

SIĞAÇ UYARTIMLI ASENKRON GENERATÖRÜN PARK VEKTÖRLERİYLE MODELLENMESİ

Onur COPÇUOĞLU¹ Güven ÖNBİLGİN²

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 55139, Kurupelit, Samsun

¹e-posta:ocopcu@omu.edu.tr ²e-posta:gonbilgi@omu.edu.tr

Anahtar sözcükler: Asenkron generatör, öz uyartım, Park Vektörleri,

ÖZET

Bu bildiride öz uyartımlı asenkron generatörün geçici durum davranışının incelenmesi için Park Vektörlerini içeren matematiksel bir model sunulmuştur. Asenkron makina denklemleri yüksüz durum ve direnç yükü durumu için birim değer sisteminde Park Vektörleriyle yazılmıştır. Denklemlerin sayısal çözümü ve geçici durum davranışının benzetimi amacıyla Fortran 77 programlama dilinde bir benzetim programı yazılmıştır. Mıknatıslanma nedeniyle mıknatıslanma reaktansı sabit olmadığından mıknatıslanma reaktansına mıknatıslanma akımının kesirli bir işlevi olacak biçimde bir eğri uydurulmuştur. Yöntemin geçerliliğini ve doğruluğunu sınamak için benzetim sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda geliştirilen bu modelle sistem parametrelerinin generatör çıkış gerilimine ve frekansına etkisi incelenebilmektedir.

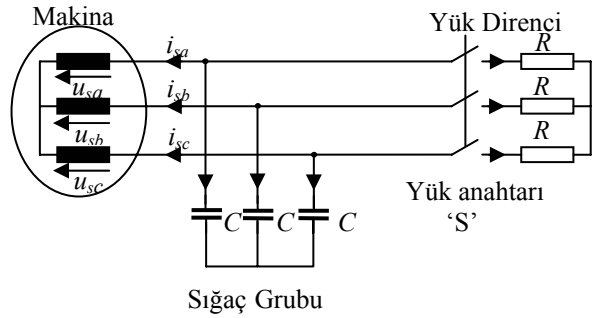
I. GİRİŞ

Günümüzde artan enerji gereksinimini karşılarken, ekonomik ve çevresel faktörlerin de hesaba katılması yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmaktadır. Bu nedenle rüzgar, hidroelektrik, biyogaz gibi enerji kaynaklarının sürdürülen uygun yalıtılmış generatörlerin geliştirilmesi konusu önem kazanmıştır. Ucuzluğu, fırçasız rotor yapısı, aşırı yük ve kısa devrelere karşı kendiliğinden korumalı olması sığağ uyartımlı asenkron generatörleri kullanışlı kılar.[5]

Bir sığağ uyartımlı asenkron generatörde öz uyartım hızının, yükün, uçlara bağlanan sığağın uygun bağlantılarında gerçekleşebilir.[6] Öz uyartımın gerçekleşebileceği en küçük ve en büyük sığağ değerlerinin bilinmesi büyük önem taşır. Sığağ ve yük değerinin uygun seçilmesi doyma açısından önemlidir. Öz uyartımın sağlanması için kalıntı mıknatıslık zorunludur.[7]

Bu çalışmada Park Vektörleri kullanılarak, sığağ uyartımlı asenkron generatörün dinamik davranışı incelenmiştir. Bunun için sığağ uyartımlı asenkron generatörün bire indirgenmiş park vektörleri ile yazılmış durum denklemleri elde edilmiş ve elde

edilen bu durum değişkenleri niceliklerinin zamanla değişimlerini hesaplamak için bir benzetim programı yazılmıştır. Son olarak bu program yardımıyla çeşitli koşullar için ölçülen makina parametreleri kullanılarak makinanın geçici durum davranışı incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 1. Sığağ uyartımlı asenkron generatörün gösterimi

II. GENERATÖR İÇİN PARK VEKTÖRÜ TANIMLARI [2]

i_{sa}, i_{sb}, i_{sc} stator faz akımlarının anlık değerleri ve $a=e^{j120}$ 120 derece çevirme işlevi olmak üzere stator akımı park vektörü:

$$\underline{i}_s = \frac{2}{3} (i_{sa} + \underline{a}i_{sb} + \underline{a}^2 i_{sc})$$

$$\underline{i}_r = \frac{2}{3} (i_{ra} + \underline{a}i_{rb} + \underline{a}^2 i_{rc}) \text{ olur.}$$

Benzer tanımlar gerilim ve akı vektörleri içinde geçerlidir.

