

ASENKRON MOTORUN BOŞTA ÇALIŞMA VERİMİNİN ARTTIRILMASI VE DSP TABANLI UYGULAMASI

The Increase the no-Load-Operation Efficiency of Induction Motor and Application based DSP

Yasemin Önal¹, Metin Kesler²

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Bilecik Ş.E. Üniversitesi
yasemin.onal@bilecik.edu.tr

²Bilgisayar Mühendisliği
Bilecik Ş.E. Üniversitesi
metin.kesler@bilecik.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, üç fazlı asenkron motorların boşta çalışma verimlerini arttırmak için dijital sinyal işlemci (DSP) tabanlı bir uygulama geliştirilmiştir. Asenkron motorlar nominal yükün altında veya boşta çalışırken gerektiğinden fazla güç tüketmektedir. Gerilim kontrol denetleyicisinde faz kaynak gerilimi arasında her bir faza ters paralel bağlanmış 2 tane tristör kullanılmakta ve 3-fazlı gerilim kısıyıcı/denetleyici kartında tristörlerin alfa tetikleme açısının (α) değeri DSP'den dijital port aracılığı ile elde edilmektedir. Boşta çalışma durumunda DSP ile tristörlerin iletme geçme süreleri geciktirilerek asenkron motorun gerilimi azaltılmakta ve böylece motorun harcandığı güç azaltılmaktadır.

Önerilen denetim yöntemi sayesinde boşta çektiği güç azaltılarak yaklaşık % 30 civarında enerji verimliliği sağlanmaktadır. Testler 1.1kW'lık 3 fazlı sincap kafesli asenkron motor kullanılarak yapılmıştır. Önerilen yöntemin deneysel çalışması yapılarak sonuçlar tablo halinde verilmiştir. Elde edilen sonuçlar; DSP tabanlı gerilimin kontrol yöntemi kullanarak asenkron motorun boşta çalışma veriminin artırılabilirdiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: DSP, Asenkron Motor, Verim, Stator Gerilim Kontrolü.

Abstract

In this study, a method based digital signal processor (DSP) has been suggested to increase the no-load-operation efficiency of three-phase induction motor. The total power consumption from source of induction motors operating under the nominal load power is equal to the power consumption operating at nominal load. Two thyristor has been used connected in pareler to the opposite to each phase between phase and source voltage in voltage control controller and the value of trigger angle α of thyristor in 3 phase voltage chopper / controller card has been obtained by digital port from DSP. The voltage of induction motor has been reduced by delayed turn on time of thyristor with DSP in no-load operation and thus the power consumption of motor has been reduced.

Due to the suggested control method, Energy efficiency of about 30% is provided by no-load operation power consumption is decreased. The tests have been performed by using 1.1kW 3-phase squirrel cage induction motor. Experimental study of the suggested method have been performed and the results are given. The results show that the no-load operation efficiency of induction motor can be increased by controlling the voltage by DSP.

Key Words: DSP, Induction Motor, Efficiency, Stator Voltage Control.

1. Giriş

Elektriksel kontrol sistemleri günümüz endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. DA motorların hız kontrol mekanizmalarının basitliği, mekaniksel karakteristikleri ve genel endüstriyel kullanımlara oldukça uygun olmasından dolayı çok uzun bir zaman uygulamaların çoğunluğunda kullanılmaktadır. DA motorların mekanizmalarının fırçalar ve komütatörler arasında frekans uyumsuzluğu meydana getirmesinden ve bunun sonucu olarak tamir edilmelerini zorlaştıran mekanik aşınma oluşturmasından dolayı DA motorların yerini asenkron motorlar almaktadır[1].

Asenkron motorlar üreticiler tarafından belirlenen nominal gerilim ve frekansında tam yükte çalıştırıldıklarında en az kayıpla çalışacak şekilde tasarlanmaktadır. Genellikle motorlar karşılayacakları en büyük yüke göre seçildiklerinden, çalışma periyodunun büyük bir kısmında çok düşük verimlerde çalışmakta ve büyük bir enerji tüketimine sebep olmaktadır. Ayrıca, güç katsayıları da çok düşük olduğundan şebekeyi olumsuz etkileyerek hatlarda ilave kayıplara neden olmaktadır. Bu tip uygulamalar için enerji optimizasyonu çok önemlidir [2].

