

# YGDA Sistemleri ve Türkiye'deki Gelişmeleri

## HVDC Systems and Their Developments in Turkey

Tülay Avcı, H. Faruk Bilgin

TÜBİTAK MAM  
Enerji Enstitüsü Ankara Birimi

[tulay.avci@tubitak.gov.tr](mailto:tulay.avci@tubitak.gov.tr), [faruk.bilgin@tubitak.gov.tr](mailto:faruk.bilgin@tubitak.gov.tr)

### Özet

*Elektrik enerjisinin uzun mesafelere iletiminde ve farklı elektrik şebekelerin senkron bağlanamayacağı durumlar için Yüksek Gerilim Doğru Akım (YGDA) sistemlerinin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu makalede; dünyada uygulanmakta olan YGDA sistemleri, güç elektroniği çevirgeç teknolojileri bakımından incelenmekte ve Türkiye'de YGDA sistemleriyle ilgili gelişmelere yer verilmektedir.*

### Abstract

*The use of High Voltage Direct Current (HVDC) systems is increasing day by day for transmission of electricity over long distances and interconnection of separate power systems where synchronous interconnection isn't possible. In this paper, HVDC systems which have been being applied worldwide are reviewed in view of power electronic converter technologies and developments on HVDC systems in Turkey are given.*

### 1. Giriş

Dünyamızda artan elektrik enerjisi talebiyle birlikte güneş ve rüzgar santralleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin payı hızla artmaktadır [1]. Bu kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin, nüfusun yoğun olduğu bölgelere ve yük merkezlerine iletilmesine ihtiyaç duyulmaktadır [2]. Bu ihtiyaç doğrultusunda, elektrik enerjisinin havai hatlar veya yeraltı/sualtı kablolar vasıtasıyla uzun mesafeler boyunca iletilmesinde ve farklı şebekelerin geleneksel alternatif akım bağlantıları ile bağlanamayacağı durumlarda Yüksek Gerilim Doğru Akım (YGDA) sistemleri kullanılmaktadır.

Elektrik enerjisinin, yüksek gerilim seviyesinde alternatif akım (AA) olarak iletilmesi esnasında her 1.000 km'lik iletim hattı boyunca elektrik enerjisinin %10'dan fazlası kaybolmaktadır. YGDA sistemleri vasıtasıyla elektrik enerjisinin doğru akım (DA) olarak iletiminde, AA olarak iletme oranla % 30-50 daha az iletim kaybı olmaktadır [3]. Ayrıca, 80km'den daha uzun kablo bağlantısı sadece YGDA iletimde olanaklıdır [3]. Elektrik enerjisinin uzun mesafelerce iletiminin yapıldığı iletim tipi YGDA sistemleri yanında komşu şebekeler arasında gerek asenkron enterkoneksiyona olanak sağlayan gerekse şebekeler arasında bir güvenlik duvarı vazifesi görerek arızaların komşu şebekeye geçmesini engelleyen sırt-sırtta bağlı YGDA sistemleri mevcuttur. Sırt-sırtta bağlı YGDA bağlantıları, iki AA

şebeke arasında frekans veya faz farkı açısından herhangi bir kısıtlamaya neden olmadığı için farklı frekanstaki sistemlerin asenkron bağlanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, sırt-sırtta bağlı YGDA sistemleri kullanılarak güç akışının hızlı ve hassas kontrolü sayesinde elektromekanik salınımların sönümlendirilmesi ve şebeke kararlılığının artırılması mümkündür [4].

Dünyadaki ilk ticari YGDA bağlantısı 1954 yılında, Baltık Denizi'nde İsveç anakarası ile Gotland adası arasında cıva arklı redresörler kullanılarak yapılmıştır. 1970'lerde tristör anahtarlarının geliştirilmesi ile boyut ve karmaşıklığı azalan çevirgeçlerin oluşturulması YGDA teknolojisine ivme kazandırmıştır. Günümüze kadar, pek çoğu iki nokta arasında YGDA iletim yapılan sistemlerin uygulamaları yanında sırt-sırtta bağlı YGDA sistemlerinin uygulanması ve çok terminalli YGDA şebekelerinin geliştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. 1990'ların sonlarına doğru yalıtılmış kapılı iki kutuplu transistörlerin (IGBT - insulated gate bipolar transistor) gelişim göstermesi ile birlikte YGDA sistemleri için de şebekeden bağımsız çalışabilen, daha fazla kontrol edilebilir, çevirgeç istasyonlarının boyutlarını küçülten, off-shore rüzgâr santrallerine ve çok terminalli YGDA şebekelerine olanak tanıyacak teknolojinin kapıları açılmıştır.

