

Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin Modellenmesi ve Arıza Sonrası Sisteme Katkı Yeteneklerinin İncelenmesi

Modeling and Investigation of Fault Ride Through Capability of Variable Speed Wind Turbines

Erkan Koç¹, A. Nezh Güven²

¹TÜBİTAK-UZAY Enstitüsü
erkan.koc@uzay.tubitak.gov.tr

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
guven@metu.edu.tr

Özet

Son yıllarda rüzgar enerjisi sistemlerindeki teknolojik gelişmeler ve sağlanan devlet destekleri, rüzgar enerjisinin elektrik üretim profilindeki payını artırmaktadır. Bu artan pay sebebiyle iletim/dağıtım sistem operatörleri, şebeke yönetmeliklerini tekrar gözden geçirmek zorunda kalmışlardır. Ayrıca, sistemin kararlı işletimini sağlamak için, oluşan arızalarda rüzgar türbinlerinin şebekeye bağlı kalması bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu çalışma, rüzgar türbinlerinin elektrik şebekesine entegrasyonu çalışmalarına katkı sağlamak için değişken hızlı rüzgar türbinlerinin modellenmesini ve sistemde rüzgar santrallerine yakın bir yerde oluşabilecek bir arıza süresince ve arızanın temizlemesi sonrasında türbinlerin sisteme bağlı kalabilme (SBK) yeteneklerinin irdelenmesini kapsamaktadır.

Abstract

Recent technological improvements on wind energy systems and the incentives provided by the governments have increased the penetration level of wind power into the grid. This phenomenon force the transmission and distribution system operators to revise their grid codes. Moreover, these developments force the wind turbines stay connected to the grid during the disturbances in order to enhance system stability. This work is devoted to the modeling of variable speed wind turbines and the investigation of fault-ride through (FRT) capability of wind turbines for grid integration studies.

1. Giriş

Fosil kaynaklı yakıtların fiyatlarının arttığı, ulaşılabilirliklerinin azaldığı ve daha önemlisi iklim değişiklikleri geri dönülmez bir noktaya ulaştığı için, yenilenebilir enerji sistemleri gittikçe daha fazla önem kazanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları (biokütle,

güneş, jeotermal, rüzgar, küçük hidrolar) arasında öne çıkan seçeneklerden birisi de rüzgar enerjisidir. Son yıllarda rüzgar enerji sistemlerindeki teknolojik gelişmeler ve verilen devlet destekleri, rüzgar enerjisinin güç sistemi içindeki payını hızla arttırmaktadır. Rüzgar gücündeki bu hızlı büyüme, rüzgar enerjisinin güç sistemine dahil edilmesi ile ilgili olarak birçok çalışmayı ve araştırma konusunu da beraberinde getirmiştir.

Rüzgar enerjisi yatırımlarındaki ilerleme, güç sistemi işletme kriterlerinin gözden geçirilmesini ve değiştirilmesini zorunlu kılmaya başlamıştır. Bu yüzden rüzgar gücünün getirileri ve gelecekteki kapasite artışı, ancak rüzgar çiftliklerinin, sistemin kararlılığı ve güvenilirliği için güç sistemi operatörlerince (GSO) tanımlanan düzenlemelere, şebeke yönetmeliklerine göre işletilmesiyle ulaşılabilir. Rüzgar gücünden elektrik üretimindeki bu hızlı büyümeden önce, rüzgar türbinleri orta ve alçak gerilim dağıtım sistemlerinde dağıtık enerji kaynağı olarak görülüyorlardı. Bu eski türbin teknolojileri, güç sistemindeki gerilim ve frekans değişikliklerine tepki verecek yeterliliğe sahip değildi [1]. Geçmişte, bir arıza durumundaki genel uygulama, rüzgar türbinlerinin şebeke bağlantısının kesilmesi ve arıza durumu ortadan kalkınca tekrar şebekeye bağlanmasıydı. Ancak, son yıllarda güç sistemi içinde rüzgar gücü payının yükselmesi, arıza anında sistem kararlılığının bozulmaması için, arıza süresince ve arıza sonrasında rüzgar türbinlerinin şebekeden kopmamasını zorunlu hale getirmiştir.

