

MATRİS ÇEVİRİCİ KONTROL TEKNİKLERİNİN BİLGİSAYAR ORTAMINDAKİ BENZETİMİ

İsmail COŞKUN, Ali SAYGIN

I. GİRİŞ

Özet- Bu çalışmada, girişindeki 3 fazlı alternatif sinyalleri çıkışında değişik frekans ve genliğe sahip 3 fazlı sinyallere dönüştüren, AA-AA matris çeviricilerin yapısı incelenmiştir. Venturini ve uzay vektör modülasyon kontrol teknikleri kullanılarak yük akımlarının bilgisayar ortamında ki benzetimleri yapılmıştır. Uzay vektör modülasyon tekniğinde değişik bir anahtarlama yöntemi kullanılmıştır. Her iki kontrol tekniğinde de kullanılan modülasyon oranının değiştirilmesinin yük akımları üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çalışma sırasında iki kontrol tekniğinde de aynı anahtarlama frekansı kullanılarak, değişik çıkış frekanslarında benzetim çalışmaları yapılmış ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler- Matris Çevirici, Venturini Algoritması, Uzay Vektör Modülasyon

Abstract- In this study, the structure of matrix converters, which have three phase AC signals at the input convert to the three phase variable frequency and amplitude AC signals at the output were examined. The simulation of load current, using Venturini and space vector modulation control techniques were implemented by using computer. A different switching method has been used in space vector modulation techniques. Changing the modulation ratio used in both control techniques, the effect of load current was analysed. In order to compare during process, same switching frequency was used for both control techniques and at the different output frequencies simulation has been implemented and the results presented.

Key words- Matrix converter, Venturini Algorithm, Space Vector Modulation

Klasik frekans çeviricide AA gerilim DA' ye ve tekrar DA gerilimden AA gerilime dönüştürülme yapılmasına karşın matris çeviricide AA-AA dönüşüm sağlanmaktadır. Her iki uygulamada da amaç değişik genlik ve frekanslarda yükü besleyecek sinüsoidal sinyaller üretilmektir. Matris çeviricilerin klasik doğrultucu-evirici frekans değiştiricilere göre sahip oldukları avantajlar aşağıda sıralanmıştır(1). Bunlar;

- Sinüsoidal giriş ve çıkış dalga şekillerinin minimum harmonik bozucu etkilerine sahip olması,
- Kontrol edilebilir güç katsayısı,
- Filtre devresi dışında enerji depo eden eleman bulunmaması,
- İki yönlü güç akışına uygun oluşundan dolayı 4 bölge' de anahtarlama kombinasyonlarına uygun olması
- Sabit giriş güç katsayısı değerinde çalışma imkanıdır.

Matris çevirici topolojisi 1976 yılında Gyugyi tarafından incelenmiştir. Yapılan ilk uygulamalarda giriş ile çıkış gerilimi arasındaki dönüşüm oranının 0.5 ile sınırlı olduğu ifade edilmiştir (1) (2). Zaman içerisinde matris çeviricilerle ilgili değişik kontrol algoritmaları araştırılmış ve 1980 yılında Venturini tarafından yeni bir darbe genişlik modülasyonu (PWM) uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu uygulama ile çıkış frekansı istenen değerde tutulma imkanı elde edilmiştir. Ayrıca giriş akımı ile çıkış geriliminin dalga şekillerinin sinüsoidal olması sağlanarak, yerdeğiştirme katsayılarının değiştirilmesine imkan sağlanmıştır (2).

Bu çalışmada Venturini kontrol tekniğinde gerilim dönüştürme oranının maksimum değeri olan $\sqrt{3}/2$ ' yi elde etmek için anahtarlama sırasında çıkış temel harmoniğinin üzerine giriş geriliminin 3. harmonik bileşeni eklenerek ve çıkış geriliminin 3. harmonik

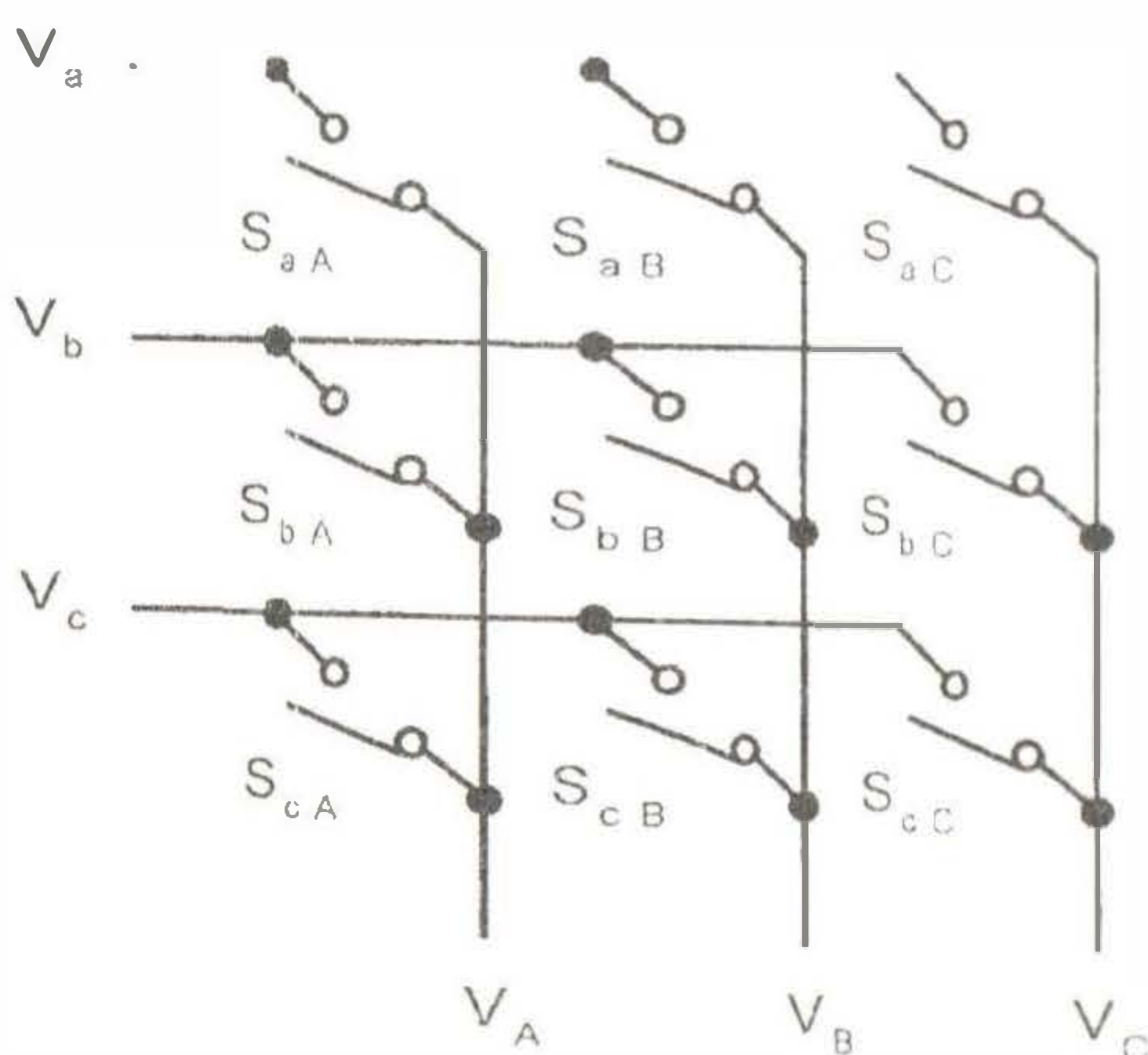
bileşeni çıkarılarak bilgisayar ortamında benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Matris çeviricide üzerinde yaygın olarak çalışılan diğer bir darbe genişlik modülasyonu yönteminde Uzay Vektör Modülasyon (SVM) kontrol yöntemidir. Bu yöntemin matris çeviricide uygulaması çok karmaşıktır (3). Uzay vektör modülasyon tekniği literatürde dolaylı transfer fonksiyonu yaklaşımı grubuna dahil olup, bu kontrol yönteminde giriş faz akımları ve çıkış fazlararası gerilimlerinin uzay vektörleri kullanılır. Giriş faz akımlarının uzay vektöründeki faz açısı ve çıkış fazlararası gerilimlerinin uzay vektöründeki faz açısı kullanılarak matris dönüştürücünün kontrolü yapılır. Akım ve gerilim vektörlerinin faz açıları, giriş güç katsayısının istenen değerde olmasını sağlayacak şekilde, dönüştürücüdeki yarıiletken anahtarların iletim zamanları ve iletime geçme sıralamalarını belirler(4,5,6,7,8).

Uzay vektör darbe genişlik modülasyon tekniğinde anahtarlama sırasında sıralı anahtarlama yapılarak çıkıştaki yük faz akımları incelenmiştir. Kıyaslama sırasında farklılık olmaması için her iki kontrol tekniğinde de aynı anahtarlama frekansı kullanılarak çevirici çıkışında üretilen değişik frekanslardaki yük akımları ile harmoniklerinin benzetim çalışmaları yapılmış ve üstünlükleri verilmiştir.

II. VENTURİNİ VE UZAY VEKTÖR MODÜLASYON KONTROL TEKNİKLERİ

Matris çevirici 9 adet çift yönlü yarıiletken anahtardan oluşur. Bu anahtarlar iki yönlü akım geçişine uygundur. Anahtarlar uygulamada ortak emiterli, ortak kolektörlü veya diyot yerleştirilmiş tekli yarıiletken anahtarlı olarak bulunmaktadır. Bu anahtarların çeviricide yerleşimi Şekil 1' de verilmiştir.



Şekil 1. Üç faz giriş ve çıkışa ait matris çeviricinin yapısı.

