

# Giriş Gerilimini Değiştirerek Endüksiyon Motorunun Hız Kontrolü

Yazan \*  
Aydın ER SAK  
ODTÜ

## ÖZET

Yazı, sincap - kafesli endüksiyon motorlarında giriş gerilimini iki yönlü kontrollü silikon doğrultkanlar ile değiştirerek hız kontrolü elde edilebilen bir metodu ana hatlarıyla ele almaktadır.

## 1. TANITIM

Endüksiyon motorlarının, endüstride en çok kullanılan elektrik motorları olarak, doğru akım motorları karşısında; az bakıma ihtiyaçları ve sağlam bir yapıya sahip olmaları gibi üstünlükleri vardır. Ancak, birçok uygulamalarda sabit hızla bir dezavantaj olmaktadır. Yazımız, bu motorlara değişken hızlarda çalışabilme olanağı sağlayacak durağan (statik) bir gerilim kontrol birimini ana hatlarıyla, elemanlarını, çalışma prensibini ve özelliklerini anlatmaktadır.

Gerilim kontrol birimi, kontrollü silikon doğrultkanlardan (KSD) ve bunları yöneten elektronik devrelerden meydana gelmiştir. Ancak bu uygulamada kullanılan KSD, normal olarak içinden tek yönde akım geçirmesi gerekirken, iki yönde de akımı aynı şartlar ilte geçirebilmektedir. Bu eleman yapısı itibarıyla her ne kadar KSD'ler sınıfı içinde kabul edilirse de görevi açısından bir doğrultkan değil iki yönlü bir anahtardır. Yazının geri kalan kısmında bu eleman kısaca, iki yönlü kontrollü silikon doğrultkanın kısaltması İKSD olarak anılacaktır.

Gerilim kontrol birimi endüksiyon motoruna uygulanan gerilimin sinusoidal dalga şeklini değiştirip efektif değerini düşürerek motorun hızını değiştirebilmektedir.

Kontrol birimine eklenen bir negatif geri besleme devresi yardımı ile endüksiyon motorunun hızı, dönme momenti/hız karakteristiğinin kararlı bölgesinde tutulabilmektedir. Kontrol biriminin yardımıyla düşük devirli, 750 d/d, 1/2 BG' lük EMTAŞ yapısı üç fazlı sincap kafesli bir endüksiyon motorunda, dönme momentinin tepe noktasına eriştiği 560 d/d'dan daha düşük bir hızda (490 d/d) kararlı bir çalışma noktası elde edilebilmiştir.

## SUMMARY

A method, for the speed control of squirrel-cage induction motors from the supply using TRIAC's is told in this article.

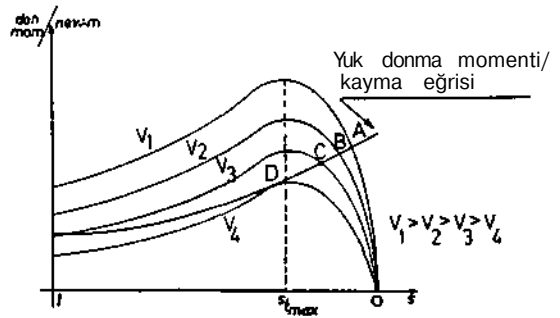
## 2. GİRİŞ GERİLİMİNİ DEĞİŞTİREREK HIZ KONTROLÜ

Sabit bir dönme momentine karşılık endüksiyon motorunun hız değişimi ona uygulanan gerilimin ana elemanın büyüklüğünü değiştirmekle elde olunabilir. Şöyleki, T sabit dönme momentini gösterecek, bu takdirde üç fazlı bir endüksiyon motoru için

$$T = \frac{3}{W_s} \frac{V_{1a}^2 r_{2/s}}{(r_t + r_{2/s})^2 + (X_1 + X_2)^2} \text{ New.m}$$

eşitliğine yazılabilir [1]. Eşittik dikkatle incelendiğinde gerilimin ana elemanın AV<sub>J</sub> kadarlık değişimine karşılık kayma (s) AB gibi bir değişiklik gösterebilir.

