

# Matris Konverter Uygulaması

İsmail COŞKUN , Ali SAYGIN, Mahir DURSUN

## ÖZET

Matris konverterler anahtarlama topolojisindeki gelişmelere bağlı olarak klasik frekans konverterlerle rekabet edebilir düzeye ulaşmıştır. Yapılan bu çalışmada matris konverterde kullanılan yarıiletkenlerin anahtarlama hızında uzay vektör darbe genişlik modülasyon yöntemi kullanılmıştır. Uzay vektörlerin oluşturulması amacıyla konvertere ait giriş gerilimleri ile çıkış akımları elde edilmiş ve bu değerler Sayısal İşaret İşlemciye aktarılmıştır. Uygulamada TMS320LF2407 Sayısal İşaret İşlemci(Sİİ) kullanılarak yarıiletkenler için gerekli anahtarlama sinyalleri üretilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Matris Konverter, Uzay Vektör, Sayısal İşaret İşlemci

# Matrix Converter Application

## ABSTRACT

Matrix converters can compete with traditional frequency converter thanks to switching topology develop. In this study, it was used space vector pulse with modulation technique to switching topology at matrix converter semiconductor switches. The matrix converter's input voltages and output currents by sensing with current and voltage sensors were used to constitute space vector. Then, these current and voltage digital values were used at digital signal processor (DSP). In this application, TMS320LF2407 DSP was used to produce driver signals.

**Key words:** Matrix Converter, Space Vector, Digital Signal Processor

## 1. GİRİŞ

Matris konverterler alternatif akım (AA)'dan alternatif akıma doğrudan dönüşüm yapan bir konverterdir. AA kaynağına doğrudan bağlanan AA-AA çeviricilerden olan matris konverterler, matris şeklinde düzenlenmiş çift yönlü 9 adet anahtardan oluşur. Bu anahtarlar değişik anahtarlama teknikleri kullanılarak çıkış ünitesine bağlanacak yükün cinsine ve gereksinimlerine cevap verecek değişik frekans ve genlikte sinyaller üretilmesini sağlamaktadır (1).

Matris konverterlerin klasik frekans konverterlere göre üstünlükleri; sinüsoidal giriş akımı, denetlenebilir giriş güç katsayısı, en az düzeyde enerji depo eden eleman gerektirmesi ve iki yönlü enerji akışına imkan sağlamasıdır (2).

Matris konverterde kullanılan yarıiletkenlerin iletme ve kesime geçirilmesi için farklı anahtarlama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler temel olarak; Ölçekli, Min-Mid-Max, Venturini ve Uzay Vektör Modülasyon algoritmaları olarak dört başlık altında toplanmaktadır (3).

Farklı anahtarlama yöntemlerinin kullanılmasındaki amaç, sinüsoidal çıkış ve giriş akımı elde etmektir. En etkili modülasyon stratejisi, minimum düzeyde giriş akımında ve çıkış geriliminde harmonik

bileşenler oluşturmamalı ve güç kayıpları en az olmalıdır (4). Matris konverterde Uzay Vektör Modülasyon yönteminin kullanımı üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Çalışmalardaki temel amaç anahtarlama yönteminin harmonikleri azaltıcı anahtarlama yapabilmesidir. Konverterde çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı 0.866 katı kadardır. Konverterde giriş katsayısının ayarlanması ve bu değer tüm çalışma boyunca sabit kalması bu anahtarlama modülasyonunu diğer modülasyon yöntemlerine göre avantajlı kılmaktadır (5-6). Kwon, Min ve Kim çalışmalarında ölçekli modülasyon yöntemindeki komutasyon problemlerinin çözümü üzerine çalışmışlardır (7). Schuster yumuşak anahtarlama yapmak için yeni öneri getirmiş ve bu yöntemi kullanarak asenkron motorun bilgisayarda benzetim çalışmalarını sunmuştur (8). Sunter, Clare, Zuckerberger ve Matsuo, Venturini anahtarlama modülasyonu kullanılarak; asenkron motorun bilgisayar benzetimi ve deneysel çalışmalara yer vermişlerdir. Elde edilen faz akımları ve hız karakteristiğindeki salınımlar literatürde yer almıştır (9-12). Casadei ile birlikte diğer araştırmacılar ve Nielsen, asenkron motor hızının kontrol edilmesi için doğrudan moment kontrolü yöntemi kullanmış ve motora ait deneysel çalışmalar sunmuşlardır (13-15).

