

PWM İvertörden Beslenen Asenkron Motorların Stator Sargı Yapısının Motor Performansına Etkileri

Yılmaz KORKMAZ

ÖZET

Asenkron motorların stator sargıları, motor performansını etkileyen en önemli kısımlarından biridir. Bu çalışmada, 36 oluklu, 4 kutuplu, 1,1 kW'lık NM 90S-4 tipi iki adet motordan birisinin statoru tek tabakalı, diğerinin statoru ise iki tabakalı olarak sarılmıştır. Motorlar PWM bir invertörle beslenerek deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler süresince gerekli değerler PZ4000 güç analizörü ile ölçülmüş; tek tabakalı sargılı motorun veriminin yüksek olduğu ancak, harmonikler bakımından da iki tabakalı sargılı motorun daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Asenkron motor, Stator sargıları, Asenkron motorun invertörle beslenmesi

Effects of the Stator Winding Structure of Asynchronous Motors Fed by PWM Inverter on the Performance of the Motor

ABSTRACT

Stator windings of the asynchronous motors, are important parts effecting their performances. In this study, stators of 36 slots, 4 poles, 1,1 kW, 90S-4 type two asynchronous motors are wound as single and double layer windings. The motors are fed by PWM inverter supply and tested. During the testing the values are measured by PZ4000 power analyzer; the single layer winding motor has shown high efficiency while the double layer winding motor has proven better performance about harmonics.

Keywords: Asynchronous motors , Stator windings, Asynchronous motors fed by inverter,

1. GİRİŞ

Üç fazlı kısa devre rotorlu asenkron motorların devir sayılarının değiştirilmesi ve kontrolünde PWM invertörler yaygın olarak kullanılmaktadır. İvertörle beslenen asenkron motorlar (ASM)da; kayıplar arttığı, aşırı ısındıkları, yalıtım problemlerinin oluştuğu, motorları besleyen iletkenlerin motora bağlandığı noktalarda aşırı gerilimlerin meydana geldiği, güç katsayılarının olumsuz etkilenmeleri gibi sorunlar olmaktadır (1-5). PWM invertörlerin, akım ve gerilimlerinin normal şebekeye göre tam sinüsoidal olmamasından dolayı ve anahtarlama frekansına bağlı çok sayıda harmoniklerinin olması, motorlarda ek kayıplara sebep olmaktadır. Diğer taraftan, temel frekansa göre çok yüksek frekanslarda gerilim harmonikleri üretmektedirler. İvertörle beslenen ASM'larda demir kayıpları konusunda yapılan çalışmalarda, şebekeden beslemeye göre demir kayıplarında motor gücüyle orantılı artışlar meydana gelmektedir. Kayıplardaki artışlar, daha çok motorun tam yükünde ve motorun tasarlandığı şartların üstündeki frekanslarda ve devir sayılarında olmaktadır (6-9).

Makale 17.01.2008 tarihinde gelmiş,, 11.04.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.

Y. KORKMAZ, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü, 06200 ANKARA, ykorkmaz@gazi.edu.tr
Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.2.123-128

Küçük güçlü ASM'da; invertörle beslemeden kaynaklanan ek kayıplardan bakır kayıplarının daha etkili olduğu, demir kaybı artışlarının toplam kayıplardaki etkisinin büyük bir yer tutmadığı bilinmektedir. Kayıplardaki artış miktarının normal motor gücünün %1,2 kadar olduğunu belirlenmiştir (5).

Yukarıdaki açıklamalardan; normal şebeke şartlarında çalışması için tasarlanan üç fazlı kısa devre rotorlu ASM'un, PWM invertörden beslenmesi durumunda bazı problemlerin olduğu anlaşılmaktadır. Bu konularda yapılan çalışmaların çoğu invertörlerin iyileştirilmesi üzerinde olduğu, ASM'ların stator sargıları ve diğer tasarım şartları konusunda fazla bir çalışmanın yapılmadığı görülmüştür.

Bu çalışmada invertörle beslemeden kaynaklanan sorunların azaltılması için stator sargı yapısının motor performansına etkileri incelenerek, en iyi çalışma şartlarını sağlayan sargı yapısı araştırılmıştır.

