

DÜZENLİ ÖRNEKLEMELİ SİNÜZOİDAL PWM'İN ASENKRON MOTORUN HIZ KONTROLÜNDEKİ ETKİLERİ

Hakan ÇELİK¹

Hasan KÜRÜM²

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, 23119, Elazığ

¹e-posta: hakancelik@firat.edu.tr ²e-posta: hkurum@firat.edu.tr

Anahtar sözcükler: Asenkron Motor, Simetrik ve Asimetrik Düzenli Örneklemeye, Kayma Regülasyonlu Hız Kontrol

ÖZET

Bu çalışmada simetrik düzenli ve asimetrik düzenli örneklemeli sinüzoidal darbe genişlik modülasyonunun (SPWM) mikroişlemcilerde gerçekleştirilmesi için bir yöntem gösterilmiş ve bu yöntemin Matlab/Simulink modeli yapılmıştır. Bu yöntemde temel amaç mikroişlemcilerde daha kısa sürede düzenli örneklemeli SPWM işaretlerini elde etmektir. Ayrıca karşılaştırma yapmak amacıyla doğal örneklemeli SPWM'in de Matlab/simulink modeli yapılmıştır. Asenkron motorun kayma regülasyonlu kapalı çevrim v/f hız kontrolünün Matlab/Simulink modeli oluşturularak, gerilim kaynaklı evirgeç doğal örneklemeli ve düzenli örneklemeli SPWM ile kontrol edilerek sonuçlar karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Böylece düzenli örneklemenin asenkron motorların hız kontrolü üzerindeki etkileri incelenmeye çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

Son yıllarda güç elektroniği ve mikroşlemci teknolojisindeki büyük gelişmeler ile birlikte, elektrik motorlarının kontrolünde kullanılan evirgeç tipi DC-link çeviricilerde büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Evirgeç tipi DC-link çeviricilerde kullanılan darbe genişlik modülasyonu (PWM) teknikleri sürücü performansını doğrudan etkilemektedir [1-4].

Darbe genişlik modülasyonu tekniklerinde en iyi bilinen ve endüstride yaygın bir şekilde kullanılan sinüzoidal darbe genişlik modülasyonudur. Bu darbe genişlik modülasyonu tekniği referans sinüzoidal dalga ile taşıyıcı dalganın karşılaştırılması temeline dayanır. Bu karşılaştırma işleminin mikroşlemcilerde doğal örneklemeli olarak gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Bu problem referans sinüzoidal dalganın düzenli olarak örneklenmesiyle ortadan kaldırılabilir. Referans sinüzoidal dalganın her bir anahtarlama periyodunda örneklenmesi durumu "Simetrik Düzenli Örneklemeye", her bir anahtarlama periyodunun yarısında örneklenmesi durumu ise "Asimetrik Düzenli Örneklemeye" olarak bilinir [1,3,6].

2. DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONU TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI

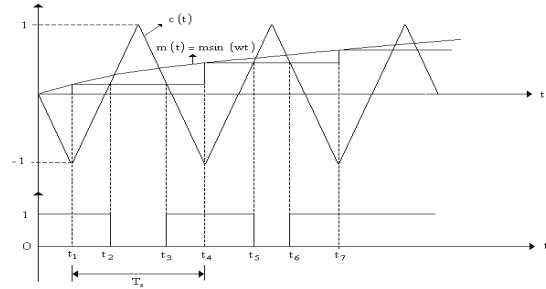
2.1. Doğal Örneklemeli Sinüzoidal PWM'in Uygulanması

Doğal örneklemeli sinüzoidal darbe genişlik modülasyonu (SPWM) analog olarak uygulanmaktadır. Bir referans sinüzoidal dalga ile taşıyıcı dalga karşılaştırılır ve PWM işaretleri elde edilir. Bu yöntemin mikroşlemcilerde gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Doğal örneklemeli PWM işaretleri üç fazlı bir sistem için üretilmek istenirse, üç ayrı referans sinyal üretilir ve bu sinyallerin her biri taşıyıcı dalga ile ayrı ayrı karşılaştırılır. Çıkış geriliminin genliği ve frekansı referans dalganın sırasıyla genliği ve frekansı ayarlanarak değiştirilir. Bu tekniğin günümüzde uygulama alanı kalmamıştır [1-3].

