

SDGM Tekniği ile Çok Seviyeli Kaskat H-Köprü Eviricilerin Karşılaştırılması

Selman GÜZEL*¹, Okan BİNGÖL¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 32200, Isparta

(Alınış Tarihi: 20.04.2015, Kabul Tarihi: 27.08.2015)

Anahtar Kelimeler

SDGM
Çok seviyeli evirici
H-köprü evirici

Özet: Çok seviyeli eviriciler özellikle orta ve yüksek güçlü uygulamalarda çok popülerdir. Bu makalede üç-seviyeli, yedi-seviyeli ve on yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviriciler tasarlanarak simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Eviricilerin anahtarlanması için taşıyıcı temelli Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SDGM) tekniği kullanılmıştır. Simülasyonları gerçekleştirilen üç-seviyeli, yedi-seviyeli ve on yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviricilerin fazlararası gerilimleri karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre on yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviricinin beslediği R-L yükün fazlararası gerilimlerinin harmonik bileşenlerinin üç-seviyeli ve yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviricilere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Comparison of Cascaded H-Bridge Multilevel Inverters by SPWM Technique

Keywords

SPWM
Multilevel inverter
H-bridge inverter

Abstract: The multilevel inverters are very popular especially in medium and powerful applications. In this article, a simulation was performed by designing three-level, seven-level and seventeen-level cascade H-bridge inverters. A carrier based Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) technique was used for switching inverters. Line to line voltages of realized three-level, seven-level and seventeen-level cascade H-bridge inverters were compared. According to the simulation results, harmonic components of line to line voltages of R-L load fed by seventeen-level cascaded H-bridge inverter were found to be lower than that of three-level and seven-level cascaded H-bridge inverter.

1. Giriş

Son yıllarda yarıiletken güç elemanlarının anahtarlama frekanslarında ve kapasitelerinde hızlı gelişmeler meydana gelmiştir. Bu gelişmeler orta ve yüksek gerilim aralığındaki endüstriyel motor sürücü sistemlerinde, alternatif akım güç beslemelerinde ve statik güç dönüştürücülerinde birçok değişikliğe yol açmıştır. Bu değişikliklerin sonucunda, çok seviyeli gerilim beslemeli Darbe Genişlik Modülasyonlu (DGM) eviriciler ortaya

çıkmıştır (Elmas ve Bingöl, 2008). İki-seviyeli eviricilerde anahtarlama kayıpları ve anahtarların anma değerlerindeki kısıtlamalardan dolayı yüksek frekansta çalışmalarında bazı sınırlamalar ortaya çıkmıştır. Ayrıca orta ve yüksek güçlü uygulamalarda kullanılan iki-seviyeli eviricilerde büyük transformatörler kullanılması nedeniyle düşük verime ve yüksek fiyat gibi dezavantajlara da sahiptir. Bu sebeplerden dolayı son yıllarda çok seviyeli eviriciler orta ve yüksek güç/gerilim

uygulamaları için bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır (Choi vd., 1991).

Çok seviyeli gerilim beslemeli eviricilerde üç farklı topoloji bulunmaktadır (Marchesoni vd., 1990). Birinci topoloji, 1981 yılında Nabae ve arkadaşları tarafından üç-seviyeli diyot-tutmalı eviriciler olarak önerilmiştir. Diyot-tutmalı çok seviyeli eviricilerde birbirine seri bağlanmış kondansatörler arasındaki düğüm noktası ile giriş gerilimi çeşitli seviyelere bölünür (Nabae vd., 1981). İkinci topoloji, diyot-tutmalı çok seviyeli eviriciye alternatif olarak, 1992 yılında Meynard ve Foch tarafından kondansatör-tutmalı evirici olarak önerilmiştir (Meynard ve Foch, 1992). Kondansatör-tutmalı eviricinin yapısı diyot-tutmalı eviricinin yapısına benzemektedir. Tek farkı tutma diyotları yerine, tutma kondansatörleri kullanılmaktadır. Son topoloji ise Marchesoni ve arkadaşları tarafından seri bağlı tam köprü (H-Köprü) eviriciler önerilmiştir. Eviricinin çıkışında arzu edilen gerilimi elde etmek için, birbirinden bağımsız birden fazla bir fazlı tam köprü eviriciye gereksinim vardır (Marchesoni vd., 1990).

