

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Modern Yak, Mek, Elek. Ulaş. Sıst.en  
Modern Tah. Düz. güç Elek. Açıl. Deg.

Yüksek Lisans Tezi

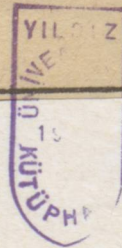
Serap Acar

1987



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
GENEL KİTAPLIĞI

Kot : ..... R 152  
Alındığı Yer : ..... Fen Bil. Ens. 64  
Tarih : ..... 8.12.1988  
Fatura : .....  
Fiatı : ..... 5000 TL  
Ayniyat No : ..... 1/21  
Kayıt No : ..... 45750  
UDC : ..... 378.242  
Ek : ..... 621.3







MODERN YAKIN MESAFE ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE  
EN MODERN TAHRİK DÜZENLERİNİN GÜÇ ELEKTRONİĞİ  
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

( Yüksek Lisans Tezi )

E l k . M ü h . S e r a p A C A R

Tezi Yöneten : Prof. Dr. Atıf URAL



## 1.1. ÖZET

Toplu taşımacılığın temeli olan " modern elektrikli ulaşım sistemleri " en modern elektrik tahrik düzenleri bakımından incelendi. En modern tahrik aşama olan " güç elektroniği " bu çalışmada değerlendirildi ve dünyadaki uygulamaları belirtildi. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda en modern sistem, en optimum çözüm olduğu görülmüştür.

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada, modern elektrikli ulaşım sistemlerinde en modern tahrik sistemleri önce en genel çizgileriyle incelenmiş, sınıflandırmaya gidilmiş ve güç elektroniği açısından değerlendirilmiştir.

Çalışmayla ilgili olarak geniş bir literatür incelemesi yapılmış, dünyadaki uygulamalara yönelinmiş ve ülke teknolojisi açısından önemi araştırılmıştır. Olanaklar oranında yapılan bu değerlendirme, ilerideki çalışmaların temeli olacaktır.

Başlangıcından bugüne tüm çalışmalarımda yardımcılığını ve yönlendiriciliğini esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr.Ing.Atıf URAL' a içten teşekkürlerim ve saygılarımla...



## I.1. ÖZET

Toplu taşımacılığın temeli olan " modern elektrikli ulaşım sistemleri " en modern elektrik motorlu tahrik düzenleri bakımından incelenmiş, en modern teknolojik aşama olan " güç elektroniği " bu alanda değerlendirilmiş ve dünyadaki uygulamaları belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda en modern sistem, en optimum çözüm araştırılmıştır.

## I.2. ZUSAMMENFASSUNG

Die moderne elektrische Zugförderungssysteme sind die wichtigsten Transportmittel der Zugförderung. Die modernsten elektromotorischen Antriebe werden behandelt und bewertet. Auf die Wichtigkeit der Leistungselektronik wurde betont. Die Anwendungsbeispiele auf aller Welt werden gegeben. Bezüglich der Vergleich wurde die optimale Lösung gesucht.

Ocak, 1987

Serap ACAR



## İÇİNDEKİLER

### I.1. Türkçe Özet

### I.2. Yabancı dilde özet

## II. Elektrikli Ulaşım Sistemleri ( 1 - 2 )

### II.1. Elektrikli Ulaşım Sistemlerinin Genel Sınıflandırılması ( 2 - 5 )

### II.2. Yakın mesafe ulaşım sistemlerinin incelenmesi

( 5 - 13 )

## III. Elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan tahrik motorları (13)

### III.1. Taşıt tahrik tekniği

( 14 - 15 )

### III.2. Doğru Akım Motorlu Tahrik ( 15 )

#### III.2.1. Doğru Akım Motorlu Tahrikte Klasik Yöntem ( 15 - 25 )

#### III.2.2. Doğru Akım Motorlu Tahrikte Modern Sistem ( 26 )

##### III.2.2.1. Kıyıcı Kontrolü ( 27 - 30 )

##### III.2.2.2. Doğru Akım Kıyıcıları ( 30 - 51 )

##### III.2.2.3. Demiryolu Taşımacılığı ( 51 - 68 )

### III.3. Alternatif Akımlı Tahrik ( 69 )

#### III.3.1. Klasik Sistem ( 70 - 72 )

#### III.3.2. Modern Sistem ( 72 - 87 )

Üç fazlı alternatif akım motorları için yapılan yeni araştırmalardan bir örnek. ( 88 - 94 )

## IV. Mikrobilgisayarla Elektrikli Taşımada Elektronik Tahrikli Kontrol Sistemlerinin Yeni Uygulamaları

( 94 - 99 )



## II. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİ

Belirli bir yükü belirli bir yerden belirli bir yere belirli bir zamanda istenen koşullar altında taşıyan sisteme ulaşım sistemi denir.

Elektrikli ulaşım sistemi ise elektrik enerjisi ile beslenen ve elektrik motorları ile tahrik edilen sistemdir. Bu sistemde elektrik enerjisi motorlar tarafından mekanik enerjiye dönüştürülür.

Ulaşım sistemi genel olarak üç grupta toplanır:

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

Elektrikli ulaşım sistemlerinin halen bugünkü teknoloji ile mümkün olan uygulama alanı KARA YOLU ile ulaşımıdır.

Kara yolu ile ulaşım:

1. Diesel ve Buharlı sistemler ( elektrikli olmayan sistemler )
2. Elektrikli sistemler

### ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ

- Çevre kirlenmesine en az zarar veren sistemdir.
- Elektrik enerjisinin büyük santrallarda üretimi ekonomiktir.
- Elektrik enerjisinin üretiminde en modern kaynaklardan faydalanılır.
- Toplu taşımacılıkta günümüzün en iyi ulaşım sistemidir. Özellikle büyük şehirlerde Metro, Tramvay, Banliyö trenleri birer örnektir.
- Her türlü şartlar altında güvenceli bir işletme sağlaması, güzergahının belli olması, en zor doğa koşulları altında
  - 50 °C veya daha üstündeki soğuk havalarda çalışabilir olması.



- Teknolojinin elektrikli ulaşım sistemleri üzerine dikkatle eğilmesi sisteme sürekli yenilikler getirilmesini sağlamaktadır. Örneğin; ayar sınırlarının genişletilmesi, faydalı frenlemenin sağlanması, hızın artması, kayıpların azalması gibi.

|      | Taşıtın cinsi | Ortalama Oturma Yeri | Ortalama Yüklene. % | Taşıt ve Yol Küt. | Ortalama Öz.En.Tü. Wh/t.km. |
|------|---------------|----------------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| Ray  | Eksprestren   | 769                  | 75                  | 570               | 26.8                        |
| Üze- | "             | 769                  | 50                  | 556               | 27.4                        |
| rin- | "             | 769                  | 25                  | 541               | 28.2                        |
| de.  |               |                      |                     |                   |                             |
| Kara | Otomobil      | 4                    | 75                  | 1.25              | 1138.3                      |
| Yolu | "             | 4                    | 50                  | 1.150             | 1212.5                      |
| Üze- | "             | 4                    | 25                  | 1.075             | 1297.1                      |
| rin- | Yolcu oto.    | 50                   | 75                  | 18.850            | 242.3                       |
| de.  | "             | 50                   | 50                  | 17.880            | 255.4                       |
|      | "             | 50                   | 25                  | 16.980            | 268.9                       |

Tablo 1. Kara yolu ile ulaşım sistemlerinin karşılaştırılması

## II.1. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNİN GENEL SINIFLANDIRILMASI

### II.1.1. KULLANILMALARINA GÖRE SINIFLANDIRMA

#### II.1.1.1. Halen kullanılmakta olan sistemler

#### II.1.1.2. Halen deneme devresinde olan veya az kullanılan sistemler

#### II.1.1.1.1. HALEN KULLANILMAKTA OLAN ULAŞIM SİSTEMLERİ

##### A. Büyük mesafelerde yapılan ulaşım

##### . Ray üzerinde yapılan ulaşım

( Demiryolları, yeraltımetroları, tramvaylar )

##### . Yol üzerinde yapılan ulaşım

( Dizel elektrikli otobüs, trolleybüs, akülü taşıt gibi )



- . Deniz üzerinde yapılan ulaşım  
( Elektrik tahrik pervaneli şilepler gibi )

#### B. Küçük mesafelerde kullanılanlar

- . Havai taşıyıcı teleferikler
- . Dağ demiryolları
- . Asansörler
- . Gemi yükleme ve boşaltma makinaları

#### II.1.1.2. Halen deneme devresinde olan veya az kullanılanlar

- . Transrapit ( Transurban, Magnetik yastıklı tren )
- . H. Bahn, M. Bahn ( Üst yollu elektrikli ulaşım sis.)
- . Elektrikli Otomobil ( Akülüdür, akü boşalıncaya kadar gider)
- . Yürüyen kaldırımlar
- . Tele elektrikli otomobil

#### II.1.2. ENERJİ ALIŞLARINA GÖRE SINIFLANDIRMA

II.1.2.1. Elektrik enerjisini dışardan bir akım alıcısı ile alanlar ( Bunlar seyr iletkeni veya üçüncü raydan beslenen Trolleybüs-metro-tramvay)

II.1.2.2. Elektrik enerjisini üzerlerindeki bir enerji deposundan taşıyan sistemler.( Bunların çalışma süresi enerji deposunun kapasitesine bağlıdır.)

- a. Bir akümülatör bataryası ( Akülü taşıtlar)
- b. Bir termik motor ( Diesel motoru, buhar türbini, gaz türbini)

#### II.1.3. YAPIM ŞEKİLLERİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

II.1.3.1. Tek demiryolu taşıtı olarak ray üzerinde giden elektrikli taşıtlar

II.1.3.1.1. Lokomotifler ( bunların ayrıca yük bölümleri vardır)



#### II.2.1. A. Akım alışına göre

##### A.1. Dışarıdan akım alanlar

##### A.2. Üzerlerindeki bir enerji kaynağından akım alanlar ( akümülatör, diesel elektrikli )

#### B. Kullanılma amacına göre

##### B.1. Uzun mesafe demiryolu lokomotifleri

##### B.2. Yakın mesafe demiryolu lokomotifleri

##### B.3. Şehir yolları için ototren

##### B.4. Tramvaylar için ototren

##### B.5. Dağ demiryolları için ototren

#### II.1.3.2. Yoldan Yararlanan Ulaşım Sistemleri

##### a. Akümülatörlü taşıtlar

İnsan ve yük taşımacılığında kullanılan elektrikli kariyerler, elektrikli otomobiller

##### b. Diesel elektrikli otobüsler veya yük kamyonları

##### c. Trolleybüsler, akübataryalı veya diesel elektrikli olabilen tipleri de vardır.

#### II.1.3.3. Akım Cinsine Göre Sınıflandırma

##### II.1.3.3.1. Doğru Akımla beslenen elektrikli taşıtlar

##### II.1.3.3.2. Alternatif Akımla beslenen elektrikli taşıtlar

##### a. Bir fazlı A.A. beslenen sistemler

##### a.1. 16 2/3 Hz 'li sistem

##### a.2. 50 Hz endüstri frekanslı sistem

##### b. Üç fazlı A.A. beslenen sistemler

#### II.1.4. ENERJİ SİSTEMLERİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

##### II.1.4.1. Buharlı Sistemler

##### II.1.4.2. Diesel Sistemler

##### II.1.4.3. Elektrikli Sistemler

Bir tramvay taşıtlarına girebilir değerlendirilebilecek nitelikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.



## II.2.1. KONVANSİYONEL SİSTEMLER

### II.2.1.1. GİRİŞ

Duraklar arası mesafelerin ve seyr sürelerinin kısalıkları nedeniyle yolalma ve frenleme periyotlarının, motor gücünün ve enerji tüketiminin saptanmasında önemli bir faktör oldukları trafik düzenine, yakın trafik düzeni denir. Bunun tersi uzak trafik düzeni adını alır.

Kentlere ve bunlara bağlı dış bölgelerde yakın mesafe ulaşımında yolcu taşınması görevini: genel olarak, otobüsler, trolleybüsler, tramvaylar, metrolar ve banliyö trenleri, özel olarak ta üstyollu sistemler, dişli tekerlekli demiryolları, teleferikler ve küçük yolcu gemileri yerine getirirler. Bunlara ek olarak, kent içi yakın mesafe ulaşım sistemi içinde taksileri, minibüsleri, motosikletleri, bisikletleri de saymak gerekir.

