

Şebekeden Bağımsız Çalışan Sincap Kafesli Bir Asenkron Generatörün Sürekli ve Geçici Durum Analizi

*¹ Mustafa Yılmaz, ² Hüseyin Altınkaya ve ³ Mehmet Akbaba

*¹ Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

² Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

³ Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Türkiye

Özet

Yenilenebilir kaynaklardan olan rüzgar türbinlerinde üretilen enerjinin şebekeye entegrasyonunda gerekli şartların sağlanabilmesi ve güç kalitesinin korunması açısından, kullanılan generatörlerin çalışma karakteristiklerinin bilinmesi önem kazanmaktadır. Bu bildiride, rüzgâr türbinlerinde gerilim üretmek için kullanılan makine yapıları incelenmiş ve en fazla tercih edilen asenkron motorun generatör olarak çalışma karakteristiği üzerinde çalışma yapılmıştır. Şebeke bağlantılı olarak çalışan sistemlerde generatör çıkışındaki gerilim, frekans gibi büyüklükler şebekeye uygun olarak otomatik ayarlanmakta iken doğrudan yüke bağlı generatörde çıkış gerilimi ve frekansın kontrollü bir şekilde ayarlanması gerekmektedir. Bu çalışmada asenkron motorun matematiksel modeli üzerinden, doğrudan yüke bağlı olarak çalıştığında sürekli ve geçici halde çıkış akımı-gerilimi, frekans değişimi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sincap kafesli asenkron generatör, rüzgar türbini, yenilenebilir kaynak entegrasyonu,

Steady-state and Transient Analysis of a Stand-alone Operating Squirrel Cage Induction Generator

Abstract

In integration of energy produced by wind turbines, which is the one of renewable energy sources, for realizing the requiring conditions and maintaining the power quality, the operating characteristics of the generators are gaining importance. In this study the structures of the machines that can be used as generator have been studied and concentration has been directed on the characteristics of the squirrel cage induction motor which more preferably used as induction generator. In case of generators integrated with infinite bus system the generated voltage and frequency are controlled by the bus system where as for the stand-alone generators directly connected to the load the generated voltage and the frequency need to be controlled externally. In this study using mathematical model of induction motor the transient and steady-state voltage current and frequency of an induction generator have been studied.

Keywords: Squirrel cage induction generator, wind turbine, integration of renewable source.

1. Giriş

Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin verimliliği ile ilgili çalışmalar devam ederken, üretilen enerjinin entegrasyonunda ortaya çıkan problemlerin çözümünde standartların oluşturulması ve entegrasyon problemlerinin çözümü için araştırmalar yapılmaktadır. Entegrasyonun alçak gerilim şebekesi, orta gerilim şebekesi veya enterkonnekte sistem üzerinden yapılması için gerekli yükümlülüklerle ilgili yönetmelikler hazırlanırken, dağıtık üretimin yaygınlaştığı günümüzde dağıtım şebekesi üzerinden yapılan entegrasyonlar da artarak devam etmektedir. Giderek yaygınlaşan rüzgar türbinlerinde kullanılan generatörlerin çalışma karakteristiklerinin bilinmesi bu anlamda daha da önem kazanmaktadır.

2. Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Generatörler

Rüzgâr türbinlerinde kullanılan jeneratörler enerji kaynağının karakteristiği nedeniyle, sürekli değişen bir mekanik güç ile tahrik edilerek çalışmaktadırlar. Yapıları bakımından sınıflandırıldığında, kullanılan jeneratörleri 3 grupta toplamak mümkündür;

1. Senkron Generatörler
 - a) Rotoru Sargılı Senkron Generatör (RSSG)
 - b) Sürekli Mıknatıslı Senkron Generatör (SMSG)
2. Asenkron Generatörler
 - a) Sincap Kafesli Asenkron Generatör (SKAG)
 - b) Rotoru Sargılı Asenkron Generatör (RSAG)
3. Doğru Akım Generatörü (Anahtarlı Relüktans Jeneratör (ARG))

