Tablo 1: 120 kVA giriş-çıkış değerleri

3.1 Giriş Başarımı

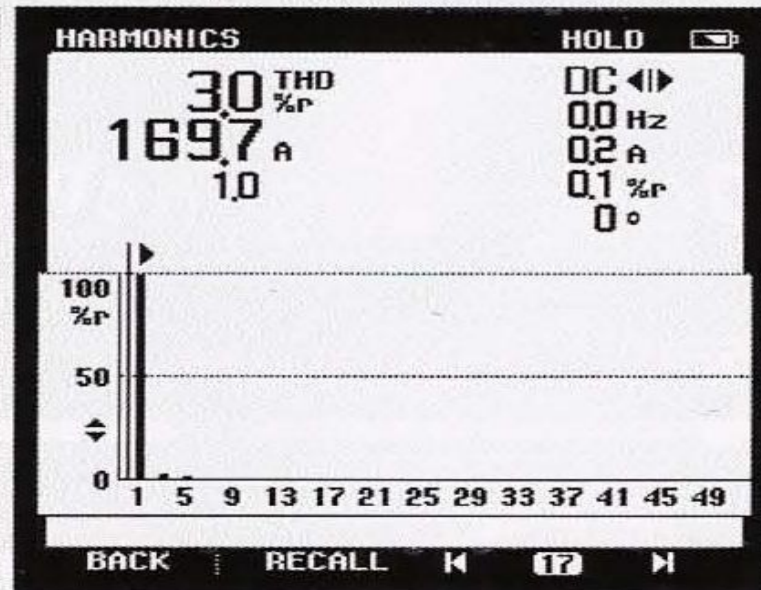
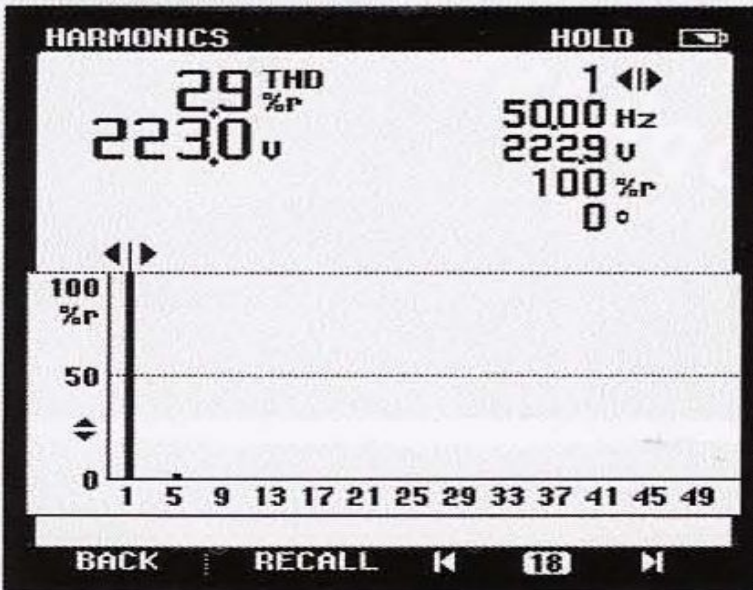
Bir KGK'nın şebekeden çektiği akım, sinüs formunda olmalıdır. Akım dalga şeklindeki bozulmalar şebeke gerilimini de olumsuz etkiler. Bu durum elektriksel çevreyi bozar ve aynı şebekeden beslenen diğer kullanıcıların kalitesiz bir enerji ile beslenmesine neden olur. Vektör kontrollü



Şekil 3: Yüzde 100 yük koşulunda 120 kVA KGK giriş akım ve gerilim dalga şekli (C1:200A/div, C2:100V/div, zaman:5.00ms/div)

DGM tekniği ile sürülen 3S eviricili KGK'lar girişten şekil 3'teki düzgün sinüs akımı çekerler. Böylece şebeke asgari düzeyde kirletilerek temiz bir elektriksel çevre sağlanmış olur. KGK girişinden çekilen akım dalga şekli direk olarak akımdaki harmonik bileşenlerle ilgilidir. Akım harmonikleri ise şebeke gerilimindeki harmoniklerden etkilenirler. Dolayısıyla KGK giriş başarımlı değerlendirilirken akım harmoniğini bağımsız olarak değerlendirmek doğru olmaz.

