

**MODERN YAKIN MESAFE ELEKTRİKLİ
ULAŞIM SİSTEMLERİNDE ELEKTRİKLE
TAHRİK DÜZENLERİNİN İNCELENMESİ,
KARŞILAŞTIRILMASI VE
DEĞERLENDİRİLMESİ.**

Yıldız Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü'nce

"DOKTOR MÜHENDİS"

Unvanı verilmesi için kabul edilen tezdır

172866

Yük.Müh.

ASIM KASAPOĞLU

Tezin Enstitüye verildiği tarih : 19.Temmuz 1983

Tezin Savurma tarihi : 20.Ocak 1984

Doktora Yöneticisi	: Prof.Dr.Atıf URAL	(YÜ)
Jüri Üyesi	: Prof.Remzi GÜLGÜN	(YÜ)
Jüri Üyesi	: Prof.Dr.İlhami ÇETİN	(İTÜ)



1885

Boipes: Fildes Univ., 1985

Bu çalışmanın hazırlanması ve ortaya çıkmasında
yönetici olarak yardımlarını esirgemeyen sayın hocam,

Prof.Dr.Atıf URAL'a ve çalışmalarımda her bakım-
dan desteklerini gördüğüm sayın hocalarım,

Prof.Kenan SÜER ve Prof.Mehmet DALFES'e teşekkür-
lerimi borç bilirim.

İ Ç İ N D E K İ L E R

Sayfa

I.1.	Giriş	1
I.2.	Tezin amacı	2
II.	Elektrikli ulaşım sistemlerinin sınıflandırılması	4
II.1.	Genel sınıflandırma	4
II.2.	Yapım şekillerine göre sınıflandırma	4
II.3.	Akım cinsine göre sınıflandırma	6
III.	Yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinde doğru akımlı sistemle tek fazlı alternatif akımlı sistemin karşılaştırılması	9
IV.	Doğru akım motorlarının elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılması	10
IV.1.	Doğru akımlı ulaşım sistemlerinde doğru akım seri motorun kullanılmasının nedenleri	10
IV.2.	Doğru akım seri motora dirençle yol verme ve devir sayısının ayarlanması (klâsik yöntem)	12
IV.3.	Doğru akım seri motorun frenlenmesi (Klâsik yöntem)	15
IV.3.1.	Elektriksel direnimsel frenleme	15
IV.3.2.	Faydalı frenleme	16
IV.4.	Doğru akım seri motorun güç elektroniği ile kontrolü (Modern yöntem)	17
IV.4.1.	Doğru akım kıyıcısının çalışma prensibi	17

IV.4.2. Doğru akım seri motorun doğru akım kıyıcısı ile beslenmesi ve faydalı-direnimli frenleme...	19
IV.4.2.1.Giriş devresi	19
IV.4.2.2.Doğru akım kıyıcısının çalışması	20
IV.4.2.3.Geri besleme ve otomatik alan zayıflatma devresi	20
IV.4.2.4.Faydalı-direnimle frenleme	23
IV.4.3. Doğru akımlı ulaşım sistemlerinde doğru akım kıyıcısı kullanılmasıyla sağlanan üstünlükler..	24
IV.4.4. Örnekler	25
IV.5. Alan zayıflatmasının kontrol edilebildiği doğru akım kıyıcılı bir devre	26
IV.5.1. Çalışma prensibi	27
IV.5.2. Motorun yol alması ve alanın zayıflatılması ...	27
IV.5.3. Frenleme	29
V. Asenkron motorun elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılması	32
V.1. Asenkron motoruna özgü temel bağlantılar	32
V.2. Sinüsoidal olmayan beslemede asenkron motorun çalışması	34
V.3. Asenkron motorun devir sayısının ayarlanması (Klâsik yöntem)	39
V.4. Elektrikli ulaşım sistemlerinde asenkron motorun kollektörlü motorlara göre üstünlükleri	42
V.5. Asenkron motorun güç elektroniği ile kontrolü (Modern yöntem)	43
V.5.1. Asenkron motoru besleyecek eviricinin seçimi ..	45
V.5.2. Asenkron motorun doğru akım kıyıcılı-faz sıralı evirici ile beslenmesi	46
V.5.2.1. Çalışma prensibi	46
V.5.2.2. Faz sıralı eviricinin çalışması	49

	Sayfa
V.5.2.3. Asenkron makina ve evirici	55
V.5.3. Asenkron motorun darbe genişlik modülasyonlu evirici ile doğrudan beslenmesi	60
V.5.3.1. Darbe genişlik modülasyonlu eviricinin prensibi	60
V.5.3.2. Evirici devresi ve işletme	67
V.5.4. Asenkron makinanın kontrolunda kullanılan doğrudan beslenen darbe genişlik modülasyonlu eviricili düzenle doğru akım kıyıcılı-faz sıralı eviricili düzenin karşılaştırılması ...	70
VI. Elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan doğru akım kıyıcılı-doğru akım motorlu tahrikle,dönüştürücülü-asekron motorlu tahrikin karşılaştırılması	72
VI.1. Elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan asenkron motorla doğru akım motorunun; karakteristikleri, konstrüksiyonları ve bakım gereksinimleri yönünden karşılaştırılması ...	72
VI.1.1. Motorun birim ağırlığı başına momenti	73
VI.1.2. Motorun birim ağırlığı başına gücü	73
VI.1.3. Nominal güçte verim	73
VI.1.4. Bakım	75
VI.1.5. Yapım fiyatı	75
VI.2. Elektrikli ulaşım sistemlerinde modern kontrol yöntemlerinin kullanıldığı asenkron motorlu düzenle doğru akım motorlu düzenin karşılaştırılması	75
VII. Elektrikli ulaşım sistemlerinde tristörlerin olumsuz etkileri ve alınan önlemler ..	77
VII.1. Haberleşme sistemlerinde alınan önlemler ...	77
VII.2. Elektrikli ulaşım sistemlerinde alınan önlemler	78
VIII. Sonuçlar	79

Ö Z E T

Yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinde doğru akım motoru olarak en çok kullanılan seri motorun, güç elektroniği tekniği ile yol alması, devir sayısı ayarı ve frenlemesi incelenerek, modern yöntemdeki doğru akım kıyıcılı düzenin, klâsik yöntemdeki dirençli düzene göre üstünlükleri ortaya konmuştur. Bir adet komutasyon devresi kullanarak, doğru akım seri motorun alan zayıflatılmasının kontrol edilebildiği tam devre şeması verilmiştir.

Gelişen güç elektroniği ile daha cazip hale gelen üç fazlı sincap kafesli asenkron motorun tahrik motoru olarak kontrolunda kullanılan, doğrudan beslenen darbe genişlik modülasyonlu eviricili düzenle, doğru akım kıyıcılı-faz sıralı eviricili düzen ayrı ayrı incelenmiş ve bu iki düzenin karşılaştırması yapılarak, fayda ve sakıncaları ortaya konmuştur.

Elektrikli ulaşım sistemlerinde taşıtı tahrik edecek motorun, doğru akım seri motor mu, yoksa üç fazlı sincap kafesli asenkron motor mu olsun sorusuna cevap olmak üzere, aynı anma gücündeki doğru akım motorları ile sincap kafesli asenkron motorların karakteristikleri, konstrüksiyonları ve bakım gereksinimleri yönünden karşılaştırılması yapılmış ve sonra da modern kontrol yöntemlerinin kullanıldığı asenkron motorlu eviricili düzenle, doğru akım kıyıcılı seri motorlu düzen karşılaştırılmıştır.

Son bölümde, modern kontrol yöntemlerinde kullanılan tristörlü düzenlerin genel olarak yaptığı olumsuz etkiler açıklanarak bunlara karşı alınması gereken önlemler tartışılmıştır.

S U M M A R Y

The advantages of modern direct current chopper devices showed against to classical resistive devices by making the use of power electronics and checking the starting up, controlling the speed and the braking the series motor that mostly used as direct current motor in the short distance electrical transportation systems. A complete circuit diagram is given for controlling the weakening field of direct current series motor by using a commutation circuit.

Direct fed pulse width modulation inverter systems and direct current chopper-phase sequence inverter systems separately investigated and compared point by point in details that used for the controlling three phase squirrel-cage asynchronous motor which became very attractive with the developments in the power electronics.

At the same rated power, direct current series motors and squirrel-cage asynchronous motors characteristics, designs and maintenance requirements, in later section asynchronous motor inverter systems and d.c. chopper series motors were compared with each other by modern methods for the answer to the question of whether three phase squirrel-cage asynchronous motor or d.c. motor used as traction motor for electrical transportation systems.

In the last section, in general, negative effects of the system with thyristors used in modern control methods explained and some of the solutions discussed.

B İ R İ N C İ B Ö L Ü M

I.1. GİRİŞ

Genel olarak ulaşım sistemleri üç gruba ayrılabilir:

1. Kara yolları ile ulaşım
2. Deniz yolu ile ulaşım
3. Hava yolu ile ulaşım.

Kara yolu ile ulaşım da iki gruba ayrılabilir:

1. Elektrikli ulaşım sistemleri;

Genellikle bu ulaşım sistemlerinde enerji kaynakları taşıtın kendinde bulunmaz, enerji dışarıdan sağlanır.

2. Elektrikli olmayan ulaşım sistemleri;

Bu ulaşım sistemlerinde enerji kaynakları taşıtın kendinde bulunur ve genellikle enerji sağlanması petrole dayanır.

Elektrikli ulaşım sistemlerinin hız bakımından en büyük rakibi uçaktır. Buna rağmen bugün, tekniğin ilerlemesiyle geliştirilen raylı elektrikli ulaşım sistemlerinde saatteki hız 300 km.'ye kadar ulaşmıştır. Toplam trafik kapasitesi bakımından yapılan araştırmalar sonucu demiryoluna; Türkiye de % 48, Amerika'da %41, Rusya'da %90, Fransa'da %61 oranında bir pay düştüğü görülmektedir (1)(2). Bugün endüstrileşmiş ülkelerde, kömürlü ve dizelli lokomotifler, yerlerini elektrikli lokomotiflere bırakmaktadır. Kara taşımacılığında elektrikli ulaşım sistemlerinin üstünlükleri kısaca şu şekilde sıralanabilir:

- Elektrikli ulaşım sistemlerinde, ilk tesis giderleri fazla olmasına rağmen uzun bir süre için düşünüldüğünde, özellikle enerjinin ucuza elde edilmesi nedeniyle, genel olarak tüm sistem değerlendirildiğinde, diğer sistemlere göre daha ekonomiktir. Bu husus, enerji kaynağı akaryakıtı

dayanan ülkelerden çok, elektrik enerjisini kömür, su enerjisi ve atom reaktörlerinden sağlayan ülkeler için büyük önem kazanır.

- Çevre sorunları bakımından düşünüldüğünde;

Elektrikli olmayan taşıtların egzost gazındaki karbonmonoksit, havanın kirlenmesine ve dolayısıyla insan sağlığının bozulmasına neden olduğu gibi, gürültülü çalışmaları da insan üzerinde kötü etkiler bırakır.

- Toplu taşımacılık bakımından özellikle büyük kentlerde, metro, tramvay ve banliyö trenleri en hızlı, en güvenceli ve en ekonomik taşıma araçlarıdır (3).

Elektrikli ulaşım sistemlerinin diğer ulaşım sistemlerine olan bu üstünlükleri nedeniyle, özellikle endüstride ileri gitmiş ülkelerde, elektrikli ulaşım sistemleri alanında, her geçen gün çalışmaların arttığı görülmektedir.

I.2. TEZİN AMACI

Enerji kaynakları genellikle petrole dayalı olmayan veya petrol üretimi az ve sınırlı olan ülkelerdeki ulaşım gereksinmesi için gerekli enerji, elektrik enerjisi olmalıdır. Bundan böyle, elektrik enerjisinin en ekonomik bir biçimde elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanımı gerekmektedir.

Elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan elektrik enerjisinin, santrallerde üretildikten sonra, enerji iletim hatlarından, yardımcı santralden ve sonra seyriletkenlerinden taşıtın cer motoruna, olabildiği kadar az bir kayıpla aktarılması önemlidir. Bu kayıpların azaltılması şüphesiz tekniğin gelişimine bağlıdır. Bu amaca yönelik olmak üzere, büyük güçler için kontrollü gerilim doğrultucularında ve statik frekans çeviricilerinde ızgara kontrollü civa buharlı elemanların kullanılmaya başlanması 1920-1930 yılları arasındadır (4) (5). Örneğin, ızgara kontrollü civa buharlı elemanlar kullanılarak 50 Hz şebe-

ke frekansını $16 \frac{2}{3}$ (Hz)'e çeviren düzenler ilkönce Alman Demiryollarında kullanılmıştır(6). 1960 yılından sonra geliştirilen yarı iletken elemanlardan diyot ve tristorler, civa buharlı elemanların yerlerini almışlardır. Çünkü bu elemanlar, alternatif akımın doğru akıma, doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesinde ve alternatif akımın frekansının değiştirilmesinde ve daha birçok uygulamalarda, hızlı ve çok az kayıplı olmaları nedeniyle, geniş kullanma alanı bulmuşlardır.

İşte, gün geçtikçe gelişen bu "güç elektroniği tekniği"nin sağladığı olanaklar, bilhassa 1970'den sonra Elektrikli Ulaşım Sistemleri'nde de kendini göstermeye başlamıştır.

Seyr iletken gerilimi doğru gerilim olan yakın mesafe ulaşım sistemlerinde, önceleri, tahrik motoru olarak doğru akım seri motor kullanarak, taşıtın yol alması ve frenlenmesi dirençlerle ve bağlam değişiklikleri ile gerçekleştirilirken, bugünün güç elektroniğinin sağladığı olanaklar, tahrik motorunun sadece doğru akım seri motoru değil, üç fazlı sincap kafesli asenkron motoru da olabileceğini ortaya koymuştur. Doğru akım seri motorun kullanılması durumunda, motorun yol alması, devir sayısının ayarı ve frenlenmesi, doğru akım kıyıcı (Chopper) devreleriyle yapılmaktadır. Üç fazlı sincap kafesli asenkron motorun kullanılmasında ise bu işlemler; bir doğru akım kıyıcısı (Chopper)'ndan geçerek, doğru akımı alternatif akıma çeviren bir dönüştürücü (İnverter) kullanmak, veya doğrudan doğruya doğru akımı alternatif akıma çeviren bir dönüştürücüden yararlanmak şekliyle, motora uygulanan gerilimin şiddetini ve frekansını değiştirerek gerçekleştirilir.

Bu doktora çalışmasında, doğru akım seyir iletkenli yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinde işletme ve tahrik teknikleri yönünden taşıtı tahrik edecek ser motorunun doğru akım seri motoru mu, yoksa yeni deneme aşamasında bulunan üç fazlı sincap kafesli asenkron motor mu olması; optimum sonucu vereceği konusu incelenmektedir.

İ K İ N C İ B Ö L Ü M

ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Elektrikli taşıtlar, elektrik motorlarıyla tahrik edilen taşıtlardır. Bu taşıtların sınıflandırılması çeşitli görüşlere göre yapılır.

II.1. GENEL BİR SINIFLANDIRMA

II.1. 1. Elektrik enerjisini dışarıdan bir akım alıcısıyla (seyr iletkeni veya akım rayı) alan taşıtlar.

Bu taşıtlar akım alıcılarının çalışma bölgelerinde çalışırlar.

II.1. 2. Enerjilerini, enerji depolarını beraberinde bulunduran taşıtlar.

Bu taşıtların çalışma alanı, enerji deposunun kapasitesine bağlıdır.

Bu depo,

(i) Bir akümülatör bataryası (Akümülatörlü taşıtlar).

(ii) Termik motoru besleyen bir yakıt deposu

olabilir. İkinci durumda termik motor, dizel motoru, buhar türbini veya gaz türbini olabilir. Burada termik motor, bir elektrik generatörünü tahrik etmekte, bunun sonucunda sağlanan elektrik gücü de elektrik motorunu beslemektedir.

II.2. YAPIM ŞEKİLLERİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

II.2. 1. Ray üzerinde giden elektrikli taşıtlar.

Demiryolu taşıtı olarak bunlar da 2 ye ayrılırlar:

II.2. 1.1. Lokomotifler,

Makina bölümlerinden başka, gerektiğinde ayrıca bir yük bölümünü de kapsarlar.

Bunlar da aralarında bölünebilirler:

(i) Akım girişine göre:

- a- Dışardan akım girişi olan lokomotifler.
- b- Kendi enerji kaynağı olan lokomotifler (Akümülatörlü, dizel elektrikli ve gaz türbinli lokomotifler).

(ii) Kullanılma amacına göre:

- a- Uzak mesafe demiryolu lokomotifleri (Dışardan akım girişli veya kendi enerji kaynaklı)
- b- Yakın mesafe demiryolu lokomotifleri (Dışardan akım girişli veya kendi enerji kaynaklı).
- c- Dağ demiryolu lokomotifleri (Hemen hemen hepsinde dışarıdan akım girişli, nadiren de kendi enerji kaynaklı).
- d- Yeraltında veya üstünde çalışan endüstri ve maden ocakları lokomotifleri (Dışarıdan akım girişli, akümülatörlü veya dizel elektrikli).

II.2. 1.2. Ototrenler (Otomotrisler)

Bunlarda, makine bölümlerinden çok, yolcu bölümleri ve bazen de posta ve yük taşımaya yarayan bölümler bulunur. Bunlar da şu şekilde sınıflandırılabilir:

(i) Akım girişine göre:

- a- Dışardan akım alıcılı ototren.
- b- Kendi enerji kaynaklı ototren (Akümülatörlü, benzinli veya dizel elektrikli).

(ii) Kullanılma amacına göre:

- a- Uzak mesafe ototrenleri (Dışardan akım girişli veya kendi enerji kaynaklı)
- b- Yakın mesafe ototrenleri (Dışardan akım girişli veya kendi enerji kaynaklı).
- c- Şehir yolları için ototrenler (Üst ve alt yolu demiryolu sistemleri).
- d- Tramvaylar için ototrenler (Dışardan akım girişli veya nadiren akümülatörlü).
- e- Dağ demiryolları için ototrenler (Çoğunlukla dışarıdan akım girişli, bazen kendine özgü enerji kaynaklı).

II.2. 2. Ray üzerinde gitmeyen elektrikli taşıtlar

Yoldan yararlanan bu taşıtların sınıflandırılması

şu şekilde olabilir:

a- Akümülatörlü taşıtlar:

Elektrikli otomobiller, insan ve yük taşımacılığında kullanılan elektrikli kariyerler.

b- Dizel elektrikli otobüsler veya yük kamyonları.

c- Trolleybüsler, Akü bataryalı veya dizel elektrikli olabilen tipleri de vardır.

II.3. AKIM CİNSİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

II.3.1. Doğru akımla beslenen elektrikli taşıtlar.

II.3.2. Tek fazlı alternatif akımla beslenen elektrikli taşıtlar.

II.3.2.1. $(16 \frac{2}{3})$ Hz ve bunun gibi küçük frekanslı tek fazlı alternatif akımla beslenen elektrikli taşıtlar.

II.3.2.2. (50) Hz standart endüstri frekanslı tek fazlı alternatif akımla beslenen elektrikli taşıtlar.

II.3.3. Üç fazlı alternatif akımla beslenen elektrikli taşıtlar.

Şimdi bunları sırasıyla inceleyim:

Doğru akımla besleme sistemi, elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan en eski besleme şeklidir. Uygulaması en çok 500-800 V işletme geriliminde yakın mesafe ulaşım (Tramvay, Trolleybüs gibi) sistemlerinde olmuştur. Taşıta gerekli elektrik gücü, uygun noktalardan beslenen seyriletkeni veya akım rayı vasıtasıyla sağlanır. Tramvaylarda seyriletkeni olarak bir havaî hat kullanılır, ray da dönüşiletken görevini yapar. Trolleybüslerde ise lastikleri nedeniyle iki havaî hat kullanılır.

Doğru akım sisteminde, doğru akım üretilmesinin mümkün olduğu çok kısa mesafeli ulaşım sistemleri hariç olmak üzere, genellikle enerji; üç fazlı yüksek gerilim hatlarından yardımcı santraller yoluyla sağlanır. Bu nedenden yardımcı santrallerde transformatör ve doğrultmaç düzeni bulunur. Yoğun trafikli yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan yardımcı santraller genellikle 3.5km. aralıklı kururlar. Yeni yardımcı santrallerin hemen hepsi, uzaktan kumanda edilebilen ve sürekli bakımı gerektir-

meyen tiptendirler.

Kent içi ve kentlerarası ulaşımında doğru akım sistemi, pek çok ülkede örneğin Fransa, İtalya, İngiltere ve Belçika'da kentlerarası; Almanya'da ise kent içi ulaşımında kullanılmaktadır.

Tek fazlı alternatif akım sisteminde, 35 km.lik yayılma alanı içinde, yüksek gerilim genellikle 15-25 kV olduğundan elektrikli taşıta enerji sağlanması doğrudan olabilir. Daha uzun mesafeler için gerilim daha yüksektir ve yardımcı santral gerektirir(1). $(16\frac{2}{3})$ Hz tek fazlı alternatif akımlı sistemlerde; cer motorları tek fazlı kollektörlü alternatif akım seri tiptendirler ve taşıttaki bir transformatör yardımı ile seyriletkenindeki gerilim, motorun uçlarına uygulanabilecek gerilim değerine düşürülür. Bu tip motorlar $(16\frac{2}{3})$ Hz ve 50 Hz tek fazlı alternatif akım sistemlerinde kullanılmasına rağmen bugün artık çoğunlukla, taşıttaki doğrultucular tarafından beslenen, doğru akım cer motorları kullanılmaktadır. Bu durumda da doğrultuculara ve motorlara uygun gerilimi sağlamak için bir transformatöre gereksinme vardır.

Düşük frekanslı tek fazlı alternatif akım sistemi Amerika'da 25 Hz olarak pek az kullanılmasına rağmen, İsviçre, Almanya, Avusturya ve İskandinav ülkelerinde $(16\frac{2}{3})$ Hz. değerinde büyük uygulama alanı bulmuştur. Bugün artık zorunlu nedenler dışında kullanılmamaktadır.

