

Matlab/Simulink Designing and Analysis of an Inverter Controlled by a Unipolar and Bipolar, Regularly Sampled Sinus Pulse Width Modulation (SPWM)

Mehmet Bilge

Elbistan Vocational School, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Kahramanmaraş, Turkey
E-mail: mbilge@ksu.edu.tr

Metin Salihmuhsin

Electrical and Electronics Engineering, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Kahramanmaraş,
E-mail: msalihmuhsin@ksu.edu.tr

Saban Yilmaz

Kahramanmaraş Vocational School, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Kahramanmaraş,
Turkey E-mail: sabanyilmaz1@hotmail.com

Sadik Doganay

Elbistan Vocational School, Kahramanmaraş Sutcu Imam University Kahramanmaraş, Turkey
E-mail: sdoganay@ksu.edu.tr

Abstract

This paper demonstrates implication of carrier based unipolar and bipolar SPWM control schemes to a single phase H-bridge inverter. Regularly sampled unipolar and bipolar SPWM signals are generated in the Matlab/Simulink environment. Obtained SPWM control signals are used as switching schemes of the single phase H-bridge inverter. Various carrier signals are used to generate both types of SPWM signals. FFT analysis, harmonic effects at the output as well as amplitude of current drawn from the source are found and illustrated in the forms of figures and tables for each generated SPWM scheme. The advantages of the suggested study is decrease harmonic effects at the output as well as amplitude of current

Keywords: sinusoidal pwm, regular sampling PWM, unipolar pwm, bipolar pwm, harmonic, inverter

Tek ve İki Kutuplu, Düzenli Örneklenmiş Sinüsoidal Darbe Genişlik Modülasyonu (SPWM) ile Kontrol Edilen İnverterin Matlab/Simulink ile Tasarım ve Analizi

Özet

Bu makalede Sinüsoidal PWM (SPWM) olarak ta adlandırılan Taşıyıcı Temelli PWM yöntemlerinden olan düzenli örneklemeli unipolar ve bipolar PWM kontrol yöntemlerinden bahsedilmiştir. Düzenli Örneklemeli Tek Kutuplu (unipolar) ve İki Kutuplu (bipolar) PWM yöntemleri MATLAB/SIMULINK ortamında Tek Fazlı H-Bridge İnvörtöre uygulanmıştır. MATLAB'ta yazılan kodlar simulinkte kontrol bloğu içine gömülerek elde edilen PWM sinyalleri invörtör devresinin anahtarlamasında kullanılmıştır. Farklı frekanslarda taşıyıcı sinyali ile elde edilen PWM sinyalleri invörtöre uygulanarak her bir yöntemin harmonik etkileri ve kaynaktan çekilen akımın genliği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: sinüsoidal pwm, düzenli örneklemeli pwm, unipolar pwm, bipolar pwm, harmonik, İnvörtör

1.Giriş

İnverter olarak ta adlandırılan DC/AC dönüştürücüler, DC kaynaktan, devredeki yarıiletken anahtarların uygun sıra ve süre ile anahtarlanması sonucu, istenilen genlik ve frekansta alternatif akım elde edilmesini sağlayan devreler olarak tanımlanabilir. Literatürde yaygın bir şekilde Taşıyıcı Temelli Sinüsoidal PWM (bipolar) İnverter tasarımı ve uygulamaları yer almaktadır(Pankaj H Zope ve Ark.). Kontrol yöntemlerine, besleme şekline, devre yapısına vs. bağlı olarak çok çeşitli inverter tanımlamaları mevcuttur. Uygun anahtarlamalarla yük üzerinde çift yönlü akımın elde edilmesi sağlanmış olur. Şekil.1’de temel bir Tek Fazlı Tam Dalga H-Köprü İnverter topolojisi verilmiştir. Her bir kolda iki adet anahtar bulunmakta ve anahtarlama sırasında kaynağın kısa devre olmaması için her bir koldaki anahtarlardan birisi iletimde iken diğerinin kesimde olması gerekmektedir. Modülasyon sinyalinin tepe değerinin, taşıyıcı sinyalin tepe değerine oranı modülasyon indeksi olarak tanımlanır ve m_a ile gösterilir. Modülasyon genliğinin(indeksinin) bire eşit veya küçük olduğu değerler, lineer bölge olarak tanımlanır ve çıkışta elde edilen gerilimin tepe değeri, modülasyon indeksi olarak tanımlanan değer ile ilişkilidir. Modülasyon indeksinin birden büyük olduğu değerler, aşırı modülasyon bölgesi olarak tanımlanır ve çıkış gerilimi, modülasyon indeksi ile ilişkili değildir.(N.Mohan ve Ark.)

