

EVİRGEÇ BESLEMELİ SENKRON MOTORLARDA ÇIKIKLIK ETKİLERİ

Abuzer ÇALIŞKAN¹

Ahmet ORHAN²

^{1,2}Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Fırat Üniversitesi, 23279, Elazığ

¹e-posta: acaliskan@firat.edu.tr

²e-posta: aorhan@firat.edu.tr

Anahtar sözcükler: Senkron Motor, Self Kontrollü Senkron Motor

ABSTRACT

The effects of the saliency in inverter-fed synchronous motor is investigated in this article. It is revealed how the saliency affect the dynamic and steady state performances of a self-controlled synchronous motor. The obtained results are presented comparatively for two different cases fed by inverter with both current and voltage source.

1. GİRİŞ

Senkron motorlar, rotor yapısına bağlı olarak yuvarlak ve çıkık kutuplu olmak üzere iki grupta ele alınırlar. Düşük hız uygulamalarında; çıkık kutuplu senkron motorlar akım kaynağı evirgeci (AKE) ve doğrudan frekans çeviriciler ile çimento sanayindeki döner fırınlarda yaygın olarak kullanılırlar. Yüksek hızlarda ise merkezkaç kuvvet etkilerinden dolayı çıkık kutuplu senkron motorlar kullanılmaz, genelde yuvarlak kutuplu senkron motorlar tercih edilirler [1].

Rotor çıkıklığının etkileri sinüzoidal beslemeli senkron motorlar için literatürde detaylı olarak incelenmiştir. Ancak değişken hız uygulamalarında özellikle de evirgeç beslemeli sistemlerde rotor çıkıklık etkileri detaylı olarak araştırılmamıştır. Vektör kontrollü sürücü düzeneklerde de bu konuda önemli araştırma eksiklikleri bulunmaktadır.

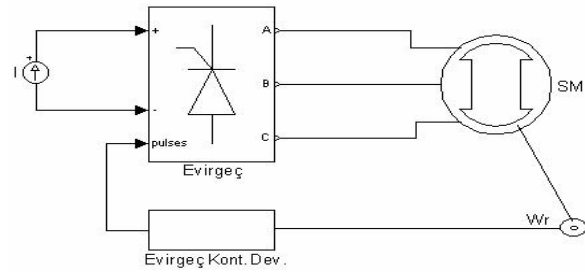
2. SELF KONTROLLÜ SENKRON MOTORUN MODELLENMESİ

Senkron motorun stator gerilimlerinin frekansı rotor hızı ile belirleniyorsa bu kontrol şekline self kontrol denilir. Senkron motorun self kontrolünde, evirgeç anahtarları motor hızıyla orantılı bir frekansta tetiklenir yani hız ile tetikleme frekansı kilitlenir [1]. Şekil-1'de akım kaynaklı bir evirgeçten beslenen self kontrollü senkron motorun blok diyagramı görülmektedir.

Bu çalışmada self kontrollü senkron motorun benzetim programında (1)–(12) ile verilen denklemler kullanılmıştır [3].

$$V_{qs} = R_s I_{qs} + W_r \lambda_{ds} + p \lambda_{qs} \quad (1)$$

$$V_{ds} = R_s I_{ds} - W_r \lambda_{qs} + p \lambda_{ds} \quad (2)$$



Şekil-1. Akım Kaynağı Evirgeçinden Beslenen Self Kontrollü Senkron Motor

$$V_{kq} = R_{kq} I_{kq} + p \lambda_{kq} \quad (3)$$

$$V_{kd} = R_{kd} I_{kd} + p \lambda_{kd} \quad (4)$$

$$V_{fd} = R_{fd} I_{fd} + p \lambda_{fd} \quad (5)$$

Akı bağı ifadeleri;

$$\lambda_{qs} = L_{ls} I_{qs} + L_{mq} (I_{qs} + I_{kq}) \quad (6)$$

$$\lambda_{ds} = L_{ls} I_{ds} + L_{md} (I_{ds} + I_{fd} + I_{kd}) \quad (7)$$

$$\lambda_{kq} = L_{lkq} I_{kq} + L_{mq} (I_{qs} + I_{kq}) \quad (8)$$

$$\lambda_{fd} = L_{lyd} I_{fd} + L_{md} (I_{ds} + I_{fd} + I_{kd}) \quad (9)$$

$$\lambda_{kd} = L_{lkd} I_{kd} + L_{md} (I_{ds} + I_{fd} + I_{kd}) \quad (10)$$

Moment;

