

UZAY VEKTÖR KONTROL ALGORİTMASI KULLANAN MATRİS ÇEVİRİCİDEN BESLENEN ASENKRON MOTORUN V/F KONTROLÜ

Ebubekir ERDEM¹

Yetkin TATAR²

Sedat SÜNTER³

^{1,2}Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Bölümü, Elazığ.

³Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Bölümü, Elazığ.

¹e-posta: aberdem@firat.edu.tr

²e-posta: ytatar@firat.edu.tr

³e-posta: ssunter@firat.edu.tr

ÖZET

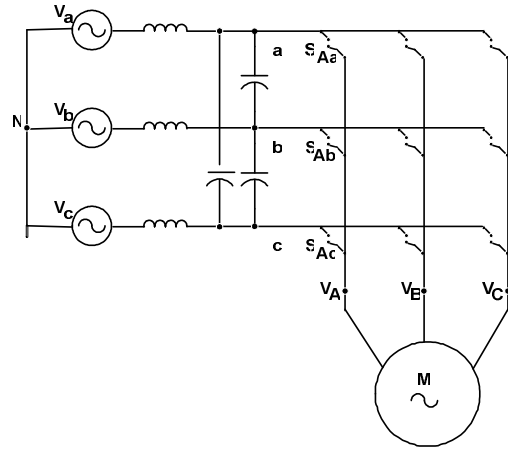
Bu çalışmada matris çeviriciden beslenen üç fazlı bir asenkron motorun açık çevrim V/f kontrolünün simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Motora değişken frekans ve genlikte gerilim sağlayan matris çevirici için uzay vektör kontrol algoritması tekniği kullanılmıştır. Sistemin modellemesinde matlab simulink paket programı kullanılmıştır. V/f kontrollü ve kontrolsüz asenkron motor için simülasyon yapılarak elde edilen hız, moment ve stator faz akım dalga şekilleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Anahtar sözcükler: Matris çevirici, uzay vektör kontrol algoritması, asenkron motor, v/f kontrol

1. GİRİŞ

Asenkron motorların hız kontrolünde kullanılan V/f kontrol için motorun beslediği güç kaynağının, değişken genlik ve frekansta gerilimler üretebilecek özellikte olması gerekir. Motorun V/f kontrolü için gerekli olan değişken genlik ve frekanslı sinüzoidal gerilim, alternatif akıma doğrudan dönüşüm yapabilen matris çeviriciler tarafından sağlanabilir. AC kaynağa doğrudan bağlanan AC-AC çeviricilerden olan matris çeviriciler, matris şeklinde düzenlenmiş çift yönlü 9 adet anahtardan oluşur. Bu anahtarlar giriş gerilimini değişik modülasyon algoritmalarıyla anahtarlayarak çıkışta değişken genlik ve frekanslı gerilimler elde edilmesini sağlarlar.[1,2] Şekil 1.de 9 adet çift yönlü anahtara sahip, üç faz giriş - üç faz çıkışlı tipik bir matris çevirici devresi görülmektedir. Son zamanlarda matris çeviricilerde kullanılan en popüler kontrol algoritması, giriş akım ve çıkış gerilim vektörlerinin bağımsız kontrol edilebilmesine müsaade eden uzay vektör kontrol algoritmasıdır.

Bu çalışmada, asenkron motorun açık çevrim V/f kontrolünün simülasyonu yapılmıştır. Motora uygulanan değişken frekans ve gerilim, uzay vektör kontrol algoritmasını kullanan matris çevirici tarafından sağlanmaktadır. Matlab simulink paket



Şekil 1. 3x3 faz matris çeviricinin yapısı

programı kullanarak motorun V/f kontrollü ve kontrolsüz durumları için simülasyon yapılmıştır. V/f kontrollü uygulamada hız geçişlerinde de v/f oranı sabit tutularak gerilimle frekans zamana bağlı olarak son değere ulaşmakta, kontrolsüz de ise hız geçişi ani olarak yapılmaktadır. Elde edilen simülasyon sonuçlarına göre karşılaştırmalı olarak motorun hız, moment ve stator akım dalga şekilleri irdelenmiştir.

