

SENKRON MOTOR KONTROL YÖNTEMLERİ

Abuzer ÇALIŞKAN

Ahmet ORHAN

Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

23279 - ELAZIĞ

e-posta : acaliskan@firat.edu.tr aorhan@firat.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada; Senkron Motorun d-q referans çatı modeli esas alınarak senkron motorun Matlab / Simulink modeli oluşturulmuş ve senkron motorun kontrol yöntemleri ortaya konmuştur. Buna bağlı olarak senkron motorun açık çevrim kontrol ilkesine ilişkin Matlab / Simulink modeli elde edilmiştir. Ayrıca, gerilim kaynaklı evirgeç (GKE) ve akım kaynaklı evirgeçten (AKE) beslenen senkron motorun self kontrolü Matlab/Simulink modeli oluşturularak incelenmiştir.

1. GİRİŞ

Modern bir sürücü sistemden genelde; geniş bir güç aralığında frenlemeleri de içeren moment-hız düzleminin dört bölgesinde çalışabilme, yüksek verim ve yüksek dinamik cevap özellikleri aranır.

Yüksek verim ve dinamik özelliklerinden dolayı 1970 ' li yıllara kadar en çok kullanılan makine doğru akım makinası olmuştur. Günümüzde bakım gereksinimi, tozlu ve patlamalı ortamlarda çalışamama , hız sınırı (mekanik komütatör için 3000 d/d) gibi olumsuzlukları ve maliyetleri doğru akım motorlarının değişken hızlı sürücü düzeneklerde kullanımlarını sınırlayan etkenlerin başında gelmektedir[1].

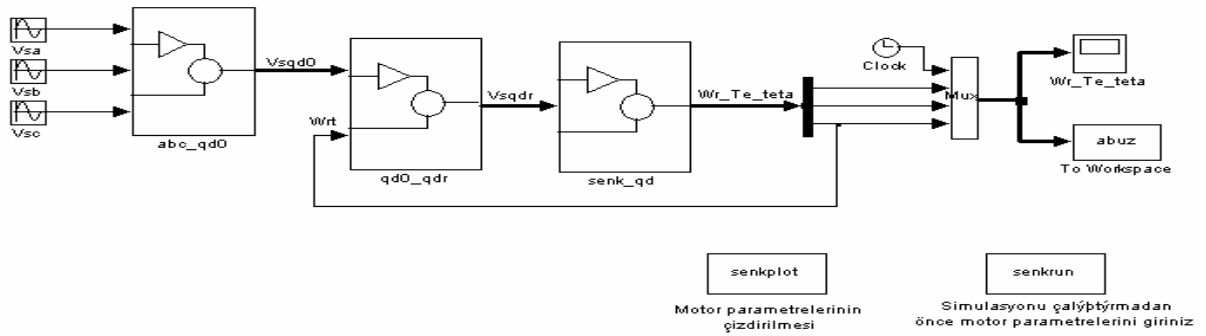
Sincap kafesli asenkron motorlar hem düşük maliyetli hem de sağlamdırlar. Fakat verim ve güç faktörleri düşüktür. Dolayısıyla verim ve güç faktörünün önemli olduğu uygulamalarda asenkron motorların alternatifleri senkron motorlardır.

Senkron motorlar moment stator akımı ve akı da uyarma akımıyla kontrol edilir. Asenkron motorda ise hem moment hem de akının stator akımıyla değiştirilmesi optimum stator geriliminin belirlenmesini engeller. Ayrıca alan zayıflatma bölgesinde; asenkron motor için gereken gerilim senkron motora göre %30 fazladır. Reaktif güç gereksinimdeki fazlalık ise %70 dolaylarındadır[2]. Senkron motorlu sürücü düzenekler, asenkron ve doğru akım motorlu sürücü düzeneklerden daha yüksek moment/atalet oranı, daha az gürültü ve sağlam motor kontrol algoritmasına sahiptirler[3]. Çünkü senkron motorların rotor yarıçapı eşdeğer güçteki asenkron ve doğru akım motorlarından küçüktür. Senkron motorların bakım gereksinimi doğru akım motorlarının bakım gereksiniminin 1/7 'si kadardır. Bunun yanında megawatt dolaylarındaki güç seviyeleri ve 6000 d/d 'ya yaklaşan hızlar için senkron motorlar pratik açıdan zorunludurlar. Asenkron motordaki düşük verim ve güç faktörü bu motorların bu güç ve hız seviyelerinde kullanımlarını sınırlar[4].

