

K. O.
MERKEZ KÜTÜPHANESİ
Doc. No: 10558
Fiyatı : 100.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÜÇ FAZLI DEĞİŞKEN GERİLİM KİYİCİ İLE
BESLENEN ASENKRON MOTORLARIN
PARK VEKTORLERİ İLE İNCELENMESİ**

Mehmet Timur AYDEMİR

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
ENERJİ UYGULAMASI YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

TEZ NUMARASI

Genel:
Anabilim dalı:
Program:

ÜÇ FAZLI DEĞİŞKEN GERİLİM KIYICI İLE
BESLENEN ASENKRON MOTORUN
PARK VEKTÖRLERİ İLE İNCELENMESİ

M. TİMÜR AYDEMİR

YÖNETİCİ: Yrd. Doç. Dr. GÜVEN ÖNEİLGİN

TRAEZON
Ağustos - 1985

<u>BÖLÜM 1 : GİRİŞ</u>	1
<u>KULLANILAN KISALTIMA VE SİMGELER</u>	1.a
<u>BÖLÜM 1 : GİRİŞ</u>	2
<u>BÖLÜM 2 : DEĞİŞKEN GERİLİM KİYİCİ</u>	3
2.1. Tek Fazlı BGK	3
2.2. Üç Fazlı BGK	5
2.3. Üç Fazlı BGK nin çözümlenmesi	6
2.3.1. Denklemler	6
2.3.2. Gerilim Vektörleri	9
2.3.3. Akımlar	11
2.3.4. Sayısal Çözüm	11
2.3.5. Akımın Sıfır Bileşeninin Hesaplanması ...	13
2.3.6. Sonuçlar	14
<u>BÖLÜM 3 : ASENKRON MOTOR, PARU VEKTÖRLERİ İLE TANIMI VE BGK İLE BESLENMESİ</u> ?	25
3.1. Denklemler	25
3.2. Denklemlerin Park Vektörleriyle Yazılması	26
3.3. Denklemlerin Bire İndirgenmesi	29
3.4. Eksen Sistemlerinin Dönüşümü ve Temel Eksen Sistemi Seçimi	30
3.5. Denklemlerin Çözümüne Hazır Duruma Getirilmesi ...	33
3.6. Çözüm	34
3.7. Sonuçlar	36
<u>BÖLÜM 4 : DENEYLER</u>	42
<u>BÖLÜM 5 : SONUÇ</u>	63
<u>KAYNAKÇA</u>	64.a
<u>Ek:1 Edilen Yük için Kullanılan Bilgisayar Programı</u>	65
<u>Ek:2 Kullanılan ASH un Parametreleri</u>	73
<u>Ek:3 Motor Yükü için Kullanılan Bilgisayar Programı</u>	75

ÖNSÖZ

Doç. Dr. Rasim ALDEMİR'in danışmanlığında başlayıp yürüttüğüm bu çalışmayı, kendisinin son anda Üniversitemizden ayrılmış olması nedeniyle Yrd. Doç. Dr. Güven ÖNBİLGİN'in danışmanlığında bitirmek durumunda kaldım.

Bu çalışma sırasında ve öncesindeki tüm yardımlarından ve yol göstermelerinden dolayı Doç. Dr. Rasim ALDEMİR ve Yrd. Doç. Dr. Güven ÖNBİLGİN'e; ayrıca, en sıkışık anlarda yazım, çizim ve fotoğraf çekim işlerinde yardımlarını esirgemeyerek, bana, herşeye karşın Üniversite yaşamının zevkini bir kez daha tattıran arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Timur AYDEMİR

Ağustos, 1985

ÖZET

Bu çalışmada, üç fazlı değişken gerilim kıyıcı ile beslenen asenkron motorun davranışları, park vektörleri yardımıyla yazılan dif. denklemlerin çözülmesi ile incelenmiştir. Çalışmada, değişken gerilim kıyıcısının özelliklerinin iyi kavranması için öncelikle edilgen yükü beslemesi durumu incelenmiş, sonra motor yüküne geçilmiştir. Her iki yük bağlantısı için de çözüm yapılırken, park vektörleri ile yazılan denklemler, kolaylık sağlama açısından bire indirgenerek kullanılmışlardır. Bilgisayarda yapılan sayısal incelemenin yanısıra, laboratuvar da buna koşut olarak deneysel inceleme yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Değişken Gerilim Kıyıcı (BGK), Asenkron Motor (ASM), Park Vektörü,

Kullanılan Kısaltmalar ve Simgeler

$\underline{a} = e^{j120^\circ}$: 120° çevirme vektörü
\underline{i}	: Akım park vektörü
$i_a(i_1)$: a fazı akımı anlık değeri
i_0	: Akımın sıfır bileşeni
i_x	: Yük akımı anlık değeri
I_N	: Akımın anma değeri
I_0	: Boşta çalışma akımı
J	: Eylemsizlik momenti
L	: Bir fazın ana endüktansı
L_σ	: Bir fazın kaçak endüktansı
M	: Moment
$M_D(N)$: Nötr noktası
M_Y	: Yük momenti
n	: Makina hızı
n_k	: Bire indirgenmiş hız
n_m	: Anma hızı
p	: Kutup çifti sayısı
P	: Yükte harcanan etkin güç (p.u)
P_{Fe}	: Demir kayıpları
P_R	: Motorun tek faz, kısadevre kayıpları
P_N	: Anma gücü (kW)
P_{ste}	: Motor sürtünme kayıpları (W)
$R_1(R_S), R_2(R_R)$: Stator ve rotor tek faz dirençleri ()
r_1	: Stator direnci (p.u)
r_2'	: Birincil, yani indirgenmiş rotor direnci (p.u)
T_A	: Eylemsizlik momenti için bire indirgeme katsayısı
\underline{u}	: Gerilim park vektörü
u_a	: Edilgen yük için faz gerilimi anlık değeri (p.u)

- $u_{a1}(u_{b1})$: Motor yükü için, faz gerilimi anlık değeri (p.u)
 u_{a1} : Edilgen yükte faz geriliminin ana harmoniği
 U_L : Kısa devre gerilimi
 U_H : Anma gerilimi
 U_0 : Koşta çalışma gerilimi
 u_0 : Gerilimin sıfır bileşeni
 U_L : Faz-nötr gerilimi etkin değeri
 $U_\alpha (U_\beta)$: Gerilim park vektörünün gerçel ve sanal bileşenleri
 $X_1(X_2)$: Stator (Rotor) reaktansları
 $X_m (=X_m)$: Motor bir fazının mıknatıslanma reaktansı
 $X_{\sigma\sigma}, X_{\sigma r}$: Bire indirgenmiş kaçak stator ve rotor reaktansları
 Z : Karmaşık yük
 α : Tetikleme açısı (derece)
 φ : Edilgen yükte yük faz açısı
 φ : Motor yükünde akım park vektörünün faz açısı
 φ : Edilgen yükte, yük gerilimi ana harmoniğinin faz açısı
 θ : Stator-rotor eksenleri arasındaki açı
 λ : Güç katsayısı
 σ : Kaçak katsayısı
 $\gamma_a, (\gamma_b)$: Stator (rotor) akısı anlık değeri (p.u)
 $\underline{\gamma}$: Akı park vektörü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Asenkron motorlar değişik yöntemlerle hız ayarına elverişli olmalarından dolayı endüstride yaygın biçimde kullanılmaktadır.

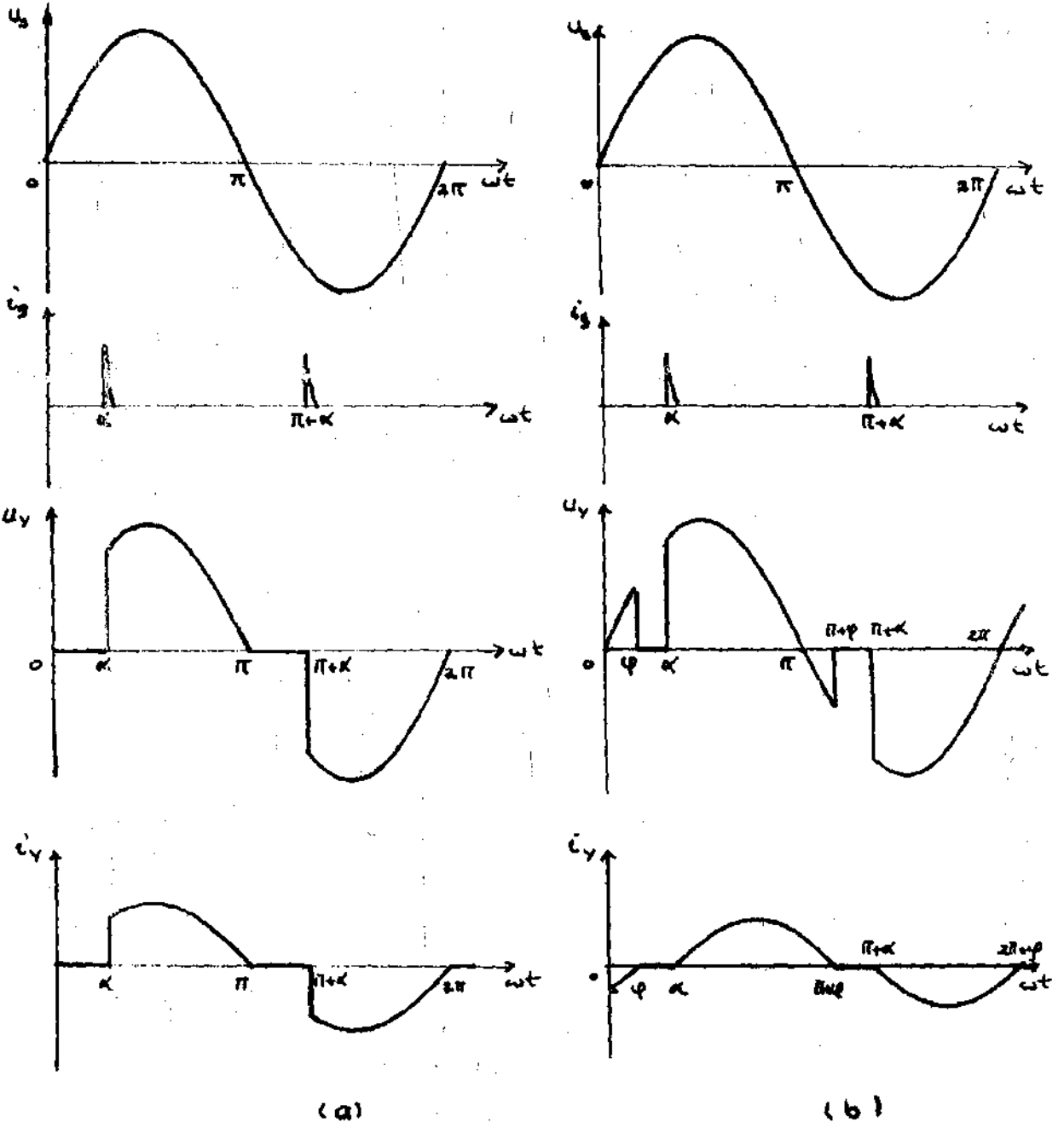
ASM larda hız ayarı yapabilmek için çeşitli yöntemler kullanılır. Bu yöntemleri, şu biçimde sıralayabiliriz.

- a) Kutup çifti sayısı değiştirilerek hız ayarı
- b) Rotor sargılarına bağlanan dirençle hız ayarı
- c) Stator gerilimini değiştirerek hız ayarı
- d) Stator geriliminin frekansını değiştirerek hız ayarı

Yarıiletken devre elemanlarının gösterdikleri büyük gelişmeden ve ucuzluklarından dolayı, denetim dizgelerinde üç elektronik kullanımı çok büyük artış göstermiştir. Bu denetim dizgelerinden biri de "Değişken Gerilim Kısıyıcı" dır. Değişken gerilim kısıyıcılar, tek ya da üç fazlı olabilir ve stator gerilimini kıymakta kullanılabilirler. ASM larda moment, gerilimle bağlantılı olduğundan, besleme geriliminin değişik açılarda kıyılmasıyla, moment ayarı dolayısıyla da hız ayarı yapılabilir.

Bu çalışmada, DGK ile beslenen ASM un davranışları incelenirken, ASM modeli olarak, daha önce bölümümüzde yine Yüksek Lisans Tezi olarak yapılan bir çalışmada [3] çıkarılan model kullanılacaktır. Bilgisayarda yapılacak çalışma için de, aynı tezdeki bilgisayar programı amaçlarımıza uygun biçimde geliştirilerek kullanılacaktır.

Çalışmanın sonunda, bilgisayarda elde edilen sonuçlarla laboratuvarımızda kurulu bulunan düzener üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar sunulacaktır.



Şekil 2.2. a) Omik Yükle
 b) Omik-indüktif yükte ($\alpha > \varphi$)
 çalışan DGK

vuruşları kullanılır ve güvenilir bir tetikleme yapılabilir. Tetikleme vuruşlarının uzun süreli ve $\alpha \gg \varphi$ olması durumunda yük gerilimi giriş gerilimine eşit olur.

Şekil 2.2 de, tek fazlı DGK nın omik ve omik-endüktif yük için çizilmiş çalışma eğrileri görülmektedir.

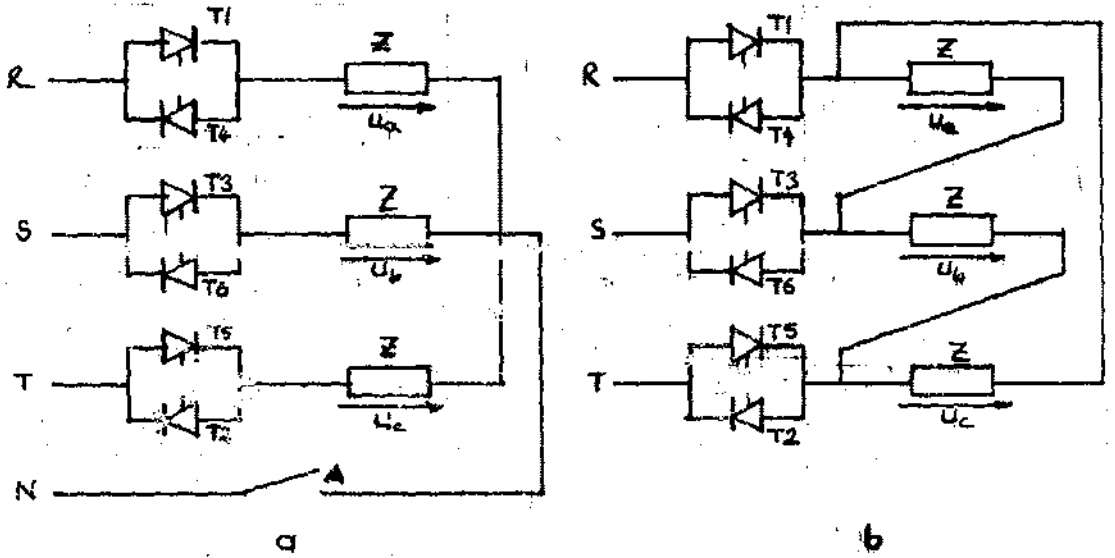
2.2. Üç Fazlı DGK

Üç fazlı DGK her bir fazda birbirine ters paralel bağlı bir çift tristör olmak üzere toplam altı tristör içerir.

Üç fazlı DGK ile yük bağlantısı üç ayrı biçimde olabilir.

- Yıldız bağlı yük, orta uç bağlı
- Yıldız bağlı yük, orta uç açık
- Üçgen bağlı yük

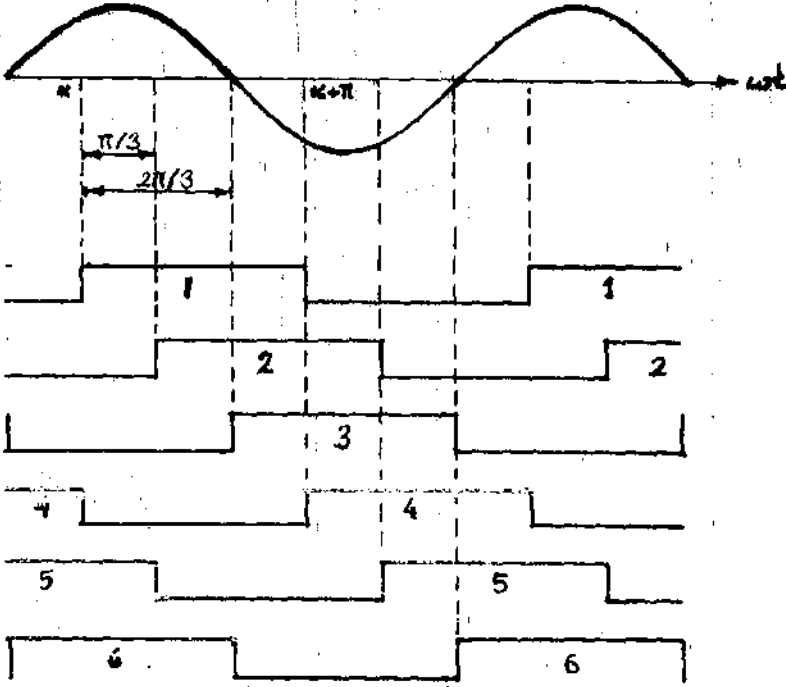
Bu bağlantılar Şekil 2.3 de gösterilmektedir.



Şekil 2.3. Üç Fazlı DGK-Yük Bağlantıları

Şekil 2.3.a da yükün yıldız bağlantısı görülmektedir. Bu bağlantıdaki A anahtarı kapandığında orta ucu bağlı yıldız bağlantı elde edilir. Şekil 2.3.b ise üçgen bağlı yük bağlantısını göstermektedir.

Şekil 2.3 deki tristör numaraları, aynı zamanda, tristörlerin iletime girme sırasını da göstermektedir. Üç fazlı DGK nın tetikleme vuruşları Şekil 2.4 te görüldüğü gibidir.



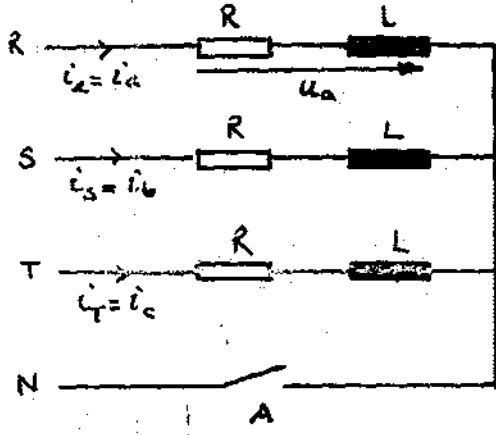
Şekil 2.4. Üç fazlı DGK tetikleme vuruşları

Şekil 2.4 ten de görüleceği gibi üç fazlı DGK devresinin aynı yöndeki tristörlerinin tetikleme vuruşları arasında 120° faz farkı vardır.

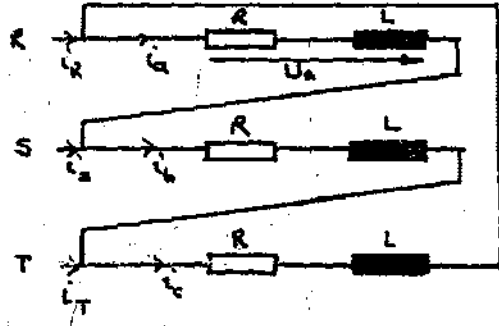
2.3. Üç Fazlı DGK nın Çözülmesi

2.3.1. Denklemler

Yükün yıldız bağlı ve orta ucunda bağlı olması durumunda devrenin çalışmasını incelemek oldukça kolaydır ve tek fazlı DGK nın aynıdır. Diğer bağlantı biçimlerinde ise, yükün saf omik ya da saf endüktif olmaması durumunda işlemler çok daha zorlaşır.



(a)



(b)

Şekil 2.5. Üç fazlı R-L yük bağlantıları

Şekil 2.5 te görülen üç fazlı R-L yükü bağlantıları için, fazlar arasında ortak endüktans olmaması durumunda

$$U_n = R_n i_n + L_n \frac{di_n}{dt} \quad (n=a,b,c) \quad (2.1)$$

denklemleri geçerlidir. Yük simetrik ise

$$R_a = R_b = R_c = R \quad (2.2)$$

ve

$$L_a = L_b = L_c = L \quad (2.3)$$

yazabiliriz.

Orta ucun bağlı olduğu yıldız bağlantıda bir sıfır bileşeni ortaya çıkar. Sıfır akımı ve gerilimi

$$i_0 = \frac{1}{3} (i_a + i_b + i_c) \quad (2.4)$$

ve

$$u_0 = \frac{1}{3} (u_a + u_b + u_c) \quad (2.5)$$

eşitlikleri ile tanımlanırlar. (2.4) ve (2.5) eşitliklerinden de görüleceği gibi üç fazın da iletimde olması durumunda $i_0 = 0$ ve $u_0 = 0$ olacaktır.

Sıfır bileşeni için geçerli olan dif.denklem ise

$$R i_0 + L \frac{di_0}{dt} = u_0 \quad (2.6)$$

olarak tanımlanır.

Akımların zamana göre değişimlerini bulabilmek için, (2.1) ve (2.6) denklemleri, uygun zaman dilimleri içerisinde gerekli başlangıç koşullarının kullanılmasıyla çözülür. Buna göre, üçü faz akımları için biri de sıfır bileşeni için olmak üzere dört dif. denklemin çözülmesiyle sonuca varılır. Oysa, çözümlemede "Park Vektörleri" nin kullanılmasıyla, çözülecek denklem sayısı ikiye, hatta sıfır bileşeni bulunmayan bağlantılarda bire düşürülür.

$$\underline{a} = e^{j\frac{2\pi}{3}} \quad (2.7)$$

olmak üzere, akımın park vektörü

$$\underline{i} = \frac{2}{3} (i_a + \underline{a} i_b + \underline{a}^2 i_c) \quad (2.8)$$

ve gerilimi park vektörü de

$$\underline{u} = \frac{2}{3} (u_a + \underline{a} u_b + \underline{a}^2 u_c) \quad (2.9)$$

olarak tanımlanır. Park vektörleriyle yazılmış dif. denklemi elde etmek için (2.1) denklemi her faz için ayrı ayrı yazılır, denklemler sırayla $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3} \underline{a}$ ve $\frac{2}{3} \underline{a}^2$ ile çarpılarak taraf tarafa toplanır. Sonuçta elde edilen

$$\underline{u} = R \underline{i} + L \frac{d\underline{i}}{dt} \quad (2.10)$$

ve

$$u_0 = R i_0 + L \frac{di_0}{dt} \quad (2.11)$$

denklemleri, üç fazlı DGK nın çözümlenmesi için gerekli tanım bağıntılarını oluştururlar. Bu iki denklem

$$\frac{d\underline{i}}{dt} = -\frac{R}{L} \underline{i} + \frac{1}{L} \underline{u} \quad (2.12)$$

$$\frac{di_0}{dt} = -\frac{R}{L} i_0 + \frac{1}{L} u_0 \quad (2.13)$$

biçiminde yeniden düzenlendikten sonra matrisel biçimde yazılırlarsa

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i \\ i_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R/L & 0 \\ 0 & -R/L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ i_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} u \\ \frac{1}{L} u_0 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

elde edilir. Bu denklemler, u ve u_0 ile akımların başlangıç koşullarının bilinmesi ile çözülebilirler.

2.3.2. Gerilim Vektörleri




Yük üzerindeki gerilimler, yükün bağlantı biçimine ve tristörlerin iletim durumlarına göre şebeke faz ve şebeke fazarası gerilimlerinden oluşmaktadır.

a) Yıldız bağlı ve orta ucu bağlı yük: Bu bağlantıda herhangi bir fazda akım olabilmesi için o faza bağlı bir tristörün iletimde olması gerek ve yeterdir. Yük gerilimi, fazdan akım akması durumunda giriş gerilimine eşit olup, bunun dışında sıfırdır. Üç fazın aynı anda iletimde olmaması durumunda akım ve gerilimde, daha önce de söz edildiği gibi sıfır bileşeni ortaya çıkar.

b) Yıldız bağlı, orta ucu açık yük: Bu bağlantıda, yalnızca bir fazın akım akıtması söz konusu değildir. Akım akabilmesi için, en az iki faza bağlı tristörlerin iletim koşullarını sağlaması gereklidir. Fazlar ikişer ikişer iletimde olduğunda yük gerilimleri, fazarası gerilimlerinin yarılardan oluşur. Üç faz birden iletime girdiğinde ise yük gerilimleri, faz gerilimlerine eşittir. Bu bağlantıda, akım akmayan fazdaki yük gerilimi sıfırdır.

c) Üçgen bağlı yük : Bu bağlantıda da akım akabilmesi için yine en az iki faza bağlı tristörlerin iletim koşullarını sağlaması gereklidir. Yük gerilimleri, fazların iletim durumlarına göre, fazarası gerilimlerden ya da bunların yarılardan oluşur.

Çizelge21 de, yükün bağlantı biçimlerine ve tristörlerin iletim durumlarına göre yük gerilimleri ve gerilim park vektörleri eşitlikleri verilmektedir.

Bağlantı	Trifazlı İsten Fazlar	Yük Gerilimi	Gerilim Park Vektörü
	R S T RS RT ST RST	U_a U_b U_c U_R U_S U_T U_{RS} $U_{ST}/2$ $U_{RT}/2$ U_{ST} U_S	$\frac{\sqrt{3}}{2} U_0$ U_a U_b U_c $U_a + U_b$ $U_a + U_c$ $U_b + U_c$ $U_a + U_b + U_c$ 0
	RS RT ST RST	$U_{RS}/2$ $U_{RT}/2$ 0 U_{RT} $-U_{RS}/2$ 0 $U_{ST}/2$ U_S	0 0 0 0 $U_a + U_b$ $U_a + U_c$ $U_b + U_c$ $U_a + U_b + U_c$
	RS RT ST RST	U_{RS} $U_{RT}/2$ $-U_{ST}/2$ U_{RS} $-U_{RS}/2$ $U_{RT}/2$ U_{ST} U_{ST}	0 0 0 0 $U_a + U_b + U_c$ $U_a + U_b + U_c$ $U_a + U_b + U_c$ $U_a + U_b + U_c$

Çizelge 2.1

2.3.3. Akımlar

(2.14) dif.denklemleri, fazların iletim durumlarına göre hesaplanan gerilim vektörlerinin yardımıyla çözülürse \underline{i} ve i_0 bulunur. Bu büyüklüklerin yardımıyla da yük akımları

$$\begin{aligned} i_a &= \text{Re}(\underline{i}) + i_0 \\ i_b &= \text{Re}(a^2 \underline{i}) + i_0 \\ i_c &= \text{Re}(a \underline{i}) + i_0 \end{aligned} \quad (2.15)$$

bağıntıları kullanılarak elde edilir. Yükün üçgen bağlı olması durumunda

$$\begin{aligned} i_R &= i_a - i_c \\ i_S &= i_b - i_a \\ i_T &= i_c - i_b \end{aligned} \quad (2.16)$$

ve diğer bağlantılarda da

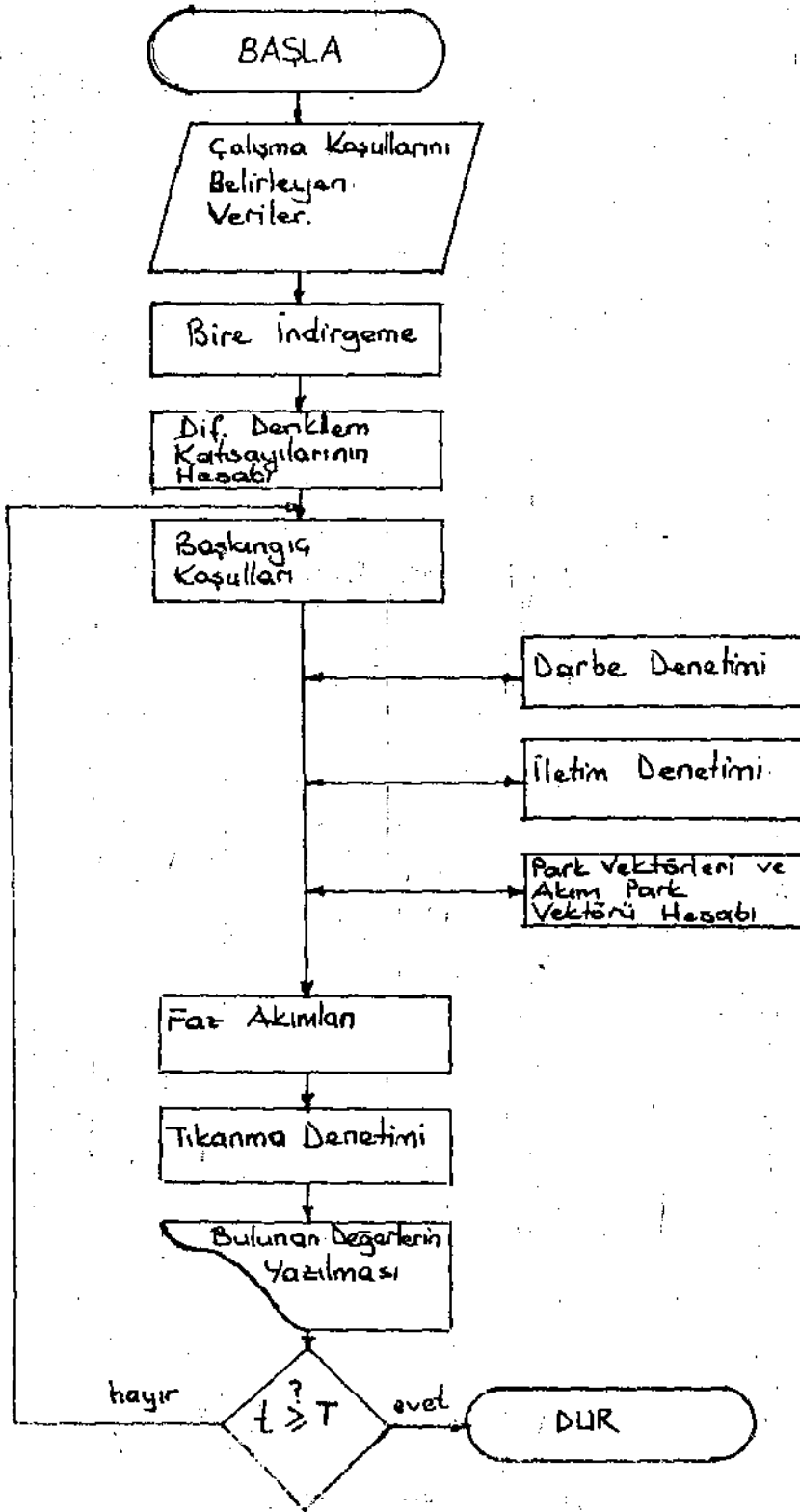
$$\begin{aligned} i_R &= i_a \\ i_S &= i_b \\ i_T &= i_c \end{aligned} \quad (2.17)$$

dir. Yükün yıldız bağlı, orta ucunda bağlı olması dışındaki durumlarda sıfır bileşeni bulunmadığı için (2.15) denklemlerinde $i_0 = 0$ alınır.

