

Şebeke Bağlantısız Çift Beslemeli Asenkron Generatörün Doğrudan Gerilim Denetimi

Direct Voltage Control of Standalone Doubly-Fed Induction Generator

Şevki Demirbaş¹, Sertaç Bayhan²

¹Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi
Gazi Üniversitesi
demirbas@gazi.edu.tr

²Elektronik Teknolojisi Bölümü, Atatürk Meslek Yüksekokulu
Gazi Üniversitesi
sbayhan@gazi.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, çoğunlukla rüzgar türbinlerinde kullanılan Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG)'ün doğrudan gerilim denetim yöntemi ile denetimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada miline akuple bağlı bir Asenkron Motor (ASM) tarafından sürülen ÇBAG şebeke bağlantısız olarak kullanılmıştır. Bir evirici yardımıyla ASM, senkron altı ve senkron üstü hız aralığında döndürülmüştür. ÇBAG'ün stator sargıları doğrudan yüke bağlanırken, rotor devresi gücü bir evirici yardımıyla denetlenmiştir. Evirici için hazırlanan denetim algoritması Matlab&Simulink programına aktarılarak evirici için ihtiyaç duyulan sürme sinyalleri üretilmiştir ve bu sinyaller Texas Instruments firması tarafından üretilen TMS320F2812 DSP yardımıyla sürücüye uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda gerçekleştirilen sistemin farklı hız değerlerinde sabit genlik ve frekansta gerilim üretebildiği ve ani yük değişimlerine hızlı tepki verdiği görülmüştür.

Abstract

In this study, control of standalone doubly-fed induction generator (DFIG), mainly used at wind turbine, has been realized by using direct voltage control scheme. In the study standalone DFIG driven by an induction-machine (IM) has been used. The IM has been rotated at sub-synchronous and super-synchronous speeds by using an inverter. Rotor circuit's power has been controlled by a rotor side converter (RSC) while DFIG's stator windings directly connected to the load. Control algorithm for the RSC has been compiled with Matlab&Simulink and driven signals have been produced. Then these signals applied to the RSC by using DSP named TMS320F2812 developed by TI. Experimental results show that implemented system can be produced constant voltage and frequency at different speeds. It has also been recognised that the system has fast response at sudden load changes.

1. Giriş

Çevresel ve ekonomik şartlar sebebiyle bazı uzak bölgelere elektrik şebekesinin gitmesi olanaksızdır. Bu nedenle adalar, uzak köyler gibi yerleşim yerlerinde bulunan yükler enterkonnekte sistemden bağımsız olarak beslenmek zorundadırlar. Geleneksel olarak bu gibi yerlerin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisi, dizel motorlarla sürülen generatörlerle sağlanmaktadır. Ancak dizel motorların sık sık bakım gerektirmesi ve sürekli olarak yakıt ihtiyaçlarının bulunması birim enerji maliyetini yükseltmektedir. Elektrik enerjisinin birim maliyetinin azaltılması için yakıt masrafi olmayan enerji üretim sistemlerine ihtiyaç vardır. Bu nedenle rüzgar potansiyelinin düzenli olduğu bölgelerde, elektrik enerjisi üretmede en doğru tercih rüzgar enerjisidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi diğer enerji kaynakları ile karşılaştırıldığında; temiz, ham madde ve ulaştırma masrafi olmayan doğrudan doğadaki rüzgâr kullanılarak üretilen bir enerjidir.

Rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjinin, elektrik enerjisine dönüştürülmesi için rüzgar türbinleri kullanılmaktadır. Rüzgâr türbinleri, rüzgâr hızı esas alındığında, çalışma prensibine göre sabit hızlı ve değişken hızlı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Rüzgarın sahip olduğu kinetik enerjinin sabit olmamasından dolayı günümüzde kullanılan rüzgar türbinleri çoğunlukla değişken hızlı olarak üretilmektedir. Böylece rüzgardan maksimum şekilde yararlanılarak türbin verimi artırılmaktadır. Senkron hızın $\pm\%30$ hız aralığında çalışabilme ve kullanılan güç elektroniği dönüştürücü gücünün, generatör gücünün yaklaşık $\%25$ 'i olması gibi avantajlarından dolayı son yıllarda değişken hızlı rüzgar türbinlerinde Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG) kullanımı yaygınlaşmıştır [1,2]. Literatürde ÇBAG'nin denetimi için; doğrudan güç denetimi, doğrudan gerilim denetimi, vektör denetimi, bulanık mantık gibi denetim teknikleri oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [3-8].

