

ŞEBEKE KESİNTİLERİNİN ASENKRON JENERATÖRLÜ RÜZGAR ENERJİSİ DÖNÜŞÜM SİSTEMİ ÜZERİNDE ETKİSİ

Özgür Salih Mutlu

Eyüp Akpınar

Dokuz Eylül Üniversitesi
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Kaynaklar Yerleşkesi, 35160 Buca / İZMİR
eyup.akpinar@eee.deu.edu.tr, ozgurmutlu@yahoo.com

Özet: Yapılan çalışmada; şebekede kısa süreli kesinti olması durumunda, asenkron jeneratör kullanılan Rüzgar Enerjisi Dönüşüm sisteminin üzerindeki etkinin incelenmesi için bilgisayar modeli kurulmuş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. 600 kW, 3-faz, 690 Volt, 50 Hz asenkron jeneratörün kullanıldığı sistemde statora bağlı bulunan üç faz güç kaynağı 100 mili saniye kesintiye uğratılmış ve tekrar normal çalışma koşullarına getirilmiştir. Bu enerji kesintisinin sistem üzerindeki etkisi MATLAB analizi ile irdelenerek, sistem üzerinde değişik noktalardan elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

1. Giriş

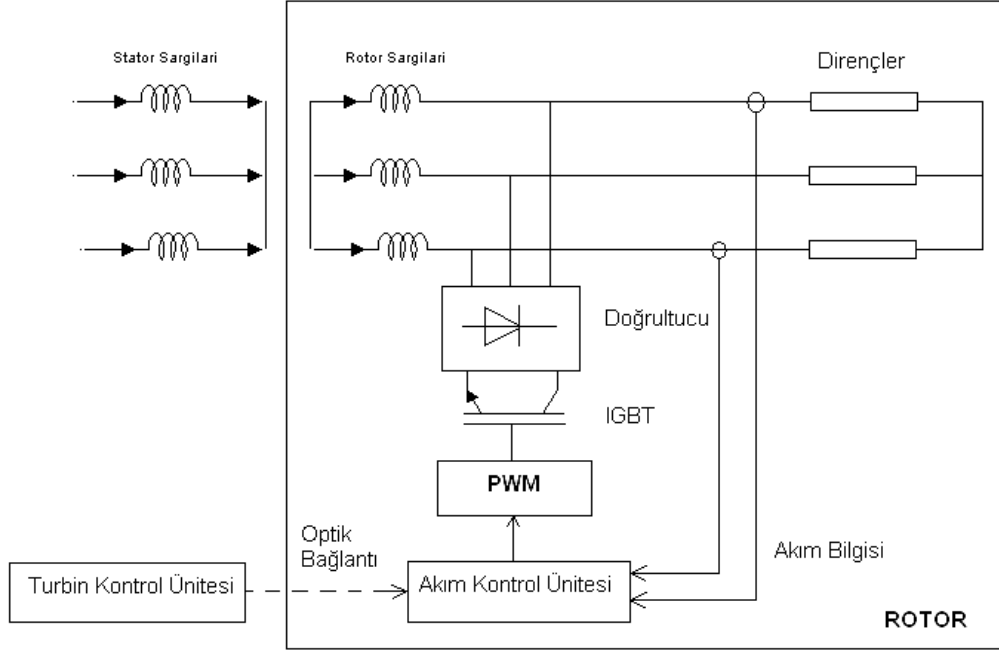
Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, doğal dengenin korunması ve sürekli (tükenmez) enerji kaynaklarının (rüzgar, güneş gibi) işlenmesi açısından günümüzde giderek önem kazanmakta ve ülkelerin ulusal enerji politikaları içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Rüzgar gücünden elektrik enerjisinin üretiminde en önemli aşama yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ile mümkün olmuştur. Yarı iletken teknoloji bu sistemi iki farklı kullanımı ile verimli duruma getirmiştir. Bunlardan birisi mikroişlemci teknolojisinin sistemi denetlemesi ve çekilebilecek maksimum gücün çekilmesi için programlama mantığının işlenmesini mümkün kılmıştır. İkincisi de güç elektroniği teknikleri aracılığı ile üretilen gerilimlerin genliği ve frekansı denetlenebilmiştir.