III. MAKİNA DENKLEMLERİ

$$\frac{d}{d\tau} \begin{bmatrix} \underline{\psi}_s \\ \underline{\psi}_r \\ \underline{u}_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\left(\frac{R_s}{\sigma X_s} + j\omega_r\right) & \left(\frac{R_s X_m}{\sigma X_s X_r}\right) & 1 \\ \left(\frac{R_r X_m}{\sigma X_r X_s}\right) & -\left(\frac{R_r}{\sigma X_r} + j(\omega_r - \omega_m)\right) & 0 \\ -Z_c \frac{1}{\sigma X_s} & Z_c \frac{X_m}{\sigma X_r X_s} & -Y_r Z_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\psi}_s \\ \underline{\psi}_r \\ \underline{u}_s \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} \underline{i}_s \\ \underline{i}_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma X_s} & -\frac{X_m}{\sigma X_r X_s} \\ -\frac{X_m}{\sigma X_r X_s} & \frac{1}{\sigma X_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{\psi}_s \\ \underline{\psi}_r \end{bmatrix} \quad (2)$$

Burada tüm değişkenler birim değerdedir ve

$$\sigma = 1 - \frac{X_m^2}{X_s X_r}, \quad \tau = t / T_B, \quad T_B = 1 / \omega_N$$

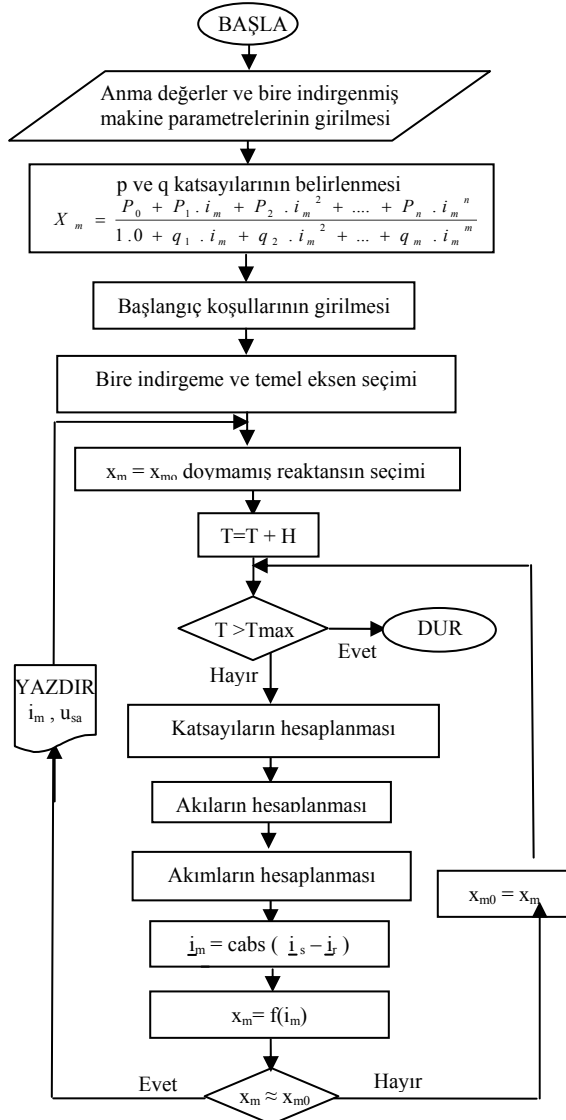
$$\underline{u}_s = \underline{u}_s / U_B, \quad U_B = U_N \sqrt{2}, \quad \underline{i}_s = \underline{i}_s / I_B, \quad I_B = I_N \sqrt{2}$$

$$\underline{\psi}_s = \underline{\psi}_s / \psi_B, \quad \psi_B = U_B T_B, \quad Z_B = U_B / I_B, \quad \underline{u}_r = 0$$

$$Y_C = \omega_N C Z_B = \frac{2\pi f_N U_B C}{I_B}, \quad Z_C = 1 / Y_C, \quad Y_R = Z_B / R$$

ω_T : Seçilen temel eksen sisteminin açısal hızı (p.u.)