Gerilim kontrolü ile enerji optimizasyonu uygulanan gerilimin azaltılması ile yapılmaktadır. İyi olarak nitelendirilen enerji tasarrufu düzenlemelerinde akımın ve güç faktörünün azaltılması yöntemleri kullanılmaktadır. Fakat sistem dinamikleri kısıtlı olmaktadır [3-4]. Statik yol vericiye dayalı A.C. gerilim denetleyicisinin geleneksel yol vericilere göre yumuşak hızlanma, kolay

akım kontrolü, hat gerilimine açık devre geçiş ve düşük yük durumunda enerji optimizasyonu gibi daha fazla avantajı bulunmaktadır [5].

Günümüz endüstrisinde, asenkron motorların hız, moment veya konum denetiminde yüksek hızlı ve doğruluklu işlem başarımının elde edilmesinde ve daha karmaşık denetim yöntemlerinin uygulanmasında sayısal sinyal işleyiciler önemli yer tutmaktadır. Güç elektroniği ve sürücü düzeneklerinde kullanılan yarı iletken anahtarların daha hızlı ve daha karmaşık denetimleri, sürekli gelişen mikroişlemci teknolojisiyle daha kolay yapılabilmektedir. Bu işaret işleyiciler DSP olarak tanımlanmaktadır [6].

Bu çalışmada kapsamında her türlü evirici, çevirici ve gelişmiş ileri düzey motor denetimi için üretilmiş olan eZdspF28335DSK kullanılmaktadır. Bu DSP ile bilgisayarın USB portu üzerinden TI firmasının CCS2000 (Code Composer Studio 2000) ara yüz yazılımı üzerinden programlanarak asenkron motorun boşa daha verimli çalışması denetlenmektedir.

2. Asenkron Motorun Çalışma Prensipleri

Asenkron motorlarda üretilen elektromanyetik momenti eşitlik 1'de verilmektedir:

$$\tau_{em} = K \cdot I_m \cdot I_r \quad (1)$$

olarak verilmektedir. Burada K motor sabiti, I_m mıknatıslanma akımı ve I_r rotor akımını vermektedir. Gerilim manyetik akı ilişkisi eşitlik 2'de verilmektedir [2]:

$$V_m = k_1 \omega_s \psi_m \quad (2)$$

Burada ω_s stator akımı açısal frekansı, ψ_m hava boşluğu akısıdır.

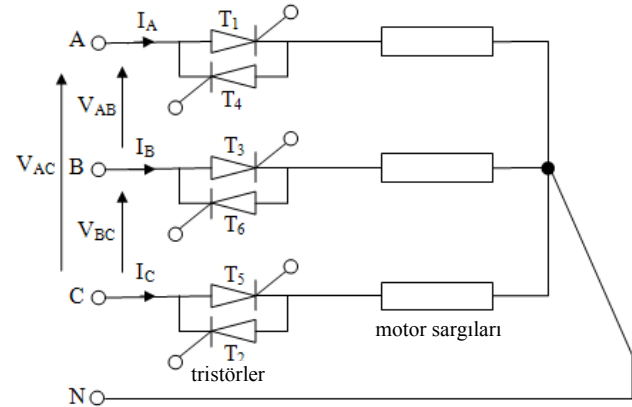
Asenkron motorlar genellikle sabit gerilim ve frekans için üretilmektedirler. Motorların kontrol edilmesinde kullanılan klasik yol V/Hz oranını yaklaşık olarak sabit tutmaktır. Böyle yapılmasıyla, nüve kayıpları ve mıknatıslanma akımının indüklediği stator bakır kaybı sabit tutulmaktadır, bu yüzden düşük yükte motor verimi keskin bir şekilde azalmaktadır. Belirli bir hız ve yük momenti için, stator frekansı arttırılırsa stator gerilimi azaltılabilmektedir. Bu nüve kayıplarını ve stator bakır kaybını azaltmaktadır fakat rotor bakır kaybını arttırmaktadır. Gerilim ve ana akı aşırı azaltılırsa nüve kayıpları çok düşmektedir fakat rotor kayıpları ve rotor akımının endüklediği stator bakır kayıpları aşırı şekilde artmaktadır. Her yük ve hız için motor kayıplarının minimum olduğu bir akı seviyesi vardır [7].