2. ASENKRON MOTORLAR

Asenkron motorlar, devir sayıları hemen hemen sabit olan makineler olarak bilinmekteydi. Ancak günümüzde invertörlerle beslenen motorların frekansları ayarlanarak devir sayıları düzenli olarak değiştirilebilmektedir. ASM'lar yük ve gerilim değişimlerine karşı dayanıklı ve verimleri yüksek motorlardır. Bu motorla-

rın performansını etkileyen önemli kısımlarından birisi de stator sargılarıdır.

Üç fazlı ASM'larda döner manyetik alanın oluşması için stator sargıları, momentin oluşması için de rotor sargıları bulunmaktadır. İntertörle kontrol edilen motorlarda çoğunlukla rotorunda sargı olarak kısa devre çubukları bulunan kısa devre rotorlu ASM'lar kullanılmaktadır. ASM'ların stator sargıları genel olarak iki grupta açıklanabilir.

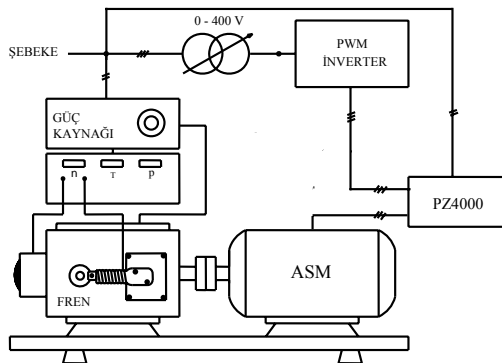
- Tek tabakalı sargılar: Bu sargı yapısında, bir olukta bir bobin kenarı bulunur. Oluk dışında kalan bobin başları katlar oluşturacak şekilde; iki katlı, üç katlı sarılabildiği gibi katlar oluşmadan simetrik bir yapıda da sarılabilir. Stator başlarında katlar meydana gelecek şekilde yapılan sargı şekline el tipi, katlar oluşmayan simetrik olan sargı şekline de yarım kalıp sarım denir.
- İki tabakalı sargılar: Bu sargı şeklinde bir stator oluğu içinde iki bobin kenarı bulunur. Bobin başlarındaki dağılım düzgün ve simetrik bir yapıdadır. Adım kısaltmaya uygun bir sargı çeşididir. Bu sargı çeşidine tam kalıp sargılar da denir.

Normal şebekeden beslenen ASM'ların stator sargı yapısının motor performansına etkileri ile ilgili yapılan çalışmalarda; tek tabakalı ve üç katlı sargı çeşidinin daha iyi olduğu, bu sargı şeklinde verimin yüksek, sargıların soğuma şartlarının da uygun olduğu bazı çalışmalarda açıklanmıştır(10,11).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışmanın bu kısmında, invertörden beslenen farklı sargılı iki motorun performansları ile ilgili bazı temel deneyler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Seçilen deney motorlarından, birisinin statoru tek tabakalı üç katlı el tipi, diğerinin statoru ise tam kalıp normal adım olarak aynı çap ve özelliklerdeki emaye izoleli iletkenlerle motorların orijinal değerlerine bağlı kalarak eşit sarım sayısında sarılmıştır.

3.1. Deney Sisteminin Tanıtılması



Şekil 1. Deney blok diyagramı

Bu çalışmada kullanılan deney motorları; PWM inverter üzerinden beslenerek motorların nominal değerleri olan 380V gerilim ve 50Hz frekansta çalıştırılmışlardır. Deney motorları; 36 oluklu, 4 kutuplu, 1,1kW ve NM 90S-4 standardı ile ifade edilmektedir. Besleme kaynağı olarak; DANFOSS 3002 marka PWM bir invertör kullanılmıştır. Motorların yüklenmesi için DELARANZO firması tarafından üretilen DL1019 elektromanyetik fren sistemi ve beraberindeki ölçü seti kullanılmıştır. Deneylerdeki motor değerleri; yüksek ölçme hasiyetine sahip PZ4000 güç analizörü ile ölçülmüştür. Deneye ait blok diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.

3.2. Motorların Boş Çalışmadaki Kayıpları

Motorların boş çalışma deneyleri yapılarak elde edilen sonuçlara göre ölçülen ve hesaplanan demir kayıpları Çizelge 1'de verilmiştir. Boş çalışmada, ASM kaymasının çok küçük olmasından dolayı, rotor tarafı demir ve bakır kayıplarının ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu bilinmektedir. Motorun boş çalışmada çekeceği güç, stator demir kayıpları, sürtünme ve rüzgar kayıpları ile stator sargılarına ait bakır kayıplarını karşılamaktadır. Çizelgede görüldüğü gibi, tek tabakalı motorun demir kayıpları harmonik etkilerden dolayı daha yüksek olmuştur.