Kentlerdeki raylı yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemleri olarak genel anlamda: tramvay ( kent içi elektrikli demiryolu ), banliyö treni ( kent içi - kent dışı hızlı elektrikli demiryolu ) ve metro ( yeraltı hızlı elektrikli demiryolu ) sistemleri ve taşıt birimleri anlaşılar.

### II.2.1.2. KONVANSİYONEL SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

#### II.2.1.2.1. TRAMVAY

Kent içi yakın mesafede yolcu taşınmasında tramvaydan da yararlanılır. Kendine özgü bir yolu vardır. Trafiğin yoğun olduğu yerlerde genellikle tünellerden geçerler. Koruma önlemleri bakımından büyük frenleme ivmeleri bu tip taşıtlar için gerekli görülmüştür. Bu nedenle, genellikle kendi kendine uyar malı elektriksiz frenleme çeşidi kullanılır.

Bir tramvay taşıtının olumlu olarak değerlendirilebilecek nitelikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.



- . Büyük bir şebeke yoğunluğu olduğundan ve güzergahın kentin oturma yapısına iyi uyabilmesi zorunluluğundan kısa yol-alma ve hareket etme mesafeleri vardır.
  - . Yol yapımında az bir giderle iyi bir yapısal esneklik sağ-lanır.
  - . Basit ve sağlam taşıtlar ve tesislerin kullanılabilmesi nedeniyle büyük bir işletmesel güvenlik bulunur.
  - . Durakların az yer gerektirmesi ve uygun yol - taşıt ünite-si hacmi nedenleriyle kent ya pısına kolay ve iyi uyabilir-lik niteliği vardır.
- Bu olumlu niteliklerinin yanında olumsuz olarak sayılabi-lecek özellikleri vardır:
- . Kent içi yol trafiğinin neden olduğu tıkanıklıklar sonu-cunda taşıma hızı küçüktür.
  - . Bu tıkanıklıklar sonucunda hareket programı zamanında ger-çekleşemez.
  - . Taşıtta oturma yerlerinin azlığı, hareket sırasındaki gü-rültünün çokluğu, kötü havalandırma ve iniş - biniş durum-ları nedenleriyle istenilen bir hareket durumundaki ra-hatlık yoktur.
  - . Duraklarda kötü hava durumlarına karşın iyi bir koruma bu-lunmaz.
  - . Büyük personel gereksinmesi ve dolayısıyla büyük personel giderleri vardır.
  - . Düşük bir ulaşım hacmi gerçekleşir.

#### II.2.1.2.2. HIZLI TRAMVAY

Hızlı tramvay, 600m duraklararası mesafedeki kent içi yolla-



rı olduğu kadar, kent dışı yreleride kent iiyle bağlar. Büyük duraklararası mesafelerde saatte 100 km.lik max hızlara ve saatte 40 km.lik değerlere ulaşan yolculuk hızlarına ulaşılabilir. Bu tip raylı sistemde toplam 2 x 4 motorlu ( tahrik dingilli ) 2 otomotris bulunur. Tramvayda olduğu gibi 3 ünite birleştirilebilir. Bunlarda gerekli durumlar için büyük frenleme ivmeleri verebilmelidirler. Bu sistem, tramvay'ın daha geliştirilmiş bir şeklidir. Dolayısıyla genel olarak, aynı olumlu ve olumsuz nitelikleri içerir.

#### II.2.1.2.3. BANLİYÖ TRENİ

Bu işletme çeşidi, esas olarak demiryolları üzerinde hızlı bir ulaşım sağlar. Kentin ana merkezlerini, dış bölgelere, komşu küçük kentlere bağlar. Bu görevi sisteme özgü taşıt cinsleri ya ptığı kadar, uzak mesafelere yapılan ulaşımda lokomotifli katarlarda yerine getirir.

Bu sistemin olumlu nitelikleri genel olarak aşağıdaki şekildedir.

- . Yolculuk eden ler için uygun yolculuk süreleri vardır.
- . Büyük kullanım olanakları nedeniyle daha kısa bekleme süreleri bulunur.
- . Özel yolu nedeniyle bozuntusuz bir hareket sağlanır ve seyr programlarına zamanında uyulur.
- . Personelin retken niteliği nedeniyle daha az personele gereksinme gösterir.
- . Otomatikleştirilen sistemler nedeniyle yüksek bir güvence sağlanır.
- . Basit bir tekniği olması bakımından daha az bakım ve onarım giderleri gerektirir.
- . Daha az bir özgül enerji gereksinmesi gösterir.
- . Katar düzenlemesinin daha kolay olması ve katarların birbirini izleme sürelerinin değiştirilebilmesi nedenleriyle daha iyi bir işletme esnekliği vardır.
- . Ortam bozucu büyüklüklerin etkisi daha azdır.
- . Kaza oranı yüzdesi düşüktür.



Olumsuz nitelikler olarak şu hususlar belirtilebilir :

- . Büyük hız ve ağır değişken akım seyr düzeni ve büyük sayıdaki yer olanakları nedenleri sonucunda oluşan ağırlıktan ötürü büyük bir enerji gereksinmesi gösterir.
- . Uzak mesafe demiryolları güzergahının da kullanılması sonucunda daha az bir kullanma sıklığı daha az oranda seyr programlarına uyabilme vardır.
- . Değişken akım sisteminin kullanılması nedeniyle daha büyük bir alan gereksinmesi, daha büyük bir sistem kesiti gerektirir.
- . Alt yapının kurulmasında daha büyük zorluklar bulunur.

#### II.2.1.2.4. METRO

Metro en güçlü yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemidir. Kendine özgü kapalı bir sistemi ve taşıtları içerir, ve gerek yerüstünde gerekse yeraltında trafiği büyük oranda zorlaştıran kavşaklar yoktur. Yaklaşık olarak, bir banliyö sisteminde bulunan olumlu nitelikler bu sistemdede vardır.

Olumsuz nitelikleri ise biraz farklıdır :

- . Birçok yolcular için bu ulaşım sisteminin duraklarına gidip gelmeler daha zor, daha zaman alıcıdır.
- . Aktarma ya pma gerekliliği ve zorluğu bulunur.
- . Yol şebekesinin değiştirilmesinde veya genişletilmesinde, yapım işlemlerinin pahalılığı ve bu işin yavaş yapılması nedenleriyle, zorluklar ortaya çıkar.
- . Kent yapısına uyumda zorluklar gösterir.

#### II.2.1.3. SONUÇ

Kentlerdeki raylı yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerine özgü genel ve teknik veriler, nitelikler tablo şeklinde ( Tablo I ve II ) verilebilir.



Bütün bu toplu taşın sistemlerinde ortak olan genel hususlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir :

- . Taşıt birçok ünitelerden oluşur.
- . Besleme gerilimi 600 - 750 V doğru gerilimdir.
- . Küçük yapım hacminde ve ağırlığındadırlar.
- . Sarsıntısız bir yolalma ve frenleme vardır.
- . Ray açıklığı aynıdır.

Bunlara karşın farklı olan özellikler ise şu şekildedir :

- . Birim başına düşen motor sayısı
- . Motorların güçleri
- . Frenleme ivmeleri
- . En büyük hızlar
- . Taban yüksekliği değerleri birbirinden farklıdır.

Raylı yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinde taşıtların projelendirilmesinde kural olarak önceden belirli bir güç ve hız verilmez. Bir işletme programı vardır: buna göre, verilen bir taşıt ağırlığı istenen bir seyr süresi içinde, belli bir yol güzergahı üzerinde hareket ettirilmelidir. Genellikle bir saat içinde bir doğrultuda belli sayıda yolcunun taşınması anlamına gelen bir taşıma gücü istenir.

## II.2.2. KONVANSİYONEL OLMAYAN SİSTEMLER

### II.2.2.1.GİRİŞ

Bugün kentlerde, bazı saatler dışında genellikle caddeler tıkalıdır, hava motorlu kara taşıt araçlarını çıkardığı eksoz gazlarıyla kirlenmiştir ve gürültü çekilmez durumdadır. Kent taşıtları ve genel motorlu kara taşıtları hareketsiz, yeraltı taşıtı ise pahalıdır. Bütün büyük kentlerde, merkez bölgelerde trafiğin yoğunlaşması aynı problemleri ortaya çıkarmıştır. Kentlerin var olan şekilleriyle ve bugünkü trafik tekniğiyle bu sorunlar çözümlenemez. Bugünün konvansiyonel sistemleri olan özel motorlu taşıt ( otomobil ), genel motorlu



taşıt ( otobüs ), yeraltı taşıtı ( metro ), kent taşıtı (tramvay, trolleybüy ), hızlı kent taşıtı ( kent içi treni) tesisleriyle beraber sürekli olarak düzeltildikleri ve genişletildikleri durumda bile bulundukları kentte bir trafik boğulması oluşturmaktadırlar. Bu probleme çözüm getirebilecek alternatif sistemler geliştirilmiştir.

#### II.2.2.2. KONVANSİYONEL OLMAYAN SİSTEMLERE ÖRNEKLER

##### A. TRANSURBAN SİSTEMİ

Bu sistem, dokunmasız magnetik kaldırmalı tahrik tekniğine göre çalışan tek kabinden veya kabinlerden oluşur. Yerüstünden veya yeraltından geçer, çevrenin ve ekonominin gerektirdiği koşullara göre saptanan durakları vardır. Tam otomatik işletme kumanda sistemi, her 30 ile 60 saniyede bir duraklarda bir taşıtın olmasını sağlayacak sık aralıklı bir trafik düzeni sağlar. Bir doğrultuda bir saat içinde 18 000 oturulacak yer sağlayabilecek kapasitedeki birkaç kabinden oluşmuş sistem ile, yer problemi çözümlenmektedir.

Taşıtlar altına yatay olarak yerleştirilen Lineer Endüksiyon motorları ile tahrik ve fren görevlerini yerine getirirler. Büyük hızlarda şebekeye geri beslemeli bir frenleme yapılabilir. Zorunlu olarak yapılan frenlemelerde duraklarda durmalarda ayrıca mekanik frende kullanılır.

Elektrik enerjisi, taşıtlara yol boyunca akım raylarından, dış bölümlerine monte edilen akım alıcılarla verilir.

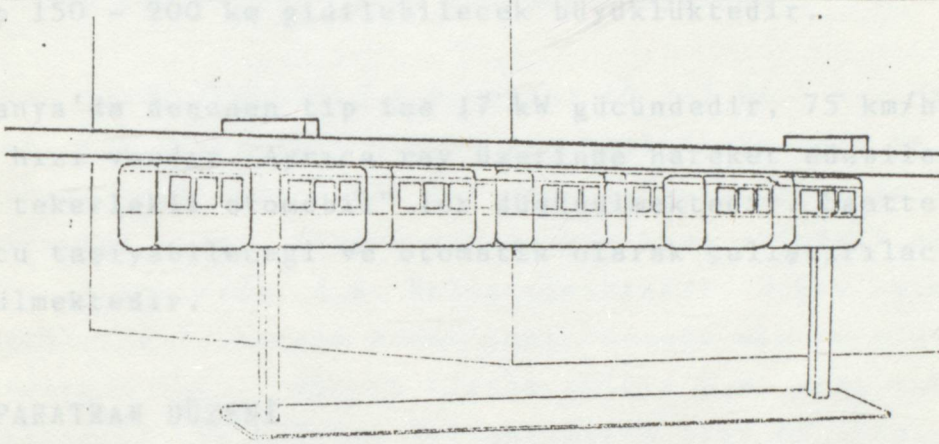
#### Şekil II.2

Yüksek ve hızlı yolların montajı kolaydır. Yapımı diğer taşıt sistemlerinin aksine çok etkilemez. Taşıt tüpüyle basit olup bakımı kolaydır. Yalnızca 2 tekerlek kabini taşıyıcı ve hareket ettirirler. Hareketi, 35 km/h'lık sabit hız sağlayan senkron lineer motor verir. Magnetik kuvvetin etkisiyle aynı zamanda tekerleklerin kısmen yükten kurtulmasına ve kabinin sallan-

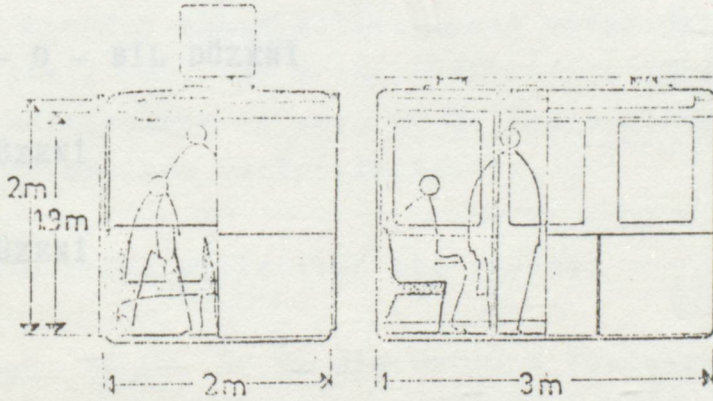


## B. YÜKSEK YOLLU TAŞIT DÜZENİ ( H. BAHN )

Yüksek yollu taşıt düzeni otomatik olarak çalıştırılan bir kabin sistemidir. 8 kişilik tek kabinler ve 3 adet tek kabinli taşıt sık aralıklarla ve önceden belirtilen doğrultularda şebekenin her hattında çalışırlar.