2. SENKRON MOTORUN MODELLENMESİ

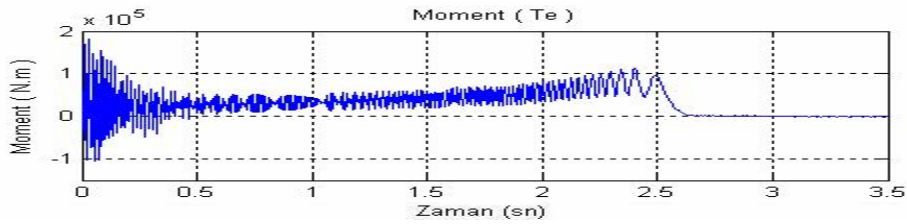
2.1. SENKRON MOTORUN BİLGİSAYAR BENZETİM PROGRAMI

Senkron motorun genel üç faz modeli hem sürekli ve hem de geçici durum analizlerinde en doğru sonuç veren modellerden biridir. Ancak modelde zamanla değişen katsayılar ve doğrusal olmayan bir yapı ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu modelin çözülebilmesi için hesaplarda kullanılan indüktans matrisi ve inversi hesap süresini uzatmaktadır. Bu nedenle senkron motorun benzetim programı oluşturulurken Park dönüşümü veya iki eksen dönüşümü olarak adlandırılan d-q referans çatı dönüşümü esas alınır. Senkron makinaların zamanla değişen katsayıları sadece rotora sabitlenmiş referans çatıda ortadan kalkmaktadır. Dolayısıyla senkron makina denklemlerinin rotor referans çatıda ifade edilmesi uygundur[5]. Şekil 2.1 'de senkron motorun matlab/simulink programı kullanılarak oluşturulan benzetim programı görülmektedir. Programda hazır simulink toolbox 'ı yerine senkron motorun matematiksel modelinden yararlanılarak yeni bir toolbox oluşturulmuştur.

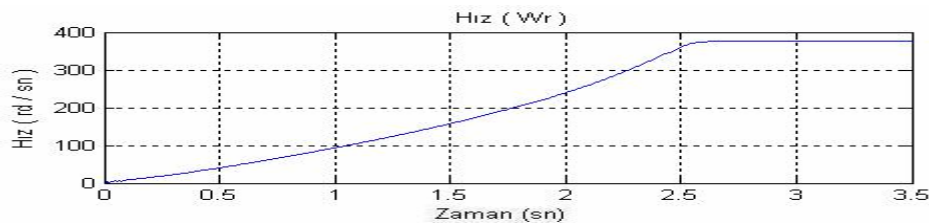


Şekil 2.1. Senkron Motorun Gerçek Parametrelili Simulink Modeli

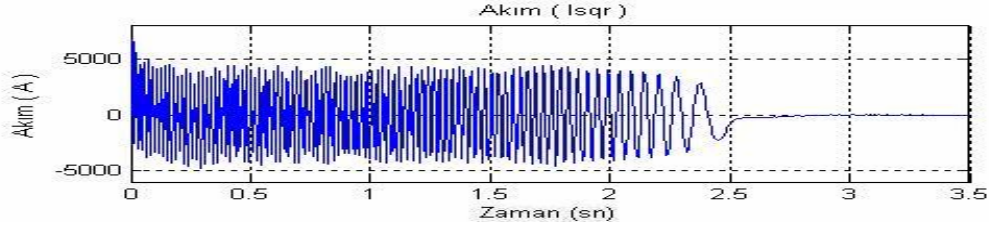
Benzetim programında senkron motora asenkron yol verilmiş olup nominal hıza gelindiğinde uyarma açılarak d.c gerilim uygulanmıştır. Benzetim programının çalıştırılması sonucunda moment , hız ve stator q-eksen akımı sırasıyla Şekil 2.2, 2.3 ve 2.4 'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 2.2. Senkron Motorun Momentinin Zamana Göre Değişimi



Şekil 2.3. Senkron Motorun Hızının Zamana Göre Değişimi



Şekil 2.4. Stator Q-eksen Akımının Zamana Göre Değişimi

Benzetim programı sonuçlarından elde edilen değişimlerin , klasik nümerik analiz yöntemleri kullanılarak elde edilen benzetim program sonuçlarıyla aynı olduğu neticesine varılmıştır.