Ülkemizde, rüzgar enerjisi teknolojisi içerisinde bulunan jeneratör, güç elektroniği dizgeleri ve direk gibi temel elemanlar yalnız başına üretiliyor olsa da sistemin bir bütün olarak özgün tasarımıyla üretilmesi henüz büyük güçler için (15 kW üzerinde) gerçekleşmemiştir. Yarı iletken teknolojide üretim ve kullanımın yaygınlaşması sistem maliyetini önemli ölçüde düşürmüştür. Bu nedenle 4 MW gücünde tek bir türbin artık günümüzde üretilmekte ve kullanılabilmekte olup, 3 metre/saniye rüzgar hızında elektrik enerji üretimi gerçekleştirilebilmektedir.

Rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri şebekeye bağlı çalışabildiği gibi şebekenin bulunmadığı bölgelerde de yalnız başına enerji üretiminde kullanılabilir. Bu iki farklı koşulda çalışma biçimi doğal olarak farklı sistem tasarımlarını gerektirmektedir. Enerji sisteminin olmadığı yerlerde genellikle jeneratör çıkışında akü desteği ile enerji depolanmakta ve ihtiyaç miktarında enerji aküden çekilebilmektedir. Şebeke olan bölgelerde ise rüzgardan dönüştürülen enerji şebekeye aktarılabilir, ve tüm yükler ihtiyaçları kadar elektrik enerjisini şebekeden çekmektedir.

3-faz asenkron makineler rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi içerisinde şebeke bağlantılı en çok kullanılan jeneratörlerdendir. Bu makinelerde aktif güç akışı şebeke ile jeneratörün stator terminalleri arasına bağlanan güç elektroniği elemanları tarafından denetlenebildiği gibi, stator şebekeye doğrudan bağlanıp rotor sargı uçları güç elektroniği elemanlarıyla tasarlanmış dönüştürücülere de bağlanabilir. Bu durumda da kayma enerjisi kontrol edilmek suretiyle sistemdeki güç akışı denetlenebilir. Eğer güç elektroniği dizgeleri şebeke ile stator arasına bağlanırsa güç aktarma kapasiteleri türbinin anma değerinde seçilmelidir, eğer güç elektroniği dönüştürücüleri rotor uçlarına bağlanırsa kayma enerjisi miktarında güç aktarımı yapacaklarından türbinin anma değerinin %10 dolayında bir güç kapasitesinde seçilebilirler. Bu durum da, özellikle yüksek güçlerdeki uygulamalarda, sistem içerisindeki maliyetleri önemli ölçüde düşürülebilmektedir. Asenkron makineler tepkin (reaktif) güç üretmedikleri için bu gücü her koşulda şebekeden çekmektedirler.

Kayma enerjisi kategorisinde farklı dizgeler bulunmasına rağmen, bu makalede irdelenen sistemde, Şekil 1 de gösterildiği gibi, rotor terminalleri 3-faz diyot köprü doğrultucuya bağlı olup, doğrultucu çıkışları bir adet IGBT yarı iletkenine bağlanmıştır. IGBT yarı iletkeni yaklaşık 3 kHz frekansında sürülmektedir. IGBT ünitesinin iletim süresi denetlenerek rotor uçlarında gözükten etkin direnç kontrol edilmektedir. Bu kontrol, doğrudan makinenin tork-hız eğrisinin denetlenmesine yol açmaktadır. Tork-hız eğrisinin denetlenmesi de makinede dönüştürülen elektrikselsel gücün denetlenmesidir.



Şekil 1. Rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin genel görünüşü

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgar enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üreten ve Türkiye’deki ilk şebeke bağlantılı uygulamalarından olan Alaçatı Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sistemleri 1998 yılından itibaren enerji üretimini sürdürmektedir. Enerji sisteminde gerilimin genliği ve frekansı iki temel parametre olarak sabit tutulmaktadır. Ancak, enerji sistemindeki yüklerin, taşıma sisteminin yapısının ve üretim kaynaklarının etkisi dikkate alındığında zaman içerisinde gerilimin genliğinde, frekansta ve sürekliliğinde sorunlar yaşanabilmektedir. Enerji sisteminde gerilimlerin kısa süreli de olsa kesintiye uğraması özellikle yarı iletken teknolojilerle kontrol edilen rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri üzerinde önemli arızalara yol açabilmekte, hatta sistemin bir süre bakım ve onarım nedeniyle devre dışı kalmasına da neden olabilmektedirler. Bu çalışmada, şebeke kesintilerinin böyle bir sistem üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Sistemin Yapısı