Şekil.II.1.



Şekil.II.2

Yüksek ve ince yolların montesi kolaydır. Yapımı diğer taşıt sistemlerinin akışını pek etkilemez. Taşıt tümüyle basit olup bakımı kolaydır. Yalnızca 2 tekerlek kabini taşır ve hareket ettirirler. Hareketi, 35 km/h'lik sabit hız sağlayan senkron lineer motor verir. Magnetik kuvvetin etkisiyle aynı zamanda tekerleklerin kısmen yükten kurtulmasına ve kabinin sallan-



masına karşın bir denge sağlar.

### C. ELEKTRİKLİ OTOMOBİL DÜZENİ

İsviçre'de geliştirilen elektrikli otomobilin tahrik motoru serbest uyarımlı bir D.A. motorudur. Kumandası kayıpsız tris-tör kumandalıdır. Enerji kaynakları 60 Wh/kg kapasitesinde olup 150 - 200 km gidilebilecek büyüklüktedir.

Almanya'da denenen tip ise 17 kW gücündedir, 75 km/h'lik bir max hızı vardır. Ayrıca ray üzerinde hareket edebilen " lastik tekerlekli otomobil" ler düşünülmektedir. Saatte 20 000 yolcu taşıyabileceği ve otomatik olarak çalıştırılacağı ön görülmektedir.

### D. PARATRAN DÜZENİ

Japonyada Hitachi firması tarafından geliştirilmiştir.

### E. PRT DÜZENİ

### F. BİEL - O - BİL DÜZENİ

### G. VEC DÜZENİ

### H. CAT DÜZENİ

1. Bir faz, 25 kV, 50 Hz sisteminden beslenen ve Sirkeci-Halkalı hattında kullanılan a.s. seri motor. Burada Ambarlı'dan alınan 380 kV'luk gerilim, enerji iletim hatla- rıyla yardımcı santrallara getirilir. Burada 66/25 kV çevrilen gerilim seyr iletkesine verilir ve akım alacıyla taşıta kullanılır.

2. Diğer bir örnek Haydarpaşa - Gabze arasında 1 faz, 25kV, 50 Hz'den beslenen ( doğrultucularla ) d.a. seri motor kullanılmaktadır. Bu motor akımının doğru ve alternatif bileşeni olduğu için karışık akımlı denilmektedir.



### III. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TAHRİK MOTORLARI

Elektrikli ulaşım sistemlerinde d.a. seri motor kullanılmaktadır. Bu motor, düşük hızlarda yüksek ivmelendirme veren yüksek momentli ideal bir ivme - hız karakteristiğine sahiptir. Seyirde yüksek hızlı çalışmada uygundur.

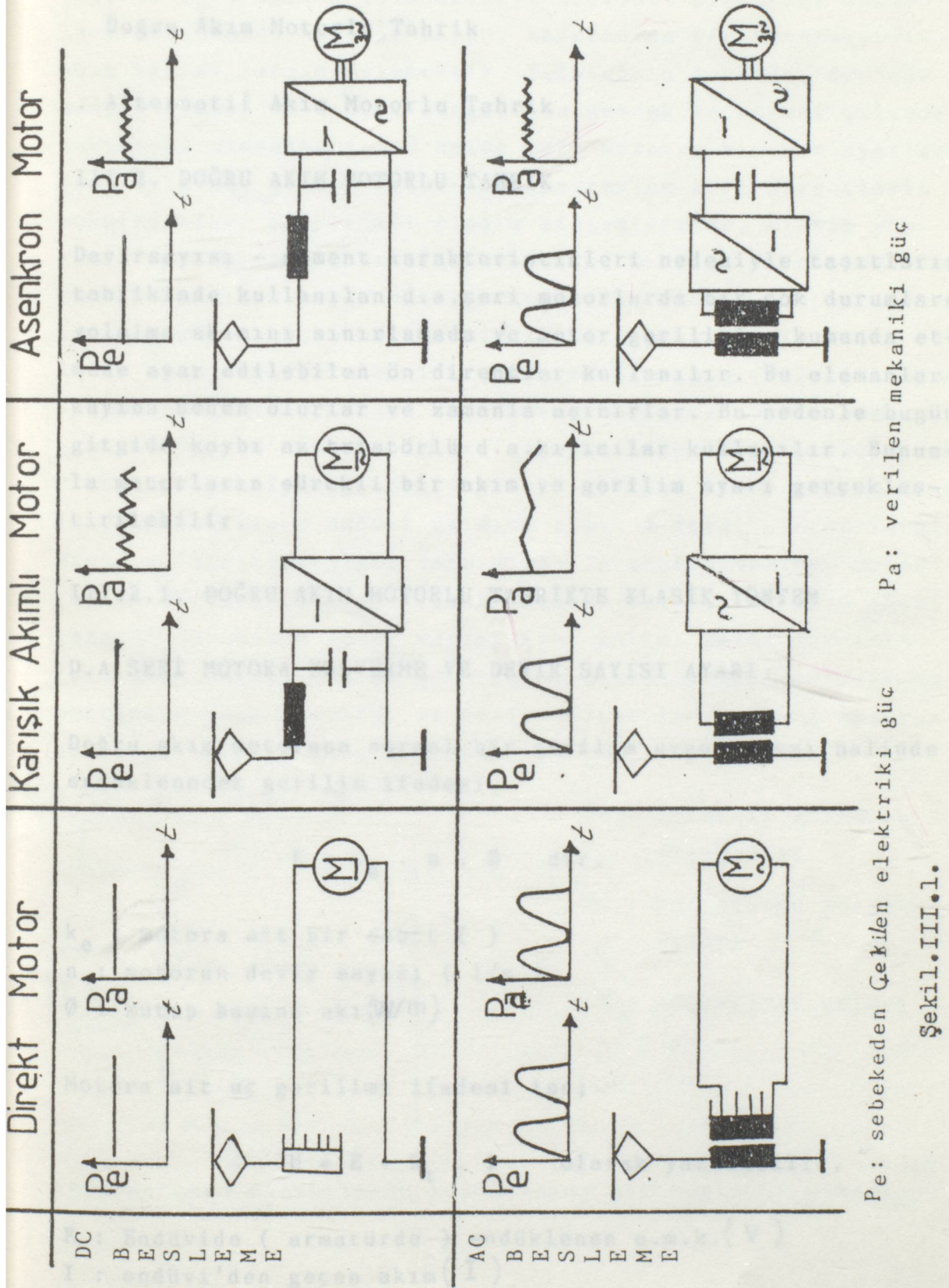
Birkaç düşük frekanslı ( örneğin;  $16 \frac{2}{3}$  Hz ) a.a. sistemler hariç, ilk elektrikli ulaşım sistemlerinin çoğu ya seyriletkeni veya üçüncü bir ray aracılığıyla doğru gerilimden beslenmiştir. Yüksek yoğunluklu kısa mesafeli şehirdeki raylı sistemlerde, d.a. kullanılmaktadır. Doğru akım besleme sistemi ile bu zamana kadar yakın mesafe ulaşım sistemlerinin tahrikinde tahrik motoru olarak yalnız d.a. seri motoru kullanılmıştır. Ve halende kullanılmakta olup en iyisi olmakla beraber son zamanlarda yine doğru akımla beslenen, ileride bahsedeceğimiz eviricilerle beslemesi sağlanan üç fazlı alternatif akım asenkron motorları kullanılmaya başlanmıştır. Bunun nedenleri; güç elektroniği elemanlarının gelişmesi, asenkron motorun bakım kolaylığının olmasıdır. Fakat, bazı uzun mesafeli şehirler arası elektrifikasyonda, 25 kV'luk gerilim seviyesinde 50 veya 60 Hz'den beslenen tek fazlı alternatif gerilim kullanılmaktadır.

Türkiye'de halen kullanılan iki sistem;

1. Bir faz, 25 kV, 50 Hz sisteminden beslenen ve Sirkeci-Halkalı hattında kullanılan a.a. seri motor. Burada Ambarlı'dan alınan 380 kV'luk gerilim, enerji iletim hatlarıyla yardımcı santrallara getirilir. Burada 66/25 kV çevrilen gerilim seyriletkenine verilir ve akım alıcıyla taşıtta kullanılır.
2. Diğer bir örnek Haydarpasa - Gebze arasında 1 faz, 25kV, 50 Hz'den beslenen ( doğrultucularla ) d.a. seri motor kullanılmaktadır. Bu motor akımının doğru ve alternatif bileşeni olduğu için karışık akımlı denilmiştir.



### III.1. TAŞIT TAHRİK TEKNIĞİ (Elektrikle Tahrik Devreleri )





Taşıt Tahrik Tekniğinde kullanılan motorlara bakarak yakın mesafe ulaşım sistemlerinde kullanılan tahrik tekniklerini ikiye ayırabiliriz.

. Doğru Akım Motorlu Tahrik

. Alternatif Akım Motorlu Tahrik

### III.2. DOĞRU AKIM MOTORLU TAHRİK

Devirsayısı - moment karakteristikleri nedeniyle taşıtların tahrikinde kullanılan d.a.seri motorlarda bir çok durumlarda yolalma akımını sınırlamada ve motor gerilimine kumanda etmede ayar edilebilen ön dirençler kullanılır. Bu elemanlar kayıba neden olurlar ve zamanla aşınırlar. Bu nedenle bugün gitgide kaybı az tristörlü d.a.kıyıcılar kullanılır. Bununla motorların sürekli bir akım ve gerilim ayarı gerçekleştirilebilir.

#### III.2.1. DOĞRU AKIM MOTORLU TAHRİKTE KLASİK YÖNTEM

##### D.A.SERİ MOTORA YOLVERME VE DEVİR SAYISI AYARI

Doğru akım motoruna normal bir gerilim uygulanması halinde endüklenecek gerilim ifadesi

$$E = k_e \cdot n \cdot \emptyset \quad \text{dir.}$$

$k_e$  : motora ait bir sabit ( )

$n$  : motorun devir sayısı ( 1/s )

$\emptyset$  : kutup başına akı (W/m)

Motora ait uç gerilimi ifadesi ise;

$$U = E + R_t \cdot I \quad \text{olarak yazılabilir.}$$

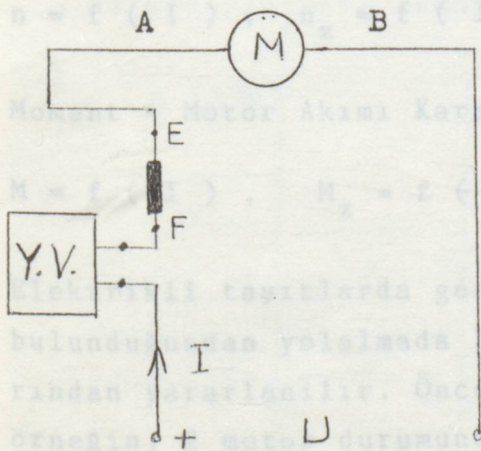
$E$  : Endüvide ( armatürde ) endüklenen e.m.k.( V )

$I$  : endüvi'den geçen akım ( I )

$R_t$  : end. seri giren dirençlerin toplamı (  $\Omega$  )



Motora yolverirken, başlangıçta endüvide endüklenen gerilim sıfır olduğu için motorun çektiği akım çok büyük olur. Yolalma süresince, motordan geçen akımı belirli sınırlarda ( $I_1$  ve  $I_2$ ) tutmak için devreye kademeli dirençler sokulur. Bu durumda her bir direnç kademesine bir devir sayısı - akım eğrisi karşın gelecektir. Yolalmanın sonunda, devrede sadece endüvi ve uyarma sargısı bulunacak ve normal çalışma noktasına ulaşacaktır. O halde seri motorun hızının ayarlanması için bir yöntem de, endüvi devresine seri dirençlerin sokulmasıdır. Elektrikli ulaşım sistemlerinde, klasik yöntemde bu ayar şekli kullanılmaktadır. Burada, dirençlerdeki enerji kaybının büyük olacağı doğaldır. Klasik yönteme göre devir sayısı - akım karakteristiğini değiştirmenin 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 endüvi akımına oranı ) için, uyarma sargısının uçlandırılmasında yada dirençle şöntlenmesinde motor toplam direncinin aynı kalması nedeniyle, bu iki alan zayıflatması durumunda motor verimi aynı kalır. Belli bir akım için alanı zayıflatılan motorun momenti, nominal motorun momentinden daha küçüktür ve devir sayısı ise, normal motorun devir sayısından daha büyüktür.