YGDA sistemleri, ülkemiz açısından oldukça yeni bir konudur. Üretim santrallerinden alternatif akım ile iletim yapılan ülkemizde coğrafi şartları gereği DA iletime günümüze kadar ihtiyaç duyulmamıştır. Artan elektrik enerjisi talebi ile beraber, büyük üretim havuzları oluşturarak sıcak rezervin paylaşılmasını ve enerji kaynaklarının ekonomik kullanılmasını sağlayan iletim ağları oluşturulmaya başlanmıştır. Ülkemizin Avrupa elektrik sistemi ile entegrasyonu kapsamında Türkiye Elektrik Sisteminin ENTSO-E CESA (Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşleticileri Birliği (ENTSO-E) Kıta Avrupası Senkron Bölgesi (CESA)) sistemine senkron paralel bağlantısı gerçekleştirilmiş ve kalıcı bağlantıya ilişkin standart ve yükümlülükler, Uzun Dönem Anlaşma ile 15 Nisan 2015 tarihinden itibaren bağlayıcı hale getirilmiştir. Türkiye Elektrik Sisteminin ENTSO-E sistemine entegrasyonu ile birlikte batı komşularımız dışındaki ülkeler ile senkron paralel çalışma bu ülkelerin de belirli standartları ve işlemleri yerine getirmesi ve ENTSO-E'nin onayı çerçevesinde mümkün olacaktır. Bunlar dışındaki bağlantılar şebekeler arasında asenkron bağlantıya olanak tanıyan ve şebekeler arasında bir güvenlik duvarı vazifesi gören sırt-sırtta bağlı YGDA sistemleri ile mümkün olmaktadır.

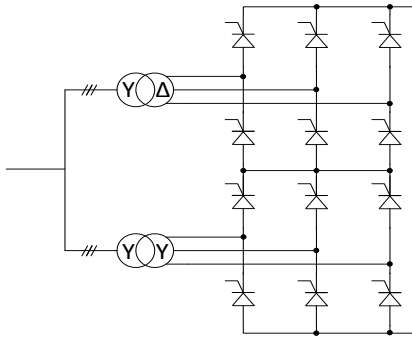
Bu makalede, YGDA sistemlerinin çevirgeç teknolojileri bakımından incelenmesi yapıldıktan sonra Türkiye’de YGDA alanında yapılan çalışmalara yer verilecektir.

## 2. YGDA Sistemleri

YGDA sistemleri, uygulamaya göre ikiye ayrılmaktadır: i) çevirgeçleri farklı merkezlerde kurulu olup, arasında uzun DA havai hat veya kablo kullanılan *iletim tipi YGDA sistemleri* ve ii) çevirgeçleri aynı merkezde kurulu olup, arasında kısa DA havai hat veya kablo kullanılan *sırt-sırta bağlı YGDA sistemleri*. İster iletim tipi isterse sırt-sırta bağlı olsun YGDA sistemlerinde iki temel çevirgeç teknolojisi kullanılmaktadır. Bunlar; 1) Hat komütasyonlu akım kaynaklı çevirgeçler (HK-AKÇ) ve 2) Kendinden komütasyonlu gerilim kaynaklı çevirgeçlerdir (KK-GKÇ).