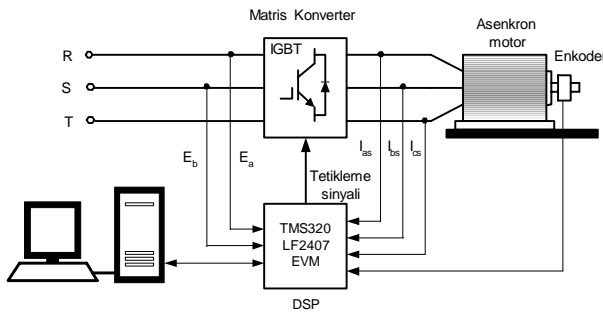
Bu çalışmada, motor hızının denetlenmesi için alan yönlendirmeli kontrol tekniği tercih edilmiştir. Uzay vektör darbe genişlik modülasyon yöntemi kullanılarak matris konvertere ait yarıiletkenler anahtarlama hızında üretilmiştir. İşlemci olarak kullanılan Sİİ, tüm sisteme ait denetim faaliyetleri için kullanılmıştır.

Makale 15.02.2008 tarihinde geldi, 24.04.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.  
İ. COŞKUN, A. SAYGIN, M. DURSUN, Teknik Eğitim Fakültesi  
Elektrik Eğitimi Bölümü Gazi Üniversitesi, Ankara  
icoskun@gazi.edu.tr asaygin@gazi.edu.tr mdursun@gazi.edu.tr  
Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.3.193-198

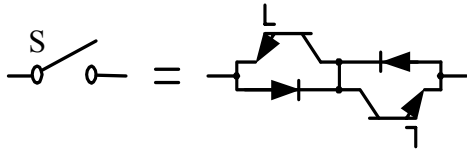
## 2. MATRİS KONVERTER

Konverterdeki yarıiletkenlerin anahtarlanması sayısal işaret işlemci ile sağlanır. Sİİ gerilim ve akım değerlerini okuyarak uzay vektörlerini oluşturur. Uzay vektörlerinin konumuna uygun olarak; Sİİ, uzay vektör darbe genişlik modülasyonunda anahtarlama sinyalleri üretir. Üretilen sinyaller ile konvertere ait yarıiletken anahtarlar denetlenir. Sistemin genel çalışma yapısı Şekil 1’de verilmiştir.

İki yönlü yarıiletken anahtardan geçen akım ve gerilimin sünsoidal olduğu düşünüldüğünde hem pozitif alternansta hem de negatif alternansta akım denetlenir, gerilim ise bloke edilir. İki yönlü akım geçişi için yarıiletken anahtarların yapısına ait bağlantı devresi Şekil 2’de görülmektedir.

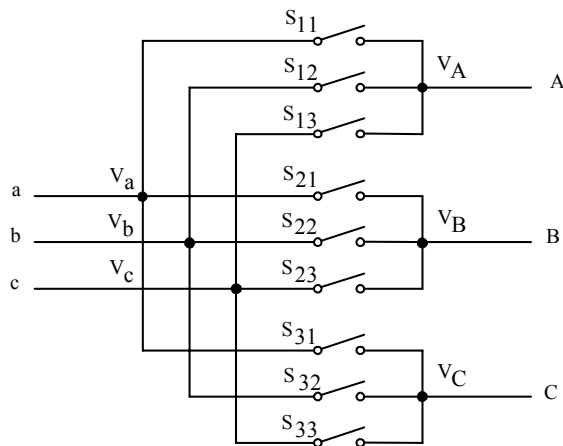


Şekil 1. Sayısal işaret işlemci ve matris konverter bağlantısı



Şekil 2. İki yönlü akım geçişini sağlayan anahtar yapısı

Şekil 3’de üç faz giriş ve üç faz çıkışı olan matris konverterin yapısı verilmiştir. Konverterde her grupta 3 adet iki yönlü (bidirectional) yarıiletken anahtar olmak üzere toplam 9 adet iki yönlü yarıiletken anahtar bulunmaktadır. Şekil 3’de görüldüğü gibi giriş hatları a, b ve c ile işaretlendirilirken, çıkış hatları ise A, B ve C ile işaretlendirilmiştir.