YV : kademeli yol verme dirençleri

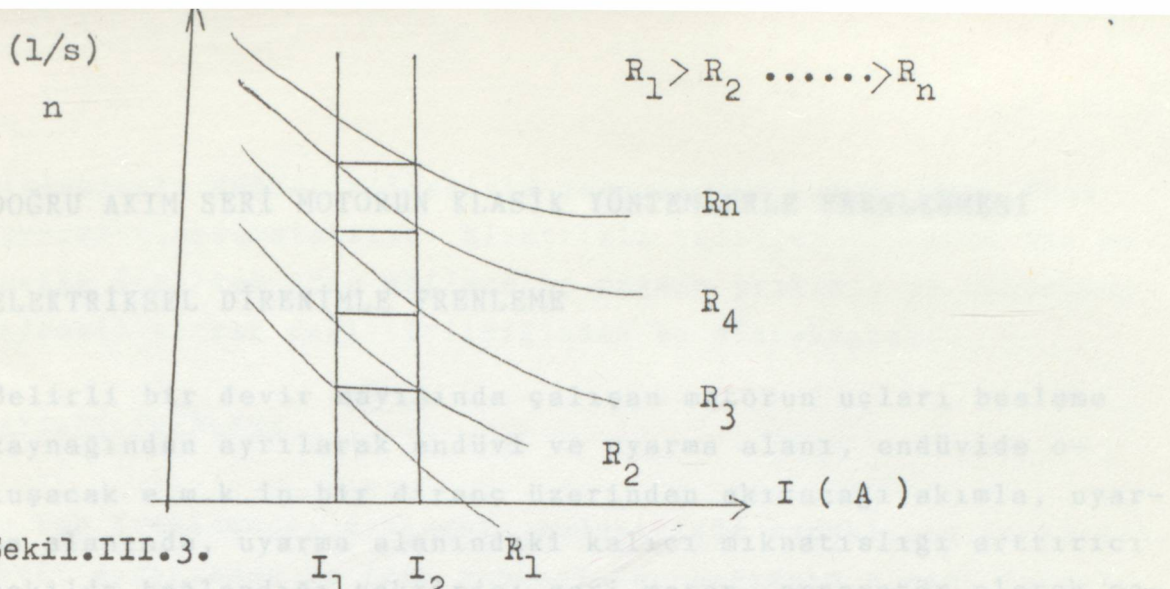
EF : mot.uyarma sargısı uçları

AB : mot.endüvi uçları

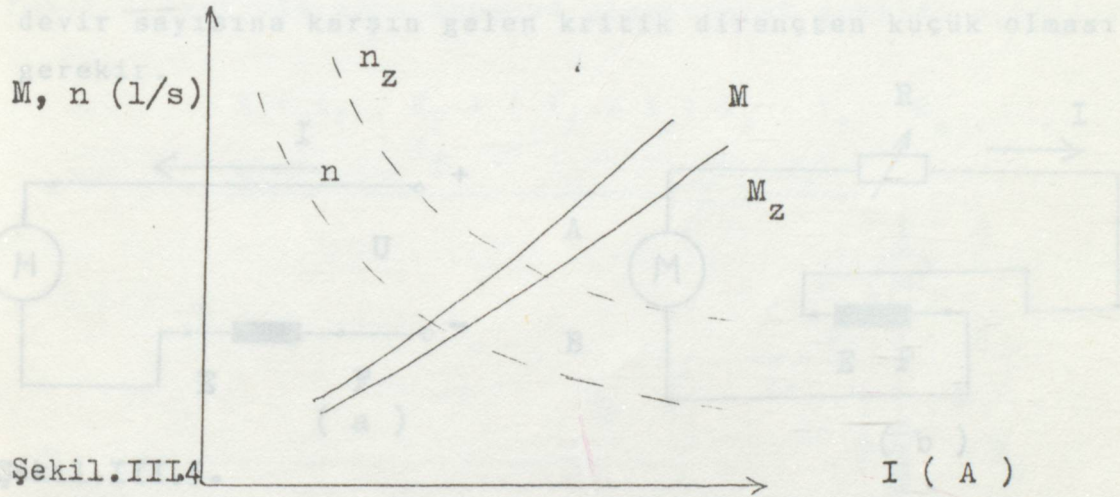
Şekil.III.

Seri motorun dirençlerle yolalmasına ait bağlantı şeması





Şekil.III.3. Doğru akım seri motorun dirençlerle yolalmasına ait Devir sayısı - Akım Eğrileri



Şekil.III.4. Normal ve alanı zayıflatılmış motor için; Devir sayısı - Motor Akımı Karakteristikleri

$$n = f(I), \quad n_z = f(I) \text{ ve}$$

Moment - Motor Akımı Karakteristikleri

$$M = f(I), \quad M_z = f(I)$$

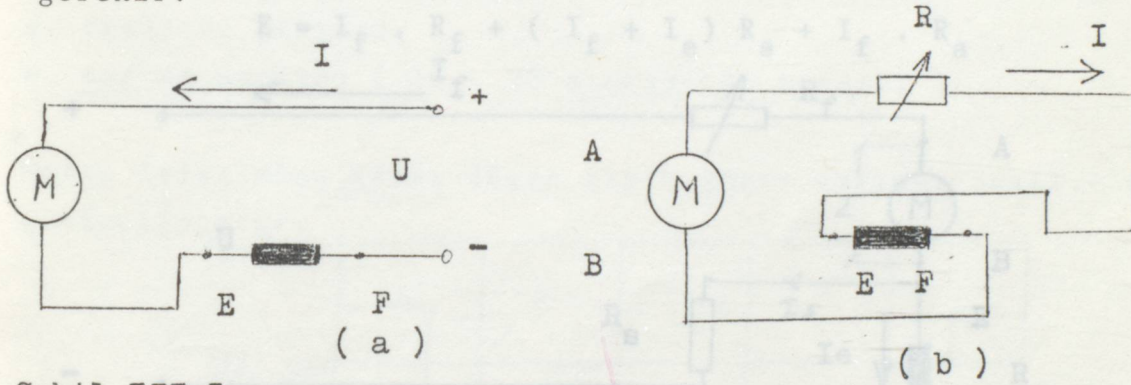
Elektrikli taşıtlarda genellikle birden fazla tahrik motoru bulunduğundan yolalmada bunların seri ve paralel bağlanmalarından yararlanılır. Önce motorlar seri bağlanır ve böylece örneğin, 2 motor durumunda gerilimin yarı değerinde çalışırlar. Daha sonra mümkün olduğu kadar küçük  $\dot{I}$  ve  $M$  darbeleri bir bağlamayla paralel bağlamaya geçilir. (Bu konu ileride tekrar incelenecektir).



## DOĞRU AKIM SERİ MOTORUN KLASİK YÖNTEMLERLE FRENLENMESİ

### ELEKTRİKSEL DİRENİMLE FRENLEME

Belirli bir devir sayısında çalışan motorun uçları besleme kaynağından ayrılarak endüvi ve uyarma alanı, endüvide oluşacak e.m.k.in bir direnç üzerinden akıtacağı akımla, uyarma alanında, uyarma alanındaki kalıcı mıknatıslığı arttırıcı şekilde bağlandığı taktirde; seri motor, generatör olarak çalışarak fren etkisi gösterir. Fren etkisinin oluşabilmesi için; toplam devre direnci  $(R + r)$ ' nin, motorun o andaki devir sayısına karşın gelen kritik dirençten küçük olması gerekir.

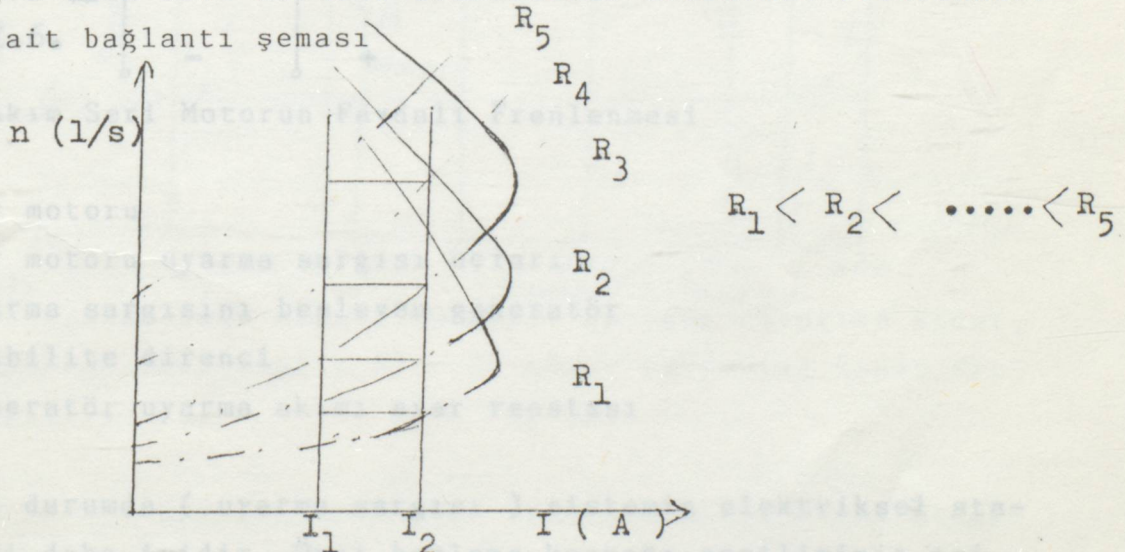


Şekil.III.5.

a. Doğru akım seri motorun normal çalışmasına ait bağlama şeması

b. Doğru akım seri motorun elektriksel direnimle frenlenmesi-

Şekil. ne ait bağlantı şeması



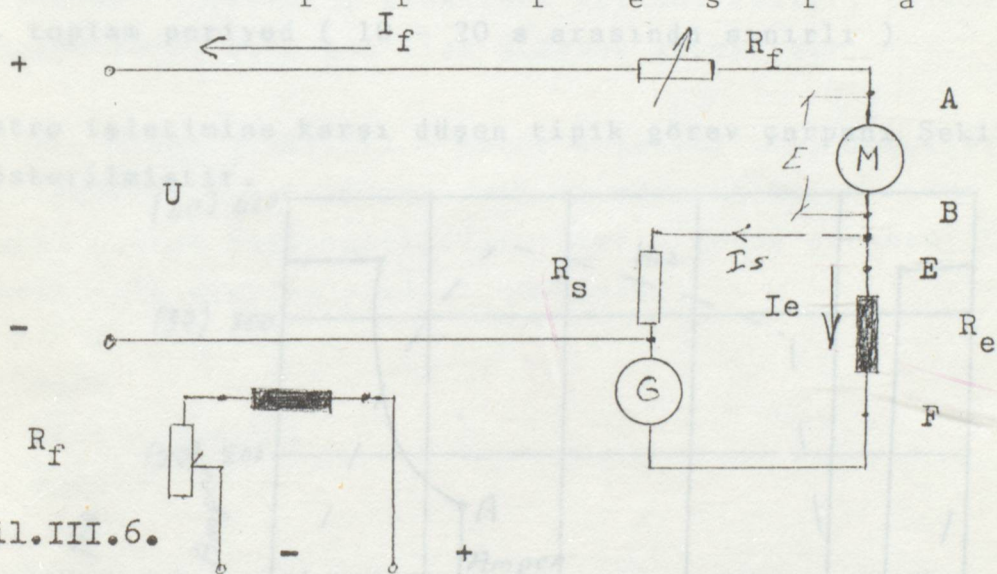
c. Doğru akım seri motorun direnimle frenlenmesine ait

Devir sayısı - Akım Eğrileri



FAYDALI FRENLEME

$$E = I_f \cdot R_f + (I_f + I_e) R_s + I_f \cdot R_a$$



Şekil.III.6.

