



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2012, Volume: 7, Number: 1, Article Number: 1A0278

NWSA-ENGINEERING SCIENCES

Received: November 2010

Accepted: January 2012

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Abuzer Çalışkan

Ahmet Orhan

Firat University

acaliskan@firat.edu.tr

aorhan@firat.edu.tr

Elazığ-Turkey

MATRİS KONVERTERDEN BESLENEN SENKRON MOTORUN SELF KONTROLÜ

ÖZET

Bu makalede, matris konverterden beslenen senkron motorun self kontrolü Matlab/Simulink modeli oluşturularak incelenmiştir. Senkron motorun self kontrolü, stator gerilimlerinin frekansı rotor hızına kilitlenerek gerçekleştirilmiştir. Böylelikle geçici durumlar esnasında açık çevrim kontrolde oluşabilecek motorun senkronizmden çıkma tehlikesi ortadan kaldırılmıştır. Oluşturulan modelde basitleştirilmiş Venturini modülasyon algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ile çıkışın veya yükün yer değiştirme faktörü ne olursa olsun girişte birim yer değiştirme faktörü sağlanmıştır. Oluşturulan model, geniş bir hız aralığında yüksek değerli harmonikleri üretmeksizin dört bölge çalışmaya olanak tanır.

Anahtar Kelimeler: Senkron Motor, Self Kontrol, Matris Konverter

SELF CONTROL OF SYNCHRONOUS MOTOR FED BY MATRIX CONVERTER

ABSTRACT

In this study self control of synchronous motor fed by matrix converter was examined by developing a Matlab/simulink model. Self control of synchronous motor was performed by fixing frequency of stator voltage to rotor speed. Thus, the probable danger of asynchronism of the motor during transient operation in open loop control is removed. In the developed model, simplified Venturini modulation algorithm was used. This algorithm provides unity fundamental displacement factor at the input regardless of the load displacement factor. With the proposed model it is possible to operate at four-quadrant without producing high value harmonics in a wide range of speed.

Keywords: Synchronous Motor, Self Control, Matrix Converter

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

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 çalışmama, hız sınırı 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.

Yüksek güç seviyelerinde birim güç faktöründe çalışmaya olanak sağlayan saykıl konverterden beslenen senkron motorlu sürücü düzenekler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak çıkış frekansının giriş frekansının 1/3 ü ile sınırlanması bu sürücülerin kullanımını sınırlar. Saykıl konverterlerde genelde anahtar olarak tristörler kullanılır ve tristörler doğal olarak susturulduklarından aktarım için ek devrelere gereksinim duymazlar. Fakat izolasyon trafoları ve reaktöre gereksinim duyması ve kullanılan anahtar sayısının fazla olması bu yapının dezavantajlarıdır [1]. Saykıl konverter beslemeli sürücüler çok yüksek güçlerde tercih edilmelerine rağmen, hızın geniş bir aralıkta değişmesi gereken orta güç uygulamalarının yüksek performans uygulamalarında tercih edilmezler [2].

Matris koverter ac-ac dönüşümünü doğrudan yapan bir konverterdir. Bu dönüşümü yaparken aynı zamanda birim güç faktöründe çalışma imkanı sunar [3]. Matris konverter üç fazlı a.c güç kaynağındaki yüksek değerli harmonikleri üretmeksizin dört bölge çalıştırma sağlayabilir. Klasik sürücülerle karşılaştırıldığında, güç/ağırlık ve güç/hacim oranlarının yüksek olduğu görülür. Devre doğal olarak çift yönlü güç akışını sağlar ve aynı zamanda ticari inverterlerde görülen harmonikleri ihtiva etmeyen hemen hemen sinüsoidal bir giriş akımı sağlar [4].

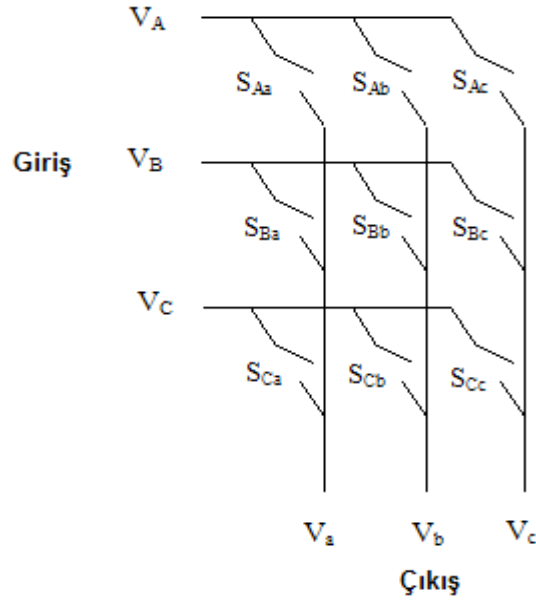
Literatürde, Senkron motorun matris konverterden beslenmesi durumunda, konveterde boşluk yolu sağlayarak aşırı gerilim koruması sağlanmıştır [2]. Aynı zamanda uzay vektör modülasyon tekniği kullanan matris konverterden beslenen senkron motorun V/f skalar kontrolü ile yüksek hızlarda birim güç faktörü sağlanmıştır [5].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada, basitleştirmiş venturini algoritması kullanan matris konverterden beslenen senkron motorun self kontrolü Matlab/Simulink modeli oluşturularak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan modülasyon algoritması sayesinde düşük ve yüksek hızları kapsayan geniş bir hız aralığında girişte birim yerdeğiştirme faktörü sağlanmıştır. Ayrıca matris konverterin çıkış faz gerilimi ve giriş faz akımı için yapılan harmonik analiz sonucu baskın harmoniklerin sadece anahtarlama frekansında olduğu gözlenmiştir.

3. MATRİS KONVERTER (MATRIX CONVERTER)

Üç fazlı matris konverter dokuz adet çift yönlü anahtardan oluşur. Bu çift yönlü anahtarlarla, kullanılan modülasyon tekniğine bağlı olarak belli bir anahtarlama frekansında sırasıyla anahtarlanarak sabit bir a.c kaynaktan frekansı ve genliği değiştirilebilen bir a.c. kaynak elde edilir. Şekil 1'de 3x3'lük bir matris konverterin şeması görülmektedir.