Şekil 3. Matris konverterin yapısı

Matris konverterde anahtarlama durumuna bağlı olarak çalışma süresi içerisinde her çıkış fazı, her giriş fazı ile irtibatlıdır. Bu durum anahtarların devreye girmesinde 512 farklı bağlantı kombinasyonu oluşmaktadır (16). Konverterde güvenli anahtarlama durumları oluşturmak için her anahtarlama anında aşağıdaki kuralların sağlanması gerekir.

- İki farklı giriş hattı aynı çıkış hattına eşzamanlı bağlanmamalıdır.
- Çıkış hatlarından herhangi biri anahtarlama süresince açık bırakılmamalıdır.

Konverterin, gerilim kaynağından beslendiği için giriş fazları kısa devre edilmemeli ve yükün endüktif olduğu düşünülerek akımın sürekliliği sağlanmalıdır. Çıkış akımının sünsoidalliğini sağlamak için konverter çıkışındaki yükün giriş fazlarından doğru şekilde beslenmesi gerekir. Yukarıda sıralanan temel şartlar sağlandığında 27 adet değişik bağlantı kombinasyonu oluşmaktadır. Altı adet anahtarlama kombinasyonunda her çıkış fazı farklı giriş fazları ile doğrudan bağlanmaktadır. Konverter çıkışında, giriş geriliminin benzeri aynı genlik ve frekansa sahip gerilim vektörü oluşur ve dönüş yönü anahtarlama sırasına bağlı olarak değişir. Anahtarlama kombinasyonlarından 18 tanesinin de ise değişik genlikte ve frekansta aktif gerilim vektörü oluşur. Çıkış geriliminin genliği seçilen girişlere ait fazlar arası gerilimin genliğine bağlıdır. Çıkış fazlararası gerilim vektörü giriş fazlararası gerilim vektöründen bağımsızdır. Son 3 anahtarlama kombinasyonunda ise sıfır vektörleri oluşur. Bunun anlamı bütün çıkış fazları aynı giriş fazına bağlanmıştır.

Matris konverter çıkışında uzay vektör darbe genişlik modülasyon tekniğine göre tetikleme sinyalleri üretebilmek için gerilim ve akımların uzay vektörleri kullanılmaktadır. Her anahtarlama kombinasyonu için akım ve gerilimin alacağı değerler farklıdır. Konverter giriş ve çıkış gerilimleri ile giriş ve çıkış akımlarının uzay vektöründeki ifadeleri yazılacak olursa;

$$\vec{v}_i = \frac{2}{3}(v_{ab} + a v_{bc} + a^2 v_{ca}) = V_i e^{j\alpha_i} \quad (1)$$

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

$$\vec{i}_i = \frac{2}{3}(i_{as} + a i_{bs} + a^2 i_{cs}) = I_i e^{j\beta_i} \quad (3)$$

$$\vec{i}_o = \frac{2}{3}(i_{An} + a i_{Bn} + a^2 i_{Cn}) = I_o e^{j\beta_o} \quad (4)$$

olmaktadır.  $\alpha_i$ : fazlar arası giriş gerilimleri uzay vektörünün faz açısını,  $\alpha_o$ : fazlar arası çıkış gerilimleri uzay vektörünün faz açısını,  $\beta_i$ : giriş faz akımları uzay vektörünün faz açısını ve  $\beta_o$ : giriş faz akımları uzay vektörünün faz açısını ifade etmektedir.  $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ ,  $a^2 = e^{-j\frac{2\pi}{3}}$  ise uzay fazörlerini ifade etmektedir.

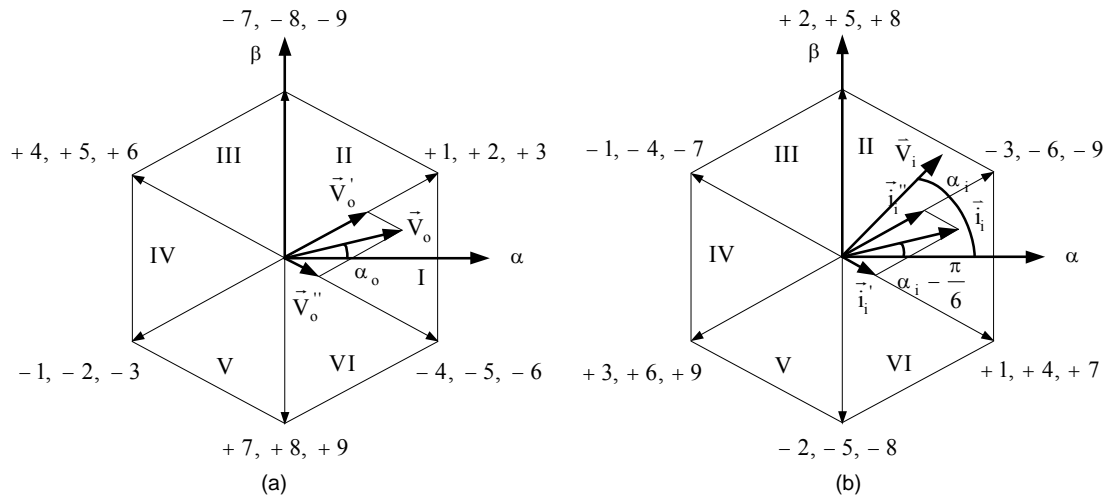
Tablo 1'deki I. grupta anahtarlama yapılmamaktadır. II. gruptaki tüm anahtarlama kombinasyonları için çıkış fazlararası gerilimlerin uzay vektörleri ve giriş akımlarının uzay vektörleri çizilebilir.

