

Kaskat Bağlı Çok Seviyeli Eviriciden Beslenen Asenkron Motorun Kapalı Çevrim Hız Kontrolü

Ayşe Kocalmış Bilhan¹

Sedat Sünter²

Hüseyin ALTUN³

^{1,2}Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ

³Elektrik Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ

¹e-posta: akocalmis@firat.edu.tr

²e-posta: ssunter@firat.edu.tr

³e-posta: haltun@firat.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, kaskat bağlı üç seviyeli evirici asenkron motor sürücüsünün kapalı çevrim hız kontrolü gerçekleştirilmiştir. Çok seviyeli evirici sürücü sistem kontrolünde uzay vektör darbe genişlik modülasyon tekniği (UVDGM) kullanılmıştır. Önerilen kontrol algoritması ile üç seviyeli eviriciden beslenen asenkron motor sürücü sistemin modellenmesi ve benzetimi gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçları sürücü sistemin iyi bir performansa sahip olduğunu göstermektedir.

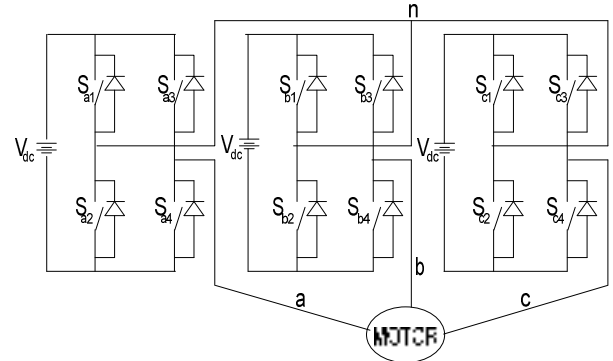
1. Giriş

Son yıllarda, yüksek performanslı güçlü eviricilere olan ilgi günden güne artmaktadır. Çok seviyeli evirici yapısı yüksek güç ve yüksek gerilim uygulamalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni; seri elemanlar arasındaki büyük gerilimlerin paylaşımının oldukça kolay olması ve iki seviyeli eviricilere göre daha iyi harmonik içeriğine sahip olmalarıdır. Yüksek güç uygulamalarında gerilim ve akımların yükseltilmesi gerekmektedir [1,2]. Ancak bu durum güç yarı iletken elemanlarında bazı problemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Sistemlerde kullanılan paralel elemanlar yüksek akım değerlerine ulaşılmasını sağlarken, seri bağlantı ise yüksek gerilimlerin anahtarlarda eşit olarak paylaşılmasını sağlar. Bununla birlikte, elemanların bir zincir gibi seri olarak bağlanmasıyla gerçekleştirilen statik ve dinamik gerilim paylaşımı anahtarlar arasında problemlere neden olur. Bu nedenle uygulanabilecek en iyi metot, DC gerilim kaynakları veya teoride gerilim kaynağı gibi davranan kondansatörler kullanmaktır. Çok seviyeli evirici yapısı da bu temele dayanmaktadır. Böylece elemanlardaki gerilimler kontrol edilebilmekte ve sınırlanabilmektedir. Çok seviyeli evirici yapısı üç-seviye ile başlamaktadır. Seviye sayısının artmasıyla beraber, çıkış gerilimi merdiven tipi dalga şekli haline alır. Seviye sayısı sonsuza ulaştığı anda ise saf bir sinüs işaret elde edilir. Ayrıca, çok seviyeli evirici devre yapısı sayesinde elemanlar üzerinde gerilim stresleri de azalır [3-4].

Günümüzde, nötr noktası bağlı çok seviyeli (diyot kenetlemeli), kapasite kenetlemeli çok seviyeli ve kaskat bağlı H-Köprü çok seviyeli evirici olmak üzere üç çeşit çok

seviyeli evirici yapısı kullanılmaktadır. Diyot kenetlemeli çok seviyeli eviricinin bir bacağı klasik iki seviyeli eviriciye göre fazladan bir gerilim seviyesi üretmektedir. Diyot kenetlemeli eviricide bağlantı diyotlar ile sağlanmaktadır. Kapasite kenetlemeli de ise, diyot kenetlemeli çok seviyeli evirici gibi birbirine seri bağlı elemanlar kullanılmaktadır. Ancak bu devre yapısında düğümden düğüme kondansatör bağlanmaktadır. Kaskat bağlı H-Köprü yapısı ise temel iki seviyeli evirici yapısının birbirine bağlanması esasına dayanmaktadır.