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} (\lambda_{ds} I_{qs} - \lambda_{qs} I_{ds}) \quad (11)$$

Hareket denklemi;

$$T_e = j \cdot \left(\frac{2}{p} \right) \cdot p \cdot W_r + T_L \quad (12)$$

Çıkık kutuplu bir senkron motorun stator ve alan mmk'larının sinüzoidal dağılımlı oldukları kabul edilirse; elde edilen ortalama moment (13) denklemi ile verilir.

$$T_e = K_1 \cdot I_a I_{fd} \cdot \sin \delta + K_2 \cdot I_a^2 \cdot \sin 2\delta \quad (13)$$

Burada; K_1 ve K_2 moment sabitleri, I_a stator akımının genliği, I_{fd} alan (uyarma) akımının genliği ve δ ise stator ve uyarma mmk'ları arasındaki açıdır. (13) denkleminde K_2 sabiti sıfır alınırsa yuvarlak kutuplu makineye ait moment denklemi elde edilmiş olur. δ açısı 90° de tutulur, uyarma akımı da sabit bir değere ayarlanırsa; moment stator akımıyla değiştirilebilir. Çıkık kutuplu olmayan motorda kararlı çalışma aralığı $0-90^\circ$ arasında, çıkık kutuplu motorda ise 90° den küçük tutulmalıdır [2].

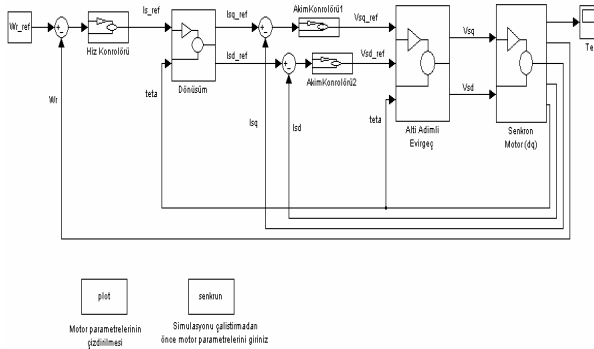
3. GKE-SKSM'DA ÇIKIKLIK ETKİLERİ

Bu bölümde çıkıklığın gerilim kaynaklı evirgeçten beslenen self kontrollü senkron motorun (GKE-SKSM) dinamik ve sürekli durum performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Senkron motorun çıkıklık etkileri;

- Çıkık kutuplu amortisör sargılı senkron motor
- Yuvarlak kutuplu amortisör sargılı senkron motor

durumları için elde edilmiştir.

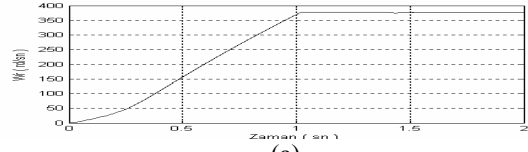
Şekil-2'de gerilim kaynaklı altı adımlı evirgeçten beslenen self kontrollü senkron motorun Matlab/Simulink programı yardımıyla oluşturulan benzetim programı görülmektedir.



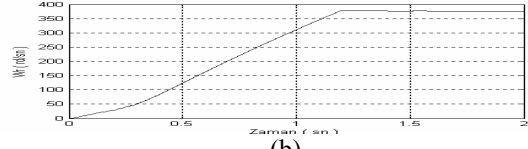
Şekil -2. GKE-SKSM'un Matlab/Simulink Modeli

Benzetim programı iki farklı durum için koşturulmuştur. Benzetim programı ilk önce yüksüz olarak çalıştırılmış, motor sürekli durum hızına ulaştıktan sonra (1.4 sn sonra) yük devreye alınmıştır. Geçici duruma ait sonuçlar 0-0.8 sn aralığı, sürekli duruma ait sonuçlar ise 1.8-1.85sn aralığında alınmıştır.

Şekil-3'de senkron motorun hızının zamana göre değişimi görülmektedir. Burada çıkık kutuplu senkron motorun yuvarlak kutuplu senkron motora göre daha kısa sürede sürekli durum hızına ulaştığı görülüyor. Bu durumun çıkık kutuplu senkron motorun moment değerinin yuvarlak kutuplu senkron motor momentinden relüktans momenti kadar fazla olmasından dolayı kaynaklandığını söyleyebiliriz.



