

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANAHTARLAMA AÇILARININ KAPASİTÖR TİP TEK FAZLI ASENKRON
MOTORLARIN DİNAMİK DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ

Elektrik Müh. Ali ÖZEN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“Elektrik Yüksek Mühendisi”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

78142

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 31.12.1998

Tezin Savunma Tarihi : 02.02.1999

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sefa AKPINAR

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Cemil GÜRÜNLÜ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Aralık 1998

TRABZON

78142

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, tek fazlı anahtarlama açıcı seçicisi pratik olarak gerçekleştirilerek kapasitör tip asenkron motor üzerinde kullanılmış ve motorun kalkış anında gösterdiği dinamik davranışı üzerine etkisi incelenmiştir.

Tezin ilk aşamasında, laboratuarda bulunan kapasitör tip asenkron motorun parametreleri elde edilerek d-q modeli oluşturulmuştur. Motorun dinamik davranışı bu model esas alınarak incelenmiştir. Modelleme sırasında karşılaşılan diferansiyel denklemler sayısal olarak çözülmüştür.

Sonraki aşamada, momenti düzgün olarak inceleyebilmek için bir moment ölçme düzeneği tasarlanarak gerçekleştirilmiştir.

Son aşamada ise, inceleme teorik ve deneysel olarak yapıldıktan sonra sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmamda, benden yardımlarını ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Sefa AKPINAR'a, daima yanımda olan eşime ve aileme, arkadaşım Araştırma Görevlisi Mehmet Kubilay EKER'e, ayrıca öğrenim hayatım boyunca emeği geçen bütün hocalarıma ve mesai arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Trabzon, Aralık 1998

Ali ÖZEN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	IX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Tek Fazlı Asenkron Motorun Yapısı.....	2
1.3. Tek Fazlı Asenkron Motorun Çalışması.....	3
1.3.1. Hız Gerilimi Kuramı.....	3
1.3.2. Yardımcı Sargılı Motorların Çalışma İlkesi.....	5
1.3.3. Döner Alan Kuramı.....	6
1.4. Tek Fazlı Asenkron Motorlara Yol Verme.....	8
1.4.1. Tek Fazlı Yardımcı Sargılı Motorlar.....	8
1.4.2. Endüktif Yol Vermeli Motorlar.....	9
1.4.3. Kapasitif Yol Vermeli Motorlar.....	9
1.4.3.1. Çift Kondansatörlü Motorlar.....	10
1.4.3.2. Sürekli Kondansatörlü Motorlar.....	11
1.5. Tek Fazlı Asenkron Motorun Matematiksel Modeli.....	12
1.6. Tek Fazlı Asenkron Motorun d-q Eksen Dönüşümü.....	14
2. DİNAMİK DENKLEMLERİN SAYISAL YÖNTEMLE ÇÖZÜMÜ.....	19
2.1. Dört Adımlı Runge-Kutta Yöntemi.....	19
3. TEK FAZLI ASENKRON MOTORUN EŞDEĞER DEVRE PARAMETRELERİNİN HESABI.....	21
3.1. Eylemsizlik Momentinin Bulunması.....	24
4. MOMENTİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ.....	26
5. TEK FAZLI ANAHTARLAMA AÇI SEÇİCİSİ.....	28
5.1. Tek Fazlı Anahtarlama Açık Seçicisinin Yapısı.....	28

5.1.1.	555'li Tetikleme Devresi.....	29
5.1.2.	DC Güç Kaynakları.....	30
5.1.3.	Tristörler.....	30
5.1.4.	Diyod Köprüsü.....	31
5.2.	Tek Fazlı Anahtarlama Açık Seçicisinin Çalışması.....	31
6.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	32
6.1.	Kullanılan Kapasitör Tip Asenkron Motorun Parametreleri.....	32
6.2.	Tek Fazlı Asenkron Motorun Dinamik Davranışı.....	33
7.	BULGULAR.....	34
7.1.	Tek Fazlı Anahtarlama Açık Seçicisi Üzerinden Şebekeye Bağlı Olan Kapasitör Tip Asenkron Motorun Deneysel ve Benzetim Sonucu Elde Edilen Değişimleri.....	34
8.	İRDELEME.....	64
9.	SONUÇLAR.....	65
10.	ÖNERİLER.....	66
11.	KAYNAKLAR.....	67
12.	ÖZGEÇMİŞ.....	68

ÖZET

Elektrodinamik aygıtlarda üretilen momentteki tekrarlanmayan tepe değerleri, göz önüne alınması gereken önemli etkenlerdir.

Momentteki tekrarlanmayan tepe değerlerinin pozitif olanları motor milini darbelerken, negatif olanları ters yönde moment uygulayarak mili, özellikle yük altındayken, kırılmaya ya da burulmaya zorladığı için, motorda tehlikeli bir durum meydana getirirler. Bu yüzden bunlar, önceden kestirilmeli ve kontrol edilmelidir.

Motora uygulanan gerilimin uygulandığı andaki değeri, onun dinamik davranışı üzerine etki eden faktörlerden biridir. Bu yüzden, tekrarlanmayan tepe değerleri daha önce ifade edildi. Bu tepe değerlerini kontrol altında tutmak için gerilimin uygulanma anındaki değeri kontrol edilmelidir. Bu nedenle, A.C. faz kontrolöründen çalışma ve yapısal olarak tamamıyla farklı bir aygıt olan Anahtarlama Açık Seçicisinin kullanılması gerekir.

Bu çalışmada;

-Gerilimin uygulanma anındaki değerinin momentteki tekrarlanmayan tepe değerleri üzerine etkisini incelemek için, kapasitör tip tek fazlı asenkron motor kullanıldı.

-Bir Anahtarlama Açık Seçicisi tasarlandı ve gerçekleştirildi.

-Motorun momentindeki tekrarlanmayan tepe değerlerinin kestirimi ve dinamik davranışının teorik olarak incelenmesi için d-q eksen sistemi kullanıldı.

-Bir moment ölçme devresi gerçekleştirildi.

-Teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırıldı.

Sonuç olarak bu çalışmada, teorik ve deneysel sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görüldü.

Anahtar Kelimeler: Anahtarlama açık seçicisi, kapasitör tip tek fazlı asenkron motor.

SUMMARY

The Effect of The Switching Angles on The Dynamic Behaviour of The Single Phase Capacitor Type Induction Motors

The non-repeated peaks of the torque produced in electrodynamics devices are the important points to be taken into consideration.

Since the positive non-repeated peak gives an impulse to the shaft of the motor and the negative non repeated peak forces the shaft to be broken or twisted, they both expose a dangerous state. Therefore they should be predicted and controlled.

The instantaneous value of the voltage applied to the motor is one of the factors affecting on their dynamic behaviour, hence, the non-repeated peaks mentioned above. To keep these peaks under control the instantaneous value of the voltage applied should be controlled. For this purpose a Switching Angle Selector (SAS) which is totally different device in structure and performance from A.C. phase controller is required.

In this work;

- In order to investigate the effect of the instantaneous value of the voltage applied on the non-repeated torque peaks a single phase capacitor type induction motor has been used.

- A Switching Angle Selector has been designed and implemented.

- For the theoretical analysis of the dynamic behaviour and prediction of the non-repeated torque peaks of the motor the d-q axes representation has been employed.

- A circuit to measure the torque has been implemented.

- The theoretical and experimental results has been compared.

As a conclusion of this work, it has been observed that the theoretical and experimental results are well agreed each other.

Key Words: Switching angle selector, single phase capacitor type induction motor.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Statorun 2/3 oluğuna yerleştirilen stator bir faz sargısının magnetik alanı ve motorun kesiti.....	3
Şekil 2. Stator alanı içinde bulunan rotorda, dışarıdan ok yönünde döndürüldüğünde, endüklenen gerilim ve akımların yönü ve bunların oluşturduğu magnetik alan.....	4
Şekil 3. Yardımcı sargılı tek fazlı asenkron motorun yapısı.....	5
Şekil 4. Stator sargısı alternatif alanının iki döner alana ayrılması ve motorun momentinin bulunması.....	7
Şekil 5. Yardımcı sargılı tek fazlı asenkron motorun şeması.....	8
Şekil 6. Endüktif yol vermeli tek fazlı asenkron motorun bağlantı şeması.....	9
Şekil 7. Kapasitif yol vermeli tek fazlı asenkron motorun bağlantı şeması.....	10
Şekil 8. Çift kondansatörlü tek fazlı asenkron motorun bağlantı şeması.....	11
Şekil 9. Sürekli kondansatörlü tek fazlı asenkron motorun bağlantı şeması.....	11
Şekil 10. Simetrik olmayan iki fazlı asenkron motor.....	12
Şekil 11. İki fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi.....	17
Şekil 12. Tek fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi.....	21
Şekil 13. Tek fazlı asenkron motorun kilitli rotor eşdeğer devresi.....	22
Şekil 14. Tek fazlı asenkron motorun boşta çalışma eşdeğer devresi.....	23
Şekil 15. Tek fazlı asenkron motorun yavaşlama eğrisi.....	24
Şekil 16. Moment ölçme düzeneği.....	26
Şekil 17. Moment ölçme düzeneğinin basitleştirilmiş bağlantı şeması.....	27
Şekil 18. Tek fazlı anahtarlama aç seçicisi.....	29
Şekil 19. 555'li tetikleme devresi.....	29
Şekil 20. Ateşleme açısı 30° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	36
Şekil 21. Ateşleme açısı 60° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	38

Şekil 22. Ateşleme açısı 90° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen	
kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	41
Şekil 23. Ateşleme açısı 120° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen	
kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	43
Şekil 24. Ateşleme açısı 150° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen	
kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	46
Şekil 25. Ateşleme açısı 180° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen	
kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	48
Şekil 26. Ateşleme açısı 210° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen	
kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	51
Şekil 27. Ateşleme açısı 240° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen	
kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	53
Şekil 28. Ateşleme açısı 270° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen	
kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	56
Şekil 29. Ateşleme açısı 300° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen	
kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	58
Şekil 30. Ateşleme açısı 330° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen	
kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	61
Şekil 31. Ateşleme açısı 360° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen	
kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler.....	63

SEMBOLLER DİZİNİ

N	: Oluk sayısı
ω	: Açısal hız
B	: Akı yoğunluğunun ani değeri
$B_{\max}$	: Akı yoğunluğunun tepe değeri
e	: Rotorda endüklenen gerilim
θ	: Dönme açısı
I_a	: Ana sargı akımı
I_y	: Yardımcı sargı akımı
Z_a	: Ana sargı empedansı
Z_y	: Yardımcı sargı empedansı
R_a	: Ana sargı direnci
R_y	: Yardımcı sargı direnci
X_a	: Ana sargı kaçak reaktansı
X_y	: Yardımcı sargı kaçak reaktansı
C_y	: Yol verme kapasitesi
L_y	: Yol verme endüktansı
t	: Zaman
Q_r	: Kondansatör gücü
U	: Kondansatör gerilimi
J	: Eylemsizlik momenti
p	: Türev operatörü
P	: Çift kutup sayısı
P_0	: Kutup sayısı
N_s	: Stator sarım sayısı
r_s	: Stator sargı direnci
N_r	: Rotor sarım sayısı
r_r	: Rotor sargı direnci
v_{as}	: İki fazlı asenkron motor stator sargısı a fazı uç gerilimi
i_{as}	: İki fazlı asenkron motor stator sargısı a fazı akımı
v_{bs}	: İki fazlı asenkron motor stator sargısı b fazı uç gerilimi
i_{bs}	: İki fazlı asenkron motor stator sargısı b fazı akımı

v_{ar} : İki fazlı asenkron motor rotor sargısı a fazı uç gerilimi
 i_{ar} : İki fazlı asenkron motor rotor sargısı a fazı akımı
 v_{br} : İki fazlı asenkron motor rotor sargısı b fazı uç gerilimi
 i_{br} : İki fazlı asenkron motor rotor sargısı b fazı akımı
 L_{ls} : Stator a sargısı endüktansı
 L_{ms} : Stator a sargısı ortak endüktansı
 L_{ls} : Stator b sargısı endüktansı
 L_{ms} : Stator b sargısı ortak endüktansı
 L_{lr} : Rotor sargısı kaçak endüktansı
 L_{mr} : Rotor sargısı ortak endüktansı
 L_{sr} : Stator a sargısı ile rotor sargıları arasındaki ortak endüktans
 L_{sr} : Stator b sargısı ile rotor sargıları arasındaki ortak endüktans
 R_{qs} : Yardımcı sargı direnci
 R_{ds} : Ana sargı direnci
 R_{qr} : Rotor q-bileşeni direnci
 R_{dr} : Rotor d-bileşeni direnci
 L_{iqs} : Yardımcı sargı endüktansı
 L_{ids} : Ana sargı endüktansı
 L_{lqr} : Rotor q-bileşeni kaçak endüktansı
 L_{ldr} : Rotor d-bileşeni kaçak endüktansı
 L_{mq} : q-bileşeni ortak endüktansı
 L_{md} : d-bileşeni ortak endüktansı
 C : Yardımcı sargıya bağlı kondansatör
 T_e : Elektromanyetik moment
 T_L : Yük momenti
 V_k : Kilitli rotor gerilimi
 I_k : Kilitli rotor akımı
 P_k : Kilitli rotor gücü
 Z_k : Kilitli rotor empedansı
 R_k : Kilitli rotor direnci
 X_k : Kilitli rotor reaktansı
 V_0 : Boşta çalışma gerilimi

I_0 : Boşta çalışma akımı
 P_0 : Boşta çalışma gücü
 Z_0 : Boşta çalışma empedansı
 R_0 : Boşta çalışma direnci
 X_0 : Boşta çalışma reaktansı
 $P_{\text{dönel}}$: Dönel kayıplar
 $P_{\text{sür}}$: Sürtünme kayıpları
 P_{fe} : Demir kayıpları
 ψ_{qs}^s : Yardımcı sargı akısı
 ψ_{ds}^s : Ana sargı akısı
 ψ_{qr}^s : Rotor q-bileşeni akısı
 ψ_{dr}^s : Rotor d-bileşeni akısı
 T_i : İvme momenti



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Endüstride kullanılan elektrik makinalarından, en sağlam olanı, en az arıza yapanı, en ucuz olanı ve en çok kullanılanı asenkron makinalardır. Çalışma ilkesi bakımından bu makinalara “İndüksiyon Makinaları” da denir. Bu makinalar endüstride genellikle motor olarak çalıştırılırlar; fakat belirli koşulların sağlanması halinde generator olarak da kullanılabilirler.

Asenkron makinaları, senkron makinalardan ayıran en büyük özelliklerden bir tanesi, dönme hızının sabit olmayışıdır. Bu hız, motor olarak çalışmada, senkron hızdan küçüktür. Makinanın adının, asenkron makine oluşu da işte bu özellikten ileri gelmektedir.

Asenkron Makinalar bir fazlı, iki fazlı, üç fazlı ve çok fazlı olmak üzere birkaç Watt gücünden, 15000 KW gücüne kadar imal edilmektedir. Bu motorların stator sargı gerilimleri ise, 110-220 Volt ile 15000 Volt arasında olabilmektedir. Günümüzde fabrikalarda, evlerde bürolarda bir ve çok fazlı asenkron motorlar büyük ölçüde kullanılmaktadır. Motor olarak çalıştıklarında, dönme hız ayarları, doğru akım motorlarının hız ayar ve kontrolü kadar kolay ve ucuz düzenle yapılamaz. Bununla beraber, 1957 yılında ABD’de geliştirilen “Tristörler” yardımıyla, günümüz endüstrisinde bu motorların hızları da kolayca ayar ve kontrol edilebilmektedir.

Tek fazlı asenkron motorlar endüstride, bürolarda ve evlerde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Çeşitli türden otomatik kontrol sistemlerinde soğutma, havalandırma aletlerinde, çamaşır makinalarında, buz dolaplarında, marangoz atölyelerinde kurutma makinalarında, oyuncaklarda müzik aletlerinde, pompalarda v.b. özellikle kullanılırlar. Bu kadar değişik uygulama alanlarında kullanılışı, bir fazlı asenkron motorların çok küçük güçlerden, örneğin 1/500 HP’den 1 HP’ye kadar imal olunmalarını zorunlu kılar. Tek fazlı asenkron motorlar bir fazlı alternatif akım şebekesine bağlanarak çalışır.

Tek fazlı asenkron motorlar yapılış bakımından oldukça sade olmalarına rağmen, teorik olarak incelenmeleri oldukça güçtür. İşte bu nedenle istenilen özellikte tek fazlı asenkron motorun imalı için, bir çok örnek motor yapılma zorunluluğu doğar.

Tek fazlı asenkron motorların sınıflandırılması genellikle yol alma ve çalışma özelliklerine göre yapılır. Motorların seçimi, gereken yol alma ve çalışma momentine, çalışma süreleri (kesikli ya da sürekli) ve stator sargılarının alacağı akıma göre yapılır [1].

Enerji sistemlerinde geçiş akımların önemi çok büyüktür. İstenmeyen bu akımların yapısını ve bunları meydana getiren nedenleri iyi bilmek, sağlıklı bir işletmenin oluşturulması için gereklidir. Geçiş akımların yapısı ve nedenleri teorik olarak incelendikten sonra deneysel olarak da inceleyebilmek için 250W gücünde 220 Voltluk tek fazlı asenkron motor kullanıldı.

1.2. Tek Fazlı Asenkron Motorun Yapısı

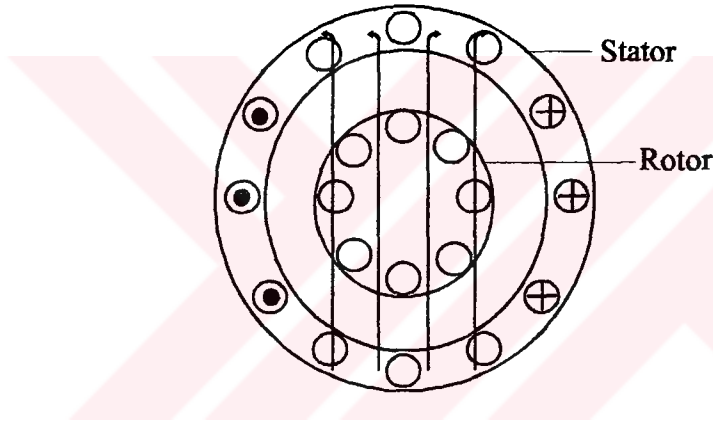
Klasik elektrik makinaları incelediğinde asenkron motorların alternatif akım makinaları sınıfına girdiği görülmektedir. Tek fazlı asenkron motorlar genel olarak yardımcı sargılı ve gölge kutuplu bir fazlı asenkron motorlar adı altında ikiye ayrılır. Genellikle sabit duran statoru ve dönen rotoru vardır. Statorunda bir, iki, üç ya da çok fazlı sargılar bulunur. Stator sargıları adı verilen bu sargılara, alternatif gerilimler uygulanır. Hızları yük ile çok az değişen motorlardandır. Dönen rotorda bir, üç ya da çok fazlı sargılar bulunur. Rotor sargıları adı verilen bu sargılarda gerilim ve akımlar, stator sargıları alanından endüksiyon yoluyla endüklenir. Özel amaçlı kullanımlar dışında, rotor sargılarına dış bir kaynaktan gerilim uygulanmaz.

Elektromekanik enerji dönüşümü görüş açısından ise, asenkron makinalar, genelleştirilmiş elektrik makinalarının özel bir tipidir. Bu makinaların incelenmesi, genelleştirilmiş makine teorisi kullanılarak yapılabilir. Stator ve rotor arasında kalan hava aralığının radyal doğrultudaki boyu sabittir. Dönen rotor, duran statorun içinde olduğuna göre, statorun iç çevresi yarıçapı ve rotorun da dış çevresi yarıçapı sabittir. Böyle bir yapı özelliği bulunan makinanın, rotor ve stator sargılarının özendüklemeleri rotorun konumuna ya da θ dönme açısına bağlı değildir. Buna karşılık rotor sargıları, stator sargılarına göre hareket ettiklerinden, stator ile rotor sargıları arasındaki karşıt endüklemeler, rotorun konumu ile ya da θ dönme açısı ile değişir. Stator ve rotor sargılarına ilişkin (L_{sr}) endüktans matrisinin köşegeni üzerindeki elemanlar rotorun konumuna bağlı olmayıp, diğer elemanlar ya sıfır ya da θ 'nın fonksiyonlarıdır. Burada, stator ve rotorun diş ve oluklarının etkileri, kurulan matematiksel model ve tutulan inceleme yolunda genellikle etkilerinin küçük olması nedeni ile ihmal edilmektedir.

1.3. Tek Fazlı Asenkron Motorun Çalışması

1.3.1. Hız Gerilimi Kuramı

Tek fazlı asenkron motorun statorunda bir fazlı sargı, rotorunda ise, sincap kafesi biçiminde kısa devre sargısı bulunmaktadır. Stator sargısı stator oluklarının $2/3$ 'üne sarılır. Yapılış ilkesi bakımından stator oluklarının geri kalan $1/3$ oluğu boş bırakılırsa da, bu oluklara modern makinalarda, motorun yol almasını sağlayan yol alma sargısı ya da yardımcı sargı yerleştirilir. $N = 12$ oluklu bir fazlı asenkron motorun basit bir

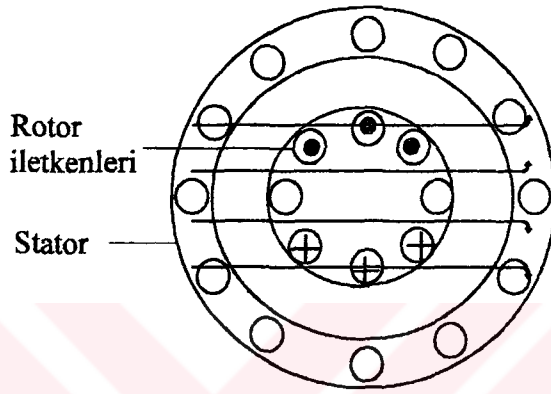


Şekil-1. Statorun $2/3$ oluğuna yerleştirilen stator bir faz sargısının magnetik alanı ve motorun kesiti

kesidi Şekil-1'de gösterilmiştir. Bu şekilde, statorun sadece $12 \cdot (2/3) = 8$ oluğunda bir fazlı stator sargısı bobinleri bulunmaktadır. Stator sargısı bir fazlı alternatif gerilim kaynağına bağlandığında, makinanın içinde doğru ve yönü Şekil-1'de gösterilmiş olan bir alternatif alan meydana gelir. Alternatif alan aynı eksen üzerinde zamanla sinüzoidal olarak değişir. Rotorun sincap kafesi sargısı, zaman ile değişen bir alan içinde durduğundan, bu sargılarda transformatörlerde olduğu gibi, bir gerilim endüklenir. Kendi üzerinde kısa devre olan rotor sargılarından, endüklenen gerilim nedeni ile, o yönde bir akım akar ki, rotorun meydana getirdiği alan stator alan yönüne ters olsun (Lenz Kuralı). Böylelikle, stator ve rotor alanları aynı doğrultuda ve eksenleri birbirine ters gelen iki alternatif

alandır. Bu iki alanın eksenleri arasındaki açı sıfır ya da π olduğundan, bir fazlı asenkron motor bir moment üretmez. İki alan eksenleri arasında sıfırdan farklı bir açı bulunursa, bu iki alan bir moment üretebilir.

Statorun alternatif alanı içinde duran rotor dışarıdan bir tahrik makinası yardımı ile, Şekil-2’de gösterilen ok yönünde ω açısal hızı ile döndürülsün. Rotor oluklarına yerleştirilen çubuklarda, yukarıda açıklanan transformatör geriliminden başka Şekil-2’de gösterilen yönde hareket (hız gerilimi) endüklenir. Bu gerilim Şekil-2’de gösterilen yön



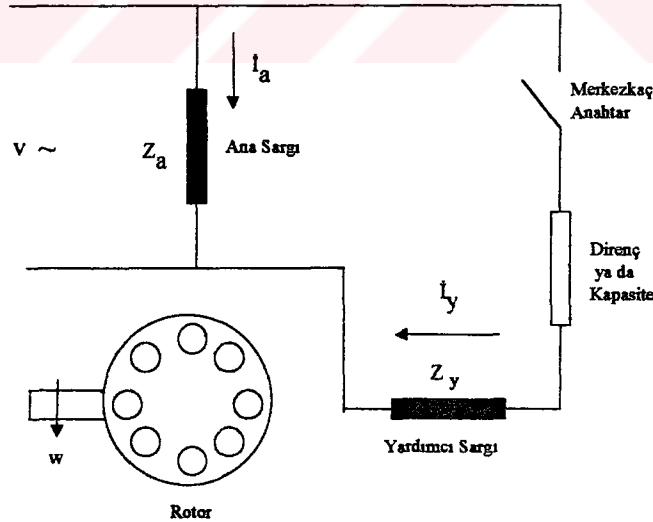
Şekil-2. Stator alanı içinde bulunan rotorda, dışarıdan ok yönünde döndürüldüğünde, endüklenen gerilim ve akımların yönü ve bunların oluşturduğu magnetik alan

ve doğrultuda bir magnetik alan üretir. Rotor dışarıdan döndürüldüğü sürece, Rotorun B alanı var olacaktır. Şekil-2’den de anlaşılacağı gibi, tek fazlı asenkron makine içinde artık, eksenleri birbirine dik olan iki $\vec{B}_s$ ve $\vec{B}_r$ alanı vardır. Rotorda endüklenen gerilim, $e = \vec{B}_s * (\vec{l} \times \vec{v})$ bağıntısından, B_s ile ya da stator akımları ile aynı fazdadır. Öte yandan rotor çubuklarının direnci çok küçük, endüktansı ise büyüktür ve rotor gerilimi ile akımı arasındaki faz farkı, $\phi_r = \arctan(\omega L_r)/R_r$ yaklaşık olarak $\pi/2$ radyan ya da 90° ’ye yakındır. Böylece rotor alanı, rotor gerilimi ve bununla aynı fazda olan stator B_s alanına göre zaman içinde yaklaşık 90° faz farkında olur. Sonuç olarak, tek fazlı asenkron motorda, stator sargısına bir fazlı gerilim uygulanmış olduğu halde dışarıdan döndürüldüğünde, makine içerisinde eksenleri birbirine dik olan ve zaman içinde aralarında yaklaşık 90° faz farkı bulunan iki alan meydana gelir. Bu iki alan, bir döner alan meydana getirir. Döner alan etkisinde, dışarıdan tahrik olmasa bile motor başlangıçta döndürüldüğü yönde dönmeye devam eder.

