

DARBE DÜŞÜRÜLMESİNİN MATRİS ÇEVİRİCİNİN ÇIKIŞ GERİLİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

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

Anahtar sözcükler: Matris çevirici, Venturini kontrol algoritması

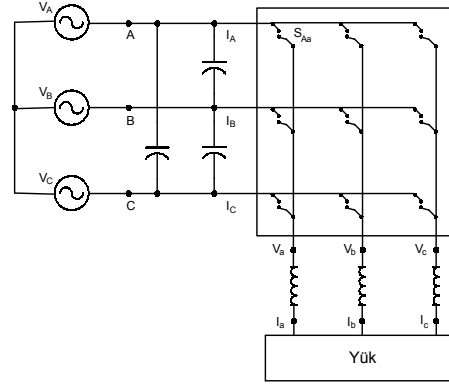
ABSTRACT

It is crucial to minimize switching losses in matrix converters where a number of switching devices is used. In Venturini control algorithm which is oftenly used in the matrix converter, narrow pulses appear as the voltage ratio (q) increases. The switching devices in the converter may not response to these narrow pulses. This situation gets even worst as the switching frequency increases. In this study, a switching technique based on pulse dropping strategy is described. Output results for ideal operating conditions and the results obtained from the proposed switching strategy have been compared. It has been demonstrated that the proposed strategy can be easily implemented with reduced switching losses.

1. GİRİŞ

Matris çeviriciler frekans ve genliği sabit üç fazlı sinüzoidal kaynaktan beslenen, tek veya üç fazlı sinüzoidal çıkış verebilen, matris şeklinde bağlanmış kontrollü, çift yönlü yarı iletken anahtarlar dizisidir. Bu anahtarlar giriş gerilimini değişik modülasyon algoritmalarıyla anahtarlayarak çıkışta değişken genlik ve frekanslı gerilimler elde edilmesini sağlar. Matris çeviricilerde kullanılan en popüler modülasyon algoritmalarından biri Venturini kontrol algoritmasıdır [1,2]. Şekil 1’de 9 adet çift yönlü anahtara sahip, üç faz giriş - üç faz çıkışlı tipik bir matris çevirici devresi görülmektedir. Üç fazlı matris çevirici 9 adet çift yönlü anahtarın yüksek frekanslarda anahtarlanması nedeniyle anahtarlama kayıplarının oluşması kaçınılmazdır. Ayrıca kontrol algoritması gereği çok kısa süreli darbelerin oluşumu da söz konusudur [3]. Kısa süreli darbelerin çift yönlü yarıiletken anahtarlarla oluşturulması esnasında anahtarların açma- kapama hızlarından dolayı yüksek anahtarlama kayıpları ortaya çıkabilmektedir.

Bu çalışmada, Venturini kontrol algoritmasında anahtarlama kayıplarının azaltılması için belirli bir süreden daha küçük darbelerin ihmal edilmesine dayalı yeni bir anahtarlama stratejisi düşünüldü.



Şekil 1. 3x3 fazlı matris çeviricinin yapısı

Bu stratejide düşürülecek darbelerin süresi yarıiletkenler için gerekli olan minimum darbe sürelerinden büyük ve aynı zamanda çıkış gerilimini bozmayacak kadar da küçük olmalıdır. Bunun sağlanması durumunda özellikle yüksek frekanslı anahtarlama durumlarında darbe sayıları düşeceğinden anahtarlama kayıpları azalacaktır.