IV. BENZETİM YÖNTEMİ VE PROGRAM AKIŞ ÇİZGESİ

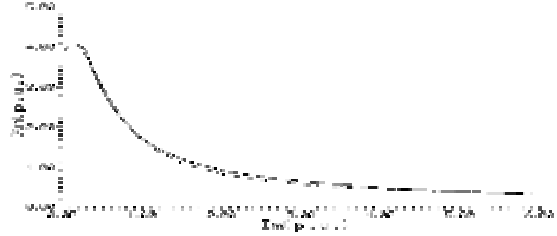


Şekil 2. Benzetim programı akış çizgesi

Benzetim programının akış çizgesi Şekil 2 de verilmiştir. Benzetim uygulamaları için [3] nolu kaynakta verilen yıldız bağlı 220 V, 4.8 A, 60 Hz, anma değerli, parametreleri birim değerlerle $R_s=0.0946$, $R_r=0.0439$, $X_{sg}=X_{rg}=0.0865$ ve senkron hızı 3600 d/d olan bir makina kullanılmış ve elde edilen benzetim sonuçları [3] nolu kaynakta verilen deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yalnız [3] nolu kaynakta verilen parçalı doğrusal i_m - x_m ilişkisi yerine kısmi kesirli yaklaşım yöntemini kullanılarak X_m 'ye i_m 'nin kesirli bir işlevi olacak biçimde bir eğri uydurulmuştur. [4]

$$X_m = \frac{p_0 + p_1 i_m + p_2 i_m^2}{1.0 + q_1 i_m + q_2 i_m^2}$$

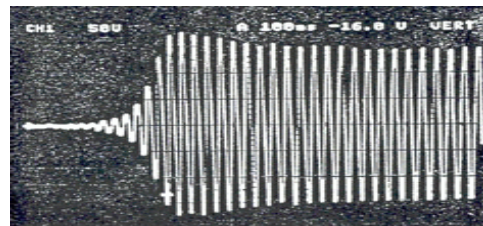
Katsayıları bulmak için belirli sayıda (x_m, i_m) çiftleri alınmış ve bu amaçla yazılan en küçük kareler yöntemini içeren bir bilgisayar programı kullanılarak $p_0=3.82559$, $p_1=3.51586$, $p_2=0.685676$, $q_1=-0.0976413$ ve $q_2=3.93493$ hesaplanmıştır.



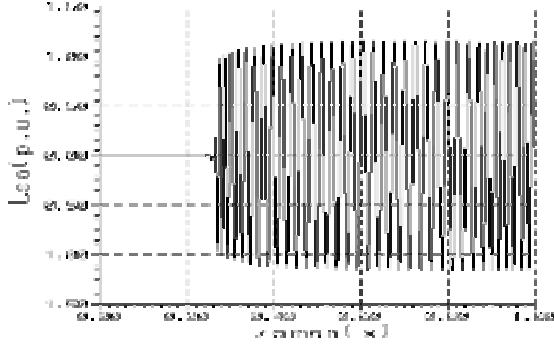
Şekil3. Generatörün birim değere indirgenmiş mıknatıslanma eğrisi, :gerçek, - - -: uydurulan