Kaskat bağlı H-Köprü evirici devresindeki anahtarların birçok kombinasyonu ile değerleri $+V_{dc}/2$, 0 , $-V_{dc}/2$ olacak şekilde üç seviyeli çıkış gerilimi elde edilebilir [3]. Şekil 1'de Kaskat bağlı H-Köprü eviricinin temel yapısı gösterilmektedir. Bu devre yapısı ile, faz geriliminde üç seviye, hat geriliminde ise beş seviyeye ulaşılır.



Şekil 1: Kaskat Bağlı Üç-Seviyeli Evirici Devre Şeması.

Bu çalışmada, Kaskat bağlı H-Köprü evirici yapısı incelenmiştir. Bu devre için izoleli DC link gerilimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, birden fazla birbirinden izoleli DC güç kaynağı kullanılmalıdır. Gerilim paylaşımı bu izoleli DC kaynaklar ile sağlanmaktadır. Böylece elemanların gerilimleri kontrol edilebilmekte ve sınırlanabilmektedir. Çıkışta daha yüksek gerilim seviyelerine ulaşabilmek için H-Köprü devrelerinin sayısı artırılabilir. Bu şekilde çok yüksek gerilimli eviriciler yapılabilir. H-Köprü yapısının modüler tasarımından dolayı üretimi ve onarımı oldukça kolay yapılmaktadır [5].

Kullanılacak her bir çıkış fazı için H-Köprü devre sayısı ve ulaşılabilecek gerilim seviyesi arasındaki bağıntı şu şekilde verilebilir;

$$H_b = \frac{N-1}{2} \quad (1)$$

Burada; N seviye sayısını, H_b ise kullanılacak olan H-Köprü sayısını göstermektedir.

Çok seviyeli eviricilerde darbe genişlik modülasyonu (DGM) tekniği iki seviyeli eviricilere göre daha zordur. Sinüsoidal darbe genişlik modülasyonu (SDGM) bir sinüs dalga iki ya da daha fazla üçgen dalga ile karşılaştırılmaktadır. Üçgen dalganın sayısı seviye ile birlikte artmaktadır. Bu nedenle, pratik olarak bunu gerçekleştirmek zordur. Son yıllarda birçok DGM tekniği geliştirilmiştir. Bunlardan bir kaç: Üçüncü Harmonik İlaveli DGM, Sigma-Delta DGM, vb. Ancak bu teknikler içerisinde en popüler olan teknik Uzay Vektör DGM tekniğidir (UVDGM). Bu algoritma ile SDGM'ye göre daha yüksek gerilim seviyelerine ulaşılabilir ve daha iyi harmonik içerik elde edilebilir. Bu tekniğin bir diğer avantajı ise, uygun anahtarlamaların kullanılmasıyla düşük anahtarlama frekansında çalışabilir olmasıdır. Ancak, evirici anahtarlama durumlarının sayısının fazla olması UVDGM algoritmasının çok seviyeli eviricilerde uygulanmasını oldukça karmaşık hale getirmektedir.

2. Uzay Vektör DGM

Modülasyon tekniklerinin temel amaçları; daha düşük harmonik bozulmaya sahip olması, daha düşük anahtarlama kayıplarının olması ve geniş bir modülasyon aralığında çalışması olarak sıralanabilir [5-6]. Bu nedenle, birçok modülasyon tekniği geliştirilmiştir. Bunlardan biri de uzay vektör modülasyon tekniğidir. Bu teknik, yüksek verime sahip olması ve hassas hesaplamalarının olması dolayısıyla oldukça popüler olmaya başlamıştır. Bu teknik ile çıkış geriliminde daha az harmonik bozulma elde edilmektedir. Ayrıca bu teknik, kaynak geriliminden daha fazla yararlanma imkanı vermektedir. Bu yüzden UVDGM tekniği sürücü uygulamalarında diğer DGM tekniklerine göre günümüzde daha yaygın olarak tercih edilmektedir [7-8].

