

Tek Fazlı Matris Dönüştürücünün Frekans Değiştirici Olarak Çalışması

Neslihan PİRİNÇÇİ^{1*}, Ahmet ORHAN²

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ n.pirincci@firat.edu.tr, ² aorhan@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 14/10/2019;

Kabul/Accepted: 10/05/2020)

Öz: Bu çalışmada, Tek Fazlı Matris Dönüştürücünün (TFMD) frekans değiştirici olarak çalışması incelenmiştir. TFMD'nin devre topolojisi ve çalışması ele alınmış ve frekans değiştirici olarak çalışması için güvenli komutasyon anahtarlama stratejisi verilmiştir. Bu çalışmanın modellenmesi ve simülasyonu MATLAB/Simulink de yapılarak belirtilen çıkış frekansı değerleri için çıkış gerilimi dalga şekilleri elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Tek Fazlı Matris Dönüştürücü, Güvenli Komutasyon, Frekans Değiştirici.

Single Phase Matrix Converter Operating as Frequency Changer

Abstract: This paper deals with Single Phase Matrix Converter (SPMC) operating as frequency changer. Circuit topology and operation of the SPMC are explained and safe commutation switching strategy is given for the SPMC operating as frequency changer. Modeling and simulation of this study is performed in MATLAB / Simulink and the output voltage waveforms are obtained for different specified output frequency values.

Key words: Single Phase Matrix Converter, Safe Commutation, Frequency Changer.

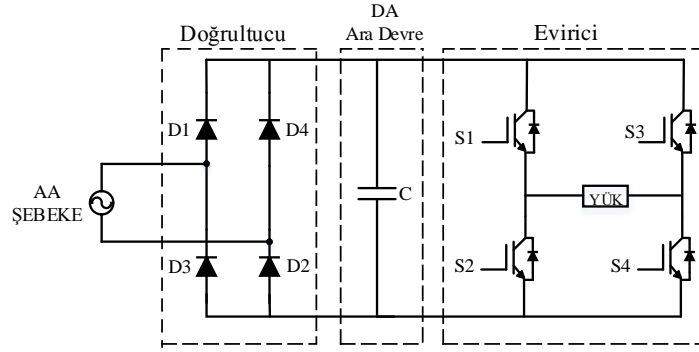
1. Giriş

Günümüzde iklim değişikliğinin en önemli nedenlerinden olan, sera etkisi yapan gazların azaltılması uluslararası toplumun ortak paydalarından biri haline gelmiştir. Çevre ve ekosistem üzerindeki bu zararlı emisyonları azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak için fosil yakıt kullanan sistemler yerine, elektrik kullanan sistemlerin yaygınlaştırılması üzerine çalışılmaktadır. Bu amaçla elektrikli araçlar konusunda yapılan çalışmalarda bir yoğunlaşma görülmektedir. Son yıllarda sürekli mıknatıs pazarının Çin'in monopolüne geçmesi ve bu mıknatıslar elde edilirken kullanılan radyoaktif madde ve toksik asitlerin insan sağlığında oluşturduğu olumsuzluklar Dünya Sağlık Örgütü'nün, sürekli mıknatıslı motorların üretimine müdahil olma sonucunu ortaya çıkarmış ve kısıtlar gelmeye başlamıştır. Bu nedenlerle literatürde, sürekli mıknatıslı motorların yerini alabilecek alternatif motor ve sürücü düzenekleri araştırılmaya başlanmıştır. Alan sargılı senkron motorların kullanımının önündeki en önemli engellerden biri olan fırça bilezik sisteminin yerini alabilecek sistemler konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Bu bağlamda fırçasız sistemler için dönen trafo lu fırçasız uyartım sistemleri ve bu trafoyu besleyen kaynak olarak da TFMD'ler incelenmeye başlanmıştır [1].

Yarı iletken teknolojisindeki hızlı gelişmeye paralel olarak transformatörler üzerine de pek çok çalışma yapılmaktadır. Literatürde TFMD'leri kullanan elektronik güç transformatörleri (PET, Power Electronic Transformer) ve indüksiyon ısıtma (IH, Induction Heating) konusu üzerinde çalışmaların yoğunlaştığı da görülmektedir [2,3].

Sabit gerilim ve frekanslı bir Alternatif Akım (AA) kaynaktan, değişken genlik ve frekanslı bir gerilim elde etmek için çeşitli güç elektroniği devre topolojileri kullanılmaktadır. Bu devre topolojilerine genel bir isim olarak AA-AA dönüştürücüler denilir [4,5]. Şekil 1'de gösterildiği gibi Doğru Akım (DA) ara devreli dönüştürücüler, AA kaynak geriliminin doğrultulduğu doğrultucu devre ve doğrultulan bu gerilimden, değişken gerilim ve frekansın elde edildiği evirici devresinden meydana gelirler [6]. Matris dönüştürücü bir tür zorlamalı komutasyonlu frekans dönüştürücüdür [7,8].

* Sorumlu yazar: n.pirincci@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-1071-8046, ² 0000-0003-1994-4661



Şekil 1. Tek fazlı DA ara devreli dönüştürücü

Matris dönüştürücülerde AA-AA enerji dönüşümü herhangi bir ara devre kullanılmadan tek bir adımda gerçekleşirken, DA ara devreli dönüştürücülerde bu dönüşüm AA-DA-AA şeklindedir. Bunun anlamı, DA ara devreli dönüştürücülerde giriş gücü iki kez dönüştürülerek çıkış gücü elde edilir. Bu durumda da DA ara devreli dönüştürücüdeki kayıp, matris dönüştürücülere göre daha fazla olur. Matris dönüştürücüler DA ara devreli dönüştürücülere göre hacim avantajına da sahiptirler. Matris dönüştürücülerin ara enerji depolama elemanına ihtiyaç duymadan tek bir adımda AA-AA enerji dönüşümünü gerçekleştirmeleri matris dönüştürücülerini DA ara devreli dönüştürücülere üstün kılan en önemli özelliklerden biridir. Çünkü DA ara devreli dönüştürücülerde bulunan kondansatör ve indüktans elemanı dönüştürücünün yaklaşık 1/3 hacmini kapladığından, matris dönüştürücünün boyutu DA ara devreli dönüştürücülere göre oldukça küçüktür. Ayrıca kondansatörler; büyük, pahalı ve çalışma ömürlerinin sınırlı olması bakımından sistem açısından çok kritik elemanlardır. DA ara devreli dönüştürücülerde güç transferinin iki yönlü olması için girişte kullanılan doğrultucu devresinin kontrollü olması gerekir. Fakat matris dönüştürücüde kullanılan anahtarlar çift yönlü güç akışına izin verdiği için generatör çalışmada enerji kaynağa geri aktarılabilir. Matris dönüştürücüler dört bölge çalışmaya müsaittirler. Matris dönüştürücüler girişte yükten bağımsız olarak kontrol edilebilir güç faktörü sağlarlar ve birim güç faktöründe çalışabilirler. Geleneksel bir evirici AA giriş tarafında akım harmoniklerine sahiptir. Fakat matris dönüştürücü çift yönlü güç akışı ile birlikte birim güç faktörlü bir sinüzoidal giriş akımına sahiptir. Modülasyon tekniğine bağlı olarak giriş ve çıkış akım dalga şekilleri sinüzoidaldir. Harmonikler sadece anahtarlama frekansı civarındadır ve giriş filtre gereksinimleri minimumdur [4, 8-12].