### 2.1. Hat Komütasyonlu Akım Kaynaklı Çevirgeçler

Uzun ve başarılı bir geçmişe sahip olan klasik tarzdaki YGDA sistemleri hat komütasyonlu akım kaynaklı çevirgeç tabanlıdır. Dünyada çalışmakta olan YGDA uygulamalarının çoğu bu çevirgeç yapısına sahiptir. Yarı-iletken anahtarlama elemanı olarak tristör kullanılan bu çevirgeçlerde istenilen DA çıkış gerilimine ulaşmak için uygun sayıda tristör seri bağlanır. Tristörler kullanılarak oluşturulan 6-darbeli de denilen üç-fazlı tam dalga doğrultucu köprü devreleri bu çevirgeçlerin temelini oluşturur. Bu çevirgeçlerde, DA gerilimini yükseltmek ve AA akımı ile DA gerilimindeki bazı karakteristik harmonikleri yok etmek amacıyla iki 6-darbeli köprü devresinin DA terminalleri seri bağlanırken AA terminalleri ise Y-Y ve Y-Δ bağlı iki transformatöre Şekil 1’deki gibi bağlanmaktadır [5].



Şekil 1. 6-darbeli 2 çevirgeç ile oluşturulan 12-darbeli çevirgeç yapısı

Hat komütasyonlu çevirgeçlerin akım yönünü değiştirebilmeleri için güçlü AA gerilim kaynaklarına ihtiyaçları vardır. Çevirgecin bağlandığı noktadaki AA şebekenin üç-faz simetrik kısa devre kapasitesi çevirgeç gücünün en az iki katı olmalıdır [6]. Ayrıca hat komütasyonlu akım kaynaklı çevirgeçler, çalışma prensipleri nedeniyle, AA tarafındaki faz akımı bağlı olduğu AA şebekenin faz gerilimini geriden takip ettiği için reaktif güce ihtiyaç duymaktadır. Reaktif güç ihtiyacı ise çevirgecin AA tarafına bağlanacak şönt kapasitif filtre bankaları veya seri kondansatörler ile karşılanmaktadır.

### 2.2. Kendinden Komütasyonlu Gerilim Kaynaklı Çevirgeçler

Kendinden komütasyonlu gerilim kaynaklı çevirgeç devre yapısına dayalı yeni nesil YGDA sistemleri yüksek gerilim için yalıtılmış kapılı iki kutuplu transistörlerin (HV-IGBT) gelişimiyle paralel olarak gelişmiş ve HK-AKÇ’lerin yerine kullanılmaya başlanmıştır. Komütasyon için güçlü AA şebekeye ihtiyaç duymayan KK-GKÇ tabanlı YGDA sistemleri aynı zamanda aktif güç ile reaktif gücün bağımsız olarak kontrol edilebilmesine olanak tanımlarıyla ön plana çıkmaktadırlar [7]. Tristör tabanlı HK-AKÇ ile karşılaştırıldığında, GKÇ’lerin yüksek frekans bileşen içeren darbe genişliği modülasyonlu (DGM) dalga şekilleri üretmeleri arzu edilir [8]. Bu da GKÇ’lerde kullanılan IGBT’lerin yüksek frekansta anahtarlama ile mümkün olmaktadır. Böylece HK-AKÇ’lere göre bu çevirgeçlerin AA tarafındaki akımların harmonik bileşenleri daha yüksek frekanslara ötelenerek daha küçük boyutlu filtrelerle süzülmesi mümkün hale gelmektedir. HK-AKÇ ile KK-GKÇ yapılarının YGDA sistemlerinde kullanımları açısından karşılaştırılmasının özeti Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. HK-AKÇ ile KK-GKÇ karşılaştırılması

Hat Komütasyonlu Akım Kaynaklı Çevirgeçler (HK-AKÇ):	Kendinden Komütasyonlu Gerilim Kaynaklı Çevirgeçler (KK-GKÇ):
Geleneksel YGDA sistemi	Yeni nesil YGDA sistemi
Hat komütasyonlu Tristör kullanılmaktadır	HV-IGBT kullanılmaktadır.
Tristörlerin anahtarlama için güçlü gerilim kaynağına ihtiyaç duyar.	HV-IGBT’lerin anahtarlama düşük güçlü sürücü devreleriyle gerçekleştirildiği için kendinden komütasyonludur.
Çevirgecin çalışabilmesi için bağlantı noktasındaki kısa devre kapasitesi, çevirgeç gücünün en az iki katı olmalıdır.	Şebekenin kısa devre kapasitesinde kısıtlama yoktur.
AA tarafındaki faz akımı, bağlı olduğu AA şebekenin faz geriliminin gerisinde olduğu durumda çalışabildiğinden reaktif güce ihtiyaç duyar.	Reaktif güç ihtiyacı yoktur. Aksine kendisi senkron kompanzator gibi çalışarak istenilen reaktif gücü üretebilirler.
DA gerilim seviyesini yükseltmek ve 6-darbeli çevirgeçten kaynaklanan harmonikleri süzmek için Y-Y ve Y-Δ trafoya bağlı farklı iki adet çevirgeç DA terminallerinden seri bağlanır.	Çok seviyeli gerilim kaynaklı çevirgeç yapıları ile DA gerilim seviyesi yükseltilebilir, AA tarafındaki akım harmonikleri azaltılabilir.
Harmonikleri süzmek ve reaktif güç ihtiyacını karşılamak amacıyla AA tarafında şönt kapasitif filtre bankalarına ihtiyaç vardır.	Harmonikleri süzmek için gerekirse AA tarafında daha küçük boyutlu şönt filtreler kullanılabilir.