UVDGM'nin kullanımı iki-seviyeden daha üst seviyeler için oldukça karmaşıktır. Örneğin 9 seviyeli evirici için 217'si aktif gerilim vektörü olmak üzere toplam olarak 729 anahtarlama durumu bulunmaktadır. Bununla beraber, yüksek seviyelerde anahtarlama durumlarının sıra seçimi de değişmektedir.

Anahtarlama durumları ve aktif gerilim vektörleri;

$$N = n^3 \quad (2)$$

$$N_h = 1 + 6 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} i \quad (3)$$

olarak hesaplanabilir. Burada; n seviye sayısını, N anahtarlama durumlarını, N_h ise aktif gerilim vektörlerini göstermektedir.

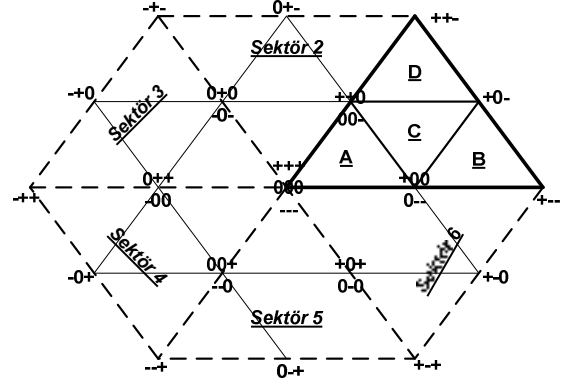
UVDGM tekniğinde ortak gerilim vektörü; üç yakın vektör kullanılarak hesaplanır. Her gerilim vektörünün süresi vektör hesaplanmasıyla elde edilir [3];

$$T_1 V_1 + T_2 V_2 + T_3 V_3 = T_s V^* \quad (4)$$

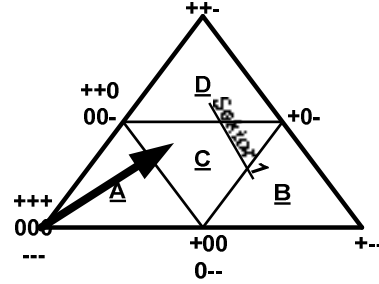
$$T_1 + T_2 + T_3 = T_s$$

Burada V_1 , V_2 , ve V_3 vektörleri V^* 'nin bulunduğu üçgen bölgeleri göstermektedir. T_1 , T_2 , ve T_3 uygun vektör süreleri ve T_s anahtarlama süresidir.

Üç seviyeli bir evirici $3^3=27$ anahtarlama durumu ile gösterilir [7]. Üç seviyeli uzay vektör eviriciye ait diyagram Şekil 2'de gösterilmektedir. Ayrıca üç seviyeli evirici için çizilen bu diyagramda 6 sektör (Sektör1-Sektör6) ve 4 bölge (A,B,C,D) de gösterilmiştir. Bütün sıfır durumları altıgenin merkezinde ve diğer gerilim vektörleri ise her bir üçgenin köşelerinde bulunmaktadır. Şekil 2'de gösterilen “+” $+V_{dc}/2$ voltu, “-” $-V_{dc}/2$ voltu ve “0” 0 voltu göstermektedir. Tablo 1'de ise anahtarlama durumları verilmiştir [9, 11].



