

# Geçici Olayları Geliştirilmiş Saykıl-Seçme Metodu ile Tek-Fazlı Asenkron Motorların Hız Kontrolü\*

C. ARIKAN, A. UÇANTEKİN  
ODTÜ

## Ö Z E T

*Bu araştırmada tristörlü gerilim kontrol sistemleriyle tek fazlı asenkron motorların hız kontrolü incelenmiş ve mevcut sistemlerden daha iyi karakteristiğe sahip olan geliştirilmiş bir saykıl-seçme sistemi ortaya çıkarılmıştır.*

*Tek fazlı bir asenkron motorun değişik geri Hm kontrol sistemlerine, başlarken ve kararlı durumda, gösterdiği davranış önce bilgi sayarla daha sonra da özel olarak geliştirilmiş bir güç değiştirici ile deneysel olarak incelenmiştir. Teorik ve deneysel sonuçlar arasında iyi bir uyum elde edilmiştir.*

*Deneysel sonuçlar, geliştirilmiş saykıl-seçme sisteminin normal saykıl-seçme sisteminden daha iyi karakteristiğe sahip olduğunu ve az radyo frekans kısıtı meydana getirdiği için de faz-kontrolü metodu ile mukayese edilebilir durumda olduğunu göstermiştir.*

*Anahtar kelimeler: Gerilim kontrolü, motor hız kontrolü, saykıl-seçme.*

## S U M M A R Y

*in this research the speed control of a single-phase induction motor by thyristorized voltage control schemes has been investigated, and a modified cycle-selection system has been developed with better performance characteristics; than existing systems.*

*The start-up and steady-state performances of a single-phase induction motor has been investigated for different voltage control schemes first by a digital computer and then by experimental work using a specially designed converter. Good correlation between theoretical and practical results have been obtained.*

*The experimental results showed that the modified cycle-selection system gives better performance characteristics than the normal cycle-selection system and it is comparable to the phase-cont.'ol system with less radio frequency interference noise.*

## 1. GİRİŞ

Terminal gerilimini değiştirerek tek-fazlı asenkron motorların hız kontrolü birkaç yayında incelenmiştir.

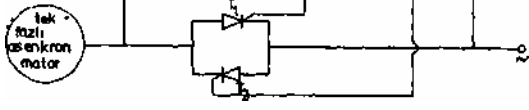
Asenkron motorların başlarken geçici olay performansı ve yeniden anahtarlama geçici olayları incelenmiş ve zıt paralel tristörler kullanan bir gerilim kontrol sistemi ile asenkron motorların kontrolü sırasında elde edilen bilgiler bir konferans makalesinde verilmiştir.

Bu yazıda, saykıl-seçme (SS) ve faz-kontrolü

\* Odamızın hazırladığı dizi teknik konferanslar serisinden 28 Aralık 1972 Perşembe günü saat 14'de Mimarlar Odası Konferans Salonu'nda verilmiştir.

(FK) işletme tarzlarını içme alan melez bir gerilim kontrol sistemi tartışılacak ve tek-fazlı asenkron bir motorun başlarken ve kararlı durumda iken, mümkün olan çeşitli gerilim kontrol sistemleri ile elde edilen geçici olay performansı verilecektir. Daha sonra, makinanın bilgi sayarla yapılan teorik analizinden faydalanılarak, saykıl-seçme işleme tarzı kullanan geliştirilmiş bir sistem tartışılıp deneysel sonuçlar verilecektir.

Gerilim değişimi ile kontrol edilen tek-fazlı asenkron motorun devre şekli bloklar halinde Şekil 1'de görülmektedir. Geliştirilen sistem motora uygulanan gerilimi SS, FK ve ikisinin karışımı olan merkez işleme tarzları ile kontrol etmeye yetenklidir. Böylece motorun hızını devamlı olarak veya basamak basamak değiştirme olanağı vardır.



Şekil 1.