Gerilim kaynaklı çevirgeçlerin en basit topolojisi pek çok IGBT’nin seri bağlanarak istenilen DA gerilimine ulaşıldığı iki seviyeli üç-fazlı köprü yapısıdır. Fakat IGBT’lerin anahtarlama frekansının yüksek seçilmesine bağlı olarak anahtarlama kayıplarının artması bu çevirgeçlerin üstesinden gelinmesi gereken en önemli meselesidir. Bu amaçla, çok seviyeli gerilim kaynaklı çevirgeç topolojileri kullanılarak, IGBT’lerin anahtarlama frekansı düşürülürken çevirgecin etkin çalışma frekansı artırılarak çevirgecin AA tarafındaki akım

harmoniklerinin yüksek frekanslara ötelenmesine çalışılmaktadır.

Günümüzde yeni nesil YGDA sistemlerinde, KK-GKÇ olarak çok seviyeli gerilim kaynaklı çevirgeçler kullanılmaktadır. Çok seviyeli gerilim kaynaklı çevirgeçlerin en önemli avantajı, çevirgeçteki her bir yarı-iletkenin düşük anahtarlama frekansı sonucunda daha düşük yarı-iletken kayıpları ile birlikte sinüse daha çok benzeyen gerilim dalga şekli üretebilmesidir [9]. Çok seviyeli gerilim kaynaklı çevirgeçlerin genel yapısı tipik olarak kondansatör gerilim kaynaklarından elde edilen birçok gerilim seviyesinden sinüs dalgası sentezine dayanmaktadır [10]. Bu çevirgeçlerin pek çoğu üç adet klasik çok seviyeli çevirgeç topolojisinin varyasyonlarına ve hibrid kullanımlarına dayanmaktadır ki bunlar: 1) diyot-kenetlemeli (DKÇ) (diode-clamped), 2) serbest-kondansatör (flying-capacitors) ve 3) çok seviyeli modüler çevirgeçlerdir. Bu topolojiler karşılaştırıldığında çok seviyeli modüler çevirgeçler, diğer çok seviyeli çevirgeç topolojileriyle aynı sayıda gerilim seviyesine ulaşmak için en az sayıda malzemeye ihtiyaç duyması ve modüler yapısı ile ön plana çıkmaktadır.

### 2.3. Dünyadaki YGDA Uygulamaları

Dünyada KK-GKÇ çalışmaları artmakla beraber HK-AKÇ tabanlı YGDA sistemleri de ciddi oranda yapılmaya devam etmektedir. Bunun nedenleri arasında HK-AKÇ'nin yıllar içinde kendini kanıtlamış bir sistem olması ile beraber kullanılan güç elektroniği yarı-iletken anahtarlarının akım taşıma kapasitelerinin yüksek olmasının sağladığı yüksek güç kapasitesi, düşük çevirgeç kayıpları ve bu anahtarların maliyetlerinin daha az olması yanında HK-AKÇ'nin yüksek güvenilirliğe sahip olması sayılabilir [11].