Şekil 1. Üç fazlı matris konverter şeması
 (Figure 1. Three phase matrix converter scheme)

Bu çalışmada, matris konverterin kontrolü basitleştirilmiş Venturini algoritması kullanılarak sağlanmıştır [6]. Bu algoritmada gerilim oranı q 'nin hesaplanabilmesi için matris konverterin giriş geriliminin ve çıkış geriliminin maksimum değerinin bilinmesi gerekir. Bu değerler aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanabilir;

$$V_{im}^2 = \frac{4}{9}(V_{AB}^2 + V_{BC}^2 + V_{AB} \cdot V_{BC}) \quad (1)$$

$$\omega_t t = \arctan\left(\frac{V_{BC}}{\sqrt{3}\left(\frac{2}{3}V_{AB} + \frac{1}{3}V_{BC}\right)}\right) \quad (2)$$

$$V_{om}^2 = \frac{2}{3}(V_a^2 + V_b^2 + V_c^2) \quad (3)$$

$$\omega_o t = \arctan\left(\frac{V_b - V_c}{\sqrt{3}V_a}\right) \quad (4)$$

$$q = \sqrt{\frac{V_{om}^2}{V_{im}^2}} \quad (5)$$

$$K_{31} = \frac{2}{9} \cdot \frac{q}{q_m} \cdot \sin(\omega_t t) \cdot \sin(3\omega_t t) \quad (6)$$

$$K_{32} = \frac{2}{9} \cdot \frac{q}{q_m} \cdot \sin\left(\omega_t t - \frac{2\pi}{3}\right) \cdot \sin(3\omega_t t)$$

$$(7) \quad K_{33} = -\sqrt{V_{om}^2} \left[\frac{1}{6} \cos(3\omega_o t) - \frac{1}{4} \frac{1}{q_m} \cos(3\omega_t t) \right] \quad (8)$$

$$M_{Aa} = \frac{1}{3} + K_{31} + \frac{2}{3V_{im}^2} (V_a + K_{33}) \left(\frac{2}{3}V_{AB} + \frac{1}{3}V_{BC} \right) \quad (9)$$

$$M_{Ba} = \frac{1}{3} + K_{32} + \frac{2}{3V_{im}^2} (V_a + K_{33}) \left(\frac{1}{3}V_{BC} - \frac{1}{3}V_{AB} \right) \quad (10)$$

$$M_{Ca} = 1 - (M_{Aa} + M_{Ba}) \quad (11)$$

V_{im} giriş kaynak geriliminin maksimum değeri Denklem-1 ile hesaplanır. Burada, V_{AB} , V_{BC} giriş hat gerilimlerinin anlık değerleridir. İstenen çıkış geriliminin maksimum değeri V_{om} ve istenen çıkış frekansı ω_o sırasıyla Denklem-3 ve 4 ile hesaplanır. V_a , V_b , V_c , talep edilen çıkış geriliminin anlık değerleridir. Gerilim oranı q Denklem-5 ile hesaplanabilir. q_m maksimum gerilim oranıdır. a çıkış fazı için modülasyon fonksiyonları Denklem-9-10 ve 11 ile verilmiştir. Diğer çıkış fazları için modülasyon fonksiyonları Denklem 9 ve 10 da V_a yerine V_b ve V_c konularak hesaplanır. Genel olarak matris konverterin üç fazlı çıkış gerilimi ve giriş akımları matrisel formdaki modülasyon fonksiyonlarından elde edilir (Denklem 12 ve 13).

$$V_{oph} = M.V_{iph}$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{Aa} & M_{Ba} & M_{Ca} \\ M_{Ab} & M_{Bb} & M_{Cb} \\ M_{Ac} & M_{Bc} & M_{Cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$I_{iph} = M^T . I_{oph}$$

$$\begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{Aa} & M_{Ab} & M_{Ac} \\ M_{Ba} & M_{Bb} & M_{Bc} \\ M_{Ca} & M_{Cb} & M_{Cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (13)$$

Burada, T traspozeyi ifade eder. M , üç fazlı matris konverterin ani giriş fazlarının çıkış fazlarına dönüşümünü sağlayan matristir. V_{iph} ve V_{oph} sırasıyla anlık giriş ve çıkış faz gerilim vektörleridir. I_{iph} ve I_{oph} sırasıyla anlık giriş ve çıkış faz akım vektörleridir.

4. SENKRON MOTORUN MODELLENMESİ (MODELLING OF SYNCHRONOUS MOTOR)

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 [7].

Gerilim ifadeleri;

$$V_{qs} = R_s . I_{qs} + \omega_r \lambda_{ds} + p \lambda_{qs} \quad (14)$$

$$V_{ds} = R_s . I_{ds} - \omega_r \lambda_{qs} + p \lambda_{ds} \quad (15)$$

$$V_{kq} = R_{kq} . I_{kq} + p \lambda_{kq} \quad (16)$$

$$V_{kd} = R_{kq} . I_{kd} + p \lambda_{kd} \quad (17)$$

$$V_{fd} = R_{fd} . I_{fd} + p \lambda_{fd} \quad (18)$$

Akı bağı ifadeleri;

$$\lambda_{qs} = L_{ls} . I_{qs} + L_{mq} (I_{qs} + I_{kq}) \quad (19)$$

$$\lambda_{ds} = L_{ls} . I_{ds} + L_{md} (I_{ds} + I_{fd} + I_{kd}) \quad (20)$$

$$\lambda_{kq} = L_{lkq} . I_{kq} + L_{mq} (I_{qs} + I_{kq}) \quad (21)$$

$$\lambda_{fd} = L_{lfd} . I_{fd} + L_{md} (I_{ds} + I_{fd} + I_{kd}) \quad (22)$$

$$\lambda_{kd} = L_{lkd} . I_{kd} + L_{md} (I_{ds} + I_{fd} + I_{kd}) \quad (23)$$

Moment;

$$T_e = \frac{3}{2} . \frac{P}{2} (\lambda_{ds} I_{qs} - \lambda_{qs} I_{ds}) \quad (24)$$