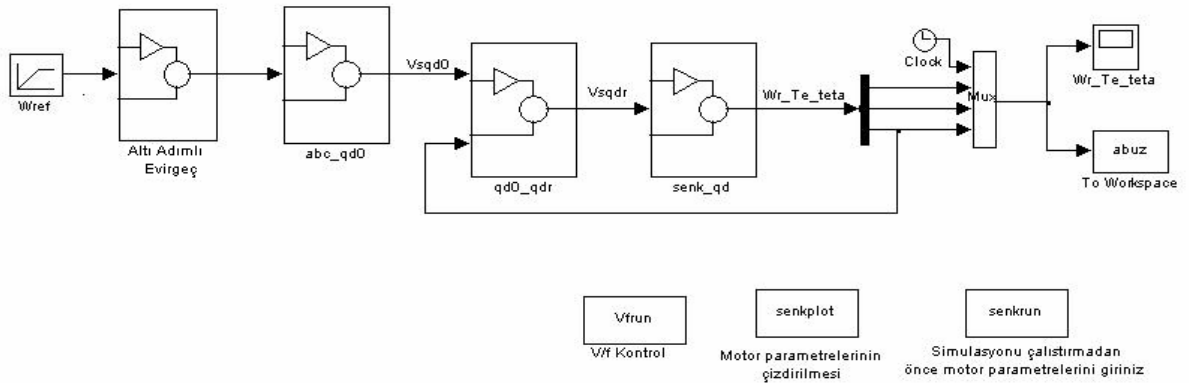
3. SENKRON MOTOR KONTROL YÖNTEMLERİ

3.1. AÇIK ÇEVİRİM KONTROL İLKESİ

Açık çevrim skalar kontrolde motor hızı bağımsız bir osilatör ile belirlenir ve stator gerilimi doğrudan kontrol edilir. Bu çalışma şekli gerçek senkron çalışma şekli olarak bilinir ve pratikte sadece gerilim kaynağı evirgeciyle gerçekleştirilir. Gerilim kaynağı evirgeci altı adımlı evirgeç veya darbe genişlik modülasyonlu (PWM) evirgeç olabilir.

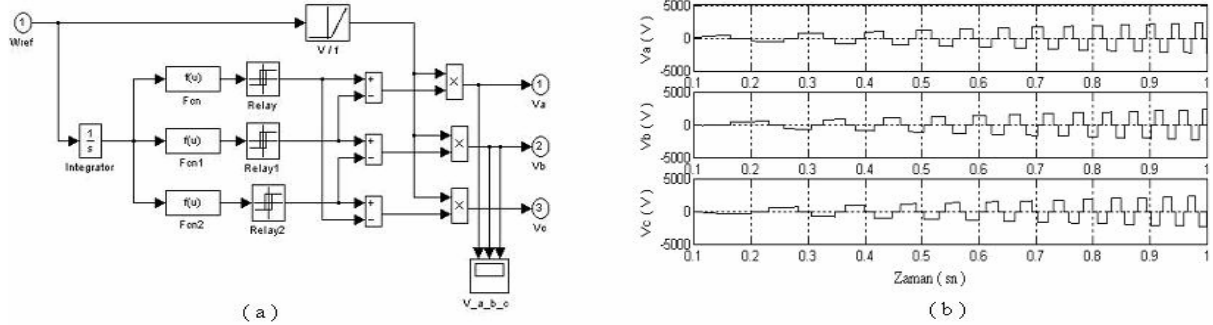
3.1.1. SENKRON MOTORUN AÇIK ÇEVİRİM HIZ KONTROLÜNE İLİŞKİN BİLGİSAYAR BENZETİM PROGRAMI

Şekil 3.1 'de senkron motorun açık çevrim V/f hız kontrolüne ilişkin matlab / simulink programı görülmektedir. Kontrol ilkesi V/f oranı yani gerilim / frekans oranının sabit tutulması üzerinedir. Besleme gerilimi stator frekansı ile orantılı değiştirilirse moment yük açısı karakteristiği frekanstan bağımsız hale gelir. V/f kontrol nominal hızın altında uygulanır. Düşük hızlarda stator direncindeki gerilim düşümünü kompanze edecek şekilde gerilim artırılmalıdır [6].