2. KONTROL ALGORİTMASI

Uzay vektör kontrol algoritması, üç faz giriş akımlarının ve üç faz çıkış hat gerilimlerinin uzay vektör düzleminde gösterilmesine dayandırılır. Matris çeviricilerde anahtarlama durumuna bağlı olarak çalışma süresi içerisinde her bir çıkış fazı her bir giriş fazına bağlanmaktadır. Matris çeviricinin güvenli anahtarlama yapabilmesi için,

- İki farklı giriş hattı aynı çıkış hattına eşzamanlı bağlanmamalı,
- Çıkış hatlarından herhangi biri anahtarlama süresince açık bırakılmamalı,

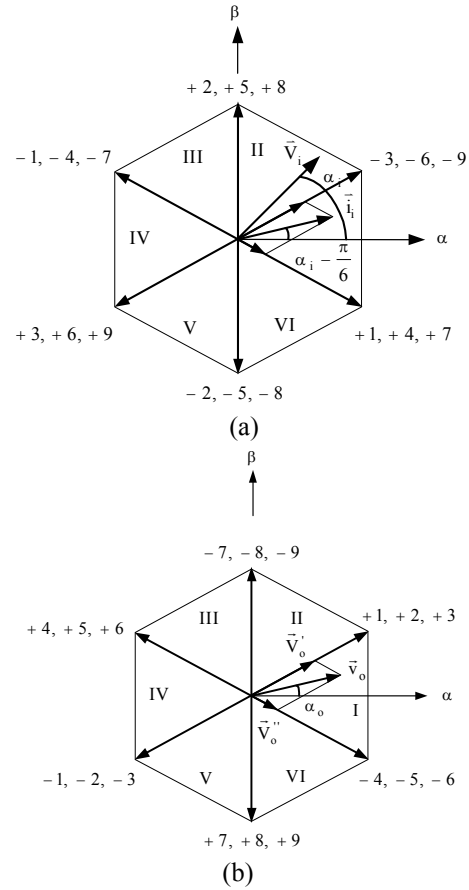
şartlarını her anahtarlama anında sağlaması gerekir. Sıralanan temel şartlar sağlandığında çıkış fazlarının giriş fazlarına bağlanması esnasında 27 adet değişik

bağlantı kombinasyonu oluşmaktadır. Bu anahtarlama kombinasyonları 3 grupta incelenebilir. Birinci gruptaki altı adet anahtarlama kombinasyonunda her çıkış fazı farklı giriş fazları ile doğrudan bağlanmaktadır. Bu durumda çıkış gerilim vektörünün faz açısı giriş gerilim vektörünün faz açısına bağlıdır. Aynı durum akım vektörlerinde de oluşmaktadır. Uzak vektör kontrol tekniğinde bu grup anahtarlama durumunda her iki vektörün de faz açılarının bağımsız denetlenememesi nedeniyle matris çeviricilerde kullanılmamaktadır. İkinci grup anahtarlama kombinasyonlarından 18 tanesinde ise değişik genlikte ve frekansta aktif gerilim vektörü oluşur. Çıkış geriliminin genliği seçilen girişlere ait fazlar arası gerilimin değerine bağlıdır. Bu durumda ise çıkış gerilim uzak vektörünün faz açısı giriş gerilim uzak vektörünün faz açısına bağlı değildir. Aynı durum akım vektörlerinde de oluşmaktadır. Son grup anahtarlama kombinasyonunun 3 tanesinde ise sıfır vektörleri oluşur. Bütün çıkış fazları aynı giriş fazına bağlanmıştır. [3,4]

Matris çevirici çıkışında, uzak vektör kontrol tekniğine göre tetikleme sinyalleri üretebilmek için çıkış hat gerilim ve giriş akımların uzak vektörleri kullanılmaktadır. Şekil 2. de giriş akımlarının ve çıkış hat gerilimlerinin uzak vektör gösterimi verilmiştir. Burada, $|\vec{v}_i|$ ve $|\vec{v}_o|$ ani giriş ve çıkış gerilim vektörlerinin genliklerini, $\alpha_i(W_i t)$ ve $\alpha_o(W_o t)$ ise giriş ve çıkış gerilim faz açılarını sırasıyla göstermektedir. İletime geçecek anahtarların belirlenmesi için, α_i ve α_o 'ın şekil 2. de gösterilen giriş akımlarının ve çıkış hat gerilim vektörlerinin hangi bölgesinde oldukları belirlenmelidir. α_i ve α_o 'ın durumlarına göre 36 bölge oluşmaktadır.[5] Her anahtarlama elemanının ne kadar iletimde kalacağı her iki vektöründe ortak anahtarlama kombinasyonları baz alınarak belirlenir. Matris çeviricilerin çıkışında istenen frekans ve gerilimin genliğini elde etmek için her bir anahtarlama kombinasyonuna ait elemanların iletim süresi bulunmalıdır. α_i ve α_o 'ın 1. bölgede olması durumu için anahtarlara ait iletim süreleri denklem 1.de verilmiştir. Denklem 1. deki çözümler $0 \leq \alpha_i \leq \frac{\pi}{3}$,