Doğru Akım Seri Motorun Faydalı Frenlenmesi

M : cer motoru

EF: cer motoru uyarma sargısı uçları

G : uyarma sargısını besleyen generatör

$R_s$ : stabilite direnci

$R_f$ : generatör uyarma akımı ayar reostası

Serbest durumda ( uyarma sargısı ) sistemin elektriksel stabilitesi daha iyidir. Örn; besleme kaynağı geriliminin aniden düşmesidurumunda, besleme kaynağına verilen akımda artma eğilimi, stabilite direncindeki gerilim düşümünün artması ve dolayısıyla uyarmanın azaltılması ile kontrol edilir.



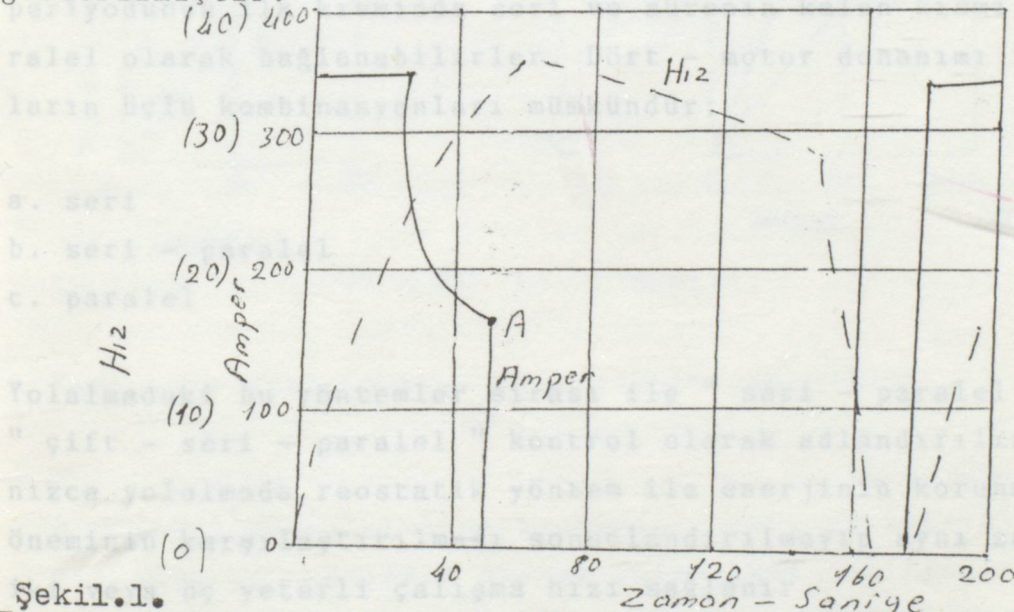
## TRAMVAY, TROLEYBÜS VE BATARYALI TAŞIT MOTORLARININ KLASİK YÖNTEMLE YOLALMASI

### GÖREV ÇARPANI ( Bağlı çarpan )

Elektrik motoru veya bir grup motor için uygun kontrol yönteminin seçiminde, görev çarpanının bilinmesi gereklidir. Tramvay ve metro işletiminde görev çarpanının içerdikleri

- yüksek giriş akımında bir başlama periyodu ( 10 - 20s )
- hızlanmada ve giriş akımının kademeli azalmasında bir hız eğrisi çalışma periyodu
- hızlanma periyodu
- frenleme periyodu
- toplam periyod ( 10 - 20 s arasında sınırlı )

Metro işletimine karşı düşen tipik görev çarpanı Şekil.1'de gösterilmiştir.



Şekil.1.

Tramvay servisi için saatte 60 görev çarpanı civarına kadar, metro servisi için saatte 15 - 20 görev çarpanına kadar frekans değişir.

Yolalma periyodunda motora giren ortalama giriş akımı genellikle maksimumdandır, şayet motorlar bir seri reostayla yol olsaydı önemli enerji kaybı meydana gelecekti. Fakat, tramvaylarda ve metrolarda işletme durumları multi - motor dona-



nımlarını gerektirdiğinden beri tramvay vagonları iki motor ile ve belirli durumlarda dört motorla donatılmıştır. Banliyö trenlerinin motor vagonları dört veya daha fazla benzer motorlarla donatılmıştır. Kontrol motorlarının seçenekleri, seri ve paralel motor gruplarına uygundur. Bu kombinasyonlardan yolalma esnasında faydalanılabilir, çünkü seri motorların momenti yalnızca motora giriş akımına bağlıdır ve bundan dolayı bir multi - motor donanımında iki veya daha fazla motordan yararlanılabilir. Seri bağlamalarda paralel bağlantılardaki gibi aynı toplam moment üretilir, motor başına sağlanan akım her durumda aynıdır.

Bir multi - motor donanımının 'seri kombinasyonu, yolalma periyodunun başlangıcı esnasında kullanılabilir, paralel kombinasyonundaki gibi son hıza ulaşmak gereklidir.

Bundan dolayı, bir iki - motor donanımı ile, motorlar yolalma periyodunun ilk kısmında seri ve sürenin kalan kısmı için paralel olarak bağlanabilirler. Dört - motor donanımı ile motorların üçlü kombinasyonları mümkündür;

- a. seri
- b. seri - paralel
- c. paralel

Yolalmadaki bu yöntemler sırası ile " seri - paralel " ve " çift - seri - paralel " kontrol olarak adlandırılır. Yalnızca yolalmada reostatik yöntem ile enerjinin korunmasının öneminin karşılaştırılması sonuçlandırılmayıp aynı zamanda iki veya üç yeterli çalışma hızı sağlanır.

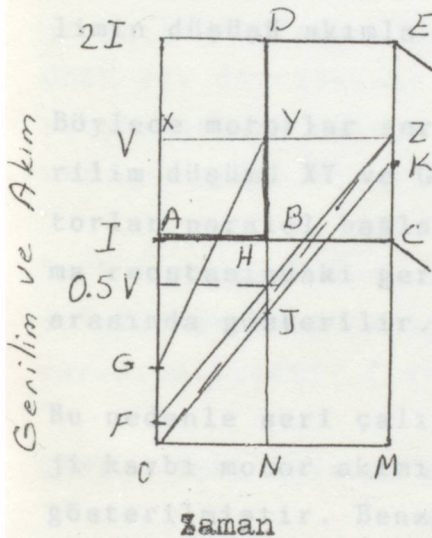
#### YOLALMADA ENERJİ KAYBI

İki benzer motorun ilk önemi seri - paralel yöntemle yol almış olmasıdır. Hat voltajı sabit olmalı ve motor akımı sabit bir  $I$  değerini yolalma periyodunca korumalıdır.

Şekil.2' de yolalma süresi için akım - zaman ve voltaj - zaman diyagramı gösterilmiştir. Akım ( $I$ ) ABC yatay çizgide

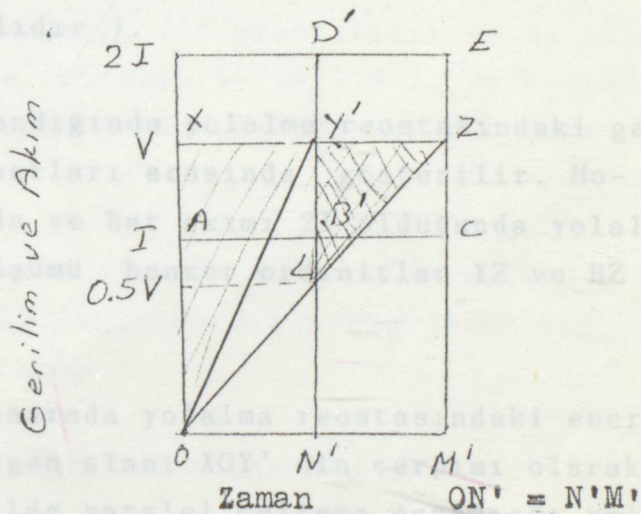


Yolalma periyodu OM ile gösterilir ve bu periyodun kısımları ON, OM sırasıyla motorların seri ve paralel bağlantılarına karşı düşer. N noktası, motor başına düşen gerilim hat geriliminin yarısına eşit olduğunda bağlantının seriden paralel'e değiştirildiği noktadır. Bundan dolayı, şayet yatay çizgi hat gerilimi' nin yarısına karşı düşen ordinattan geçiyorsa, kesişme noktası H ile ZF çizgisi istenen absisi verir.



Şekil 1.2

ON ~~NE~~ NM



Şekil 1.3

$$ON' = N'M'$$

Seri - Paralel Kontrol için yolalma durumları

N noktası ve yolalma periyodundaki seri ve paralel bölümlerin süreleri analitik olarak kolaylıkla belirlenir. Böylece şayet T yolalma periyodundaki süreleri gösteriyorsa, V hat gerilimi ve v motor başına gerilim düşümüne karşı düşen akım I ise benzer üçgenler OJN ve OKM yardımıyla,  $v = \frac{I}{I_N} V_N$  ve  $t = \frac{I}{I_N} t_N$  olarak bulunur.

$$\frac{t_s}{T} = \frac{JN}{KM} = \frac{1/2 (V - v)}{V - v}$$



$$t_s = \frac{1}{2} T ( V - 2v ) / ( V - v ) \quad \text{ve}$$

$$t_p = T \left[ 1 - 1/2 ( V - 2v ) / ( V - v ) \right] \quad \text{dir.}$$

Yolalma periyodunda seri bağlı çalışma durumunda iki motor terminalindeki voltaj değişimi GY ile gösterilmiştir ve her bir motorun terminalindeki voltaj değişimi toplam yolalma periyodunun her tarafında FZ ile gösterilmiştir. Yolalma periyodu boyunca her bir motordaki zıt e.m.k. değişimleri OK ile gösterildiğinden ZK, OF' ye eşit olur. ( ki bir motordaki gerilimin düşüşü akımla orantılıdır ).

Böylece motorlar seri bağlandığında yolalma reostasındaki gerilim düşümü XY ve GY ordinatları arasında gösterilir. Motorlar paralel bağlandığında ve hat akımı  $2I$  olduğunda yolalma reostasındaki gerilim düşümü benzer ordinatlar YZ ve HZ arasında gösterilir.

Bu nedenle seri çalışma esnasında yolalma reostasındaki enerji kaybı motor akımı ile üçgen alanı XGY' nin çarpımı olarak gösterilmiştir. Benzer şekilde paralel çalışma esnasında yolalma reostasındaki enerji kaybı hat akımı ile üçgen alanı YHZ' nin çarpımı olarak gösterilmiştir.

İdeal durum için, yani motordaki gerilim düşümü ihmal edildiğinde akım - zaman ve gerilim - zaman diagramı Şekil.3' de verilmiştir. Motor başına terminal gerilimi ve zıt e.m.k.'nin her ikisi de OZ çizgisinde gösterilmiştir.

Yolalma periyodundaki seri ve paralel kısımların süreleri şimdi eşittir. (  $ON \neq N' M$  ). Seri çalışma esnasında yolalma reostasındaki enerji kaybı XOY' üçgeninin alanıyla ve paralel çalışma esnasında Y' LZ üçgen alanının iki katıyla orantılıdır. (  $Y' Z = XY'$  ve  $Y' L = 1/2 OX$  ). Bunun için yolalma esnasındaki enerji sayı seri ve paralel periyodlar arasında eşit olarak bölünmüştür. Yolalma esnasındaki toplam enerji kaybı OXY'N' dikdörtgeninin alanı ile orantılıdır.



Toplam yolalma periyodu esnasında bir motordan çıkan enerji OZM üçgeninin alanıyla motor akımının çarpımı olarak gösterilmiştir : böylece çıkış enerjisi OZM alanıyla orantılıdır. Bundan dolayı çalışma periyodu esnasında iki motordan çıkan enerji OXZM dikdörtgeninin alanıyla orantılıdır. Bunun için reostayla yolalmada enerjinin toplam kaybı yolalma periyodu esnasında motorlardan çıkan enerjinin yarısına eşittir.

#### SERİ - PARALEL KONTROLLA ENERJİ TASARRUFU

Reostatik kontrolla toplam yolalma periyodunun tümünde (motorların sürekli paralel bağlantısında) reostalardaki enerji kaybı OXZ'nin alanının iki katı ile orantılıdır ve bu alan OXZM dik dörtgeninin alanına eşittir. ( Şekil.3 ). Bu bölgede reostalardaki enerji kaybı motorlardan çıkan enerjiye eşittir ve toplam kazanç % 50' dir.

Seri - paralel kontrolla enerji tasarrufundan elde edilenler yolalma periyodu esnasında iki motorun çıkış enerjilerinin yarısına eşittir.( ideal durumda ).