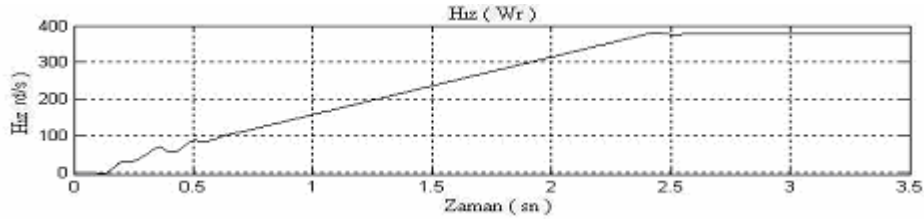
Şekil 3.1. Senkron Motorun Açık Çevrim Hız Kontrolüne İlişkin Simulink Modeli

Modelde kullanılan altı adımlı evirgecin açık hali ise Şekil 3.2 'de açık olarak verilmiştir.

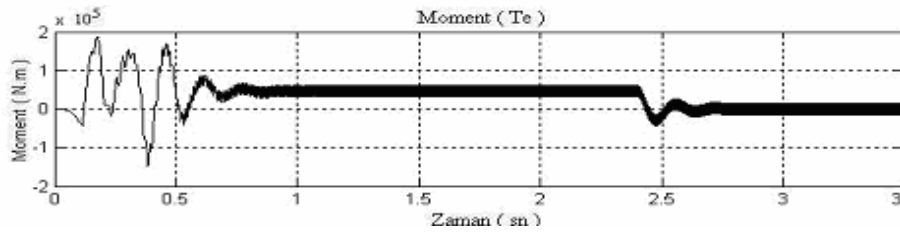


Şekil 3.2. (a) Altı adımlı evirgecin simulink modeli (b) Evirgeç çıkış dalga şekilleri

Benzetim programının senkron motorun yüksüz olma durumu için çalıştırılması sonucunda hız ve momentin zamana göre değişimini sırasıyla Şekil 3.3 ve 3.4'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Açık Çevrim Hız Kontrollü Senkron Motorun Hızının Zamana Göre Değişimi



Şekil 3.4 Açık Çevrim Hız Kontrollü Senkron Motorun Momentinin Zamana Göre Değişimi

Moment de görülen dalgalanmalar darbe genişlik modülasyonlu evirgeç kullanma durumunda ortadan kalkar.

3.2. SENKRON MOTORUN SELF KONTROLÜ

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. Kontrol parametrelerinin artmış olması motorun kontrol olanaklarını artırır [7]. Senkron motorun self kontrolü gerilim kaynağı evirgeçleri, akım kaynağı evirgeçleri ve doğrudan frekans çeviricilerle gerçekleştirilebilir.

Çıkık kutuplu bir senkron motorun stator ve alan mmk'larının sinüzoidal dağılımlı oldukları kabul edilirse; elde edilen ortalama moment (3.1) denklemi ile verilir.

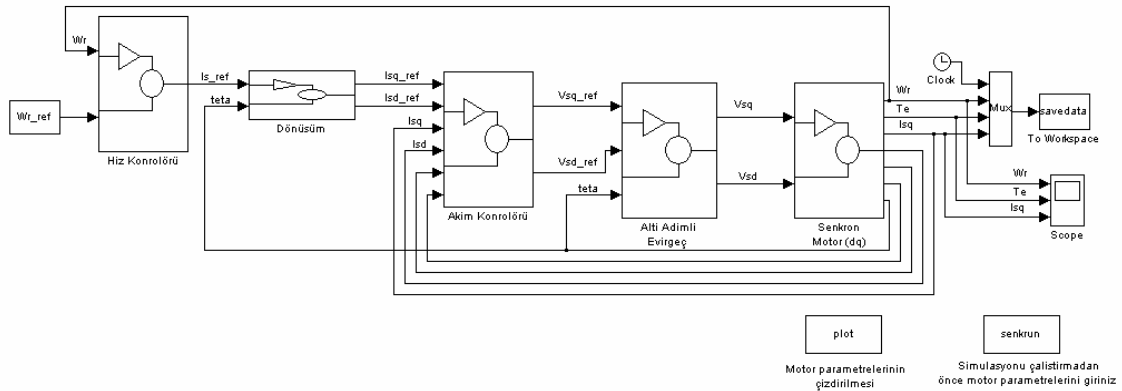
$$T_e = K_1 \cdot I_a \cdot I_{fd} \cdot \sin \delta + K_2 \cdot I_a^2 \cdot \sin 2\delta \quad (3.1)$$

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. (3.1) 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.