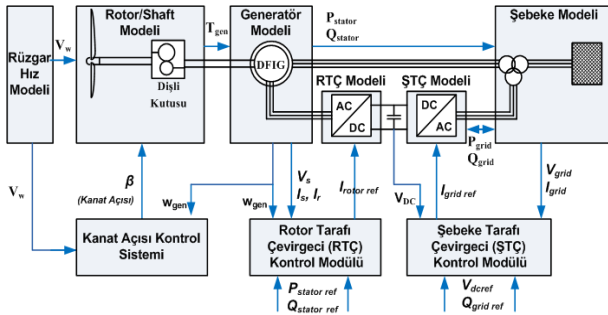
Bu çalışmada önce, değişken hızlı rüzgar türbinlerinin nasıl modelleneceği anlatılmıştır. Daha sonra, rüzgar türbinlerinin şebekeye bağlanabilmesi için gerekli şebeke yönetmeliği gereksinimleri irdelenmiştir. Son olarak, Bandırma çevresinde bulunan iletim sisteminin 4 baralı eşdeğer modeli oluşturularak, bu modelin üzerinde oluşturulan 3-faz kısa devre arızalarında, değişken hızlı rüzgar türbinlerinin arıza ve arıza sonrasındaki tepkileri incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin Modellemesi

Rüzgar türbinleri hızlarına göre, sabit hızlı ve değişken hızlı rüzgar türbinleri olmak üzere iki ana sınıfa ayrılır [1]. Sabit hızlı rüzgar türbinleri basit, düşük maliyetli, sağlam, güvenilir olmalarından dolayı 90'lı yıllarda yaygın bir şekilde kullanılmaktaydı. Ancak, doğrudan şebekeye bağlı olmalarından dolayı şebekede ciddi güç kalitesi problemlerine yol açmaları ve değişken hızlı türbinlerdeki enerji verimliliğine sahip olmamaları nedeniyle, bu tip türbinler günümüzde tercih edilmemektedir. Son yıllarda, değişken hızlı rüzgar türbinleri, rüzgar türbin yatırımları içinde ön plana çıkmıştır. Bu türbinler, geniş bir rüzgar hızı aralığında azami aoredinamik verim elde edilmesi için tasarlanmıştır. Bu tip türbinlerde genellikle bir asenkron veya senkron generator kullanılarak, türbin bir güç çevirgeci üzerinden şebekeye bağlanır. Güç çevirgeci generatör hızını kontrol ederek, rüzgar hızındaki değişikliklerden ötürü meydana gelen güç dalgalanmalarının şebekeyi etkilemesini minimum seviyeye indirir. Bu çalışmadaki kapsam, mevcut uygulamalarda yaygın bir biçimde kullanılan türbin teknolojisi olduğu için, Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG) tipli rüzgar türbinleri ve Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör (MSG) tipi değişken hızlı rüzgar türbinleri ile sınırlandırılmıştır.

2.1. ÇBAG Tipli Rüzgar Türbinini Modellemesi

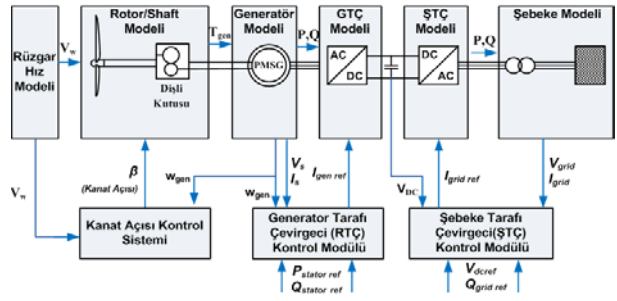
Bu tip rüzgar türbinlerinde rotoru sargılı asenkron generatör kullanılır. Bu generatör yapısında, stator direk olarak şebekeye bağlıyken, rotor bilezikler üzerinden 2 adet sırt-sırta-bağlı çevirgeç ile şebekeye bağlı olduğu için çift beslemeli asenkron generatör diye isimlendirilir. Bu çevirgeçlerden şebeke tarafında olan, çevirgeçler arası Doğru Akım (DA) link gerilimini kontrol ederken, rotor tarafında bulunan çevirgeç stator tarafının aktif ve reaktif güç çıkışını kontrol eder. Bu tip rüzgar türbinlerinin güç çıkışları ve rotor hızı, kanat açısı kontrol sistemi ve çevirgeçler tarafından kontrol edilebilir. Bu tip rüzgar türbinleri değişken hızda çalışabildiği ve rotoru şebekeden ayırdığı için verimleri artmış ve şebeke etkileri azalmıştır. Bunun yanında çevirgeçler, generatörün anma değerinin %30'u kadar olduğu için maliyet olarak daha uygundur. Şekil 1'de görüldüğü gibi, bu tipteki türbinler rüzgar hız modeli, rotor modeli, generatör modeli, rotor tarafındaki çevirgeç modeli, şebeke tarafındaki çevirgeç modeli, kanat açısı kontrolcüsü ve çevirgeç kontrolcüsü modellerinden oluşur [2][3][4].



