

AKIM KAYNAKLI EVİRGEÇDEN BESLENEN SELF KONTROLLÜ SENKRON MOTORLARDA AMORTİSÖR SARGILARININ 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

ÖZET

Bu bildiride, akım kaynaklı evirgeçten beslenen self kontrollü senkron motorlarda amortisör sargılarının etkileri incelenmiştir. Bu etkiler, self kontrollü senkron motorun hem dinamik hemde sürekli durumu için ayrı ayrı karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır.

1. GİRİŞ

Sürücü düzeneğin gücüne bağlı olarak inceleme yapıldığında genel olarak iki başlık ortaya çıkmaktadır. Bunlar orta ve yüksek güç seviyeleridir. Orta ve düşük güç seviyelerinde genel olarak kalıcı mıknatıs rotorlu motorlar ve yuvarlak kutuplu senkron motorlar tercih edilirler. Yüksek güç uygulamalarında sürücü sistemler düşük hız ve yüksek hız alt başlıkları altında ele alınabilir. 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 genelde yuvarlak kutuplu senkron motorlar tercih edilirler [1].

Sinüzoidal gerilimle beslenen senkron motorlarda, amortisör sargıları geçici olaylar esnasında oluşabilecek mekanik osilasyonları ve senkron hızdan sapmaları önler. Bu sargılar senkron makinenin rotoruna bağlanan ve sincap kafesli yapıya benzeyen sargılardır. Geçici olaylar esnasında bu sargılardan sönüm akımları adını verdiğimiz akımlar akar ve bu akımlar makineyi senkronizmde tutacak momentler üretir.

2. SENKRON MOTORUN MODELLENMESİ

Bu çalışmada çıkık kutuplu senkron motorun iki eksen dönüşümü olarak adlandırılan d-q referans çatı dönüşümü esas alınır. Rotor referans çatıdaki senkron motor denklemleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir [3].

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

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

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

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

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

Akı bağı ifadeleri;

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

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

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

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

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

Moment;

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

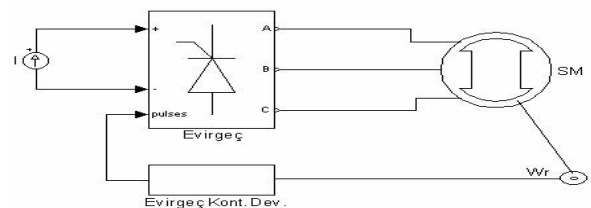
Hareket denklemi;

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

3. SELF KONTROLLÜ SENKRON MOTOR

Senkron motorun stator gerilimlerinin frekansı rotor hızı ile belirleniyorsa bu kontrol şekline self kontrol denilir. Self kontrolde stator gerilimi doğrudan kontrol edilebilir. Senkron motorun bu kontrol şeklinde, evirgeç anahtarları motor hızıyla orantılı bir frekansta tetiklenir yani hız ile tetikleme frekansı kilitlenir. Self kontrol tüm çalışma noktaları için stator ve rotor alanlarının tam olarak senkronizmde kalmalarını sağlar. Sonuçta moment açısı kontrol edilebilir [1].

Şekil-1'de akım kaynaklı bir evirgeçten beslenen self kontrollü senkron motorun (AKE-SKSM) blok diyagramı görülmektedir.



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

Çıkık kutuplu bir senkron motorun stator ve alan mmk'lerinin 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].

Ani yük ve/veya frekans değişimi durumunda stator gerilimlerinin frekansı rotor hızına kilitlenirse açık çevrim kontrolde oluşan motorun senkronizmden çıkma tehlikesi ortadan kalkar.

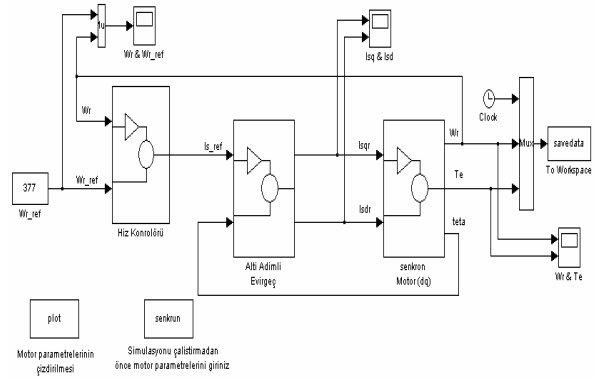
4. AKE-SKSM'DA AMORTİSÖR SARGISI ETKİLERİ

Senkron motorun self kontrolü doğrudan frekans çeviriciler, gerilim kaynağı ve akım kaynağı evirgeçleriyle gerçekleştirilebilir. Bunun yanında literatürde senkron motorun self kontrolü en çok akım kaynaklı evirgeç kullanılarak incelenmiştir. Senkron motorun bir akım kaynağı evirgecinden beslenme avantajı ise zıt e.m.k'nin evirgeç anahtarlarının aktarımında kullanılabilmesidir.

