

Seri Köprü Doğrultuculu Sığaç Özyuvarımlı Asenkron/Senkron Generatör

Onur Copçuoğlu¹ Güven ÖNBİLGİN² İrfan ŞENLİK²

¹İltek Enerji Yatırım San. ve Tic. A.Ş., İstanbul

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun

¹e-posta: onur@iltekiletisim.com ²e-posta: gonbilgi@omu.edu.tr , isenlik@omu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada “seri köprü doğrultuculu sığaç özyuvarımlı asenkron/senkron generatör” olarak adlandırılan özgün bir generatör yapısı önerilmiştir. Önerilen generatör yapısı ile sargılı rotorlu asenkron makina kullanarak üretilen gerilimin sıklığı yükü bağılı olarak değişmeyen, senkron çalışan bir generatör elde edilmektedir. Bu özelliğiyle önerilen yapının yükü bağılı olarak çıkış sıklığı değişen geleneksel sığaç uyarımlı asenkron generatörlere seçenek olması düşünülmektedir. Çalışmada, önerilen yeni generatör yapısının yanısıra yapıya temel oluşturan diğer bazı yapıların da başarımlı deneysel ve benzetimsel olarak incelenmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Abstract

In this study a novel generator configuration named as the “capacitor self excited asynchronous/synchronous generator with series bridge rectifier” has been proposed. With this configuration a wound rotor induction machine is utilised to generate voltage with frequency independent on the load. Hence, a synchronous generator is developed. This property makes it an alternative to the traditional capacitor excited induction generator. The study presents the new generator configuration alongside the other configurations that it has evolved from, by a comparative examination of experimental and simulation results.

1. Giriş

Günümüzde, fosil enerji kaynaklarının azalması, geleneksel enerji kaynaklarının çevreye uyumsuzluğu nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarına, özellikle yel enerjisi üretim sistemlerine, yönelim giderek artmaktadır.

Yel enerjisinden elektrik üretiminde enterkonnekte şebekeye paralel bağılı sistemlerin yanı sıra, şebekeden yalıtılmış, enerji kullanım noktasında tek başına çalışan üretim sistemlerinin de uygulamada büyük bir önemi vardır. Özellikle haberleşme operatörleri ve askeri alanda sahra gereksinimlerinin karşılanması için şebekeden yalıtılmış sistemlere ve bu sistemler için yeni yaklaşımlara gerek duyulmaktadır. Yel enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde, önemli bir konu da uygun generatör türü ve kontrol sistemi kullanımıdır.

Şebekeden yalıtılmış sistemlerde yaygın olarak kullanılan generatör türlerinin başında “sığaç uyarımlı asenkron generatörler” gelmektedir. Bu generatörlerde uyarım stator sargı uçlarına bağılı olan sığaç grupları ile sağlandığından “özyuvarımlı asenkron generatör” olarak da adlandırılırlar. Sincap kafesli rotor kullanıldığından yalın, sağlam ve ucuzdurlar. Çıkış sıklığının mil hızı ile yükü de bağılı olması sakıncadır.

Yazında geleneksel sığaç uyarımlı asenkron generatörlerdeki yük /sıklık bağılılığı sorununun çözümü olarak çeşitli generatör yapılarına rastlanmaktadır. “Sığaç uyarımlı reliiktans generatörleri” bunlardan biridir [1]. Reliktans generatörlerinde yük/sıklık bağılılığı sorunu yoktur. Fakat magnetik devredeki çıkıklıktan ötürü çıkış dalga biçiminde bozulmalar görülmesi bir sorundur [6]. Yazında “firçasız özyuvarımlı senkron generatör” adlı yapılar da görülmektedir [2,3]. Bu yapılar farklı faz sayısında rotor ve stator sargıları, ana ve yardımcı uyarım sargıları, köprü doğrultucu devreleri gibi öğeler içerir, oldukça karmaşıktır.