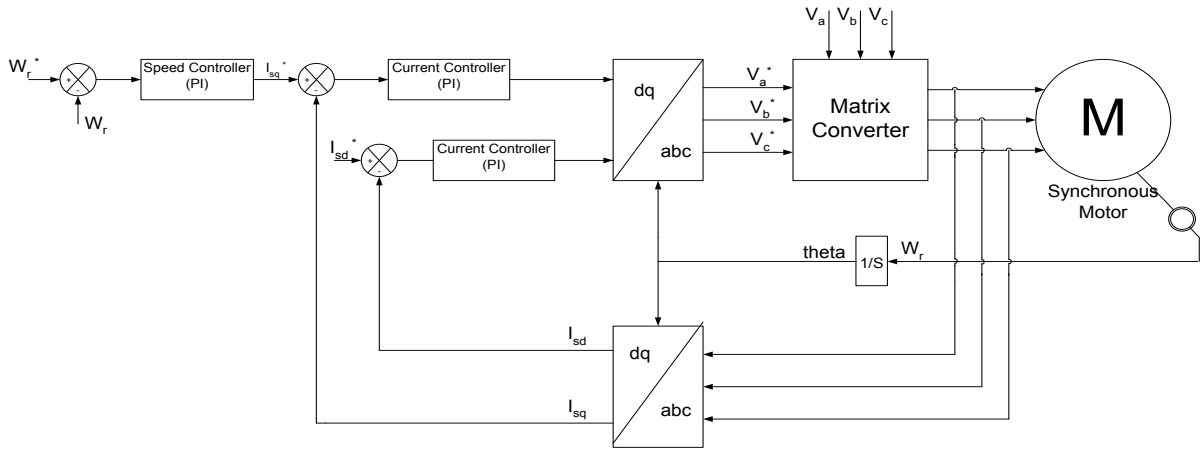
Hareket denklemi;

$$T_e = j . \left(\frac{2}{p} \right) . p . \omega_r + T_L \quad (25)$$

Buradaki denklemlerde s alt indisi stator sargısı, f alt indisi uyarım sargısı ve k alt indisi ise amortisör sargılarına ait büyüklükleri gösterir. V gerilim, I akım, λ akı bağı, R direnç, T_e moment, P kutup sayısı ifade eder. L_{1s}, L_{1fd}, L_{1kq}, L_{1kd} sırasıyla stator sargısı, uyarım sargısı ve amortisör sargısı kaçak indüktanslarını gösterir. T_e ve T_L sırasıyla motor ve yük momentlerini gösterir.

5. SELF KONTROLLÜ SENKRON MOTOR (SELF CONTROLLED SYNCHRONOUS 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 senkron kalmalarını sağlar [1]. Şekil 2'de matris konverterden beslenen self kontrollü senkron motorun blok diyagramı görülmektedir.



Şekil 2. Matris konverterden beslenen self kontrollü senkron motor
(Figure 2. Self control of synchronous motor fed by matrix converter)

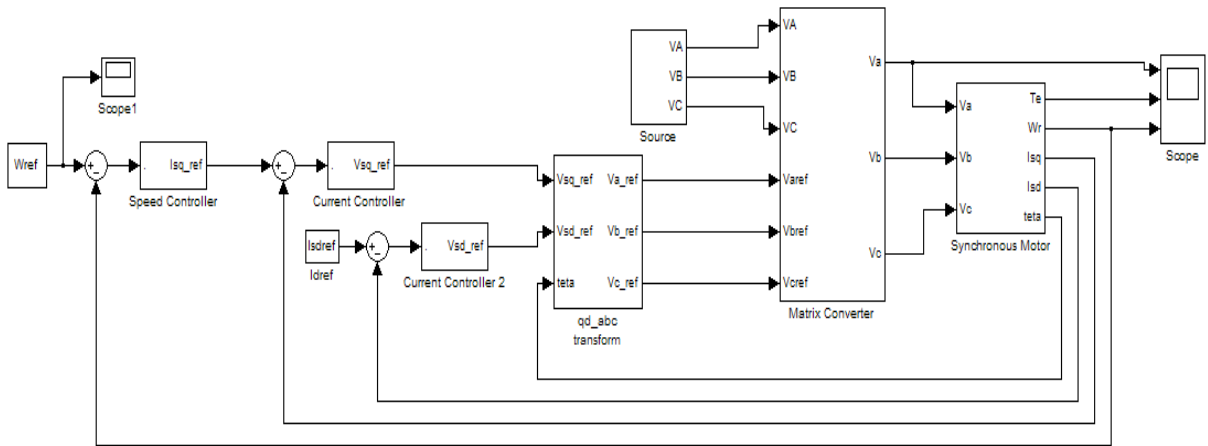
Çıkık kutuplu bir senkron motorun stator ve alan mmk'lerinin sinüzoidal dağılımlı oldukları kabul edilirse; elde edilen ortalama moment (26) denklemi ile verilir.

$$T_e = K_1 \cdot I_a \cdot I_{fd} \cdot \sin \delta + K_2 \cdot I_a^2 \cdot \sin 2\delta \quad (26)$$

Burada K₁ ve K₂ moment sabitleri, I_a stator akımının genliği, I_{fd} alan (uyarma) akımının genliği ve δ ise stator ve uyarma mmk'leri arasındaki açıdır. (26) denkleminde K₂ sabiti sıfır alınırsa yuvarlak kutuplu makineye ait moment denklemi elde edilmiş olur. δ açısı 90° de tutulduğundan, uyarma akımı da sabit bir değere ayarlanırsa moment stator akımıyla değiştirilebilir. Çıkık kutuplu olmayan motorda kararlı çalışma aralığı için δ açısı; 0-90° arasında, çıkık kutuplu motorda ise 90° den küçük tutulmalıdır [8].

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

Matlab/Simulink'te oluşturulan basitleştirilmiş Venturini algoritmasını kullanan matris konverterden beslenen self kontrollü senkron motorun simülasyonu Şekil 3' de görülmektedir.

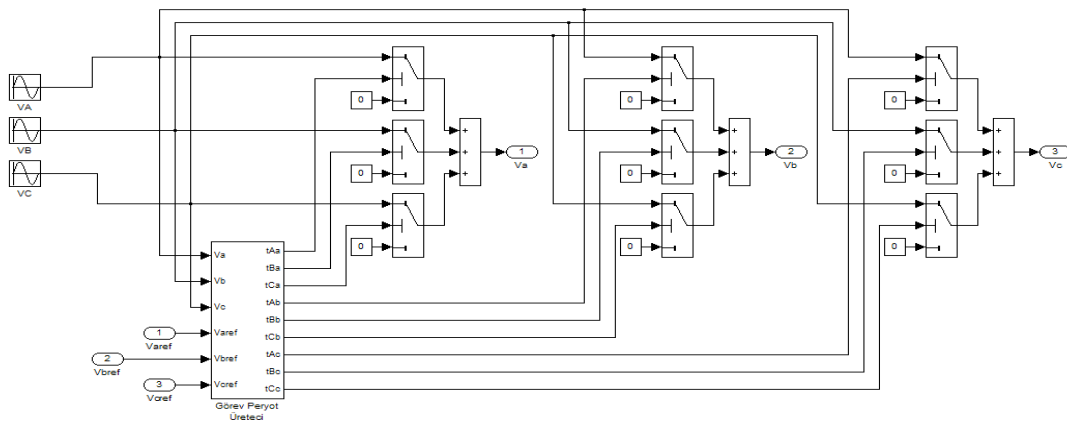


Şekil 3. Matris konverterden beslenen self kontrollü senkron motorun simülasyon modeli
(Figure 3. Simulation model of self controlled synchronous motor fed by matrix converter)