Endüksiyon motoru bu nedenle her gerilim değeri için Şekil 1'de görüldüğü üzere ayrı bir dönme momenti/hız eğrisine sahip olacaktır.



Şekil 1. Çeşitli gerilimlere göre dönme momenti/kayma eğrileri.

Yükün dönme momenti/hız eğrisinin ise Şekil 1'deki gibi olduğu kabul edilirse; stator gerilimi V<sub>1</sub> giderek düşürüldüğünde bu yük altındaki A «çalışma noktası» daha başka bir gerilime ait eğrinin B noktasına doğru kayar. Gerilimin düşmeye devam etmesi halinde «çalışma noktası»

$V_3$  eğrisi üzerindeki C noktasına kayar. A3 ve C noktaları «denge çalışma noktalarıdır. Gerilimde ve yük eğrisinde bir değişiklik olmadığı sürece motor bu noktalarda devamlı çalışabilir.

$S_{T_{mal}}$ , motorun dönme momenti/hız eğrisinin tepe noktasının yer aldığı kayma değeridir. D noktası ise, yüke alt eğrinin, motorun dönme momenti/hız eğrisi ile  $S_{T_{mal}}$ 'dan daha büyük bir kayma noktasındaki (kesişme noktasıdır. D bir «dengesiz çalışma noktası» olarak tanımlanır. Zira bu noktada hıza orantılı bir sinyal elde edilip bunun geri beslenerek girig geriliminin değiştirilmesi aaglanmakaızın motorun kararlı olarak çalışabilmesi olanaksızdır.

## 8. GERİLİM KONTROL, BLRLMİ

Bu bölümde gerilim değişimini • sağlayan kontrol biriminin yapısı ve çalışma şekli anlatılmaktadır. Ancak öncelikle İSKD'nin bazı özelliklerinin açıklanması bu birimin yapısının çalışma prensiplerinin açıklanışında yararlı olacaktır.

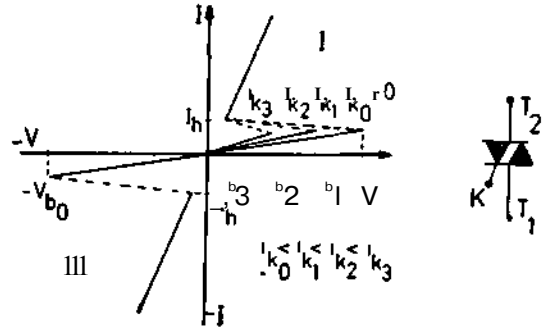
### 8.1. İKSD :

iki yönlü kontrollü silikon doğrultkan, diğer kontrollü silikon doğrultkanlar gibi dört tabakadan oluşmuştur (p-n-p-n), ancak yapısı daha karmaşıktır. Bu yapının ayrıntılarının açıklanması yazımızın konusu dışında tutulacaktır. Üç terminali vardır ve bunlar yazımızda  $T_u, T_l$  ve K ile gösterilecektir. İKSD,  $T_2$  ve  $T_1$  terminalleri arasında bir anahtar görevini yerine getirir. K ise elemanın kapısını gösterir ve  $T_2$  ile  $T_1$  larasının kısa devre edilmesi için verilecek belirli polariteli işaret bu terminal ite  $T_1$  arasına uygulanır.