2.2. Düzenli Örneklemeli Sinüzoidal PWM'in Uygulanması

Doğal örneklemeli SPWM'de referans dalga ile taşıyıcı dalganın gerçek zamanlı karşılaştırılmaması nedeniyle mikroşlemcilerde bu modülasyon tekniğinin uygulanması mümkün değildir. Bu nedenle SPWM'i mikroşlemcilerde gerçekleştirebilmek için referans sinüzoidal dalga düzenli olarak örneklenir. Bu örneklemeye eğer her bir anahtarlama periyodunda yapılırsa "Simetrik Düzenli Örneklemeye", her bir anahtarlama periyodunun yarısında yapılırsa "Asimetrik Düzenli Örneklemeye" adını alır [1,3,6].

Simetrik düzenli örneklemeli SPWM'in uygulanmasında Şekil-1'de gösterildiği gibi referans sinüzoidal dalga her bir anahtarlama periyodunda örneklenir. Bu örneklemeye ile her bir anahtarlama periyodundaki lojik 0 süresi T_0 (Şekil-1 için t_3-t_2 süresi) ve lojik 1 süreleri T_p (Şekil-1 için t_2-t_1 ve t_4-t_3) denklem (1) ve (2) ile hesaplanır. Bu sürelerin hesaplanmasıyla artık PWM işareti mikroşlemcilerde dijital olarak gerçekleştirilebilir [3].



Şekil-1. Simetrik düzenli örneklemeli sinüzoidal PWM

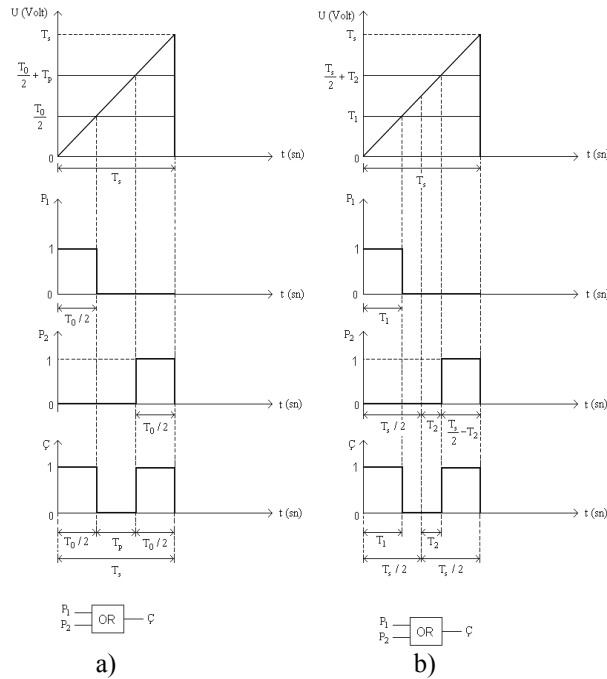
Şekil-1'de simetrik düzenli örneklenmiş dalga ile taşıyıcı dalganın kesişme noktaları bulunursa,

$$T_0 = t_3 - t_2 = \frac{T_s}{2}(1 - m \sin \omega t_1) \quad (1)$$

olarak bulunur. Burada T_s anahtarlama periyodu ve m modülasyon indeksidir. PWM işareti $T_s/2$ 'ye göre simetrik olduğundan,

$$T_p = t_2 - t_1 = t_4 - t_3 = \frac{T_s}{2} - \frac{T_0}{2} \quad (2)$$

olur. Bu süreler hesaplandıktan sonra simetrik PWM işareti Şekil-2.a'da gösterildiği gibi elde edilir. Şekil-2.a'da görüldüğü gibi denklem (1) ve (2)'den T_p ve T_0 süreleri hesaplandıktan sonra, bazı basit karşılaştırmalar ve lojik komutlar ile simetrik PWM işaretleri üretilmektedir.