Matris dönüştürücü topolojisi ilk olarak 1976'da Gyugyi ve Pelly tarafından önerilmiştir [13]. Bu çalışmayı Venturini ve Alessina tarafından yapılan çalışmalar takip etmiştir. Bu çalışmalar üç fazlı matris dönüştürücü üzerine yoğunlaşmıştır [7,8].

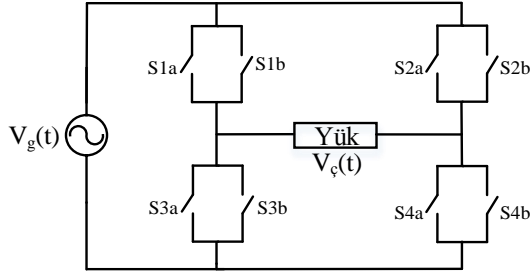
Tek fazlı dönüştürücü üzerine yapılan çalışmalar ise; ilk önce tek fazlı AA-AA dönüştürücü olarak A.Khoei ve S.Yuvarajan tarafından yapılmıştır [14,15]. İlk kez tek fazlı matris dönüştürücü topolojisi 1997'de A. Zuckerberger, tarafından yapılan 'Single-phase matrix converter' isimli çalışmayla ortaya çıkmıştır [16]. Bu çalışmayı 2001'de S.H. Hosseini [17] ve 2002'de S.Firdaus'un [18] yaptığı çalışmalar takip etmiştir. Sonraki dönemlerde yapılan çalışmalar TFMD'nin kullanımını kısıtlayan en büyük zorluklardan olan güvenli komutasyon anahtarlama örüntüsünü başarmak üzerinedir. Z.Idris [19,20]'de H.M.Hanafi [21] ve M.K. Hamzah [22] TFMD'de ki güvenli komutasyon anahtarlama stratejisi üzerine çalışmışlardır.

Bu çalışmada; TFMD'nin devre topoloji verilerek AA-AA frekans değiştirici olarak çalışma durumu için güvenli komutasyon anahtarlama stratejisi incelenmiştir.

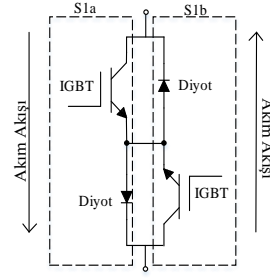
2. Tek Fazlı Matris Dönüştürücü

Matris dönüştürücü, giriş ve çıkış hatları arasında bağlanmış matris şeklinde düzenlenmiş çift yönlü anahtarlardan oluşmuştur. Bu anahtarlar ile giriş gerilimi farklı modülasyon algoritmaları ile anahtarlanarak çıkışta istenilen genlik ve frekans değerine sahip bir gerilim elde edilir [4].

TFMD'nin devre konfigürasyonu Şekil 2'de verilmiştir. Bu devrede dört tane çift yönlü anahtar kullanılır. Şekil 3'de ortak emiterli çift yönlü anahtarın gösterimi verilmiştir. Bu anahtarlar her iki yönde akımı ileten ve ters gerilimleri bloke etme özelliğine sahip olan anahtarlardır. Tek fazlı matris dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimi sırasıyla 1 ve 2 numaralı denklemlerle verilmiştir. Pasif R-L yük altında çıkış gerilimi ve çıkış akımı arasındaki ilişki ise Denklem 3'de verilmiştir [16].



Şekil 2. TFMD'nin devre konfigürasyonu



Şekil 3. Ortak emiterli çift yönlü anahtar yapısı

$$v_g(t) = \sqrt{2}V_g \sin \omega_g t \quad (1)$$

$$v_\zeta(t) = \sqrt{2}V_\zeta \sin \omega_\zeta t \quad (2)$$

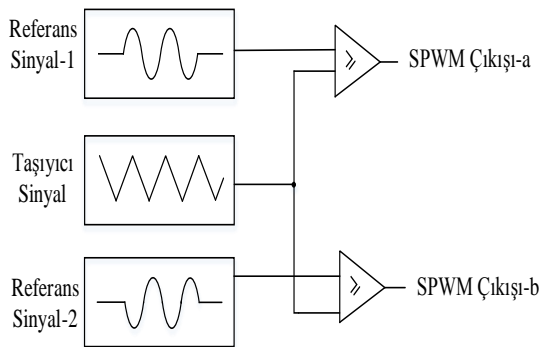
$$v_\zeta(t) = R i_\zeta(t) + L \frac{di_\zeta(t)}{dt} \quad (3)$$

Denklemlerdeki g indisi girişi, ζ indisi ise çıkışı ifade etmektedir

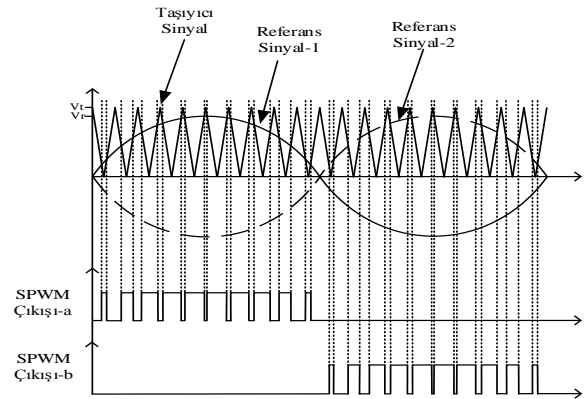
2.1 Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu

Bu çalışmada anahtarlara uygulanan sürme işaretlerini elde etmek için sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM, Sinüsoidal Pulse Width Modulation) tekniği kullanılmıştır. SPWM yüksek frekanslı üçgen taşıyıcı dalga ile düşük frekansta sinüzoidal referans dalganın karşılaştırılması esasına dayanır. Bu iki dalganın kesişim noktaları anahtarlama anlarını belirler. Her yarım periyottaki darbe sayısı taşıyıcı dalganın frekansına bağlıdır. Sistemin anahtarlama frekansı taşıyıcı dalganın frekansındır. Burada, V_r referans sinyalin genliği ve V_t de taşıyıcı sinyalin genliğidir. Referans sinyalin genliğinin, taşıyıcı sinyalin genliğine oranı modülasyon indeksini (M_i) verir [10,19]. Modülasyon indeksi Denklem 4'de verilmiştir Şekil 4'de SPWM'in nasıl elde edildiği; Şekil 5'de ise anahtarlama anlarının nasıl belirlendiğini gösteren ve aynı zamanda modelde kullanılacak olan SPWM-a ve SPWM-b çıkış dalga şekilleri verilmiştir.