Karmaşık uzay düzleminde tüm değişkenler 2 düzlemde değer almakta olup bileşkesi gerilim ve akım bileşke vektörlerini vermektedir. Bu durum Şekil 4' te

verilmiştir. Matris konverterde yarıiletkenlerin bir örnekleme zamanı içerisinde ki anahtarlama süreleri ve sıralamasının belirlenmesi için Şekil 4' te gösterilen gerilim ve akım uzay vektörlerinden yararlanılır. Gerilim ve akım vektörlerinin, uzay vektöründeki bölgelerine göre anahtarlama sıraları ve süreleri ayrı ayrı bulunmalıdır.

Tablo 1. Matris konverterdeki yarıiletkenlerin anahtarlama kombinasyonları

Grup	#	Ad	A	B	C	$v_{AB}$	$v_{BC}$	$v_{CA}$	$i_a$	$i_b$	$i_c$	$V_o$	$\alpha_o$	$I_i$	$\beta_i$
I	1	-	a	b	c	$v_{ab}$	$v_{bc}$	$v_{ca}$	$i_A$	$i_B$	$i_C$	$v_i$	$\alpha_i$	$i_o$	$\beta_o$
	2	-	a	c	b	$-v_{ca}$	$-v_{bc}$	$-v_{ab}$	$i_A$	$i_C$	$i_B$	$-v_i$	$-\alpha_i+4\pi/3$	$i_o$	$-\beta_o$
	3	-	b	a	c	$-v_{ab}$	$-v_{ca}$	$-v_{bc}$	$i_B$	$i_A$	$i_C$	$-v_i$	$-\alpha_i$	$i_o$	$-\beta_o+2\pi/3$
	4	-	b	c	a	$v_{bc}$	$v_{ca}$	$v_{ab}$	$i_C$	$i_A$	$i_B$	$v_i$	$\alpha_i+4\pi/3$	$i_o$	$\beta_o+2\pi/3$
	5	-	c	a	b	$v_{ca}$	$v_{ab}$	$v_{bc}$	$i_B$	$i_C$	$i_A$	$v_i$	$\alpha_i+2\pi/3$	$i_o$	$\beta_o+4\pi/3$
	6	-	c	b	a	$-v_{bc}$	$-v_{ab}$	$-v_{ca}$	$i_C$	$i_B$	$i_A$	$-v_i$	$-\alpha_i+2\pi/3$	$i_o$	$-\beta_o+4\pi/3$
II a	7	+1	a	b	b	$v_{ab}$	0	$-v_{ab}$	$i_A$	$-i_A$	0	$2/\sqrt{3} v_{ab}$	$\pi/6$	$2/\sqrt{3} i_A$	$-\pi/6$
	8	-1	b	a	a	$-v_{ab}$	0	$v_{ab}$	$-i_A$	$i_A$	0	$-2/\sqrt{3} v_{ab}$	$\pi/6$	$-2/\sqrt{3} i_A$	$-\pi/6$
	9	+2	b	c	c	$v_{bc}$	0	$-v_{bc}$	0	$i_A$	$-i_A$	$2/\sqrt{3} v_{bc}$	$\pi/6$	$2/\sqrt{3} i_A$	$\pi/2$
	10	-2	c	b	b	$-v_{bc}$	0	$v_{bc}$	0	$-i_A$	$i_A$	$-2/\sqrt{3} v_{bc}$	$\pi/6$	$-2/\sqrt{3} i_A$	$\pi/2$
	11	+3	c	a	a	$v_{ca}$	0	$-v_{ca}$	$-i_A$	0	$i_A$	$2/\sqrt{3} v_{ca}$	$\pi/6$	$2/\sqrt{3} i_A$	$7\pi/6$
	12	-3	a	c	c	$-v_{ca}$	0	$v_{ca}$	$i_A$	0	$-i_A$	$-2/\sqrt{3} v_{ca}$	$\pi/6$	$-2/\sqrt{3} i_A$	$7\pi/6$
II b	13	+4	b	a	b	$-v_{ab}$	$v_{ab}$	0	$i_B$	$-i_B$	0	$2/\sqrt{3} v_{ab}$	$5\pi/6$	$2/\sqrt{3} i_B$	$-\pi/6$