Modülasyon indeksi;

$$m_a = \frac{\hat{V}_{sin}}{\hat{V}_{ucgen}} \quad (1)$$

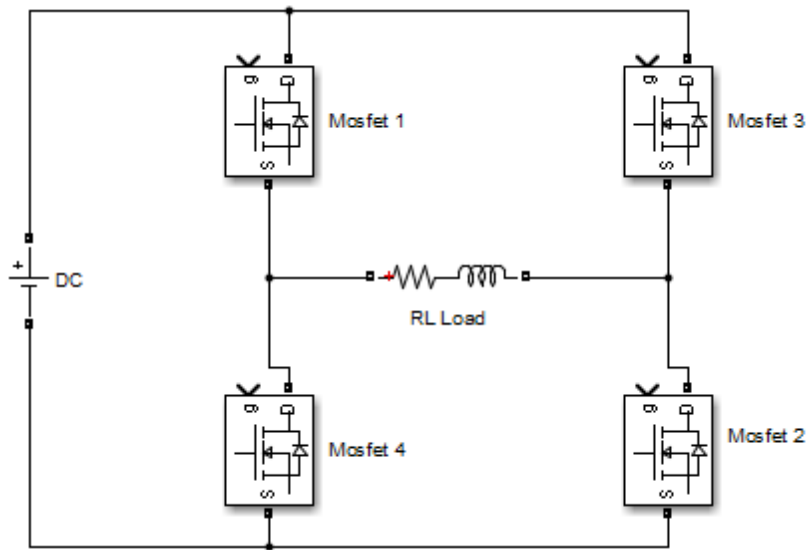
Çıkış geriliminin tepe değeri;

$$\hat{V} = m_a \times V_{dc} \quad (m_a \leq 1.0) \quad (2)$$

$$V_d < \hat{V}_o < \frac{4}{\pi} V_{dc} \quad (m_a \geq 1.0) \quad (3)$$

Şekil.1’de mosfetler belirtilen şekilde anahtarıldığında aşağıdaki çıkış gerilimleri elde edilir.

- Mosfet 1 ve Mosfet 2 iletimde olduğunda çıkış gerilimi: $+V_{dc}$,
- Mosfet 3 ve Mosfet 4 iletimde olduğunda çıkış gerilimi: $-V_{dc}$,
- Mosfet 1 ve Mosfet 3 veya Mosfet 2 ve Mosfet 4 iletimde olduğunda çıkış gerilimi:0(sıfır)



Şekil 1. Tek Fazlı Tam Dalga H-Köprü İnverter

2.Unipolar ve Bipolar PWM

Sinüsoidal PWM(SPWM) olarak adlandırılan, Taşıyıcı Temelli PWM kontrol yöntemleri ilk geliştirilen ve yaygın olarak kullanılan kontrol yöntemlerden biridir. Bu yöntem, referans veya kontrol sinyali olarak tanımlanan sinüs sinyali ile taşıyıcı veya modülasyon sinyali olarak adlandırılan üçgen sinyalinin analog veya digital olarak karşılaştırılması esasına dayanır(Fang Z. Peng,2004). Bu iki sinyalden sinüs sinyalinin üçgen sinyalinden büyük olduğu durumlarda çıkış Lojik 1 veya +5 V, küçük olduğu durumlarda ise çıkış Lojik 0 veya 0 V (veya -5 V) olmaktadır. Elde edilen bu kontrol sinyalleri inverter devresine uygulanarak aynı koldaki anahtarlama elamanlarının durum değiştirmeleri sağlanmakta ve çıkışta sinüsoidal akımın elde edilmektedir. Literatürde çıkışın +/-5 V ile 0 V arasında değiştiği kontrol yöntemi Tek Kutuplu (Unipolar) , çıkışın +5 V ile -5 V arasında değiştiği kontrol yöntemi ise İki Kutuplu(Bipolar) PWM olarak adlandırılmaktadır. Yine literatürde, Analog devrelerle yapılan karşılaştırma Doğal Örnekleme PWM, digital olarak yapılan karşılaştırma ise Düzenli Örnekleme PWM olarak adlandırılır (Power Electronics, Daniel W.Hart,2011). Unipolar PWM bipolar PWM ile karşılaştırıldığında daha az anahtarlama kayıpları oluşturur ve daha az EMI üretir(L. Bowtell and A. Ahfock). Ayrıca çıkış harmonikleri açısından bakıldığında daha düşük THD olduğu görülecektir(N.Mohan ve ark.). Modülasyon sinyali ile taşıyıcı sinyal arasındaki ilişkiye göre PWM çıkış gerilimi ve anahtarların durumu aşağıda verilmiştir. (Power Electronics, Daniel W.Hart,2011).