Yazında yer alan yük/sıklık bağılılığı olmayan bir başka yapı ise rotoru sargılı asenkron makina kullanılan ve stator ve rotor sargılarının doğrudan birbirine seri bağlandığı “seri özyuvarımlı asenkron/senkron generatör” yapısıdır (Şekil 2). Yalnlığı, ucuzluğu, sağlamlığı, az bakım gerektirmesiyle yeğlenen bir asenkron makina kullanılarak çıkış sıklığı yükü bağılı değişmeyen senkron çalışan bir generatör yapısı elde edilmektedir. Senkron çalışma için stator ve rotorda karşılıklı iki fazın sırasının yer değiştirilmesi gerekmektedir. Bu yapı Richard K. Dickey tarafından 1969’da bulunarak, Amerikan Patenti almıştır[4]. Patente, çok fazlı sargılı rotorlu almalı akım makinalarının stator ve rotor sargılarının uygun biçimde seri bağlanmasıyla motor çalışmada hız, generatör çalışmada sıklık kararlılığı sağlanacağı belirtilmiştir. Özyuvarımlı senkron generator yapısına ilişkin yazında Adel Mohamadein [5,6,7] ve Li Wang [8]’ın yayınlarında belirtilen yapının senkron çalışmasına ilişkin kuramsal incelemelere, geçici ve sürekli durum başarımlının çözümlenmesine yer verilmiştir. Üretilen gerilimin sıklığının düşük olduğu, çıkış sıklığının, aynı kutup sayılı senkron generatöre göre rotor hızının yarısına karşılık geldiği görülmüştür:

$$f = 0.5 \frac{P n_r}{50} \quad (1)$$

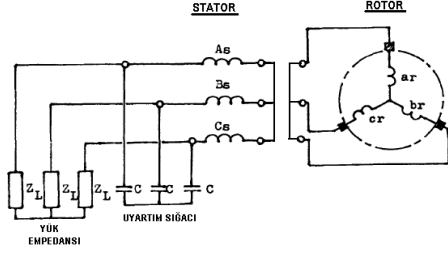
f : sıklık, P : kutup çifti sayısı, n_r : [d/d] rotor mili hızı

Bu çalışmada anılan yapılardan farklı bir “seri özyuvarımlı asenkron/senkron generatör” yapısına yer verilmektedir. Stator ve rotor sargıları doğrudan değil diyetli bir köprü doğrultucu üzerinden birbiriyle seri bağlanmaktadır (Şekil 4). Çıkış sıklığı doğrudan bağlantıda olduğu gibi düşük değildir ($f = P.n_r/60$). Sargılı rotorlu asenkron makinanın rotor ve stator sargılarının köprü doğrultucu üzerinden seri bağlanması ilk kez sargılı rotorlu asenkron motorların özenkronlanması amacıyla önerilmiştir (Şekil 3) , [9].

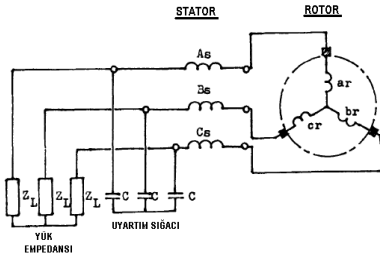
Çalışmada 1 kW’lık sargılı rotorlu bir model makina ile,

- (i) Sığaç uyarımlı asenkron generatör (Şekil 1.)
- (ii) Stator ve rotoru doğrudan seri bağılı özyuvarımlı asenkron/senkron generatör (Şekil 2.)
- (iii) Seri köprü doğrultuculu asenkron/senkron motor (Şekil 3.)
- (iv) Seri köprü doğrultuculu özyuvarımlı asenkron senkron generatör (Şekil 4.)

temel yapılarının deney ve bilgisayar benzetim sonuçlarına yer verilecektir. Benzetimde JMAG sonlu elemanlar yöntemi (SEY) ve PSIM yazılımlarından yararlanılmıştır. JMAG SEY yazılımı ile makinanın doymalı mıknatıslanma endüktansı, stator ve rotor kaçak endüktansları elde edilmiştir. Bunlar PSIM yazılımında kullanılarak benzetim yapılmıştır.