Burada referans hız, motorun gerçek hızı karşılaştırılarak hata, bir PI'dan oluşan hız kontrolörüne uygulanır. Hız kontrolörünün çıkışı moment akımına karşılık gelen referans I_{sq}^* akımını verir. Alan akımına karşılık gelen referans I_{sd}^* dışarıdan sabit olarak girilir. Referans I_{sq}^* ve I_{sd}^* akımları motordan elde edilen gerçek I_{sq} ve I_{sd} akımları ile karşılaştırılarak PI 'dan oluşan akım kontrolörüne uygulanır. Akım kontrolörlerinin çıkışı referans V_{sq}^* ve V_{sd}^* gerilimlerini verir. Bu gerilimler motordan elde edilen teta açısı yardımıyla referans V_a^* , V_b^* ve V_c^* gerilimlerine dönüştürülür. Bu gerilimler Venturini algoritmasında (Denk. 1-11) giriş olarak kullanılarak, matris konverterdeki anahtarların anahtarlama sürelerinin elde edilmesi için kullanılır.

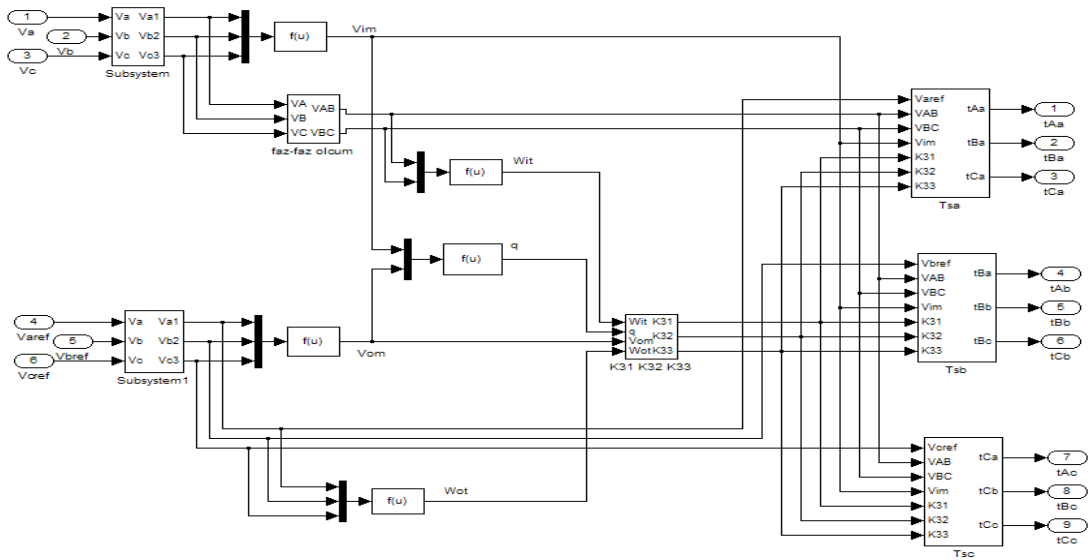
6. MATRİS KONVERTER MODELİ (MATRIX CONVERTER MODEL)

Yukarıda bahsedilen basitleştirilmiş Venturini algoritması kullanarak Matlab/Simulinkte oluşturulan matris konverter modeli Şekil 4'de görülmektedir.



Şekil 4. 3-fazlı matris konverter modeli
(Figure 4. 3-phase to 3-phase matrix converter model)

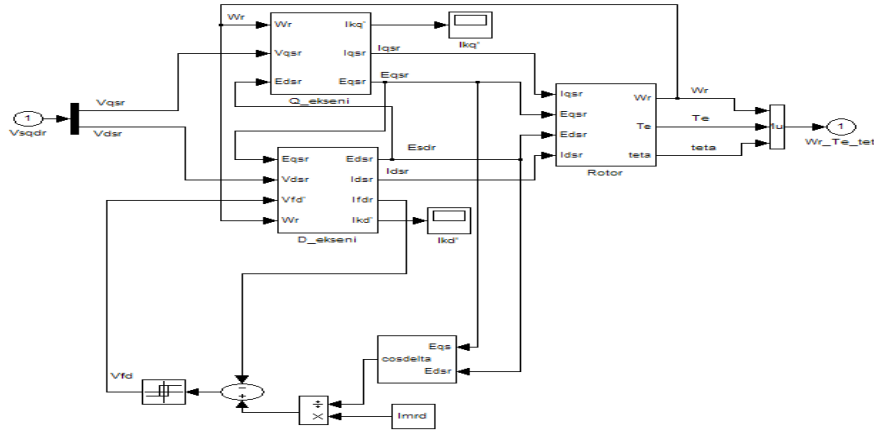
Görev peryot üretici bloğunun içeriği Şekil 5' de gösterildiği gibidir.



Şekil 5. Görev periyot üretici
(Figure 5. Duty cycle generator)

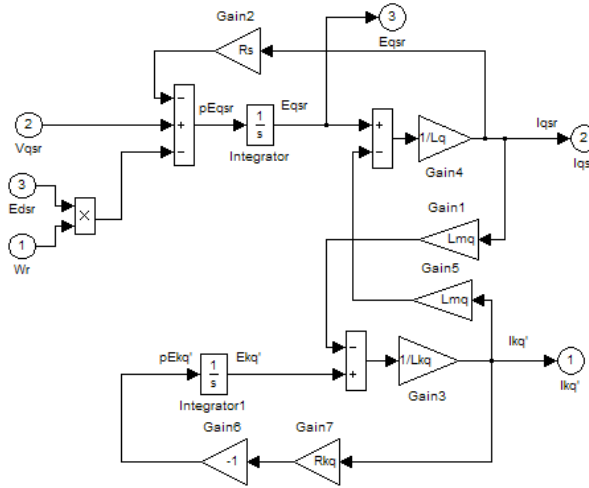
7. MOTOR MODELİ (MODELLING OF MOTOR)

Denklem (1-12) kullanılarak Matlab/simulinkte oluşturulan model Şekil 6' da görülmektedir.