Çok seviyeli kaskat evirici tipi, diğer evirici tipleri arasında en az sayıda devre elemanı gerektiren evirici tipidir. Bu evirici tipinde çıkış geriliminin seviyesi tam köprü hücrelerin eklenmesi veya çıkartılması ile kolaylıkla ayarlanabilir. Bu evirici yapısında her bir seviye aynı yapıda olduğu için paket devre haline getirmek mümkündür. Bu topoloji son yıllarda AA güç kaynakları ve ayarlanabilir hız sürücü uygulamalarında oldukça popüler durumdadır (Carrara vd., 1992).

Eviricilerin çıkış gerilimlerinin kontrol edilmesi için farklı DGM teknikleri kullanılmaktadır. Eviricilerde kullanılan DGM teknikleri sürücü performansını doğrudan etkilemektedir. DGM tekniklerinde en iyi bilinen ve endüstride yaygın bir şekilde kullanılan sinüzoidal DGM'dir. Bu DGM tekniği referans sinüzoidal dalga ile taşıyıcı dalganın karşılaştırılması temeline dayanır (Yurtbaşı, 2007).

Bu çalışmada; üç-seviyeli, yedi-seviyeli ve on yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviriciler tasarlanarak C# programlama dili yardımı ile simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Eviricilerin anahtarlamasında taşıyıcı temelli SDGM tekniği kullanılmıştır. Eviricilere uygulanan SDGM tekniği sonucunda elde edilen çıkış gerilimi MatLab programlama dili yardımı ile analiz edilmiştir. Yapılan bu analiz ile gerçekleştirilen üç-seviyeli, yedi-seviyeli ve on yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviricilerin beslediği R-L yükün fazlararası gerilimlerinin Toplam Harmonik Bozunumu (THD) analizleri karşılaştırılmıştır.

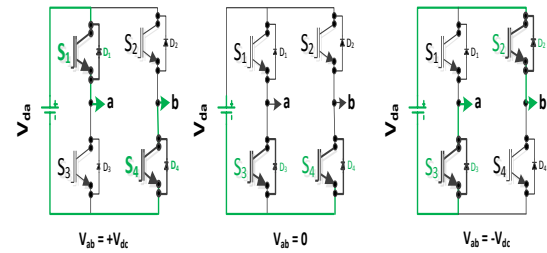
2. Materyal ve Metot

2.1.Çok Seviyeli Kaskat H-Köprü Evirici

Çok seviyeli kaskat H-köprü eviriciler için farklı DA kaynak gerilimi oluşturmada akü, yakıt hücreleri

veya güneş pillerinden elde edilen DA gerilimden yararlanılır. Son zamanlarda bu yapı AA güç kaynaklarında ve güç sistemlerinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Bu evirici topolojisi diğer evirici topolojilerine göre daha avantajlıdır. Çünkü diğer çok seviyeli eviricilerde olduğu gibi tutma diyotları veya tutma kondansatörleri gerektirmemektedir. Ayrıca DA kaynak gerilimine eşit değerde AA gerilim seviyesi de elde edilebilmektedir (Bhagwat ve Stefanovic, 1983).

Çok seviyeli kaskat H-köprü evirici için seviye sayısı "m" en az üçtür. Üç-seviyede $-V_{da}$, 0, $+V_{da}$ seviyelerinden oluşan çıkış elde etmek için H-köprü hücre olarak bilinen tam köprü evirici kullanılır. Tam köprü evirici devresi, dört anahtar ve dört adet bypass diyotundan oluşmaktadır (Deniz, 2007). Tam köprü eviricide anahtarlama durumları ve bu durumlara karşılık gelen gerilim seviyeleri Şekil 1'de gösterilmiştir. S_1 ve S_4 iletimde ise $V_{ab} = V_{da}$, S_2 ve S_3 iletimde ise $V_{ab} = -V_{da}$ ve S_1-S_2 veya S_3-S_4 iletimde ise $V_{ab} = 0$ çıkış gerilimi elde edilir (Bhuvanewari ve HariKumar, 2014). Tablo 1'de üç-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait anahtarlama durumları ve anahtarlama durumlarına göre çıkış gerilimleri verilmiştir.