$$M_i = \frac{V_r}{V_t} \quad (4)$$



Şekil 4. SPWM'in elde edilmesini gösteren bağlantı şeması



Şekil 5. SPWM'in oluşumu

2.2 Komutasyon Problemi ve Anahtarlama Stratejisi

Teorik olarak tek fazlı bir matris dönüştürücüde, anahtarların anahtarlama sırası ani ve eş zamanlı olmalıdır. Fakat pratikte IGBT'nin kesim karakteristiğinden dolayı bunu gerçekleştirmek mümkün değildir. Çünkü kollektör akımının son bulması (tailing off), bir sonraki anahtarın ilettime geçmesiyle tamamlanmamış olacağından bir kısa

devre oluşacaktır. Bu problem indüktif bir yük kullanıldığı zaman oluşur ve iki önemli olayla sonuçlanır. Bu olayların birincisi, akım piklerinin neden olduğu kısa devre yolu ve ikincisi de akımın yön değiştirmesinin sonucu olarak indüktansta indüklenen gerilim pikleridir. Bu iki durumda da anahtarlar çok fazla tahrip edici etkilere maruz kalacaktır. Bu sebeplerden dolayı sistematik bir anahtarlama stratejisine ihtiyaç duyulur. Bu strateji, iletim sırası gelen anahtar iletime geçirilmeden önce, kesime gidecek anahtarın kesim süresi için yeterli ölü zamanın 'td' sağlanmasıdır [19,23].

Bu konu üzerine; tek fazlı bir matris dönüştürücünün 50 Hz'lik bir giriş frekansı için, 12.5 Hz, 25 Hz, 50 Hz, 100 Hz ve 150 Hz'lik çıkış frekans durumları incelenmiştir [18-22].

3. Tek Fazlı Matris Dönüştürücünün Güvenli Komutasyon Anahtarlama Stratejisi

Tek Fazlı matris dönüştürücüde, çıkış frekansı anahtarlama örüntüsü ile belirlenir. Anahtarlama örüntüsü değiştirilerek istenilen çıkış frekansları elde edilebilir.

Bu çalışmada giriş frekansının katları ve askatlarında çıkış frekansı elde edilmiştir. 50 Hz'lik bir giriş frekansı için 12.5 Hz, 25 Hz, 50 Hz, 100 Hz ve 150 Hz çıkış frekanslarını elde etmek için kullanılan anahtarlama stratejisi verilmiştir. Tek fazlı matris dönüştürücünün anahtarlama stratejisi için kullanılacak devre konfigürasyonu Şekil 2'deki gibidir. Dört tane çift yönlü anahtar kullanılmıştır. Bu anahtarlar Şekil 3'de gösterildiği gibi ortak emiterli olacak şekilde bağlanmıştır. S1 ve S2 anahtarı komutasyon, S3 ve S4 anahtarı ise PWM anahtarıdır. Anahtarlar Sij olarak isimlendirilmiştir. 'i' indisi anahtar numarasını (i=1,2,3,4) ve 'j' indisi ise SPWM-a veya SPWM-b çıkış sinyallerini gösterir. Bunun manası, eğer PWM anahtarlarından j=a olan bir anahtarın o anda iletimde olması gerekiyorsa SPWM-a çıkışındaki sürme işareti, eğer j=b indisi olan bir anahtar iletime geçecekse SPWM-b çıkışındaki sürme işareti kullanılmalıdır.

İstenilen çıkış frekansını elde etmek için oluşturulacak anahtarlama stratejisi temelde dört durum üzerine dayandırılır. Bu stratejide, herhangi bir 't' anı için sadece iki anahtar iletimdedir [18,19].

Güvenli Komutasyon için durumlar şunlardır:

Durum-1: Şekil 6(a)'da gösterildiği gibi akım akışını sürdüren anahtarlar S1a ve S4a anahtarlarıdır. S2b anahtarı ise komutasyon amacıyla kullanılan anahtardır. S4a anahtarının kesimde olduğu durumlarda akım akışı S1a ve S2b üzerinden devam eder. Bu durum Şekil 6(b)'de gösterilmiştir. Bu durumda giriş gerilimi ve çıkış gerilimi pozitifdir.

Durum-2: Şekil 7(a)'da gösterildiği gibi akım akışını sürdüren anahtarlar S1b ve S4b anahtarlarıdır. S2a anahtarı ise komutasyon amacıyla kullanılan anahtardır. S4b anahtarının kesimde olduğu durumlarda akım akışı S1b ve S2a üzerinden devam eder. Bu durum Şekil 7(b)'de gösterilmiştir. Bu durumda giriş gerilimi ve çıkış gerilimi negatiftir.

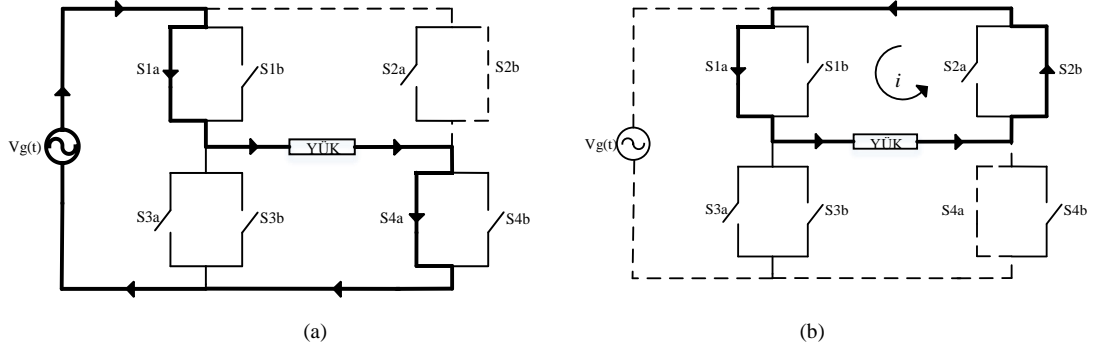
Durum-3: Şekil 8(a)'da gösterildiği gibi akım akışını sürdüren anahtarlar S3a ve S2a anahtarlarıdır. S1b anahtarı ise komutasyon amacıyla kullanılan anahtardır. S3a anahtarının kesimde olduğu durumlarda akım akışı S1b ve S2a üzerinden devam eder. Bu durum Şekil 8(b)'de gösterilmiştir. Bu durumda giriş gerilimi pozitif ve çıkış gerilimi negatiftir.