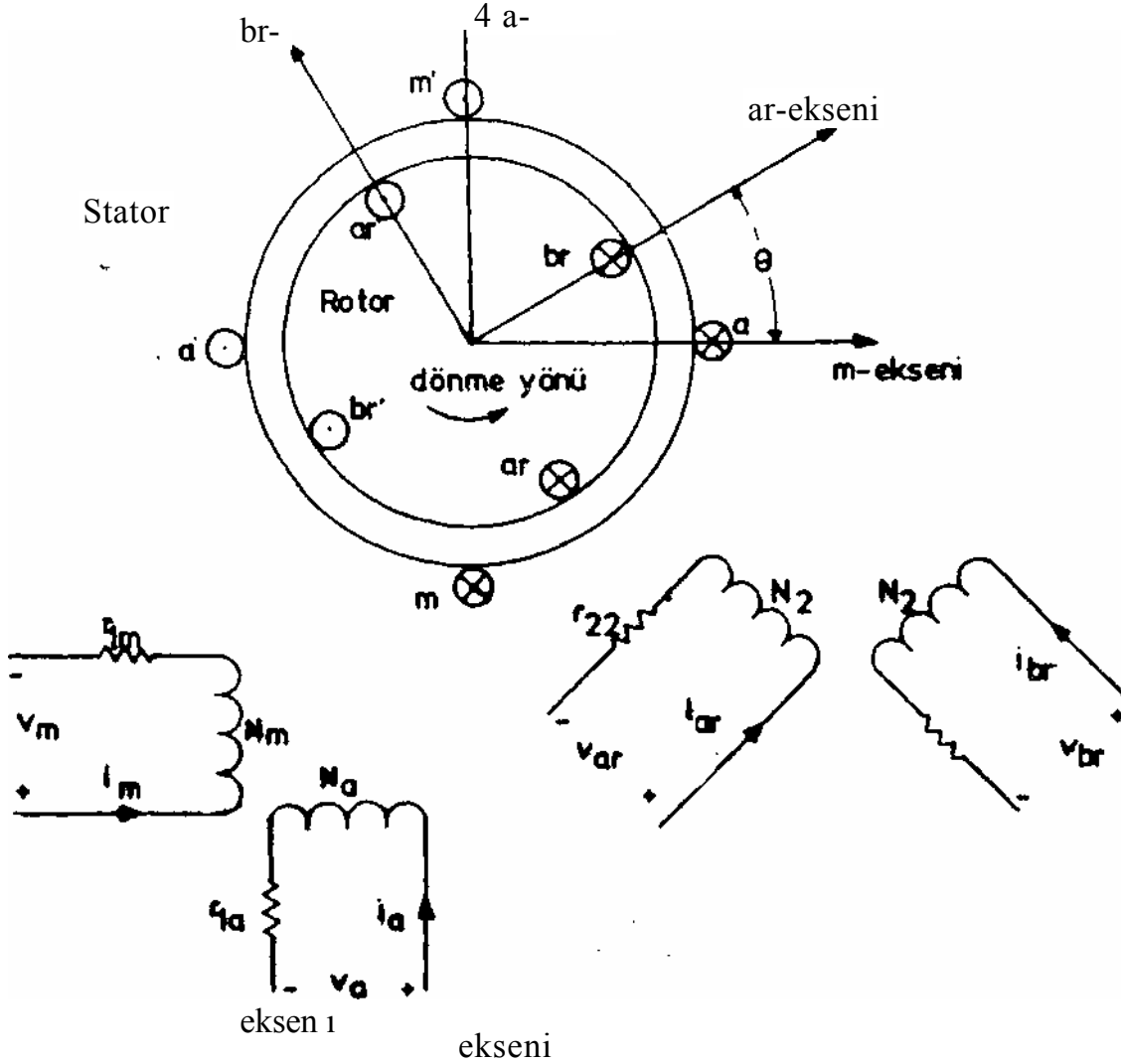
## 2. TEK-FAZLI ASENKRON MOTORLARIN MATEMATİKSEL İNCELENMESİ

Bilgi sayarların, asenkron motorların geçici olaylara gösterdiği davranışı incelemekteki rolü çok büyüktür. Bilgi sayarları kullanabilmek için de makinanın modelinin birkaç tek-fazlı asenkron motor tipini analiz edebilecek şekilde geliştirilmesi gerekmektedir.

2 fazlı asimetrik asenkron motorların teori ve işlenmesi birçok tek fazlı asenkron motorlara uygulanabilmektedir. Bundan dolayı, bu araştırmada 2 fazlı asenkron makinanın matematiksel modeli çıkarılmış ve çeşitli tek fazlı asenkron makinalara göre düzeltilmiştir. **2.1 Temel denklemler :**

Birbirinden aynı iki rotor sargısına sahip, fakat stator sargılan asimetrik olan 2 fazlı asenkron makinalar «asimetrik 2 fazlı asenkron makina» olarak adlandırılırlar. Bu tip makinaların analizinde genel olarak şu şartlar önceden kabul edilir.

- herbir stator sargısının uzayda sinusoidal bir mmf dalgası meydana getirecek şekilde dağılmış olması,
- rotor sargıları veya baralarını, herhangi bir sabit zamanda, mukabil stator mmf dalgası ile aynı sayıda kutup sayısına sahip bir mmf dalgası meydana getirecek şekilde düzenlenmiş olması,
- hava boşluğunun muntazam olması.
- manyetik devrenin (nüvenin) lineer olması.



Şekil 2. 2 fazlı, 2 kutuplu, asimetrik asenkron makina.

Stator sargılarının eksenleri (Şekil 2) birbirine diktir ve 'm' sargısı ve 'a' sargısı olarak isimlendirilmişlerdir. Rotor sargılarının eksenleri de birbirine diktir ve bu sargılar birbirinin aynıdır. Stator gerilim denklemleri şu şekilde yazılabilir:

$$V_m = P X_m + \dot{I}_m r_{1a} \quad (D)$$

$$V_a = P X_a + i_{a,r,a} \text{ Rotor gerilim} \quad (2)$$

denklemleri de

$$V_{ar} = P X_{ar} + \dot{I}_{ar} r_{1a} \quad (3)$$

$$V_{br} = P X_{br} + \dot{I}_{br} r_{1b} \quad (4)$$

Burada X belli bir sargıdan geçen toplam akı,  $r_{1m}$ ,  $r_{1a}$  ve  $r_{1b}$  sırası ile 'm' sargısı, 'a' sargısı ve rotor sargılarının rezistanslarıdır, p türev operatörü (d/dt)'dir.

Akı (X) denklemleri şu şekilde yazılabilir,  $X_m$   
 $= L_m i_m + M_{m2} \cos \theta \cdot i_a - M^{\wedge} \sin \theta \cdot i_{br}$  (5)

$$X_a = L_a i_a + M_{a2} \sin \theta \cdot i_{ar} + M_{a2} \cos \theta \cdot i_{br}$$

$$X_{br} = M_{m2} \sin \theta \cdot i_m + M_{a2} \cos \theta \cdot i_a - M^{\wedge} i_{br}$$

$$X_{br} = M_{m2} \sin \theta \cdot i_m + M_{a2} \cos \theta \cdot i_a - M^{\wedge} i_{br} \quad (6)$$

Burada :  $\theta = \omega t + \alpha$  (7)

$\theta$  = Elektriki radyan cinsinden ifade edilen stator ve rotor eksenleri arasındaki açısal sapma

$L_m$  = m sargısının şelf endüktansı

$L_a$  = a sargısının şelf endüktansı

$LZ$  = herbir rotor sargısının şelf endüktansı

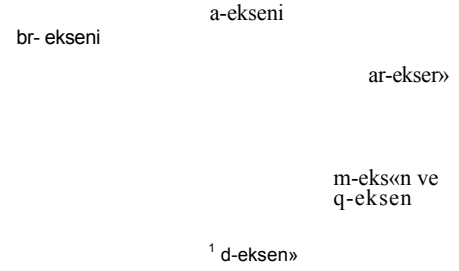
$M^{\wedge}$  = rotor sargılan ile m sargısı arasındaki karşılıklı endüktansın büyüklüğü

$M^{\wedge}$  = rotor sargılan ile a sargısı arasındaki karşılıklı endüktansın büyüklüğü

dürler

## 22 Değişkenlerin transferi :

Görülüyor ki, yukarıdaki denklemlerin katsayıları rotor pozisyonuna, dolayısı ile zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu durum denklemlerin çözümünü zorlaştırmaktadır. Fakat değişkenlerimizi statorda sabit referans eksenlerine (Şekil 3) transfer edersek bu durum ortadan kalkmakta ve basit denklemler karşımıza çıkmaktadır. Değişkenleri stotordaki sabit eksenlere aktaracak denklemler aşağıdaki gibi olabilir:



Şekil 3. 2 fazlı, 2 kutuplu asimetrik, asenkron motorun eksenleri.