Bu stratejiye göre çalışan üç fazlı matris çeviricinin benzetimi ve çıkış gerilimleri incelenmiş, orijinal Venturini algoritmasına göre elde edilen çıkış gerilimleri ile karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. MODÜLASYON ALGORİTMASI

Matris çeviricinin herhangi bir çıkış fazı, üç giriş fazının anahtarlama periyodu içerisinde sırayla anahtarlanarak çıkışa aktarılması ile elde edilir. Burada A, B, C indisleri çevirici giriş kısmını temsil ederken a, b, c indisleri ise çevirici çıkış kısmını temsil etmektedir. Üç fazlı giriş gerilimleri Denklem (1)’de verilmektedir.

$$\begin{bmatrix} V_A(t) \\ V_B(t) \\ V_C(t) \end{bmatrix} = V_{im} \begin{bmatrix} \cos(w_i t) \\ \cos(w_i t + \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(w_i t + \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

Bu anahtarlama algoritmalarından en bilineni Venturini kontrol algoritmasıdır[4]. Bu algoritmaya göre, matris çeviricinin maksimum çıkış gerilimi

giriş geriliminin en fazla 0.5 olabilmektedir ($q \leq 0.5$). Matris çeviricinin çıkış gerilimini modife etmek için, giriş ve çıkış frekanslarının 3. harmonikleri çıkış gerilimine eklenir. Böylece çıkış geriliminin maksimum değeri, giriş geriliminin 0.886 katına çıkarılabilir. Bu durumda birim giriş yer değiştirme faktöründe giriş fazı β ve çıkış fazı γ arasına bağlanan anahtar için görev periyodu (2) eşitliğindeki gibi tanımlanabilir [4].

$$T_{\beta\gamma} = Ts \left[\frac{1}{3} + \frac{2V_{o\gamma} V_{i\beta}}{3V_{im}^2} + \frac{2q}{9q_m} \sin(w_i t + \Psi_\beta) \sin(3w_i t) \right] \quad (2)$$

Burada, maksimum gerilim oranı (q_m) 0.866'dır. q ise istenilen gerilim oranını gösterir. w_i ve T_s açısal frekans ve anahtarlama periyodunu gösterir. V_A , V_B , V_C ani giriş gerilimlerini ve V_{im} giriş geriliminin tepe değerini gösterir.

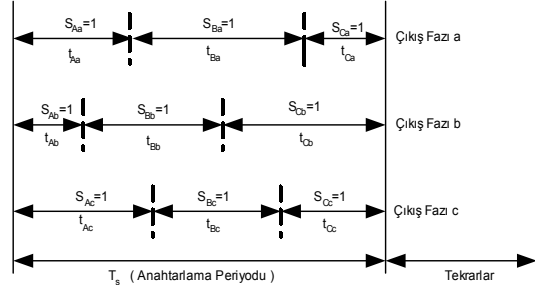
$$\Psi_\beta : 0, \frac{2\pi}{3}, \frac{4\pi}{3} \text{ sırasıyla A, B, C giriş fazlarına,}$$

$$\Psi_\gamma : 0, \frac{2\pi}{3}, \frac{4\pi}{3} \text{ sırasıyla a, b, c çıkış fazlarına}$$

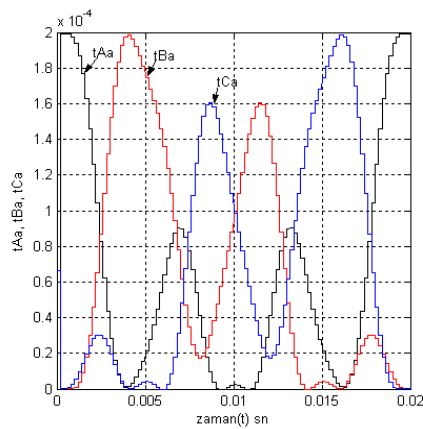
karşılık gelir.

Matris çeviricinin çıkış gerilimi ise denklem (3) gibi hesaplanır [4].

$$V_{o\gamma} = qV_{im} \cos(w_o t + \Psi_\gamma) - \frac{q}{6} V_{im} \cos(3w_o t) + \frac{q}{4q_m} V_{im} \cos(3w_i t) \quad (3)$$



