

# Fırçasız Senkron Motorlarda Yeni Gelişmeler"

Yazan :  
J. D. EDWABDS  
E. H. HABBISON  
D. D. STEPHEN

Çeviren :  
Vecdi Y. EKTUBAN  
Elek. Yük. Müh.  
T.Ş.F.

## ÖZET: •-

*Fırçasız ikazlı Senkron motor ile azalan bakım, ark kıvılcıklarının yokluğu, kablo irtibatlarının kaldırılması gibi ilâve faydalar sağlanmıştır. Yarı iletken devrelerin dönen elektrik makinalarında kullanılması gerçekleşmiş ve fırçasız senkron bir motor ile kısa devre sincap kafesli asenkron motor tam olarak mukayese edilebilir olmuştur. Çeşitli ikaz sistemleri kullanan senkron motorlarla yapılan denemelerde kazanılan tecrübeler herhangi bir kullanma sahası için en uygun ikaz devreli motoru seçilebilir hale getirmiştir.*

Tecrübe ve denemelerden sonra imal edilmekte olan AEI fırçasız senkron motorları geniş bir kullanma sahasında tatminkâr bir şekilde çalışmaktadırlar. Motorlar çeşitli sahalarda yüke göre ve tahrik edilen sistemin özelliğine uygun geliştirilmiş ikaz devreleri kullanmaktadırlar. Aynı zamanda özel tesisler için uygun ikaz tarzını seçmede faktör olacak dikkate değer tecrübeler edinilmiştir. Alçak ve yüksek devirli motorların yol alma özelliklerine göre ikaz devrelerinde kullanılan mekanik anahtarlar yerine anahtarsız ikaz sistemi tatbik edilmiştir. Bu tertipler motorlara kullanma yerine göre uygun karakteristiği verecek tatminkâr çalıtma temin edecek cinstendir. Daha geliştirilmiş şekilde istenen çalıtma şartlarını verecek sistemler için thyristörlü elektronik anahtar devreleri hazırlanmıştır. Bu tip ikaz devresi kullanan ve bir seneden fazla zamandan beri çalışmakta olan 2650 kVA. lık motor geldi (1) de görülmektedir. Diğer motorlar henüz imalât safhasındadır.

Mekanik anahtarlar yerine elektronik anahtarlarda görülen daimi bakım ve kontaklarda ark kıvılcıkları önlenmiştir. Böylece motor fe-pa ve kirli hava şartlarında da çalışabilir olmuştur. Neticede bu tip motor senkron motorların bütün çalıtma avantajlarıyla beraber in-cinca'p kafesli asenkron motorun mekanik özelliklerine de sahiptir.

Fırçasız senkron motor ve generatörlerle yapılan çalıtma tecrübeleri göstermiştir ki yarı iletkenle ikaz sisteminde ciddi ve mühim olmayan bir arıza ihtimali asenkron motorların sincap kafesindeki arıza ihtimalinden fazla değildir. Bu da fırçasız senkron motorla kısa devre sincap kafesli asenkron motorun güvenle mukayese edilebileceğini gösterir, ikaz sistemindeki herhangi bir arıza ikazın azalmasına veya

(\*) Bu yazı AEI Engineering mecmuasının Mayıs/Haziran 1966 sayısından çevrilmiştir.



Şekil • 1 — Santrifij kompresörü tahrik eden  $N = 2650$  kVA.  $n = 1500$  d/A,  $U = 11$  kV luk fırçasız bir senkron motor.

yok olmasına sebep olur. Bu şartlarda normal olarak motor koruma elemanları vazifesini yaparak motorun hasara uğramasını önleyecektir. Yardımcı parçalar o şekilde yerleştirilmiştir ki çabuk ve kolayca çıkarılıp değiştirilerek normal çalışmaya çok kısa zamanda başlanır.