	14	-4	a	b	a	$v_{ab}$	$-v_{ab}$	0	$-i_B$	$i_B$	0	$-2/\sqrt{3} v_{ab}$	$5\pi/6$	$-2/\sqrt{3} i_B$	$-\pi/6$
	15	+5	c	b	c	$-v_{bc}$	$v_{bc}$	0	0	$i_B$	$-i_B$	$2/\sqrt{3} v_{bc}$	$5\pi/6$	$2/\sqrt{3} i_B$	$\pi/2$
	16	-5	b	c	b	$v_{bc}$	$-v_{bc}$	0	0	$-i_B$	$i_B$	$-2/\sqrt{3} v_{bc}$	$5\pi/6$	$-2/\sqrt{3} i_B$	$\pi/2$
	17	+6	a	c	a	$-v_{ca}$	$v_{ca}$	0	$-i_B$	0	$i_B$	$2/\sqrt{3} v_{ca}$	$5\pi/6$	$2/\sqrt{3} i_B$	$7\pi/6$
	18	-6	c	a	c	$v_{ca}$	$-v_{ca}$	0	$i_B$	0	$-i_B$	$-2/\sqrt{3} v_{ca}$	$5\pi/6$	$-2/\sqrt{3} i_B$	$7\pi/6$
II c	19	+7	b	b	a	0	$-v_{ab}$	$v_{ab}$	$i_C$	$-i_C$	0	$2/\sqrt{3} v_{ab}$	$3\pi/2$	$2/\sqrt{3} i_C$	$-\pi/6$
	20	-7	a	a	b	0	$v_{ab}$	$-v_{ab}$	$-i_C$	$i_C$	0	$-2/\sqrt{3} v_{ab}$	$3\pi/2$	$-2/\sqrt{3} i_C$	$-\pi/6$
	21	+8	c	c	b	0	$-v_{bc}$	$v_{bc}$	0	$i_C$	$-i_C$	$2/\sqrt{3} v_{bc}$	$3\pi/2$	$2/\sqrt{3} i_C$	$\pi/2$
	22	-8	b	b	c	0	$v_{bc}$	$-v_{bc}$	0	$-i_C$	$i_C$	$-2/\sqrt{3} v_{bc}$	$3\pi/2$	$-2/\sqrt{3} i_C$	$\pi/2$
	23	+9	a	a	c	0	$-v_{ca}$	$v_{ca}$	$-i_C$	0	$i_C$	$2/\sqrt{3} v_{ca}$	$3\pi/2$	$2/\sqrt{3} i_C$	$7\pi/6$
	24	-9	c	c	a	0	$v_{ca}$	$-v_{ca}$	$i_C$	0	$-i_C$	$-2/\sqrt{3} v_{ca}$	$3\pi/2$	$-2/\sqrt{3} i_C$	$7\pi/6$
III	25	0	a	a	a	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-
	26	0	b	b	b	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-
	27	0	c	c	c	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-



Şekil 4. Gerilim ve akımların karmaşık uzay vektöründe gösterilişi  
 a) Fazlar arası çıkış gerilimlerinin uzay vektörleri ve faz açısı  
 b) Giriş faz akımlarının uzay vektörleri ve faz açısı

### 3. SAYISAL İŞARET İŞLEMÇİ

Uygulama da Texas Inst. firması tarafından üretilen TMS320LF2407 kodlu sayısal işaret işlemci (Sİİ) kullanılmıştır. Çalışma frekansının yüksek olması ve analog bilgiyi dijital bilgiye dönüştürme (çevrim) zamanının kısa olması sebebiyle tercih edilmiştir. İşlemcinin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.