Yukarıdaki açıklamada, rotorun dışarıdan döndürüldüğü var sayılmıştı. Oysa, modern tek fazlı asenkron motorların bir fazlı kaynağa bağlandığında, dışarıdan döndürülmeksizin kendi başına yol alması ve dönmesi istenir. Bu amaç için, statorda boş bırakılmış olan 1/3 oluğa yardımcı sargı ya da yol verme sargısı yerleştirilir. Yardımcı sargı motorun içinde, bir fazlı esas sargının meydana getirdiği alana dik ve zaman içinde yaklaşık 90° faz farkında olan bir alan meydana getirir. Böylece, motor içinde eksenleri birbirine dik ve zaman içinde yaklaşık 90° faz farkında olan iki alan meydana gelir ve sonuç olarak bir döner alan üretilmiş olur. Bu döner alan etkisinde asenkron motor döner. Endüstride imal edilen makinalarda yardımcı sargının akımı esas sargı akımından yaklaşık 90° faz farklıdır. Faz farkı 50° - 60° - 70° - 90° olabilir. Motor yol aldıktan sonra, bir santrifüj anahtar ya da uygun bir anahtarla yardımcı sargı devreden çıkarılır [2].

1.3.2. Yardımcı Sargılı Motorların Çalışma İlkesi

Şekil-3'te ana ve yardımcı stator sargısı olan bir asenkron motorun, yardımcı sargı devresine seri olarak konacak eleman ile faz kaymasının gerçekleştirilmesi açıklanmıştır. Ana ve yardımcı sargılar, gerilimi V olan bir fazlı alternatif gerilim kaynağına bağlanmıştır. Ana sargı akımı I_a , yardımcı sargı akımı da I_y 'dir. Endüstride



Şekil-3. Yardımcı sargılı tek fazlı asenkron motorun yapısı

üretilen motorlarda genellikle yardımcı sargı devresi omik ya da kapasitif yapılıdır. Örneğin, ana ve yardımcı sargının empedansları Z_a , Z_y olsun:

$$Z_a = R_a + jX_a \quad (1)$$

$$\tan \varphi_a = \frac{X_a}{R_a} \quad (2)$$

$$Z_y = R_y + jX_y \quad (3)$$

$$\tan \varphi_y = \frac{X_y}{R_y} \quad (4)$$

olarak yazılır. I_y 'nin fazını kaydırma yönteminden bir tanesi X_a 'yı büyük R_a 'yı küçük ve X_y 'yi küçük R_y 'yi büyük yapmaktır. Böylece $\varphi_a > \varphi_y$ olur. Limit hallerde $R_a \approx 0$, $R_y \approx \infty$ için $\varphi_a \approx 90^\circ$; $\varphi_y = 0$ ve $\varphi_a - \varphi_y \approx 90^\circ$ olursa da pratikte fiziksel motor sargılarında bu limite ulaşamaz. φ_a faz açısını büyük ve φ_y 'yi küçük yapmanın anlamı şudur: Esas sargıyı kalın iletkenli çok sarımdan yapmak ve yardımcı sargıyı az sarımlı, endüktansı küçük ince iletkenlerden yapmak ya da dışardan bunun devresine seri direnç ilave etmek. Bu tür yol vermeye endüktif yol verme denir.

Yardımcı sargı akımı fazını kaydırmanın ikinci ve en çok kullanılan yöntemi ise yardımcı sargı devresine seri C_y kapasitesi bağlamaktır. Böylece yardımcı sargı empedansı

$$Z_y = R_y + j(L_y \omega - \frac{1}{C_y \omega}) \quad (5)$$

olur. Faz açısı ise

$$\tan \varphi_y = \frac{L_y \omega - \frac{1}{C_y \omega}}{R_y} \quad (6)$$

dır. C_y yol verme kapasitesi istenilen değerde seçilerek $\varphi_a - \varphi_y \approx 90^\circ$ olması sağlanır. Bu yöntem uygulamada kapasitif yol verme adı ile anılır ve endüktif yol vermeden çok daha fazla kullanılır.

1.3.3. Döner Alan Kuramı

Tek fazlı asenkron motorun stator sargısı, eksenini üzerinde bir alternatif alan meydana getirir. Bu alanın, sargı eksenini ile θ açısı yapan bir doğrultu üzerinde ve hava aralığında, harmonikleri ihmal ederek, akı yoğunluğu,

$$B_a(\theta) = B_a(t) \cos \theta \quad (7)$$

dır. Stator sargısı akımının kosinüs fonksiyonuna göre değiştiğini kabul ederek ve demir kayıplarını ihmal ederek,

$$B_a(t) = B_{\max} \cos \omega t \quad (8)$$

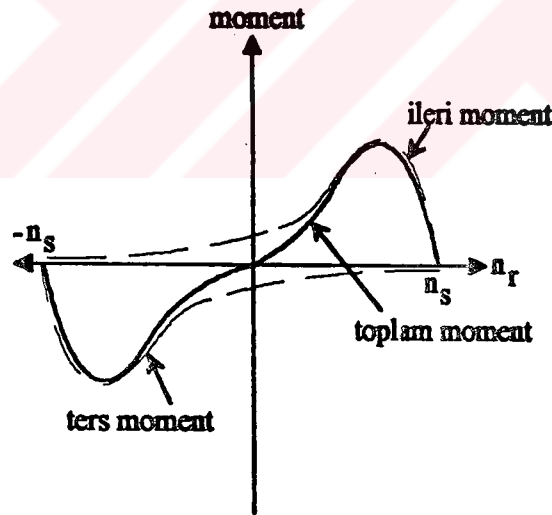
olarak yazılabilir. (8) bağıntısı (7) de kullanılırsa

$$B_a(\theta, t) = B_{\max} (\cos \omega t) \cos \theta \quad (9)$$

olur. Denklem (7) trigonometrik özdeşlikler yardımı ile

$$B_a(\theta, t) = \frac{1}{2} B_{\max} \cos(\theta - \omega t) + \frac{1}{2} B_{\max} \cos(\theta + \omega t) \quad (10)$$

olarak yazılırsa, statorun alternatif alanı birbirine ters yönde dönen ve alternatif alanın yarı genliğinde iki döner alana ayrılmış olur. Her iki döner alan sincap kafesli rotorda eşit ve ters yönde etkiyen momentler endükler. Şekil-4'te, rotor ile aynı ve ters yönde dönen döner alanların moment-hız karakteristikleri çizilmiştir. Motorun ürettiği moment ise her iki moment karakteristiğinin cebirsel toplamıdır. Şekilden de görüldüğü gibi toplam moment $n=0$ iken sıfırdır. Böylece motor dışardan herhangi bir yönde döndürülürse, aynı yönde dönmeyi sağlayabilecek bir moment üretir.



Şekil-4. Stator sargısı alternatif alanının iki döner alana ayrılması ve motorun momentinin bulunması

Burada şu önemli gerçeği açıklamada yarar vardır: Üç fazlı asenkron motorların ani momentinin değeri zamana göre sabittir. Oysa, daha sonra da analitik olarak gösterileceği gibi, bir fazlı asenkron motorun şebekeden aldığı ani güç ve ürettiği ani moment zamana göre değişmektedir. Bu momentin bir ortalaması olmakla beraber, bir fazlı motorlarda

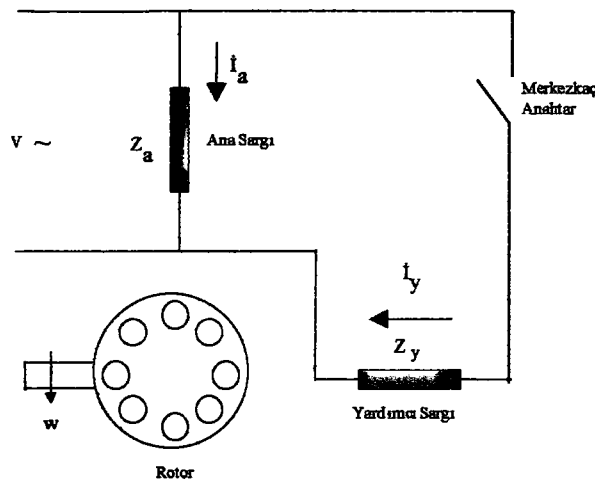
momentin zamanla değişmesi, üç fazlı motorlara göre daha gürültülü çalışmalarına yol açar.

1.4. Tek Fazlı Asenkron Motorlara Yol Verme

Bu bölümde tek fazlı yardımcı sargılı asenkron motorun yol verilmesinde kullanılan yardımcı düzenekler anlatılacaktır.

1.4.1. Tek Fazlı Yardımcı Sargılı Motorlar

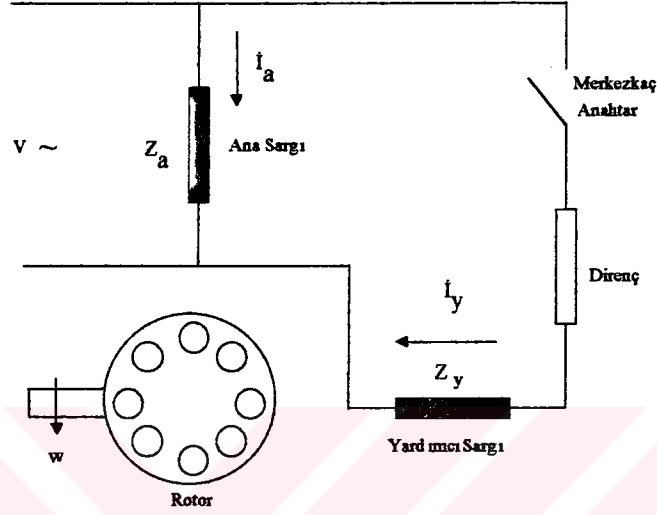
Statorunda birbirinden farklı iki sargı vardır; bu sargılardan biri ana sargı diğeri ise yardımcı ya da yol verme sargısıdır. Ana ve yardımcı sargıların eksenleri uzayda 90° 'lik elektrik açıda bulunur. Yardımcı sargının X_y/R_y oranı küçük yapılarak yardımcı sargı akımı ile ana sargı akımı arasında bir faz farkı üretilir. Sargı eksenleri arasında da faz farkı olduğundan bir döner alan meydana gelir ve motor yol alır. Motor, senkron hızının %60-%75'ine hızlandığında, yardımcı sargı üzerindeki merkezkaç anahtar yardımcı sargıyı devreden çıkarır. X_y/R_y oranını küçük yapmak için, yardımcı sargı ince telden sarılarak direnci büyük yapılır. Öte yandan yardımcı sargılar olukların ağzına yakın yerleştirilerek X_y reaktansı da küçük yapılır. Yardımcı sargı yalnız yol verme süresince devrede kaldığından, ince iletkenlen sarılması ısınma problemi meydana getirmez. Şekil-5'te yardımcı sargılı motorun şeması gösterilmektedir.



Şekil-5. Yardımcı sargılı tek fazlı asenkron motorun şeması

1.4.2. Endüktif Yol Vermeli Motorlar

Bu tip motorlarda ana ve yardımcı sargı akımı arasındaki faz farkı yardımcı sargıya omik direnç bağlanmakla arttırılmaktadır. Az kullanılan bir yöntemdir. Şekil-6'da yapısı görülmektedir.



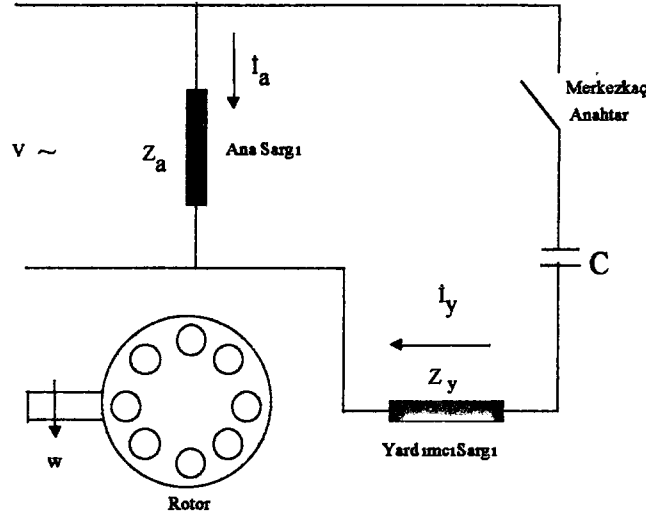
Şekil-6. Endüktif yol vermeli tek fazlı asenkron motorun bağlantı şeması

1.4.3. Kapasitif Yol Vermeli Motorlar

Kondansatörlü motorlar olarak da anılan bu tip motorlarda yardımcı sargıya seri bir kondansatör bağlanmıştır. Böylece yardımcı sargı akımının ana sargı akımından farklı bir fazda olması sağlanır. Kondansatör değeri ayarlanarak bu faz farkı 90° yapılabilir. Kondansatör ve yardımcı sargı devrede sürekli olarak kalmaz. Motor yol alıp senkron hızın yaklaşık %70 değerine ulaştığında devre dışı bırakılır. Motor çalışmasını bu şekilde sadece ana sargı ile sürdürür. Yol vermede kullanılan kondansatörler kuru alternatif akım elektrolitik kondansatörlerdir. Ancak çalışma gerilimleri düşük olduğundan kullanılırken dikkat edilmelidir. Kondansatörün değerini uygun aralıklarda seçerek yol alma akımı ve momentini ayarlama imkanı vardır. Motorun bağlantı şeması Şekil-7'de gösterilmektedir.

Yol alma moment ve akımı için en uygun C değeri I_y ile I_a arasındaki faz farkı $\phi_a - \phi_y$ açısı 90° 'den biraz küçük olduğu zaman meydana gelmektedir. Kondansatörlü motorlar bundan önce görülen motorlara göre büyük yol alma momentini üretir ve bu yol

alma momenti C 'nin değerini ayarlayarak nominal momentin 3-4 katına çıkarılabilir. Bu motorların yol alma akımı ise nominal akımın 5-6 katı olabilir.



Şekil-7. Kapasitif yol vermeli tek fazlı asenkron motorun bağlantı şeması

1.4.3.1. Çift Kondansatörlü Motorlar

Bu motorlarda yardımcı sargı devresine seri olarak bağlı olan ve kendi aralarında paralel bağlı bulunan C_y ve C_s kondansatörleri vardır. Küçük değerde olan C_s kondansatörü motorun devamlı çalışmasında yardımcı sargı devresine seri olarak bağlı kalır; C_y kondansatörü ise motor yol aldıktan sonra devreden çıkartılır. Yol almada devrede $C_s + C_y$ kondansatörü vardır.

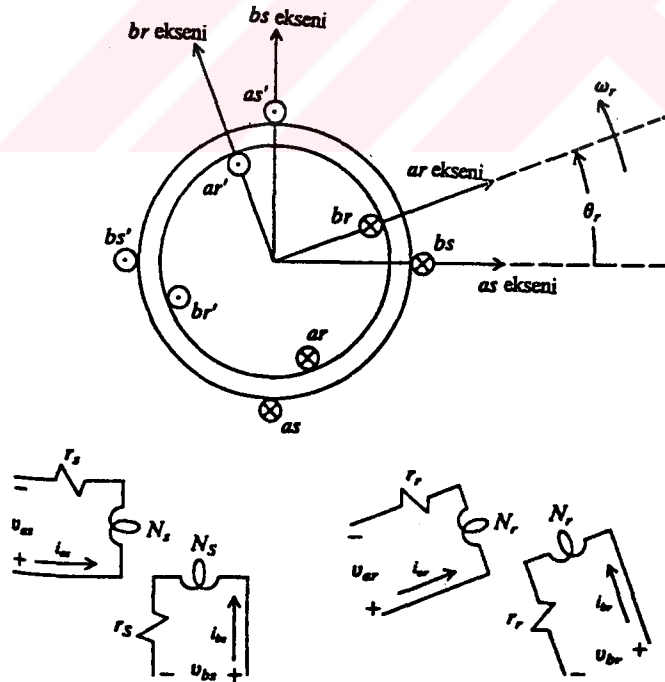
Yol verme kapasitesi devrede birkaç saniye kaldığından bu kapasite, alternatif akım elektrolitik tipten ucuz kapasite olarak seçilir. Buna karşılık devrede sürekli kalan kapasite ise alternatif akım için yağlı, kağıtlı veya folyolu sığaçlardır.

Kondansatörün yol alma momenti üzerine etkisinin teorik incelenmesinden şu sonuçlar elde edilir: Bir fazlı asenkron motorun nominal momentte yol alabilmesi için her beygir gücü için 1 KVar'lık kondansatör gücü hesaplanır. Kondansatörün gücü $Q_r = U^2 C \omega$ VA dır. Burada U kondansatör uçlarına gelen gerilim, C Farad ve ω da gerilimin açısal frekansı olduğundan, U , ω ve Q_r bilindiğinden C hesaplanır. 1/6 BG'lik, 220 V'luk bir kapasiteli motorun nominal momentin 3.5 katı bir momentle yol alabilmesi için, yaklaşık $C = 25 \mu F$ 'lık kondansatörü yardımcı sargısına seri olarak bağlamak gerekir. Şekil-8'de çift kondansatörlü bir fazlı asenkron motorun bağlantı şeması verilmektedir.

uyum sağlayacak şekilde seçildiğinden başlangıç momenti çok küçüktür. Şekil-9'da sürekli kondansatörlü bir fazlı asenkron motorun bağlantı şeması verilmektedir [2].

1.5. Tek Fazlı Asenkron Motorun Matematiksel Modeli

Tek fazlı asenkron motor, iki fazlı simetrik olmayan asenkron motorunkine benzer usul dikkate alınarak analiz edilebilir. Tek fazlı asenkron motorun sahip olduğu ana ve yardımcı sargı olarak isimlendirilen iki farklı stator sargısı olduğundan, bu makine iki fazlı simetrik olmayan asenkron motor gibi analiz edilebilir [3]. İki fazlı simetrik olmayan asenkron motor eşdeğer devresi Şekil-10'da gösterilmektedir. Stator sargıları, uzay düzleminde yayılı sargılar sinüzoidal olarak dağıtılmamıştır. Burada as sargısının, r_s direnci ile eşdeğer olarak N_s sarımlı olduğu farz edilebilir. Yine bs sargısı, r_s direnci ile eşdeğer olarak N_s sarım sayısına sahiptir. Rotor sargılarının uzay düzleminde sinüzoidal olarak dağıtılmış iki sargı olduğu düşünülebilir. Her bir rotor sargısı r_r direnci ile beraber eşdeğer N_r sarım sayısına sahiptir. Hava aralığı dağılımının düzgün olduğu varsayılmıştır. Bir fazlı asenkron motorun stator ve rotor gerilim bağıntıları aşağıdaki gibi yazılır.



Şekil-10. Simetrik olmayan iki fazlı asenkron motor

Motor değişkenlerinin gerilim bağıntıları: (p: Türev operatörü)

$$v_{abs} = r_s i_{abs} + p \lambda_{abs} \quad (11)$$

$$v_{abr} = r_r i_{abr} + p \lambda_{abr} \quad (12)$$

$$(f_{abs})^T = [f_{as} \ f_{bs}] \quad (13)$$

$$(f_{abr})^T = [f_{ar} \ f_{br}] \quad (14)$$

$$r_s = \text{diag}[r_s \ r_s] \quad (15)$$

Direnç matrisi r_r , sıfıra eşit olmayan elemanları bulunan diyagonal bir matristir.

Toplam akılar şu şekilde ifade edilir.

$$\begin{bmatrix} \lambda_{abs} \\ \lambda_{abr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & L_{sr} \\ (L_{sr})^T & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{abs} \\ i_{abr} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$L_s = \begin{bmatrix} L_{ls} + L_{ms} & 0 \\ 0 & L_{ls} + L_{ms} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$L_r = \begin{bmatrix} L_{lr} + L_{mr} & 0 \\ 0 & L_{lr} + L_{mr} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$L_{sr} = \begin{bmatrix} L_{sr} \cos \theta_r & -L_{sr} \sin \theta_r \\ L_{sr} \sin \theta_r & L_{sr} \cos \theta_r \end{bmatrix} \quad (19)$$

Denklem 17’de L_{ls} ve L_{ms} (L_{ls} ve L_{ms}) sırasıyla as (bs) sargısının kaçak ve ortak endüktanslarıdır. Rotor için tanımlanan eşdeğer sargılarda, L_{lr} ve L_{mr} sırasıyla kaçak ve ortak endüktanslardır. Denklem 19’da L_{sr} (L_{sr}) as sargısı (bs sargısı) ile rotor sargıları arasındaki ortak endüktansın genliğidir. Rotor açısal konumu, Şekil-10’da tanımlanmaktadır. Aşağıda verilen denklemlerin simetrik iki fazlı asenkron motor içinde kullanılacağı açıktır. Elektromagnetik moment ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$T_e = \left(\frac{P_0}{2} \right) (i_{abr})^T \frac{\partial}{\partial \theta_r} [(L_{sr})^T] i_{abs} \quad (20)$$

Denklem 20’de verilen moment ifadesi motor olarak çalışmada pozitif değer alır.

$$T_e = \left(\frac{P_0}{2} \right) [L_{sr} i_{as} (-i_{ar} \sin \theta_r - i_{br} \cos \theta_r) + L_{sr} i_{bs} (i_{ar} \cos \theta_r - i_{br} \sin \theta_r)] \quad (21)$$

Moment ve rotor hızı arasında şu ilişki vardır:

$$T_e = J \left(\frac{2}{P_0} \right) p \omega_r + T_L \quad (22)$$

Burada, J rotor ve makinaya bağlı yükün eylemsizlik momentidir. Yük momenti T_L , motor çalışma durumunda pozitif değerdedir.

1.6. Tek Fazlı Asenkron Motorun d-q Eksen Dönüşümü

Tek fazlı asenkron motorun gerilim denklemlerini sabit parametreler cinsinden bulmak için stator sargıları değişkenlerini stator duran referans eksenine dönüştürmek gereklidir. Dönüşüm özellikleri stator referans eksen takımında gerilim eşitlikleri şu şekilde olmaktadır (referans eksen takımı durmaktadır; $\omega=0$).

$$v_{qds}^s = r_s i_{qds}^s + p \lambda_{qds}^s \quad (23)$$

$$v_{qdr}^s = r_r i_{qdr}^s - \omega_r \lambda_{qdr}^s + p \lambda_{qdr}^s \quad (24)$$

$$(\lambda_{qdr}^s)^T = [\lambda_{dr}^s - \lambda_{qr}^s] \quad (25)$$

Akı denklemlerine dönüşüm eşitlikleri uygulanırsa;

$$K_{2s} = (K_{2s})^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ \sin \theta & -\cos \theta \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$K_{2r} = (K_{2r})^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta \\ \sin \beta & -\cos \beta \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_{qds}^s \\ \lambda_{qdr}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{2s}^s L_s (K_{2s}^s)^{-1} & K_{2s}^s L_{sr} (K_{2r}^s)^{-1} \\ K_{2r}^s (L_{sr})^T (K_{2s}^s)^{-1} & K_{2r}^s L_r (K_{2r}^s)^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qds}^s \\ i_{qdr}^s \end{bmatrix} \quad (28)$$

Burada L_s , L_r ve L_{sr} sırasıyla denklem (17) ve (19)'da tanımlanmıştır. Duran eksen takımında $\omega=0$ ve $\theta(0)=0$ olması ile dönüşüm matrisi;

$$K_{2s}^s = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (29)$$

Buradan;

$$K_{2s}^s L_s (K_{2s}^s)^{-1} = L_s \quad (30)$$

$$K_{2r}^s L_r (K_{2r}^s)^{-1} = L_r \quad (31)$$

$$K_{2s}^s L_{sr} (K_{2r}^s)^{-1} = K_{2r}^s (L_{sr})^T (K_{2s}^s)^{-1} = \begin{bmatrix} L_{sr} & 0 \\ 0 & L_{sr} \end{bmatrix} \quad (32)$$

Gerilim eşitlikleri tekrar yazılırsa;

$$v_{qs}^s = r_s i_{qs}^s + p \lambda_{qs}^s \quad (33)$$

$$v_{ds}^s = r_s i_{ds}^s + p \lambda_{ds}^s \quad (34)$$

$$v_{qr}^s = r_r i_{qr}^s - \omega_r \lambda_{dr}^s + p \lambda_{qr}^s \quad (35)$$

$$v_{dr}^s = r_r i_{dr}^s - \omega_r \lambda_{qr}^s + p \lambda_{dr}^s \quad (36)$$

Buradan akı denklemlerine geçilirse;

$$\lambda_{qs}^s = L_s i_{qs}^s + L_{sr} i_{qr}^s \quad (37)$$

$$\lambda_{ds}^s = L_s i_{ds}^s + L_{sr} i_{dr}^s \quad (38)$$

$$\lambda_{qr}^s = L_r i_{qr}^s + L_{sr} i_{qs}^s \quad (39)$$

$$\lambda_{dr}^s = L_r i_{dr}^s + L_{sr} i_{ds}^s \quad (40)$$

Burada

$$L_s = L_{ls} + L_{ms} \quad (41)$$

$$L_s = L_{ls} + L_{ms} \quad (42)$$

$$L_r = L_{lr} + L_{mr} \quad (43)$$

dir. L_{sr} ve L_{sr} endüktansları denklem (19)'da tanımlanmıştır.