#### ikaz devreleri :

Geçmişte senkron motorlar için çok çeşitli ikaz devreleri kullanılmış olup bunlar üç fonksiyon içinde düşünülebilir. Senkron çalışma esnasında motor ikaz sargılarına lüzumlu D. C. ikaz akımını sağlamak; motor tarafından meydana getirilen herhangi bir geçici rejimde ikaz akımı bunu karşılayabilmelidir. Motorun yol alma periyodu içinde normal değerini bulmalıdır. Mümkün olan farklı şartlarda optimum çalışma ve uzlaşma elde edilmelidir. Tecrübeler ve değişik şartların önemi ikaz devresi için en uygun şeklin senkron motorun yapısı ile alakalı olduğunu gösterir.

#### Bilezikli ikaz Devreleri :

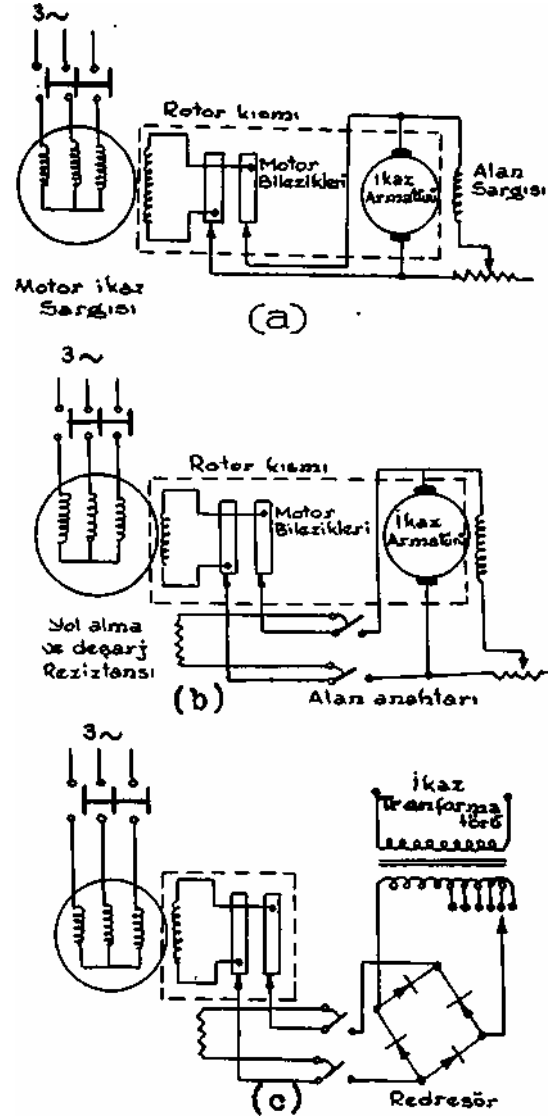
Çok sayıda senkron motorların ikaz sargıları şekil (2a) ve (2b) de olduğu gibi ikaz generatöründen, bazıları haricî bir D-C şebekesinden beslenir. Ekserisi şekil (2c) de gösterildiği gibi ikaz enerjisini redresörler üzerinden geçirilen A-C şebekesinden temin eder. Bu tarzlardan birinin seçiminde senkron motorun karakteristiği üzerinde özel bir tesiri düşünülemez.

Alternatif akım şebekesinden redresörlerle istihsal edilen D-C gerilimi üzerine binen A-C harmonik bileşenlerinin ikaz devresine tesiri doğru akım gerilimi ile mukayese edilirse büyüklük bakımından ihmal edilir derecededir. Hatta geçici rejimlerde dahi ikaz devresi üzerindeki redresörün etkisi çok mühim değildir. Fakat asenkron şartlarda doğan tesirler D-C ikaz generatörü kullanılan sistemlerde elde edilenlere göre daha farklıdır. Asenkron çalışma şartlarında motor ikaz sargılarında kayma frekansında bir gerilim hasil olur.

Bu gerilim redresör yönü ile aynı yönde olduğu zaman bir devre akımı hasil olacaktır. Gerilim redresör yönüne ters durumda olduğu zaman akım akmayacaktır. Devrede redresör olmasından doğan ikaz akımındaki bu asimetric durum ikaz sargılarında simetric duruma göre motora tek yönlü D-C akım darbesi ilâve etmiş olmaktadır. Bu akımların kombinasyonu endüksiyon motorları teorisinden bilineceği gibi, motor momentine normal yol alma işleminde bilhassa mühim olan bir etki yapar.