Stator değişkenleri için

$$f_{qr} = f_{ar} \cos \theta - f_{br} \sin \theta \quad (9)$$

$$f_{dr} = -f_{ar} \sin \theta - f_{br} \cos \theta \quad (10)$$

Rotor değişkenleri için

$$f_{qr} = f_{ar} \cos \theta - f_{br} \sin \theta \quad (11)$$

$$f_{dr} = -f_{ar} \sin \theta - f_{br} \cos \theta \quad (12)$$

sıfır zamanında, keyfi olarak, m, ar ve q eksenlerinin çakıştığı kabul edilmiştir.

Burada f herhangi bir değişkeni temsil etmektedir (gerilim, akım v.b.) meselâ

$$V_{qs} = V_m \quad (13)$$

$$X_{qs} = X_m \quad (15)$$

(9)'dan (12)'ye kadar olan denklemleri kullanarak stator ve rotor gerilim ve akımdarı seçtiğimiz eksenlere aktarırsak aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$V_{qr} = P X_{qr} - X_{dr} P \theta + \dot{V}_{jr} = P X_{ds} + \quad (17)$$

$$X_{qr} P \theta + \dot{V}_{jr} = P X_{ds} + \quad (18)$$

$$X_{qr} P \theta + \dot{V}_{jr} = P X_{ds} + \quad (19)$$

$$X_{qr} P \theta + \dot{V}_{jr} = P X_{ds} + \quad (20)$$

$$X_{qs} = L_{\sigma} i_{qs} + M_{\sigma} i_{qr} \quad (21)$$

$$X_{ds} = L_{\sigma} i_{ds} + M_{\sigma} i_{dr} + M_{\sigma} i_{ps} + M_{\sigma} i_{ds} \quad (22)$$

$$X_{qr} = L_{\sigma} i_{qr} + M_{\sigma} i_{dr} + M_{\sigma} i_{ps} + M_{\sigma} i_{ds} \quad (23)$$

$$X_{dr} = L_{\sigma} i_{dr} + M_{\sigma} i_{qr} + M_{\sigma} i_{ps} + M_{\sigma} i_{ds} \quad (24)$$

Burada  $X_{qs}$  = L  $i_{qs}$  + M  $i_{qr}$  (21)  
 $X_{ds}$  = L  $i_{ds}$  + M  $i_{dr}$  + M  $i_{ps}$  + M  $i_{ds}$  (22)  
 $X_{qr}$  = L  $i_{qr}$  + M  $i_{dr}$  + M  $i_{ps}$  + M  $i_{ds}$  (23)  
 $X_{dr}$  = L  $i_{dr}$  + M  $i_{qr}$  + M  $i_{ps}$  + M  $i_{ds}$  (24)  
 stator sargılarına göre elde etmenin faydalıdır. Eğer makina simetrik olsa idi değişkenler herhangi bir stator sargısına göre hesaplanabilirdi. Asimetrik 2 fazlı asenkron makinada stator sargılarının sanm sayılan bir birine eşit değildir. Bu uygulamada q değişkenleri m sargısına, d değişkenleri ise a sargısına göre hesaplanacaktır. Bu bir tercih meselesidir

ve ortaya çıkacak olan denklemlerin kullanılmasını sınırlamaz. Eğer bütün q değişkenleri m sargısına ( $N_m$  sanm sayılı) ve bütün d değişkenleri a sargısına ( $N_a$  sanm sayılı) taşınacak olursa, gerilim denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$V_{dr} = P X_{dr} \quad (24)$$

$$ds \quad J T la \quad (25)$$

$$'''q_r = P X'q_r - X'_{dr} P \odot + \hat{m} i'_{dr} \quad (26)$$

$$\text{Burada} \quad r_{2m} i'_{dr} \quad (27)$$

$$r^*_{qs} \quad im^*_{q} \quad Mm \quad + i'_{dr} \quad (28)$$

$$X_{dr} - \quad (29)$$

$$N \quad (i_{qt} + i'_{qr}) \quad (30)$$

$$-N \quad (I_{QS} + i'_{dr}) \quad (31)$$

Yukarıdaki denklemlerde  $L_{lmq}$  'm' sargısının kaçak endüktansı,  $L_{laq}$  'a' sargısının kaçak endüktansı ve  $N_2$  rotor sargılanm sanm sayısıdır.

$$\quad (32)$$

$$\quad (33)$$

$$\begin{matrix} dr & i'd \\ (L_{lm} + L_{Mm}) P O \\ L_{Mm} P O & (L_{la} + \hat{a}) P + L_{la} \\ N & H \sim N - - \\ P \odot & (\hat{m} + N \end{matrix}$$

Ani elektromanyetik dönme momenti için bir ifade yukarıdaki matristen (42) elde edilebilir:

$$T = [i]' [G] [i] \quad (43)$$

Burada G matrisi 42 nolu matrisin sadece

Aşağıdaki denklemler, 24'den 31'e kadar olan denklemlerde statora taşınan değişkenleri tarif etmektedir.

$$V_{ar} = - \hat{a} - v_{ar} \quad (34)$$

$$*'_{\ll} = \sim \hat{a} - \nabla \quad (35)$$

$$r_{2m} - \cdot )^2 r_a \quad (36)$$

$$L_{zm} = -Z T \sim V L B \quad (37)$$

$$i'_{dr} = \begin{matrix} N_2 \\ N_2 \\ N_2 \end{matrix} \quad (39) (40) (41)$$

Burada, LJJ rotor sargılanmı N kaçak endüktan-sidir.