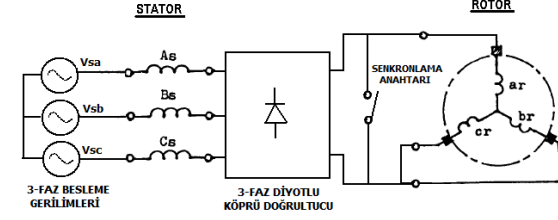
Şekil 1. Sığaç uyarımlı asenkron generator (Sargılı rotorlu asenkron makina ile, yıldız bağlı)



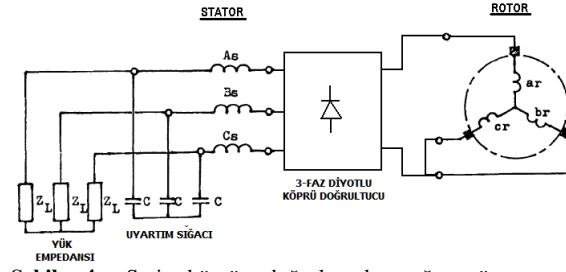
Şekil 2. Stator ve rotoru doğrudan seri bağli özuyarımli asenkron/senkron generator [4]

2. Deney Düzenegi ve Model Makina Parametreleri

Şekil 1- 4 deki temel yapıların deneysel incelenmesi için 3 fazlı 1 kW gücünde 6 bilezikli sargılı rotorlu bir asenkron makina kullanılmıştır. Generatorü sürmek için 2.2 kW gücünde bir sincap kafesli asenkron makina kullanılmıştır. Generator olarak kullanılan makinanın anma değeri: 1 kW, 220/380V, 5A/2.9A, 50 Hz, 1400 d/d. , generatorün standart deneyler ile edinilen parametreleri ise: $R_s = 8.6 \Omega$, $R_r = 2.6 \Omega$, $L_{s0} = 24.745 \text{ mH}$, $L_{r0} = 24.745 \text{ mH}$



Şekil 3. Seri köprü doğrultuculu asenkron/senkron motor (Danielson rotor, [9])



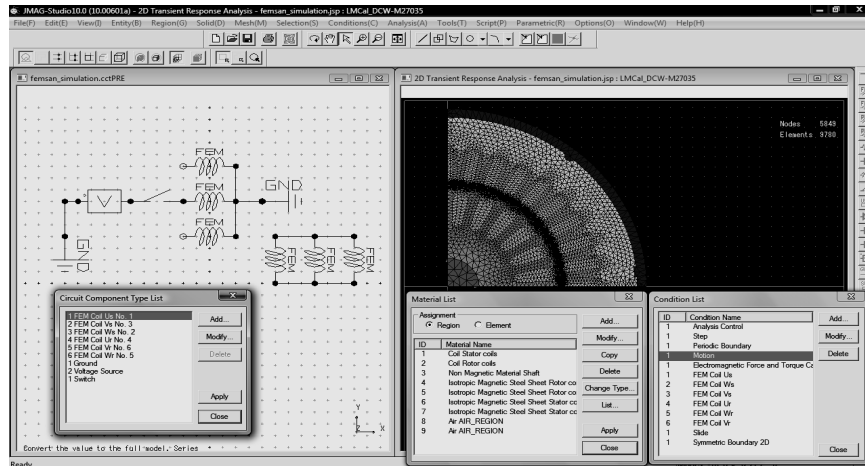
Şekil 4. Seri köprü doğrultuculu sığaç özuyarımli asenkron/senkron generator (Danielson rotor)

Deneyle elde edilen generator mıknatıslama endüktansı eğri Şekil 7'dedir.