Şekil 1. Tam köprü eviriciye ait anahtarlama durumları ve çıkış gerilim seviyeleri (Güzel, 2014)

Tablo1. Üç-seviyeli kaskat H-köprü eviricinin anahtarlama durumları ve çıkış gerilimleri

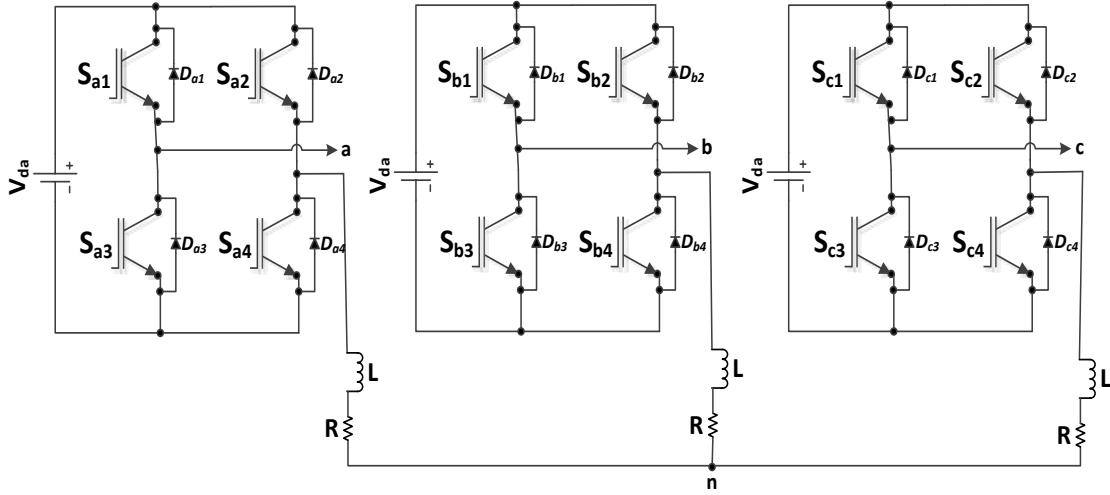
Çıkış Gerilimi (V_{an})	Anahtarlama Durumları			
	S_1	S_2	S_3	S_4
V_{da}	1	0	0	1
0	1	1	0	0
	0	0	1	1
$-V_{da}$	0	1	1	0

Kaskat H-köprü eviricilerde çok seviyeli çıkış gerilimi elde etmek için tam köprü eviricilerin AA çıkışlarının seri bağlanması sonucunda oluşturulan çıkış gerilim dalga şekli evirici çıkışlarının toplamı olur. Her bir köprü devrenin çıkışında üç farklı gerilim seviyesi meydana getirebilmesi çıkışları seri bağlanmış iki tane üç-seviyeli kaskat H-köprü eviricinin toplam beş-seviyeli bir AA çıkış geriliminin elde edilmesine neden olur. "s" DA kaynak sayısı olmak üzere bir kaskat H-köprü

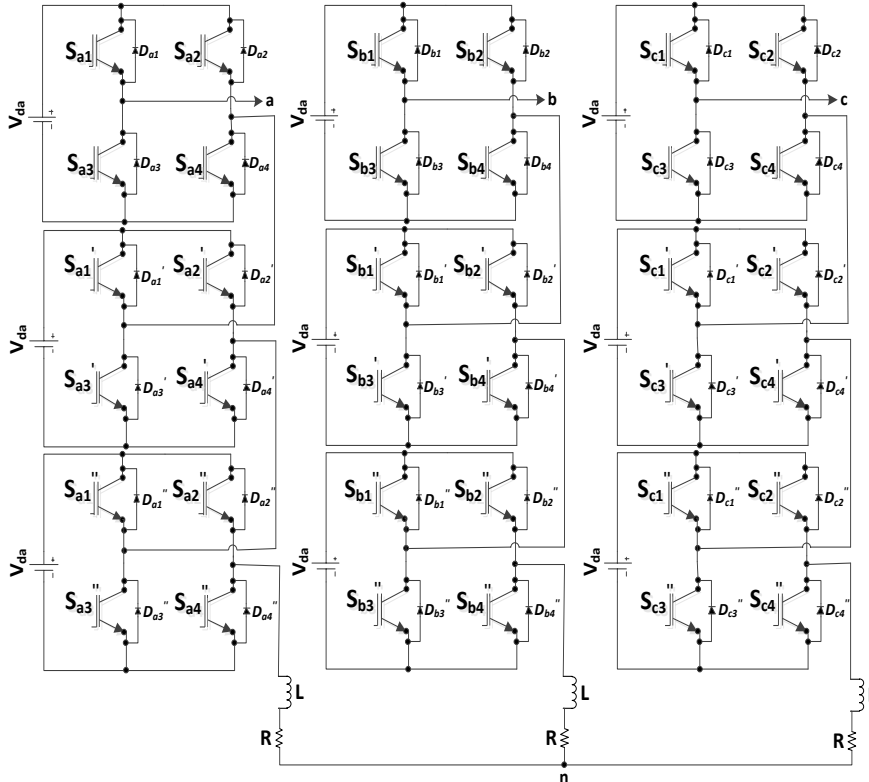
eviricinin çıkış gerilimlerinin seviyesinin sayısı $m=2s+1$ olur (Sarıkurt, 2010). Ayrıca her bir fazda üç-seviye için "1", yedi-seviye için "3" ve on yedi-seviye için "8" tam köprü devresi kullanılmıştır. Şekil 2'de üç fazlı üç-seviyeli kaskat H-köprü evirici devresi, Şekil 3'te üç fazlı yedi-seviyeli kaskat H-köprü evirici devresi ve Şekil 4'de üç fazlı on yedi-seviyeli kaskat H-köprü evirici devresi verilmiştir.