Elektrik makinaları için geliştirilen eşdeğer devrelerde, rotor değişkenleri, sarım oranı dikkate alınarak stator sargıları tarafına dönüştürülür. Simetrik olmayan iki fazlı asenkron makinanın stator sargıları, aynı sarım sayısına sahip değildir. Daha sonra biz, bütün rotor ve stator değişkenlerini as sargısına dönüştüreceğiz. Bununla birlikte, bütün q-değişkenleri N_s sarım sayılı as sargısına ve bütün d-değişkenleri N_s sarımlı bs sargısına dönüştürülür. Bu referans dönüşüm tipi en iyi çözümdür. $\theta(0)=0$ alınarak, bütün değişkenlerin stator referans eksen takımına dönüştürülmesi en iyi çözümdür. Eğer bütün q-değişkenleri N_s sarım sayılı as sargısına dönüştürülürse gerilim eşitlikleri şu şekilde oluşur.

$$v_{qs}^s = r_s i_{qs}^s + p \lambda_{qs}^s \quad (44)$$

$$v_{ds}^s = r_s i_{ds}^s + p \lambda_{ds}^s \quad (45)$$

$$v_{qr}^s = r_r i_{qr}^s - \frac{N_s}{N_s} \omega_r \lambda_{dr}^s + p \lambda_{qr}^s \quad (46)$$

$$v_{dr}^s = r_r i_{dr}^s - \frac{N_s}{N_s} \omega_r \lambda_{qr}^s + p \lambda_{dr}^s \quad (47)$$

Buradan akı denklemlerine geçilirse,

$$\lambda_{qs}^s = L_{ls} i_{qs}^s + L_{ms} (i_{qs}^s + i_{qr}^s) \quad (48)$$

$$\lambda_{ds}^s = L_{ls} i_{ds}^s + L_{ms} (i_{ds}^s + i_{dr}'^s) \quad (49)$$

$$\lambda_{qr}'^s = L_{lr}' i_{qr}'^s + L_{ms} (i_{qs}^s + i_{qr}'^s) \quad (50)$$

$$\lambda_{dr}'^s = L_{lr}' i_{dr}'^s + L_{ms} (i_{ds}^s + i_{dr}'^s) \quad (51)$$

Burada üst indis (') statora indirgenmiş değerleri göstermektedir.

$$v_{qr}'^s = \frac{N_s}{N_r} v_{qr}^s \quad (52)$$

$$i_{qr}'^s = \frac{N_r}{N_s} i_{qr}^s \quad (53)$$

$$v_{dr}'^s = \frac{N_s}{N_r} v_{dr}^s \quad (54)$$

$$i_{dr}'^s = \frac{N_r}{N_s} i_{dr}^s \quad (55)$$

$$r_r' = \left(\frac{N_s}{N_r} \right)^2 r_r \quad (56)$$

$$L_{lr}' = \left(\frac{N_s}{N_r} \right)^2 L_{lr} \quad (57)$$

$$r_R' = \left(\frac{N_s}{N_r} \right)^2 r_R \quad (58)$$

$$L_{lR}' = \left(\frac{N_s}{N_r} \right)^2 L_{lR} \quad (59)$$

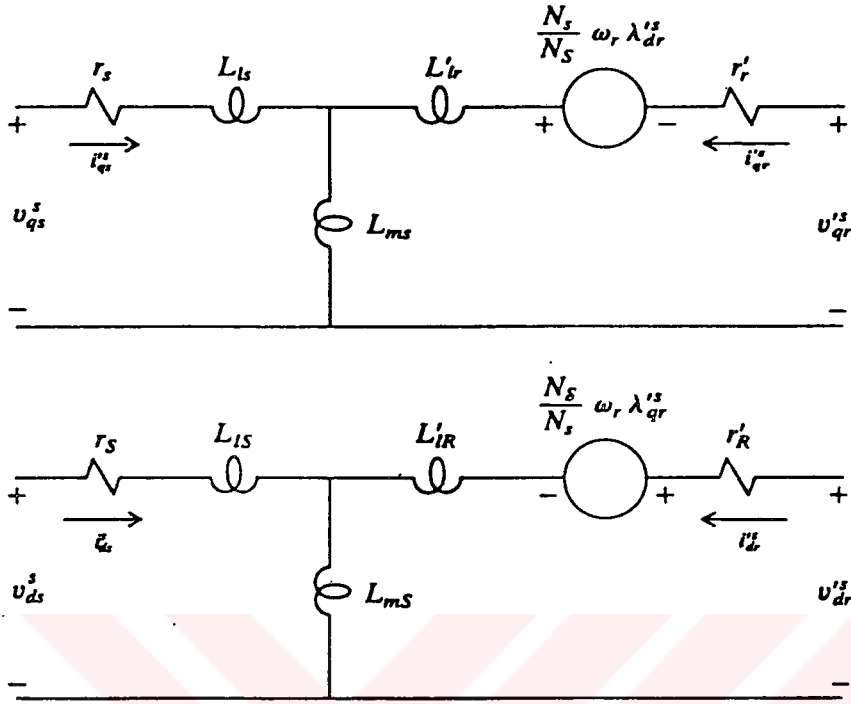
$$L_{ms} = \left(\frac{N_s}{N_r} \right) L_{sr} \quad (60)$$

$$L_{mS} = \left(\frac{N_s}{N_r} \right) L_{sr} \quad (61)$$

Şekil-11'de aşağıdaki denklemler için önerilen eşdeğer devre gösterilmektedir. Gerilim ve toplam akı denklemlerinde endüktans ifadelerinden daha çok reaktans ifadeleri tercih edilmektedir. Bundan dolayı (44) ve (51) denklemleri şu şekilde yazılır.

$$v_{qs}^s = r_s i_{qs}^s + \frac{p}{\omega_b} \psi_{qs}^s \quad (62)$$

$$v_{ds}^s = r_s i_{ds}^s + \frac{p}{\omega_b} \psi_{ds}^s \quad (63)$$



Şekil-11. İki fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi

$$v_{qr}^{'s} = r_r' i_{qr}^{'s} - \frac{N_s \omega_r}{N_s \omega_b} \psi_{dr}^{'s} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{qr}^{'s} \quad (64)$$

$$v_{dr}^{'s} = r_r' i_{dr}^{'s} - \frac{N_s \omega_r}{N_s \omega_b} \psi_{qr}^{'s} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{dr}^{'s} \quad (65)$$

Burada ω_b endüktif reaktansların hesaplanmasında kullanılan elektriksel açısal hızdır. Toplam akı eşitlikleri birim saniyede toplam akı terimleri olarak tekrar yazılırsa;

$$\psi_{qs}^s = X_{ls} i_{qs}^s + X_{ms} (i_{qs}^s + i_{qr}^{'s}) \quad (66)$$

$$\psi_{ds}^s = X_{ls} i_{ds}^s + X_{ms} (i_{ds}^s + i_{dr}^{'s}) \quad (67)$$

$$\psi_{qr}^{'s} = X_{lr}' i_{qr}^{'s} + X_{ms} (i_{qs}^s + i_{qr}^{'s}) \quad (68)$$

$$\psi_{dr}^{'s} = X_{lr}' i_{dr}^{'s} + X_{ms} (i_{ds}^s + i_{dr}^{'s}) \quad (69)$$

elde edilir.

N_s/N_r sarım oranı, n simgesiyle gösterilmektedir ve

$$X_{ss} = X_{ls} + X_{ms} \quad (70)$$

$$X_{ss} = X_{ls} + X_{ms} \quad (71)$$

$$X'_r = X'_{lr} + X_{ms} \quad (72)$$

$$X'_{RR} = X'_{lR} + X_{ms} \quad (73)$$

Böylece, bir fazlı asenkron motorun d-q eksen sistemindeki en son gerilim denklemleri matrisel formda aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} v_{qs}^s \\ v_{ds}^s \\ v_{qr}'^s \\ v_{dr}'^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s + \frac{p}{\omega_b} X_{ss} & 0 & \frac{p}{\omega_b} X_{ms} & 0 \\ 0 & r_s + \frac{p}{\omega_b} X_{ss} & 0 & \frac{p}{\omega_b} X_{ms} \\ \frac{p}{\omega_b} X_{ms} & -\frac{\omega_r}{n\omega_b} X_{ms} & r_r' + \frac{p}{\omega_b} X'_{rr} & -\frac{\omega_r}{n\omega_b} X'_{RR} \\ n\frac{\omega_r}{\omega_b} X_{ms} & \frac{p}{\omega_b} X_{ms} & n\frac{\omega_r}{\omega_b} X'_{rr} & r_r' + \frac{p}{\omega_b} X'_{RR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs}^s \\ i_{ds}^s \\ i_{qr}'^s \\ i_{dr}'^s \end{bmatrix} \quad (74)$$

Ani elektromagnetik moment, d-q eksen sistemine dönüştürülmüş değerlerle aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$T_e = \frac{P_0}{2} (L_{sr} i_{qs}^s i_{dr}'^s - L_{sr} i_{ds}^s i_{qr}'^s) \quad (75)$$

Statora dönüştürülmüş, rotor değişkenleri dikkate alınarak moment ifadesi yazıldığında,

$$T_e = \frac{P_0}{2} \left(\frac{N_s}{N_s} \lambda_{qr}'^s i_{dr}'^s - \frac{N_s}{N_s} \lambda_{dr}'^s i_{qr}'^s \right) \quad (76)$$

denklemini elde edilir.

Doyma ihmal edilirse, endüktanslar, sarım sayısı ve relüktans terimleri olarak ifade edilebilir. Buradan endüktanslar,

$$\frac{L_{ms}}{N_s^2} = \frac{L_{ms}}{N_s^2} \quad (77)$$

$$\frac{L_{sr}}{N_s} = \frac{L_{sr}}{N_s} \quad (78)$$

olarak elde edilir. Denklem (76)'da verilen moment ifadesi tekrar yazılırsa,

$$T_e = \left(\frac{P_0}{2} \right) \left(\frac{N_s}{N_s} \right) \left(\frac{X_{ms}}{\omega_b} \right) (i_{qs}^s i_{dr}'^s - i_{ds}^s i_{qr}'^s) \quad (79)$$

denklemini elde edilir [3].

2. DİNAMİK DENKLEMLERİN SAYISAL YÖNTEMLE ÇÖZÜMÜ

2.1. Dört Adımlı Runge-Kutta Yöntemi

“Dört Adımlı Runge-Kutta Yöntemi” bir adım yöntemidir. Bu yöntemle çözülecek diferansiyel denklem

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y)$$

biçimindedir. Çözümüne x ve y 'nin (X_0, Y_0) başlangıç değerleri ile başlanır. Daha sonra ilk başta seçilen “ h ” adımına göre başlangıç değerler atanır ve yeni x değerine karşılık y değeri belirlenir. Gerekli hesaplar yapılarak işlem yinelenir. “ h ” ne kadar küçükse hata o kadar küçüktür.

Bu çalışmada dört adımlı Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır. Yukarıda anlatılanlar şöyle gösterilebilir.

1. Adım: $X_A = X_0$
 $Y_A = Y_0$
 $A = h \cdot f(X_A, Y_A)$
2. Adım: $X_B = X_0 + h/2$
 $Y_B = Y_0 + A/2$
 $B = h \cdot f(X_B, Y_B)$
3. Adım: $X_C = X_0 + h/2$
 $Y_C = Y_0 + B/2$
 $C = h \cdot f(X_C, Y_C)$
4. Adım: $X_D = X_0 + h$
 $Y_D = Y_0 + C$
 $D = h \cdot f(X_D, Y_D)$

A, B, C, D değerleri hesaplanarak

$$\Delta Y_1 = \frac{1}{6}(A + 2B + 2C + D)$$

$$X_1 = X_0 + h$$

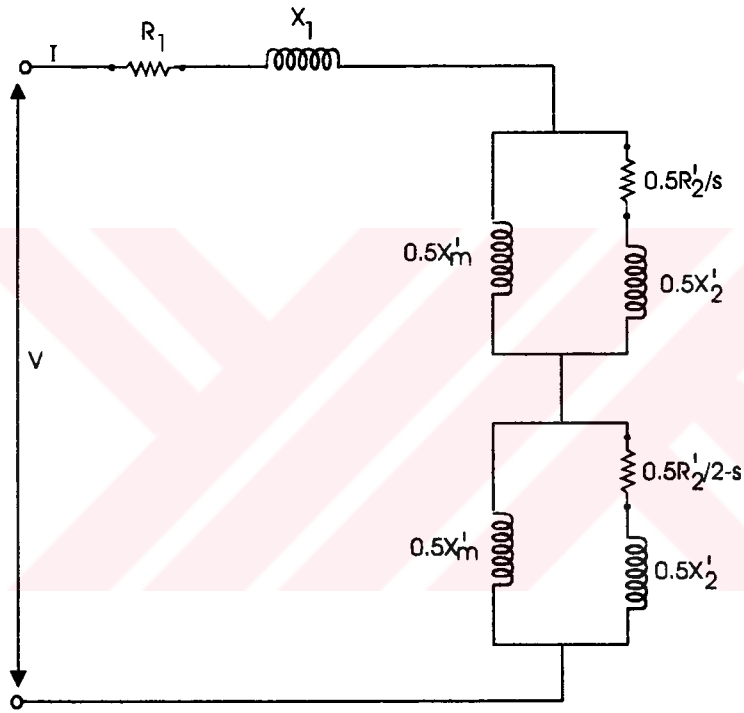
$$Y_1 = Y_0 + \Delta Y_1$$

olarak bulunur. Y 'nin Y_1 'den sonra Y_2 gibi başka bir noktasını hesaplamak için bu defa X_1 , Y_1 değerleri başlangıç değerleri olarak alınıp yukarıdaki işlemler tekrarlanır. İşlemler ya Y 'nin hesaplanacak nokta sayısının sınırını vererek ya da X 'in $X_{\max}$ gibi bir tavan değerini vererek durdurulur [4].



3. ASENKRON MOTORUN EŞDEĞER DEVRE PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Tek fazlı asenkron motorlarda eşdeğer devre parametreleri, boşa çalışma ve kısa devre deneylerinden belirlenir. Aşağıda boşa çalışma kayıpları da göz önüne alınarak tek fazlı asenkron motorun eşdeğer devre parametrelerinin nasıl belirleneceği gösterilmiştir. Tek fazlı asenkron motorun demir kayıpları göz ardı edilerek elde edilen eşdeğer devresi aşağıda Şekil-12’de verilmiştir.



Şekil-12. Tek fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi

Tek fazlı asenkron motorun yaklaşık eşdeğer devre parametreleri kilitli rotor ve boşa çalışma deneylerinden elde edilebilir.

Kilitli rotor deneyi sırasında yardımcı sargılar devre dışı bırakılır. Bu koşullarda rotor mıknatıslanma reaktansı X_m 'nin, rotor reaktansından çok büyük olduğunu göz önüne alırsak yaklaşık eşdeğer devre yeniden Şekil-13'deki gibi çizilebilir. Tek fazlı asenkron motorun rotorunun mekanik olarak kilitlenmiş olması nedeniyle bu koşullarda kayma $s=1$ olacaktır.

Uygulanan gerilim altında ölçülen değerler V_K , I_K ve P_K olsun. Buna göre kilitli rotor empedansı,

$$Z_K = \frac{V_K}{I_K} \quad (80)$$

olur. Kilitli rotor direnci,

$$R_K = \frac{P_K}{I_K^2} \quad (81)$$

ve kilitli rotor reaktansı,

$$X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2} \quad (82)$$

olur.

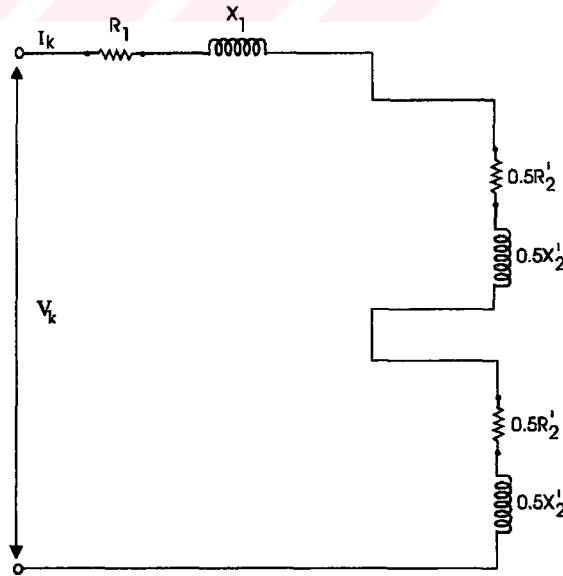
Tek fazlı asenkron motorun kilitli rotor deneyi için geçerli olan eşdeğer devresi Şekil-15'den,

$$R_K = R_1 + R_2' \quad (83)$$

$$X_K = X_1 + X_2' \quad (84)$$

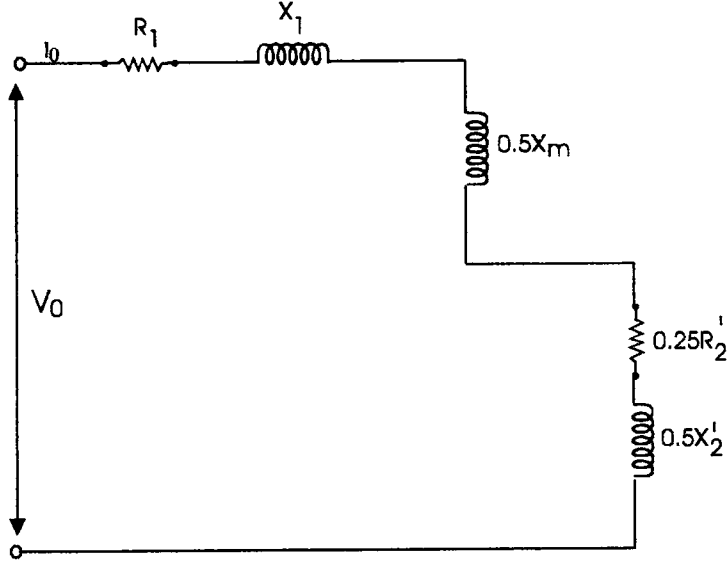
yazılır. Buna göre sargı direnci belli ise rotor eşdeğer sargı direnci bulunabilir.

Tek fazlı asenkron motorun yardımcı sargıları devre dışı edilerek yüksüz durumda çalıştığını düşünelim. Bu koşullarda kayma $s=0$ olduğundan tek fazlı asenkron motorun eşdeğer devresi Şekil-14'deki gibi olacaktır.



Şekil-13. Tek fazlı asenkron motorun kilitli rotor eşdeğer devresi

Tek fazlı asenkron motorun boşa çalışma deneyinde ölçülen değerler V_0 , I_0 , P_0 olsun.



Şekil-14. Tek fazlı asenkron motorun boşa çalışma eşdeğer devresi

Boşa çalışma empedansı,

$$Z_0 = \frac{V_0}{I_0} \quad (85)$$

dır. Boşa çalışma eşdeğer devre reaktansı,

$$R_0 = \frac{P_0}{I_0^2} \quad (86)$$

olur. Bu durumda boşa çalışma reaktansı,

$$X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2} \quad (87)$$

olur ve

$$X_0 = X_1 + 0.5X_m + 0.5X_2' \quad (88)$$

denkleminde,

$$X_m = 2X_0 - 2X_1 - X_2' \quad (89)$$

bulunur. Dönel kayıplar,

$$P_{\text{dönel}} = P_0 - I_0^2(R_1 - 0.25R_2') \quad (90)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Tek fazlı asenkron motorlarda dönel kayıplar çekirdek kayıpları, sürtünme ve vantilasyon kayıpları ve ek kayıplardan oluşur [6].

3.1. Eylemsizlik Momentinin Bulunması

Eylemsizlik momentinin hesaplanmasında “yavaşlama eğrisi” kullanılmıştır. Motorun boşa çalışması durumunda çektiği güç P ve sistemin toplam kayıpları $P_{sür} + P_{fe}$ olmak üzere j şöyle bulunabilir:

Saklanan kinetik enerji

$$\frac{1}{2} j \omega^2 \quad (91)$$

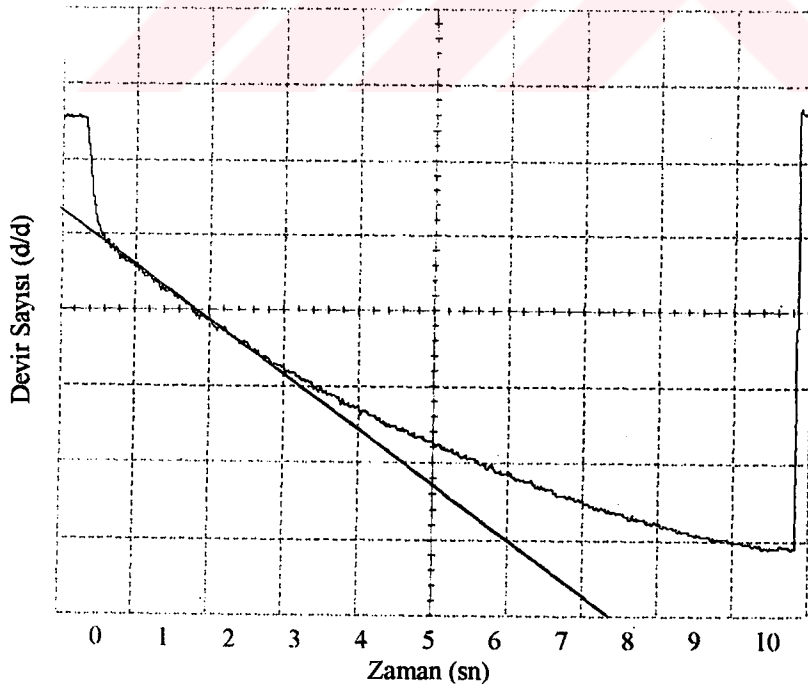
olmak üzere,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} j \omega^2 \right) = P_{sür} + P_{fe} \quad (92)$$

olduğundan motorun enerjisi kesildikten sonra motor demir kayıplarına ve sürtünme kayıplarına bağlı olarak belli bir süre sonra durur. Bundan yararlanılırsa,

$$j \frac{d\omega}{dt} \omega = P_{sür} + P_{fe} \quad (93)$$

bağıntısının yardımıyla,



Şekil-15. Tek fazlı asenkron motorun yavaşlama eğrisi

$$j = \frac{P_{sür} + P_{fe}}{\omega \frac{d\omega}{dt}} \quad (94)$$

eylemsizlik momenti bulunmuş olur.

İlgilenilen motorun boшта çalışma deneyi ve kısa devre (kilitli rotor) deneyi sonuçları ile ana sargı çalışmalı sürekli durum eşdeğer devresinden yararlanılarak sürtünme ve demir kayıplarının toplamı $P_{sür}+P_{fe}=32.2776W$ olarak bulunmuştur. Bellekli osiloskop ile yavaşlama eğrisi Şekil-17'deki gibi bulunmuştur [6].

Buna göre,

$$J=0.0085 \text{ Kgm}^2$$

bulunmuştur.

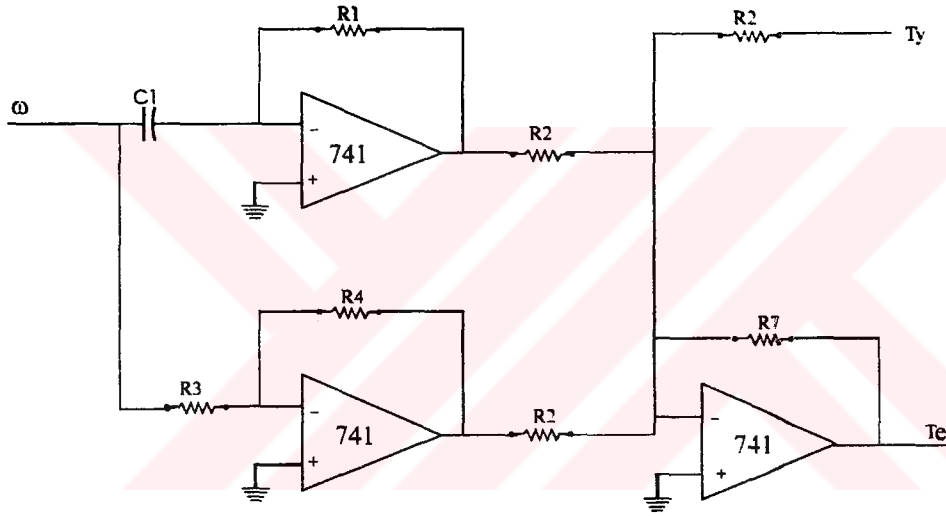


4. MOMENTİN DENEYSEL OLARAK BELİRLENMESİ

Momentin ölçülmesinde kullanılan temel ilke açısal hızın türevini almaktır. Makinanın hareket denklemi;

$$T_e = j \frac{d\omega}{dt} + \beta\omega + T_L \quad (95)$$

biçimindedir. Mikroişlemcilerin henüz geliştirilmediği dönemlerde kullanılan analog hesaplayıcılardan yararlanılarak bu hareket denkleminin çözümü Şekil-16'daki devre ile yapılabilir.



