



3e ELECTROTECH

SAYI: 189 AYLIK ENERJİ, ELEKTRİK, ELEKTRONİK TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

MART 2010/03 FİYATI: 6 TL

Yüksek Gerilimli İLETİM HATLARI

TN ve TT Sistemlerinde AŞIRI GERİLİM KORUMASI

PARALEL REZONANSIN Endüstride Tespiti

RÜZGAR TÜRBİNLERİNDE Bakım Uygulamaları

WIN 1. FAZ Sanayicilerin Yüzünü Güldürdü

BİLESİM
YAYINCILIK A.Ş.

WIN
World of Industry

ELECTROTECH'10
11. Enerji, Elektrik ve Elektronik Teknolojileri Fuarı

25-28 Şubat 2010
Tüyap Fuar ve Kongre Merkezi Büyükçekmece-İstanbul

Kesintisiz Güç Kaynakları: Transformatörlü mü? Transformatörsüz mü?

Ahmet M. HAVA (hava@metu.edu.tr)
ODTÜ Elektronik Mühendisliği Bölümü

KGK'lar, uygulama-kritik yüklerle 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 (TSKGGK) yerlerini bırakmaya başlamıştır. TSKGGK'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. Üç düzeyli evirici kullanan ikinci nesil TSKGGK'lar üstün enerji verimleri ile hızla yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, TKGK ve TSKGGK'lar giriş akımı, çıkış gerilimi, enerji verimi vb. teknik özellikleri bakımından karşılaştırılacak, TSKGGK'ların teknik üstünlükleri sergilenecektir. Çalışma deneysel TSKGGK başarımları verileri ile desteklenecektir. Amaç kullanıcıları KGK teknolojileri konusunda bilinçlendirmek ve seçimde rehberlik sağlamaktır.

I. Giriş

Kesintisiz güç kaynakları (KGK'lar), elektrik enerjisinin sürekliliği ve yüksek kalitesinin zorunlu bir gereksinim olduğu hastaneler, bilgi işlem merkezleri, güvenlik merkezleri, alışveriş merkezleri, fabrikalarda üretim hatları (tekstil, otomotiv vb. sanayilerde), bankalarda veri işleme/depolama merkezleri gibi birçok uygulamada yaygın olarak kullanılır. Elektrik şebekesinden yükleri doğrudan beslemede karşılaşılan kesinti, gerilimde çökme, dalgalanma ve harmonik gibi bozulmaların yüke yansımaları, çevrimiçi (on-line, double conversion) KGK kullanılarak engellenir ve yüklerle sürekli ve kaliteli elektrik enerjisi aktarılır. Yaygınca kullanılan çevrimiçi KGK'ların güç aralığı 1-2 kVA değerinden başlayıp 500-1000 kVA seviyelerine kadar ulaşmakta, daha büyük güçlere paralelleme tekniği ile erişilebilmektedir. Dolayısıyla KGK'lar kaynaktan yüke aktardıkları güç ve enerji bakımından oldukça yoğun aygıtlardır.

Türkiye'de kurulu elektrik şebekesi gücü 2009 yılı itibarı ile 42 GW'dır. Türkiye'de yıllık KGK piyasasının

100 M Euro, 100 kVA KGK'nın fiyatı 20,000 Euro ve KGK ömrü 10 yıl varsayılırsa, yılda 0.5G W KGK gücü kurulmakta ve toplamda 5 GW'dan fazla kurulu KGK gücü söz konusu olmaktadır. Bu da kurulu şebeke gücünün yüzde 10'dan fazlasını ifade eder. Bu gücün çevrimiçi KGK'lar üzerinden yüklerle aktarılması, KGK'ların enerji verimliliğini hem ülke toplamı hem de bireysel olarak kullanıcılar açısından zorunludur. 2007 yılında kabul edilen ve uygulaması 2009'da gerçekleşmeye 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]. Dolayısıyla, KGK'lar söz konusu boyutlarda gelişmekte, ulusal ve uluslararası piyasada her 5-10 yılda yeni teknoloji ürünler boy göstermektedir. Birçok

üstün özelliklerle donatılmış bu KGK'lar çeşitli ulusal ve uluslararası firmalar tarafından geliştirilerek müşterilere sunulmaktadır (Şekil 1). Piyasadan hızla kaybolan eski nesil transformatörlü KGK'lar (TKGK) ile yakın zamanda piyasaya sürülen birinci ve ikinci nesil transformatörsüz KGK'lar (TSKGK), enerji verimliliği, güç kalitesi, ekonomiklik ve çevre duyarlılığı bakımından önemli farklılıklar gösterir. KGK seçimini sağlıklı yapmak bakımından müşterinin bu özellikleri ve dolayısıyla devre topolojik yapıları, denetim özellikleri, giriş-çıkış başanım karakteristikleri, KGK bileşen ve yapılarının karşılaştırmalı değerlendirmesi gereklidir.