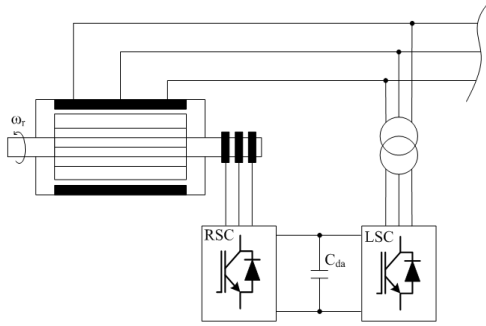
Bu çalışmada denetim modeli olarak doğrudan gerilim denetim modeli seçilmiştir. Böylece denetim algoritması basitleşmiş, aktif ve reaktif gücün birbirinden bağımsız denetimi gerçekleştirilmiştir. Denetim algoritması

Matlab&Simulink programı yardımıyla hazırlanmış ve Texas Instruments firması tarafından üretilen TMS320F2812 DSP yardımıyla çalıştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında, farklı hız değerlerinde generatörün ürettiği gerilimin büyüklüğü ve frekansı izlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda gerçekleştirilen sistemin farklı hız değerlerinde sabit genlik ve frekansta gerilim üretebildiği ve ani yük değişimlerine hızlı tepki verdiği görülmüştür.

2. Çift Beslemeli Asenkron Generatör

Değişken hız aralığına sahip, yani senkron hızın $\pm\%30$ 'u oranında değişken hızlı rüzgar türbin sistemleri için ÇBAG'ler son yıllarda yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bunun başlıca sebebi, ÇBAG denetimi için gerekli olan güç elektroniği dönüştürücü gücünün toplam generatör gücünün %25'lik bir kısmını oluşturmasıdır. Bu durum, güç elektroniği dönüştürücüsünün toplam gücü işleyebildiği bir sistemle karşılaştırıldığında, güç elektroniği dönüştürücüsündeki kayıpların azaltılabileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca, dönüştürücü maliyeti diğer sistemlere göre daha düşük olmaktadır.

Şekil 1'de ÇBAG'ün bağlantı diyagramı verilmiştir. Burada ÇBAG'nin rotor devresi bilezikler vasıtasıyla bir güç elektroniği dönüştürücüsü üzerinden şebekeye bağlanırken stator devresi doğrudan şebekeye bağlanmaktadır. Güç elektroniği dönüştürücüsü, rotor ve şebeke tarafı olmak üzere, çift yönlü akım akışına izin veren gerilim kaynaklı iki eviriciden meydana gelmektedir. İki evirici arasına yerleştirilen doğru akım (DA) hat kondansatörü, DA hat geriliminde yaşanabilecek gerilim değişimlerini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Rotor tarafındaki evirici yardımıyla, ÇBAG'in torku, hızı ve stator devresinin güç katsayısı denetlenebilmektedir. Şebeke tarafındaki evirici yardımıyla ise, DA hat gerilimi denetlenerek sabit tutulmaktadır.