2.3.4. Sayısal Çözüm

Bu çalışmada, (2.14) dif.denkleminin, bilgisayarda sayısal olarak çözülmesinde Runge-Kutta-Merson yöntemi kullanılmıştır. Üç fazlı DGK'nın sayısal olarak incelenmesi için hazırlanan bilgisayar programının çıkış çizelgesi çizelge 2.2 de verilmektedir.

Sayısal çözümde, her adımda giriş gerilimlerinin ve tetikleme vuruşlarının durumuna göre tristörlerin iletime girip girmediği denetlenmekte, tristörlerin iletim durumuna göre gerilim park vektörü hesaplandıktan sonra Runge-Kutta-Merson yöntemiyle akım park vektörü ve sıfır akımı bulunmaktadır. Daha sonra (2.15) denklemleri kullanılarak faz akımları bulunur. Akımlar bulunduğundan sonra, tristörlerin takama denetimi yapılır. Her adım bittiğinde o andaki değerler başlangıç koşulu olarak alınarak, programın başına yeni adıma geçilir.



Çizelge 2.2. Sayısal çözümde kullanılan programın akış çizelgesi

2.3.5. Akımın Sıfır Bileşeninin Hesaplanması

Daha önce de söz edildiği gibi orta ucu bağlı yıldız yük durumunda akımın sıfır bileşeni ortaya çıkmaktadır.

Yalnız bir fazdan akım akması durumunda, (2.8) denkleminde de anlaşılacağı gibi, akım vektörü \underline{i} , bu fazın eksenine doğrultusunda olmak zorundadır.

Örnek olarak yalnızca a fazındaki tristörlerin iletim koşullarını sağladığını varsayalım. Önce (2.14) denklemi çözülerek \underline{i} vektörü bulunur. $i_b = i_c = 0$ olduğundan (2.15) denklemleri

$$\begin{aligned} i_a &= \text{Re}(\underline{i}) + i_o \\ i_b &= \text{Re}(a^2 \underline{i}) + i_o = 0 \\ i_c &= \text{Re}(a \underline{i}) + i_o = 0 \end{aligned} \quad (2.18)$$

biçimine bürüneceklerdir. Yine $i_b = i_c = 0$ olmasından dolayı, (2.14) denkleminde

$$i_o = \frac{1}{3} i_a \quad (2.19)$$

elde edilir. Bu son eşitlik, bir önce elde edilen eşitliklerde yerlerine konulursa

$$\begin{aligned} i_a &= \frac{3}{2} \text{Re}(\underline{i}) \\ i_o &= \frac{1}{2} \text{Re}(\underline{i}) \end{aligned} \quad (2.20)$$

olduğu kolayca bulunabilir.

İkinci bir örnek olarak, iki fazın iletimde olması durumunu inceleyelim:

a ve b fazları iletimde, c fazı tıkalı olsun. Bu durumda $i_c = 0$ alınarak

$$i_o = -\text{Re}(a \underline{i}) \quad (2.21)$$

ve

$$\begin{aligned} i_a &= \text{Re}(\underline{i}) - \text{Re}(a \underline{i}) \\ i_b &= \text{Re}(a^2 \underline{i}) - \text{Re}(a \underline{i}) \end{aligned} \quad (2.22)$$

olarak bulunur.

Yapılan örneklerden görüldüğü gibi, akımın sıfır bileşenini bulmak için, dif.denkleme gerek kalmadan doğrudan \underline{i} vektöründen yararlanılabilmektedir. Ancak, üç fazın birden iletimde olması durumunda, $u_0 = 0$ olmasına karşın i_0 , üstel bir değişim göstererek sıfıra doğru düşer. Bu değişim, I_0 , üç fazın birden iletime geçtiği andaki i_0 akımlı değerini göstermek üzere

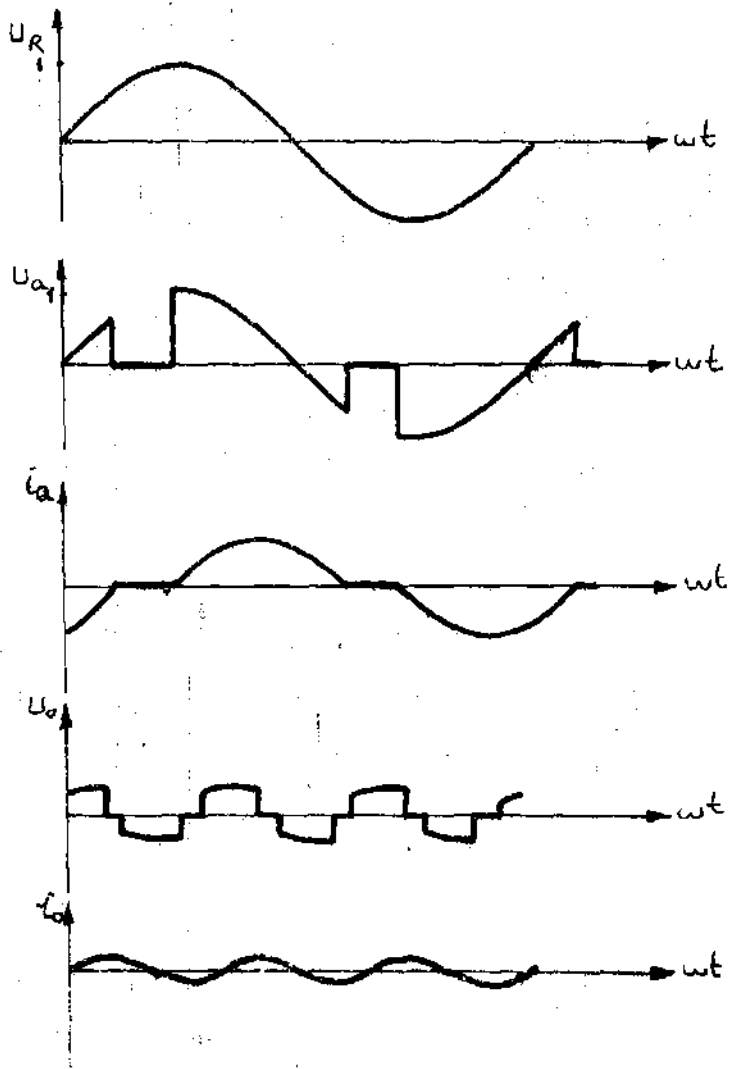
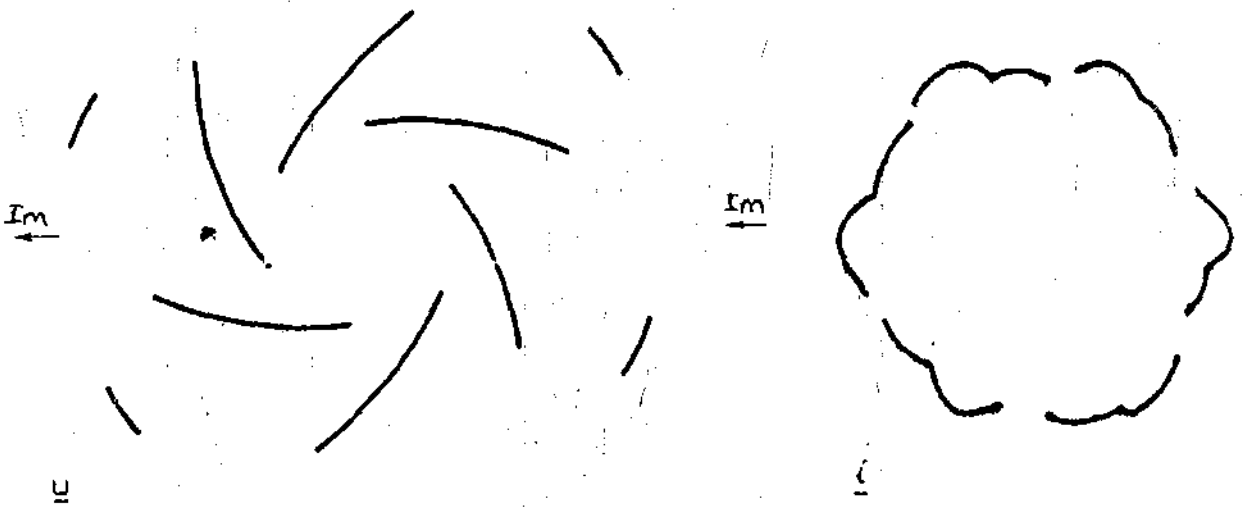
$$i_0 = I_0 e^{-t/T} \quad (2.23)$$

eşitliği ile hesaplanabilir.

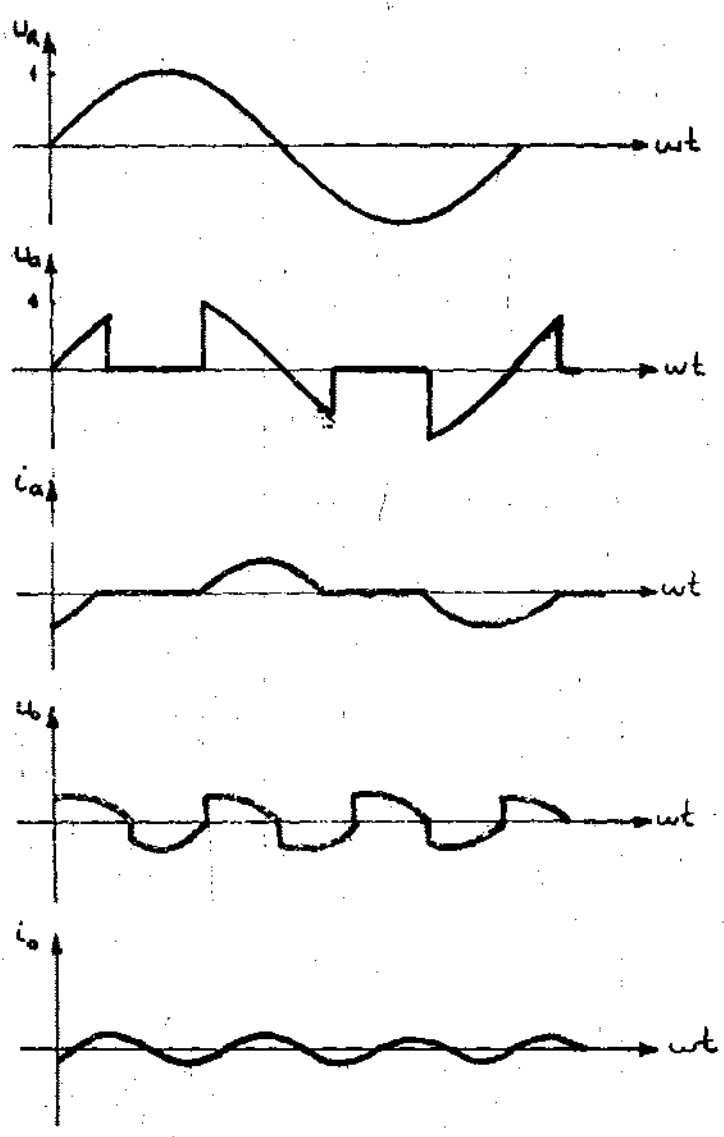
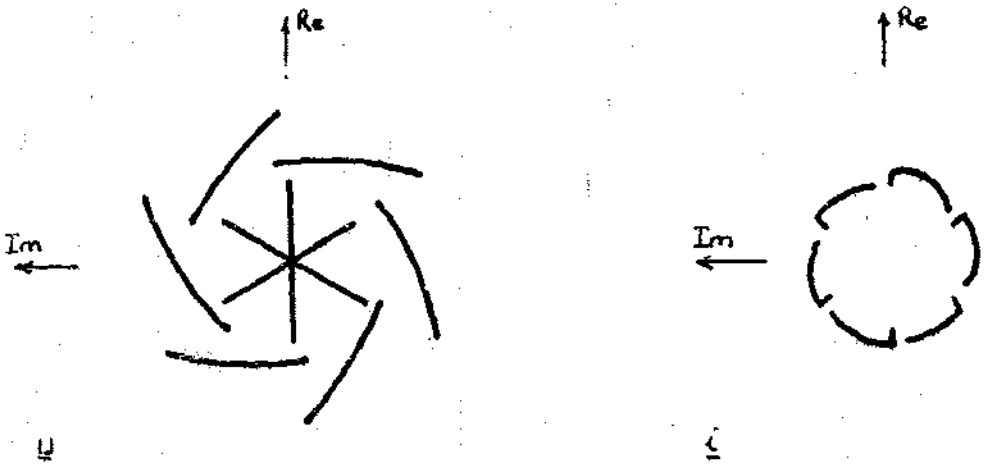
Bu çalışma sırasında, bilgisayarda çözümlene yapılıırken, i_0 akımını hesaplamak için, \underline{i} vektöründen yararlanma yöntemi de kullanılmış ve doğru sonuç elde edilmiştir. Ancak, üç faz birden ilettime girdiğinde, yine dif.denkleme çözmek gerektiğinden bu yöntem bir yana bırakılmış, i_0 akımı da \underline{i} vektörüyle birlikte Runge-Kutta-Merson yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

2.3.6. Sonuçlar

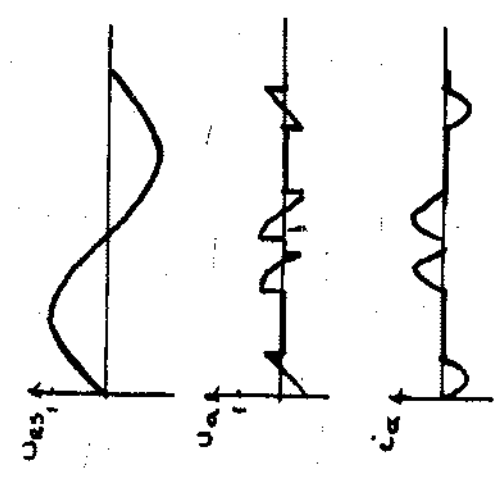
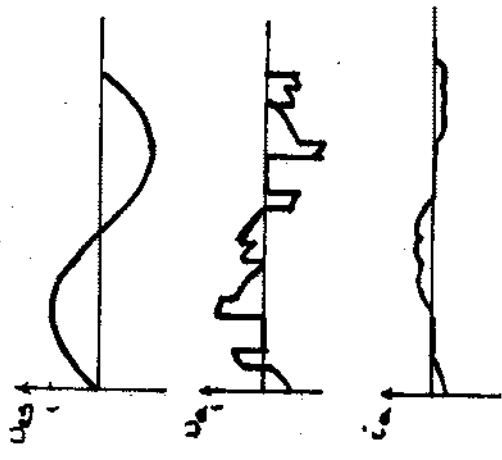
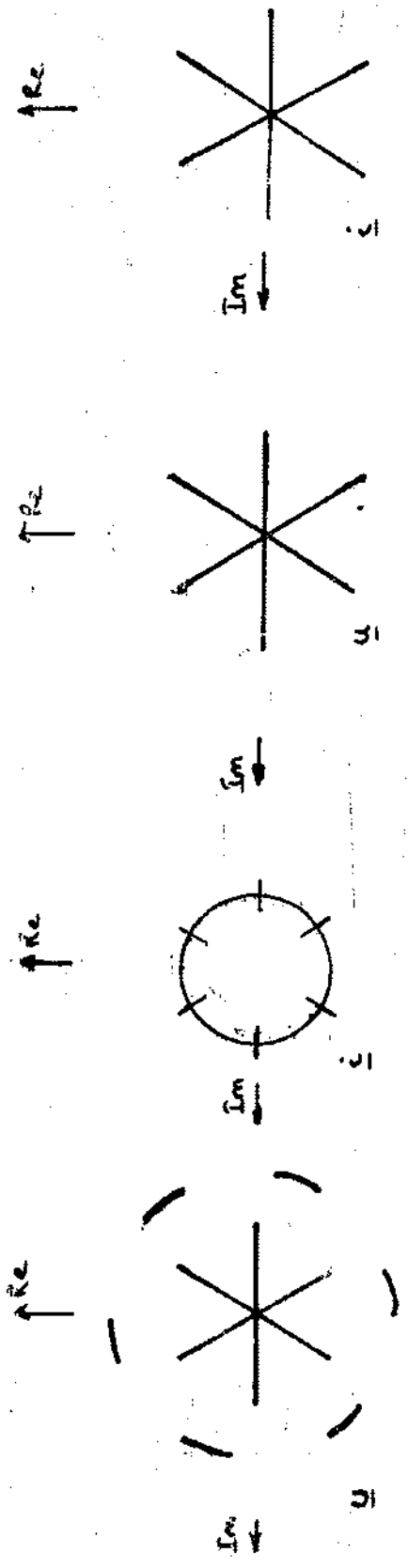
Hazırlanan program ile, üç fazlı DGK nın simetrik üç fazlı R-L yükünde çalışması, yükün farklı bağlantılarında, değişik yükler ve denetim açıları için incelenmiştir. Bu arada programa yapılan eklemelerle, kıyıcının şebekeye etkilerini incelemek için yük geriliminin ana bileşeninin genliğinin ve faz açısının değişimi, yükün çektiği etkin ve görünür güçler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar şekil (2.6) - (2.15) arasında verilmektedir.



Şekil 2.6. Yıldız, orta uç bağılı, $\varphi=45^\circ$, $\alpha=90^\circ$

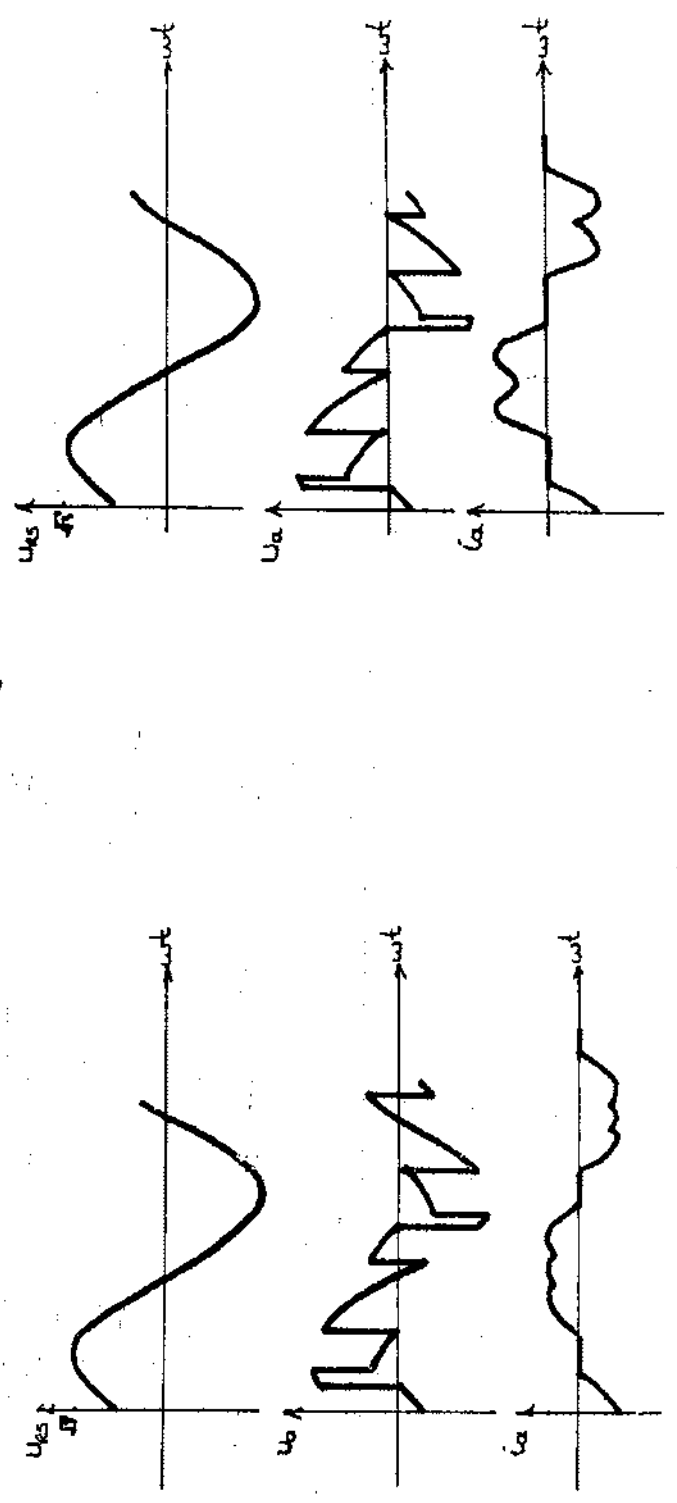
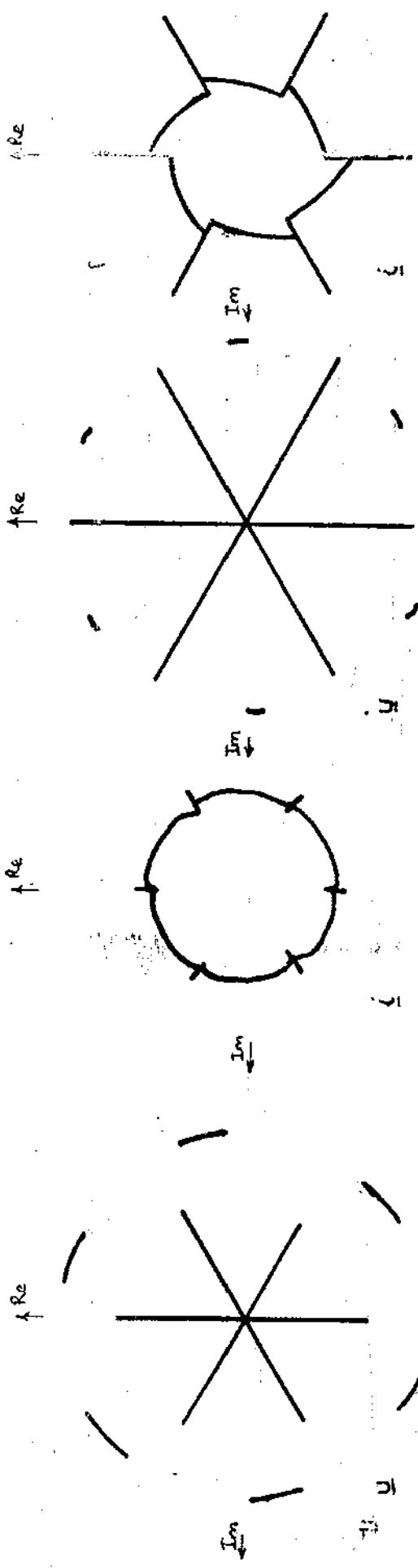


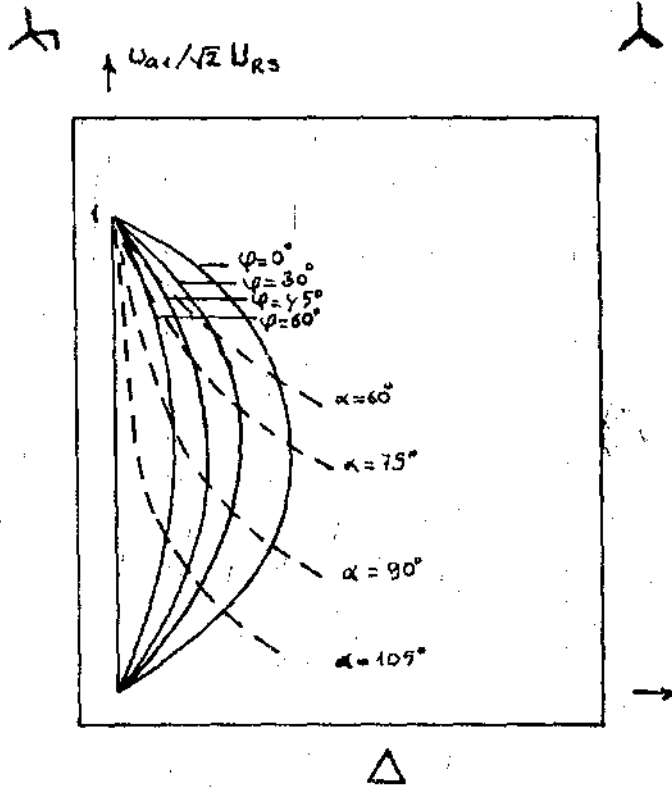
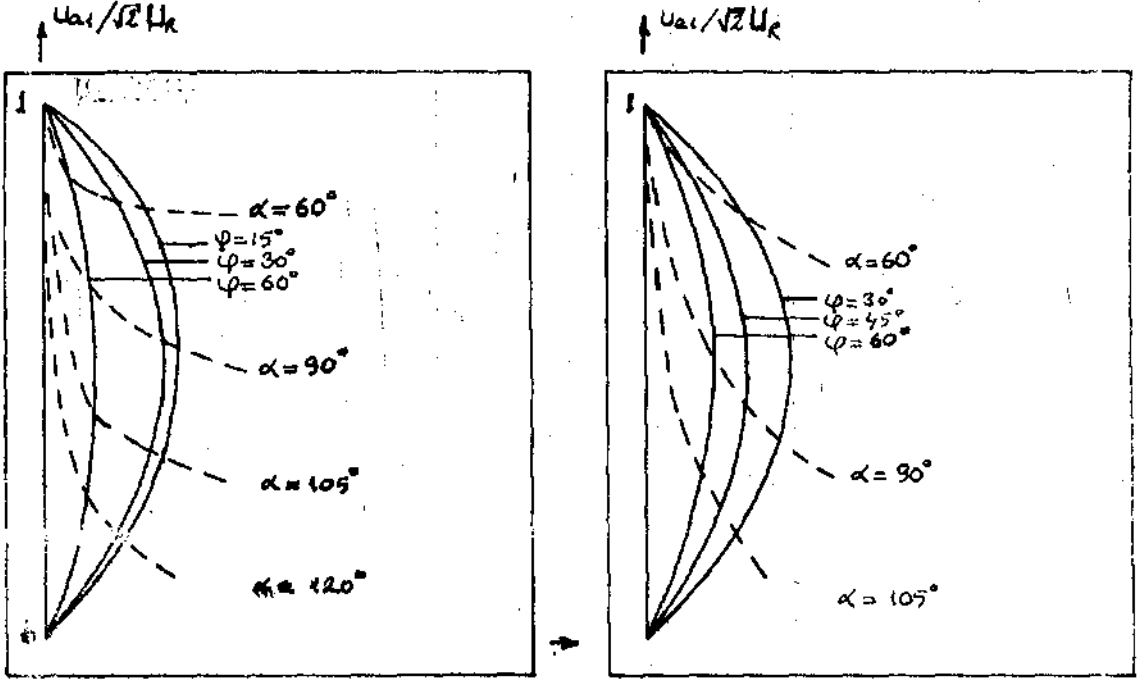
Şekil 2.7. Yıldız, orta uç bağlı $\psi = 45^\circ$, $\alpha = 120^\circ$