Şekil 1' de V_a , V_b ve V_c olarak isimlendirilen terminaller çevirici girişlerini, V_A , V_B ve V_C ise çevirici çıkışlarını ifade etmektedir. Şekil 1' de verilen yarıiletken anahtarlarının iletim zaman ve sıralamasını belirlemede yukarıda ifade edilen iki kontrol yöntemi ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Her iki kontrol tekniğinde de darbe genişlik modülasyonu yöntemi göre anahtarlama yapılmaktadır.

II.1. Venturini Darbe Genişlik Modülasyon Kontrol Tekniği

Şekil 1' de yapısı gösterilen matris çeviricinin Venturini darbe genişlik modülasyonu tekniğinde anahtarlama ifadeleri için faz gerilim ifadeleri kullanılır. Çeviricinin girişine uygulanan faz gerilimleri ifade edilecek olursa,

$$\begin{bmatrix} V_a(t) \\ V_b(t) \\ V_c(t) \end{bmatrix} = V_{im} \begin{bmatrix} \cos(\omega_1 t) \\ \cos(\omega_1 t + 2\pi/3) \\ \cos(\omega_1 t + 4\pi/3) \end{bmatrix} \quad (1)$$

dir. Her faz anahtarı S_{aA} , S_{bA} , S_{cA} , ... S_{cB} , S_{cC} t periyot süresince t_{aA} , t_{bA} , t_{cA} , t_{bA} ... t_{cC} süreleri boyunca iletimde olmalıdır. Anahtarlama periyodu T_s olup, her faza ait anahtarlama sürelerinin toplamı aynıdır.

$$\begin{aligned} T_s &= 1/f_s = t_{aA} + t_{bA} + t_{cA} \\ &= t_{aB} + t_{bB} + t_{cB} \\ &= t_{aC} + t_{bC} + t_{cC} \end{aligned} \quad (2)$$

Giriş ve çıkış gerilim dönüştürme oranının maksimum değeri olan 0.866' nın elde edilmesi için anahtarlama ifadesinde çıkış temel harmoniği üzerine giriş 3. harmoniği eklenir ve çıkışa ait 3. harmonik çıkarılır. Giriş harmoniğinin genlik değeri giriş temel harmonik gerilim genliğinin 1/4 katıdır. Çıkış harmoniğinin genlik değeri ise çıkış temel harmonik gerilim genliğinin 1/6 katı olmalıdır (1)(2). Bu uygulamalar sayesinde çıkış geriliminin tepe değerinin herhangi bir t örnekleme anı için giriş geriliminin tepe değerine oranının 0.866 k. olması sağlanır. Çıkış geriliminin maksimum genliğe ulaşmasını sağlayan gerilim ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} [V_o(t)] &= \begin{bmatrix} V_{o1}(t) \\ V_{o2}(t) \\ V_{o3}(t) \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} V_o \cos(\omega_o t + \theta_o) + \frac{V_1}{4} \cos(3\omega_1 t) - \frac{V_o}{6} \cos(3\omega_o t + 3\theta_o) \\ V_o \cos\left(\omega_o t + \theta_o - \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{V_1}{4} \cos(3\omega_1 t) - \frac{V_o}{6} \cos(3\omega_o t + 3\theta_o) \\ V_o \cos\left(\omega_o t + \theta_o + \frac{2\pi}{3}\right) + \frac{V_1}{4} \cos(3\omega_1 t) - \frac{V_o}{6} \cos(3\omega_o t + 3\theta_o) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3)$$

Bu eşitlik, anahtarlama matrisi ile ifade edilecek olursa;

$$V_o(t) = [M(t)] \cdot [V_i(t)] \quad (4)$$

olur. Çıkış ve giriş gerilimleri arasındaki transfer oranı $V_o / V_i = \sqrt{3}/2$ dir. Eşitlik 3'de ki V_i gerilimi V_o cinsinden yeniden düzenlenecek olursa aşağıdaki ifade elde edilir.

$$[V_o(t)] = V_o \begin{bmatrix} \cos(\omega_o t + \theta_o) \\ \cos\left(\omega_o t + \theta_o - \frac{2\pi}{3}\right) \\ \cos\left(\omega_o t + \theta_o - \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} + \frac{V_o}{2\sqrt{3}} \begin{bmatrix} \cos(3\omega_i t) \\ \cos(3\omega_i t) \\ \cos(3\omega_i t) \end{bmatrix} - \frac{V_o}{6} \begin{bmatrix} \cos(3\omega_o t + 3\theta_o) \\ \cos(3\omega_o t + 3\theta_o) \\ \cos(3\omega_o t + 3\theta_o) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Eşitlik 4' te ki koşulu sağlamak için M kontrol matrisi yeniden yazılacak olursa, Eşitlik 5'de her bir matris ifadesi için A, B ve C alt matrisler oluşturulur.

$$0 \leq m_{ij} \leq 1 \text{ için } 1 \leq i \leq 3, 1 \leq j \leq 3 \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^3 m_{ij} = 1 \quad (7)$$

olmak üzere A matrisinin ifadesi,

$$[m]_A = \frac{\beta_1}{3} \begin{bmatrix} m_+(1) & m_+(2) & m_+(3) \\ m_+(2) & m_+(3) & m_+(1) \\ m_+(3) & m_+(1) & m_+(2) \end{bmatrix} + \frac{\beta_2}{3} \begin{bmatrix} m_-(1) & m_-(3) & m_-(2) \\ m_-(2) & m_-(1) & m_-(3) \\ m_-(3) & m_-(2) & m_-(1) \end{bmatrix} \quad (8)$$

olmaktadır. Matris içerisindeki ifadeler açılacak olursa,

$$\begin{aligned} m_+(i) &= \cos((\omega_o + \omega_i)t + \theta_o - (i-1)2\pi/3) \\ m_-(i) &= \cos((\omega_o - \omega_i)t + \theta_o - (i-1)2\pi/3) \end{aligned} \quad (9)$$

dir. Burada,

$$\beta_1 = \frac{V_o}{V_i} \left(1 - \frac{\tan \phi_i}{\tan \phi_o} \right), \quad \beta_2 = \frac{V_o}{V_i} \left(1 + \frac{\tan \phi_i}{\tan \phi_o} \right) \quad (10)$$

değerlerine eşittir. Eşitlik 10'da ϕ_i : çeviricinin giriş güç katsayısını, ϕ_o : çeviricinin çıkış güç katsayısını ifade edilmektedir. Benzer yaklaşımla çeviricinin diğer kontrol matrisleride ifade edilebilir. B matrisinin ifadesi ise,

$$[m]_B = \frac{\gamma_1}{3} \begin{bmatrix} n_+(1) & n_+(2) & n_+(3) \\ n_+(1) & n_+(2) & n_+(3) \\ n_+(1) & n_+(2) & n_+(3) \end{bmatrix} + \frac{\gamma_2}{3} \begin{bmatrix} n_-(1) & n_-(3) & n_-(2) \\ n_-(1) & n_-(3) & n_-(2) \\ n_-(1) & n_-(3) & n_-(2) \end{bmatrix} \quad (11)$$

dir. Matris elemanlarının ifadesi ise,

$$\begin{aligned} n_+(i) &= \cos(4\omega_i t - (i-1)2\pi/3) \\ n_-(i) &= \cos(2\omega_i t - (i-1)2\pi/3) \end{aligned} \quad (12)$$

olmaktadır. Eşitlik 11' de,

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{V_o}{V_i} \quad (13)$$

değerlerini almaktadır. C matrisinin ifadesi ise,

$$[m]_C = \frac{\delta_1}{3} \begin{bmatrix} q_+(1) & q_+(2) & q_+(3) \\ q_+(1) & q_+(2) & q_+(3) \\ q_+(1) & q_+(2) & q_+(3) \end{bmatrix} + \frac{\delta_2}{3} \begin{bmatrix} q_-(1) & q_-(3) & q_-(2) \\ q_-(1) & q_-(3) & q_-(2) \\ q_-(1) & q_-(3) & q_-(2) \end{bmatrix} \quad (14)$$

şeklinde dir. Matris elemanların açık ifadeleri,

$$\begin{aligned} q_+(i) &= \cos((3\omega_o + \omega_i)t + 3\theta_o - (i-1)2\pi/3) \\ q_-(i) &= \cos((3\omega_o - \omega_i)t + 3\theta_o - (i-1)2\pi/3) \end{aligned} \quad (15)$$

dir. Eşitlik 14' te,

$$\delta_1 = \delta_2 = -\frac{1}{3} \frac{V_o}{V_i} \quad (16)$$

olmaktadır. Yük akımlarının sürekliliğinin sağlanması için, 3x1 lik birim matrisin (I) kontrol matrisine eklenmesi gerekir. Bu durumda kontrol matrisinin genel çözümü,

$$[m(t)] = \frac{1}{3} [I] + [m]_A + [m]_B + [m]_C \quad (17)$$

olur. Çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki dönüşüm oranının en yüksek değerde olması istenir ise kontrol matrislerinin değişkenleri aşağıdaki gibi ifade edilmelidir,

$$\gamma_1 = -\frac{1}{6\sqrt{3}} \frac{V_o}{V_i}, \quad \gamma_2 = \frac{7}{6\sqrt{3}} \frac{V_o}{V_i}, \quad \delta_1 = -\frac{1}{6} \frac{V_o}{V_i}, \quad \delta_2 = -\frac{1}{6} \frac{V_o}{V_i} \quad (18)$$

Bu değere bağlı olarak kontrol matrisinde kullanılan $\delta - \gamma$ değişkenlerinin aldığı değerler kullanılarak matris çeviricide kullanılan yarıiletken anahtarlar için gerekli anahtarlama sinyalleri üretilir.