V. BENZETİM UYGULAMALARI

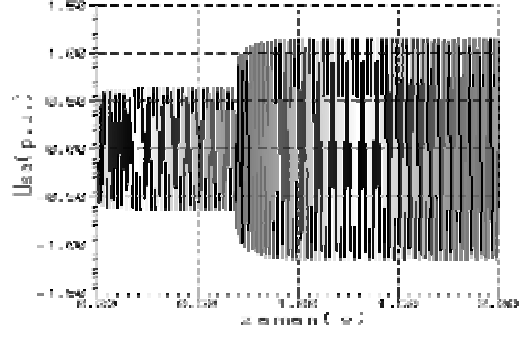
[3] nolu kaynakta parametreleri verilen sığaç uyartımlı asenkron generatör sistemindeki deneysel sonuçlar ve benzetim programıyla elde edilen hesaplanmış sonuçlar (boşta üretilen gerilim, yükte direnç ekleme-çıkarmanın gerilim üzerindeki etkileri) Şekil 4,5,6 da verilmiştir. Şekil 7 de sistemin sürekli durumda üreteceği gerilim değerinin mıknatıslama eğrisi ($E-I_m$) ile sığaç doğrusu (X_c-I_m) nun kesişme noktasındaki değeri, şekil 4 teki sonuçlarla karşılaştırılmak için elde edilmiştir. Şekil 8 de hızın kuramsal olarak zamanla (birim değer olarak) artışı durumu için üretilen gerilimin biçimi elde edilmiştir. Benzetim programı Şekil 9 ve Şekil 10 da gösterildiği gibi başlangıç değeri (b.d.) etkisini, Şekil 11 ve Şekil 12 de gösterildiği gibi sığaç boyutlandırma etkisini elde etmek için kullanılmıştır.



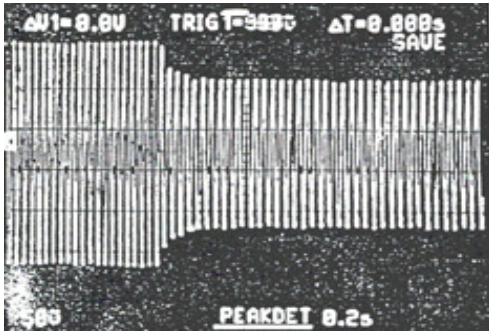
Şekil 4a. Deneysel olarak elde edilen generatör çıkış gerilimi [3], $C=247 \mu F$, $\omega_m=2500$ d/d



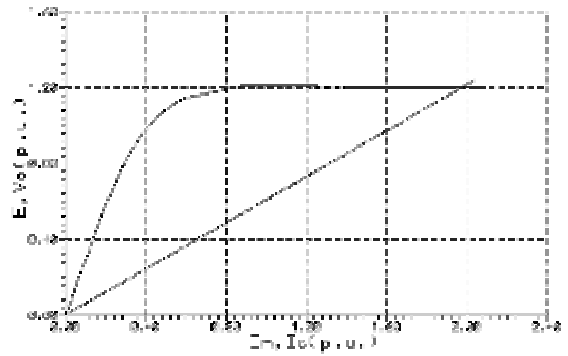
Şekil 4b. Benzetim sonucu elde edilen çıkış gerilimi $C=247 \mu\text{F}$, $\omega_m = 2500 \text{ d/d}$, b.d.= $U_{s0} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ p.u.}$, $f=40 \text{ Hz}$



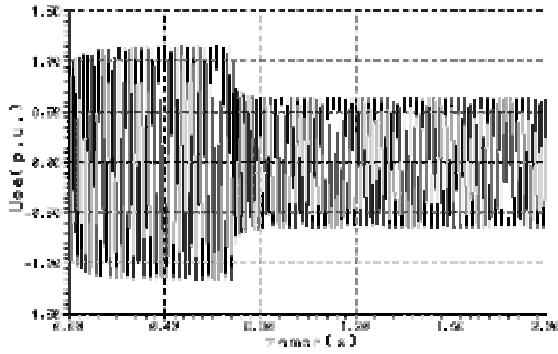
Şekil 6b. Eklenen $R=40 \Omega$ 'luk direnç $t=0.68 \text{ sn}$ anından çıkarıldığında benzetim sonucu elde edilen generatör çıkış gerilimi