Şekil 4'te giriş gerilim ve akım harmonik değerleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde şebeke gerilimindeki bozulmaya



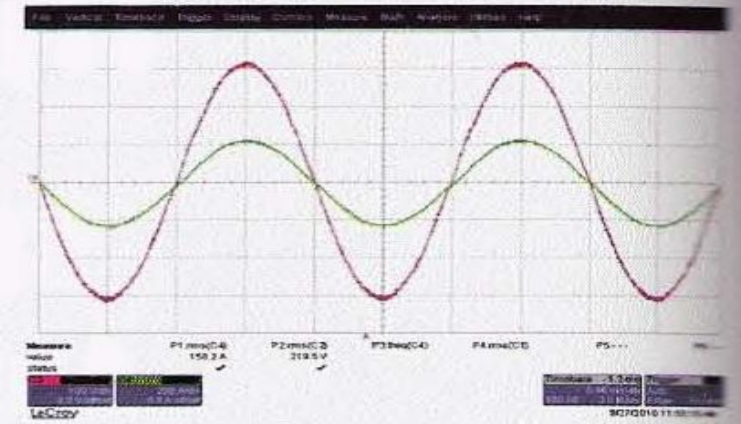
Şekil 4: Yüzde 100 yük koşulunda 120 kVA KGK giriş gerilim (solda) ve akım (sağda) harmonik değerleri

karşın, şebekeden temiz bir akım çekildiği ortaya çıkar. KGK girişinden çekilen temiz akım ayrıca, eski teknolojilerde KGK'nın nominal gücünün 1.5-2 kat üstünde seçilen jeneratör boyutunun daha düşük seçilmesine olanak sağlar. 3S eviricili KGK'larda bu oran jeneratör teknolojisine de bağlı olarak 1.1-1.3 arasında değişir.

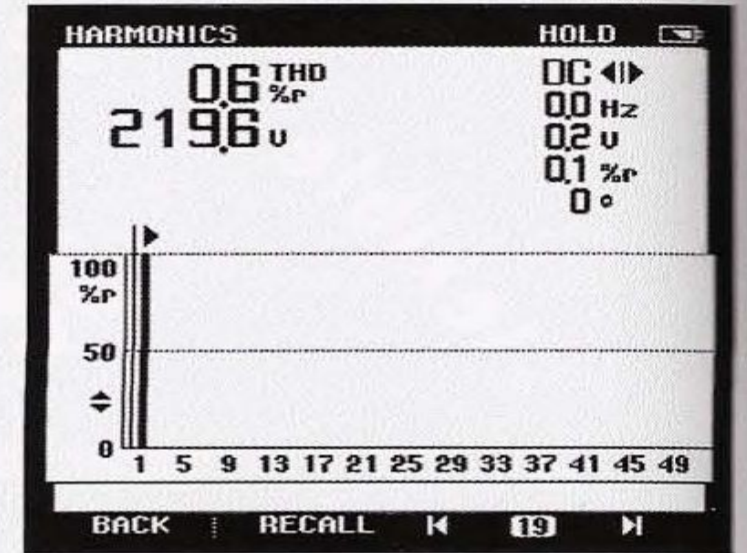
3.2 Çıkış Başarımı

KGK'lar lineer ve lineer olmayan yükleri beslerler. Bu yük grupları çoğunlukla küçük gerilim değişimlerine karşı hassas olmaları nedeniyle, çıkış gerilim kalitesi KGK'nın en önemli parametrelerinden biri olarak değerlendirilir. Bu bölümde lineer ve lineer olmayan yük koşulu için çıkış akım-gerilim dalga şekli ve harmonik analizi yapılacaktır.