Bu bölümde amortisör sargısının akım kaynaklı evirgeçten beslenen self kontrollü senkron motorun dinamik ve sürekli durum performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Amortisör sargısı etkileri senkron motorun aşağıdaki iki farklı durumu için incelenmiştir;

- Çıkık kutuplu amortisör sargılı senkron motor
- Çıkık kutuplu amortisör sargsız senkron motor

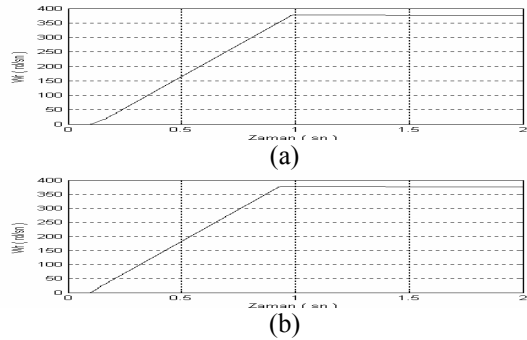
Akım kaynaklı evirgeçten beslenen self kontrollü senkron motordaki amortisör sargı etkilerini incelemek için oluşturulan Matlab / Simulink modeli Şekil-2'de görülmektedir.



Şekil-2. Akım Kaynaklı Evirgeçten Beslenen Self Kontrollü Senkron Motorun Simulink Modeli

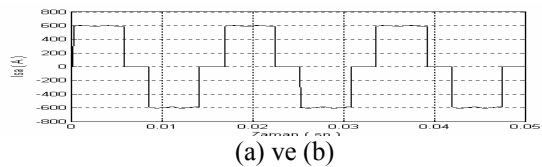
Benzetim programı çalıştırılırken, ilk 0.1sn sadece uyarma gerilimi uygulanıp, daha sonra kaynak akımı motora uygulanmıştır. Benzetim programı 0-1.4 sn aralığında yüksüz, 1.4-2 sn aralığında yüklü olarak çalıştırılmıştır. Geçici duruma ait sonuçlar 0.1-0.6 sn aralığı, sürekli duruma ait sonuçlar ise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

Şekil-3'de senkron motorun hızının zamana göre değişimi görülmektedir. Sonuçlardan da görüleceği üzere amortisör sargısız senkron motor amortisör sargılı senkron motora göre daha kısa sürede sürekli durum hızına ulaşır.



Şekil-3. AKE-SKSM'un Hızının Değişimi

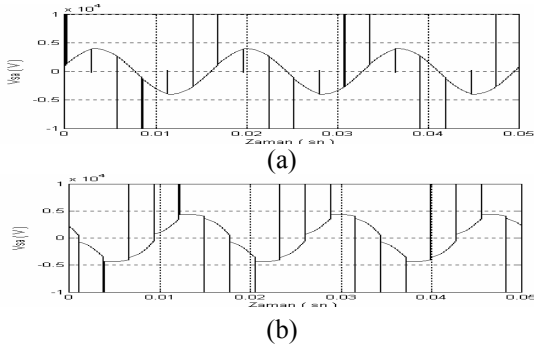
Şekil-4'de senkron motorun sürekli durumdaki faz akımının değişimi görülmektedir. Burada, amortisör sargılı senkron motor ve amortisör sargsız senkron motorun faz akımının genliği aynıdır.



Şekil-4. AKE-SKSM'un Sürekli Durum Koşullarında Faz Akımının Değişimi

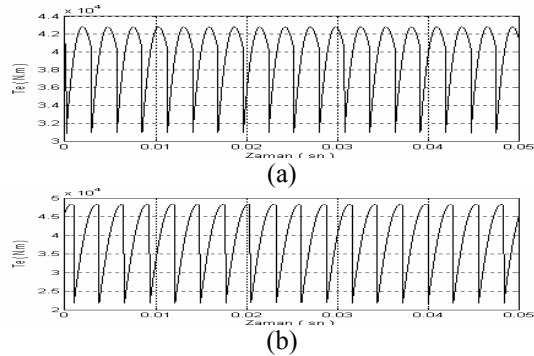
Şekil-5'de senkron motorun amortisör sargılı olma durumunda faz geriliminin dalga şeklinin amortisör sargsız senkron motora göre daha sinüzoidal olduğu görülüyor. Ayrıca amortisör sargsız senkron motorun

gerilim genliği amortisör sargılı senkron motora göre daha büyüktür.



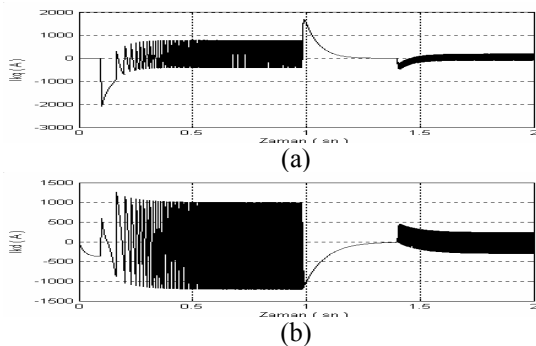
Şekil-5. AKE-SKSM'un Sürekli Durum Koşullarında Faz Geriliminin Değişimi

Şekil-6'da senkron motorun sürekli durum koşullarındaki momentinin değişimi görülmektedir. Burada iki farklı durum için de sürekli durumdaki ortalama moment aynıdır. Amortisör sargılı senkron motordaki moment dalgalanması amortisör sargısız senkron motora göre daha azdır.