$-\frac{\pi}{6} \leq \alpha_o \leq \frac{\pi}{6}$ olması durumuna aittir. Bu algoritmaya göre, matris çeviricinin maksimum çıkış gerilimi, giriş geriliminin en fazla 0.886 katı olabilmektedir ($0 \leq q = \frac{|\vec{v}_o|}{|\vec{v}_i|} \leq 0.886$). Ts anahtarlama

periyodunu m modülasyon indeksini göstermektedir. Denklem 1. de bulunan anahtarlama süreleri toplamı bir anahtarlama periyodu süresini geçmemelidir. Aksi takdirde anahtarlar aşma modunda iletime girecektir. İletim sürelerinin toplamı denklem 3. deki şartı sağlamalıdır.



Şekil 2. a)Giriş akımların, b)Çıkış hat gerilimlerin uzak vektör gösterimi

$$\delta_1^+ = \frac{2}{\sqrt{3}} T_s q \sin\left(\alpha_o + \frac{\pi}{6}\right) \sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha_i\right) \quad (1)$$

$$\delta_3^- = \frac{2}{\sqrt{3}} T_s q \sin\left(\alpha_o + \frac{\pi}{6}\right) \sin \alpha_i$$

$$\delta_4^- = \frac{2}{\sqrt{3}} T_s q \sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha_o\right) \sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha_i\right)$$

$$\delta_6^+ = \frac{2}{\sqrt{3}} T_s q \sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha_o\right) \sin \alpha_i$$

$$m = \frac{2}{\sqrt{3}} q = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{|\vec{v}_o|}{|\vec{v}_i|} \quad (2)$$