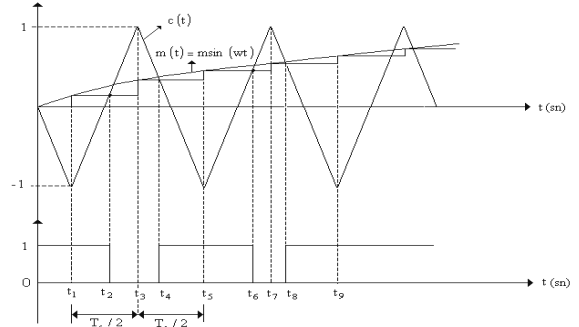
Şekil-2. a) Simetrik PWM'in gerçekleştirilmesi
b) Asimetrik PWM'in gerçekleştirilmesi

Asimetrik düzenli örneklemeli SPWM'in uygulanmasında ise Şekil-2'de gösterildiği gibi referans sinüzoidal dalga her bir anahtarlama periyodunun yarısında düzenli olarak örneklenir. Bu örnekleme ile her bir anahtarlama periyodunun ilk yarısındaki lojik 1 süresi T_1 (Şekil-3 için t_2-t_1 süresi) ve ikinci yarısındaki lojik 0 süresi T_2 (Şekil-3 için t_4-t_3) denklem (3) ve (4) ile hesaplanabilir. Bu sürelerin hesaplanmasıyla artık PWM işareti dijital olarak gerçekleştirilebilir [3].

Şekil-3'de asimetrik düzenli örneklenmiş referans sinüzoidal dalga ile üçgen dalganın kesişme noktaları bulunursa. T_1 ve T_2 süreleri aşağıdaki bulunur.

$$T_1 = t_2 - t_1 = \frac{T_s}{4}(1 + m \sin \omega t_1) \quad (3)$$

$$T_2 = t_4 - t_3 = \frac{T_s}{4}(1 - m \sin \omega t_3) \quad (4)$$



Şekil-3. Asimetrik düzenli örneklemeli PWM

Şekil-2.b'de görüldüğü gibi denklem (3) ve (4)'den T_1 ve T_2 süreleri hesaplandıktan sonra, bazı basit karşılaştırmalar ve lojik komutlar ile asimetrik PWM işaretleri üretilmektedir.

3. ASENKRON MOTOR MODELİ

Benzetimlerde üç fazlı asenkron motorun, eksen dönüşümleri yapılarak elde edilen d-q modeli kullanılmıştır [5].

Akı denklemleri;

$$\psi_{sd} = L_s \cdot i_{sd} + \frac{3}{2} L_{sr} \cdot i_{rd} \quad (5)$$

$$\psi_{sq} = L_s \cdot i_{sq} + \frac{3}{2} L_{sr} \cdot i_{rq} \quad (6)$$

$$\psi_{rd} = L_r \cdot i_{rd} + \frac{3}{2} L_{sr} \cdot i_{sd} \quad (7)$$

$$\psi_{rq} = L_r \cdot i_{rq} + \frac{3}{2} L_{sr} \cdot i_{sq} \quad (8)$$

Gerilim Denklemleri;

$$U_{sd} = R_s \cdot i_{sd} - \omega_s \cdot \psi_{sq} + p \psi_{sd} \quad (9)$$

$$U_{sq} = R_s \cdot i_{sq} + \omega_s \cdot \psi_{sd} + p \psi_{sq} \quad (10)$$