Şekil.2. Anahtarlama sürelerinin genel düzeni

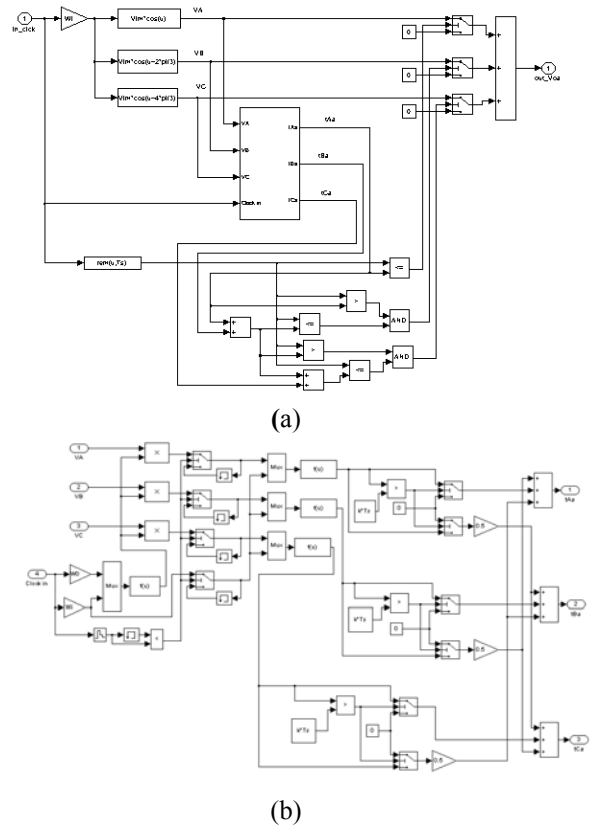


Şekil.3. Zamana göre anahtarlama sürelerinin değişimi (t_{Aa} , t_{Ba} , t_{Ca}) ($f_i = 50\text{Hz}$, $f_0 = 100\text{Hz}$, $f_s = 5\text{KHz}$, $q = 0.886$, $q_m = 0.866$)

Denklem (2) ve (3) matris çeviricinin anahtarlarının görev periyodu hesabında kullanılır. Algoritma sadece üç faz ani giriş gerilimlerinin ölçümüne gerek duyar ve daha sonra bu gerilimler kullanılarak giriş vektör pozisyonu da hesaplanabilir.

3. SİSTEM MODELİ

Matris çeviricinin modellemesinde Matlab Simulink Paket programı kullanılmıştır. Şekil 4. de modife edilmiş Venturini algoritmasını kullanan matris çeviricinin bir çıkış fazına ilişkin simulink modeli verilmiştir ($0 \leq q \leq 0.866$).



Şekil 4. Maksimum gerilim oranı $q = 0.886$ olan üç fazlı matris çeviricinin bir fazının a) Simulink modeli b) Anahtarların iletimde kalma sürelerini (t_{Aa} , t_{Ba} , t_{Ca}) hesaplayan blok diyagramı

Şekil 4.a'da bir çıkış fazı için gösterilen model üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda kaynak gerilimlerinin bulunduğu bloklar, ikinci kısımda anahtarların senkronize bir şekilde çalışmasını ve çıkış geriliminin kontrolünü sağlayan kontrol blokları, üçüncü kısımda ise çıkışı oluşturan anahtar blokları bulunmaktadır. Modelin tasarımında öncelikle her fazın anahtarlama periyodu içerisinde devrede kalma süreleri (t_{Aa} , t_{Ba} , t_{Ca}) hesaplanır. Bu süreler kadar 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.

Kullanılan modife edilmiş Venturini algoritmasının denklemleri (2) ve (3) eşitliklerinde verilmiştir. Bu denklemlerle Şekil 4.b’de görüldüğü gibi üç faz çıkışlı matris çeviricinin 9 anahtarının iletimde kalma süreleri hesaplanabilir. Şekil.3’de görüldüğü gibi anahtarların iletimde kalma süreleri, anahtarlama frekansına da bağlı olarak değişmekte olup, anahtarlama frekansı yükseldikçe çok küçük süreli darbeler oluşabilmektedir. Bu durum, ideal anahtarların kullanıldığı benzetim sürecinde problem oluşturmaz. Ancak pratik gerçekleştirme durumunda darbe süresinin yariletken anahtarın açma kapama ve ölü zaman toplam süresinden küçük olması durumunda anahtarlar tamamen iletime girememekte dolayısıyla anahtarlama kayıpları artabilmektedir. Ayrıca anahtarlama frekansına bağlı olarak bir periyottaki darbe sayısı ve dolayısıyla anahtarlama kayıpları da artmaktadır. Anahtarlama kayıplarını azaltmak için, belirlenmiş kısa süreli darbelerin düşürülmesi durumunda çıkış gerilimindeki değişimi incelemek için öngörülen blok Şekil 4.b’deki modelde görülmektedir.