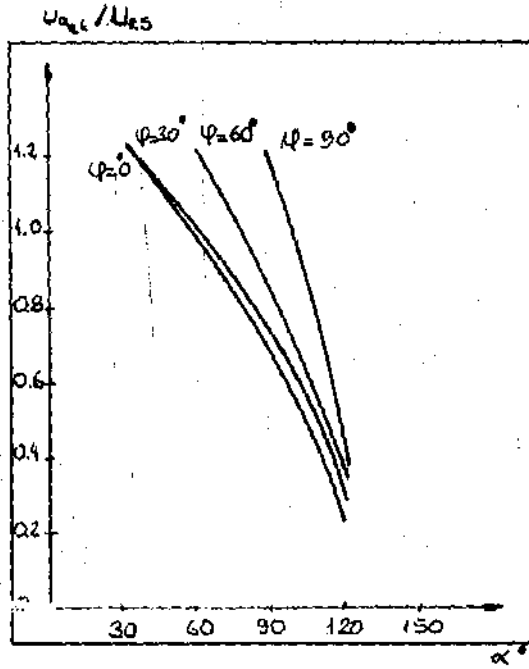
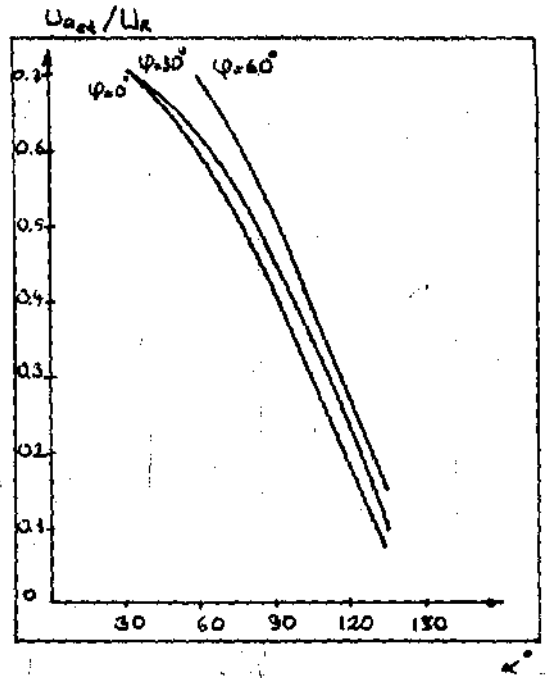
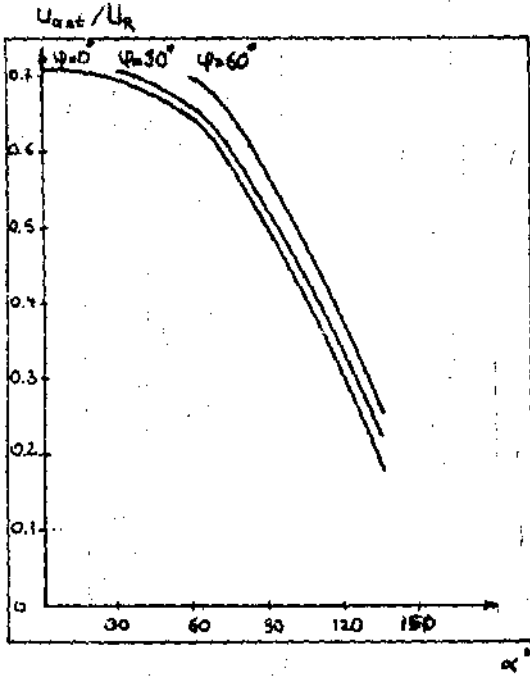
Şekil 2.7. Yalıtır, orta uç ağır

a) $\varphi = 90^\circ$, $\alpha = 90^\circ$ b) $\varphi = 45^\circ$, $\alpha = 120^\circ$

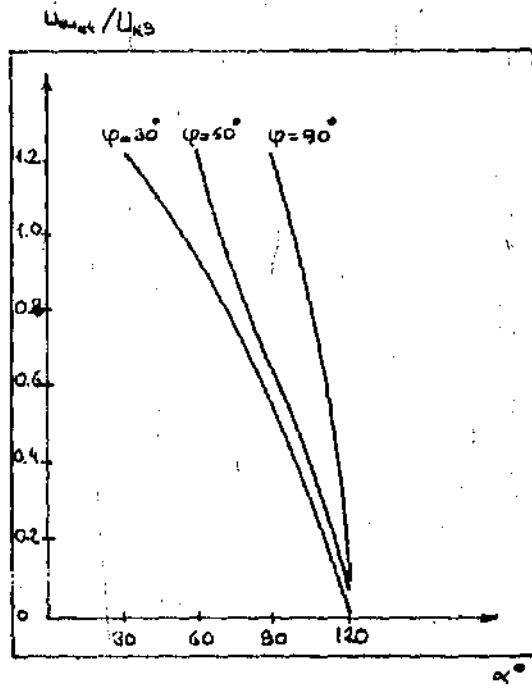
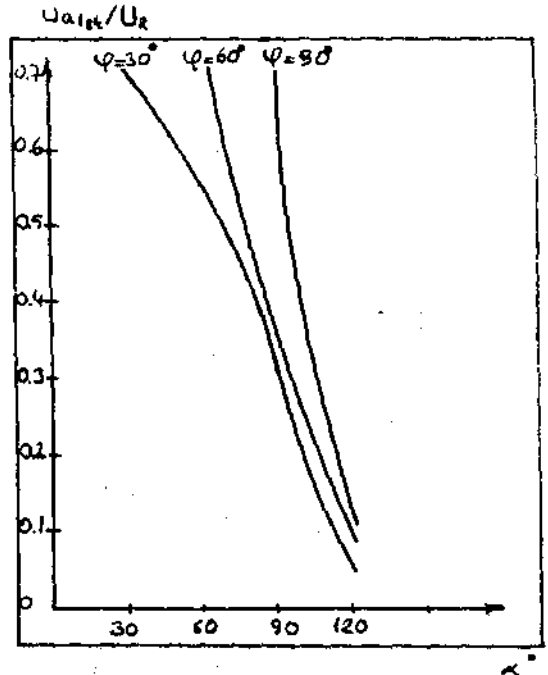
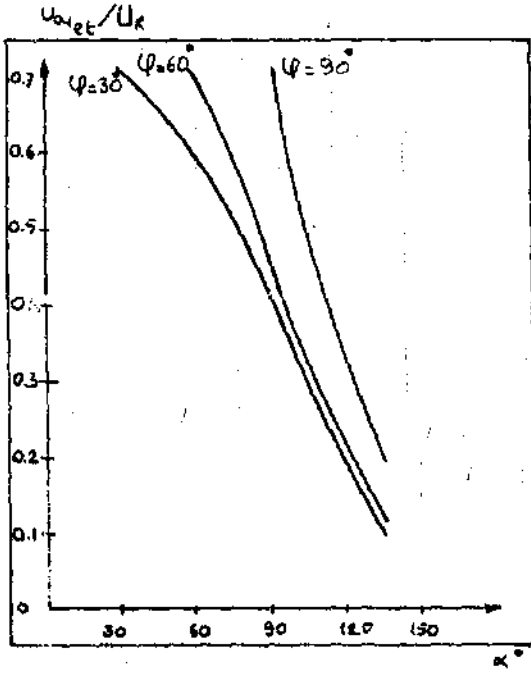




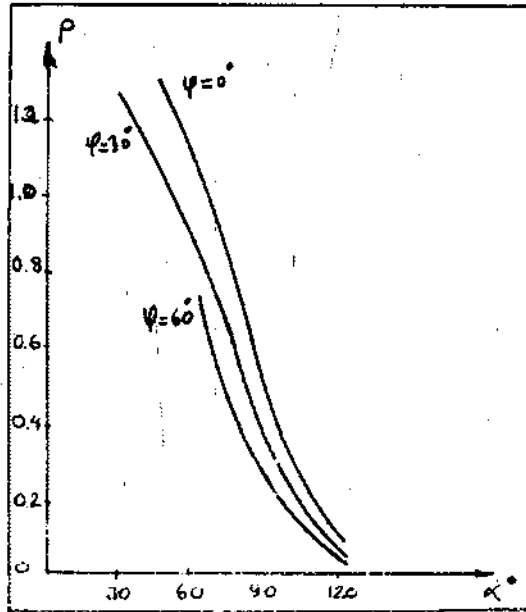
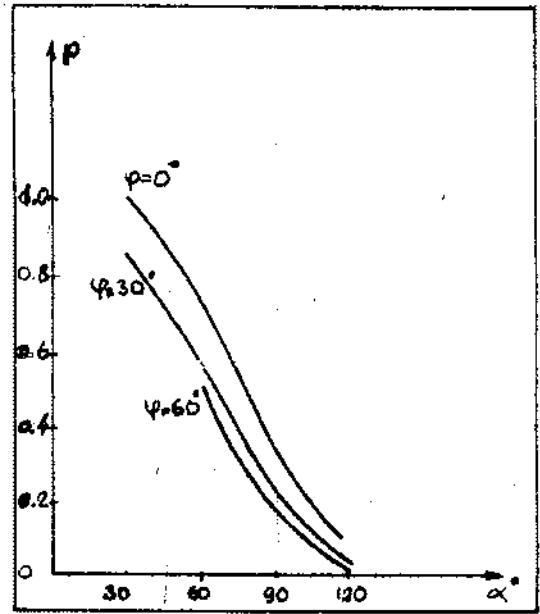
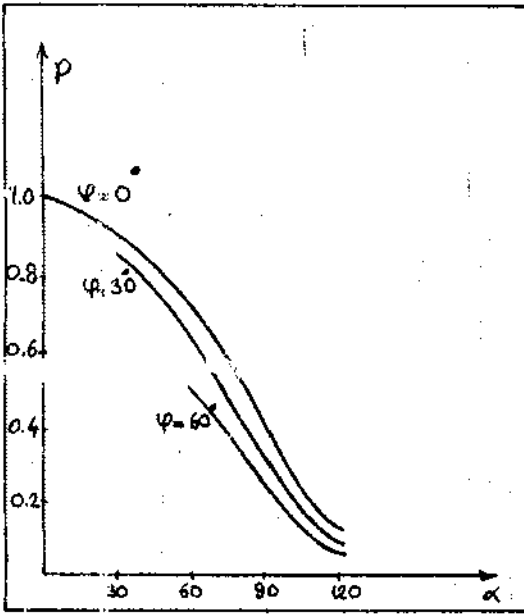
Şekil 2.10. Yük gerilimi ana harmoniğinin genlik ve faz açısının şebeke gerilimine göre değerleri.



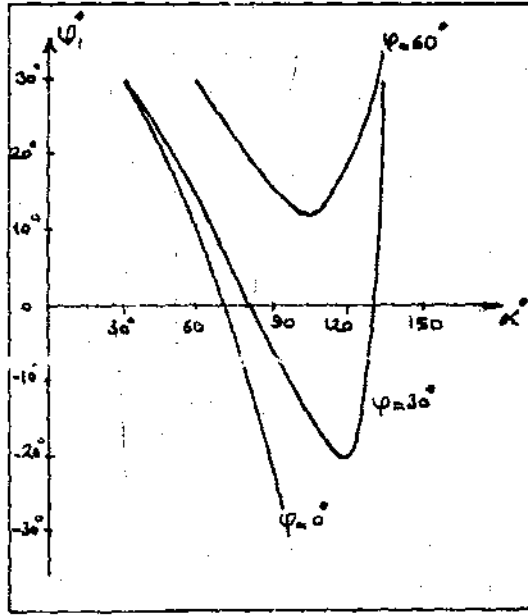
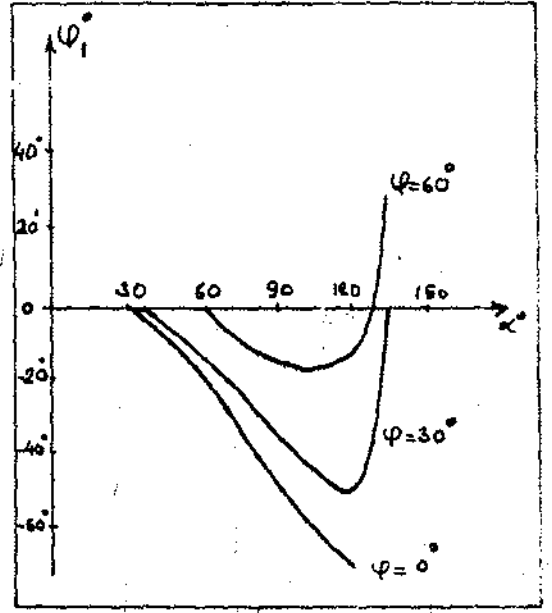
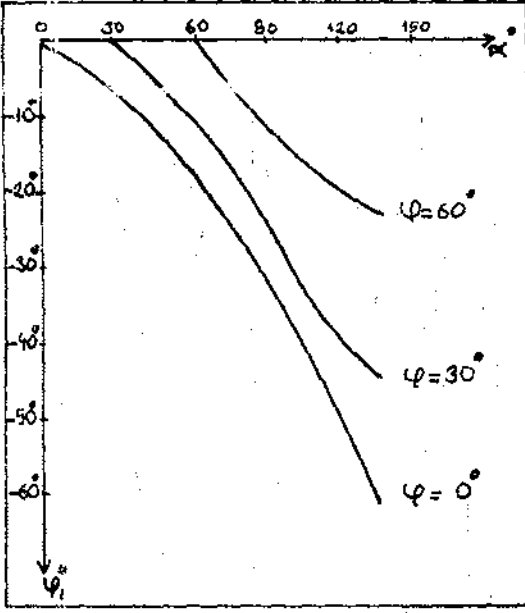
Şekil 2.11. Yük gerilimi etkin değerinin tetikleme açısına göre değişimi



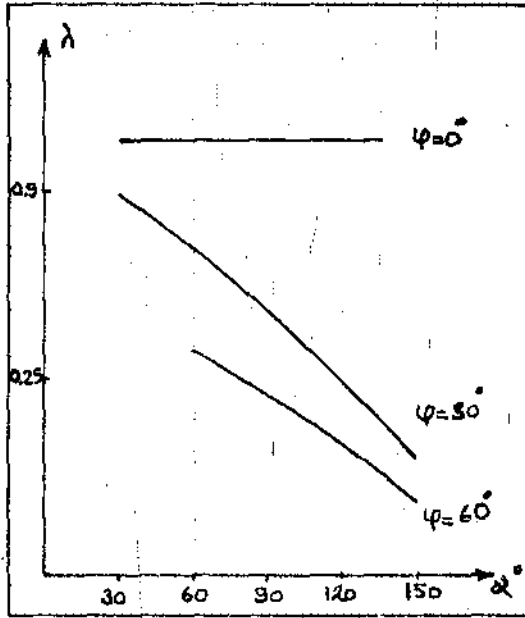
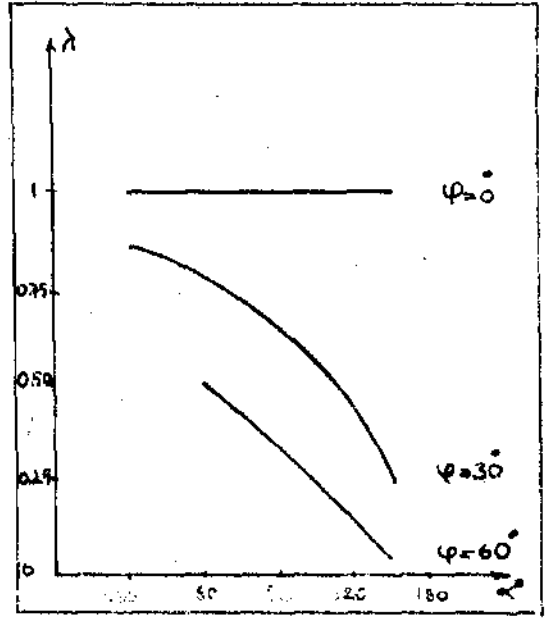
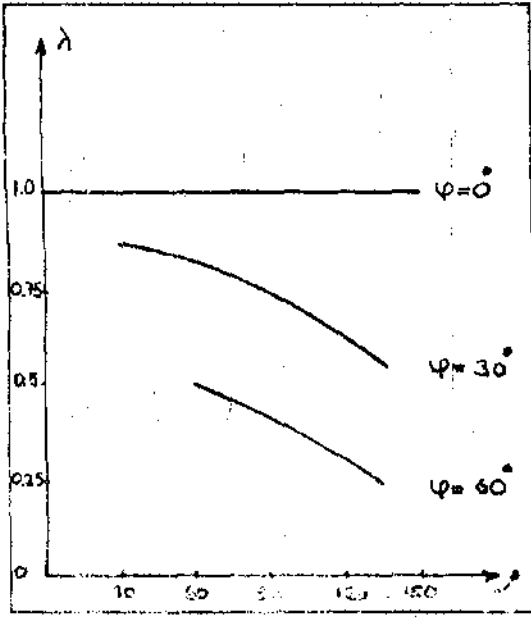
Şekil 2.12. Yük gerilimi ana harmoniğinin tetikleme açısına göre değişimi



Şekil 2.13. Yükte harcanan etkin gücün tetikleme açısına göre değişimi



Şekil 2.14. Yük gerilimi ana harmoniği faz açısının tetikleme açısına göre değişimi



Şekil 2.15. Yük müç katsayısının tetikleme açısına göre değişimi

BÖLÜM 3

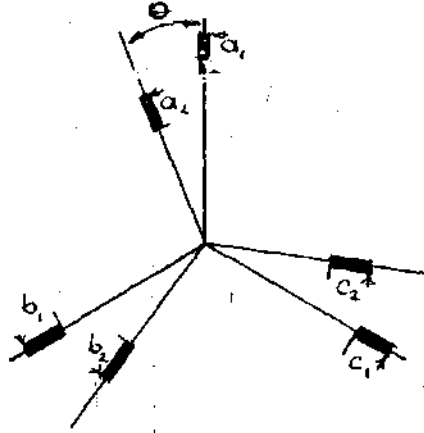
ASENKRON MOTOR

PARK VEKTÖRLERİ İLE TANIMI ve DGK İLE BESLENMESİ

Bu bölümde, ASM un tanım bağıntılarının çıkartılması, bu bağıntıların park vektörleriyle gösterilmesi, elde edilen park vektörlü dif. denklemlerin, ASM un DGK ile beslenmesi durumunda çözülmesi anlatılmakta, elde edilen çözümler de şekillerle verilmektedir.

3.1. Denklemler

Şekil 3.1 de, ASM un sargıları simgesel olarak gösterilmektedir. Şekilde, sargılar, kendi sargı eksenleri üzerinde gösterilmekte olup, stator ve rotor eksenleri arasındaki açı θ ile tanımlanmaktadır.



Şekil 3.1. ASM sargılarının simgesel gösterilimi

ASM un stator ve rotor fazlarının gerilim ve akı denklemleri şu biçimde yazılabilir.

Stator için:

$$U_{a1} = R_1 i_{a1} + \frac{d\psi_{a1}}{dt}$$

$$U_{b1} = R_1 i_{b1} + \frac{d\psi_{b1}}{dt}$$

$$U_{c1} = R_1 i_{c1} + \frac{d\psi_{c1}}{dt}$$

(2.1.a)

Rotor için

$$U_{a2} = R_2 i_{a2} + \frac{d\psi_{a2}}{dt}$$

$$U_{b2} = R_2 i_{b2} + \frac{d\psi_{b2}}{dt}$$

3.1.b

$$U_{c2} = R_2 i_{c2} + \frac{d\psi_{c2}}{dt}$$

L bir fazın ana endüktansını, L_σ da kaçak endüktansını göstermek üzere, akı denklemleri de

Stator için:

$$\psi_{a1} = (L + L_\sigma) i_{a1} - \frac{1}{2} L (i_{b1} + i_{c1}) + L \left[i_{a2} \cos \theta + i_{b2} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) + i_{c2} \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) \right]$$

$$\psi_{b1} = (L + L_\sigma) i_{b1} - \frac{1}{2} L (i_{a1} + i_{c1}) + L \left[i_{a2} \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) + i_{b2} \cos \theta + i_{c2} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

$$\psi_{c1} = (L + L_\sigma) i_{c1} - \frac{1}{2} L (i_{a1} + i_{b1}) + L \left[i_{a2} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) + i_{b2} \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) + i_{c2} \cos \theta \right]$$

Rotor için :

$$\psi_{a2} = (L + L_\sigma) i_{a2} - \frac{1}{2} L (i_{b2} + i_{c2}) + L \left[i_{a1} \cos \theta + i_{b1} \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) + i_{c1} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) \right]$$

$$\psi_{b2} = (L + L_\sigma) i_{b2} - \frac{1}{2} L (i_{a2} + i_{c2}) + L \left[i_{a1} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) + i_{b1} \cos \theta + i_{c1} \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) \right]$$

$$\psi_{c2} = (L + L_\sigma) i_{c2} - \frac{1}{2} L (i_{a1} + i_{b1}) + L \left[i_{a1} \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{3} \right) + i_{b1} \cos \left(\theta + \frac{2\pi}{3} \right) + i_{c1} \cos \theta \right]$$

biçiminde tanımlanırlar.

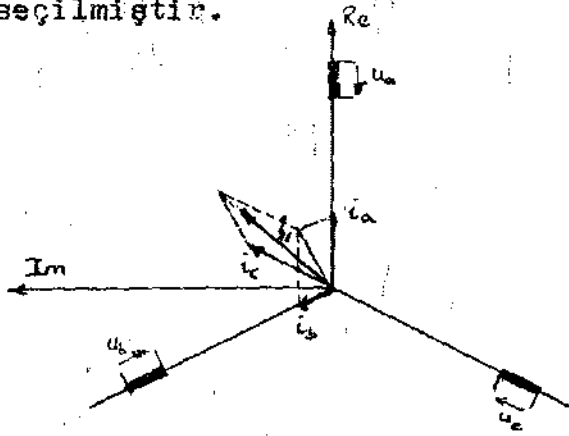
3.2. Denklemlerin Park Vektörleriyle yazılması

Denklemlerimizde kullanılan büyüklükler faz büyüklükleridir. Ancak, denklemlerde, faz büyüklükleri yerine, bu büyüklüklerin etkisiyle oluşan bileşke büyüklüklerin kullanılması büyük kolaylıklar sağlar.

Simetrik şebekede sürekli çalışmada, üretilen alanlar, hava aralığında, sabit genlikli ve şebeke frekansına karşı düşen bir hızı olan dönen bir alan üretirler. Her fazın alanının genel olarak sinüs biçimli yazılabilmemesinden dolayı, bileşke alan da sinüs biçimli yazılabilir.

Yalnızca alanı değil, bu alanı üreten amper sarımı, akımları ve gerilimleri de aynı biçimde inceleyebiliriz. Makina boyunca alan dağılımı değişmez varsayılınca bütün bu vektörler makina eksenine dik bir düzlemde görülürler. Bu nedenle de, vektörleri karmaşık büyüklükler olarak yazıp, karmaşık işlemin kolaylıklarından yararlanmak olasıdır.

Şekil 3.2 de herhangi bir andaki faz akımları, faz eksenleri üzerinde gösterilmişlerdir. Şekilde de görüldüğü gibi a fazı eksenir eksen olarak seçilmiştir.



Şekil 3.2. Faz akımlarından, bileşke akımının elde edilmesi

Şekil 3.2 de i_a , i_b ve i_c faz akımlarının anlık değerlerini, \underline{i}_1 vektörü de bileşke akımı göstermektedir. Fazlar arasında 120° olduğunu ve tüm akımların bir gerçel bir de sanal bileşenleri olduğunu gözönünde bulundurursak akım için

$$\underline{i}_1 = \frac{2}{3}(i_a + i_b \cos \frac{2\pi}{3} + j i_b \sin \frac{2\pi}{3} + i_c \cos \frac{4\pi}{3} + j i_c \sin \frac{4\pi}{3}) \quad (3.3)$$

ve buradan da

$$\underline{i}_1 = \frac{2}{3} (i_a + \underline{a} i_b + \underline{a}^2 i_c) \quad (3.4)$$

yazabiliriz.

$\underline{a} = e^{j \frac{2\pi}{3}}$ ve $\underline{a}^2 = e^{j \frac{4\pi}{3}}$ olmak üzere \underline{i}_1 akımının park vektörünü göstermektedir. Denklemlerdeki $\frac{2}{3}$ katsayısı, çok fazlı makinelerde, m faz sayısını göstermek üzere, bileşke büyüklüğün etkisinin, faz büyüklüklerinin etkisinin $\frac{m}{2}$ katına eşit olmasından dolayı gelmektedir.

2. bölümde de anlatıldığı gibi, akım park vektöründen, faz büyüklüklerini

$$\begin{aligned} i_a &= \text{Re} (\underline{i}_1) + i_0 \\ i_b &= \text{Re} (\underline{a}^2 \underline{i}_1) + i_0 \\ i_c &= \text{Re} (\underline{a} \underline{i}_1) + i_0 \end{aligned} \quad (3.5)$$

eşitliklerinden elde edebiliriz. Eğer sistemde sıfır bileşeni yoksa, $i_0 = 0$ alınır.

Gerilim ve akı park vektörleri de akımınki gibi yazılabilir.

$$\underline{u} = \frac{2}{3} (u_a + \underline{a} u_b + \underline{a}^2 u_c) \quad (3.6)$$

$$\underline{\chi} = \frac{2}{3} (\chi_a + \underline{a} \chi_b + \underline{a}^2 \chi_c) \quad (3.7)$$

Akım, akı ve gerilim park vektörleri tanımlandığına göre ASM un tüm denklemleri park vektörleri ile yazılabilir.

(3.1.a) denklemleri sırayla $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3} \underline{a}$ ve $\frac{2}{3} \underline{a}^2$ ile çarpılıp taraf tarafa toplanırsa

$$\underline{u}_1 = R_1 \underline{i}_1 + \frac{d\underline{\chi}_1}{dt} \quad (3.8)$$

denklemini elde edilir. Aynı işlemlerin rotor denklemlerine uygulanmasıyla da rotor gerilim denklemini elde edilir.

$$\underline{u}_2 = R_2 \underline{i}_2 + \frac{d\underline{\chi}_2}{dt} \quad (3.9)$$

Gerilim için yapılan işlemlerin aynısını yapılarak akı denklemleri de elde edilebilir.

$$\underline{\chi}_1 = L_1 \underline{i}_1 + L_h \underline{i}_2 e^{j\theta} \quad (3.10)$$

$$\underline{\chi}_2 = L_2 \underline{i}_2 + L_h \underline{i}_1 e^{-j\theta}$$

(3.10) denklemlerinde

$$L_1 = L_h + L \sigma_1$$

$$L_2 = L_h + L \sigma_2$$

$$L_h = \frac{3}{2} L \quad (3.11)$$

olarak tanımlanmaktadır.

Ako denklemlerindeki üstel terimler, rotor ve stator büyüklüklerinin, aralarında Θ açısı bulunan rotor ve stator sargı eksenlerine bağlı olarak yazılmalarından kaynaklanmaktadır.

ASM da moment eşitliği, "X" işareti vektörel çarpma işlemi simgelemek üzere

$$M = \frac{3}{2} p (\underline{Y}_1 \times \underline{i}_1) = \frac{3}{2} p (\underline{Y}_2 \times \underline{i}_2) \quad (3.12)$$

biçiminde yazılabilir. "x", karmaşık eşlenikliği göstermek üzere,

$$\underline{Y} \times \underline{i} = \text{Im}(\underline{Y}^* \underline{i}) = -\text{Im}(\underline{Y} \underline{i}^*) = \text{Re}(-j \underline{Y}^* \underline{i}) = \text{Re}(j \underline{Y} \underline{i}^*) \quad (3.13)$$

olduğu gözönünde bulundurulursa:

$$M = \frac{3}{2} p \text{Im}(\underline{Y}^* \underline{i}) = -\frac{3}{2} p \text{Im}(\underline{Y} \underline{i}^*) \quad (3.14)$$

olur.

3.3. Denklemlerin Bire İndirgenmesi

İncelemeler sırasında bire indirgenmiş denklemlerin kullanılması, denklemlere bir genellik kazandırdığından, işlemler daha da kolaylaşır. ASM denklemlerini bire indirgemek için kullanılan bire indirgeme katsayıları Çizelge 3.1 de verilmektedir.