#### Basit Fırçasız ikaz Devreleri :

A-C ikaz armatürü ile makınanın ana ikaz sargıları arasında redresörler yerleştirilen basit

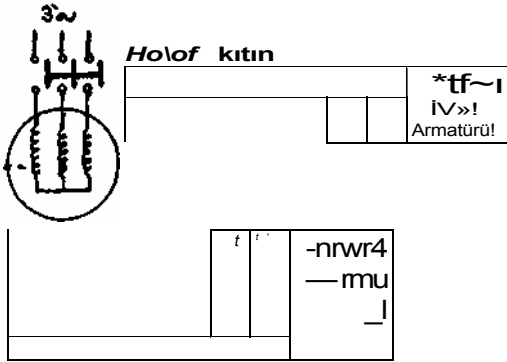
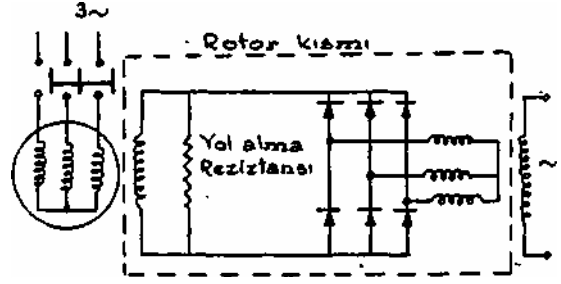


Şekil : Z — Senkron motor ikaz devreleri, a) Motor ikaz sistemine irtibatlı D-C ikaz generatörü. b) Yol alma deşarj rezistanslı anahtarlı D-C ikaz. c) Statik ikaz sistemi

bir fırçasız ikaz devresi şekil (3) te gösterilmektedir. Bu devre çok geniş çıkış gerilim sahası olan A-C generatörlerinde ve yol alma gayeleri imalat bakımından farklı olmayan senkron motorlarda kullanılmaktadır. Üve edilen redresörlerin büyüklükleri motor veya generatörün normal senkron çalışma şartlarında ve geçici rejimlerde lüzumlu ikaz gücünü sağlayacak derecededir. Generatörler bazı şartlarda senkron durumdan küçük bir kayma değeri ile uzaklaşabilirler ve redresörler bu nisbet dahilindedir. Senkron motorlarda yol alma olayı kaymanın bütün değerleri içinde yani dururken bir, senkron devirde sıfır, değerleri arasında olacaktır. Motor

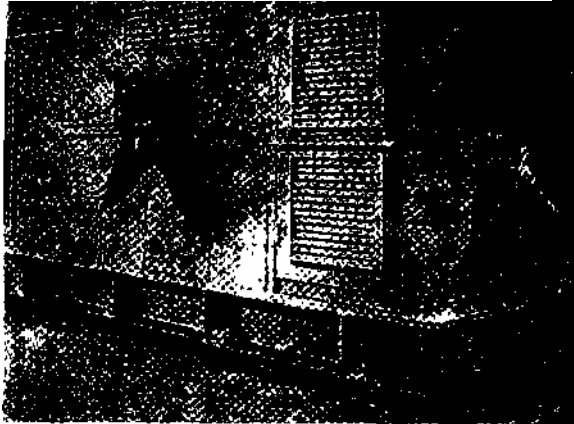
ikaz devrelerindeki redresörler senkron çalışma şartlarındaki icaplara ilâve olarak yol alma esnasında doğan rotor devresi akım ve gerilimleri ile çalışabilmelidirler. Redresör büyüklüğü bakımından gekil (4) deki devrenin kullanılması ile bu gayeyi temin edecek çok ekonomik bir sistem elde etmek mümkündür.