Şekil 1: ÇBAG Tipli Rüzgar Türbinlerinin Blok Şeması

2.2. MSG Tipli Rüzgar Türbinini Modellemesi

Bu tip rüzgar türbinleri en yeni teknolojiye sahiptirler ve sabit mıknatıslı senkron generatör kullanırlar. Bu generatör, Şekil 2'de görüldüğü gibi, 2 adet sırt-sırta-bağlı çevirgeç ile şebekeden izole edilmiştir. Türbinin tüm çıkış gücü bu çevirgeçler üzerinden şebekeye aktarılır. Bu çevirgeçlerden şebeke tarafında olan, çevirgeçler arası DA-link gerilimini kontrol ederken, generatör tarafında bulunan çevirgeç generatörün aktif ve reaktif güç çıkışını kontrol eder. Bu tip rüzgar türbinleri şebekeden izole olduğu için şebekeye etkileri çok azdır. Ayrıca MSG kullanılmasından dolayı türbin ve rotor arasında bulunan dişli kutusu kullanılmayabilir. Dişli kutusunun kullanılmaması, türbinin mekanik dayanımı ile verimini arttıran ve türbin maliyetini düşüren bir avantaj olarak ön plana çıkmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi, bu tipteki türbinlerde ÇBAG tipindeki rüzgar türbinlerine benzer olarak rüzgar hız modeli, rotor modeli, generatör modeli, generatör tarafındaki çevirgeç modeli, şebeke tarafındaki çevirgeç modeli, kanat açısı kontrolcüsü ve çevirgeç kontrolcüsü modellerinden oluşur [5][6].



Şekil 2: MSG Tipli Rüzgar Türbinlerinin Blok Şeması

3. Rüzgar Santrallerine Yönelik Şebeke Yönetmelikleri

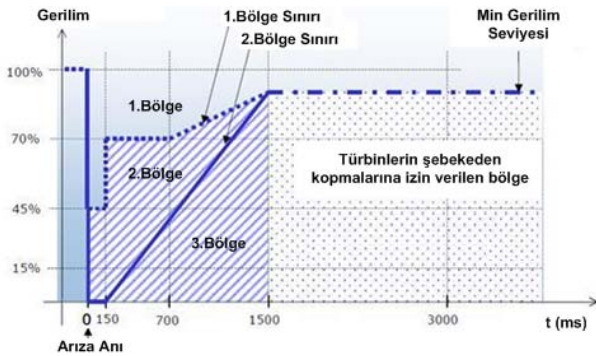
Şebeke yönetmelikleri; elektrik üreticileri, yan hizmet sağlayıcıları, tüketiciler gibi iletim sistemine bağlanan tüm birimlerinin bağlantı ve işletme gereksinimlerini belirler. Daha önceki şebeke yönetmelikleri konvansiyonel senkron makineler düşünülerek hazırlanmıştır. Fakat rüzgar türbin teknolojisi, bu türbinlerden farklı özelliklere sahiptir ve iletim sistemiyle etkileşimleri farklıdır. Dolayısıyla rüzgar gücünün elektrik sistemindeki payı arttıkça, sistem kararlılığını korumak ve kalitesini arttırmak için, iletim sistemi operatörlerinin şebeke yönetmeliklerini revize etmeleri gerekmektedir. Genel olarak rüzgar türbin bağlantıları için geçerli bütün şebeke yönetmelikleri aktif ve reaktif güç kontrolü, gerilim regülasyonu, frekans ve gerilim işletme aralıkları, arıza süresince ve sonrasında nasıl davranacakları gibi koşulları içerir [7][8]. Bu çalışmanın kapsamı rüzgar türbinlerinin SBK yeteneklerinin karşılaştırılması olduğu için, arıza süresince ve sonrasında türbinlerin nasıl davranacakları ile ilgili şebeke yönetmeliklerinde istenilen gereksinimlere kısaca değinilmiştir.