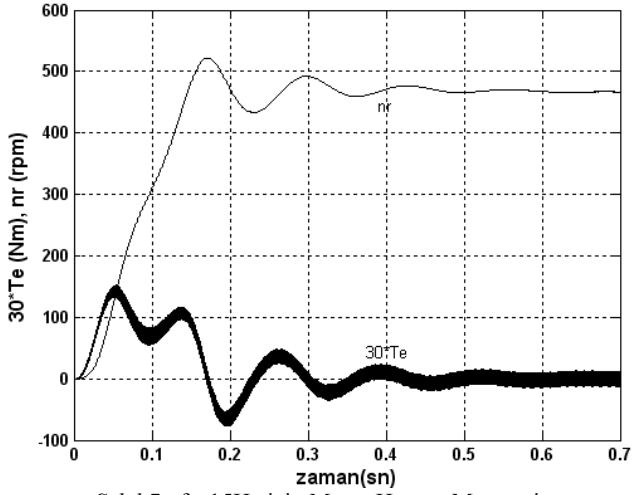
Şekil 2: Üç Seviyeli Eviricinin Uzay Vektör Diyagramı



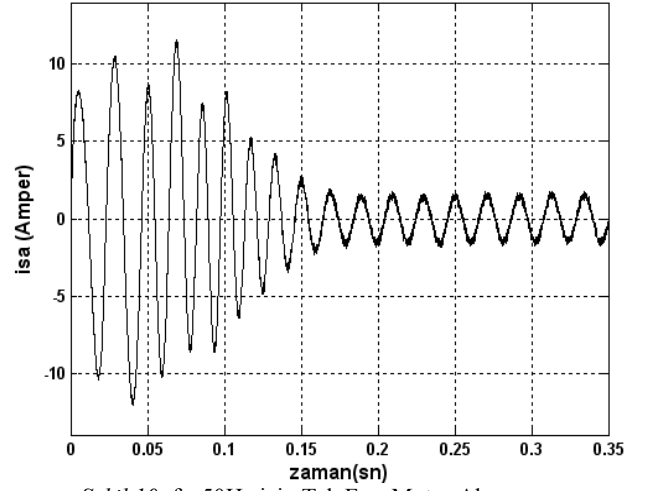
Şekil 3: Sektör A için Uzay Vektör Diyagramı

Tablo 1 Anahtarlama Durumları (X=A,B,C fazları)

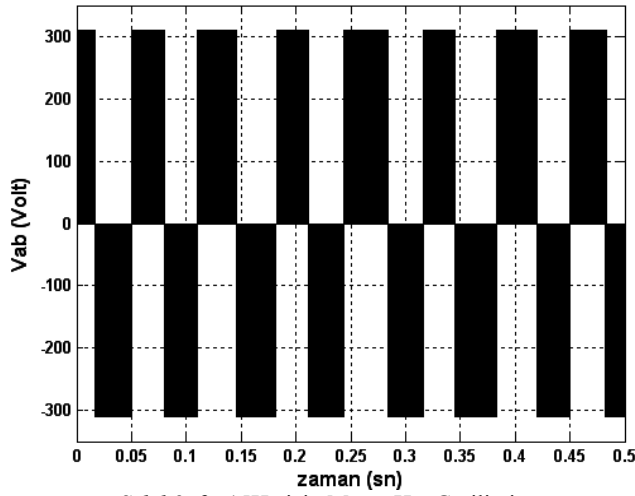
V_{x0}	S_{x1}	S_{x2}	S_{x3}	S_{x4}
$V_{dc}/2$	1	0	0	1
0	1	1	0	0
0	0	1	0	1
$-V_{dc}/2$	0	1	1	0



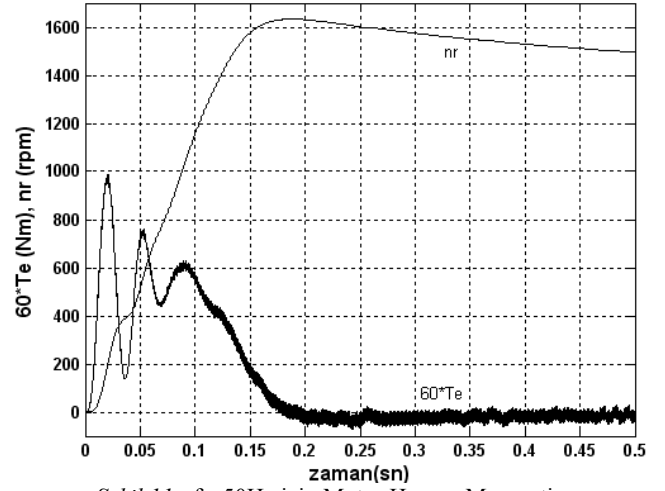
Şekil 7: $f_0=15\text{Hz}$ için Motor Hızı ve Momenti