Tablo 1'de görüldüğü gibi üç-seviyeli H-köprü eviricinin anahtarlama sayısı 4'dür. Beş-seviyeli H-köprü eviricide ise anahtarlama sayısı 16

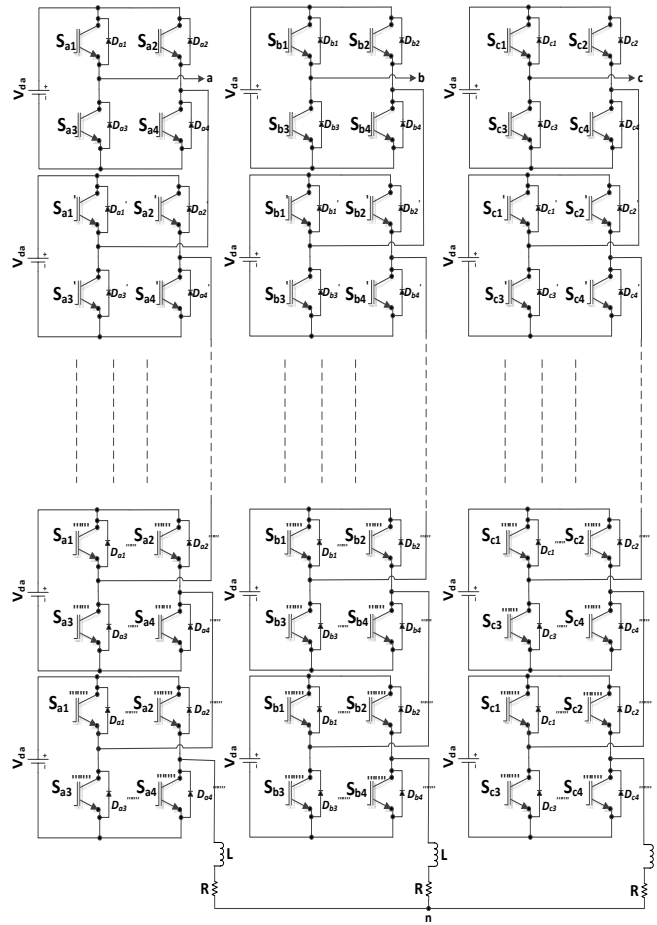
olmaktadır. Bu evirici devrelerinin anahtarlama durumlarına ait anahtarlama sayısı " $A_s = 2^{(m-1)}$ " şeklinde hesaplanmaktadır. Bu hesaplamayı kullanarak yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviricinin 64 tane, dokuz-seviyeli kaskat H-köprü eviricinin 256 tane, on bir-seviyeli kaskat H-köprü eviricinin ise 1024 tane, on üç-seviyeli kaskat H-köprü eviricinin ise 4096 tane, on beş-seviyeli kaskat H-köprü eviricinin ise 16384 tane, on yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviricinin ise 65536 tane anahtarlama durumu bulunur.



Şekil 2. Üç fazlı üç-seviyeli kaskat H-köprü evirici (Güzel, 2014)



Şekil 3. Üç fazlı yedi-seviyeli kaskat H-köprü evirici (Güzel, 2014)



Şekil 4. Üç fazlı on yedi-seviyeli kaskat H-köprü evirici (Güzel, 2014)

2.2.Çok Seviyeli SDGM Tekniği

SDGM tekniği kare dalga içerisindeki harmonikleri elemine eden en eski tekniklerden birisidir. Bu teknikte, taşıyıcı işaret ile referans işaretler karşılaştırılarak evirici devresindeki anahtarlar için gerekli tetikleme işaretleri elde edilir. Taşıyıcı işaret olarak çoğunlukla üçgen dalga şekli kullanılır (Tuncer, 2004b).