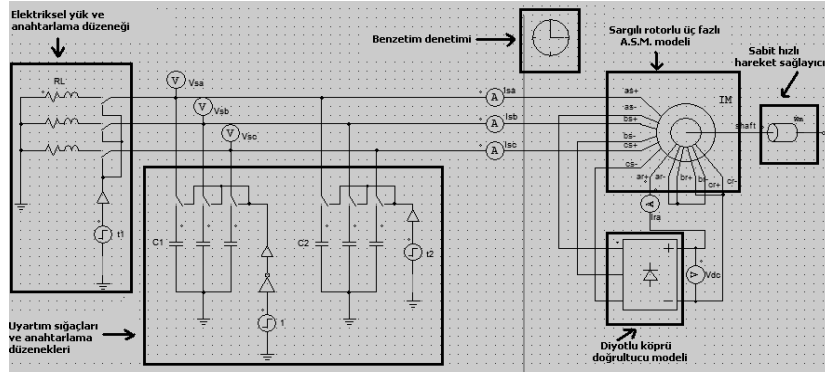
3. Benzetim

3.1. Sargılı Rotorlu Asenkron Generatorün Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) İle Modellemesi

Şekil 1- 4'deki temel yapıların benzetimi için deneysel incelemede kullanılan sargılı rotorlu asenkron makinanın JMAG SEY modeli oluşturulmuş ve makinanın doymalı mıknatıslanma endüktansı, stator-rotor kaçak endüktansları belirlenmiştir. Mıknatıslanma endüktansı için [10] daki D.A. uyarım tabanlı yöntem SEY yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. JMAG SEY ile elde edilen sargılı rotorlu asenkron makinanın mıknatıslanma endüktansı eğri Şekil 7'dedir.

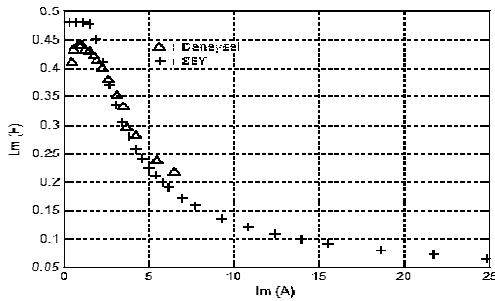


Şekil 5. JMAG SEY yazılımı ile sargılı rotorlu asenkron makinanın modellenmesi



Şekil 6. PSIM ile seri köprü doğrultuculu özuyarımli asenkron/senkron generatör yapısının benzetimi

Stator ve rotor kaçak endüktanslarını belirlemek için ise SEY yazılımında sırasıyla “çıkarılmış rotor” ve “çıkarılmış stator” deneyleri yapılmıştır



Şekil 7. Sargılı rotorlu asenkron makinanın deneysel ve JMAG SEY yazılımıyla elde edilen mıknatıslanma endüktansı verileri

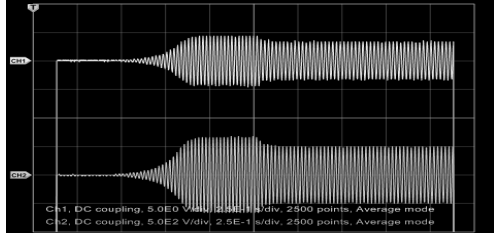
SEY ile stator ve rotor kaçak endüktansı değerleri , sırasıyla, $L_{\sigma s}=23.712 \text{ mH}$, $L_{\sigma r}=20.440 \text{ mH}$ elde edilmiştir. Şekil 5.'de JMAG SEY yazılımı modeli görülmektedir.

3.2. PSIM Benzetim Yazılımı ile Modelleme

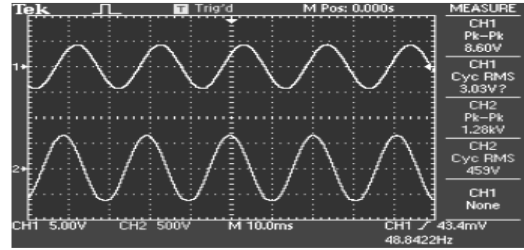
JMAG SEY yazılımı ile sargılı rotorlu asenkron makinanın endüktansları belirlenmiş, PSIM modelinde yerine yerleştirilip, uyarım sığaçları, yükler vb. modellenerek sistem modeli oluşturulmuştur. Modelde stator ve rotor dirençleri için deneysel değerler kullanılmıştır.Şekil 6'da seri köprü doğrultuculu sığaç özuyarımli asenkron/senkron generatör yapısının PSIM modeli verilmiştir. Mil değişmez hızla sürülmüş,kalıntı mıknatıslığın modellenmesi için uyarım sığaçlarına uygun başlangıç değerleri atanmıştır. $t=0$ 'da uyarım sığaçlarının devreye bağlandığı varsayılmıştır. Uyarım sığaçları ve yük yıldız bağlanmıştır.