II.2. Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyon Kontrol Tekniği

Uzay vektör darbe genişlik modülasyon kontrol tekniği, matris çeviricide Şekil 1' de verilen 9 adet çift yönlü yarıiletken anahtarların denetlenmesini sağlar. Çeviricinin beslemesi 3 fazlı AA kaynaktan yapıldığı için yarıiletkenlerin iletme geçirilmesi sırasında giriş fazları kısa devre edilmemeli ve yükün endüktif olduğu düşünülerek akımın sürekliliği sağlanmalıdır. Uzay vektör kontrol tekniğinin matris çeviriciye uygulanması sırasında 27 anahtarlama kombinasyonu bulunmaktadır (3,..,10). Bu kombinasyonları sağlayan anahtarlama durumları Tablo 1' de verilmiştir. Tablo 1' deki anahtarlama 3 ana gruba ayrılmıştır. I. gruptaki anahtarlama kombinasyonlarında çıkış gerilimleri uzay vektörünün faz açısı, giriş gerilimleri uzay vektörünün faz açısına bağlıdır. Aynı şekilde giriş akımları uzay vektörünün faz açısı çıkış akımları uzay vektörünün faz açısına bağlıdır. Her iki vektöründe faz açılarının bağımsız olarak denetlenememesi sebebiyle matris çevirici uzay vektör darbe genişlik modülasyon tekniğinde kullanılmamaktadır. Çeviricideki tüm anahtarlama için Tablo 1' de verilen II. ve III. gruptaki anahtarlama kombinasyonları kullanılmaktadır.

Tablo 1' de II. bölgede (a, b ve c) verilen 18 adet anahtarlama kombinasyonunda çıkış gerilim uzay vektörünün faz açısı giriş gerilim uzay vektörünün faz açısına bağlı değildir. Aynı şekilde giriş akım uzay vektörünün faz açısı çıkış akım uzay vektörünün faz açısından bağımsızdır.

Matris çeviricide fazlararası giriş-çıkış gerilimleri ile faz giriş-çıkış akımlarının uzay vektörleri ifade edilebilir. Gerilim vektörlerin ifadeleri yazılacak olursa,

$$\vec{v}_i = \frac{2}{3} (v_{ab} + a v_{bc} + a^2 v_{ca}) = V_i e^{j\alpha_i} \quad (19)$$

$$\vec{v}_o = \frac{2}{3} (v_{AB} + a v_{BC} + a^2 v_{CA}) = V_o e^{j\alpha_o} \quad (20)$$

olmaktadır. Aynı şekilde faz akımları giriş-çıkış uzay vektörü ifadesi ise;

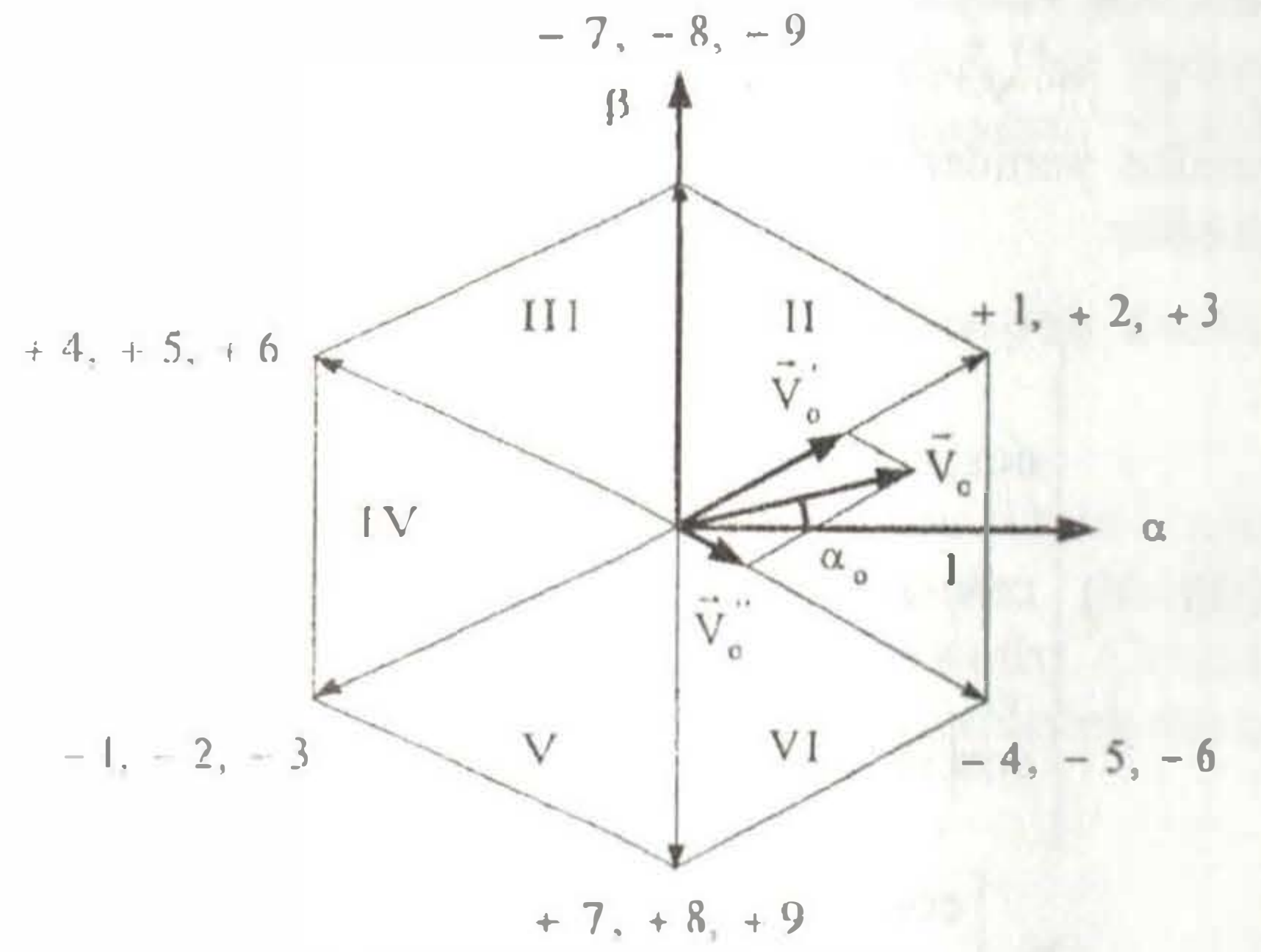
$$\vec{i}_i = \frac{2}{3} (i_a + a i_b + a^2 i_c) = I_i e^{j\beta_i} \quad (21)$$

$$\vec{i}_o = \frac{2}{3} (i_A + a i_B + a^2 i_C) = I_o e^{j\beta_o} \quad (22)$$

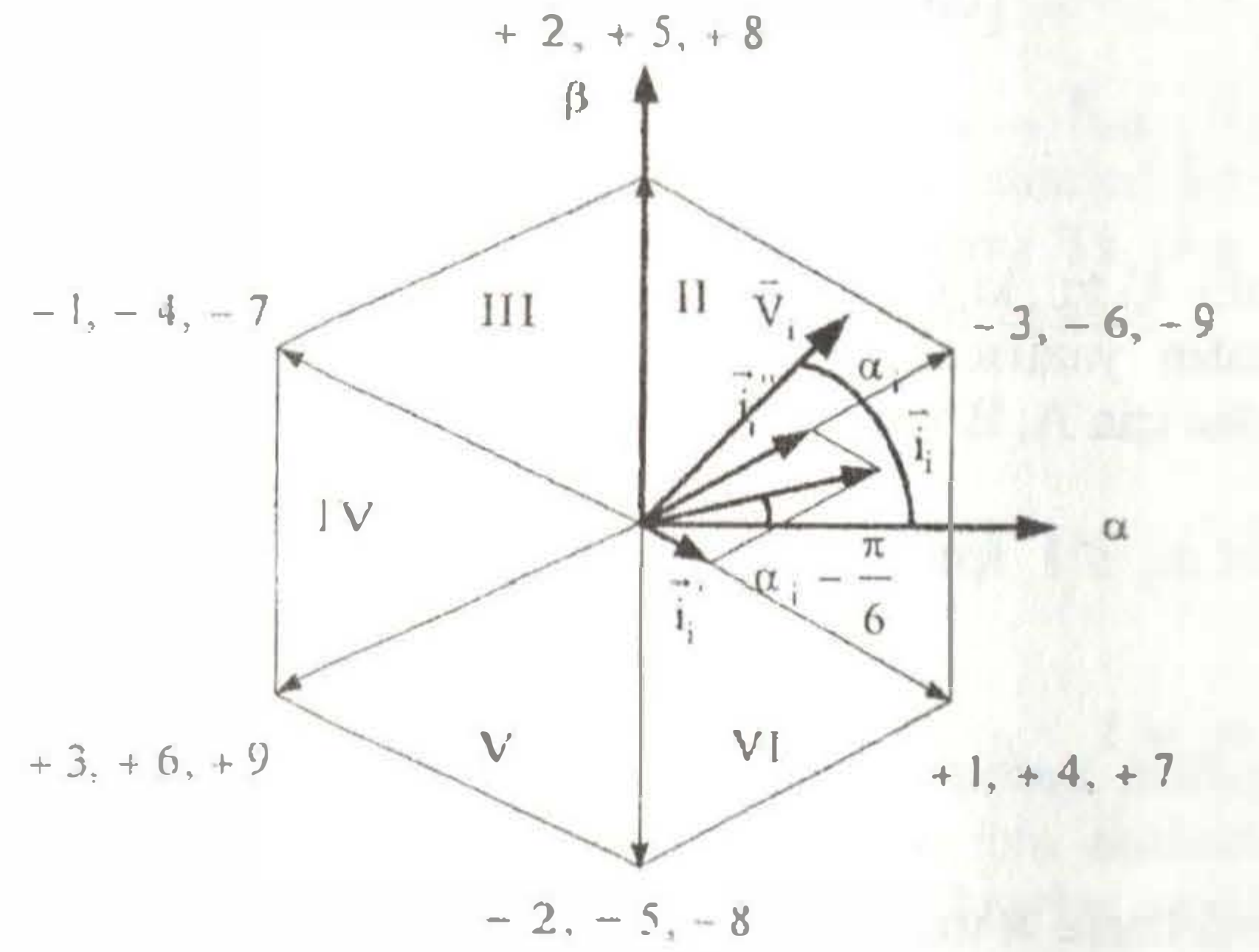
dir.