Şekil-16. Moment ölçme düzeneği

Bu durumda

$$T_e = \frac{R_7}{R_2} \left(\frac{1}{R_1 C_1} \frac{d\omega}{dt} + \frac{R_4}{R_3} \omega + T_y \right) \quad (96)$$

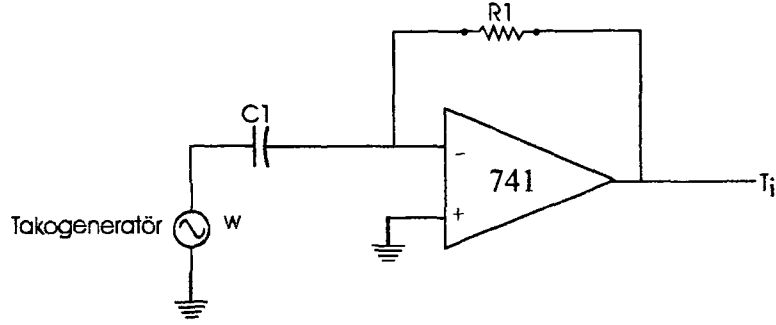
olacaktır.

$$j = \frac{R_7}{R_2 R_1 C_1} \quad (97)$$

$$\beta = \frac{R_7 R_4}{R_2 R_3} \quad (98)$$

olacak şekilde dirençler ayarlanır.

Teorik denklemlerde sürtünme ihmal edildiği için moment ölçerken de Şekil-17’de gösterilen devre kullanılmıştır [5].



Şekil-17. Moment lme düzeneğinin basitleştirilmiş bağlantı şeması

$$T_i = R_1 C_1 \frac{d\omega}{dt} \quad (99)$$

olarak elde edilir.

5. TEK FAZLI ANAHTARLARLAMA AÇI SEÇİCİSİ

Asenkron motorlarda meydana gelen geçici olaylar değişik etkenlerden oluşmaktadır. Bu etkenlerden biri de gerilimin sisteme uygulandığı andaki değeridir. Gerilimin uygulama anındaki değerinin geçici olay üzerine etkisi çok kısa zamanda oluşmaktadır. Dolayısıyla bu etkilerin mekanik anahtarlarla incelenemeyeceği anlaşılmaktadır.

Normal mekanik anahtarlar ile gerilim eğrisi üzerinde istenen bir noktada geçici olaya neden olan anahtarlama işleminin yapılması imkanı yoktur. Uygulama noktasını kontrol etme imkanı olmadığından, anahtarlama işlemi sonucu kaydedilecek geçici olay eğrileri her defasında farklı şekil gösterecektir. Aynı geçici olay eğrisinin elde edilmesi ancak anahtarın gerilim eğrisi üzerinde rastgele bir önceki noktada kapanmasına bağlıdır.

Mekanik ve başka anahtarlama cihazlarının uygulamada gösterdikleri aksaklıkları gidermek için, ideal bir anahtarın gerektirdiği bütün özelliklere sahip olan tristörler kullanılır. Tristörlerin çalışması için çok az güç gerektirmesi, çevre koşullarından etkilenmeyip az yer tutmaları ve bakıma ihtiyaç göstermemeleri başlıca üstünlüklerindendir [7].

5.1. Tek Fazlı Anahtarlama Açı Seçicisinin Yapısı

Tristörlü anahtar esas olarak bir tetikleme devresi, yalıtım katı ve tristörlerden meydana gelmiştir. Darbeler bir periyotta 0° ile 360° aralığında kontrol edilebilmektedir. 50 Hz'de geçici olaylar için cihazın duyarlılığı yeterli seviyededir. Diyod ve tristörlerin çalışma anındaki iç ön dirençlerindeki gerilim düşümünün çok az olması nedeni ile anahtarın toplam gerilim düşümü oranı yaklaşık % 2.8'dir [7]. Şekil-18'de uygulamada kullanılan tek fazlı anahtarlama açı seçicisinin şeması gösterilmektedir.

Tek fazlı anahtarlama açı seçicisi esas olarak dört bölüme ayrılmaktadır.

- 1)555'li tetikleme devresi,
- 2) DC güç kaynakları,
- 3)Tristörler,
- 4)Diyod köprüsü'dür.

tetikleme devresinden elde edilir. Tetikleme devreleri için en önemli problem, şebeke gerilimi ile senkronizasyondur. Bu işlem, bir fazdan bir op-amp (741) devresi ile alınan örneklerle sağlanmaktadır. Bu sayede şebekeden sıfır geçişleri algılanmaktadır. Şebeke geriliminin sıfır geçişi algılandıktan sonra 741, girişine uygulanan gerilimi $V_i > 0$ ise $V_{\phi} = -V_{cc}$ ve $V_i < 0$ ise $V_{\phi} = +V_{cc}$ olacak şekilde fazı çevrilmiş bir kare dalgaya dönüştürecektir. Bu kare dalgadan bir türev devresi ile tetikleme darbeleri üretilip, bu darbelerin seviyesi 5 Volt DC gerilime bindirilerek (yükseltilerek) 555 için gerekli olan pozitif düşen kenarlı darbeler üretilmiş olacaktır. Böylece pozitif düşen kenarlı tetikleme darbeleriyle birinci 555 iletime geçirilecek ve çıkışında genişliği $\tau = 1.1 * (R_4 + R_{pot}) * C_3$ ile ayarlanan pozitif bir kare dalga üretilecektir. Bu kare dalgadan ikinci kez bir türev devresi ile tetikleme darbeleri üretilip, bu darbelerin seviyesi 5 Volt DC gerilime bindirilerek (yükseltilerek) 555 için gerekli olan pozitif düşen kenarlı darbeler üretilmiş olacaktır. Böylece pozitif düşen kenarlı tetikleme darbeleriyle ikinci 555 iletime geçirilecek ve çıkışında birinci 555'te kullanılan R_{pot} yardımıyla 0° ile 360° arasında ayarlanabilen tetikleme darbeleri üretilecektir. Darbelerin genliği yaklaşık 5 Volt ve genişliği 50 mikro saniyedir. İkinci 555 çıkışı direk olarak tristörleri sürecektir. Bu yüzden bir optocoupler (4N25) ile yalıtım sağlanmakta ve optocoupler çıkışı da tristörler için gerekli akımı sağlayabilecek bir tranzistör (BC337) üzerinden yükseltilerek tristörün tetikleme girişini sürmektedir [8].

5.1.2. DC Güç Kaynakları

Cihazda, biri $\pm 15V$ ve diğerleri 5V olmak üzere toplam dört tane DC güç kaynağı kullanılmıştır. $\pm 15V$ 'luk olanı 741'in beslemesinde, 5V'luk olanlardan birisi 555'lerin beslemesinde, 5V'luk olanlardan ikincisi yalıtım ve yükselteç katlarının beslemesinde ve üçüncü 5V'luk olanı ise Th_1 güç tristörünün tetikleme işareti kaynağı olarak kullanılmaktadır.

5.1.3. Tristörler

Taşıdıkları akımlara ve cihazdaki görevlerine göre iki ayrı cins tristör kullanılmıştır. Kontrol tristörü olarak tanımlanan ve şekilde Th_2 (TIC106M) ile gösterilen tristör çalışma anında taşıdığı akım güç tristörü Th_1 (BT151 500R)'in çalışması için

tetikleme girişine uygulanması gereken akım değerine eşittir. Güç tristörü taşıyacağı akım oranı bakımından anahtarlama işlemi sonucu sistemde meydana gelen geçici olay periyodu göz önünde bulundurularak uygun olanı seçilir.

5.1.4. Diyod Köprüsü

Diyod köprüsü, güç tristörünün anodunun gerilim yönünden devamlı pozitif olmasını sağlar. Kullanılan diyod köprüsünün akım değeri güç tristörüne bağlı olarak seçilir.

5.2. Tek Fazlı Anahtarlama Açık Seçicisinin Çalışması

Tek fazlı asenkron motora uygulanan gerilimin, gerilim eğrisi üzerinde istenen bir noktada uygulanabilmesi için başlangıçta 555'li tetikleme devresi ile gerilimin uygulanmak istendiği açıya ayarlanır. Tetikleme darbelerinin durumları daha kolayca gözlenebileceğinden duyarlı bir ayarlama için ikinci 555'in çıkışına bir osiloskop bağlanır. Bu anda kontrol tristörü Th_2 'nin girişine bağlı olan 5V'luk DC güç kaynağının anahtarı açık olduğundan tristörler çalışmamakta ve yük üzerinden herhangi bir akım geçmemektedir. Kısaca anahtar açık devre halindedir. Anahtarın kapatılması ile kontrol tristörü Th_2 'nin ilettime geçmesi ve dolayısıyla güç tristörü Th_1 'in tetikleme girişine 5V DC güç kaynağından devamlı tetikleme işareti uygulanır. Diyod köprüsü aracılığı ile güç tristörü anodunun sürekli pozitifte kalması sağlanır. Böylece güç tristörünün çalışması için gerekli koşullar gerçekleştiğinden, güç tristörü ilettime geçer. Bunun sonucu olarak da şebeke bir fazlı anahtar üzerinden tek fazlı asenkron motora bağlanmış olur ve aynı anda devreden akım akmaya başlar.

6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

6.1. Kullanılan Kapasitör Tip Asenkron Motorun Parametreleri

Laboratuarda bulunan kapasitör tip asenkron motorun gerekli deneyler yapılarak parametreleri elde edilmiş ve benzetimde bu parametreler kullanılmıştır.

Kapasitör motorun etiket değerleri:

$$V_N=220V$$

$$I_N=1.8A$$

$$P_N=250W$$

$$f=50Hz$$

$$n_N=1380d/d$$

$$C=12\mu F$$

Eşdeğer devre parametreleri:

$$R_{ds}=15\Omega$$

$$R_{qs}=29.2\Omega$$

$$R_{dr}=11.2345\Omega$$

$$R_{qr}=20.4991\Omega$$

$$L_{lds}=116mH$$

$$L_{lqs}=191mH$$

$$L_{ldr}=45.4489221mH$$

$$L_{lqr}=70.6514257mH$$

$$L_{md}=614.5494381mH$$

$$L_{mq}=509.0020179mH$$

$$P=2 \text{ (çift kutup sayısı)}$$

Sistemin mekanik denklemleri parametreleri:

$$J=0.0085Kg\cdot m^2$$

$$f_s \approx 0N\cdot m\cdot s$$

6.2. Tek Fazlı Asenkron Motorun Dinamik Davranışı

Elektrik makinalarına ilişkin denklemler en genel halde lineer olmayan ve zamanla değişen türden denklemlerdir. Bu tür denklemlerin zaman domeninde analitik çözümü ise oldukça zordur. Dengeli beslenmiş üç fazlı simetrik motorlarda uygun dönüşümler yapılarak motora ilişkin denklemler sabit katsayılı denklemler haline getirilir.

Ancak incelenecek yardımcı sargılı tek fazlı asenkron motorun sargılarının simetrik olmadığı göz önüne alınırsa yapılacak dönüşümler sonucunda sabit katsayılı diferansiyel denklemlere varılamayacağı açıktır. Bu nedenle bu çalışmada zamanla değişen lineer olmayan denklemler doğrudan doğruya yazılarak sayısal yöntemle de çözülmesi yoluna gidilmektedir [3].

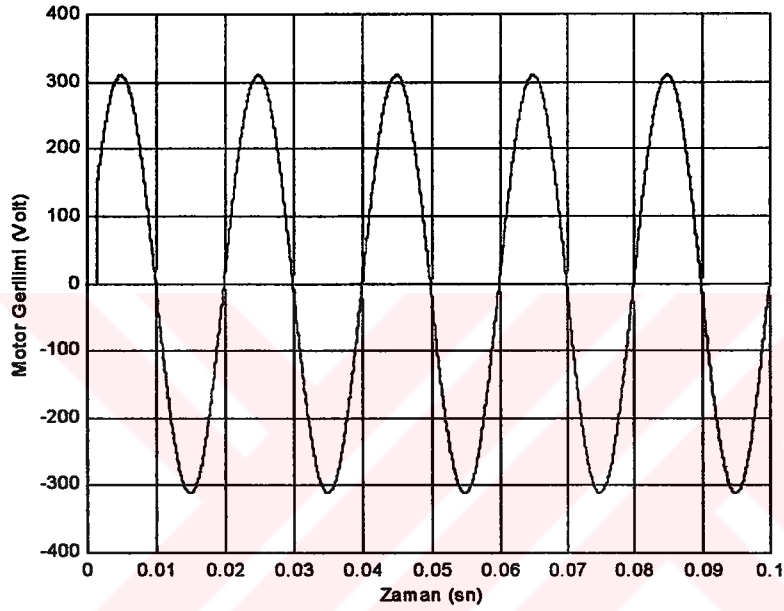
Modelleme sırasında yapılan varsayımlar aşağıda belirtilmektedir:

- a) Manyetik doyma ihmal edilmiştir.
- b) Hava aralığında akının dağılımı sinüzoidaldir.
- c) Girdap akımı kayıpları ihmal edilmiştir.
- d) Histerezis kayıpları ihmal edilmiştir.
- e) Yapılan anahtarlama ideal varsayılmıştır.
- f) Ana ve yardımcı sargı arasındaki uç etkilerinden dolayı oluşan ortak endüktans ihmal edilmiştir.

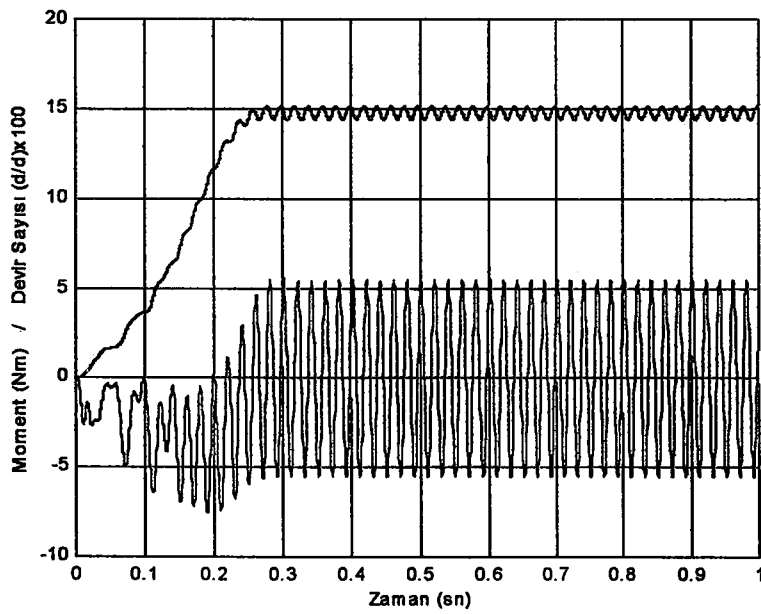
Bu çalışmada kapasitör motorun diferansiyel denklemleri dört adımlı Runge-Kutta yöntemiyle çözülerek gerekli bilgisayar benzetimi yapılmaktadır. Kapasitör motorun 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° , 210° , 240° , 270° ve 360° tetikleme açılarına ilişkin çalışmanın deneysel ve benzetim sonuçları bulgular kısmında Şekil-20-31'de gösterilmektedir.

7.BULGULAR

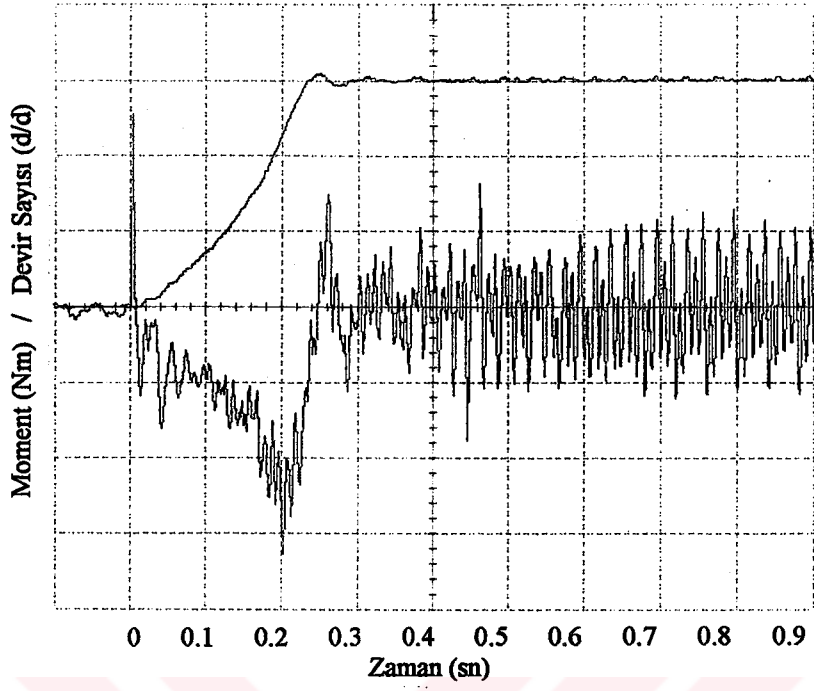
7.1. Tek Fazlı Anahtarlama Açık Seçicisi Üzerinden Şebekeye Bağlı Olan Kapasitör Tip Asenkron Motorun Deneysel ve Benzetim Sonucu Elde Edilen Değişimleri



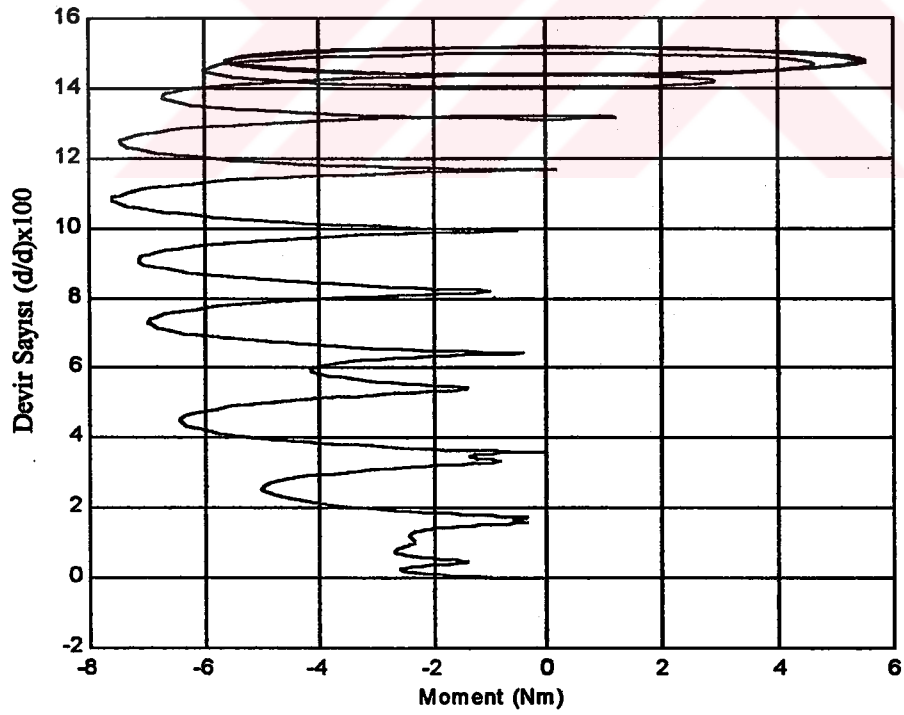
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



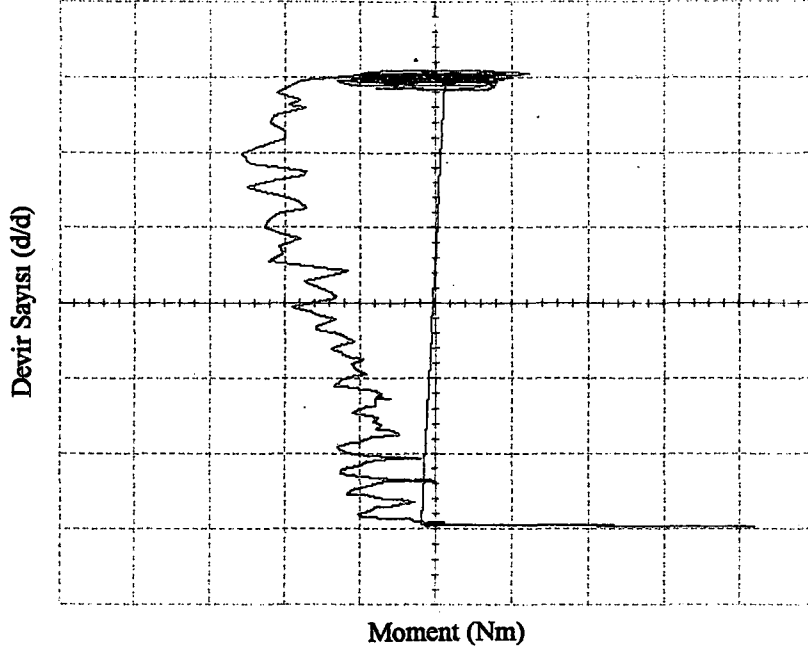
b)Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

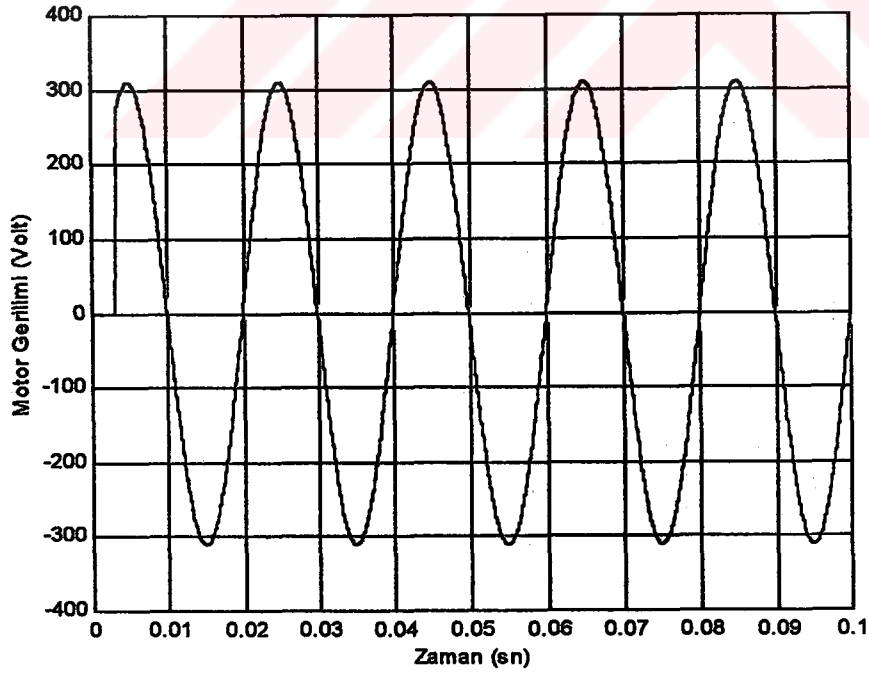


d) Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

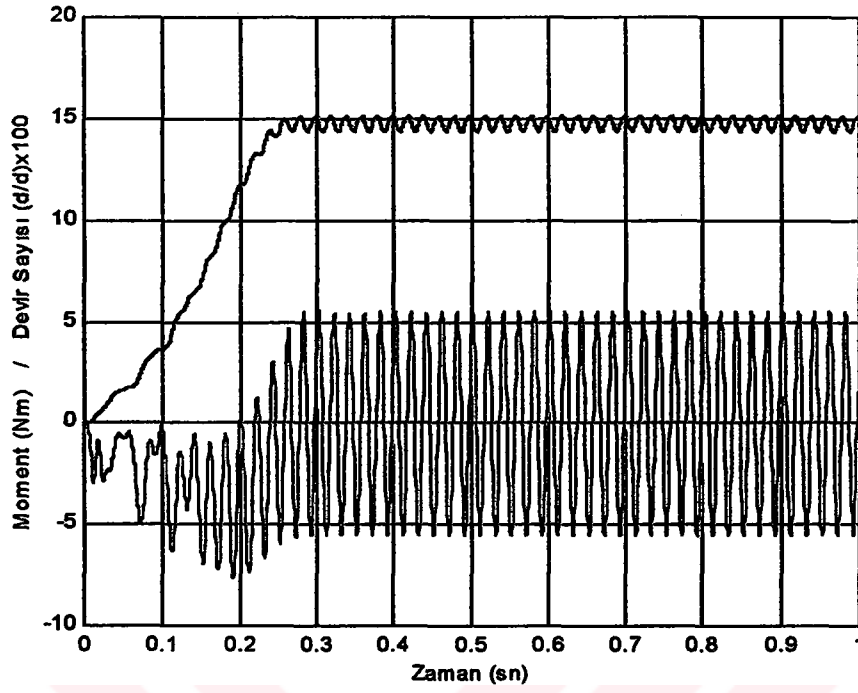


e)Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

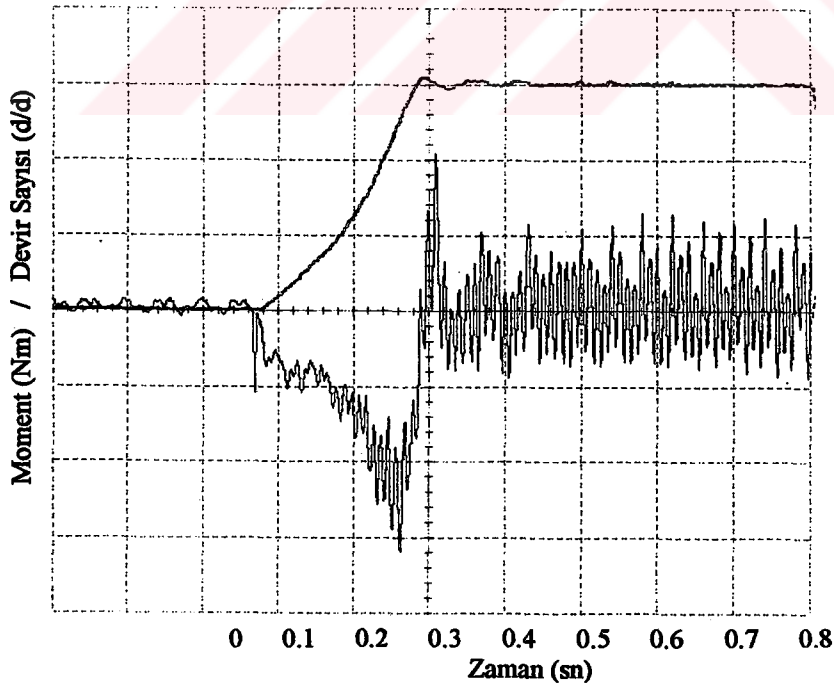
Şekil-20. Ateşleme açısı 30° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