SDGM tekniğinde genliği ve frekansı değişken olan sinüzoidal referans işareti, daha yüksek frekanslı üçgen dalga taşıyıcı işaretin karşılaştırma işlemi yapılarak oluşan keşişim noktalarına ile anahtarlama elemanlarının, anahtarlama süreleri belirlenmektedir. Sinüs dalgasının genliğini yükseltip azaltılmasıyla, çıkışta elde edilen DGM işaretinin darbe genişliklerinin değişmesi, temel bileşenin genliğinde değişme sağlar (Tuncer, 2004a).

İki-seviyeli eviricilerde kullanılan SDGM tekniklerinin çoğaltılmasıyla çok seviyeli eviricilerde kullanılmaktadır. SDGM tekniğinde referans işaretler sinyal sayısı aynı kalmak şartıyla taşıyıcı işaretler sinyalin sayısı eviricinin seviyesine bağlı olarak değişmektedir. Çok seviyeli eviricilerde

seviye sayısı “ m ” olarak alınırsa genliği ve frekansı birbirine eşit “ $m-1$ ” tane taşıyıcı işaret sinyali gerekmektedir. Örneğin, beş-seviyeli eviricide taşıyıcı işaretlerin sinyalleri sayısı 4 olacaktır (Tuncer, 2004b). Bu taşıyıcı işaret sinyalleri her faz için referans sinyali olan sinüs dalgaları ile karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda, evirici devresindeki H-köprü güç anahtarları için tetikleme sinyali elde edilmektedir.

Çok seviyeli eviricilerde Denklem 1’ de modülasyon indeksi (M_i) ve Denklem 2’ de Modülasyon oranı (M_o) verilmiştir (Paikray ve Mohanty, 2014).

$$M_i = \frac{A_r}{(m-1)A_t} \quad (1)$$

$$M_o = \frac{f_t}{f_r} \quad (2)$$

Burada;