Tablo 1' de II. bölgedeki anahtarlama kombinasyonlarındaki çıkış gerilimlerinin uzay vektöründeki yeri Eşitlik 20 kullanılarak Şekil 2' de verilmiştir. Aynı

şekilde giriş akımlarının uzay vektörü Eşitlik 21 kullanılarak bulunur. Giriş akımlarının uzay vektörü Şekil3' te verilmiştir.



Şekil 2. Çıkış gerilimleri uzay vektörü



Şekil 3. Giriş akımları uzay vektörü

Çıkış gerilim vektörü I. bölgede iken çevirici anahtarlama elemanlarının iletim sürelerinin bulunması için Şekil 2' de gösterilen gerilim vektöründe,

$$|\vec{V}_x| = |\vec{V}_o| \sin\left(\alpha_o + \frac{\pi}{6}\right) \quad (23)$$

$$|\vec{V}_o| = \frac{|\vec{V}_x|}{\cos 30} = \frac{|\vec{V}_o| \sin\left(\alpha_o + \frac{\pi}{6}\right)}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} |\vec{V}_o| \sin\left(\alpha_o + \frac{\pi}{6}\right) \quad (24)$$

$$|\vec{V}_y| = |\vec{V}_o| \sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha_o\right) \quad (25)$$

$$|\vec{V}_o| = \frac{|\vec{V}_y|}{\cos 30} = \frac{|\vec{V}_o| \sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha_o\right)}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} |\vec{V}_o| \sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha_o\right) \quad (26)$$

bulunur. Gerilim vektöründeki anahtarlama ifadeleri çözülecek olursa,

$$\delta_1^+ \frac{2}{\sqrt{3}} V_{ab} - \delta_3^- \frac{2}{\sqrt{3}} V_{ca} = |\bar{V}_o| = \frac{2}{\sqrt{3}} |\bar{V}_o| \sin\left(\alpha_o + \frac{\pi}{6}\right) \quad (27)$$

$$\delta_4^- \frac{2}{\sqrt{3}} V_{ab} - \delta_6^+ \frac{2}{\sqrt{3}} V_{ca} = |\bar{V}_o''| = \frac{2}{\sqrt{3}} |\bar{V}_o| \sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha_o\right) \quad (28)$$

olmaktadır. Akım vektöründe de aynı eşitliklerin bulunması gerekir. Akım vektörü 1. bölgede iken anahtarlama elemanlarının iletim süresi için çözüm,

$$|\bar{i}_x| = |\bar{i}_i| \sin\left(\frac{\pi}{6} - \left(\alpha_i - \frac{\pi}{6}\right)\right) \quad (29)$$

$$|\bar{i}_i'| = \frac{|\bar{i}_x|}{\cos 30} = \frac{|\bar{i}_i| \sin\left(\frac{\pi}{6} - \left(\alpha_i - \frac{\pi}{6}\right)\right)}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} |\bar{i}_i| \sin\left(\frac{\pi}{6} - \left(\alpha_i - \frac{\pi}{6}\right)\right) \quad (30)$$

$$|\bar{i}_y| = |\bar{i}_i| \sin\left(\frac{\pi}{6} + \left(\alpha_i - \frac{\pi}{6}\right)\right) \quad (31)$$

$$|\bar{i}_i''| = \frac{|\bar{i}_y|}{\cos 30} = \frac{|\bar{i}_i| \sin\left(\frac{\pi}{6} + \left(\alpha_i - \frac{\pi}{6}\right)\right)}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} |\bar{i}_i| \sin\left(\frac{\pi}{6} + \left(\alpha_i - \frac{\pi}{6}\right)\right) \quad (32)$$

$$\delta_1^+ \frac{2}{\sqrt{3}} i_A = |\bar{i}_i'| = \frac{2}{\sqrt{3}} |\bar{i}_i| \sin\left(\frac{\pi}{6} - \left(\alpha_i - \frac{\pi}{6}\right)\right) \quad (33)$$

$$\delta_3^- \frac{2}{\sqrt{3}} i_A = |\bar{i}_i''| = \frac{2}{\sqrt{3}} |\bar{i}_i| \sin\left(\frac{\pi}{6} + \left(\alpha_i - \frac{\pi}{6}\right)\right) \quad (34)$$

dir. Matris çeviricinin çıkışında istenen frekans ve gerilimin genliğini elde etmek için her bir anahtarlama elemanının iletim süresi, yukarıda verilen gerilim ve akım uzay vektörleri kullanılarak bulunur.

Tablo 1. Anahtarlama kombinasyonları

Grup	#	Name	A	B	C	V _{AB}	V _{BC}	V _{CA}	i _a	i _b	i _c	S _{aA}	S _{aB}	S _{aC}	S _{bA}	S _{bB}	S _{bC}	S _{cA}	S _{cB}	S _{cC}
I	1	-	a	b	c	V _{ab}	V _{bc}	V _{ca}	i _A	i _B	i _C	1	0	0	0	1	0	0	0	1
	2	-	a	c	b	-V _{ca}	-V _{bc}	-V _{ab}	i _A	i _C	i _B	1	0	0	0	0	1	0	1	0
	3	-	b	a	c	-V _{ab}	-V _{ca}	-V _{bc}	i _B	i _A	i _C	0	1	0	1	0	0	0	0	1
	4	-	b	c	a	V _{bc}	V _{ca}	V _{ab}	i _C	i _A	i _B	0	1	0	0	0	1	1	0	0
	5	-	c	a	b	V _{ca}	V _{ab}	V _{bc}	i _B	i _C	i _A	0	0	1	1	0	0	0	1	0
	6	-	c	b	a	-V _{bc}	-V _{ab}	-V _{ca}	i _C	i _B	i _A	0	0	1	0	1	0	1	0	0
II a	7	+1	a	b	b	V _{ab}	0	-V _{ab}	i _A	-i _A	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
	8	-1	b	a	a	-V _{ab}	0	V _{ab}	-i _A	i _A	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
	9	+2	b	c	c	V _{bc}	0	-V _{bc}	0	i _A	-i _A	0	1	0	0	0	1	0	0	1
	10	-2	c	b	b	-V _{bc}	0	V _{bc}	0	-i _A	i _A	0	0	1	0	1	0	0	1	0
	11	+3	c	a	a	V _{ca}	0	-V _{ca}	-i _A	0	i _A	0	0	1	1	0	0	1	0	0
	12	-3	a	c	c	-V _{ca}	0	V _{ca}	i _A	0	-i _A	1	0	0	0	0	1	0	0	1
II b	13	+4	b	a	b	-V _{ab}	V _{ab}	0	i _B	-i _B	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
	14	-4	a	b	a	V _{ab}	-V _{ab}	0	-i _B	i _B	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
	15	+5	c	b	c	-V _{bc}	V _{bc}	0	0	i _B	-i _B	0	0	1	0	1	0	0	0	1
	16	-5	b	c	b	V _{bc}	-V _{bc}	0	0	-i _B	i _B	0	1	0	0	0	1	0	1	0
	17	+6	a	c	a	-V _{ca}	V _{ca}	0	-i _B	0	i _B	1	0	0	0	0	1	1	0	0
	18	-6	c	a	c	V _{ca}	-V _{ca}	0	i _B	0	-i _B	0	0	1	1	0	0	0	0	1
II c	19	+7	b	b	a	0	-V _{ab}	V _{ab}	i _C	-i _C	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
	20	-7	a	a	b	0	V _{ab}	-V _{ab}	-i _C	i _C	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
	21	+8	c	c	b	0	-V _{bc}	V _{bc}	0	i _C	-i _C	0	0	1	0	0	1	0	1	0
	22	-8	b	b	c	0	V _{bc}	-V _{bc}	0	-i _C	i _C	0	1	0	0	1	0	0	0	1
	23	+9	a	a	c	0	-V _{ca}	V _{ca}	-i _C	0	i _C	1	0	0	1	0	0	0	0	1
	24	-9	c	c	a	0	V _{ca}	-V _{ca}	i _C	0	-i _C	0	0	1	0	0	1	1	0	0
III	25	0	a	a	a	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
	26	0	b	b	b	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
	27	0	c	c	c	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1

Akım ve gerilim vektörlerinin 1. bölgede olması durumuna ait anahtarlama sürelerinin genel çözümü,

$$\delta_1^+ = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{|\bar{V}_o|}{|\bar{V}_i|} \sin\left(\alpha_o + \frac{\pi}{6}\right) \sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha_i\right) \quad (35)$$

$$\delta_3^- = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{|\bar{V}_o|}{|\bar{V}_i|} \sin\left(\alpha_o + \frac{\pi}{6}\right) \sin \alpha_i \quad (36)$$

$$\delta_4^- = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{|\bar{V}_o|}{|\bar{V}_i|} \sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha_o\right) \sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha_i\right) \quad (37)$$

$$\delta_6^+ = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{|\bar{V}_o|}{|\bar{V}_i|} \sin\left(\frac{\pi}{6} - \alpha_o\right) \sin \alpha_i \quad (38)$$

olmaktadır. Yukarıda verilen çözümün diğer bölgeler içinde çözülmesi gerekmektedir. Yukarıda bulunan anahtarlama sürelerinin toplamı bir örnekleme süresini geçmemelidir.