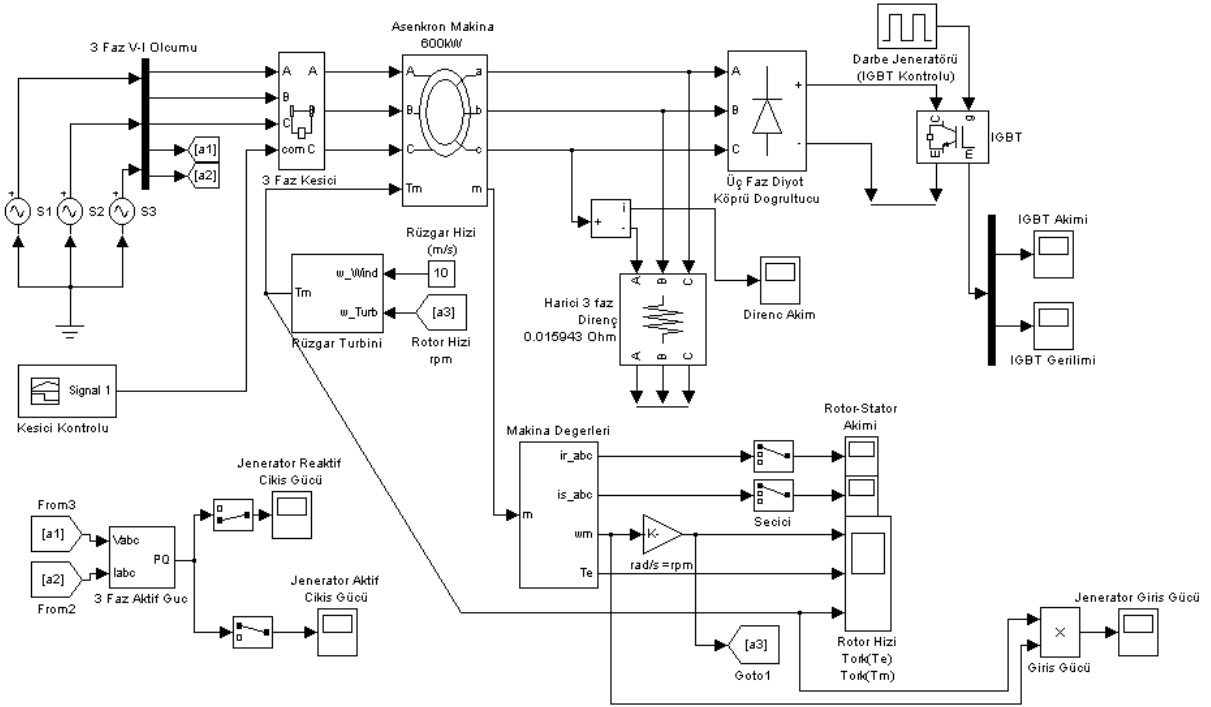
Sistem içerisinde üç faz asenkron jeneratör, 3-faz diyot köprü doğrultucu, 3-faz direnç ve bir adet IGBT ünitesi bulunmaktadır. Asenkron makinenin stator uçları şebekeye bağlı olup, rotor uçları 3-faz diyot köprü doğrultucuya ve mili de rüzgar türbinine bağlıdır. Analizi yapılan sistem değişken hız sabit frekanslı rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi olup, asenkron jeneratörün stator çıkışları bir dönüştürücüye gereksinim olmadan doğrudan şebekeye bağlanmıştır. Söz konusu sistemde güç akışının kontrolü; rotora bağlı dirençlerin değerini değiştirmek suretiyle asenkron jeneratörün tork-hız eğrisi değiştirilerek sağlanmaktadır [1]. Rotora bağlanan dirençlerde aktif güç kaybı olması sistemin en önemli olumsuz özelliğidir, ancak sistem hız denetimi içeren en ucuz ve güç faktörü yüksek bir uygulama içermektedir. Rotor uçlarına bağlanan dirençleri mekanik olarak kontrol etmektense, doğrultucu çıkışına bağlanan IGBT aracılığı ile kontrol etmek daha uygundur. Şekil 1 de gözüktüğü gibi IGBT iletimde ise rotor uçlarına dışardan bağlanan dirençler hemen hemen kısa devre olmaktadır, ve etkisi kalmamaktadır. IGBT açıldığı zaman dirençler rotor uçlarına seri girmektedir. IGBT iletimde kalma süresinin anahtarlama periyoduna oranı kontrol edilerek rotordan çekilen güç kontrol edilebilmektedir. Ancak bazı uygulamalarda rotor uçlarına bağlanan dirençlerin değerleri çok küçük değerlerde seçilebilmektedir, bu durumda IGBT iletirken doğrultucunun giriş uçlarında, yarı iletkenler üzerindeki gerilim düşümüne bağlı olarak, gözükür gerilim bu dirençlerden önemli miktarda akım akmasını sağlayabilir.