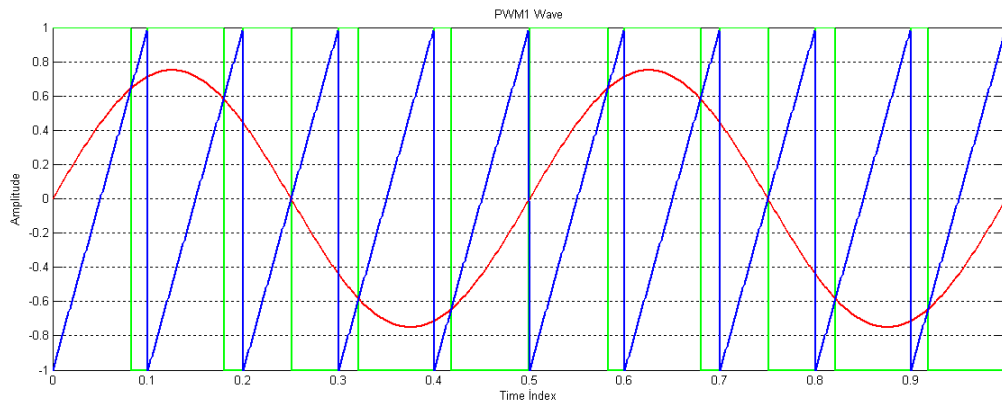
Bipolar anahtarlama durumunda PWM çıkış gerilimi ve anahtarların durumu;

- $V_{sin} > V_{üçgen}$ ise $V_o = +V_{dc}$ S1 ve S2 iletimde
- $V_{sin} < V_{üçgen}$ ise $V_o = -V_{dc}$ S3 ve S4 iletimde

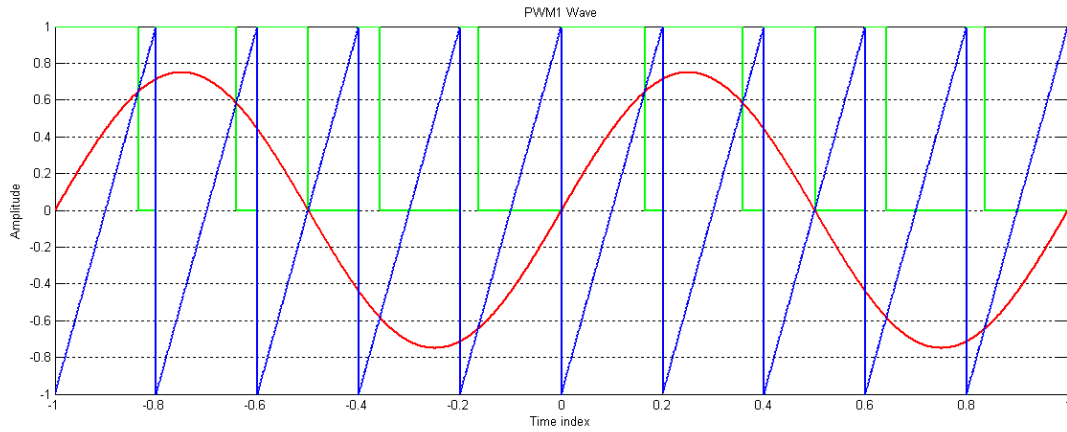
Unipolar anahtarlama durumunda PWM çıkış gerilimi ve anahtarların durumu;

- $V_{sin} > V_{üçgen}$ ise $V_o = +V_{dc}$ S1 iletimde
- $-V_{sin} < V_{üçgen}$ ise $V_o = -V_{dc}$ S2 iletimde
- $-V_{sin} > V_{üçgen}$ ise $V_o = +V_{dc}$ S3 iletimde
- $V_{sin} < V_{üçgen}$ ise $V_o = -V_{dc}$ S4 iletimde

Unipolar ve bipolar PWM dalga şekilleri aşağıda verilmiştir.