- 25 ns komut işleme hızı (40 MHz)
- 32K kelime flash ROM, 544 kelime data hafıza RAM (DARAM), 128K kelime hafıza RAM (SARAM)
- Harici hafıza arabirimi
- Olay Yöneticisi (Event Manager) modülü içerisinde 16 adet DGM kanalı, 4 adet genel amaçlı zamanlayıcı, 12 adet karşılaştırma birimi, 6 adet tutma birimi (capture), enkoder girişi olarak da kullanılan 4 adet tutma birimi (QEP)
- 16 kanal 10-bit analog-sayısal dönüştürücü
- DAC7625 entegresi ile 4 kanal sayısal-analog dönüştürücü
- 4 adet genişleme konnektörleri (veri, adres, I/O ve kontrol)
- Watchdog zamanlayıcı modülü
- Seri iletişim arabirimi
- 5 V giriş beslemesi (3.3 V çalışma gerilimi)

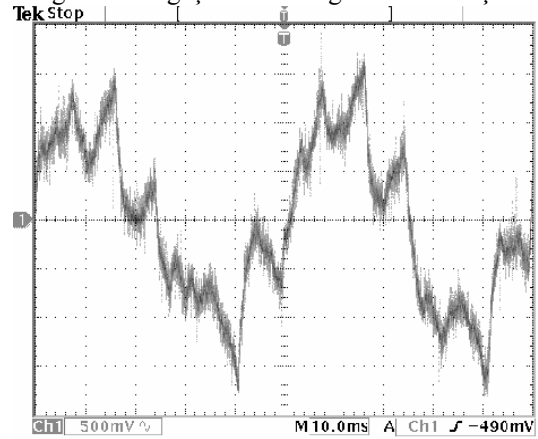
TMS320LF2407 işlemcide EVA ve EVB olarak isimlendirilen olay yöneticileri bulunmaktadır. Hız kontrolünde, geri beslemede enkoder kullanılması durumunda tutma birimi kare dalga enkoder sinyallerini işleyecek şekilde seçildiğinden QEP1 ve QEP2 enkoderden elde edilen  $90^\circ$  faz farklı kare dalga sinyalleri saymak için kullanılmıştır.

Deney düzeneği toplam 4 ayrı karttan oluşmuştur. Bunlar; Sayısal işaret işlemci, sürücü, yarıiletken anahtar ve analog bilgi kartıdır. Analog ölçüm kartı ile motora ait her faz sargısının çektiği akım ve şebeke faz gerilimlerinin değerleri Sİİ'ye aktarılmaktadır. Sİİ de okunan değerlere göre gerilim ve uzay vektörleri kullanılarak anahtarlama sinyalleri üretilir. Sİİ' den üretilen sinyaller yalıtma elemanlarından (opto izalator) geçirilerek sürücülere ulaşmaktadır. Sürücüler, yarıiletken anahtarların iletme ve kesime götürülmesini sağlamaktadır. İletim ve kesim durumlarına bağlı olarak motor istenilen hızda döndürülmektedir.

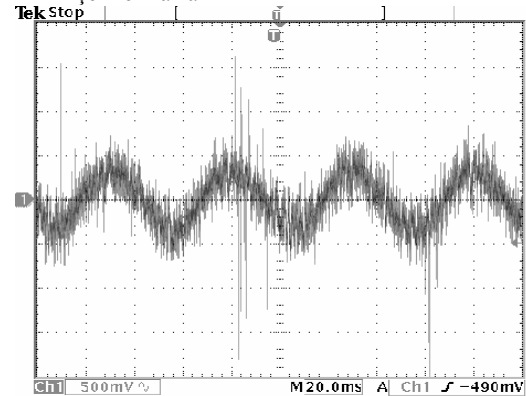
### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Uzay vektör darbe genişlik modülasyonu yöntemi ile iletme geçirilen yarıiletkenlerin anahtarlama frekansları 10 kHz seçilmiştir. IGBT'lerin 10 kHz de anahtarlama yapılması göz önünde bulundurularak koruyucu devreler tasarlanmıştır. Uygulamada asenkron motor olarak GAMAK firması tarafından üretilen 250 W, 380 V, 4 kutuplu,  $\cos\phi = 0.71$  değerlerine sahip motor kullanılmıştır.