Motor nominal yükün altında çalıştığında kayma azalacağı için rotor akımı azalacaktır. Stator gerilimi değişmediğinden mıknatıslanma akımı aynı normal yükteki değerinde kalarak aşırı bir mıknatıslanma oluşacaktır. Bunun sonucunda güç katsayısı azalacak, kayıplar artacağı için verim düşecektir. Bu nedenle nominal yükün altında çalışan bir asenkron motorun kayıplarını azaltmak için hava aralığındaki manyetik akımın değerini düşürmek dolayısıyla motorun gerilimini

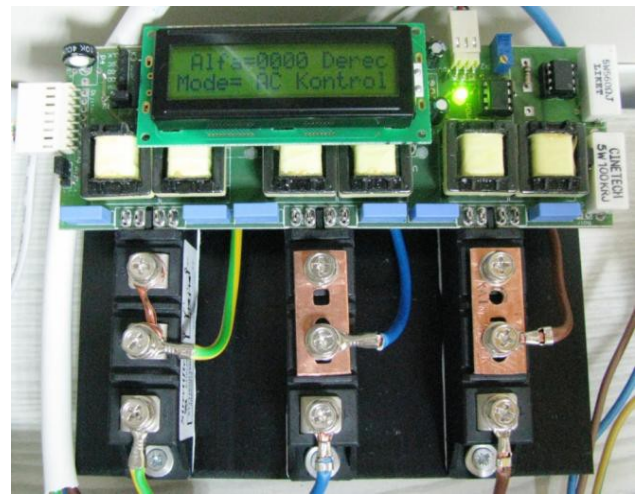
düşürmek gerekmektedir. Fakat gerilim yük momenti için gerekli akıyı oluşturacak değer altına düşürülmemelidir. Aksi durumda motor duracaktır.

Deneysel çalışmada Şekil 1'de verilen 3 fazlı AA gerilim kısıyıcı tekniği ile çalışan Şekil 2'de resmi verilen dsPIC mikro denetleyici tabanlı 3-fazlı gerilim kısıyıcı/denetleyici kartı kullanılmıştır. 3-fazlı gerilim kısıyıcı kartı A-B-C fazlarından alınan referans sinyaller yardımıyla kaynak gerilimi ile senkron sıfır geçiş sinyalleri üretmekte ve tristör tetikleme sinyallerinin süre ve zamanı belirlenmektedir [8].

DSP ortamında geliştirilen denetim algoritması asenkron motor nominal yükün altında çalışırken motora uygulanan gerilim, Şekil 2'de verilen 3-fazlı gerilim kısıyıcı kartı kullanarak azaltılmaktadır. Motor boşa çalışırken motora uygulanan gerilim azaltıldığında çekilen akım azalacağından motorun çektiği güç azaltılmaktadır. Motor nominal yükte çalışmaya başladığında motora uygulanan gerilim arttırılarak motor nominal çalışmasına dönmektedir. Böylece asenkron motorun boşa çalışması sırasında çektiği güç minimuma indirilmektedir.



Şekil. 1. 3-Fazlı AA gerilim denetleyicisi bağlantısı.