Ayrıca güç akışının denetlenmesinde türbin kanatlarının açısı da kontrol edilmektedir. Sistemin ilk başlatılmasında asenkron makine motor olarak kullanılmakta ve kanatların açısı ayarlanarak bu kalkış süresince şebekeden çekilen aktif güç en aza indirilmektedir. Şebekeden çekilen tepkin gücün en aza indirilmesi (reaktif güç kompanzasyonu) ayrıca girişe bağlanan kapasitörlerle sağlanmaktadır. Bu analizde kapasitörler sisteme dahil edilmemiştir.

3. Matlab Modeli:

4 kutuplu, 690 V, 50 Hz, 600 kW gücünde Asenkron Jeneratör kullanan bir adet rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin Matlab programı ile analiz edilmesi için hazırlanan devre Şekil 2 de verilmiştir. Bu analizde, şebeke kesintilerinin etkisini irdeleyebilmek için kaynak ile jeneratör arasına 3 faz kesici yerleştirilmiştir. Bu kesici bilirlri bir zaman diliminde denetimli açılıp tekrar kapatılabilmektedir. Asenkron makine modeli olarak Matlab içerisinde verilen 5. dereceden model kullanılmıştır.

Şebeke, üç faz yıldız noktası topraklanmış, 690 V. eşdeğer gerilim kaynakları ile modellenmiştir. 600 kW gücündeki Asenkron jeneratörün rotoruna bağlı bulunan rüzgar türbininin modellenmesi için Simulink tarafından verilen rüzgar türbini altmodeli (subsystem) kullanılmıştır. İki bilgi girişi bulunan söz konusu altmodelde; ilk giriş için m/s olarak rüzgar hızı bilgisi girilmekte, diğer bilgi girişine ise asenkron jeneratör rotor hızı bilgisi aktarılmaktadır. Altmodelde bir adet olan veri çıkış ucunun asenkron jeneratörün mekanik tork girişine bağlanmasıyla uygun tork bilgisinin jeneratöre aktarılması sağlanmaktadır. Yapılan çalışmada rüzgar hızının değerinin sabit olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2. Simülasyon devresinin genel görünümü

Sistemde kullanılan asenkron jeneratörün statora aktarılmış tek faz eşdeğer devre parametreleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} r_s &= 0,00357 \, \Omega & X_{Is} &= 0,055 \, \Omega \\ r_r' &= 0,0055 \, \Omega & X_{Ir}' &= 0,0662 \, \Omega \\ X_m &= 2,39 \, \Omega & J &= 29 \, \text{kg.m}^2 \\ r_{ext}' &= 0,0095 \, \Omega & \text{stator ve rotor sarımları arasındaki oran} &= 0.285 \end{aligned}$$