Eğer 28'den 31'e kadar olan denklemler 24'den 27'ye kadar olan denklemlerde yerlerine konup matris halinde yazılırsa, gerilim denklemleri aşağıdaki şekli alır:

( $p^{\otimes}$ ) ihtiva eden terimlerini alarak kurulur,  $t$  bir matrisin transpose'unu ve  $p^{\otimes}_m$ 'de mekanik şaft hızını göstermektedir. Eğer  $P$  kutup sayısı ise ( $p^{\otimes} = Pp^{\otimes}_m/2$  olduğunu bilerek) denklem 43'ü kullanarak.

$$\begin{array}{c}
 \tau = \\
 \left[ \begin{array}{ccc}
 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 \\
 0 & \mathbf{N T}^{\wedge} & 0
 \end{array} \right] + \frac{N_a}{N_m} \mathbf{L M}^* \begin{array}{c} N \\ N_m \end{array} + \text{dr}
 \end{array}$$

' Matris çarpmalarını yaparak

Aqs

qr]

$$\_ i'dr] i'qr' \quad (44)$$

elde edilir.

ideal bir asimetrik 2 fazlı asenkron makinanın geçici ve kararlı durum karakteristiği 42'inci ve 44'üncü denklemler vasıtası ile tasvir edilebilir. Tam bir dinamik analizi ise elektromanyetik moment, yük momenti ve hız arasında bir bağıntı kurarak yapılabilir.

### 2.3 Tek fazlı asenkron makinenin denklemleri:

2 fazlı asenkron makina denklemleri hiçbir özel uygulama düşünülmeden çıkarılmıştır. Fakat 2 fazlı asimetrik asenkron makineler esas olarak tek fazlı makina uygulamalarında kullanılırlar. Dolayısı ile, m sargısı ana sargı, a sargısını da yardımcı sargı olarak düşünürsek, çıkarılan denklemleri düzelterek birkaç tip tek fazlı asenkron makina uygulamak mümkündür.

#### 2.3.1 Tek fazlı stator sargısı kullanan asenkron makina:

Tek fazlı asenkron makinaı temsil eden denklemler önceki yolu kullanarak çıkarılabilir veya asimetrik 2 fazlı makina için çıkarılan (24)' den (31)'e kadar yazılmış olan denklemlerden bütün ds değişkenlerini yok ederek ve bütün değişgenleri 'm' sargısına taşıyarak doğrudan elde edilebilirler.

Tek fazlı asenkron makina için aşağıdaki gerilim denklemleri elde edilir:

$$= \mathbf{P X}_{qs} \quad (45)$$

$$\mathbf{V}_{qs} = \mathbf{I}_m \quad (46)$$

$$\mathbf{V}'_{qr} = \mathbf{P X}'_{qr} - \mathbf{X}''_{dr} \mathbf{P} \mathbf{0} + \mathbf{I}$$

$$\mathbf{V}''_{dr} = \mathbf{P X}''_{dr} + \mathbf{X}''_{qr} \mathbf{P} \mathbf{0} + \text{dr} \quad (47)$$

burada •

$$X_{ar} - X''_{dr} = \dots \quad (49)$$

Yukarıdaki denklemlerde iki üssü (") ana sargıya (m sargısına) taşınan d değişkenleri için kullanılmıştır. Böylece,

$$v''_{dr} = \frac{N_m}{N_a} v'_{dr} \quad (51) \quad (52)$$

$$\text{Bu } i''_{dr} = \frac{N_a}{N_m} i'_{dr}$$

$$\lambda''_{dr} = \frac{N_m}{N_a} \dots$$

halde elektromanyetik moment denklemi P

$$T = (\text{Var } i''_{dr} - X''_{dr} i'_{dr}) \quad (54)$$

olur. X'lan yerine koyarsak P

$$T = \dots \quad (55)$$

olur.

Eğer motor hali incelenecekse, rotor sargılarının kısa devre yapılması lâzımdır. Dolayısı ile

$$v_{qr}^* = v'_{qr} = 0 \quad (56)$$

(57)

olur. Burada  $v_m$  makinanın ana sargısına uygulanan hakiki kaynak gerilimidir.

2.3.2 Kondansatör başlatmalı ve kondansatör başlatmalı, kondansatör işlemeli tek fazlı asenkron motorlar:

Yardımcı sargıya seri olarak bağlı bir kondansatörle aşağıdaki denklemler  $v'_a = v$  yazılabilir.

$$\text{Burada } v_n = R_c i. + \dots i. \quad (58) \quad (59)$$

Yukandaki denklemlerde  $v_c =$  kondansatörün üzerindeki gerilim  $v'_a =$  seri bağh olan kondansatörle yardımcı •• sargıya uygulanan gerilim

$R_c$  = kondansatörün rezistansı  $X_0$

= kondansatörün reaktansı

$W_c$  = nominal frekansa tekabül eden elektrikî açısal hız  
-  $v$ ,

$$v_{ds} \quad (60)$$

olduğu için ve eğer

$$v'_{ds} = v' \quad (62)$$

ise  $v_{ds}$  gerilimi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$(63) \quad W_e X_c; \quad v'_{ds}$$

Kondansatör başlatmalı asenkron motorun bilgi sayar modeli denklem (63)'ü asimetrik 2 fazlı asenkron makina için çıkarılan denklemlerle birlikte kullanarak elde edilir. Motor işlemesi incelenecekse rotor sargılan kısa devredir.

Dolayısı ile,

$$v'_{dr} = v'_{gr} = 0 \quad (64) (65)$$

$v'_{ds} = v'_{ds} = v'_m$  Görülüyor ki kondansatör modelde direk olarak girmektedir. Bunun için, değeri, transfer denklemler; kullanılmadan istenildiği gibi değiştirilebilir.

Yardımcı sargının belli bir hızdan sonra gerilim kaynağından açılmasını bölüm (2.3.1)'de özetlenen metodları kullanarak simule edebiliriz.

Kondansatör başlatmalı - kondansatör yol almalı asenkron motorların bilgi sayar modeli ise kondansatör değerinin belli bir hızdan sonra değiştirilmesi ile elde edilir. Görüldüğü gibi önce 2 fazlı asimetrik asenkron bir motorun geçici ve kararlı durumunu tasvir eden denklemler çıkarılmış ve sonradan çeşitli tek fazlı asenkron motor işleme tarzlarına göre bu denklemler düzeltilmiştir. Çıkarılan denklemler ve moment, açısal sapma (©) ve yük momenti ile ilişki kuran

$$T = dt^* + T_L \quad (66)$$

denklemini kullanarak makinanın bütün dinamik karakteri tasvir edilmiş olur. Yukarıdaki denklemde J yük ve rotorun toplam ataleti ve P kutup sayısıdır.