2.1. Senkron Generatörler

Senkron generatörler, benzer güçteki diğer makinelerle kıyaslandığında maliyetleri daha fazla ve yapıları daha karmaşık olan makinelerdir. Yapı olarak, bilezik ve fırça yardımı ile doğru akım kaynağına bağlı olarak yada sabit mıknatısla manyetik alanı oluşturan bir rotor ve gerilim üreterek bağlı bulunduğu bara/yükü besleyen üç faz sargılarının bulunduğu statordan meydana gelir. Sabit hızlı sistemler için daha uygun bir yapıda olan bu generatörler, sabit hıza bağlı olarak sabit bir frekansta çalışırlar. Rüzgar türbinlerinde kullanılan senkron generatörlerde, manyetik alan oluşumu için rotora uygulanan doğru gerilim şebekeden sağlanır. Şebekeden alınan alternatif gerilim doğrultularak doğru gerilime çevrildikten sonra fırçalar ve bilezikler yardımıyla rotor sargılarında durgun bir manyetik alan meydana getirir. Rüzgâr tahriki ile dönen rotordaki manyetik alan stator sargılarını keserek gerilim üretilmesini sağlar [1].

2.1.1. Rotoru Sargılı Asenkron Generatör

Alan sargılı senkron generatör gerilim kaynaklı iki dönüştürücüden oluşan dört bölgeli bir güç konvertörü üzerinden şebekeye bağlanmaktadır. Dalga genişlik modülasyonu ile çift yönlü olarak kontrol edilebilen bu yapı üzerinden stator sargılarında üretilen gerilim şebekeye aktarılmaktadır. Bu iki dönüştürücüden şebeke tarafındaki konvertör generatörün ürettiği aktif ve reaktif gücü düzenlerken, stator sargılarına bağlı olan ise elektromanyetik torku kontrol eder. Elektromanyetik tork, stator akımının tamamı kullanılarak üretildiği için verimin yüksek olması sağlanmıştır.

Generatör, güç faktörünün doğrudan kontrolü için uygun bir yapıdadır. Çıkık kutuplu alan sargısı bu işlem için uygun yapıyı meydana getirirken aynı zamanda çalışma sırasında stator akımı minimize edilebilmektedir. Kutup sayısı artırılarak düşük hızlarda üretim yapılabilir. Bu durumda pervane miline bağlı dişli sisteme olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır.

Daimi mıknatıslı generatörle kıyaslandığında rotorunun sargılı olması bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Buna ilave olarak sisteme aktarılacak aktif ve reaktif gücün kontrolü için gerekli olan, normal rüzgar gücünden %20 daha fazla güce sahip konverter ihtiyacı da bulunmaktadır [2].

2.1.2. Daimi Mıknatıslı Senkron Jeneratör

Manyetik alanı oluşturmak için kullanılan sargıların yerini daimi mıknatısların almasıyla; sargılar, bilezik ve fırçalar kullanılmadığı için makine yapısı sadeleştirilmiştir. Şebekeye bağlantı için üretilen üç fazlı gerilim doğrultulduktan sonra istenilen DA seviyesine yükseltildikten sonra DA/AA kıyıcısı kullanılmıştır. Burada kullanılan DA-DA kıyıcısı yükseltici tip olup elektromanyetik torku da kontrol etmektedir. Güç faktörünü kontrol eden şebekeye bağlı konvertörün bir diğer işlevi de DA link gerilimini regüle etmektir. Bu yapı daha çok küçük güçlü rüzgar türbinlerinde tercih edilmektedir [2]. Daimi Mıknatıslı Senkron Generatörün avantajları;

- Uyartım için harici bir kaynağa ihtiyaç duymazlar.
- Gerilim üretimi farklı hızlarda yapılabilir.
- Basit yapıda olduklarından fazla bakım gerekmez.
- Düşük güçlü uygulamalarda ekonomik çözüm sağlarlar.