$$0 = R_r \cdot i_{rd} - \omega_k \cdot \psi_{rq} + p \psi_{rd} \quad (11)$$

$$0 = R_r \cdot i_{rq} + \omega_k \cdot \psi_{rd} + p \psi_{rq} \quad (12)$$

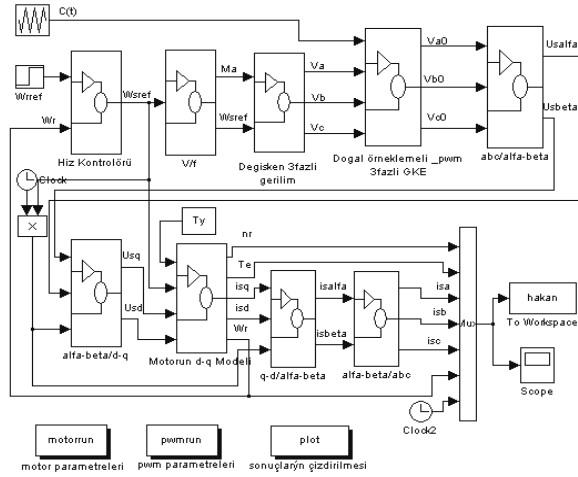
Moment ve Hareket denklemleri;

$$T_e = \frac{3}{2} \cdot \frac{P}{2} \cdot L_m (i_{sq} \cdot i'_{rd} - i_{sd} \cdot i'_{rq}) \quad (13)$$

$$T_e - T_y = \frac{2}{P} \cdot J \cdot \frac{d\omega_r}{dt} \quad (14)$$

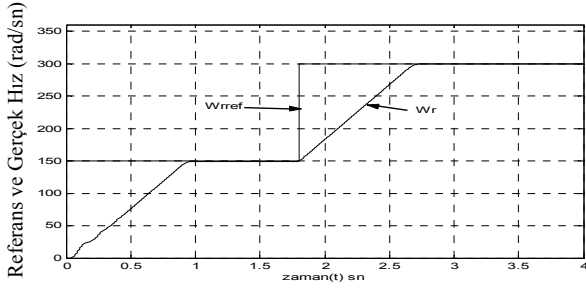
4. DOĞAL VE DÜZENLİ ÖRNEKLEMELİ SPWM İLE HIZ KONTROLÜ

Gerilim kaynaklı evirgeç (GKE), doğal örnekleme, simetrik düzenli örnekleme ve asimetrik düzenli örnekleme SPWM ile kontrol edilerek üç fazlı asenkron motorun kayma regülasyonlu hız kontrolünün, Matlab/Simulink'te benzetimi yapılmıştır [3,4]. Benzetimlerde asenkron motor $T_y=20$ Nm ile yüklenerek, anahtarlama frekansı 2 kHz alınmıştır.

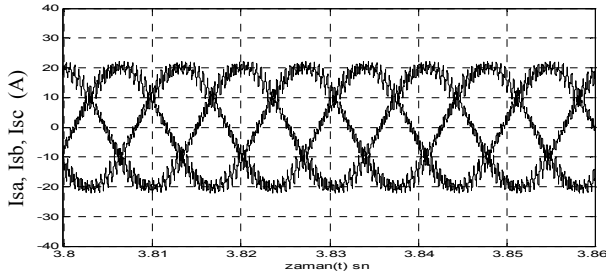


Şekil-4. Doğal örneklemeli SPWM kontrollü asenkron motorun v/f hız kontrolünün simulink modeli

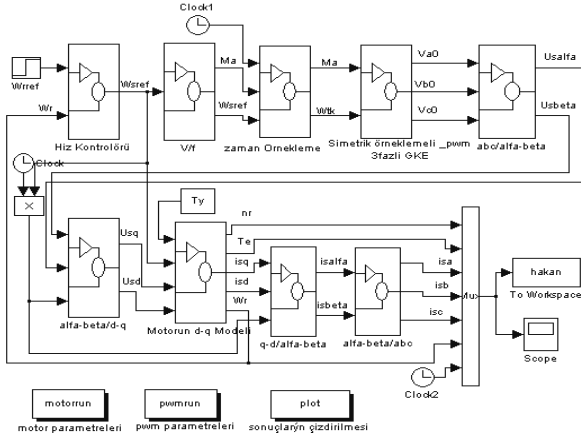
Benzetim Sonuçları;