4. Deney ve Benzetim Sonuçları

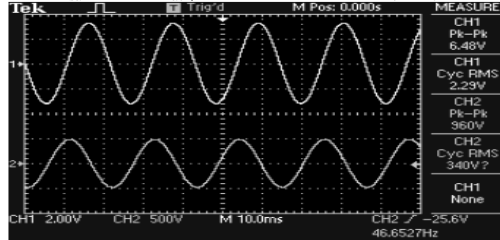
4.1. Sığaç Uyarımli Asenkron Generatör (SUAG)



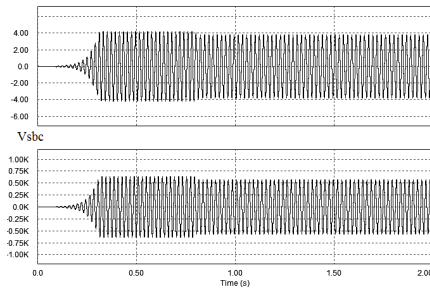
Şekil 8. SUAG Deney Bulgusu (geçici durum); CH1: I_{sa} , CH2: V_{sab} , ($n=1492 \text{ d/d}$, $C=36.43 \mu\text{F}$, $t=0$ 'da yüksüz, $t=0.8 \text{ s}$ 'de $R_L=240 \Omega$)



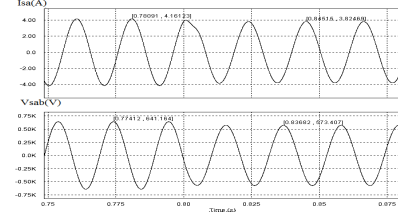
Şekil 9. SUAG Deney Bulgusu (sürekli durum) ; CH1: I_{sa} , CH2: V_{sab} , ($n=1492 \text{ d/d}$, $C=36.43 \mu\text{F}$, yüksüz)



Şekil 10. SUAG Deney Bulgusu (sürekli durum) ; CH1: I_{sa} , CH2: V_{sab} , ($n=1492 \text{ d/d}$, $C=36.43 \mu\text{F}$, $R_L=240 \Omega$)

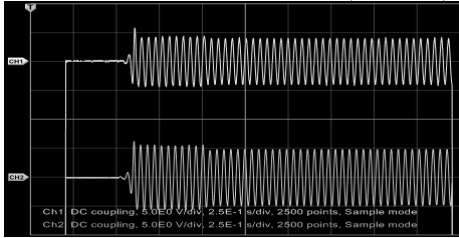


Şekil 11. SUAG Benzetimi (geçici durum) ($n=1492 \text{ d/d}$, $C=36.43 \mu\text{F}$, $t=0$ 'da yüksüz, $t=0.8 \text{ s}$ 'de $R_L=240 \Omega$)

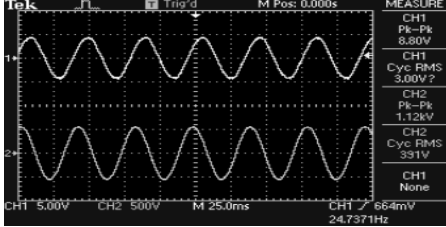


Şekil 12. SUAG Benzetimi (sürekli durum)($n=1492 \text{ d/d}$, $C=36.43 \mu\text{F}$, $t=0$ 'da yüksüz, $t=0.8 \text{ s}$ 'de $R_L=240 \Omega$)

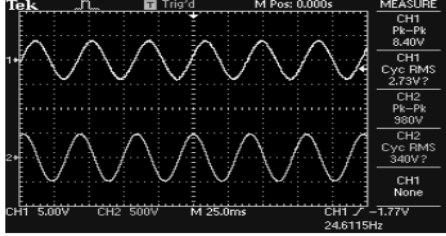
4.2. Doğrudan Seri Bağlantılı Özyuvarımlı Asenkron/Senkron Generatör (DSBASG)