Şekil 5'te lineer yük (direnç yük) koşulunda 3S eviricili KGK çıkış gerilimi görülmektedir. 3S evirici yapısı ile yük sinüs formunda kaliteli gerilim ile beslenir. Bu koşulda 3S eviricili KGK'nın çıkış gerilim harmoniği şekil 6'da gösterilmiştir.

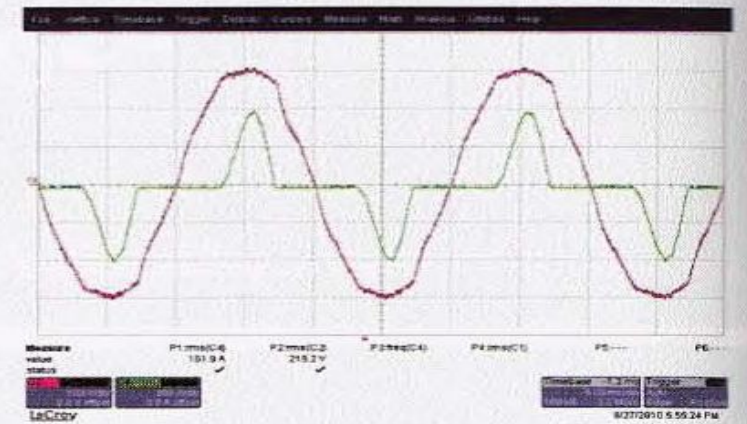


Şekil 5: Yüzde 100 lineer yük koşulunda 120 kVA KGK çıkış akım ve gerilim dalga şekli (C2:100V/div, C4:200A/div, zaman:5.00ms/div)