#### ÇİFT - SERİ PARALEL KONTROLDA ENERJİ TASARRUFU

Dört benzer motor olduğunda, motorların üçlü kombinasyonları, seri, seri - paralel, paralel olarak mümkündür. Böylece ideal yolalma durumları ile, motorlarda ihmal edilmiş gerilim düşümleri, motor başına sabit akım ve sabit hat gerilimi örneğinde, yolalma periyodunun seri ve seri - paralel kısımlarının sürelerinin her biri toplam yolalma süresinin dörttebirine eşittir. Seriler için yolalma reostalarında bu enerji kaybı durumlarının altında göstermek kolaydır ve seri - paralel periyodlar paralel periyod' un yarısına eşittir ve paralel periyod esnasındaki bu enerji kaybı toplam yolalma periyodu esnasında motorlardan çıkan enerjinin 1/4'üne eşittir.

Böylece tüm kazanç; 
$$\frac{1}{( 1 + 1/4 + 1/8 )} = 8/11 \text{ veya } \% 72' \text{ dir.}$$



## SERİ PARALEL, İKİLİ SERİ - PARALEL VE REOSTATİK KONTROLUN KARŞILAŞTIRILMASI

İdeal yolalma durumları için karşılaştırma tabloda gösterilmiştir. Motorların değişen kombinasyonları için hız oranları yaklaşık olarak verilmiştir. ( Motor akım değerleri verildiğinde ve reostalar kesici olduğunda).

| Kontrol Sistemi               | Mevcut hızların no.su | Hızların Yaklaşık oranları | (İdeal durumda ) Enerji çıkışının yüzde olarak reostatik kayıp. | (İdeal D. ) yolalma esnasında top.kazanç |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Paralel Reosta.               | 1                     | -                          | 100                                                             | 50                                       |
| Seri-Paralel                  | 2                     | 1 : 2                      | 50                                                              | 66.6                                     |
| Çift Seri-Par.<br>( 4 motor ) | 3                     | 1 : 2 :4                   | 37.5                                                            | 72.7                                     |
| Çift Seri-Par.<br>( 6 motor ) | 3                     | 1 : 2 :3                   | 33.3                                                            | 75                                       |



### III.2.2. DOĞRU AKIM MOTORLU TAHRIKTE MODERN SİSTEM

D.A. makinaların hız kontrolu avantajları vardır. Ticari a.a. motor / d.a. generatör setinin ( Ward - Leonard Kontrolu ) yerini, kolaylıkla kontrol edilebilir tristör dönüştürücüler almaktadır. d.a. ana motor alan sargısı ayrı bir doğrultucudan beslenir. Hız işareti olan endüvi geriliminde, max hızın % 2 regülasyon sınırları içinde 20/1 hız oranları kolaylıkla elde edilebilir. Mil'e monte edilen bir takogeneratör ile bu sayılar 100/1 ve % 0.1 değerlerine ulaşabilir. Sayısal tekniklerle daha yüksek duyarlılık elde edilir. ( % 0.01 )

Modern d.a. motorlarının doğrultulmuş besleme için tasarımı yapılmıştır. Tümüyle ince tabakalara ayrılmış magnetik devre çekirdek kayıplarını azaltır ve hem komütasyonu hem de makinanın kontrol komutlarına olan cevabını geliştirir. Verilen bir mil ağırlığında, d.a. motorun çıkışı a.a. motordan daha büyüktür ve d.a. makinanın aşırı yükleme yeteneği mükemmeldir. Geniş sınırlara sahip ve hassas bir tristörlü hız kontrolu ile birlikte böyle bir performans, d.a. makinaya a.a. benzerlerine göre daha geniş bir alan açmıştır.

D.A. seri motoru; elektrikli ulaşımında lokomotiflere, tramvay ve metrolara yıllardır uygulanmaktadır. Kıyıcı kontrol devreleri bir d.a. seri motorun bir d.a. kaynağından çalıştırıldığı uygulamalar için kullanılır. Kıyıcı, güç kaybeden seri bağlı hız kontrol dirençlerini değiştirir. Kıyıcı devredeki direnç değişimleri, motorun faydalı frenlenmesini veya enerjinin bataryaya geri dönmesini sağlamak için kullanılır. Kıyıcıların bilinen özellikleri; düzgün kontrol, batarya enerjisinin korunması ve batarya enerjisinin yeniden üretilmesidir.

Yarı iletken kontrolunda üç temel yöntem kullanılır:

1. Faz Kontrolu
2. İntegral Çevrimli Kontrol
3. Kıyıcı Kontrolu



### III.2.2.1. KIYICI KONTROLU

Bir motor hızlı ve periyodik olarak bir d.a. besleme kaynağına bağlanır veya ayrılır. Kontrol, on/off ( iletim/kesim ) zaman oranını değiştirerek sağlanır. Bu yöntem elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılır. Bu yöntemde hız kontrol dirençlerinden dolayı olan kayıp yoktur. Tristör, ( on/off anahtarlama çevriminde kullanılan ) sabit bir tekraralama frekansında ( örn; 100 Hz ) çalışır. Akım, endüktans ( direnç ve döner alan e.m.k. ) tarafından belirtilen bir yüksekliğe ulaşır. Motor akımının kesime girme süresi boyunca akım ( alan enerjisinin bir kısmını deşarj ederek ) D diyodu boyunca akmaya devam eder.

### KOMÜTASYON

Bu terim kesime sokma anlamına gelir. Alternatif gerilimi doğrultma işleminde, kutuplama geriliminin yönü( ters kutuplamakışulunu sağlayacak şekilde ) periyodik olarak değiştirilir. İletim yönündeki akım azalır ve " doğal komütasyonla"kesime sokulur. Fakat, bir d.a. kaynağından çekilen akımı kesmek için bir tristör gerektiği zaman, " zorlamalı komütasyon'a " gerek duyulur. Şekil.4'de gösterilen yöntemde, bir şarj edilmiş kondansatör kullanılır. Başlangıç olarak, tristör iletimde bulunmaktadır ve küçük bir ileri yönde gerilim düşümüne sahiptir. Başlangıçta  $V_c$  gerilimini, şarj edilmiş ve izole edilmiş C kondansatörü, sonra ters kutuplamaya zorlaması için T tristörü boyunca kapanır.

Tristör akımı söndürülür ve C kondansatörü yük üzerinden deşarj olur.  $V_c$  gerilimi sıfıra düşer ve ters kutup altında besleme gerilimine kadar yükselir.  $t_0$ 'ın kesime girme zamanından büyük olması koşulu ile, tristör iletimi durdurur. Eğer yük bir motor ise, endüktif olarak uzatılmış yük akımı için bir yol sağlaması amacı ile diod yüke paralel bağlanır.

Kıyıcı, değişken gerilimli bir d.a. transformatör olarak göz önüne alınabilir. Çıkışın kontrolü  $t_1/t_2$  ( iletim zamanı /



kesim zamanı ) oranının değişimi sonucunu verir.

Özellikle elektrikli ulaşım sistemlerinde, 0.25 ve 1 kHz arası frekanslar kullanılır. Çünkü, giriş tarafındaki kaçınılmaz harmonikler sabit bir frekansta olacağından, filtre edilmesi daha etkin olur.

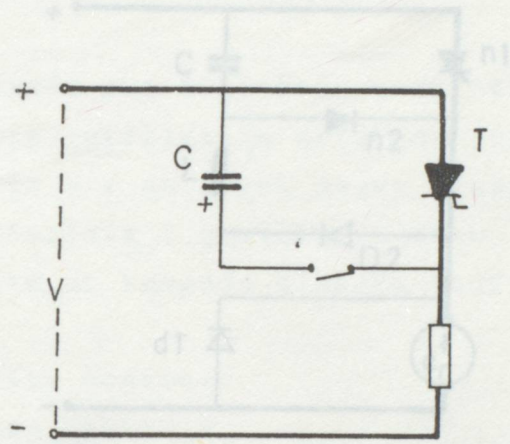
## REZONANS

Motor hareketsizken,  $n_1$ , C kondansatörünü, gösterilen kutuplama yönünde şarj etmesi için ateşlenir. Şarj işlemi tamamlandığı zaman akım durur ve  $n_2$  doğal olarak kesime girer. "İletimdeki " çalışma şeklini başlatmak için,  $n_1$  ateşlenir. Motor akımı başlar ve makina döner. Aynı anda;  $n_1$ ,  $d_2$  ve L endüktansı üzerinden, doğal  $W = \sqrt{1/LC}$  açısal frekansındaki osilatör akımı aracılığı ile deşarj olur. Fakat sadece ilk yarım çevrim,  $d_2'$  nin akımı kesme özelliği nedeniyle akımı akıtabilir. Sonuçta C,  $-V_1$  gerilimiyle ( yani Şekil.5'de gösterilene zıt kutuplama yönünde ) izole edilir. C' nin aşağı düzlemi  $+2V_1$  potansiyelindedir ve bu koşul iletim süresince sürer. Motor akımını söndürmek için,  $n_2$ ,  $n_1$ 'i ters kutuplamak için tetiklenir ve C motor üzerinden deşarj olur.  $n_1$ , kesim sürecini tamamladığı zaman bir sonraki " iletim " modunu başlatmaya hazır olmak için orijinal kutuplama durumuna tekrar şarj edilir.

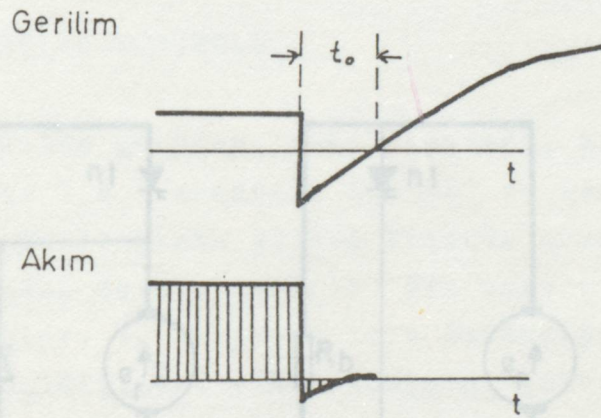
## FRENLEME

Şekil.6'da üç frenleme bağlantısı için temel devreler ya seri yada serbest uyartımlı makinalara uygulanır. Çalışma ilkesi  $n_1$  tristörü için üst akım sınırına dayanır. Her devre şekli için komütasyon devresi ( şekilde gösterilmemiştir) gereklidir. Dinamik frenlemede  $n_1$  iletimdedir. Kinetik enerji  $R_a$  direncinde dağılır. Frenleme akımı üst akım sınırına doğru yükseldiğinde,  $n_1$  tristörü kesime girer ve akım daha yüksek omik dirence sahip olan  $R_b$  direncine transfer edilir. Faydalı frenlemede,  $n_1$  tristörünün " iletim " boyunca olan koşulları, dinamik frenleme dışında benzerdir. Seri makinanın dinamik fren-





ŞEKİL 5 - Kiyıcının kesimdeki durumu



ŞEKİL 4- Kapasitör komütasyonu



lezeninde olan bağlantıları değiştirilmek zorundadır. Akım üst sınırına yaklaştığı zaman, n1 kesime girer. Çünkü akım-  
meden dolayı meydana gelen zıt e.m.k.  $V_1$  gerilimini aşar. Kesimdeki çalışma şekli boyunca akım besleme kaynağına döner. Akım en düşük akım sınırına düştüğü zaman, n1 tristörü, ille-  
timdeki durumuna girmek için tekrar tetiklenir.

