

# Çıkık Kutuplu Fırçasız Motorların Yol Verme Devreleri

Yazan :  
Julian RICHARDSON  
ODTÜ

## ÖZET

Bu yazı, alan sargısına paralel ve salta tesbit edilmiş döner doğrultkanlar bağlanmış çıkık kutuplu fırçasız motorların ilk hareket problemlerini incelemektedir. Alan sargısının bir doğrultkan ile doğrudan doğruya Vcisa devre /edildiği hallerde alan devresi akımının doğru akım bileşeni düşük hızlarda büyük jenerasyon momentleri yaratır ve motor hareket etmez. Alan devresine sokulan dirençler, kontrollü doğrultkanlar ile yapılan anahtarlama devreleri ve lineer olmayan paralel dirençler dahil olmak üzere, ilk hareket performansını düzeltmek için rotor devresinde çeşitli değişiklikler yazının konusu arasındadır. Çeşitli büyüklükteki fırçasız motorlara, uygulanabilir deney sonuçları verilmektedir.

## SUMMARY

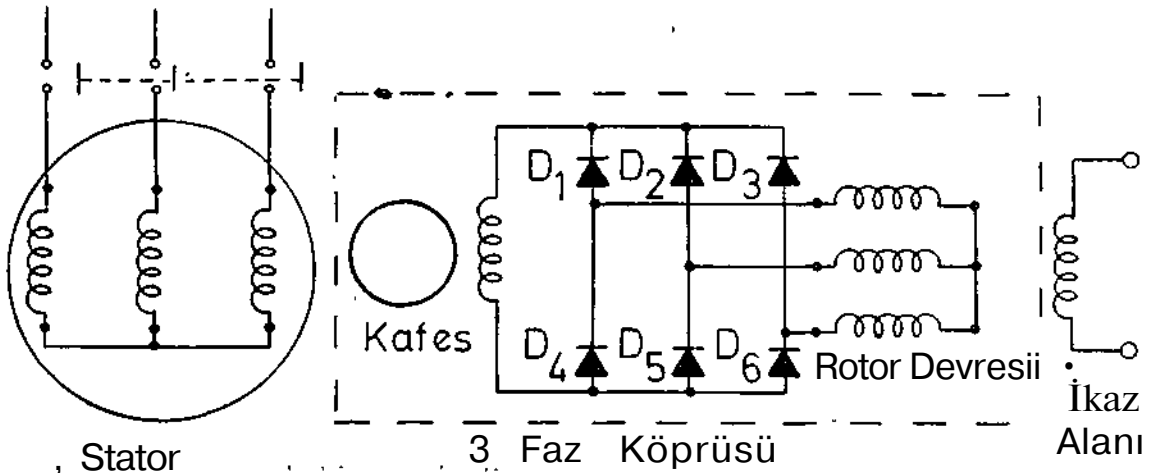
This paper considers the problem of starting brushless salient-pole motors which have shaft-mounted rotating rectifiers connected across their field. in the case where the field winding is directly short-circuited by a redifler, the d.c component of field-circuit current produces a large generating torque at low speeds, and the motor will not start. Varians of the rotor circuit designed to improve the starting performance are presented, including the addition of field resistors, thyristor switching circuit's and non-linear shunt resistors. Practical are given for these systems, each of which may find application in brushless motors of various sizes.

## Giriş

Son yıllarda yan iletkenlerin günlerindeki artığı, dönen armatürlü değişken akım tahrik makinalı ve gafta takılı ana alan akımını sağlayan doğrultkan sistemli fırçasız senkron makinaların hızla gelişimini sağladı. Bu tür makinalar 60 MW'a kadar hatta daha büyük güçlerde dalü imâl edilmektedir [1], Akım toplama sorunları çözümlendiği için sincap kafes endüksiyon motorlarıyla hemen eşdeğer bir güvenilirlikle de elde edilebilmektedir [2]. Alan sargısına toağU doğrultkanlar yüzünden makinanın ilk harekete geçirilmesi sırasında ortaya çıkan zararlı olaylara rağmen maklnaya başarılı

bir ilk hareket vermek gerektiği için (fırçasız senkron motorların) belirtilen büyüklükteki güçlere geliştirilmes. bazı yeni problemleri de ortaya çıkarmaktadır. Bundan dolayı; bu tür problemleri yenmek üzere özel devreler yapılmıştır [3-5].

Çoğunlukla kullanılan tahrik devresi Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu tip fırçasız senkron motorlarda, endüksiyon motor prensibi ile ilk hareket vermek, alan sargısındaki akımın sinüsoidal olmaması nodeni ile bazı pratik sorunlar yaratmaktadır. Meselâ, alan sargısının bir diyot ile kısa devre edildiği hallerde alan devresinin doğru akım bileşeni düşük hızlarda sta-



Şekil 1. İkaz devresi.

tor sargılarında alçak frekanslı akımlar yaratır. Böylece motorun hareket etmesine engel yeterince yüksek, ters yönlü foir moment meydana gelir. Yazı, bu sistemin kararlı asenkron çalınma durumunun bir analizinin sonuçlarını ve başarılı bir ilk hareket sağlayabilmek için yapılması gereken birkaç pratik değişikliği sunmaktadır. Bunlar alan devresine kontrollü yarı iletken doğrultkan (tırıstor) devrelerini, seri paralel ve llinear olmayan dirençlerinin ilâvesini içermektedir. Moment yaratmaktaki öneminden dolayı alan akım şeklinin gerçek tabiatını tesbit etmek için, hem teorik çalışmalara hem deneysel araştırmalara özellikle dikkat edilmiştir.