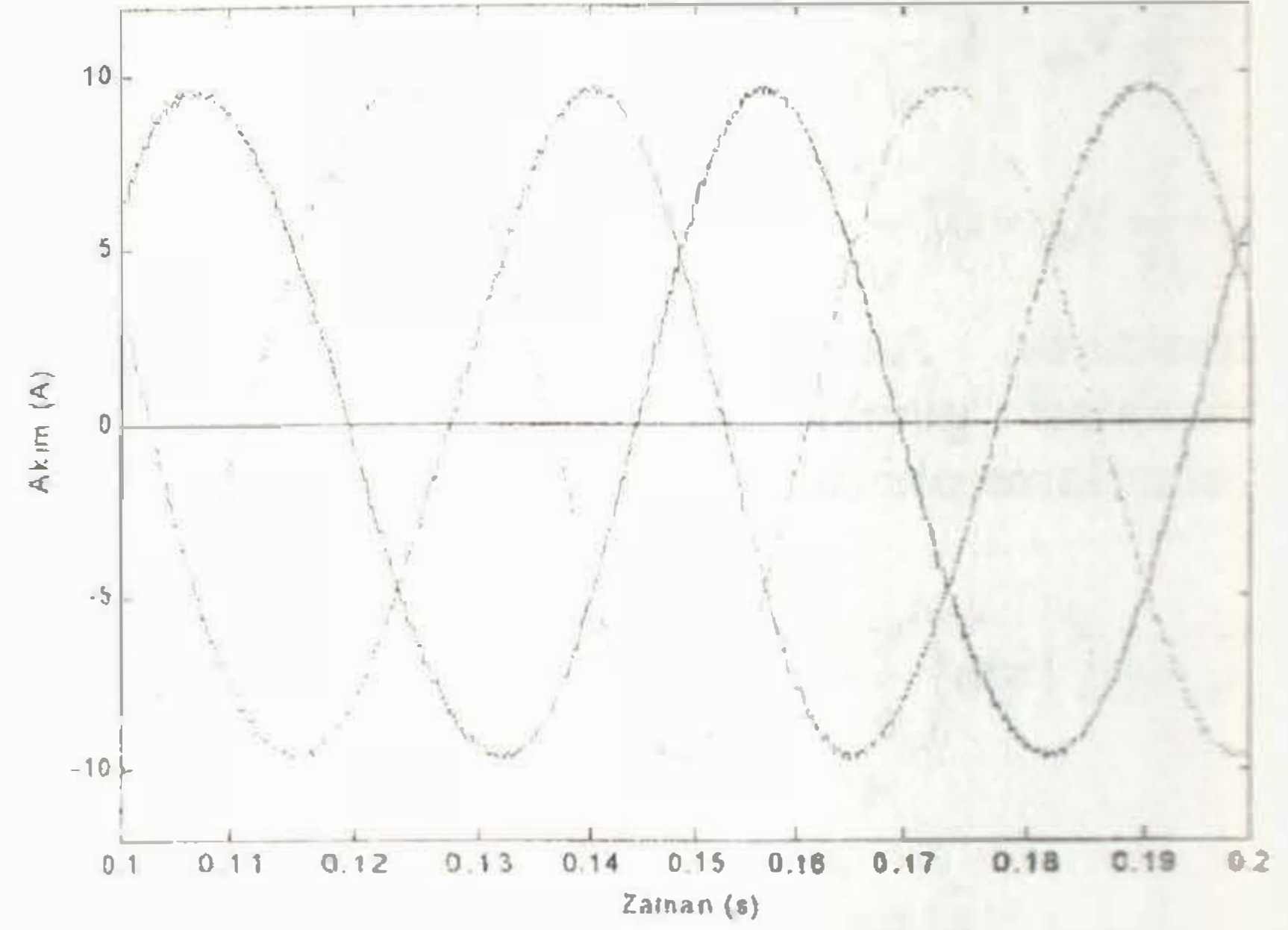
III. KONTROL TEKNİKLERİNİN BİLGİSAYAR BENZETİMİ

Şekil 1' de verilen matris çevirici için bilgisayardaki benzetim çalışmaları her iki kontrol tekniği için de yapılmıştır. Çeviricinin modellenmesinde çift yönlü anahtar kullanıldığı ve bunların ideal oldukları kabul edilmiştir. Benzetim çalışmaları değişik çıkış frekansları ve dönüştürme oranlarında yapılmıştır. Her iki yöntemde de anahtarlama frekansı 5 kHz alınmıştır. Çeviricinin şebekeden beslendiği baz alınarak giriş frekansının 50 Hz ve giriş faz geriliminin etkin değerinin 220 V olduğu kabul edilmiştir. Yük olarak dengeli 3 fazlı endüktif yükün bağlandığı, her faz için direncinin R=10 Ω ve endüktansının L=0.1H olduğu esas alınarak bilgisayarda benzetimleri yapılmıştır.

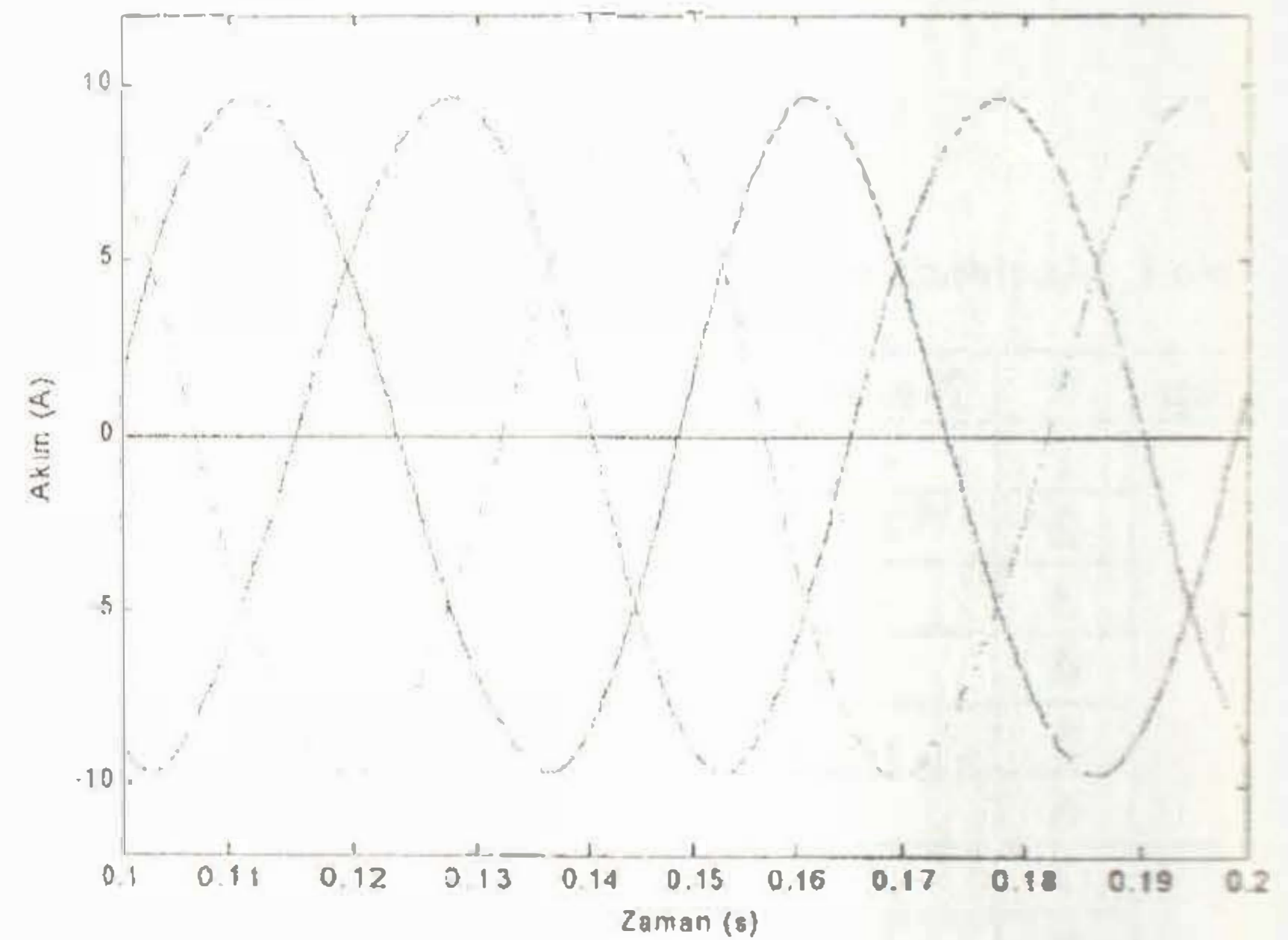
Uzay vektör modülasyon kontrol tekniğinde anahtarlama sırasında sıralı anahtarlama yapılmıştır. Bu uygulamada gerilim veya akım vektörleri bölge değiştiğinde anahtarlama sıralı yapılmıştır. Bir anahtarlama zamanı içerisinde eğer yarıiletkenlerin iletim sürelerinin toplamı anahtarlama periyodunu geçiyor ise oranlama yapılarak iletim süreleri bir anahtarlama periyodu içerisinde tutulmuştur.