Çizelge 1. Motorların boş çalışmadaki kayıpları

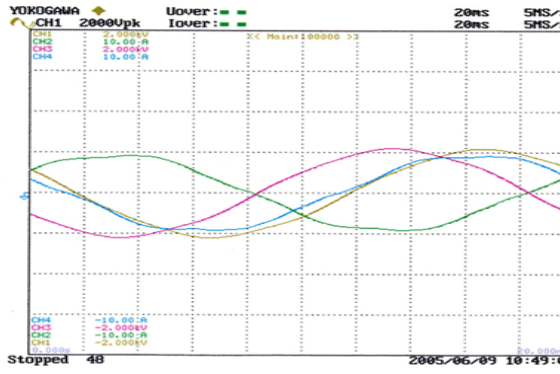
Kayıplar	P_o (W)	$P_{s,r}$ (W)	P_{Cu} (W)	P_{Fe} (W)
Tek tabakalı üç katlı sargılı motor	118	45	46	27
İki tabakalı normal adım sargılı motor	111,36	44	46,36	21,1

ASM'larda gerilimin karesi ile değişen demir kayıpları; uygulanan gerilimden kaynaklanan harmonikler, kaçak akılar ve manyetik doyma gibi sebeplerden, boş çalışma şartlarında bile küçük değerlerde de olsa sargı çeşidine göre farklı değerlerde olmuştur.

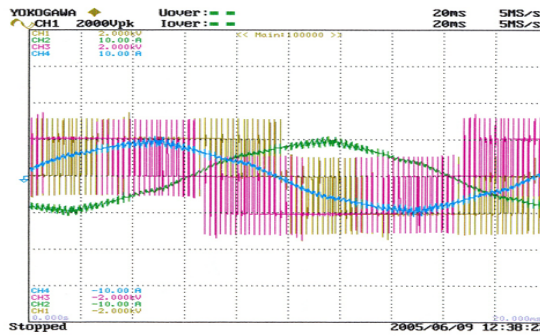
Yine sarım şekillerindeki farklılıkların soğuma şartlarını etkilemesi sonucu, boş çalışmadaki bakır kayıpları da farklı değerlerde olmuştur. Motorların güçlerinin küçük olmasından dolayı bakır kayıplarının net demir kayıplarından fazla olduğu görülmektedir (5). Şekil 2'de boş çalışmada, normal şebeke gerilimi ve invertörle beslenmesi durumundaki karşılaştırmayı yapmak açısından Aron bağlı sistemde akım ve gerilimleri eğrileri verilmiştir.

3.3. Kısa Devre Deneyleri ve Bakır Kayıpları

Motorların bakır kayıplarını saptamak için rotorları bloke edilmek suretiyle normal yük akımlarında kısa devre deneyleri yapılmıştır. Kısa devre deneyinde motora uygulanan gerilimin normal geriliminden çok küçük olması sebebiyle demir kayıpları ihmal edilebilecek değerlerde olmaktadır. Motorların rotor yapıları aynı olduğundan rotor bakır kayıplarının eşit olduğu kabul edilmiştir. Böylece deney süresince ölçülen kayıpları stator ve rotor sargılarında harcanan bakır kayıpları



(a)



(b)

Şekil.2. Şebekeden ve invertörden beslenen motorların boş akım-gerilim eğrileri
a. Şebekeden besleme , b. Invertörden besleme

karşılığı olmuştur. Çizelge 2’de verilen değerlere bakıldığında; normal yük akımında, tam kalıp sarımlı motorun bakır kaybının daha fazla olduğu görülmüştür. Çünkü bu motorun stator sargılarının soğuma şartlarının iyi olmamasından dolayı sargı direncinde sıcaklıkla artmalar meydana gelmektedir. Farklı sargı yapısı; kısa devre gerilimleri ve güç katsayılarının da farklı olmasına sebep olmuştur.