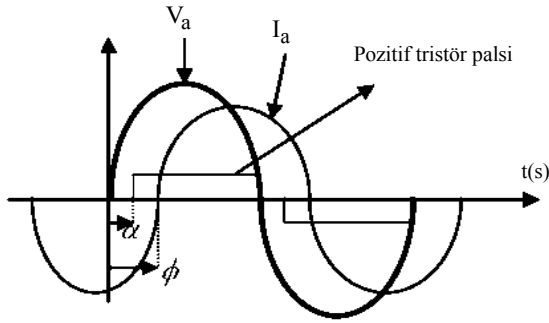
Şekil. 2. 3-fazlı gerilim kısıyıcı/denetleyici kartı fotoğrafı .

3. A.A. Gerilim Denetim Yöntemi

Gerilim kontrol denetleyicisinde faz kaynak gerilimi ve yıldız bağlı asenkron motorun uygun fazı arasında her bir faza ters paralel bağlanmış 2 tane tristör kullanılmaktadır. 3-fazlı gerilim kısıyıcı/denetleyici kartında tristörlerin alfa tetikleme açısının (α) değerini DSP'den dijital port aracılığı ile almaktadır[8].

α tetikleme açısı uygun tristörün iletme başlaması için faz geriliminin sıfır geçişleri arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır. ϕ faz açısı faz gerilimi ve faz akımı arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır. Bu açı $0 \leq \phi \leq 90^\circ$ arasındadır. γ gecikme açısı bir sonraki tristörün iletme başlaması için faz akımının sıfır geçişleri arasındaki açı olarak tanımlanmaktadır $\gamma = \alpha - \phi$ [9]. Şekil 3'de $\alpha = 40^\circ$ ve $\phi = 75^\circ$ için akım ve gerilim dalga şekli verilmiştir.

Alfa tetikleme açısı sıfır'da tüm şebeke gerilimi motora uygulanır. Boşta çalışma durumunda DSP ile tristörlerin iletme geçme sürelerinin geciktirilmesiyle gerilim azaltılır ve motorun çektiği güç azaltılmış olur. Böylece her yük için motora uygulanan gerilim çeşitli denetleme sinyalleri kullanılarak optimal çalışma koşullarını sağlayacak değere getirilmektedir.

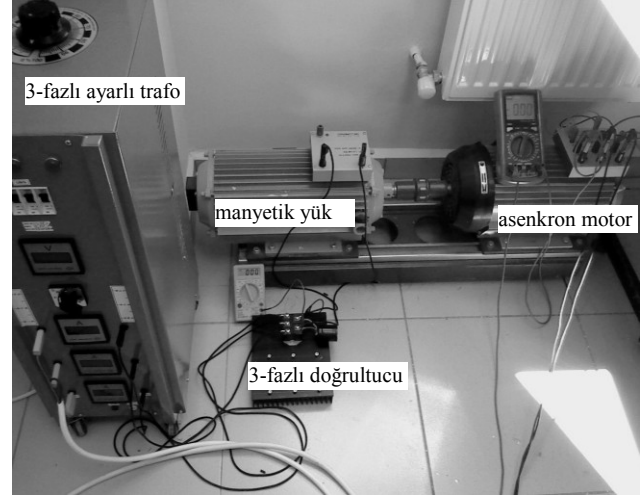


Şekil. 3. α ve ϕ değerlerine sahip faz gerilimi ve faz akımı dalga şekli

4. Deneysel çalışma

Asenkron motorun boşta çalışma verimini artırmak için yapılan deneysel çalışma, etiket değerleri; $P=1,1\text{kW}$, $n=2$, $220/380\text{V}$ (Δ/Y), $4,8/2,8\text{A}$ (Δ/Y), $R_s=4,92$, $R_r=4,42$, $L_{sr}=0,71\text{H}$, $L_s=0,725\text{H}$, $L_r=0,715\text{H}$, $B_r=0,005\text{Kgm}^2\text{s}^{-1}$, $J_m=0,00512\text{Kgm}^2$ olan üç fazlı asenkron motor kullanılmıştır. Bu asenkron motora akupule elektromanyetik hız kesici (manyetik yük) kullanılmıştır. Elektromanyetik hız kesicinin etiket değerleri; $U_{max}=250\text{V}$, $P=1,1\text{kW}$ ve S3'dür. Elektromanyetik hız kesiciye 3-fazlı ayarlı trafo ve 3-fazlı köprü doğrultucu yardımıyla farklı D.A. gerilim değerleri (örneğin $50\text{V}, 100\text{V}, 200\text{V}, \text{vs.}$) uygulanarak asenkron motor farklı yüklerde çalıştırılmaktadır.