4. Sonuçlar:

Matlab ortamında hazırlanan benzetim programı toplam 3 saniye çalıştırılmıştır. Sistemin başlangıçtan itibaren $t = 1,75$ s sonuna kadar Asenkron makine şebekeden motor olarak aktif güç çekmekte ve kararlı çalışma koşulunu yüksüz olarak sağlamaktadır. Daha sonra türbin rüzgara doğru yönlendirilmekte ve rüzgar gücünün etkisiyle rotor hızı senkron hızına çekilmektedir. Bu durumda makine jeneratör olarak şebekeye aktif güç aktarmaktadır. $t=1,75$ 'den itibaren $v=10$ m/s hızla esen rüzgarın etkisi ile üretilen güç asenkron jeneratörün milinden mekanik güç olarak girmektedir, ve bu güç makine tarafından elektriksel güce çevrilmektedir. Jeneratör

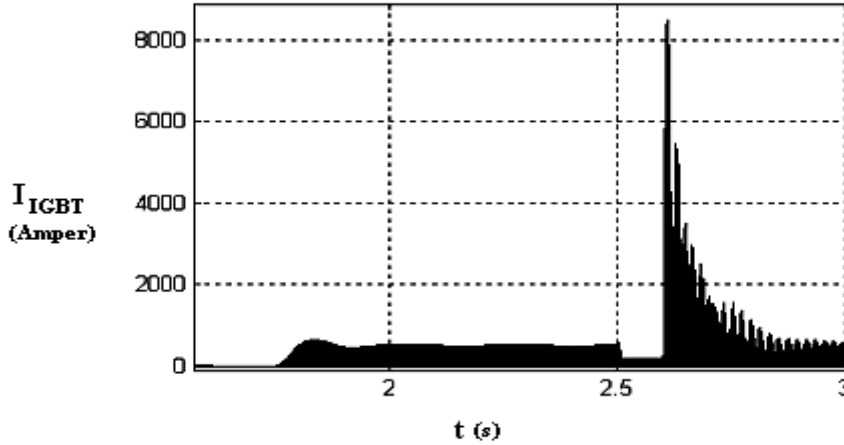
çalışma modunda IGBT'den 500 A değerinde akımın aktığı Şekil 3 den gözükmektedir. 100 mili saniye süreli şebeke kesintisi, $t = 2,5 - 2,6$ arasında kesici aracılığı ile jeneratöre uygulanmıştır. Şebeke kesintisi ve sonrasında yarı iletken kontrol elemanı IGBT üzerinden akan akım yine Şekil 3 içerisinde gözükmektedir.

Şebeke kesintisi öncesindeki jeneratör çalışma bölgesinde en yüksek değeri 600 A olan IGBT akımının kesinti sırasında 200 A, kesintinin sona ermesinden sonra ise 7000-8000A değerine çıktığı gözlenmektedir. 100 mili saniyelik bir kesinti sonrasında IGBT akımının kararlı hal akımı değerine düşmesinin yaklaşık 500 mili saniye süre aldığı gözlenmiştir. Bu geçiş süresi sistemin elektriksel ve mekanik zaman sabitlerine bağlıdır.

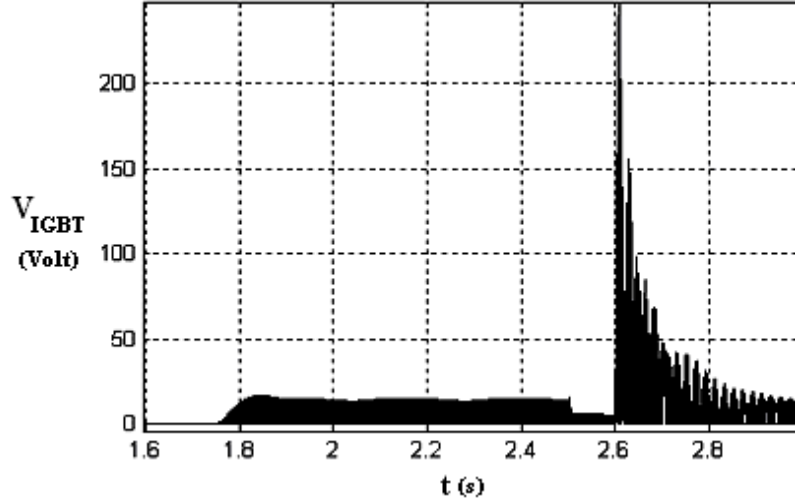
Yarı iletkenlerin üretiminde gerilim ve akım anma değerleri sürekli yükselmektedir [2]. Kullanılacak IGBT ünitesinin bu arıza akımlarını dikkate alarak seçilmesi kaçınılmazdır, ancak tek bir ünitenin bu değerlerde akımı taşıyamaması nedeniyle sistem enerji kesintilerinde tümüyle devreden çıkarılarak koruma sağlanabilir. Güç sisteminde oluşabilecek gerilim salınımlarında; rotor akım genliğinin, akım koruma limitini aşması durumunda rotora bağlı yarı iletken içerikli doğrultucu sistemini devre dışı bırakarak rotor uçlarını kısa devre eden "crowbar" koruma sistemi Çift Beslemeli Asenkron Jeneratör(DFIG) sistemi için önerilmektedir [3]. Bu durumda sistemin tümüyle devre dışı bırakılması yerine sincap kafesli asenkron jeneratör gibi çalıştırılarak enerji üretimine devam edilebilir.