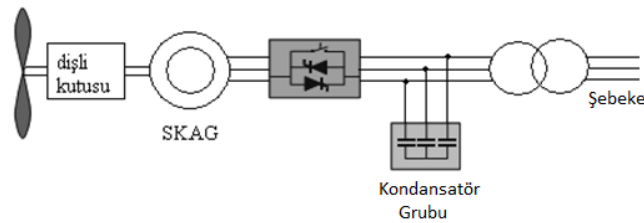
Dezavantajları;

- Daimi mıknatısların maliyeti yüksektir.
- Diyotlu doğrultucular kullanılarak akımın genliğini arttırmak gerekmektedir.
- Daimi mıknatıslar özelliklerini kaybedebilirler.
- Generatörün güç faktörü kontrol edilememektedir.

2.2. Asenkron Generatörler

Mekanik olarak basit bir yapıda olmaları, sağlamlığı ve fiyatının düşük olması nedeniyle asenkron motorlar özellikle rüzgar türbinlerinde generatör tercih edilmektedir. Buna ilaveten değişken rüzgar hızlarında tork titreşimlerini azaltma konusunda iyi bir performansa sahiptirler. Mıknatıslama için reaktif akıma olan ihtiyaçları bu sistemin dezavantajlı yönüdür [3,4].

2.2.1. Sincap Kafesli Asenkron Generatör



Şekil 1. Sincap kafesli asenkron generatör şebeke bağlantısı

Rotor sargıları preslenmiş silisli sacların oluklarına alüminyum dökümden yapılan bu generatörler sabit hızlı ve değişken hızlı sistemlerde kullanılabilir. Manyetik gürültüyü azaltmak ve iyi bir kalkınma momenti elde etmek için rotor çubukları malle paralel değil, malle belli bir açıda olacak şekilde yapılmıştır. Makinenin fırçasız, sağlam ve güvenilir olan bu yapısı ile birlikte maliyetinin düşük olması tercih nedenlerinin başında gelmektedir. Çok tercih edilen bu yapının olumsuz yönleri şunlardır [5,6];

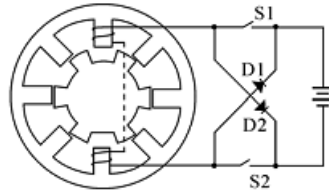
- Generatör parametreleri sıcak ve frekansla değişmektedir. Bu durum sistemin kontrolünü karmaşık hale getirerek zorlaştırmaktadır.
- Moment-hız eğrisi lineer olduğu için rüzgâr hızında meydana gelen değişimler şebekeye doğrudan iletilir. Bu dalgalanmalar şebekeye bağlantı noktalarında akımın normal değerlerinin 7-8 katına çıkmasına neden olabilmektedir.
- Makine reaktif güç tüketir. Zayıf şebelere bağlanan büyük güçlü türbinlerde bu durum şebeke için bir problemdir. Reaktif güç tüketiminin kompanzasyon için kullanılan kapasitörlerle dengelenmesi gerekmektedir.

2.2.2. Rotoru Sargılı (Bilezikli) Asenkron Generatör (RSAG)

Bu genaratörde diğerinden farklı olarak rotor da sargılar bulunmaktadır ve sargı uçları rotor üzerindeki bileziklere bağlıdır. Bileziklere temas eden fırçalar yardımıyla bu sargılar bir DA kaynağına ya da ayarlı dirence bağlanabilmektedir. Bu bağlantı sayesinde rotorun elektriksel parametreleri ayarlanabilmekte ve rotor gerilimi değiştirilebilmektedir.