Senkron motorlu bir açık çevrim kontrollü sürücü düzenekte; ani yük veya frekans değişimi durumunda motorun senkronizmden çıkma tehlikesi vardır. Ani yük ve/veya frekans değişimi durumunda stator gerilimlerinin frekansı rotor hızına kilitlenirse açık çevrim kontrolde oluşan bu olumsuzluklar ortadan kalkar. Motor senkronizmini kaybetmez. δ açısı ortalama 90° de tutulabilir. Bu durumda senkron motor serbest uyarımlı doğru akım motoruna benzer karakteristikler gösterir. Bu modda çalışan senkron motora komütatörsüz doğru akım motoru da denir.

3.2.1. GERİLİM KAYNAKLI ALTI ADIMLI EVİRGEÇDEN BESLENEN SENKRON MOTORUN SELF KONTROLÜNE İLİŞKİN BİLGİSAYAR BENZETİM PROGRAMI

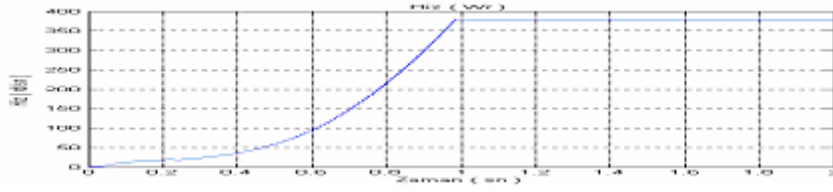
Şekil 3.6'da gerilim kaynaklı altı adımlı evirgeçten beslenen senkron motorun self kontrolüne ilişkin matlab/simulink programı görülmektedir.



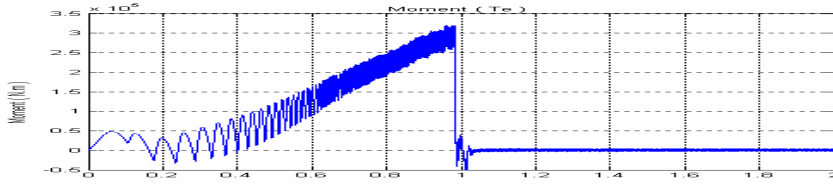
Şekil 3.6. Senkron Motorun Self Kontrolüne İlişkin Simulink Modeli

Motordan alınan hız bilgisi ile referans hız ile karşılaştırılır ve oluşan hata bir PI kontrolerden geçirilir. PI kontrolör'ün çıkışı bize referans stator akımını (I_s^*) verir. Bu akım dönüşüm matrisi yardımıyla d-q bileşenlerine ayrılır. Bu akımlar gerçek değerleriyle karşılaştırılır ve oluşan hatalar PI kontrolörden geçirilir sonuçta d-q referans gerilimleri verir.

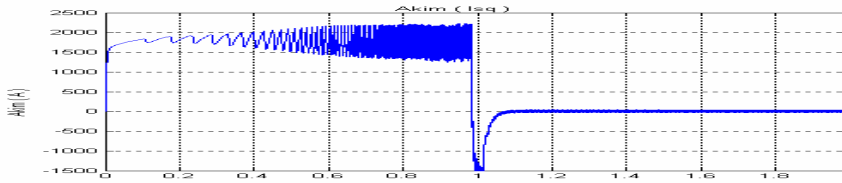
Benzetim programının çalıştırılması sonucunda elde edilen hız, moment ve stator akımı sırasıyla Şekil 3.7 ,3.8 ve 3.9 ‘de görülmektedir.