3.1. Rüzgar Türbinlerinden Arıza Süresince ve Sonrasında Beklenen Tepkiler

Şebeke arızalarında meydana gelen gerilim düşümleri, rüzgar çifliklerinin de şebekeden kopmasına neden olabilir. Bu

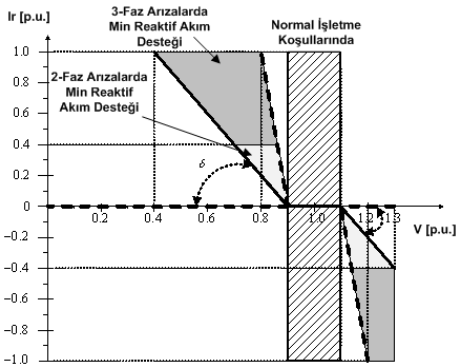
durum, sistemde kararsızlığa hatta tüm sistemin oturmasına bile sebep olabilir. Bu sorunların oluşmaması için şebeke yönetmelikleri, çok ciddi sistem arızalarında bile rüzgar santrallerinin sistemden bir müddet kopmamasını ve gerilimin hızla toparlanması için sisteme reaktif güç desteği vermesini bekler. Ayrıca arıza temizlendikten hemen sonra, aktif gücünü belli bir artış hızıyla arttırması beklenir. Şekil 3, rüzgar santrallerinin Ortak Bağlantı Noktasında (OBN) arıza süresince ve arıza sonrasında vermeleri gereken tepkileri belirlemektedir. Şekil 3'te tanımlanan bölgeler şu şekilde açıklanabilir:

- Arıza anında ve arıza sonrasında, herhangi bir fazda veya tüm fazlarda oluşan gerilim düşümü 1. bölgede kaldığı süre boyunca, rüzgar santrallerinin şebekeye bağlı kalabilmesi gerekmektedir.
- 2. bölgede rüzgar santrallerinin iki farklı şekilde tepki vermesine izin verilir. Birinci durumda, rüzgar santrali arıza ve arıza sonrasında 1. bölgede olduğu gibi şebekeye bağlı kalır. İkinci durumda ise, eğer arıza anında rüzgar türbini kararsız hale gelirse, GSO ile yapılan anlaşmayla santralin kısa süreli şebekeden ayrılmasına izin verilebilir.
- 3. bölgede, rüzgar santralının her durumda sistemden kısa süreli ayrılmasına izin verilir. Eğer koruma sistemleri devreye girerse santral şebekeden tamamen ayrılabilir.



Şekil 3: Rüzgar Türbinlerinin Arıza ve Arıza Sonrasında Sağlaması Gereken Tepki

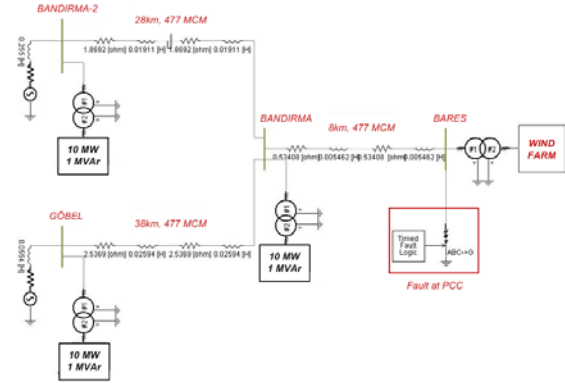
OBN'nda gerçekleşen arıza süresince ve arıza sonrasında, OBN'nın geriliminde meydana gelen düşümlerde yada yükselmelerde, rüzgar türbinlerinin vermeleri gereken reaktif akım desteği Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4: Gerilim Dalganmalarında Rüzgar Türbinlerinin Vermesi Gereken Reaktif Akım Tepkisi

4. Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin SBK Yeteneklerinin Karşılaştırılması

2. bölümde özetlenen modelleme yöntemleri kullanılarak, 15 adet 2 MW gücünde türbinlerin bulunduğu bir rüzgar santrali modellerinde kolaylık sağlaması açısından 30 MW gücünde tek bir türbin olarak PSCAD/EMTDC güç sistemleri analiz programında hem ÇBAG hemde SMSG tipi rüzgar türbinleri için modellenmiştir. Bu modeller Şekil 5'te gösterilen Bandırma çevresinde bulunan 154 kV iletim sisteminin 4 baralı eşdeğer sistem modeline entegre edilerek OBN'nda dengeli 3 faz arızalar oluşturularak SBK yetenekleri karşılaştırılmıştır.