Motor olarak çalışmada rotor üzerinde yapılabilen bu ayarlamalar sayesinde motor hızı kontrol edilebilir. Generatörün sincap kafesli yapıya göre daha pahalı olması ve bakım gerektiren parçalarının olması bir dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.3. Doğru Akım Generatörleri



Şekil 2. Anahtarlı relüktans generator (ARG)

Anahtarlı Relüktans Generatör, mekanik yapı olarak güvenilir olması, tork-güç oranının yüksekliği, verimliliği ve maliyetinin düşük olmasından dolayı son yıllarda çok fazla tercih edilir hale gelmiştir. Bu generatörde, statorda bulunan çıkık kutupların her birine çoklu sargılar yerleştirilmiştir. Çalışma sırasında uyartım ve üretim şeklinde iki farklı durum söz konusudur. Yapı olarak iki anahtar ve her faz için bağlanmış ikişer diyottan oluşmaktadır. Uyartım için çalışma sırasında, S1 ve S2 anahtarları açık pozisyonundadır, bu durumda stator sargıları dışarıdan bir kaynak tarafından uyartılarak manyetik alanın oluşması sağlanır. Gerilim üretme sırasında S1 ve S2 anahtarları kapalı pozisyonundadır, D1 ve D2 diyotları üzerinden üretilen elektrik enerjisi sisteme aktarılır.

3. Sincap Kafesli Asenkron Generatörler

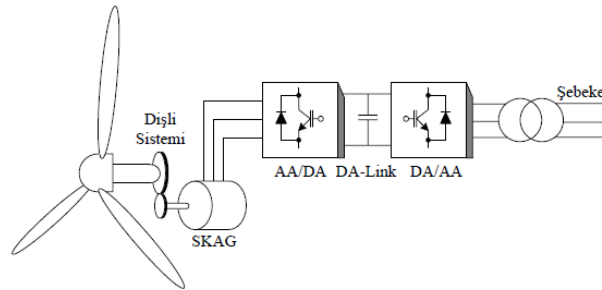
Bu bildiriye rüzgâr türbinlerinde sıklıkla kullanılan sincap kafesli asenkron generatör üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu generatör yapı olarak arıza yapacak parçasının azlığı, maliyetinin düşük olması, çok bakım gerektirmemesi, uyarım için doğru akım kaynağına ihtiyaç duymaması gibi başlıca nedenlerden dolayı tercih edilmektedirler. Doğrudan şebekeye bağlı olarak çalışabildiği gibi şebekeden bağımsız olarak müstakil bir yükü beslemek için de kullanılabilirler. Pervaneyeye bağlantısı bir dişli kutusu aracılığıyla yapılmakta olan bu generatörlerin kullanımında farklı uygulamalar yapılması söz konusudur. Bu uygulamalar [7];

- Sabit hız-sabit frekans uygulamaları: Büyük güçteki bir şebekeye doğrudan bağlanarak % 1-5 kayma ile senkron hızın üzerinde çalıştırılabilen sistemlerdir.
- Değişken hız-değişken frekans uygulamaları: Şebekeden yalıtılmış kondansatör yardımıyla uyarılan bir düzenele, güç elektroniği içeren sistemler kullanmaya gerek duymadan, ısıtıcı, rezistans gibi omik yük özelliği taşıyan hassas olmayan yüklerin beslenmesinde tercih edilen ve sık kullanılan uygulamalardır.

Değişken hız -sabit frekans uygulamaları: Generatör çıkışında AA-DA-AA dönüştürücü devreler ile birlikte değişken hızlı uygulamalarında kullanılırlar. İhtiyaç durumuna göre şebekeye bağlı olarak ya da şebekeden bağımsız çalışabilme yeteneğine sahiptirler. İki farklı sabit hızda, belirli bir frekans değerini yakalayabilmek için iki farklı kutup sayısı elde edebilmeyi sağlayan sarım şekli uygulanmıştır.