$$T_{pd} = k.T_s \quad (4)$$

Bu modelde denklem 4’deki T_{pd} süresinden daha küçük darbelerin düşürülmesi sağlanır ve düşürülen darbe süresi aynı blok yardımıyla % 50 oranında diğer iki fazın anahtarlama süresine eklenerek çok kısada olsa (T_{pd}) üç fazın anahtarlarının ikisinin iletimde olması önlenmiş olur.

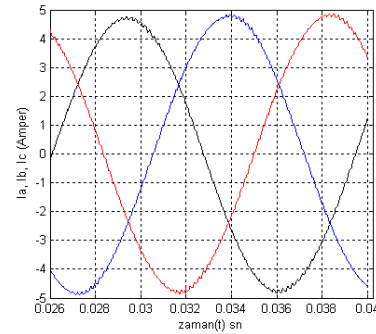
4. BENZETİM SONUÇLARI

Şekil 4’deki blok diyagramlarına göre çalışan üç faz giriş-üç faz çıkışlı, ideal anahtarlardan oluşmuş matris çevirici üç fazlı bir RL (18ohm, 0.07H) yükünü beslemektedir. Matris çevirici 220V 50Hz’lik üç fazlı gerilimler ile beslenmiş ve farklı anahtarlama ve çıkış frekansları için elde edilen benzetim sonuçları Şekiller 5-8’de sunulmuştur. Benzetimde en kötü şartlarda inceleme yapmak için $q = 0.866$ değeri kullanılmıştır.

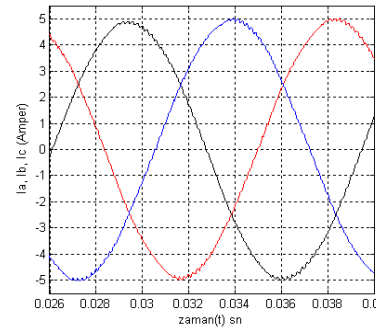
Şekil 5. de 5khz anahtarlama frekansı ve 75 Hz’lik çıkış frekansı için k darbe düşürme katsayısı 0 ve 0.1 için üç fazlı çıkış akımları verilmektedir.

Şekil 6,7 ve 8 de ise $q = 0.866$ için sırasıyla 2khz anahtarlama frekansı ve 25 Hz’lik çıkış frekansı için, 5 khz anahtarlama frekansı ve 75 Hz’lik çıkış frekansı, 10 khz anahtarlama frekansı ve 100Hz çıkış frekansı için $k=0$, $k=0.03$ ve $k=0.1$ değerlerine göre elde edilen gerilim dalga şekilleri ve harmonik spektrumları verilmektedir.

Bu şekiller incelendiğinde 0.1Ts’lik darbe düşmelerine karşılık çıkış geriliminin dalga şeklinde ve frekans spektrumunda önemli bir değişiklik olmamaktadır. Tablo1’ de ise değişik k değerleri için elde edilen çıkış gerilimlerinin harmonik bileşenlerinin tepe değerleri verilmiştir. Tablonun incelenmesinden de orijinal ve diğer dalga şekilleri için temel bileşenlerin birbirine yakın olduğu anlaşılmaktadır.