Durum-4: Şekil 9(a)'da gösterildiği gibi akım akışını sürdüren anahtarlar S3b ve S2b anahtarlarıdır. S1a anahtarı ise komutasyon amacıyla kullanılan anahtardır. S3b anahtarının kesimde olduğu durumlarda akım akışı S1a ve S2b üzerinden devam eder. Bu durum Şekil 9(b)'de gösterilmiştir. Bu durumda giriş gerilimi negatif ve çıkış gerilimi pozitifdir [20, 22].

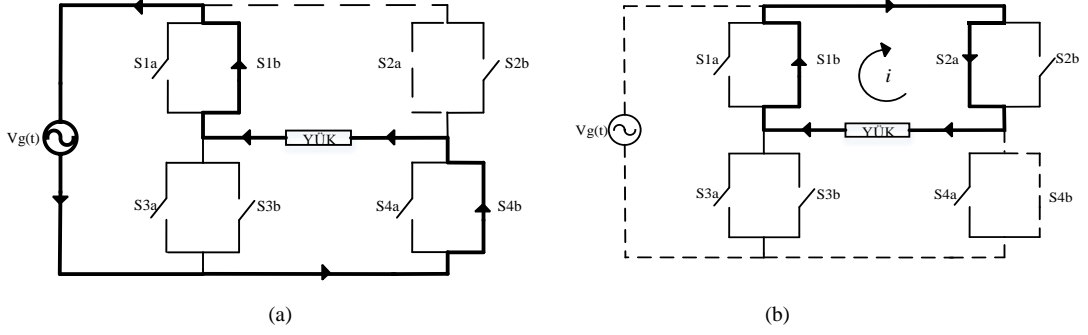
Tablo 1'de ise güvenli komutasyon için durumlar ve iletimde olan anahtarların gösterimi verilmiştir.

Tablo 1. Güvenli komutasyon anahtarlama stratejisi için durumlar ve iletimde olan anahtarların gösterimi

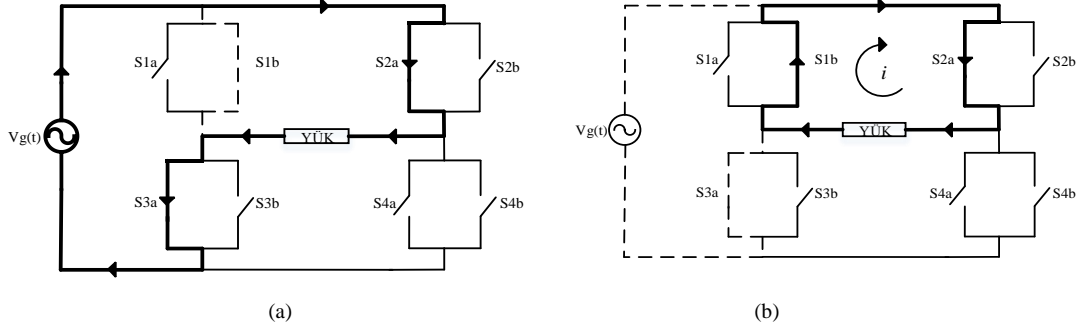
Giriş Gerilimi	Çıkış Gerilimi	Durumlar	PWM Anahtarı	Komutasyon Anahtarları
+	+	1	S4a	S1a-S2b
-	-	2	S4b	S1b-S2a
+	-	3	S3a	S1b-S2a
-	+	4	S3b	S1a-S2b



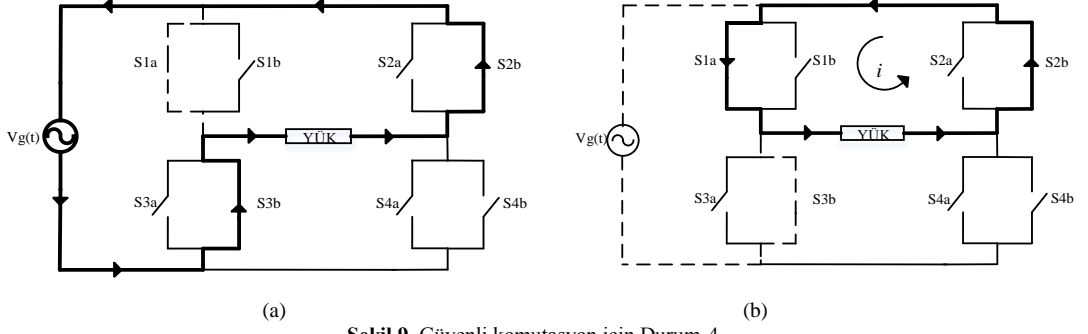
Şekil 6. Güvenli komutasyon için Durum-1