Şekil 4'de giriş frekansı 50 Hz , çıkış frekansı 20 Hz olan ve gerilim dönüştürme oranı 0.82 kabul edilen matris çeviricinin çıkışındaki yük akımları gösterilmektedir. Şekil 4-a' da Venturini kontrol yöntemi ile yapılan anahtarlama ile elde edilen akım eğrileri verilmiştir. Şekil 4-b' de ise uzay vektör modülasyon kontrol yöntemi ile matris çeviricinin anahtarlama durumunda faz akımları verilmiştir. Her iki şekil

incelendiğinde uzay vektör modülasyon tekniğindeki faz akımları daha düzgün olduğu tespit edilmiştir.



(a)



(b)

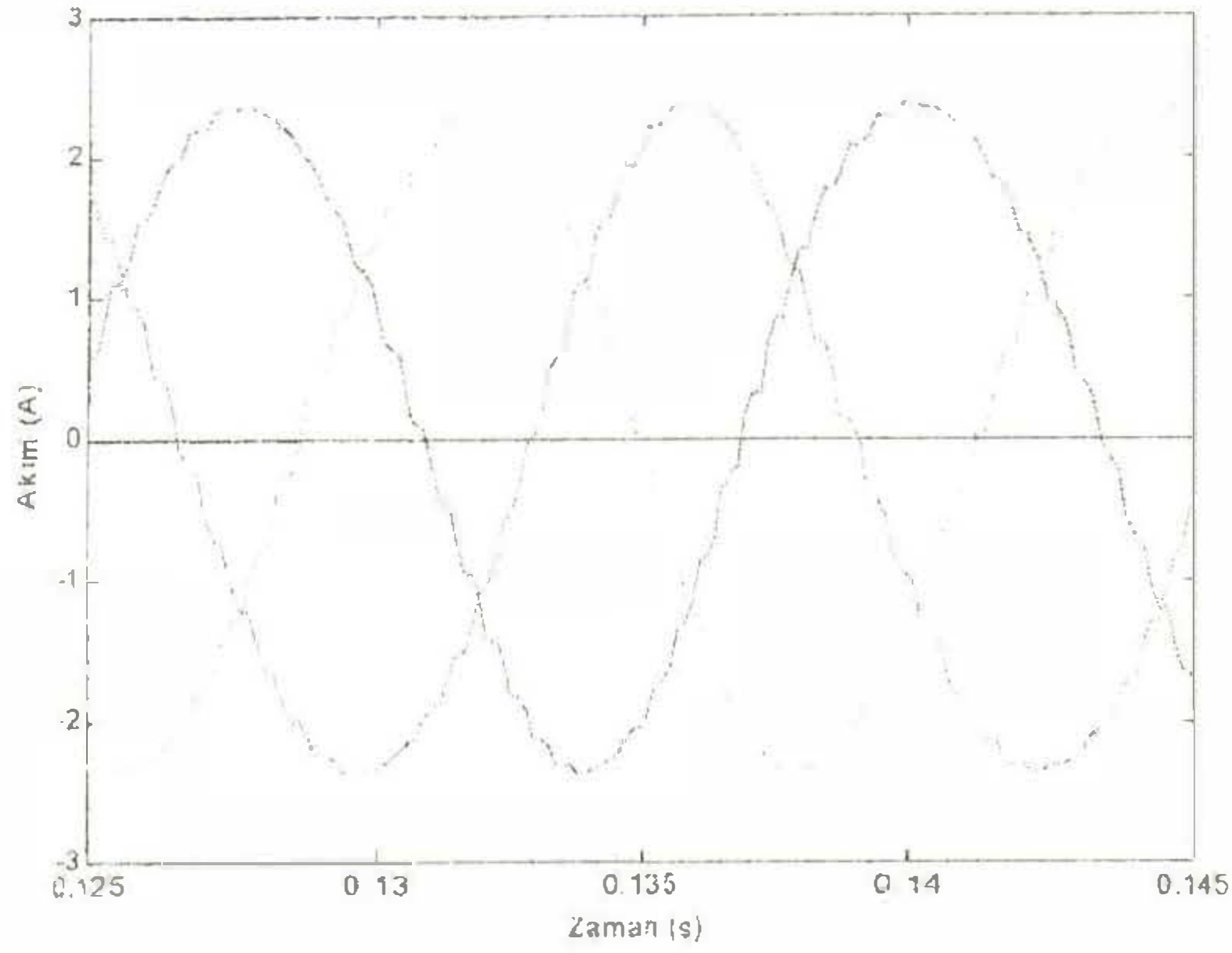
Şekil 4. Çevirici çıkışındaki yük faz akımları ($f_i=50$ Hz $f_o=20$ Hz, $V_o/V_i=0.82$)

a - Venturini kontrol yöntemi

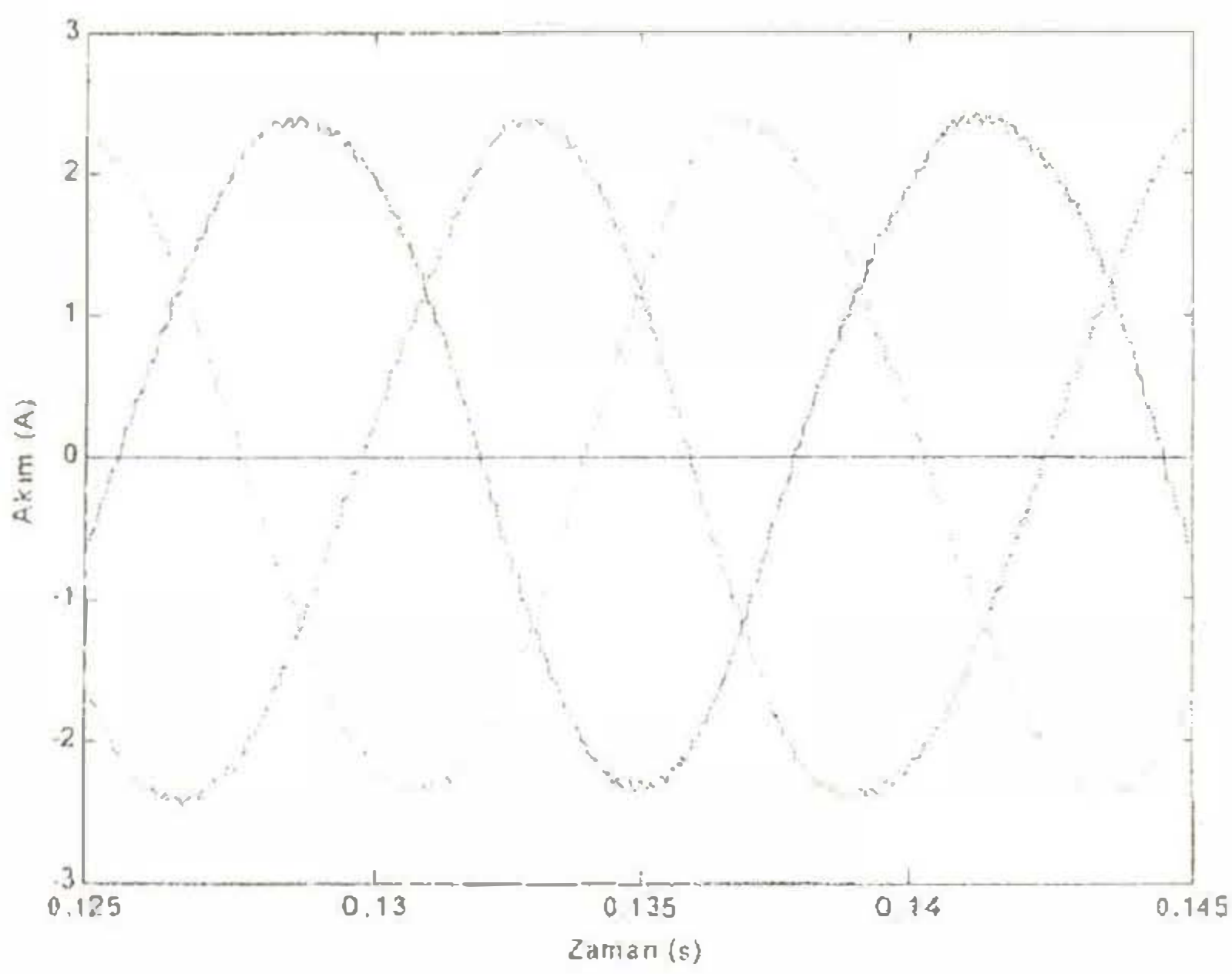
b- Uzay vektör modülasyon kontrol yönt.

Şekil 5' de ise giriş frekansı 50 Hz, çıkış frekansı 80 Hz ve gerilim dönüştürme oranı 0.64 olarak kabul edilen çıkış faz akımlarına ait bilgisayar benzetim sonuçları verilmiştir. Şekil 5-a' daki Venturini kontrol algoritmasına ait çıkış akımları ve Şekil 5-b' de ise uzay vektör modülasyon tekniği matris çeviricide kullanılarak elde edilen çıkış faz akımları verilmiştir. Giriş frekansının üstündeki frekanslarda Venturini yöntemde faz akımlarının sinüsoidallikinde daha fazla bozulmalar tespit edilmiştir.

Her iki benzetim sonuçlarında da uzay vektör kontrol algoritması kullanılarak yapılan anahtarlama akımların Venturini kontrol algoritmasına göre daha sinüsoidal olduğu gözlemlenmiştir.