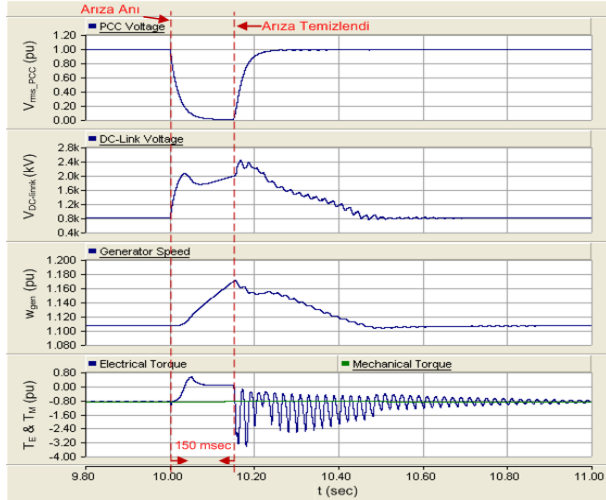
Şekil 5: Benzetimlerin Yapıldığı Yüksek Gerilim Şebeke Modeli

4.1. ÇBAG Tipi Rüzgar Türbinlerinin SBK Yetenekleri

Şekil 5'te gösterilen şebeke modelinde, Bares barasında oluşturulan 3-faz arızalar sonrasında, eğer ÇBAG tipli rüzgar türbini SBK yeteneğine sahip değilse, Şekil 6'da görüldüğü gibi DA-link gerilimi ve generatör hızı kontrolsüz bir şekilde istenilmeyen noktalara kadar çıkabilir. Arıza yüzünden düşen generatörün terminal gerilimi, stator ve rotor akı değerlerinin de düşmesine sebep olur. Bu ise Şekil 6'da görüldüğü gibi generatörün elektromanyetik torkunun ve aktif gücünün düşmesine neden olur. Generatörde değişen bu akı ve gerilim değerleri stator ve rotor sargılarından yüksek anlık akımların geçmesine neden olur. Oluşan bu yüksek akımları önlemek için rotor çevirgeç kontrol mekanizması rotor gerilimini ve dolayısıyla rotordan DA-linke olan güç akışını arttırır. Diğer taraftan şebeke tarafındaki çevirgeç düşük stator gerilimi yüzünden bu gücü şebekeye aktaramaz ve DA-link kapasitörü dolmaya başlar. Bu, DA-link geriliminin, sınır değer olan anma geriliminin %25 fazlasını Şekil 6'daki gibi geçmesine sebep olur. Sonuç olarak rotor akımı ve DA-link gerilimi, çevirgeçteki güç elektroniği devrelerine ya da DA-link kapasitörüne zarar verebilecek çok yüksek anlık değerlere ulaşabilirler.

Bu problemleri gidermek için, crowbar, kanat açısı kontrol sistemi ve şebeke tarafı çevirgecini içine alan üçlü bir kontrol mekanizması uygulanmıştır [9]. Crowbar metodu ile rotor akımının yüksek olduğu veya DA-link geriliminin sınır değeri aştığı durumlarda, generatörün rotoru güç elektroniği anahtarları ile harici dirençler üzerinden kısa devre edilir. Bu yöntem, çevirgeç sistemini koruyup türbinin şebekeye bağlı

kalmasını desteklemesine rağmen, rotor tarafındaki çevirgeç devreden çıktığı için generatörün kontrol edilebilirliği geçici olarak kaybolur. *Crowbar* sisteminde kullanılan dirençler Şekil 7'de görüldüğü gibi arıza durumunda ÇBAG'nin reaktif güç ihtiyacını azaltarak SBK yeteneğini artırır. Fakat, küçük direnç değerleri arıza anında yüksek akımlara ve geçici tork salınımlarına neden olurken, büyük direnç değerleri, direnç devreden çıkarken aşırı rotor akımlarına ve kısa süreli aktif güç ve tork salınımlarına sebep olur. Bu nedenlerle, dirençler seçilirken değerleri çok dikkatli hesaplanmalıdır.