KK-GKÇ pahalı ve yüksek güçlere çıkılması açısından henüz kendini ispat edememiş bir sistemdir. Çevirgeç kayıpları HK-AKÇ'ye göre yüksek ve HK-AKÇ'ye oranla daha fazla bileşen kullanıldığından güvenilirliği düşüktür [11]. Fakat bunların yanında HK-AKÇ'ye göre bazı avantajlara da sahiptir. GKÇ teknolojisi, darbe genişliği modülasyonu (DGM) ile birlikte kullanıldığında aktif ve reaktif gücün bağımsız olarak kontrolüne izin vermektedir. Aktif ve reaktif güç kontrolü bütün çalışma aralığında çift yönlü ve süreklidir. Reaktif güç kontrol yeteneği, YGDA sistemini oluşturan her bir gerilim kaynaklı çevirgecin bağlandıkları terminallerde AA gerilimi dengelemesini sağlayarak Statik Senkron Kompanzator (STATCOM) olarak davranmasına olanak tanımaktadır. KK-

GKÇ, bağlantı için HK-AKÇ gibi güçlü şebekelere ihtiyaç duymaz ve böylece zayıf şebekelere güçlendirme veya iyileştirici önlemler alınmasına gerek kalmadan bağlanabilir.

Hatta KK-GKÇ pasif yükleri besleyerek izole bölge olarak çalıştırabilir. Böyle bir durumda, şebeke ayağa kaldırılana kadar çevirgeçler gerilim ve frekansı kontrol edebilirler [12]. KK-GKÇ tabanlı YGDA sistemleri, harmonik üretimi açısından önemsiz seviyede kaldığından pasif filtre ihtiyacı olmaz ve böylece sistemlerin kapladığı alan açısından KK-GKÇ, HK-AKÇ'den %50-60 daha az yer kaplar. Bu durum, offshore rüzgar santrallerinin kurulması açısından KK-GKÇ kullanılmasını hem kablo ile karaya bağlantı hem de daha az yer kaplaması açısından zorunlu kılmaktadır.

Dünyadaki YGDA sistemlerine ait birkaç uygulamanın bilgileri Tablo 2'de verilmektedir.

### 3. Türkiye'de YGDA Alanındaki Gelişmeler

Artan elektrik enerjisi talebi ile birlikte büyük elektrik üretim havuzu oluşturulması, sıcak rezervin paylaşılması ve enerji kaynaklarının daha ekonomik kullanılması gibi önemli teknik, ekonomik ve çevresel avantajlar nedeniyle elektrik iletim sistemlerinin ülkelerarası bağlantılarının (enterkoneksiyon) sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Ülkemizde bu kapsamda yapılan çalışmalar neticesinde Türkiye Elektrik Sisteminin ENTSO-E CESA sistemine senkron paralel bağlantısı gerçekleştirilmiş ve kalıcı bağlantıya ilişkin standart ve yükümlülükler, Uzun Dönem Anlaşma ile 15 Nisan 2015 tarihinden itibaren bağlayıcı hale getirilmiştir. Türkiye Elektrik Sisteminin ENTSO-E sistemine entegrasyonu ile birlikte batı komşularımız dışındaki ülkeler ile senkron paralel çalışma ancak bu ülkelerin de belirli standartları ve işlemleri yerine getirmesi ve ENTSO-E'nin onayı çerçevesinde mümkün olacaktır. Türkiye'nin batı komşuları dışındaki Gürcistan, İran, Irak ve Suriye gibi diğer ülkelerin yakın zamanda ENTSO-E standartlarını sağlayabilecekleri olası görülmemektedir. Bu nedenle, bu ülkeler ile enterkoneksiyon ENTSO-E'nin izin verdiği YGDA sistemler, ünite yönlendirme ve izole bölge yöntemleri kullanılarak yapılabilir.

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi'nin (TEİAŞ) verilerine göre; Türkiye ile İran arasındaki elektrik transferinde izole bölge yöntemi ile İran'dan elektrik ithalatı yapılmaktadır.