#### Yol Vermo Devreleri

İlk olarak Şekil 1'de gösterilen esas devre gözönüne alınacaktır. Tahrik edici ikaz edilmiştir; doğrultkan (redresör), Şekil 2'a da gösterildiği gibi alan sargısına paralel bağlanmış tek bir diyot olarak kabul edilebilir. Doğrultkanın (redresör) devrede olması sonucu, alan devresinde tesirle doğan kayma - frekans gerilimi (slip - frequency voltage) ilk hareket anında, Şekil 3'de görüldüğü gibi tek yönlü bir akım doğurur. tletim olmayan periyotlarda, tadüklenen sekonder gerilimi doğrultkan (redresör) ve alan sargısı üzerinde gözükür. Gerilim tehlikeli bir yükseklığe ulanabilir.

Pratik projelerde, akımın doğru akım bilgenini, bunun sonucu elde edilen momenti ve gerilimdeki tepe değerlerini smırtmak için doğrultkana (redresöre) paralel özel bir devre bağlamak gerekir. Çoğunlukla alan devresine paralel bağlanan bir direnç kullanılır. İlk hareket

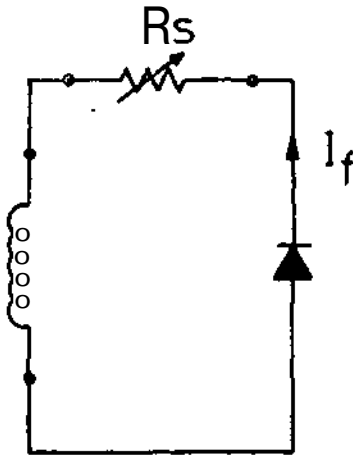
anındaki egdeger devre Şekil 2 b'deJd gibi gösterilebilir. Bu direncin değeri, alan sargısının direncinden büyüğe, bu direnç bilhassa doğrultkanların (redresörlerin) gerilim dalgalanmalarından korunmasını sağlar, fakat meydana gelen momenti büyük ölçüde azaltmaz. Bu ters yönlü momenti büyük ölçüde azaltmak için alan aktımın doğru akım bileşenini çok küçültmek gereklidir, Şekil 3 b bu paralel direncin alan direncine eşit olduğu camanki alan akımının şeklini göstermektedir. Bu düzende alan devresinin I<sup>2</sup>R kayıplarının sürekli artması sakıncası vardır. Fakat bu artma linear olmayan bir "direnç kullanılarak azaltılabilir.

Hızlı ilk hareket verilmesi gerekli uygulamalarda anahtarlı ikaz devreleri geliş, tirLmlg-tir. Bunlar mekanik veya kontrollü yan iletken doğrultkanlarla yapılan elektronik anahtarlardır. Bu düzenler de, ilk hareket ve boşaltma dirençleri kullanılan motorlardaki kadar iyi ilk hareket özelliklerine sahiptir.

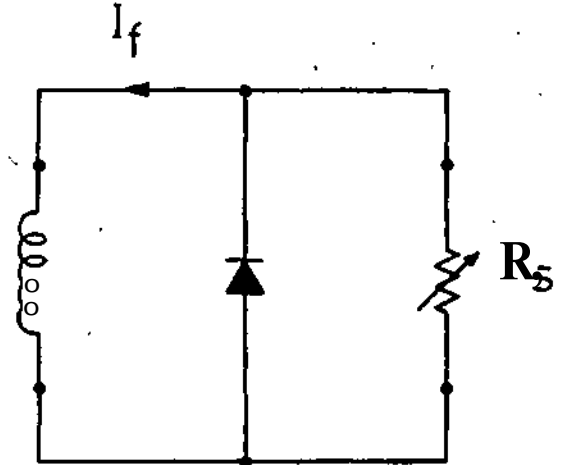
#### Analitik ve Deneysel Gözlemler

Bütün dikkat önce kararlı asenkron çaugtırma üzerinde toplanmış ve aşağıdaki çalışma usülleri üzerinde çalışılmıştır :

- alan kısa devre edilmiş,
- alan bir doğrultkan (redresör) ile kapanmış,
- (iÜ) alan bir doğrultkan ve paralel bir ilk hareket direnciyle kapatılmış,
- (iv) alan bir doğrultkan ve paralel bir linear olmayan dirençle kapanmış,



a

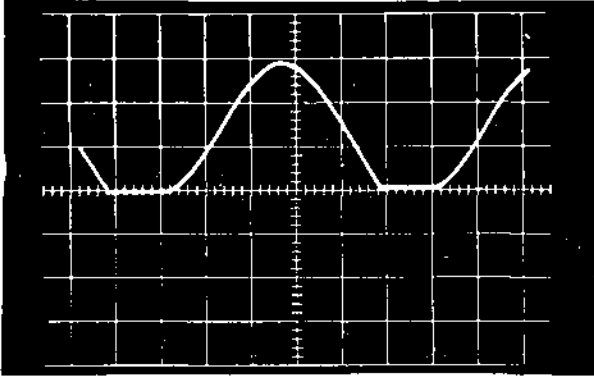


b

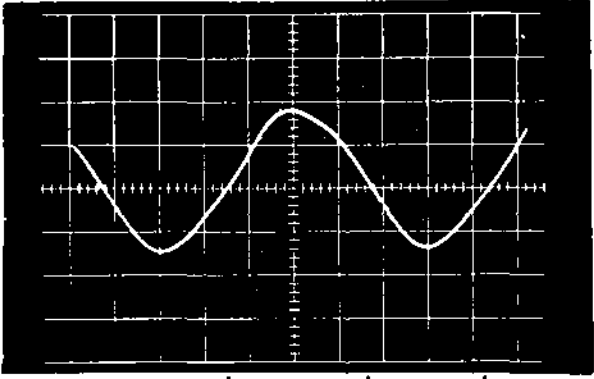
Şekil 2. Eşdeğer ikaz devresi düzenleri :

a) İkaz seri direnç ve doğrultkan tarafından kısa devre edilmiş,

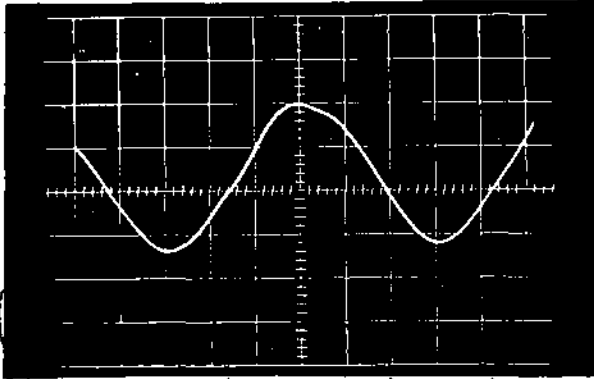
b) İkaz paralel direnç ve doğrultkan tarafından kısa devre edilmiş.