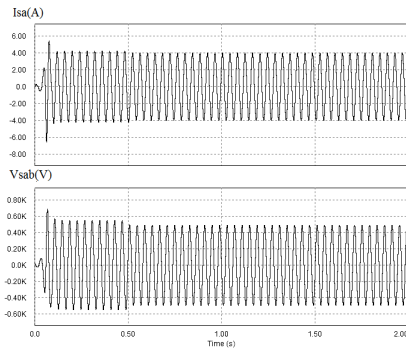
Şekil 13. DSBASG Deneysel Bulgusu (geçici durum);
CH1: I_{sa} , CH2: V_{sab} , ($n=1498$ d/d, $C=85.40$ μF , $t=0$ 'da yüksüz, $t=0.5$ s'de $R_L=240$ Ω)



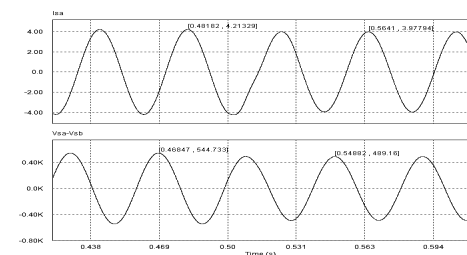
Şekil 14. DSBASG Deneysel Bulgusu (sürekli durum);
CH1: I_{sa} , CH2: V_{sab} , ($n=1498$ d/d, $C=85.40$ μF , yüksüz)



Şekil 15. DSBASG Deneysel Bulgusu (sürekli durum);
CH1: I_{sa} , CH2: V_{sab} , ($n=1498$ d/d, $C=85.40$ μF , $R_L=240$ Ω)

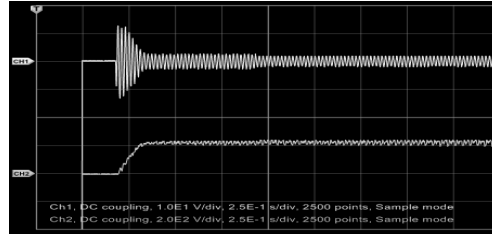


Şekil 16. DSBASG Benzetimi (geçici durum);
($n=1498$ d/d, $C=85.40$ μF , $t=0$ 'da yüksüz, $t=0.5$ s'de $R_L=240$ Ω)

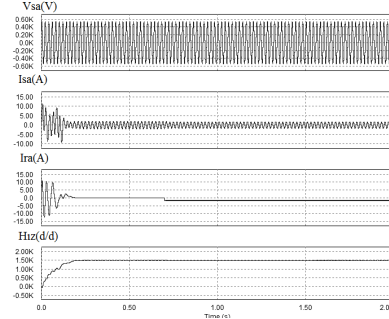


Şekil 17. DSBASG Benzetimi (sürekli durum);
($n=1498$ d/d, $C=85.40$ μF , $t=0$ 'da yüksüz, $t=0.5$ s'de $R_L=240$ Ω)

4.3. Seri köprü doğrultuculu asenkron/senkron motor (SKDASM)

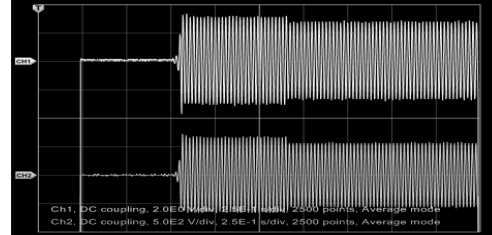


Şekil 18. SKDASM Deneysel Bulgusu (geçici durum, boşta ç.)
 $t=0$ s'de $V_{sab}=374$ V, CH1: I_{sa} , CH2: n (d/d)

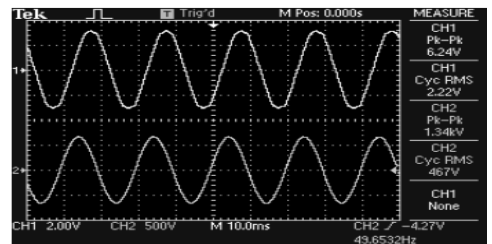


Şekil 19. SKDASM Benzetimi (geçici durum, boşta çalışma,
 $t=0.65$ s senkronlama)