3.1. Değişken Hızlı Sistemlerde Çalışan Asenkron Generatör

Değişken hızlı sistemlerde, şebeke bağlantılı olarak çalışan sincap kafesli asenkron generatörün stator sargısı, DA linkinin iki tarafında back-to-back bağlantılı gerilim kaynaklı iki adet darbe genişlik modülasyonlu inverterden oluşan, dört bölgeli güç konverteri üzerinden şebekeye bağlanır. Stator sargılarına bağlı olan konverter kontrol sistemi, elektromanyetik torku regüle ederken makinenin manyetik alan üretebilmesi için gerekli reaktif gücü de sağlar. Şebeke tarafındaki konverter, sistemden şebekeye aktarılan aktif ve reaktif gücü ve aynı zamanda DA linkini regüle eder [8,9].



Şekil 3. Değişken hızlı sistemler için sincap kafesli asenkron generatör bağlantısı

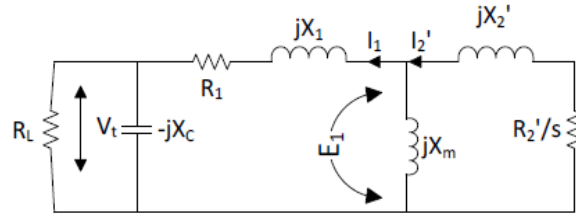
3.1. Kendinden Uyarımlı Sincap Kafesli Asenkron Generatör

Kendinden uyarımlı sincap kafesli asenkron generatörde uyarım için iki seçenek vardır. Stator sargıları, 3 fazlı uyarma akım sistemi ile birlikte dizayn edilmişse, rüzgâr türbinine ve dişli kutusuna mil üzerinden bağlı olan makine ilk önce motor olarak çalışmaya başlar. Makineye bağlı pervaneye etki eden rüzgâr hızı milde senkron hızı aşacak devir sayısına ulaştığında, asenkron makine otomatik olarak gerilim üretmeye başlar ve elde edilen elektrik gücü stator sargıları üzerinden bağlı bulunan şebekeye aktarılır. Gerilim üretilmesi için gerekli olan 3fazlı mıknatıslanma akımı generatöre bağlı kapasitörlerden elde edilebildiği gibi makine şebeke ile paralel çalışıyor ise, bu akım şebekeden de temin edilebilir [10].

Şebekeye bağlı bir asenkron generatör, mıknatıslama için şebekeden reaktif akım çekerken aynı zamanda aktif akım da çekerse motor olarak çalışmak isteyecektir. Çıkış geriliminin düşmesiyle şebekeden çekilecek aktif akımın motor olarak çalışmaya zorlaması mekanik olarak pervanenin geri dönmesi anlamına gelir ki bu durumda milde, pervanede veya dişli kutusunda hasar meydana gelir. Rüzgar türbinlerinde ters güç akışı entegrasyonda çözülmesi gereken önemli problemlerden birisidir.

4. Sincap Kafesli Asenkron Generatör Eşdeğer Devresi

Kendinden uyarımlı asenkron generator için eşdeğer devre Şekil 4'teki gibi çizilebilir.



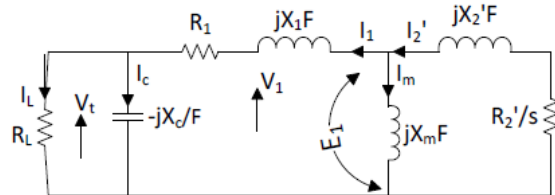
Şekil 4. Nominal hız ve frekansta asenkron generatör eşdeğer devresi

Herhangi bir değerdeki frekansın, temel frekansa oranı;

$$\frac{f}{f_b} = \frac{\omega}{\omega_{sb} = \omega_b} = F$$

$\omega_n = \omega_s = \omega_b$ için rotor ve stator devri için şu eşitlikler yazılabilir; $\frac{n_r}{n_{sb}} = v$ $\frac{n_s}{n_{sb}} = F$

Hız değişiminden dolayı frekansta değişecektir, bu durumda yeni frekans ω_b yerine ω gelir. Bu durumda hız da değişir. Yukarıdaki eşitliklere göre yeni hız ve frekansta eşdeğer devre;