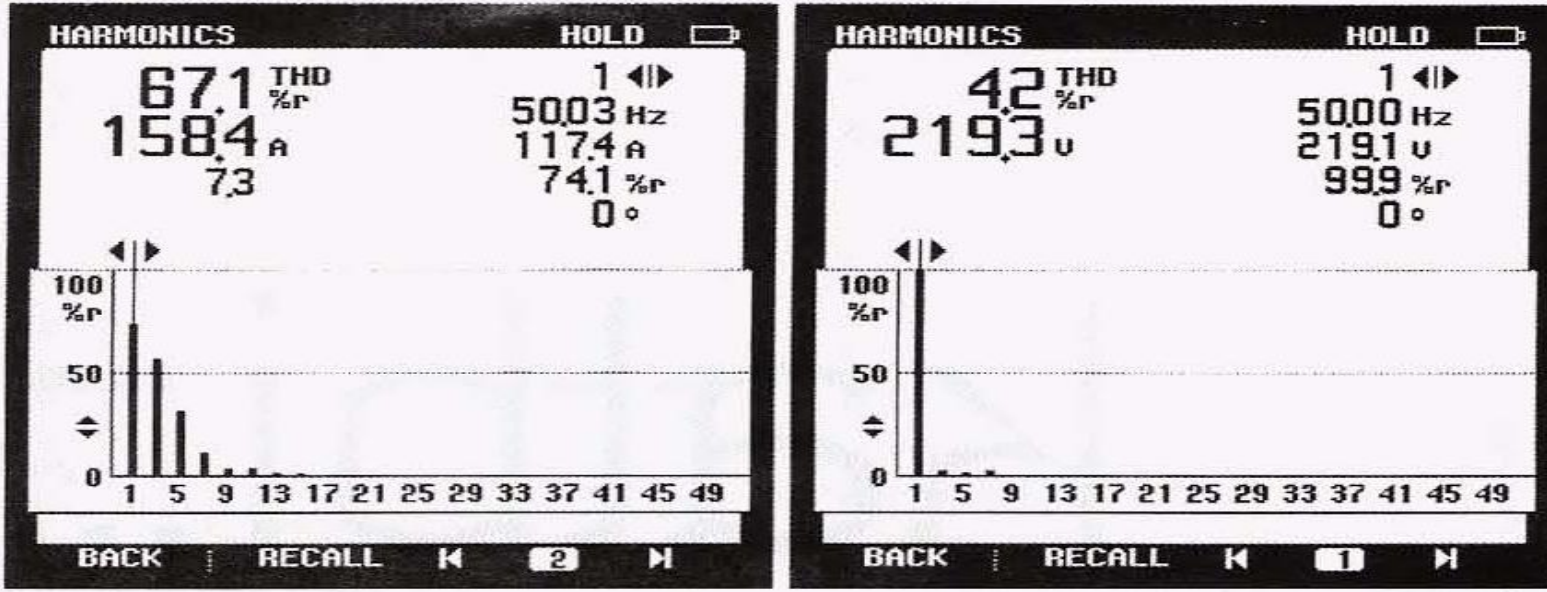


Şekil 6: Yüzde 100 lineer yük koşulunda 120 kVA KGK çıkış gerilim harmonik değerleri

Yukarıdaki grafikten de görüleceği gibi gerilim harmoniği yüzde 0,6 gibi çok düşük bir değerde kalmıştır. Uygulamada ise KGK yüklerinin büyük çoğunluğu lineer olmayan yüklerden



Şekil 7: Yüzde 100 lineer olmayan yük koşulunda 120 kVA KGK çıkış akım-gerilim dalga şekli (C2:100V/div, C4:200A/div, zaman:5.00ms/div)



Şekil 8: Yüzde 100 lineer olmayan yük koşulunda 120 kVA KGK çıkış akım ve gerilim harmonik değerleri

oluşur. Bu açıdan KGK'ların yüksek tepe katsayısına (crest factor) sahip yüklerde göstereceği başarımlı hassas yükler açısından önemlidir.

3S evirici yapısının en önemli avantajlarından biri lineer olmayan yüklerde KGK'nın gösterdiği yüksek çıkış başarımlıdır; çıkışta oluşturulan kararlı gerilim Şekil 7'te gösterilmiştir. Bu gerilimin oluşturulabilmesi, 3S evirici yapısında anahtarlama elemanlarının üzerindeki gerilimin yarıya

düşmesi sonucu küçülen filtre boyutlarının hızlı dinamik cevaba izin vermesinin bir sonucudur. Test, yüksek harmonik bileşen içeren, tepe katsayısı 2.5 olan yük koşulunda yapılmıştır. Yük akımının harmonik değeri ve bu yük koşulunda çıkış gerilim harmonik bileşenleri Şekil 8'de gösterilmiştir.

3S evirici yapısının en önemli farkı verim değerlendirmesinde ortaya çıkar. Şekil 9'da 3S eviricili KGK verimi yanında, karşı-

laştırma için 2S ve trafolu KGK verimleri de gösterilmiştir.