Bahsedilen, bir veya iki stator sargısının açılmasını temsil edecek olan metodla da, devamlı olmayan stator gerilimlerinde (saykıl seçme işleme tarzında olduğu gibi) makinanın performansının incelenmesinin kolaylıkla yapılacağı görülmektedir.

### 3. SAYKIL — SEÇME METODUNUN TEK FAZLI ASENKRON MOTORLARA UYGULANMASI

Asenkron motorların teorisinden meydana gelen dönme momentinin, yaklaşık olarak, statora uygulanan gerilimin karesi ile orantılı olduğunu biliyoruz. Dolayısı ile terminal gerilimini değiştirerek moment-mz karakteristiğini değiş, tirmek ve yükün tabiatına bağlı olarak hızı değiştirmek mümkündür. Saykıl seçme metodu kullanılmış ise hız alınan saykıl sayısının (N) bir periyottaki saykıl sayısına (T) bölümü ile orantılıdır (N/T).

#### 3.1 Motorun teorik incelenmesi:

Kondansatör başlatmalı asenkron bir motor önce normal bir sinüsoidal gerilim uygulayarak daha sonra da saykıl-seçme metodu ile elde edilen gerilim uygulanarak incelenmiştir.

Teorik sonuçlar, genel olarak çıkarılmış olan 42. ve 44. denklemleri kondansatör başlatmalı motor için çıkarılan 58'den 65'e kadar olan denklemlerde ve 66. denklemle birlikte kullanıp bilgi sayarla çözerek elde edilmiştir (Şekil 4 ve 5).

Elde edilen teorik sonuçlara göre, normal bir sinüsoidal dalga uygulandığı zaman, motor yumuşak bir şekilde başlamaktadır. Momentin darbeler halinde olduğu fakat işleme hızına yakın hızlarda negatif değerlere geçse bile (motor yüksüz olduğu için, net momentin sıfır olması için böyle olması lâzım) derin negatif momentlerin bulunmadığı görülmüştür. Bundan dolayı ivme çoğu zaman pozitif olmakta ve motor kararlı işleme hızına çabucak ulaşmaktadır.

Yapılan analiz saykıl-seçilmiş dalga şeklinin her periyodunun başlangıcında motor akımlarında geçici olayların meydana geldiğini göstermiştir. Tristörler bu şekilde (gerilimin sıfır olduğu yerlerde) ateşlendiği zaman lineer bir endüktif yük üzerinden geçen akımı hesaplırsak (i(0) = 0 için)

$$i(t) = \frac{V_m}{Z} \left[ \sin(\omega t) - \sin Q \cdot e^{-\frac{t}{L/R}} \right] \quad (67)$$

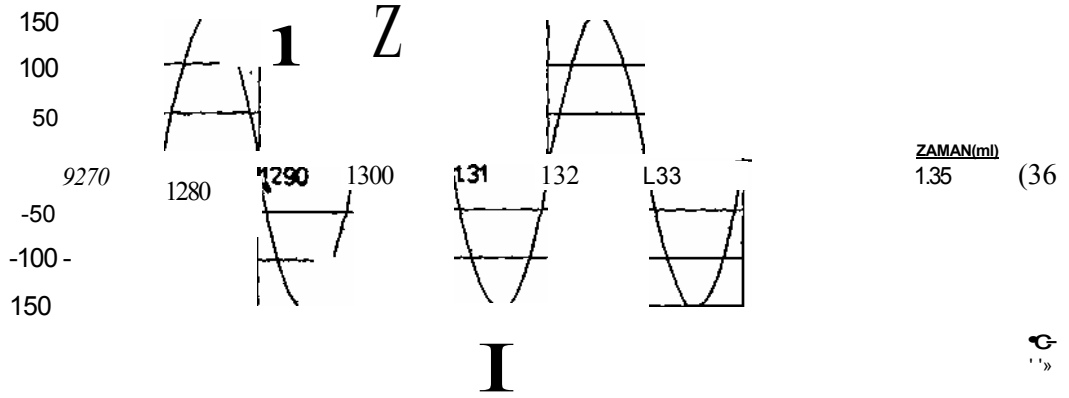
bulunur. Burada  $V_m$  giriş geriliminin genliği, Z yük empedansı, R ve L de, sırası ile, yükün faz açısı, rezistansı ve endüktansdır. Şüphesiz, asenkron motor lineer bir yük değildir, fakat hız sabit olduğu zaman, yaklaşık olarak, lineer kabul edilebilir ve bu denklem meydana gelebilecek akım geçici olayları hakkında bilgi verebilir.



Motorun meydana getirdiği moment akımlara bağlı olduğu için saykıl-seçilmiş dalga ile yapılan teorik incelemede, bilhassa yardımcı sargı açıldıktan sonra büyük negatif moment geçici olaylarının meydana geldiği görülmüştür. Moment negatif olduğu zaman dönme yönüne zıt olduğu için motor yavaşlamaktadır. Sonuç olarak motorun hızlanması, normal sinusoidal

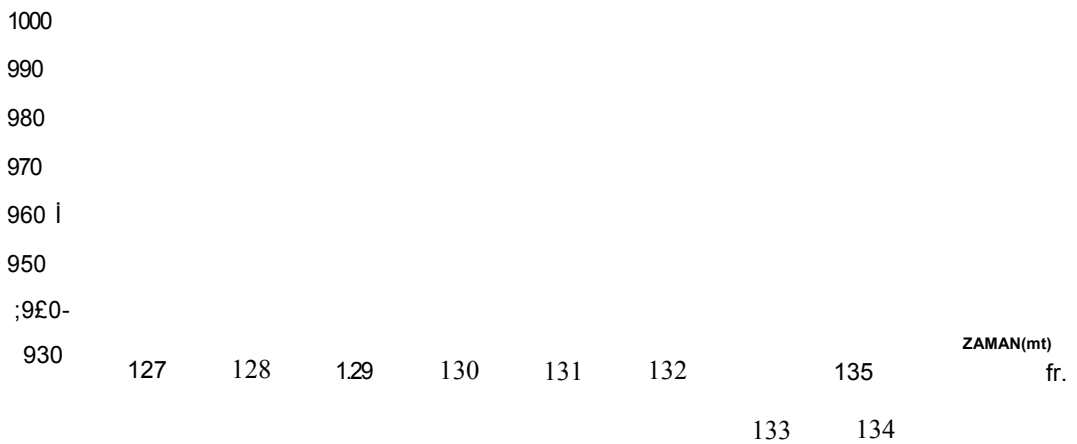
dalga ile mukayese edildiğinde, çok daha uzun zaman almaktadır.