Şekil 3. 0,8'lik kaymada alan akım şekilleri :  
a) Alan doğrultkan tarafından kısa devre edilmiş



b) paralel  $B_f$  ve doğrultkan ile



c) Alan Unear olnuyan direnç ve doğrultkan tarafından kısa devre edilmiş

(i), (ii), (iii) deki usülleri kapsayan ve herbirinin sırayla incelenip, sonuçlarının birbirine eklenmesi temeline dayanan bir analiz ile ilgili gelişme bundan önceki bir yazıda anlatılmıştır. [6]. Deneyler, yaklaşık olarak 5 BG'lük laboratuvar makinalarında yapılmıştır, (ii) deki

alan devresi akımının şeklinin süreksiz (transient) bir değişme olduğu, yarım bir sinusoid olmadığı gösterilmiştir. Şekil 3 a, alan devresi kaçak indüktansı, direnç ve frekansına bağlı olan bu akımın genel bir şeklini göstermektedir. Momentlerin hesaplandığı alan akımının Fourier bileşenlerinin hesaplanmasında birtakım bilgi işlem makinaları programları kullanılmıştır.

Şekil 2 a'daki gibi bağlanmış 5 BG'lük bir çıkık kutuplu makinanın (salient - pole machine) test edilmiş ve hesaplanmış karart' hal moment grafikleri, bir sıra sert dirençler için Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu grafikler, alan devresi doğru akım bileğinin sıfıra yakın bir hızda doğurduğu ters yönlü momenti açıkça göstermektedir. Alan sargısına eklenen seri bir direnç, doğan momenti ve aynı zamanda yarı hızda ortaya çıkan momenti azaltır. Görges olayı [7] olarak bilinen momentteki düşüş, tabii olarak ortaya çıkan p.u. parametrelerindeki farklılıklardan dolayı küçük makinalarda, büyük makinalara oranla daha belirlidir. Bu yüzden büyük bir makinanın küçük bir makinaya göre çok daha küçük dirençleri ve daha büyük alan ve armatür kaçak reaktansları vardır.

Çıkık kutuplu deney makinasının ve tipik büyük makina parametreleri, aşağıda Tablo 1'de gösterilmektedir. Her bir sargının kaçak reaktansları

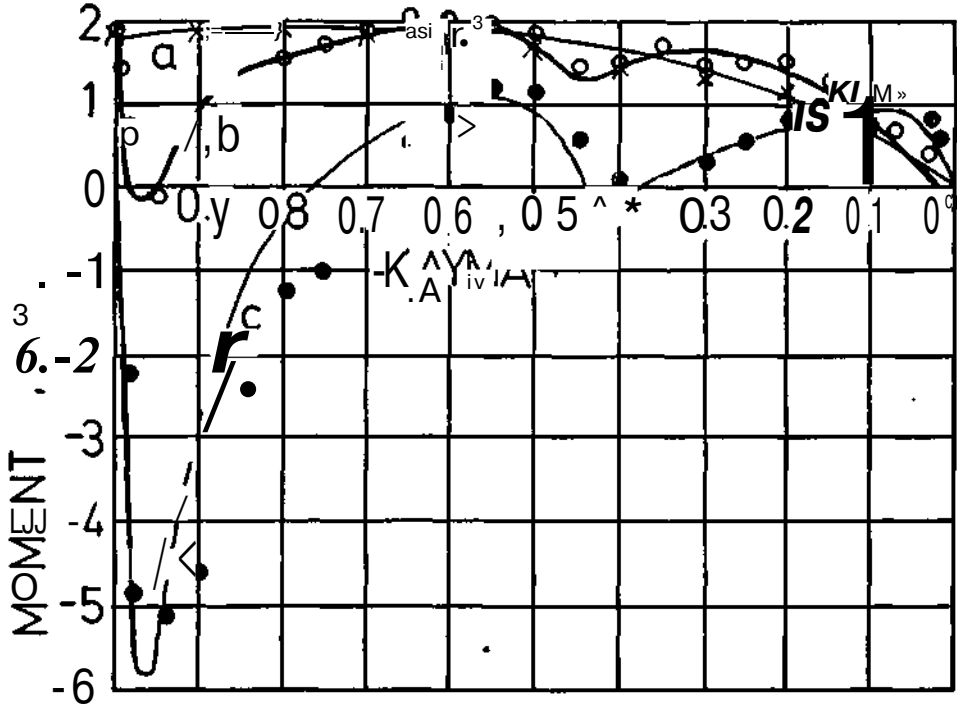
Tablo 1 : Makina parametreleri P.U. değerleri :

Motor	Deney Makinası	Büyük Makina
$R_a$	0.039	0.0043
$R_D$	0.1132	0.057
$R_Q$	0.175	0.057
$R_F$	0.00896	0.0006
$x_a$	0.054	0.150
$x_{DL}$	0.118	0.151
$x_{QL}$	0.1756	0.151
$x_{FL}$	0.165	0.281
$X_{md}$	1.131	1.00
$X_{mq}$	0.579	0.60
$X_{Dd}$	1.131	1.00
$X_{Dq}$	0.579	0.60
$X_{DF}$	1.131	1.00
$X_a$	1.185	1.15
$X_q$	0.633	0.75
$X'$	1.249	1.151
$x_Q$	0.7546	0.751
$X'_F$	1.296	1.281

R — direnci, X — reaktansı, x — kaçak reaktansı, a — armatürü.

d, q — primerin doğru ve düşey eksenlerini

D, Q, F — sekonderin doğru, düşey ve alan eksenlerini gösterir.