İKSD'nin Volt-Amper karakteristiği Şekil 2'de gösterildiği gibidir.  $i^{\wedge}$  ( $i=0,1,2,3$ ) ile gösterilen ise elemanın kapısına uygulanan Sşareti ve  $V_o$  ise elemanın  $T_1$  ve  $T_2$  terminalleri arasına uygulandığında, kapıya herhangi bir işaret verilmediği halde, elemanı kısa devre edebilecek gerilimi göstermektedirler. Şekilden de gözlenildiği gibi Jcapıya uygulanan işaretin büyüklüğü arttıkça  $V_{B1}$  "( $i=0,1,2,3$ ) de düşmektedir.  $V_3$  gayet küçük bir gerilimi olup, 10 V civarındadır. Herhangi bir yanılıgtı hemen önlemek için  $V_{B1}$  'ün İKSD'nin üzerindeki gerilim düşümü demek olmadığına dikkat edilmelidir. Zira gerilim düşümü, nominal akımda tipik olarak 1-2 V civarındadır.

$T_2$ 'nin, iye göre daha pozitif ve akımın Tyden,  $T^{\wedge}$ e doğru (pozitif) olduğu durum volt - ampei

- Bu terim yazımızda buradan İtibaren gerilimin ana elemanın büyüklüğünün değişimi anlamını taşıyacaktır.



Şekil 2. İKSLV'nin Volt-Ampere karakteristiği ve sembolü.

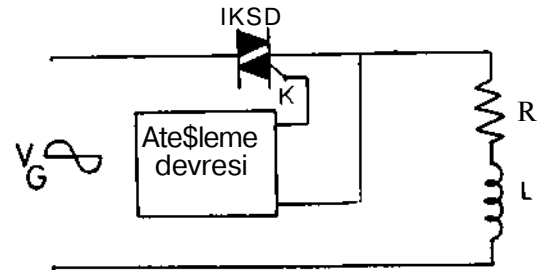
karakteristiğinin I. bölgesini gösterir. Bu bölgede İKSD'yl ateşlemek için K'ya Tye göre pozitif bir işaret uygulanır.

UT. bölgede çalışma yukardaki bütün pozitif işaretlerin, negatif olduğu durumlarda elde edilir.

$I_h$ , elemanın  $T_2$ ,  $T_1$  terminalleri arasında geçmesi gereken en küçük akım değerini gösterir. Bu değerden Üaha düşük akımlarda İKSD açık devre olur. Bu sebeple, İKSiyyi açık devre yapmak için tek yol, elemandan geçen akımı bu değerden daha düşük bir değere indirmektir. Kısım (3.2)'de gösterileceği gibi İKSDTden geçen akım  $I_h$ 'dan daha küçük olmadıkça, terminallerine uygulanan gerilim yön değiştirirse bile eleman açijk devre olmaz.

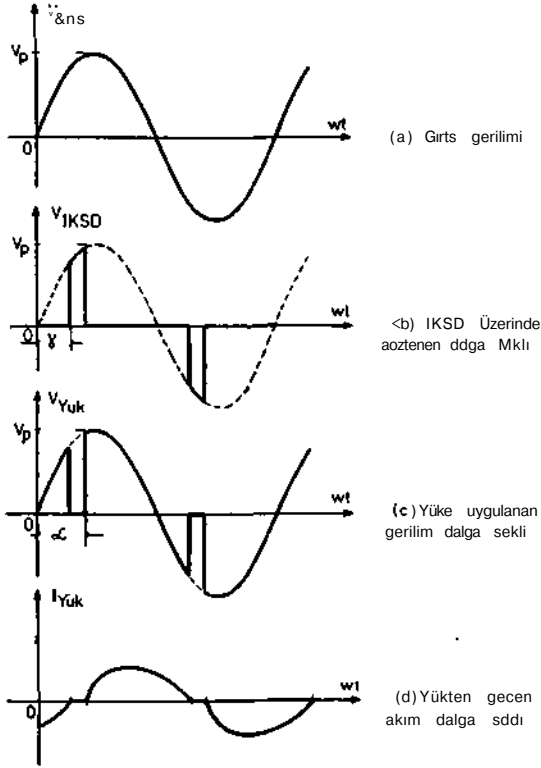
### 8.2. Tek faz gerilim kontrol birimi :