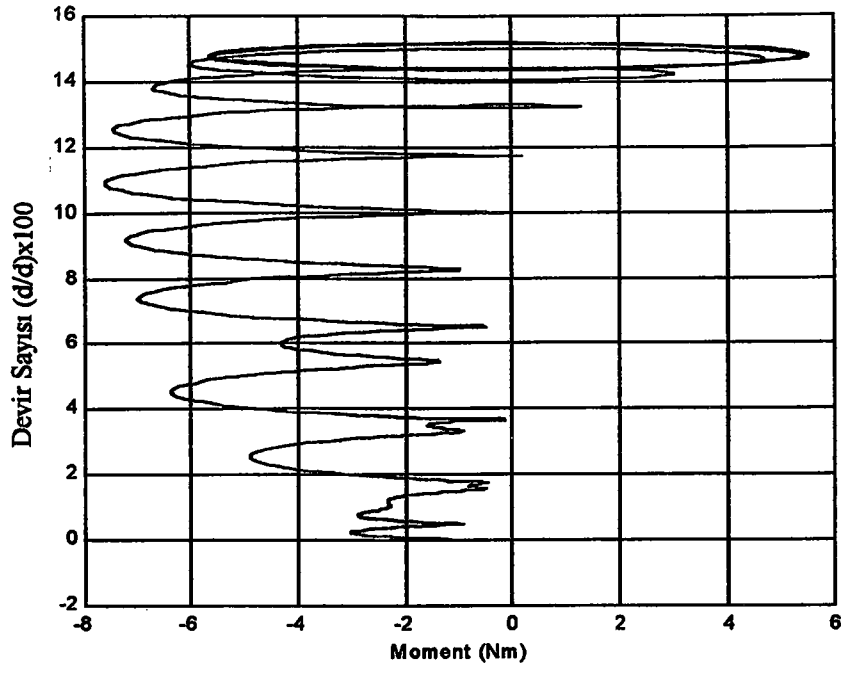
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



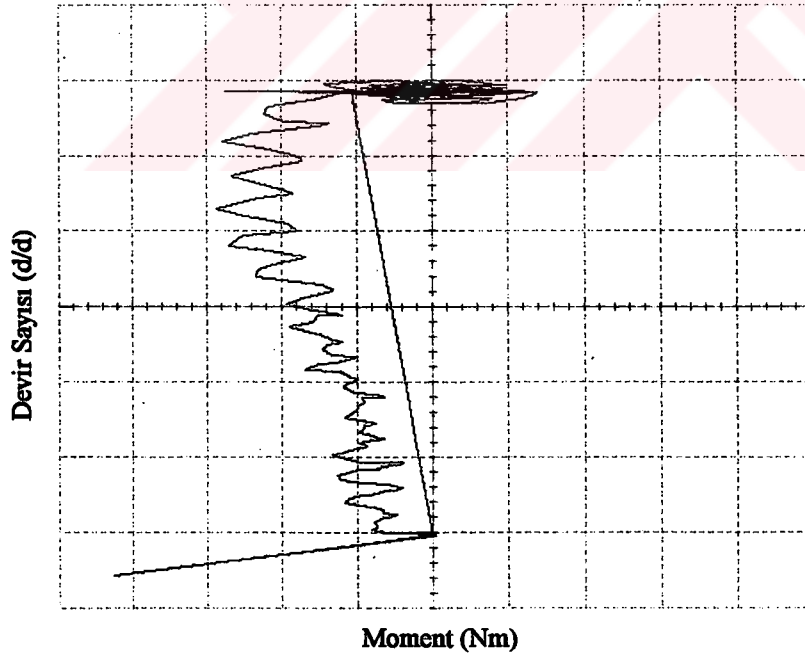
b) Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

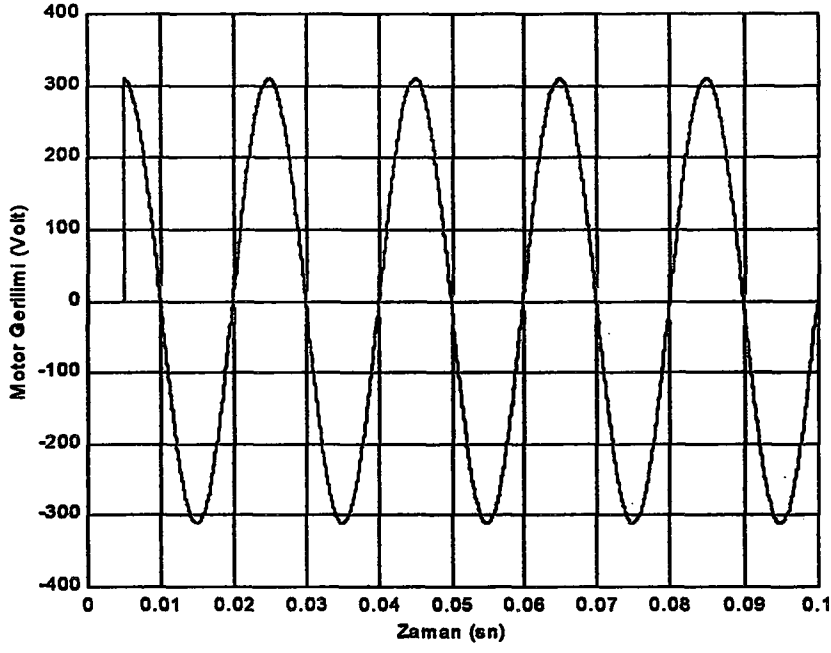


d)Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

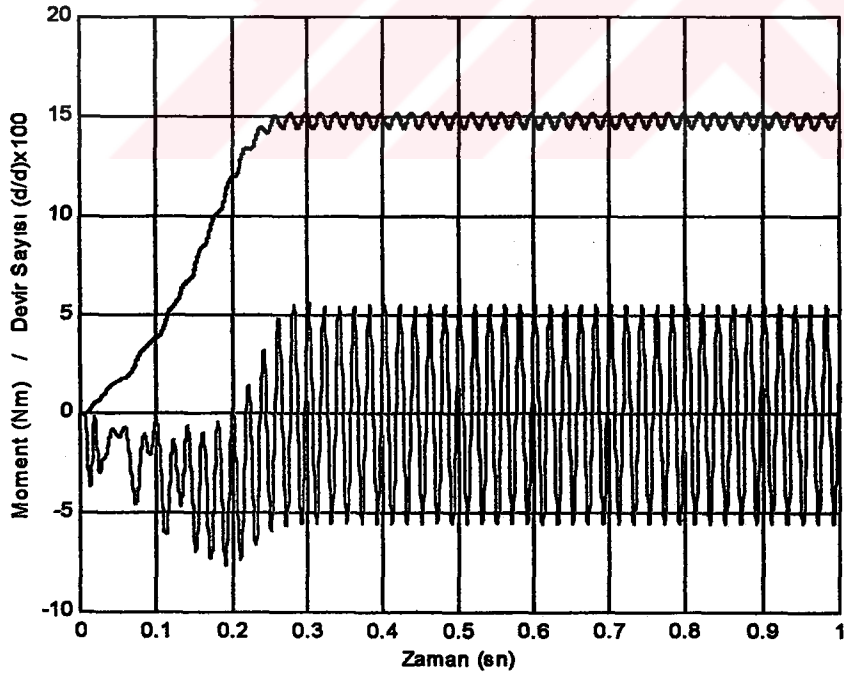


e)Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

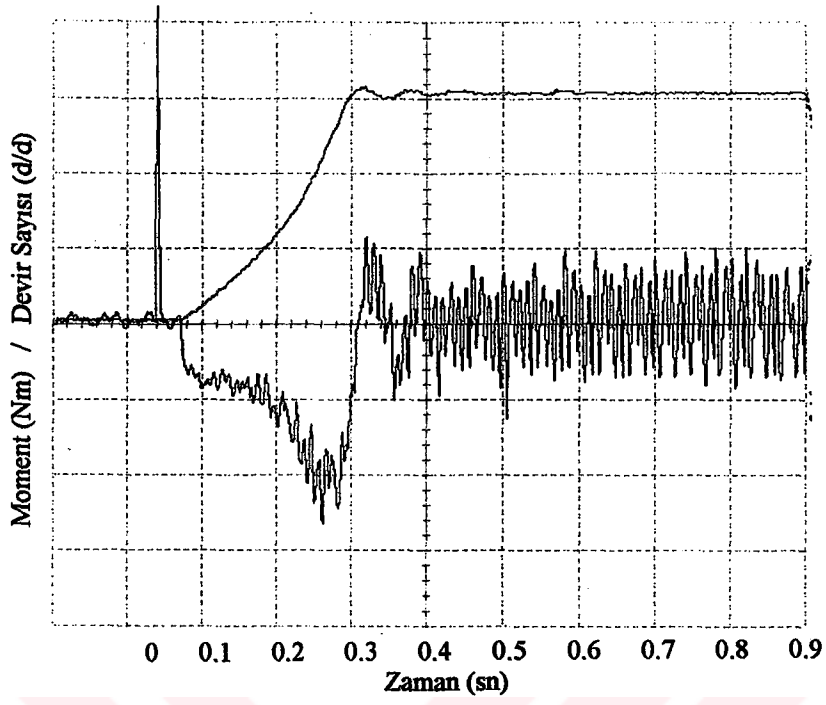
Şekil-21. Ateşleme açısı 60° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



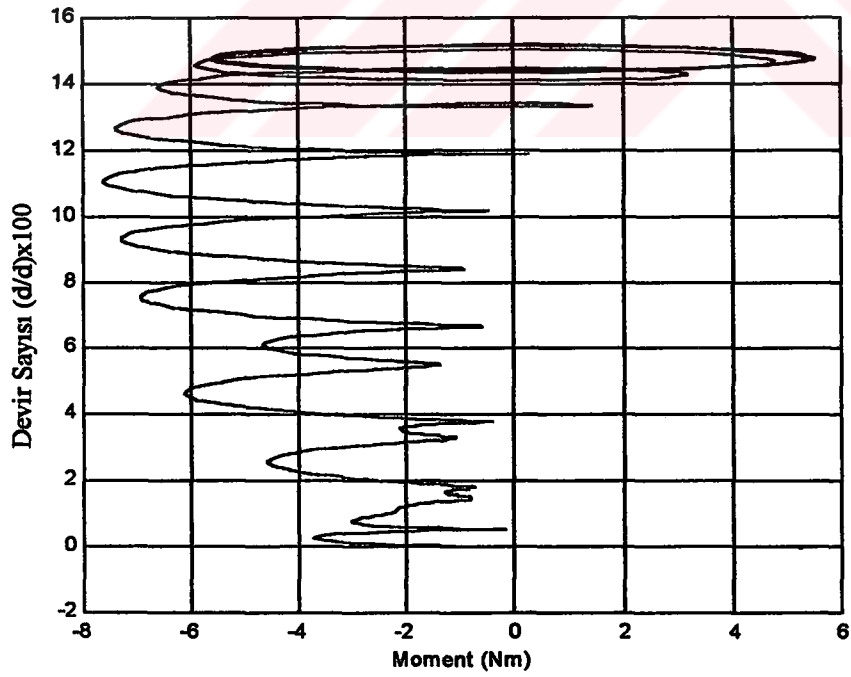
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



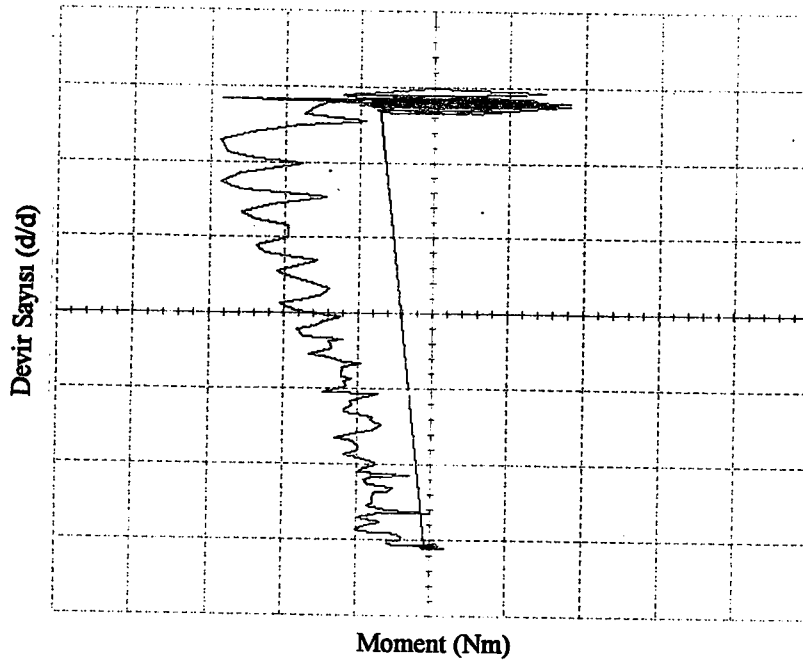
b)Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

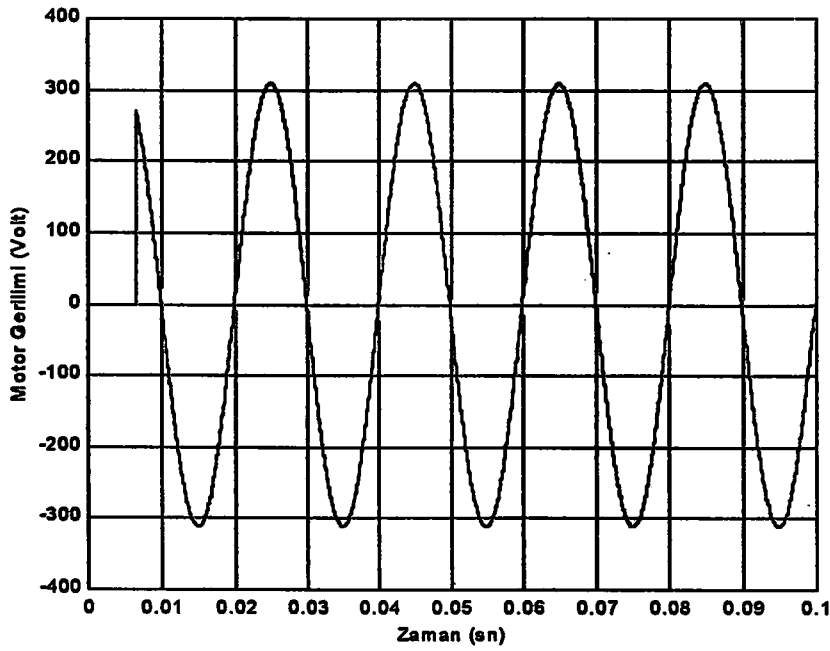


d) Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

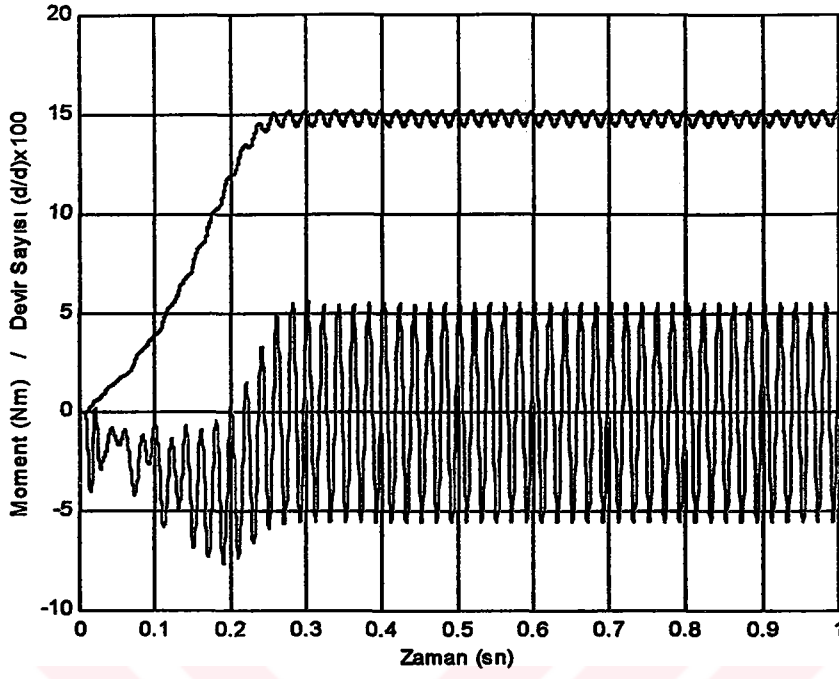


e)Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

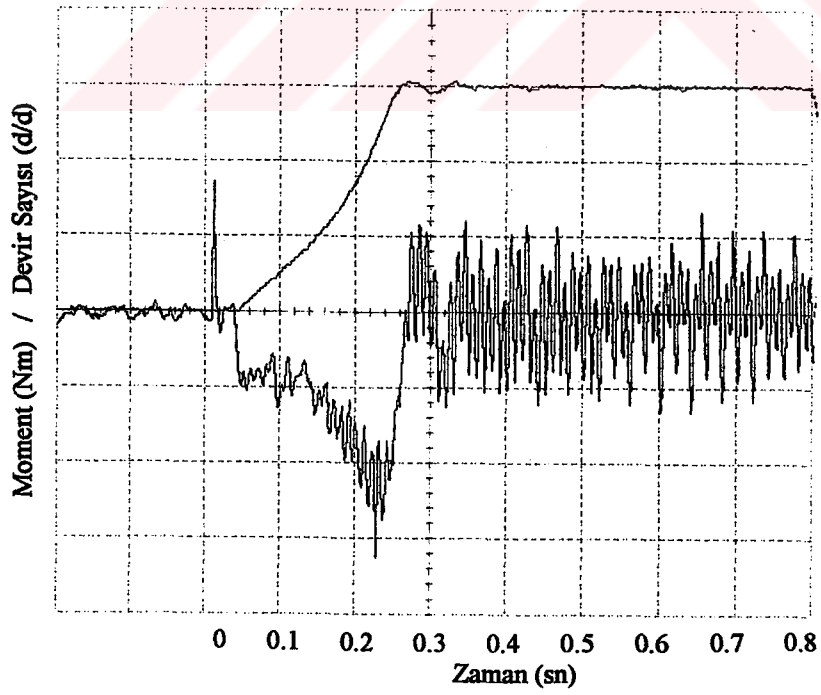
Şekil-22. Ateşleme açısı 90° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



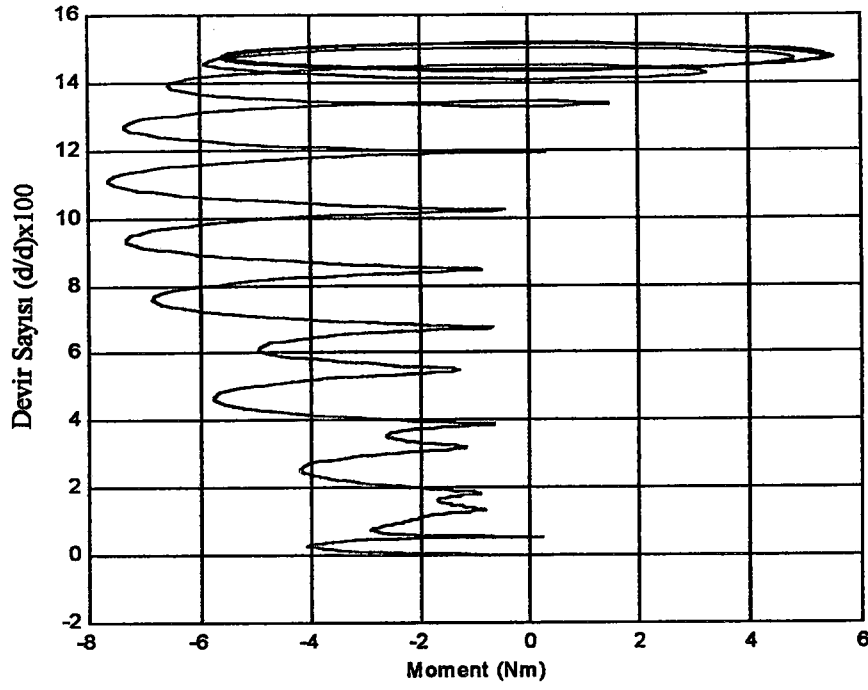
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



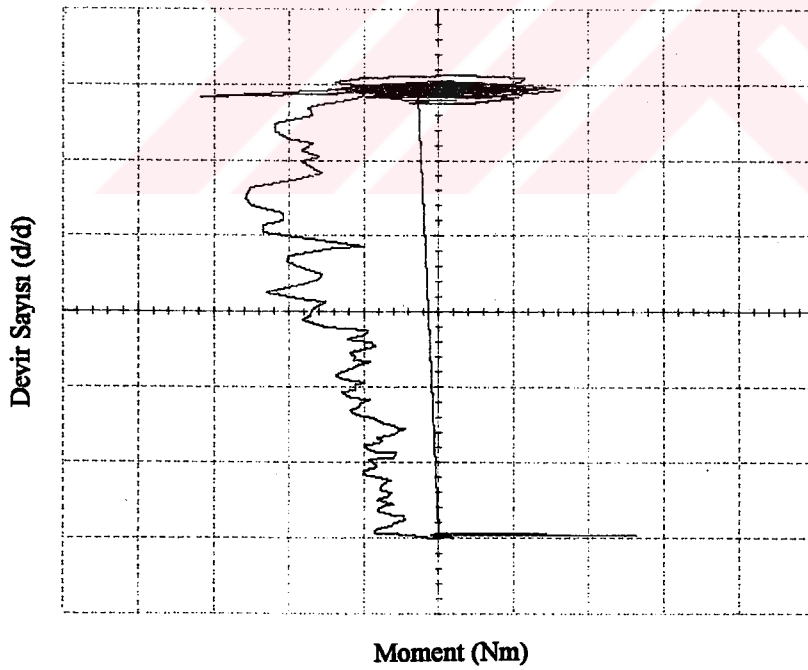
b) Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

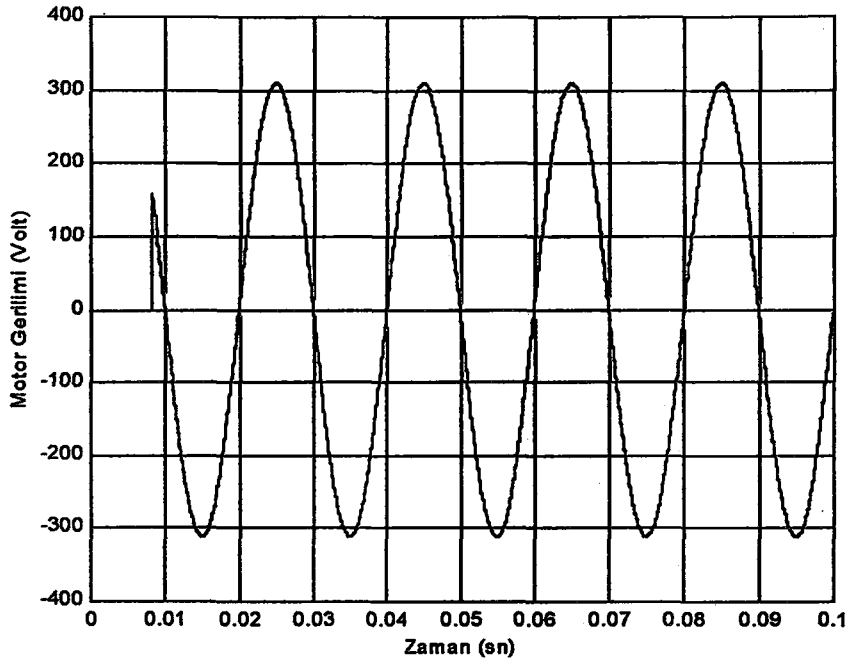


d)Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

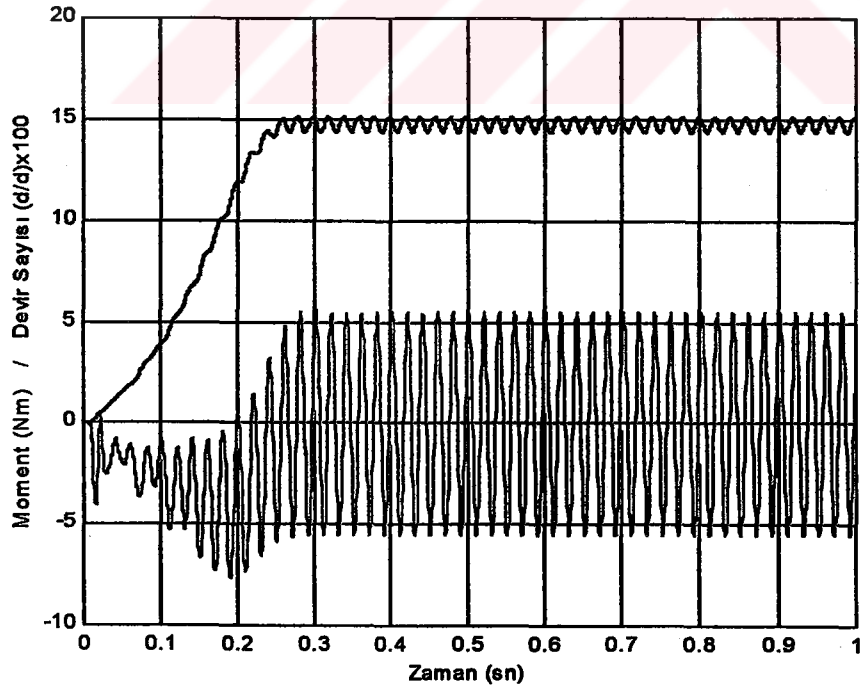


e)Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

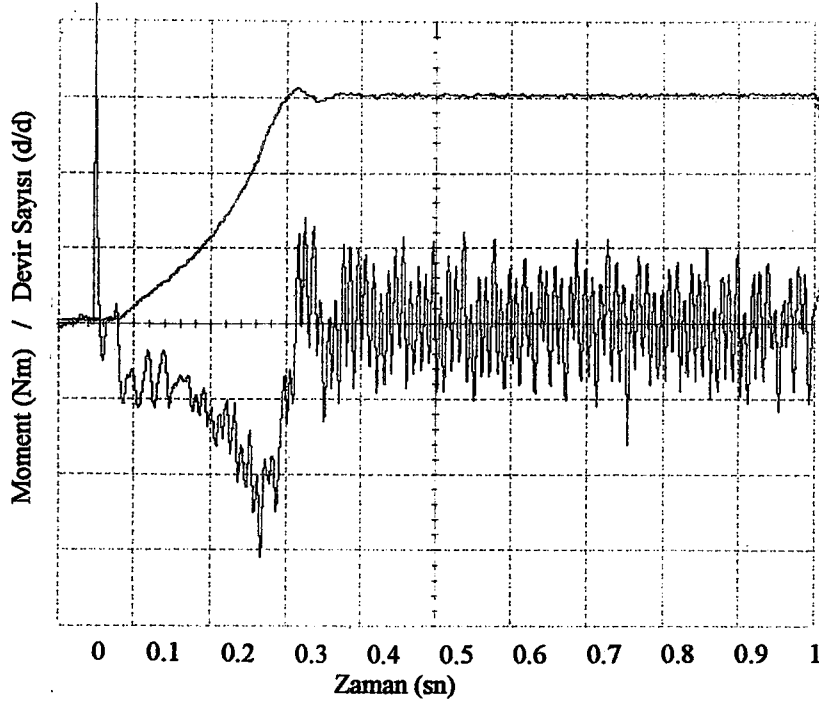
Şekil-23. Ateşleme açısı 120° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