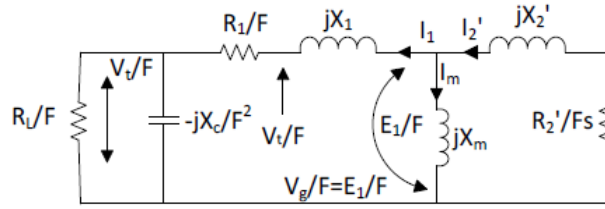


Şekil 5. Farklı hız ve frekansta asenkron generatör eşdeğer devresi

Her taraf “F” ile bölündüğünde empedansların bölümüyle akımların aynı kalması için gerilimlerin de F ile bölünmesi durumunda;

$$I = \frac{V}{X} = \frac{V/F}{X/F} = \left(\frac{V}{Z} = \frac{V/F}{Z/F} \right) \text{ olur.}$$

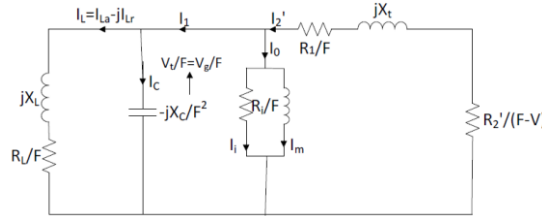
Bu durumda eşdeğer devre;



Şekil 6. Her tarafın F ile bölünmesi durumunda eşdeğer devre

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = 1 - \frac{n_r}{n_s} = 1 - \frac{v}{F}, \quad \frac{n_s}{n_{sb}} = F = \frac{60}{60f_1} = \frac{f}{f_b}, \quad \frac{R_2'}{F_s} = \frac{R_2'}{F \left(1 - \frac{v}{F}\right)} = \frac{R_2'}{F - v}$$

Dönüşümleri yapıldığında asenkron generatörün yaklaşık eşdeğer devresi aşağıdaki gibi çizilebilir.



Şekil 7. Yaklaşık eşdeğer devre

Reaktif akım dengesi için I_{1r} her zaman kapasitif olmalıdır, aksi halde uyarım gerçekleşmez. Bu durumda I_1 'nin kapasitif olduğunu söylemek mümkündür. Rotor devresinin empedansı da endüktif özelliktedir. Bunun sonucu olarak I_{2r} endüktiftir ve I_2 endüktif akımdır. Uyarım ve gerilim üretimi için her zaman $I_m > I_{1r}$ olmalıdır.

Stator ve rotor akımı formülleri;

$$\bar{I}_1 = \frac{\frac{V_g}{F} \left(\frac{R_L}{F} + jX_L - j \frac{X_C}{F^2} \right)}{- \left(\frac{R_L}{F} + jX_L \right) \left(j \frac{X_C}{F} \right)} \quad \bar{I}_2 = \frac{\frac{V_g}{F}}{\left(\frac{R_1}{F} + \frac{R_2'}{F - v} \right) + jX_t}$$

Giriş gücü;

$$P_{in} = \frac{3R_2 |I_2'|^2}{s} = \frac{3R_2 |I_2'|^2}{s = 1 - \frac{v}{F}} = \frac{-3R_2 F |I_2'|^2}{F - v}$$

Çıkış gücü;

$$P_{out} = 3R_L I_L^2$$

Verim;

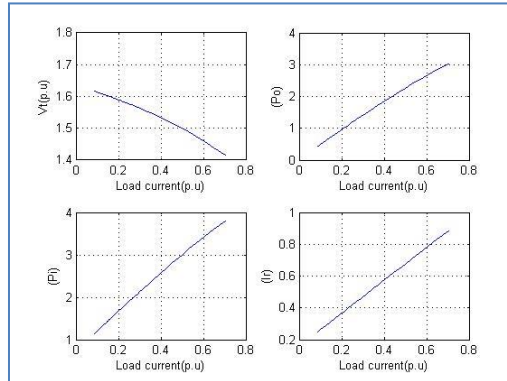
$$\eta = \frac{(F - v)R_L I_L^2}{R_2 F |I_2'|^2}$$