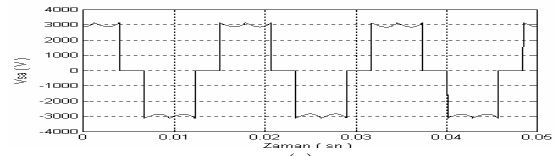
(a)



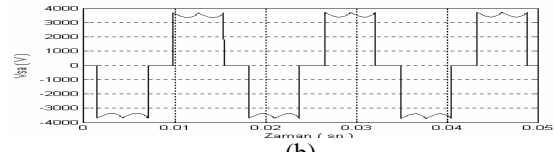
(b)

Şekil-3. GKE-SKSM'un hızının değişimi

Şekil-4'de senkron motorun sürekli durumdaki faz geriliminin değişimi görülmektedir. Sonuçlardan da görüleceği üzere aynı yük değeri için yuvarlak kutuplu senkron motor için gerekli olan faz gerilim genliği çıkık kutuplu senkron motora göre daha fazladır.



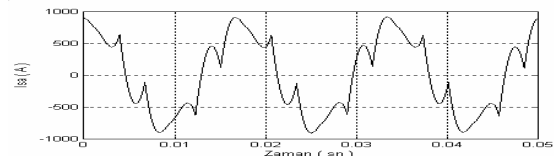
(a)



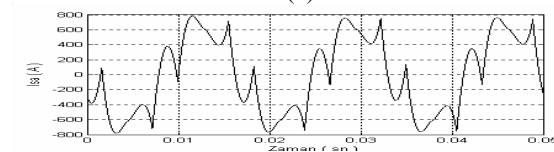
(b)

Şekil-4. GKE-SKSM'un Sürekli Durum Koşullarında Faz Geriliminin Değişimi

Şekil-5'de senkron motorun sürekli durumdaki faz akımının değişimi görülmektedir. Çıkık kutuplu senkron motorun faz akımının genliği yuvarlak kutuplu senkron motora göre daha fazladır. Bu durum çıkıklığın olmadığı durumda q-eksen reaktansındaki artıştan kaynaklanmaktadır.



(a)

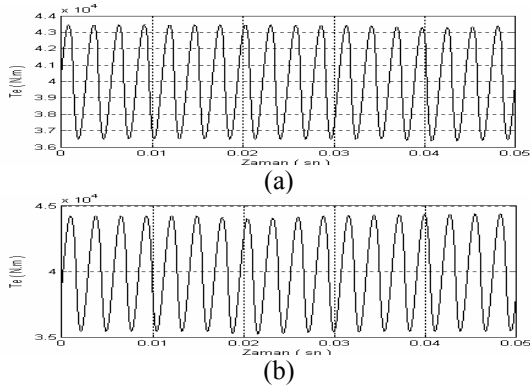


(b)

Şekil-5. GKE-SKSM'un Sürekli Durum Koşullarında Faz Akımının Değişimi

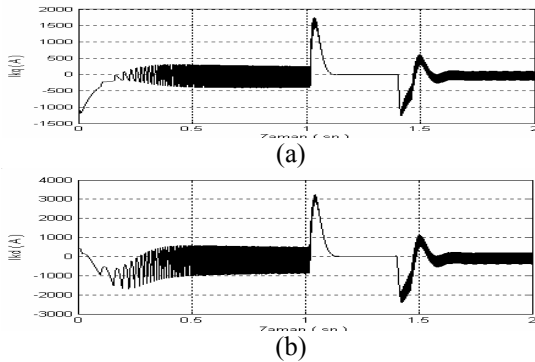
Şekil-6'da senkron motorun sürekli durumdaki momentinin değişimi görülmektedir. Senkron motor altı adımlı bir evirgeçten beslendiği için moment esas frekansın altı katı bir frekansta dalgalanmaktadır.

Senkron motorun sürekli durumdaki ortalama moment değeri iki farklı durum için de aynıdır. Bir başka deyişle senkron motorun sürekli durumdaki ortalama moment değeri çıkıklıktan bağımsızdır.