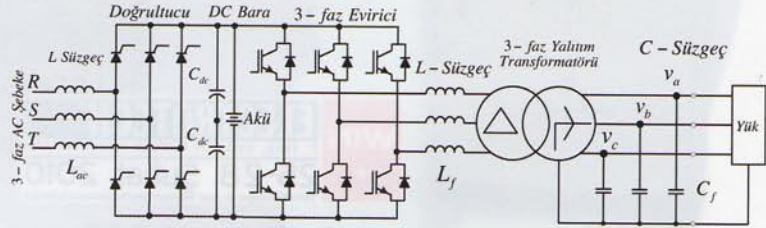
II. KGK devre topolojileri

Geleneksel olarak, üç fazlı, büyük güçlü ve uygulama-kritik yük uygulamalarında yüke her koşulda sürekli ve kaliteli güç sağlayan çevrimiçi KGK'lar ardışıl bağlı AC/DC ve DC/AC katlar kullanır. Çevrimiçi KGK'larda giriş ve çıkış katları DC bara ile birbirlerinden ayrıldığından, çıkış başanımı girişten bağımsız olarak sürekli yüksek tutulabilir ve oldukça güvenilir güç kaynağı elde edilir.

TKGK'da, şekil 2'de görüldüğü gibi, girişte (AC/DC dönüşüm aşamasında) tristörlü doğrultucu kullanılır. Şekil 2'de 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 IGBT transistörlü evirici ile DC/AC gerilim dönüşümü sağlanır. Tristörlü doğrultucudan sağlanan DC gerilimin şiddeti (400



Şekil 1: Transformatörsüz modern KGK ürünleri.

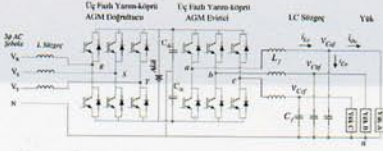


Şekil 2: Üç fazlı TKGK temel devre diyagramı.

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 akısının geçici halde doymasını engellemek için TKGK'nın dinamik bantgenişliği düşük yapılı. Bu yapı yüklemelerde gerilim çökmesini engelleyemediğinden, LC süzgeç boyutları büyük yapılı. Sonuç olarak, TKGK devre topolojisi karmaşıktır ve TKGK yapısal olarak da hantal, ağır ve büyük boyutludur [3].

TSKGK'larda girişte tristörlü doğrultucu kullanılmaz. Şekil 3'te gösterildiği gibi, şebekeden bir güç katsayılı ve sinüs akım çeken, daha üstün teknoloji olan AGM 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 değerde ve üzerindeki kıpırtı değeri ihmal edilebilecek miktarda olan DC bara gerilimi sağlanır ve kolayca denetlenir ($380/400$ V_{L-rms} şebeke için ± 400 V DC bara gerilimi). Bara geriliminin yüksek olması sayesinde KGK'nın çıkış katın-



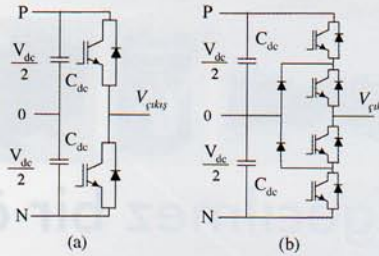
Şekil 3: Üç fazlı TSKGK temel devre diyagramı.

da 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 karmaşıklık bakımından TKGK'dan oldukça üstündür [3].