Şekil 3'de gösterildiği gibi bir R - L yüküne uygulanan gerilimin yüksekliği kontrol edilmek istendiği takdirde, İKSD, giriş gerilim dalgasının pozitif ve negatif yarım p'eryotlarının beli açılarında ateşlenir. Ateşleme işlemi '(3.1)'de anlatıldığı gibi ateşleme devresi tarafından yerine getirilir. Böylelikle R - L yükü üzerinde giriş gerilim dalgasının her iki yarım periyodunun ateşleme açısına bağlı olarak bir kısmı veya bütünü gözlenir. Gerek İKSD, gerekse yük üzerinde gözlenecek dalga şekilleri Şekil 4 (b ve



Şekil 3. İKSD'nin tek faz uygulaması.

c)'de gösterilmektedir. Şekil 4 tfde de gösterildiği üzere R - L yükünden geçen akım dalga şekli de, gerilim dalga şekli gibi sinüsoidal görünüşünü kaybetmektedir.



Şekil 4. Tek fazlı uygulamada çeşitli dalga şekilleri.

Şekil 4'de gözlemlendiği gibi İKSD içinden geçen akım  $I^{\wedge}$  ile gösterilen akım değerinden daha aşağı düşmedikçe, İKSD iletken durumunu değiştirmemekte ve bu arada R - L yükü üzerinde görülen gerilim negatif bir değere varmaktadır.

Şekil 4'de gösterilen  $\gamma$  açısı motorun güç faktörüne karşı gelen açığı göstermektedir İKSD ( $\leftarrow \gamma$ ) açuları arasında iletken değildir. Bu sebeple yük üzerinde görülen değişken gerilim yükseklği daima giriş geriliminden daha düşüktür. Bu ise  $\alpha$  ateşleme açısının daima  $\gamma$  açısından büyük olmasını gerektirmektedir. Eğer  $\alpha$  açısı  $\gamma$ 'ya eşit olursa yük üzerinde gözlenen gerilim giriş gerilimine eşit olmaktadır.

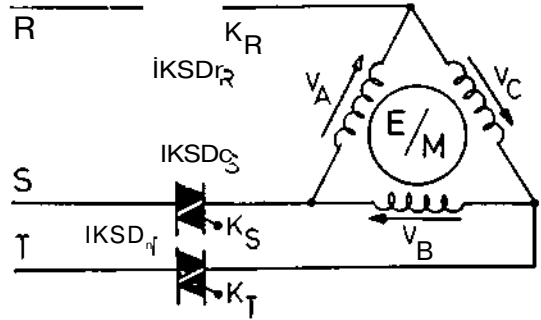
Eğer  $V_p$  giriş geriliminin tepe değeni ise; Şekil 4 c)'de görülen çıkış geriliminin efektif değeri [2]

$$V = \sqrt{\pi + (\gamma - \alpha) + \frac{1}{2}(\sin 2\alpha - \sin 2\gamma)}$$

Eğer  $\alpha$  ve  $\gamma$  açıları biliniyorsa yük üzerinde gözlenecek gerilimin efektif değeri hesaplanabilir. Ancak bilindiği üzere motor hızlandıkça güç faktörü, dolayısıyla,  $\gamma$  açısı değişeceğinden sabit bir ateşleme açısı ile motor git hızlandılırsa  $V_e$  de birlikte değişecektir.

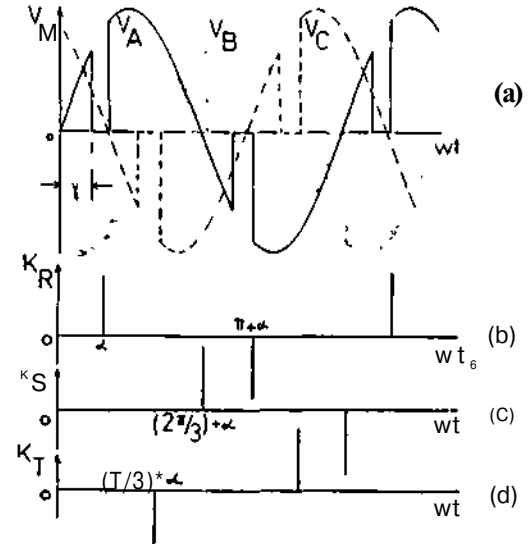
### S.3. Üç fazU gerilim kontrol birimi :