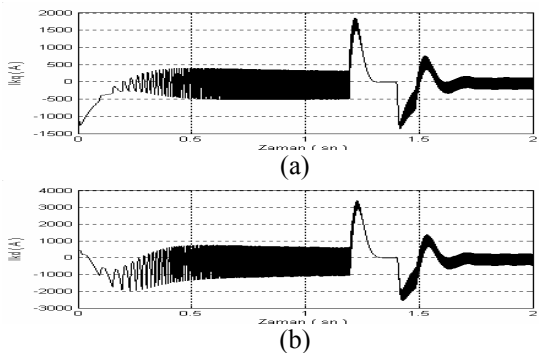
Şekil-6. GKE-SKSM'un Sürekli Durum Koşullarında Momentinin Değişimi

Şekil-7'de çıkık kutuplu amortisör sargılı senkron motorun amortisör sargı akımlarının zamana göre değişimleri görülmektedir.



Şekil-7. GKE-SKSM'un Amortisör Sargı Akımlarının Değişimi (Çıkık Kutuplu)
a) Amortisör Sargısı Q-eksen Akımı
b) Amortisör Sargısı D-eksen Akımı

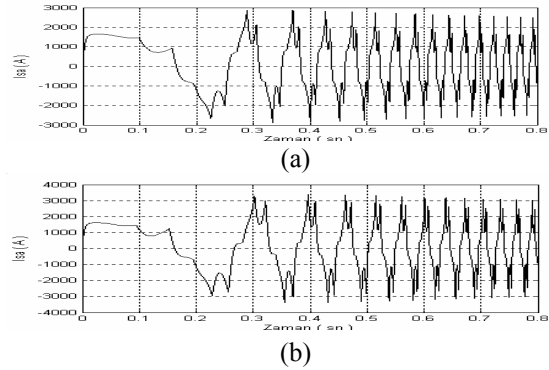
Şekil-8'de yuvarlak kutuplu amortisör sargılı senkron motorun amortisör sargı akımlarının zamana göre değişimleri görülmektedir.



Şekil-8. GKE-SKSM'un Amortisör Sargı Akımlarının Değişimi (Yuvarlak Kutuplu)
a) Amortisör Sargısı Q-eksen Akımı
b) Amortisör Sargısı D-eksen Akımı

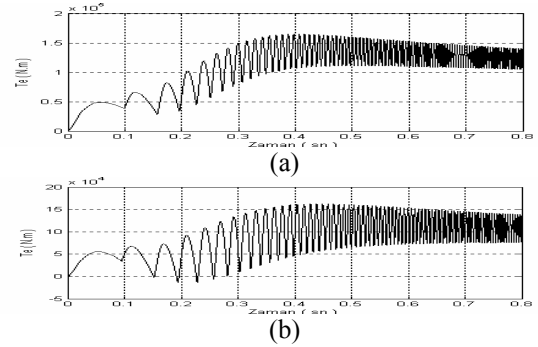
Şekil-8'deki yuvarlak kutuplu senkron motorun amortisör sargı akımlarındaki dalgalanmanın Şekil-7'deki çıkık kutuplu senkron motorun amortisör sargı akımlarına göre daha fazla olduğu görülüyor.

Şekil-9'da senkron motorun geçici durumdaki faz akımının değişimi iki farklı durum için görülmektedir. Yuvarlak kutuplu senkron motordaki faz akımının maksimum değeri çıkık kutuplu senkron motorunkinden daha büyük olduğu görülüyor.



Şekil-9. GKE-SKSM'un Geçici Durum Koşullarında Faz Akımının Değişimi

Şekil-10'da senkron motorun geçici durumdaki momentinin değişimi görülmektedir. Burada yuvarlak kutuplu senkron motorun momentindeki dalgalanmalar çıkık kutuplu senkron motorunkinden daha fazladır. Ayrıca momentin esas frekansın altı katı bir frekansta dalgalandığı görülüyor.