TSKGK'da DC/AC çıkış aşamasında yaygınca kullanılan temel evirici yapısı, Şekil 3'te gösterilen, iki düzeyli ve DC bara ortak noktalı yarım-köprü evirici yapısıdır. Bu yapı ile yük dengesizliği kolayca karşılanmakta, fazların birbirinden bağımsız denetimi sağlanmakta ve modüler yapı oluşmaktadır. Şekil 4.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 kırırtı büyük ve gerekli bastırıcı LC çıkış süzgecinin boyutu da büyük olur. Anahtarlama frekansını yükseltmek verimi azalttığından, başarımda belirli sınırlamalar söz konusudur. Daha yüksek başarımda ise üç düzeyli evirici [4] ile sağlanır. Şekil 4.b'de gösterilen üç düzeyli evirici yapısında çıkış gerilimi $-V_{dc}/2$, 0 ve $+V_{dc}/2$ düzeylerinden oluştuğundan, çıkış gerilimi ve akımı üzerindeki kırırtı da daha düşük şiddette olur. Dolayısıyla, iki düzeyli eviriciye göre daha az kırırtı, daha küçük çıkış LC süzgeç-

leri ve daha yüksek enerji verimi söz konusu olur.

Özet olarak, yapı itibarı ile TKGK ve TSKGK karşılaştırması boyut, fiyat ve çevre duyarlılığı (önemli oranda azalan malzeme tüketimi) bakımından TSKGK'nın üstünlüğünü göster-



Şekil 4: Evirici devre topolojileri tek-faz diyagramları. (a) İki düzeyli evirici. (b) Üç düzeyli evirici.

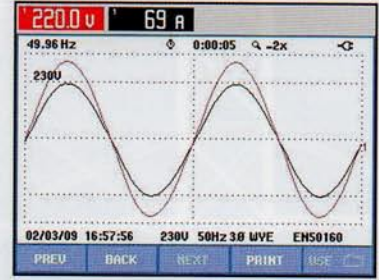
mektedir. Yardımcı birimler olan elektromanyetik uyumluluğu sağlayan ek süzgeç devreleri ve soğutma sistemlerindeki azalma da düşünüldüğünde fark daha da büyüktür. Ancak, TSKGK'nın üstünlüğü sadece yapıda (boyut ve ağırlıkla ilgili olarak) değil, daha ağırlıklı olarak toplam başarımdadır. Üstün anahtarlama, denetim ve koruma yöntemleri sayesinde TSKGK eski nesil ürünlerden oldukça üstün başarımlar sergiler.

III. KGK başarımları

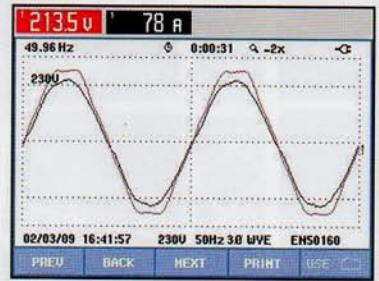
KGK'ların başarımları en temel işlev olarak çıkış gerilim kalitesi başarımları (müşteriye fayda) şebeke ile etkileşimi bakımından giriş başarımları (topluma fayda) ve enerji verimliliği başarımları (herkese fayda) boyutlarında incelenir. Bu üç boyutta da başarımlar için önemli ölçütler ve standartlar söz konusudur.

Çıkış başarımları: TSKGK, TKGK'dan daha küçük boyutlu çıkış LC süzgeçleri kullanır ve çıkış başarımları itibarı ile yükün dengesiz ve/veya har-

monikli olmasından kaynaklı olan bozucu akım bileşenlerini 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 ($THBv=V_{h-rms}/V_{1-rms}$) doğrusal yükte yüzde 1-2 ve $TK > 3$ yükte yüzde



Şekil 5: Anma direnç yükünde 60 kVA TSKGK çıkış gerilimi (kırmızı) ve yük akımı (siyah). $THB_v < \%1$, $GR < \%1$.



Şekil 6: TSKGK giriş akımı (siyah) ve şebeke gerilimi (kırmızı) (60 kVA TSKGK, anma yükü): $THB_v > \%4.4$, $THB_i < \%3.9$.