$$\delta_1^+ + \delta_3^- + \delta_4^- + \delta_6^+ \leq T_s \quad (3)$$

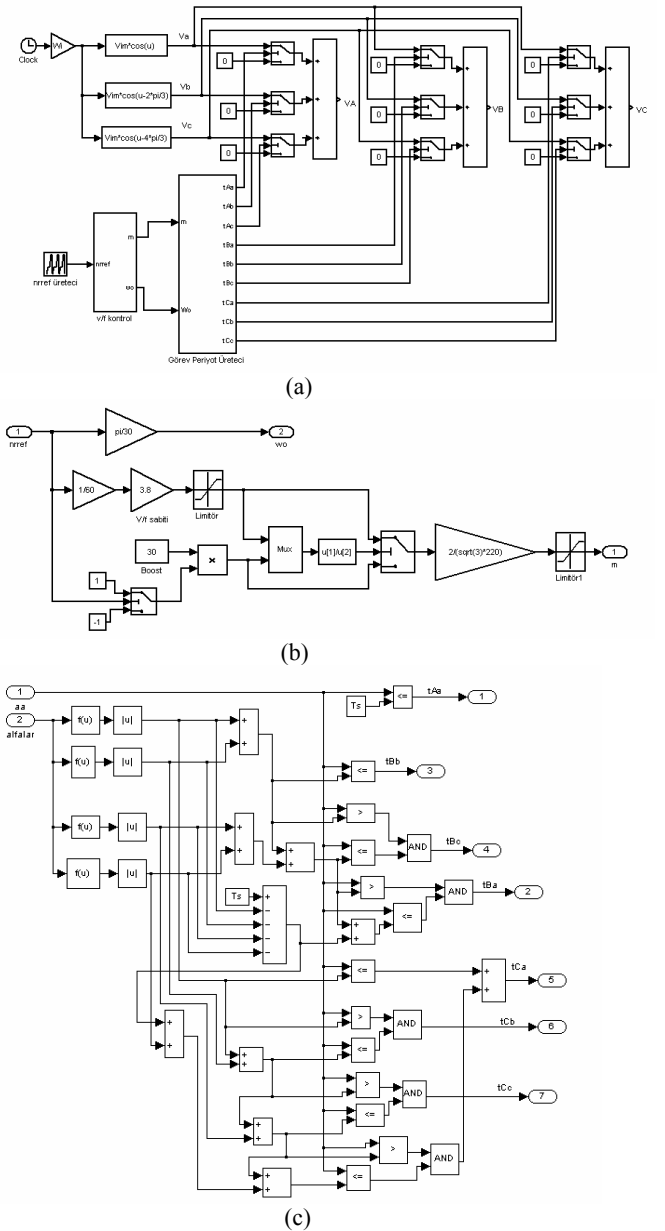
3. SİSTEM MODELİ

Uzak vektör kontrol algoritmasını kullanan matris çeviriciden beslenen üç fazlı bir asenkron motorun açık çevrim V/f kontrolünün simülasyonu, matlab simulink paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.a da bu sisteme ilişkin simulink modeli verilmiştir. Şekil 3.'a. da matris çeviricinin üç çıkış fazı için gösterilen model üç kısımda oluşmaktadır. Birinci kısımda kaynak gerilimlerinin bulunduğu bloklar, ikinci kısımda V/f

kontrol bloğu ve her çıkış fazı için anahtarlama periyodu içerisinde anahtarların iletimde kalma sürelerini hesaplayan ve tetikleme sinyallerini üreten görev periyot üretici bloğu, üçüncü kısımda ise çıkışı oluşturan anahtar blokları bulunmaktadır. Matris çeviricinin V_A , V_B , V_C çıkışları asenkron motora bağlanmıştır. Bu benzetimde kullanılan asenkron motora ait parametreler EK de verilmiştir.

Şekil 3.a da “V/f kontrol” ile gösterilen alt bloğun içeriği şekil 3.b de gösterilmiştir. Bu blok yardımıyla asenkron motorun açık çevrim V/f kontrolü yapıla bilinir. Bu bloğa giriş olarak verilen hız (n_{ref}) değeri, açısal hız değerine dönüştürülüp integrali alınarak α_0 değeri bulunur. Ayrıca açısal hız değeri V/f sabiti ile çarpılarak motora uygulanacak çıkış gerilim değeri elde edilir. Çıkış geriliminin, matris çeviricinin maksimum çıkış gerilimini aşmaması için kontrol sistemine bir gerilim limitörü eklenir. Açık çevrim V/f kontrol yönteminde, stator geriliminin genliğinin az olduğu düşük hız bölgelerinde stator direnci önemli hale gelir. Motora nominal yükün uygulanması durumunda, bu çalışma bölgesinde gerekli moment değerinin sağlanması için motora uygulanan gerilime oranla oldukça büyük değerde olan $R_s I_s$ gerilim düşümünün de karşılanması gerekmektedir. Bu değer yol alma sırasın da önemli olup motorun başlangıçta üretmesi gereken yol alma momentinin değerini etkilemektedir. Bu nedenle özellikle düşük hız bölgelerinde gerilimin genliği, bahsedilen gerilim düşümünü kompanse edebilecek şekilde V/f oranının belirlendiği değerden daha yüksek seçilmelidir. Bu genlik boost gerilimi olarak adlandırılır. Elde edilen çıkış gerilim değeri boost değerinden büyükse kontrol bloğu yardımıyla çıkış gerilim değişmez fakat küçükse çıkış gerilimi boost geriliminin değerini alır. Bu çıkış gerilim değeri ($|\vec{v}_o|$), bir sonraki blokla çarpılarak denklem 2’de ifadesi bulunan modülasyon indeksi (m) elde edilir.

“V/f kontrol” bloğu yardımıyla elde edilen m ve α_0 değerleri görev periyot üretici bloğuna girerek matris çeviricinin çıkış gerilimini elde edebilmek için gerekli olan anahtarların bir anahtarlama periyodu içerisinde iletime girme sırasını ve süresini belirler. Bir önceki blokta hesaplanan α_0 ve kaynak geriliminde elde edilebilen α_i , şekil 2. de gösterilen giriş akımları ve çıkış hat gerilimleri vektörlerinde hangi bölgede oldukları belirlenir. Ayrıca bu blok içinde, 36 bölge için iletime girecek anahtarlama elemanlarının sırasını ve her anahtarlama elemanının ne kadar iletimde kalacağını hesaplayan bloklar mevcuttur. Şekil 3.c. de bu bloklardan bir tanesinin içyapısı gösterilmiştir. Şekil 3.c.’de gösterilen blok, α_i ve α_0 ’ın her ikisinin de giriş akımları ve çıkış hat gerilimleri vektörlerinde 1. bölgede olması durumu için iletime girecek anahtarlama elemanlarının sırasını ve denklem 1. yardımıyla anahtarlama sürelerini belirler.