Tek faz uygulama, küçük değişikliklerle üç fazlı bir yükü, örneğin bir endüksiyon motorunu beslemekte kullanılabilir. Şekil 5'de böyle bir uygulama devresi gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan motor, 1/2 BG'lük, sincap kafes bir endüksiyon motorudur. Statoru üçgen bağlıdır.



Şekil 5. İKSD ile endüksiyon motor giriş gerilimi kontrolü

Üç faz uygulamada İKSD'leri ateşleme işlemi tek fazlı uygulamaya göre biraz daha karmaşıktır. Bu işlem Şekil 6'da basit ve kolaylıkla anlaşılabilir bir tarzda gösterilmiştir.



Şekil 6. (a)  $\alpha$  açılarında ateşlenmiş İKSiyelerin çıkışındaki gerilim dalga şekillerini göstermektedir; b, c, d. her bir fazdaki İKSD kapalarına uygulanan darbe sinyallerinin açdarnu ve yönlerini göstermektedir.

VH motor sargılan üzerinde gözlenen gerilimi KR, Ks, KT he- fazdaki İKSD'lerin kapu- arına uygulanan «darbe sinyallerini göateianekte- dir. Şekilde görüldüğü üzere her fazdaki İKSD, ter peryotta 180° aralıkla İki defa ateşlenmek- tedir. Ateşleme sinyalleri pozitif yanm peryot- larda pozitif yönlü, negatif yanm peryotta ise negatif yönlü ve her yanm peryodun sıfır nokta- larına göre istenildiği kadar gecikmeli, ( $\leq$  kadar), olarak İKSD'lerin kapılarına gönderilmek- tedir. Böylelikle İKSDler gerilimin her yarım peryodunda  $\alpha$  açısı kadar gecikmeyle iletken du- ruma geçerler. Bu, sonuç olarak motor sargıla- rına gerilimin istenilen kadarlık parçasının uy- gulanmasıdır ve gerilimin efektif değerinin düz- mesi demektir. Böylece, motor daha düşük bir devirde dönecektir.

#### 4. DENEY SONUÇLARI

Deney sonuçları iki ayrı deneyin sonuçlarıdır. Birincisinde motor sabit ateşleme açısı İle bes- lenmektedir. Motorun bu şartlar altındaki çalış- masına açık döngü çalışma • denilecektir.

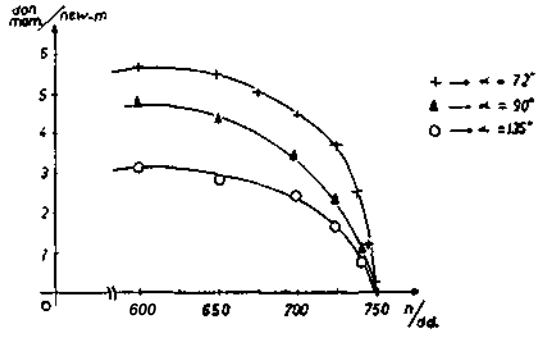
İkinci deneyde motoru yöneten birime hızı oran- tılı negatif yönlü, motorun • çektiği akuna oran- tılı pozitif yönlü sinyaller toplamı uygulanmak- tadır. Değişen yük şartları altında yükün ihtiya- cını karşılamak üzere motorun otomatik olarak ateşleme devresi içinde bulunan «mantık devre- leri» vasıtasıyla gereken tedbirleri aldığı bu çalış- ma şekli «kapalı döngü çalışma» olarak adlan- dırılacaktır.