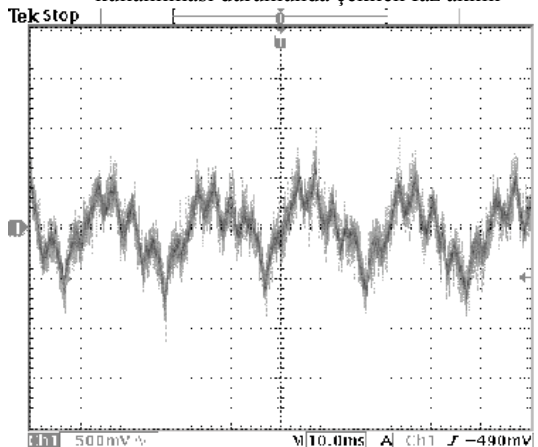
Deney setinde çalışma yapılırken motorun değişik hızlarda dönmesi sağlanmıştır. Motorun hız denetimi, alan yönlendirmeli denetim ile yapılmıştır. Motorun çektiği faz akımların karşılaştırılması amacıyla açık ve kapalı döngü denetim kullanılmıştır. Kapalı döngü kontrolde PI denetleyici kullanılmıştır. Şekil 5' te motor hızının 600 d/d ki açık döngü denetimine ait faz akımının şekli verilmiştir. Şekil 6' da ise aynı hızda motorun kapalı döngü PI tekniği ile denetlenmesi sırasında motor faz sargılarından geçen akımın eğrisini verilmiştir.



Şekil 5. Motor 600 d/d ile dönerken açık döngü denetimde çekilen faz akımı

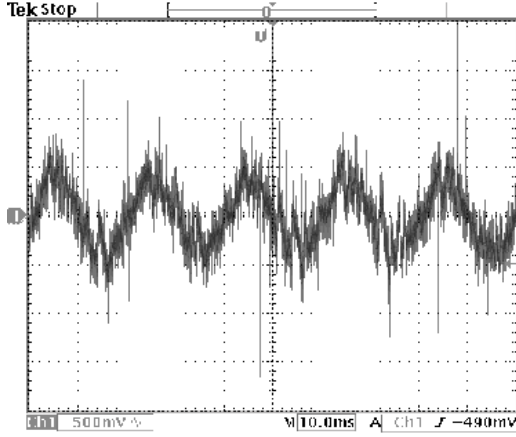


Şekil 6. Motor 600 d/d ile dönerken PI denetleyici kullanılması durumunda çekilen faz akımı



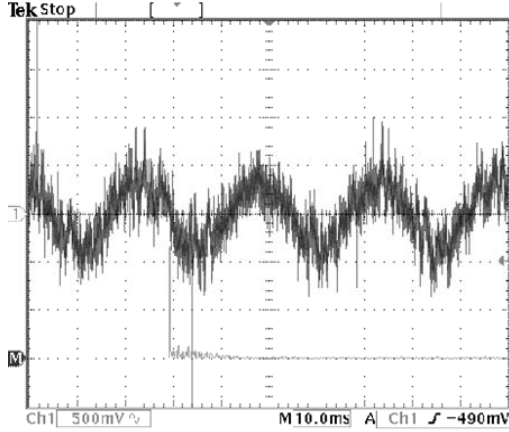
Şekil 7. Motor 1500 d/d ile dönerken açık döngü denetimde çekilen faz akımı

Motorun anma hızı olan 1500 d/d da açık ve kapalı döngü çalıştırılması sırasında çekilen faz akımları Şekil 7 ve Şekil 8 de verilmiştir.



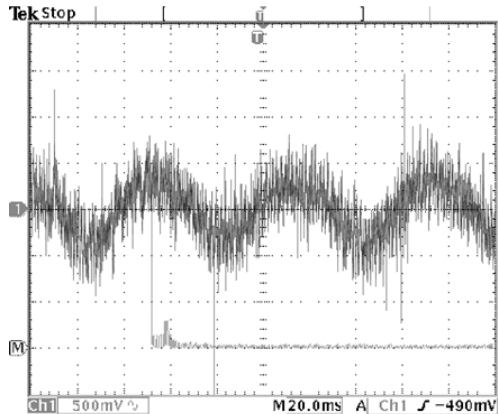
Şekil 8. Motor 1500 d/d da dönerken PI denetleyici kullanılması durumunda çekilen faz akımı

Motor faz akımları incelenerek harmonik bileşenlerin varlığı irdelenebilir. Motorun 500 d/d da dönmesi sırasında PI denetleyici kullanıldığında motor faz akımı ve harmonik analizi Şekil 9’ da verilmiştir.