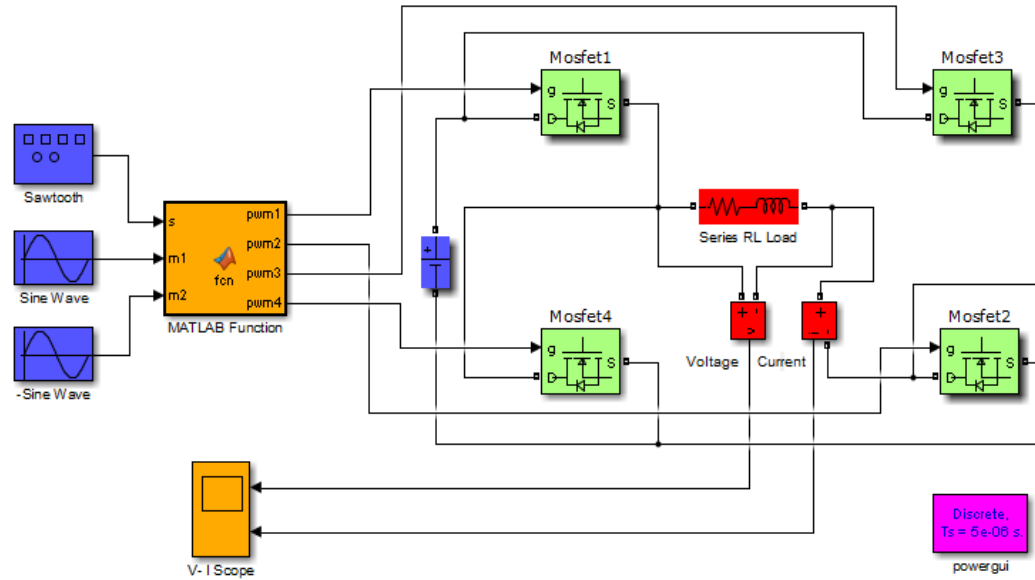
Şekil 2. Bipolar PWM 1



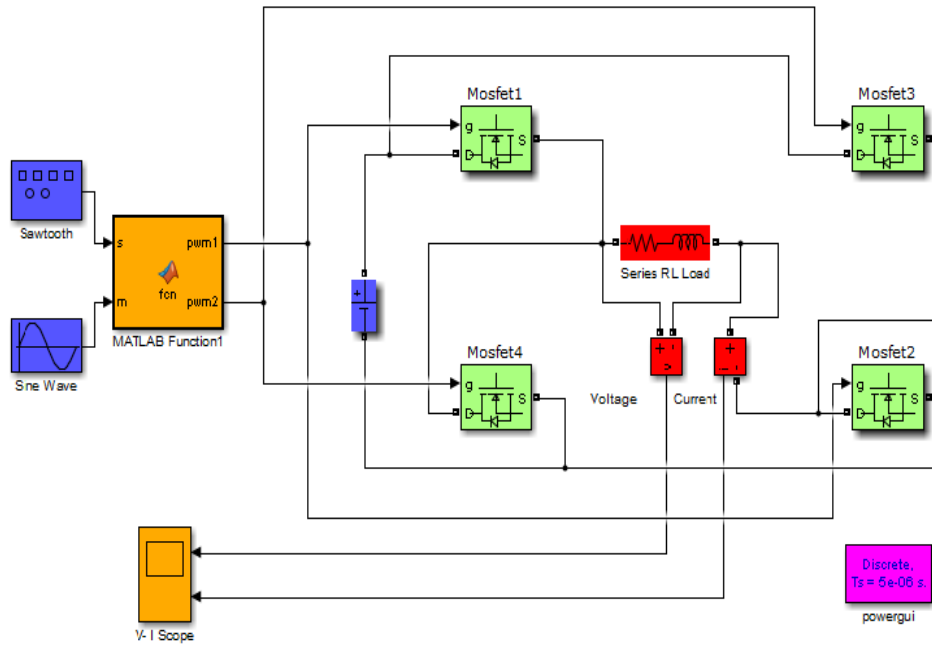
Şekil 3. Unipolar PWM 1

3. Matlab Simülasyonu

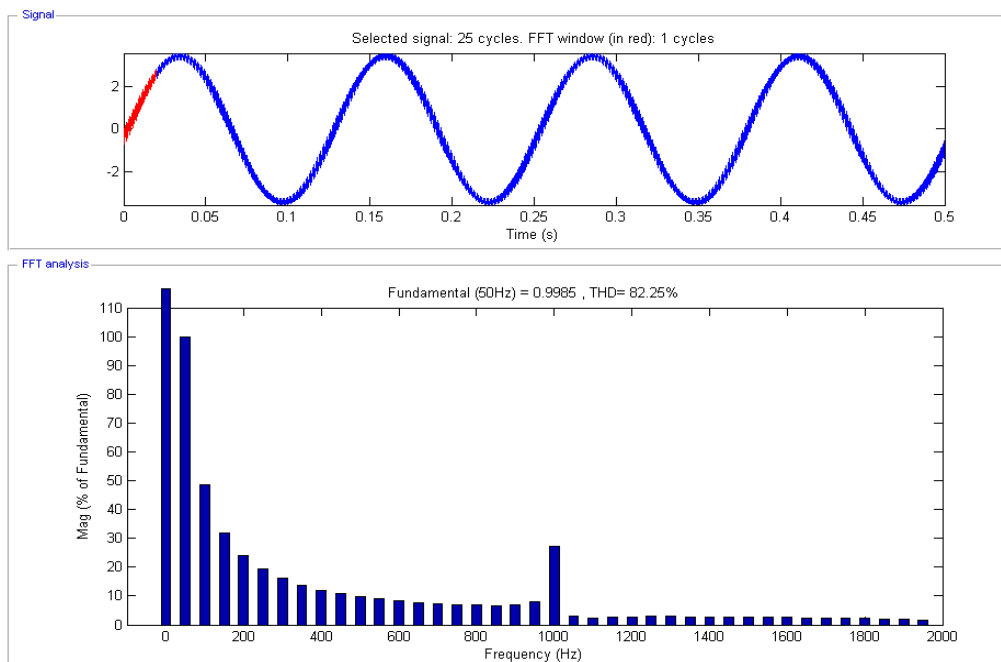
Unipolar ve Bipolar PWM inverterin Matlab/Simulink modellerinde taşıyıcı sinyal olarak testere dişi dalga üretici, modülasyon sinyali olarak ta sinüsoidal dalga üretici kullanılmıştır. İnverter devresindeki yarıiletken anahtarların (mosfetlerin) anahtarlanmasını