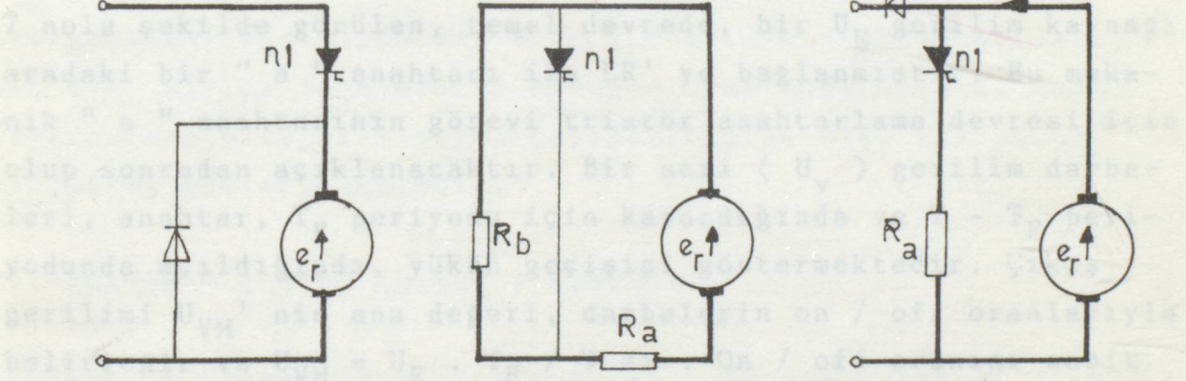
### 111.2.2.2: DOĞRU AKIM KIYICILARI

D. akım kıyıcısında ana tristörün periyodik olarak açılıp ka-  
panmasıyla çıkış geriliminin  $e_r$  değeri sürekli olarak  
en küçük değere bir en büyük değer arasında değiştirilir.  
Çıkış büyüklüklerinin (  $e_r$  ) sürekli ayarı için  
d.a. kıyıcısının üç kumanda olanakları vardır:

1. Darbe Genişlik Kontrolü
2. Darbe Frekans Kontrolü
3. İki noktadan

ŞEKİL 5 – Kıyıcının kesimdeki durumu

### DARBE GENİŞLİK KONTROLÜ



ŞEKİL 6 – Frenlemenin kıyıcı ile kontrolü

Devrede görüldüğü gibi; yük, seri bağlanmış bir L bobini ve R  
direncinden oluşur. Yük akımının belirlenen oranda yükselmesi,  
E ve L' nin zaman sabitinin, " a " anahtarı kapatıldığında ve  
 $U_g$  batarya geriliminin girişiyle oluşması sonucudur. Batarya  
akımının akması, " a " anahtarı açıldığı zaman kesilir. Bu a-  
kıştaki anlık yük işi kesime L bobinine bağlı değildir. Bu  
bozucu akım, di direncinden köprülemis olarak yoluna devam



lenmesinde alan bağlantıları değiştirilmek zorundadır. Akım üst sınırına yaklaştığı zaman, nl kesime girer. Çünkü dönmeyen dolaylı meydana gelen zıt e.m.k.  $V_1$  gerilimini aşar. Kesimdeki çalışma şekli boyunca akım besleme kaynağına döner. Akım en düşük akım sınırına düştüğü zaman, nl tristörü, iletimdeki durumuna girmek için tekrar tetiklenir.

### III.2.2.2. DOĞRU AKIM KIYICILARI

D.akım kıyıcısında ana tristörün periyodik olarak açılıp kapanmasıyla çıkış geriliminin ortalama değeri sürekli olarak en küçük değerle bir en büyük değer arasında değiştirilir. Çıkış büyüklüklerinin ( gerilim ve akım ) sürekli ayarı için d.a. kıyıcısının üç kumanda olanağı vardır:

1. Darbe Genişlik Kontrolü
2. Darbe Frekans Kontrolü
3. İki noktadan ( çift adım ) Kontrol

#### DARBE GENİŞLİK KONTROLÜ

7 nolu şekilde görülen, temel devrede, bir  $U_E$  gerilim kaynağı, aradaki bir " a " anahtarı ile LR' ye bağlanmıştır. Bu mekanik " a " anahtarının görevi tristör anahtarlama devresi için olup sonradan açıklanacaktır. Bir seri (  $U_v$  ) gerilim darbeleri, anahtar,  $T_E$  periyodu için kapandığında ve  $T - T_E$  periyodunda açıldığında, yükün geçişini göstermektedir. Çıkış gerilimi  $U_{VM}$ ' nin ana değeri, darbelerin on / off oranlarıyla belirlenir ve  $U_{VM} = U_E \cdot T_E / T$  dir. On / off oranını sabit frekansta değiştirmek, darbe genişliği kontrolü veya sabit frekans zaman - oran kontrolü olarak adlandırılır.

Devrede görüldüğü gibi; yük, seri bağlanmış bir L bobini ve R direncinden oluşur. Yük akımının belirlenen oranda yükselmesi, R ve L' nin zaman sabitinin, " a " anahtarı kapatıldığında ve  $U_E$  batarya geriliminin girişiyle oluşması sonucudur. Batarya akımının akışı, " a " anahtarı açıldığı zaman kesilir. Bu akıştaki anlık yük içi kesilme L bobinine bağlı değildir. Bu bozucu akım, dl diyodundan köprülenmiş olarak yoluna devam



eder. Sürekli durumda akım, yük devresindeki zaman sabiti ve darbe frekansına bağlı olarak genlik genişliği ile bu iki değer arasında kararsızdır.

#### DARBE FREKANS KONTROLÜ

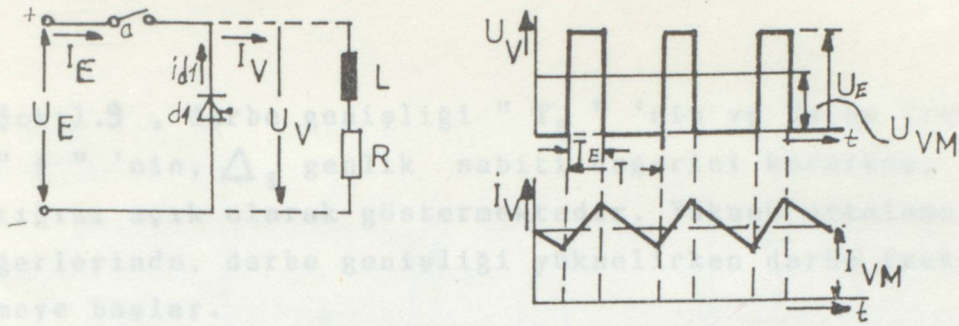
Gerilim veya akım değerini, istenen değerde devam ettirmenin sağlanması, sabit frekansta değişken darbe genişliklerinde çalışan darbe genişliği kontrolünün eklenmesiyle mümkündür.

Darbe - oran kontrolü ( zaman - oranlı değişken frekans kontrolü ), sabit darbe genişliğinde ve değişen frekans darbelerinde çalışır. ( ara periyodlar ). Regülatörden düşük bir frekans çıkışında, sabit genişlikli darbeler, sonuçta birbirinden ayrılırlar, düşük çıkış gerilim düzeyi ile sonuçlanır. Darbe frekansının arttırılmasıyla, darbeler kısa zaman aralıklarını izler ve dolayısıyla çıkış geriliminin ortalama değeri yüksek olur. Yükten geçen  $U_{VM}$  geriliminin ortalama değerinin  $U_{VM} = U_E \cdot T_E / T$  olduğunu tekrar hatırlıyalım. Eğer  $T'$  nin frekansın karşılığı olduğunu varsayarsak,  $T = 1 / f$ ,  $U_{VM} = U_E \cdot T_E \cdot f$  sonucunu elde ederiz. 8 nolu şekilde, çıkış gerilimi eğrisinin üst ve çıkış akımının alt noktaları, bir d.a. kıyıcı regülatörün darbe - oran kontrollü ve darbe frekansının arttırılmasıyla çalıştırılarak elde edilen uç noktaları gösterilmektedir.

#### İKİ NOKTADAN ( ÇİFT ADIMLI ) KONTROL

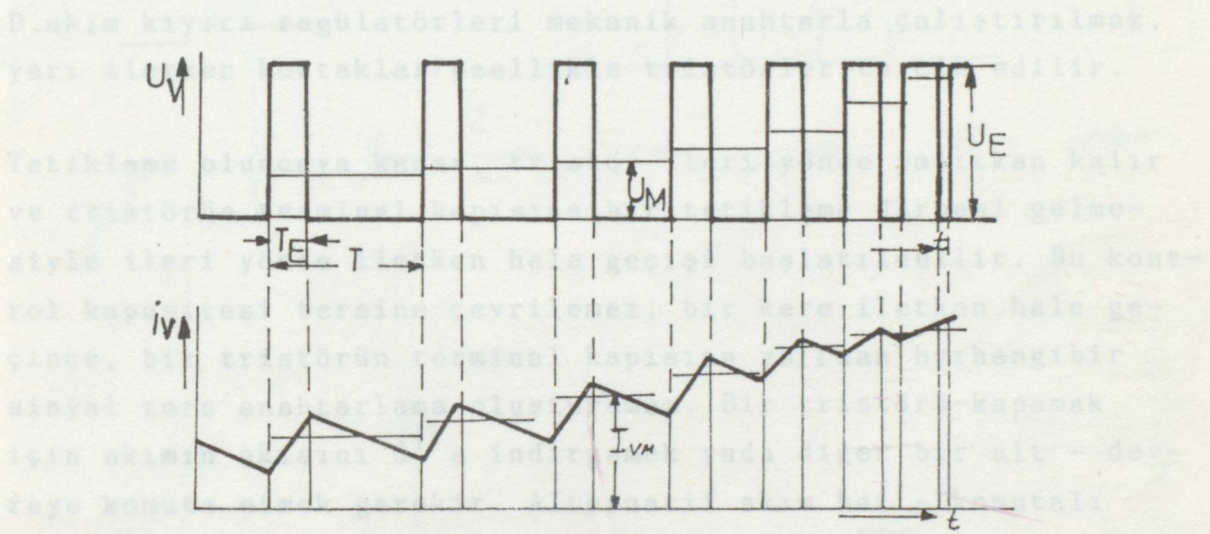
Endüktif yüklerde akım akışının, çift adımlı kontrolü diğer bir olanaktır. İlk iki kontrol yönteminin açıklanmasında, on / off ritmi keyfi olarak seçiliyordu, halbuki çift adımlı kontrolün anahtarlama anını yük akımının değişmesi belirler. İstenen ortalama değerde yük akımı geçerken " a " anahtarı açılır ve yük akımı ortalama değerin altına düştüğü zamanda tekrar kapanır. Dolayısıyla, darbe genişliği ve darbe frekansı; regülatörün  $\Delta_i$  ' si, yük devresinin zaman sabiti ve yük akımının istenilen ortalama değeri ile belirlenir.



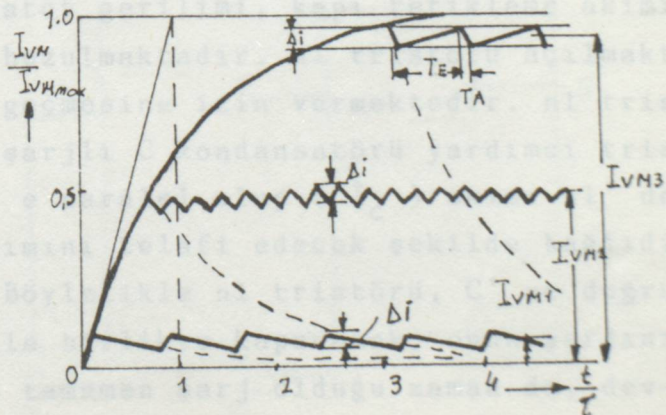
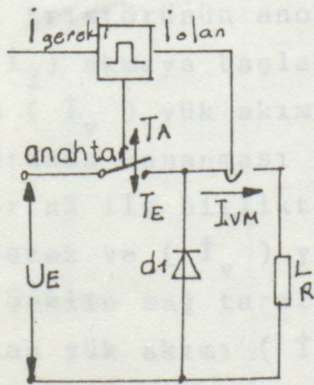


ŞEKİL.7 - DARBE GENİSLİK KONTROLÜ

### DOĞRU AKIM KAYNAĞINA BAĞLANMIŞ TRİSTÖRÜN ÇALIŞMASI



ŞEKİL.8 - DARBE FREKANS MODÜLASYONU



ŞEKİL.9 - ÇİFT ADIM AKIM KONTROLÜ



Şekil.9 , darbe genişliği " $T_E$ " 'nin ve darbe frekansı " $f$ " 'nin,  $\Delta_i$  genlik sabiti değerini korurken, nasıl arttığını açık olarak göstermektedir. Yüksek ortalama akım değerlerinde, darbe genişliği yükselirken darbe frekansı düşmeye başlar.

Sonuç olarak, çift aşamalı kontrolde, darbe genişliği de, darbe oranı kadar değişkendir.