Çizelge 2. İnvörtörden beslenen motorların kısa devre deneyinde ölçülen parametreler

Büyüklikler	U_k (V)	I_k (A)	P_k (W)	$\cos \phi_k$	Φ_k (°)
Tek tabakalı üç katlı sargılı motor	95	2,5	290	0,686	46,68
İki tabakalı normal adım sargılı motor	94	2,5	295	0,723	43,6

3.4. Yüklü Çalışma Deneyleri

Stator sargı yapıları farklı olan deney motorları invertör üzerinden nominal gerilimleri ve frekansları ile beslenerek yarı ve tam yüklerindeki gerilim ve akım eğrileri alınmıştır.

3.4.1. Motorların Akımları ve Giriş Güçlerinin İncelenmesi

Çizelge 3’de; boş çalışmada en düşük akımı, tam kalıp sargılı motor çekmiştir. Boş çalışmada, motorların akımlarının düşük değerlerde olması istenen bir durumdur. Yarı ve tam yükte, el tipi üç katlı sargılı motor di-

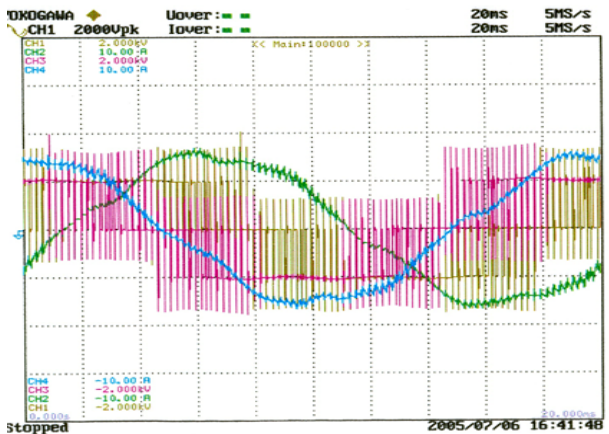
ğerinden daha az akım çekerek aynı mil gücünü karşılamıştır. Ancak güç katsayısındaki yükseklikten dolayı giriş gücü, tam kalıp sargılı motordan daha fazla olmuştur.

Çizelge 3’de görüldüğü gibi, invertör üzerinden beslenen ASM’ların yarı ve tam yüklerde çektiği giriş güçleri farklı değerlerdedir. Deney motorlarının nominal yük değeri olan 7,5 Nm’de ve 380V’luk hat geriliminde en düşük giriş gücünü yarı kalıp sargılı motor çekmiştir. İnvörtör çıkış gerilimindeki harmonik etkiler yük akımına göre değişmekte, buna bağlı olarak güç katsayısı ve kayıplarda motorların yüklenme durumlarına göre değişmektedir.

Çizelge 3. Deney motorlarının yük durumuna göre akımları ve güçleri

Yük Durumu	AKIMLAR (Amper)		GİRİŞ GÜÇLERİ (Watt)	
	Tek tabakalı üç katlı sargılı motor	İki tabakalı normal adım sargılı motor	Tek tabakalı üç katlı sargılı motor	İki tabakalı normal adım sargılı motor
Boş çalışma	1,43	1,40	118	111,36
Yarı yük	1,819	1,845	782	748
Tam yük	2,63	2,74	1423	1466

Şekil 3’de şebekeden ve invertörden beslenen ASM’ların yüklü çalışmadaki iki faz akımı ve geriliminin eğrileri verilmiştir. İnvörtörden besleme şartlarında akım eğrilerinin tam sinüs formunda olmadıkları görülmektedir. Boş çalışma deneyinde alınan Şekil 2 ile tam yükteki eğriler olan Şekil 3 mukayese edilirse; motorlar yüklendiklerinde akım eğrilerinde bozulmalar artmaktadır. Çünkü yüklenen motorun, rotor harmoniklerinin ve sargı harmoniklerinin genlikleri de artmaktadır. İnvörtörle yapılan besleme de manyetik doyma, kaçak akıların artması, dolayısı ile faydalı akıların azalması ve Şekil 3’de görüldüğü gibi besleme geriliminin de nonsinüsoidal ve harmoniklerinin fazla olması sargı çeşidinin motorun gücüne ve kullanma şartlarına göre seçimini zorunlu kılmaktadır.