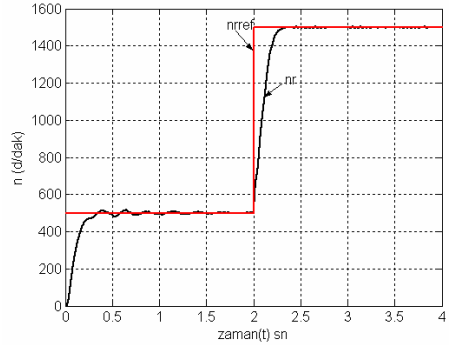
Şekil 3. Uzay vektör kontrol algoritmasını kullanan 3x3 fazlı matris çeviricinin **a)** Simulink modeli, **b)** V/f kontrol devresi bloğunun içeriği, **c)** Çıkış ve giriş vektörlerin 1. bölgede olması durumu için anahtarları süren işaretleri oluşturan blok diyagramı

Hesaplanan bu süreler kadar ve belirlenen sırada çıkışı oluşturan anahtarlar sırasıyla bulunduğu fazın kaynak gerilimini çıkışa aktarmış olur. Bu anahtarların çıkışında elde edilen işaret, çıkış geriliminin ilgili faza ait parçasını oluşturur. Böylece bütün giriş fazına ait parçaların toplamı, hedeflenen çıkış gerilimini verir. Bu çıkış gerilimleri V_A , V_B , V_C asenkron motora uygulanır.

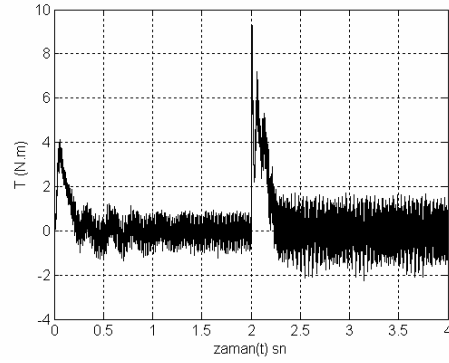
4. BENZETİM SONUÇLARI

Uzay vektör kontrol algoritmasını kullanan matris çeviriciden beslenen üç fazlı asenkron motorun açık çevrim V/f kontrolü için simülasyon sonuçları elde

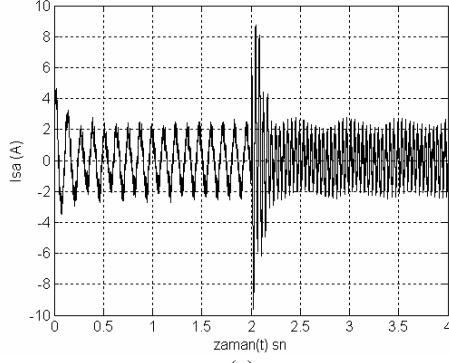
edilmiştir. Sistemin modellemesinde matlab simulink paket programı kullanılmıştır. Matris çevirici 220V 50Hz'lik üç fazlı gerilim ile beslenmiştir. Anahtarlama frekansı (f_s) 5kHz alınmıştır. EK'de parametreleri verilen asenkron



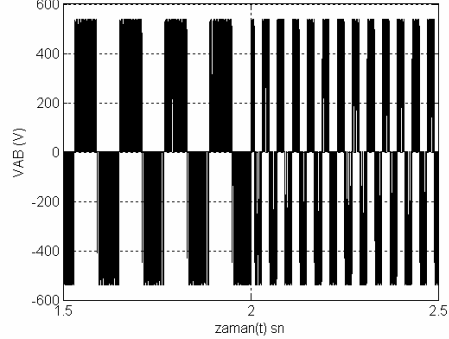
(a)



(b)