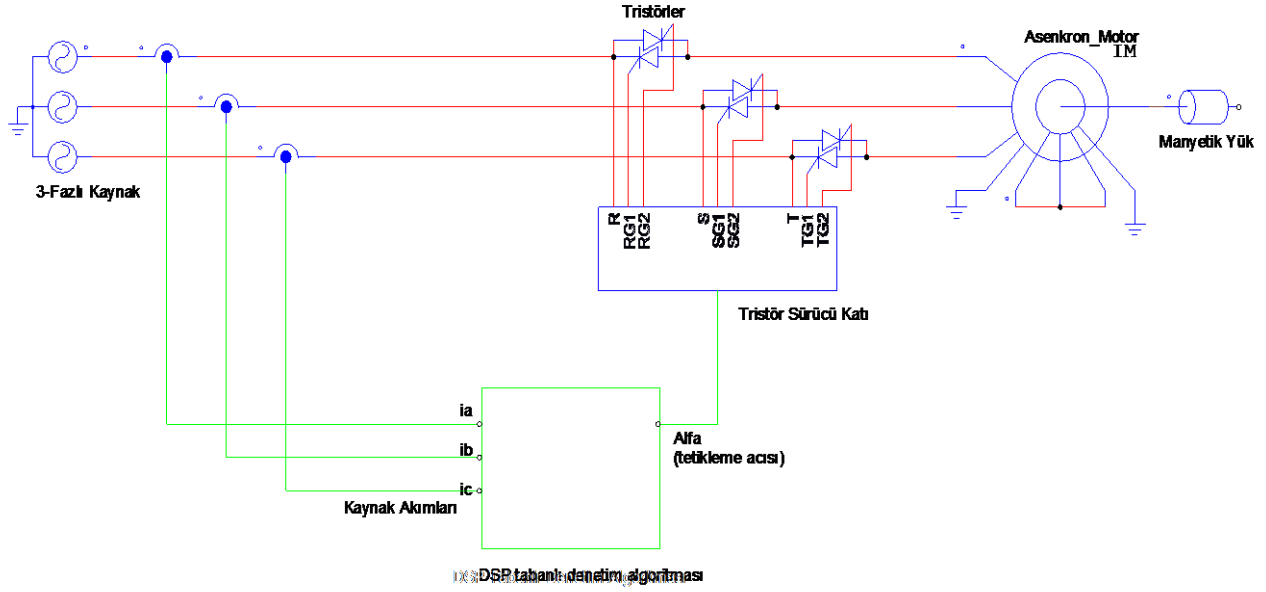
Deneysel çalışmada gerçekleştirilen devrenin bağlantı resmi Şekil 4'de ve kontrol şeması Şekil 5'de verilmektedir. Devrede, üç fazlı motorun stator akımlarından alınan analog sinyaller, işaret koşullandırıcı devreye gönderilmekte ve orada DSP'nin algılayabileceği aralığa ölçeklenerek DSP'nin analog girişlerine uygulanmaktadır. Analog girişlerden alınan akım verileri DSP ortamında denetim algoritmasında işlenmektedir. Motor nominal yükün altında çalıştığında akım değeri azalacağından akımdaki azalma bilgisi DSP tarafından algılanmaktadır.