Güç sistemleri simülasyonlarında Değişken Hızlı Güç Türbinleri için genel bir model oluşturulması için yapılan çalışmada; konvertör akımlarının yarı iletkenlerin aşırı akımlara karşı korunabilmesi için sınırlandırılması gerektiği belirtilmiş ve yine aynı nedenle sistemin stator geriliminin belirlenen düzeyden daha fazla sapsması durumunda, rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin stator gerilimleri nominal değerini alıncaya kadar kapatılması gerektiği belirtilmiştir [4].

Şekil 4 de IGBT üzerinde gözükten gerilimin zamanla değişimi görülmektedir. İlk 1.75 saniye süresince makine yüksüz çalıştığı için rotor hızı senkron hıza yakındır, dolayısıyla rotor terminallerindeki gerilimin genliği ve frekansı yaklaşık olarak sıfırdır. Makine jeneratör olarak 1.75 saniyeden sonra türbinden mekanik güç akışını mili aracılığı ile almaktadır, ve rotor hızı senkron hızın üzerine çıkmaktadır. Kaymadaki büyüme rotor terminallerinde gözükten gerilimin değerinde ve frekansında büyümeye yol açmaktadır.

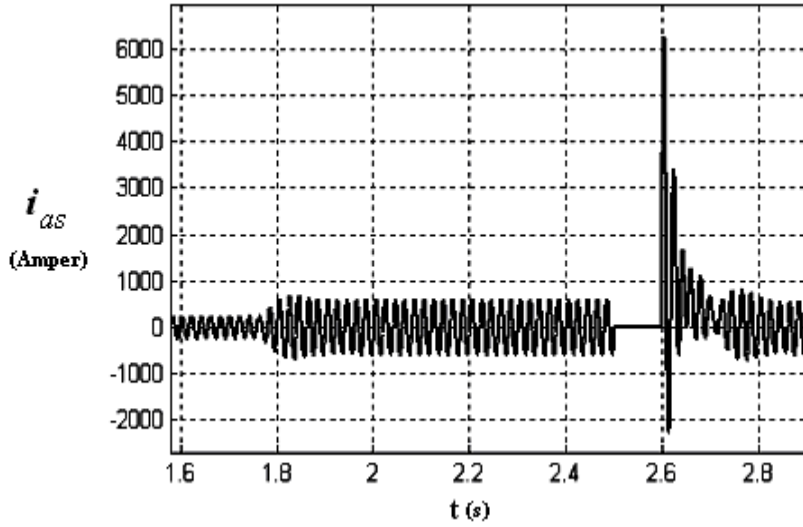


Şekil 3. IGBT'nin şebeke kesintisi öncesinde, kesinti sırasında ve sonrasında akım değerlerinin değişimi