Şekil 7. Güvenli komutasyon için Durum-2

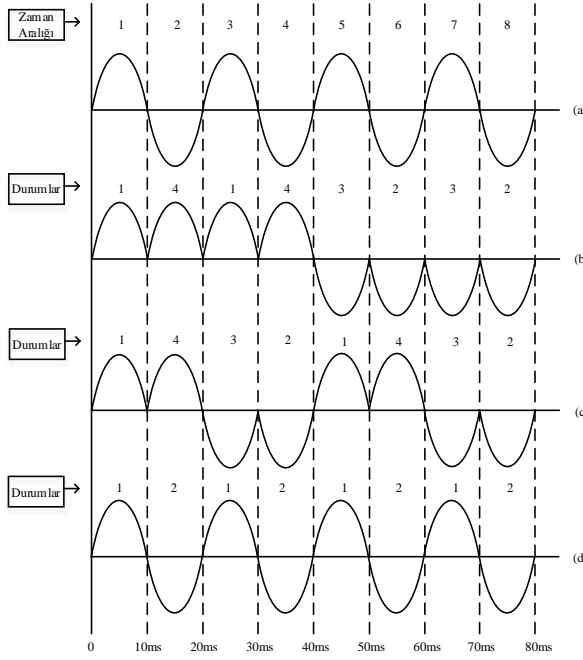


Şekil 8. Güvenli komutasyon için Durum-3

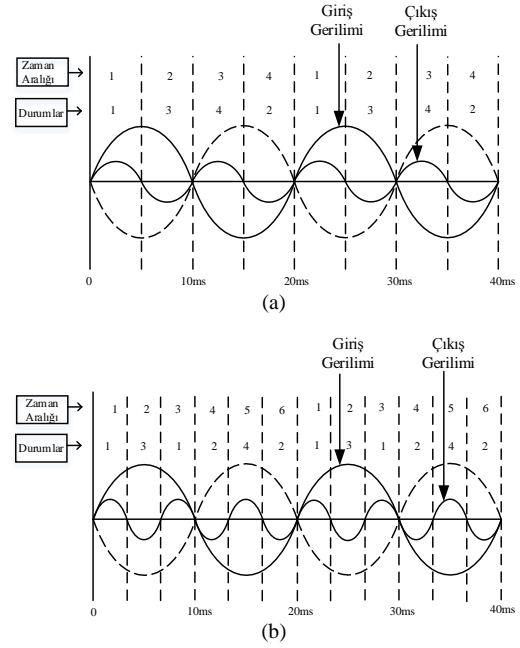


Şekil 9. Güvenli komutasyon için Durum-4

Bu çalışmadaki tek fazlı matris dönüştürücünün giriş geriliminin frekansı 50 Hz'dir. Çıkışta ise 12.5 Hz, 25 Hz, 50 Hz, 100 Hz ve 150 Hz frekanslarına sahip çıkış gerilimi elde edilmek istenmektedir. Şekil 10(a)'da giriş geriliminin, (b)'de ise 12.5 Hz, (c)'de 25 Hz ve (d)'de 50 Hz çıkış frekans değerine sahip çıkış gerilimi dalga şekilleri verilmiştir. Şekil 11(a) ve (b)'de 100 ve 150 Hz frekanslarına sahip çıkış geriliminin dalga şekilleri verilmiştir. Belirtilen çıkış frekansı değerine sahip gerilim dalga şekli elde etmek için hangi zaman aralığında hangi durumun gerçekleşmesi gerektiği şekiller üzerinde belirtilmiştir. Durumlar Tablo 1'de verilen anahtarlama stratejisine göre belirlenmiştir.



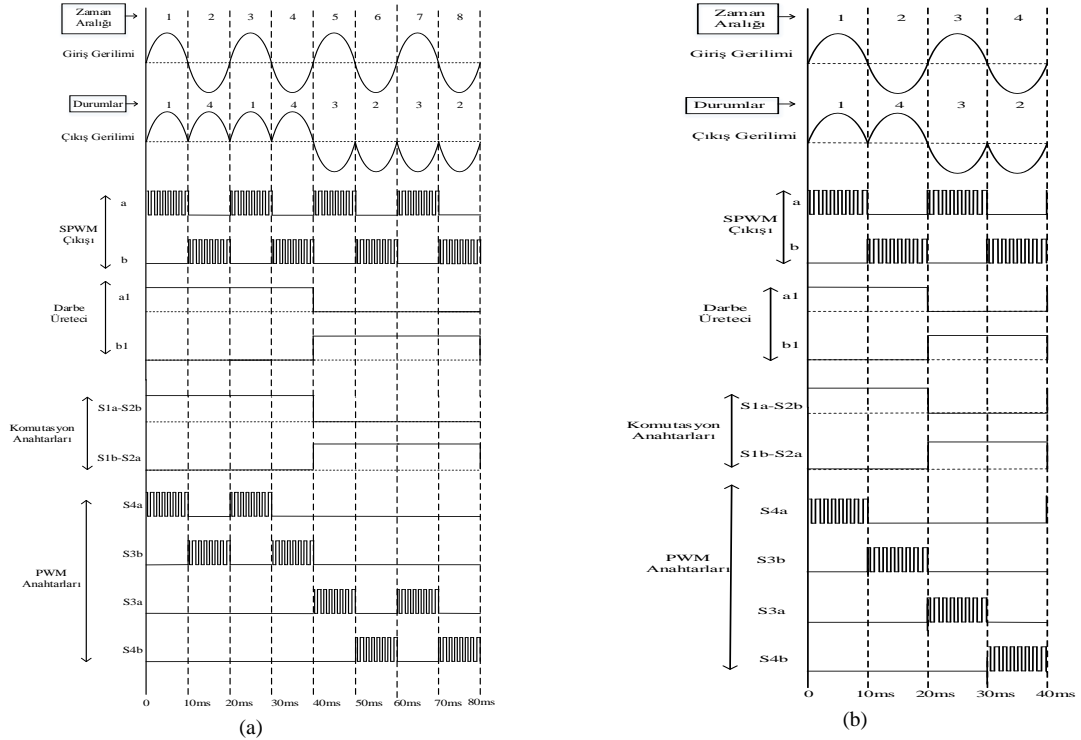
Şekil 10. a) 50 Hz frekansına sahip giriş gerilimi b) $f_c=12.5$ Hz c) $f_c=25$ Hz d) $f_c=50$ Hz için çıkış dalga şekilleri



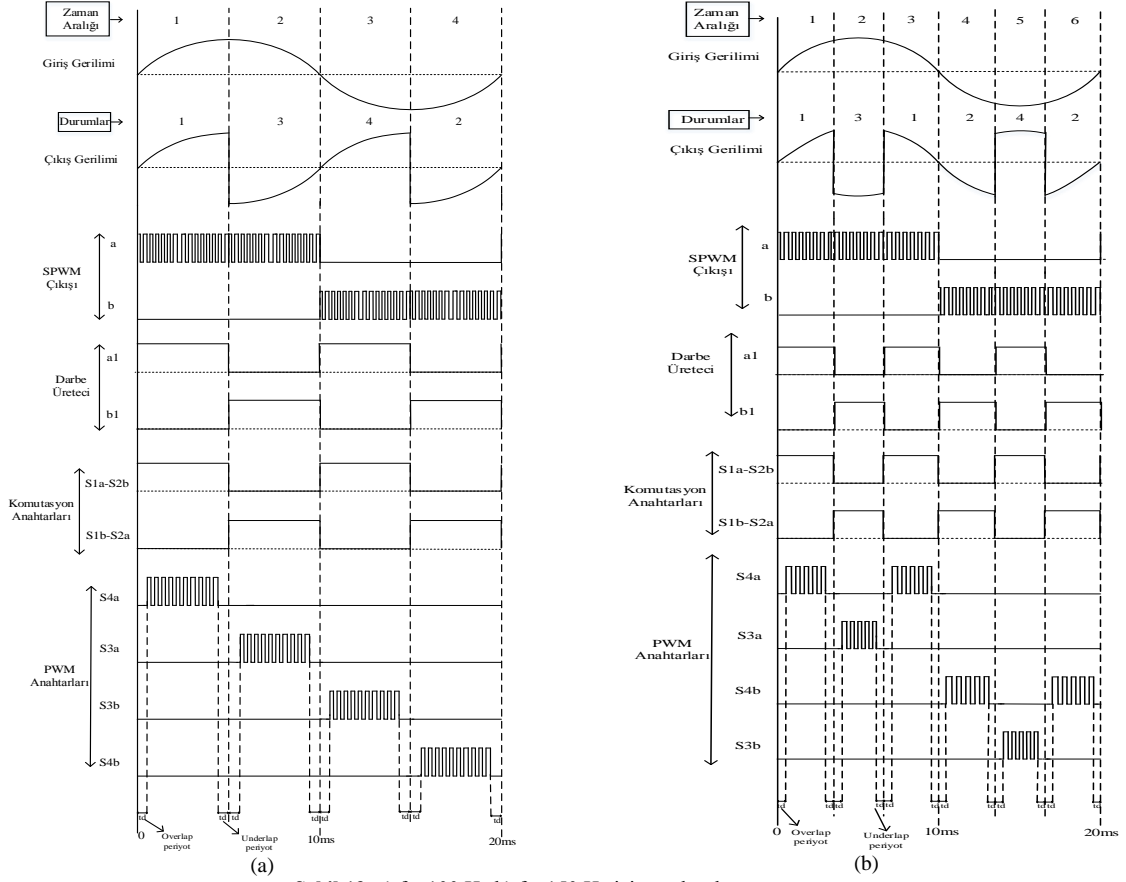
Şekil 11. a) $f_c=100$ Hz b) $f_c=150$ Hz için çıkış dalga şekilleri