50 Hz frekanslı tek fazlı alternatif akım sistemi ise Türkiye, Fransa, Rusya ve Japonya'da ve bilhassa yeni yapımı planlanan elektrikli ulaşım sistemlerinde büyük gelişme kaydetmiştir ve bu günün olduğu kadar yarının da sistemi olarak görülmektedir.

Üç fazlı alternatif akımlı sistemde; taşıtlar için gerekli enerji, santralden doğrudan doğruya, ya da yüksek gerilim enerji sisteminden ve yardımcı santralde bulunan bir transformatör üzerinden sağlanır. Burada kullanılan cer motorları (Genellikle üç fazlı asenkron motorlar), orta gerilimlerde ekonomik olarak yapılabilmeleri ve verimlerinin

yüksek olması nedeniyle bir üstünlük sağlarlar. Taşıtın yokuş aşağı hareketinde, senkron hızın üstünde bir çalışma gerçekleştiğinden, motorun generatör olarak çalışması sonucu besleme hattına enerji vermesiyle enerji kazancı da sağlarlar. Bütün bunlara karşı iki seyr iletkenin olması bir dezavantaj olarak gösterilebilir.

Üç fazlı alternatif akım sisteminin ilk uygulamaları 1902 yıllarında İsviçre'nin dağlık bölgelerinde olmuş, daha sonra da İtalya'da da kullanılmış ise de bugün artık özel çalışmalar dışında kullanılmamaktadır.

Elektrikli ulaşım sistemleri yönünden Türkiye'nin durumu ise kısaca şöyledir:

1956 yılında İstanbul'da Sirkeci-Halkalı arasında elektrikli banliyö trenleri servise konmuştur. Burada cer motoru olarak tek fazlı kollektörlü seri motorlar kullanılmakta ve besleme 25 kV, 50 Hz'lik tek faz seyr iletkeni ve transformatör üzerinden yapılmaktadır(7). 1970 yılında da İstanbul'da Haydarpasa-Gebze arasında elektrikli banliyö trenleri servise konmuş ve Haydarpasa-Ankara Demiryolunun tümünün elektrikliye dönüştürülmesi plânlanmıştır. Daha sonra 1972 yılında Ankara'da Sincan-Kayaş arasında elektrikli banliyö trenleri çalıştırılmaya başlanmıştır. Bunlarda, cer motoru olarak doğru akım seri motoru kullanılmakta ve besleme; 25 kV, 50 Hz tek fazlı seyr iletkeni, transformatör, diyot ve tristörlerin kullanıldığı doğrultma devreleri üzerinden yapılmaktadır.

Ayrıca İstanbul ve Ankara'da kent içi ulaşımında trolley-büsler de kullanılmaktadır. 1960'dan sonra servise giren bu taşıtların seyr iletken gerilimleri 650 V doğru gerilimdir. Tahrik motorları doğru akım seri tiptendirler.

Ü Ç Ü N C Ü B Ö L Ü M

YAKIN MESAFE ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE DOĞRU AKIMLI SİSTEMLERLE TEK FAZLI ALTERNATİF AKIMLI SİSTEMİN KARŞILAŞTIRILMASI

Yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan alçak gerilimli doğru akım sistemi (doğru akım seyriletkenli ve doğru akım motorlu), tek fazlı sistem (tek fazlı alternatif akım seyriletkenli ve tek fazlı alternatif akım motorlu)'e göre daha üstündür. Zira genel olarak değerlendirilirse;

- Doğru akım sisteminde, cer motorunu kontrol eden aygıtlar daha hafiftir, tesis bakım ve onarım giderleri de tek fazlı sistemindekilere göre daha azdır.

- Doğru akım cer motorunun dinamik karakteristikleri, sık sık yol alan ve büyük ivme gerektiren yüklü taşıtlar için, tek fazlı cer motorunkilere göre daha elverişlidir.

- Aynı işletme koşulları altında, doğru akım sisteminde enerji gideri daha azdır.

- Tek fazlı sistemin, yakın haberleşme sistemlerinde önemli parazitler meydana getirmesine karşı, doğru akım sistemi için böyle bir sakınca yoktur.

Doğru akım sisteminin tek fazlı sisteme göre belirtilen bu üstünlüklerine karşı, alternatif şebeke geriliminin doğru gerilime dönüştürülmesi ve yardımcı santrallerin kısa mesafelerle yerleştirilmesi nedenleri dezavantaj olarak sayılabilir(8).

Bu çalışmada, hat geriliminin doğru gerilim olarak alınmasının nedeni; yukarıdaki karşılaştırmadan görüldüğü gibi, bilhassa yakın mesafeli ulaşımlarda, doğru akım sisteminin tek fazlı ve üç fazlı alternatif akım sistemine göre üstünlüklerinin olmasıdır.

D Ö R D Ü N C Ü B Ö L Ü M

DOĞRU AKIM MOTORLARININ ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KULLANILMASI

Yakın mesafe ulaşım sistemlerinde seyr iletken gerilimi, yukarıda belirtilen üstünlükleri nedeniyle genellikle doğru gerilim olduğu için, tahrik motoru doğal olarak doğru akım motoru olmaktadır. Doğru akım motoru olarak, elektrikli ulaşım sisteminin gereksinmelerini en iyi bir şekilde karşılayabilecek olanını seçmek gerekir. Bu nedenle, doğru akımlı elektrikli ulaşım sistemlerinde en çok kullanılan doğru akım seri motorun diğer doğru akım motor tiplerine göre üstünlüklerini kısaca inceleyelim:

IV.1. DOĞRU AKIMLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE DOĞRU AKIM SERİ MOTORUN KULLANILMASININ NEDENLERİ

Elektrikli taşıtların işletmedeki karakteristikleri bilindiği taktirde tahrik motorunun tipinin seçimi için, motorların dinamik karakteristiklerinin incelenmesi gerekir. Bir doğru akım motorunda moment ifadesi;

$$M = k_m \cdot \phi \cdot I \quad (IV.1)$$

şeklindedir. Burada;

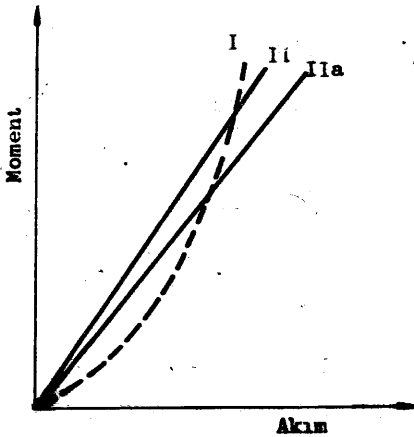
k_m : Motora ait bir sabit'i,

ϕ : Kutup başına akıyı,

I : Endüi akımını

gösterir.

(IV.1) ifadesine göre moment, akı ve endüi akımının çarpımıyla orantılıdır. Endüi akımının büyük değerleri için akım değişimine karşı moment değişimi, seri motorda şönt motora göre daha büyüktür(^x).



Şek. 4.1

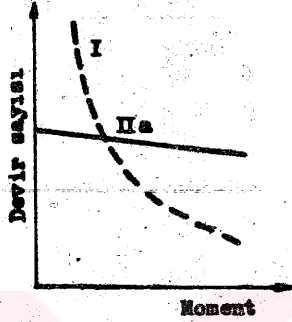
- I. Doğru akım seri motor
 II. Doğru akım şönt motor
 için moment-akım karakteristikleri.

Şek.4.1'de kaynak gerilim değişiminin moment üzerine etkisi şönt motorda nominal gerilim için II, nominal gerilimin %20 düşmesine karşın geleni IIa eğrisi ile gösterilmektedir. Seri motorda ise aynı karakteristiği koruduğu, seri motorun kaynak gerilimi değişmelerinden pek etkilenmediği görülmektedir(8). Bu eğrilerin incelenmesinden, kaynak geriliminin değişmediği öngörülse bile; büyük momentin gerekli olduğu yol alma sırasında seri motorun çektiği akımın, şönt motora göre daha düşük olduğu görülür.

Seri motorun diğer üstünlüğü de Şek. 4.2'deki Moment-Devir sayısı karakteristiğinden görülebilir: seri motorun momenti artarken, devir sayısı önemli ölçüde düşer ve aşırı yüklenmeden kendi kendine korunur. Örneğin, yokuşlarda şönt motorun devir sayısı çok düşmediği için, büyük eğilimli yokuş boyunca çektiği güç de düzdeki

(²) Elektrik cer motorları için önemli olan moment-akım ve hız-moment karakteristیکlerinde şönt ve serbest uyarmalı motorlar birbirlerine çok benzediklerinden ve seri, kompond, şönt motor arasında kompond motorun karakteristiği bir ara karakteristik olarak görülebileceği için seri motorla şönt motorun karşılaştırılması yeterli olacaktır.

birkaç katı olabilir(9). Ayrıca bu eğrilerin karşılaştırılmasından görülebileceği gibi aynı moment aralığında seri motorun, daha büyük devir sayısı aralığında serbestçe çalışabileceği görülür.



Şek. 4.2

- I. D.A Seri motor
II. D.A Şönt motor için devir sayısı moment eğrileri.

IV.2 DOĞRU AKIM SERİ MOTORA DİRENÇLE YOL VERME VE DEVİR SAYISININ AYARLANMASI (KLÂSİK YÖNTEM)

Doğru akım motoruna normal bir gerilim uygulanması halinde endüklenecek gerilim ifadesi (10);

$$E = k_e \cdot n \cdot \Phi \quad (IV.2)$$

dır. Burada;

k_e : Motora ait bir sabiti

n : Motorun devir sayısını

Φ : Kutup başına akı'yı gösterir.

Motora ait uç gerilimi ifadesi ise;

$$U = E + R_t \cdot I \quad (IV.3)$$

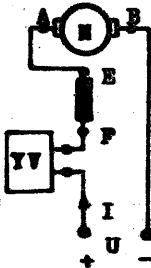
dır. Burada;

E : Endüide endüklenen e.m.k.'i

I : Endüiden geçen akımı.

R_t : Endüi'ye seri giren dirençlerin toplamını gösterir.

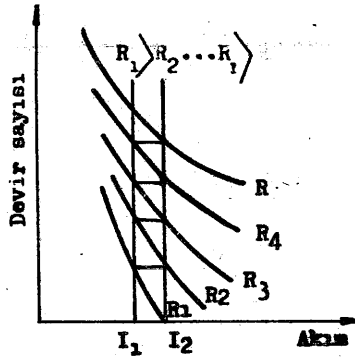
Motoru yol verirken, başlangıçta endüide endüklenen gerilim sıfır olduğu için motorun çektiği akım çok büyük olur. Yol alma süresince, motordan geçen akımı belirli sınırlarda (I_1 ve I_2) tutmak için devreye kademeli dirençler sokulur (Şek.4.3). Bu durumda her bir direnç kademesine bir devir sayısı-akım eğrisi karşın gelecektir. Yol almanın sonunda; devrede sadece endüi ve uyarma sargısı bulunacak ve motor normal çalışma noktasına ulaşacaktır. (Şek. 4.4). O halde seri motorun hızının ayarlanması için bir yöntem de, endüi devresine seri dirençlerin sokulmasıdır. Elektrikli ulaşım sistemlerinde, klâsik yöntemde bu ayar şekli kullanılmaktadır. Burada, dirençlerdeki enerji kaybının büyük olacağı doğaldır. Klâsik yöntemde göre devir sayısı ayarının ya da Devir sayısı-Akım karakteristiğini değiştirmenin bir başka şekli de alan zayıflatılmasıdır. Uyarma alanının değiştirilmesi, uyarma sargısına paralel bir direnç bağlamak veya uyarma sargısının bir bölümünden akımın geçmesi için bu sargıdan uçlar çıkartmak şekliyle gerçekleştirilir. Aynı bir şöntleme oranı (Uyarma akımının endüi akımına oranı) için, uyarma sargısının uçlandırılmasında ya da dirençle şöntlenmesinde motor toplam direncinin aynı kalması nedeniyle, bu iki alan zayıflatması durumunda motor verimi aynı kalır(9). Belli bir akım için alanı zayıflatılan motorun momentı, normal motorun momentinden daha küçüktür ve devir sayısı ise, normal motorun de-



Şek. 4.3.

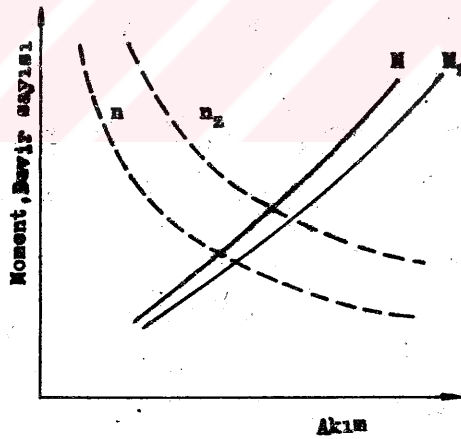
Seri motorun dirençlerle yol verilmesine ait bağlantı şeması.

Y.V - Kademeli yol verme dirençleri
E.F - Motorun uyarma sargısı uçları
A.B - Motorun endüi uçları



Şek.4.4-Doğru akım seri motorun dirençle yol verilmesine ait;
(Direnç = Sabit) Devir sayısı-Akım eğrileri.

vir sayısından daha büyüktür (Şek. 4.5).



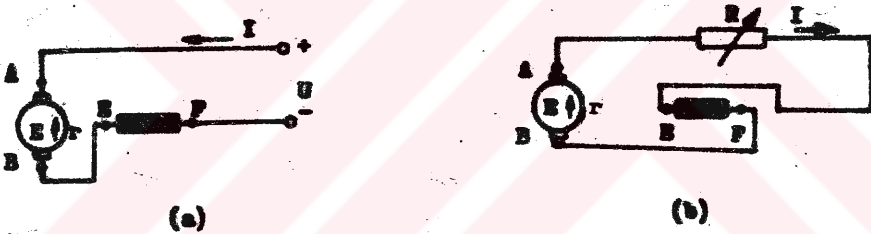
Şek. 4.5 - Normal ve alanı zayıflatılmış motor için; devir sayısı-motor akımı karakteristikleri: $n = f(I)$, $n_2 = f(I)$ ve,

Normal ve alanı zayıflatılmış motor için, moment-motor akımı karakteristikleri: $M = f(I)$, $M_2 = f(I)$

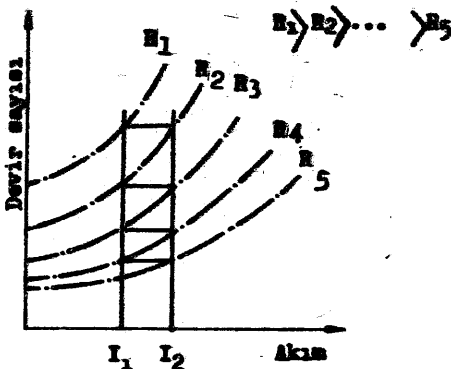
IV.3. DOĞRU AKIM SERİ MOTORUN FRENLENMESİ (KLÂSİK YÖNTEM)

IV.3. 1. ELEKTRİKSEL DİRENİMİLE FRENLEME

Belirli bir devir sayısında çalışan motorun uçları besleme kaynağından ayrılarak endüi ve uyarma alanı, endüide oluşacak elektromotor kuvvetin bir direnç üzerinden akıtacağı akımla, uyarma alanında, uyarma alanındaki kalıcı mıknatıslığı artırıcı şekilde bağlandığı taktirde; seri motor, generatör olarak çalışarak fren etkisi gösterir (Şek. 4.6). Fren etkisinin oluşabilmesi için; toplam devre direnci $(R+r)$ 'nin, motorun o andaki devir sayısına karşın gelen kritik dirençten küçük olması gerekir. Burada seri bağlı dirençlerin de-



Şek. 4.6 - a- Doğru akım seri motorun normal çalışmasına ait bağlantı şeması.
b- Doğru akım seri motorun elektriksel direnimle frenlenmesine ait bağlantı şeması.

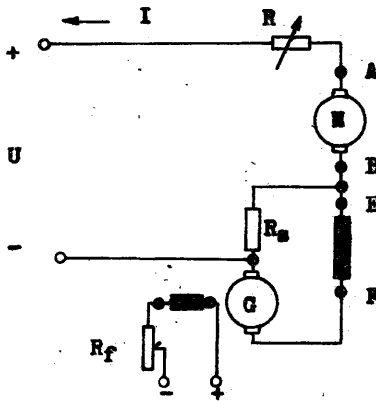


Şek.4.7.Seri motorun elektriksel direnimle frenlenmesine ait (Direnç=sab.) Devir sayısı-Akım eğrileri.

ğiştirilmesiyle istenildiği kadar büyük fren kuvveti oluşturulabilir. Elektrikli taşıtlarda, sabit bir momentle frenleme arzu edilmesine rağmen pratikte bu dirençler kademeli olarak değiştirildiğinden bu istek gerçekleştirilemez (Şek. 4.7) (9).

IV. 3.2. FAYDALI FRENLEME

Bu çeşit frenlemede motorun endüisinde endüklenen gerilim; besleme kaynağı gerilimi ile motor ve ek elemanlarındaki gerilim düşümlerinin toplamına eşittir. Bu durumda, motor generatör olarak çalışıp besleme kaynağına enerji vermektedir. Bu tür frenlemede; makinanın endüisinde endüklenen gerilimin, devir sayısından ve fren momentinden bağımsız olması istenir. Bunun için; uyarma sargısının tamamı serbest uyarılır veya uyarma sargısı ikiye ayrılarak bu sargılardan biri serbest ve fakat diğeri ile ters compound oluşturacak şekilde uyarılır. Bunlardan birincisinde sistemin elektriksel stabilitesi daha iyidir. Örneğin, besleme kaynağı geriliminin âniden düşmesi durumunda, besleme kaynağına verilen akımda artma eğilimi, stabilite direncindeki gerilim düşümünü artırmak suretiyle, yani uyarmanın azaltılması ile kontrol edilir (Şek. 4.8).



Şek. 4.8 - Doğru akım seri motorun faydalı frenlenmesi.
 M - Ser motoru, EF - Ser motoru uyarma sargısı uçları,
 G - Uyarma sargısını besleyen generatör,
 R_s - Stabilite direnci
 R_f - Generatörün uyarma akımı ayar reostası.

Burada tahrik motorunun devir sayısını ve fren momentini sınırlayan faktörler motora ait komutasyon ve sargıların ısınmasıdır.

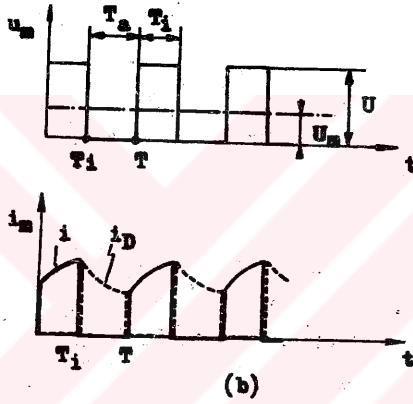
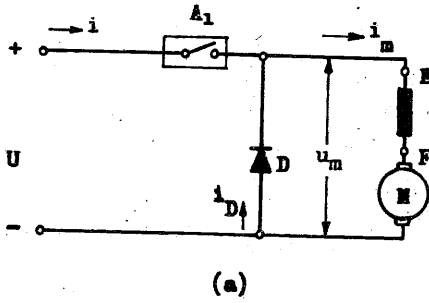
Alan zayıflatmalı, yüksek devir sayılarındaki çalışmalarda moment, komutasyonla sınırlanır. Bu durumda iyi bir komutasyon elde etmek için, alan amper-sarımının, endüi amper-sarımına oranı yüzde 40'dan küçük olmaması gerekir(8).

Klâsik yöntemle göre yapılan faydalı frenlemede, yolun durumuna bağlı olarak enerjiden ekonomi ve tekerleklerdeki aşınma ve bakım azlığı gibi avantajlara karşı, tahrik motorunun uyarma sargısını besleyen ek bir generatörün ve bunu tahrik eden bir motorun ve diğer ek aygıtların taşıta oluşturacağı ağırlığı ve bunlara ilişkin kayıplar bir dezavantaj olarak görülebilir.

IV. 4. DOĞRU AKIM SERİ MOTORUN GÜÇ ELEKTRONİĞİ İLE KONTROLÜ (MODERN YÖNTEM)

IV. 4.1. DOĞRU AKIM KIYICISININ ÇALIŞMA PRENSİBİ

Doğru akım kıyıcısı; bir kontaklız anahtar (Tristor veya ters iletimli tristor) ve geri besleme diyodundan oluşur (11). Şek. 4.9'da böyle basit bir doğru akım kıyıcı devresi verilmiştir. A_1 ile gösterilen kontaklız anahtar, T_1 süresince kapalı olduğu taktirde, motora U gerilimi uygulanmış olur ve bu sürede motor akımı i_m , kaynak akımı i 'ye eşit olur. Bu durumda geri besleme diyodu akım geçirmez, motor akımı devrenin zaman sabitine ve endüideki e.m.k'e göre artma gösterir. A_1 kontaklız anahtarı T_2 süresince açık olduğu taktirde motor gerilimi $u_m = 0$ ve kaynak akımı $i = 0$ dir. Motor akımı ise geri besleme diyodundan akar ve kaynaktan beslenmediği için gittikçe azalır.



Şek. 4.9

- Doğru akım kılıcısının;
 a. Basit devre şeması.
 b. Motor akım ve geriliminin zamana göre değişim eğrileri.

Motora uygulanan gerilimin periyodu;

$$T = T_1 + T_a = \frac{1}{f}$$

(IV.4)

ortalama değeri ise;

$$U_m = [T_1 / (T_1 + T_a)] \cdot U = (T_1 / T) \cdot U = T_1 \cdot f \cdot U \quad (IV.5)$$

dır. T_1/T darbe oranını değiştirerek, motor geriliminin ortalama değeri kayıpsız (Kontaksız anahtardaki kayıp ihmal) olarak, sürekli bir şekilde değiştirilebilir. Darbe oranının değiştirilmesi, darbe frekansı f 'yi sabit tutup kontaksız anahtarın kapalı kaldığı T_1 süresini değiştirmek yoluyla veya T_1 'yi sabit tutup f 'yi değiştirmek şekliyle yapılabilir. Yukarıdaki ifadeye benzer şekilde, kaynaktan çekilen ortalama akım ile motorun çektiği ortalama akım arasında,

$$I = T_1 \cdot f \cdot I_m \quad (IV.6)$$

bağıntısı vardır. Bu akım ve gerilim ifadeleri, doğru akım kıyıcısı yardımıyla şebeke ile motor arasında bir güç transformasyonu olduğunu gösterir. Diğer taraftan, motorun küçük devir sayısında ve küçük güçte çalıştığı yol alması ve hızlanması süresince, ortalama değer olarak şebekeden küçük bir akım çekilmesine karşılık motorun çektiği akımın büyük olduğu görülür.