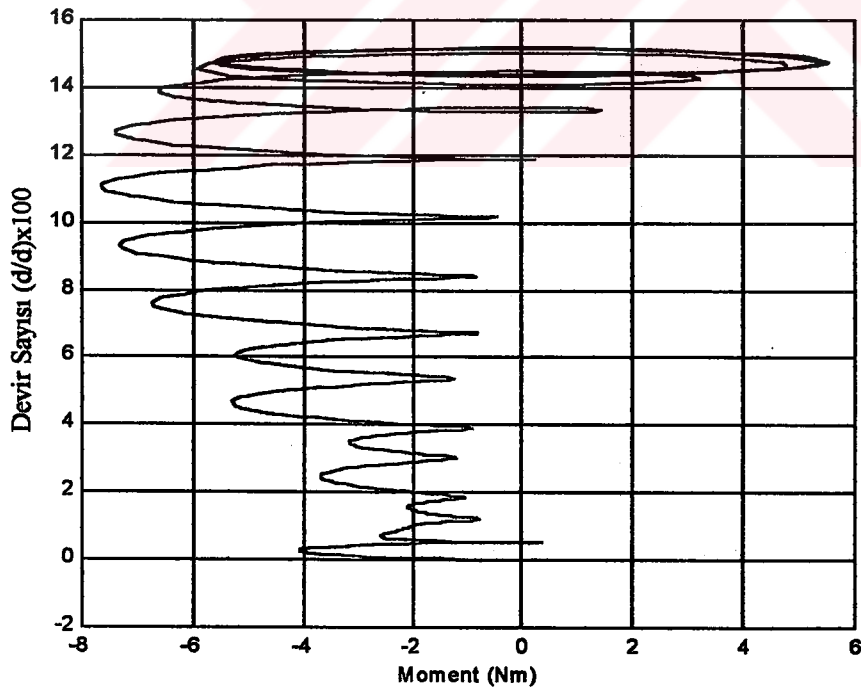
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



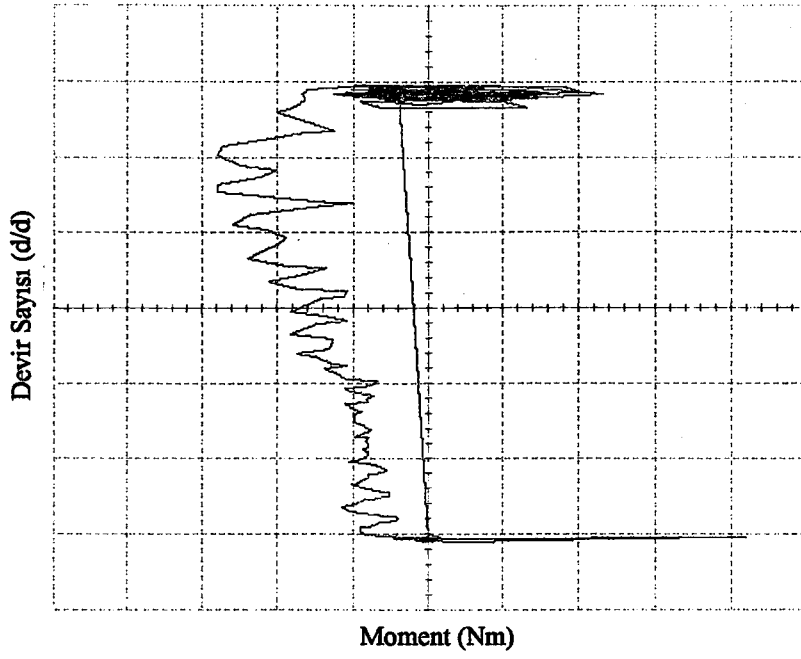
b)Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

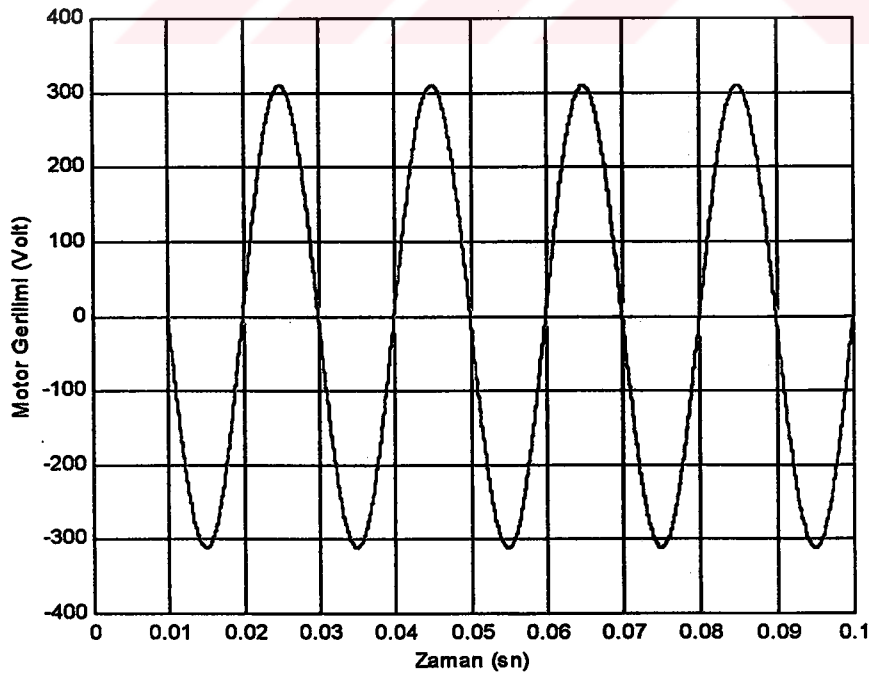


d) Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

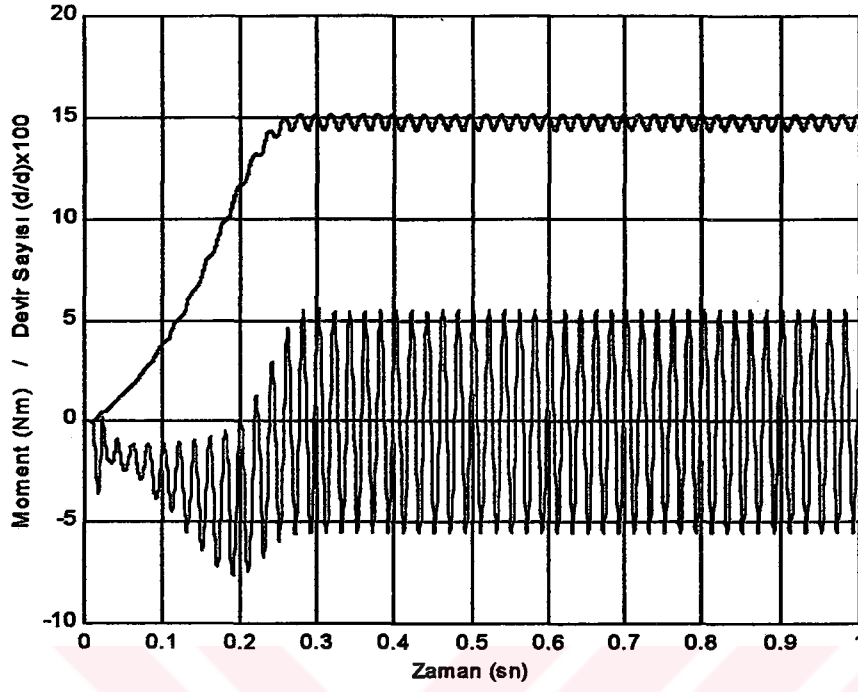


e)Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

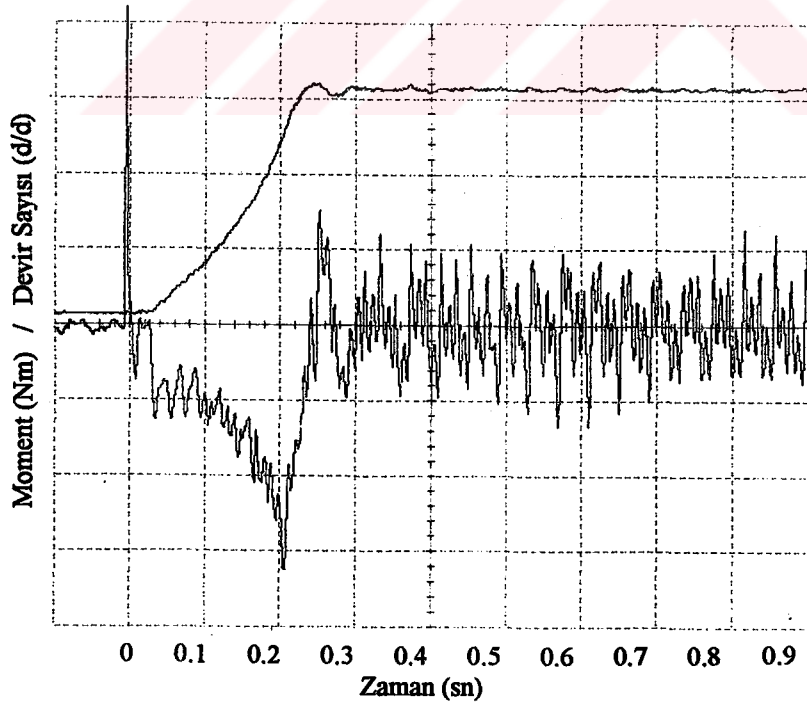
Şekil-24. Ateşleme açısı 150° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



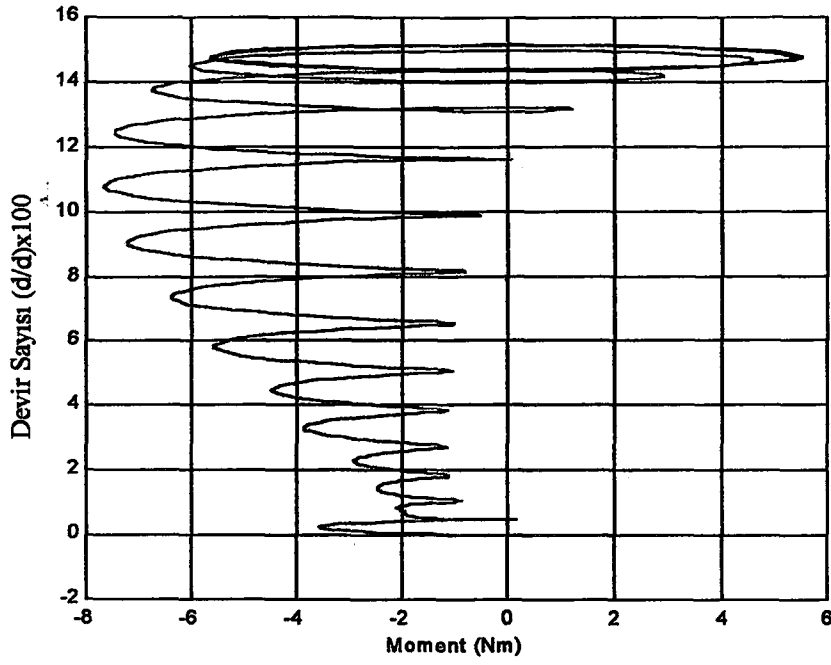
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



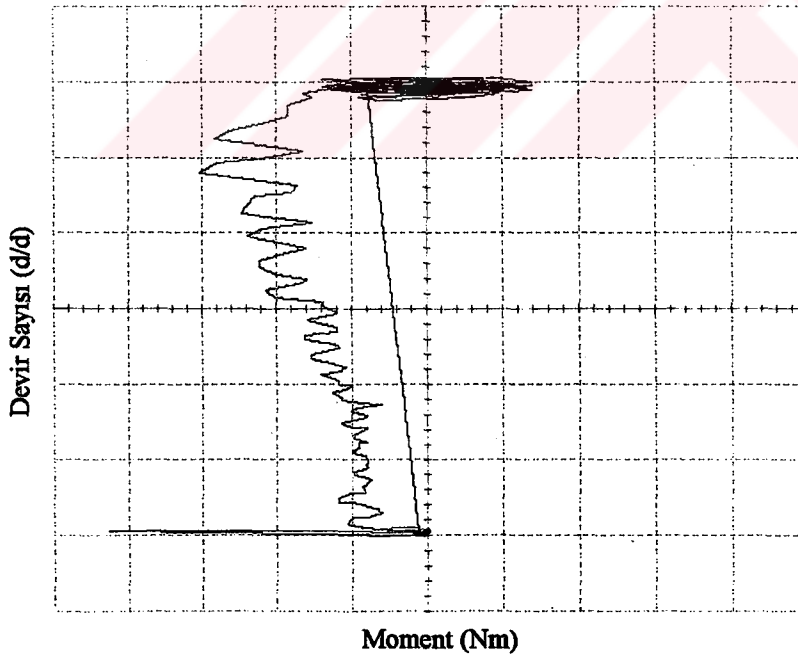
b) Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

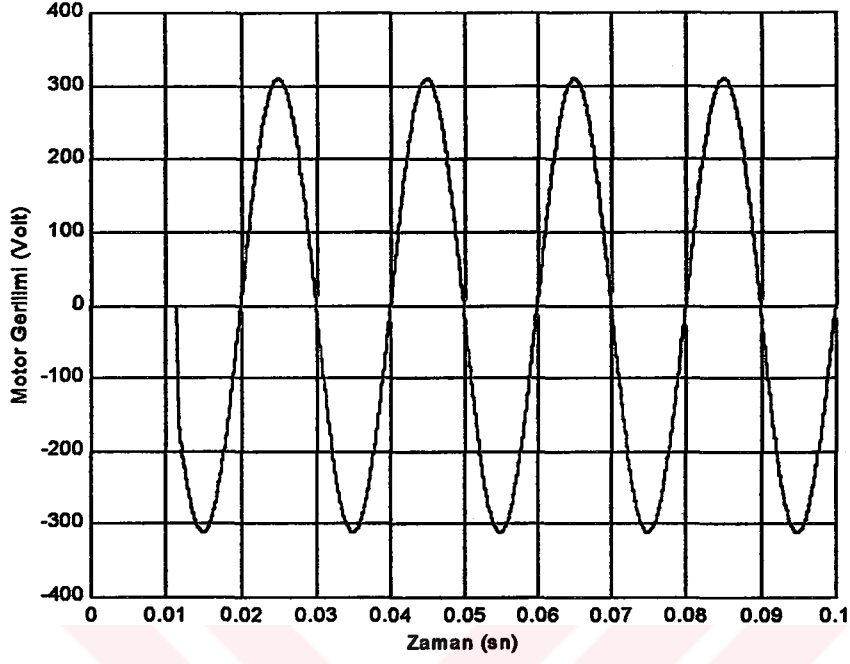


d)Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

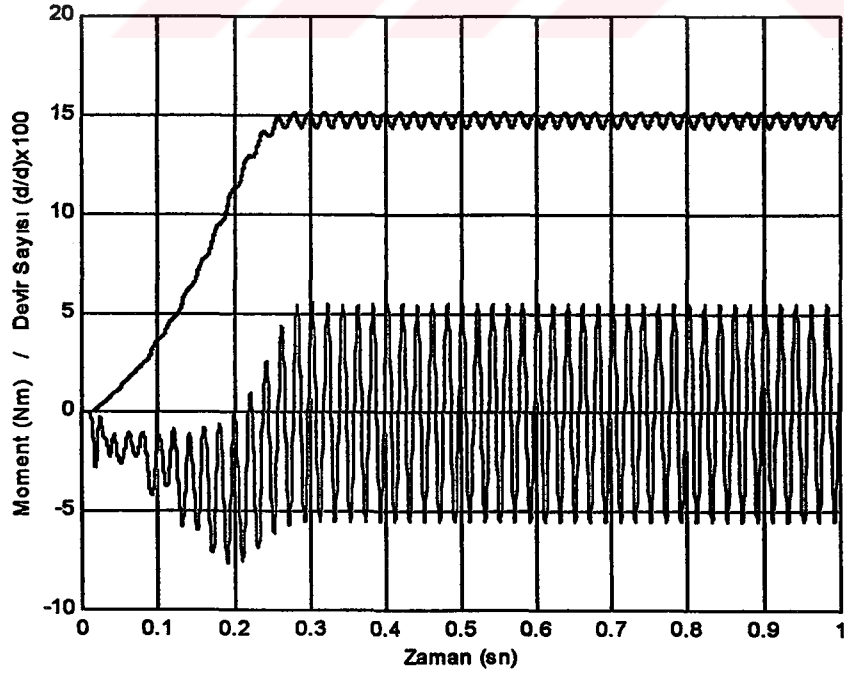


e)Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

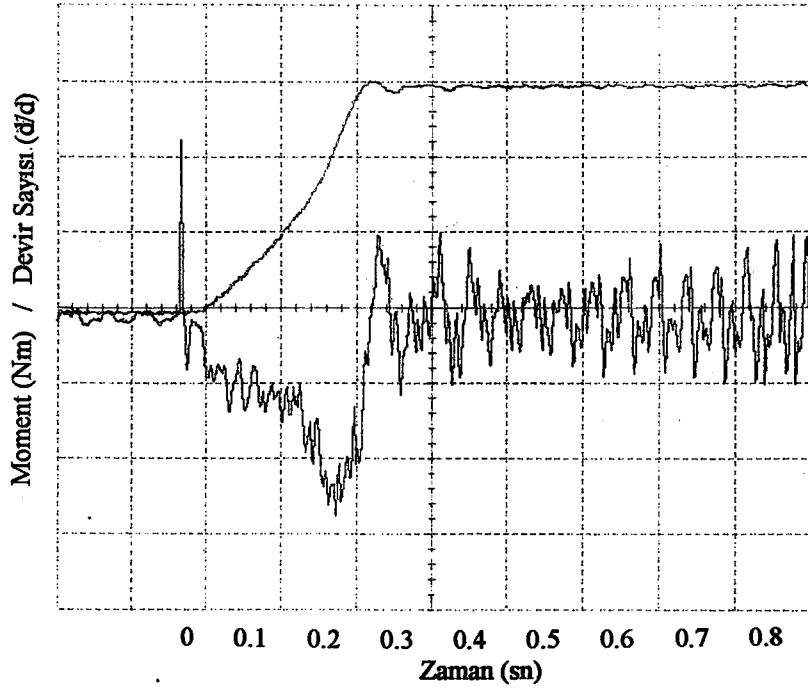
Şekil-25. Ateşleme açısı 180 ° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



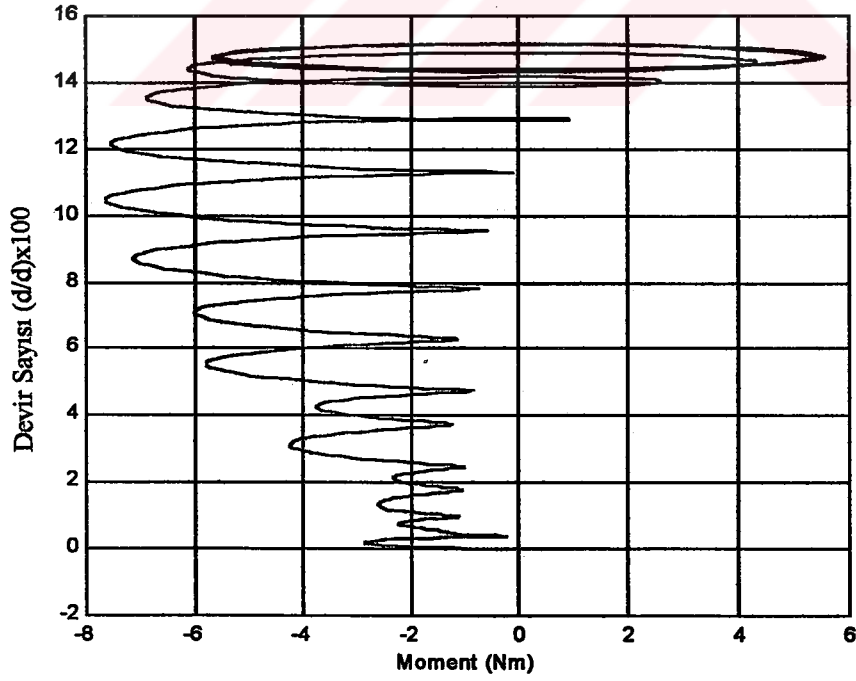
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



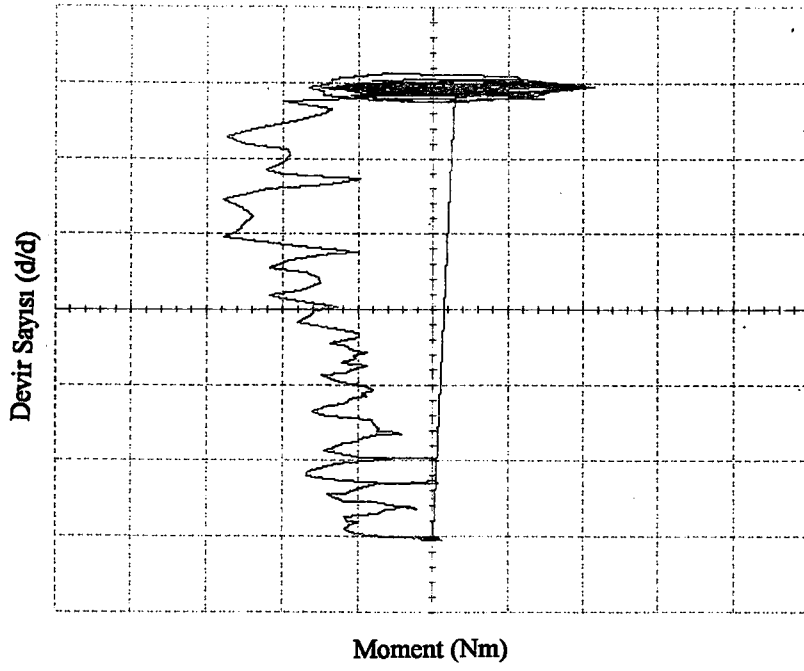
b)Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