sağlamak amacıyla bir M-File dosyası oluşturulup Matlab fonksiyon bloğu içine gömülmüştür. Taşıyıcı sinyalin frekansı 1,3,7,11 KHZ değerlerinde, modülasyon sinyalinin frekansı ise 50 HZ değerinde alınarak farklı taşıyıcı frekanslarında ve farklı güçlerde unipolar ve bipolar PWM için harmonik analizi yapılmıştır. Modülasyon İndeksi 0.8 olarak alınmıştır.



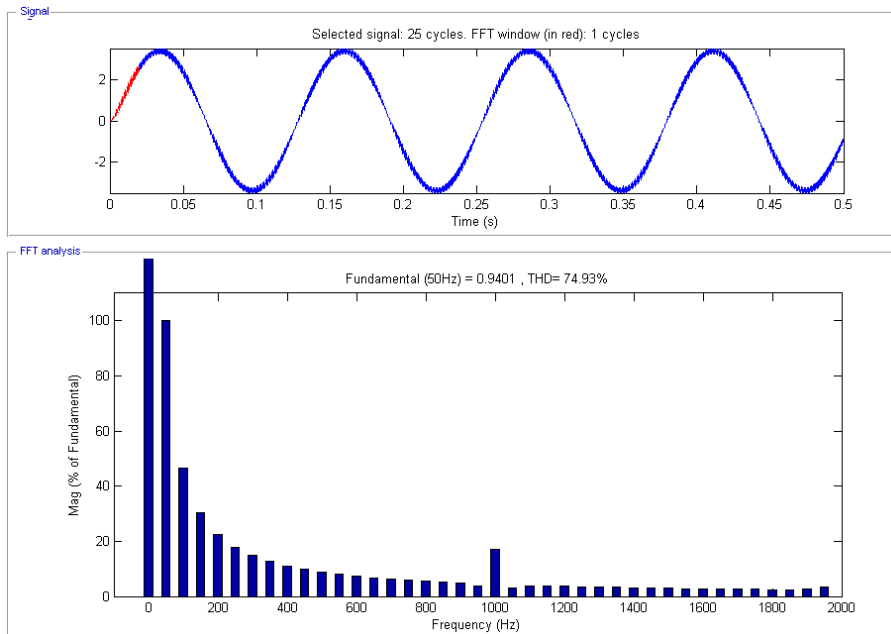
Şekil 8. Unipolar PWM İnverterin Simulink Modeli