IV. 4.2. DOĞRU AKIM SERİ MOTORUN DOĞRU AKIM KIIYICISIYLA BESLENMESİ VE FAYDALI-DİRENİMLİ FRENLEME

IV. 4. 1. GİRİŞ DEVRESİ

Doğru akım kıyıcısının, besleme hattından çektiği akımın daha az dalgalı olması için genellikle girişe bir kondensatör konur(12). Bu kondansatörün minimum değeri, doğru akım kıyıcısının giriş geriliminin dalgalılığı ile belirlenir. Bununla beraber, seyir iletkeninin indüktansı ile kapasitenin bir osilasyon devresi oluşturduğu görülür (Şek.4. 10). Bu nedenden doğru akım kıyıcısının frekansının, bu osilasyon devresi rezonans frekansının daima dışında kalması sağlanmalıdır. Besleme noktasından taşıta olan uzaklık değiştiği için rezonans frekansı da değişecektir. Girişteki filtre indüktansının değeri, bu indüktans ile seyir iletkeni indüktansının toplamı o-

lan L indüktansı ve C kapasitesi, belli bir minimum rezonans frekansını oluşturacak şekilde artırılabilir. Buna göre, doğru akım kıyıcısının minimum frekansı, bu osilasyon devresinin maksimum rezonans frekansından büyük olmalıdır. O halde doğru akım kıyıcısının minimum frekansı, sabit iletim zamanlı kontrol sistemi için minimum gerilim değerini belirler.

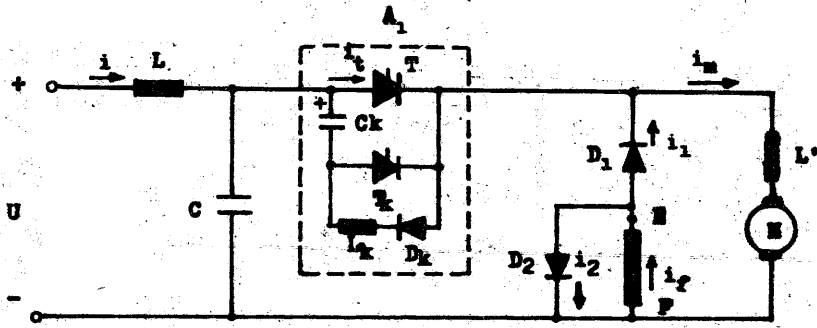
IV.4.2.2. DOĞRU AKIM KIIYICISININ ÇALIŞMASI

Şek. 4. 10'da gösterilen doğru akım kıyıcısı, T ana tristoru (Yükleme koşullarına göre bir kaç tristor paralel bağlanabilir.) ve bu tristoru kesime götürmede yararlanılacak olan T_k tristoru, C_k komutasyon kapasitesi, C_k 'nin sırayla aynı yönde kutuplanmasını sağlayacak olan D_k diyodu ve L_k selfinden oluşur. Doğru akım kıyıcısının çalışması kısaca şu şekilde özetlenebilir; T ana tristoru tetiklenmeden önce, C_k komutasyon kapasitesi şeklindeki polaritede kutuplanmış olmalıdır. T ana tristoru tetiklendiği zaman, bu tristordan hem yük akımı ve hemde C_k , L_k 'dan oluşan osilasyon devresinden, C_k ters polarite ile yükleninceye kadar osilasyon akımı akar. D_k diyodu C_k 'nin yeniden boşalmasını önler. Bundan sonra T tristoru kesime geçmeye hazır durumdadır ve bunun için T_k tristorunun tetiklenmesi gerekir.

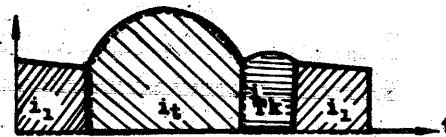
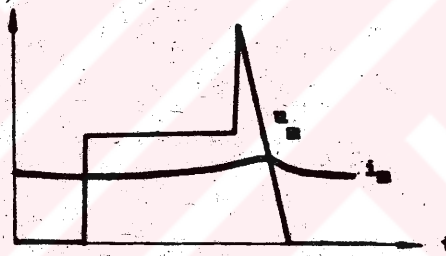
IV.4.2.3. GERİ BESLEME VE OTOMATİK ALAN ZAYIFLATMA DEVRESİ

Otomatik alan zayıflatma yöntemi, hem normal çalışmada ve hemde fren çalışmada yüksek hızlar için kullanılır. Uygulaması, gerilimi ve gücü nisbeten büyük (1500V d.a, 8X150 kW) demiryolu, gücü ve bilhassa gerilimi daha küçük (600-750V d.a, 2X120 kW) olan trolleybüs ve metro taşıtlarında olmak üzere iki şekilde yapılır.

Bunlardan birinci yöntemde; doğru akım seri motorun uyarma sargısı iki bölümden oluşur. Sargılardan biri normal bağlantıda olduğu gibi endüye seri bağlanır, diğeri, geri besleme diyodu ile şöntlenerek ikinci bir doğru akım kıyıcısı ile birlikte tüm devreye paralel girer (13). Burada iki adet doğru akım kıyıcısının kullanılması bir sakınca oluşturur (^x).



(a)



(b)

Şek. 4.10- Otomatik alan zayıflatmalı d.a seri motorun doğru akım kısıyıcısıyla beslenmesine ait:

a- Bağlantı şeması.

b- Akım ve gerilim dalga şekilleri:

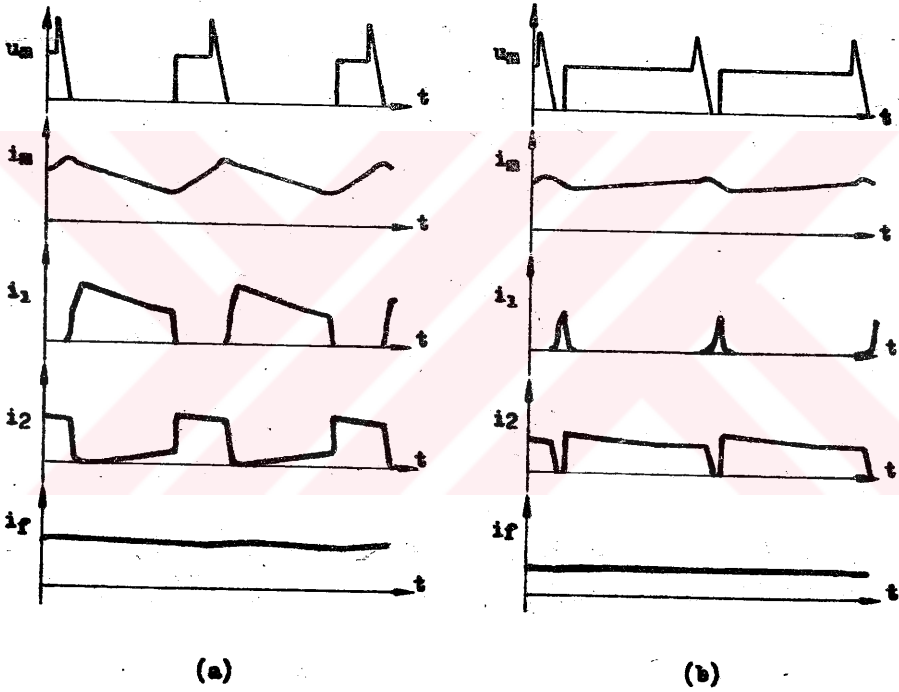
i_{Tk} - Komutasyon tristorundan geçen akım,

i_m - Motor endüi akımı, u_m - Motor endüi gerilimi,

i_t - Ana tristor akımı, i_1 - Geri besleme akımı.

(X) Konu dışında kaldığından üzerinde daha fazla durulmamıştır.

Otomatik alan zayıflatmasının yapıldığı ikinci yöntemde, motor çalışma Şek.4.10'daki devre ile gerçekleştirilir. Bu devre, geri besleme diyotları yardımıyla uyarma sargısındaki enerjiden faydalanma esasına dayanır.



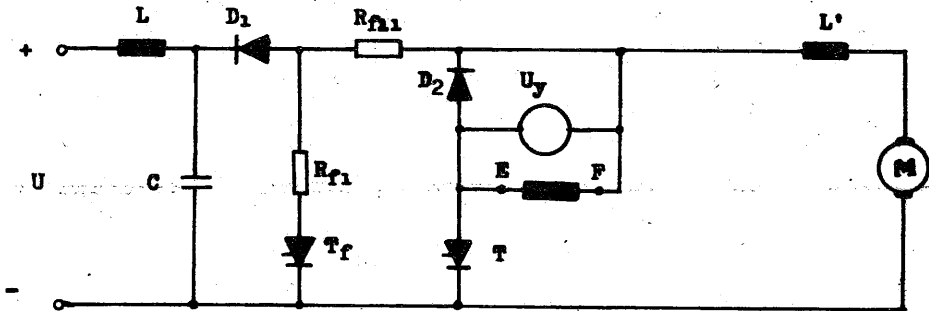
Şek.4.11- Şek.4.10'daki otomatik alan zayıflatmalı d.a seri motorun,
a- Normal alanla,
b- Zayıflatılmış alanla,
çalışmalarına ait akım ve gerilim dalga şekilleri.

IV.4.2.4. FAYDALI-DİRENİMLİ FRENLEME

Taşıtın ağırlığından ve tesis giderlerinden ekonomi sağlamak amacıyla hem motor ve hem de fren çalışmada aynı elemanların kullanılması yoluna gidilir. Seyr durumundan fren durumuna geçiş hat akımı mümkün mertebe sıfır değerinde iken elektromekanik anahtar yardımıyla olur. Şek.4.12'de faydalı-direnimli frenlemenin yapılabildiği bir fren devresi verilmiştir. Uy yardımcı kaynağından uyarma sargısına küçük akım darbelerinin uygulanmasıyla, fren kuvvetinin oluşmasına yardımcı olunur. Bu durumda frenleme daha güvenceli olur. Burada faydalı frenleme ve direnimli frenleme üç bölümde gerçekleşmektedir:

- T Doğru akım kıyıcısının iletimde olması,
- T doğru akım kıyıcısının ve T_f doğru akım kıyıcısının kesimde bulunması,
- T_f doğru akım kıyıcısının iletimde olması.

Birinci bölümde endüi akımı, T doğru akım kıyıcısı ve uyarma sargısı yolunu izler. Bu bölümün uzunluğunu, endüi geriliminin hat gerilimine oranı belirler. İkinci bölümde; endüi akımı D_1 geri besleme diyodu ile besleme hattına verilir. Üçüncü bölümde; frenleme enerjisi besleme hattına verilmediği için endüi akımı R_{f1} frenleme direnci üzerinden akar. Hat ile seri bağlı bulunan R_{f11} frenleme direnci ise yüksek hızlarda frenleme yapılacağı zaman, aniden devreye girerek fren kuv-



Şek.4.12- Doğru akım seri motorun doğru akım kıyıcıları kullanarak faydalı-direnimli frenlenmesi.

vetinin tam uygulanmasını ve besleme hattında oluşabilecek kısa devrelere karşı korumayı sağlar. Burada T_f doğru akım kıyıcısının iletimde bulunma zamanı, frenleme enerjisinin büyük bir bölümü besleme hattına verilecek şekilde değiştirilerek, direnimli ve faydalı frenleme karışık olarak yapılır.

IV.4.3. DOĞRU AKIMLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE DOĞRU AKIM KIIYICISI KULLANILMASIYLA SAĞLANAN ÜSTÜNLÜKLER

- Cer motorlarına özgü endüi gerilimlerinin değeri hemen hemen sıfır ile besleme gerilimi değeri arasında sürekli olarak ayarlanabilir.
- Gerilim kontrolü için seri dirençlere gereksinme olmadığından seri dirençlerde kaybolan enerjiden ekonomi sağlanır. Faydalı frenleme yapılamıyorsa, direnimle frenleme için gene de bir direnç gereklidir.
- Hat ve motor arasında güç transformasyonu, yol alma süresinde, doğru akımlı taşıtların hattan daha az akım çekmesine neden olur. Yol almadaki akım yükselmeleri, güç istasyonlarının hesabında önemli bir faktördür ve doğru akım kıyıcısı kullanılması güç istasyonlarının kapasitelerini daha bir süre için yeterli kılabilir.
- Isınma sınırını aşmamak koşuluyla motorlar, karakteristik eğrileri üstünde herhangi bir noktada çalıştırılabilirler.
- Kademeli ayar yerine sürekli ayar yapılabilirdi için hareket süresince sarsıntı hissedilmez.
- Hızlanma ve yavaşlamanın kesintisiz olması ve elektriksel büyüklükleri kontrol eden elektronik kontrol sisteminin cevap hızının büyük olması nedeniyle motorlarda ve transmisyonda aşınma ve eskime daha az olur.

IV.4.4 ÖRNEKLER

İlk olarak, 1968 yılında, Almanya'da doğru akım kıyıcılı 200 - 500 kW'lık güçlerde on adet endüstri tipi lokomotif çalıştırılmağa başlandı. 1969 yılında bunlara iki adet daha eklendi. 1971 Mayıs'ında Almanya'nın Berlin kentinde, kent içi ulaşımında kullanılmak üzere sadece direnime frenlemeli 28 tramvay işletmeye sokuldu. Aynı yılın sonbaharında doğru akım kıyıcılı trenler Berlin metrosunda ilk defa kullanılmaya başlandı(14).

1973 yılında serbest uyarımlı motorlarla tahrik edilen (Uyarma sargısı ayrı bir doğrultucu devresiyle besleniyor) toplam sürekli gücü 8 x 100 kW, maksimum hızı 90 km/h olan faydalı direnime frenlemenin yapılabildiği, doğru akım kıyıcılı lokomotifler İsveç'in Stockholm metrosunda kullanılmaya başlandı(15).

1976 Martında İtalyan Devlet Demiryolları deney olarak ilk defa doğru akım kıyıcılı bir lokomotifi Milano'da işletmeye soktu. Dört adet motorun kullanıldığı bu lokomotifin 120 km/h hızındaki sürekli gücü 4500 kW olup maksimum hızı ise 200 km/h idi(16).

Yine 1976 yılında İsviçrenin Zurich belediyesi, saatlik toplam gücü 276 kW ve maksimum hızı 65 km/h olan altmış adet direnime frenlemeli, doğru akım kıyıcılı tramvayı kent içi ulaşımında kullanmaya başladı(17).

1978 yılında Brezilyanın Sao Paulo kenti için, her birinin sürekli gücü 207 kW olan dört adet motorun kullanıldığı maksimum hızı 90 km/h olan altı vagonlu, doğru akım kıyıcılı, toplam elli tren yapılmasıyla ilgili olarak Fransa ile Brezilya arasında anlaşma yapılmıştır(18).

1980 yılında Avusturyanın Viyana ve Suhrental demiryolu klâsik reosta kontrollu trenleri geniş çapta değiştirdi. Bu şekliyle her birinin saatlik gücü 448 kW olan dört motorun kullanıldığı doğru akım kıyıcılı trenlerin maksimum hızı 80 km/h dır(19).

IV.5. ALAN ZAYIFLATILMASININ KONTROL EDİLEBİLDİĞİ DOĞRU AKIM KİYİCİLİ BİR DEVRE

Böl. IV.4.2.3'de d.a seri motorun alan zayıflatılması-
nın otomatik olarak iki yöntemle gerçekleştirildiği belirtil-
mişti. Her iki yöntemde bir veya iki doğru akım kıyıcısı kul-
lanıldığı halde, alan zayıflatılmasının tam olarak kontrol e-
dilememesi bir sakıncadır.

Burada, endüi devresinde bir doğru akım kıyıcısı ve alan
devresinde bir tristör kullanmak suretiyle alan zayıflatılma-
sının tam olarak kontrol edilebildiği bir düzen tanıtılmış ve
buna ait tam bağlama şeması verilmiştir(Şekil 4.13).

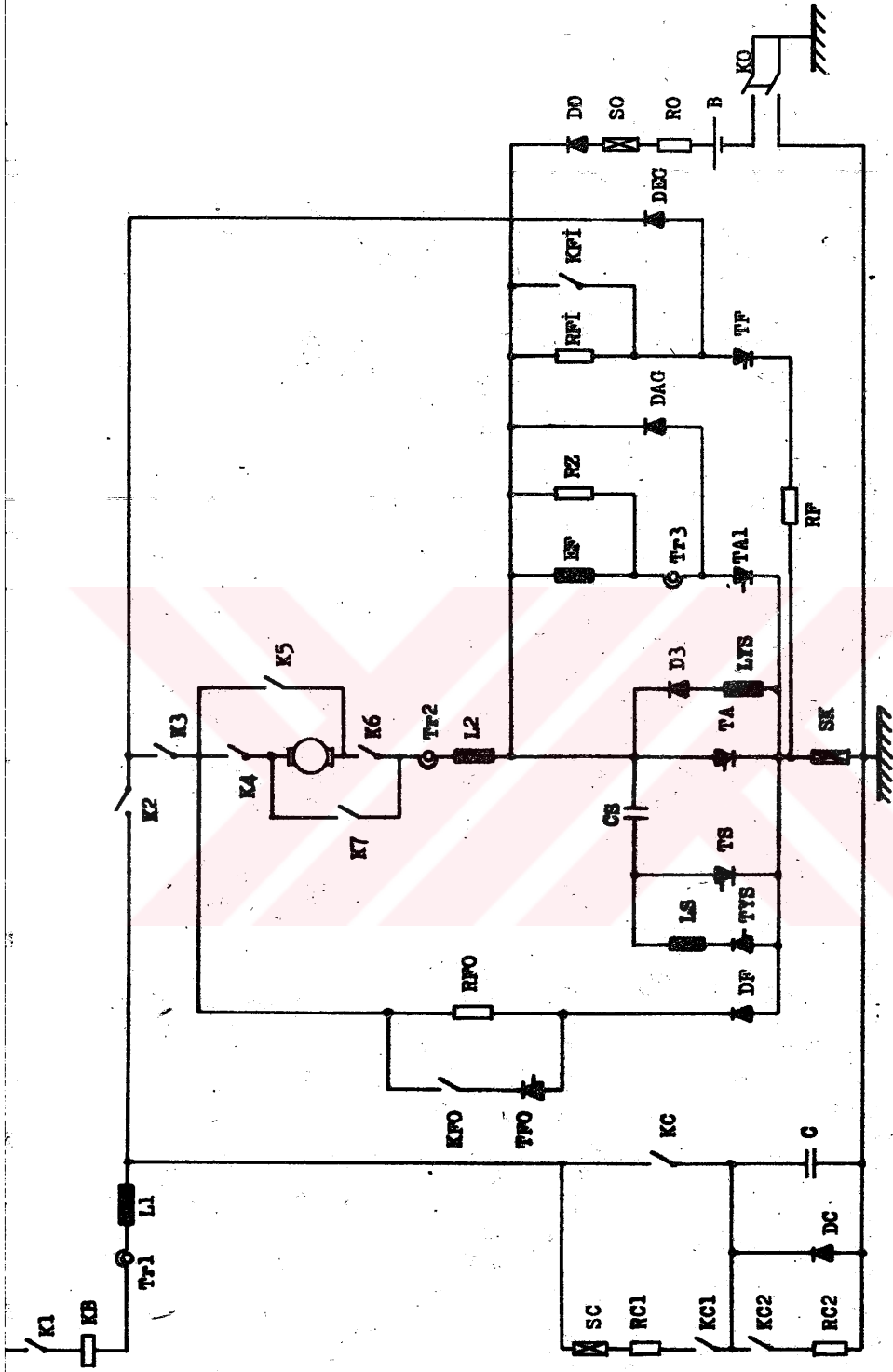
Burada da endüi ve alan devrelerinde bulunan selflerdeki ener-
jiden faydalanmak için geri besleme diyotları kullanılmıştır.
Bu düzende, alan sargısı ve seri bağlı tristörü, endüi doğru
akım kıyıcısına paralel bağlı bulunduğundan, alan tristörü i-
çin ayrı bir komutasyon devresine gereksinme duyulmaması ayrı
bir üstünlük sağlar.

IV.5. 1. ÇALIŞMA PRENSİBİ

Şek.4. 13'de görüldüğü gibi; tahrik motoruna akım seyriletkeninden AAl akım alıcısı vasıtasıyla L1 giriş filtre bobini üzerinden sağlanmaktadır. Devre esas itibarıyla; endüide alan zayıflatılmasında gerekli bir ana doğru akım kıyıcısı, alan tristoru, geri besleme diyotları ve frenleme dirençlerinden oluşur. Motorun EF alan sargısı ve buna seri bağlı TAL alan tristoru, doğru akım kıyıcısının TA ana tristorüne paralel bağlanmıştır. Böylece ana tristorun kesime geçirme düzeniyle aynı anda alan tristorunu kesime geçirmek mümkün olur. Örneğin; alan tristorunun t_1 anında tetiklendiğini kabul edersek; endüi akımı alan sargısından akar. Bundan Δt zamanı sonra ana tristor tetiklenirse, ana tristoründen akım geçmeye başlar ve alan sargısı üzerindeki gerilim yaklaşık olarak sıfır olur. Ana tristoru ve alan tristorünü kesime geçirmek için TS söndürme tristorü tetiklendiği takdirde selfler nedeniyle endüi ve alan devrelerinde akımlar, DEG ve DAG geri besleme diyotları üzerinden kısa devre olurlar. Alan zayıflatma derecesi, alan sargısı üzerindeki gerilimin efektif değerine bağlıdır. Bu ise; alan zayıflatma derecesi, ana tristorün alan tristorüne göre tetiklenme gecikme zamanı olan Δt 'nin küçülmesi ile artar anlamına gelir.