2-5 değerlerinin arasındadır (Şekil 5). TKGK yapısında bu değerlerden çok daha kötü çıkış başarımları sergilenmekte ve pasif elemanlara (bü-

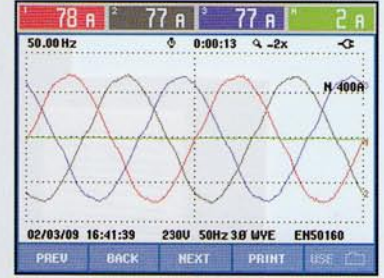
yük LC süzgeçler kullanarak ve çıkış transformatörünün kaçak indüktansının azlığına dayalı yük akımı sıfır bileşeni dolaşım yolu sağlama mekanizmasına) dayalı bozucu etki bastırma yeteneği yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla TSKGK üstündür.

Giriş başarımı: 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 (PF=P/S), ideal sinüse çok yakın ve fazlar arası dengeli akım çeker. TSKGK'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 ($THBI=I_{h-rms}/I_{1-rms}$) yüzde 3-5 olup, yükten bağımsız olarak faz akımları dengelidir. Bundan da öte, şebeke gerilimi harmonikli olsa bile çekilen akım oldukça temiz bir sinüs dalgasıdır (Şekil 6). TKGK'da giriş güç katsayısı yükte değişken ve 0.9'dan küçük, akım toplam harmonik bozulması yüzde 10'dan büyüktür (Şekil 7). Şebeke gerilimi dengesizse şebeke akımı da dengesiz olur ve bunun DC barayı (akü ve kondansatörleri) yıpratıcı etkisi büyüktür. Dolayısıyla, giriş başarımı 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], birkaç kilovat ve üzerinde güçlerde giriş başarımı artık

sadece şebeke için değil, aynı zamanda KGK'nın kullanıcısının da sorumluluğu haline gelmiş ve bu nedenle ayrıca önem kazanmıştır. Uygulamada özellikle yüzlerce kilovatluk KGK'ların şebekeye etkilerinin kuvvetli olacağı dikkate alındığında, üstün giriş başarımı sergileyen TSKGK'ların yaygınlaşmasının zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Pasif ya da etkin süzgeçlerle TKGK'nın güç kalitesinin düzeltilmesi yaklaşımı ise KGK uygulamalarında hem ekonomiklik, hem başarımla sınırlamaları hem de harmonik rezonans riski ile KGK güvenilirliğini azaltması bakımından tercih edilmemesi gereken bir yaklaşımdır. Bu nedenle TSKGK'nın yüksek giriş başarımı, bu yapının TKGK'ya tercih edilmesinde en büyük etkidir. Yakın geçmişte TKGK'dan TSKGK teknolojisine yönelimin zorlayıcı etkenlerinin başında giriş güç kalitesi gelmiştir ve çoğu ilk ürün ara teknoloji olan transformatörlü IGBT doğrultucu girişli KGK yapısında tasarlanmıştır.

KGK'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 dizel motor ve senkron generatörden oluşan gen-set olarak adlandırılan yapılar statik geçiş anahtarı üzerinden KGK girişine bağlanır ve uzun süreli kesinti durumlarında gen-set devreye girerek yüke enerjiyi sağlar. Bu durumda KGK yük ile gen-set arasında kullanılır ve yüke sabit genlik ve frekansa kaliteli gerilim sağlar. TSKGK'nın giriş başarımının yüksek olması, KGK'nın generatörden beslenmesin-

de de kolaylık sağlar. TKGK'ların çektiği akımın harmonikli olması senkron generatörü harmonik akımları ile yükleyerek ısıtır ve generatör



Şekil 7: TKGK giriş akımı (kırmızı) ve şebeke gerilimi (siyah) tipik dalga şekilleri $THBI_1 > \%30$, $PF < 0.85$ (bilgisayar benzetimi).

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, tepkin güç de çekmez ve bu nedenle generatörlerin gücü TSKGK gücüne yakın (1.1-1.3 katı) seçilir. Böylece generatör gücünden (maliyet ve bozuttan) tasarruf edilir.