Rotor ataleti yeteri kadar büyük olduğu için, gerilim olmadığı zamanlarda, motorun hızının esas olarak değişmediği görülmektedir, ki bu da saykıl - seçme metodunun asenkron motorlara uygulanabileceğini göstermektedir.

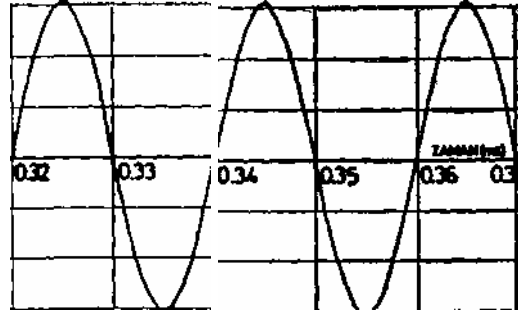
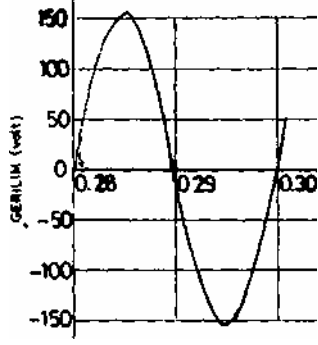


z	/	\	/	-			
10	/	\	/	\	/ x	\	ZAMAN Ont)
1		AAA		\	/	\	/
0				VV		w	

			r1		A	A	
		A	/ ^	w	/ \	/	ZAMANtm)
u	\	/	U		/		
5 E	\	/					
1-5	\	/					
10							
-11							

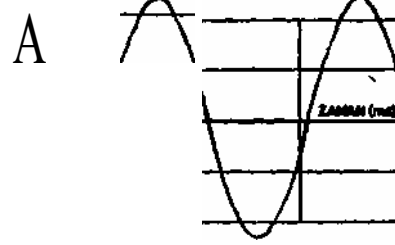


Şekil 4. 3/41ük saykıl seçilmiş dalga uygulanarak tek fazlı, kondansatör başlatmalı, 4 kutuplu asenkron motorun bilgi sayarla elde edilen analiz sonuçlarının bir kısmı (yardımcı sargı açıldıktan sonra).



o/s

2C  
TA  
-C  
-20



						$\frac{1}{\Delta S}$		
$\frac{1}{\Delta S}$	$\frac{1}{\Delta S}$	$\frac{1}{\Delta S}$	$\frac{1}{\Delta S}$	$\frac{1}{\Delta S}$	$\frac{1}{\Delta S}$	$\frac{1}{\Delta S}$	$\frac{1}{\Delta S}$	$\frac{1}{\Delta S}$

75C700  
650  
§ 600 —  
S 550-

45C  
100  
028 029 0.31 0.32 0.33 0.34 0.35 036 ar  
ZAMAN (m)

Şekil 5. 3/41ük saykıl-seçimnlş dalga uygulanılarak tek fazlı, kondansatör başlatmalı, 4 kutuplu asenkron motorun bilgi sayarla elde edilen analiz sonuçlarının bir kısmı (yardımcı sargı açılmadan).

### 3.2 Deneysel sonuçlar:

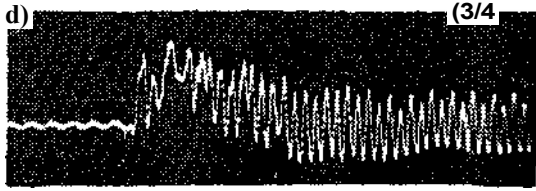
Deneyler 230 V, 0,9 A tek fazlı bir asenkron motorla yapılmıştır. Tristörleri tetikleyen devre

hem saykıl-seçme hem de faz-kontrolü içki darbe meydana getirebildiği için, her işleme tarzı için başlarken ve kararlı durumda iken motor test edilebilmiştir.

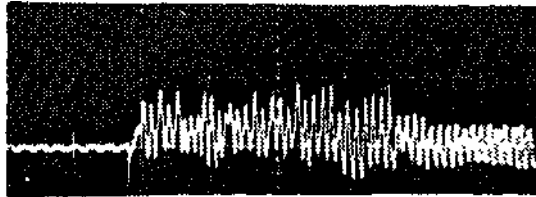
### 3.2.1 Yüksüz başlama performansı:

Başlarken ve kararlı durumda iken normal sinusoidal dalga, faz kontrolü ve saykıl-seçme işleme tarzları ile elde edilen moment/zaman osilogramları Şekil 6'da görülmektedir. Metodların birbiri ile mukayese edebilmek için bütün osilogramlar terminal gerilimini 197 V'a indirerek alınmıştır.

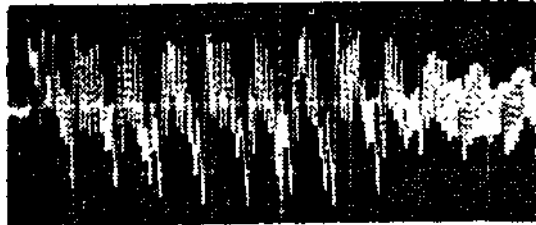
Normal süsoidal dalga ile başlama çok yumuşaktır. Şekil 6a'dan da görüldüğü gibi, stator gerilimi normal sinüs olduğu için, moment/zaman karakteristiği darbeler halinde fakat büyük negatif veya pozitif moment tepeleri yoktur. Dolayısı ile makina oldukça sessiz ve hızlanma muntazamdır. Başlama zamanı 175 ms olarak ölçülmüştür.



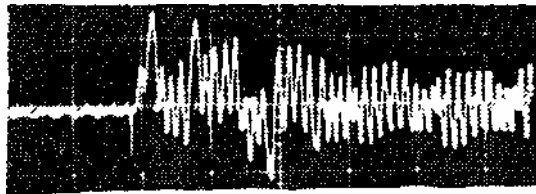
a) Sinusoidal dalga, 197 V, 50 ms/blrim.



b) Faz kontrolü, 197 V, ( $\alpha = 98^\circ$ ), 50 ms/blrim.



c) Saykıl - seçme, 197 V, (3/4 seçim, 100 ms/birim).