IV.5. 2. MOTORUN YOL ALMASI VE ALANIN ZAYIFLATILMASI

Motorun yol alması ve alan zayıflatılmasının yapıldığı hareket işletmesinde, K1, K2, K3, K4 ve K6 kontaktörleri kapalı konumdadır. Akım, seyriletkeninden motor endüisi, L2 endüi bobini ve, ya EF alan sargısı ve TAL alan tristorü veya



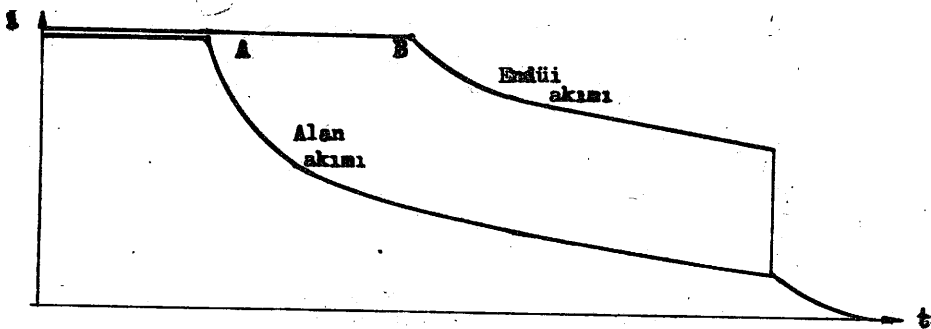
Şek.4.13- Alan zayıflatılmasının ve elektriksel olarak faydalı ve dirençle frenleme menin yapılabilirdiği, doğru akım kısılcısı ile beslenen bir seri motorun tam bağlantı şeması.

Şek.4. 13 deki bağlama şemasına ait elemanların tanıtımı:

AA1	Akım alıcısı
K1-KB	Aşırı akım kontaktörü ve kontaktör bobini.
Tr1	Akım transformatörü.
L1	Şebeke giriş bobini.
C	Şebeke giriş kondansatörü.
SC	Şebeke giriş kondansatörü boşalma sigortası.
RC1-RC2	Şebeke giriş kondansatörü boşalma ve yüklenme dirençleri.
KC1-KC2	Şebeke giriş kondansatörü boşalma ve yüklenme kontaktörleri.
DC	Şebeke giriş kondansatörü koruma diyodu.
KC	Şebeke giriş kondansatörü kontaktörü.
TFO	Fren ön direnci tristörü.
KFO	Fren ön direnci kontaktörü.
RFO	Fren ön direnci.
K2	Motor ana kontaktörü.
K3.4.7	Motor yol alma, yön değiştirme, frenleme kontaktörleri.
Tr2	Motor endüisi akım transformatörü.
L2	Motor endüisi bobini.
TA	Doğru akım kıyıcısı ana tristörü.
LS	Söndürme bobini.
TS	Söndürme tristörü.
CS	Söndürme kondansatörü.
LYS	Yardımcı söndürme bobini.
TYS	Yardımcı söndürme tristörü.
DF	Fren diyodu.
SK	Doğru akım kıyıcısı sigortası.
EF	Motor alan sargısı.
Tr3	Motor alan devresi akım transformatörü.
TAL	Motor alan tristörü.
RZ	Motor alan zayıflatma direnci.
DAG	Motor alan geri besleme diyodu.
RFİ	Fren ek direnci.
TF	Fren tristörü.
RF	Fren direnci.
KFİ	Fren ek direnci kısa devre kontaktörü.
DEG	Motor endüi geri besleme diyodu.
DO	Ön uyarma diyodu.
SO	Ön uyarma sigortası.
RO	Ön uyarma direnci.
B	Batarya grubu.
KO	Ön uyarma kontaktörü.
M	Ger motoru.

TA ana tristörü üzerinde dönüş iletkenine akar. Ayrıca RFI direnci de KFI kontaktörü ile kısa devre edilmiştir.

Yol almada motor akımının tümü TAL alan tristöründen akar. Çok az bir alan zayıflatması oluşturmak için (uyarma derecesi $\lambda = 0,95$), alan sargısı, sürekli şönt direnç (RZ) ile paralel bağlı olduğundan endüi akımı, alan sargısından ve sürekli şönt direnç üzerinden akar. Yol alma tamamlanmaya kadar (Şek.4. 14'de A noktasına kadar) TA ana tristörünün tetiklenmemesi gerekir. A noktasına erişildikten sonra yine endüi akımı sabit kalacak şekilde sürekli alan zayıflatması başlar. Bu, alan tristörünün iletim oranı maksimumda sabit kalarak, ana tristörün, alan zayıflatmasını git-tikçe artıracak şekilde kumanda edilmesiyle gerçekleştirilir. Böylece endüi akımı sabit, fakat uyarma akımı, kuvvet-hız diyagramında sabit güç doğrusuna uyulacak şekilde, uyarma derecesi belli bir değere (örneğin, $\lambda = 1/3$)'e kadar azaltılır (B noktası). Bundan sonra uyarma derecesi bu değerde sabit kalmak koşuluyla endüi akımı ve alan akımı aynı oranda azaltılır. Bu durumda ana tristörü ilettime ve kesime götürecek tetikleme zamanları arasındaki mesafeler aynı uzunlukta olabilir.



Şek.4. 14 Şek.4.13'deki bağlantı şemasına göre; sürekli bir alan zayıflatmasının yapıldığı doğru akım seri motorun endüi ve uyarma akımının zamana göre değişim eğrileri.

IV.5. 3. FRENLEME:

Frenlemede; K3 kontaktörü açılır ve endüi devresi kutuplarının değiştirilmesi için K4 ve K6 kontaktörleri açılırken, K5 ve K7 kontaktörleri kapanır. Eğer alan tristörü tetiklenirse ; endüi devresi, DF fren diyodu ve RFO fren direnci üzerinden kapanır. Bu devrede üstel bir artma gösteren akım nominal değere ulaştıktan sonra alan tristörü ve ana tristör kesime geçirilirse motor akımı, RFİ direnci ve DEG endüi geri besleme diyodu üzerinden seyr iletkenine verilebilir. Buna karşın olarak alan sargısı üzerindeki akım DAG geri besleme diyodu üzerinden kapanır. Frenlemede de alan zayıflatılması gerektiğinde ana tristörün kumandası yine hareket işletmesindeki şekilde olur. Fakat düşük hızlarda elektriksel frenlemenin yapılabilmesi için alan sargısının yeterince uyarılması gerekir. Bu durumlarda KO kontaktörü kapatılarak B bataryasından faydalanılır. Şebeke, frenlemede ortaya çıkacak gücün hepsini almaya yetenekli olmadığı taktirde, C şebeke kondansatörü, belli bir maksimum değere kadar yüklendikten sonra, TF frenleme tristörü tetiklenir ve fazla gelen frenleme gücü RF fren direnci üzerinde tüketilir. Faydalı frenlemenin yapılamayacağı sürece, TF frenleme tristörünün tetiklenmesi için ki sınır gerilim, şebeke geriliminin alt sınırına ayarlanabilir. RFO fren direnci, motor devresi geriliminin, şebeke geriliminden daha aşağı bir değerde kalmasını sağlar. Böylece faydalı frenleme de motor akım ve gerilimi kontrol edilir. Örneğin, motor gerilimi şebeke geriliminden küçük olduğunda; RFO fren direnci, buna paralel bağlı TFO tristörü yardımı ile devre dışı edilir. (Bu durumda KFO kontaktörü zaten kapalıdır). Motor geriliminin, şebeke geriliminin üzerine çıktığı, örneğin motorun yokuş aşağı inerken hızının arttığı durumlarda, RFO fren direncinin mutlak sokulması için KFO kontaktörü de açık tutulur.

B E Ş İ N C İ B Ö L Ü M

ASENKRON MOTORUN ELEKTRİKLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KULLANILMASI

Elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan çok fazlı motor tipi sadece üç fazlı asenkron motordur. Bu motor, devir sayısı-moment karakteristiği bakımından şönt karakteristiğe yaklaşır (20). Klâsik yöntemle göre oldukça ekonomik hız kontrolü yapılacaksa; özel sargılar veya ikinci bir motor veya hatta her ikisi de gerekli olabilir. Elektrikli ulaşım sistemlerinde yokuş aşağı inişte yapılan faydalı frenlemede, asenkron makina senkron hızın üstünde generatör olarak çalışarak besleme hattına enerji verir. Frenlemedeki devir sayısı-moment karakteristiği de şönt karakteristik tipinde olduğundan, düzgün azalan meyilli yokuştan inen bir taşıtın hızı, senkron hızın biraz üstündeki bir değerde sabit kalır. Bu nitelikler uzun ve dik eğimli yollarda üç fazlı asenkron motorları ideal yapar. Bu tip motorların konstrüksiyon bakımından sağlam olmaları, komutatörlerinin bulunmamaları ve verimlerinin yüksek bulunmaları gibi nitelikleri, elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılmalarının nedenleri arasındadır.

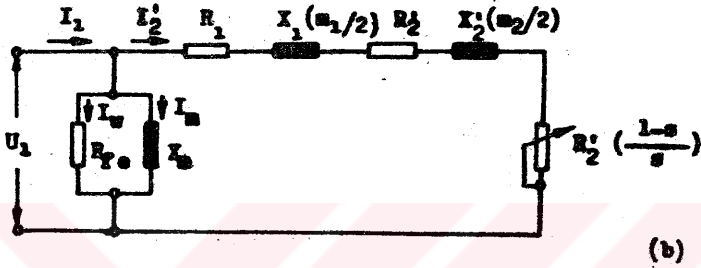
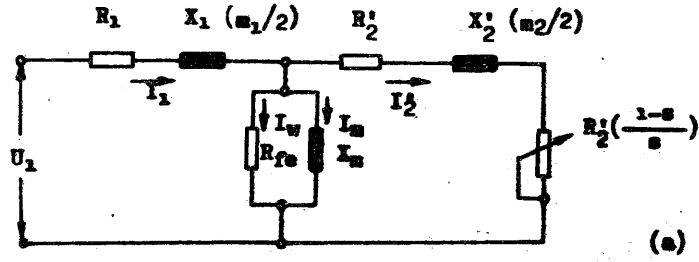
V.1. ASENKRON MOTORUNA ÖZGÜ TEMEL BAĞINTILAR

Şek. 5.1'de statoru m_1 ve rotoru m_2 fazlı bir asenkron motorun tam ve yaklaşık eşdeğer devreleri verilmiştir (21).

Statoruna f_1 frekansında alternatif bir gerilim uygulanan p çift kutuplu bir asenkron motorun s kaymasındaki devir sayısı;

$$n = n_1 \cdot (1-s) = \frac{f_1 \cdot (1-s)}{p} \quad (V.1)$$

dır.



Şek.5.1- Çok fazlı asenkron motorun
a- Tam eşdeğer devresi,
b- Yaklaşık eşdeğer devresi.

Şek. 5.1.b'deki yaklaşık eşdeğer devreye göre makinada endüklönen moment;

$$M_e \approx m_1 \cdot \frac{R_2'}{s \cdot w_1} \cdot \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + \left(\frac{m_1}{2} \cdot X_1 + \frac{m_2}{2} \cdot X_2'\right)^2}$$

bağıntısıyla verilebilir.

(V.2)

$R_1 = 0$ kabul edilirse, devrilme kayması;

$$s = s_m \approx \frac{R_2'}{\frac{m_1}{2} \cdot X_1 + \frac{m_2}{2} \cdot X_2'} \quad (V.3)$$

bağıntısıyla, devrilme momenti (Maksimum moment) ise;

$$M_{e, mx} = m_1 \cdot \frac{1}{2 \cdot w_1} \cdot \frac{U_1^2}{\frac{m_1}{2} \cdot X_1 + \frac{m_2}{2} \cdot X_2'} \quad (V.4)$$

şeklinde hesaplanabilir.

P_{d1} : Hava aralığından rotora aktarılan güç; P_{d2} : rotor sargısında endüklenen elektriksel güce ve P_{me} : rotorda endüklenen toplam mekanik güce ayrılır (22).

$$P_{d1} = M_e \cdot w_1 = P_{d2} + P_{me} \quad (V.5)$$

$$P_{d2} = s \cdot P_{d1}, \quad P_{me} = (1-s) \cdot P_{d1} = M_e \cdot w \quad (V.6)$$

yazılabilir. Burada;

U_1 - Statora uygulanan faz-nötr gerilimi,

w_1 - Senkron açısal hız,

w - Milin açısal hızı,

R_1 - Bir faz stator direnci,

X_1 - Bir faz stator kaçak reaktansı,

R_2' - Bir faz rotor direncinin statora indirgenmiş değeri,

X_2' - Bir faz rotor kaçak reaktansının statora indirgenmiş değerini gösterir.

V.2. SİNÜSOİDAL OLMİYAN BESLEMEDE ASENKRON MOTORUN ÇALIŞMASI

Asenkron motoru besleyecek uç geriliminde genellikle temel frekanslı bileşenden başka, çeşitli frekans ve genliklerde harmonik bileşenler de olabilir. Bu durumda gerilim

harmonik bileşenleri, akım harmonik bileşenlerine neden olur. Bu akımların hesabı asenkron motorun tam eşdeğer devresinden türetilen bir seri eşdeğer devre kullanarak yapılabilir. Bunun için; Şek. 5.1.a'da verilen asenkron motorun tam eşdeğer devresinde reaktans ve dirençlerin frekanstan bağımsız olduğunu varsayarak, k.ıncı harmoniğe karşın gelen eşdeğer devre Şek. 5.2.a'daki gibi verilebilir. Bu devrede doymanın etkisi ihmal edilmiş olup;

X_{11} - Temel frekansta stator kaçak reaktansı,

X'_{21} - Temel frekansta rotor kaçak reaktansının statora indirgenmiş değeri,

X_{m1} - Temel frekansta mıknatıslama reaktansını göstermektedirler.

Temel frekanstaki döner alana göre rotor kayması s_1 ile gösterilirse;

V.1 denkleminde;

$$s_1 = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad (V.7)$$

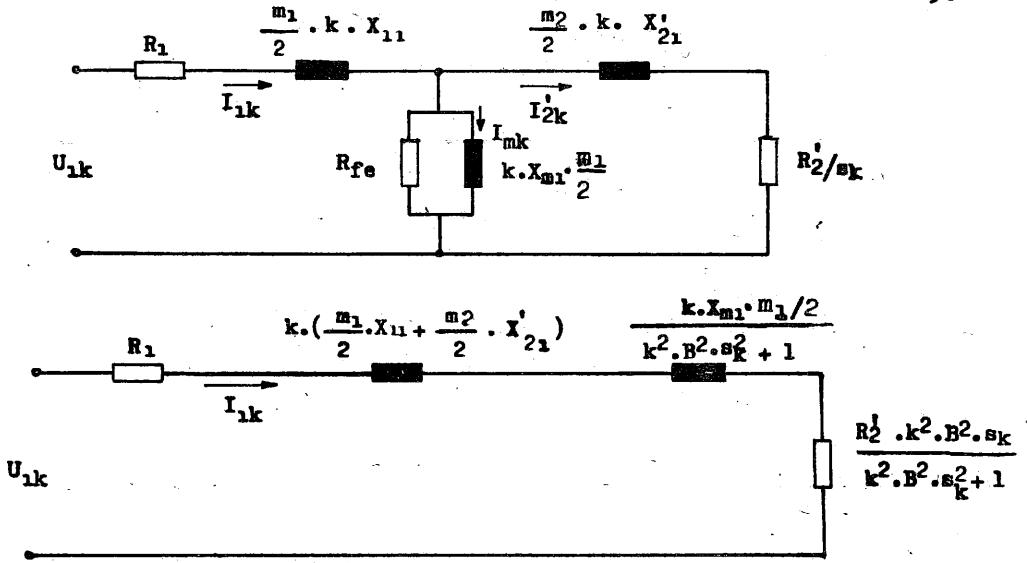
olur. Faz akımlarındaki k.ıncı harmonik, ileriye veya geriye dönen m.m.k harmoniğini oluşturur. İleri yönde dönen harmonik alanının kayması (23),

$$s_k = \frac{k.n_1 - n}{k.n_1} \quad (V.8)$$

Geri yönde dönen k.ıncı harmonik alanın kayması;

$$s_k = \frac{k.n_1 + n}{k.n_1} \quad (V.9)$$

ve denk. (V.7)'yi de göz önüne alarak,



Şek.5.2 - Asenkron motorun, k .ncı harmonik için,
a - Tam eşdeğer devresi,
b - Seri eşdeğer devresi.

$$s_k = \frac{k \cdot n_1 \mp n}{k \cdot n_1} = \frac{(k \mp 1) \pm s_1}{k} \quad (V.10)$$

yazılabilir. Şek. 5.2.a'daki demir kayıplarına karşın gelen R_{fe} fiktif direnci devre dışı edilebilir. Bu k .ncı harmonik için toplam empedans;

$$Z_k = R_1 + j k \cdot X_{11} \cdot \frac{m_1}{2} + \frac{j k X_{m1} \cdot (\frac{R_2'}{s_k} + j k X'_{21} \cdot \frac{m_2}{2}) \cdot \frac{m_1}{2}}{\frac{R_2'}{s_k} + j (\frac{m_1}{2} \cdot X_{m1} + X'_{21} \cdot \frac{m_2}{2}) \cdot k} \quad (V.11)$$

olur.

X_{m1} ; X'_{21} 'e göre çok büyük olduğundan,

$$Z_k \approx R_1 + j k \cdot X_{11} \cdot \frac{m_1}{2} +$$

$$\frac{m_1^2 \cdot s_k^2}{4 \cdot R_2^2} \cdot X_{m1}^2 \cdot k^2 + j k \cdot X_{m1} \cdot (1 + k^2 \cdot X_{m1} \cdot X'_{21} \cdot \frac{m_2 \cdot s_k^2}{2 \cdot R_2'^2}) \cdot \frac{m_1}{2}$$

$$\frac{m_1^2 \cdot s_k^2}{4 \cdot R_2'^2} \cdot X_{m1}^2 \cdot k^2 + 1$$

(V.12)

yazılır.

$$\frac{m_1 \cdot X_{m1}}{2 \cdot R_2} = B \text{ ile gösterilirse,}$$

$$Z_k \approx R_1 + \frac{k^2 \cdot B^2 \cdot R_2' \cdot s_k^2}{1 + k^2 \cdot B^2 \cdot s_k^2} + j k \cdot (X_{11} \cdot \frac{m_1}{2} + X'_{21} \cdot \frac{m_2}{2}) +$$

$$\frac{\frac{m_1}{2} \cdot X_{m1} - \frac{m_2}{2} \cdot X'_{21}}{1 + k^2 \cdot B^2 \cdot s_k^2} \cdot j k$$

(V.13)

bulunur. Son terim için de, X_{m1} 'in; X_{21} 'ye göre çok büyük olduğu göz önüne alınarak;

$$Z_k \cong R_1 + \frac{k^2 \cdot B^2 \cdot R_2' \cdot s_k}{1 + k^2 \cdot B^2 \cdot s_k^2} +$$

$$j k \cdot \left(X_{11} \cdot \frac{m_1}{2} + X_{21}' \cdot \frac{m_2}{2} + \frac{X_{m1}' \cdot \frac{m_1}{2}}{1 + k^2 \cdot B^2 \cdot s_k^2} \right)$$

(V.14)

yazılabilir.

Bu k.ncı harmoniğe karşın gelen toplam empedansa özgü seri eşdeğer devre Şek. 5.2.b'de gösterilmiştir.

O halde, asenkron motorun sinüsoidal olmayan gerilimle beslenmesinde, harmonik bileşenlere karşın gelen empedansların, bunlara özgü akımlarla çarpımlarının toplamı uygulanan uç gerilimini verir (24).

V.3. ASENKRON MOTORUN DEVİR SAYISININ AYARLANMASI (KLÂSİK YÖNTEM)

Klâsik yönteme göre besleme frekansının sabit olduğunu düşünecek olursak, Denk.(V.1)'e göre asenkron motorun devir sayısı ayarının iki şekilde olabileceğini görürüz:

- (i) Kaymanın değiştirilmesi.
- (ii) Kutup sayısının değiştirilmesi.

Bu yöntemlerin her ikisinin ayrı ayrı kullanılmasıyla elde edilen devir sayısı ayarı, sınırlı olmakla beraber bu iki yöntemin birlikte kullanılmasıyla devir sayısı ayar alanı oldukça genişletilebilir.

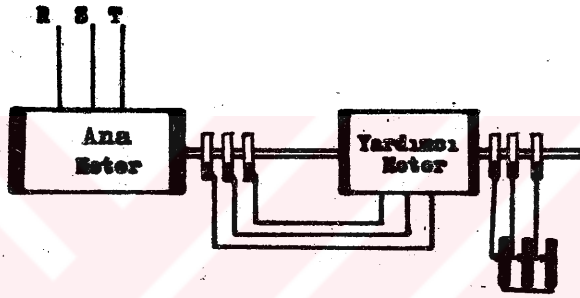
Sabit momentte devir sayısı ayarı, kaymanın değiştirilmesiyle yapılacağı zaman rotor devresinde endüklenen elektriksel güç kayma ile orantılı olduğu için (Denk.V.6), bu gücün, rotorun bileziklerine bağlanan reostalarda tüketilmesi yerine, devir sayısı ayarlanacak motorla kaskat bağlı komutatorlü bir motor veya diğer bir asenkron motorla bu güçten faydalanılması yoluna gidilir. Kaskat bağlama ile esas motorun rotor devresinde endüklenen elektriksel gücün bir bölümü akuple ikinci bir motorla tekrar mile (Şek.5.3) veya besleme sistemine geri verilir.

Burada görüldüğü gibi; kaskat sistemle devir sayısı ayarının sakıncaları şu şekilde özetlenebilir:

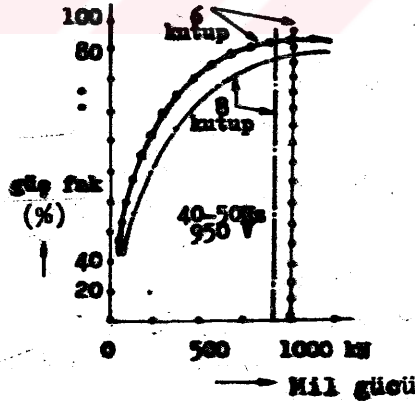
- a) İki motor gereklidir. Motorların paralel çalıştırılmaları da gerekiyorsa kutup sayıları aynı olmalıdır. Bu durumda ikinci motorun stator sargıları hem normal besleme gerilimi ile hem de esas motorun rotor gerilimi ile çalışabilmelidir.
- b) Sistemin güç faktörü düşüktür.
- c) İki makinanın bulunması nedeniyle toplam verim küçüktür.
- d) Devir sayısı ayarı sınırlıdır.