Şekil 3.7. Senkron Motorun Hızının Zamana Göre Değişimi



Şekil 3.8. Senkron Motorun Momentin Zamana Göre Değişimi

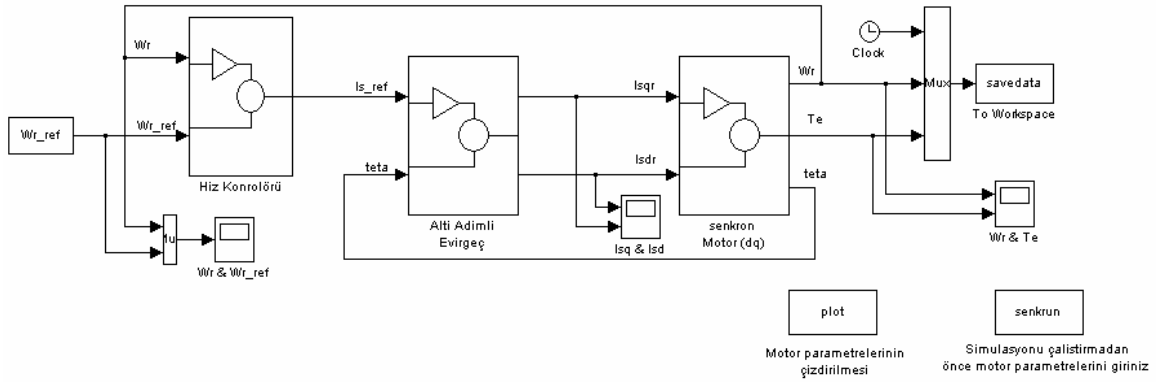


Şekil 3.9. Senkron Motorun Stator Q-eksen Akımının Zamana Göre Değişimi

3.2.2. AKIM KAYNAKLI ALTI ADIMLI EVİRGEÇDEN BESLENEN SENKRON MOTORUN SELF KONTROLÜNE İLİŞKİN BİLGİSAYAR BENZETİM PROGRAMI

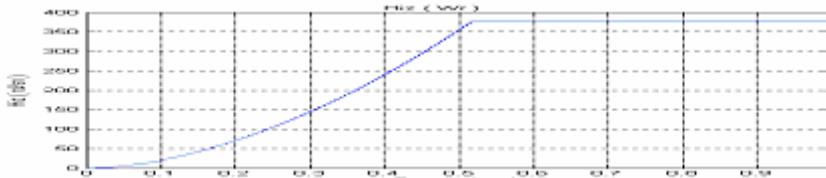
Senkron motorun self kontrolü literatürde en çok akım kaynağı evirgeçleriyle incelenmiştir. Senkron motorun bir akım kaynağından beslenme avantajı zıt e.m.k 'in evirgeç anahtarlarının aktarımında kullanılabilmesidir. Güç iletim biriminin bu şekilde basitleştirilmesi akım kaynağı evirgeç beslemeli self kontrollü senkron motorları büyük güçlü sürücülerde oldukça popüler hale getirmiştir.

Şekil 3.10 ‘ da akım kaynaklı altı adımlı evirgeçten beslenen senkron motorun matlab / simulink programı kullanılarak oluşturulan bilgisayar benzetim programı görülmektedir. Buradaki motorumuz daha önceki bölümlerde bahsedilen motor modelinden farklı olarak akım referanslı olacak şekilde düzenlenmiştir.

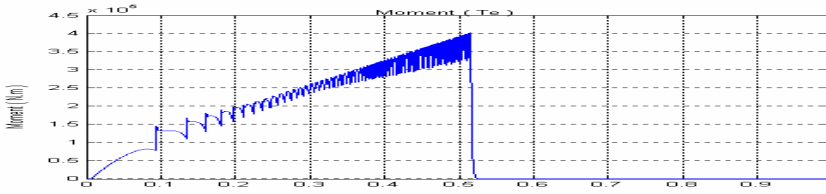


Şekil 3.10. Akım Kaynaklı Altı Adımlı Evirgeçten Beslenen Senkron Motor 'un Self Kontrolüne İlişkin Simulink Modeli

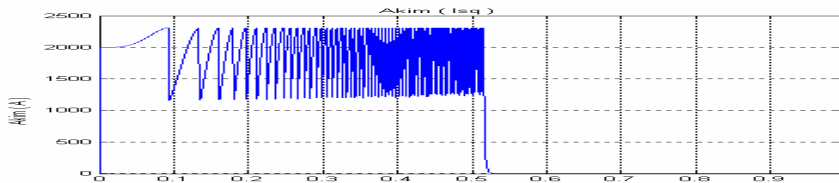
Benzetim programının çalıştırılması sonucunda Şekil 3.11, 3.12 ve 3.13 'de sırasıyla hız, moment ve stator q-eksen akımı görülmektedir.