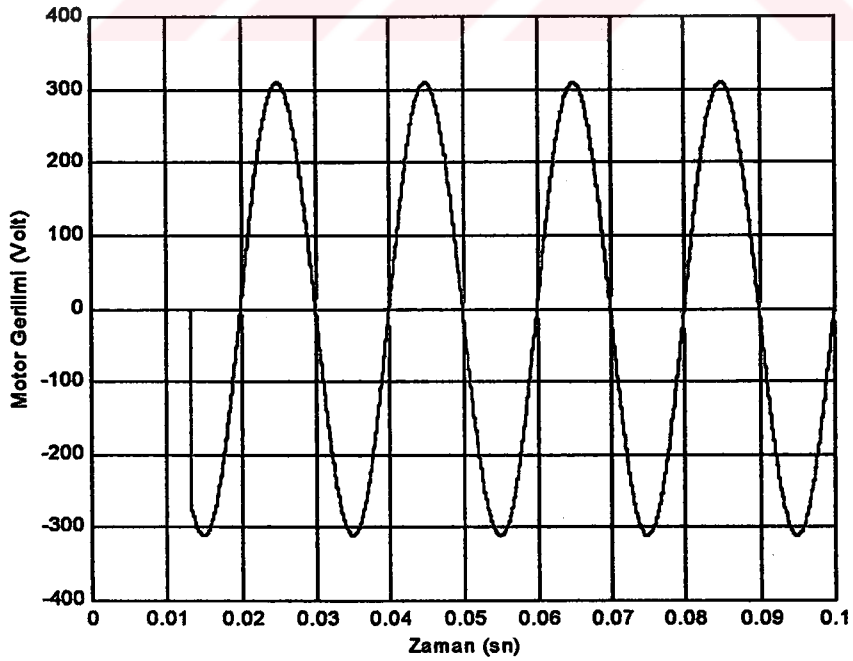


d) Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

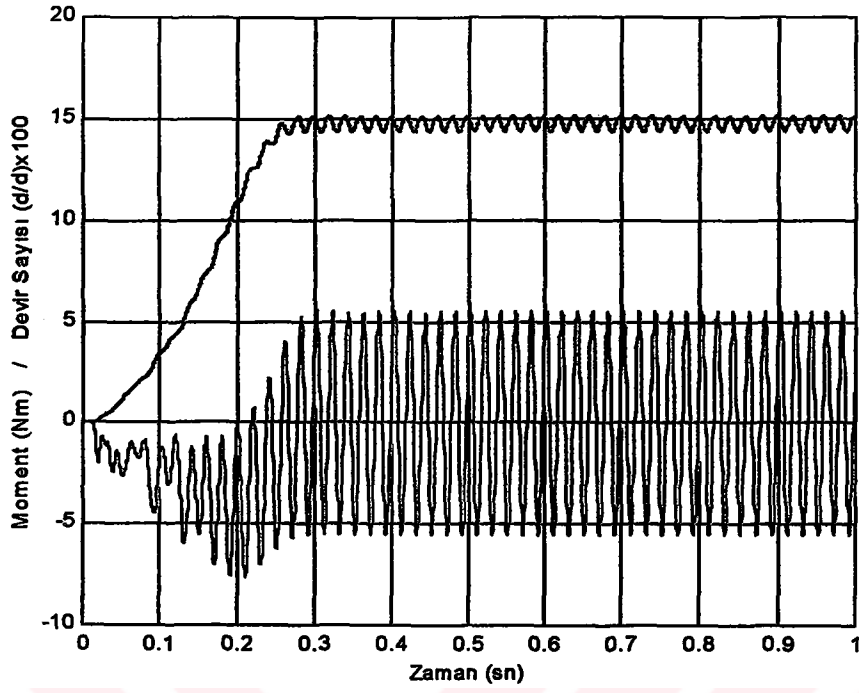


e)Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

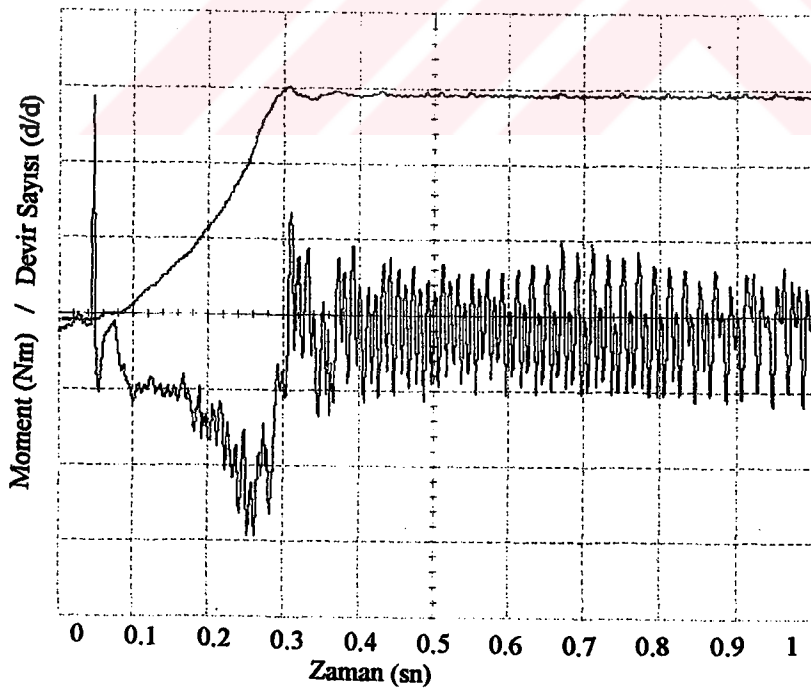
Şekil-26. Ateşleme açısı 210° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



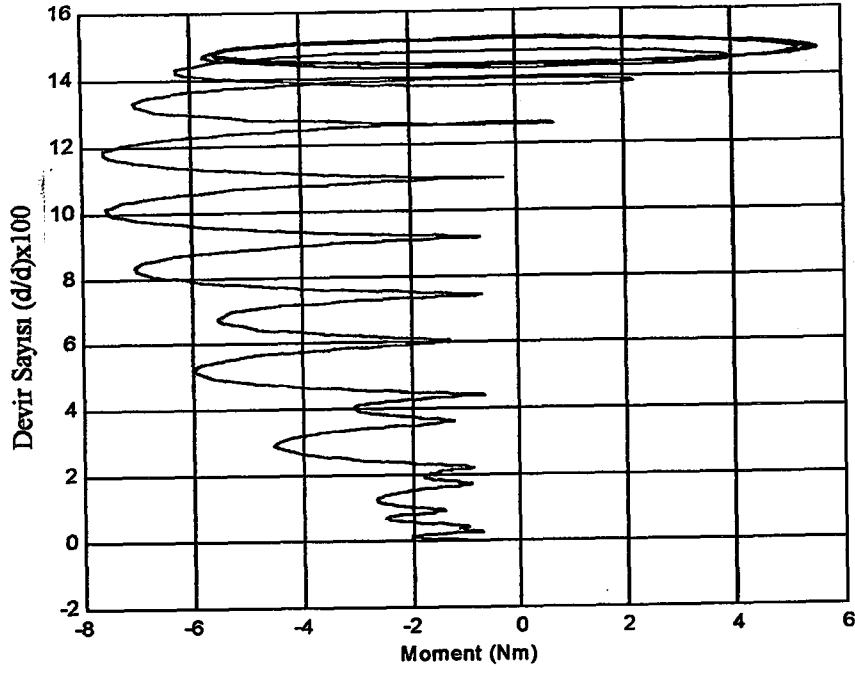
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



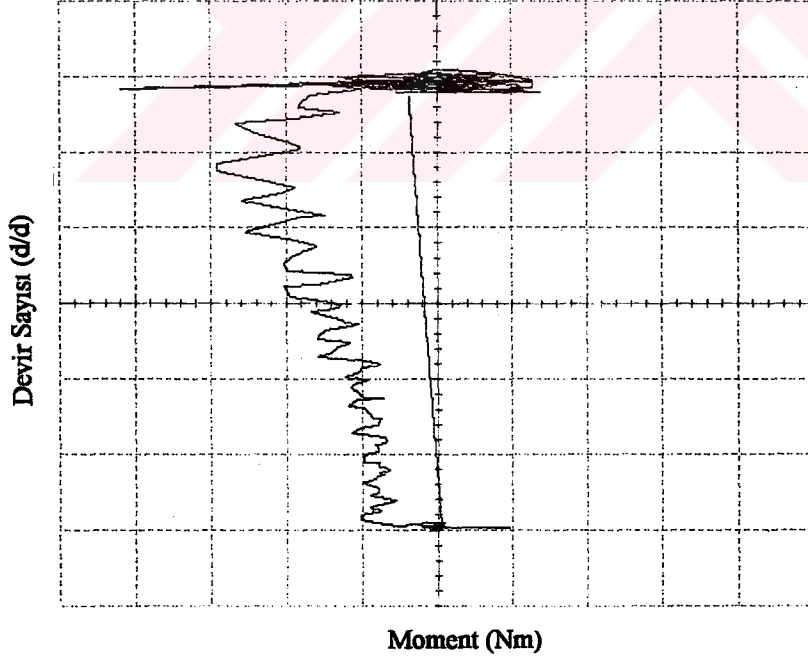
b) Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

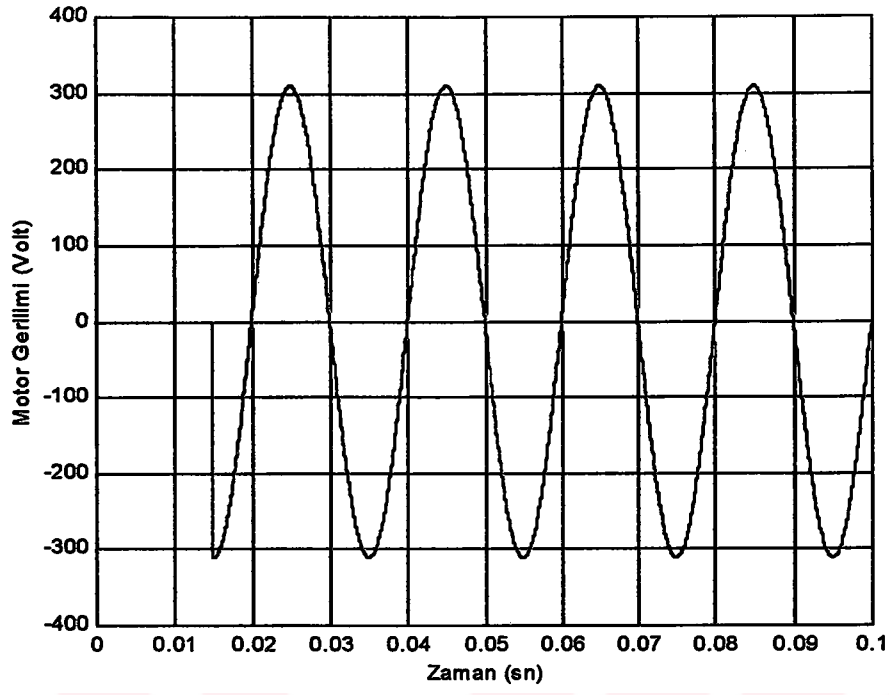


d)Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

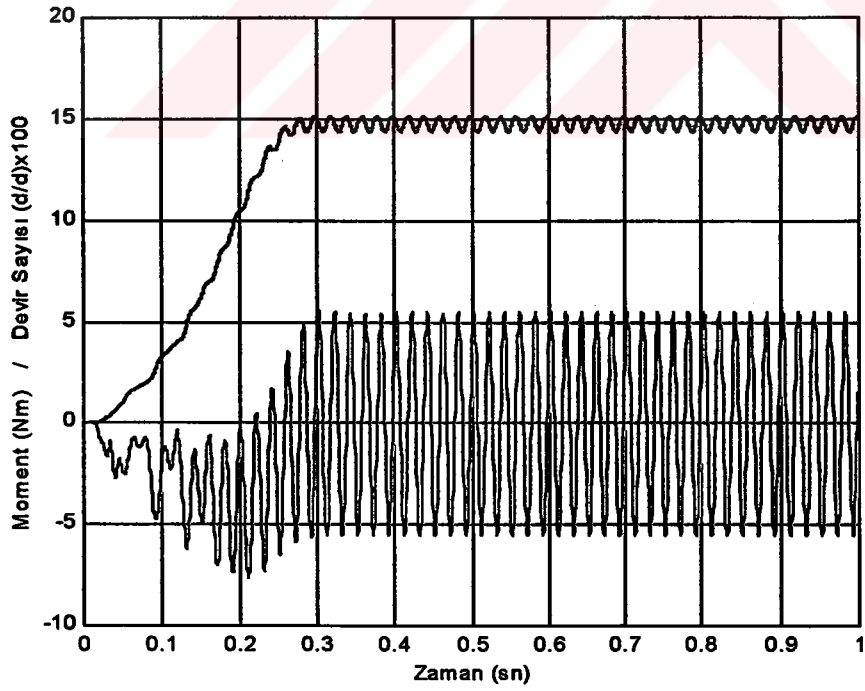


e)Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

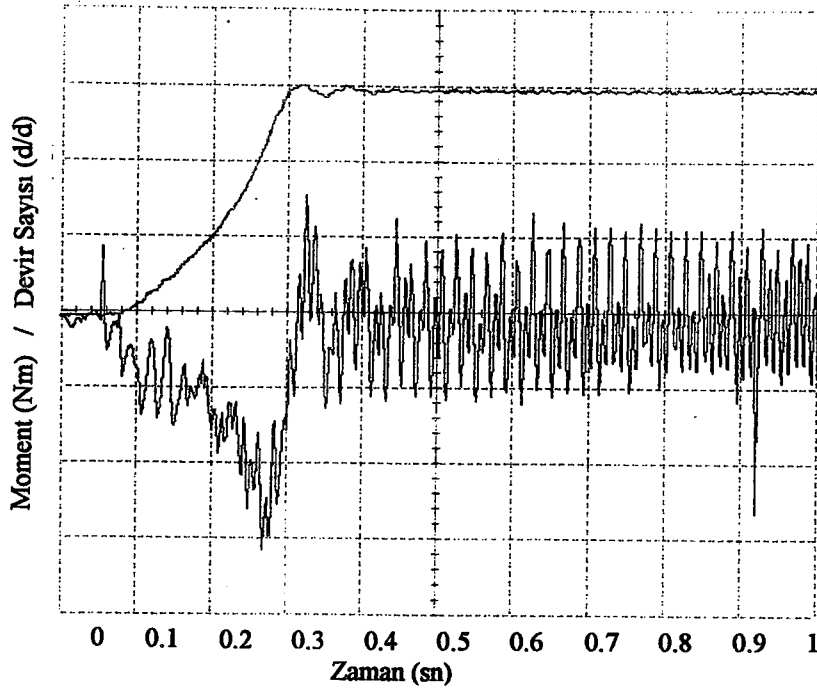
Şekil-27. Ateşleme açısı 240° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



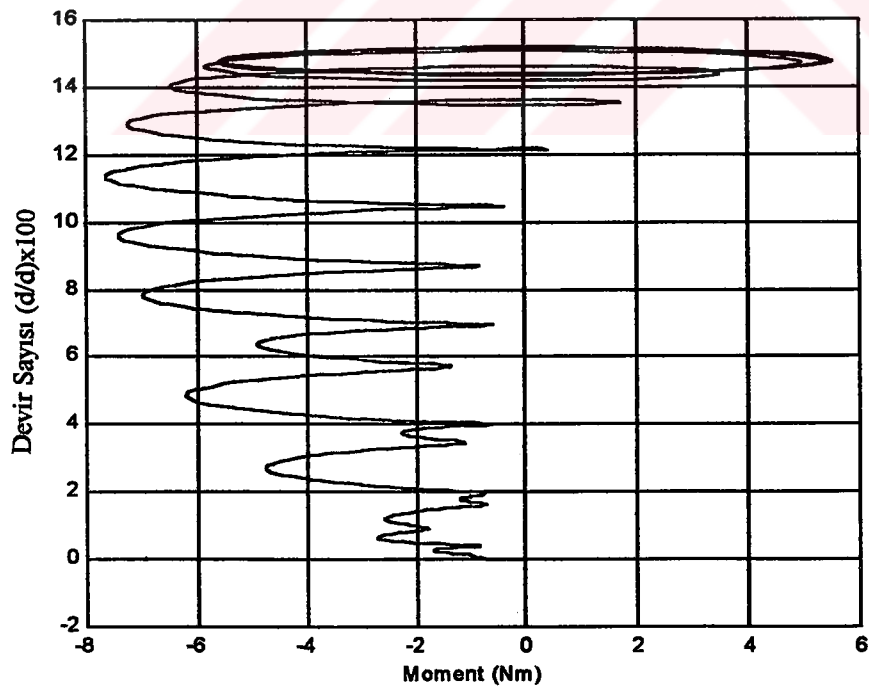
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



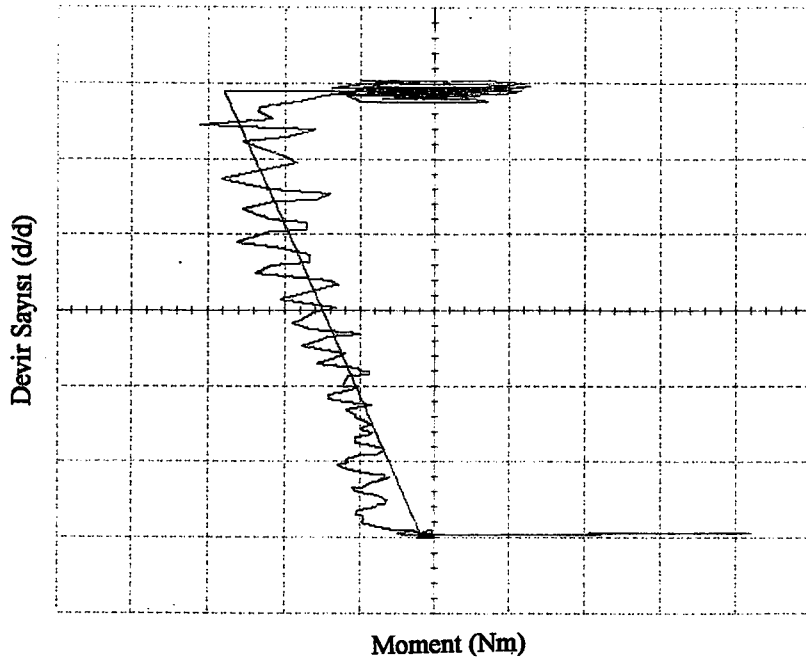
b)Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

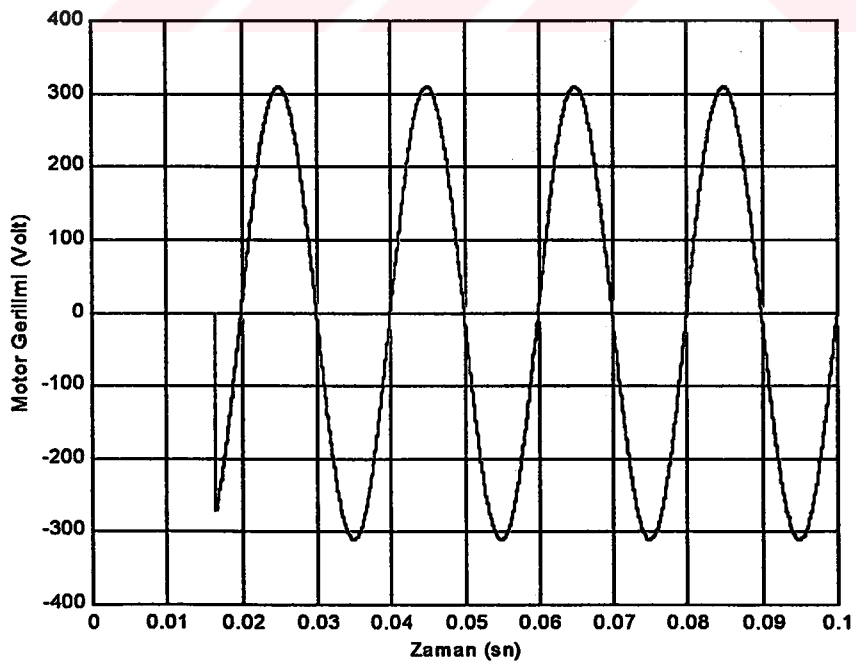


d) Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

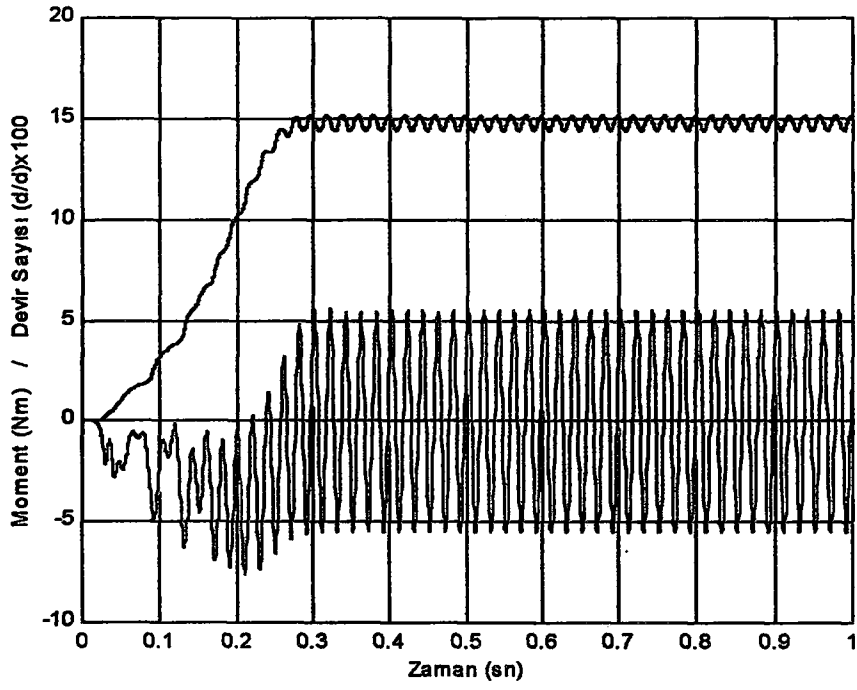


e) Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

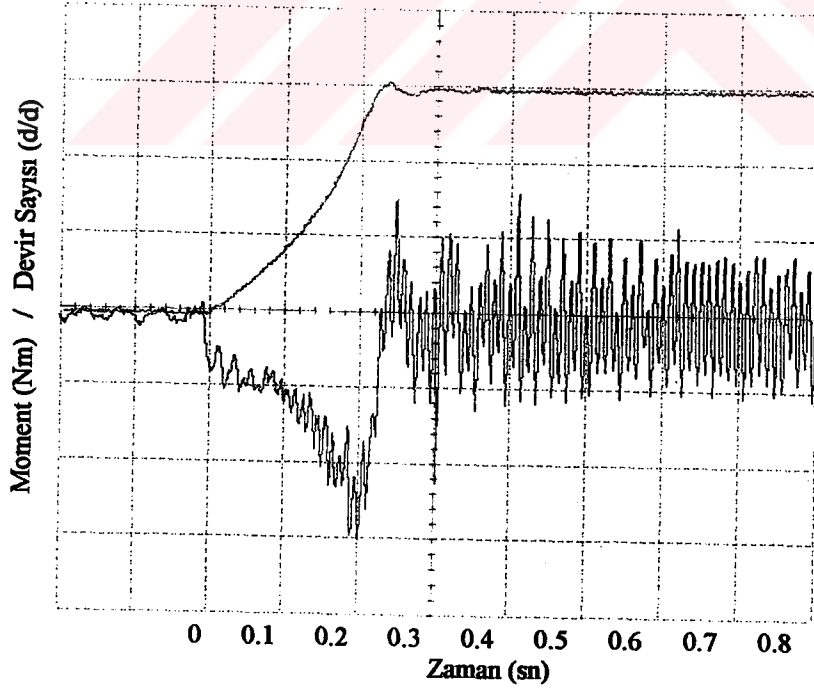
Şekil-28. Ateşleme açısı 270° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



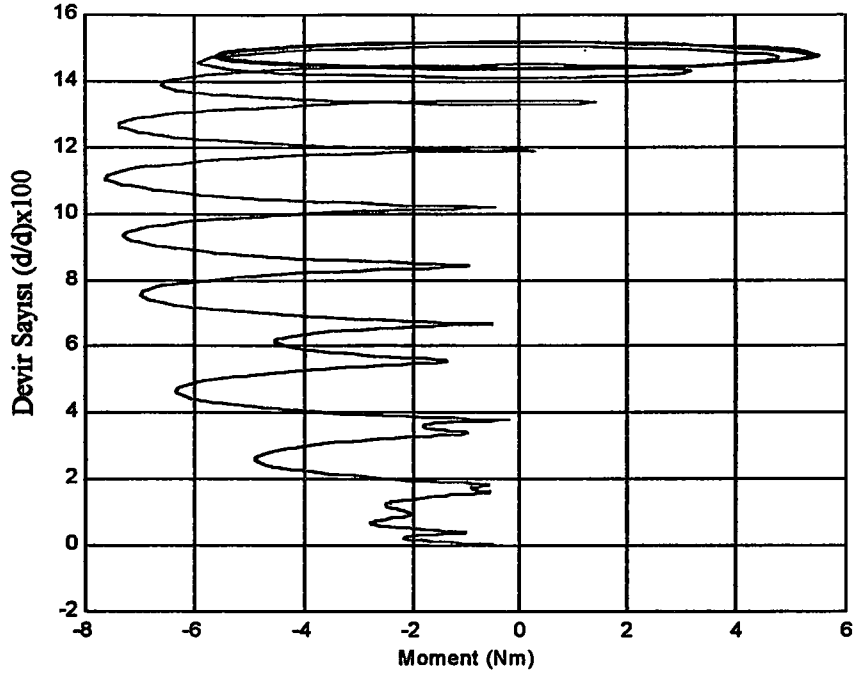
a) Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



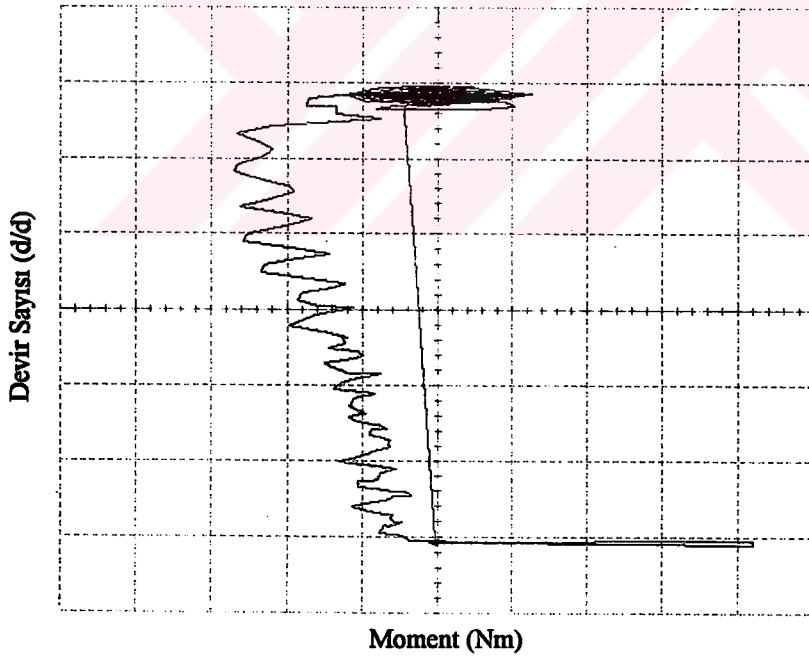
b) Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