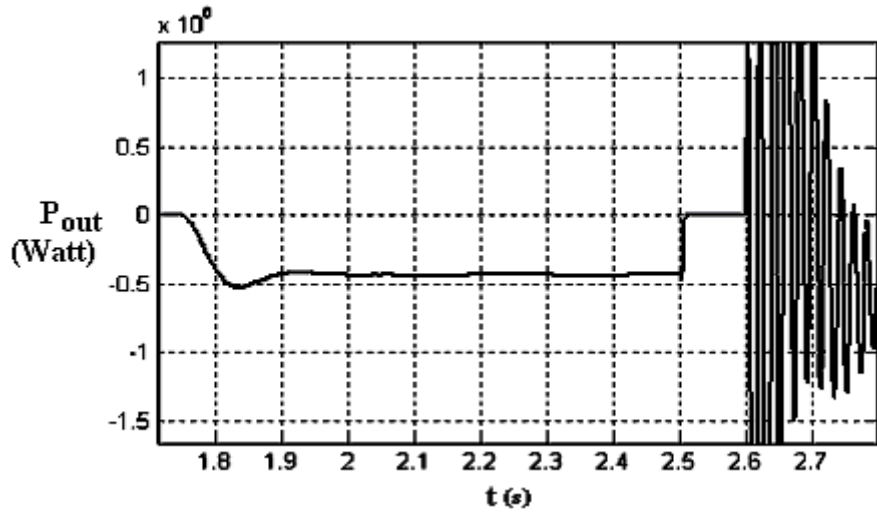
Şekil 4. IGBT'nin şebeke kesintisi öncesinde, kesinti sırasında ve sonrasında gerilim değerlerinin değişimi

Şekil 5 şebeke akımını (stator akımını) göstermektedir. Stator akımının frekansı şebeke frekansında sabit olsa da makinenin milinden giren güçle değeri değişmektedir. Zamanın 2.5 saniye olduğu anda kesicinin şebeke gerilimlerini makine terminalinden koparması nedeniyle stator akımı sıfıra düşmektedir. Şebeke gerilimleri 100 mili saniye sonra tekrar uygulanınca stator akımında ani artış gözlenmektedir. Çünkü bu anda stator akımının değerini belirleyen şebeke gerilimi ile makinenin ürettiği gerilimin bir birine göre faz farkı ve anlık değerleridir. Bu akımın değeri şebekenin ne zaman geri bağlandığına bağlıdır.

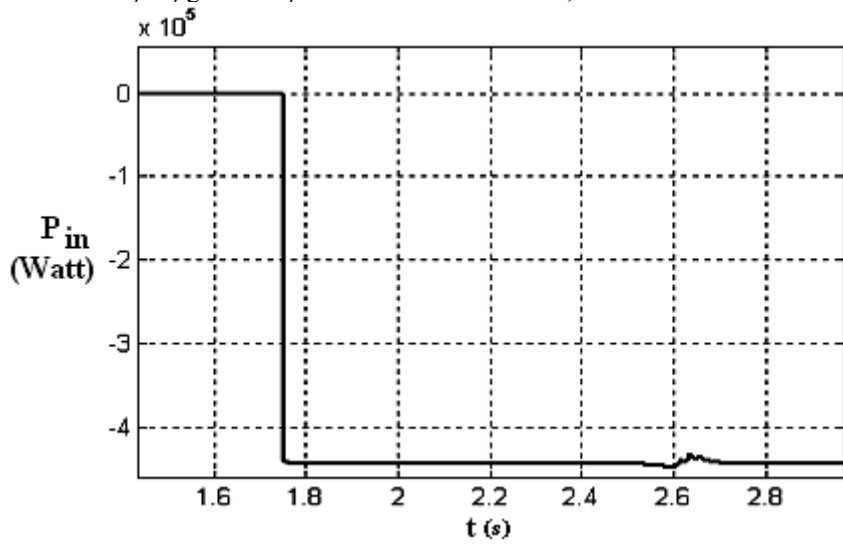


Şekil 5. Stator akımının şebeke kesintisi öncesinde, kesinti sırasında ve sonrasında değişimi