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

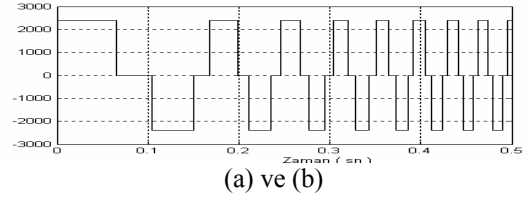
Şekil-7'de senkron motorun amortisör sargı akımlarının değişimleri görülmektedir. Şekil-7'den de görüldüğü üzere hem geçici hem de sürekli durumda amortisör sargılarından önemli akımlar akar.



Şekil-7. AKE-SKSM'un Amortisör Sargı Akımlarının Değişimi

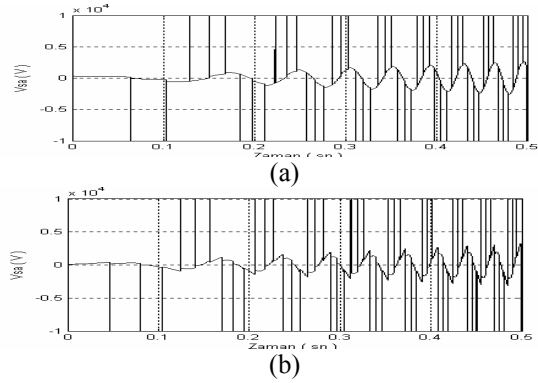
- a) Amortisör Sargısı Q-eksen Akımı
- b) Amortisör Sargısı D-eksen Akımı

Şekil-8'de senkron motorun geçici durum koşullarındaki faz akımının zamana göre değişimi görülmektedir. Sonuçlardan da görüleceği üzere amortisör sargılı senkron motor ile amortisör sargısız senkron motorun faz akımının genliği aynıdır.



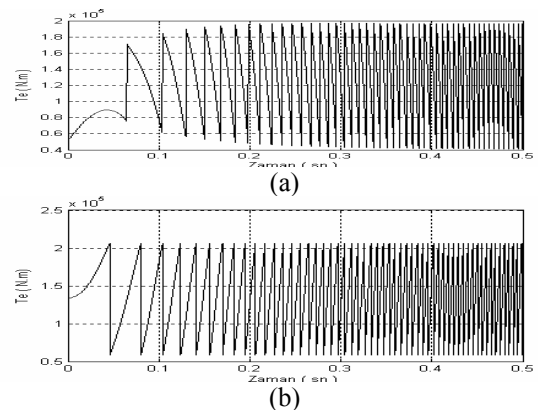
Şekil 8. AKE-SKSM'un Geçici Durum Koşullarında Faz Akımının Değişimi

Şekil-9'da senkron motorun geçici durum koşullarındaki faz geriliminin değişimi iki farklı durum için görülmektedir. Amortisör sargılı senkron motorun faz geriliminin amortisör sargısız senkron motora göre daha sinüzoidal olduğu görülmüyor.



Şekil-9. AKE-SKSM'un Geçici Durum Koşullarında Faz Geriliminin Değişimi

Şekil-10'da senkron motorun geçici durum koşullarındaki momentinin zamana göre değişimi iki farklı durum için görülmektedir. Sonuçlardan da görüleceği üzere amortisör sargılı senkron motordaki moment dalgalanması amortisör sargısız senkron motora göre daha fazladır.



Şekil-10. AKE-SKSM'un Geçici Durum Koşullarında Momentinin Değişimi

5. SONUÇLAR

Evirgeçden beslenen senkron motorlarda amortisör sargılarının etkileri bilinen sinüzoidal beslemeli senkron motorlardan farklıdır. Amortisör sargıları, sabit frekanslı bir sinüzoidal gerilim kaynağından beslenen senkron makinede geçici olaylar esnasında kararlılığı devam ettirmek için gereklidir. Dolayısıyla şebekeden beslenen bir senkron makinenin amortisör sargılarından sadece geçici olaylar esnasında akımlar akar. Ancak bu çalışmadan da açıkça görüleceği üzere, evirgeç beslemeli bir senkron makinede geçici durumların yanında sürekli durumda da akım ve gerilim harmoniklerinden dolayı amortisör sargılarından önemli akımlar akar. Amortisör sargı mevcudiyetinin en önemli etkisi, kendini faz akım veya gerilim genliğinde göstermektedir.

Bu çalışmada, akım kaynaklı evirgeçden beslenen self kontrollü senkron motorun sürekli durumdaki ortalama moment değerinin amortisör sargılarından bağımsız olduğu sonucuna varılmıştır.

Amortisör sargılarının senkron motorun dinamik ve sürekli durum performansı üzerindeki etkilerinin vektör kontrollü bir sürücü düzenek ile incelenmesi yararlı olacaktır.

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