Şekil A. Seri direnç ve doğraltkan tarafından kısa devre edilmiş İkaz ile karakteristikler :

- (a)  $B^{\wedge} = \infty$ , test noktaları = X  
 (b)  $B_i = 0.0613$  p.u., test noktalan = O  
 (c)  $B_i = 0$ , test noktalan = %  
 ————— = hesaplanan

tansı teorik hesaplar için gerekli olmakla beraber bu değerlerin deneysel olarak hesaplanması zordur.

Şekli 5'de, Şekil 2 b'de -gösterildiği tarzda bağlanmış paralel dirençli bir motorun moment karakteristiğine ait bir örnek gösterilmektedir. Paralel direncin değeri düşürülürken, moment bileşeni de azalır; bu direnç motorun alan direnci değerine eşit olursa, moment karakteristiği tatminkârdır.

Devamlı çalışma halinde, düşük değerli bir paralel direnç veya yüksek seri direnç hiç bir şekilde kullanılmamalı ve bu problemin halledilmesinin için ya açıp -kapamalı yol verme devreleri, veya linear olmayan dirençler kullanılmalıdır.

#### Un ear (Olmayan Yol Verme Dirençleri

Linear olmayan direncin, linear olan dirence göre şu avantajlar} olduğu düşünülmüştür.

(i) Normal çalışma şartlarında devamlı olan güç kaybı büyük çapta düşürülmüştür. Çünkü

alanın ikaz gerilimi, senkron başlatmada yaratılan gerilimden çok daha azdır.

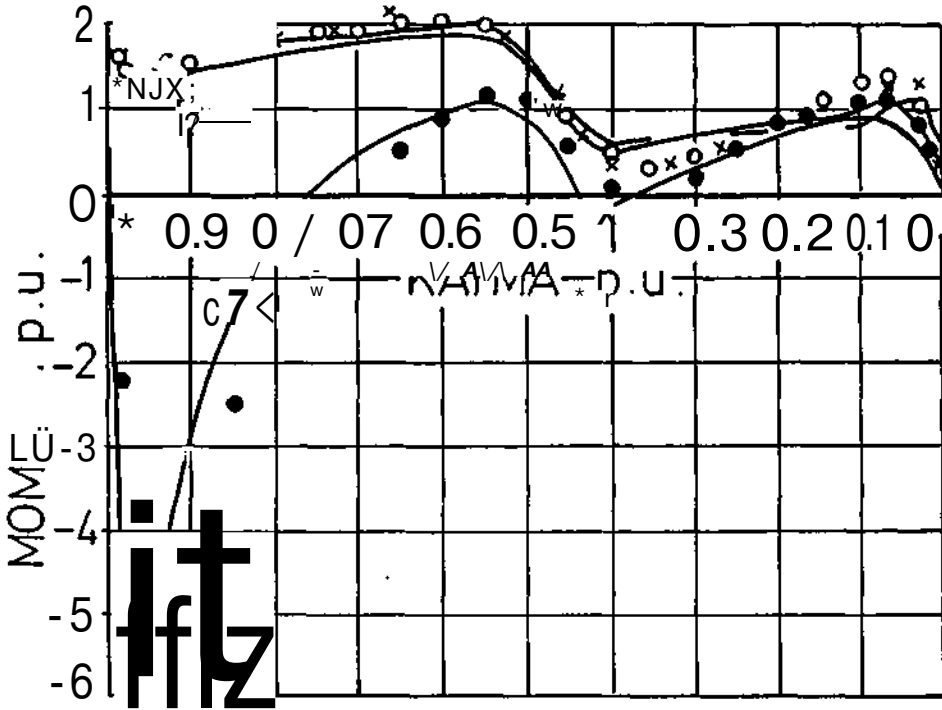
(ii) Doğultkanların ve alan sargılarının üzerinde meydana gelen gerilim dalgalarına karşı daha fazla korunma sağlanmıştır.

(ili)' Verilen bir gerilim ve alüm değerinde, linear olmayan direncin değeri sıcaklık arttığında düşer. Bu sıcaklığın artması başlama anında paralel direnç değerini düşürür, böylece istenen moment karakteristiği elde edilir.

Pratik gözlemlerde kullanılan linear olmayan dirençler metrosu [8] distlerden yapılmıştır ve karakteristiği şu formülle ifade dileyebilir.

$$V = KiP$$

Burada K ve p sabiteleri göstermektedir. Meydana gelen moment yalnız 1.0 - 0.7 arasında değişen kaymalar için önemli olduğundan, linear direnç ile elde olunan deney sonuçları 0,8'lik bir kaymada alınmıştır. Linear olmayan direncin seçilmesinde Şekil 3 b'de gösterildiği gibi,  $f_1$  ile  $f_3$  arasındaki periyotta voltaj ve akımın ortalaması alınmıştır. Direnç, biri hızlandırma testlerindeki nominal voltajda kullanılmak üzere ger-



Şekil 5. Paralel direnç ve İdbğrultkan taratımdan kısa devre edilmiş ikaz ile karakteristikler :

- (a)  $R_s = 0$ , test noktaları = X,  
 (b)  $B_s = 0.00892$  p.u., test noktaları = O  
 (c)  $R_s = \infty$ , test noktaları =  $\neq$ ,  
 ————— = hesaplanan