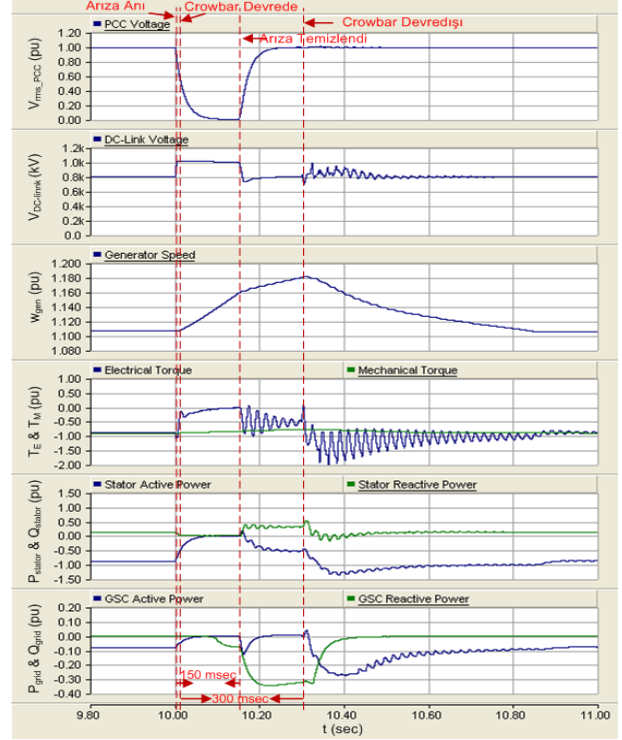


Şekil 6: OBN'da Yapılan Bir Arızaya Gerekli SBK Yeteneği Olmadan ÇBAG Tipi Rüzgar Türbinlerinin Tepkisi

Generatörün kontrol edilebilirliğinin yeniden kazanılması için *crowbar* korumasının mümkün olduğunca çabuk devreden çıkarılması gerektiğinden, *crowbar* devrede kalma süresi de bu tasarımın bir başka önemli etkenidir. Eğer *crowbar* bağlantısı arıza giderildikten hemen sonra devreden çıkarılırsa, yüksek anlık akımlar yüzünden *crowbar* koruması tekrar tetiklenebilir. Ayrıca rotor tarafındaki kontrol mekanizmasının çevirgeçteki güç elektroniği anahtarlarının yeniden devreye alması için biraz zaman gereklidir. Anlık akımların ve gerilimlerin *crowbar* bağlantısını tekrar tetiklemesini önlemek için, Şekil 7'de görüldüğü gibi *crowbar* koruması arıza giderildikten 150 milisaniye sonra devreden çıkarılır. *Crowbar* korumasına ek olarak şebeke tarafındaki çevirgeç gerilim toparlamasına katkıda bulunmak için şebekeye reaktif güç desteği verir. Fakat şebeke gerilim değeri arıza süresince önemli ölçüde düştüğünden, şebeke tarafındaki çevirgeç yeterince reaktif güç desteği veremez.

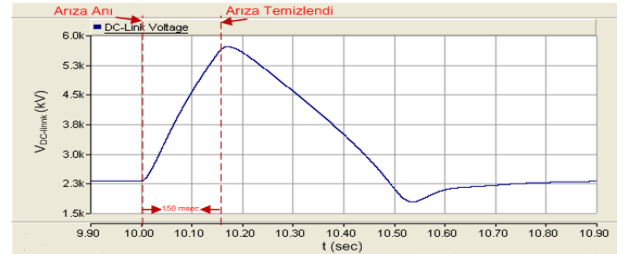
4.2. MSG Tipi Rüzgar Türbinlerinin SBK Yetenekleri

Eğer Şekil 5'te verilen örnek şebekede, 150 milisaniye süren dengeli 3-faz-toprak arızası oluşturulursa ve MSG tipindeki rüzgar türbinlerinde SBK yeteneklerini sağlayacak gerekli ekipman ve kontrol methodu yoksa, çevirgeçler ve kapasitörler için en önemli parametrelerden biri olan DA-link gerilimi Şekil 8'deki gibi değişim gösterir. Oluşturulan bu arıza, OBN geriliminin sıfıra kadar düşmesine neden olduğu için, şebeke tarafındaki çevirgeç şebekeye güç aktaramaz. Diğer taraftan rüzgar türbini güç üretmeye devam ettiğinden, çevirgeç sisteminde güç dengesizliğine yol açar.