4.4. Seri köprü doğrultuculu sığaç uyartımlı asenkron/senkron generatör (SKDASG)



Şekil 20. SKDASG Deneysel Bulgusu (geçici durum);
CH1: I_{sa} , CH2: V_{sab} , ($n=1489$ d/d, $C=25.80$ μF , $t=0$ 'da yüksüz, $t=0.65$ s'de $R_L=490$ Ω)

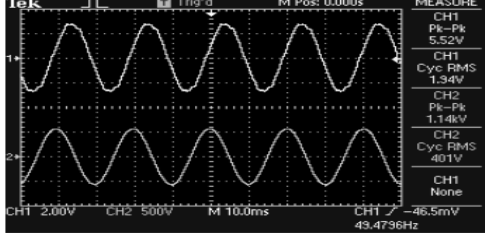


Şekil 21. SKDASG Deneysel Bulgusu (sürekli durum);
CH1: I_{sa} , CH2: V_{sab} , ($n=1489$ d/d, $C=25.80$ μF , yüksüz)

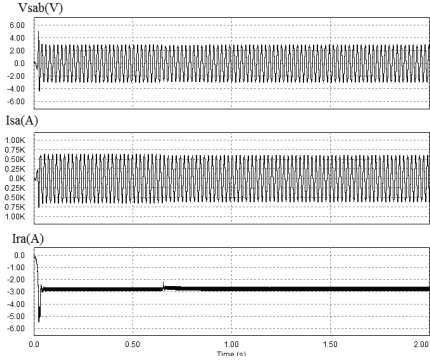
5. Tartışma

Şekil 7.'de verilen deney makinasına ilişkin mıknatıslanma endüktansı eğrisinde, SEY ile elde edilen verilerin düşük ve çok yüksek mıknatıslanma akımlarında deneysel sonuçlarla farklılık gösterdiği, ancak akımına doğru daha çok yakınsadığı görülmüştür. Sonuçlardaki farklılıkların olası nedenlerin, ölçüm hataları, ölçüm yöntemindeki eşdeğer devrenin yaklaşık model oluşu, sonlu elemanlar modeli makina geometrisi ve malzeme özelliklerinin tanımlanması hataları,

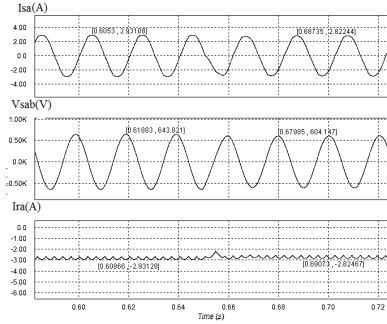
model varsayımları (stator ve rotor dirençlerinin sıcaklıkla değişmediği, laminasyon katsayısının %95 olması, B-H özgeçiriminin üretici firma ölçüm değerleriyle modellenmesi) gösterilebilir. Deneysel sonuçlarla, benzetim sonuçlarının genelde benzeştiği, sonuçlardaki farklılıkların ise büyük oranda mknatsızlanma eğrisi modelindeki hatalardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 22. SKDASG Deneysel Bulgusu (sürekli durum) ;
CH1: I_{sa} , CH2: V_{sab} ($n=1489$ d/d , $C=25.80$ μF , $R_L=490$ Ω)



Şekil 23. SKDASG Benzetimi (geçici durum);
($n=1489$ d/d sbt., $C=25.80$ μF sbt., $t=0$ 'da yüksüz, $t=0.65$ s'de $R_L=490$ Ω)



Şekil 24. SKDASG Benzetimi (sürekli durum);
($n=1489$ d/d sbt., $C=25.80$ μF sbt., $t=0$ 'da yüksüz, $t=0.65$ s'de $R_L=490$ Ω)

SUAG, DSBASG ve SKDASG generatör yapılarından bu çalışmada önerilen SKDASG yapısının anma hızında, anma gerilimi için özellikle DSBASG yapısına göre çok daha küçük uyarım sığacına gereksinim duyduğu görülmüştür.