Şekil 3. Tam yükte invertörden beslenen ASM’un iki fazna ait akımı ve gerilimi eğrileri

3.4.2. Deney Motorlarının Değişik Yüklerdeki Güç Katsayıları ve Verimleri

Deney motorlarının anma geriliminde; boş, yarı ve tam yüklerinde ölçülen güç katsayıları Çizelge 4’de verilmiştir. Sabit gerilim altında invertörden yapılan besleme sonucu elde edilen bu değerler motor performanslarının incelenmesinde yardımcı olacaktır. Çünkü güç katsayısı, ASM’ların değerlendirilmesinde önemli bir faktördür. Bu katsayının daima yüksek olması istenir. Güç katsayısının büyüklüğü oranında reaktif güç etkisi azalır, verim artar. Güç katsayısı motorun yüküne, dolayısı ile giriş gücüne bağlı olarak değişmektedir. Bunun sebebi motor yüklendikçe; değişen mıknatıslanma reaktansı ve çakak reaktansın artması sonucu kör gücün değişmesidir.

Çizelge 4. Deney motorlarının değişik yüklerdeki güç katsayıları ve verimleri

Yük Durumu	GÜÇ KATSAYILARI		VERİMLERİ(%)	
	Tek tabakalı üç katlı sargılı motor	İki tabakalı normal adım sargılı motor	Tek tabakalı üç katlı sargılı motor	İki tabakalı normal adım sargılı motor
Boş çalışma	0,126	0,121	-	-
Yarı yük	0,594	0,555	71,16	74,8
Tam yük	0,752	0,740	75,9	73,6

Çizelge 4’de görüldüğü gibi motorların güç katsayıları yarı ve tam yüklerde farklı değerlerde gerçekleşmiştir. Anma yüküne yaklaştıkça güç katsayıları olumlu yönde artmaktadır. İnvörtörle beslenen motorların güç katsayıları olumsuz etkilenmekte ve değişken hız kontrollerinde hat akımlarında meydana gelen bozulmalar, güç katsayısında azalmalara sebep olmaktadır.

Çizelge 4’e göre; yarı ve tam yükte tek tabaka üç kat el tipi sargılı motorun güç katsayısı, tam kalıp sargılı motora göre daha iyi durumdadır. Tam yükte üç kat el tipi motorun verimi yüksek olmuştur. Bu çizelgedeki değerlerden de anlaşılmaktadır ki invertörden kaynaklanan olumsuz etkiler tam yükte daha fazla görülmüştür. Çünkü yarı ve tam yüklerde verimlerindeki değerler farklıdır.

Motorların harmonikleri; yüke bağlı olarak değişirken, demir kayıpları lineer olmayıp doymaya bağlı olarak değişmektedir. Bu durumlardan dolayı tam ve yarı yükte motorların verimlilik değerleri değişmiştir. Yarı yükte iki tabakalı motorun verimi tek tabakalıdan ; %3,16 daha yüksek olurken, tam yükte tek tabakalı motor; %2,3 daha yüksek bir verime sahiptir.

3.4.3. Deney Motorlarının Kaymalarının İncelenmesi

ASM’ların yüklendikçe devir sayılarında az da olsa azalmalar olduğu ve kaymanın yüklerle birlikte değiştiği bilinmektedir. Çok büyük olmayan yüklenmelerde; kaymadaki büyüme ile momentteki artış yaklaşık olarak orantılıdır. ASM’lar yüklendikçe rotor devir sayıları düşer ve kayma büyür. Kaymanın büyümesi sonucu rotor sargılarını daha fazla manyetik akı keserek rotorda endüklenen gerilimi ve rotor akımını da artırır. Böylece döndürme momenti de artmış olur.

Üç fazlı ASM yüklü çalışırken; $(1-s)*E_1$ enerjisini harcayan extra bir empedansın olduğu bilinmektedir. Motorun çalışma özelliğinden ortaya çıktığı bilinen bu extra empedans;

$$Z = [(1-s) * R'_2 / s] + J(1-s)X'_2 \quad (1)$$

Formülü ile de ifade edilmektedir(12). Formüllerde; E_1 rotorda endüklenen gerilimi, s kaymayı, R'_2 rotor devresi eşdeğer direncini ve X'_2 rotor devresi reaktansını göstermektedir. ASM’un şebekeden çektiği akım arttıkça eşdeğer devre empedansı küçülür. Bunun nedeni kaymanın artması sonucu rotor devresi eşdeğer omik direncinin küçülmesidir.