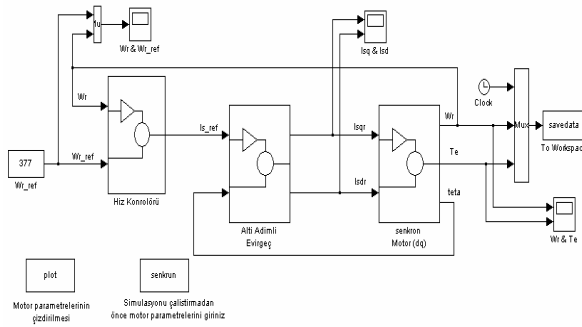
Şekil-10. GKE-SKSM'un Geçici Durum Koşullarında Momentin Değişimi

4. AKE-SKSM'DA ÇIKIKLIK ETKİLERİ

Bu bölümde çıkıklığın akım kaynaklı evirgeçten beslenen self kontrollü senkron motorun (AKE-SKSM) dinamik ve sürekli durum performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çıkıklık etkileri senkron motorun aşağıdaki iki farklı durumu için incelenmiştir;

- Çıkık kutuplu amortisör sargılı senkron motor
- Yuvarlak kutuplu amortisör sargılı senkron motor

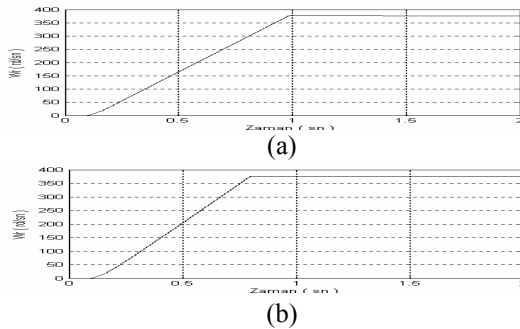
Şekil-11’de akım kaynaklı altı adımlı evirgeçten beslenen self kontrollü senkron motorun çıkıklık etkilerini incelemek amacıyla oluşturulan Matlab/Simulink modeli görülmektedir.



Şekil-11. AKE-SKSM’un Matlab/Simulink Modeli

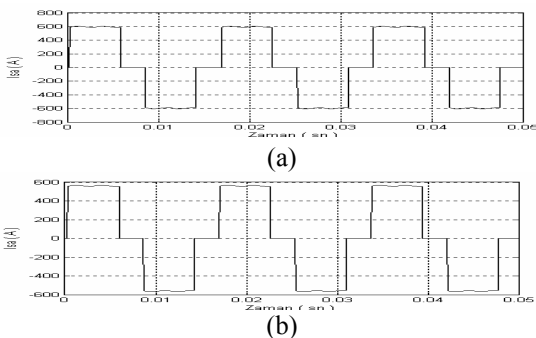
Benzetim programı çalıştırılırken, ilk 0.1sn sadece uyarma gerilimi uygulanıp, daha sonra kaynak akımı motora uygulanmıştır. Benzetim programı 0-1.4 sn aralığında yüksüz, 1.4-2 sn aralığında yüklü olarak çalıştırılmıştır. Geçici duruma ait sonuçlar 0.1-0.6 sn aralığı, sürekli duruma ait sonuçlar ise 1.8-1.85sn aralığında alınmıştır.

Şekil-12’de yuvarlak kutuplu senkron motorun çıkık kutuplu senkron motora göre daha kısa sürede sürekli durum hızına ulaştığı görülmüştür.



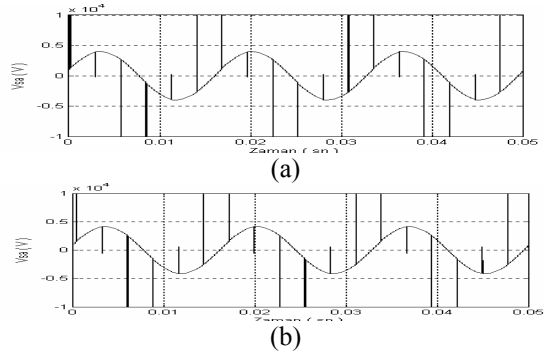
Şekil-12. AKE-SKSM’un Hızının Değişimi

Şekil-13’de senkron motorun sürekli durumdaki faz akımının değişimi görülmektedir. Burada, yuvarlak kutuplu senkron motorun faz akımının genliğinin çıkık kutuplu senkron motora göre daha düşüktür.