Şekil 7: DFIG Tipi Rüzgar Türbinlerinin OBN Noktasında Yapılan Bir Arızaya Tepkisi

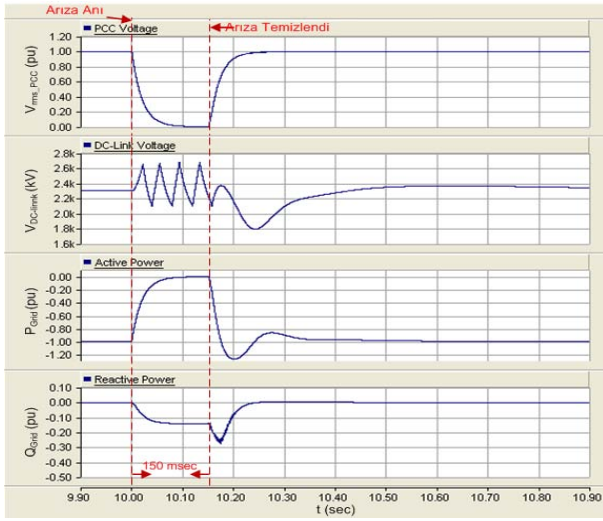
Generatör tarafındaki çevirgeç DA-link'e güç sağlamaya devam ederken, şebeke çevirgeci güç aktaramadığı için, aktarılamayan fazla güç DA-link kapasitörünün fazla yüklenmesine neden olur. Şekil 8'de görüldüğü gibi bu fazla yüklenme, DA-link geriliminin, çevirgeçlerin ve kapasitörün tolere edemeyeceği değerlere kadar çıkmasına sebep olur.



Şekil 8: Gerekli SBK Yeteneği Olmadan DFIG Tipi Türbinlerin DA-link Geriliminin Değişimi

Normal şartlarda, çevirgeçlere ve kapasitöre zarar vermemek için, DA-link geriliminin çevirgeç ve kapasitörün anma değerlerinin ± 25 bandında tutulması gerekir. Bu sebeple, DA-link kapasitörünün aşırı yüklenmesini önlemek için frenleme direnci kullanılabilir [10]. Bu sistem yarı iletken bir anahtar üzerinden DA-link kapasitörüne paralel bağlı bir dirençten oluşur. Bu yarı iletken direnç, DA-link gerilimi üst kritik değeri aştığında devreye alınır ve DA-link'teki fazla güç, DA-link'in gerilim seviyesi alt kritik değerlere inene kadar direnç üzerinde harcanır. Bu noktada anahtar açılır ve DA-link gerilimi yeniden artmaya başlar. Gerilim yeniden üst kritik değere ulaştığında anahtar tekrar kapanır ve bu durum Şekil 9'da görüldüğü gibi DA-link gerilimi durgun rejime

ulaşana kadar devam eder. DA-link gerilimine ek olarak, şebeke arızası durumunda şebeke tarafındaki çevirgeç Şekil 7'de görüldüğü gibi şebeke gerilimini desteklemek için gerekli reaktif gücü şebekeye sağlayabilir.



Şekil 9: MSG Tipi Rüzgar Türbinlerinin OBN Noktasında Oluşan Bir Arızaya Tepkisi

4.3. ÇBAG ve MSG Tipi Türbinlerin Karşılaştırılması

ÇBAG tipi rüzgar türbinlerinde kullanılan çevirgeçler, genel olarak generatörün anma gücünün yaklaşık %30'u kadar güçtedir. MSG tipi türbinlere göre daha düşük güçlü çevirgeç, daha az güç kayıpları ve daha az masraflı rüzgar türbini demektir. Bu avantajlarına rağmen, çevirgeç gücü düşük olmasından dolayı ÇBAG tipi rüzgar türbinlerinin üretebileceği reaktif güç, MSG tipi türbinlere göre daha azdır. Ayrıca, ÇBAG tipi rüzgar türbinlerin şebekeye doğrudan bağlı olmasından dolayı, şebeke etkilerinin generatör, çevirgeç ve türbin sistemi üzerinde görülmesidir. Bu sebepten dolayı, generatör hız ve tork değerlerinde oluşan salınımlar şebeke gerilimine de yansır.

MSG tipi türbinlerde çevirgeçler, generatör ve türbini şebekeden ayırdıkları için şebeke arızalarından daha az etkilenirler. Bu türbinler, türbin anma gücünde reaktif güç üretebildikleri ve aktif güçlerini belli bir artış hızıyla arttırabildikleri için şebeke yönetmeliğindeki gereklilikleri daha rahat sağlayabilirler. Bunun yanında, DC baradaki frenleme direncinin fazla enerjiyi harcayabilmesi sayesinde, OBN gerilim seviyesi çok düşük seviyelere inse bile yeterli SBK performansı gösterebilir. Bunlara ek olarak, MSG tipi türbinlerde dişli kutusu kullanılmayabilir, bu durum kurulum ve bakım maliyetlerini düşüren başka bir avantajdır.