Kutup sayısı değiştirmek suretiyle devir sayısı ayarı; birbirinden bağımsız sargılar yaparak; diğer bir anlatımla, her bir kutup için bir adet olmak üzere sargılar yapmak veya bir sargıdaki bobinler arasında bağlama diğerikliği uygulamak ile gerçekleştirilebilir.

Kutup sayısı seçiminde g faktörünü ve çalışma hızlarını düşünmek gerekir.



şek.5.3- Asenkron motorun kaskat bağlama düzeniyle devir sayısı ayar düzeni.



şek.5.4- Büyük güçlü asenkron motorların g faktör eğrileri.

Yüksek güç faktörü ile çalışmak için, sargıların oluşturacağı en küçük kutup sayısı, küçük kaçak reaktansı verecek şekilde olmalıdır. Örneğin, 1000 HP göçünde motorlar i-

çin altı kutup sayısı minimumdur ve $16 \frac{2}{3}$ Hz frekansta dişli kullanılmayabilinir. Fakat 50 Hz ve altı kutup sayısı için motorun senkron devir sayısının büyük olması nedeniyle dişli kullanılmalıdır. Kutup sayısını değiştirmekle elde edilen devir sayılarında; örneğin, kutup sayısının oniki ya da onaltı'ya çıkmasında güç faktörü önemli ölçüde düşer. Şek.5.4'de büyük güçlü asenkron motarlarda kutup sayısının güç faktörüne etkisi görülmektedir. Motorun, nominal gerilimde mıknatıslanma akımının ideal kısa devre akımına oranı olarak tarif edilen "Kaçak faktörü" hem maksimum güç faktörüne ve hem de motorun yüklenme kapasitesine etki ettiği için önemli bir faktördür. Kaçak faktörü σ , pratik olarak küçük bir değere sahip olmalıdır. Çünkü kaçak faktörü küçüldükçe maksimum güç faktörü (25);

$$(G.F)_{mx} = \frac{1}{1 + 2\sigma} \quad (V.15)$$

ve yüklenme kapasitesi;

$$(Y.K) = \frac{1+\sigma}{2\sqrt{\sigma}} \quad (V.16)$$

artar.

Elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan üç fazlı asenkron motorun hava aralığı, genellikle endüstride kullanılan normal üç fazlı asenkron motorun hava aralığından daha büyüktür. Bu koşullar altında, büyük güç faktörü sağlamak için besleme frekansının küçük olması önemli olmakla beraber makinanın az kutuplu ve yarı oluklu olması, dolayısıyla kaçak reaktansının küçük olması istenir.

IV. 4. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE ASENKRON MOTORUN KOLLEKTÖRLÜ MOTORLARA GÖRE ÜSTÜNLÜKLERİ

- Asenkron motorlar az bakım gerektirirler. Değiştirilecek fırçaları, bakımı gerektiren kollektör ve fırça takımları yoktur.
- Asenkron motorlar daha hafif ve daha az karmaşık oldukları için maliyet giderleri daha azdır. Ağırlık ve hacimlerinin küçüklüğü dingil konstrüksiyonunda kolaylık sağlar^(X).
- Asenkron motorlar daha büyük devir sayılarında çalıştırılabilirler. Aynı hacim için güçleri daha büyüktür veya aynı mil gücü için hacim daha küçüktür.
- Asenkron motorlar, yüksek devir sayılarında büyük güç verebilirler. Nominal devir sayılarında faydalanma faktörü iyi olan kollektörlü motorlar, ekseriya maksimum devir sayısına kadar nominal gücü veremezler; çünkü reaktans gerilimleri çok büyüktür.

Kollektörlü motorlarda, kollektörün çevresel hızı ve sargılardaki reaktans gerilimleri sınırlıdır.

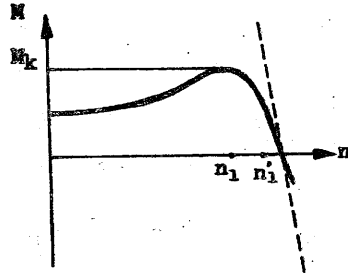
Seri sargılı kollektörlü motorlar uzun müddetten beri kullanılmaktadır ve sürekli geliştirilmektedir. Şüphesiz günlük gelişmeleri gözönüne almak gerekir. Problemi derinliğine düşünmeden, mevcut bir sistemde seri motorları asenkron motorlar ile değiştirmek pek doğru olmaz. Bununla beraber, bakım giderlerinin az olması yönünden büyük güçlü elektrikli ulaşım sistemlerini kurarken, asenkron motorların kullanımı daha uygun olabilir.

(^X) İsviçre demiryollarında Re 4/4 II Sınıfı lokomotifte, karşılaştırmaya kullanılan motorlar; 3860kg kütlesinde ve 1195 kW gücünde doğru akım motoru olup, buna eşdeğer olarak hesaplanan sincap kafesli asenkron motor ise 3200 kg kütlesindedir. Ayrıca asenkron motorda kullanılacak dişlinin çevirme oranı da % 30 daha fazladır.

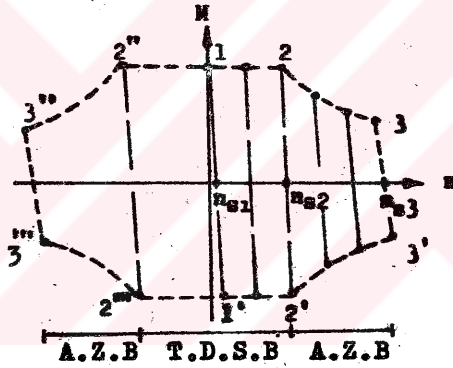
V.5. ASENKRON MOTORUN GÜÇ ELEKTRONİĞİ İLE KONTROLÜ (MODERN YÖNTEM)

Elektrikli ulaşım sistemlerinde asenkron motorlarının kullanılması yeni değildir. Besleme frekansının sabit ve izoleli iki temas telinin gerekli olduğu ilk uygulamalar, sadece özel demiryollarında gerçekleştirilmiştir. 1955 yıllarında sincap kafesli asenkron motorlu lokomotiflerde, elektromekanik olarak dönen frekans değiştiricileri kullanılıyordu ve bu nedenden pek rağbet görmemişti. Fakat büyük güçlü yarı iletkenlerin zamanla gelişmesi, gerilimin genliğini ve frekansını büyük bir aralıkta ve sürekli bir şekilde değiştirebilen statik dönüştürücülerin yapımını sağladı.

Sincap kafesli asenkron motorun, stator geriliminin değiştirilmesiyle yapılacak devir sayısı ayarında, küçük devir sayılarında kayma büyüktür. Fakat küçük akı meydana geldiğinden yol alma momenti de çok küçük olur ve bu büyük kaymadaki rotor gücü ısıya dönüşür. Halbuki gerilimin genliği yanında frekansı da ayarlanabilirse akı istenildiği gibi ayarlanabilir ve kayma küçültülebilir. Stator geriliminin değiştirilebilir olması, makinanın kararlı çalışma bölgesindeki Moment-Devir sayısı karakteristiğindeki eğimin değiştirilebilmesini sağlar (şek. 5.5.a). Stator frekansının, akının sabit kalacak şekilde uygulanan gerilimle orantılı olarak değiştirilmesinde de Moment-Devir sayısı karakteristiği kendine paralel olarak kayar ve Şek.5.5.b'deki Moment-Devir sayısı diyagramındaki temel devir sayısı bölgesi elde edilir. (Diyagramda 1-2 noktaları arası).



(a)



(b)

T.D.S.B. Temel devir sayısı bölgesi
A.Z.B. Alan zayıflatma bölgesi

Şek.5.5.a- Asenkron motorun stator geriliminin değiştirilmesiyle devir sayısı-moment karakteristiğinin değişmesi.

b- Asenkron makinanın dört bölge çalışmasında temel devir sayısı ve alan zayıflatma bölgeleri.

Makina sabit akı (Φ) ile çalıştırılacak ise, motorda endüklenen gerilimin (E), statora uygulanan gerilimin frekansıyla orantılı olması gerektiği;

$$E = k.f_1.\phi^2 \quad (V.17)$$

bağıntısı ile ifade edilebilir. Bu takdirde makinanın lineer (Volt/Hz) karakteristiği ile çalıştığı söylenir. Şüphesiz burada gerilim düşümü nedeniyle stator uç gerilimi endüklenen gerilimden biraz büyüktür. Sabit akı çalışmasında makinanın vereceği maksimum momentin de Denk.(V.4)'e göre sabit kalacağı görülebilir. Örneğin, makinanın maksimum momentle yol alması durumunda (1 noktası); n_{s1} senkron devir sayılı karakteristiğe tekabül eden f_1 frekanslı gerilimin statora uygulanması gerekir. Halbuki n_{s2} senkron devir sayılı karakteristik için ise f_2 frekanslı gerilim gereklidir. 2 noktasının üstündeki devir sayıları, sabit rotor geriliminde artan stator frekansı ile alan zayıflatması bölgesinde elde edilir (2 ve 3 noktaları arası). Dolayısıyla bu 1, 2, 3, 3', 2', 1' ... noktalarının çevrelediği bölge, asenkron motorun her iki yönde değiştirilebilir gerilim ve frekansla çalışabileceği bölgedir.

V.5.1. ASENKRON MOTORU BESLEYECEK EVİRİCİNİN SEÇİMİ

Asenkron motorların beslenmesinde kullanılan tüm evirici türlerinin karşılaştırılması geniş bir incelemeyi gerektirir.

Karşılaştırma için önemli parametreler, eviricinin maliyet fiyatına etki eden ağırlığı ve boyutlarıdır ki bunlar; kullanılan güç yarı iletkenleri, komutasyon işlemi için gerekli olan elektronik kumanda devreleri ve koruma devreleri tarafından belirlenir. Evirici çıkışından elde edilen sinüsoidal olmayan gerilimin motorun ısınmasına etkisi ve özellikle küçük hızlarda önem kazanan moment dalgalanmaları da evirici seçiminde hesaba katılması gereken faktörlerdir.

Uzak mesafe ulaşım sistemlerinde; taşıtın ağırlığının ve dolayısıyla cer kuvvetinin büyük olmasının gerektiği büyük güçler için, her dingile bir motor konabilir(26), Bu takdirde kullanılacak eviricilerin, sadece çıkıştaki harmo-

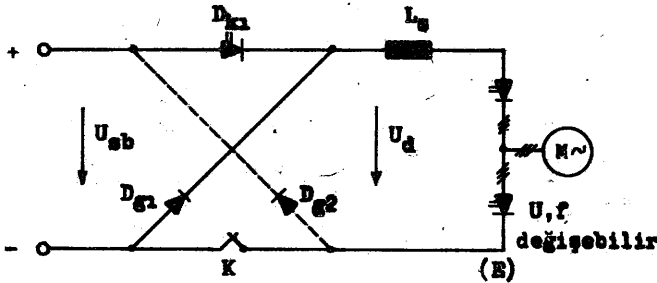
nikleri azaltmak gayesiyle faz kaydırmalı çalıştırılmaları uygun olabilir.

Yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinde, genellikle orta güçler yeterli olduğundan, taşıt başına bir motor ve dolayısıyla bir evirici yeterlidir. Buna göre; burada, yukarıda sözü edilen evirici seçimindeki faktörler göz önüne alınarak, asenkron motorun, doğru akım kıyıcılı eviriciyle beslenmesi ve darbe genişlik modülasyonlu eviriciyle doğrudan beslenmesi ayrı ayrı incelenecektir.

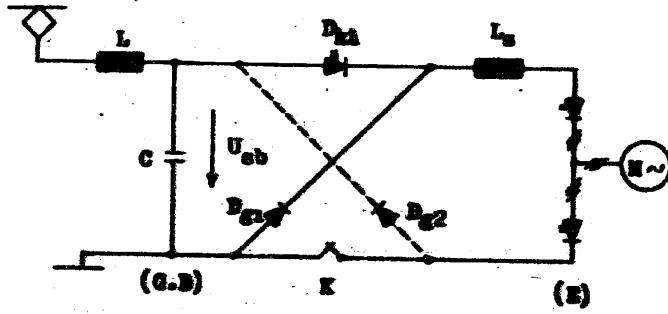
V.5.2. ASENKRON MOTORUN DOĞRU AKIM KIYICILI-FAZ SIRALI EVİRİCİ İLE BESLENMESİ

V.5.2. 1- ÇALIŞMA PRENSİBİ

Doğru akım besleme kaynağını yaklaşık olarak sabit gerilimli varsayarak, Şek.5.6.a'daki tristörlü doğru akım kıyıcısı (D_{k1}), değişebilir bir gerilim üretir ve bu da bir bobin (L_s) üzerinden eviriciye uygulanır. Eviricide bir sıraya göre tetiklenen tristörlerin tetiklenme frekansları değiştirilerek, asenkron motora uygulanan gerilimin frekansı ayarlanabilir. Böylece asenkron makinanın stator gerilim ve frekansının ayarlanmasıyla devir sayısı kayıpsız olarak (yaklaşıkla) kumanda edilebilir.



Şek.5.6 a- Temel bağlantı şeması.



- (G.D) = Giriş düzelticisi
 (E) = Evirici
 K = Fren halinde, açık halde bulunan anahtar.
 D_g = Geri besleme diyotları.
 D_{k1} = Ana doğru akım kıyıcısı.
 L_s = Ara devre bobini.

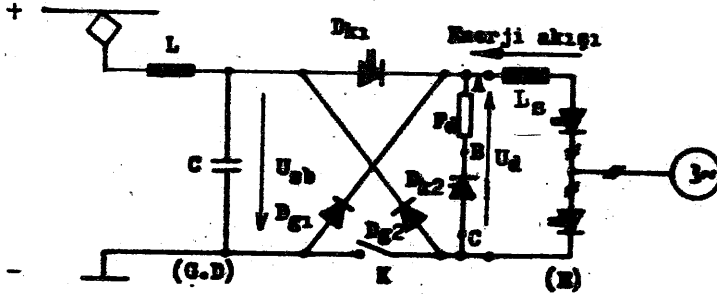
Şek.5.6 b- D.A. seyr iletkenli bağlantı şeması.

Bir doğru akım seyr iletkenli taşıtın üç fazlı alternatif akımla tahriki için Şek.5.6. a'daki temel devreye bir bobin ve kondansatörden oluşan bir giriş düzelticisi eklenir. Bu da, kullanılmadığı zaman doğru akım kıyıcısının darbe şek-

linde olan giriş akımını şimdi aynı ortalama değerli sürekli bir doğru akıma çevirir(Şek.5.6 b). Taşıtın fren işletmesi için temel bağlantıda bir değişiklik yapılmaz. Sadece K anahtarı açılır ve D_{k1} ana doğru akım kıyıcısının çıkışına bir frenleme direnci (F_d), ve frenleme kıyıcısı (D_{k2}) bağlanır. Bu durumda asenkron makina tarafından dönüştürücü (E), kontrol edilebilir bir doğrultucu olarak çalışır. Şimdi A ve C noktaları arasındaki doğrultulmuş gerilim yön değiştirmiştir. Fakat akım aynı yönde akmaktadır. O halde; burada asenkron makine generatör olarak çalışmaktadır ve makinadan dönüştürücüye enerji verilmektedir(Şek.5.7). Herhangi bir devir sayısında herhangi bir momentle frenleme yapılabilmesi için; frenleme gücü, doğru gerilim ve akımın değiştirilmesiyle kumanda edilmelidir. Bu durumda K anahtarının açık olması nedeniyle seyr iletkeninden fren devresine enerji akışı olamaz.

Frenleme kıyıcısının çalışması B-C uçlarını ardışık olarak açık devre ve kısa devre etmesi şeklinde olur. Kısa devre esnasında L_g ara devre bobinindeki akım yükselir ve açık devre müddetince D_{g1} ve D_{g2} diyotları üzerinden azalarak seyr iletkenine geri verilebilir. Bu çeşit frenleme, Bölüm IV.4.2.4'dekine benzeyen bir faydalı frenlemedir. Şüphesiz faydalı frenlemenin yapılabilmesi için seyr iletkeninden enerji çeken diğer ulaşım araçlarının veya alıcıların bulunması gerekir. Böylece asenkron makina tarafındaki dönüştürücünün (doğrultucu) tetikleme açılarını uygun bir şekilde kontrol ederek ve B-C uçlarının kısa devre müddetinin açık devre müddetine oranı değiştirilmek suretiyle; bütün devir sayılarında frenleme gücü sıfır ile tam güç arasında ayarlanabilir.

Yakın mesafe ulaşım sistemlerinde; duraklararası mesafenin kısa olması nedeniyle frenleme enerjisinin mümkün olabilen büyük bölümü seyr iletkeni şebekesine geri verildiğinden oldukça büyük enerji ekonomisi sağlanır.



Şek.5.7- Faydalı ve direnimle frenleme.

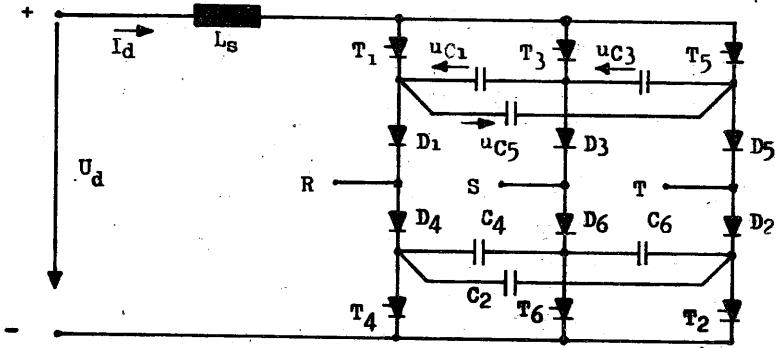
V.5.2.2. FAZ SIRALI EVİRİCİNİN ÇALIŞMASI

Şek.5.8 a'da tahrik motorunu besleyecek olan faz sıralı evirici devresi verilmiş olup, doğru gerilim kaynağının pozitif ve negatif uçlarına bağlı tristörler, Şek.5.8.b'de gösterilen sıraya göre tetiklenirler; doğru gerilim kaynağının her bir ucundan sadece bir tristör çıkış gerilimi periyodunun üçte biri süreyle iletimde bulunurlar. Sırası gelen tetiklendiği zaman, biraz önce iletimde olan tristor, bu iki tristorun arasına bağlı bulunan kondansatör yardımı ile kesime geçer. Eviricinin her bir koluna bağlı bulunan diyotlar ise kondansatörlerdeki yükün boşalmasını önlerler.

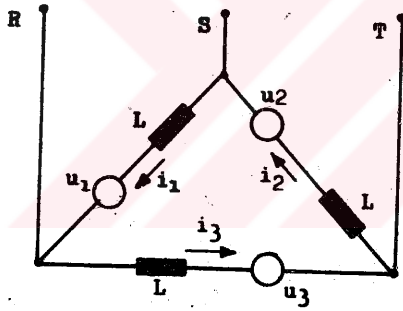
Devrenin analizi için; motorda endüktlenen elektromotor kuvvet bir sinüsoidal gerilim kaynağı olarak gösterilebilir. Bu durumda motor eşdeğer devresi, motorun toplam kaçak endüktansına karşın gelen L endüktansı ile buna seri bağlı bir sinüsoidal gerilim kaynağı ile gösterilebilir. Uç geriliminin ani değeri;

$$u = L \frac{di_s}{dt} + E \sin(\omega_1 t + \phi) \quad (V.18)$$

dir. Çünkü, kaymanın sıfıra yakın olduğu motorun normal çalışmalarında, stator akımının temel bileşenine karşın gelen eşdeğer devrede (Şek.5.2 b); stator faz direnci ihmal edildiği takdirde, stator akımının temel bileşeni için,



(a)



(b)

T_1	T_3	T_5
T_6	T_2	T_4

(c)

Şek.5.8.a- Faz sıralı eviricinin temel bağlantı şeması.

b- Asenkron makinanın gösterilişi.

c- Tristörlerin tetiklenme sırası.

$$\frac{R_2' \cdot B^2 \cdot s_1}{1 + B^2 \cdot s_1^2} + \frac{j \cdot X_{m1} \cdot m_1 / 2}{1 + B^2 \cdot s_1^2}$$

empedansına karşı, $E \cdot \sin(w_1 t + \phi)$ gerilimi ile toplam stator akımının kaçak reaktansta ürettiği $L(di_s/dt)$ geriliminin toplamı, faz arası gerilimin âni değerine yaklaşır.

Yukarıdaki ifadelerde;

$$B = X_{m1} \cdot m_1 / 2 \cdot R_2'$$

$$\phi = \arctan(1/B \cdot s_1)$$

$$E = I_{11} \cdot X_{m1} \cdot m_1 / (1 + B^2 \cdot s_1^2)^{1/2} \cdot 2$$

olup;

w_1 = Temel açısal frekans,

L = Topl am kaçak endüktansa karşın gelen self,

I_{11} = Stator akımı temel bileşeninin maksimum değeri-
ridirler.