Gerilim	$U_B = \sqrt{2} U_N$
Akım	$I_B = \sqrt{2} I_N$
Empedans	$Z_B = U_N / I_N$
Güç	$P_B = 3 U_N I_N$
Zaman	$T_B = 1 / \omega_N$
Moment	$M_B = p P_B / \omega_N$
Akı	$\chi_B = U_B / \omega_N$
Eylemeizlik Momenti	$T_A = J \omega_N^3 / p^2 P_B$

Çizelge 3.1. Bire indirgeme katsayıları

Bu katsayıların kullanılmasıyla elde edilen bire indirgenmiş (p.u. ASM denklemleri şu biçimde yazılabilir.

$$u_1 = r_1 i_1 + \frac{d \psi_1}{dt} \quad \text{p.u.}$$

$$u_2 = r_2 i_2 + \frac{d \psi_2}{dt} \quad \text{p.u.}$$

$$\psi_1 = x_1 i_1 + x_h i_2 e^{j\theta} \quad \text{p.u.} \quad (3.15)$$

$$\psi_2 = x_2 i_2 + x_h i_1 e^{j\theta} \quad \text{p.u.}$$

$$M = \psi x i \quad \text{p.u.}$$

$$M - M_y = T_A \frac{dn}{dt} \quad \text{p.u.}$$

(3.15) denkleminde kullanılan x_1 , x_2 , x_h değerleri

$$x_1 = \omega_N L_1 / Z_B$$

$$x_2 = \omega_N L_2 / Z_B$$

$$x_h = \omega_N L_h / Z_B$$

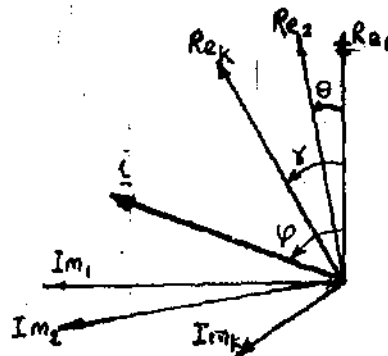
(3.16)

eşitlikleri ile tanımlanmaktadır.

3.4. Eksen Sistemlerinin Dönüşümü ve Temel Eksen Sistemi Seçimi

Şu ana kadar biri statora diğeri de rotora bağlı olan iki ayrı eksen sistemi kullanıldı. Oysa bütün vektörlerin tek eksen sisteminde verilmesi, kullanım açısından kolaylık sağlar. Sistem seçim incelenecek çalışma durumuna göre yapılır.

Önce, genel olarak bütün vektörlerin bir eksen sistemine dönüşümü incelenecektir. Bu eksen sisteminin konumu ve açısal hızı sonrada istenildiği gibi seçilebilir.



Şekil 3.3

Eksen dönüşümünü Şekil 3.3 üzerinden, bir örnekle inceleyelim. Şekildeki \underline{i} vektörü, 1. eksene göre

$$\underline{i}_1 = |\underline{i}| e^{j\theta} \quad (3.16)$$

ile, 2. eksene göre de,

$$\underline{i}_2 = |\underline{i}| e^{j(\varphi-\theta)} \quad (3.17)$$

ile tanımlanır. (3.16) yı (3.17) içerisinde kullanırsak

$$\underline{i}_2 = \underline{i}_1 e^{-j\theta} \quad (3.18)$$

elde edilir.

\underline{i}_1 ve \underline{i}_2 , stator ve rotor eksen takımlarına göre yazılmış vektörler olsun. Bu vektörler, stator eksenine γ açısı yapan yeni dönüşüm eksenine göre yazılırsa

$$\begin{aligned} \underline{i}_{1T} &= \underline{i}_1 e^{+j\gamma} \\ \underline{i}_{2T} &= \underline{i}_2 e^{-j(\gamma-\theta)} \end{aligned} \quad (3.19)$$

eşitlikleri elde edilir. Akımlar için uygulanan bu dönüşüm akı ve gerilimler için de uygulanabilir.

Seçilen yeni eksen takımının bire indirgenmiş hızı

$$n_k = \frac{d\gamma}{dt} \quad (3.20)$$

ve dönen eksen sistemindeki makina hızı

$$n = \frac{d\theta}{dt} \quad (3.21)$$

kullanılarak, makinanın denklemleri,

$$\begin{aligned} u_{1T} &= r_1 \underline{i}_{1T} + \frac{d\psi_{1T}}{dt} + j \psi_{1T} n_k && \text{p.u} \\ u_{2T} &= r_2 \underline{i}_{2T} + \frac{d\psi_{2T}}{dt} + j \psi_{2T} (n_k - n) && \text{p.u} \\ \psi_{1T} &= x_1 \underline{i}_{1T} + x_h \underline{i}_{2T} && \text{p.u} \\ \psi_{2T} &= x_2 \underline{i}_{2T} + x_h \underline{i}_{1T} && \text{p.u} \\ M &= \psi_{1T} \times \underline{i}_{1T} && \text{p.u} \\ M - M_y &= T_A \frac{dn}{dt} && \text{p.u} \end{aligned} \quad (3.22)$$

biçiminde yazılabilir. Görüldüğü gibi, önceki denklemlerdeki üstel katsayı, yeni denkleme ortadan kalkmıştır.

Stator gerilimiyle senkron dönen bir eksen takımında, gerilimler simetrik ve sabit genlikli ise, gerilim vektörü, bu yeni eksen takımının gerçel eksenini üzerinde hareketsiz duracaktır.

Senkron hız ω ile gösterilmek üzere

$$n_k = \omega \quad (3.23)$$

alınarak (3.22) denklemleri yeniden yazılırsa, ASM un yeni eksen takımına göre yazılmış ve bire indirgenmiş denklemleri elde edebiliriz. (3.24)

$$\begin{aligned} \underline{u}_1 &= r_1 \underline{i}_1 + \frac{d\underline{\psi}_1}{dt} + j\omega \underline{\psi}_1 & \text{p.u} \\ \underline{u}_2 &= r_2 \underline{i}_2 + \frac{d\underline{\psi}_2}{dt} + j(\omega-n) \underline{\psi}_2 & \text{p.u} \\ \underline{\psi}_1 &= x_1 \underline{i}_1 + x_h \underline{i}_2 & \text{p.u} \\ \underline{\psi}_2 &= x_2 \underline{i}_2 + x_h \underline{i}_1 & \text{p.u} \\ M &= \underline{\psi}_1 \times \underline{i}_1 & \text{p.u} \\ M - M_y &= T \frac{dn}{Adt} & \text{p.u} \end{aligned} \quad (3.24)$$

(3.24) denklemlerinde, tüm denklemler aynı eksen sistemi için yazıldığından (T) indisi kullanılmamıştır. ve bundan sonra da kullanılmayacaktır.

Denklemler

$$\underline{u} = u_\alpha + j u_\beta \quad (3.25)$$

biçiminde gerçel ve sanal bölümlerine ayrılarak yazılırsa iki eksen (α, β) indirgenmiş makina denklemleri elde edilir:

$$\begin{aligned} u_{1\alpha} &= r_1 i_{1\alpha} + \frac{d\psi_{1\alpha}}{dt} - \omega \psi_{1\beta} & \text{p.u.} \\ u_{1\beta} &= 0 = r_1 i_{1\beta} + \frac{d\psi_{1\beta}}{dt} + \omega \psi_{1\alpha} & \text{p.u.} \\ u_{2\alpha} &= r_2 i_{2\alpha} + \frac{d\psi_{2\alpha}}{dt} - (\omega-n) \psi_{2\beta} & \text{p.u.} \end{aligned}$$

$$u_{2\beta} = r_2 i_{2\beta} + \frac{d\psi_{2\beta}}{dt} - (\omega-n)\psi_{2\alpha} \quad \text{p.u}$$

$$\psi_{1\alpha} = x_1 i_{1\alpha} + x_h i_{2\alpha} \quad \text{p.u}$$

$$\psi_{1\beta} = x_1 i_{1\beta} + x_h i_{2\beta} \quad \text{p.u}$$

$$\psi_{2\alpha} = x_2 i_{2\alpha} + x_h i_{1\alpha} \quad \text{p.u} \quad (3.26)$$

$$\psi_{2\beta} = x_2 i_{2\beta} + x_h i_{1\beta} \quad \text{p.u}$$

$$M = \psi_{1\alpha} i_{1\beta} - \psi_{1\beta} i_{1\alpha} \quad \text{p.u}$$

$$M - M_y = T_A \frac{dn}{dt} \quad \text{p.u}$$

3.5. Denklemlerin Çözümüne Hazır Duruma Getirilmesi

(3.24) denklemlerinin ilk ikisini türevli terimler sol yana gelecek biçimde yazarsak

$$\frac{d\psi_1}{dt} = -r_1 i_1 - j\omega\psi_1 + u_1 \quad (3.27)$$

$$\frac{d\psi_2}{dt} = -r_2 i_2 - j(\omega-n)\psi_2 + u_2$$

elde edilir. Yine (3.24) denklemlerinden yararlanarak ve

$$\sigma = \frac{x_1 x_2 - x_h^2}{x_1 x_2} \quad (3.28)$$

kısaltmasının kullanılmasıyla i_1 ve i_2 akımlarını

$$i_1 = \frac{1}{\sigma x_1} \psi_1 - \frac{x_h}{\sigma x_1 x_2} \psi_2 \quad (3.29)$$

$$i_2 = -\frac{x_h}{\sigma x_1 x_2} \psi_1 - \frac{1}{\sigma x_2} \psi_2$$

biçiminde, akılara bağlı olarak elde edebiliriz. Bu eşitliklerin (3.27) de kullanılmasıyla da akıların dif.denklemlerini bulunur.

$$\frac{d\psi_1}{dt} = -\left(\frac{r_1}{\sigma x_1} + j\omega\right)\psi_1 + \frac{r_1 x_h}{\sigma x_1 x_2} \psi_2 + u_1 \quad (3.30)$$

$$\frac{d\underline{y}_2}{dt} = \frac{r_2 x_h}{\sigma x_1 x_2} \underline{y}_1 - \left(\frac{r_2}{\sigma x_2} + j(\omega - n) \right) \underline{y}_2 + u_2$$

(3.30) denklemini matrisel olarak

$$\frac{d\underline{y}}{dt} = A \underline{y} + \underline{u} \quad (3.31)$$

biçiminde yazabiliriz. Bu eşitlikle

$$\underline{y} = \begin{bmatrix} \underline{y}_1 \\ \underline{y}_2 \end{bmatrix} \quad \underline{A} = \begin{bmatrix} -\left(\frac{r_1}{\sigma x_1} + j\omega \right) & \frac{r_1 x_h}{\sigma x_1 x_2} \\ \frac{r_2 x_h}{\sigma x_1 x_2} & -\left[j(\omega - n) + \frac{r_2}{\sigma x_2} \right] \end{bmatrix} \quad \underline{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

olup, A, katsayılar matrisi adını alır.

3.6. Çözüm

Devrenin çözümlenmesi sırasında izlenen yöntem, 2. bölümde, DGK'nın edilgen R-L yükünü beslemesi durumunda izlenen yöntemin hemen hemen aynıdır. (3.32) dif.denklemini çözmek için yine Runge-Kutta-Merson yöntemi kullanılmıştır. ASM un, yıldız ve orta ucu bağlı olması durumunda bir de sıfır bileşeni ortaya çıkacağından dolayı, çözülmesi gerek dif denklemlere

$$\frac{d\underline{y}_0}{dt} = -\frac{r_1}{x_{1\sigma}} \underline{y}_0 + u_0 \quad (3.33)$$

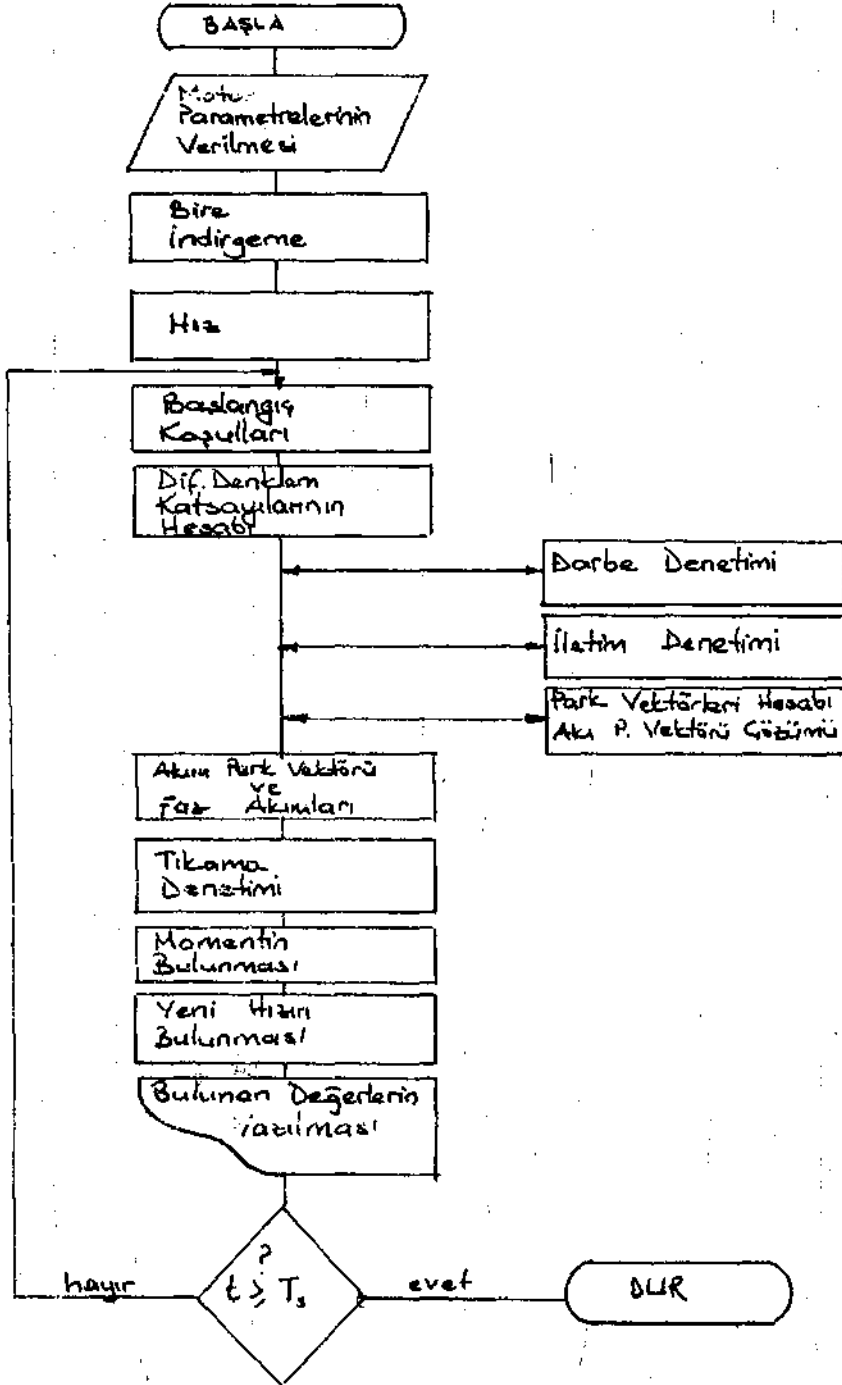
denklemini de eklenir. Burada

$$\begin{aligned} \underline{y}_0 &= x_{1\sigma} i_0 \\ x_{1\sigma} &= x_h - x_1 \end{aligned} \quad (3.34)$$

dir.

DGK ile beslenen ASM un bilgisayarda sayısal olarak incelenmesinde kullanılan programın akış çizelgesi çizelge 3.2 de verilmiştir.

Akış çizelgesinden de anlaşılacağı gibi, uygun başlangıç koşulları alındıktan sonra çözülecek dif.denklemin katsayıları hesaplanmaktadır. Bu arada, tristör kapılarında darbeier denetlenmekte, gerilimlerin değerine göre fazlardaki iletim durumu belirlenmektedir.



Çizelge 3.2

Buna sonra akı dif. denklemini çözülmekte, bu arada fazların ile-
tim durumuna göre gerilim park vektörü ve bağlantı durumuna göre
eğer gerekiyorsa u_0 gerilimi hesaplanmaktadır. Akılar çözüldükten
sonra, (3.29) eşitliklerinden akım park vektörleri ve bunlardan
da (3.5) eşitliklerine göre faz akımları hesaplanmaktadır. Bu no-
tada, çıkan akım değerine göre, tristörlerin tıkanma denetimi ya-
pılmaktadır. Son olarak ta moment ve hız hesaplandıktan sonra son
bulunan değerler başlangıç koşulu alınarak yeni adıma geçilmektedir.

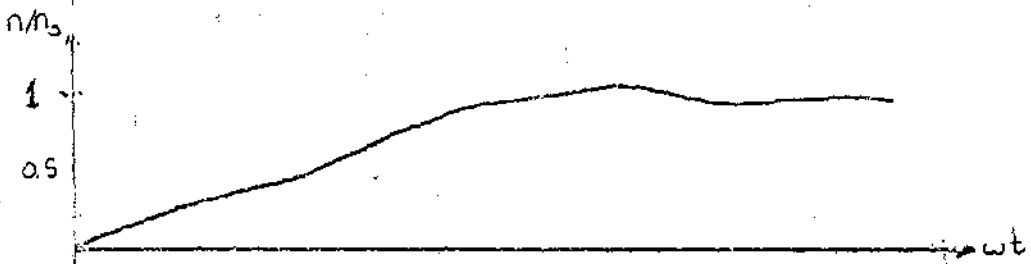
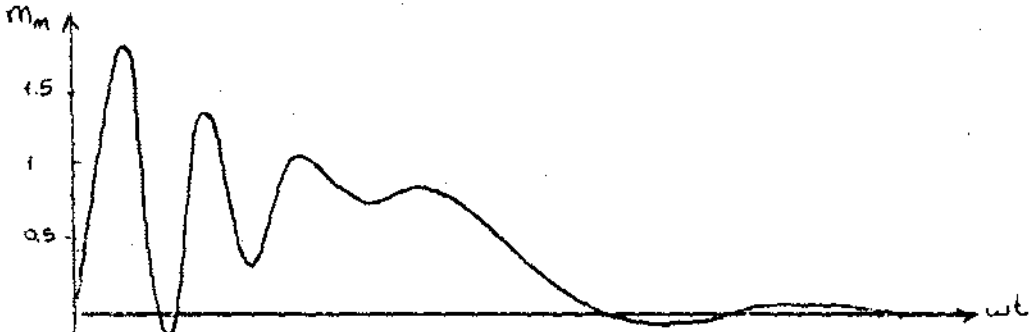
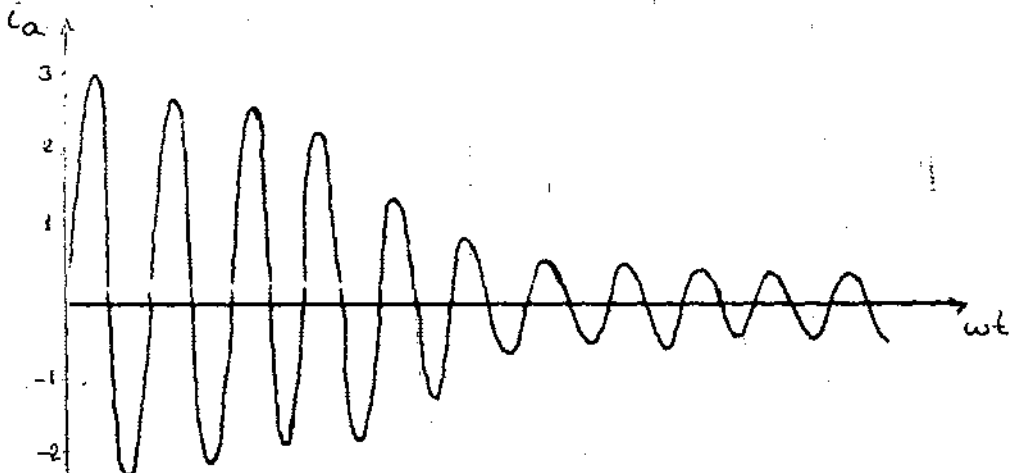
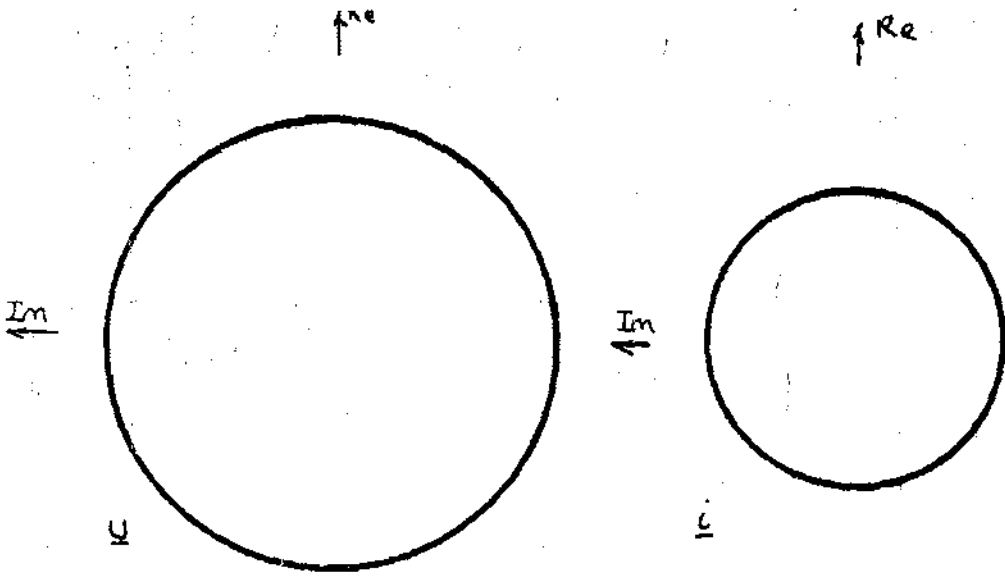
3.7. Sonuçlar

DOK ile beslenen ASM un çalışmasını incelemek için hazırlanan prog-
ram yıldız, orta ucu bağlı ve yıldız orta ucu açık yükler için koş-
turulmuştur.

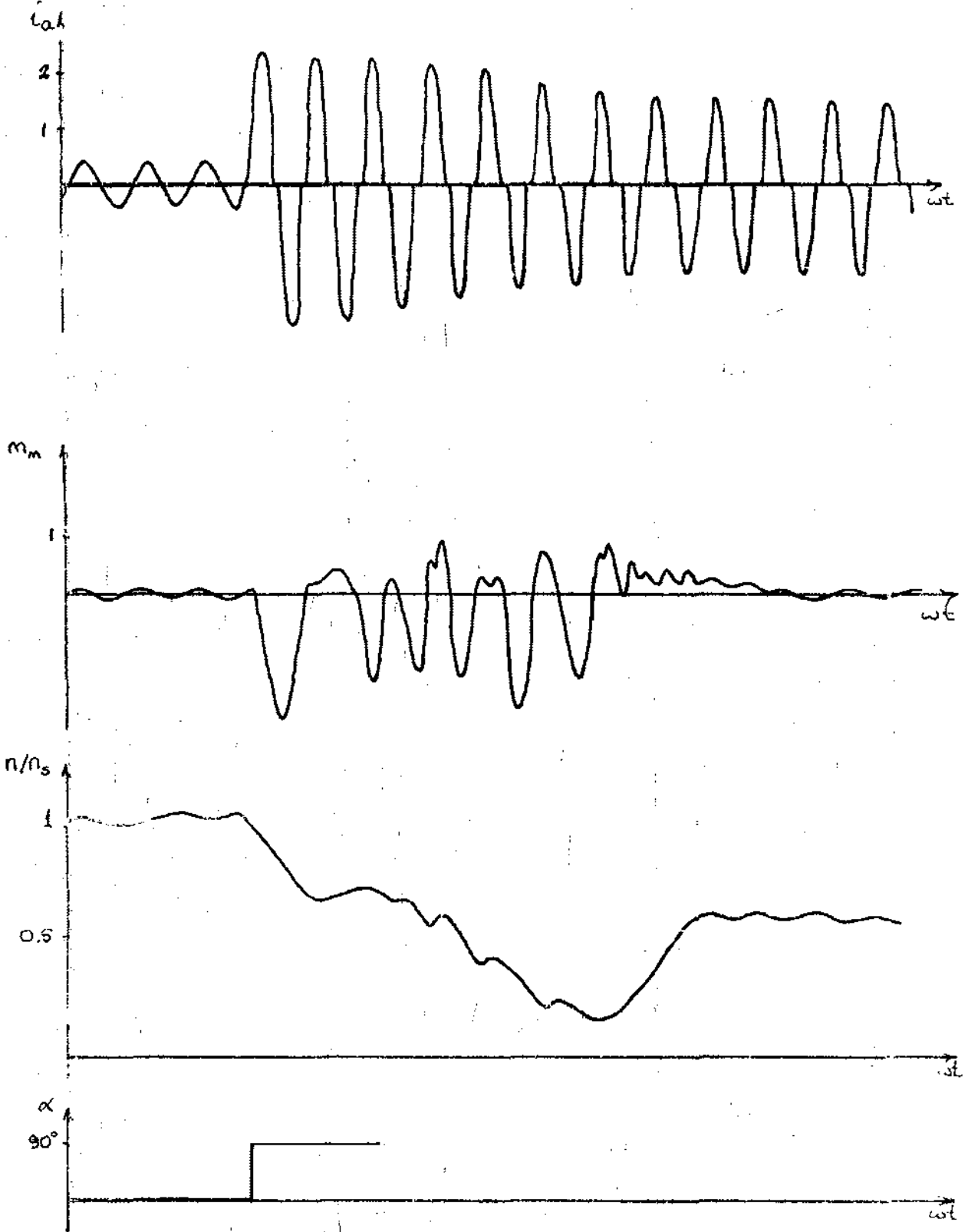
Yıldız orta ucu bağlı yükte $\alpha = 0$ ile makinaya yol verilmiş, süre-
kli hıza erişildikten sonra, tetikleme açısına 30 ar derecelik artırı-
lar verilerek $\alpha = 90$ a ulaşılmış, her bir artmaya karşı makinanın
davranışı gözlemlenmiştir.

Yıldız, orta ucu açık yük için de, $\alpha = 90^\circ$ ile sürekli hıza eriş-
tikten sonra, α ana kadar sıfır olan yük momentine 0.05 birimlik
artımlar verilerek $m_Y = 0.2$ ye erişilmiş, her moment artışında ma-
kinanın yaptığı salınımlar görülmüştür.

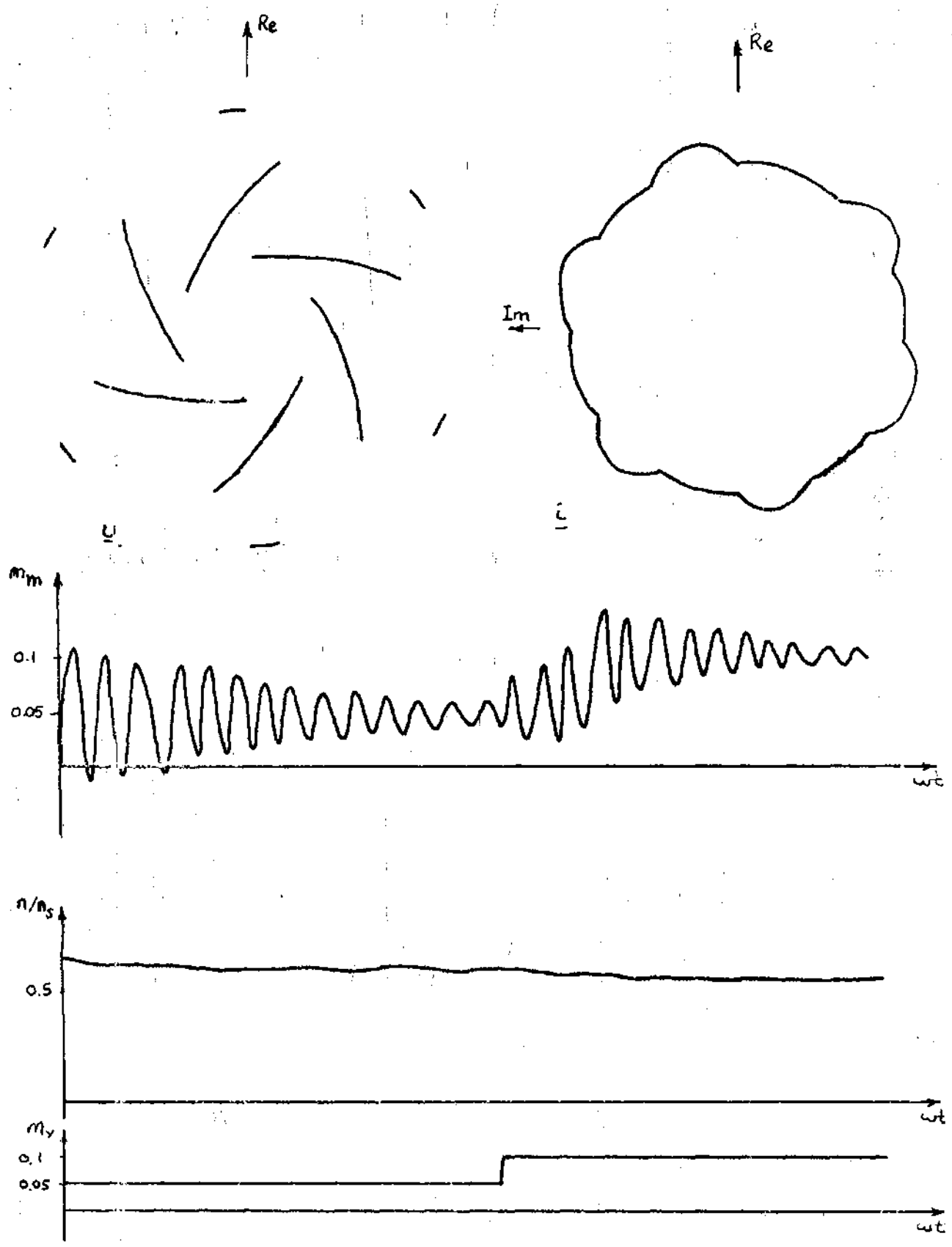
Alınan program çıktılarından, makinanın çeşitli büyüklüklerinin
değişimleri çizilmiş ve şekil 3.4 ile şekil 3.8 arasında veril-
miştir.