5. Bulgular

Asenkron generator için yukarıda verilen formüller kullanılarak MATLAB'ta yapılan analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

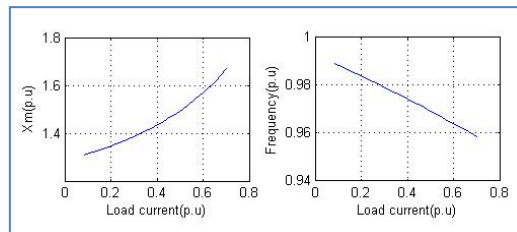
5.1. Sürekli Hal

Sincap kafesli asenkron generatörün sürekli hal analizinde elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir. Şekil 8'de yük akımı ile çıkış geriliminin, çıkış gücünün, giriş gücünün ve rotor akımının değişimi verilmiştir.



Şekil 8. SKAG sürekli hal yük akımı değişimleri

Yük akımı arttıkça çıkış geriliminin düştüğü görülmektedir. Şebekede gerilimin sabit kalması gerektiğinden bu durum entegrasyonda çözülmesi gereken problemlerden biridir. Yük akımının artışı ile birlikte giriş gücü, çıkış gücü ve rotor akımının da arttığı görülmektedir.

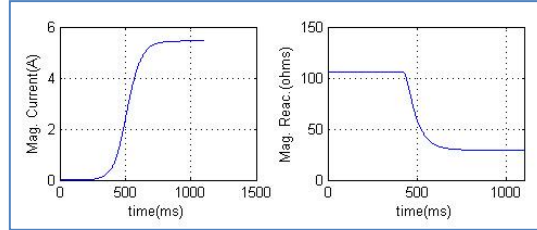


Şekil 9. SKAG sürekli hal yük akımı-mıknatıslama empedansı ve frekans grafikleri

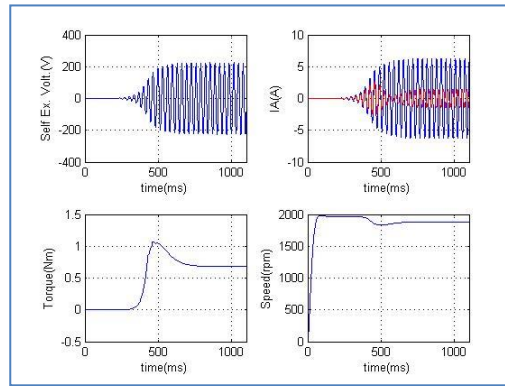
Yük akımının yükselmesi sonucunda mıknatıslama empedansının artışı ile birlikte frekansın bir miktar düştüğü görülmektedir.

5.2. Geçici Hal

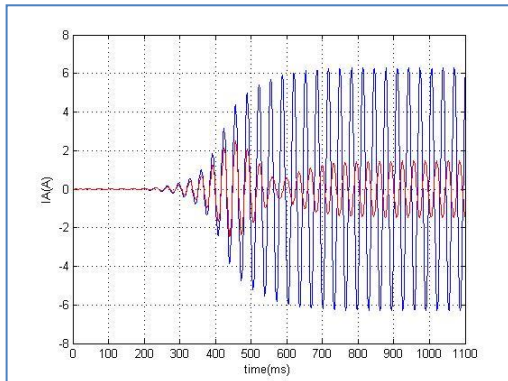
Sincap kafesli asenkron generatörün formüllerinde d-q dönüşümleri yapıldıktan sonra, geçici hal analizinde elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir.