Şekil 12(a)'da 12.5 Hz ve Şekil 12(b)'de 25 Hz frekansına sahip bir çıkış gerilimi elde etmek için anahtarlama örüntüsü verilmiştir. Şekil 12'de SPWM-a / b çıkış sinyali, darbe üretici çıkışları a1 ve b1 sinyalleri ile S1a-S1b, S2a-S2b, S3a-S3b ve S4a-S4b anahtarlarına uygulanması gereken sinyaller gösterilmiştir. Bu modelde darbe üreticinin frekansı sistemin çıkış frekansına eşittir. SPWM işaretinin frekansı ise tüm çıkış frekans değerleri için sabit 50 Hz'dir.

Çıkış frekansı 50 Hz üstü için olan anahtarlama stratejisi incelendiğinde görülmüştür ki; R-L yükü altında çıkıştan 100 Hz ve 150 Hz frekans değerleri elde edilmek istenirse çıkışta çok yüksek gerilim pikleri oluşur. Bu yüzden anahtarlama stratejisi üzerinde bir değişiklik yapılmıştır. Şekil 13 (a)'da çıkıştan 100 Hz ve Şekil 13 (b)'de ise 150 Hz frekans değeri elde etmek için anahtarlara uygulanması gereken sürme işaretleri ve giriş gerilimi ile çıkış gerilimi dalga şekilleri verilmiştir. PWM olarak kullanılan anahtarlara bir ölü zaman 'td' eklenerek çıkışta oluşan bu gerilim piklerinin önüne geçilmiş olur. Bu ölü zaman da overlap ve underlap periyodu olarak Şekil 13 üzerinde gösterilmiştir [19,22]. 'td' zamanı yapılan çalışmadaki anahtarlama frekansı, modülasyon indeksi ve yükün değerine bağlı olarak değişmektedir [24,25].



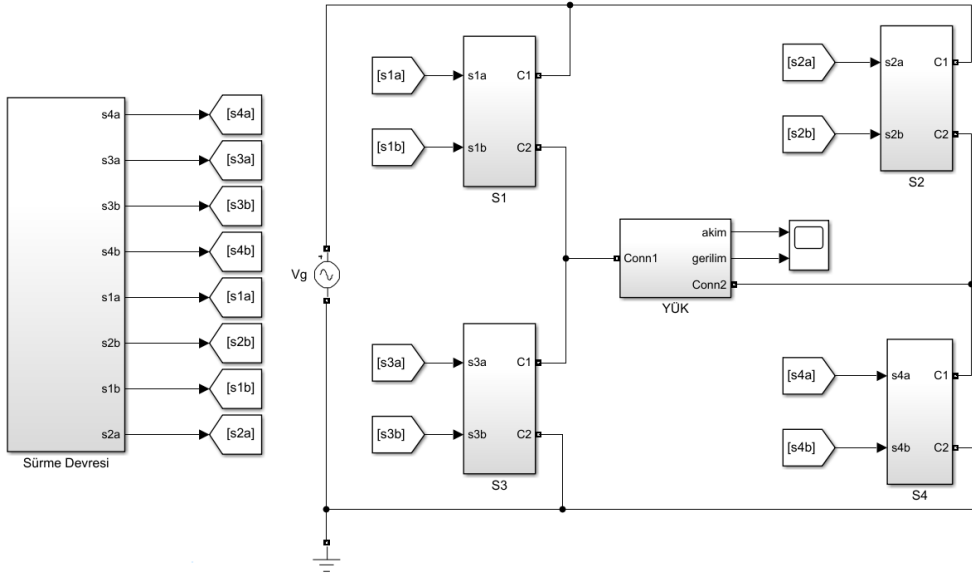
Şekil 12. a) $f_c=12.5$ Hz b) $f_c=25$ Hz için anahtarlama örüntüsü



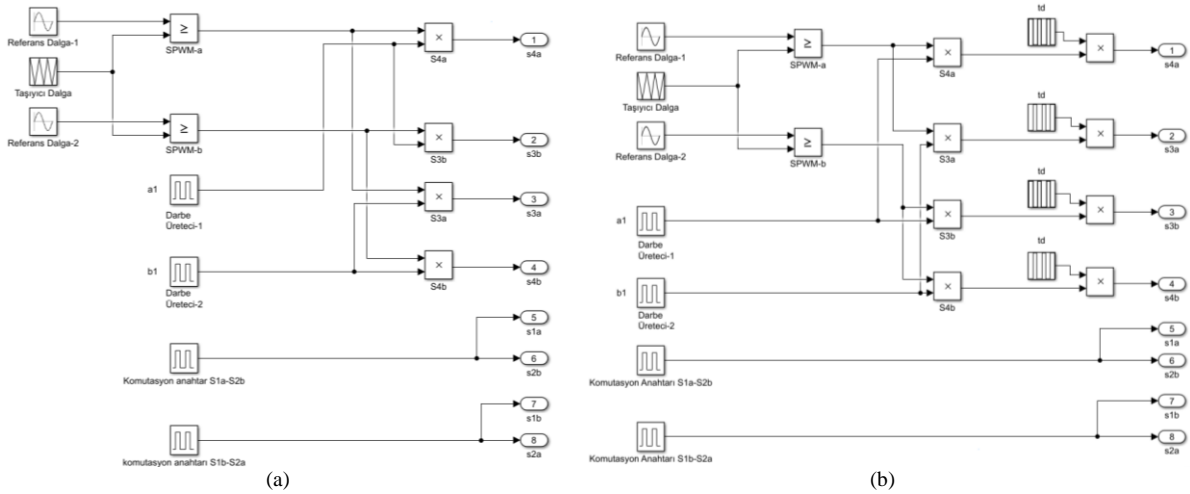
Şekil 13. a) $f_c=100$ Hz b) $f_c=150$ Hz için anahtarlama örüntüsü