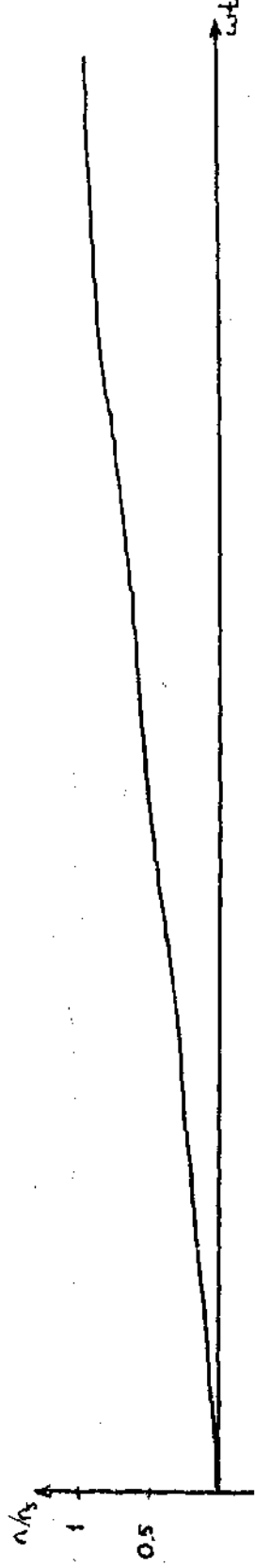
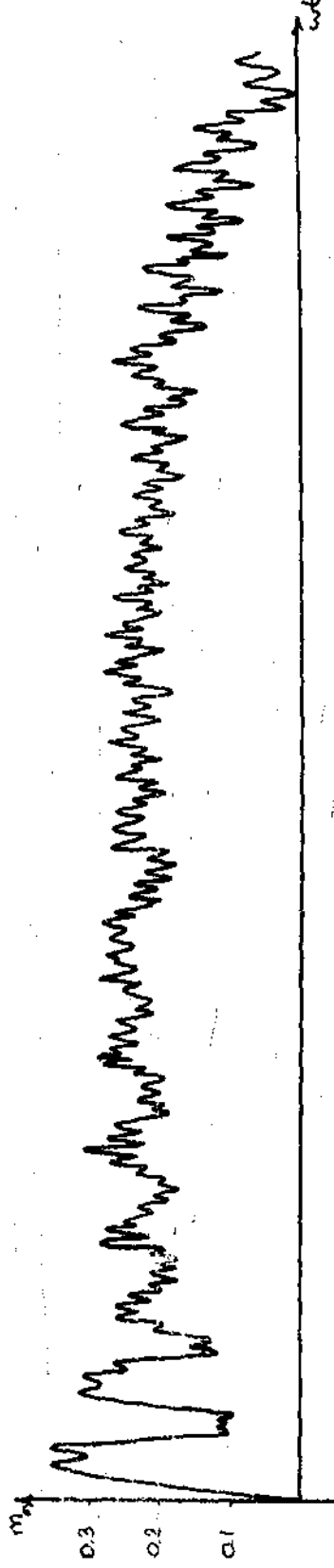
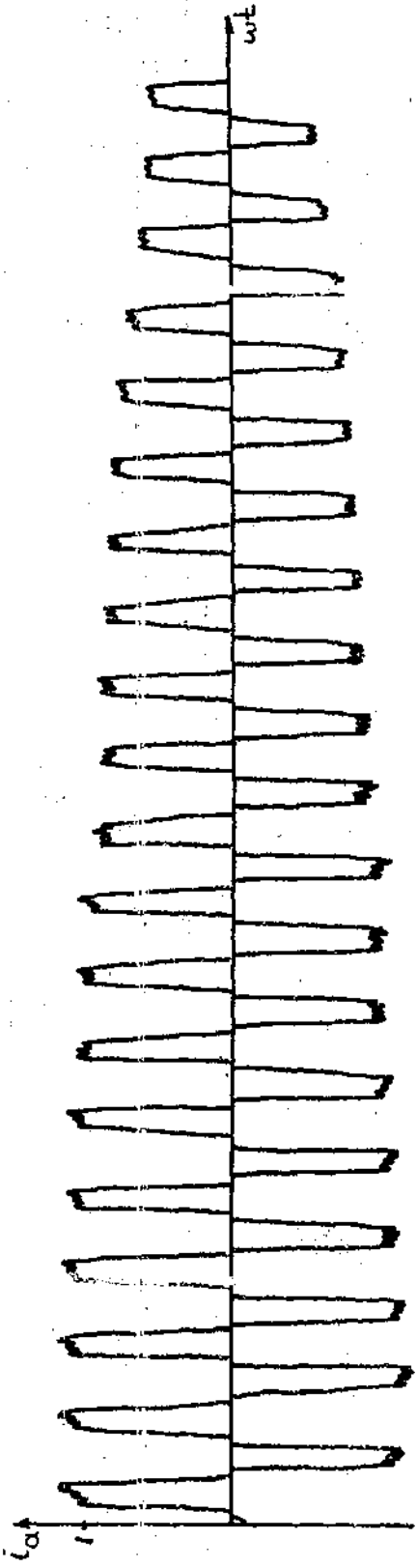
Şekil 3.4. Yıldız, orta uç bağılı, $\alpha=0$ ile yol alma



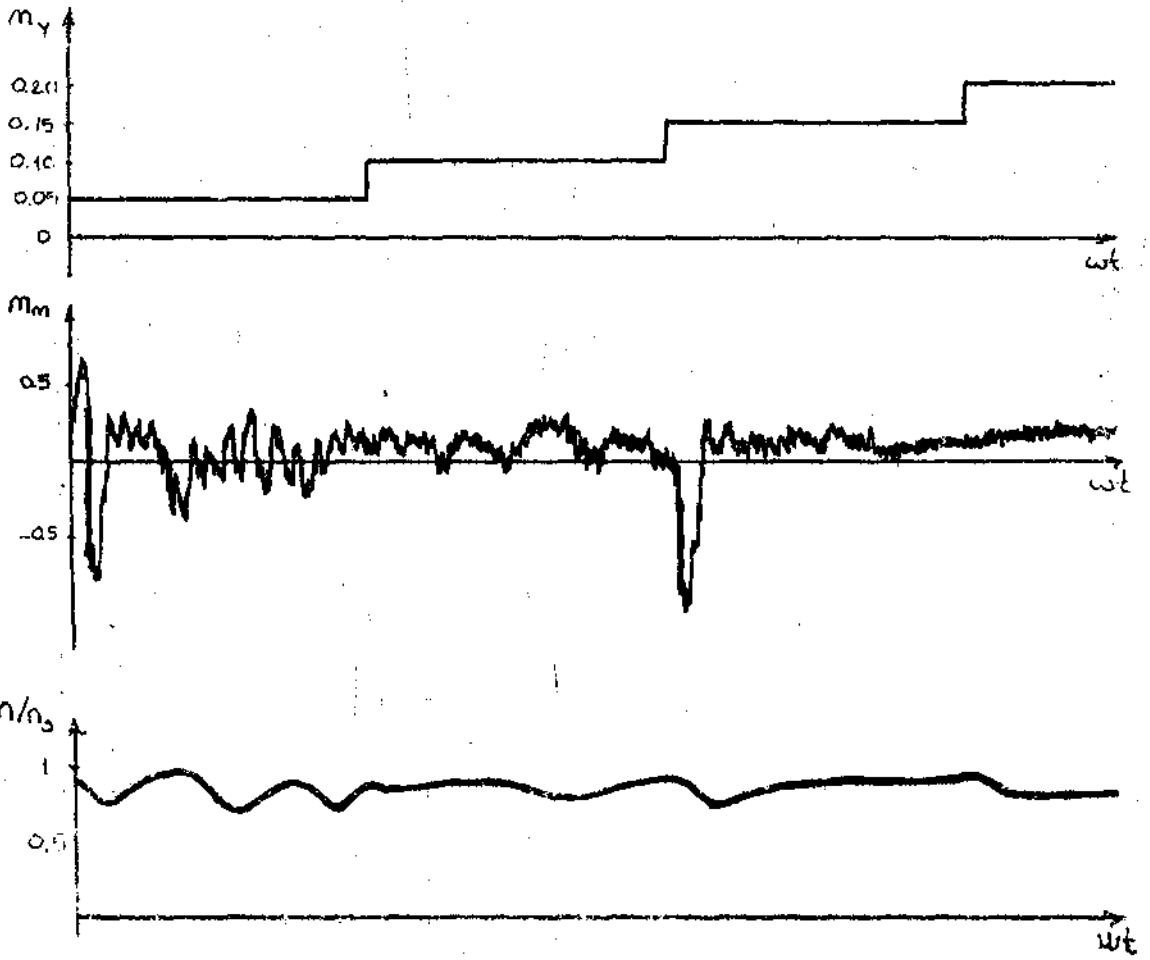
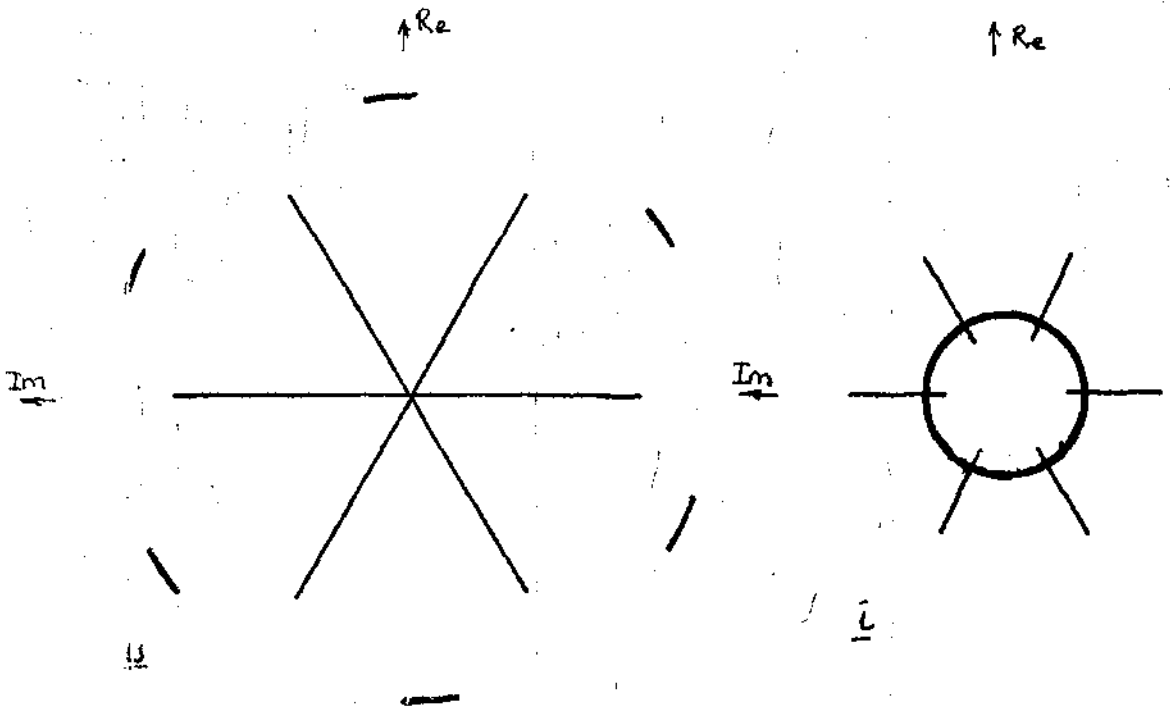
Şekil 3.5. Motor yıldız başlı, orta uç başlı



Şekil 3.6. Motor yıldız başlı, orta uç başlı, $\alpha = 90^\circ$



Şekil 3.7. Motor yıldız bağlı, orta uç açılı, $\alpha = 90^\circ$
yol alme



Şekil 3.8. Motor yıldız bağlı, orta uç açık, $\alpha = 90^\circ$

BÖLÜM 4

DENEYLER

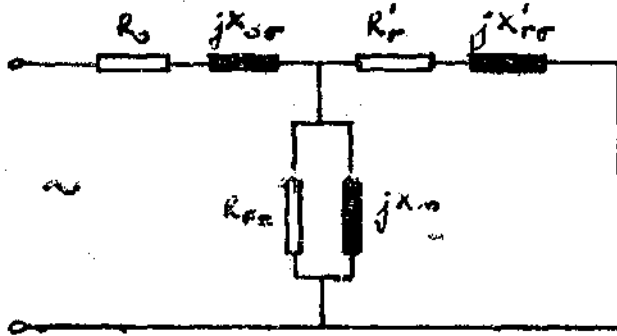
Bu bölümde, laboratuvarında kurulu bulunan "DGK ile Beslenen ASM" seti üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar anlatılacaktır.

Deneylerde kullanılan ASM'nin plaka değerleri şu biçimdedir.

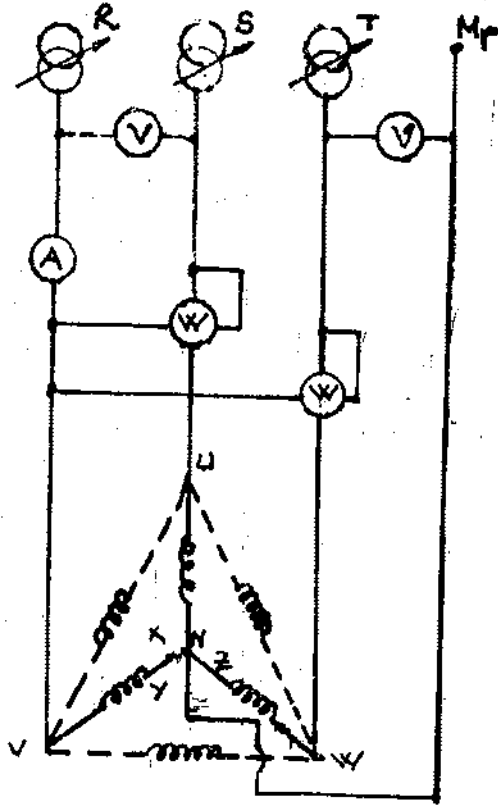
$$U_N = 380 \text{ V } (\Delta) ; \quad I_N = 3.7 \text{ A} \quad P_N = 1.6 \text{ kW}$$

$$n_N = 1400 \text{ d/dak}$$

Devrenin bilgisayarda çözümlenebilmesi için motor parametrelerinin bilinmesi gerektiğinden yapılan ilk deney "motor parametrelerinin ölçülmesi deneyi" olmuştur. Şekil 4.1 de görülen ASM'nin tek faz eşdeğer devre parametrelerini hesaplayabilmek için Şekil 4.2'deki deney bağlantısı hazırlanmış ve ASM'nin boştaki çalışma ve kısa devre deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.1. ASM'nin tek faz eşdeğer devresi



Şekil 4.2. ASM parametrelerini ölçmek için deney düzeneği

Yapılan deneyler sonunda,

kısa devre deneyi için

$$P_k = 110 \text{ W} ; U_k = 92 \text{ V} ; I_k = 3.7 \text{ A } (\Delta)$$

boşta çalışma deneyi için

$$P_o = 130 \text{ W} ; U_o = 380 \text{ V} ; I_o = 3,1 \text{ A } (\Delta)$$

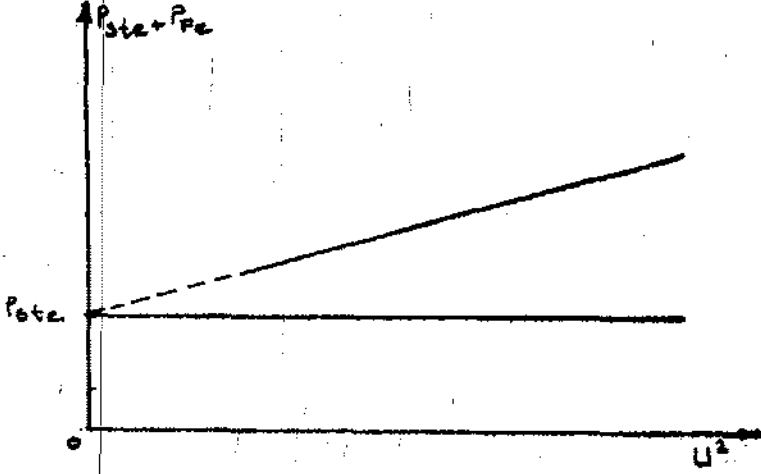
ve stator direnci için

$$R_s = 9,85 \text{ } \Omega$$

değerleri elde edilmiştir.

Bilindiği gibi, ASM'da sürtünme ve demir kayıpları toplamı $(P_{ste} + P_{Fe})$, statora uygulanan gerilimin karesiyle doğru orantılıdır.

ve gerilim uygulanmaması durumunda da $P_{Fe} = 0$ dir. Bu noktada ($U_1 = 0$) ölçülen kayıplar, sürekli sabit olan sürtünme kayıplarını verecektir. Bu özellikten yararlanılarak stator gerilimi 75 V - 380 V aralığında değiştirilerek güç ölçümü yapıldı ve $P_{ste} + P_{Fe} = f(U^2)$ grafiği çizildi. Elde edilen doğru, uzatılarak $U_1 = 0$ a karşılık düşen değer, dolayısıyla P_{ste} bulundu.



Şekil 4.3. $P_{ste} + P_{Fe} = f(U^2)$ grafiği

Kısadevre deneyinden elde edilen değerlerle R_r , $X_{s\sigma}$ ve X'_{rr} şu biçimde bulundu.

$$R_r = \frac{P_k}{I_k^2} - R_s = 14.25$$

$$X_{s\sigma} = X'_{rr} = \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{U_k}{I_k}\right)^2 - (R_s + R_r')^2} = 17.84$$

Diğer parametreleri bulmak için de boşa çalışma fazör diyagramından yararlanıldı. Boşa çalışmada akımla gerilim arasındaki faz açısı

$$\varphi_0 = \arccos\left(\frac{P_0 - P_{ste}}{U_0 I_0}\right) = 80,17^\circ$$

olarak hesaplandı. Fazör diyagramının çizimi ve parametrelerin hesaplanması sırasında

$$U_{Fe} = U_{10} - (R_s + j X_{sr}) I_{10}$$

$$P_{Fe} = P_o - P_{ste} - R_s I_{10}^2 = U_{Fe} I_{Fe} = \frac{U_{Fe}^2}{R_{Fe}}$$

$$I_{10} = \sqrt{I_{Fe}^2 + I_m^2}$$

$$X_m = \frac{U_{Fe}}{I_m}$$

bağıntılarından yararlanıldı. Çizilen fazör diyagramı Şekil 4.4 te görülmektedir.

Fazör diyagramı üzerinde yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan parametrelerle birlikte ASM ün tüm parametreleri bulunmuş oldu. Kullanılan ASM ün tüm parametreleri Çizelge 4.1 de topluca verilmiştir.

$$R_s = 9.55 \ \Omega$$

$$R_r = 14.25 \ \Omega$$

$$X_{sr} = X'_{rv} = 17.94 \ \Omega$$

$$X_m = 200 \ \Omega$$

Çizelge 4.1

$$X_s = X_{sr} + X_m = 217.94 \ \Omega$$

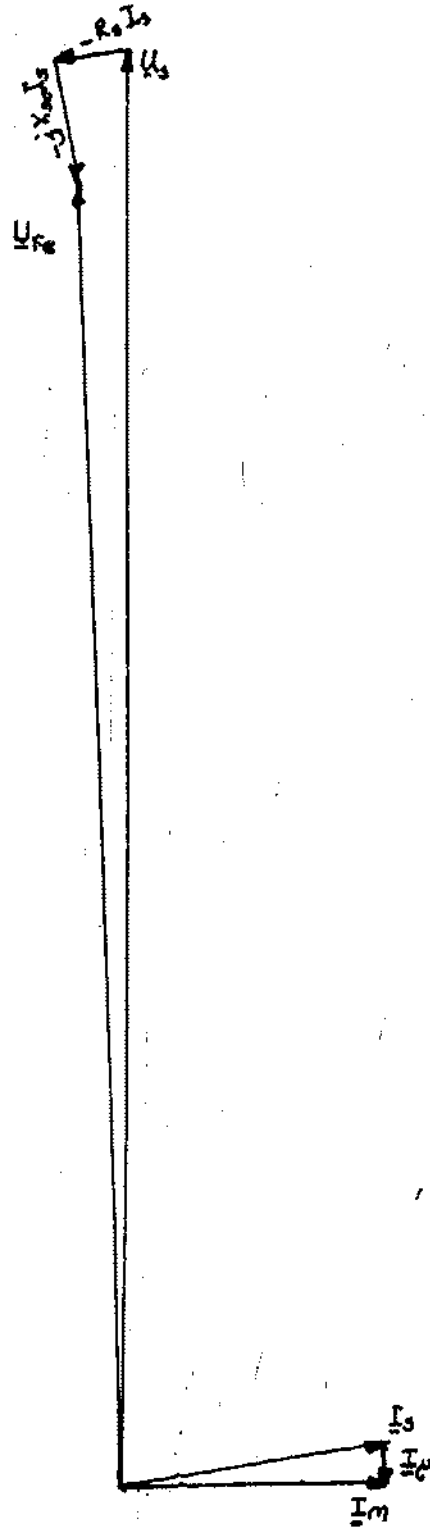
$$X_r = X'_{rv} + X_m = 217.94 \ \Omega$$

$$\sigma = 0.157$$

$$J = 0.0056 \text{ ws}^3$$

Çizelge 4.1 de verilen eylemsizlik momentini (J) hesaplamak için, boğta çalışan motorun enerjisi kesilerek hız-zaman değişimi ölçüldü. Motor miline bağlanan takometrenin çıkışları x-y çizicinin girişlerine uygulandı. Şekil 4.5 te de görüldüğü gibi motorun hızı yaklaşık olarak doğrusal bir biçimde azalmaktadır. Bu değişim sırasında, değişimin doğrusallığından yararlanarak, moment denklemini

$$M - M_y = 2\pi J \frac{\Delta n}{\Delta t}$$



Sekil 4.4. ASM'un boşta çalışma fazör izelgesi

biçiminde yazabiliriz. Bu eşitlikten, eylemsizlik momenti aşağıdaki işlemlerle hesaplanabilir.

$$J = \frac{M}{2\pi} \frac{1}{\frac{\Delta n}{\Delta t}}$$

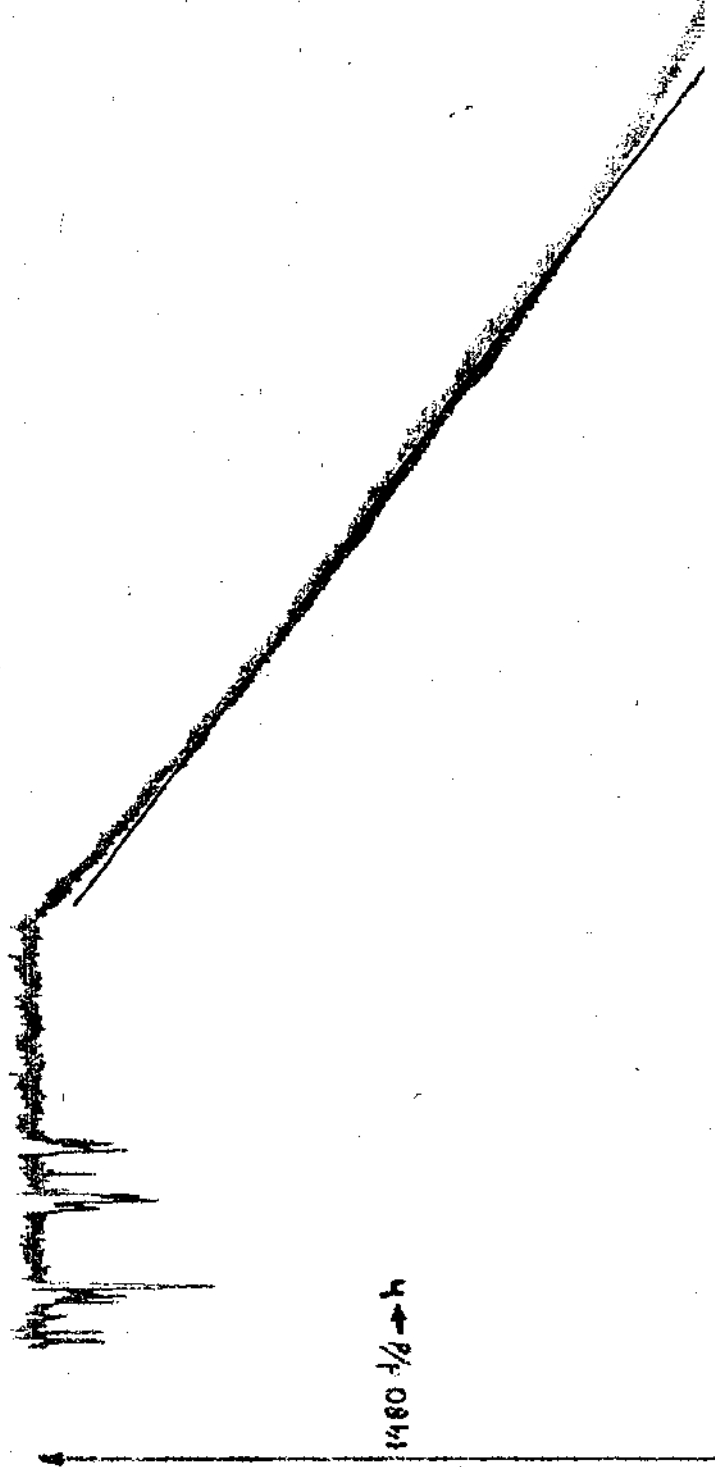
$$J = \frac{\frac{P_{ste}}{2\pi n_0}}{2\pi} \frac{1}{t_g \beta \cdot k} \quad \left(k = \frac{n_0}{h}\right) = \frac{P_{ste} \cdot h}{(2\pi n_0)^2 t_g \beta} = 0.0152 \text{ Ws}^3$$

Deneylerden elde edilen sonuçların veri olarak kullanıldığı bilgisayar programları, değişik bağlantı biçimleri ve değişik tetikleme açıları için kosturuldu.

Bu çalışmalardan alınan sonuçlar 3. bölümün sonunda şekillerle verilmiştir. Bu bölümün sonunda da laboratuvardaki deney düzeniğinde yapılan çalışmalar sırasında osiloskoptan çekilen resimler ve x-y çiziciden elde edilen hız-zaman eğrileri verilmektedir.