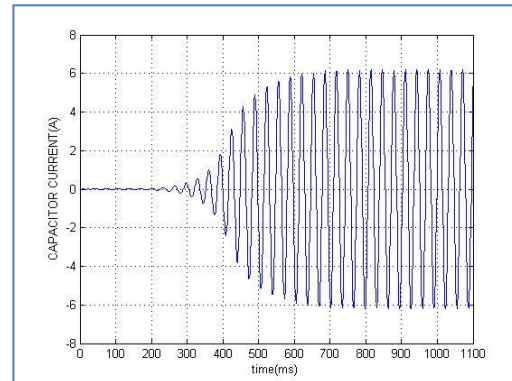
Şekil 10. SKAG geçici hal mıknatıslama akımı ve manyetik reaktans değişimi



Şekil 11. SKAG geçici hal kendi kendine uyarım gerilimi, akım, tork ve hız grafikleri



Şekil 12. SKAG geçici hal uyarım ve yük akımı değişimi



Şekil 13. SKAG kapasitör akımı değişimi

6. Sonuç ve Değerlendirme

Generatör karakteristiğinin modellenmesi, şebekedeki üretim kapasite sınırlarının tespiti, güç kalitesinin beirlenmesi ve ileriye dönük olarak yapılacak olan sistem genişlemelerinin planlanmasında yol gösterici olabilmektedir. Bu çalışmada rüzgâr türbinlerinde şebekeye aktarılacak enerjiyi üreten generatörler incelenerek bu makineler içinde en yaygın kullanım alanına sahip olan asenkron motorun generatör olarak kullanıldığında geçici ve sürekli hal analizi yapılmıştır. MATLAB'ta yapılan analizler sonucunda şebekeye bağlı olarak çalışan asenkron generatörün yük akımı arttıkça çıkış geriliminin düştüğü gözlenmiştir. Şebeke güç kalitesinin belli standartlarda olması gerektiği düşünüldüğünde, yük akımı ile gerilimin düşmesi güç kalitesinin sürdürülebilirliği açısından sorun olarak görülmektedir. Sonraki çalışmalarda bu sorunun çözümü üzerine odaklanmaya çalışılacaktır. Bu çalışma sonucunda ve diğer akademik çalışmalar göz önüne alındığında sincap kafesli asenkron generatörün rüzgar türbinleri için uygun bir yapıda olduğunu söylenebilir.

Kaynaklar:

- [1]Mergen, A.F.,Zorlu, S.,(2005). “ Elektrik Makineleri III Senkron Makineler”, BirsenYayınevi.
- [2]Murat UYAR, Muhsin Tunay GENCOĞLU, Selçuk YILDIRIM, Değişken Hızlı Rüzgar Türbinleri İçin Generatör Sistemleri, 2006.
- [3]Onur Çopçuoğlu, Güven Önbilgin,”Yel Enerjisi Dönüşüm Sistemleri İçin Uygun Generatör Türlerinin Değerlendirilmesi”, 2008.
- [4] "Wind Turbine Grid Connection and Interaction,” Deutsches Windenergie-Institut Technische A/S, DM Energy, http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/wind_energy/maxibrochure_final_version.pdf, 2001
- [5] Wind Power Generators in United Kingdom <http://www.windgenerator.org.uk/>
- [6] Elektrik İşleri Etüd İdaresi web sayfası-www.eiei.gov.tr
- [7] R.C. Bansal : “Three-Phase Self Excited Induction Generators: An Overview, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.20, No. 2, June 2005.
- [8] Polinder, H., Haan S.W.H., Dubois, M.R., Sootweg, J.G., “Basic Operation Principles and Electrical Conversion of Wind Turbines,” NORPIE 2004, Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, June 2004, Trondheim, Norway.
- [9]"Wind Turbine Grid Connection and Interaction,” Deutsches Windenergie-Institut Technische A/S, DM Energy, 2001. http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/wind_energy/maxibrochure_final_version.pdf
- [10] Apaydın M., Üstün A. K., Kurban M. ve Filik Ü. B., "Rüzgar Enerjisinde Kullanılan Asenkron Jeneratörler", V.Yenilenebilir Enerji Kaynakaları Sempozyumu, Diyarbakır, 2009.