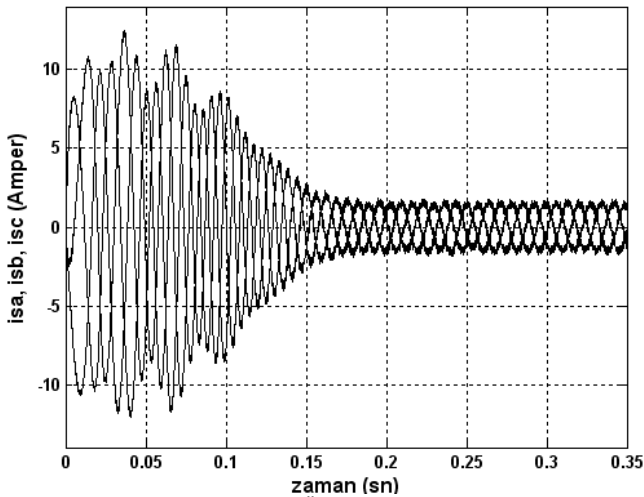
Şekil 10: $f_0=50\text{Hz}$ için Tek Faz Motor Akımı



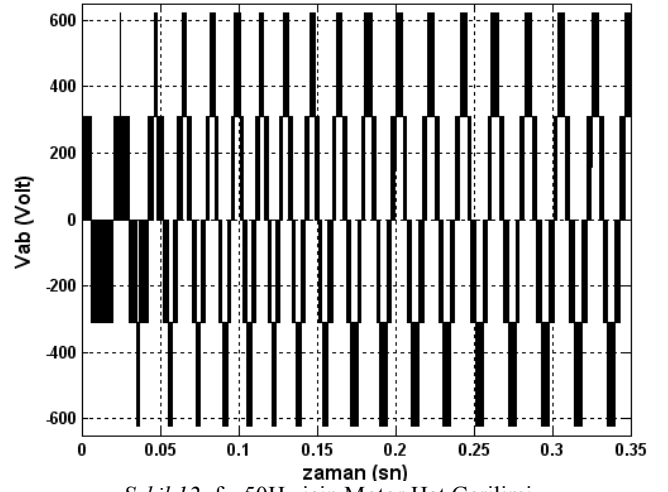
Şekil 8: $f_0=15\text{Hz}$ için Motor Hat Gerilimi



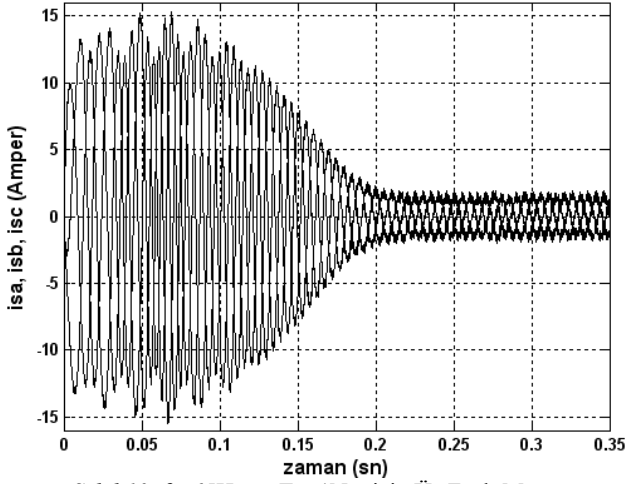
Şekil 11: $f_0=50\text{Hz}$ için Motor Hızı ve Momenti