Şekil. 4. Devre bağlantı fotoğrafı

DSP akımdaki azalmaya karşılık alfa tetikleme açısını geciktirerek 3-fazlı gerilim kısıyıcı/denetleyici çıkışında daha düşük değerlere sahip gerilim oluşturmaktadır. Bu gerilim motora uygulanarak motor akımını ve giriş gücünü minimum yapmakta ve motorun boşta çalışma verimini maksimum olduğu optimal çalışma noktasında çalışması sağlanmıştır. Fakat gerilim yük momenti için gerekli akıyı oluşturacak değerin altına düşürülmemektedir. Motorun optimal çalışma noktalarında çalıştırılması sadece boşta çalışma durumunda değil motorun yükünde herhangi bir azalma olduğunda da DSP tarafından gerçekleştirilmektedir. Deneysel çalışmada alınan değerler tabloya kaydedilerek boşta ve farklı yüklerdeki gerilim akım eğrileri çizilmiştir.

Tablo 1'de verildiği gibi, motor boşta ve farklı yüklerde (farklı manyetik yük geriliminde) çalıştığında, motora uygulanan gerilim DSP tarafından kademeli olarak düşürüldüğünde belli bir noktaya kadar akım azalırken verim artmakta ve bu noktadan itibaren akım tekrar artmaya başlamaktadır. Akımın tekrar arttığı gerilim değeri o yük için verimin maksimum olduğu optimal çalışma noktasıdır.



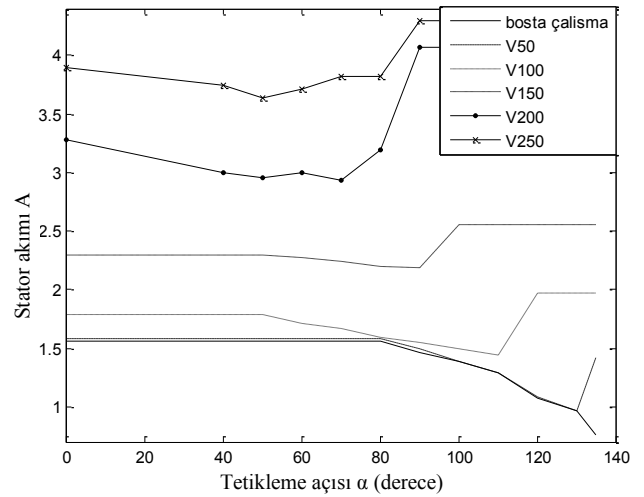
Şekil. 5. 3-fazlı asenkron motorun boşa çalışma gerilimi kontrol şeması

Tablo 1. Boşa ve farklı yüklerdeki stator akım değerleri

Açı (α)	Yük gerilimi boşa (0V)	Yük gerilimi 50V	Yük gerilimi 100V	Yük gerilimi 150V	Yük gerilimi 200V	Yük gerilimi 250V
	Stator akımı (A)	Stator akımı (A)	Stator akımı (A)	Stator akımı (A)	Stator akımı (A)	Stator akımı (A)
0	1,560	1,585	1,785	2,300	3,285	3,895
40	1,560	1,585	1,785	2,300	3,28	3,750
50	1,560	1,585	1,785	2,295	3,000	3,640
60	1,560	1,585	1,715	2,270	2,960	3,715
70	1,560	1,585	1,670	2,240	2,995	3,820
80	1,560	1,585	1,590	2,200	2,930	3,840
90	1,465	1,495	1,545	2,190	3,195	3,920
100	1,385	1,390	1,495	2,555	4,070	-
110	1,285	1,290	1,445	-	-	-
120	1,075	1,080	1,970	-	-	-
130	0,960	0,965	-	-	-	-
140	0,760	1,415	-	-	-	-

Şekil 6'da farklı yüklerde tetikleme açıları ile akım değişim eğrileri verilmiştir. Eğrilerden, farklı tetikleme

açıları boşa çalışma akımının tetikleme açısı büyüdükçe azaldığı görülmektedir. Buda boşa çalışan motora uygulanan gerilimin azaltılmasıyla elde edilmektedir. Şebekeden çekilen akım azaldığında motorun harcadığı güç azalmakta böylece asenkron motorun boşa çalışma verimi artmaktadır.