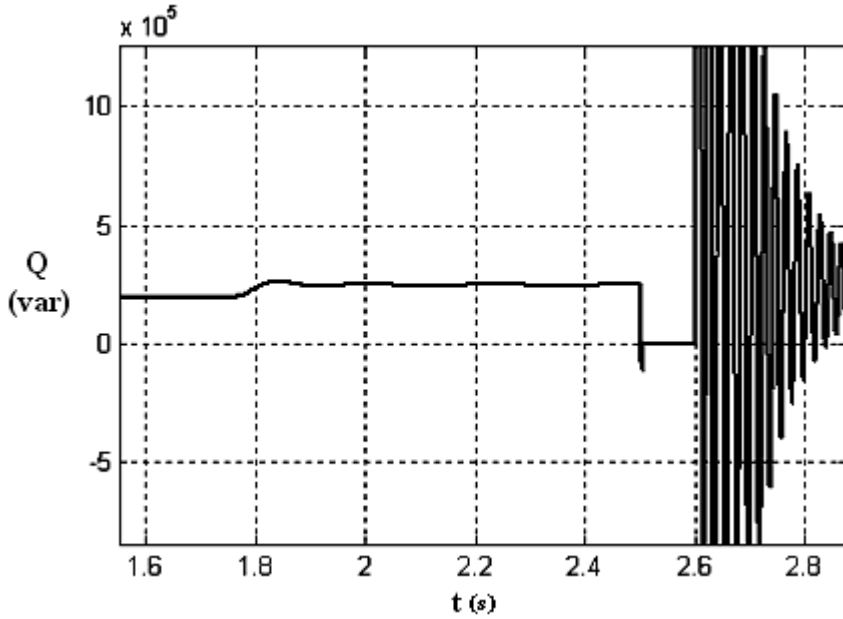
Şekil 6 ve Şekil 7 sırasıyla makinenin terminalerinden şebekeye gönderilen aktif gücü ve rüzgar türbini dişli kutusundan makine miline aktarılan gücü göstermektedir. Rüzgar türbini modeli için Matlab içerisinde verilen karakteristik kullanılmış olup rüzgar hızı sabit 10 metre/saniye olarak alınmıştır. Türbin modelinin karakteristiklerinin hesaplamada kullanacağı diğer bilgi ise geri besleme olarak verilen rotor hızı bilgisidir. Rüzgar ve rotor hızı girildiğinde türbinden elde edilebilecek tork bilgisi modelden alınmakta, ve bu değer makine analizi için kullanılmaktadır. Kararlı durumlarda jeneratörden çıkan gücün türbinden giren güçten verim oranında daha düşük olduğu şekillerden görülebilmektedir. Jeneratör çıkış gücü şebeke kesildiğinde sıfıra düşmektedir. Çıkış gücünün negatif olması aktif gücün jeneratörden şebekeye aktarıldığını göstermektedir. Aynı referans kullanıldığında Şekil 8 göstermektedir ki her durumda makine tarafından şebekeden sürekli reaktif güç çekilmektedir. Bu reaktif gücün kompanzasyonu amacıyla makine ile şebeke arasında uygun değerlerde kapasitörler bağlanmalıdır.



Şekil 6. Jeneratör aktif çıkış gücünün şebeke kesintisi öncesinde, kesinti sırasında ve sonrasında değişimi



Şekil 7. Jeneratör giriş gücünün şebeke kesintisi öncesinde, kesinti sırasında ve sonrasında değişimi



Şekil 8. Jeneratör reaktif çıkış gücünün şebeke kesintisi öncesinde, kesinti sırasında ve sonrasında değişimi

Kaynaklar

- [1]. Sürgevil T., ve Akpınar E., “Rüzgar Gücünden Elektriksel Güç Elde Etmede Kullanılan Dönüşüm Sistemleri ve Kontrol Teknikleri”,Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 18-20 Ocak 2001, İzmir,Türkiye, s.234-241.
- [2]. Rashid M. H., Power Electronics Circuits, Devices, and Applications. Pearson Education International, Upper Saddle River, New Jersey, A.B.D., 2004.
- [3]. Holdsworth L., Wu X. G.,Ekanayake J. B. ve Jenkins N., “Comparison of fixed speed and doubly-fed induction wind turbines during power system disturbances”, IEE Proc.- Gener. Trans. Distrib., Vol.150, No. 3 s.343-352, Mayıs 2003.
- [4]. Sloopweg J. G., de Haan S. W. H.,Polinder H.,ve Kling W. L., “General Model for Representing Variable SpeedWind Turbines in Power System Dynamics Simulations ”, IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 18, No. 1, s.144-151, Şubat 2003.
- [5]. Sürgevil, T., Akpınar, E., *Modelling of a 5-kW Wind Energy Conversion System with Induction Generator and Comparison with Experimental Results*, International Journal of Renewable Energy, Vol:30, no:6, pp 913-929, May, 2005