Komutasyon süresinde devrenin analizini yapmak için; önce T_1 ve T_2 tristörlerinin iletimde olduklarını düşünelim. Bu durumda, Şek.5.8'deki stator sargı akımları ve kondansatör gerilimleri;

$$i_1 = \frac{-1}{3} \cdot I_d = i_2, \quad i_3 = \frac{2}{3} \cdot I_d, \quad u_{c1} = u_{co}, \quad u_{c5} = -u_{co} \quad (V. 19)$$

olsun. T_3 tristörünün tetiklendiğini ön görürsek, T_1 tristörü ters kutuplanır ve T_3 tristöründen akım geçmeğe başlar. Biraz önce; I_d akımı T_1 tristöründen akarken şimdi ise, T_3 tristöründen ve C_3 ile C_5 kondansatörlerinin, C_1 kondansatörüyle paralel bağlanmasıyla, ikiye bölünerek akar. Başlangıçta; $u_{c1} - u_3 > u_2$ olup; D_3 diyodu bloke durumdadır ve

motor akım ve gerilimi değişmeden C_1 kondansatöründeki gerilimin hepsi L_s bobinine uygulanır. Kondansatörlerden toplam olarak I_d akımı akmasına devam ederken u_{c1} gerilimi D_3 diyodu iletime geçinceye kadar azalır ve bu andaki değeri;

$$u_{c1} = -u_1 = -E \cdot \sin \phi \quad (V.20)$$

dir. Fakat bu ana kadar motor akım ve geriliminde değişme olmaz. D_3 diyodu geçirme yönünde kutuplanır kutuplanmaz, i_2 ve i_3 akımları azalmağa başlar. Şimdi D_3 'ün iletime başladıktan sonraki dt zaman aralığını düşünelim. Bu zaman için du_1/dt , du_2/dt , du_3/dt 'nin ihmal edilebileceğini kabul edebiliriz. T_5 tristörü kesimde ve D_5 diyodu da ters kutuplanmış olduğundan;

$$I_d = i_1 - i_c - i_2 \quad (V.21)$$

dir, türevi ise,

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{di_c}{dt} + \frac{di_2}{dt} \quad (V. 22)$$

üçgen bağlı yük için;

$$u_3 + L \cdot \frac{di_3}{dt} + u_2 + L \cdot \frac{di_2}{dt} + u_1 + L \cdot \frac{di_1}{dt} = 0$$

ve

$$u_1 + u_2 + u_3 = 0$$

olup

$$\frac{di_3}{dt} + \frac{di_2}{dt} + \frac{di_1}{dt} = 0 \quad (V.23)$$

dir.

ayrıca;

$$I_d = i_3 - i_2$$

olduğundan türevi alınırsa;

$$\frac{di_3}{dt} = \frac{di_2}{dt} \quad (V.24)$$

olur. $\frac{di_c}{dt}$ (V.22), (V.23), (V.24) denklemlerinden çözülürse,

$$\frac{di_c}{dt} = \frac{3}{2} \cdot \frac{di_1}{dt} \quad (V.25)$$

bulunur. Toplam kondansatör akım ve gerilimi için:

$$i_c = -\frac{3}{2} \cdot C \cdot \frac{du_{c1}}{dt}$$

$$u_{c1} = -u_1 - L \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$u_{c1} = -(u_1 + LC \frac{d^2 u_{c1}}{dt^2}) \quad (V.26)$$

yazılabilir.

$t = 0$ anında;

$$u_{c1}(0) = -E \cdot \sin \phi \quad \left. \frac{du_{c1}}{dt} \right|_{t=0} = -2I_d / 3C$$

olduğundan;

$$u_{c1} = -E \sin \phi - \frac{2}{3C\omega_c} I_d \cdot \sin \omega_c t \quad (V.27)$$

$$i_c = \frac{3C}{2} \cdot \frac{du_{c1}}{dt} = -I_d \cdot \cos w_c t \quad (V.28)$$

$$w_c^2 = \frac{1}{LC}$$

bulunur.

$w_c t = \frac{\pi}{2}$ anında, i_c kondansatör akımının yön değiştirmesini D_1 diyodu önler ve komutasyon tamamlanır.

Komutasyon sonunda, C_1 kondansatöründeki gerilimin değeri;

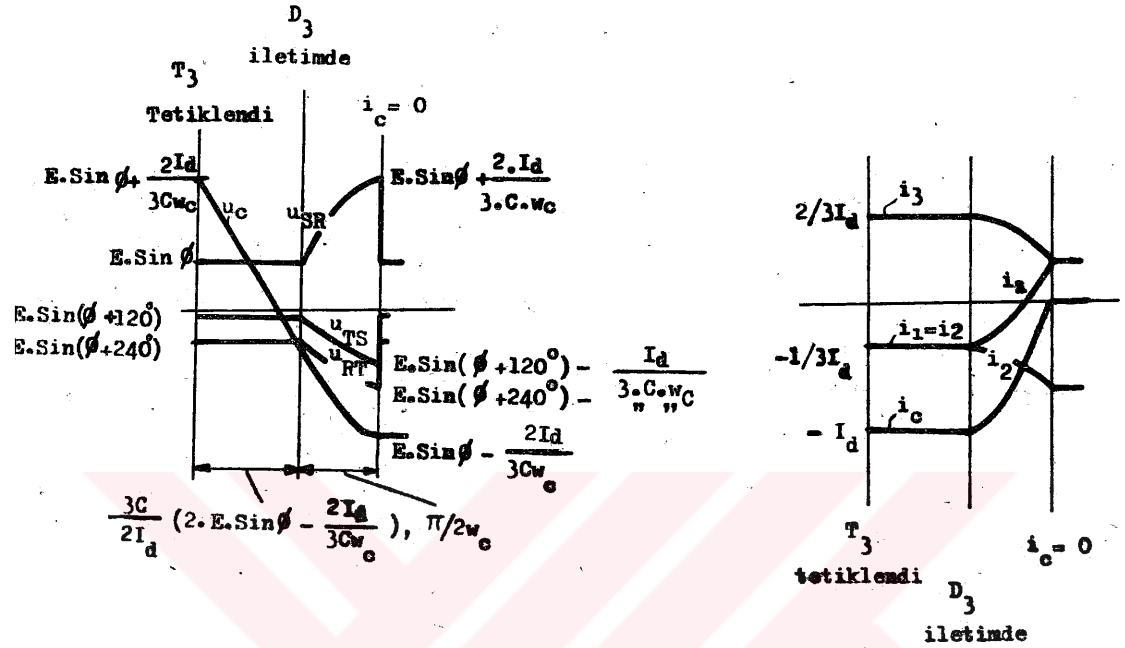
$$u_{c1} = u_{co} + E \cdot \sin \emptyset + \frac{2}{3 \cdot w_c \cdot C} \cdot I_d \quad (V.30)$$

dir. Seri bağlı C_3 ve C_5 kondansatörlerindeki gerilimler;

$$u_{c3}; 0 \text{ 'dan } \left[E \cdot \sin \emptyset + \frac{2 \cdot I_d}{3 \cdot C \cdot w_c} + u_{co} \right] \cdot \frac{1}{2} \text{ değerine,}$$

$$u_{c5}; -u_{co} \text{ 'dan } \left[E \cdot \sin \emptyset + \frac{2 \cdot I_d}{3 \cdot C \cdot w_c} - u_{co} \right] \cdot \frac{1}{2} \text{ değerine}$$

ulaşmıştır.



Şek.5.9- Komutasyon süresinde motor sargı akımlarının ve faz arası gerilimlerin zamana göre değişim eğrileri.

Evirici ilk defa çalıştırılacağı zaman, kondansatörlerde yük olmayacağı için, yukarıdaki başlangıç değerlerine uygun olarak yük uygulanması gerekir. Şüphesiz bu yardımcı devre daha sonraki çalışmalar için gerekli değildir.

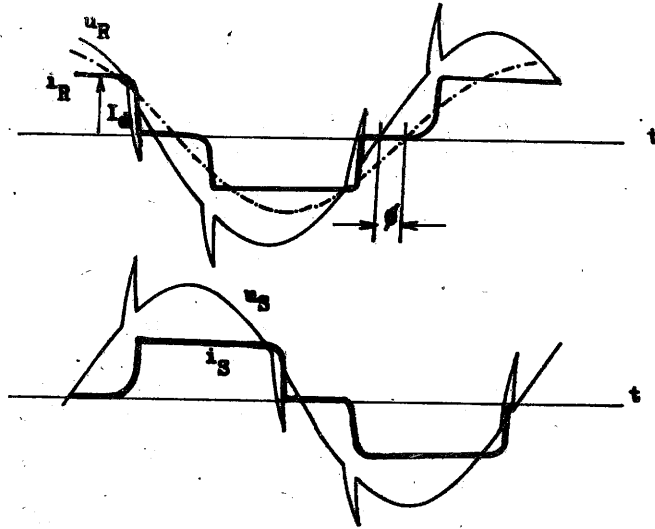
V.5.2.3. ASENKRON MAKİNE VE EVİRİCİ

Yukarıda analizi yapılan evirici devresinin R ve S fazına ait akım ve gerilimin zamana göre değişimleri Şek.5.10 da verilmiştir. Ana doğru akım kıyıcısı ile ayarlanabilen U_d gerilimi ara devre bobini (L_g) üzerinden eviriciye I_d akımını verir. Bu akım, Şek.5.8.c'deki tetikleme sırasına göre tristörler üzerinden makinenin stator sargılarına dağılır. Statora uygulanan alternatif gerilimin frekansı

f ile gösterilirse, $1/f$ periyodunda altı kez ikili tristör bağlantısı gerçekleşir. Bu periyod süresince I_d akımı, örneğin I_R akımı olarak makinanın R ucundan girer, $-I_T$ olarak, T ucundan çıkar. Bundan sonra T_3 tristörü iletime sokulduğu anda makinanın kaçak endüktansları I_d akımının, makinanın S ucu üzerinden akmasını engellemeye çalışır (Komutasyon). Bunun sonucunda makinanın uç geriliminde aşağıya ve yukarıya doğru çıkıntılar oluşur. Komutasyon makinanın uç akımına ve dolayısıyla I_d akımının değerine bağlıdır. Komutasyonun gerçekleşmesinde belli bir sınırın altına düşmemek için makinanın yeterince mıknatıslanma akımı olacak şekilde, hava aralığının büyük tutulması gerekir. Bu bakımdan genellikle makinanın mıknatıslanma akımı, nominal akımının % 40'ı dolayında seçilir.

Tristörlerin yukarıda belirtilen sıraya göre tetiklenmesiyle asenkron makinaya verilen akımın zamana göre değişimi, periyodun üçte biri genişliğinde yaklaşık olarak dikdörtgen şeklindedir. Bu dalga şekli üç ile bölünen harmonikler dışında bütün tek harmonikleri kapsar. Temel harmonikten sonra gelen 5.harmonik, temel frekanstaki senkron hızın 5 katı hızla geriye dönen magnetomotor kuvveti oluşturur ve motorun normal çalışmasında bu harmonik için kayma $S = 6/5$ olur. Aynı şekilde 7.harmonik için kayma $S = 6/7$ dir. Böylece daha yüksek frekanslı harmonikler için kayma 1'e yaklaşıp(27).

Yüksek frekanslı harmonik akımlar, kendileri için büyük direnç gösteren mıknatıslanma reaktansı üzerinden akmayıp, makinanın rotor devresi üzerinden akarlar. Çünkü bu yüksek frekanslı harmonik akımlar, büyük kayma nedeniyle rotorda

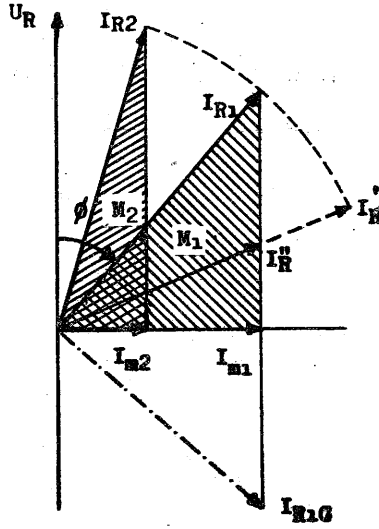


Şek.5.10- Şek.5.8 a'daki devre için, R ve S fazlarına ait akım ve gerilimlerin zamana göre değişim eğrileri.

R_2/S direnciyle karşılaşır. Bunun sonucunda makinanın mıknatıslanma akımı sinüs şeklinde olur.

Tristörlerin tetileme periyodunun kumanda edilmesi, sadece frekansı veya devir sayısını belirlemez, aynı zamanda makinanın uç gerilimi ile akımının temel harmoniği arasındaki faz açısını (ϕ) da belirler. Şek.5.11'de sadece R fazı için çizilmiş bulunan stator temel harmonik akım vektörü, makinanın uç gerilimine olan faz açısı ile belli bir döndürme momentine karşın gelir. Bu döndürme momenti, şekildeki taralı alanla orantılıdır ve faz açısının veya stator akımının genliğinin değiştirilmesiyle ayarlanabilir(28).

Kayma ve patinaj olaylarının ortaya çıkmasında gerekli olabilen momentin anı azaltılması, stator akımının azaltmasını beklemeden, hemen hemen gecikmesiz olarak, faz açısının büyütülmesiyle yapılabilir(Şekilde I_R' vektörü). Bundan sonra I_R' stator akımı, D_{k1} doğru akım kıyıcısıyla, U_d doğru gerilimi değiştirilerek I_R'' değerine getirilir. Stator akımındaki bu değişme, doğru akım devresindeki bobinleri de içermek üzere selflerden ve dirençlerden oluşan 50m.s.



Şek.5.11- Makinanın iç gerilim düşümleri ihmal edildiğine göre;
 Bir faz stator gerilimi U_R olmak üzere;
 Momentin âni değişmesinde stator akımları I_R' , I_R'' ,
 Temel devir sayısı bölgesinde, stator akımı I_{R1} ,
 Alan zayıflatma bölgesinde, stator akımı I_{R2} ,
 Generatör çalışma bölgesinde, stator akımı I_{R1G}
 vektörleri.

lik gecikme ile meydana gelmesine karşılık, manyetislanma akımındaki değişme, alan zaman sabitine göre 0,5-1 s. arasında olur.

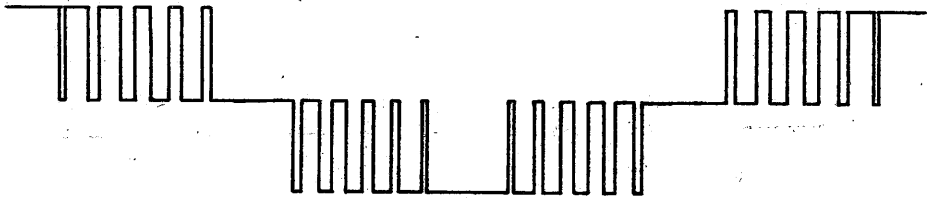
U_d doğru geriliminin çok küçük bir değere ayarlandığı motorun boşta çalışmasında; stator akımının sadece makinanın manyetislanmasını sağlaması ve bunun kayıplardaki ekonomikliğı sağlama bakımından küçük bir değerde olması istendiğinden ϕ faz açısı, tristörlerin tetiklenme açılarının uygun kumanda edilmesi ile yaklaşık olarak 90° ye getirilir.

Motor çalışmaya göre stator akımının yön değiştirdiği ve generatör olarak fren etkisini gösterdiği durumda ise, makinanın manyetislanması için gerekli reaktif güç, burada tristörlerin kumanda edilmesiyle kendiliğinden oluşur. Bu

durumda şüphesiz I_d doğru akımı yönünü korumasına karşı; U_d doğru gerilimi yönünü değiştirir ve asenkron makinadan, doğru gerilim kaynağına bir enerji akışı olur.

Bütün demiryolu taşıtlarında belli bir hızın üstünde gerekli olan alan zayıflatmalı işletme ise makinaya gerilimin, frekansla orantılı olarak uygulanmamasıyla gerçekleştirilir. Örneğin, stator akımının sabit tutularak yapılan alan zayıflatılmasında, Şek.5.11'de taralı alanla gösterilen M_2 momenti için, ϕ faz açısının ne kadar olması gerektiği belirlenebilir.

Makinanın yol alması için; Şek.5.8.a'daki temel evirci bağlantısı hiçbir özel söndürme devresine gerek göstermeden darbe genişlik modülasyonu yöntemiyle elde edilene benzeyen, 120° lik yaklaşık olarak dikdörtgen şekilli akım değişimleri yerine, yüksek frekanslı harmonik akımları, temel harmonik akımına göre çok küçük değerlerde olan, oldukça sinüs eğrisine benzeyen bir stator akımı elde edilir (29). Bu da çok küçük devir sayılarında taşıtın sarsıntısız hareketini sağlar. 5 ilâ 10 Hz'lik çalışma frekansının üstündeki frekanslarda (Normal çalışma), akımın tekrarlı darbeleri kumandası, 120° lik darbeleri kumandaya dönüşür (Şek.5.12).



Şek.5.12- Küçük devir sayıları için bir faz, stator akımının zamana göre değişimi (İdeal).

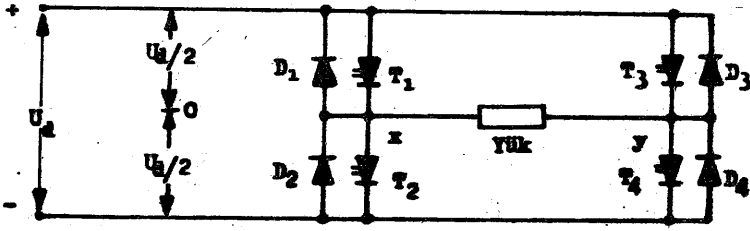
V.5.3. ASENKRON MOTORUN DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONLU EVİRİCİ İLE DOĞRUDAN BESLENMESİ

V.5.3. 1. DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONLU EVİRİCİNİN PRENSİBİ

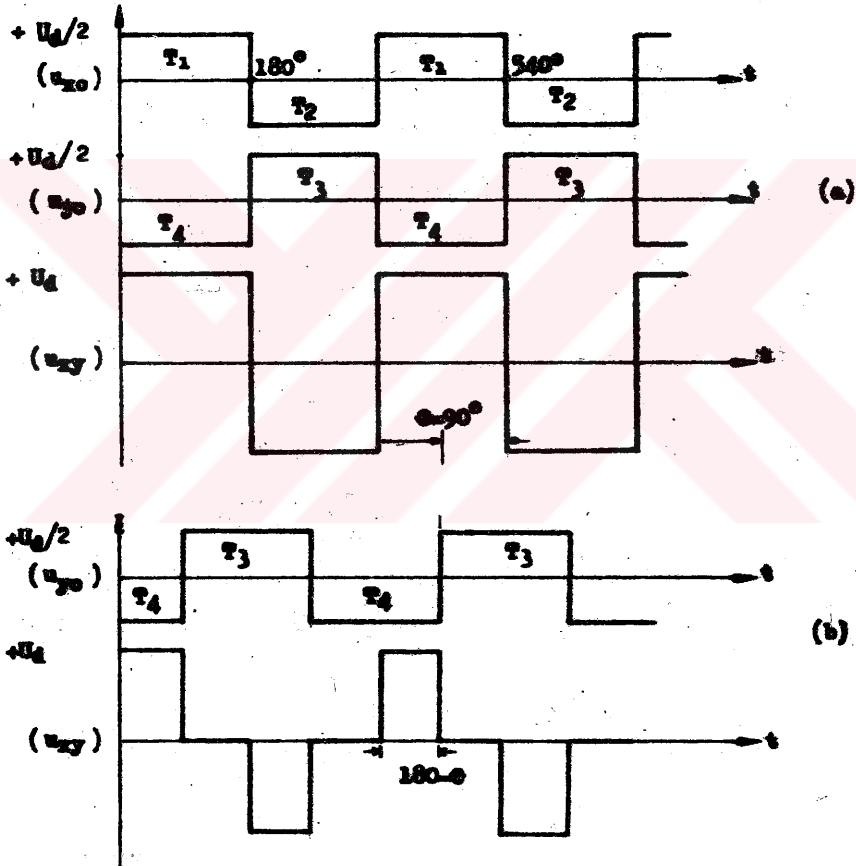
Darbe genişlik modülasyonlu eviricinin açıklanması için, Şek.5.13'de basit tek fazlı evirici devresi verilmiştir. Bunun çalışmasını kısaca inceleyelim: Devredeki T_1 - T_4 ve T_2 - T_3 tristör çiftlerinin sırayla bir yarı periyod süreyle iletimde bulunduklarını ön görürsek, çıkış gerilimi U_d genlikli yaklaşık olarak bir dökdörtgen dalga olur. Her iki tristör çifti yarı periyodlarının daha kısa bir zaman aralığı için iletimde bulundukları takdirde çıkış gerilimi azalır.

Yükün omik olması durumunda, tristör çiftlerinden hiç birinin iletimde olmadığı zaman aralıklarında çıkış gerilimi sıfır olur. Halbuki endüktif yüklerde; tristör çiftleri kesimde oldukları zaman da yük akımı kısa bir müddet için diyotlar üzerinden akmasını sürdürür, dolayısıyla doğru akım kaynağını besler.

Şek.5.13'deki bağlantı şemasında komutasyon devreleri gösterilmemiştir. Bu komutasyon devresi istenilen herhangi bir anda akımın akmasını durdurabilmelidir. Örneğin, her bir tristörün kesime geçirilmesinde Şek.4.10.a'daki gibi bir komutasyon devresi kullanılabilir. Ayrıca T_1 ve T_2 tristörlerinin (veya T_3 ve T_4 tristörlerinin) kapıları aynı kare dalga gerilimle uygun şekilde beslenerek, bu tristörlerin aynı anda iletimde olmaları, dolayısıyla kısa devre önlenmiş olur.



Şek.5.13- Tek fazlı darbe genişlik modülasyonlu eviricinin temel bağlantı şeması.



Şek.5.14- Şek.5.13'deki devrede, faz kayma açısının;

a) $\theta = 0^\circ$

b) $\theta = 90^\circ$ değerleri için,

Gerilimlerin zamana göre değişimleri(ideal)

Şek.5.14'te x ve y noktalarının doğru akım kaynağının teorik nötr noktası O'ya göre gerilim değişimleri verilmiştir. Burada, u_{xo} ve u_{yo} gerilimleri dikdörtgen dalga biçimine sahiptir. Çünkü x ve y noktaları sırayla doğru akım kaynağının bir ucuna ve sonra da diğer ucuna bağlanmaktadır. Buna göre; çıkış uçlarındaki gerilim;

$$u_{xy} = u_{xo} - u_{yo} \quad (V.31)$$

dır. Şek.5.14.a'da çıkış uçlarından alınabilecek maksimum gerilim çizilmiştir. Komutasyon olayının meydana geldiği küçük bir zaman aralığında çıkış gerilimi, dikdörtgen dalga-dan uzaklaşır. 1000 Hz'lik evirici işletme frekansına kadar, komutasyon zamanının oldukça küçük olduğu tristörlü uygulamalarda, çıkış gerilimi dikdörtgen dalga kabul edilebilir. Çıkıştaki gerilim bloklarının genişlikleri, T_3 ve T_4 tristörlerine göre, T_1 ve T_2 tristörlerinin iletim aralıklarının fazını (θ açısını) kaydırarak ayarlanabilir (Şek.5.14.b). Bu yöntemle evirici çıkış gerilimi, sürekli bir şekilde maksimum değerden sıfıra kadar, bir tristör çiftinin diğer tristör çiftine göre kapılarına uygulanan işaretin fazını geciktirerek ayarlanabilmektedir.