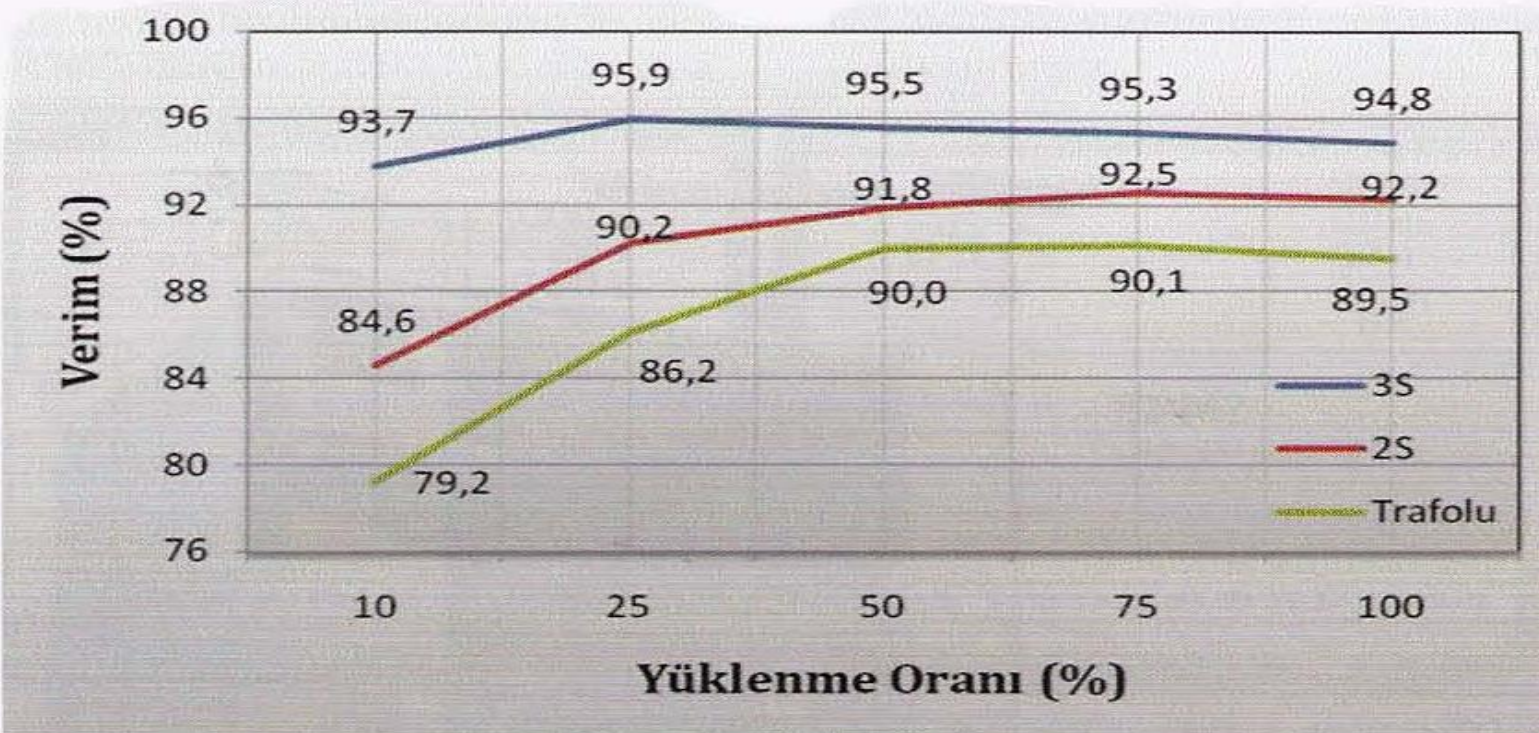
Verim eğrisi incelendiğinde, 3S eviricili KGK'lar ile trafolu KGK'lar arasında yük seviyesi azaldıkça artan ve trafolu KGK teknolojisinin sonunu hazırlayan bir verim farkı ortaya çıkar.

Pratikte KGK'lar nadir olarak tam yük altında işletilirler; maksimum yüzde 75-80 çoğunlukla da yüzde 25-50 arasında değişen bir yük oranıyla çalıştırılırlar. Bu yüklenme oranlarından hareketle, 3S eviricili KGK'lar, sahip oldukları yüksek ve yatay verim eğrisi sayesinde, 2S KGK'lar ile karşılaştırıldıklarında işletme maliyetleri açısından ciddi miktarda tasarruf etme imkanı sunarlar. Dolayısıyla, çok kısa bir zaman aralığında yatırım maliyetlerinin geri dönüşü sağlanır.