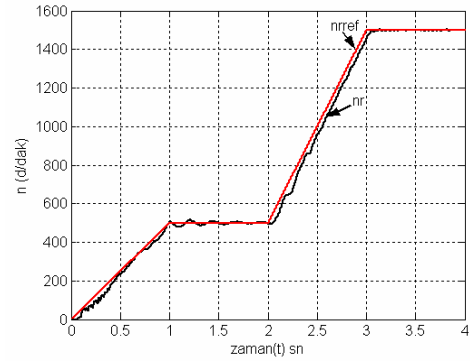
(c)



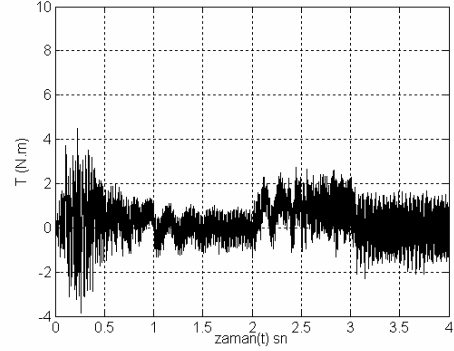
(d)

Şekil 4. V/f kontrolsüz asenkron motorun (a) hız, (b) moment, (c) stator faz akımı ve (d) fazlar arası gerilim dalga şekilleri ($T_y = 0$)

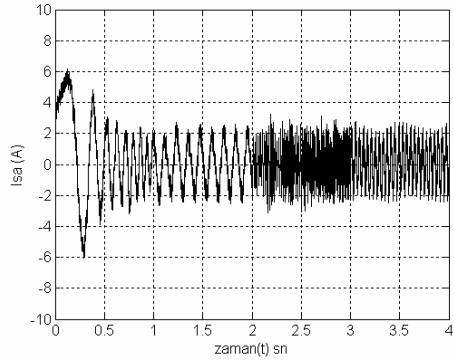
motorun V/f kontrollü ve kontrolsüz durumları için değişik hız ve yük moment referanslarına göre simülasyonları yapılmıştır. Benzetim sonuçları şekiller 4-7'de verilmiştir.



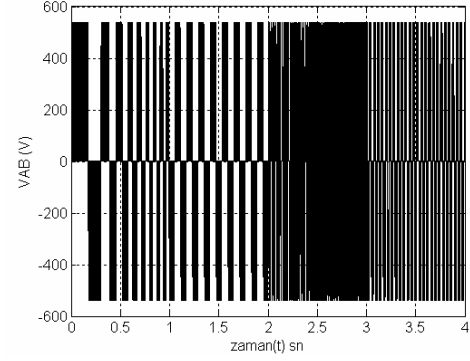
(a)



(b)

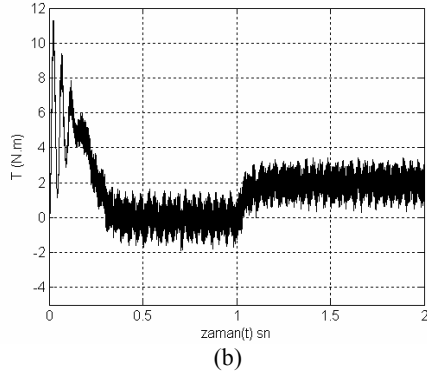
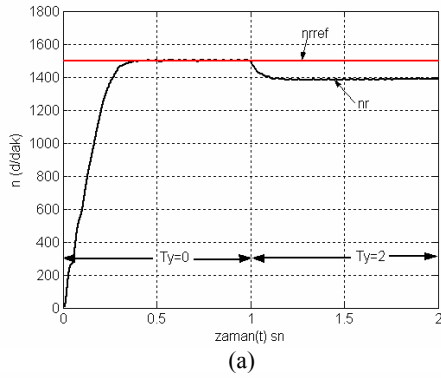


(c)

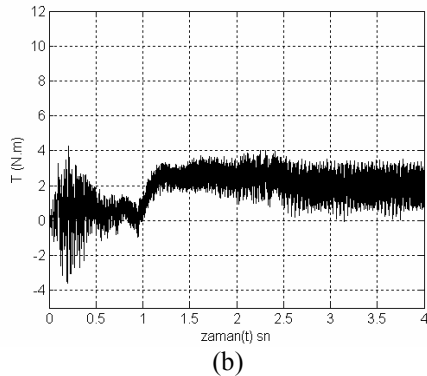
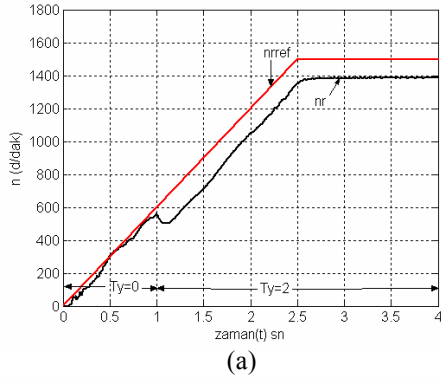