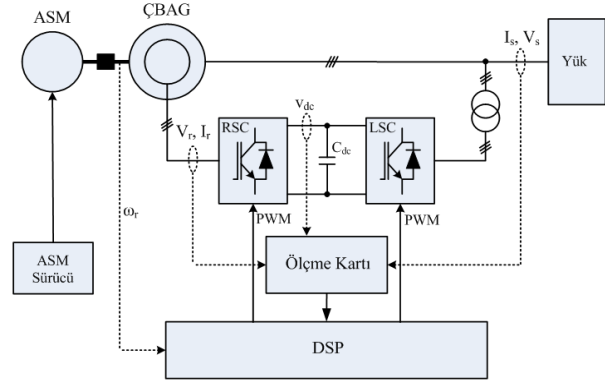


Şekil 1: Çift beslemeli asenkron generatörün bağlantı diyagramı

3. Gerçekleştirilen Deneysel Kurulum

Laboratuvar ortamında bir test düzeneği oluşturularak ÇBAG'nin ihtiyaç duyacağı mekanik enerji, miline akuple bağlı bir Asenkron Motor (ASM) tarafından sağlanmıştır. Senkron altı ve senkron üstü değişken hız değerlerinin elde edilebilmesi için akuple bağlı ASM değişken hızlı bir motor sürücüsü yardımıyla sürülmüştür. ÇBAG'nin stator sargıları doğrudan yüke bağlanırken, rotor devresi gücü bir evirici yardımıyla denetlenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel kurulumu ait blok diyagram Şekil 2' de verilmiştir. Sistem genel olarak;

ÇBAG, ASM, değişken hızlı ASM sürücüsü, pozisyon sensörü, arka arkaya bağlanan iki adet evirici yapısı, DSP, IGBT sürücüsü, akım ve gerilim ölçme kartları ve üç fazlı transformatörden meydana gelmektedir. Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan ÇBAG ve ASM'nin etiket değerleri Ek'de verilmiştir.



Şekil 2: Gerçekleştirilen deneysel kurulumun blok diyagramı

4. Denetim Yapısı

Rotora uygulanan gerilimin frekansı, büyüklüğü ve faz açısı rotor tarafı evirici yapısı yardımıyla denetlenmektedir. Bu nedenle şebeke tarafı evirici yapısının denetimi bu çalışmada incelenmeyecektir.

Rotor tarafı eviricinin denetimi için doğrudan gerilim denetim algoritması kullanılmıştır. Evirici yapısının denetim modeli Şekil 3'de verilmiştir. Denetim modelinde generatör çıkış gerilim sinyalleri (u_a , u_b , u_c) Clarke dönüşümü yardımıyla;

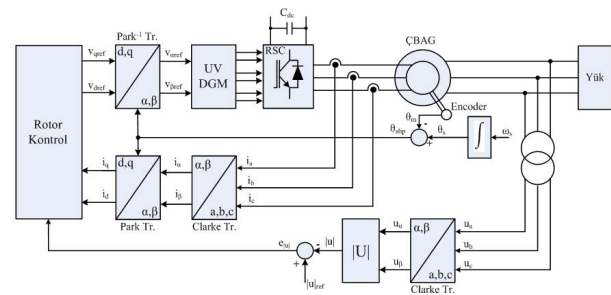
$$u_{s\alpha} = u_a \quad (1)$$

$$u_{s\beta} = \frac{1}{\sqrt{3}}u_a + \frac{2}{\sqrt{3}}u_b \quad (2)$$

iki boyutlu gerilim vektörüne dönüştürülmüştür. Elde edilen bu iki boyutlu gerilim vektörünün büyüklüğü $|u|$

$$|u| = \sqrt{u_{s\alpha}^2 + u_{s\beta}^2} \quad (3)$$

eşitliği yardımıyla kolayca hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer yazılıma girilen referans gerilim değeri $|u|_{ref}$ ile karşılaştırılmaktadır. Referans değer olarak yazılıma 220 V etkin değer girilmiştir.



Şekil 3: Rotor tarafı evirici yapısının denetim modeli

Karşılaştırma sonucunda elde edilen hata sinyali Rotor Kontrol bloğuna uygulanmaktadır. Ayrıca rotor akımının

denetimi için üç faz rotor akım sinyalleri (i_a , i_b , i_c) Clarke dönüşümü yardımıyla (i_α , i_β) iki boyutlu akım vektörüne dönüştürülmektedir. Bu akım vektörü daha sonra Park dönüşümü yardımıyla