Geliştirilmiş saykıl - seçme, çim), 50 ms/blrim.

Şekil 6. Tek fazlı, 230 V, Alik asenkron bir motorun yüksüz moment/zaman osilogramları.

Şekil 6b'de de faz kontrolü işleme tarzı ile elde edilen moment/zaman osilogramı görülmektedir. Bu osilogram 197 V'a karşı gelen  $\alpha = 98^\circ$  için alınmıştır. Şekilden görüldüğü gibi moment dalgalanmaları oldukça muntazam ve hemen hemen her zaman negatif geçmektedir. Hızlandırıcı moment bir önceki halden daha azdır. Moment negatif olduğu zaman makina yavaşladığı için başlama zamanı normal sinüsle elde edilen zamandan daha uzundur ve 225 ms olarak ölçülmüştür.

Faz kontrolü işleme tarzında gecikme açısı «'nın büyük değerleri için başlama çok yavaş olmakta ve  $\alpha^{max}$  belli bir değerinden sonra motor dönememektedir.

Şekil 6c'de görülen moment/zaman osilogramı, terminal gerilimi olarak saykıl-seçme metodu ile 3/4 seçimlik bir dalga şekli uygulanarak elde edilmiştir. Bu şekilde görülen moment geçici olayları, akımlardaki geçici olaylardan meydana gelmektedir ki bunlar da, makina endük-tif bir yük olduğu için, tristörlerin her periyodun başında gerilimin sıfır olduğu noktada ateşlenmesinden meydana gelmektedir. Sonuç olarak çok derin negatif momentler meydana gelmekte ve bunun için başlama zamanı 650 ms gibi bir zaman almaktadır ki, diğer metodlarla mukayese edildiğinde çok uzundur. Büyük moment dalgalanmalarından dolayı makina gürültülüdür ve kısa zaman ısınmaktadır.

2/4 ve 1/4 seçimlerle yapılan deneylerde, şiddetli akım (dolayısı ile moment) geçici olaylardan, motorun hızlanmadığı veya hiç dönmediği tesbit edilmiştir.

### 322 Yüklü başlama ve kararlı durum performansı:

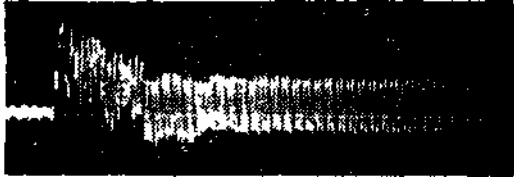
Başlarken ve kararlı durumda, motor yüklendiği zaman elde edilen moment/zaman osilogramları daha önce sunulan gerilim kontrol tarzları için Şekil 7'de görülmektedir.

Şekil 7'den de görüldüğü gibi, normal sinusoidal dalga, faz-kontrolü ve saykıl-seçme işleme tarzları ile başlama zamanları belirgin bir şekilde, sırasıyla, 290, 450 ve 600 ms'ye yükselmiştir.

Normal sinusoidal dalga ile motor yumuşak bir şekilde kalkmaktadır.

Faz kontrolü işleme tarzında, yüksüz başlama ile mukayese edildiğinde, motor a'nın daha küçük bir değerinden sonra hız alamamaktadır. Saykıl-seçme işleme tarzında ise motor çok gürültülüdür. Şiddetli moment dalgalanmalarından hızlanma çok yavaştır: Motor kısa zaman-

da ısınmakta, dolayısı ile devamlı işleme sağlanamamaktadır. Motor ,ağır yüklerle, 3/4 seçim ile dahi kalkmamaktadır.



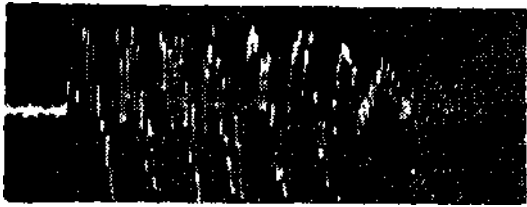
a) Sinusoidal dalga, 197V, 100 ms/bırlm.



b) Faz kontrolü, 197 V, 100 ms/blrlm.



c) Saykü - seçme, 197 V, (3/4 seçim), 100 ma/birim.



d) Geliştirilmiş saykü - seçme, 197 V (3/4 seçim), 100 ms/blrlm.

Şekil 7. Tek fazu, 230 V, 0,9 Allk asenkron bir motorun yüklü moment/zaman osüog. ramları.

Kararlı dorumda, normal sinusoidal dalga ve fazkontrolu işleme tarzlarında moment dalgalanmaları muntazam ve motor oldukça sessizdir. Saykıl-seçme işleme tarzında ise moment dalgalanmalarından motor yine gürültülüdür.

### 3.3 Geliştirilmiş saykıl-seçme (GSS) işleme tarzı:

Yukarıdaki sonuçlardan da anlaşılabilceği gibi, büyük geçici olaylardan dolayı, saykıl-seçme

işleme tarzı elverişli olarak tek fazlı asenkron motorlara uygulanamamaktadır. Bunun için, araştırma bu geçici olayları yok etmeye yöneltmiş ve geliştirilmiş bir saykıl-seçme işleme tarzı ortaya çıkarılmıştır.

Denklem 67'den görüldüğü gibi tristörler gerilimin sıfır olduğu noktalarda ateşlendikleri zaman akım geçici olayları meydana gelmektedir. Akımın tepe değeri de yükün faz açısına bağlı olmaktadır.

Genel olarak, eğer giriş gerilimi  $a$  gibi bir gecikmeden sonra yüke bağlanırsa [yani  $v = V_m \sin(\omega t + a)$ ] 67. denklem aşağıdaki gibi [ $i(0) = 0$  için] yeniden çıkarılabilir:

$$i(t) = \left[ \sin(\omega t + a - \phi) + \sin(\phi - a) \cdot e^{-\lambda t} \right] \quad (68)$$

GSS için temel fikir 68. denklemde yatmaktadır. Eğer giriş gerilimi, tristörleri  $\phi$  gibi yükün faz açısına eşit açıda ( $a = 0$ ) ateşleyerek yüke bağlanacak olursa, 68. denklemdeki eksponansiyel terim sıfır olmakta, dolayısı ile yük akımı geçici olay meydana getirmeden normal bir sinusoidal dalga olmaktadır.