Şekil-5. Doğal örneklemeli SPWM için referans ve gerçek hızın değişimi

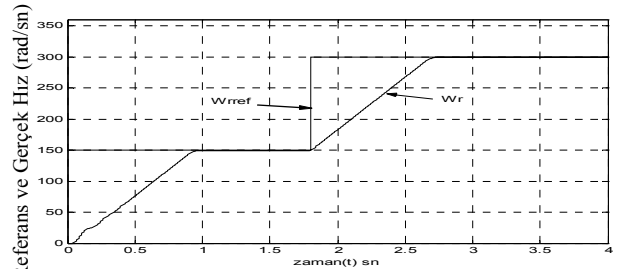


Şekil-6. Doğal Örneklemeli SPWM için sürekli rejimde stator üç faz akım değişimi

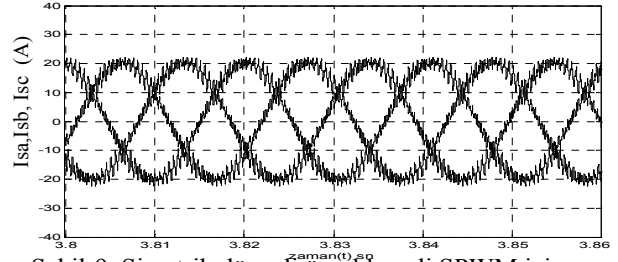


Şekil-7. Simetrik düzenli örneklemeli SPWM kontrollü asenkron motorun v/f hız kontrolünün simulink Modeli

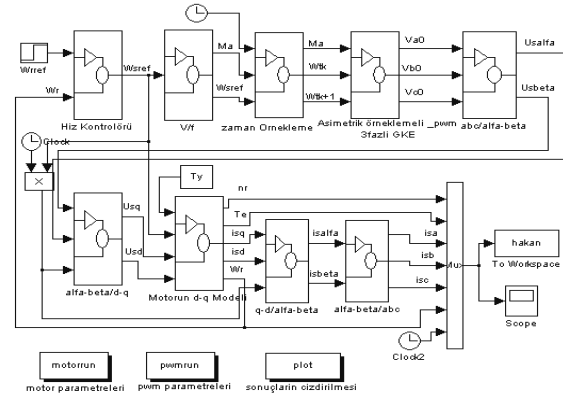
Benzetim Sonuçları;



Şekil-8. Simetrik düzenli örneklemeli SPWM için referans ve gerçek hızın değişimi

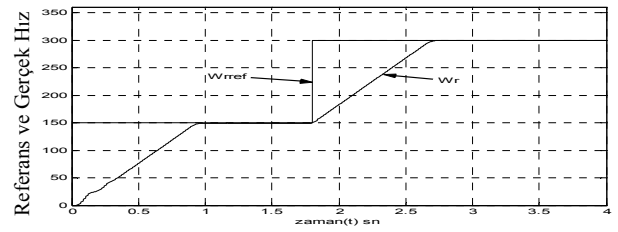


Şekil-9. Simetrik düzenli örneklemeli SPWM için sürekli rejimde stator üç faz akım değişimi

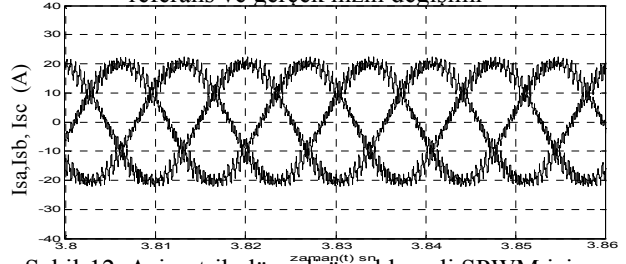


Şekil-10. Asimetrik düzenli örneklemeli SPWM kontrollü asenkron motorun v/f hız kontrolünün simulink modeli