ASM’ların akımları ile empedansları arasındaki ilişki; bilinen eşdeğer devrelerden faydalanılarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$I_1 = \frac{U_1}{Z_g} \quad (2)$$

ve

$$Z_g = Z_s + \frac{1}{\frac{1}{G} + \frac{1}{JB} + \frac{1}{R'_2 / s + JX'_2}} \quad (3)$$

Formüllerde; U_1 şebeke gerilimini, Z_g motorun toplam giriş empedansını ve Z_s stator devresi empedansını, G ve B uyarım devresi kondüktans ve süseptanslarını ifade etmektedir(12). R'_2 / s ifadesinin motor empedansını etkilediğini ve buradan motor akımının kaymayla da ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.

ASM’ların yük altında devirlerinin fazla değişmemesi, dolayısı ile kaymanın küçük olması istenen bir özelliktir. Kayma küçüldükçe milinden alınabilen mekanik güç artacak, dolayısı ile kayıplar azalacaktır. Çizelge 5’de görüldüğü gibi yük değişmelerine bağlı olarak kaymadaki değişim motorun sargı çeşidine göre farklılıklar göstermektedir. Bunun nedeni sargı harmoniklerinin genliklerinin yüklerle orantılı şekilde artması ve motorun sarım şekline göre değişmesidir. Buradan yarı yükte tam kalıp sargılı motorun kayması küçük olurken, tam yükte üç katlı el tipi sargılı motorun kay-

ması daha küçük, dolayısı ile iyi durumda olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 5. İnvörtörden beslenen ASM'ların yarı ve tam yüklerdeki kayma değerleri

YÜK (Nm)	KAYMA (%)	
	Tek tabakalı üç katlı sargılı motor	İki tabakalı normal adım sargılı motor
3,75	4,66	4
7,5	8	8,66

4. HARMONİKLER

Üç fazlı ASM'lar genellikle sinüsoidal şebekeden beslenecek şekilde üretilirler. Bununla birlikte endüstrinin ihtiyacı olan çeşitli hız kontrol sistemlerinde PWM invertörler kullanılır. İnvörtörlerden alınan gerilimler sinüsoidal olmadığından motorlarda ek kayıplara, hat akımlarında bozulmalara ve güç katsayılarında olumsuzluklara sebep olmaktadır(1).

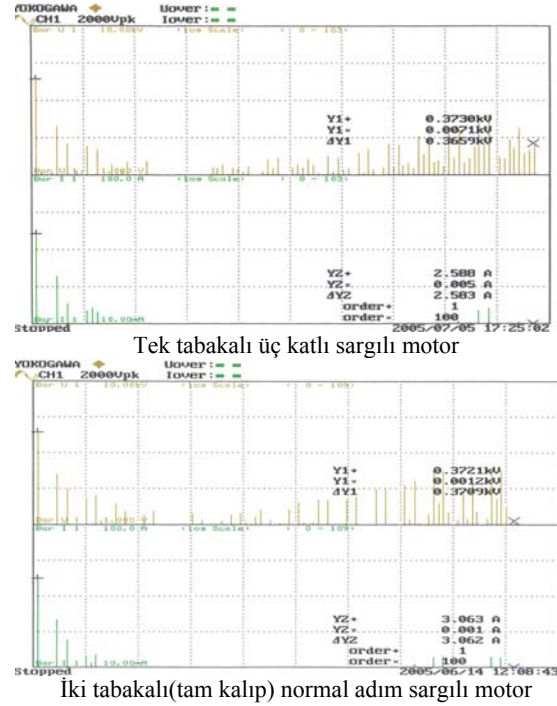
Harmonikler, motorların aşırı ısınmalarına, kayıplarının artmasına ve verimlerinin düşmesine sebep olurlar. Buna bağlı olarak ASM'larda meydana getirdiği moment dalgalanmalarından dolayı motor ve motora bağlı sistemlerde shaft bozulmaları meydana gelebilir. Bu sorunun azaltılması amacıyla sarım şekilleri değiştirilerek bir yandan harmoniklerin genlikleri azaltılırken diğer yandan da bobin adımının uygun seçilmesi ile oluk harmonikleri azaltılabilmektedir. Bir örnek olarak, faz sargısının adımı 1/5 oranında kısaltılacak olursa 5. harmoniğin yok edilebileceği bilinmektedir (11).