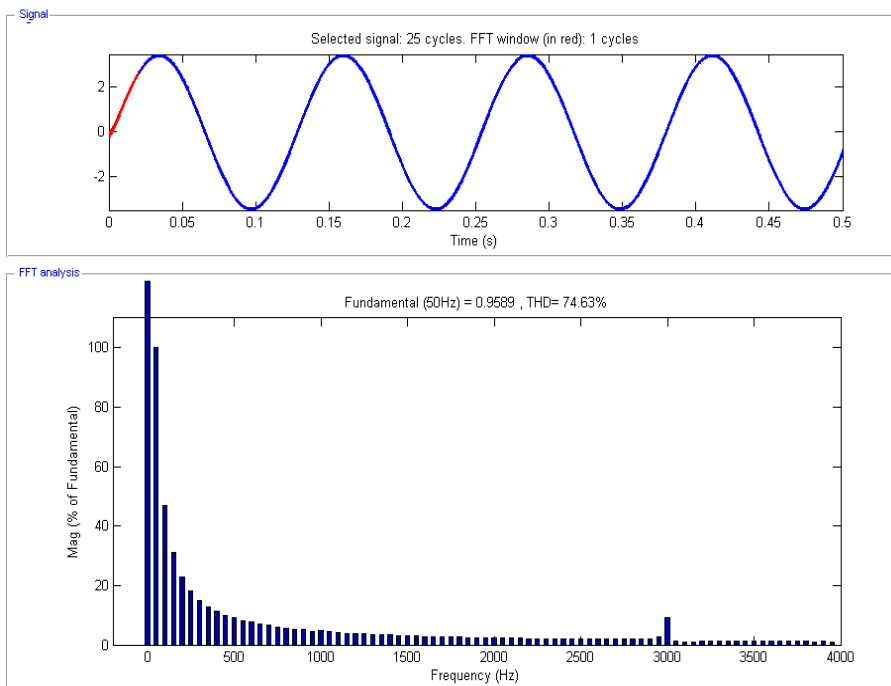
Şekil 9. Bipolar PWM İnverterin Simulink Modeli



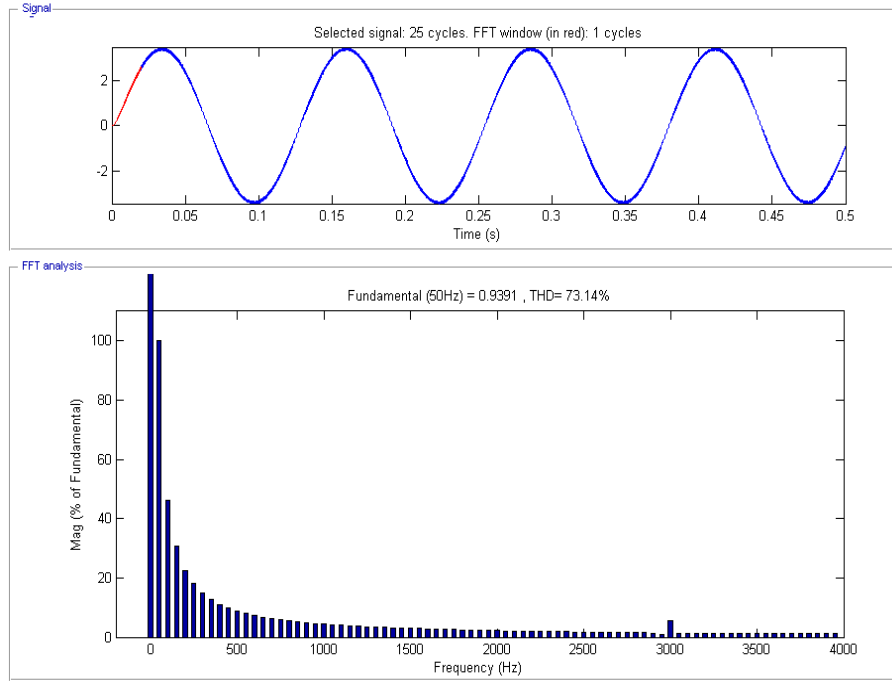
Şekil 10. 1 kHz Taşıyıcı Frekansında Filtresiz Bipolar PWM Kontrollü İnverterin FFT Analizi