Benzetim Sonuçları;



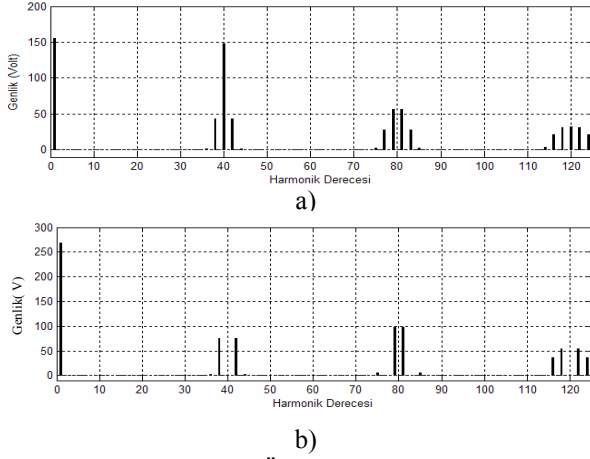
Şekil-11. Asimetrik düzenli örneklemeli SPWM için referans ve gerçek hızın değişimi



Şekil-12. Asimetrik düzenli örneklemeli SPWM için sürekli rejimde stator üç faz akım değişimi

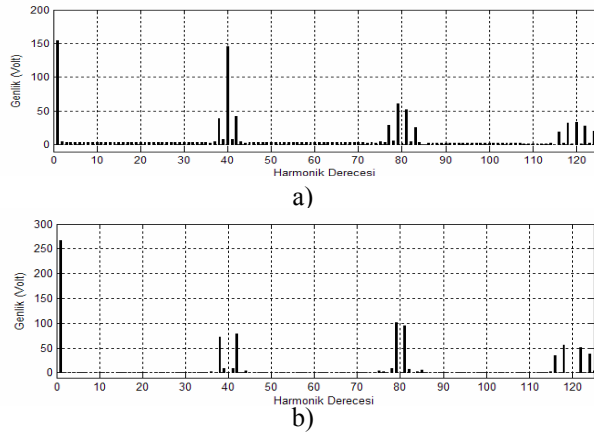
5. HARMONİK ANALİZİ

Doğal örnekleme, simetrik düzenli ve asimetrik düzenli örnekleme SPWM için $\omega=314$ rad/sn'lik elektriksel hızda sürekli rejimdeki GKE'in kutup gerilimi V_{a0} ve hat gerilimi V_{ab} 'nin harmonik analizi yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.



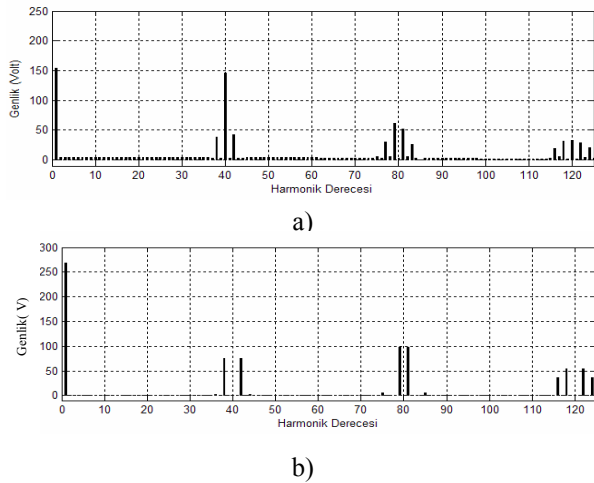
Şekil-13. Doğal Örnekleme SPWM için

- a) Evirgeç Kutup Gerilimi V_{a0} 'nin Harmonik Analizi
b) Evirgeç Hat Gerilimi V_{ab} 'nin Harmonik Analizi