4. Tek Fazlı Matris Dönüştürücünün Matlab/Simulink Modeli

Şekil 14’de tek fazlı matris dönüştürücünün Matlab / Simulink modeli verilmiştir. Şekil 15(a)’da tek fazlı matris dönüştürücünün 12.5 Hz, 25 Hz ve 50 Hz çıkış frekans değeri için sürme devresinin Matlab/Simulink modeli gösterilmiştir. Tek fazlı matris dönüştürücünün 50 Hz ve altı frekanslarda çalışma durumları için verilen Matlab/Simulink modelinin sadece sürme devresi kısmında değişiklik yapılarak 50 Hz üstü çalışma durumları elde edilmiştir. Bu değişiklik ise PWM anahtarlarına uygulanan ‘td’ overlap ve underlap periyotlarından kaynaklanır. Şekil 15 (b)’de 100 Hz ve 150 Hz çıkış gerilimi için anahtarlara uygulanan sürme işaretlerinin Matlab/Simulink modeli verilmiştir. Fakat bu iki frekans değeri içinde td’nin fonksiyonu farklıdır. Bu model kullanılarak çıkıştan 50 Hz frekansının üstünde çıkış gerilimi elde edilmek isteniyorsa her seferinde td fonksiyonu üzerinde çıkış frekans değerine göre değişiklik yapmak gerekmektedir. Yapılan bu modelde referans dalgaının frekansı 50 Hz olarak alınmıştır ve bu değer tüm çıkış frekanslarında sabittir. Çıkıştan istenilen frekans değeri, sürme devresindeki a1 ve b1 olarak isimlendirilen darbe üreticinin frekansı olarak girilecektir. Böylece aynı devre konfigürasyonu üzerinden sadece darbe üreticinin frekansı değiştirilerek istenilen çıkış frekansı elde edilebilir. Bu modelde giriş gerilimi 220V ve frekansı da 50 Hz’dir. Anahtarlama frekansı taşıyıcı sinyalin frekansdır ve bu değer simülasyonda 2 kHz olarak alınmıştır. R yükünün değeri 60 Ω ve L değeri 6 mH’ dir. M_i ise 0,75 alınmıştır [24].

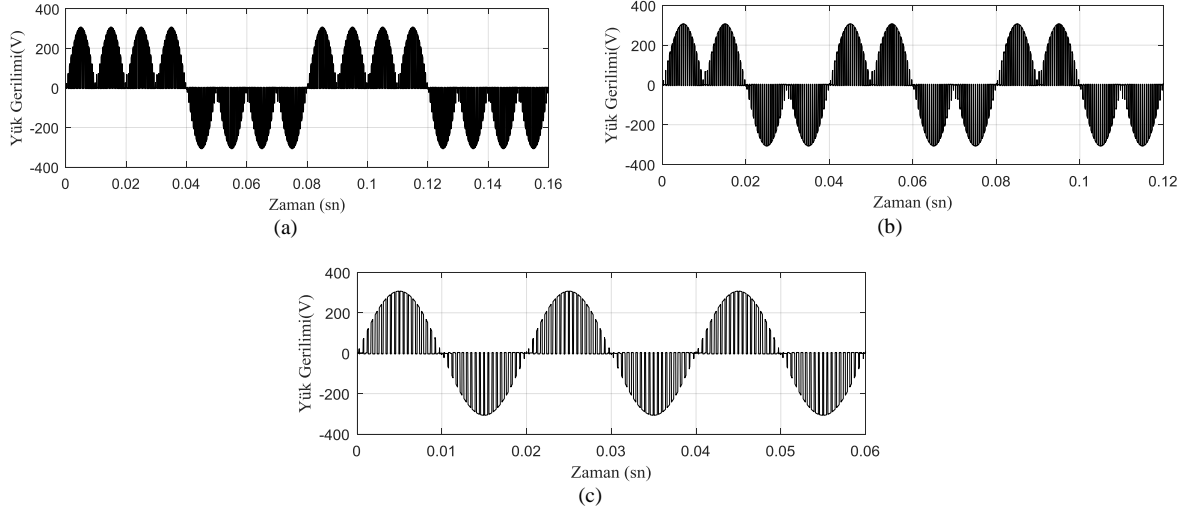


Şekil 14. TFMD'nin Matlab/Simulink Modeli

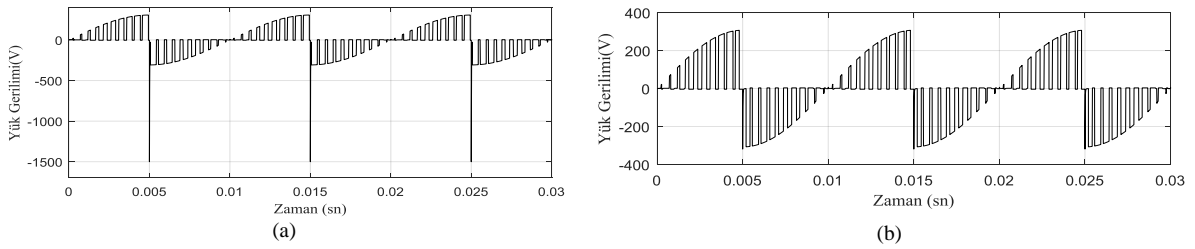


Şekil 15. (a) 12.5 Hz, 25 Hz, 50Hz (b)100 Hz ve 150 Hz çıkış gerilimi için anahtarlara uygulanan sürme işaretlerinin Matlab/Simulink modeli

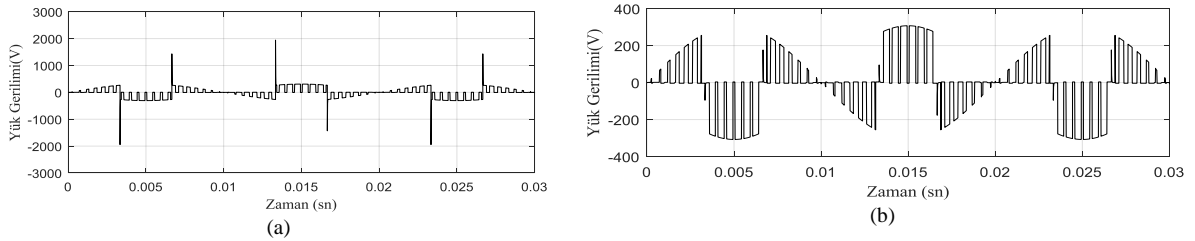
Şekil 16’da R-L yükü ile yüklenen tek fazlı matris dönüştürücünün (a)’da 12.5 Hz, (b)’de 25 Hz ve (c)’de 50 Hz frekans değerlerine sahip çıkış gerilimi dalga şekilleri verilmiştir. Şekil 17’de R-L yükü ile yüklenen tek fazlı matris dönüştürücünün 100 Hz, Şekil 18’de 150 Hz frekans değerlerine sahip çıkış gerilimi dalga şekli verilmiştir.