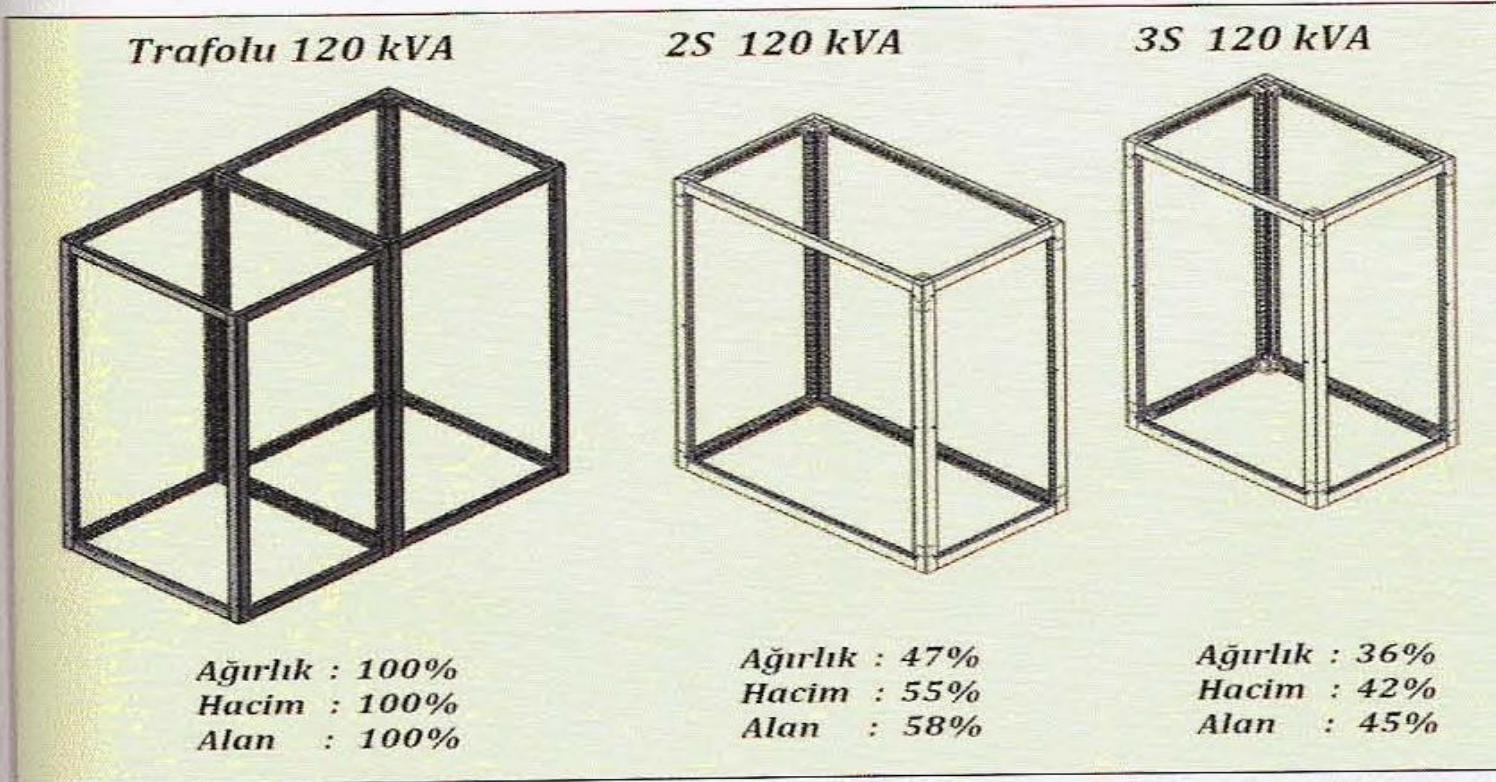
Referans [9]'da yatırımın amorti zamanı ayrıntılı olarak incelenmiş ve 2 yıldan az bir sürede gerçekleştiği belirlenmiştir. Artan güçlerde KGK yapıları arasındaki verim farkı ve onun tüm getirileri de artar [10].

4. Boyut

Dünya yeraltı kaynaklarının sınırlı oluşu ve mevcut kaynakların hızlı tüketimi ve tüketim sonucunda oluşan çevresel atıklar günümüzde artık ihmal edilebilecek bir konu olmaktan çıkmıştır. Ekolojik dengenin korunması, çevre bilincinin gelişmesi amacıyla dünya genelinde çok çeşitli platformlarda çalışmalar yapılmakta ve çevrenin korunmasına yönelik yaptırımlar devreye sokulmaktadır. Bu nedenle



Şekil 9: 120 kVA verim değerleri



Şekil 10: 120 kVA 3S, 2S ve trafolu KGK boyut ve ağırlık karşılaştırması

firmaların yeni politikası, daha az malzeme ile daha verimli dolayısıyla çevre dostu ve ekonomik getirisi daha yüksek cihazlar üretmek yönündedir.