Bu devre ile kayma frekansında rotor ikaz sargılarında endüklenen gerilim kapalı bir gözde akım akıtmaktadır. Redresör uçlarında hasıl olan zıt gerilimin büyüklüğü yol verme rezistan-sının omik değeri ve bu rezistanstan geçen akımın miktarı ile orantılı olup endüklenen gerilimin değeri ile orantılı değildir. Bu devre şekil (5) te



Şekil . 3 — Fırçasız A-C Generatörler için kullanılan ikaz devresinin oosit şekli.

Şekil : 4 — Mile monteli yol alma rezistanslı fırçasız motor ikaz devresi



Şekil • 5 — Harici tip N=1500 HP, n=1500 d/d, U=6,6 kV luk fırçasız senkron motor.

görülen hidrolik bir kupllng ile muhtelif devirlerde bir pompayı tahrik eden  $N = 1500$  HP,  $d = 1500$  d/d ve  $U = 6600$  V. luk fırçasız bir senkron motorda kullanılmaktadır. Gene aynı devre önce D-C ikaz sistemi kullanan sonra ırçasız ikaz sistemine çevrilen her iki durumda motor karakteristikleri arasındaki uygunluğu belirtmek için seri denemelere tabi tutulmuş  $N = 500$  HP,  $n = 1500$  d/d,  $U = 11000$  V. luk motorda kullanılmıştır. Eğer gekil (3) deki devre kullanılmış olsaydı ideal endüksiyon motorunun yol verme karakteristikleriyle fırçasız ikaz sistemini kullanan senkron motorda elde edilen karakteristikler arasında farklar çok az olacaktır. Bunun için D-C ikaz generatörü ile ikaz temin eden motorla eğitim yol alma karakteristiğine haiz fırçasız ikaz devreli bir motor arzu edilrki, bu istek devrede bir anahtar kullanılarak basit gekilde sağlanır.

#### Mekanik Anahtarlı Fırçasız ikaz Devreleri :

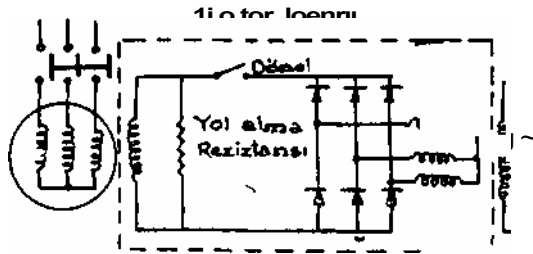
Şekil (6) daki devreyi verecek motor miline bağlı mekanik anahtar kullanıldığı zaman, senkron devre gelinceye kadar redresörlern bir etkisi yoktur. Yol alma karakteristiği gekil (2b) deki ikaz sistemini kullanan motor karakteristiğine identiktir. Senelerden beri çalışma ömrü uzun, sağlam parçah güvenilir anahtarlar endüksiyon motorlarında mile monteli olarak kullanıl-

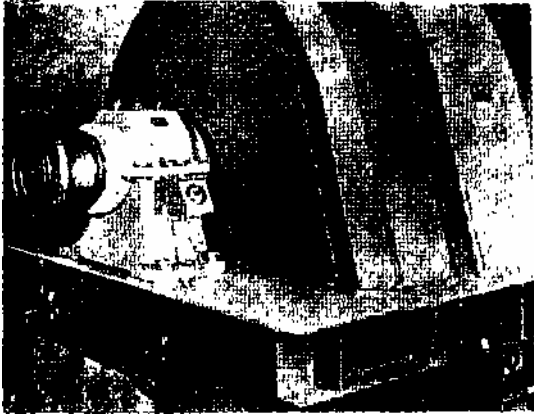
maktadır. Bu anahtarlar otomatik çalışır ve ile-rikl kalkığı emniyet altına alacak şekilde kilitle-nir. Şekil (7) de hidrolik pompayı tahrik eden  $N = 3500$  HP,  $n = 333$  d/d,  $U = 11000$  V. luk motor Şekil (6) daki ikaz devresini kullanmak-tadır.