##### 4.1. Açık döngü çalışma demeyi :

Bu çalışma şeklinde motora uygulanan gerilim değişmediğinden yükün artan dönme momenti ihtiyacının motor tarafından karşılanabilmesi ancak daha düşük bir hızda mümkün olabilmek- tedir. Nitekim Şekil 7'de böyle bir çalışma du- rumunda deneysel olarak elde edilen dönme mo- mentine karşılık hız eğrilerinin durumunu gös- termektedir.

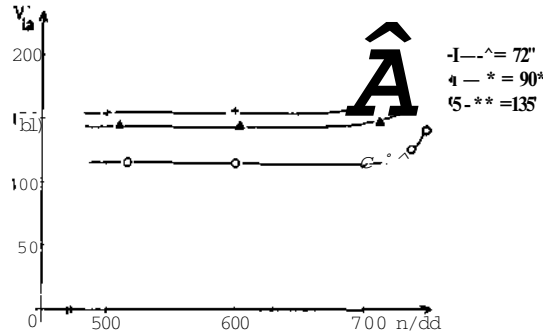
Şekil 7'de elde olunan eğriler çeşitli ateşleme açılarındaki durumu göstermektedir. Her bir ateşleme açısının sabit bir gerilim değerine kar- şılık olduğu varsayımı motorun kararlı çalışana bölgesinin büyük bir kısmında pek fazla yanlış- lıklar doğurmayacaktır. Bu takdirde Şekil 7, Şekil 1'de gösterilen teorik eğrilerin bir doğru- layıcısı olmaktadır.

\* Bu terimler, Sayın Aydın Koksall tarafından hazırlanmış? olan «Türkçe Bilişim Sözlüğü» Elektrik Mühendisliği, Ağustos 1972, S. 176 - 177 sa. 60 adlı yazıda önerilmekte olup yazar tarafından da «open-loop operation», «close-loop operation» terimlerine karşılık olarak kullanılmaktadır.



Şekil 7. Çeşitli ateşleme açılarına karşılık dönme momenti/hız eğrileri.

Ancak kısmı; (3.2.)'de bahsedildiği üzere, sabit bir ateşleme açısı seçildiğinde motorun ilk hızındaki çıkış gericimi ile kararlı çalışma hızındaki çıkış gerilimi farklıdır. Zira motor hızlandıkça faktörü değişmektedir, dolayısıyla kısım (3.2.)'de tanımlanan  $\gamma$  açısı da değişmektedir. Bu nedenle biraz önce sabit ateşleme açısında sabit bir gerilim elde olunduğu varsayımı motorun kararlı çalışma bölgesinin büyük bir kısmında geçerli kabul edilmelidir. Zira bu bölgede çalışırken  $\gamma$ 'nın değişimi hızın değişimine göre pek küçük olmaktadır. Bunu doğrulayıcı deney sonuçları ise Şekil 8'de verilmektedir.



Şekil 8. Çeşitli ateşleme açılarındaki hızla karşılık motora giriş gerilimi eğrileri.

Şekilde  $V_{la}$  İle gösterilen çıkış geriliminin ana elemanıdır.\* Şekilden de görüldüğü üzere gerilim değişimi, hız 700 d/d'dan 500 d/d'ya kadajr değiştiği halde hemen hiç yok denecek kadar küçüktür.

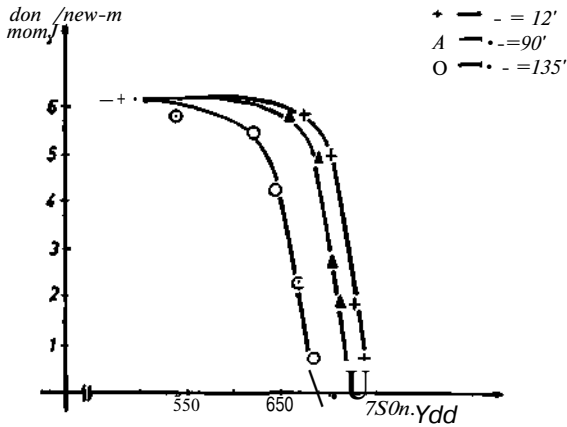
##### 4.2. Kapalı döngü çalışma deneyi :