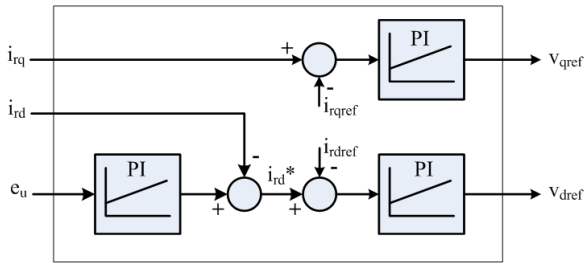
$$i_d = i_\alpha \cos \theta + i_\beta \sin \theta \quad (4)$$

$$i_q = -i_\alpha \sin \theta + i_\beta \cos \theta \quad (5)$$

döner referans düzleme aktarılmıştır. Park dönüşümü için gerekli olan kayma konum bilgisi,

$$\theta_{slip} = \theta_s - \theta_m \quad (6)$$

eşitliği yardımıyla elde edilmiştir. θ_m rotor açısal pozisyonu motor miline akuple bağlı bir encoder yardımıyla algılanmıştır. θ_s senkron açısal pozisyon bilgisi ise yazılımda referans olarak üretilmektedir. Park dönüşüm bloğundan alınan sinyaller yine Rotor Kontrol bloğuna uygulanmıştır. Rotor Kontrol bloğunun iç yapısı Şekil 4' de verilmiştir. Bu blok içerisinde yer alan üç adet PI denetleyici yardımıyla Ters Park dönüşümü için gerekli olan v_{qref} v_{dref} değerleri elde edilmiştir. Elde edilen v_{qref} v_{dref} değerleri daha sonra Uzak Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu (UVDGM) bloğuna uygulanarak rotor tarafı evirici yapısı için gerekli olan anahtarlamaya sinyalleri elde edilmiştir.



Şekil 4: Rotor kontrol bloğu iç yapısı

5. Deneysel Çalışmalar

Gerçekleştirilen deney setine ait görünüm Şekil 5'te verilmiştir. Deneysel çalışmalar sırasında direnç ve bobinden oluşan yük birimi değişik kademelerde devreye alınarak generatör yüklenmiştir. Ayrıca Micromaster 440 motor sürücüsü kullanılarak farklı hız değerlerinde generatör çıkış gerilimi gözlemlenmiştir.



Şekil 5. Hazırlanan deney düzeneğinin görünümü

Şekil 6'da farklı hız değerleri için generatörün stator gerilim eğrileri ile rotor gerilim eğrileri verilmiştir. Şekil 6(a) da ÇBAG'nin mekaniksel hızı $n_m=1050$ d/d olarak ölçülmüştür. Burada stator gerilim frekansının 50 Hz olmasına karşın rotor gerilim frekansı 15 Hz olarak ölçülmüştür. Şekil 6(b) de ise ÇBAG'nin mekaniksel hızı $n_m=1185$ d/d olarak ölçülmüştür. Burada stator geriliminin frekansı değişmezken(50 Hz), rotor gerilim frekansı 10 Hz olarak ölçülmüştür. Aşağıda verilen eşitliğe göre,