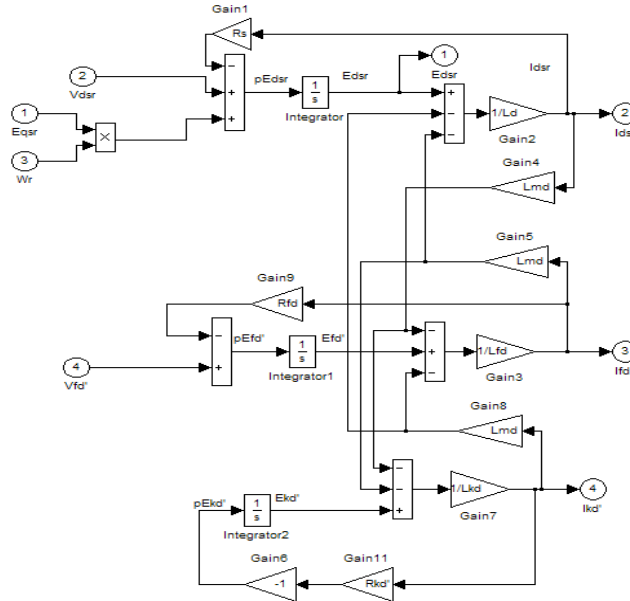
Şekil 6. Senkron motorun d-q referans çatıda oluşturulan simülasyon modeli
(Figure 6. Simulink model of synchronous motor in d-q reference frame)

Şekil 6' daki q-ekseni bloğunun içeriğini Denk. (1,3,6,8) oluşturmaktadır. Buna göre q eksen bloğunun içeriği Şekil 7' deki gibidir.



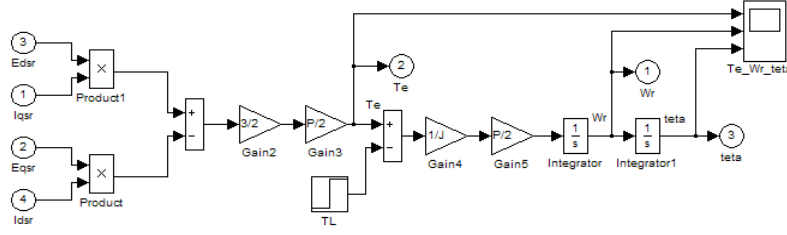
Şekil 7. Q-eksen denlemlerinin simülasyon modeli
(Figure 7. Simulink model of q-axis equations)

Şekil 7'deki d-ekseni bloğunun içeriğini Denk. (2, 4, 7 ve 9) oluşturmaktadır. Buna göre d eksen bloğunun içeriği Şekil 8'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 8. D-eksen denlemlerinin simülasyon modeli
(Figure 8. Simulink model of d-axis equations)

Senkron motorun endüklediği moment Denklem-11 den hesaplanır. Bu moment hesabı ve hareket denklemini oluşturan Denklem 12 Şekil 9' daki gibi modellenmiştir.

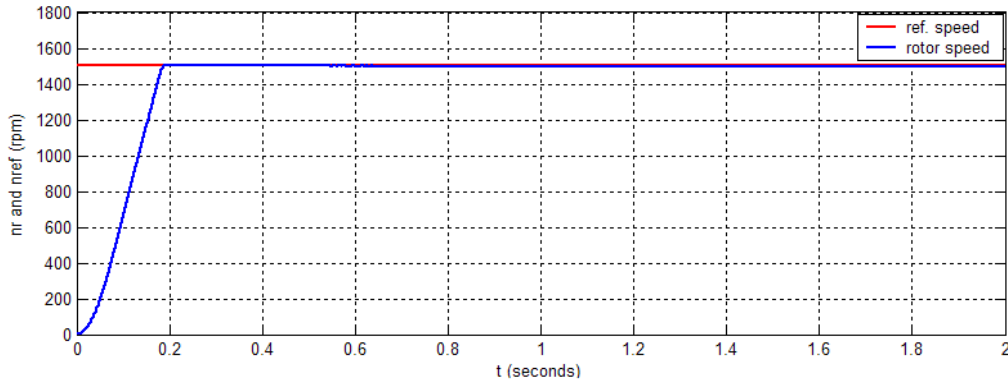


Şekil 9. Hareket denleminin simülasyon modeli
(Figure 9. Simulink model of the motion equation)

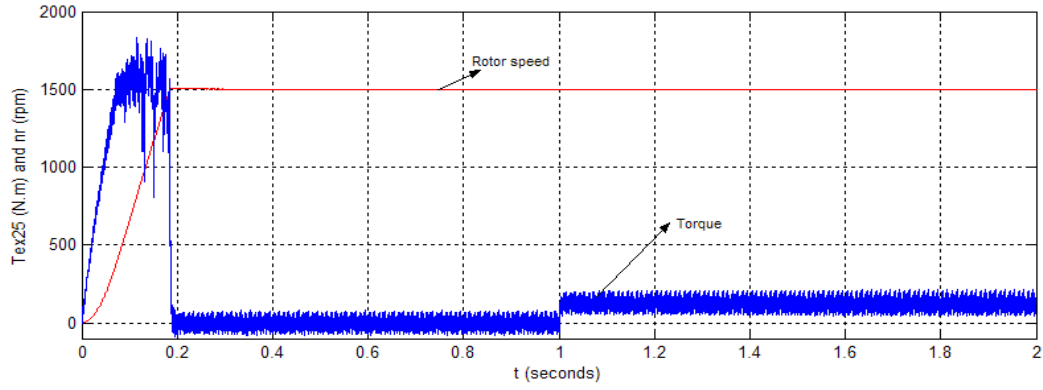
8. SİMÜLASYON SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

Matris Konverterden beslenen senkron motorun modeli değişik koşullar altında çalıştırılarak performansı detaylı bir şekilde incelenmiştir.