Şekil 6 — Mile monteli yol alma rezistanslı ve mekanik anahtarlı fırçasız ikaz devresi

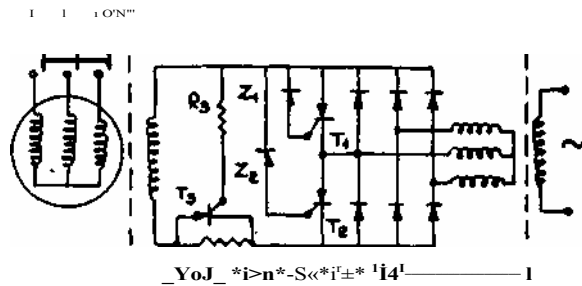
#### Elektronik Anahtarlı Fırçasız ikaz :

Mekanik anahtarların elektronikte eşdeğerleri olan Thyristörler çok küçük bir sinyal gücü ile uyarıldıklarında yalıtkan durumdan iletken hale geçerler. Şekil (8-9) thyristörlü iki devre şemasını göstermektedir. Bunlardan şekil (8) de gösterilene  $N = 2650$  kVA,  $n = 1500$  d/d  $U = 11000$  V. luk senkron motorda kullanılmaktadır. Bu motor şekil (1) de gösterilmiştir. Şekil (8) deki devrede  $T_1$  ve  $T_2$  thyristörleri redresör çıkışları araşma seri bağlanmışlardır.



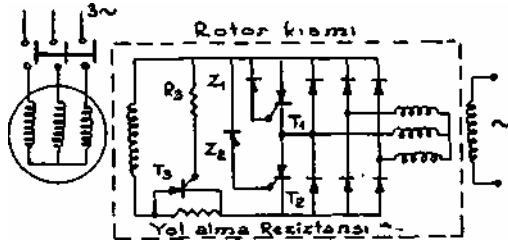


Şekil • 7 — Mile monteli mekanik anahtarlı ve rezistanslı  $N = 3500$  HP,  $n = 333$  d/d  $U = 11$  kV. luk fırçasız senkron motor.



8 — Thyristör kumandah fırçasız motor ikaz devresi.

1,1,1, \_



9 — Mile monteli thyristör kontrollü yol alma rezistanslı fırçasız motor ikaz devresi.

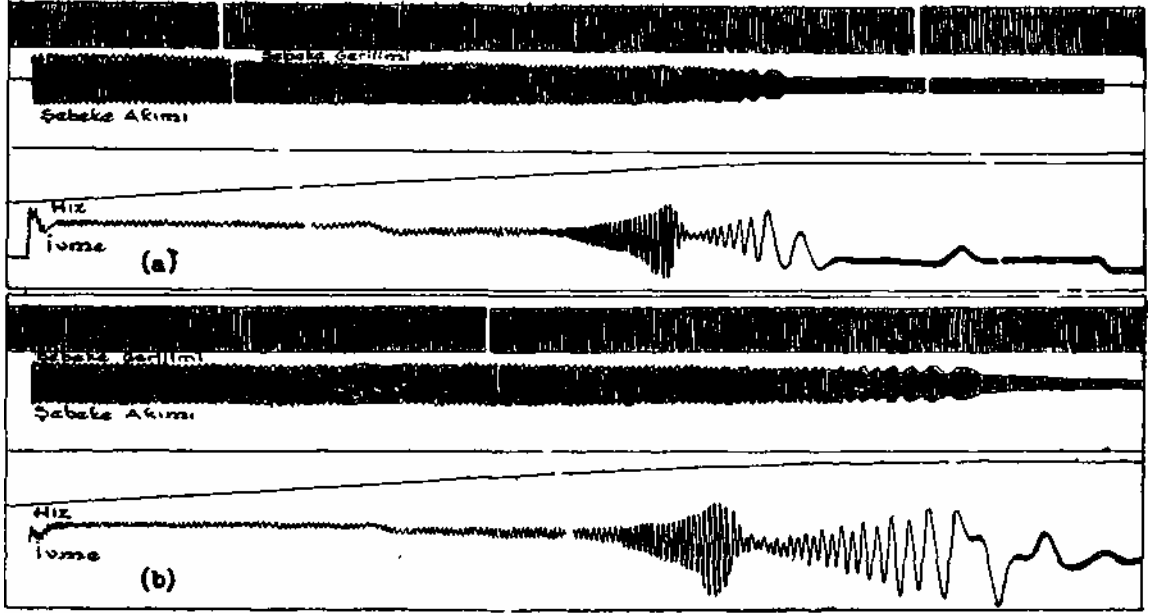
Thyristörlerin kutbiyetiyle redresörlerinki ters yödedir. Bu suretle motor ikaz sargısında yol alma esnasında veya diğer asenkron çalışmalarda hasıl olacak rotor akımları bir yönde thyristörler üzerinden diğer yönde ise redresörler üzerinden akacaktır. Thyristörler  $Z_j$  ve  $Z_2$  Zener diotlarıyla kontrol edilir. Bu diotlar üzerindeki gerilim arzu edilen maksimum D-C ikaz gerilimini geçtiğinde ki bu redresörlere nazaran ters yönde bir gerilimdir. Thyristörlerin iletken duruma geçmesini sağlayacak kumandayı bu gerilim sağlar. O şekilde devre seçilirki senkron çalışmada redresör çıkışlarının thyristörlerle kısa devre olmasını önleyecek değerde olmalıdır.