(a)

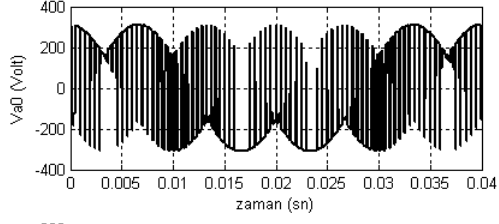


(b)

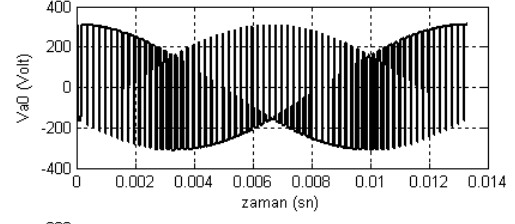
Şekil 5. RL yüklü 3x3 fazlı matris çeviricinin çıkış üç faz akımı ($f_s = 5\text{khz}$, $f_o = 75\text{Hz}$) a) $k=0$ b) $k=0.1$

Tablo 1. k değerleri için elde edilen çıkış gerilimlerin harmonik bileşenlerinin tepe değerleri

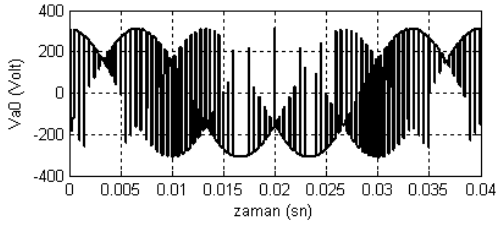
Harmonik Derecesi	k=0			k=0,03			k=0,1		
	$f_s=2\text{KHz}$ $f_o=25\text{Hz}$	$f_s=5\text{KHz}$ $f_o=75\text{Hz}$	$f_s=10\text{KHz}$ 100Hz	$f_s=2\text{KHz}$ $f_o=25\text{Hz}$	$f_s=5\text{KHz}$ $f_o=75\text{Hz}$	$f_s=10\text{KHz}$ 100Hz	$f_s=2\text{KHz}$ $f_o=25\text{Hz}$	$f_s=5\text{KHz}$ $f_o=75\text{Hz}$	$f_s=10\text{KHz}$ 100Hz
1	264,46	266,26	273,30	268,02	268,78	276,47	273,69	273,76	281,35
2	6,14	70,87	57,63	6,39	70,44	58,04	6,72	72,37	58,47
3	54,13	56,74	57,92	53,40	56,43	57,65	62,55	64,37	65,15
4	7,52	12,01	16,00	7,89	12,45	15,95	7,94	13,28	16,08
5	7,67	7,67	10,00	7,61	8,24	10,01	5,42	6,58	9,15



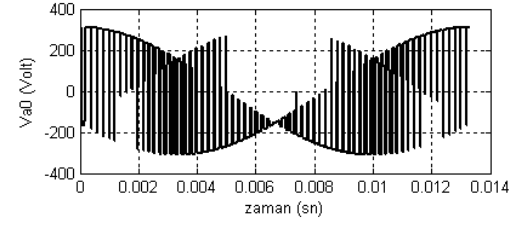
(a)



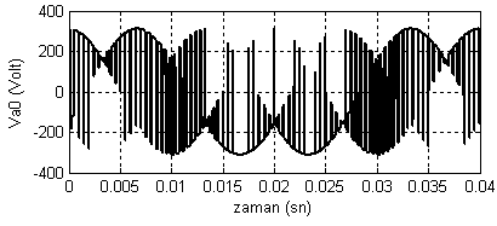
(a)



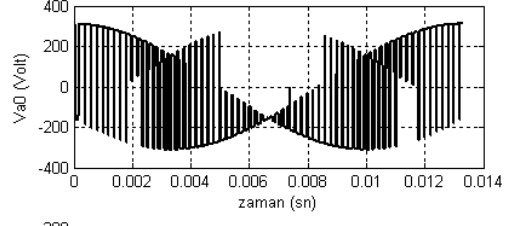
(b)



(b)



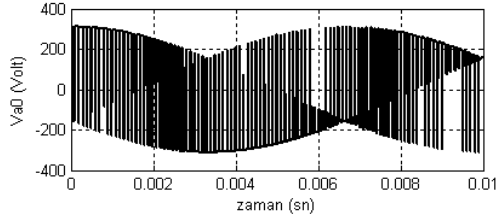
(c)