Şekil 4.1

Eylemsizlik Momentinin Ölçülmesi Deneyi



Şekil 4.6

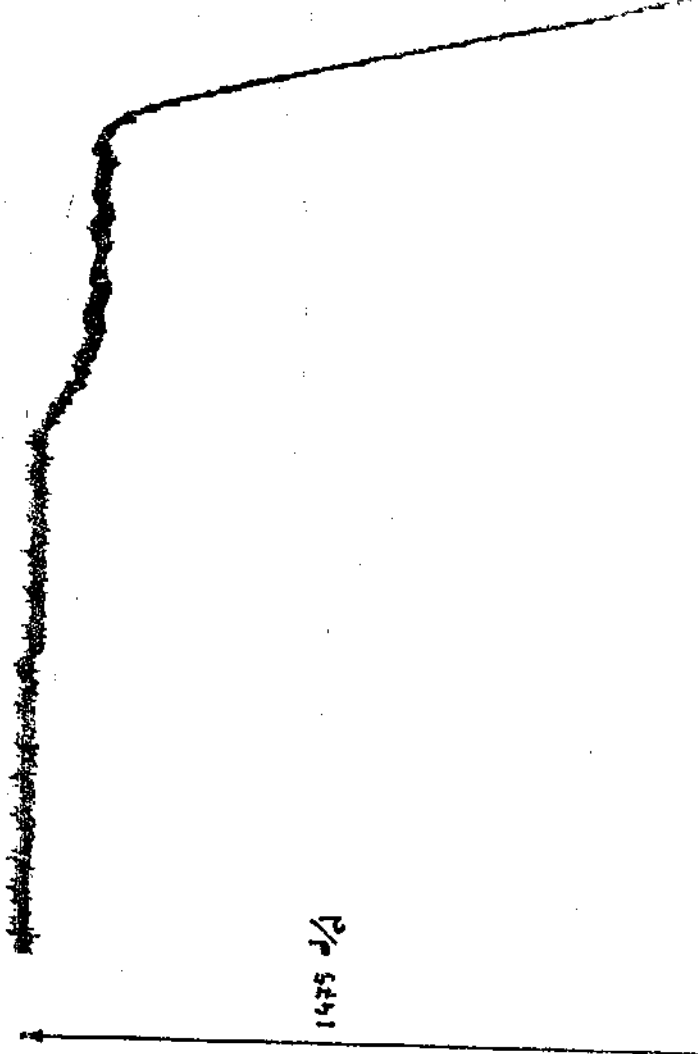
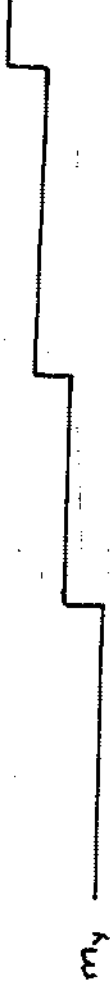
Yük Momenti Değişiminin Hıza Etkisi
(Yalnız, orta ve başlı, $\alpha = 0^\circ$)



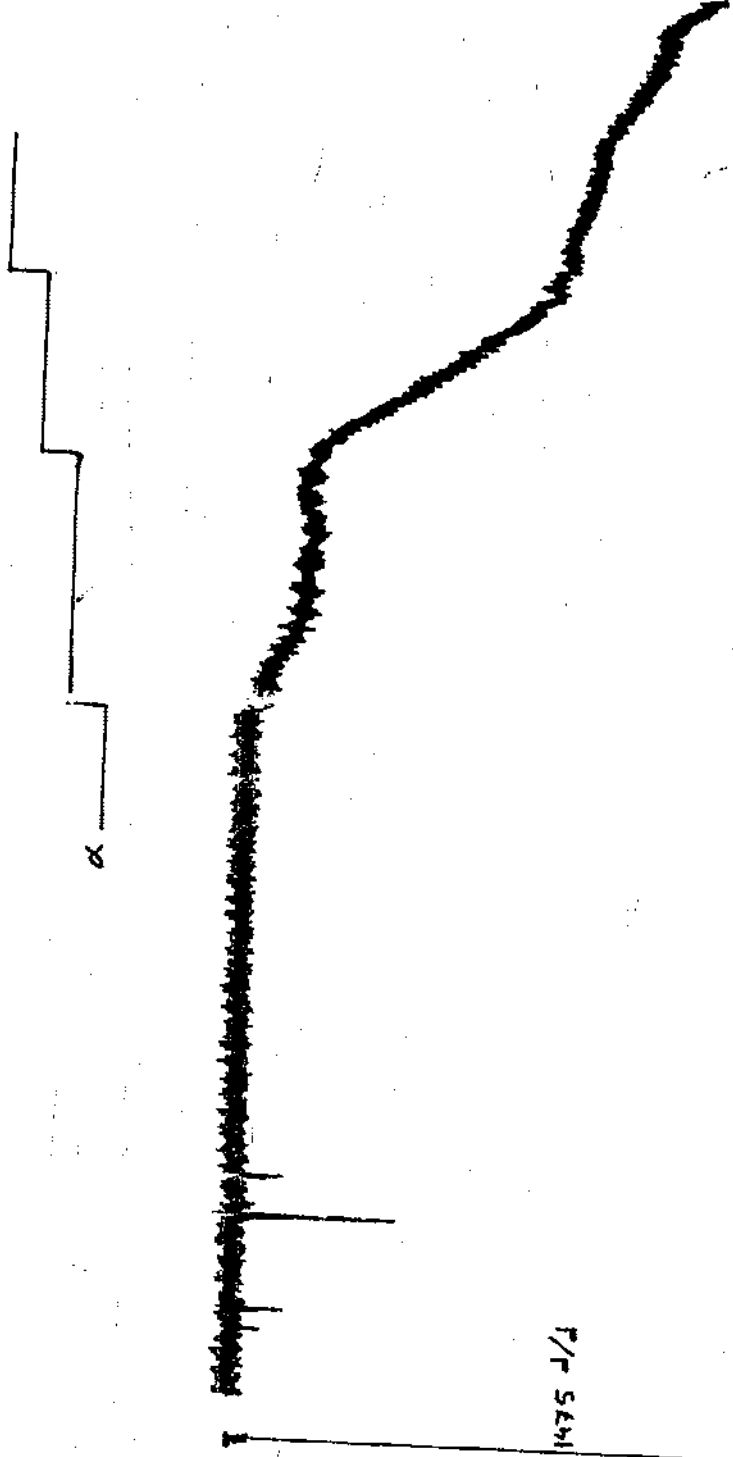
1480 1/2

Şekil 4.7

Yüzy Momenti Değişiminin Hıza Etkisi
(yıldız, orta uç bağılı, $\alpha=90^\circ$)

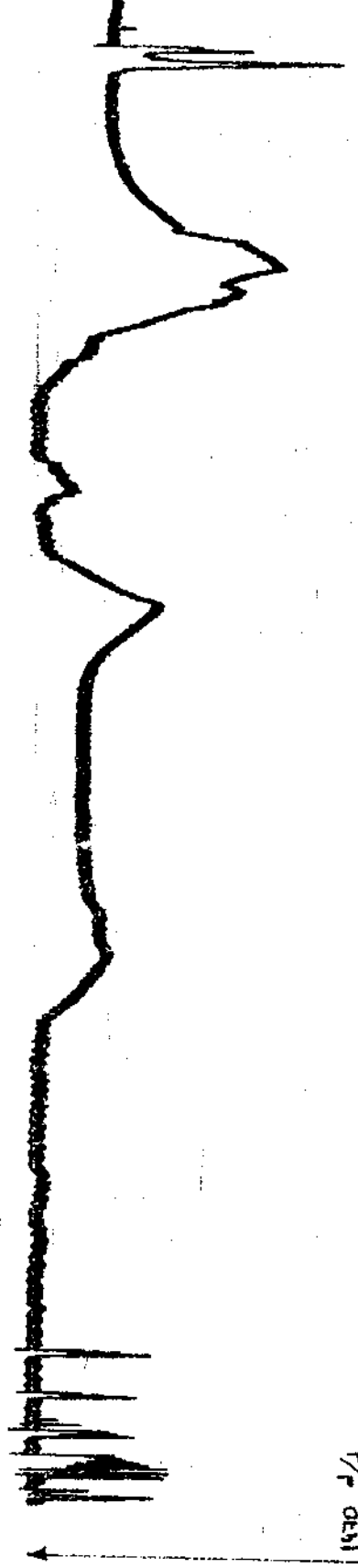


Şekil 4.8
 α 'nın Değişiminin Hızla Yürüşü
(Yıldız, orta uç bağlı, $m=0$)



Şekil 4.9

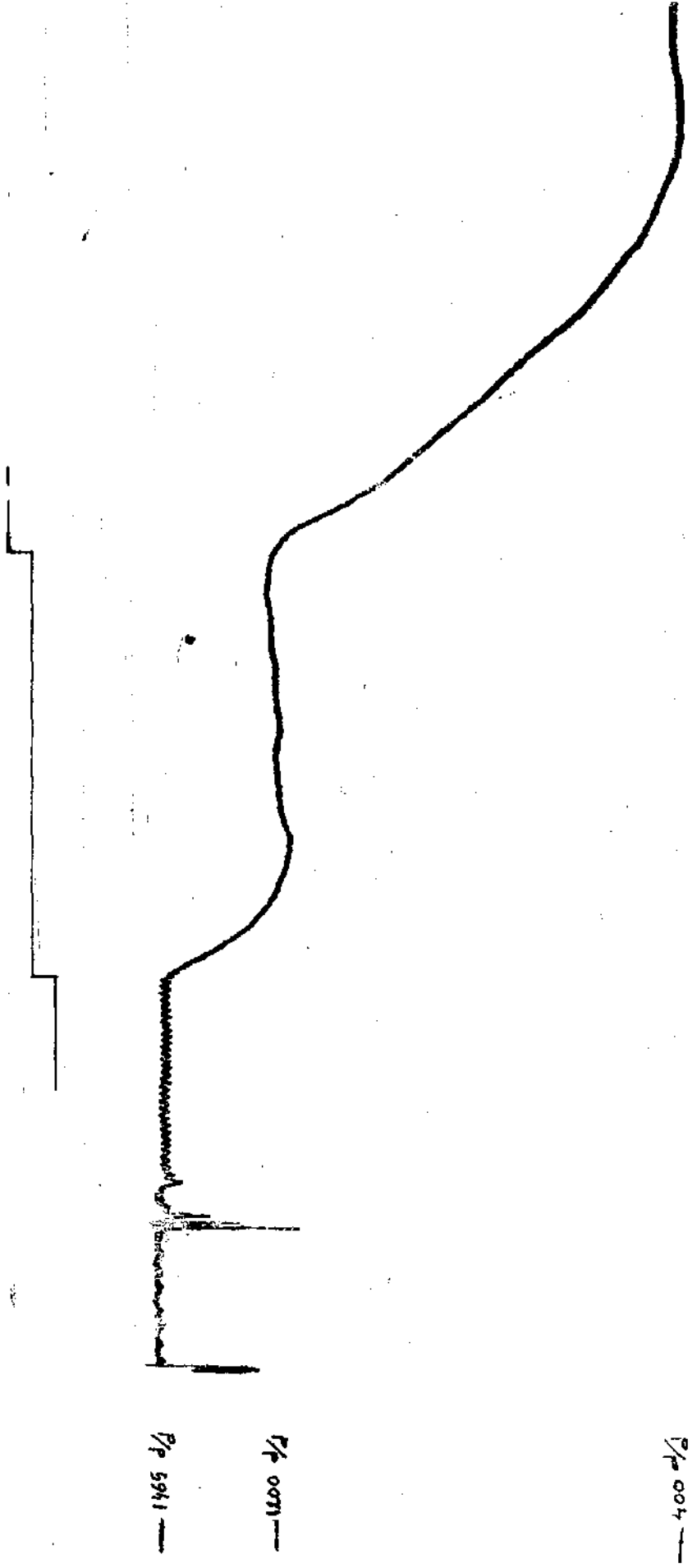
α 'nın Değişiminin Hıza Etkisi
(Yıldız, orta uç açık, $m_y = \text{Sabit} \neq 0$)



T/P 0511

Şekil 4.10
Yükü Momenti Değişiminin Hıza Etkisi

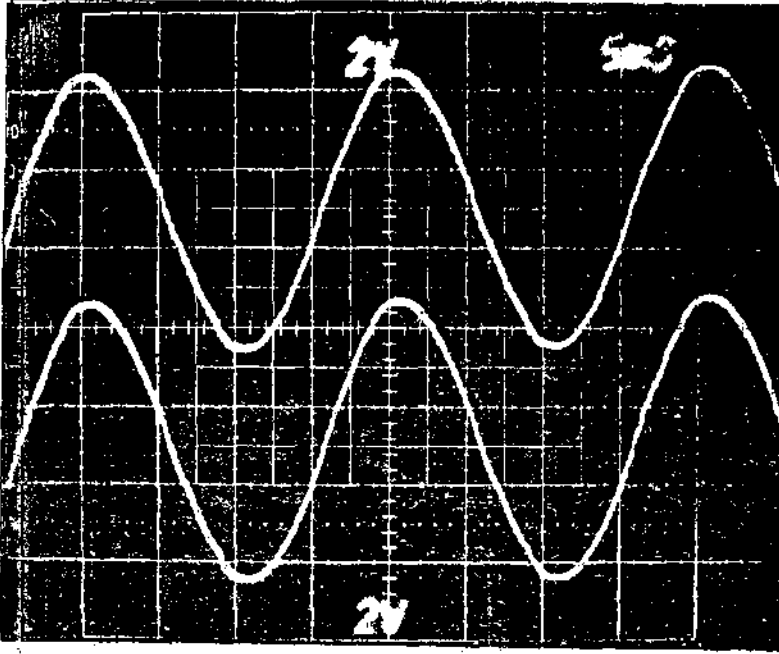
(Yıldız, orta uç ağık, α = sabit.)



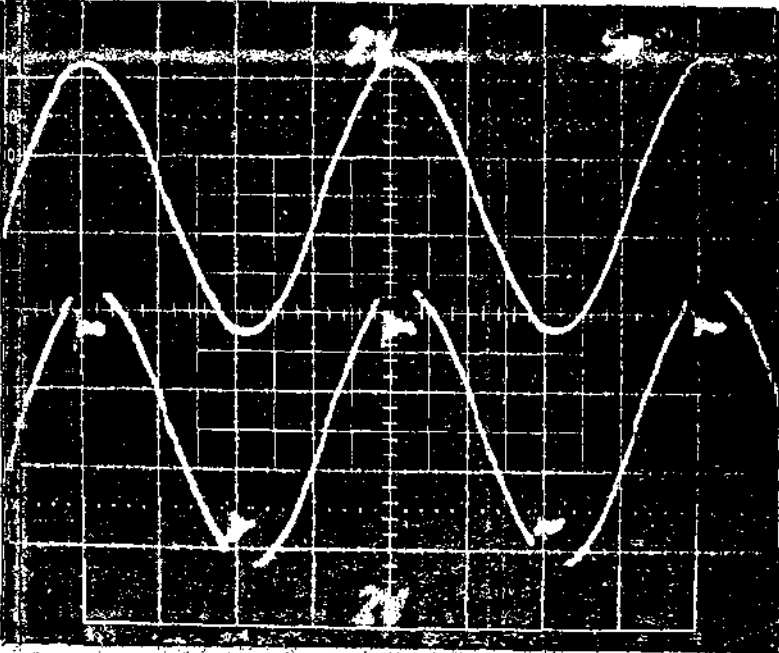
Şekil 4.11

α nın Değişiminin Nize Etkisi
(üçgen bağlantı, $n_y = \text{sabit}$)

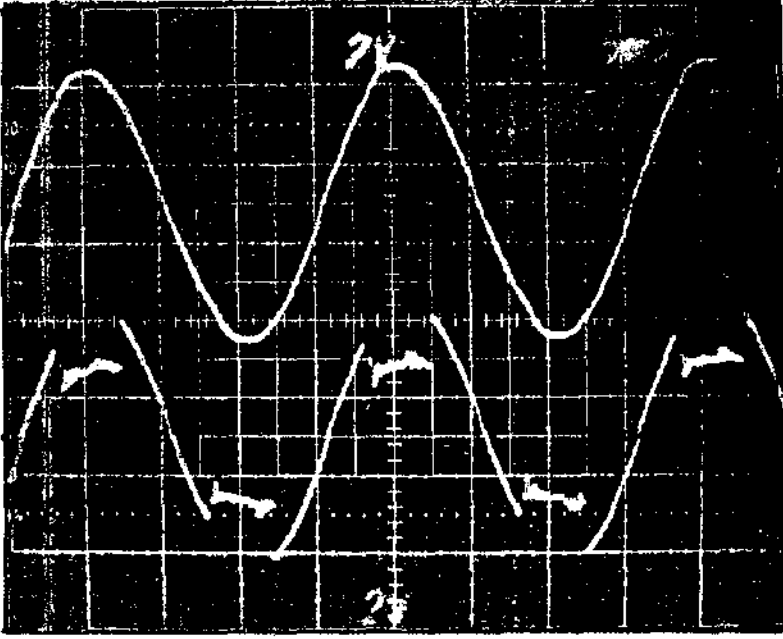




Şekil-4.12
Yıldız orta uçlu
Faz gerilimi
 $\alpha = 0^\circ$



Şekil 4.13
Yıldız, orta uçlu
Faz gerilimi
 $\alpha = 90^\circ$

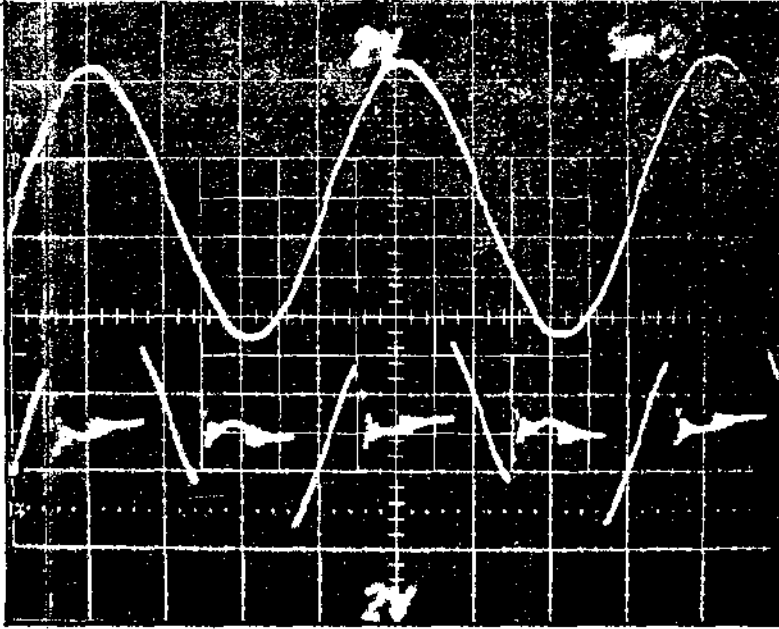


Şekil 4.14

Yıldız, orta uç bağlantılı

faz gerilimi

$$\alpha = 105^\circ$$

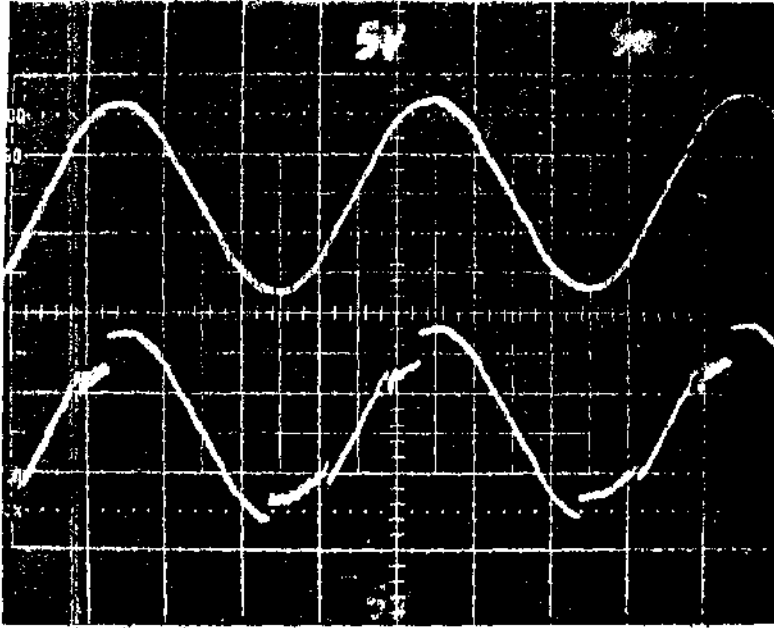


Şekil 4.15

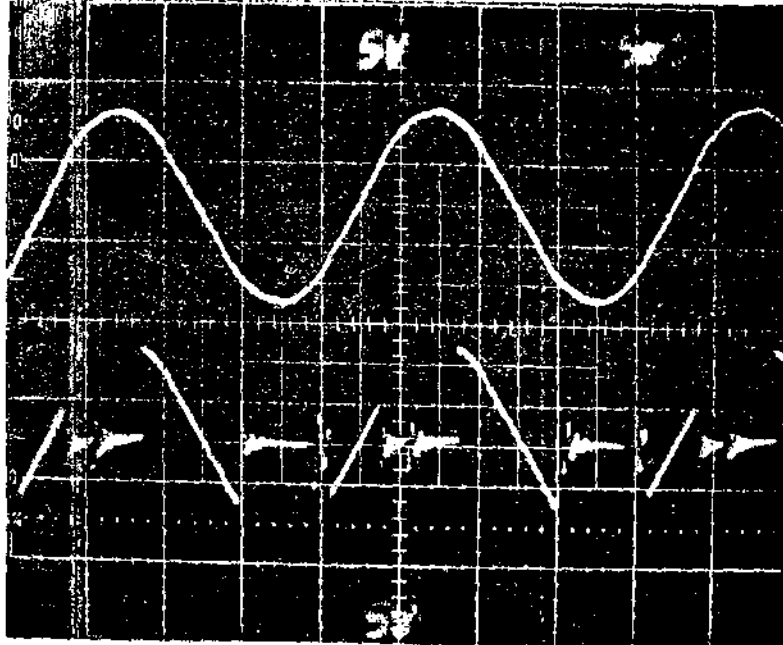
Yıldız, orta uç bağlantılı

Faz gerilimi

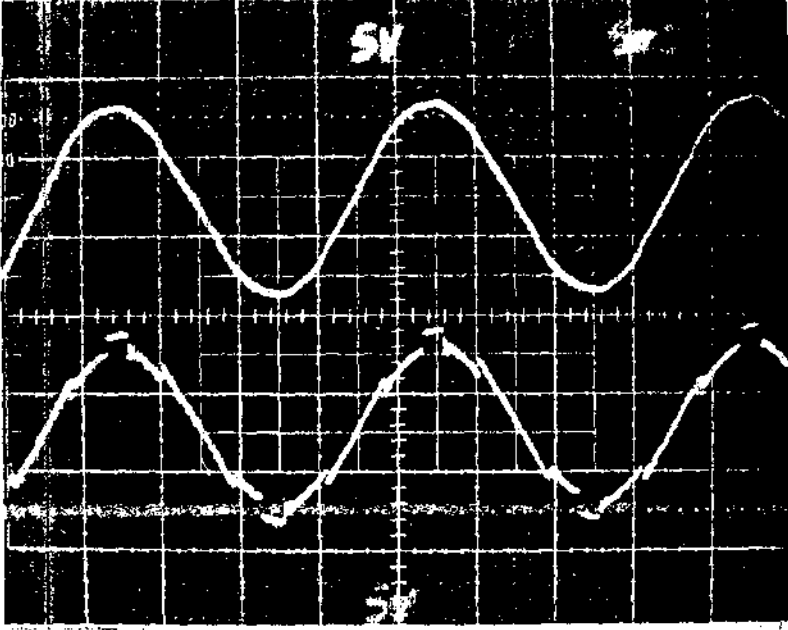
$$\alpha = 135^\circ$$



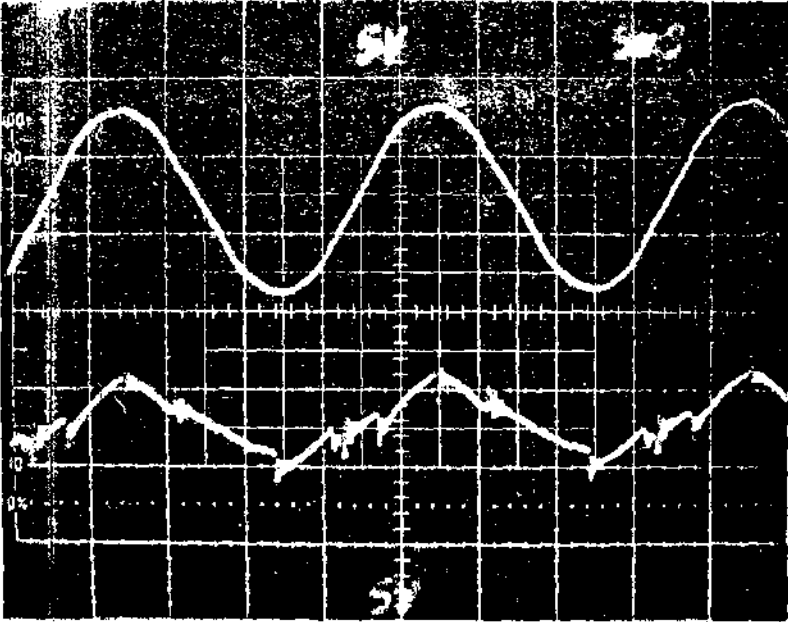
Şekil 4.16
Yıldız; orta uç açılı
Faz arası gerilim
 $\alpha \approx 90^\circ$



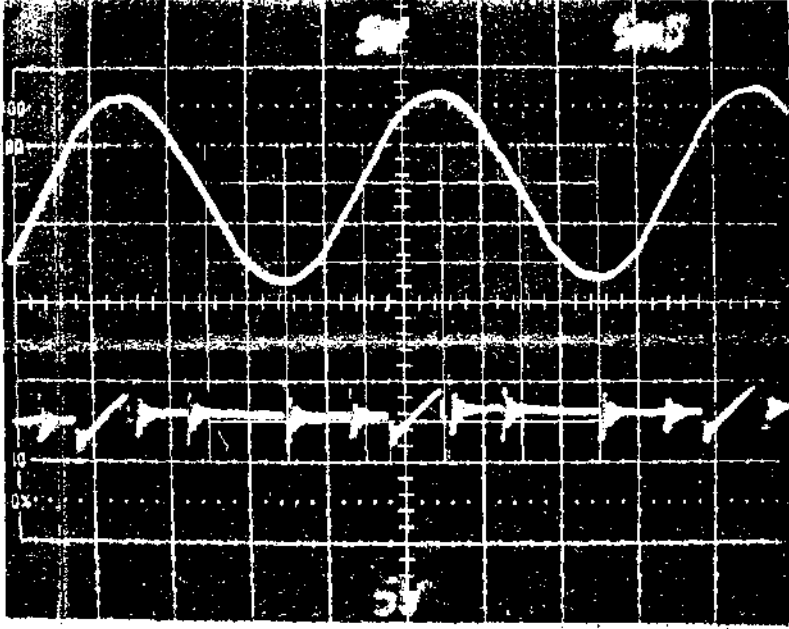
Şekil 4.17.
Yıldız; orta uç açılı
Faz arası gerilim
 $\alpha \approx 105^\circ$



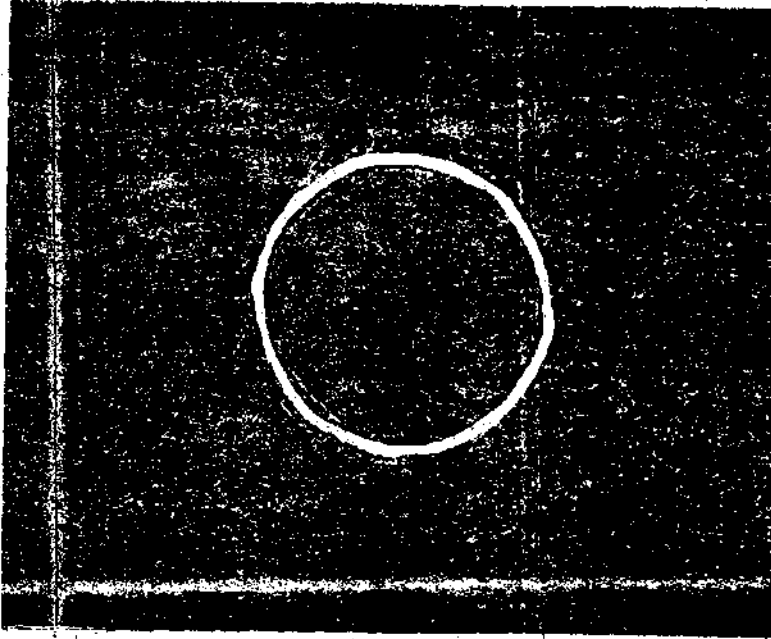
Şekil 4.18
 Üçgen Bağlantı
 Fazarası gerilim
 $\alpha \approx 90^\circ$



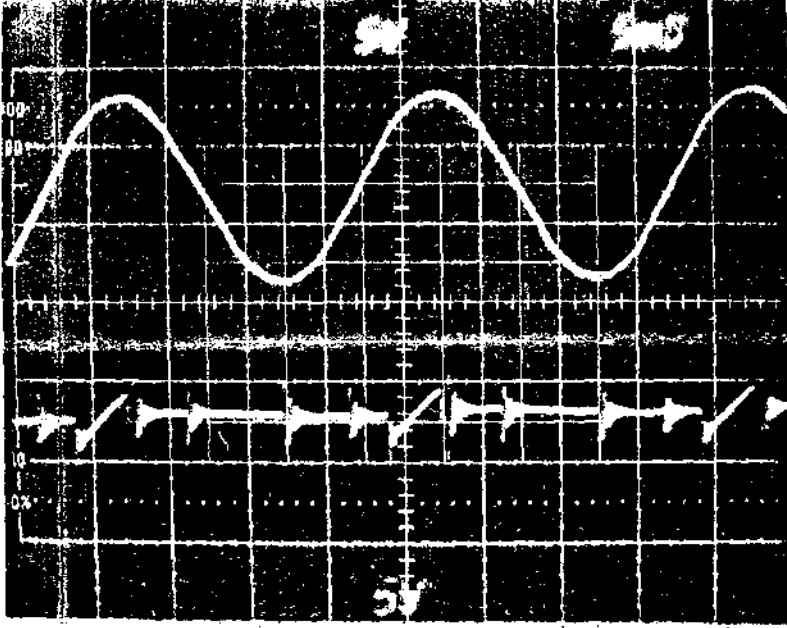
Şekil 4.19
 Üçgen Bağlantı
 Fazarası gerilim
 $\alpha \approx 105^\circ$