Şekil 16. R-L yükü ile yüklenen, TFMD’nin (a) $f_c=12.5$ Hz (b) $f_c=25$ Hz ve (c) $f_c=50$ Hz için yük gerilimi dalga şekilleri



Şekil 17. R-L yükü ile yüklenen, TFMD’nin $f_c=100$ Hz için (a) ‘td’ zamanı eklenmeden (b) ‘td’ zamanlı yük gerilimi dalga şekilleri



Şekil 18. R-L yükü ile yüklenen, TFMD’nin $f_c=150$ Hz için (a) ‘td’ zamanı eklenmeden (b) ‘td’ zamanlı yük gerilimi dalga şekilleri

5. Sonuç

Bu çalışmada, son yıllarda evirici uygulamalarına alternatif olmaya başlayan tek fazlı matris dönüştürücünün devre topolojisi verilerek, frekans değiştirici olarak çalışma durumu için güvenli komutasyon anahtarlama stratejisi incelenmiştir. 12.5 Hz, 25 Hz, 50 Hz, 100 Hz ve 150 Hz çıkış frekans değerlerini elde etmek için güvenli komutasyon anahtarlama stratejisindeki çalışma durumları ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Bu anahtarlama stratejisiyle, ölü zaman boyunca indüktif yükün akımı için bir yol oluşturularak yüksek genlikli gerilim piklerinin önüne geçilmiştir. Şekil 17’de 100 Hz ve Şekil 18’de 150 Hz çıkış frekans değeri için ölü zaman eklenmediğinde yüksek genliğe sahip gerilim piklerinin oluştuğu ve bunun eklenen ‘td’ zamanıyla ortadan kaldırıldığı gösterilmiştir.

Kaynaklar

- [1] Liu J, Lipo AT. Synchronous machine field excitation utilizing a single phase matrix converter excited rotary transformer. In: 2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition; 1-5 Oct. 2017; Cincinnati, OH, USA: IEEE. pp. 1197–1204.
- [2] Hanafi HM, Hamzah MK, Hamzah NR. Electronic transformer design using Single-phase Matrix Converter. In: 2009 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications; 4-6 Oct. 2009; Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE. pp. 413–418.
- [3] Nayak B, Misra B, Mishra R. Performance improvement of single phase matrix converter using band pass filter for induction heating. In: 2017 2nd International Conference on Communication Systems, Computing and IT Applications; 7-8 Apr. 2017; Mumbai, India: IEEE. pp. 263–268.
- [4] Sünter S. A Vector Controlled Matrix Converter Induction Motor Drive. PHD Thesis, University of Nottingham, U.K., 1995.
- [5] Külekçiöğlü A. Değişken Genlik ve Frekanslı Tek Fazlı AC-AC Çeviriciden Beslenen Asenkron Motor Sürücü Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2003.
- [6] Mohan WP, Undeland N, Robbins TM. Power Electronics Converter, Applications and Design. Canada, Wiley, 1995.
- [7] Venturini M. A new sine wave in, sine wave out conversion technique eliminates reactive elements. Proceeding of Powercon 7 1980: E3-1-E3-15.
- [8] Alesina A, Venturini M. Solid-state power conversion: A Fourier analysis approach to generalized transformer synthesis. IEEE Trans Circuits Syst 1981; 28(4): 319–330.
- [9] Sünter S, Clare JC. Feedforward indirect vector control of a matrix converter-fed induction motor drive. COMPEL Int Journal Comput Math Electr 2000; 19(4): 974–986.
- [10] Sünter S, Aydoğmuş O. Implementation of a single-phase matrix converter induction motor drive. Electr Eng 2008; 90(6): 425–433.
- [11] Aydogmus O, Deniz E. Design of a two-phase PMSM fed by an AC-AC converter. In: 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology; 17-19 March 2015; Sevilla, Spain: IEEE. pp. 690–695.
- [12] Aydogmus O, Deniz E. Design and implementation of two-phase permanent magnet synchronous motor fed by a matrix converter. IET Power Electron 2017; 10(9): 1054–1060.
- [13] Gyugyi L, Pelly BR. Static power frequency changers: theory, performance, and application. New York, Willey, 1976.
- [14] Khoei S, Yuvarajan A. Single-phase AC-AC converters using power MOSFETs. IEEE Trans Ind Electron 1988; 35(3): 442–443.
- [15] Khoei A, Yuvarajan S. Steady state performance of a single phase induction motor fed by a direct ac-ac converter. In: Conference Record of the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting; 1-5 Oct. 1989; San Diego, USA: IEEE. pp. 128-132.
- [16] Zuckerberger A, Weinstock D, Alexandrovitz A. Single-phase matrix converter. IEE Proc Electric Power Appl 1997; 144(4): 235-240.
- [17] Hosseini SH, Babaei E. A new generalized direct matrix converter. In: 2001 IEEE International Symposium on Industrial Electronics Proceedings; 12-16 June 2001; Pusan, South Korea: IEEE. pp. 1071–1076.
- [18] Firdaus S, Hamzah MK. Modelling and simulation of a single-phase AC-AC matrix converter using SPWM. In: Student Conference on Research and Development; 17-17 July 2002; Shah Alam, Malaysia: IEEE. pp. 286–289.
- [19] Idris Z, Noor SZM, Hamzah MK. Safe Commutation Strategy in Single Phase Matrix Converter. In: 2005 International Conference Power Electronics and Drives Systems; 28 Nov - 1 Dec 2005; Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE. pp. 886–891.
- [20] Idris Z, Hamzah MK, Saparon A, Hamzah NR, Dahlan NY. FPGA design of single-phase matrix converter operating as Cycloconverter. In: 2007 7th International Conference on Power Electronics and Drives Systems; 27-30 Nov. 2007; Bangkok, Thailand: IEEE. pp. 301–307.
- [21] Hanafi HM, Hamzah NR, Saparon A, Hamzah MK. Improved switching strategy of single-phase matrix converter as a direct AC-AC converter. In: 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications; 3-5 June 2008; Singapore: IEEE. pp. 1157–1162.
- [22] Hamzah MK, Idris Z, Saparon A, Yunos MS. FPGA design of single-phase matrix converter operating as a frequency changer. In: 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference; 1-3 Dec. 2008; Johor Bahru, Malaysia: IEEE. pp. 1124–1129.
- [23] Kwon BH, Min BD, Kim JH. Novel Commutation Technique of AC-AC Converters. Electric Power Application IEE Proceedings 1988; 145(4): 295-300.
- [24] Pirinççi N. Tek Fazlı Matris Dönüştürücünün AA-AA Frekans Dönüştürücü ve AA-DA Doğrultucu Olarak Çalışmasının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2018.
- [25] Noor SZM, Hamzah MK, Rahman NFA, Hapani AF, Idris Z. XILINX FPGA Design for Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) control of Single phase Matrix Converter. In: 2011 IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications, 25-28 Sept. 2011; Langkawi, Malaysia: IEEE pp. 714-719.