(d)

Şekil 5. V/f kontrollü asenkron motorun (a) hız, (b) moment, (c) stator faz akımı ve (d) fazlar arası gerilim dalga şekilleri ($T_y = 0$)



Şekil 6. V/f kontrolsüz asenkron motorun (a) hız, (b) moment dalga şekilleri (0-1 sn arası $T_y=0$, 1-2 sn arası $T_y=2$ Nm)



Şekil 7. V/f kontrollü asenkron motorun (a) hız, (b) moment dalga şekilleri (0-1 sn arası $T_y=0$, 1-2 sn arası $T_y=2$ Nm)

Şekil 4 ve Şekil 5’de motoru ilk önce 500 d/dak da ve sonra 1500 d/dak da sırasıyla V/f kontrolsüz ve kontrollü olarak çalıştırmak suretiyle motorun hız, moment, stator akımı ve gerilimi dalga şekilleri elde

edilmiştir. Şekil 5.a da motora belli bir eğimde artan referans hız uygulayarak V/f olayı gözlenmiştir yani hızı ani olarak değil de gerilimle orantılı olarak değiştirilerek motorun büyük akım çekmesi engellenebilir. V/f kontrollü motorun hız dalga şekilleri incelendiğinde, motorun hızlanma esnasında bir dalgalanma olduğu görülmektedir. Bunun sebebi düşük hızlarda stator gerilimi kompanzasyonunun yapılmasıdır. Şekil 6-7 de sırasıyla V/f kontrolsüz ve kontrollü durumlar için, 0-1 sn arasında yüksüz ve 1. sn den sonra motor $T_y=2$ Nm yüklenmesi durumunda motorun hız ve moment dalga şekilleri incelenmiştir. Motora yük momenti uygulandığında, motor hızının azda olsa düşmesi V/f açık çevrim kontrolünün bir dezavantajı olarak görülebilir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada uzay vektör kontrol algoritmasını kullanan matris çeviriciden beslenen üç fazlı bir asenkron motorun açık çevrim V/f kontrolünün simülasyonu gerçekleştirilmiştir. V/f kontrollü ve kontrolsüz asenkron motor için simülasyon yapılarak elde edilen hız, moment ve stator faz akım dalga şekilleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan görüldüğü gibi açık çevrim V/f kontrolünün dezavantajı asenkron motora yük momenti uygulandığında motor hızının azda olsa düşmesidir, avantajı ise hız değişimlerinde motorun büyük akım çekmesinin önlenmesidir.

EK. Asenkron motor parametreleri:

$U_n=380V$, $I_n=2.7 A$, $P=1.1 kW$, $f=50$, $p=2$,
 $R_s=7 \Omega$, $R_r=6 \Omega$, $L_s=0.52 H$, $L_r=0.52 H$,
 $L_m=0.5 H$, $P=2$, $J=0.0085 kgm^2$, $B=0.07 Nms$

KAYNAKLAR

- [1] Venturini M. and Alesina A., 1980, “The generalized transformer: A new bidirectional sinusoidal waveform frequency converter with continuously adjustable input power factor,” in Proc. IEEE PESC’80, pp. 242–252
- [2] Sunter S., 1995, “ A vector controlled matrix converter induction motor drive “, PhD Thesis, University of Nottingham, U.K
- [3] Casadei D., Serra G., Tani A., Nielsen P., 1995, “Performance of swm controlled matrix converter with input and output unbalanced conditions “, EPE '95, Sevilla, Spain
- [4] Casadei, D., Grandi, G., Serra, G. and Tani, A., 1993 “Space vector control of matrix converters with unity input power factor and sinusoidal input/output waveforms”, Power Electronics and Applications, Fifth European Conference on, 7: 170-175.
- [5] Erdem E., Tatar Y., Sunter S., 2005, “Modeling and Simulation of Matrix Converter Using Space Vector Control Algorithm”. *EUROCON2005-IEEE International Conference on "Computer as a tool"*, November 21-24, Belgrade, Serbia & Montenegro, 1228-1231.