$$\omega_s = \omega_{slip} + \omega_m \quad (7)$$

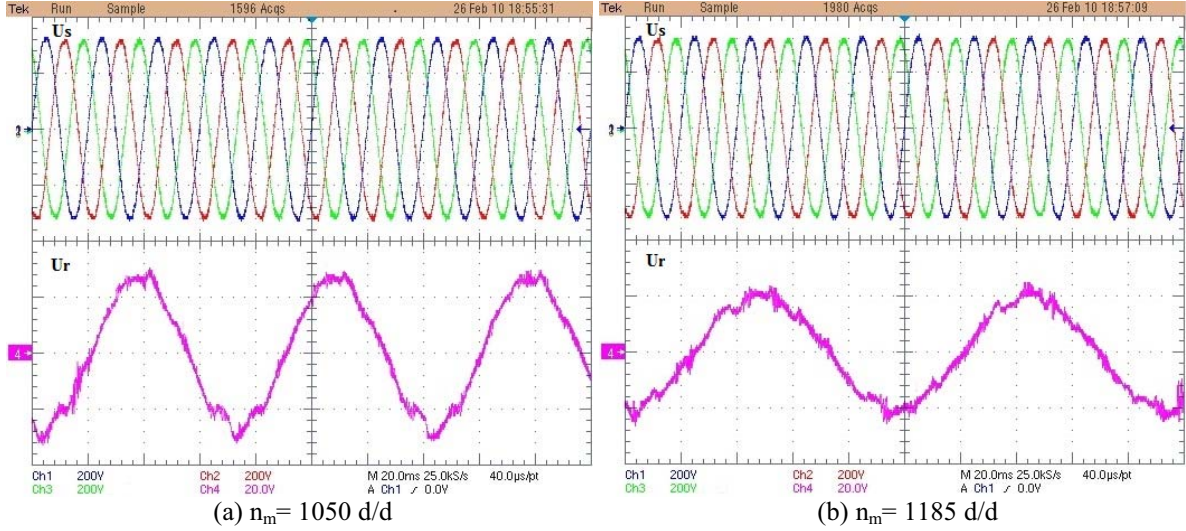
olduğundan stator döner alan frekansı (f_m) ile rotora uygulanan gerilimin frekansının, bir başka ifade ile kayma frekansının (f_{slip}) toplamı stator geriliminin frekansını (f_s) vermektedir. Şekil 6'da görüldüğü gibi farklı hız değerlerinde rotora uygulanan gerilimin frekansı kayma frekansında olduğu için stator gerilim frekansı yani generatör çıkış geriliminin frekansı sürekli olarak 50 Hz de sabit tutulmuştur.

Ayrıca stator çıkış geriliminin büyüklüğü;

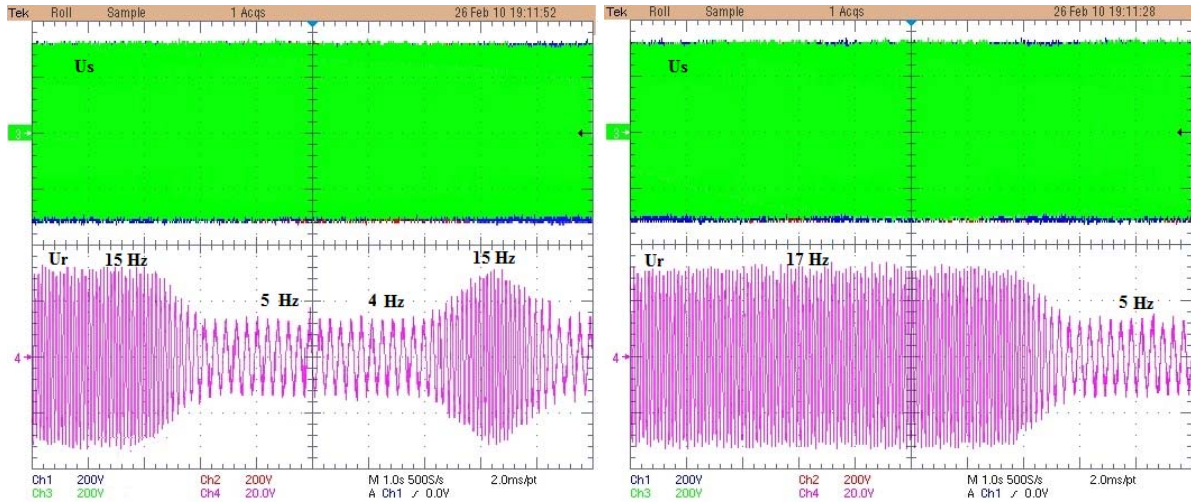
$$v_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d}{dt} \lambda_{sd} - \omega_d \lambda_{sq} \quad (8)$$

$$v_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d}{dt} \lambda_{sq} + \omega_d \lambda_{sd} \quad (9)$$

eşitliklerine göre mekaniksel hızın yanında rotora uygulanan gerilimin genliğine de bağlıdır. Bu nedenle mekaniksel hızdaki artışla birlikte rotora uygulanan gerilimin genliği ve frekansı düşürülürken, hızdaki azalmayla birlikte rotora uygulanan gerilimin genliği ve frekansı artırılmaktadır. Tüm bu işlemler hazırlanan denetim algoritması yapılmaktadır. Şekil 8'de ise mekaniksel hızın ani olarak değişmesine rağmen generatör çıkış geriliminin genliği ve frekansının sabit (220 V, 50 Hz) kaldığı görülmektedir. Hazırlanan denetim algoritmasının farklı rüzgar hızlarında ve ani rüzgar hızı değişimlerinde çıkış geriliminin genliğini ve frekansını sabit tutmada başarılı olduğu deneysel çalışmalar sonucunda görülmüştür.