Yol alma süresince redresörler ve thyristörler motor ikaz sargılarını kısa devre eden elemanlar olarak vazife görürler. Böylece asenkron çalışma şartlarında hasıl olan ikaz sargı akı minin dalgali bileşeni neticesinde husule gelen kayma frekansındaki moment osilasyonlan önlenmiş olur. Bu devre bir çok gayelere elverişli bir motor yol alma karakteristiği temin eder.  $N = 2600$  kVA. lık senkron motor fırçasız ikaz sistemine çevrilmeden evvel şekil (2b) deki D-C ikaz sistemi ile çalışmıştır. Mukayeseli çalışma denemelerinde yol alma esnasında şekil (10) da görülen osilogram ilkinde, motor ikaz sargılarında şekil (2b) deki varken, diğerinde şekil (8) deki devre ile fırçasız senkron motor durumunu göstermektedir. Şekil (8) deki devrenin verdiği motor karakteristiği şekil (2a) daki sürekli D-C ikaz devresi ile elde edilene çok yakındır. Her iki osilogram üzerindeki hız değişimini veren ivme izleri bu tip kompresörlerin tahrikinde görülen shaft rezonansını göstermektedir, ivme izlerinin zarfı bu cins özel tahriklerde yaklaşık olarak senkron hızın % 90'ını bulan rezonansı verir. Tatbikatta motor yol alma karakteristiği bakımından lüzumlu ikaz sargılarına seri bir yol alma rezistansı için şekil (9) daki devre kullanılmaktadır.  $T_j$  ve  $T_2$  thyristörleriyle  $Z_j$  ve  $Z_2$  Zener diotlarının fonksiyonları şekil (9) daki devrede olduğu gibidir. Yol alma rezistansı ikaz sargısına seri  $T_3$  thyristörü ile paralel bağlıdır. Normal senkron çalışma gartlarında redresör devresindeki çıkış gerilimi  $T_a$  thyristörünü iletken hale getirecek, dolayısıyla yol alma rezistansını kısa devre edecek, kâfi bu yüklükteki bir akımın,  $R_3$  rezistansından akmasını sağlar.

Normal bir kalkışta  $T_3$  thyristörü Uetken değildir. Şekil (9) daki devre D-C ikaz generatörü kullanan şekil (2b) deki gibi anahtar ve yol alma rezistansı olan şekil (6) daki mile monteli mekanik anahtarlı fırçasız A-C ikaz sistemi ile hemen hemen identik olan bir motor kalkış karakteristiği verir.