Verim: Enerji verimliliği başarımı da KGK'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. Yüzlerce kVA'ya kadar anma verimi yüzde 86-92'dir (artan güçlerde artan verim). Ancak TSKGK'ların anma verimi birinci nesil TSKGK için yüzde 88-94 ve ikinci nesil (üç düzeyli eviricili) TSKGK için yüzde 92-97'dir. Bunun nedeni transformatörlerin ortadan kalkması ve soğutu-

cular/havalandırıcılar dahil birçok aradevrenin önemli ölçüde küçülmesi, dolayısıyla da kayıpların azalmasıdır. KGK'lar genellikle sürekli devrede olduklarından, birkaç puanlık verim artışı, yıllık elektrik faturası olarak büyük bir değer ifade eder ve KGK seçiminde müşterinin TSKGK'yı seçmesi için yeterlidir. Birinci nesil TSKGK'dan 5 yıl gibi çok kısa bir süre sonra daha pahalı ama aynı zamanda daha yüksek verimli (%92-97) ikinci nesil KGK'ların hızlıca geliştirilmesi ve yaygınlaşması da bunun sonucudur. Bu KGK'ların fazla anahtar sayısı nedeniyle artan maliyeti 3-4 ay gibi kısa bir sürede amorti olmaktadır. Bundan da öte, üç düzeyli eviricinin yükü bağlı verim eğrisi iki düzeyliden farklı olarak yatay karakteristik gösterir ve özellikle kısmi yüklerde çok üstündür (Şekil 8). Dolayısıyla enerji verimliliği yatırımlarının artışı (ekonomik ve ekolojik nedenlerle doğrudan zorlayıcı yatırımlar veya enerji fiyatının artması nedeniyle müşterinin dolaylı olarak bu yatırıma yönelmesiyle) gelecek yıllarda bu yönelim kaçınılmazdır. TSKGK (özellikle ikinci nesil) 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 oldukça üstün olmasını sağlar.

IV. Diğer özellikler

KGK'ların seçiminde yukarıda ayrıntılı incelenen temel başarımlar ölçütlerine ve özelliklerine ek olarak daha birçok ölçüt ve özellik söz konusudur. Bunlardan önde gelen birkaçı

aşağıda özetlenecektir.

Galvanik yalıtım ve eko-mod:

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, anızaların 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 faydalanmaktadır. Ancak bu getiriler, çoğu uygulamada götürüler (maliyetin, boyut ve hacmin artması, verimin düşmesi, dinamik tepkinin yavaşlaması vb.) 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 uygulaması yaygındır. Bu durumda galvanik yalıtımın sağlanması ancak daha karmaşık yapılarla sağlanabilir ve tercih edilmez. Dolayısıyla galva-

nik yalıtım yapmak yerine, onun sağladığı getirileri başka yollarla TSKGK yapısına kazandırmak tercih edilir. Elektromanyetik gürültüler, uygun yapıda yüksek frekans süzgeç yapılanı ile kolayca bastırılabilir. Şebeke, yük ve KGK hataları hızlı elektronik koruma devreleri ile başarılı biçimde algılanır ve hızlı koruma algoritmalarıyla etkin koruma yapılır. Özet olarak, galvanik yalıtım, çoğu KGK uygulaması için zorunlu değildir.

DC bileşen: Yüke zarar vermemesi için, KGK çıkışında DC gerilim istenmez. TSKGK'lar çıkıştaki 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.

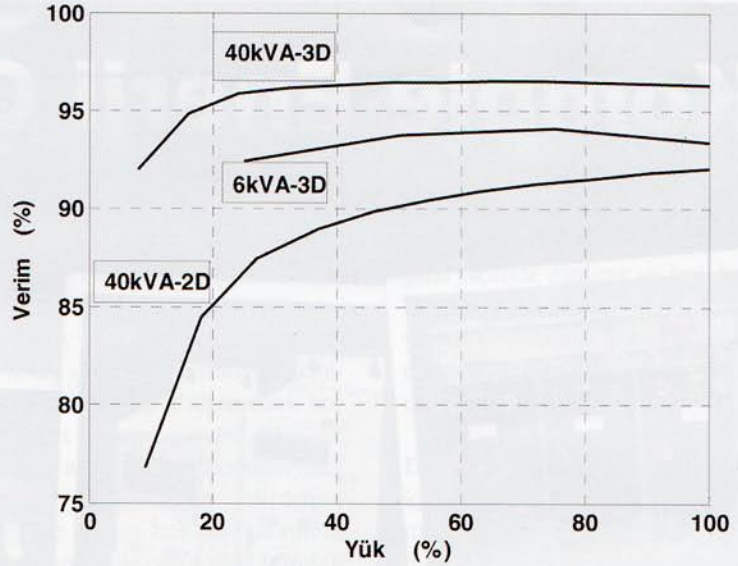
Durum gözlemleme: KGK'ların kullanım kolaylığı, internet üzerinden durum gözlenmesi, aktü yönetimi, paralellenebilirlik, yedekleme, anıza önkestirimi, vb. birçok özellik bakımından değerlendirilmesi, bu teknolojilerin her iki tip KGK için kolayca gerçekleştirilebilirliğini gösterse de, modern mühendislik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