Şekil 6. Farklı hız değerlerinde stator ve rotor gerilim eğrileri



6. Sonuçlar

Bu çalışmada ÇBAG'nin şebeke bağlantısız denetimi gerçekleştirilmiştir. Bunun için laboratuvar ortamında bir test düzeneği hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar sırasında farklı hız değerlerinde çalışma yapılabilmesi için değişken hızlı motor sürücüsü tarafından sürülen bir ASM, ÇBAG'nin miline akuple bağlanmıştır. ÇBAG'nin stator sargıları doğrudan yüke bağlanırken, rotor devresi gücü bir evirici yardımıyla denetlenmiştir. Rotora uygulanan gerilimin frekansı, büyüklüğü ve faz açısı rotor tarafı evirici yapısı yardımıyla denetlenmektedir. Bu nedenle şebeke tarafı evirici yapısının denetimi bu çalışmada incelenmemiştir. ÇBAG'nin rotor tarafı evirici yapısının denetimi için Matlab&Simulink'te hazırlanan denetim algoritması Texas Instruments firması tarafından üretilen TMS320F2812 DSP denetleyici kart yardımıyla çalıştırılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda denetim algoritmasının ÇBAG'nin stator gerilimini ve frekansını farklı hız ve yük değerlerinde sabit tutmada oldukça başarılı olduğu

görülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda, ÇBAG'nin şebekeye bağlantısının gerçekleştirilmesi amaçlanmaktadır.

7. Kaynaklar

- [1] Blaabjerg F., Chen Z., "Power Electronic for Modern Wind Turbines", Synthesis Lectures on Power Electronics #1, Institute of Energy Technology, Aalborg University, Denmark.
- [2] Petersson A., "Analysis, Modeling and Control of Doubly-Fed Induction Generators for wind Turbines", Phd Thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2005.
- [3] Ling P., Yongdong L., Jianyum C., Guofeng, "Vector Control of a Doubly Fed Induction Generator for Stand Alone Ship Shaft Generator Systems", Proceeding of International Conference on Electrical Machines and Systems, 8-11 Oct 2007, Korea.

- [4] Iwanski G., Koczara W., "PLL Grid Synchronization of The Standalone DFIG Based Wind Turbine or Rotary UPS", The International Conference on Computer as a Tool, 9-12 September 2007. Warsaw.
- [5] Gallardo S., Carrasco J.M., Galvan E., Franquelo L.G., "DSP-Based DFIG Test Bench Using a Back-to-Back Converter", The 30th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, November 2-6, 2004, Korea.
- [6] Iwanski G., Koczara W., "Sensorless Direct Voltage Control Method for Stand-Alone Slip-Ring Induction Generator", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 54(2), 1237-1239, 2007.
- [7] İskender İ., Genç N., "Rüzgar Türbini İle Sürülen Çift Çıkışlı Asenkron Jeneratörün İncelenmesi ve Bulanık Mantık Kontrol Yöntemiyle Maksimum Çıkış Gücünün Elde Edilmesi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 24(2), 343-350, 2009.
- [8] Davijani H.K., Sheikholeslami A., Livani H., Davijani M.K., "Fuzzy Logic Control of Doubly Fed Induction Generator Wind Turbine", World Applied Sciences Journal 6(4), 499-508, 2009.

Ek

Tablo 1. ÇBAG ve ASM etiket değerleri

ÇBAG	ASM
Stator	220/400 V Δ/Y 50 Hz
220/380 V Δ/Y 50 Hz	14.3/8.2 A Δ/Y 4 kW
17.1/9.9 A Δ/Y 4 kW	Cosφ=0.83 1440 rpm
Cosφ=0.8 1410 rpm	
Rotor	
130 V / 21 A	