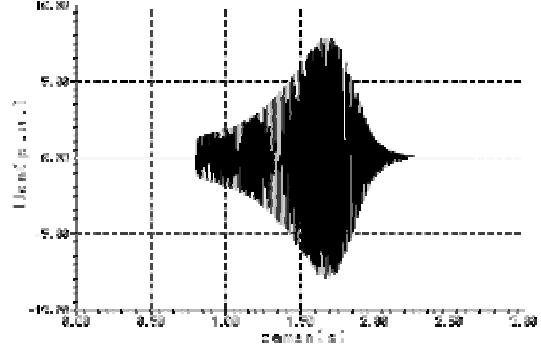
Şekil 5a. Boşta çalışan generatöre aniden $R=40 \Omega$ 'luk direnç eklendiğinde deneysel olarak elde edilen generatör çıkış gerilimi [3]



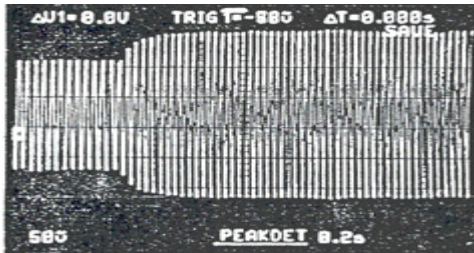
Şekil 7 Miknatıslama eğrisi ile sığaç doğrusunun kesişmesi , ($f=40 \text{ Hz}$ için)



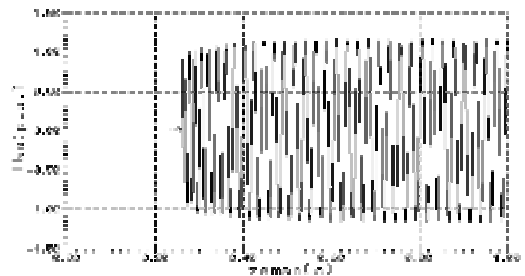
Şekil 5b.Boşta çalışan generatöre $t=0.68 \text{ sn}$ de $R=40 \Omega$ 'luk direnç eklendiğinde benzetim sonucu elde edilen generatör çıkış gerilimi



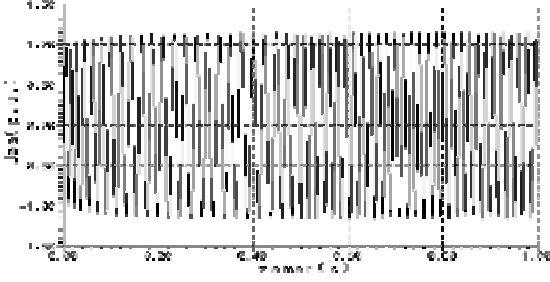
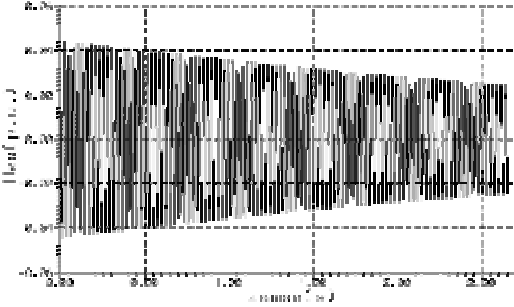
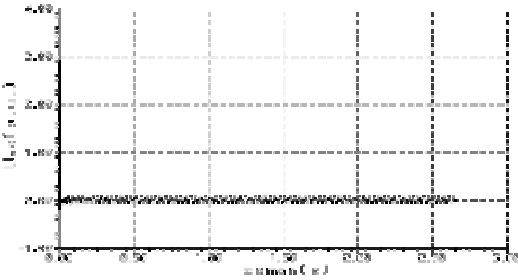
Şekil 8. Hız etkisi, $\omega_m = t \text{ p.u.}$, $C=247 \mu\text{F}$



Şekil 6a. Eklenen $R=40 \Omega$ 'luk direnç aniden çıkarıldığında deneysel olarak elde edilen generatör çıkış gerilimi [3]



Şekil 9. Başlangıç değeri etkisi, b.d.= $\psi_{s0}=5e-4 \text{ p.u.}$

Şekil 10. Başlangıç değeri etkisi, b.d.= $U_{so}=1.0$ p.u.Şekil 11. Sığaç etkisi, $C=50 \mu F$, b.d.= $U_{so}=5$ p.u.Şekil 12. Sığaç etkisi, $C=2000 \mu F$, b.d.= $U_{so}=5$ p.u.