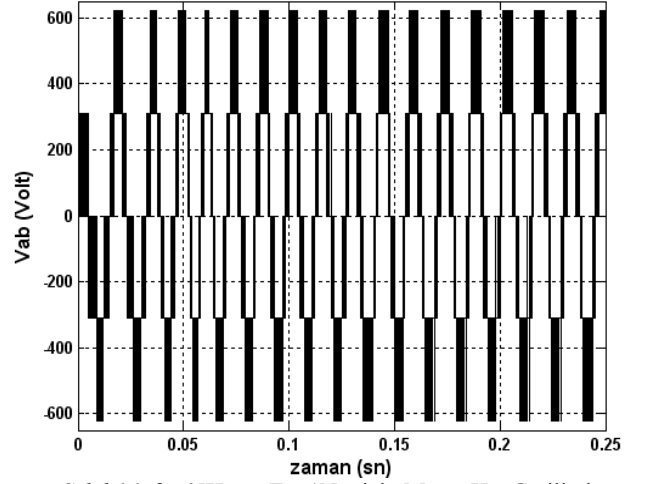
Şekil 9: $f_0=50\text{Hz}$ için Üç Fazlı Motor Akımları



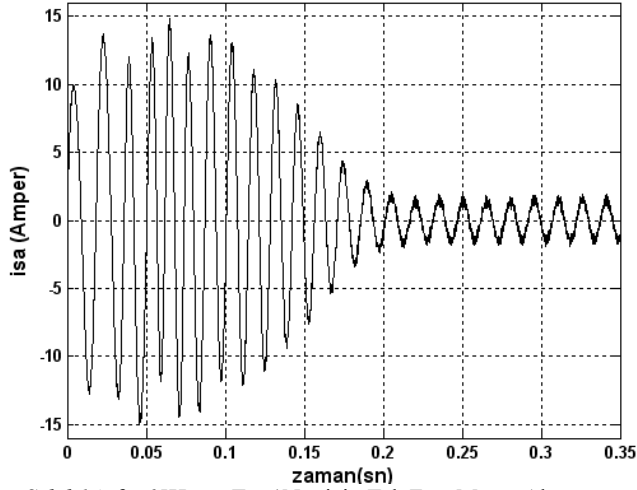
Şekil 12: $f_0=50\text{Hz}$ için Motor Hat Gerilimi



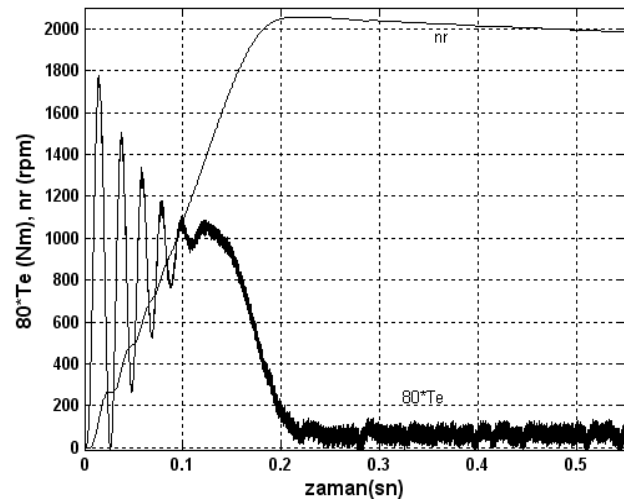
Şekil 13: $f_0=65\text{Hz}$ ve $T_y=1\text{Nm}$ için Üç Fazlı Motor Akımları



Şekil 16: $f_0=65\text{Hz}$ ve $T_y=1\text{Nm}$ için Motor Hat Gerilimi



Şekil 14: $f_0=65\text{Hz}$ ve $T_y=1\text{Nm}$ için Tek Faz Motor Akımı



Şekil 15: $f_0=65\text{Hz}$ ve $T_y=1\text{Nm}$ için Motor Hızı ve Momenti

Moment ve akım dalga şekillerindeki gürültüler benzetimde kullanılan anahtarlama frekansının düşük (1kHz) olmasından dolayı oluşmaktadır. Gürültü seviyesi filtre kullanılarak ya da daha yüksek anahtarlama frekansında çalışarak azaltılabilir. Şekil.7'de verilen momentteki dalgalanma Şekil.11 ve Şekil.15'deki moment dalgalanmalarına göre daha fazladır. Çünkü Şekil.7'deki sonuçlar düşük modülasyon indeksine sahip olduğundan çıkış hat gerilim dalga şekilleri üç seviyeli olmaktadır ve bu durumda harmonikleri beş seviyeli dalga şekillerine göre daha fazla olacağından akım ve momentteki dalgalanmalar da artacaktır.