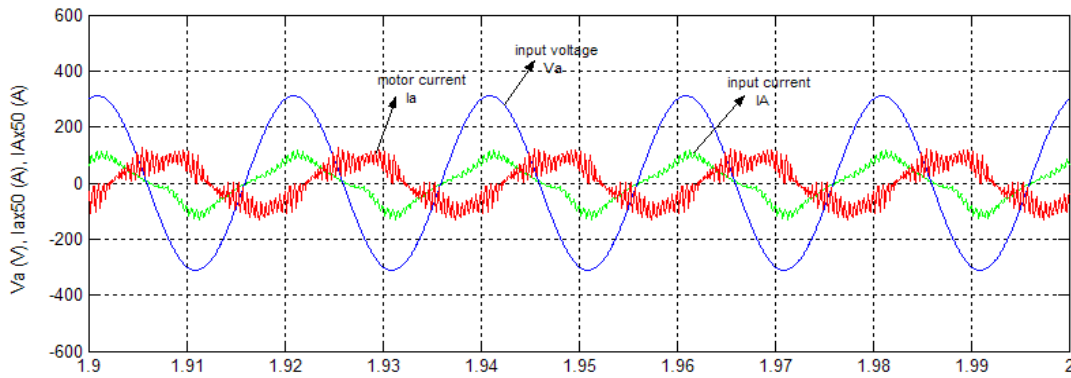
Simülasyon ilk olarak sabit bir referans hız bilgisi verilerek çalıştırılmıştır. Modele referans hız olarak 1500 d/dk bilgisi girilmiştir. Motora ilk anda yük uygulanmamıştır (0-1sn aralığı boşa). Motor bir süre boşa çalıştırıldıktan sonra 5 N.m' lik sabit bir yük ile yüklenmiştir (1-2 sn aralığında $T_L=5$ N.m). Yük 1 sn sonra devreye alınmıştır. Bu durumda motorun referans hızı ile motorun gerçek hızı Şekil 10' da görülmektedir. Motor hızının yaklaşık 0.2 sn sonra referans hızı yakaladığı görülmektedir. Aynı koşullarda motor hızı ile momentinin değişimi Şekil 11' de verilmiştir. Burada motorun momenti 0-1 sn aralığında sürekli duruma ulaştığında herhangi bir yük uygulanmadığı için sıfırı takip etmektedir. 1-2 sn aralığında ise motor momentinin girilen yük değerini karşıladığı görülmektedir. Şekil 12' de giriş gerilimi, giriş akımı ve motor akımının sürekli durumdaki değişimi verilmiştir. Buradan girişte birim yerdeğiştirme faktörü sağlandığı açıkça görülmektedir. Şekil 13' te matris konverterin çıkış gerilimi, giriş kaynak akımı ve motor akımının değişimi görülmektedir. Şekil 14' te ise matris konverterin çıkış gerilimi ve giriş kaynak akımının harmonik analizi verilmiştir. Burada, baskın harmoniklerin anahtarlama frekansı civarında olduğu görülmektedir.



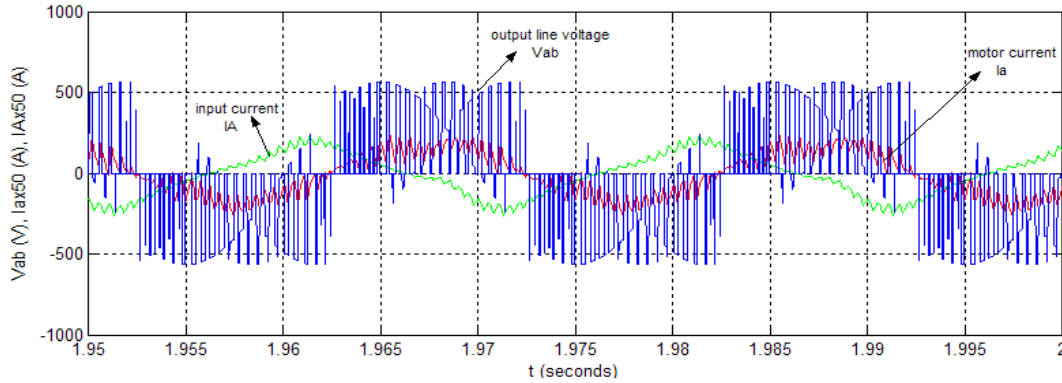
Şekil 10. Referans hız ile motorun gerçek hızının zamana göre değişimi
(Figure 10. The change of the real speed of motor and reference speed with time)



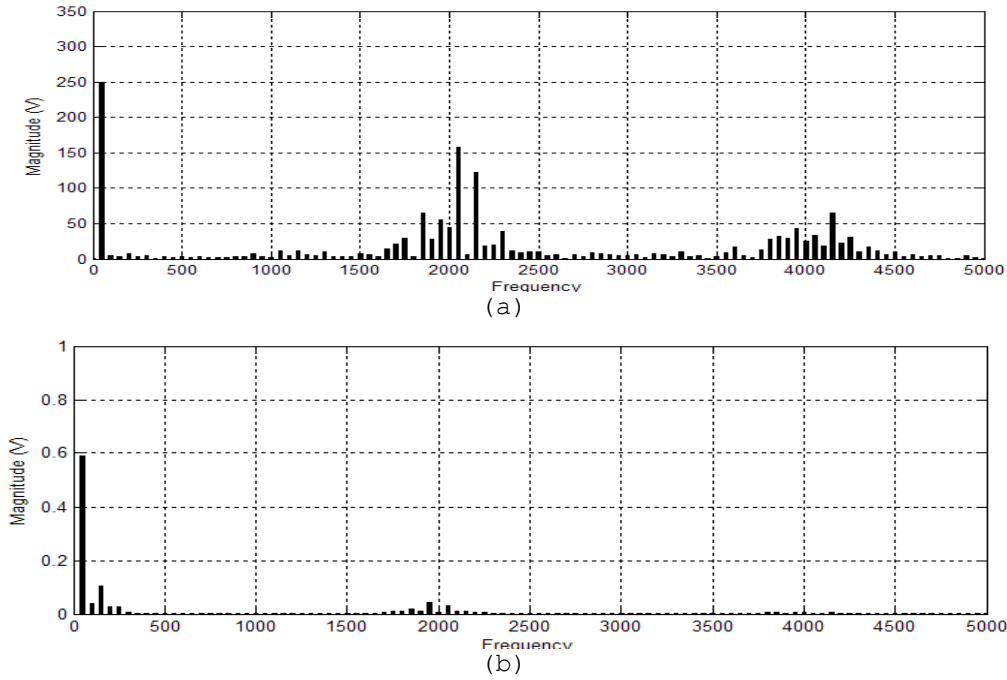
Şekil 11. Motor hızı ile momentinin zamana göre değişimi
(Figure 11. The change of motor speed and torque with time)



Şekil 12. Kaynak gerilimi, motor akımı ve giriş akımının zamana göre değişimi
(Figure 12. The change of input voltage, current and motor current with time in continuous regime)