Şekil. 6. Farklı yüklerde tetikleme açısının akım üzerindeki etkisi

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, üç fazlı asenkron motorun boşa çalışma veriminin artırılması için DSP tabanlı bir kontrol uygulaması gerçekleştirilmiştir. Boşa çalışan asenkron

motorlarda, uygulanan gerilim denetlenerek azaltılabileceği ve bununla da kaynaktan çekilen toplam gücün azaltılabileceği gösterilmiştir. Bu sayede enerji verimliliği önemli miktarda artmaktadır.

Farklı yüklerde çalışan asenkron motora uygulanan gerilimin değeri belli bir değerin altına düşürüldüğünde akım yükselmekte ve verim düşmektedir. Makine bu noktada durma noktasına gelmektedir. Tetikleme açısı bu noktadaki değerin altına düşürülmemelidir. Motorun yük miktarı azaldıkça gerilim azalma oranı artmaktadır. Tüm yüklerde enerji verimi artırılabilir. Enerji verimi yük azaldıkça artmaktadır. Bu çalışma ile farklı zamanlarda farklı yüklerde çalışması gereken üç fazlı asenkron motorların yük miktarıyla orantılı olarak verimleri artırılabilir gösterilmiştir.

Asenkron motorların kolay denetimi ve işletme maliyetlerinin az olması nedeniyle çok tercih edilmektedir. Dolayısıyla bu motorların boşta çalışma süreleri nominal yük altında çalışma sürelerinden daha fazla olduğu işletmelerde, enerji verimliliğinin artırılması önem arz etmektedir. Bu kapsamda, bu çalışmada elde edilen birikim ve deneyimler kullanılarak, endüstride gerçek yük altında çalışan asenkron motorların enerji verimliliği test edilecek ve geliştirilen sistemin endüstriyel bir ürüne dönüştürülmesi planlanmaktadır.

6. Kaynaklar

- [1] Kai L., Xinglin C., Yan W., "Analysis of Thyristor Controlled Induction Motors Based on VVCF", *Electrical Machines and Systems ICEMS 2005 Proceedings of the Eighth International Conference on*, 2005, 115-118.
- [2] Saraçoğlu B., Meşe E., Özdemir E., Duru T., "Asenkron Motorların Optimal Enerji Denetimi", *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi*, 2001, 1-4.
- [3] N. Mohan, "Improvement in Energy Efficiency of Induction Motors by Means of Voltage Control," *IEEE Trans. Power Apparatus Syst.*, vol. PAS-99, pp. 1466-1471, July/Aug. 1980.
- [4] T. M. Rowan and T. A. Lipo, "A Quantitative Analysis of Induction Motor Performance Improvement by SCR Voltage Control," *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. IA-19, pp. 545-553, July/Aug. 1983.
- [5] Sastry V. V., Prasad M. R., Sivakumar T. V., "Optimal Soft Starting of Voltage-Controller-Fed IM Drive Based on Voltage Across Thyristor" *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol.12, no.6, November 1997.
- [6] Kesler S., "Elektrik Makinaları Denetim Sistemlerinde TMS320F2812 DSP Kullanımı", *Akademik Bilişim 2008 Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi*, 30 Ocak - 1 Şubat 2008, 1-10.
- [7] Abrahamsen F., Blaabjerg F., Pedersen J.K., Grabowski P., Thogersen P., Petersen E.J., "On The Energy Optimized Control of Standard and High-Efficiency Induction Motors in CT and HVAC Applications", *Industry Applications Conference, Thirty-Second IAS Annual Meeting, IAS '97. IEEE*, Volume 1, 621-628, 1997.
- [8] Kesler M., Karabacak M., Özdemir E., "Genel Amaçlı Tristör Sürücü Eğitim Setinin Tasarımı ve Uygulaması" *Otomasyon Dergisi*, 2011, 298-304.
- [9] Baimel D., Rabinovici R., Ben Yakov S., "Simulation of Thyristor Operated Induction Generator by Simulink, Psim and Plecs" *Electrical Machines ICEM 2008. 18th International Conference on*, 2008, 1-6.