Boyut/ağırlık: Artan nüfus ve kala-

balıklaşan büyük iş merkezlerinde ofis ortamlarında yer daralması söz konusu olup, TSKGK'lar azalan boyutları ile bu ortamlara uyum sağlayan tek çözümdür. Akustik gürültünün de insan kulağını rahatsız etmeyeceği düzeye inisi (trafosuz yapıdan kaynaklı), ofis ortamlarına TSKGK'ların yerleştirilmesini olanaklı hale getirmiştir. TKGK ve TSKGK ürünlerinin hacim ve ağırlık bakımından karşılaştırılması, TSKGK'nın hacminde %50 den fazla azalmayı işaret eder [3]. 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 üretici tarafından üretilmiş bir 120 kVA TKGK'nın hacminin 2.9 m³ ve ağırlığının da yaklaşık 3000 kg olduğu dikkate alınır, KKG'nın boyutsal evriminin güç elektroniği teknolojisinin evrimi ile birlikte bu süreci yaşadığı ve TSKGK'ya yönelimin de doğal bir sonuç olduğu görülür. Vurgulanması gereken bir diğer nokta ikinci nesil TSKGK'ların güç kapasitesinin de günümüzde 750kVA değerlerine ulaşması ve megavat sınırını zorlaması, böylece hızlıca en küçüğünden en büyüğüne tüm güç yelpazesinde TKGK'nın yerini almaktadır. Boyutsal evrim az malzeme, enerji ve emek kullanımı ile aynı zamanda ekonomik ve ekolojik bakımdan olumlu sonuçlar yaratmaktadır.

V. Sonuç

Transformatörlü ve transformatörsüz KKG'ların karşılaştırılması sonucu TSKGK'ların üstün çözüm olduğu gösterilmiştir. Enerji verimliliği (>> %90), KKG'nın giriş gücünün kalite-



Şekil 8: Tek-faz 6 kVA ve üç-faz 40 kVA TSKGK verim eğrileri. 2D: iki düzeyli evircili KKG, 3D: üç düzeyli evircili KKG.

si (güç katsayısı "bir" ve THB_v < %5) ve çıkış geriliminin kalitesi (GR < %1 ve THB_v < %5) bakımından TSKGK oldukça üstün bir başarımla 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.

Maliyeti bakımından birinci nesil TKGK'dan çok yüksek olmayan ikinci nesil TSKGK'ların verimi ayrıca yüksek olup (en az %1-2), kısmen daha yüksek fiyatlı olan ikinci nesil TSKGK'nın ek yatırımı kısa zamanda amorti edilir. Dolayısıyla TSKGK yapıları ve özellikle ikinci nesil ürünler uygulamada iyice yaygınlaşmaktadır. Hem ekonomik hem de ekolojik açıdan yeşil (çevre dostu) TSKGK ürünleri tercih edilmelidir. Ürünlerin ekonomikliği açısından ulusal KKG üreticilerinin de bu daha zor olan teknolojiye yatırım yapmaları ve bu amaç için gerekli

olan ileri teknolojiyi sabır ve itina ile geliştirmeleri zorunludur. Bu bağlamda müşterinin de üreticinin de yeşil ürünleri destekleme sorumluluğu söz konusudur.

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 güvenirliliği ve kalitesi yönetmeliği, Resmi Gazete, sayı: 25639, tarih: 10/11/2004.
- [3] A.M. Hava, "Transformatörsüz Kesintisiz Güç Kaynakları ile Güç Kalitesi, Enerji Verimliliği ve Çevre Temizliğinin Arttırımı," EVK 2009, III. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 21-22 Mayıs 2009, Kocaeli, sayfa 154-158.
- [4] B. Üstüntepe ve A.M. Hava, "Üç fazlı üç düzeyli nötr noktası bağlantılı evirci ve uygulamaları," ELECO 2006, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 6-10 Aralık 2006, Bursa, sayfa 126-130.