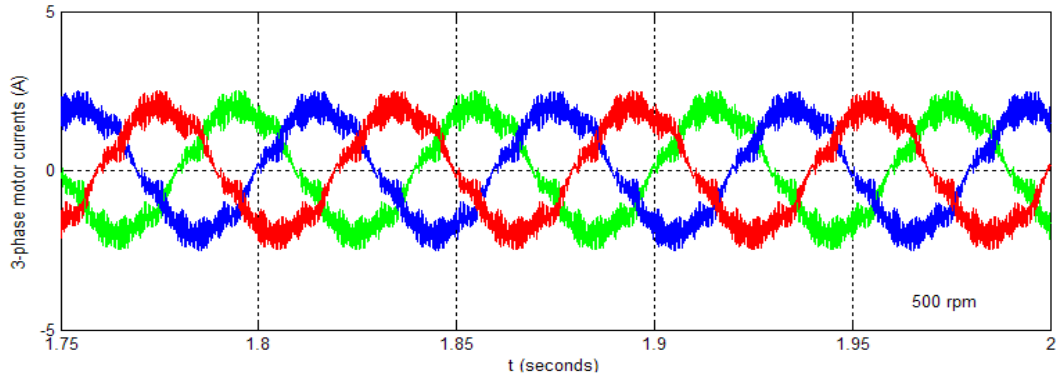


Şekil 13. Matris konvertörün çıkış gerilimi, motor akımı ve giriş kaynak akımının zamana göre değişimi
(Figure 13. The change of line current, output voltage of matrix converter and input current with time)



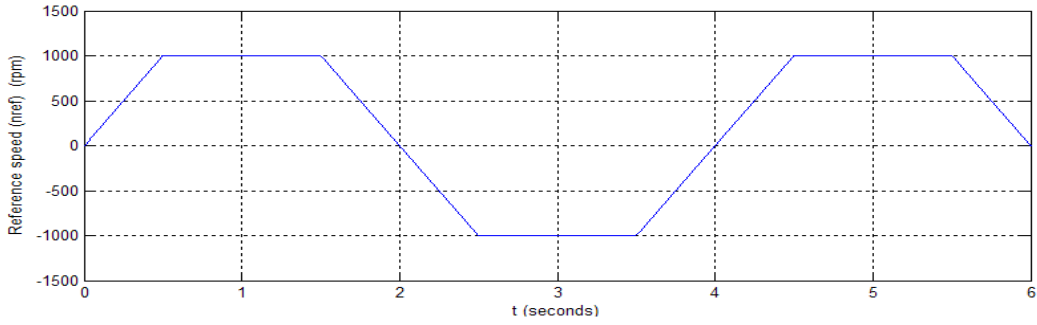
Şekil 14. 1500 d/dk için harmonik spektrum, a) Matris konverterin çıkış hat gerilimi. b) Matris konverterin giriş kaynak akımı
(Figure 14. Harmonic spectrum for 1500 rpm, a) Output line voltage of matrix converter b) Input source current of matrix converter)

Simülasyon 500 d/dk için çalıştırıldığında motorun sürekli durumdaki 3-faz akımı Şekil 15' te görüldüğü gibidir.



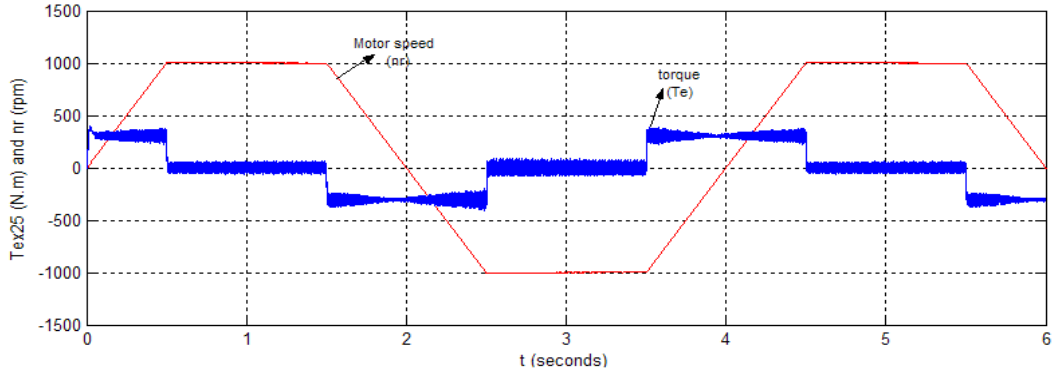
Şekil 15. 500 d/dk için sürekli durumda motorun 3-faz akımı
(Figure 15. Three-phase steady-state motor currents for 500 rpm)

Dört bölgeli çalışmayı detaylı olarak görebilmek için modele Şekil 16' da görülen 1000 d/dk ile -1000 d/dk arasında sürekli değişen referans hız uygulanmıştır.

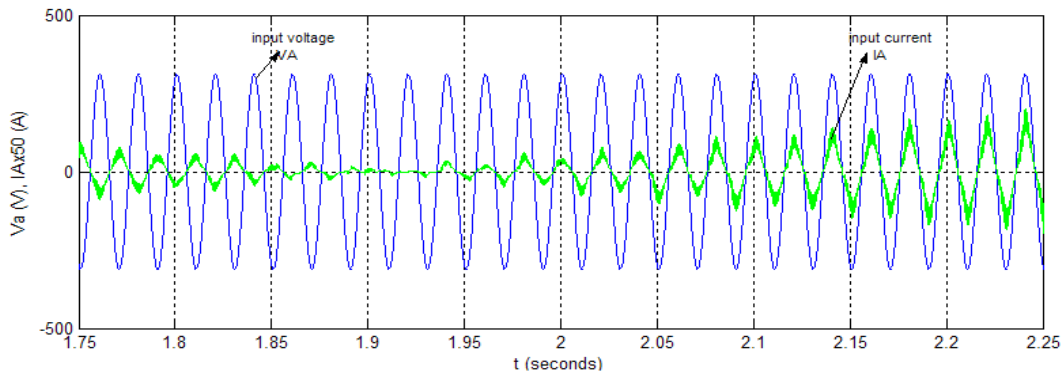


Şekil 16. Girilen değişken referans hızın zamana göre değişimi
(Figure 16. The change of variable reference speed with time)