GSS işleme tarzında, tristörlerin her işleme periyodunun sonunda, yükün faz-açısı ölçülmekte ve gelecek saykılın başında tristörler bu açıya eşit açıda ateşlenmektedirler. Motor lineer büyük olmadığı için, hız değişikçe güç faktörü dolayısı ile faz açısı değişmektedir. Bunun için tetikleme devresinin, dışardan herhangi bir ayarlama istemeden, otomatik olarak, her istenilen anda, faz açısını ölçebilecek kapasitede olması lâzımdır. Böyle bir devre ile kararlı durumda olduğu kadar başlarken de hiç akım geçici olay meydana getirmemek mümkündür.

Gerilim olmadığı zamanlarda motorun hızı esas olarak değişmemektedir. Dolayısı ile bu bölgelerde motoru Uneer olarak kabul etmek mümkündür. Eğer rotor ataleti yeteri derecede yüksek ve motor aşın yüklü değilse, tristörlerin işleme periyodunun sonunda ölçülen faz açısının gelecek saykılın başında kullanılabilceği ortaya çıkmaktadır. Makinanın bu özelliğinden faydalanarak GSS sisteminin tesirli olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

### 3.3.1 GSS -sistemi ile başlama ve kararlı durum performansı:

GSS işleme tarzı ile elde edilen, yüksüz ve yüklü iken, moment/zaman osilogramları Şekil 6d ve 7d'de görülmektedir.

GSS sistemi ile elde edilen moment/zaman osilogramlarından da görüldüğü gibi akım geçici olayları olmadığı için moment geçici olayları da büyük ölçüde azalmıştır. Negatif moment değerleri normal saykıl-seçme sistemine göre çok azalmış olduğu için motor kısa zamanda hızlanmaktadır. Başlama yumuşak bir şekilde olmaktadır ve kararlı bir hıza erişme süresi 250 ms olarak ölçülmüştür. Motor saykıl-seçme sistemine göre hem başlarken hem de kararlı durumda, çok daha sessiz olarak çalışmaktadır.

GSS sistemi diğer sistemlerle mukayese edilebilir bir durumdadır. En büyük avantajı ise faz kontrolü işleme tarzında meydana gelen radyo frekans karışımı bu methodda çok düşük bir seviyededir.

#### 4. SONUÇ

Ortaya çıkan sonuçları şöyle sıralayabiliriz:

a) Saykıl-seçme işleme tarzı, radyo frekans karışımı çok düşük olmasına rağmen, meydana gelen geçici olaylardan dolayı motor uygulamalarına elverişli değildir.

b) Faz kontrolü işleme tarzında, gerilim sıfır ile elde edilebilen en yüksek değer arasında muntazam olarak değiştirilebileceği için, motorun hızı, yük ve motorun karakteristiğine bağlı olarak, muntazam bir şekilde değiştirilebilir. Moment dalgalanmaları aşırı negatif değerlere ulaşmadığı için başlama zamanı oldukça kısa ve motor sessiz kabul edilebilir. Bu methodun en büyük dezavantajı radyo frekans karışımı meydana getirmesidir, ki bazı uygulamalarda önemli olabilir. Bu durumda çıkışa filtre devreleri koymak gerekir. Bu method için oldukça basit tetikleme devreleri yapılabilir.

c) GSS işleme tarzında ise negatif momentlerin büyüklüğü saykıl-seçme sistemine göre büyük ölçüde azaldığı için, başlama zamanı faz kontrolü ile elde edilene çok yakındır. Makina saykıl-seçme işleme tarzına göre çok daha sessizdir. Motorun performansı, biraz daha yüksek olan moment dalgalanmaları hariç, faz kontrolü işleme tarzına çok yakındır. Bu methodda radyo frekans karışımı faz kontrolü işleme tarzına göre çok daha azdır.

GSS işleme tarzının tek dezavantajı belirli sayıda terminal gerilimlerinin elde edilebilmesidir ki bu da motoru ancak belirli birkaç hızda işletebileceğimiz! ortaya çıkarır. Bu işleme tarzında tristör tetikleme devresi oldukça karışıktır.

Sonuç olarak faz kontrolü ve GSS işleme tarzları tek fazlı asenkron motor uygulamalarında, yerine göre, elverişli bir şekilde kullanılabilirler.

#### KAYNAKLAR

1. *G. S. Brosan, J. T. Hayden* : «Advanced Electrical Power and Machines», Pitman, 1966.
2. *D. W. Borst, E. J. Diebold, F. W. Parish* : «Voltage Control by Means of Power Thyristors», IEEE Trans, on Industry and General Applications, V IGA-2, n. 2, Mar/Apr., 1966, p. 102.
3. *W. Shepherd, J. Stanway* : «The Silicon Controlled Rectifier a-c Switch for the Control of Single-Phase Series and Transformer Coupled Loads», 1964 Internat'l Conv. Rec., pt. 4, p. 155-163.
4. *W. Shepherd* ; «Steady-State Analysis of the Series Resistance-Inductance Circuit Controlled by Silicon Controlled Rectifiers», 1965 Internat'l Conv. Rec., pt. 8, p. 183-193.
5. *D. Cooper* : «SCR's and Triacs», Electronics World, Vol. 80, n. 2, August, 1968, p. 25.
6. *J. S. C. Htsui, W. Shepherd* : «Starting and Steady-State Torques and Currents in a Thyristor Controlled, Two-Phase Induction Motor», Electrical Machines and Seventies, a Conference Held in Dundee, 1<sup>st</sup> -S-\* July 1970, paper n. 32-1.
7. *P. C. Krause* : «Simulation of Unsymmetrical 2-Phase Induction Machines», Trans. IEEE, Vol- PAS-84, no. 11, Nov. 1964, p. 1025.
8. *I. R. Smith, S. Sriharan* : «Induction-Motor Reswitching Transients», PROC. IEE, Vol. 114, No. 4, April 1967.
9. *C. Arıkan, A. Uçantekin* : «Speed Control of Single-Phase Induction Motor Employing Cycle-Selection With Improved Transient Performance», IEE 'Variable Speed Drives' Conference Report, 1972, p. 249.
10. *A. Uçantekin* : «Tristörlerle AA'da gerilim kontrolü», Elektrik Mühendisliği, Ağustos 1972, C. 16, S. 188, s. 59.