(a)



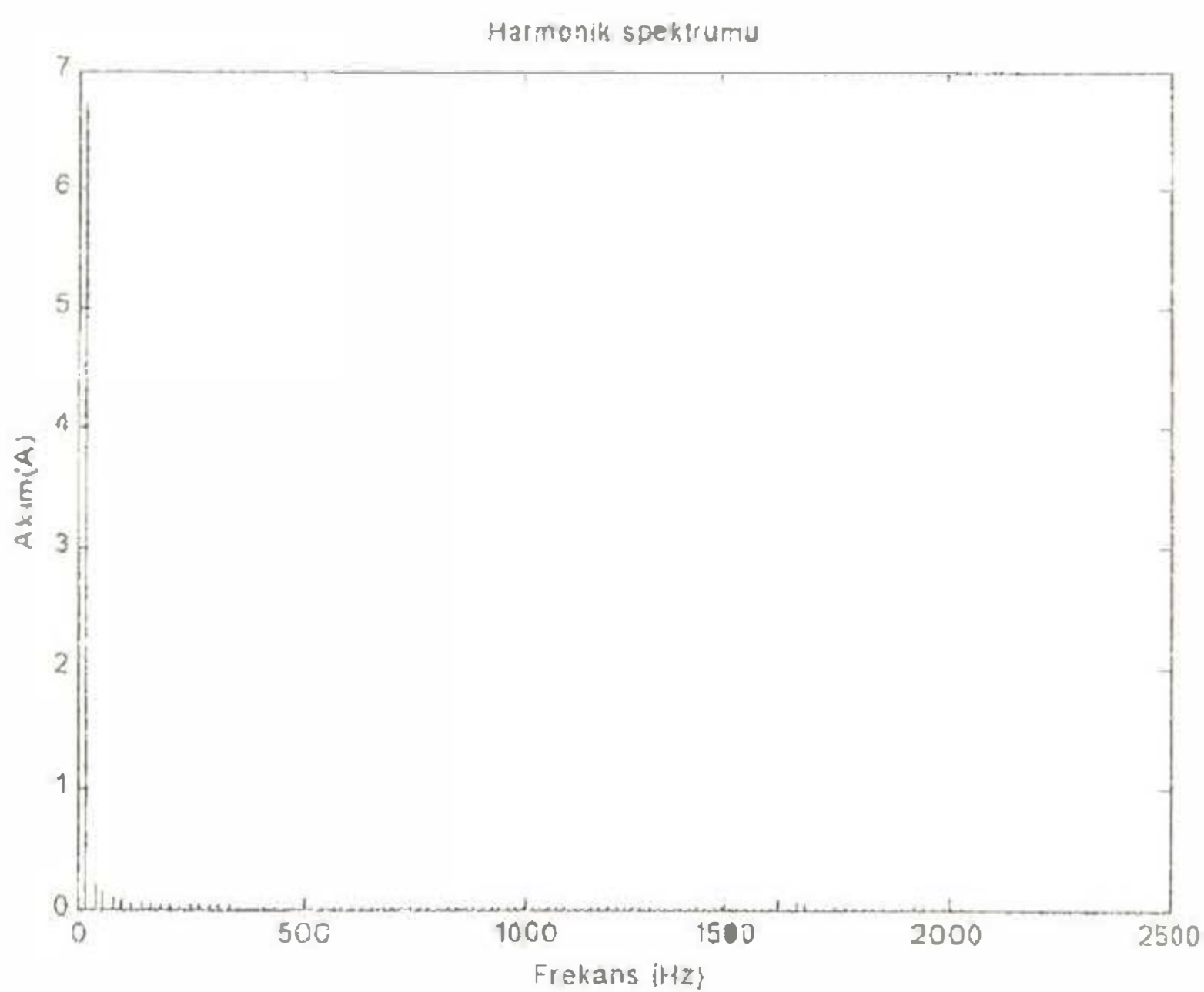
(b)

Şekil 5. Çevirici çıkışındaki yükün faz akımları ($f_i=50$ Hz, $f_o=80$ Hz, $V_o/V_i=0.64$)

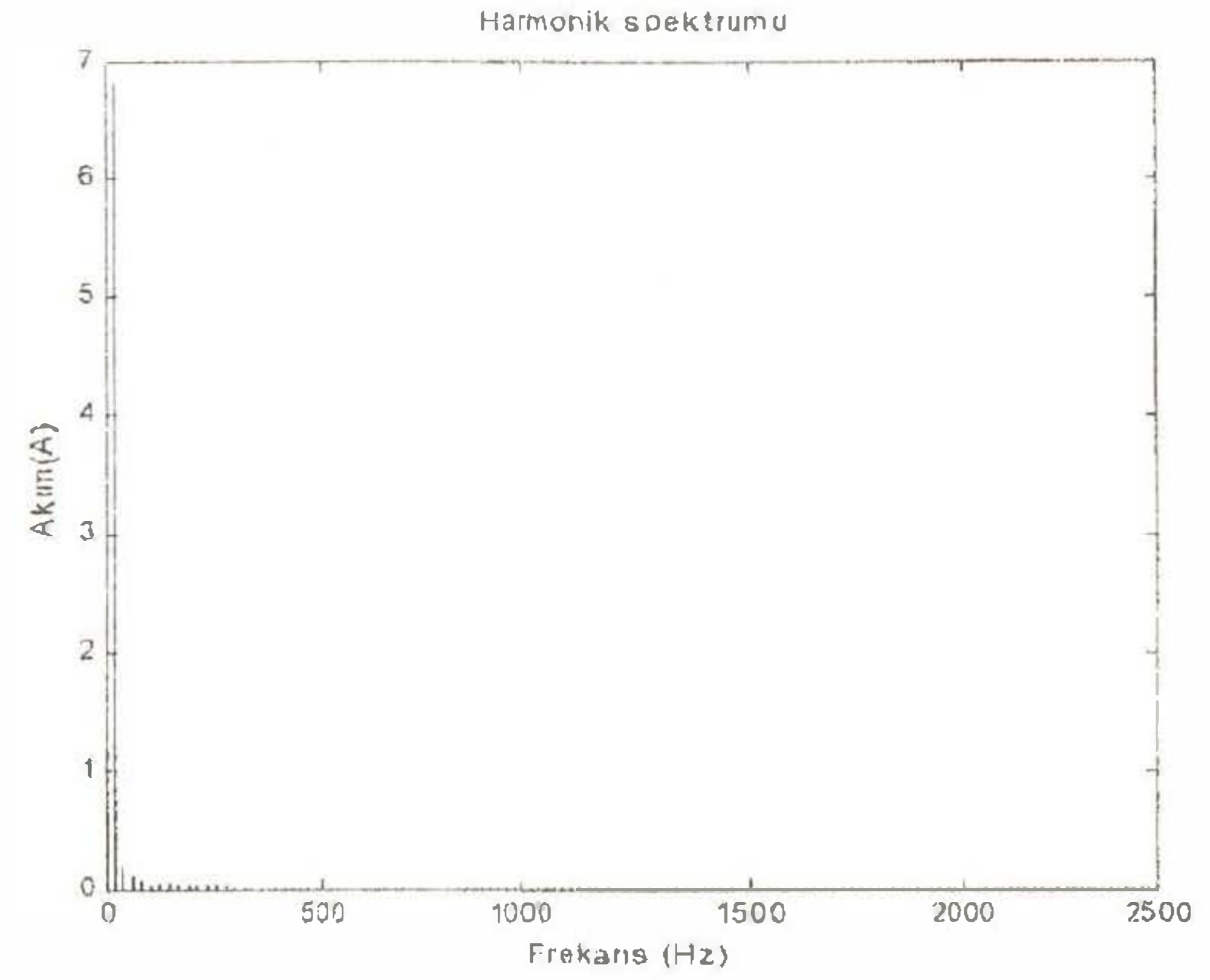
a- Venturini kontrol yöntemi

b- Uzay vektör modülasyon kontrol yöntemi

Şekil 4' deki yük faz akımlarından bir faza ait harmonik analizi Şekil 6' da verilmiştir. Aynı şekilde Şekil 5' teki yük faz akımlarından bir faza ait harmonik analizi ise Şekil 7' de verilmiştir.



(a)