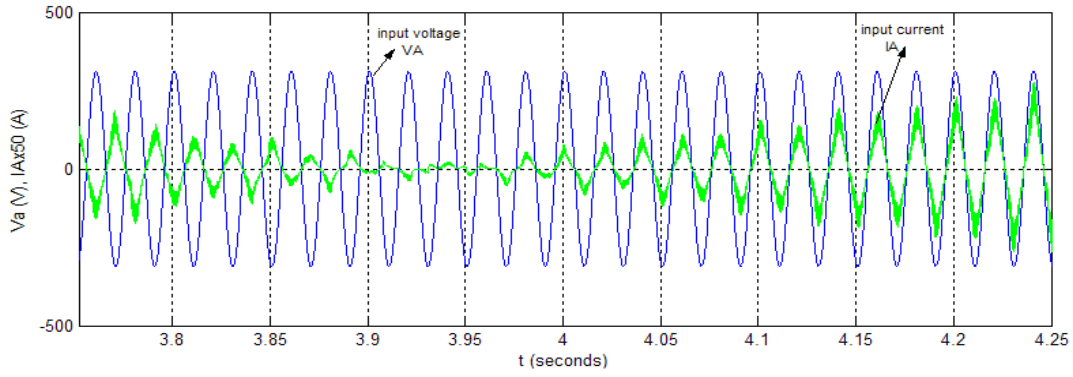
Sistemde yük yok iken Şekil-16'da görülen referans hızın uygulanması durumunda motorun hızı ile moment değişimi Şekil 17'de görülmektedir. Şekil 18 ve 19 da giriş kaynak gerilimi ile giriş akımının değişimi verilmiştir. Buradan akımın fazının bölge geçişleri esnasında 180 derece değiştiği görülmektedir. Şekil 20'de dört bölge için çalışma için moment-hız karakteristiği gösterilmiştir.



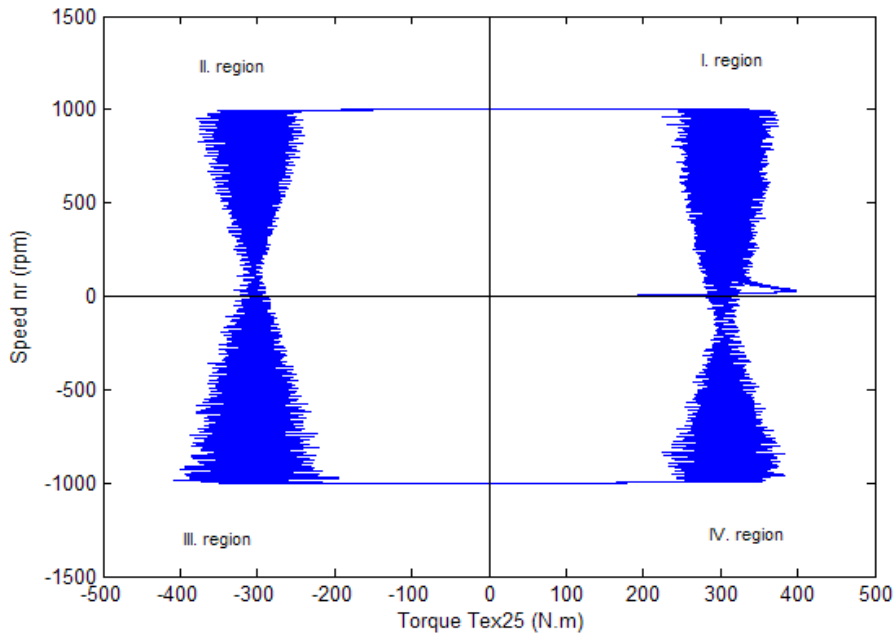
Şekil 17. Motor momenti ve hızının değişimi
(Figure 17. The change of motor torque and speed with time)



Şekil 18. 2. bölgeden 3. bölgeye geçişi
(Figure 18. Transition from the 2nd region to 3rd region)



Şekil 19. 4. Bölgeden 1. bölgeye geçişi
(Figure 19. Transition from the 4th region to 1st region)



Şekil 20. Dört bölgeyi çalışmayı gösteren moment-hız karakteristiği
(Figure 20. Torque-speed characteristic showing 4-region running)

9. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu makalede basitleştirilmiş Venturini algoritmasını kullanan matris konverterden beslenen self kontrollü senkron motor sürücüsünün detaylı bir simülasyon çalışması sunulmuştur. Bahsedilen sürücü dört bölgeyi çalışma olanağı sağlamaktadır. Aynı zamanda çıkıştaki yükten bağımsız şekilde girişte sürekli birim yerdeğiştirme faktörü sağlamaktadır. Bu durum, hem düşük hemde yüksek hızları kapsayan geniş bir hız aralığında sağladığı simülasyon sonuçları ile de gösterilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Orhan, A., (1999), "Büyük Güçlü Senkron Motorların Vektör Kontrollü İçin Yeni Bir Yöntem", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
2. Tewolde, M. and Das, S.P., (2006), "Matrix Converter-fed High Performance Synchronous Motor Drive System", IEEE.
3. Venturini, M., (1980), "A new sine wave in sine out conversion technique which eliminates reactive elements. In: Proceedings of Powercon 7", San Diego, Calif., pp E3-1, E3-15.



4. Altun, H. and Sünter, S., (2003), "Matrix Converter Induction Motor Drive: Modeling, Simulation and Control", Electrical Engineering 86, December, pp:25-33.
5. Kulkarni, P., Abraham, T.M., and Das, P.S., (2009), "Design and simulation of a matrix converter-fed scalar controlled synchronous motor drive", Indian Inst. Of Tech. Kanpur., IEEE, India
6. Sünter, S., (1995), "A vector controlled matrix converter induction motor drive", PhD Thesis, Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Nottingham.
7. Krause, P.C., (1987), "Analysis of Electric Machinery", Mc Graw Hill Book Co., Singapore.
8. Sen, P.C., (1982), "Synchronous Motor Propulsion for Transit Systems", IEEE IAS. Ann. Meeting onf. Rec., 264-26.

EK (APPENDIX)

Kullanılan senkron motor parametreleri [5];

Pow=5HP

fi=50 Hz

Uff=400 V

Vf=85 V

P=4-pole

J=0.0581 kg-m²

Rs=5.500 ohm.

Lls=0.0164 H

Rkq=4.167 ohm

Llkq=0.0530 H

Lmd=0.0823 H

Lmq=0.0477 H

Rkd=16.00 ohm

Llkd=0.0623 H

Rfd=0.3096 ohm

Llfd=0.0100 H