Şekil 3.11. Senkron Motorun Hızın Değerinin Zamana Göre Değişimi



Şekil 3.12. Senkron Motorun Momentin Zamana Göre Değişimi



Şekil 3.13. Senkron Motorun Stator Q-eksen Akımının Zamana Göre Değişimi

4. SONUC

Hem self ve hem de $V/f = \text{sabit}$ gibi skalar kontrol yöntemlerinde stator akımının akı ve moment bileşeni bir doğru akım motorundaki gibi ayrıştırılmış değildir. Senkron motora bakıldığında akımın uyarma sargısından sağlanmasından dolayı kenetlemesiz bir yapıya doğal olarak sahip olduğu söylenebilir. Ancak moment kontrolü için stator akımı değiştirildiğinde akıyı sabit tutmak için alan sargı akımının da değiştirilmesi gerekir. Alan sargı akımının geniş sınırlar içerisinde değiştirilme gerekliliği self kontrolün cevabını ağırlaştırır. Akıyı sabit tutmak için uyarma akımının bu geniş sınırlar içerisinde değiştirilmesi yerine, stator akımının akı bileşenini bu iş için kullanmak cevap süresini

hızlandırabilir. İşte bu nedenle ya self kontrolün cevap hızını iyileştirecek algoritmalar üzerine çalışmalar yapılmalı ya da stator akımını akı ve moment bileşenlerine ayırarak kontrol etme prensibi üzerine kurulu vektör kontrol kullanılmalıdır. Ayrıca senkron motorda çıkıklık ve amortisör sargı etkilerinin de evirgeç beslemeli sürücü düzeneklerde araştırılmasında yarar vardır.

Benzetim programında kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir [8].

Ufaz-faz = 4000 V	Pb= 5265882 W	fn = 60 Hz	
Rs = 0.03663 ohm	Rkq = 0.118 ohm	Rkd = 0.0914 ohm	Rfd = 0.00438 ohm
Xls = 0.4238 ohm	Lls = 1.24.10 ⁻³ H	Xlkq = 0.348 ohm	Llkq = 9.23.10 ⁻⁴ H
Xmq = 2.27 ohm	Lmq = 6.02.10 ⁻³ H	Xmd = 3.118 ohm	Lmd= 8.27.10 ⁻³ H
Xlkd = 0.278 ohm	Llkd = 7.37.10 ⁻⁴ H	Xlfd = 0.808 ohm	Llfd= 2.14.10 ⁻³ H

5. KAYNAKLAR

1. HUY, H.,L., JAKUBOWICZ, A., PACAUT, R., (1982) A self Controlled Synchronous Motor Drive Using Terminal Voltage System , IEEE Ttransactions on Ind.Appl., 18:1
2. LEONHARD, W., (1988) Field Orientation for Controlling AC Machines Principle and Application , IEEE Conference Publication, 291 ,London
3. LIPO,A.T.,1988, Recent Progress in the Development of the Solid State AC Motor Drivers, IEEE-Transactions on Industry Applications, Vol.3 , No.2 ,April 1988
4. HUY, H.,L., JAKUBOWICZ, A., PACAUT, R., (1982) A self Controlled Synchronous Motor Drive Using Terminal Voltage System , IEEE Ttransactions on Ind.Appl., 18:1
5. AKIN, E., (1994). Stator Akısı Üzerinden Asenkron Motorun Rotor Akısı Alan Yönlendirmesi İçin Bir Yöntem. Doktora Tezi , Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ
6. VAS, P.,(1990), Vector Control of AC Machine . Oxford Uni. Press. UK
7. ORHAN, A., (1999) Büyük Güçlü Senkron Motorların Vektör Kontrolü İçin Yeni Bir Yöntem". Doktora Tezi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999, Elazığ.
8. KRAUSE, P.,C., (1987) Analysis of Electric Machinery, Mc Graw Hill Book Co., Singapore