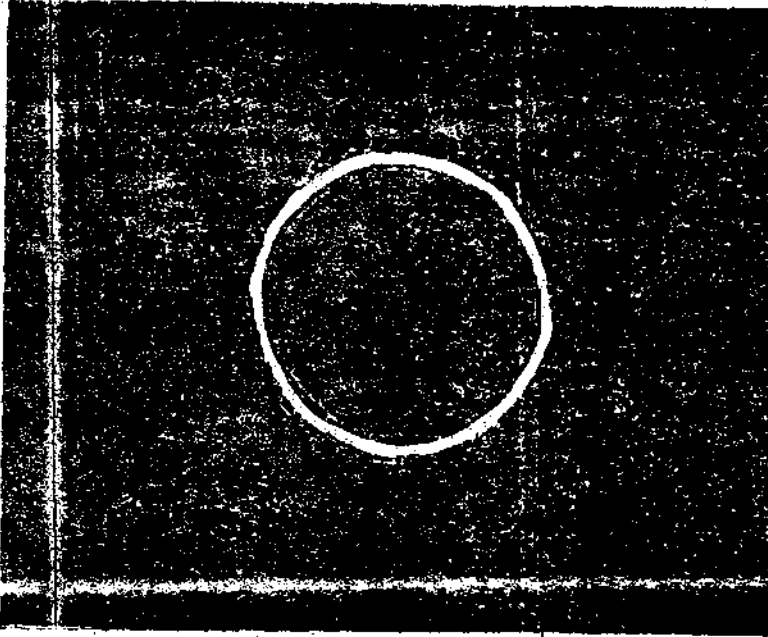
Şekil 4.20
Üçgen bağlantı
Fazarası gerilim
 $\alpha \approx 120^\circ$



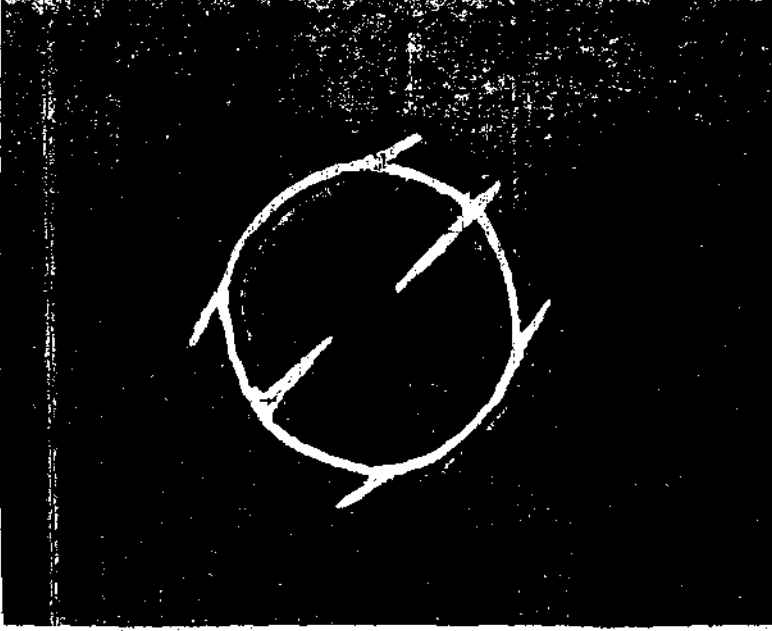
Şekil 4.21
Yıldız, orta uç bağlantı
 $\alpha = 0^\circ$
Gerilim Park Vektörleri



Şekil 4.20
 Üçgen bağlantı
 Fazarası gerilim
 $\alpha \approx 120^\circ$



Şekil 4.21
 Yıldız, orta uç bağlantı
 $\alpha = 0^\circ$
 Gerilim Park Vektörleri

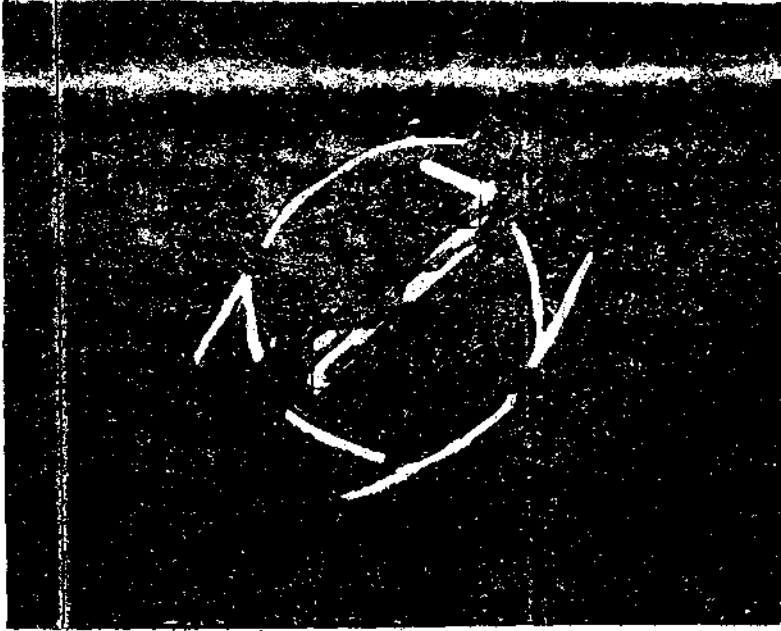


Şekil 4.22

Yıldız, orta uç bağlı

$$\alpha = 90^\circ$$

Gerilim Park Vektör



Şekil 4.23

Yıldız, orta uç bağlı

Gerilim Park Vektör

$$\alpha = 105^\circ$$

MÖLÜM 5

SONUÇ

Bu çalışmada, üç fazlı DKG'nın edilgen bir yükü ya da bir motoru beslemesi, değişik yük bağlantıları ve değişik tetikleme açıları için incelenmiştir. İncelemeler edilgen yük için yalnızca kuramsal, motor yükü için ise hem kuramsal hem de deneysel olarak yapılmıştır.

Edilgen yük bağlantısının incelenmesi sırasında denklemler hem analitik olarak hem de sayısal olarak çözülmüş, sonuçların çok küçük bir hatayla aynı olduğu gözlenmiştir. Ancak, burada yalnızca sayısal çözümden söz edilmiştir.

DKG'nın ASM u beslemesi durumu incelenirken gerek sayısal ve gerekse deneysel çalışmalar sırasında bazı zorluklarla karşılaşmıştır. Bunları şöyle sıralayabiliriz:

1. Tristörün tam bir modellenmesi yapılamadığından, sayısal incelemede, tristörlerin susma ve ilettime girme anlarında bazı hatalar doğmuş, bu hatalar zaman ilerledikçe artmıştır. Tristörün susma noktaları adım aralıkları daha küçük aralıklara bölünerek yeniden çözüm yapılmış, böylece hata bir ölçüde azaltılmıştır.

2. Park vektörleriyle denklemler yazılırken bazı ihmallerin yapılmış olması (doyma, demir kayıpları) sonuçlara belli bir hata getirmiştir.

3. Bilgisayar programları koşturulurken, programın koşma süresinin çok fazla uzanması için, bazı durumlarda hızın sürekli derecesine ulaşması beklenememiştir.

4. X-Y çizici ile yapılan deneylerde, çizicinin hız sorunundan dolayı bazı değişimler yeterli duyarlılıkta gözlenememiştir.

5. Elimizde geniş bir bölgede doğrusal olarak çalışabilen atım trafosu olmadığından, akımın dalga biçimlerini ve park voltörlerini elde etmek olası olmamıştır.

6. Osiloskoptan fotoğraf çekmenin getirdiği zorluklardan dolayı, 4. bölümde görülen resimlerin bazılarının ışık ayarı iyi yapılamamış, bu durum fotokopi alma sırasında daha da büyük sorunlar doğurmuştur.

Yukarıda sıralanan bütün sorunlara karşın, çalışmada oldukça doğru sonuçlar alınmıştır. Denklemlerin, geçici olaylarda da kullanılabilen park voltörleriyle yazılması, çözümleneye büyük kolaylık getirmiştir.

Deney düzeneği üzerinde yapılan çalışmalarda DKG ile oldukça verimli bir biçimde hız ayarı yapılabildiği gözlenmiştir. Yalnız, tetikleme devresinde kullanılacak kaynağın tasarımının iyi yapılması gereklidir. Yüklenmesi durumunda kaynak geriliminin düşmesi başarısız çalışmalara neden olmaktadır.

Çalışma sırasında geliştirilen bilgisayar programı kullanılacak, çeşitli büyüklüklerin değişmesinin ASM davranışlarına nasıl etki yaptığını yeterli duyarlılıkta incelenebilir. Bu çalışma kapsamında yapılan uygulamalar dışında, devre parametrelerinin değişmesinin yaratacağı etkiler de bu program kullanılarak hesaplanabilir.

Bölümümüzde, "Değişken Gerilim Kılıcı ile Beslenen ASM'un Park Voltörleriyle İncelenmesi" konusunda, bu çalışmaya koşut olarak TÜBİTAK destekli bir araştırma projesi de yürütülmektedir. Proje kapsamında, ASM'un çıkarılmış bulunan analog modelini gerçekleştirmek de vardı. Proje tamamlandığında, bu iki çalışmanın, birlikte, konuyla ilgilenenler için oldukça yararlı bir kaynak ve eğitici bir deney düzeneği oluşturacağını umarım.

KAYNAKÇA

1. Pfaff, G. Regelung Elektrischer Antriebe
München, Oldenbourg Verlag, 1971
2. Kovacs, K.P. Transient Phenomena in Electrical
Machines, Amsterdam, Elsevier
Science Publishers B.V., 1984
3. Sezgin, A. Asenkron Makinanın Sayısal Benzeti
Yüksek Lisans Tezi, K.Ü Trabzon, 1983
4. Aldemir, R., Sezgin, A. Değişken Gerilim Kısıcılıyla Beslenmiş
Asenkron Makina, Türkiye'de Elektrik
Elektronik Endüstrisi 1983,
TTE İstanbul, Ekim 1983, s. 47-57
5. Aldemir, R. Güç Elektronikliği Ders Notları
Trabzon

Ek 1
Edilgen Yük için
Kullanılan Bilgisayar
Programı

```

COMPLEX XU,X,A,USP,F,K1,RK2,RK3,RK4,RK5
COMPLEX PARK,X10,X1,SIFIR,TETA,ASU,AKTSAY,USP1,USP2
DIMENSION XU(2),X(2),XK(2,2),F(2),USP(2),DT(6)
DIMENSION RK1(2),RK2(2),RK3(2),RK4(2),RK5(2)
DIMENSION AKTSAY(2,2),X10(2),X1(2)
REAL ISA,ISB,ISC,ISO,IAE,IBE,ICE,IAF,IE,IS1,IS2,IS3,ISI
INTEGER TA,TS,TC,DT,YUK,TAE
    
```

```

DATA A/1-0.5,0.368025871/
DATA FN/50./
DATA YUK/2/
DATA TETA/30/
    
```

```

YUK=1 : YILDIZ YUK,ORTA NOKTA BAGLI
YUK=2 : YILDIZ YUK,ORTA NOKTA ACIK
YUK=3 : UCCEN YUK
    
```

```

PI=4.*ATAN(1.)
TETA=TETA*PI/180
PI2=2*PI
B2PI=1/PI2
H=PI/90
WN=PI2*FN
FAZ=PI2/3
SNH2H=1 SIN(H/2)/H
SQRT2=SQRT(2.)
    
```

```

*****
BİRE İNDİRGEME KATSAYILARI *****
*****
    
```

```

UB=SQRT2*220
AB=SQRT2*10
ZB=UB/AB
TBR=1000/WN
1 XK=SIN(TETA)
TET=TETA*180./PI
ALFA=TETA
IF(TETA.EQ.0) GO TO 4
IF(TETA.NE.(PI/2)) GO TO 2
TAT=0
GO TO 3
2 TAT=-1/TAN(TETA)
    
```

1 KATSAYILARIN HESAPLANMASI

```

3 AKTSAY(1,1)=CMPLX(TAT,0.0)
AKTSAY(1,2)=CMPLX(0.0,0.0)
AKTSAY(2,1)=CMPLX(0.0,0.0)
AKTSAY(2,2)=CMPLX(TAT,0.0)
    
```

4 ALF=ALFA*180./PI

```

DO 5 I=1,2
X1(I)=(0.0,0.0)
5 X10(I)=(0.0,0.0)
    
```

```

IF(YUK.NE.1) GO TO 6
WRITE(6,700) ALF,TET
GO TO 3
    
```

```

6 IF(YUK.EQ.2) GO TO 7
WRITE(6,701) ALF,TET
GO TO 3
    
```

```

7 WRITE(6,702) ALF,TET
8 IF(ALFA) 9,9,10
    
```

```

9 TA=1
TB=1
TC=1
GO TO 15
    
```

```

10 TA=0
TB=0
TC=0
    
```

```

*****
    
```

```

15 ISA=0
ISB=0
ISC=0
ISI=0
UA=0
J1=0
J2=0
J3=0
    
```

```

AAK=0.
ABK=0.
CAK=0.
GBK=0.
ORGUC=0
ETGER=0
ETAKM=0
GUC=0.
TAE=0.
BETA=180
ISAYAC=-1
T=-H
20 T=T+H
ISAYAC=ISAYAC+1
ITD=F*B2PI
IF((T0.EQ.2) GO TO 165
IF(ALFA) 26,26,23
*****
25 CALL DARBE (T,ALFA,DT)
*****
CALL ILETIM(YUK,T,DT,TA,TB,TC,TETA)
26 IF((TAE.EQ.0).AND.(TA.EQ.1)) Z1=T
IAE=ISA
IBE=ISB
ICE=ISC
IE=ISA
UAE=UA
GUCR=GUC
ISIE=ISI
TAE=TA
C
IF(TETA) 30,30,35
30 ASTA=PARK(T,TA,TB,TC,UA,YUK)
X1(1)=ASTA
USP1=ASTA
T1=T-H
IF(YUK.NE.1) GO TO 31
USP2=SIFIK(T,TA,TB,TC)
USO=REAL(USP2)
ISO=USO
GO TO 50
31 ISO=0
UO=0
GO TO 50
35 IF(YUK.NE.1) GO TO 40
N=2
GO TO *5
40 N=1
45 T1=T-H
*****
RUNGE-KUTTA-MERSON YONTEMİ İLE AKIMIN HESAPLANMASI *
*****
CALL RKMIN(N,H,X10,T1,AKTSAY,X1,TA,TB,TC,USP1,USP2,UA,KB,Y1)
*****
FAZ AKIMLARI PARK VEKTORLERİNİN HESAPLANMASI
*****
ASTA=X1(1)
ASO=X1(2)
USO=REAL(USP2)
ISC=REAL(ASO)
50 IF(YUK.NE.3) GO TO 55
IS1=REAL(ASTA)+ISO
IS2=REAL(A*A*ASTA)+ISO
IS3=REAL(A*ASTA)+ISO
ISA=IS1-IS3
ISB=IS2-IS1
ISC=IS3-IS2
GO TO 60
55 ISA=REAL(ASTA)+ISO
ISB=REAL(A*A*ASTA)+ISO
ISC=REAL(A*ASTA)+ISO
60 IF((YUK.NE.1).AND.(TETA.EQ.0)) GO TO 135
IF(((ISA*IAE).LT.0.).AND.(ALFA.GT.TETA)) J1=1
IF(((ISB*IBE).LT.0.).AND.(ALFA.GT.TETA)) J2=1
IF(((ISC*ICE).LT.0.).AND.(ALFA.GT.TETA)) J3=1
IF((J1.EQ.0).AND.(J2.EQ.0).AND.(J3.EQ.0)) GO TO 135
J1=0
J2=0
J3=0

```



```

HY=H/2
TY=T1+HY
J21=0
J22=0
J23=0
DO 130 K=1,2
ZAMAN=TY*1000/WN
IF(TETA) 85,85,73
85 ASTA=PAKK(T,TA,TB,TC,UA,YUK)
T2=TY-HY
X1(1)=ASTA
USP1=ASTA
IF(YUK.NE.1) GO TO 86
USP2=SIFIK(T,TA,TB,TC)
USQ=REAL(USP2)
ISO=USQ
GO TO 85
86 ISO=0
UO=0
GO TO 85
70 IF(YUK.NE.1) GO TO 75
N=2
GO TO 80
75 N=1
80 T2=TY-HY
C *****
C CALL RKM(N,HY,X1C,T2,AKTSAY,X1,TA,TB,TC,USP1,USP2,UA,X,Y
C *****
ASTA=X1(1)
USQ=REAL(USP2)
ISO=REAL(X1(2))
85 IF(YUK.NE.3) GO TO 90
IS1=REAL(ASTA)+ISO
IS2=REAL(A**ASTA)+ISO
IS3=REAL(A*ASTA)+ISO
ISA=IS1-IS3
ISB=IS2-IS1
ISC=IS3-IS2
GO TO 95
90 ISA=REAL(ASTA)+ISO
ISB=REAL(A**ASTA)+ISO
ISC=REAL(A*ASTA)+ISO
95 IF((ISA*IAE).LT.0.) J21=1
IF((ISB*IBE).LT.0.) J22=1
IF((ISC*ICE).LT.0.) J23=1
IF(J21) 105,105,100
100 ISA=0.
TA=0
J21=0
BETA=(T-Z1)*180/P1
105 IF(J22) 115,115,110
110 ISB=0.
TB=0
J22=0
115 IF(J23) 125,125,120
120 ISC=0.
TC=0
J23=0
125 IAE=ISA
IBE=ISB
ICE=ISC
X10(1)=X1(1)
X10(2)=X1(2)
TY=TY+HY
130 CONTINUE
C
C 135 ZAMAN=T*1000./WN
IF(ITD.EQ.0) GO TO 160
140 IF(YUK.NE.3) GO TO 145
IAF=IS1-IS1E
GUC=UA*IS1
GO TO 150
145 IAF=ISA-IE
GUC=UA*ISA
150 UAF=UA-UAE
TH2=T-H/2
SNTH2=SIN(TH2)
CSTH2=COS(TH2)
AAK=AAK+IAF*SNTH2+5NH2H

```

```

ABK=ABK+IAF*CSH2*SNH2H
GAK=GAK+UAF*SNH2*SNH2H
GBK=GBK+UAF*CSH2*SNH2H
ORGUC=ORGUC+H*(GUC+GUC)/2
ETGER=ETGER+H*(UA*UA+UAE*UAE)/2
ETAKM=ETAKM+H*(ISA*ISA+IE*IE)/2
IF(ISA*GT.0) GO TO 160
TT=180/PI-360
IF(YUK.NE.1) GO TO 155
WRITE(6,800) TT,ZAMAN,ISA,ISB,ISO,GUC,TA,TB,TC,X1(1),USP1,USP2
GO TO 160
155 WRITE(6,801) TT,ZAMAN,ISA,ISB,GUC,TA,TB,TC,X1(1),USP1,UA
160 X1(1)=X1(1)
X1(2)=X1(2)
IF(ISA*GT.1) GO TO 20
ISA=-1
GO TO 20
165 AAK=4#AAK*B2PI
ABK=4#ABK*B2PI
GAK=4#GAK*B2PI
GBK=4#GBK*B2PI
GG=SQRT(AAK*AAK+ABK*ABK)
GG=SQRT(GAK*GAK+GBK*GBK)
UALET=GG/SQRT2
AFAZ=ATAN(AAK/ABK)*180/PI
GFAZ=ATAN(GAK/GBK)*180/PI
ORGUC=ORGUC/PI2
ETGER=SQRT(ETGER/PI2)
ETAKM=SQRT(ETAKM/PI2)
GORGUC=ETGER*ETAKM
GUCKAT=ORGUC/GORGUC
WRITE(6,900) AAK,ABK,AG,AFAZ,GAK,GBK,GG,GFAZ,ETGER,ETAKM,ORGUC,
GUC,GUCKAT,UALET,BETA
ALFA=ALFA+PI/6
IF(ALFA*GT.(2*PI/3)) GO TO 170
GO TO 4
170 TETA=TETA+PI/6
IF(TETA*GT.(PI/3)) GO TO 180
GO TO 1
700 FORMAT(//,30X,7(' '),5X,'EDILGEN YUKTE CALISMA',5X,7(' '),//,
(' '),YILDIZ NOKTA BAGLI,ALFA=,F5.1,2X,TETA=,F5.1,7(' '),//,
2X,WT(ORJ),2X,T(MS),4X,ISA,8X,ISB,8X,ISO,8X,GUC,5X,TA,
2X,TB,2X,TC,8X,AKIM,12X,GERILIM,8X,UA,9X,USO,7(' '),
5(' '),2X,5(' '),2X,4
(PI/6),3X),3(2(' '),2X),16(' '),2X,16(' '),1X,8(' '),2X,8(' '))
701 FORMAT(//,30X,7(' '),5X,'EDILGEN YUKTE CALISMA',5X,7(' '),//,
(' '),UCGEN BAGLI YUKTE,ALFA=,F5.1,2X,TETA=,F6.1,7(' '),//,
2X,WT(ORJ),2X,T(MS),4X,ISA,8X,ISB,8X,GUC,5X,TA,2X,TB,
2X,TC,8X,AKIM,12X,GERILIM,9X,UA,7(2X,6(' '),2X,5(' ')),
X,3(1(' '),3X),3(2(' '),2X),15(' '),2X,16(' '),2X,8(' '))
702 FORMAT(//,30X,7(' '),5X,'EDILGEN YUKTE CALISMA',5X,7(' '),//,
(' '),YILDIZ NOKTA ACIK,ALFA=,F5.1,2X,TETA=,F6.1,7(' '),//,
2X,WT(ORJ),2X,T(MS),4X,ISA,8X,ISB,8X,GUC,5X,TA,2X,TB,
2X,TC,8X,AKIM,12X,GERILIM,10X,UA,7(2X,6(' '),2X,5(' ')),
A,3(1(' '),3X),5(2(' '),2X),16(' '),2X,16(' '),2X,8(' '))
300 FORMAT(2X,F5.1,2X,F5.2,2X,4(F5.3,3X),3(12,2X),2F8.4,2X,2F8.4,2X,
2X,F3.6)
801 FORMAT(2X,F5.1,2X,F5.2,2X,3(F5.5,3X),3(12,2X),2F8.4,2X,2F8.4,2X,
2X,F3.6)
900 FORMAT(//,10X,'AAK=',F8.4,2X,'ABK=',F8.4,2X,'AG=',F8.4,2X,'AFAZ=',
F6.1,7(//,10X,'GAK=',F5.4,2X,'GBK=',F8.4,2X,'GG=',F5.4,2X,'GFAZ=',
1,7(//,10X,'UAET=',F7.4,2X,'IAET=',F7.4,2X,'ORGUC=',F9.4,1X,'TT=',
1X,'GORGUC=',F8.4,1X,'VA=',2X,'GUC KAT=P/S=',F5.3,7(//,10X,'UALET=',
7.4,20X,'UALETIM SURESI=',F6.2,1X,'DERECE')
185 STOP
END
SUBROUTINE RKM(N, H, X0, TO, AX, X, TA, TB, TC, USP1, USP2, UA, XK, YUK)
COMPLEX X0, X, A, F, RK1, RK2, RK3, RK4, RK5
COMPLEX PARK, SIFIR, AX, USP1, USP2, USP
INTEGER TA, TB, TC, YUK
DIMENSION X0(2), X(2), AX(2,2), F(2), USP(2)
DIMENSION RK1(2), RK2(2), RK3(2), RK4(2), RK5(2)
DATA A7(-0.5,0.86602537)/
T=TO
DO C=8 I=1,N
388 X(I)=X0(I)
IL=0
999 IL=IL+1
USP1=PARK(T,TA,TB,TC,UA,YUK)
USP2=SIFIR(T,TA,TB,TC)

```

```

USP(1)=USP1/XR
USP(2)=USP2/XR
DO 2 I=1,N
F(I)=Y0,C,0,0)
DO 1 J=1,N
1 F(I)=F(I)+AX(I,J)*X(J)
2 F(I)=F(I)+USP(I)
GO TO (10,20,30,40,50),IL
10 DO 11 I=1,N
RK1(I)=F(I)*H/3
11 X(I)=X0(I)+RK1(I)
T=T0+H/3
GO TO 999
20 DO 22 I=1,N
RK2(I)=F(I)*H/3
22 X(I)=X0(I)+RK1(I)/2+RK2(I)/2
T=T0+H/3
GO TO 999
30 DO 33 I=1,N
RK3(I)=F(I)*H/3
33 X(I)=X0(I)+RK1(I)*3/8+RK3(I)*9/8
T=T0+H/2
GO TO 999
40 DO 44 I=1,N
RK4(I)=F(I)*H/3
44 X(I)=X0(I)+RK1(I)*3/2+RK3(I)*9/2+RK4(I)*6
T=T0+H
GO TO 999
50 DO 55 I=1,N
RK5(I)=F(I)*H/3
55 X(I)=X0(I)+(RK1(I)+4*RK4(I)+RK5(I))/2
T=T0+H

```

```

KLTORN
END
SUBROUTINE GARBE (TX,ALFA,DT)
DIMENSION DT(5)
INTEGER DT
PI=4.*ATAN(1.)
BET=PI/3.
DO 5 I=1,6
5 DT(I)=0
I=TX/(2.*PI)
T=TX-IT*2.*PI
X1=ALFA
X2=X1+BET
X3=X2+BET
X4=X3+BET
X5=X4+BET
X6=X5+BET
X7=X6+BET
X8=X7+BET
X9=X8+BET
X10=X9+BET
IF((T.GE.X1).AND.(T.LT.X4)) DT(1)=1
IF((T.GE.X3).AND.(T.LT.X6)) DT(6)=1
IF((T.GE.X5).AND.(T.LT.X7)) DT(2)=1
IF((T.GE.X4).AND.(T.LT.X7)) DT(4)=1
IF((T.GE.X6).AND.(T.LT.X7)) DT(3)=1
IF((T.GE.X2).AND.(T.LT.X5)) DT(5)=1
IF(X9) 6,7,7
7 IF(T.LT.X9) DT(6)=1
8 IF(X2*X10) 8,9,9
8 IF(T.LT.X2) DT(2)=1
GO TO 10
9 IF(T.GE.X10).AND.(T.LT.X2) DT(2)=1
10 IF(T.LT.X1) DT(4)=1
IF(X5*X9) 11,12,12
11 IF(T.LT.X3) DT(3)=1
GO TO 13
12 IF(T.GE.X9).AND.(T.LT.X3) DT(3)=1
13 IF(X10) 14,15,15
15 IF(T.LT.X10) DT(5)=1
14 RETURN
END
COMPLEX FUNCTION PARKIT,TA,TS,TC,UA,YUK)
COMPLEX A/(-94.80,26602557)/
INTEGER TA,TS,TC,YUK
PI=4.*ATAN(1.)
FAZ=2*PI/3
IF(YUK.NE.1) GO TO 11
UA=TA*SINIT)

```

```

US=TA*SIN(T-FAZ1)
UC=TC*SIN(T-2*FAZ1)
PARK=(UA+A*UB+A*A*UC)*2./3
GO TO 33

```

```

11 IF(YNK.EQ.3) GO TO 22
USA=SIN(T)
USB=SIN(T-FAZ)
USC=SIN(T-2*FAZ)
UAB=USA-USB
UAC=USA-USC
UBC=USB-USC
IF((TA*TB*TC).EQ.0) 1,1,2
1 IF((TA+TB+TC).EQ.0) GO TO 3
IF((TA+TB+TC).EQ.1) GO TO 3
IF((TA*TB)) 4,4,5
4 IF((TA*TC)) 6,6,7

```

```

6 UA=0.
UB=UBC/2.
UC=-UB
GO TO 8
7 UA=UAC/2.
UB=0.
UC=-UA
GO TO 8
5 UA=UAB/2.
UB=-UA
UC=0.
GO TO 8
3 UA=0.
UB=0.
UC=0.
GO TO 8

```

```

4 UA=UA
UB=UB
UC=UC
5 PARK=(UA+A*UB+A*A*UC)*2./3.
GO TO 33

```

```

22 USA=SIN(T)
USB=SIN(T-FAZ)
USC=SIN(T-2*FAZ)
UAB=USA-USB
UAC=USA-USC
UBC=USB-USC
IF((TA*TB*TC)) 41,41,42
41 IF((TA+TB+TC).EQ.0) GO TO 43
IF((TA+TB+TC).EQ.1) GO TO 43
IF((TA*TB)) 44,44,45
44 IF((TA*TC)) 46,46,47

```

```

46 UA=-UBC/2.
UB=UBC
UC=UA
GO TO 48
47 UA=UAC/2.
UB=UA
UC=-UAC
GO TO 48

```

```

45 UA=UA
UB=-UB/2.
UC=UB
GO TO 48
43 UA=0.
UB=0.
UC=0.
GO TO 43

```

```

+2 UA=UAB
UB=UBC
UC=-UAC
48 PARK=(UA+A*UB+A*A*UC)*2./3.
33 RETURN
END

```

```

COMPLEX FUNCTION SIFIK(T,TA,TB,TC)
INTEGER TA, TB, TC
PI=3.141592653589793
FAZ1=PI/3.
FAZ2=2*FAZ1
UA=TA*SIN(T)
UB=TB*SIN(T-FAZ1)
UC=TC*SIN(T-FAZ2)

```

```

SIFIR=(UA+UB+UC)/3
RETURN
END
SUBROUTINE ILETIM(YUK,1,DT,FA,FB,TC,TETA)
DIMENSION DT(6)
1. DEGER DT,TA,TB,TC,YUK
11=0
12=0
13=0
PI=3.141592653589793
FA=2*PI/3
UBA=UB/2
UCB=UC/2
USC=US/2

```

```

IF(YUK.NE.1) GO TO 1
IF(FA.EQ.1) GO TO 72
IF((USA.GT.0.).AND.(DT(1).EQ.1)) TA=1
IF((USA.LT.0.).AND.(DT(4).EQ.1)) TA=1
2 IF(TB.EQ.1) GO TO 74
IF((UBA.GT.0.).AND.(DT(2).EQ.1)) TB=1
IF((UBA.LT.0.).AND.(DT(5).EQ.1)) TB=1
4 IF(TC.EQ.1) GO TO 6
IF((UCB.GT.0.).AND.(DT(3).EQ.1)) TC=1
IF((UCB.LT.0.).AND.(DT(6).EQ.1)) TC=1

```

```

1 UA=UBA+USB
  UB=UBA+USB
  UC=UCB+USC

```

```

IF(TA.NE.0) GO TO 80
11=0
12=0
13=0
IF((UA+TB).EQ.2) GO TO 82
IF((UA.GE.0.).AND.(DT(1).EQ.1).AND.(DT(5).EQ.1)) 11=1
IF((UA.LT.0.).AND.(DT(4).EQ.1).AND.(DT(2).EQ.1)) 11=1
2 IF((UA+TC).EQ.2) GO TO 84
IF((UA.GE.0.).AND.(DT(1).EQ.1).AND.(DT(6).EQ.1)) 12=1
IF((UA.LT.0.).AND.(DT(4).EQ.1).AND.(DT(3).EQ.1)) 12=1
4 IF((UB+TC).EQ.2) GO TO 86
IF((UB.GE.0.).AND.(DT(2).EQ.1).AND.(DT(6).EQ.1)) 13=1
IF((UB.LT.0.).AND.(DT(5).EQ.1).AND.(DT(3).EQ.1)) 13=1
6 IF(11,12,13)

```

```

3 TA=1
  TB=1
  11=0
7 IF(12) 85,85,87
  TA=1
  TB=1
  12=0
5 IF(13) 8,8,83
8 TC=1
  13=0
6 RETURN
END

```

Ek 2

Kullanılan ASM un
Parametreleri

 * ASINKRON MAKINANIN ANMA DEGERLERI *
 * VE PARAMETRELERI *

ANMA GERILIMI.....UN=380.0 V.
 ANMA AKIMI.....IN= 3.7 A.
 ANMA GUCU.....PN= 1.6 KW.
 ANMA DEVIR SAYISI.....NN= 1400 D/DK
 CALISMA FREKANSI.....FN= 50.0 HZ.
 CYLESIZLIK MOMENTI.....J=0.015 WSN##3
 GUC AKTSAYISI...COS(FI)=0.800
 KUTUP CİFTI SAYISI.....P= 2

STATÖR DİRENÇİ.....RS= 11.00 OHM
 RÖTÖR DİRENÇİ.....RR= 14.25OHM.
 STATÖR REAKTANSI.....XS= 217.84 OHM
 RÖTÖR REAKTANSI.....XR= 217.84OHM.
 MİKNATISLANMA RLAK.....XH= 100.00 OHM
 KACAK AKTSAYISI...SIGMA= 0.1570

 * DİĞER İNDİRGE ME AKTSAYILARI *

GERİLİM.....UB= 437.401 V.
 AKIM.....AKIMB= 5.233 A.
 EMPEĐANS.....ZB= 102.703 OHM
 GÜC.....PB= 4217.996 W.
 ZAMAN.....TB= 13.183 MSN.
 AKI.....AKIB= 11.711 VCN.
 MOMENT.....NB= 26.853 WSN.