Şekil 9. Motor hızı 500 d/d iken faz akımı ve harmonik spektrumu

Motor 1200 d/d dönerken motor ait faz akımı ve harmonik analizi Şekil 10’ da verilmiştir.



Şekil 10. Motor hızı 1200 d/d iken faz akımı ve harmonik spektrumu

## 5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmada matris konverterde kullanılan yarıiletkenlerin anahtarlanması sırasında uzay vektör darbe genişlik modülasyon yöntemi kullanılmıştır. Motor hız denetimi alan yönlendirmeli kontrol yöntemi ile sağlanmıştır. Yük olarak bağlanan asenkron motorun hızı denetlenmiştir. Sayısal işaret işlemcide açık döngü ve kapalı döngü denetim yöntemleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda motor 500 d/d ile 1500 d/d arasında istenen hızda çalıştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, Sİİ denetimli matris konverterin yapısal olarak asenkron motor hız denetimi için uygun olduğu ve oluşan harmoniklerin FFT analizine göre küçük değerlikli olması sebebiyle endüstriyel uygulamalarda kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

## 6. KAYNAKLAR

1. 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*, 7: 170-175, 1993.
2. 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 1996 International Conference on*, 2: 833-839, 1995.
3. Sunter, S. and Altun, H., “A method for calculating semiconductor losses in the matrix converter”, *Mediterranean Electrotechnical Conference, MELECON, 9th*, 2: 1260-1264, 1998.
4. Zhang, L., Watthanasarn, C. and Shepherd, W., “Analysis and comparison of control techniques for AC-AC matrix converters” *Electric Power Applications, IEE Proceedings* 145 (4): 284-294, 1998.
5. Klumpner, C., Boldea, I., and Blaabjerg, F., “Artificial loading of the induction motors using a matrix converter”, *Power Electronics and Variable Speed Drives, 2000. Eighth International Conference on*, 40-45, 2000.
6. Apap, M., Clare, J.C., Wheeler, P.W., Bradley, K.J., “Analysis and comparison of AC-AC matrix converter control strategies” *Power Electronics Specialist, PESC '03. IEEE 34th Annual Conference on*, Volume: 3, 15-19 June 2003 Pages:1287 – 1292, 2003.
7. Kwon, B.H., Min, B.D. and Kim, J.H., “Novel commutation technique of AC-AC converters”, *Electric Power Applications, IEE Proceedings*, 145(4): 295 –300, 1998.
8. Schuster, A., “A Drive-system With A Digitally Controlled Matrix-converter”, *Feeding An Ac Induction Machine Power Electronics and Variable Speed Drives, 1996. Sixth International Conference on (Conf. Publ. No. 429)*, 378-382, 1996.
9. Sunter, S. and Clare, J.C., “Development of a matrix converter induction motor drive”, *Electrotechnical Conference, Proceedings., 7th Mediterranean*, 2: 833-836, 1994.

10. Sunter, S. and Clare, J.C. "A true four quadrant matrix converter induction motor drive with servo performance", Power Electronics Specialists Conference, PESC '96 Record., 27th Annual IEEE, 1: 146–151, 1996.
11. Zuckerberger, A., Weinstock, D. and Alexandrovitz, A., "Simulation of three-phase loaded matrix converter", Electric Power Applications, IEE Proceedings, 143( 4): 294–300, 1996.
12. Matsuo, T., Bernet, S., Colby, R.S. and Lipo, T.A., "Application of the matrix converter to induction motor drives", Industry Applications Conference, Thirty-First IAS Annual Meeting, IAS '96., Conference Record of the 1996 IEEE, 1: 60-67, 1996.
13. Casadei, D., Serra, G. and Tani, A., "The use of matrix converters in direct torque control of induction machines", Industrial Electronics Society, IECON '98. Proceedings of the 24th Annual Conference of the IEEE, 2: 744-749, 1998.
14. Casadei, D., Serra, G. and Tani, A., "Reduction of the input current harmonic content in matrix converters under input/output unbalance", *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, 45 (3): 401–411, 1998.
15. Klumpner, C., Blaabjerg, F., "Short term braking capability during power interruptions for integrated matrix converter-motor drives", Power Electronics, IEEE Transactions on, 19(2): 303 – 311, 2004.
16. 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 1996 International Conference on, 2: 833-839, 1995