A_r : Referans sinyalin genliği,

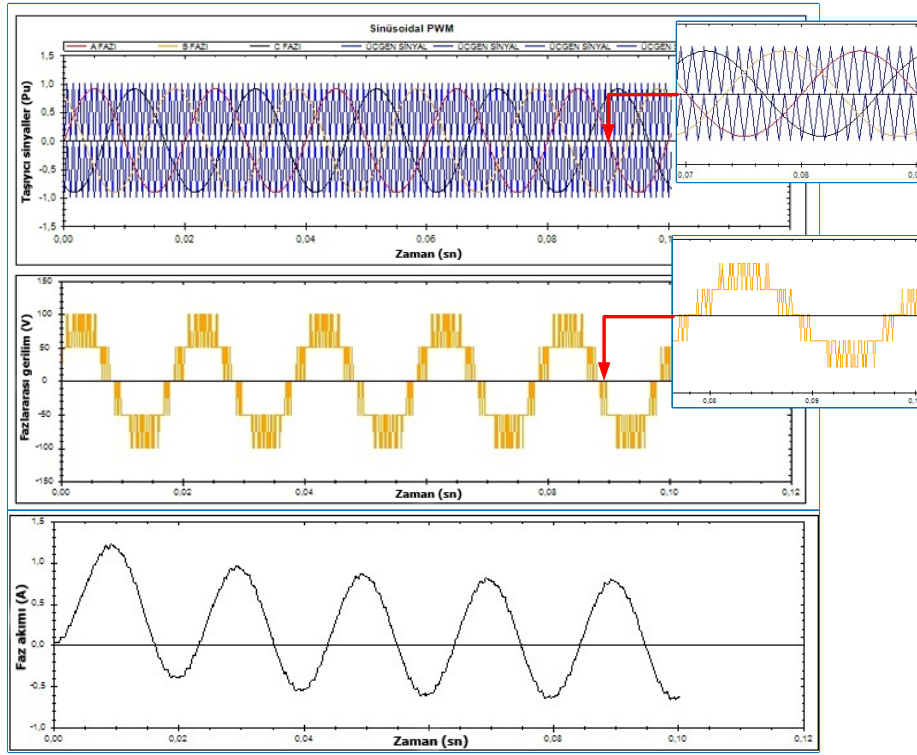
A_t : Taşıyıcı sinyalin genliği,

f_t : Taşıyıcı sinyalin frekansı,

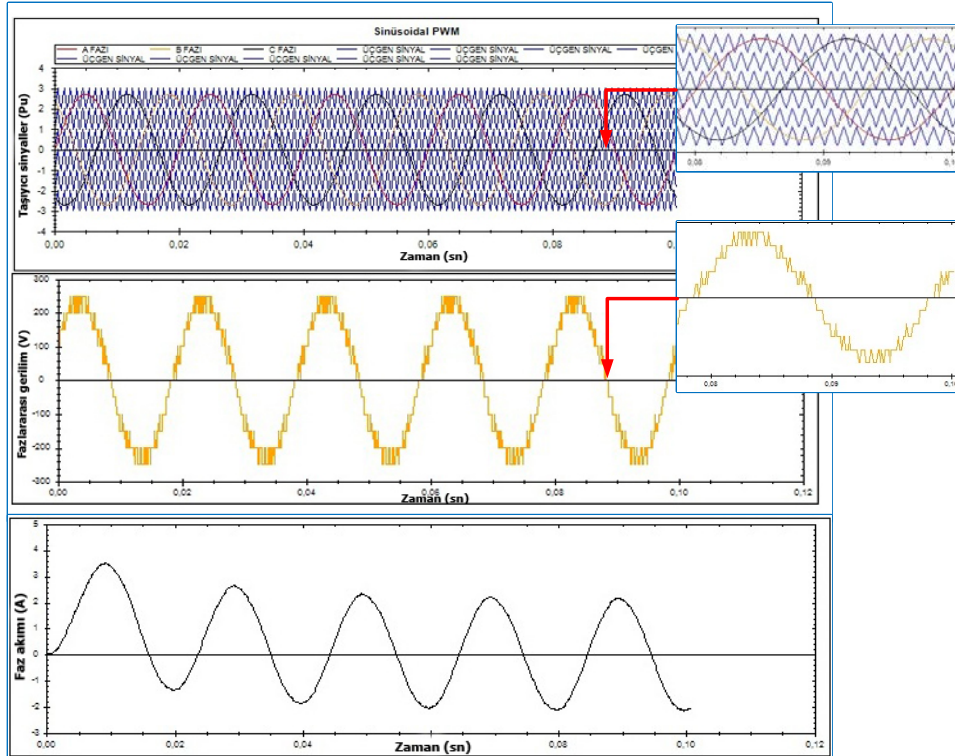
f_r : Referans sinyalin frekansı.

sinyaller, fazlararası gerilim ve faz akımı dalga şekilleri verilmiştir. Şekil 10'da üç fazlı on yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait taşıyıcı sinyaller, referans sinyaller, fazlararası gerilim ve faz akımı dalga şekilleri verilmiştir. On yedi-seviyeli

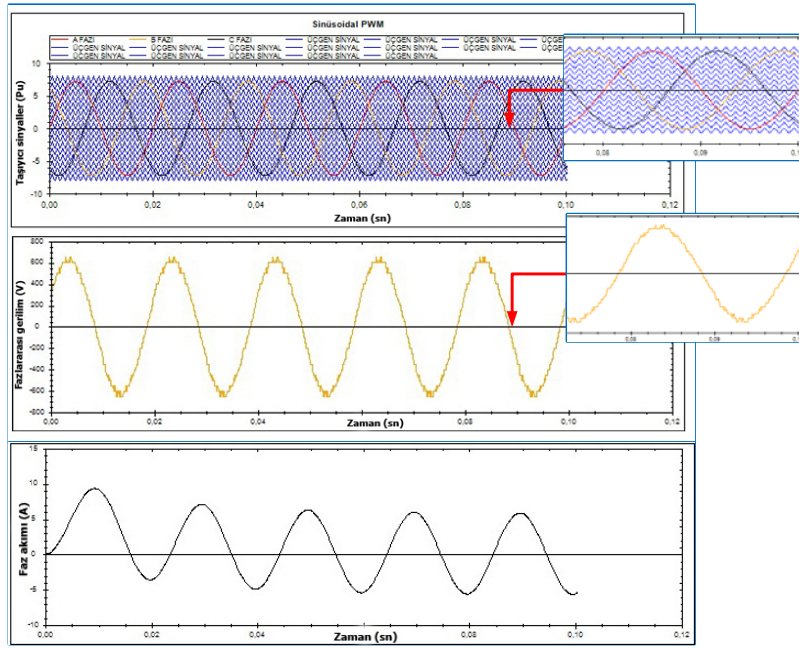
kaskat H-köprü eviricinin faz akımının, üç-seviyeli ve yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviricilerin faz akımlarına göre daha fazla sinüs dalga şekline benzediği görülmektedir.