Şekil 11. 1 kHz Taşıyıcı Frekansında Filtresiz Unipolar PWM Kontrollü İnverterin FFT Analizi



Şekil12. 3 kHz Taşıyıcı Frekansında Filtresiz Bipolar PWM Kontrollü İnverterin FFT Analizi



Şekil 13. 3 kHz Taşıyıcı Frekansında Filtresiz Unipolar PWM Kontrollü İnverterin FFT Analizi

Tablo 1. Farklı Büyüklüler Altında Unipolar-Bipolar PWM Karşılaştırma Tablosu

YÜK	TAŞIYICI FR.	1 KHZ		3 KHZ		7 KHZ		11 KHZ	
		UNİPOLAR	BİPOLAR	UNİPOLAR	BİPOLAR	UNİPOLAR	BİPOLAR	UNİPOLAR	BİPOLAR
1KW PF=0.90	THDI	74.93%	82.25%	73.14%	74.63%	72.92%	73.18%	72.61%	72.99%
	AKIM	0.9401	0.9985	0.9391	0.9589	0.9491	0.9571	0.9462	0.9470
3KW PF=0.90	THDI	74.94%	82.29%	73.14%	74.64%	72.93%	73.19%	72.62%	72.99%
	AKIM	2.812	2.987	2.809	2.868	2.838	2.863	2.830	2.832
5KW PF=0.90	THDI	74.95%	82.33%	73.15%	74.65%	72.93%	73.19%	72.62%	72.99%
	AKIM	4.672	4.963	4.667	4.765	4.716	4.756	4.702	4.706

4.Sonuç

Bu çalışmada, farklı taşıyıcı frekanslarında ve güçlerde, unipolar ve bipolar pwm kontrol sinyalleri Tek Fazlı Tam Dalga H-Köprü İnvertere uygulanmıştır. DC kaynaktan elde edilen AC akımın FFT'si alınarak akımdaki Toplam Harmonik Bozulma(THDI) ve kaynaktan çekilen akımın büyüklüğü yönünden karşılaştırılmıştır. Taşıyıcı frekans artırılarak elde edilen unipolar PWM ve bipolar PWM kontrol sinyallerinin invertere uygulanmasıyla, THDI ve kaynaktan çekilen akımda bir düşüş gözlenmiştir. Unipolar ve bipolar PWM yöntemleri kendi arasında karşılaştırıldığında ise unipolar PWM kontrol yönteminin hem THDI yönünden hem de kaynaktan çekilen akımın daha düşük olması yönünden avantajlar sağladığı görülmüştür. Elde edilen alternatif akımın sinüse yaklaştırılması ve dolayısıyla harmoniklerin azaltılması için filtre kullanılması iyi sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.(Pratik D. Solanki, Nikunj ve ark.).

Referanslar

Daniel W.Hart, Power Electronics, Mcgraw Hill International Edition,2011

L. Bowtell and A. Ahfock, Comparison Between Unipolar And Bipolar Single Phase Grid- Connected Inverters For Pv Applications

Pratik D. Solanki, Nikunj J. Dhimmarr and Nirav J. Patel.; Simulation of Single Phase Unipolar Sinusoidal Pulse Width Modulation Inverter with Load Voltage Regulation

Fang Z. Peng.: Introduction to Power Electronics, Dept. of Electrical and Computer Engineering Michigan State University, (August 2004)

N.Mohan, T.M.Undeland, W.P.Robbins, Power electronics-converters, applications and design , Second Edition, John Wiley & Sons Inc.,1995

M. Bilge, M. Salihmuhsin, Ş. Yılmaz, A turning point for solar energy: New generation photovoltaic inverters, SOLARTR, Uluslar arası Güneş Enerjisi Topluluğu (GÜNDER)-Ulusal Fotovoltaik Teknoloji Platformu (UFTP), 2014, İzmir, 19-21 Kasım 2014