#### Redresör ve Thyristörlerin Büyüklüğü :

Yarı iletken redresör ve thyristörlerin aşın yük kapasiteleri çok küçüktür, fakat tasarlanan bir durum için güvenilir cihazlar oldukları bilinmektedir. Fırçasız senkron motorda kullanılan senkron çalışmada, normal yol almalarında ve motorun söz konusu olduğu arızalı, arzu edilmeyen şartlarda, uygun kapasitede olmalıdırlar. Verilen herhangi bir redresör ve thyristörün büyüklüğü, sağlanan soğutma tarzı ve ısı yayılmasını temin eden kanatçık ilaveleriyle belirir. Ayrıca redresör ve thyristörler normal yük akımı ile sevişteyken ani değişimlerle karşılaşabilmeli, ısınmaları termokupl ile ölçülmeğe



Şekil : 10 —  $N = 2650$  KVA Itk şekil (1) deki kompresör motorunun yol alma osilogramları a) Alan sargılarına şekil (2b) deki deşarj rezistanslı devre bağlıdır.  $t >$  Alan sargı uçlarına şekil (8) deki redresör ve thyristörlü devre bağlanmıştır.

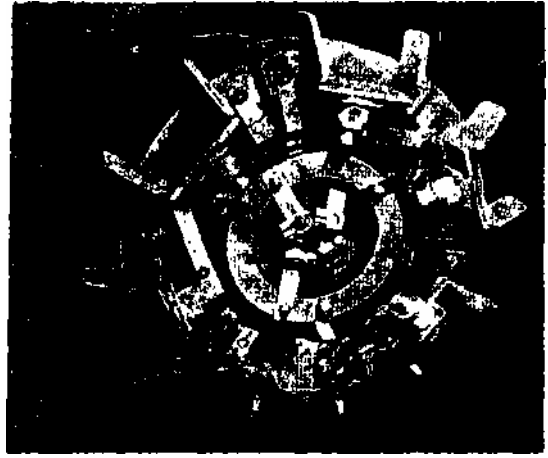
müsait olmalıdır. Redresör, thyristör ve ilâve soğutma' kanatlarından ibaret sistemin termik zaman sabitesi, kendisiyle irtibatlı olan ikaz sargılarına nazaran daha kısadır ve redresörlerin boyutlandırılması o şekilde olmalıdır ki motor koruma sistemleriyle korunabilsin.

#### Mekanik Yapı :

Bütün fırçasız senkron motorlarda şimdilik aynı mekanik yerleştirme ve tesbit şekli uygulanmaktadır. A-C ikaz sisteminin bir rotor kısmı bir de sabit statoru vardır. Kullanılan redresör ve thyristörler rotor milinin bir ucuna monte edilen icabında sökülebilir bir dairesel disk üzerine şekil (11) deki gibi yerleştirilir. Silikon diyotlar ve redresörler bu dairesel diskin ön yüzüne o şekilde konurlar ki zayıf olan silikonlu irtibatların ayrılmaması için, rotorun dönme hareketinde basma kuvvetine maruz kalırlar. Maksimum bir soğutma ve ısı iletimini temin için özel şekillendirme yapılmıştır. Bu tarz tertibin bir faydası da tabii vantilasyon suretiyle soğutma havasından gelen tozları atarak uzun çalışmalar halinde sisteme güvenilir emniyet sağlar.

Şekil (8) deki  $T_1$  ve  $T_2$  thyristörleri sadece yol alma esnasında iletken olduklarından redresörlere nazaran daha az soğutmaya ihtiyaçları vardır. Bunun için dairesel diskin arka yüzüne emniyetle yerleştirilebilirler. A-C ikaz armatüründen gelen 3 adet akım ucu ve motor ikaz sargısından gelen iki ucun hepsi de dairesel diskin ön tarafında şekil 11. de görüldüğü gibi cıvatalı halkalara irtibatlanır. ikaz milinin ucu-

na bu dairesel diskin yerleştirilmesiyle çıkarma ve kaldırma kolaylığı sağlanmıştır. Böylece sistemin şu faydaları vardır:



Şekil 11 — Fırçasız bir motora ait redresör tesbit diski ve cihazların yerleştirilmesi ile elektriki bağlantılar.