çekte İki birim halinde yapılmıştır. Maksat İlinear otımayan dirençle, aynı değerdeki seri alan direnciyle elde edilen momente eglit bir moment elde edebilmektir. Şekil 6 moment ve giriş akım karakteristiklerini 'göstermektedir, bunlar motor nominal voltajının 1/3 ünden başlayarak sonra nominal gerilime çıkılan kararlı durum testlerinden elde edilmiştir. Devrede linear direnç sokularak ölçülen akımlar da Şekil 6'da gösterilmiştir. Bunlara karşılık elde edilen moment karakteristikleri Şekil 5 b, 3 b, ve 3 c'de gösterilmektedir. Görüldüğü gibi ikaz akımı dalga şekilleri, iki farklı paralel direnç için 0,8 İlk bir kaymada hemen hemen birbirinin aynıdır. Bu neticeler, linear veya linear olmayan dirençlerle eşit yol verme durumlarının bulunduğunu doğrulamaktadır. Linear olmayan durumda paralel dirençteki kayıp, tam yükte 5 vattır, aynı kayıp linear durum da ise 118 vattır.

Analiz ve hesaplama gayeleri için ikaz akımının genel çözümü istenir. Bunun için yaklaşık bir metod uygulanmaktadır, bu uygulamada linear olmayan direncin İletkenlik periyodunda sabit bir direnci olduğu ve bu direncin değerinin güç kanuna göre içinden geçen akımın ve

üzerindeki voltajın tepe değerlerine göre değiştiği kabul edilir.

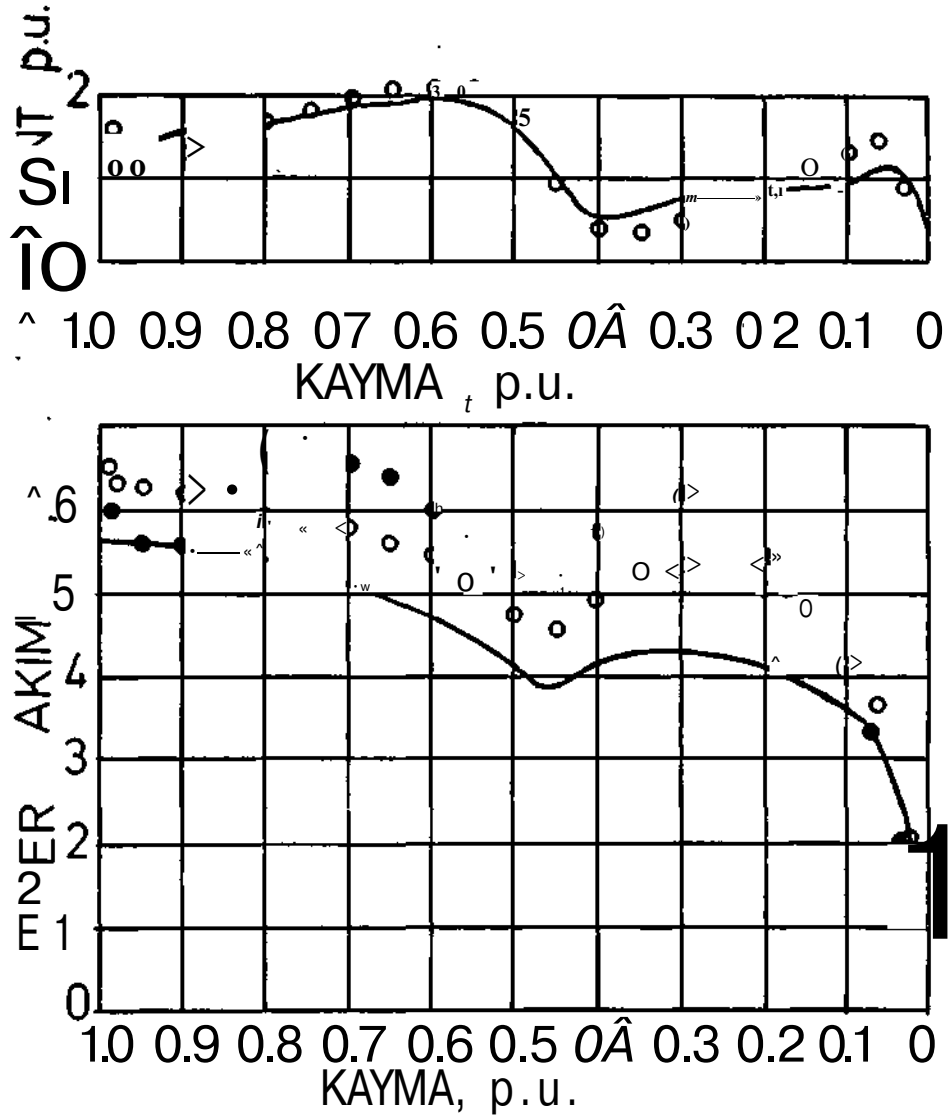
Şekil 3 b ve 3 c'de görülen yaklaşık olarak sinüsoid dalga şekilleri bu kabulü doğrulamaktadır.

İkaz akımının her değerinde eşdeğer dirençleri elektronik bilgi işlem makinasıyla hesaplamak üzere özel bir program hazırlanmış ve bunlar linear dirençlermiş gibi hesaplanmıştır.

Şekil 6'da gösterildiği gibi test değerleri ile hesaplanmış değerler arasında makül bir uyum görülmüştür.