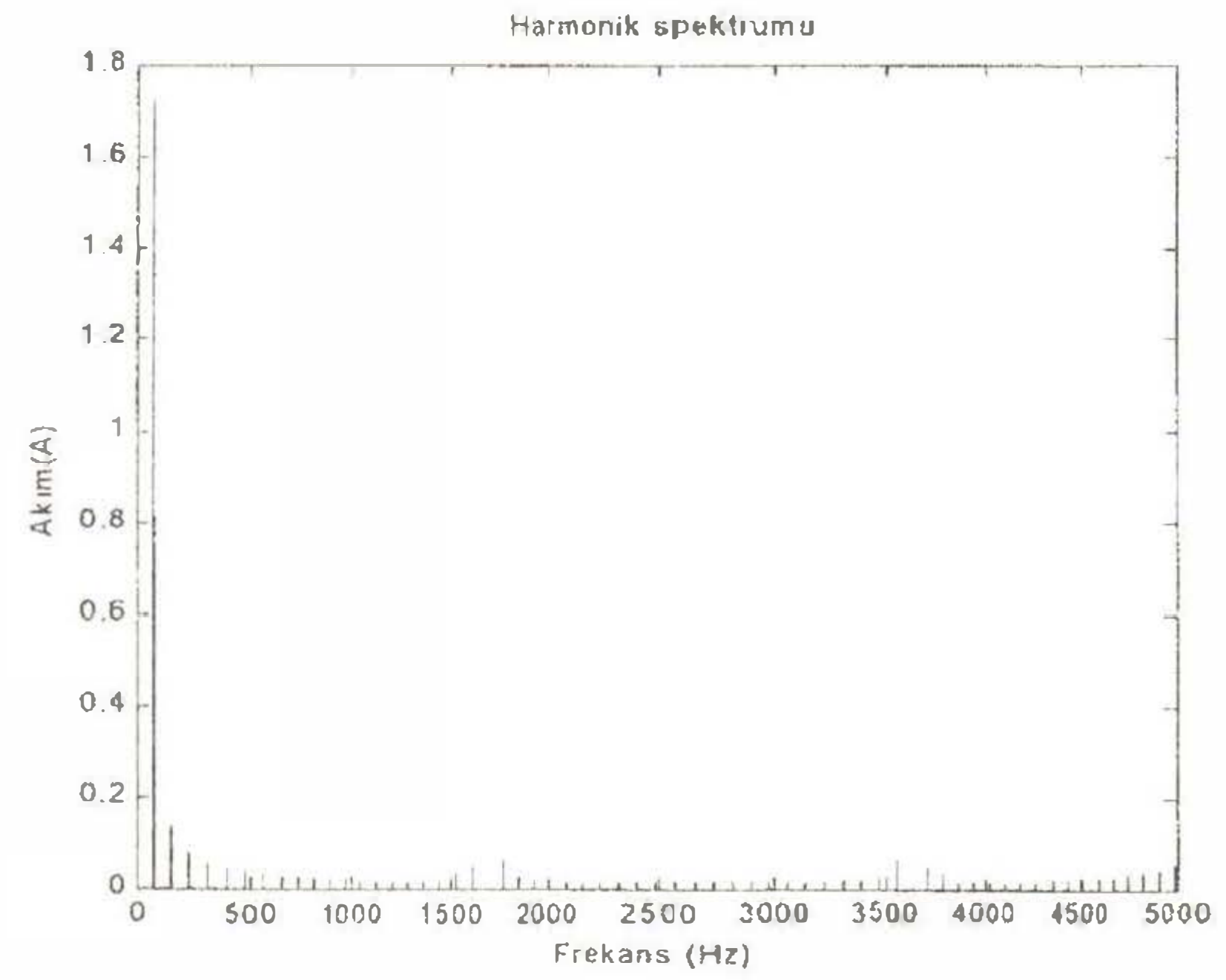


(b)

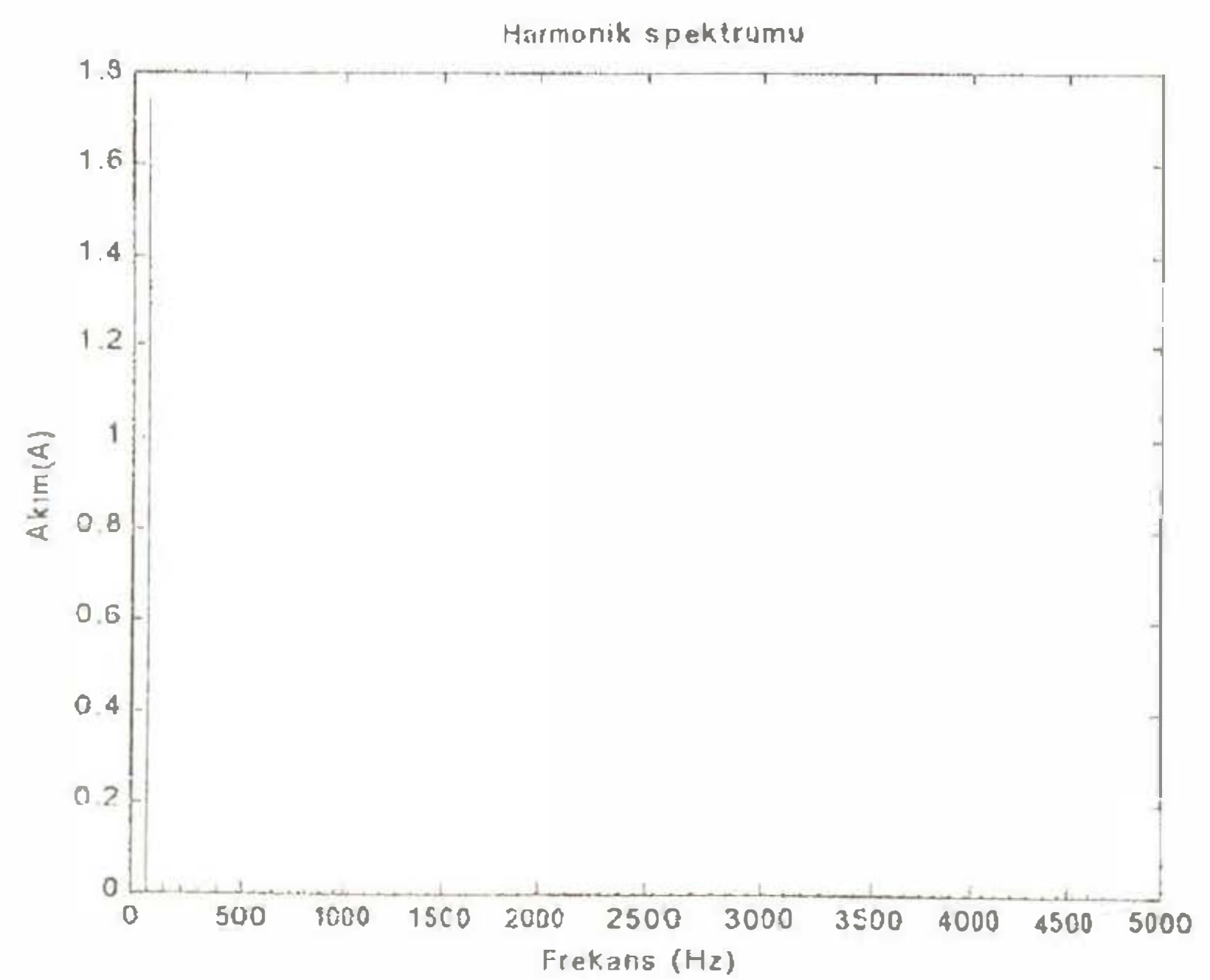
Şekil 6. Yüke ait faz akımının harmonik analizi ($f_i=50$ Hz, $f_o=20$ Hz, $V_o/V_i=0.8$)

a- Venturini kontrol yöntemi

b- Uzay vektör modülasyon kontrol yöntemi



(a)



(b)

Şekil 7. Yüke ait faz akımının harmonik analizi ($f_i=50$ Hz, $f_o=20$ Hz, $V_o/V_i=0.64$)

a- Venturini kontrol yöntemi

b- Uzay vektör modülasyon kontrol yöntemi

IV. SONUÇLAR

Matris çeviricide en yaygın şekilde kullanılmakta olan iki kontrol tekniğine ait bilgisayar benzetim çalışmaları yapılmıştır. Her iki kontrol tekniğinde de aynı yük ve anahtarlama frekansları kullanılmıştır. Anahtarlama sırasında uzay vektör darbe genişlik modülasyonu tekniğinde faz akımlarının uzay vektöründeki açısı kullanılarak örneklemeler yapılmıştır ve uygulama sırasında sıralı anahtarlama yapılarak çıkışta yük akımlarının düzgün olması sağlanmıştır. Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu kontrol tekniğinde anahtarlama sırasında sıfır vektörlerinde de anahtarlama koşulları olduğu için Venturini kontrol algoritmasına göre çevirici çıkışında daha düzgün sinüsoidal sinyal üretildiği ve harmonik bileşenlerinin daha az olduğu bu çalışmada tespit edilmiştir. Her iki kontrol tekniğinde de harmonik bileşenler anahtarlama frekansı değeri etrafında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca temel harmoniğin frekansına yakın değerlerdeki harmoniklerin etkilerinin düşük olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Holmes, D.G., and Lipo, T.A., *Implementation of a controlled rectifier using AC-AC matrix converter theory*, Power Electronics Specialists Conference, PESC '89, Page(s): 353 -359 vol.1, (1989)
- [2] Holmes, D.G., *A new modulation algorithm for voltage and current source inverters, based on AC-AC matrix converter theory*, Industry Applications Society Annual Meeting, Page(s): 1190 -1195 vol.2, (1990)
- [3] Casadei, D., Grandi, G., Serra, G., and Tani, A., *Space vector control of matrix converters with unity input power factor and sinusoidal input/output waveforms*, Power Electronics and Applications, Fifth European Conference on, Volume: 7, Page(s): 170 -175, (1993)
- [4] Huber, L., and Borojevic, D., *Space vector modulated three-phase to three-phase matrix converter with input power factor correction*, Industry Applications, IEEE Transactions on, Volume: 31 Issue: 6, Page(s): 1234 -1246, (1995)
- [5] Zhang, L., Watthanasarn, C., *An Efficient Space Vector Modulation Algorithm For AC-AC Matrix Converters: Analysis And Implementation*, Power Electronics and Variable Speed Drives, Sixth International Conference on (Conf. Publ. No. 429), 23-25 September, Page(s): 108 -113, (1996)
- [6] Nielsen, P., Blaabjerg, F., and Pedersen, J.K., *Space vector modulated matrix converter with minimized number of switchings and a feedforward compensation of input voltage unbalance*, Power Electronics, Drives and Energy Systems for Industrial Growth, Proceedings of the International Conference on, Volume: 2, Page(s): 833 -839, (1996)
- [7] Casadei, D., Serra, G., and Tani, A., *A general approach for the analysis of the input power quality in matrix converters*, Power Electronics, IEEE Transactions on, Volume: 13 Issue: 5, Page(s): 882 -891, (1998)
- [8] Ziegler, M., and Hofmann, W., *Implementation of a two steps commutated matrix converter*, Power Electronics Specialists Conference, PESC 99. 30th Annual IEEE, Volume: 1, Page(s): 175-180 vol.1, (1999)
- [9] Lixiang W., and Thomas. A.L., *A novel converter topology with simple commutation*, Industry Applications Conference, Thirty-Sixth IAS Annual Meeting, Volume: 3, Page(s): 1749 -1754, (2001)
- [10] Helle, L., and Munk-Nielsen, S., *A novel loss reduced modulation strategy for matrix converters*, Power Electronics Specialists Conference, PESC. IEEE 32nd Annual, Volume: 2, Page(s): 1102 -1107, (2001)