- 1 — Bütün yan iletken cihazlar ve iç bağlantılar tek bir ünite içine toplanmıştır.
- 2 — İyi bir hava cereyanı sağlanmıştır.
- 3 — Emin bir yerdir.
- 4 — Kaldırma ve değiştirme çabuk ve basittir.

Burada motor milinin her iki tarafı kullanıldığı hallerde meselâ motor-generatör sistemlerinde bu tertip tarzı uygulanamaz. O zaman ikaz redresörlerine ait dairesel disk motor'ya takları arasına monte edilir. Fakat mil üzerinden kolaylıkla çıkarılamaz, bu durumda parçalar için emniyetli bir tertip ve özel dikkat gereklidir.

#### NETİCE :

Bu ikaz devrelerini kullanan fırçasız senkron motorlarla yapılan tecrübelerde mühim bilgiler kazanılmıştır, özel bir tatbikat yeri için motora uygun ikaz sistemini seçmek şimdi imkân dahilindedir. Kimya sanayiinde, petrol sanayiinde, Çelik Endüstrisinde, Enerji üretim istasyonlarında ve deneme tesislerinde kullanılmak üzere bu cins ikaz devreli motorlardan siparişler verilmektedir. Yukarıdaki sahalar Britanya Endüstrisinin geniş, bir bölümünü içine alan yerlerdir.

Yeni tip makinaların ilk kullanıcılarının yardımıyla değer ve kıymetleri anlaşılmalı olacaktır. Fırçasız senkron motorlar ekonomik bir şekilde olup senkron motorların yüksek verim,

uygun güç faktörü, geçici rejimlerde yüksek stabilite ile bakıma ihtiyaç gösterecek kollektör ve bileziklerin bulunmayışı gibi çok iyi teknik avantajlara da sahiptir.

#### LİTEBATÜB

- 1) STEPKEN, D. D. and STEPKEN, K. D.' Development and testing of a large brushless synchronous motor\*. A&E Engineering 3 (6), November/December 1963, pp 320-6.
- 2) STEPKEN, D. D. 'Industrial applications for brushless synchronous motors'. IEE Conference Publication No.10, 1965, pp 167-76.
- 3) British Patents Nos 895582 and 895583.
- 4) ROSENBERY, G. M. 'A new brushless d. c. excited rotating field synchronous motor\*. AIEE Applications and Industry, July 1960.
- 5) EDWARDS, J. D., GILBERT, A. J. and HARRISON, E. H. The application of thyristors to the excitation circuits of synchronous motors'. IEE Conference Publication No 17, 1965, pp 158-67.
- 6) STEPKEN, K. D. and SCOTHERN, W. 'An aspect of the design of shaft systems for salient-pole motor drives\*. IEE Conference Publication No. 10, 1965, pp 47-52.
- 7) British Patents Nos 896211 and 896212.

#### ODAMIZIN YAYINLARI

Odamız tarafından muhtelif tarihlerde bastırılan ve bedeli mukabili veya ödemeli olarak Odamızdan temin edilebilen yayınlar :

— Elektrik Tesislerinde Emniyet Yönetmeliği .....	7,50 TL.
(Üyelerimize)	5.— TL.
— Elektrik Tesislerine Ait Projelerin Tanzimine Dair Yönetmelik .....	2,50 TL.
— Elektrik Mühendisleri için Asgari Ücret Yönetmeliği	2,50 TL.
— Kuvvetli Akım Elektrik Dağıtım Tesisatının Bakımı, İşletme ve Tesisine Dair Talimatname .....	5.— TL.
— Elektrik İç Tesisat Yönetmeliği ve Fenni Şartnamesi	3.— TL.
— Elektrik Santral ve Tesislerinin Kabulüne Ait Talimatname .....	5.— TL.
— Elektrik Endüstrisi Yatırımlarının Seçiminde Kullanılan Metod ve Kriterler .....	2,50 TL.
— Elektrik Mühendisliği Kuvvetli Akım Tekniği El Kitabı 40.— TL.	
(Üyelerimize) .....	25.— TL.