Yan İletken Kontrollü Doğrultkan Ue Açma - Kapama

Elektronik açma kapama devreli İki İkaz devresi araştırılmıştır. Küçük yol verme momentleri için Şekil 7'deki devre uygundur [3]. Burada yol verme direnci yoktur, motor alan sargısının kısa devre olması ile çalışmaya başlar. İkaz akımının doğru bileşeninin ortaya çıkması ve bunun sonucu meydana gelen momentlerden böylelikle kaçınılmıştır. Bu devre, ikaz devresindeki yüksek endüksiyon gerilimlerine karşı kendinden korunmalıdır, doğrultkanların ve yan iletken kontrollü doğrultkanların nominal gerilim



Şekil 6. Ljnear olmiyan paralel direnç ile elde edilen jakim ve moment karakteris-  
tikleri :

— = hesaplanan

Test noktalan, linear olirayan dirençle = O

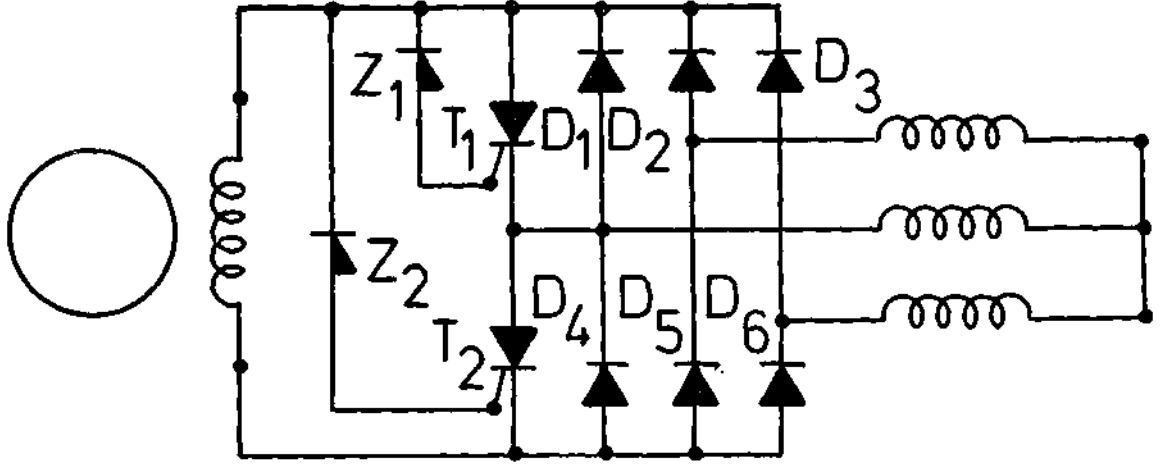
Test noktalan, linear  $R_r$  ile = 0.00892 p.u., = •

değerlerinin de zener diyotların geriliminden sa-  
dece biraz daha yüksek olması kâfidir.

Zener diyot gerilimleri, yan iletken kontrollü  
doğrultkanların ikaz makinasının vereceği en  
yüksek d.c. gerilimden daha yüksek bir değerde  
ateşlenmesi sağlanacak şekilde seçilir. İki  $T_j$  ve  
 $T_2$  kontrollü yan iletken doğrultkanlar, alana  
paralel tek bir doğrultkan gibi d.c. ikaz gerili-  
mi tarafından iletken durumda tutulur. Doğru  
gerilim iki kontrollü yan iletken doğrultkanı sü-  
rekli olarak iletken durumda tutamaz. Doğrult-  
kan köprü ikaz sargısından akım geçirdiğinde,

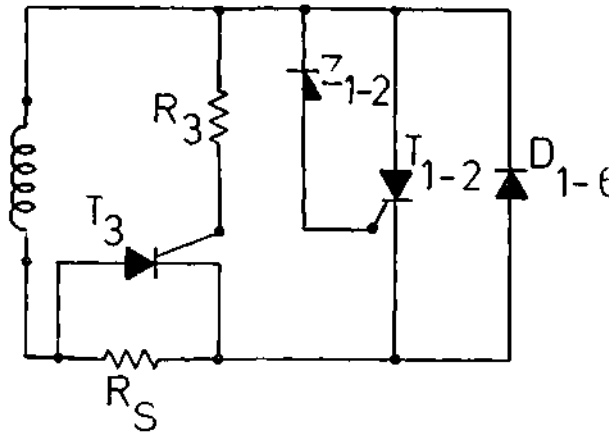
$D_j$  doğrultkanı her devirde bir kere doğru yön-  
de akım geçirir.  $T_j$  in üzerindeki yaklaşık ola-  
rak 1 voltluk bir gerilim  $T_j$  doğrultkanına ters  
yönünde tatbik edilir. Böylece  $T_j$  açık devre olmuş  
olur. Aynı durum  $D_4$  iletirken  $T_2$  içinde vardır.

Yüksek yükte yol alma görevi olan motor-  
larda, Şekil 8'de gösterilen devre kullanılarak  
seri bir  $R^{\wedge}$  yol verme direnci konulabilir. Bu,  
laboratuvar testlerinde kullanılan döner doğrult-  
kan yapının aynısını göstermektedir. Gerçek bir  
devrede İki YKD ve iki zener doğrultkanlı iki  
yönlü bir köprü bulunur. 3. Bölümde açıklan-



Şekil 7. Kontrollü doğrultkan ile anahtarJama devresL

dığı gibi, basit seri bağlatma dirençleri ile elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 8'deki yol verme devresi ile ilgilidir. Bu devrenin [3] çalışması o şekildedir ki, yol alma sırasında ikaz devresinde indüklenen bütün akım  $I^{\wedge}$ den akar. Senkron çalışmada motorun alanı İkaz edildiğinde,  $T_3$  doğrultkanı  $R_s$  direncini kısa devre edfir.  $T_3$ , tam akımı kaldıracabilecek ve yol verme sırasında  $R_s$  üzerinde görülecek en yüksek gerilime dayanabilecek şekilde seçilirken,  $T_{1-2}$  İle gösterilen doğrultkan malunanın yol alması esnasında her yarun devirde biri akım ileterek, münavebe ile çalışırlar.



Şekil 8. Seri yol verme Cirençli kontrollü doğrultkan devresi.