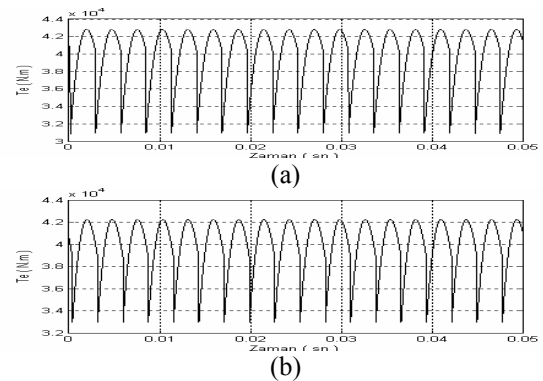
Şekil-13. AKE-SKSM’un Sürekli Durum Koşullarında Faz Akımının Değişimi

Şekil-14’de senkron motorun sürekli durumdaki faz geriliminin değişimi görülmektedir. Yuvarlak kutuplu senkron motorun faz gerilim genliğinin çıkık kutuplu senkron motora daha fazla olduğu görülmüştür.



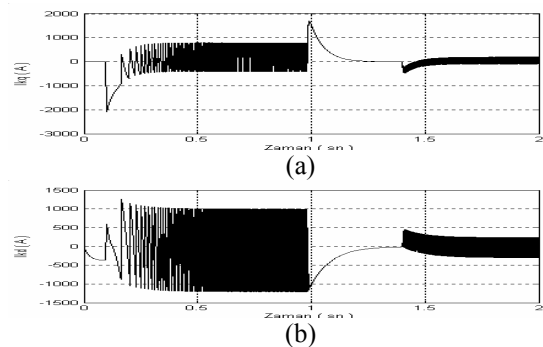
Şekil-14. AKE-SKSM’un Sürekli Durum Koşullarında Faz Geriliminin Değişimi

Şekil-15’de senkron motorun sürekli durum koşullarındaki momentinin değişimi görülmektedir. Sürekli durumdaki ortalama moment iki farklı durum için de aynıdır. Yuvarlak kutuplu senkron motordaki moment dalgalanması çıkık kutuplu senkron motora göre daha azdır.



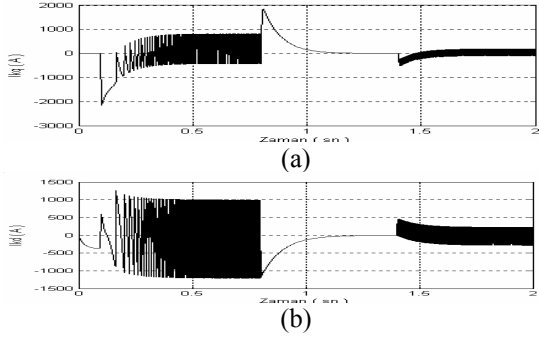
Şekil-15. AKE-SKSM’un Sürekli Durum Koşullarında Momentinin Değişimi

Şekil-16’da çıkık kutuplu senkron motorun amortisör sargı akımlarının değişimleri görülmektedir.



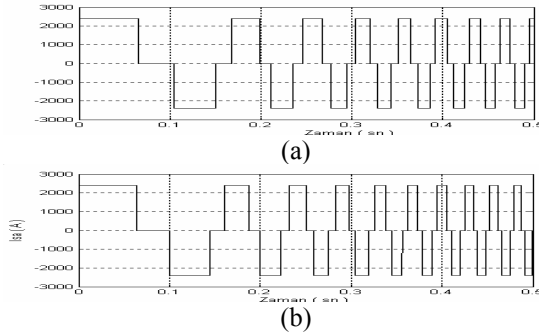
Şekil-16. AKE-SKSM’un Amortisör Sargı Akımlarının Değişimi (Çıkık Kutuplu)
a) Amortisör Sargısı Q-eksen Akımı
b) Amortisör Sargısı D-eksen Akımı

Şekil-17'de yuvarlak kutuplu amortisör sargılı senkron motorun amortisör sargı akımlarının zamana göre değişimleri görülmektedir. Şekil-17'deki yuvarlak kutuplu senkron motorun amortisör sargı akımları ile Şekil-16'daki çıkık kutuplu senkron motorun amortisör sargı akımlarındaki dalgalanmanın hemen hemen aynı olduğu görülmüştür.