VI. SONUÇ

Bu çalışmada Park Vektörleri kullanılarak sığaç uyarımlı asenkron generatörün sayısal hesaplamaya uygun bir modeli geliştirilmiştir. Park Vektörlerinin karmaşık denklemlerin gerçel ve sanal kısımlara ayrılardan çözülebilmeye olanak sağlamasıyla durum modelinde katsayılar matrisinin boyutu küçülmüştür. Tüm parametreler birim değere indirgendiğinden benzetim sırasında karşılaşılabilecek matematiksel sınırlamalardan kurtulunmuştur. Mıknatıslanma reaktansının doğrusal olmayan değişimi, mıknatıslanma reaktansını mıknatıslanma akımının kesirli bir işlevi biçiminde tanımlamakla doğru bir şekilde modellenmiştir. Benzetim uygulamalarında deneysel ve hesaplanan sonuçlar arasında yeterli uygunluk gözlenmiştir. Bu yöntemle sığaç uyarımlı asenkron generatörün çalışmasında hız, başlangıç değeri ve sığa boyutunun etkilerinin, yükteki değişimleri de içerecek biçimde, geçici durumda elde edilmesinin olanaklı olduğu gösterilmiştir.

Benzetim uygulamaları sonucunda durum değişkenlerinin başlangıç değeri ne kadar büyük olursa generatörün gerilim üretmeye o kadar çabuk başladığı görülmüştür (Şekil 9 ve 10). Buna karşın başlangıç değeri ne kadar büyük olursa olsun uyarım sığacı uygun bir değer aralığında ($C_{min} < C < C_{max}$) değilse generatörün gerilim üretmediği de görülmüştür (Şekil 10 ve 11). C_{min} ve C_{max} değerleri kullanılan makina için benzetim sonucunda 50 ve 2000 μF bulunmuştur. Ayrıca generatör hızının çıkış geriliminin genliğini ve sıklığını artırmasının yanında hız için de sığaç etkisine benzer şekilde belirli bir sığaç değeri için bir kritik minimum ve maximum değer olduğu görülmüştür. Şekil 8'e bakılırsa generatör geriliminin ω_m 'nin yaklaşık 1.7 p.u.değerinden sonra azaldığı ve 2.2 p.u. dan sonra generatörün gerilim üretmediği görülür. Çalışmanın daha karmaşık sistemleri içerecek biçimde geliştirilmesi öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] SEZGİN, A. : 'Asenkron makinanın sayısal benzetimi', Yüksek Lisans Bitirme Tezi, Trabzon, 1983
- [2] KOVACZ, K.P.: 'Transient phenomena in electrical machines', Elsevier, 1984
- [3] WANG, L., and LEE, C.H. : 'A novel analysis on the performance of an isolated self-excited induction generator', IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol.12, No.2, June 1997, PP log-115
- [4] SANATHANAN, C.K. and KOERNER, J. : 'Transfer function synthesis as a ratio of two polynomials', IEEE Transaction On Automatic Control, Vol. AC-8, 1963, pp. 56-58
- [5] OUHROUCHE, M.A. : 'EMTP based simulation of a self-excited induction generator after its disconnection from the grid', IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.13, no.1, March 1998, pp.7-13
- [6] CHAKRABORTY, C., BHADRA S.N, and CHATTOPADAVAY, A.K. : 'Excitation requirements for stand alone three-phase induction generator', IEEE Trans. On Energy Conversion , Vol.13, No.4, December 1998, pp. 358-365
- [7] SALAMA, H.M., and HOLMES, P.G. : 'Transient and steady-state load performance of a stand alone self - excited induction generator', IEE Proc. Electr. Power Apply, Vol.143, No.1, January 1996, pp.50-58