Şekil 8. Üç fazlı üç-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait; a) Taşıyıcı sinyaller, b) Fazlararası gerilim c) Faz akımı



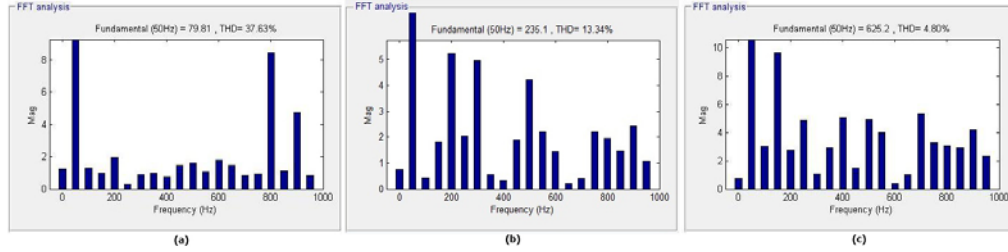
Şekil 9. Üç fazlı yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait; a) Taşıyıcı sinyaller, b) Fazlararası gerilim c) Faz akımı



Şekil 10. Üç fazlı on yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait; a) Taşıyıcı sinyaller, b) Fazlararası gerilim c) Faz akımı

Ayrıca, Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'daki fazlararası gerilimler MatLab programı yardımı ile FFT

analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 11'de verilmiştir.

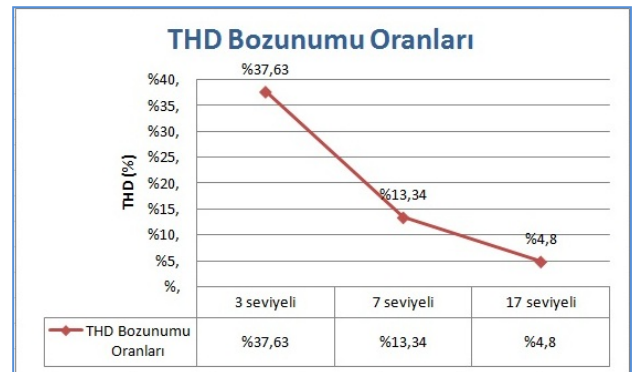


Şekil 11. Üç fazlı kaskat H-köprü eviricilere ait fazlararası gerilimlerinin THD bozunum oranları a) Üç-seviyeli b) Yedi-seviyeli c) On yedi-seviyeli

Şekil 11' deki fazlararası gerilimlerin THD bozunumlarına ait sonuçlar incelendiğinde; üç fazlı üç-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait THD bozunum oranı %37.63, üç fazlı yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait THD bozunum oranı %13.34 iken, üç fazlı on yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait THD bozunum oranı %4.80 olmaktadır. Bu durum Tablo 3 ve Şekil 12'de verilmiştir.

Tablo 3. Seviyelerine göre THD bozunumu oranları

		THD Bozunumu Oranları
Seviye	3-seviyeli	%37,63
	7-seviyeli	%13,34
	17-seviyeli	%4,80



Şekil 12. Üç fazlı kaskat H-köprü eviricilere ait fazlararası gerilimlerinin THD bozunumu oranları

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu makalede, üç fazlı üç-seviyeli kaskat H-köprü evirici devresinin, üç fazlı yedi-seviyeli kaskat H-köprü evirici devresinin ve üç fazlı on yedi-seviyeli kaskat H-köprü evirici devresinin analizleri gerçekleştirilmiştir. Eviricilerin anahtarlanması için taşıyıcı temelli SDGM tekniği kullanılmıştır. Yük olarak R-L yük seçilmiştir.

Elde edilen fazlararası gerilim THD sonuçlarına göre; üç fazlı üç-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait THD bozunum oranı %37.63 ve üç fazlı yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait THD bozunum oranı %13.34 iken üç fazlı on yedi-seviyeli kaskat H-köprü eviriciye ait THD bozunum oranı %4.80'dir. Bu sonuçlara göre eviricinin çıkışındaki gerilimin seviyesi sayısı arttıkça THD oranının azaldığı gözlemlenmiştir.