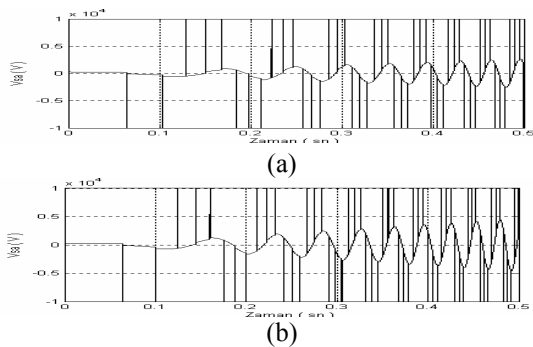
Şekil-17. AKE-SKSM'un Amortisör Sargı Akımlarının Değişimi (Yuvarlak Kutuplu)
a) Amortisör Sargısı Q-eksen Akımı
b) Amortisör Sargısı D-eksen Akımı

Şekil-18'de senkron motorun geçici durum koşullarındaki faz akımının zamana göre değişimi görülmektedir. Sonuçlardan da görüleceği üzere çıkık kutuplu senkron motor ile yuvarlak kutuplu senkron motorun faz akımının genliği aynıdır.



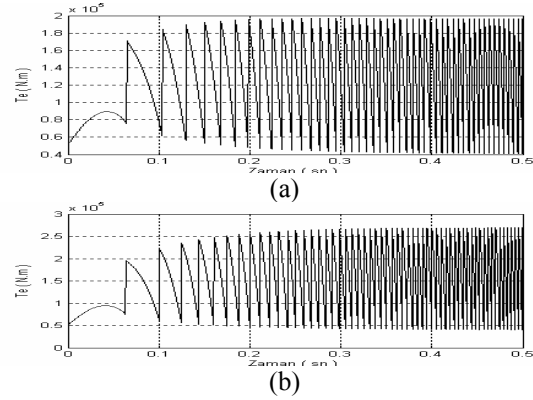
Şekil-18. AKE-SKSM'un Geçici Durum Koşullarında Faz Akımının Değişimi

Şekil-19'da senkron motorun geçici durum koşullarındaki faz geriliminin değişimi iki farklı durum için görülmektedir.



Şekil-19. AKE-SKSM'un Geçici Durum Koşullarında Faz Geriliminin Değişimi

Şekil-20'de senkron motorun geçici durum koşullarındaki momentinin zamana göre değişimi iki farklı durum için görülmektedir. Sonuçlardan da görüleceği üzere yuvarlak kutuplu senkron motordaki moment dalgalanması çıkık kutuplu senkron motora göre daha fazladır.



Şekil-20. AKE-SKSM'un Geçici Durum Koşullarında Momentinin Değişimi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada akım kaynaklı veya gerilim kaynaklı evirgeçten beslenen self kontrollü senkron motorun sürekli durumdaki ortalama moment değerinin çıkıklıktan bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır.

Benzetim programında kullanılan senkron motor parametreleri aşağıda verilmiştir [3].

$$\begin{aligned}
 U_{f_r} &= 4000 \text{ V} & P_b &= 5265882 \text{ W} & f_n &= 60 \text{ Hz} \\
 R_s &= 0.03663 \text{ ohm} & R_{kq} &= 0.118 \text{ ohm} \\
 R_{kd} &= 0.0914 \text{ ohm} & R_{fd} &= 0.00438 \text{ ohm} \\
 L_{ls} &= 1.24 \cdot 10^{-3} \text{ H} & L_{lkq} &= 9.23 \cdot 10^{-4} \text{ H} \\
 L_{mq} &= 6.02 \cdot 10^{-3} \text{ H} & L_{md} &= 8.27 \cdot 10^{-3} \text{ H} \\
 L_{lkd} &= 7.37 \cdot 10^{-4} \text{ H} & L_{lfd} &= 2.14 \cdot 10^{-3} \text{ H} \\
 L_q &= L_{ls} + L_{mq} & L_d &= L_{ls} + L_{md} & L_{kq} &= L_{lkq} + L_{mq} \\
 L_{kd} &= L_{lkd} + L_{md} & L_{fd} &= L_{lfd} + L_{md}
 \end{aligned}$$

KAYNAKLAR

- [1] ORHAN, A., 1999, Büyük Güçlü Senkron Motorların Vektör Kontrolü İçin Yeni Bir Yöntem, . Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999, Elazığ.
- [2] SEN, P., C., 1982, Synchronous Motor Propulsion for Transit Systems, IEEE IAS. Ann. Meeting onf. Rec., 264-267
- [3] KRAUSE, P., C., 1987, Analysis of Electric Machinery, Mc Graw Hill Book Co., Singapore