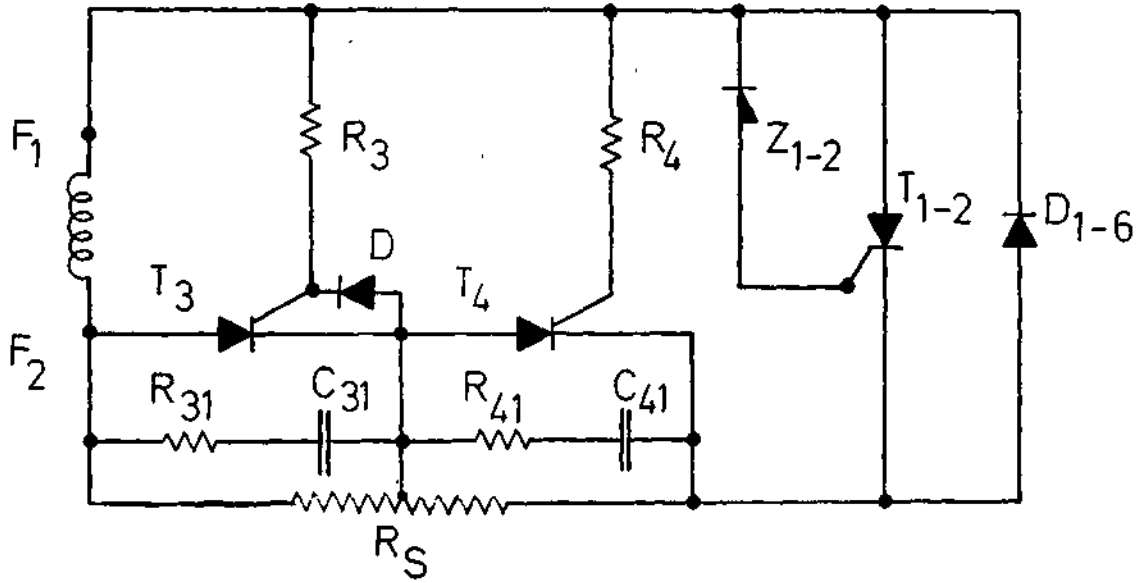
Düşük hızlı ağır yük makinelerinde,  $R_s$  akımı kısıtlayıcı bir durumda ise, bunun uçlarındaki gerilim çok yüksektir. Bu yüzden  $T_3$  çok yüksek akım ve gerilim sınırlarına sahip olur ki, bu pratik değildir. Şekil 9'da bir gerilim bölme devresi gösterilmiştir.  $R_s$  üzerindeki kademe değiştirici, geliş güzel gerilim sıçramalarını üzerine alan  $R_{31}$   $C_{31}$  ve  $R_{41}$   $C_{41}$  direnç ve kon-

dansatörleri yardımıyla eşit bir gerilim bölümü sağlar. D diyodunun,  $T_3$  ün katod girişinde yüksek gerilimlerin ortaya çıkmasını önlemesi istenir.  $F_2$ ,  $P_a$  e göre pozitif olduğunda, birleşim yerindeki izolasyonun üzerinde,  $R_n$ 'nin üzerindeki gerilimin yarısına eşit ters yönlü bir gerilim görülür.

Şekil 7 ve 8'deki devrelerle yapılan kararlı durum deneyleri, sadece kısa devre edilmiş ve seri dirençli devrelerle aynı yol alma şartlarının elde edildiğini doğrulamaktadır. Bu deneyler hakkında bilgi bu yazıda verilmeyecektir.

#### Dinamik ivme Deneyleri

İndüksiyon [9] motorlarında doğan geçici etkilerin tartışılması bu etkilerin teorik ve deneysel olarak bulunmasında bir takım sorunları ortaya çıkarır. Hızlı geçiş ivmelerinin ölçülmesinde kullanılan metodlar çoğunlukla hassasiyet ve uygulama güçlüğü ile kısıtlıdır. Bazı durumlarda, doğru akım tako jeneratörleri veya drag-cup endüksiyon Jeneratörleri kullanılarak, yüksek başlatma ivmeleri olan küçük makinalarda tatmin edici ölçmeler yapılmıştır. Bunun tersine senkron motorların çoğunlukla bunlara göre uzun bir normal çalışmaya yükselme zamanı vardır. Bu yüzden, test makinasına yukarıdaki metodlar uygulandığında, ivme sinyalleri, bulunan gürültüleri göre daha küçük olduğundan elde edilen sonuçlar tatmin edici değildi. Bu geçiş ivme ölçme problemlerinin üzerinde yapılan önemli araştırmalar bilgi İvme makinalarının kullanıldığı yeni bir çok metodları ortaya çıkarmıştır [10]. Bunlardan bu çalışmada seçilen ve kullanılanı, optik ve elektronik tekniklerin birleştirilmesiyle elde edilen karışık bir tertiptir. Tomel olarak bir devirde 1000 darbe veren bir optik transduoer, bir digitizer (sayısal şekle sokan) olarak kullanılmıştır. Bu transducer tarafından



Şekil 9. Ağır yük için gerilim paylaşımab kontrollü doğrultkan devresi.

verilen dalga sabit yükseklik ve *uzunluğu* olan darbelerle çevrilmiştir. Bu darbe dizisinin doğru bileşeninin dışında bütün dalga süzülerek hızla orantılı bir gerilim elde edilmiştir, ayrıca bir diferansiyel devre ile de ivmeye orantılı bir gerilim elde edilmiştir. Bu İvme ölçüsünün takojeneratör ve «sürgü - kab» (drag-cüp) İndüksiyon motoruyla yapılan ölçmelere üstünlüğü, dalgalanmanın olmayışdır. Ortaya çıkan tek frekans bileşeni transducer dalgasınınındır ve bu bastırılmıştır.