Harmonik ölçmelerinde; yarım kalıp üç katlı sargılı motorda; %7,78 5. harmonik, %1,37 7. harmonik, %0,91 11. harmonik, %1,08 12. harmonik, %0,82 13. harmonik, % 0,91 89. harmonik ve %1,04 91. harmonik olmak üzere toplam akım harmonik distorsiyonu (I_{thd}) %8,29 ve gerilimdeki toplam harmonik bozulması (U_{thd}) %19,45 olarak ölçülmüştür.

İki tabakalı(tam kalıp) sargılı motorda ise; %7,44 5. harmonik, %1,96 7. harmonik, %0,63 11. harmonik, %0,76 13. harmonik, %0,65 83. harmonik, %0,67 85. harmonik, %0,64 95. harmonik ve %0,61 97. harmonik olmak üzere toplam akım harmonik bozulması (I_{thd}) %7,93 ve bu motorun gerilimdeki toplam harmonik bozulması (U_{thd}); %19,45 olduğu tespit edilmiştir.

Her iki deney motorunun da toplam gerilim harmonik bozulmaları, kabul edilebilir standartlarda açıklanan %5 değerinden yüksek olmuştur(13). Şekil 4'de yüklü çalışma şartlarında alınan harmonik grafikleri verilmiştir.

Çizelge 6'da tam yükteki çalışmada; yarım kalıp sargılı motorda; tam kalıp sargılı motora göre, akımdaki toplam harmonik bozulma, %0,36 daha fazla olurken gerilimdeki toplam harmonik bozulma; iki tabakalı sargılı motorda tek tabakalıdan %1,16 daha yüksek



Şekil 4. Yüklü çalışmada harmonik grafikleri

olmuştur. Bu sonuçlar da göstermektedir ki; ASM'ların stator sargı yapıları harmonikler bakımından etkili olmaktadır. Tek tabakalı sarımlı motorda 5. harmonik,

tam kalıp sargılı motorda 7. harmonik daha baskın durumdadır. Tam kalıp sargılı motorun, akımlardaki toplam harmonik bozulma açısından, el tipi üç katlı sargılı motora göre daha iyi durumda olduğu görülmüştür.

Çizelge 6. Yüklü çalışmada harmonik değerleri

Büyüklik	Yarım kalıp üç katlı sargılı motor	İki tabakalı normal adım sargılı motor
Akım (I_{thd})	% 8,29	% 7,93
Gerilim (U_{thd})	% 19,45	% 20,61

5. SONUÇ

Bu çalışmada, tüm fiziksel değerleri birbirine eşit olan iki asenkron motordan, birisinin statoru el tipi üç katlı, diğerinin statoru da tam kalıp normal adım olarak sarılmış ve invertör üzerinden beslenerek güçleri, güç katsayıları, kayıpları, verimleri ve harmonikleri ölçülmüştür.

Boş çalışmada ölçülen demir kayıplarının; yüksek frekanslı gerilim harmoniklerinden ve sargı sıcaklığındaki artışlarından dolayı sarım şekline göre değiştiği görülmüştür. El tipi üç katlı sargı uygulanan motorun boş çalışma şartlarında demir kayıpları daha yüksek olmuştur. Harmoniklerin ve stator sargılarındaki soğuma şartlarının sargı çeşidine göre değişmesi ve direncin sıcaklıkla artması gibi sebeplerden dolayı bakır kayıpları, sargı çeşidine göre değişmektedir.

Karşılaştırılan değişik sargılı motorların, kısa devre deneyinde ölçülen güç katsayıları da birbirinden farklı olmuştur. Bunun nedeni, reaktif güç etkisine sebep olan kaçak akıların sargı çeşidine göre değişmesidir. Kısa devre deneyinden elde edilen sonuçlara göre; el tipi üç katlı sargılı motorun bakır kayıpları iki tabakalı sargılı motordan daha düşük olmuştur.