Çok seviyeli kaskat H-köprü eviriciler, yüksek güç/gerilim uygulamalarında kullanılması uygundur. Basit ve bunun yanında modüler bir yapıya sahip olmaları nedeniyle seviye sayısının artırılması kolaydır. Bu evirici tipi yenilenebilir enerji kaynakları ile AA cihazlar arasında ideal bir evirici tipini oluşturmaktadır.

Kaynaklar

Agarwal, S.,Deore, S.R., 2015. Level Shifted SPWM of a Seven Level Cascaded Multilevel Inverter for STATCOM Applications. International Conference on Nascent Technologies in the Engineering Field (ICNTE-2015), 09-10 Ocak, Pune, 1-7.

Bhagwat, P.M., Stefanovic, V.R., 1983. Generalized Structure of a Multilevel PWM Inverter. IEEE Transactions on Industry Applications, 19(6), 1057-1069.

Beşer, E., 2009. Anahtarlama Elemanı Sayısı ve Harmonik Optimizasyonu İle Bir Fazlı Çok Seviyeli Evirici Tasarımı. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 133s, Kocaeli.

Bhuvaneshwari, V.,HariKumar, M.E., 2014. Analysis of Asymmetrical and Symmetrical Three Phase Cascaded Multilevel Inverter using Multicarrier SPWM Techniques. Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE), 6-8 Mart, Coimbatore, 1-7.

Carrara, G.,Gardella, S., Marchesoni, M., 1992. A New Multilevel PWM Method: A Theoretical Analysis. IEEE Transactions on Power Electronics, 7(3), 497-505.

Choi, N.S.,Cho, J.G.,Cho, G.H., 1991. A General Circuit Topology of Multilevel Inverter. IEEE Trans. Ind. Application, 2(1),96-103.

Çamur S., Arifoğlu B., Beşer E., Kandemir Beşer E., 2006. Harmonic Analysis of an Improved Single-PhaseFive-Level Inverter. WSEAS Transactions on Power System, 2(1), 387-392.

Deniz, E., 2005. Beş Seviyeli İnverterin SDGM İle Kontrolü. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106s, Elazığ.

Deniz, E.,Altun, H., 2007. Beş Seviyeli İzole DC Kaynaklı Kaskat İnverterin SPWM Tekniği İle Kontrolü. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(1), 1-9.

Elmas, Ç., Bingöl, O., 2008. Üç-Seviyeli Bir Eviricinin Tasarımı ve Uygulaması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 12(1), 77-84.

Güzel, S., 2014. Çok Seviyeli Kaskad Bağlı H-Köprü Eviricinin Modellenmesi ve Benzetimi.Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 106s, Isparta.

Marchesoni, M.,Mazzuchalli, M.,Tenconi, S., 1990. A NonConventional Power Converter For Plasma Stabilization. IEEE Trans. On Power Electronics, 5(7), 212-219.

Meynard, T.A., Foch, H., 1992. Multi-level conversion: High voltage choppers and voltage-source inverters. IEEE Power Electronics Specialists Conference, 29 Haziran-3Temmuz, Toledo, 397-403.

Nabae,A.,Takahashi, I.,Akagi, H., 1981. A New Neutral-Point-Clamped PWM Inverter. IEEE Transactions On Industry Applications, 17(5), 518-523.

Paikray, A., Mohanty, B., 2014. A New Multicarrier SPWM Technique for Five Level Cascaded H-Bridge Inverter, Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE), 2014 International Conference on, 6-8 March, Coimbatore, 1-6.

Sarıkurt, T., 2010. Yenilenebilir Enerji Sistemleri İçin Çok Katlı Evirici Tasarımı. Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Kocaeli.

Tuncer, S., 2004a. Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu Kullanan Beş Seviyeli İnverter Tasarımı Ve Uygulaması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 95s, Elazığ.

Tuncer, S., 2004b. Çok Seviyeli İnverterler ve DGM Teknikleri. Fırat Üniversitesi Doğu Anadolu Araştırmaları Dergisi, 2(3), 56-61.

Tuncer, S., Tatar, T., 2004. Üç-Fazlı 5-Seviyeli Kaskat İnverter Tasarımı ve Gerçekleřtirmesi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(4), 702-717.

Yurtbaşı, K., 2007. Bir Fazlı Sinüzoidal PWM Köprü İnverter Uygulaması. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 74s, İstanbul.