Tipik ivme - zaman karakteristikleri için bu metotla, hiç bir atalet veya yük eklenmeden elde edilen değerler Şekil 10'da gösterilmiştir. Bunlar kararlı durum analiz ve testleri ile elde edilen grafiklerin genel şeklini gösterdiği gibi, başlatma sürecinde ortaya çıkan esaslı bükülüm salınımın da verir [11, 12]. Bu salınımlar ÇL-kık kutuplu makınaların iki kutbundaki değişen Şartlardan meydana gelen periyodik momentlerden ortaya çıkar. Her ne kadar bu moment darbeleri tabii olarak önemli etkiler doğurabilecekse de, burada yapılan çalışma ilk olarak, çeşitli doğrultkanlarla ikazda yol verme devrelerinin kararlı durum çalışmalarının anlaşılacak verleşmesini amaç edinmiştir.

#### Sonuç

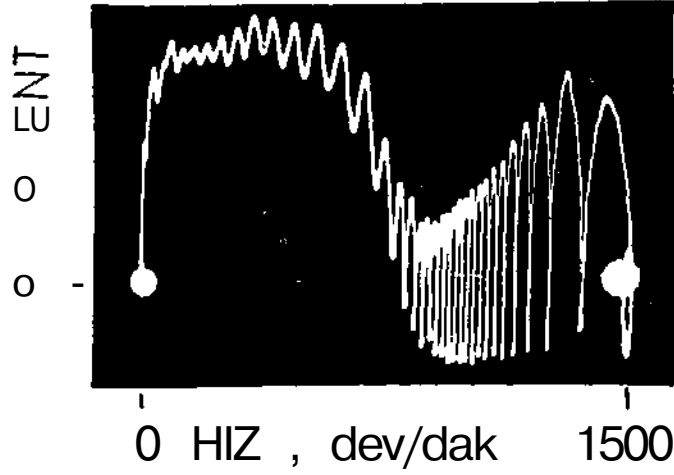
Bu yazı ve diğer bir çalışma [6] fırçasız çıkıkutuplu motorlarının İlk hareket davranışlarını ve alan devresindeki doğrultkanların tesirinden doğan kararlı durum momentlerinin analizini anlatmaktadır. Paralel veya seri dirençlerin ilâ-

vesiyle veya kontrollü yarı iletken doğrultkanlı (tıristor) açma kapama devreleri veya linear olmıyan dirençli devreleri de içeren daha değişik sistemlerin yol alma özelliklerini önemli ölçüde düzelttikleri gösterilmiş ve hazırlanabilecek çeşitli başka devrelerin de çalışma özelliklerinin böylelikle bir analizi verilmiş olmaktadır.

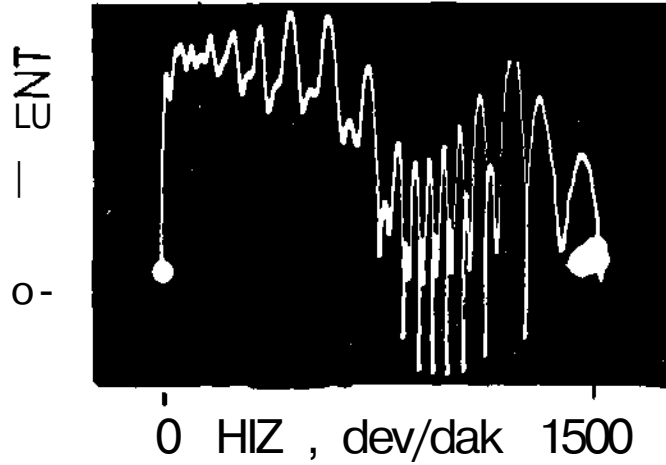
#### REFERANSLAR

- 1) WRIGHT, W. F. and REES, R.: «60 MW set with brushless excitation», Electrical Times, 9 November 1967, Vol. 152, No. 19, pp. 731 - 732.
- 2) TWARDZICKI, A. and COLEMAN, E. W. T. : «Brushless salient-pole a.c. generators», ibid., 1967, Vol. 152, No. 8, 12, 16, 19.
- 3) ROSENBERRY, C. M.: 'A new brushless d.c. excited; rotating field synchronous motor', IEEE Trans. Applt. Industr., 1960, Vol. 79, pp. 136-138.
- 4) EDWARDS, J. D., GILBERT, A. J. and HARRISON, E. H.: The application of thyristors to be excitation circuits of synchronous motora', IEE Conf. Publ. 17, 1365, pp. 158-167.
- 5) ZBOROVSKY, I. A. and MALEVINSKA, N. S.: 'Analysis of the starting of synchronous motora with controlled rectifiers', Elektrichestvo, 1966, Vol. 10, pp. 17-22.





Şekil 10. Dinamik İvme karakteristikleri,  
a) Alan kısa devre edilmiş,



b) İkaz paralel direnç ve doğmiltkan tarafından  
kısa devre edilmiş.

- 6) CHALMERS, B. J. and RICHARDSON, X.: 'Steady-state asynchronous characteristics of salient-pole motors with rectifiers in the field circuit', Proc. IEE, 1968, Vol. 115, No. 7, pp. 987-995.
- 7) CARBARINO, H. L. and GROSS, E. T. B.: 'The Görge's phenomenon - induction motors with unbalanced rotor impedances', Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs., 1950, Vol. 69, pp. 1569-1575
- 8) Power Group Research Laboratory. 'Metro-su', Publication 1082 - 1., General Electric Company Limited.
- 9) Discussion on "Transient effects in induction motors", Proc. IEE., 1968, Vol. 115, No. 1, pp. 128-135.
- 10) HOFFMAN DE VISME, G.: 'Tachometry and the measurement and display of transient shaft acceleration', Ph.D. thesis, University of Manchester, 1968.
- 11) VON BERTELE, O. and BLENKINSOPP, M. T.: 'Torsional oscillations during the run-up of centrifugal air compression sets incorporating synchronous motor drive', IEE Conf. Publ. 10, 1965, pp. 73-75.
- 12) STEPHEN, K. D. and SCOTHERN, W.: 'An aspect of the design of shaft systems for salient-pole motor drives', ibid, pp. 47-52.