KGK teknolojisinde yaşanan ilerlemeler, boyut ve ağırlık bakımından daha hafif ve küçük yapıların oluşturulmasına olanak tanımıştır. Özellikle transformatörlü yapının kalkmasıyla başlayan bu süreç 3S eviricili KGK'larda en üst düzeye ulaşmıştır. Azalan bileşenler ve süzgeç boyutlarındaki küçülme, daha az metal, kimyasal kullanımı anlamına gelir. Bu azalma, üretimde harcanan enerjinin ve insan gücünün de azalmasını beraberinde getirir. Şekil 10'da boyut ve ağırlık bakımından 3S eviricili KGK yapısının gelişimi gösterilmiştir.

5. Sonuç

3S evirici yapısı, sahip olduğu yüksek giriş ve çıkış başarımları ve özellikle verim değeriyle ile

eski nesil teknolojilerin yerini almaktadır. Girişten yaklaşık "1" güç katsayılı saf sinüs formunda akım çekilir, giriş akım THD değeri yüzde 4'ün altındadır (bkz. Şekil 4). Küçülen süzgeç boyutlarıyla kazanılan dinamik yapı çıkış gerilim kalitesini önemli ölçüde yükseltir. 2,5 tepe katsayılı yük koşulunda yüzde 5 ten düşük (bkz. Şekil 8) harmonik bileşenli gerilim üretilir.

Bu teknolojinin en önemli özelliklerinden birisi de KGK yapımında kullanılan malzemelerin azalarak boyutlarının küçülmesi ve daha hafif yapıların oluşturulmasıdır. Böylece, metal ve kimyasal kullanımı, dolayısıyla ekolojik çevreye olumsuz etki asgari düzeye iner.

3S evirici sisteminin getirdiği bir başka avantaj, artan verim sayesinde KGK sisteminde işletim ve soğutma maliyetlerinin azalması, yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresinin kısılmasıdır.

Kaynaklar

- [1] TMMOB Makine Mühendisleri Odası, "Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği Oda Raporu", Nisan 2008.
- [2] "Enerji Verimliliği Kanunu", Kanun no: 5627, Kabul Tarihi: 18/04/2007, Resmi Gazete Sayı: 26510, 2 Mayıs 2007.
- [3] <http://www.teias.gov.tr> (Son giriş tarihi: 27/08/2010)
- [4] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK), "Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenliği ve Kalitesi Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik", Resmi Gazete Sayı: 25639, Tarih: 09/01/2007
- [5] T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK), "Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenliği ve Kalitesi Yönetmeliği", Resmi Gazete Sayı: 26398, Tarih: 10/11/2004
- [6] A. M. Hava, "Transformatörsüz Kesintisiz Güç Kaynakları ile Güç Kalitesi, Enerji Verimliliği ve Çevre Temizliğinin Arttırımı", 3. Enerji Verimliliği ve Güç Kalitesi Sempozyumu EVK2009, Mayıs 2009.
- [7] B. Üstüntepe, A.M. Hava, "Üç-Fazlı Üç-Düzeyleli Nötr Noktası Bağlantılı Evirici ve Uygulamaları," ELECO 2006, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 6-10 Aralık 2006, Bursa, sayfa 126-130.
- [8] İ. Güneş, B. Üstüntepe, A. M. Hava, "Modern Transformerless Uninterruptible Power Supply (UPS) Systems", ELECO 2009, 6. Uluslararası Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 2-5 Kasım 2009.
- [9] İ. Güneş, B. Üstüntepe, M. İşlek, N. Ece, A. M. Hava, "Environment-friendly Uninterruptible Power Supply (UPS) Systems", PCIM 2010, 4-6 Mayıs 2010.
- [10] İ. Güneş, M. Ardiç, A. M. Hava, "Energy Saving in Uninterruptible Power Supply Systems by Means of Modern Power Conversion Techniques", IEEESE-5, 5. Uluslararası Ege Enerji Sempozyumu, 27-30 Haziran 2010.