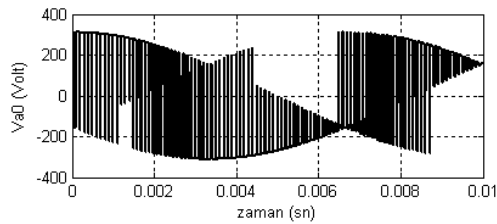
(c)

Şekil 6. RL yüklü 3x3 fazlı matris çeviricinin çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=2\text{kHz}$, $f_0=25\text{Hz}$) a) $k=0$ b) $k=0.03$ c) $k=0.1$

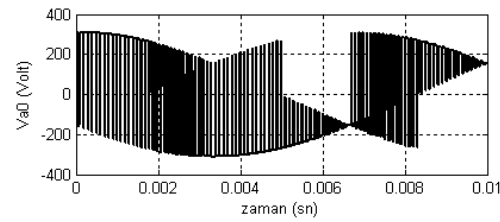
Şekil 7. RL yüklü 3x3 fazlı matris çeviricinin çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=5\text{kHz}$, $f_0=75\text{Hz}$) a) $k=0$ b) $k=0.03$ c) $k=0.1$



(a)



(b)



(c)

Şekil 8. RL yüklü 3x3 fazlı matris çeviricinin çıkış faz gerilimi ve harmonik spektrumu ($f_s=10\text{kHz}$, $f_0=100\text{Hz}$) a) $k=0$ b) $k=0.03$ c) $k=0.1$

5. SONUÇLAR

Matris çeviricilerde kullanılan yarı iletken anahtarların yüksek frekanslarda anahtarlanması esnasında, ölü zaman, açma kapama gecikmesi v.b sebeplerden dolayı darbe süresi yukarıda belirlenen toplam sürelerden daha küçük darbeler için anahtarlama kayıpları artmaktadır. Ayrıca anahtarlama kayıpları, çevirici çıkış gerilimi periyodundaki darbe sayısı ile de doğru orantılı olarak artmaktadır. Anahtarlama kayıplarını azaltmak için bir strateji, kullanılan modülasyon algoritmasıyla elde edilen darbe dizisinde, belirlenmiş sürelerden daha kısa süreli darbelerin düşürülmesi olabilir. Bu süre her zaman anahtarlar için gerekli olan minimum darbe sürelerinden daha büyüktür. Bu durumda hem anahtarlar için gerekli olan darbe düşmeleri sağlanabilmekte hem de darbe sayısı azaldığından anahtarlama kayıpları azalmaktadır.

Ancak anahtarlar için gerekli olan süreden daha büyük darbelerin düşürülmesi sonucunda çıkış gerilim dalga şeklinde bozulma olmamalıdır. Yukarıda önerilen yöntem bu durumu incelemiş ve 0.1Ts'den daha küçük darbelerin düşürülmesi ve bu sürenin diğer iki uzun darbeye eklenmesiyle elde edilen anahtarlama stratejisinde çıkış büyüklüklerinde önemli bir değişme olmadığı tespit edilmiştir.

Bu durumda küçük darbelerin elimine edilmesiyle, anahtarlama frekansının daha da artırılabilceği söylenebilir. Pratiğe uygulanabilirliği kolay olan bu yöntem ile gerçekleştirilecek matris çeviricilerde anahtarlama kayıplarının azaltılması dolayısıyla verimin artırılması mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Venturini M., 1980, "A new sine wave in sine wave out, conversion technique which eliminates reactive elements," in Proc. POWERCON 7,
- [2] 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
- [3] Erdem E., Tatar Y., "Simulation and Implementation of Matrix Converter Using Venturini Modulation Algorithm", International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics (ACEMP), 214-219, İstanbul, Mayıs,2004.
- [4] Sunter S., 1995, "A vector controlled matrix converter induction motor drive", PhD Thesis, University of Nottingham, U.K