Şekil 9-10, Şekil 14-15 ve Şekil 21-22 değerlendirildiğinde seri bağlantılı yapılarda (DSBASG ve SKDASG) yüklendikçe çıkış sıklığının fazla değişmediği (% 0.35-0.50), SUAG yapısında yükte çıkış sıklığının çok değiştiği (% 4.5) görülmüştür (Şekil 9-10). Şekil 14-15'den yaklaşık aynı hızda DSBASG yapısında üretilen gerilimin sıklığının düşük olduğu (24.7 Hz), bu çalışmada önerilen SKDASG yapısında düşük olmadığı (49.6 Hz) görülmüştür.

Şekil 8, Şekil 13 ve Şekil 20 den seri bağlantılı yapıların daha hızlı sürekli duruma ulaştıkları görülmüştür.

6. Sonuç

Bu çalışmada sargılı rotorlu asenkron makinanın stator ve rotor sargılarının diyotlu bir köprü doğrultucu üzerinden seri bağlanmasıyla elde edilen özuyartımlı bir asenkron/senkron generatör yapısı önerilmiştir. Yükten bağımsız çıkış sıklığı ile senkron generatör gibi bir generatör yapısı elde edilmektedir. Çıkış sıklığı stator ve rotor sargılarının doğrudan seri bağlandığı yapıdaki gibi düşük değildir. Bu generatör yapısının şebekeden yalıtılmış yer ve mikro-hidro enerji sistemlerinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

7. Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan JMAG ve PSIM yazılımları için TÜBİTAK 108E260 nolu Projesi kapsamında TÜBİTAK'a teşekkür ederiz.

8. Kaynakça

- [1] Nagrial, M., Rahman, A.M., 1988. "Operation and characteristics of self-excited reluctance generator" *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 1988, Pittsburgh, USA, Vol.1, p.p. 55-58.*
- [2] Fukami T., Hanada Y., Miyamoto T. , "Analysis of the self -excited three phase synchronous generator utilizing the second space harmonic for excitation", *Electrical Engineering in Japan, Vol. 121, No.1., 1997, pp. 57-65.*
- [3] Cingoski , V., Mikami, M. , Yamashita, H., "Computer simulation of a three phase brushless self-excited synchronous generator" , *IEEE Transactions on Magnetics, Vol.35, No.3., 1999, pp. 1251-1254.*
- [4] Dickey, R.K. , "Electrical Polyphase machine having stator and rotor windings connected in series to polyphase supply", *US Patent 3421062, Jan. 7, 1969.*
- [5] Mostafa, A. S., Mohamadein , A. L., and Rashad, E. M., "Analysis of series connected wound-rotor self-excited induction generator", *IEE Proceedings-B, Vol. 140, No. 5, 1993, pp. 329-336.*
- [6] Mohamadein, A. L. and Shehata, E. A., "Theory and performance of self-excited series connected synchronous generators", *IEEE Trans. Energy Conversion, Vol. 10, No. 3, 1995, pp. 508-515.*
- [7] Mohamadein, A.L., Yousef, H.A., Dessouky, Y.G., " Series connected self-excited synchronous generator: Steady state and transient behaviours" , *IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.14, No.4 , 1999, pp. 1108-1114*
- [8] Wang, L. , Su, M.-S., "A Novel Scheme For Performance Analysis of An Autonomous Self-excited Parametric Generator", *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2006, Montreal, Canada, pp. 1-6*
- [9] Özdemir, M., Bayındır, M. I., Önbilgin, G. "Steady-State and Transient Performance of a series excited synchronous motor", *COMPEL, Vol.21, No.3, 2002, pp.377– 392.*
- [10] Stankovich, A.V., Benedict, E. L., John, V., Lipo, T. A., "A novel method for measuring induction machine magnetizing inductance", *IEEE Transactions on industry applications, 2003, Vol. 39., No. 5., pp. 1257-1263.*