Eğer yük endüktif ise, tristörler ve diyotlar üzerinden geçecek akımların değeri, θ faz kayma açısından başka ϕ güç faktörü açısına da bağlıdır.

θ faz kayma açısının sıfır ve güç faktörünün 0,8 endüktif olduğu Şek.5.15 a'da, yük akımı; u_{xo} gerilimi pozitif olduktan 37° sonra T_1 tristöründen akmağa başlar. Peryodun bir bölümünde yük, doğru akım kaynağı ve tristörler üzerinden beslenirken, diyotların iletimde olduğu periyodun diğer bölümünde ise, güç, doğru akım kaynağına verilir.

Yine güç faktörünün 0,8 endüktif ve fakat faz kayma açısının 120° olduğu Şek.5.15.b'de ise, bir önceki durumdaki gibi, periyodun bir bölümünde yük, doğru akım kaynağı ve tristörler üzerinden beslenirken, periyodun diğer bölü-

münde, yük akımı; devresini bir diyot ve bir tristor üzerinden tamamlar.

Geniş bir aralıkta gerilim kontrolü olduğu zaman ve özellikle küçük çıkış gerilimlerinde, devre elemanlarının kullanımı azalır. Tristör çiftlerinin faz kayma açısı θ ile gösterilirse; gerilim darbelerinin genişlikleri:

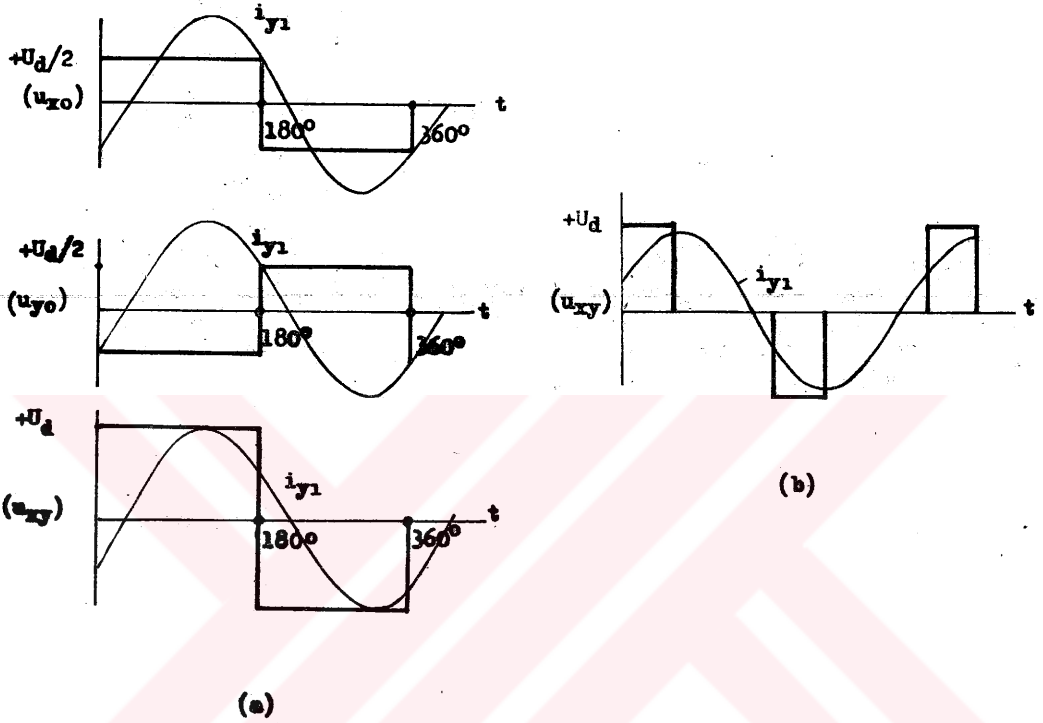
$$\gamma^\circ = 180^\circ - \theta^\circ \quad (V.32)$$

olur. Bu dikdörtgen şekilli çıkış gerilimi Fourier serisine açıldığında çift harmoniklerin bulunmadığı görülür(27).

θ faz kayma açısının çeşitli değerleri için, 7.nci harmoniğe kadar harmonik bileşen genliklerinin, temel harmonik genliğe oranları Tab.5.1'de verilmiştir. Bu tablodan görüleceği gibi, θ faz kayma açısının 0° olması durumunda, 3.ncü, 5.nci ve 7.nci harmoniklerin, temel harmoniğe oranları sırasıyla; 0.33, 0.20 ve 0.143 olmasına karşı, 60° lik faz kayma açısı için 3.ncü harmonik; 0 olmakta, temel harmoniğe en yakın olan 5.nci harmonik için; 0.20, 7.nci harmonik için; 0.145 olmaktadır. Dolayısıyla bir yarı periyotta bir gerilim darbesinin bulunduğu çalışma şekli için, harmonik bakımdan en elverişli faz kayma açısı 60° dir.

Tab.5.1

θ	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
γ	180°	150°	120°	90°	60°	30°	0°
u_{xy3}/u_{xy1}	0.33	0.244	0	0.33	0.65	0.92	-
u_{xy5}/u_{xy1}	0.20	0.05	0.20	0.20	0.20	0.75	-
u_{xy7}/u_{xy1}	0.143	0.05	0.145	0.145	0.13	0.55	-



Şek.5.15- Şek.5.13'deki devrede;

- Yük, $\cos\phi=0.8$ endüktif ve tristör çiftlerinin faz kayma açısı $\theta=0^\circ$ için,
 - Yük, $\cos\phi=0.8$ endüktif ve tristör çiftlerinin faz kayma açısı $\theta=120^\circ$ için,
- gerilimin zamana göre ve akımın temel bileşenin zamana göre değişim eğrileri.

Tab.5.2

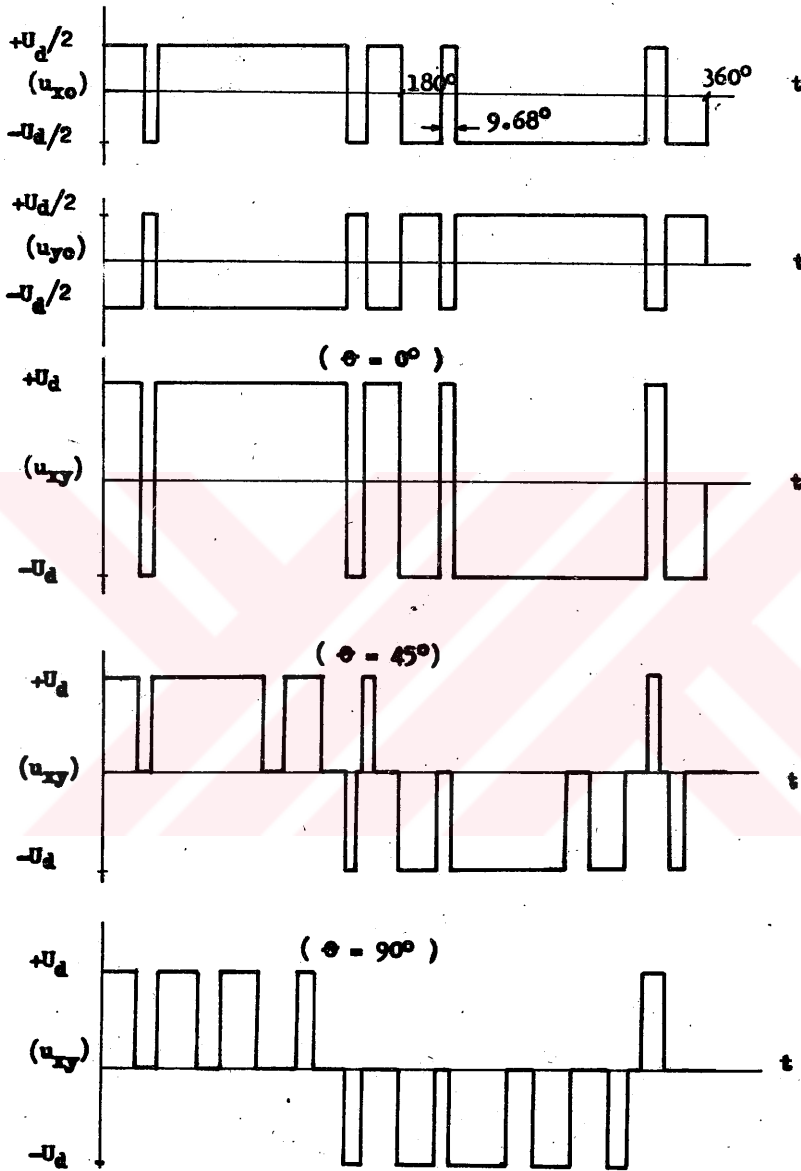
θ	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
u_{xy3}/u_{xy1}	0	0	0	0	0	0	-
u_{xy5}/u_{xy1}	0	0	0	0	0	0	-
u_{xy7}/u_{xy1}	0.2956	0.0789	0.2957	0.2968	0.2931	1.106	-
u_{xy9}/u_{xy1}	0.4863	0.3551	0	0.4856	0.9645	1.327	-

Temel harmoniğe en yakın harmonikleri yok etmek için, başka yöntemler de kullanılabilir. Örneğin, Şek.5.16'da bir yarı periyotta beş komutasyonun bulunduğu ve komutasyon aralıklarının 3.ncü ve 5.nci harmoniğin bulunmayacağı şekilde ayarlandığı, θ faz kayma açısının; 0° , 45° ve 90° değerleri için dalga şekilleri verilmiştir.

Bu çıkış dalga şekillerinin Fourier analizi yapıldığında, faz kayma açısının çeşitli değerleri için, 9.ncu harmoniğe kadar, harmonik genliklerin temel harmonik genliğe oranları Tab.5.2'de verilmiştir.

Bu tablodan görüldüğü gibi bütün faz kayma açıları için, 3.ncü ve 5.nci harmonik sıfır olup, temel harmoniğe en yakın harmonik 7.nci harmoniktir.

Değişimi Şek.5.16'daki gibi verilen bu tip dalgalarda, darbelerin yer ve genişliklerini belirleyen komutasyon açılarının uygun seçilmesi koşuluyla, yarı periyottaki darbe sayısı kadar harmoniğin yok edilebileceği gösterilmiştir (30). Darbe genişliklerinin trapezoid programa göre



Şek.5.16- θ faz kayma açısının, 0° , 45° ve 90° değerleri için u_{xy} çıkış geriliminin zamana göre değişim (ideal) eğrileri.

kontrol edilmesi durumunda, evirici çıkış geriliminin sinüsoidal dalgaya çok yaklaştığı görülür(27).Bu taktirda gerilim kontrolü,örneğin,gerilim darbelerinin sayısını sabat tutup,sinüsoidal şekil bağıntısını bozmayacak şekilde darbelerin genişliklerini değiştirerek yapılabilir.

V.5.3.2. EVİRİCİ DEVRESİ VE İŞLETME

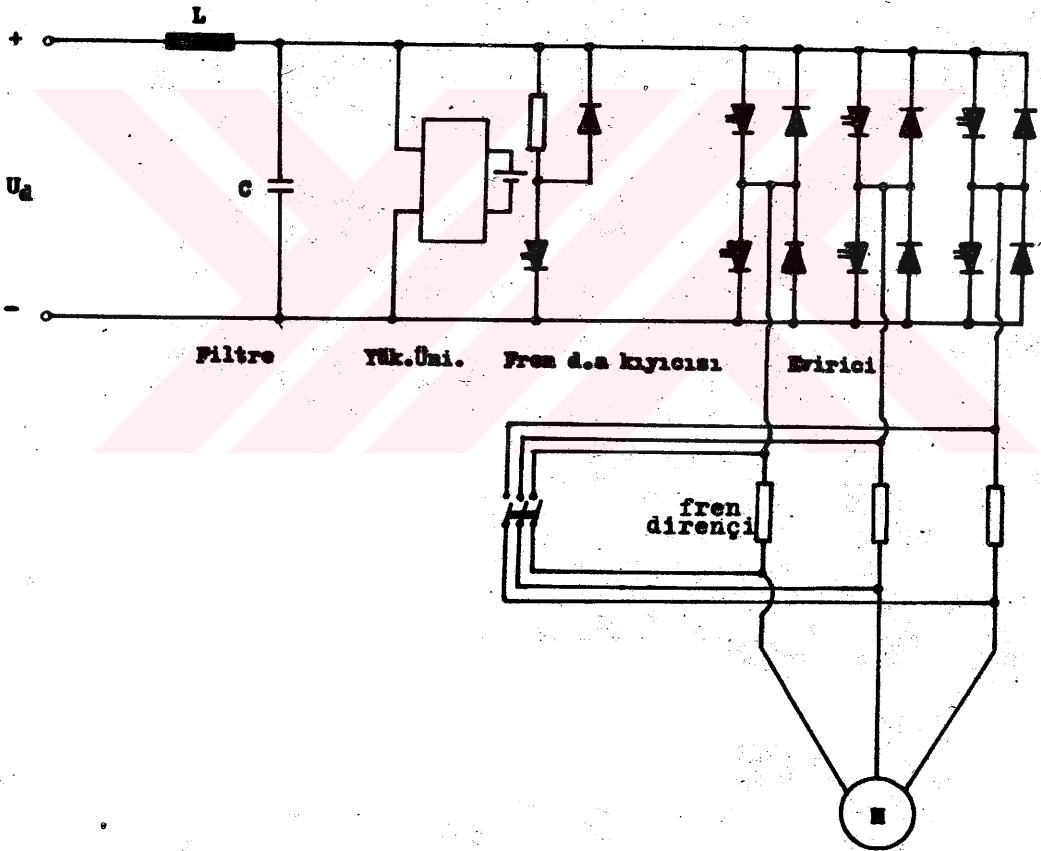
Geniş bir yük ve devir sayısı aralığı üzerinden hem motor ve hem de generatör olarak çalışan sincap kafesli asenkron motor,değişebilir gerilim ve değişebilir frekanslı beslemeyi gerektirir.Bu tür besleme,darbe genişlik modülasyonlu evirici ile doğrudan gerçekleştirilebilir.Şek.5.17'de sincap kafesli asenkron tahrik motorunun, üç fazlı darbe genişlik modülasyonlu evirici ile çalışmasına özgü temel bağlantı şeması verilmiştir. Burada evirici,bir filtre devresi ile direkt olarak doğru akım şebekesinden beslenir.Filtre kondansatörünü istenildiği zaman yüklemek için,bir yükleme ünitesi ve fren akımını kontrol etmek için,bir doğru akım kıyıcısı bulundurulur.Ayrıca makina ile evirici arasında,fren çalışmada,gerektiğinde devreye seri bağlanan, fakat motor çalışmada kısa devre edinen dirençler bulunur.

Şek.5.18'da komutasyon devreleriyle birlikte verilen, üç fazlı darbe genişlik modülasyonlu eviricinin her bir fazı,özel komutasyon tristörlü iki ana tristör ve bunlara paralel bağlı bulunan iki diyottan oluşur. Bu bağlantı şekliyle evirici, dört bölgeli bir dönüştürücü olarak çalışabilir. Buna göre, ek bir düzene gerek olmadan enerji,doğru akım şebekesine doğrudan bağlı bulunan eviricinin kumanda edilmesiyle şebekeye verilebilir(Faydalı frenleme).

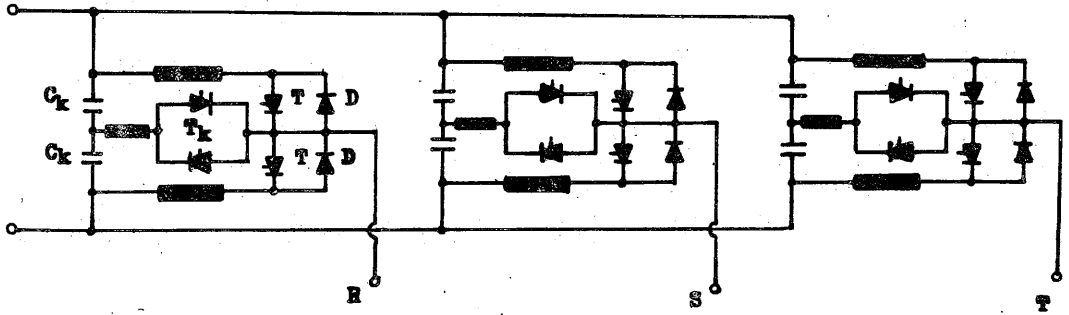
Küçük frekanslı harmonikleri bulunmayan, yaklaşık olarak sinüsoidal şekilli bir faz akımı elde etmek amacı ile akım harmoniklerinin sınırlandırılması veya akımın sinüs şeklinden sapmalarının önlenmesi için, devrede minimum değerde selfin bulunması gerekir.Bu, motorun stator sargısındaki kaçak reaktansın

değerinin büyük tutulmasıyla veya filtre selfinin değerini büyük seçmekle gerçekleştirilebilir.

Taşıtta kullanılacak cer motorlarının birden fazla olması durumunda, her bir motoru ayrı bir eviriciden besleme yerine, bütün motorların bir eviriciden beslenmesi maliyet fiyatını önemli ölçüde azaltır. Bununla beraber, motorların paralel bağlanması durumunda oldukça yumuşak devir sayısı-moment karaktere sahip motorların kullanıl-



Şek.5.17. Tahrik motorunun darbe genişlik modülasyonlu eviriciyle beslenmesine özgü temel bağlantı şeması.



Şek. 5.18. Komutasyon devreleriyle birlikte üç fazlı darbe genişlik modülasyonlu evirici şeması.

ması yerinde olur.Çünkü motorlar arasındaki devir sayısı, farklı olduğu taktirde, motorların çektikleri akımların, veya verdikleri momentlerin belirli bir sınır içinde olması gerekir.

Fren çalışma durumunda, asenkron makina generatör olarak çalışır. Şayet gerekli koşullar gerçekleşirse taşıtın fren gücü, eviriciden geçerek doğru akım şebekesine verilir. Doğru akım şebekesi bu gücü, tam olarak alamıyorsa doğru akım kıyıcısı ile fren gücünün bir miktarı fren direncine aktarılır. Şebeke tarafındaki filtre kondansatörünün, taşıtın aküsünden beslenen yükleme ünitesiyle eviricinin komutasyonu için uygun bir gerilime yüklenmiş olması, şebeke gerilimi olmadığı zamanlarda bile, taşıtın frenleme yapabilme olanağını sağlar.

Yol almada cer kuvvetlerinin, taşıtı maksimum 1.3 m/s^2 lik bir ivmeye ulaştırabilecek büyüklükte olması istenir.

Frenlemede ise, maksimum hızlarda da 1.3 m/s^2 lik frenleme ivmesi istenir.Bunun sonucunda, maksimum hızda

ortaya çıkan fren gücünün değeri, yol alma gücünün iki kat değerine erişir. Tramvaylarda ise güvenlik nedeni ile yönetmelikler gereği sürekli frenleme ivmesi 1.8 m/s^2 öngörülmüştür. O halde, bilhassa frenleme ivmesinin büyük olduğu taşıtlarda, bütün tahrik düzenlerinin boyutlandırılmasında, fren çalışma göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek hızlardaki frenlemelerde ortaya çıkan gücün normal işletmelerdeki güçten çok daha büyük olması nedeniyle, eğer fren gücü, eviricinin müsaade edilen maksimum gücünü aşıyorsa, fren esnasında evirici ile makina arasına seri dirençler bağlanır. Böylece eviricinin, taşıtın yüksek hızlardaki fren gücüne göre değil, sadece tahrikin gereksinimlerine göre boyutlandırılması mümkün olur.

V.5.4. ASENKRON MAKİNANIN KONTROLUNDA KULLANILAN DOĞRUDAN BESLENEN DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONLU EVİRİCİLİ DÜZENLE DOĞRU AKIM KIYICILI-FAZ SIRALI EVİRİCİLİ DÜZENİN KARŞILAŞTIRILMASI

-Darbe genişlik modülasyonlu evirici, şebekeden doğrudan beslendiği için besleme gerilimine göre boyutlandırılması gerekir. Bu da eviricinin nominal gücünün büyük olmasına neden olur. Fakat bundan frenlemede tümüyle faydalanılabılır. Faz sıralı eviricinin gerilim bakımından boyutlandırılması, besleme geriliminin altındadır. Fakat eviricinin ve kıyıcının şebekeye yapacağı kötü etkileri ortadan kaldırmak için, giriş ve ara devre filtrelerine gereksinim vardır. Bu ise büyük ağırlıkların olması sonucunu doğurur.

-Faz sıralı evirici için normal tristörler yeterli olduğu halde, darbe genişlik modülasyonlu eviricide hızlı tristörler gereklidir.

-Darbe genişlik modülasyonlu evirici, motorun stator sargılarına, her yarı periyotta bir çok gerilim blokları uygular. Böylece stator akımında, yukarı ve aşağıya doğru çıkıntılar oluşur. Akımdaki bu distorsiyonları, diğer bir anlatımla sinüs eğrisi şeklinden sapmaları sınırlamak için motor stator kaçak reaktansının büyük tutulması gerekir.

-Doğru akım kıyıcılı-faz sıralı evirici ile beslemede, motorun stator akımının değişimi yaklaşık olarak dikdörtgen dalgadır. Bu akımın bir fazdan diğer faza geçişinde oluşabilecek büyük aşırı gerilimlerden kaçınmak için stator sargısı mümkün olabilen en küçük reaktansa sahip olmalıdır. Ayrıca faz sıralı eviricinin komutasyonu için en az akım değerinin belli bir sınırın altına düşmemesi gerektiğinden, motor boşta çalışmada, büyük bir mıknatıslanma akımına sahip olmalıdır. Bu da, motorun hava aralığının büyük tutulması demek olduğundan güç faktörünün kötüleşmesine neden olur.

-Darbe genişlik modülasyonlu eviriciyle tahrikte, stator akımının sinus eğrisi şekline çok yakın olması, döndürme momentinde salınımlar meydana getirmemesine karşı faz sıralı eviricili düzende, stator akımının dikdörtgen şekilli olması, döndürme momentinde salınımlara neden olur ki; bu da taşıtla yolculukta rahatlığı kötüleştirir.