Şekil-14. Simetrik düzenli örnekleme SPWM için

- a) Evirgeç Kutup Gerilimi V_{a0} 'nin Harmonik Analizi
b) Evirgeç Hat Gerilimi V_{ab} 'nin Harmonik Analizi



Şekil-15. Asimetrik düzenli örnekleme SPWM için

- a) Evirgeç Kutup Gerilimi V_{a0} 'nin Harmonik Analizi
b) Evirgeç Hat Gerilimi V_{ab} 'nin Harmonik Analizi

Benzetim programında kullanılan üç fazlı asenkron motorun parametreleri aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} U_{f,r} &= 230 \text{ V} & P_b &= 7.36 \text{ kW} & f_n &= 60 \text{ Hz} \\ T_n &= 40.2 \text{ Nm} & P &= 2 \text{ (çift kutup sayısı)} \\ R_s &= 0.242 \text{ ohm} & R_r' &= 0.144 \text{ ohm} \\ L_{ls} &= 1.686 \text{ mH} & L_{lr}' &= 1.124 \text{ mH} & L_{sr} &= 33.888 \text{ mH} \\ J &= 0.88 \text{ Kg.m}^2 \text{ (Eylemsizlik Momenti)} \end{aligned}$$

6. SONUÇLAR

Bilindiği gibi SPWM'in harmonik analizinde çıkış frekansında $M_a \cdot V_{dc}/2$ (M_a : Modülasyon indeksi) genliğine sahip temel bileşen ile anahtarlama frekansında büyük genliğe sahip bileşenlerden oluşmaktadır. $\omega=314$ rad/sn'lik elektriksel hız için hem doğal örnekleme hem de düzenli örnekleme SPWM için, GKE'in kutup gerilimi ve hat gerilimlerinin harmonik analizi yapılarak bu durum gösterilmeye çalışılmıştır. Harmonik analiz sonuçlarından doğal örnekleme ve düzenli örnekleme SPWM'in harmoniklerinin yaklaşık olarak aynı olduğu fakat düzenli örnekleme SPWM'de anahtarlama frekansındaki harmoniklerin daha fazla yan banda sahip olduğu görülmektedir.

Simetrik düzenli örnekleme ile asimetrik düzenli örnekleme karşılaştırıldığında ise simetrik düzenli örneklemede PWM işareti $T_s/2$ 'ye göre simetrik olduğundan gerçekleştirilmesi daha kolaydır fakat asimetrik düzenli örneklemenin harmonik içeriğinin doğal örnekleme için elde edilen sonuçlara daha fazla benzediği görülmektedir. Bu durum akım ve hız dalga şekillerinden de görülmektedir. Dolayısıyla asimetrik düzenli örneklemenin doğal örneklemeyle daha iyi temsil ettiği söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Chaudhari B. N., Fernandes B. G., EPROM-Based Modulator for Synchronized Asymmetric Regular-Sampled SPWM Technique, IEEE International Conference on Industrial Technology, India, 2000
- [2] Gürdal, O., Gökaşan, M., Boğosyan, S., Güç Elektroniği, Literatür yayımları, Eylül, 2003.
- [3] Çelik, H., Uzay Vektör Darbe Genişlik Modülasyonu ile Üç Fazlı Asenkron Motorun Hız Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2004.
- [4] Bose, B. K., Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall PTR, 2002.
- [5] Akın, E., Stator Akıları Üzerinden Asenkron Motorun Rotor Akısı Alan Yönlendirmesi İçin Bir Yöntem, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1994.
- [6] Zhou Z., Yang G., Li T., Design and Implementation of an FPGA-Based 3-Phase Sinusoidal PWM VVVF Controller, Applied Power Electronics Conference, California, 2004