4. Sonuçlar

UVDGM tekniği kullanılarak üç seviyeli eviricinin bir asenkron motoru beslemesi durumunda kapalı çevrim hız kontrolü MATLAB/Simulink paket programı kullanılarak modellenmiştir. Benzetim sonuçları 1kHz'lik anahtarlama frekansında üç değişik çalışma şartı için verilmiştir. Dalga şekillerinden görüldüğü gibi üç seviyeli eviriciden beslenen asenkron motor sürücü sistemi için kullanılan anahtarlama frekansı 1kHz olmasına rağmen oldukça düzgün motor akım dalga şekilleri elde edilmiştir.

EK: Motor Parametreleri

4 kutuplu, 380V, 50 Hz sincap kafesli asenkron motor;
Frekans oranı: 0-65 Hz
Stator Direnci (R_s): 7 Ω
Rotor Direnci (R_r): 6 Ω
Stator Kaçak İndüktansı (L_s): 0.52mH
Rotor Kaçak İndüktansı (L_r): 0.52mH
(L_m): 0.5mH
Eylemsizlik (J): 0.0085kgm ²
P_N : 1.1kW
T_N : 7.62Nm

5. Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir (Proje No:108E151). Yazarlar desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederler.

6. KAYNAKLAR

- [1] A. Nabae, I. Takahashi and H. Akagi, "A new neutral-point-clamped pwm inverter", *IEEE Trans. on Industry App.*, Vol. 17, No.5, pp.518-523, September/October 1981.
- [2] Gupta, A.K., Khambadkone, A.M., "A Space Vector PWM Scheme for Multilevel Inverters Based on Two-Level Space Vector PWM", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.53, Page(s):1631 – 1639, Oct. (2006).
- [3] A. Kocalmis, "Modelling and simulation of a multilevel inverter using SVPWM", MSc Thesis, Institute of Science, Firat University, 2005.
- [4] M. Manjrekar and G. Venkataramanan, "Advanced Topologies and Modulation Strategies for Multilevel Inverters", *Power Electronics Specialists Conference*, Vol. 2, 23-27 June 1996, pp. 1013-1018.
- [5] S.K. Mondal, J.O.P. Pinto, and B.K. Bose, "A neural-network-based space vector PWM controller for a three-level voltage-fed inverter induction motor drive", *IEEE Trans. on Industry App.*, Vol. 38, no. 3, pp.660-669, May/June 2002.
- [6] S.K., Mondal, B.K., Bose, V., Oleschuk, J.O.P., Pinto, "Space vector pulse width modulation of three-level inverter extending operation into overmodulation region", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.18, pp.604 – 611, March 2003.
- [7] Kocalmış, A., Sünter, S., "Application of a Neural Network Based Space Vector PWM Algorithm To Multi-Level Inverters", *International Aegean Conference on Electrical Machines and Power Electronics and Electromotion Joint Conference, ACEMP'07*, Bodrum, Turkey, 10-12 September 2007.
- [8] Park, Y.M., Yoo, J.Y., Lee, S.B., "Practical Implementation of PWM Synchronization and Phase-Shift Method for Cascaded H-Bridge Multilevel Inverters Based on a Standard Serial Communication Protocol", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.44, No:2, Page(s):634 – 643, March/April (2008).
- [9] Aneesh, M. A. S., Gopinath, A., Baiju, M. R., "A Simple Space Vector PWM Generation Scheme for Any General n-Level Inverter", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.56, No:5, Page(s):1649-1656, May (2009).
- [10] Celenovic, N., "Space Vector Modulation and Control of Multilevel Converter", Doctor of Philosophy, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, September, 2000.
- [11] Ryvkin, S., Obermoeller, R.S., Steimel A., "Sliding-Mode-Based Control for a Three Level Inverter Drive", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol.55, No.11, Page(s):3828 – 3835, November (2008).