Ek 3
Motor Yüklü İçin
Kullanılan Bilgisayar
Programı

COMPLEX XU,X,AX,A,USP,I,AKI,AKI0,AKIM,AKISAY,PAK,SIFIR
 REAL MM,MY,MB,IN,ISA,ISS,IS1,IS2,IS3
 INTEGER P,TA,TB,TC,DT,YUK,TAE,TBE,TCE
 DIMENSION XU(3),X(3),AX(3,3),FI(3),USP(3),DT(6)
 DIMENSION RK1(3),RK2(3),RK3(3),RK4(3),RK5(3)
 DIMENSION AKI(3),AKI0(3),AKIM(3),AKISAY(3,3)

ANNA DEGERLERI VE MAKINA PARAMETRELERI

 DATA A/(-0.5,0.868025571)/,CFI/0.80/
 DATA UN,IN,PN,FN,NN,EM,P/380.,3.70,1.6,50.,1400,0.0152,2/
 DATA RR,RS,XR,XS,XH,SIGMA/14.25,11.0,217.84,217.84,200.,0.187/
 DATA YUK,N/3,2/
 WRITE(6,1111) UN,IN,PN,NN,FI,EM,CFI,P,RS,RR,XS,XR,XH,SIGMA

PI=3.141592653589793
 FAZI=2*PI/3
 FAZL=2*FAZI
 H=PI/90
 SK=2*PI*FN
 WN=SK

BİRE İNDİRGENME KATSAYILARININ HESAPLANMASI VE
 MAKINA PARAMETRELERİNİN BİRE İNDİRGENMESİ

 TM=(EM*NN**3)/(3*UN*IN*P**2)
 UB=1/2*(2.)*UN
 AKI0=SQRT(2.)*IN
 PB=1/3*UN*IN
 ZB=DN/IN
 TBR=1000/WN
 AKI9=U3/WN
 MB=1/3*P/WN
 KB=1/3/ZB
 KS=1/3/ZB
 XK=1/3/ZB
 XS=1/3/ZB
 XH=1/3/ZB
 XSE=XS*XH
 U1=RS/XSS
 WRITE(6,3333) UB,AKI0,ZB,PB,TBR,AKI9,MB

DO 9000 I=1,N
 AKI(I)=CMPLX(0.0,0.0)
 AKI0(I)=CMPLX(0.0,0.0)
 5000 AKI(I)=CMPLX(0.0,0.0)
 UN=0.0
 IN=0.0
 NN=0.0

ALFA=PI/2
 ALF=ALFA*180/PI
 333 DO 333,334,335,YUK
 333 WRITE(6,700) ALF
 GO TO 336
 334 WRITE(6,707) ALF
 GO TO 336
 335 WRITE(6,777) ALF
 336 IF(ALFA) 90,90,91
 90 TA=1
 TB=1
 TC=1
 GO TO 20
 91 TA=1
 TB=1
 TC=1
 20 4YFC.

YASLANIŞ KOSULLARI

 JI=0
 JEP=0
 JCAP=0
 JSA=0
 JSL=0
 JSC=0
 JSO=0

N1=0
MSAY=0

KATSAYILARIN HESAPLANMASI

SXRS=SIGMA*XR*XS
A11R=-KS/(SIGMA*XS)
A11I=-WT
A12R=(RS*XH1)/SXRS
A12I=(IR*XH1)/SXRS
A22R=-KR/(SIGMA*XR)
A33R=C1
AKTSAY(1,1)=CMPLX(A11R,A11I)
AKTSAY(1,2)=CMPLX(A12R,0.0)
AKTSAY(1,3)=CMPLX(0.0,0.0)
AKTSAY(2,1)=CMPLX(A21R,0.0)
AKTSAY(2,3)=CMPLX(0.0,0.0)
AKTSAY(3,1)=CMPLX(0.0,0.0)
AKTSAY(3,2)=CMPLX(0.0,0.0)
AKTSAY(3,3)=CMPLX(A33R,0.0)

T=-H

JSAY=1
ISAYAC=-1
T=T+H
ISAYAC=ISAYAC+1
MSAY=MSAY+1
IF(YUK.NE.1) GO TO 211
MS=MSAY-1000
IF(MS) 202,201,202
JSAY=JSAY+1
MSAY=0

GO TO (202,202,203,202,204,202,205,202,206,202,207,202,202,900),JSAY

ALFA=PI/2
GO TO 220
ALFA=PI/12
GO TO 220
ALFA=PI/72
GO TO 220
MY=0.05
GO TO 247
MY=0.1
GO TO 247
ALFA=ALFA*180/PI
WRITE(6,809),ALFA
GO TO 202
MS=MSAY-2000
IF(MS) 202,212,212
MSAY=0

JSAY=JSAY+1
GO TO (202,202,202,900,241,242,242,243,243,900),JSAY
GO TO (202,202,240,202,241,202,242,202,243,202,244,202,245,202,202,201,JSAY

MY=0.05
GO TO 247
MY=0.1
GO TO 247
MY=0.15
GO TO 247
MY=0.2
GO TO 247
ALFA=PI/3
GO TO 248
ALFA=PI/12
GO TO 248
ALFA=PI/2
GO TO 248
WRITE(6,810) MY
GO TO 202

ALFA=ALFA*180/PI
WRITE(6,809) ALFA
HAYKUL DENKLEM; VE ROTOR HIZININ HESAPLANMASI

MY=MY*(KN-MY)/16
MY=MY*MY

IF(ALFA) 0.0,4.

```
4 CALL DABBE (T,ALFA,DT)
CALL ALEIIM(YUK,T,DT,TA,TB,TC)
```

```
6 JJ=0
TAE=TA
TBE=TB
TCE=TC
```

```
IAE=ISA
IUB=ISB
ICE=ISC
NIZA/BAGLI KATSAYI
```

```
AZZI=-(WT-WM)
AKTSAY(2,2)=CMPLX(AZZR,AZZI)
```

FONDE-KUTTA-MERSON YONTEMI ILE AKININ HESAPLANMASI

```
*****
T1=T-H
IF((TAE.EQ.TA).AND.(TBE.EQ.TB).AND.(TCE.EQ.TC)) GO TO 545
J1=1
I1=IAE
I2=IUB
I3=ICE
```

```
8 CALL AKMIN,H,AKIO,T1,AKTSAY,AKI,TA,TB,TC,USPL,ALFA,YUK,JJ)
```

STATÜ VE ROTOR ANIMLARI PARK VEKTÖRLERİNİN VE MOMENTİN HESAPLANMASI

```
*****
AKIM(1)=AKI(1)/(SIGMA*XS)-(AKI(2)*XH)/SXRS
AKIM(2)=AKI(2)/(SIGMA*XR)-(AKI(1)*XH)/SXRS
IF(YUK.NE.3) GO TO 568
IS1=REAL(AKIM(1))
IS2=REAL(A*A*AKIM(1))
IS3=REAL(A*AKIM(1))
ISA=IS1-IS3
IS4=IS2-IS1
ISC=IS3-IS2
GO TO 567
```

```
9 I(YUK.EQ.2) GO TO 568
IS=REAL(AKI(3))/XSS
ISA=(REAL(AKIM(1))+IS0)*TA
ISB=(REAL(A*A*AKIM(1))+IS0)*TB
ISC=(REAL(A*AKIM(1))+IS0)*TC
IF((ISB*IBE).LT.0.).AND.(ALFA.NE.0.)) J1=1
IF((ISC*ICE).LT.0.).AND.(ALFA.NE.0.)) J2=1
IF((J1.EQ.0.).AND.(J2.EQ.0.).AND.(J3.EQ.0.)) GO TO 420
```

```
J1=0
J2=0
J3=0
J21=0
J22=0
J23=0
J31=1
TAE=TA
TBE=TB
TCE=TC
MY=N/C
```

```
MY=MM-WM
T=T1
C=1+0.1E=1.4
T=T+0.1
WDE=H+IY*(MM-WM)/TM
AZZI=-(WT-WM)
AKTSAY(2,2)=CMPLX(AZZR,AZZI)
T1=T-H
```

CALL AKMIN,HY,AKIO,T2,AKTSAY,AKI,TA,TB,TC,USPL,ALFA,YUK,JJ)

```
AKIM(1)=AKI(1)/(SIGMA*XS)-(AKI(2)*XH)/SXRS
AKIM(2)=AKI(2)/(SIGMA*XR)-(AKI(1)*XH)/SXRS
IF(YUK.NE.3) GO TO 576
IS1=REAL(AKIM(1))
IS2=REAL(A*A*AKIM(1))
IS3=REAL(A*AKIM(1))
ISA=IS1-IS3
IS4=IS2-IS1
ISC=IS3-IS2
GO TO 578
```

```
IF(YUK.EQ.2) GO TO 577
IS=REAL(AKI(3))/XSS
```

```

577 ISA=(REAL(AKIM(1))+ISC)*TA
    ISB=(REAL(A*A*AKIM(1))+ISC)*TB
    ISC=(REAL(A*A*AKIM(1))+ISC)*TC
578 I=(ISA*IAE).LT.0) J21=1
    I=(ISB*IBE).LT.0) J22=1
    I=(ISC*ICE).LT.0) J23=1
    IF(J21) 105,105,101
101 ISA=0.
    TA=0
    J21=0
    AKIM(1)=(ISA+A*ISB+A*A*ISC)*2/3
    AKI(1)=XS*AKIM(1)+XH*AKIM(2)
    AKI(2)=XR*AKIM(1)+XH*AKIM(1)
    AKR=(ISA+ISB+ISC)/3*XSS
    AKI(3)=CMPLX(AKR,0.0)
    ZAMAN=T*1000/SR
    IF(YUK.NE.1) GO TO 102
    WRITE(6,800) T,ZAMAN,ISA,ISB,ISC,ISC,MM,WM,TA,TB,TC,USP1,AKI(1)
    GO TO 105
102 WRITE(6,808) T,ZAMAN,ISA,ISB,ISC,MM,WM,TA,TB,TC,USP1,AKIM(1)
103 IF(J22) 115,115,110
110 ISB=0.
    TB=0
    J22=0
    AKIM(1)=(ISA+A*ISB+A*A*ISC)*2/3
    AKI(1)=XS*AKIM(1)+XH*AKIM(2)
    AKI(2)=XR*AKIM(2)+XH*AKIM(1)
    AKR=(ISA+ISB+ISC)/3*XSS
    AKI(3)=CMPLX(AKR,0.0)
115 IF(J23) 121,121,120
120 ISC=0.
    TC=0
    J23=0
    AKIM(1)=(ISA+A*ISB+A*A*ISC)*2/3
    AKI(1)=XS*AKIM(1)+XH*AKIM(2)
    AKI(2)=XR*AKIM(2)+XH*AKIM(1)
    AKR=(ISA+ISB+ISC)/3*XSS
    AKI(3)=CMPLX(AKR,0.0)
121 MM=-AIMAG(CONJG(AKIM(1))*AKI(1))
    IAE=ISA
    IBE=ISB
    ICE=ISC
    AKIO(1)=AKI(1)
    AKIO(2)=AKI(2)
    AKIO(3)=AKI(3)
459 CONTINUE
    GO TO 200
420 ZAMAN=T*1000/SR
    MM=-AIMAG(CONJG(AKIM(1))*AKI(1))
    2 IF(1SAYAC.GT.0) GO TO 850
    IF(1JSAY.LE.5) GO TO 850
    IF(YUK.NE.1) GO TO 421
    WRITE(6,800) T,ZAMAN,ISA,ISB,ISC,ISC,MM,WM,TA,TB,TC,USP1,AKI(1)
    GO TO 850
421 WRITE(6,808) T,ZAMAN,ISA,ISB,ISC,MM,WM,TA,TB,TC,USP1,AKIM(1)
850 DO 555 J=1,N
855 AKIO(J)=AKI(J)
    WC=MM
    IF(1SAYAC.GE.4) GO TO 100
    GO TO 200
700 FORMAT(///,30X,'***** YILDIZ NOKTA BAGLI , ALFA =',F4.1,
  * '*****',///,4X,'*ST(RD)',3X,'T(MS)',5X,'ISA',7X,'ISB',7X,
  * ,7X,'ISC',8X,'MM',5X,'WM/WS',4X,'TA',3X,'TB',3X,'TC',/,1X,
  * '*****',3(1X,'*****'),3(1X,'*****')
707 FORMAT(///,30X,'***** YILDIZ NOKTA ACIK , ALFA =',F4.1,
  * '*****',///,4X,'*ST(RD)',3X,'T(MS)',5X,'ISA',7X,'ISB',7X,
  * ,8X,'MM',5X,'WM/WS',4X,'TA',3X,'TB',3X,'TC',8X,'GERILIM',
  * ,/,2X,2(2X,'*****'),3(1X,'*****'),3(1X,'*****'),2(2X,
777 FORMAT(///,30X,'***** MOTOR UGGEN BAGLI , ALFA =',F4.1,
  * '*****',///,4X,'*ST(RD)',3X,'T(MS)',5X,'ISA',7X,'ISB',7X,
  * ,8X,'MM',5X,'WM/WS',4X,'TA',3X,'TB',3X,'TC',8X,'GERILIM',
  * ,/,2X,2(2X,'*****'),3(1X,'*****'),3(1X,'*****'),2(2X,
701 FORMAT(//,10X,'MY=',F4.1,/)
800 FORMAT(2X,2(2X,F7.2),5(2X,F8.5),3(1X,13.1X),2X,2F8.4,1X,2F8.4)
808 FORMAT(2X,2(2X,F7.2),5(2X,F8.5),3(1X,13.1X),2X,2F8.4,1X,2F8.4)
809 FORMAT(//,10X,'ALFA=',F6.1)
810 FORMAT(//,10X,'MY=',F7.5)
111 FORMAT(1H1,10(/),20X,37(' '),/,20X,'* ASENKRON MAKINARIN ALEMLER')

```

```

RLERI = 1, /, 20X, 'A', 9X, 'VET PARAMETRELERI', 10X, 'A', /, 20X, 37(' ')
.22X, 'ANMA GERILIMI.....UN=' F5.1, ' V.' /, 22X, 'ANMA AKIMI.....
.....IN=' F5.1, ' A.' /, 22X, 'ANMA GUCU.....PN=' F5.1, ' W.'
.22X, 'ANMA DEVIR SAYISI.....NN=' F5.1, ' O/DK' /, 22X, 'CALISMA FREKANSI.....
.....FN=' F5.1, ' HZ.' /, 22X, 'EYLEMSIZLIK MOMENTI.....J=' F5.3, '
.3' /, 22X, 'GUC AKTSAYISI.....COS(FI)=' F5.3, /, 22X, 'KUTUP CAYI.....
.....R=' F5.1, ' 12' /, 22X, 'STATOR DIRENCI.....RS=' F7.2, ' OHM' /,
.22X, 'STATOR DIRENCI.....RK=' F7.2, ' OHM' /, 22X, 'STATOR REAKTANSI.....
.....S=' F7.2, ' OHM' /, 22X, 'ROTOR REAKTANSI.....XR=' F7.2, ' OHM' /,
.22X, 'MIKNATISLANMA REAK.....XH=' F7.2, ' OHM' /, 22X, 'KACAK AKTSAYISI.....
.....IGMA=' F7.4)

```

```

3333 FORMAT(///, 20X, 37(' '), /, 20X, 'BIRE' INDIRGEME AKTSAYILARI
.1' /, 20X, 37(' '), /, 22X, 'GERILIM', 11(' '), 'UB=' F8.3, ' V.' /,
.22X, 'AKIM', 11(' '), 'AKIMB=' F8.3, ' A.' /, 22X, 'EMPEDANS', 10(' '),
F8.3, ' OHM' /, 22X, 'GUC', 15(' '), 'P3=' F9.3, ' W.' /, 22X, 'ZAMAN',
.1, ' T8=' F8.3, ' MSN.' /, 22X, 'AKI', 13(' '), 'AKIR=' F8.3, ' VSN.'
.22X, 'MOMENT', 12(' '), 'MB=' F8.3, ' WSN.')

```

```

900 STOP
END
SUBROUTINE RKMIN, H, XO, TO, AX, X, TA, TB, TC, USP1, ALFA, YUK, JJ)
COMPLEX XO, X, A, F, RK1, RK2, RK3, RK4, RK5
COMPLEX PARK, SIFIR, AX, USP1, USP2, USP
INTEGER TA, TB, TC, YUK, DT
DIMENSION XO(3), X(3), AX(3,3), F(3), USP(3)
DIMENSION RK1(3), RK2(3), RK3(3), RK4(3), RK5(3)
DATA A/(-0.5, 0.66602557)/
T=TO

```

```

DO 888 I=1, N
888 X(I)=XO(I)
IL=0
999 IL=IL+1
IF(JJ.EQ.0) GO TO 998
CALL DARBE(T, ALFA, DT)
CALL ILETIM(YUK, T, DT, TA, TB, TC)
998 USP(1)=PARK(T, TA, TB, TC, UA, YUK)
USP1=USP(1)
USP(2)=(0.0, 0.0)
USP(3)=SIFIR(T, TA, TB, TC)
DO 2 I=1, N
F(I)=(0.0, 0.0)
DO 1 J=1, N
1 F(I)=F(I)+AX(I, J)*X(J)
2 F(I)=F(I)+USP(I)
GO 10 (10, 20, 30, 40, 50), IL
10 DO 11 I=1, N
RK1(I)=F(I)*H/3
11 X(I)=XO(I)+RK1(I)
T=TO+H/3
GO TO 999
20 DO 22 I=1, N
RK2(I)=F(I)*H/3
22 X(I)=XO(I)+RK1(I)/2+RK2(I)/2
T=TO+H/3
GO TO 999
30 DO 33 I=1, N
RK3(I)=F(I)*H/3
33 X(I)=XO(I)+RK1(I)*3/8+RK3(I)*9/8
T=TO+H/2
GO TO 999
40 DO 44 I=1, N
RK4(I)=F(I)*H/3
44 X(I)=XO(I)+RK1(I)*3/2-RK3(I)*9/2+RK4(I)*6
T=TO+H
GO TO 999
50 DO 55 I=1, N
RK5(I)=F(I)*H/3
55 X(I)=XO(I)+(RK1(I)+4*RK4(I)+RK5(I))/2
T=TO+H
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE DARBE (IX, ALFA, DT)
DIMENSION DT(6)
INTEGER DT
PI=4.*ATAN(1.)
DET=PI/3.
DO 5 I=1, 6
> DT(I)=0
IT=IX/(2.*PI)
T=TX-IT*2.*PI
X1=ALFA

```

```

X2=X1+8BT
X3=X2+8BT
X4=X3+8BT
X5=X4+8BT
X6=X5+8BT
X7=X6+8BT
X9=X3-PI
X10=X2-PI
IF((T.GE.X1).AND.(T.LT.X4)) DT(1)=1
IF((T.GE.X3).AND.(T.LT.X6)) DT(6)=1
IF((T.GE.X5).AND.(T.LT.X7)) DT(2)=1
IF((T.GE.X4).AND.(T.LT.X7)) DT(4)=1
IF((T.GE.X6).AND.(T.LT.X7)) DT(3)=1
IF((T.GE.X2).AND.(T.LT.X5)) DT(5)=1
IF(X9) 6,7,7
7 IF(T.LT.X9) DT(6)=1
6 IF(X2#X10) 9,9,9
8 IF(T.LT.X2) DT(2)=1
GO TO 10
9 IF(T.GE.X10).AND.(T.LT.X2) DT(2)=1
10 IF(T.LT.X1) DT(4)=1
IF((X3#X9)) 11,12,12
11 IF(T.LT.X3) DT(3)=1
GO TO 13
12 IF(T.GE.X9).AND.(T.LT.X3) DT(3)=1
13 IF(X10) 14,15,15
15 IF(T.LT.X10) DT(6)=1
14 RETURN
END
COMPLEX FUNCTION PARK(TO,TA,TB,TC,UA,YUK)
COMPLEX A/(-0.5,0.8,602557)/
INTEGER TA,TB,TC,YUK
PI=4.*ATAN(1.)
FAZ=2*PI/3
T=TO-INT(TO/(2*PI))
IF(YUK.NE.1) GO TO 11
UA=TA*SIN(T)
UB=TB*SIN(T-FAZ)
UC=TC*SIN(T-2*FAZ)
PARK=(UA+A*UB+A*A*UC)*2/3
GO TO 33
11 IF(YUK.EQ.3) GO TO 22
USA=SIN(T)
USB=SIN(T-FAZ)
USC=SIN(T-2*FAZ)
UAB=USA-USB
UAC=USA-USC
UBC=USB-USC
IF((TA#TB#TC) 1,1,2
1 IF((TA+TB+TC).EQ.0) GO TO 3
IF((TA+TB+TC).EQ.1) GO TO 3
IF((TA#TB) 4,4,5
4 IF((TA#TC) 6,6,7
6 UA=0.
UB=UBC/2.
UC=-UB
GO TO 3
7 UA=UAC/2.
UB=0.
UC=-UA
GO TO 5
5 UA=UAB/2.
UB=-UA
UC=0.
GO TO 8
3 UA=0.
UB=0.
UC=0.
GO TO 4
2 UA=USA
UB=USB
UC=USC
5 PARK=(UA+A*UB+A*A*UC)*2./3.
GO TO 33
22 USA=SIN(T)
USB=SIN(T-FAZ)
USC=SIN(T-2*FAZ)
UAB=USA-USB
UAC=USA-USC

```

```

UBC=UBA-UBC
IF((TA*TB*TC)) 41,41,42
41 IF((TA+TB+TC).EQ.0) GO TO 43
   IF((TA+TB+TC).EQ.1) GO TO 43
   IF((TA*TB)) 44,44,45
44 IF((TA*TC)) 46,46,47

46 UAB=-UBA/2.
   UBC=UBC
   UC=UA
   GO TO 48
47 UA=UAC/2.
   UB=UA
   UC=-UAC
   GO TO 48
45 UA=UAB
   UB=-UAB/2.
   UC=UB
   GO TO 48
43 UA=0.
   UB=0.
   UC=0.
   GO TO 48
42 UA=UAB
   UB=UBC
   UC=-UAC
48 PARK=(UA+A*UB+A*A*UC)*2./3.
33 RETURN
END
COMPLEX FUNCTION SIFIR(TO,TA,TB,TC)
INTEGER TA,TB,TC
PI=.3141592653589793
FAZ1=2*PI/3.
FAZ2=2*FAZ1
T=TO-INT(TO/(2*PI))
UA=TA*SIN(T)
UB=TB*SIN(T-FAZ1)
UC=TC*SIN(T-FAZ2)
SIFIR=(UA+UB+UC)/3
RETURN
END
SUBROUTINE ILETIM(YUK,TO,DT,TA,TB,TC)
DIMENSION DT(6)
INTEGER DT,TA,TB,TC,YUK
I1=0
I2=0
I3=0
PI=.3141592653589793
FAZ=2*PI/3
T=TO-INT(TO/(2*PI))
US=SIN(T)
USB=SIN(T-FAZ)
USC=SIN(T+2*FAZ)

IF(YUK.NE.1) GO TO 1

IF(TA.EQ.1) GO TO 72
IF((USA.GT.0.).AND.(DT(1).EQ.1)) TA=1
IF((USA.LT.0.).AND.(DT(4).EQ.1)) TA=1
72 IF(TB.EQ.1) GO TO 74
IF((USB.GT.0.).AND.(DT(2).EQ.1)) TB=1
IF((USB.LT.0.).AND.(DT(5).EQ.1)) TB=1
74 IF(TC.EQ.1) GO TO 8
IF((USC.GT.0.).AND.(DT(3).EQ.1)) TC=1
IF((USC.LT.0.).AND.(DT(6).EQ.1)) TC=1
GO TO 8

1 UAB=USA-USB
  UAC=USA-USC
  UBC=USB-USC

80 IF((TA*TB).EQ.2) GO TO 82
IF((UAB.GE.0.).AND.(DT(1).EQ.1).AND.(DT(5).EQ.1)) I1=1
IF((UAB.LT.0.).AND.(DT(4).EQ.1).AND.(DT(2).EQ.1)) I1=1
82 IF((TA+TC).EQ.2) GO TO 84
IF((UAC.GE.0.).AND.(DT(1).EQ.1).AND.(DT(6).EQ.1)) I2=1
IF((UAC.LT.0.).AND.(DT(4).EQ.1).AND.(DT(3).EQ.1)) I2=1
84 IF((TB+TC).EQ.2) GO TO 86
IF((UBC.GE.0.).AND.(DT(2).EQ.1).AND.(DT(6).EQ.1)) I3=1
IF((UBC.LT.0.).AND.(DT(5).EQ.1).AND.(DT(3).EQ.1)) I3=1

```

```
80 IF(I1) 81,81,83
83  A=1
   B=1
   I=0
81 IF(I2) 85,85,87
87  A=1
   C=1
   I=0
85 IF(I3) 6,6,88
88  B=1
   C=1
   I=0
6  RETURN
   END
```