5. Sonuçlar

Yazılı kaynaklardaki genel değerlerden alınan parametreler kullanılarak oluşturulan PSCAD modellerinde, OBN için üç faz kısa devre hatası benzetim çalışmaları yapılmıştır. Bu benzetim çalışmalarından şu sonuçlar çıkarılmıştır:

- ÇBAG tipi rüzgar türbinlerinin çevirgeç gücü düşük olduğundan, şebeke arızası boyunca reaktif güç üretimleri MSG tipi türbinlere göre daha azdır.

- ÇBAG tipi rüzgar türbinlerinde stator şebekeye doğrudan bağlı olduğu için türbin ve generatör şebeke arızalarından kolayca etkilenir; tork, güç, generatör hızı ve gerilimi MSG tipi rüzgar türbinine göre daha fazla salınır.
- ÇBAG tipi rüzgar türbinlerinde çevirgeç koruması için kullanılan *crowbar* koruması devreye girdiğinde generatör reaktif güç üretmez, tam tersine miktatsızlanma devresi için şebekeden reaktif güç çeker. Bu durum gerilim kararlılığını olumsuz yönde etkiler.
- MSG tipi rüzgar türbinlerinde, çevirgeçler generatör ve türbini şebekeden izole ettiği için hem generatör hem de türbin, ÇBAG sistemlerine kıyasla, şebeke arızalarından daha az etkilenir.
- MSG tipi rüzgar türbinleri daha esnek kontrol sistemlerine sahip olduğu için, arıza sonrasında durağan durumuna daha çabuk ulaşır.

Bu sonuçlardan da anlaşılacağı gibi, MSG tipi rüzgar türbinleri, arıza esnasında ve sonrasında sistemin toparlanmasına ÇBAG tipi rüzgar türbinlerine göre daha çok yardımcı olur.

6. Kaynaklar

- [1] T. Ackermann, Ed., "Wind Power in Power Systems", Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2005.
- [2] T. Sun, "Power Quality of Grid-Connected Wind Turbines with DFIG and Their Interaction with the Grid", Ph.D. Tezi, Aalborg University, Danimarka, 2004.
- [3] M.G. Simoes ve F.A. Farret, "Alternative Energy Systems; Design and Analysis with Induction Generator", Boca Raton: CRC Press, 2008.
- [4] S.Heier, "Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems", England: John Wiley & Sons, 1998.
- [5] A. D. Hansen ve G. Michalke, "Modelling and Control of Variable speed Multi-pole Permanent Magnet Synchronous Generator Wind Turbine", Wind Energy Wiley Interscience, pp. 537-554, Mayıs 2008.
- [6] S. Achilles ve M. Poller, "Direct Drive Synchronous Machine Models for Stability Assessment of Wind Farms", 4th International Workshop on Large Scale Integration of Wind Power and Transmission Networks for Offshore Wind-Farms, Billund, Danimarka, 2003.
- [7] M. Tsili ve S. Papathanassiou, "A review of grid code technical requirements for wind farms", IET Renewable Power Generation, Vol. 3, Iss. 3, pp. 308-332, 2009.
- [8] EWEA, "Generic Grid Code Format for Wind Power Plants", The European Wind Energy Association EWEA, Brüksel, Belçika, Kasım 2009.
- [9] M. De Alegria, J.L Villate, J. Andreu, I. Gabiola ve P. Ibanez, "Grid Connection of Doubly Fed Induction Generator Wind Turbines: A Survey", European Wind Energy Conference, Londra, UK, 2004.
- [10] J.F Conroy ve R.Watson, "Low-voltage ride-through of a full converter wind turbine with permanent magnet generator", IET Renewable Power Generation, Vol. 1, No. 3, pp. 182-189, Eylül 2007.
- [11] E. Koç ve A. Nezih Güven, "Değişken Hızlı Rüzgar Türbinlerinin Modellenmesi ve Arıza Sonrası Sisteme Katkı Yeteneklerinin İncelenmesi", ELECO'2010, No.1563, Aralık 2010.