İnvertörle beslenerek yüklü çalıştırılan motorlarda; giriş gücü, akımı, verimi ve güç katsayıları sargının çeşidine göre değişmektedir. Yarı yükte tam kalıp motor; el tipi üç katlı sargılı motora göre daha yüksek verime sahip iken, tam yükteki çalışmada hem güç katsayısı ve hem de verim açısından el tipi üç katlı sargılı motorun daha üstün bir performansa sahip olduğu görülmüştür. İnvertörden beslenen ASM'larda; sargı yapısından kaynaklanan olumsuzluklar motorların tasarlandıkları tam yüklerinde belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Her iki motorda da; 5. ve 7. harmoniklerin daha etkili olduğu tespit edilmiş olup, harmonik bozulmalardaki (%) oranlarının sargı çeşidine bağlı olarak farklı olduğu görülmüştür. El tipi üç katlı sarımlı motorda 5. harmonik, iki tabakalı motorda 7. harmonik daha baskın durumdadır. Tam kalıp sargılı motorun akımlardaki toplam harmonik bozulma açısından, diğer motora göre daha iyi durumda olduğu anlaşılmıştır.

Yapılan bu çalışmada; yarı ve tam yük altında invertörden beslenen tek tabakalı üç katlı sargılı motorun; verim, güç katsayısı ve kayıplarının düşük olması bakımından, tam kalıp sargılı motora göre daha üstün bir performansa sahip olduğu, ancak harmonikler açısından da tam kalıp sargılı motorun daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

6. TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmayı 07/2004-01 kodlu bilimsel araştırma projeleri kapsamında destekleyen Gazi Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür eder.

7. KAYNAKLAR

1. Wakileh, J.George., "Harmonics in Rotating Machines", *College of Science and Engineering, W.Kentucky Univ.*, 1-12 (2003).
2. Takada, S., Mohri, K., Nomura, T. And Sasaki, T., "Magnetic Losses of Electrical Iron Sheet in Squirrel Cage Induction Motor Driven by PWM Inverter", *IEEE Trans. on Magn.*, 33(5): 3760-3762 (1997).
3. Boglietti, A., Ferraris, P. Lazzari, M., Profumo, F., "Induction Motor Equivalent Circuit Parameters Determination from Standart Test Made with Inverter Supply", *Politecnico di Torino- ITALY*, 271-276 (1991).
4. Vamvakari, A., Kandianis, A., Kladas, A., Manias, S. and Tegopoulos, j., "Analysis of Supply Voltage Distortion Effects on Induction Motor Operation", *IEEE Trans. on Energ. Conver.*, 16(3): 209-213 (2001).
5. Green, T.C., Hernandez-Aramburo, C.A., and Smith, A.C., "Losses in grid and inverter supplied induction machine drives", *IEE, Proc-Electr.Power Appl.*, 150 (6): 712-724 (2003).
6. Shiau, L-G., Lin, J-L., Yeh, Y-J., "Passivity Based Control for Induction Motor Drives with Voltage-Fed and Current-Fed Inverters", *Electrical Power Systems Research*, 59(1-11): 1-10 (2001).
7. Boglietti, A., Cavagnino, A., Lazzari, M., Pastorelli, M., "Predicting Iron Losses in Soft Magnetic Materials with Arbitrary Voltage Supply", *IEEE Transactions on Magnetics*, 39(2) : 981-988 (2003).
8. Takada, S., Mohri, K., Nomura, T. And Sasaki, T., "Magnetic Losses of Electrical Iron Sheet in Squirrel Cage Induction Motor Driven by PWM Inverter", *IEEE Trans. on Magn.*, 33(5): 3760-3762 (1997).
9. Vamvakari, A., Kandianis, A., Kladas, A., Manias, S.,and Tegopoulos, j., "Anaysis of Supply Voltage Distortion Effects on Induction Motor Operation", *IEEE Trans. on Energ. Conver.*, 16(3): 209-213 (2001).
10. Coşkun, İ., Korkmaz, Y., "Şebekeden Beslenen Üç Fazlı Asenkron Motor Sargı Yapısının Motor Performansına Etkileri" G.Ü.,Müh.-Mim. Fak. Dergisi., 22(4):927-932 (2007)
11. Boduroğlu, T., "Elektrik Makineleri Dersleri, Cilt II., Kısım 1", *Beta Basım A.Ş.*, İstanbul, 35-20, 70-100 (1988).
12. Korkmaz, Y., "Asenkron Motorlara Ait Büyüklüklerin Bilgisayarda Çizilen Daire Diyagramından Tesbiti" G.Ü., Fen Bil. Ens.,Yüksek Lisans Tezi, 28,36(1993)
13. IEEE "For Harmonic Control in Electric Power systems" IEEE, Std., 519-1992