Gerilim kontrol biriminin yükte olan değişmele- ri izleyebilmesi için, motorun hızı ve stator akv mı gerekli bilgileri ihtiva ettiğinden, bu bilgi- leri birime taşıyacak bir bağlantı ve bu bilgi- leri değerlendirerek gerekli tedbirleri almaya karar verecek bir mantık devresi sisteme ilave edilerek kapalı döngü çalışma gerçekleştirilmiş-

tir. Bu yazıda, mantık devreleri ve ileride geçecek diğer bazı devreler anlatılmayacaklardır. Ancak adları ve görevleri, gerektiğçe anılacaktır. Hıdaki değişmeler, yükte olan değişimlere göre ters yönlüdür. Bu sebeple hızla orantılı sinyal, birimdeki (mantık devrelerini negatif yönlü olarak beslemektedir.

Stator akünına oranılı bilgi ise pozitif yönlü olarak birimi beslemektedir. Yani akımın artması mantık devrelerinin alması dahada arttırıcı yönde tedbir alması sonucunu vermekte, ancak eklenen diğer bir devre ile bu akımın alabilmesine artması önlenmekte, motorun nominal akım değerine sınırlandırılmaktadır. Böylece, motorun aşın yüklenmesi halinde hızı sabit tutabilmek için stator akımının ağır artışı yüzünden motorun yanması veya hasara uğraması da önlenmiş olmaktadır. Akım sınırlama devresi, ancak akün nominal değerini aşınca çalışmakta ve hızın sabit tutulamaması pahasına ateşleme açısının konumu değiştirilmekte ve çıkış gerilimi düşürülmektedir.

Şekil 9'da bu şartlar dahilinde yapılan deney sonucu olarak çeşitli sabit hız değerleri için elde edilmiş dönme momenti/hız eğrileri gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi dönme momen-



Şekil 9. Geri beslemeli devre ile çeşitli ateşleme açılarına karşılık dönme momenti/biz eğrileri.

tindeki büyük değişmelere karşılık hızdaki değişmeler açık döngü çalışmadaki sonuçlar göz önüne alındığında küçüktür. Dönme momenti 6 New.m'yi bulduğu zaman görülmektedir ki akım sınırlama devresi çalışmaya başladığından dönme momenti artık değişmiyor buna karşılık hız düşmeğe bağlıyor.

## 5. SONUÇ

1. Yöntem basittir. Kontrol birimi küçük hacimlidir ve hafiftir. Böylelikle kurulu bir sisteme eklenmesi oldukça kolaydır.
2. Komütatör yapımının zorluğu nedeniyle yapımı Türkiye'de gerçekleştirilemeyen doğru akım motorlarının hız kontrolü konusunda bıraktığı boşluğu doldurabilecek bir sistemdir.
3. Ucudur.
4. Motorun korunması için ayrıca masraf gerekmemektedir.
5. Yukarıdaki üstünlüklerine karşılık ateşleme devresi ve mantık devrelerinin gerçekleştirilmesi bazı problemleri de beraberinde getirmektedir.
6. Araştırmada dikkat edildiği gibi «sistemin denge analizleri» yapılmamıştır. Ve bu sebeple «sistemin denge analizlerinin bir başka araştırma için konu olarak seçilmesi ilginç sonuçların ortaya çıkmasına da imkan verecektir. Zira sadece «kapalı döngü» bağlantısında kullanılan amplikatörlerin kazançlarının aldığı bazı değerler sistemin dengesiz çalışmasına yol açabilecektir. Bu konunun ayrıca incelenmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Electric Machinery, A. E. Fitzgerald C. Kingsley Jr., McGraw-HILL, S. 298-303.
2. Speed Control of Induction Motors Using Triacs, Aydın Eraak, M. S. Thesis ODTÜ 1970, S. 13.