Tablo 2. Dünyadaki YGDA sistemleri uygulamalarına örnekler

No	Proje Adı	Yıl	Güç (MW)	DA Gerilim (kV)	AA Gerilim (kV)	YGDA Tipi	Çevirgeç Tipi
1	Itaipu, Brezilya	1990	6300	±600	500/245	İletim	HK-AKÇ
2	EaglePass, ABD	2000	36	15.9	132/132	Sırt-sırta	KK-GKÇ / 3 seviyeli DKÇ
3	Guizhou-Guangdong 2, Çin	2008	3000	±500	525/525	İletim	HK-AKÇ
4	Trans Bay, ABD	2010	400	±200	230/138	İletim	KK-GKÇ / ÇSMÇ
5	Xiangjiaba, Şangay, Çin	2010	6400	±800	525/525	İletim	HK-AKÇ
6	Black Sea Transmission Network, Gürcistan - Türkiye	2013	2x350	96	500/400	Sırt-sırta	HK-AKÇ
7	INELFE, Fransa-İspanya	2015	2x1000	±320	400/400	İletim	KK-GKÇ / ÇSMÇ
8	DolWin1, Almanya	2015	800	±320	155/380	Off-shore	KK-GKÇ / ÇSMÇ
9	Western HVDC Link, İngiltere	2016	2200	±600	400/400	İletim	HK-AKÇ
10	Caithness Moray HVDC Link, İskoçya	2018	1200	±320	275/400	İletim	KK-GKÇ / ÇSMÇ

İran'dan ülkemize elektrik transferini ilk aşamada 500-600 MW, ikinci aşamada 1000-1200MW'a çıkaracak sırt-sırta bağlı YGDA sistemi tesisi ve böylece bağlantının asenkron bağlantıya dönüştürülmesi planlanmaktadır [13]. Bu amaçla, İran ile elektrik transferinin ilk aşaması olarak Van'da kurulmak üzere 600MW HK-AKÇ tabanlı sırt-sırta bağlı YGDA sisteminin yapım çalışmaları 2016 yılı itibariyle başlamıştır.

Benzer şekilde, izole bölge besleme yöntemi ile ülkemizden Suriye ve Irak'a elektrik transferi yapılmaktadır. Bu ülkelerin buldukları bölgedeki karışıklıklardan dolayı elektrik transferi zaman zaman aksamakla beraber, TEİAŞ ilgili ülkeler ile yapılabilecek elektrik transferini arttırmak ve bağlantıları asenkron bağlantıya dönüştürmek için planlama ve çalışmalarına devam etmektedir [13]. Asenkron bağlantıya olanak veren YGDA sistemleri ile aynı frekansta olsalar dahi birbirine senkron olmayan iletim sistemleri arasında güç alışverişi yapılarak hem komşu ülkelerle yapılan elektrik ticaret hacminin artırılması hem de ülkelerin birbirlerinin arzularından etkilenmemesi sağlanabilecektir. Bu kapsamda, ülkemizin yaptığı planlamalar ve yatırımlar dışında Gürcistan, Ahıska'da sırt-sırta bağlı YGDA sistemini devreye alarak ülkemize yaptığı izole bölge elektrik transferini asenkron paralel işletmeye dönüştürürken ve yeni sırt-sırta bağlı YGDA sistemi çalışmalarını da sürdürmektedir [13]. Bunlar dışında, ülkemizin Sekiz Ülke Enterkoneksiyonu Projesi kapsamında Mısır, Irak, Ürdün, Libya, Lübnan, Filistin ve Suriye ile enterkoneksiyona yönelik çalışmaları da devam etmektedir. Buradan görülmektedir ki; ticari ürünler gibi depolanamayan ve üretildiği anda tüketilmesi gereken elektrik enerjisinin hem su, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilerek yük merkezlerine iletilmesi hem de ülkelerin iletim sistemlerini birbirlerine bağlayarak büyük bir enerji havuzu oluşturması ve bu havuzun teknik, ekonomik ve çevresel getirilerinden yararlanmaları açısından YGDA sistemleri ön plana çıkmaktadır.

Ülkemizin YGDA sistemleri hakkında bilgi ve tecrübe sahibi olması, petrol ve doğalgazda olduğu gibi elektrik enerjisi alanında da doğu-batı ve güney-kuzey istikametlerinde bir enerji koridoru oluşturmasını sağlayacaktır. Bu amaçla, TEİAŞ'ın ihtiyaçları doğrultusunda TÜBİTAK Kamu Araştırmaları Destek Grubu (KAMAG) tarafından desteklenen ve TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü tarafından yönetilmekte olan "Çok Seviyeli Modüler Çevirgeç Tabanlı Sırt-Sırta Bağlı Yüksek Gerilim Doğru Akım (YGDA) Sistemi Geliştirilmesi" Projesi 2014 yılında başlatılmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Elektrik enerjisinin üretildiği yerlerden uzak, nüfusun yoğun olduğu bölgelere iletilmesi, ülkeler arası bağlantılar ve off-shore rüzgar santrallerinde üretilen elektriğin karaya iletilmesi gibi alanlarda YGDA sistemleri, dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sistemler uzun ve başarılı bir geçmişe sahip olan klasik tarzdaki HK-AKÇ tabanlı olabildikleri gibi son yıllarda yaygınlaşan KK-GKÇ tabanlı yeni nesil sistemler de olabilmektedirler.