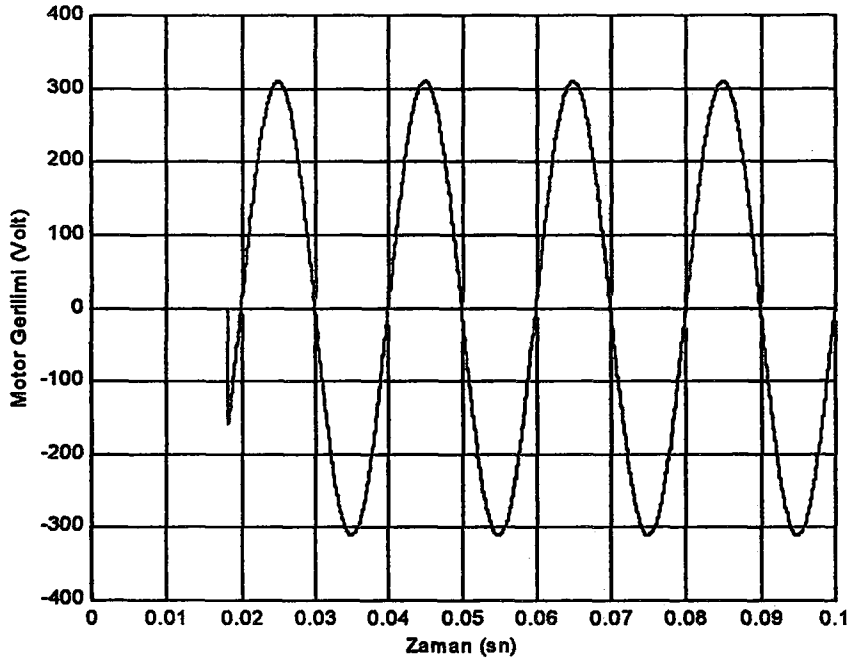


d)Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

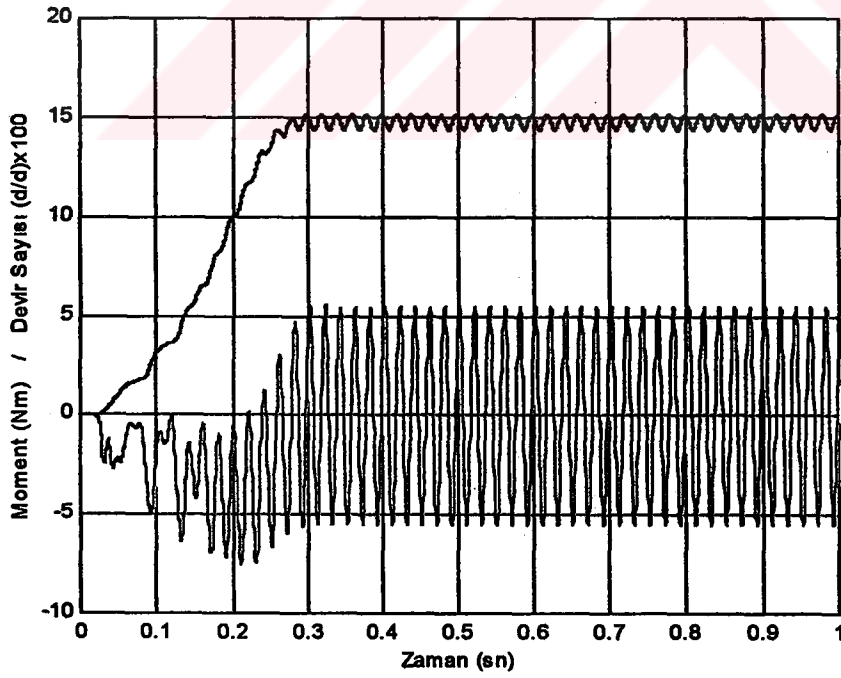


e)Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

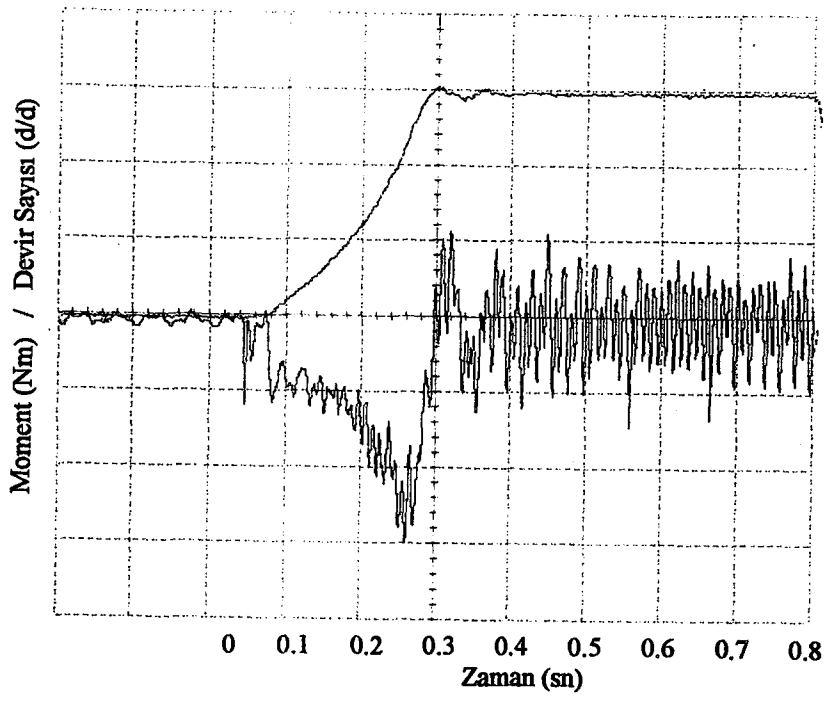
Şekil-29. Ateşleme açısı 300° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



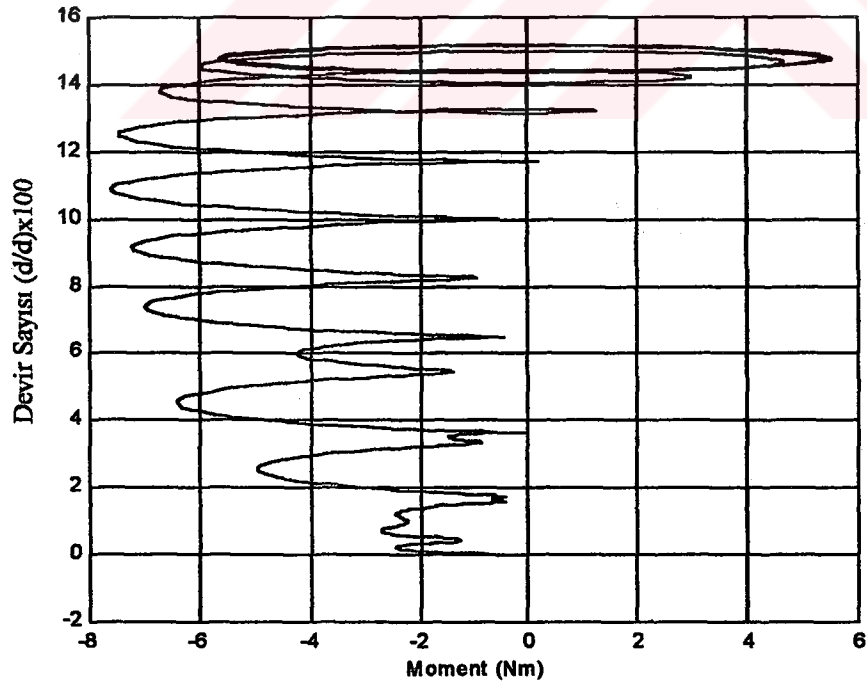
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



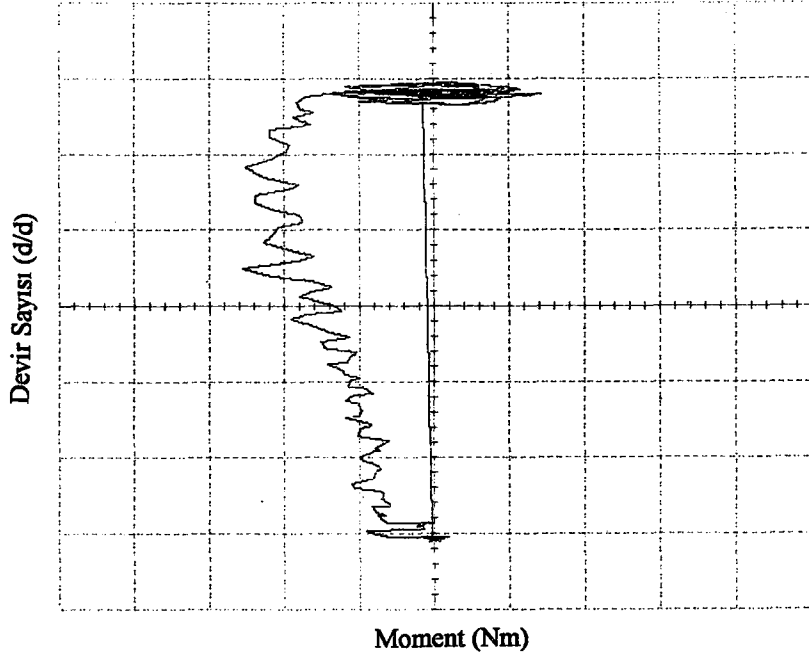
b)Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu

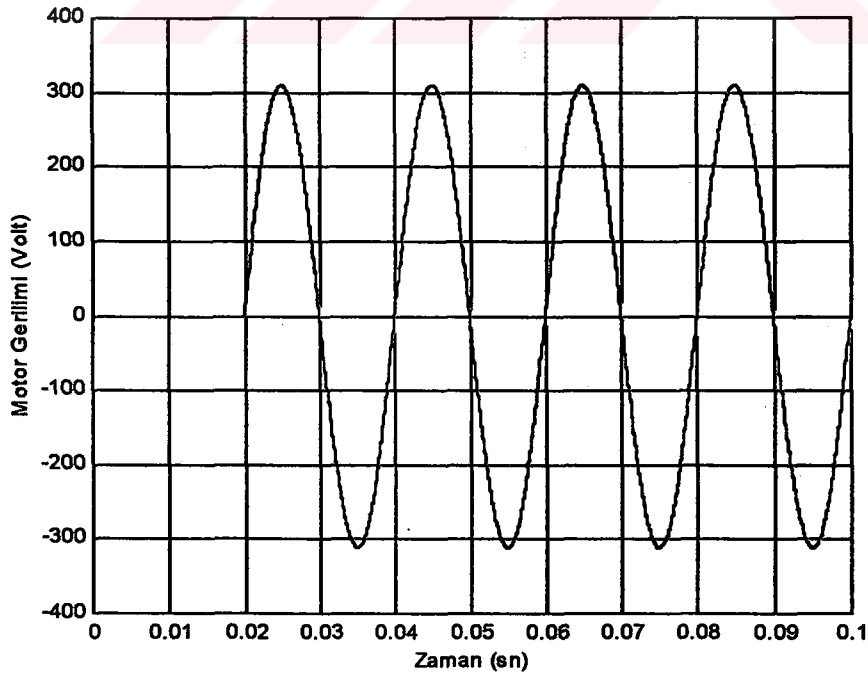


d) Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu

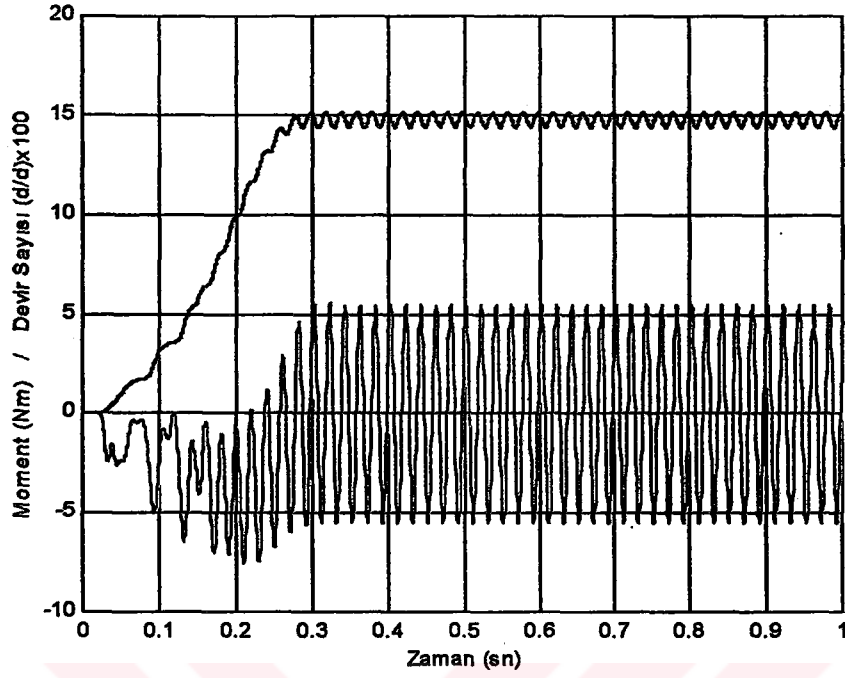


e)Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

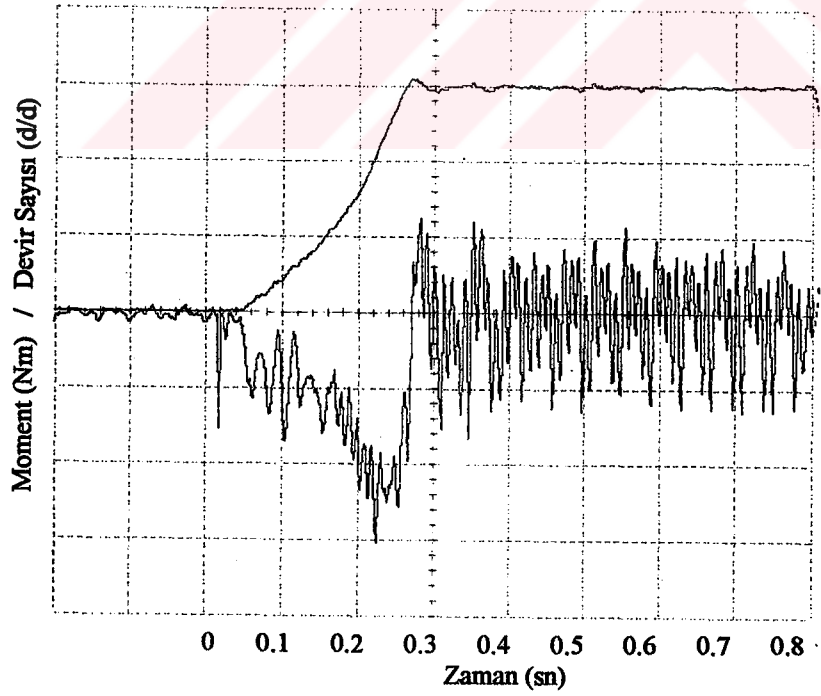
Şekil-30. Ateşleme açısı 330° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler



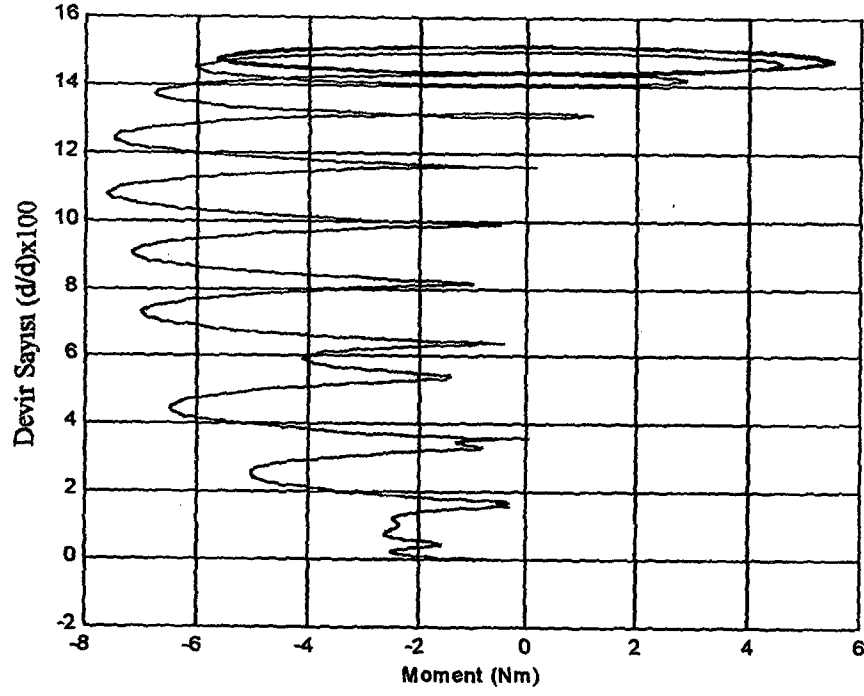
a)Kapasitör asenkron motora uygulanan gerilim



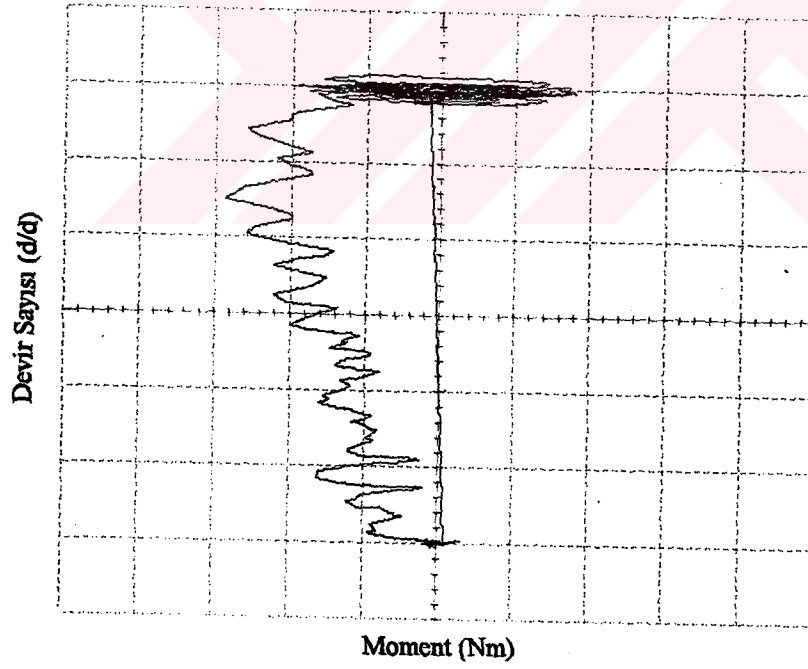
b) Üretilen moment ve devir sayısının benzetim sonucu



c) Üretilen moment ve devir sayısının deneysel sonucu



d) Devir sayısı-moment grafiğinin benzetim sonucu



e) Devir sayısı-moment grafiğinin deneysel sonucu

Şekil-31. Ateşleme açısı 360° iken deneysel ve benzetim sonucu elde edilen kapasitör tip asenkron motora ait büyüklükler

8. İRDELEME

Bu çalışmanın temelini, anahtarlama açısı seçicinin pratik olarak gerçekleştirilmesi ve kapasitör tip asenkron motor üzerinde kullanılarak motorun kalkış anında gösterdiği dinamik davranışı üzerine etkisinin incelenmesi teşkil etmektedir.

Benzetim sırasında, kapasitör tip asenkron motorun doymalı modeli kullanılmadığından ortak endüktans değerleri sabit alınmıştır.

Bilgisayar benzetim çalışmasında, anahtarlama açısı seçicisi 0° ile 360° arasında istediğimiz açı derecesine rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Deneysel çalışmada ise, 0° , 90° , 180° , 270° ve 360° dışındaki diğer ara değerlerde, istediğimiz açı derecesine tam olarak ayarlamak mümkün olmamaktadır. $\pm$ hata ile istenilen açı derecesi yaklaşık olarak ayarlanabilmektedir. Bunun nedeni ise osiloskopta referans dalga şekli yeterince büyük olmadığı için tetikleme darbesi, istenilen açı derecesine tam olarak ayarlanamamaktadır. Bu da hataya neden olmaktadır.

Deneysel çalışmada geliştirilen moment ölçme düzeneğinden elde edilen sonuçlarla benzetim sonuçları matematiksel olarak tamamen birbirinin eşdeğeri değildir. Yani deneysel çalışmada moment-zaman grafiğindeki herhangi bir anda momentin ne olduğu benzetim çalışmasındaki gibi kesin olarak bilinmemektedir. Ancak moment ölçme düzeneğinin kalibrasyonu için karşılaştırma yöntemine başvurulur. Yani moment değerleri bilinen bir düzenekte bu ölçme düzeneği kullanılarak ölçeklendirme yapıldıktan sonra kullanılırsa moment-zaman grafiğinin herhangi bir anda momentin değeri kesin olarak belirlenebilir.

İnceleme teorik ve deneysel olarak yapılmış ve bilgisayar benzetim sonuçlarıyla deneysel sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

9. SONUÇLAR

Bu çalışmada, daha önce pratik olarak gerçekleştirilmiş olan anahtarlama açısı seçicisi yardımıyla gerilimin uygulanma anındaki değerinin momentteki tekrarlanmayan tepe değerleri üzerine etkisini incelemek için laboratuvarında bulunan kapasitör tip tek fazlı asenkron motor kullanılmıştır.

Deneysel çalışmada, tek fazlı anahtarlama açısı seçicisi 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , 180° , 210° , 240° , 270° , 300° , 330° ve 360° 'lerde tetiklenerek uygulanan gerilimin uygulanma anı değiştirilip kapasitör tip asenkron motorun dinamik davranışı incelenmiştir.

Bu deneysel çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1-Şekil-20-21-23-24-25 ve 28'den de görüleceği üzere, yani anahtarlama açısı seçicisi 30° , 60° , 120° , 150° , 180° ve 270° 'lerde tetiklendiğinde momentteki tekrarlanmayan pozitif ve negatif tepe değerleri maksimum olmaktadır. Bu ise kapasitör motor için zararlıdır.

2-Şekil-22 ve Şekil-26'danda görüleceği üzere, yani anahtarlama açısı seçicisi 90° ve 210° 'lerde tetiklendiğinde momentteki tekrarlanmayan pozitif ve negatif tepe değerleri minimum olmaktadır. Bu ise kapasitör motor için bir önceki sonuçlara göre daha iyidir.

3-Şekil-27-29-30 ve 31'dende görüleceği üzere, yani anahtarlama açısı seçicisi 240° , 300° , 330° ve 360° 'lerde tetiklendiğinde momentteki tekrarlanmayan pozitif ve negatif tepe değerleri daha önceki iki sonucun arasında bir değer olmaktadır. Bu ise kapasitör motor için 2 nolu sonuca göre daha kötü ve 1 nolu sonuca göre daha iyidir.

Bu sonuçlardan anlaşıldığı gibi kapasitör tip tek fazlı asenkron motor, anahtarlama açısı seçicisi 90° ve 210° 'lerde tetiklenerek çalıştırıldığında daha az burulma momentine maruz kalarak sürekli çalışmaya geçecektir.

10. ÖNERİLER

Kapasitör tip tek fazlı asenkron motorun doymalı modelinin elde edilmesi, girdap akımı ve histerezis kayıplarının hesaplara katılması, ana ve yardımcı sargı arasındaki uç etkilerinden dolayı oluşan ortak endüktansın ihmal edilmemesi, sürtünmenin dikkate alınması d-q motor modelinin daha gerçekçi olmasını sağlayacaktır. Bu ise özellikle benzetim sonuçlarının deneysel sonuçlarla daha uyumlu olmasına neden olacaktır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre kapasitör tip tek fazlı asenkron motor, anahtarlama açısı seçicisi 90° ve 210° 'lerde tetiklenerek çalıştırılmalıdır. Çünkü bu durumda motor mili daha az darbeleme ve burulma momentine maruz kalmaktadır.

Bu çalışmanın, bundan sonra anahtarlama açısı seçicisiyle ilgilenen arkadaşlara faydalı bir kaynak olmasını temenni eder başarılar dilerim.



11.KAYNAKLAR

- [1]. Sarıoğlu, K., Asenkron Makinalar, Çağlayan Kitabevi, Beyoğlu, İstanbul, 1983.
- [2]. Bal, G., Özel Elektrik Makinaları, Gazi Üniversitesi Basımevi, Ankara, 1997.
- [3]. Krause, P.C., Analysis of Electric Machinery, McGraww-Hill Company, Singapore, 1988.
- [4]. Akpınar, S., Sayısal Çözümleme, Fakülte Ders Notları, 2. Baskı, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 1994.
- [5]. Kesler, S., Tek Fazlı Şebekeden Beslenen Üç Fazlı Sincap Kafesli Asenkron Makinaların Dinamik Davranışı, Lisans Tezi, K.T.Ü., M.M.F., Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1991.
- [6]. Akpınar, S., Elektrik Mühendisliğinin Temelleri-II, Fakülte Ders Notları, 2. Baskı, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 1994.
- [7]. Kürüm, H., Kapasitif Yüklü Transformatörlerde Transient Akımlar, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1984.
- [8]. Anonim, Güç Elektroniği Seminerleri, E.M.O. Yayınları, Yayın No:1, Trabzon, 1989.

12. ÖZGEÇMİŞ

Ali ÖZEN, 1967 yılında Adana'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Adana'da tamamladı. 1994 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden Elektrik Mühendisi olarak mezun olduktan sonra 1996 yılından itibaren aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta ve yüksek lisans programına devam etmektedir. Yayınlanmış dört ulusal bildirisi bulunmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır. İngilizce bilmektedir.