Bu gün, hemen hemen bütün yakın mesafe taşıtlarında, faydalı ve direnimle frenlemenin yapılması istenir. Bu nedenle darbe genişlik modülasyonlu evirici düzende, motor çalışmada, hiç bir doğru akım kıyıcısına gereksinme olmadığı halde, frenlemede, fren direnç değerinin ayarı için bir doğru akım kıyıcısı gerekir. Halbuki, doğru akım kıyıcılı-faz sıralı eviricili düzende, fren doğru akım kıyıcısına ek olarak, motor çalışmada, doğru gerilimin ayarlanmasında kullanılan bir doğru akım kıyıcısına gereksinme vardır. Fakat bu iki düzen bütünüyle düşünüldüğünde, özellikle daha az sayıda eleman kullanılması nedeniyle, doğru akım kıyıcılı-faz sıralı eviricili düzenin maliyetinin daha düşük olduğu görülür.

A L T I N C I B Ö L Ü M

ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN DOĞRU AKIM KI-YICILI-DOĞRU AKIM MOTORLU TAHİRİKLE,DÖNÜŞTÜRÜCÜLÜ-ASENKRON MOTORLU TAHİRİKİN KARŞILAŞTIRILMASI

Doğru akım seri motorun klâsik yöntemle kontrolünde, dirençlerde oldukça büyük miktarda ısı enerjisinin kaybolması ve sonuç olarak verimin çok düşük olması nedeniyle, karşılaştırma yaparken,modern yöntemlerin kullanıldığı a-senkron motorlu düzenle, doğru akım motorlu düzen gözöntüne alınmıştır.Bu karşılaştırma iki bölümde yapılabilir:

VI.1. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN ASENKRON MOTORLA, DOĞRU AKIM MOTORUNUN; KARAKTERİSTİKLERİ, KONSTRÜKSİYONLARI VE BAKIM GEREKSİNİMLERİ YÖNÜNDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Enerjileri seyr iletkeninden sağlanan tahrik motorlarını, karşılaştırma amacıyla nominal güçleri bakımından dört guruba ayırabiliriz:

- a) Tramvay ve tünel taşıtlarında kullanılan ve nominal güçleri; 100-300 kW olan motorlar,
- b) Otomatislerde kullanılan nominal güçleri;300-500 kW olan motorlar,
- c) Otomotris ve lokomotiflerde kullanılan, nominal güçleri; 500-1000 kW olan motorlar,
- d) Lokomotiflerde kullanılan ve nominal güçleri; 1000 kW'ın üstünde olan motorlar.

Bu guruplandırmaya göre, doğru akım motorları ile a-senkron motorların sürekli güçteki önemli nitelikleri karşılaştırılabilir.

VI.1.1. MOTORUN BİRİM AĞIRLIĞI BAŞINA MOMENTİ (ÖZGÜL MOMENT)

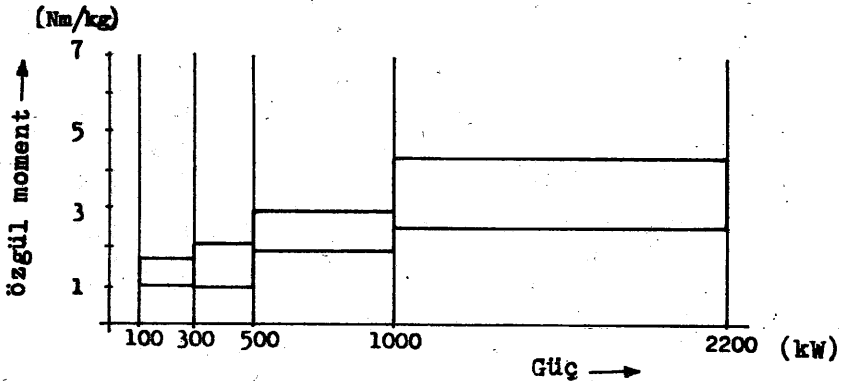
Doğru akım motorları ile asenkron motorların, sürekli güçte özgül momentleri aynı bant parçaları içinde bulunurlar. Aynı nominal grup gücü için, asenkron motor; doğru akım motoruna göre daha fazla özgül moment vermez. Çünkü, doğru akım motoru ile aynı güçte olan bir asenkron motor, daha küçük boyutlu ve hafif olduğu gibi dönme hızı büyük olduğundan daha düşük bir moment verir(Şek.6.1).

VI.1.2. MOTORUN BİRİM AĞIRLIĞI BAŞINA GÜCÜ (ÖZGÜL GÜÇ)

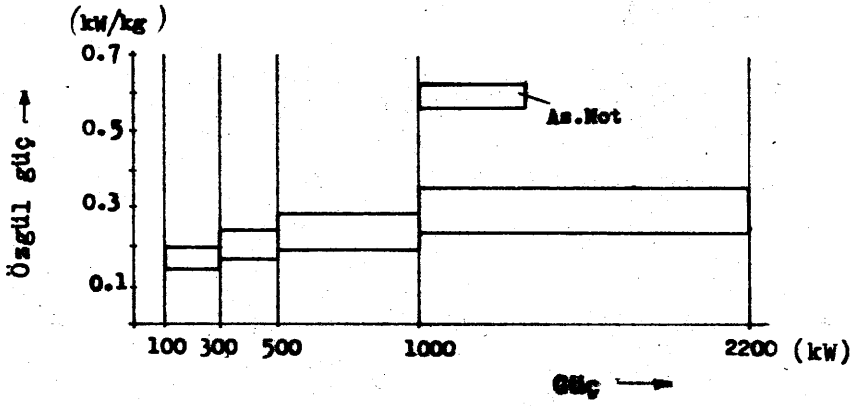
Asenkron motorların kollektörlerinin olmaması ve hızlarının genellikle daha büyük olması, bunları özgül güç yönünden daha ilginç yapabilir. Şek.6.2'de özellikle 1000 kW ile 1500 kW nominal güçler için, asenkron motorun daha iyi olduğu görülmektedir.

VI.1.3. NOMİNAL GÜÇTE VERİM

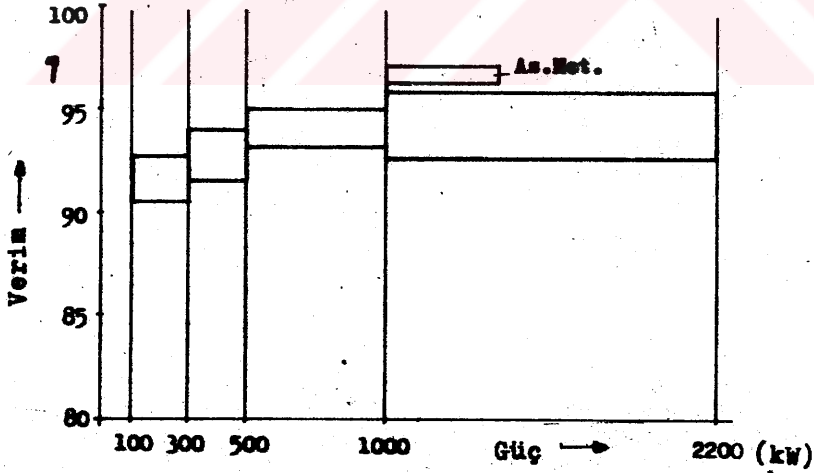
Verim, güç guruplarından kısmen bağımsızdır. Bununla beraber, doğru akım motorlarında enerjinin bir bölümü kollektörlerde kaybolduğu için, örneğin 1000-1500 kW nominal güçlerde asenkron motorun verimi, yüzde 1,5-2,5 daha fazladır(Şek.6.3).



Şek.6.1. Sürekli güçte, nominal güce karşı özgül momentin değişimi.



Şek.6.2. Sürekli güçte, nominal güce karşı özgül gücün değişimi.



Şek.6.3. Sürekli güçte, nominal güce karşı verimin değişimi.

VI.1.4. BAKIM

Doğru akım makinalarında, komutatörün bulunması ağırlık ve hacim yönünden bir sakınca yarattığı gibi, daha sık periyodik bakımları gerektirir. Yapılan bir araştırmada, 6×10^6 km'lik mesafede çalışan bir lokomotifin elektriksel ve mekaniksel bütün bölümlerini içine alan tüm bakım giderine göre, motorun bakımına düşen payı % 11-13 olmakla beraber bunların komutatör ve fırça takımlarına düşen payı ise % 5-7 olmaktadır(28). Şüphesiz bu payı asenkron motor almayaçaktır. Ayrıca asenkron motorun, doğru akım motoruna göre yapısının daha basit olmasına karşın, rotorunda (iletken çubuklarda) merkezkaç kuvvetlerden ve termik genişlemelerden oluşan mekanik zorlanmalara karşı koyacak şekilde dizayn edilmesi gerekir.

VI.1.5. YAPIM FİYATI

Basit yapısı, küçük boyutlu ve hafif olması nedenleriyle asenkron motorun fiyatı daha ucuzdur.

VI.2. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE MODERN KONTROL YÖNTEMLERİNİN KULLANILDIĞI ASENKRON MOTORLU DÜZENLE, DOĞRU AKIM MOTORLU DÜZENİN KARŞILAŞTIRILMASI

Asenkron motorun tahrikinde kullanılan doğru akım kıyıcı-faz sıralı eviricili düzenin, doğrudan beslenen darbe genişlik modülasyonlu eviricili düzene göre, maliyetinin daha az olduğu Böl.V.5.5'de açıklanmıştı. Asenkron motorlu tahrikte kullanılan doğru akım kıyıcı-eviricili düzenin, doğru akım motorlu tahrikte kullanılan doğru akım kıyıcı düzene göre daha karmaşık ve daha pahalıya mal olacağı açıktır. Bu nedenle, asenkron motorlu düzende, elektrik cihazları daha fazla bakımı gerektirir. Fakat bütün bunlara karşı;

-Özellikle 1000-1500 kW nominal güçlerde asenkron motorlarda verim % 1.5-2.5 daha yüksektir. Dolayısıyla asenk

ron motorun tüketeceği enerji daha azdır.

-Yine büyük güçlerde tahrik motoru olarak asenkron motor, komutator ve fırça takımının olmaması nedeni ile daha küçük boyutlu ve daha hafif olanıdır(28).

-Asenkron motorun doğru akım motoruna göre bakım giderleri % 5-7 daha azdır. Bununla beraber, dönüştürücülerin bakım giderleri de göz önüne alınmalıdır.Yarı iletken dönüştürücülerle kontrol edilen asenkron makinelerin cer motoru olarak yeni yeni kullanılmaya başlanması nedeniyle elektrik cihazlarının bakımları hususunda hangisinin daha ekonomik olduğunu söylemek erken olmakla beraber; hiçbir zaman asenkron motorlarda kullanılan dönüştürücülerin bakım fiyatı, doğru akım motorunun komutatorünün bakım fiyatını bulmayacaktır.Kaldı ki doğru akım motorunu tahrikte, doğru akım kıyıcı düzeni kullanılmakta ve bu, az da olsa bakımı gerektirmektedir.

Bütün bunlardan,gelişen güç elektroniği ile elektrikli ulaşım sistemlerinde asenkron motorun, gelecekte, tahrik motoru olarak diğer elektrik motorlarının yerini alacağı söylenebilir.

Y E D İ N C İ B Ö L Ü M

ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE TRİSTÖRLERİN OLUMSUZ ETKİLERİ VE ALINAN ÖNLEMLER.

Büyük güçlü, bakımı kolay, enerjide ekonomikliği sağlayan taşıtların istenmesi, tristörlü elektrikli ulaşım sistemlerinin sayısını gittikçe arttırmaktadır. Daha sık taşıt trafiği, otomatik işletme, daha fazla ağırlığın taşınması, daha kısa seyahat süresi ve daha uzun zaman sonra bakım gereksinimi, bu tekniğin üstünlükleri olarak sayılabilir. Buna karşı; yarı iletken dönüştürücülerle beslenmenin sonucu olarak, kumanda ve komutasyon reaktif güç gereksinimi ve şebekeden pulzasyonlu bir akımın çekilmesi sakınca yaratır. Bu akım, şebeke geriliminde distorsiyon oluşturur ve haberleşme düzenlerine, klâsik yöntemlerle yapılan tahriklere göre daha kötü etkide bulunur. Bu etkinin azaltılması için, haberleşme tesislerinde ve elektrikli ulaşım sistemlerinde şu önlemler alınabilir:

VII.1. HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE ALINAN ÖNLEMLER

Bu önlemler aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Uygun güzergâh seçilmesi ve yanyana giden hatların uzunluğunun ve sayısının azaltılması,
- Tesisin toprak simetrisinin büyütülmesi,
- Elektrikli ulaşım sahasında ses düzeninin yükseltilmesi,
- Özel redüksiyon düzenlerinin (Magnetik kompanzasyon ve aktif dört uçlular kullanarak) gerçekleştirilmesi,
- Haberleşme kablolarının, uygun redüksiyon faktörüyle yerleştirilmesi.

VII.2. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE ALINAN ÖNLEMLER

Bu önlemler;

-Demiryollarında, raylarda,dönüş akımının mümkün olduğu kadar küçük bir omik yol izlemesinin sağlanması. Böylece,dönüş akımının toprağa akan bölümü azaltılmış olur. Bunun için,ray başları kaynak edilir veya özel ray başlıkları kullanılır.

-Doğru akım kıyıcılı taşıtlarda,kıyıcının çalışma frekansının,haberleşme frekansının üstünde tutulması,

-Güzergâh boyunca filtrelerin yerleştirilmesi olarak özetlenebilir.

SEKİZİNCİ BÖLÜM

SONUÇLAR

Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Alçak gerilimli doğru akım sisteminin (Doğru akım seyr iletkenli ve doğru akım motorlu) tek fazlı alternatif akım sistemine (Tek fazlı alternatif akım seyr iletkenli ve tek fazlı kollektörlü alternatif akım motorlu) göre üstünlükleri ortaya konmuş ve tek fazlı kollektörlü alternatif akım motorunun önemli sakıncaları nedeniyle tahrik motoru olarak doğru akım motoru veya asenkron motorun kullanıldığı düzenler incelenmiştir.

- Elektrikli ulaşım sistemlerinde en uygun doğru akım motorunun, seri uyarımlı olanı olduğu ortaya konmuş, doğru akım seri motorun klâsik yöntemle, yol alması, devir sayısı ayarı ve frenlenmesi incelenmiştir.

- Doğru akım seri motorun, güç elektronığının kullanıldığı modern yöntemle nasıl kontrol edildiği açıklanarak, modern yöntemdeki doğru akım kıyıcılı düzenle klâsik yöntemdeki dirençli düzenin üstünlükleri ortaya konmuştur. Ayrıca, bir adet komutasyon devresi kullanarak alan zayıflatmasının kontrol edilebildiği bir devre şeması verilmiştir.

- Üç fazlı asenkron motorun elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılması göz önüne alınarak, önce klâsik yöntemle kontrolü incelenmiştir.

- Sincap kafesli asenkron motorun modern yöntemle kontrolünde kullanılan, doğrudan beslenen darbe genişlik modülasyonlu-eviricili düzenle doğru akım kıyıcılı-faz sıralı eviricili düzen ayrı ayrı incelenmiş ve

bu iki düzenin karşılaştırılması yapılarak fayda ve sakıncaları ortaya konmuştur.

- Elektrikli ulaşım sistemlerinde taşıtı tahrik edecek her motorunun, doğru akım seri motoru mu yoksa üç fazlı sincap kafesli asenkron motor mu olsun sorusuna yanıt olmak üzere, önce aynı anma gücündeki doğru akım motorları ile asenkron motorların ; karakteristikleri, konstrüksiyonları ve bakım gereksinimleri yönünden karşılaştırılması yapılmış ve sonra da modern kontrol yöntemlerinin kullanıldığı, asenkron motorlu düzenle doğru akım kıyıcılı düzenin tüm karşılaştırılması yapılmıştır.

Böylece, elektrikli ulaşım sistemlerinde seyriletken gerilimi doğru gerilim olduğu taktirde, dönen motor olarak, tek fazlı kollektörlü alternatif akım motoru, doğru akım seri motoru ve üç fazlı sincap kafesli asenkron motordan hangisinin daha uygun olacağı ortaya konmuştur.

Burada elde edilen neticeyi, dünyada çok kullanılan tek fazlı alternatif akım seyriletkenli sistem için de geçerli kabul edebiliriz. Çünkü tek fazlı alternatif akım seyriletkenli sistemde, modern yöntemlerle taşıt tahrikinde tek fazlı alternatif akımın, kontrollü veya kontrolsüz doğrultularla doğru gerilime dönüştürülmesi gerekmektedir.

- Son bölümde de elektrikli ulaşım sistemlerinde trisörlerin olumsuz etkileri anlatılmış ve buna karşı haberleşme sistemleri ile elektrikli ulaşım sistemlerinde ne gibi önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir.

Y A R A R L A N I L A N K A Y N A K L A R

- (1) "Le traffic marchandises de l' URSS et des USA Extrait de Europa Verkehr", 12(1959)
- (2) Berichte und Nachrichten Elektrische Bahnen, 6 (1960) S. 147
- (3) Ural Atif "Çer tekniğinde kullanılan en mühim büyüklük olan A (kwh/km. sene)'nın analitik ifadesinin bulunması ve bu ifadenin değişkenlerine bağıllığının etüdü" Doktora çalışması, İ.T.Ü (1970)
- (4) Rissik, M. "The fundamental Theory of Arc Converters", Chapman and Hall London, 1939
- (5) Laub, F., "Cycloconverters, Frequency Conversion with grid-control led rectifiers", Arhiv f. Elektrotechnik Vol.27, 1933
- (6) Çelteklili, Uğur, "Tristörlü faz kontrollu frekans çeviricinin elektronik hesap makinasında analizi ve frekans çeviricinin çıkış geriliminin harmonik distorsiyonunun optimizasyonu" Doktora çalışması, İ.T.Ü, 1977
- (7) "25 Kv, 50 Hz Direkt bağlı monofaze akım motorlu Bo Bo Lokomotiflerinin çalışma talimatı.T.C.D.D.Y.Çer Dairesi, İzmir, 1971
- (8) Dover, A.T, "Elektric Traction", London, 1963, s.6
- (9) Ülğür, M. Münir, Doğru akımla cerde elektrik donanımı, İstanbul, 1964
- (10) Boduroğlu Turgut, Elektrik Makinaları dersleri Cilt IV, İstanbul, 1958, s.80
- (11) P. De Bruyne, A. A.Jascklin and T. Vlasak, The Reserve Condueting Thyristor and its Applications. Brown Boveri Rev. 1-79
- (12) M. Ramamoorthy, Thyristors and Their Applications, 1977

- (13) Takashi Kitaoka, Eiichi Ohno, Masahiro Ashiya, Kanzi Katsuki, Takehiko Katta, " Automatic Variable Field Chopper Control System for Elektric Railcars" IEEE Transactions on industry applications, Vol. IA-13, No.1, January/February 1977
- (14) Ulrich Putz "Gleichstromsteller für die Speisung von Fahrmotoren elektrischer Triebfahrzeuge". Technische Mitteilungen AEG-TELEFUNKEN GI (1971) 6, S. 320-324
- (15) Sten Elvin, "Thyristor Chopper equipment in subway cars class c7" Asea Journal 1974 Volume 47 N.5
- (16) A. Cogliati, B. Framba, L. Lanzavecchia and M. Mazzia, "The experimantel 3000 V D.C Lokomotive of the Italian State Railways with Chopper control". Brown Boveri Rev. 12-76
- (17) U. Baechler, "Articulated Trams 2000 Series of the Zurich Municipal Transport Authority". Brown Boveri Rev. 12-76
- (18) P. Bieri, J. P. Garnier, G. Radrigues Navarre and Y. Neveux, "Suburban Trainsets Class 9000 of Ferrovia Paulista (FEPASA), Sao Paulo, Brazil." Brown Boveri Rev. 12-78
- (19) Werder. J, "Bo Bo Motor-coaches Class Be 4/4 of the Wynental and Suhrental Railway (WSB)". Brown Boveri Rev. 12-78
- (20) Halıcı Kemal, Tschilikin M. G, Elektrik motoru ile tahrik, İ.D.M.M.A. 1969
- (21) Sarioğlu Kemal, Elektrik Makinalarının Temelleri III. (Asenkron Makinalar) İstanbul, 1977
- (22) Boduroğlu Turgut, Elektrik Makinaları Dersleri Cilt II İ.T.Ü. 1981

- (23) Kasapoğlu Asım, "İnverterlerin Prensipleri ve Elektrik Motorlarının beslenmesine uygulanması" Yeterlik çalışması, İ.D.M.M.A. 1979
- (24) Joseph Edminister, MSE Theory and Problems of Electric Circuits, 1972
- (25) Alexander. S. Langsdorf, Theory of Alternating-current Machinery 1957
- (26) A.B. Plunkett, D.L Plette, Inverter-Induction Motor Drive for Transit Cars, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA 13 No 1. 1977
- (27) Murphy J.M.D "Thyristor Control of A.C Motors" Newyork, 1973
- (28) H. Lurgi "Design Aspects of Induction Motors for Traction Applications with Supply through Static Frequency Changers" Brown Boveri Rev. 4-70
- (29) Klautschek Herwig "Asynchronmaschinen-antriebe mit Strom-Zwischenkreis umrichtern" Siemens-Zeitschrift 50 (1976) Heft 1.
- (30) Patel H.S and Hoft R.G, "Generalized Techniques of Harmonic Elimination and Voltage Control in Thyristor Inverters: Part I Harmonic Elimination", IEEE.

Ö Z G E Ç M İ Ş

1947 Yılında Kula'da doğdu. İzmir Namık Kemal Lisesi-
ni bitirdikten sonra 1966 yılında İstanbul Teknik Üniver-
sitesi Elektrik Fakültesine girdi. 1972 de Elektrik Fakül-
tesinin Kuvvetli akım bölümünden Elektrik Yüksek Mühendisi
olarak diploma aldı. 1978 yılında İstanbul Devlet Mühendis-
lik ve Mimarlık Akademisi Elektrik Fakültesi Elektrik Maki-
naları Kürsüsüne asistan olarak atandı. 1979 yılında "İn-
verterlerin prensibi ve elektrik motorlarının beslenmesine
uygulanması" konusunda yeterlik tezi veren Kasapoğlu İEEE
üyesidir. Evli ve iki çocuk babasıdır.