Türkiye'nin ENTSO-E sistemine entegrasyonun gerçekleşmesinin ardından batısı haricindeki ülkeler ile asenkron elektrik transferi yapabilmesi ve elektrik enerjisi açısından doğu ile batı arasında enerji koridoru olabilmesi gibi

jeopolitik konuma gelmesi yalnızca YGDA sistemleri ile mümkün olabilmektedir. Bu amaçla, ülkemizde YGDA alanında yeni yatırımlar gerçekleştirilmekle beraber ülkemizin YGDA sistemleri hakkında bilgi ve tecrübe sahibi olması için yeni nesil YGDA sistemleri üzerine "Çok Seviyeli Modüler Çevirgeç Tabanlı Sırt-Sırta Bağlı Yüksek Gerilim Doğru Akım (YGDA) Sistemi Geliştirilmesi" Projesi başlatılmıştır.

#### Teşekkür

Bu çalışma; TEİAŞ'ın ihtiyaçları doğrultusunda TÜBİTAK KAMAG tarafından desteklenen (Proje No: 113G008) ve TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü Ankara Birimi (Proje No: 5142805) tarafından yönetilmekte olan "Çok Seviyeli Modüler Çevirgeç Tabanlı Sırt-Sırta Bağlı Yüksek Gerilim Doğru Akım (YGDA) Sistemi Geliştirilmesi" Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden ötürü bu kurumlara teşekkür ederiz.

#### 5. Kaynaklar

- [1] Hualei Wang; Redfern, M.A., "Enhancing AC networks with HVDC interconnections", *China International Conference on Electricity Distribution*, 2010, syf. 1-7.
- [2] Kirby, N.M., "HVDC system solutions," *Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 2012 *IEEE PES*, 2012, syf. 1-3.
- [3] Fact Sheet, High-voltage direct current transmission (HVDC), Status 08.2013, [www.siemens.com](http://www.siemens.com)
- [4] Kim J.K.; Sood V.K.; Jang G.S.; Lim S.J.; Lee S.J. "Development of HVDC Technology". *HVDC Transmission*, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, 2009
- [5] Bahrman, M.P.; Johnson, B.K., "The ABCs of HVDC transmission technologies," *Power and Energy Magazine*, *IEEE*, 2007, syf. 32-44.
- [6] "IEEE Guide for Planning DC Links Terminating at AC Locations Having Low Short-Circuit Capacities," *IEEE Std 1204-1997*, 1997
- [7] Reed, G.; Pape, R.; Takeda, M., "Advantages of voltage sourced converter (VSC) based design concepts for FACTS and HVDC-link applications," *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2003, syf.1821.
- [8] Flourentzou, N.; Agelidis, V.G.; Demetriades, G.D., "VSC-Based HVDC Power Transmission Systems: An Overview," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, 2009, syf.592-602.
- [9] Teeuwssen, S.P., "Modeling the Trans Bay Cable Project as Voltage-Sourced Converter with Modular Multilevel Converter design," *Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE*, 2011, syf.1-8.
- [10] Jih-Sheng Lai; Fang Zheng Peng, "Multilevel converters-a new breed of power converters," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 1996, syf.509-517.
- [11] Dr. R. Mukhedkar, "Introduction to HVDC – LCC&VSC Comparison", [www.sari-energy.org](http://www.sari-energy.org)
- [12] M.I Bahrman, A. Edris, R. Haley, "Asynchronous Back-to-Back HVDC Link with Voltage Source Converters," *Minnesota Power Systems Conference*, 1999.
- [13] TEİAŞ Faaliyet Raporu, 2013