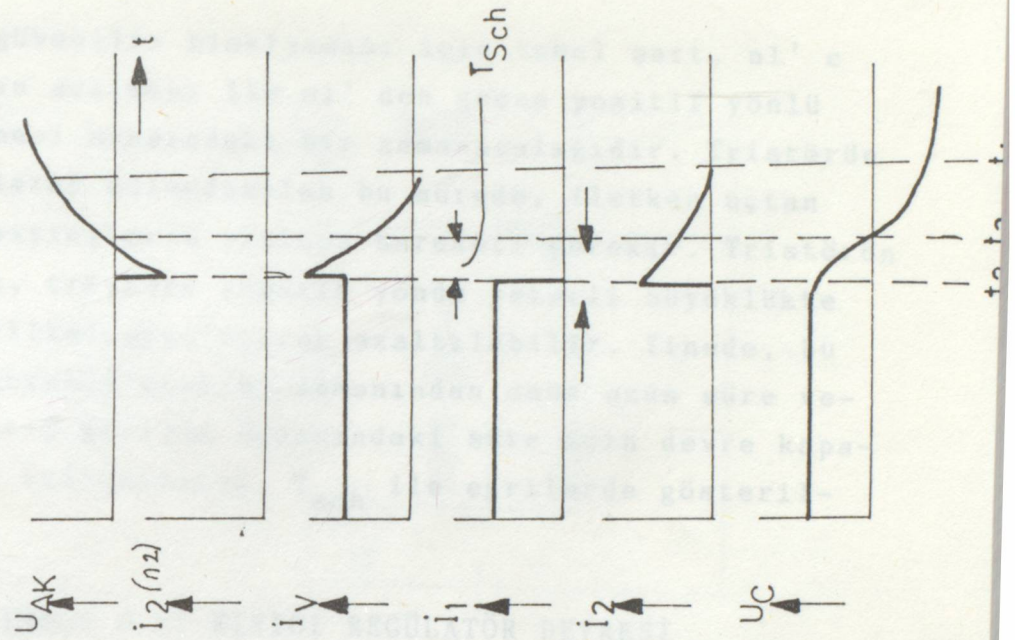
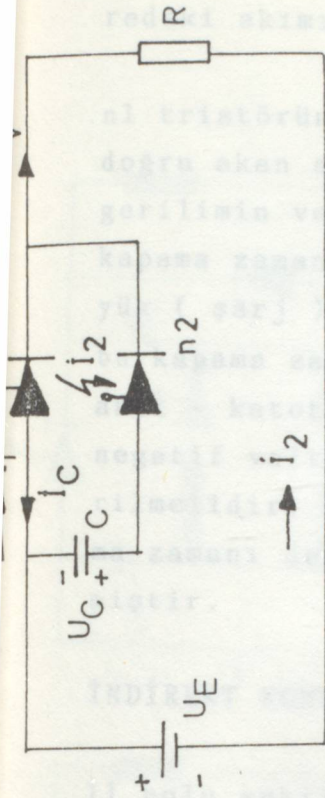
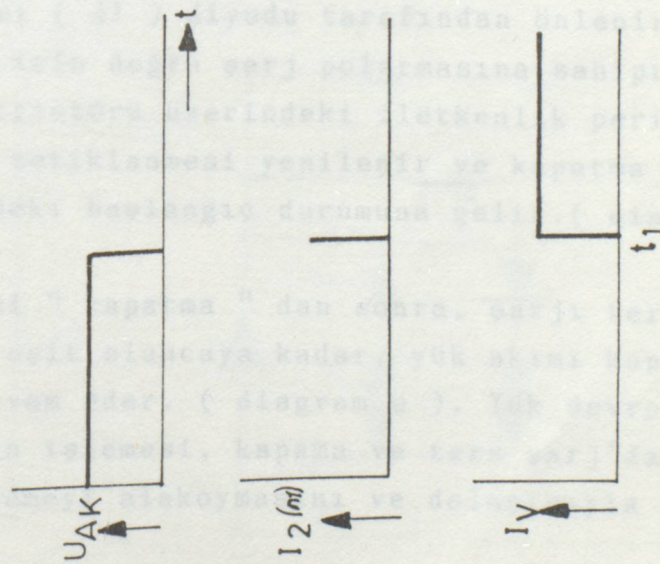
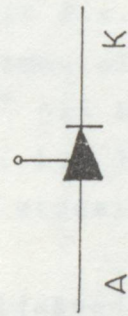
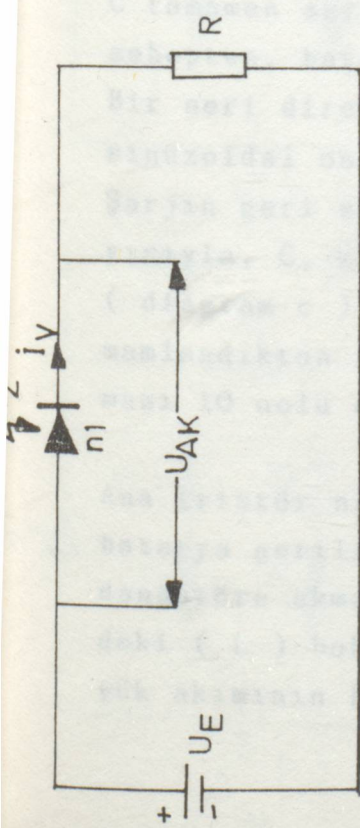
#### DOĞRU AKIM KAYNAĞINA BAĞLANMIŞ TRİSTÖRÜN ÇALIŞMASI

D.akım kıyıcı regülatörleri mekanik anahtarla çalıştırılmaz, yarı iletken kontaklar özellikle tristörler tercih edilir.

Tetikleme oluncaya kadar, tristör ileri yönde yalıtkan kalır ve tristörün terminal kapısına bir tetikleme darbesi gelmesiyle ileri yönde iletken hale geçişi başlatılabilir. Bu kontrol kapasitesi tersine çevrilemez, bir kere iletken hale geçince, bir tristörün terminal kapısına yollanan herhangi bir sinyal ters anahtarlama oluşturamaz. Bir tristörü kapamak için akımın akışını 0' a indirmek yada diğer bir alt - devreye komuta etmek gerekir. Alternatif akım hat - komutalı konverterlerde bu komuta otomatik olarak güç - sistem geriliminin sıfıra gitmesi ve negatif değer kabul edilmesiyle yürütülür. Kuvvetli komutasyon ve kapama, yardımcı unsurlar olmakla beraber, bir d.a. güç sistemi çalıştırıldığında gerekir.

Tetikleme süreci 10 nolu şekilde görüldüğü gibidir. Burada n1 tristörünün anot - katot gerilimi, kapı tetikleme akımı ( $I_2$ ) akmaya başlarken bozulmaktadır. n1 tristörü açılmakta ve ( $I_v$ ) yük akımının geçmesine izin vermektedir. n1 tristörünün kapanması için şarjlı C kondansatörü yardımcı tristör n2 ile birlikte n1' e paralel olup ( $I_c$ ) akımı n1' den akacak ve ( $I_v$ ) yük akımını telafi edecek şekilde bağlıdır. ( Şeklin sağ tarafı ). Böylelikle n1 tristörü, C' ye doğru akan yük akımı ( $I_v$ ) ile birlikte kapanacak, onun şarjını tersine çevirecektir. C tamamen şarj olduğu zaman da, dev-





SEKİL. 10\_ TRİSTÖR BAĞLANTILI BİR DC GÜÇ KAYNAĞININ

ACMA KAPAMA MEKANİZMASI



redeki akımın akışı duracaktır.

$n_1$  tristörünün güvenilir bloklanması için temel şart,  $n_1'$  e doğru akan akımın açılması ile  $n_1'$  den geçen pozitif yönlü gerilimin verilmesi arasındaki bir zamanaralığıdır. Tristörün kapama zamanı olarak adlandırılan bu sürede, iletken uçtan yük ( şarj ) taşıyıcıların yeniden hareketi gerekir. Tristörün bu kapama zamanı, tristöre negatif yönde yeterli büyüklükte anot - katot gerilimi uygulanarak azaltılabilir. Yinede, bu negatif voltaj gerekli düzelme zamanından daha uzun süre verilmelidir. Negatif gerilim esnasındaki süre için devre kapama zamanı deyimi kullanılarak,  $T_{sch}$  ile eğrilerde gösterilmiştir.

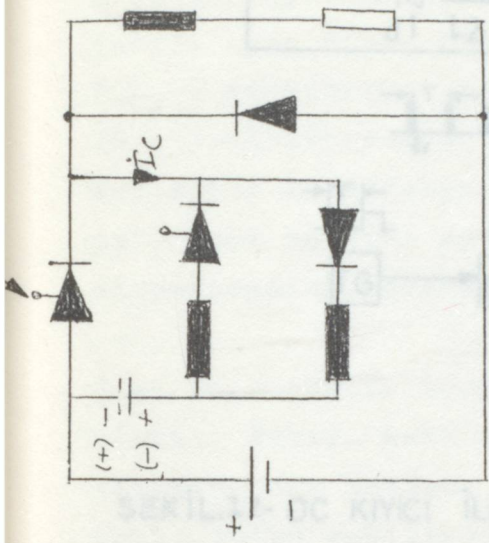
#### İNDİREKT KOMUTASYONLU D.A. KIYICI REGÜLATÖR DEVRESİ

11 nolu şekil, bir d.a. kıyıcı regülatörün, ana devresinde bir periyotta oluşan olayları göstermektedir. Çalıştırma, yardımcı tristör  $n_2'$  nin başlangıçta tetiklenmesiyle başlar. Burada, yük devresi ( L,R )' den geçen batarya voltajının, C' yi bu seviyede şarj etmesine izin verir.( diagram b ).

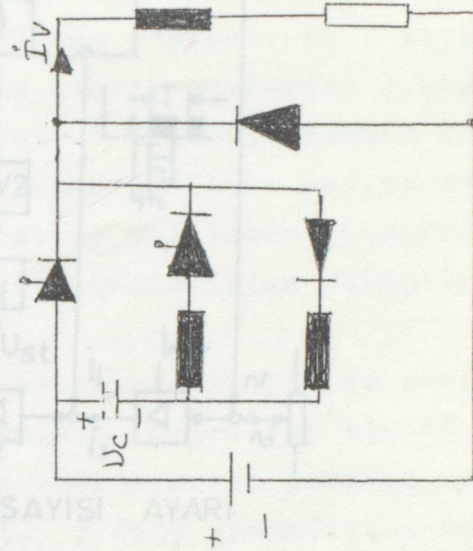
C tamamen şarj olduğunda, ana tristör  $n_1$  tetiklenebilir. Bu sebepten, batarya ve yük arasında direkt bağlantı kurulabilir. Bir seri direnç devresi, C ve  $L_2$  ile kondansatörün şarjını, sinüzoidal osilasyonun bir yarım periyodunda tersine çevirir. Şarjın geri salınımı (  $d_1$  ) diyodu tarafından önlenir. Dolayısıyla, C, kapama için doğru şarj polarmasına sahiptir. ( diagram c ).  $n_2$  tristörü üzerindeki iletkenlik periyodu tamamlandıktan sonra tetiklanması yenilenir ve kapatma mekanizması 10 nolu şekildeki başlangıç durumuna gelir.( diagram d ).

Ana tristör  $n_1'$  deki " kapatma " dan sonra, şarjı tersine ve batarya gerilimine eşit oluncaya kadar, yük akımı kapalı kondansatöre akmaya devam eder. ( diagram e ). Yük devresi ( LR ) deki ( L ) bobininin işlemesi, kapama ve ters şarj'dan sonra yük akımının bu işlemeyi alakoymasını ve dolayısıyla köprü-

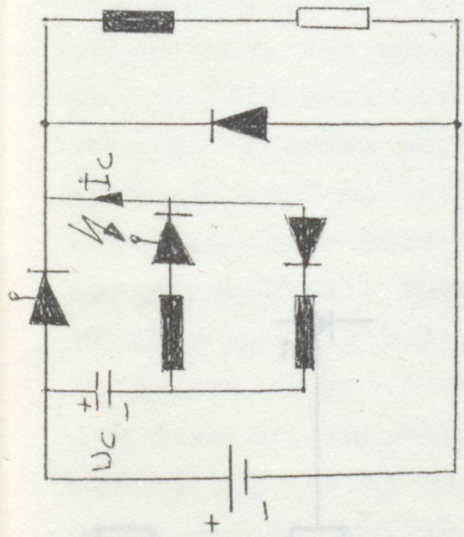




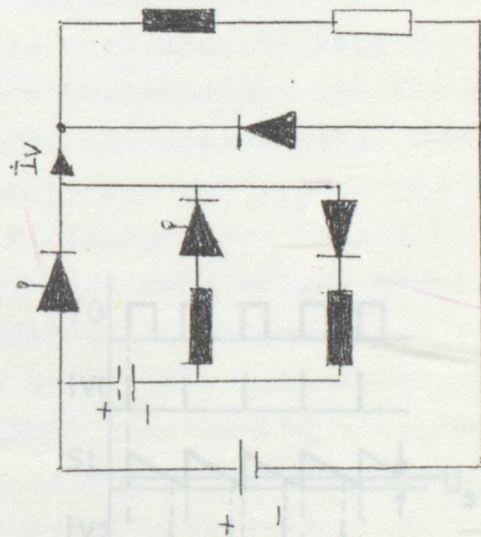
(c)



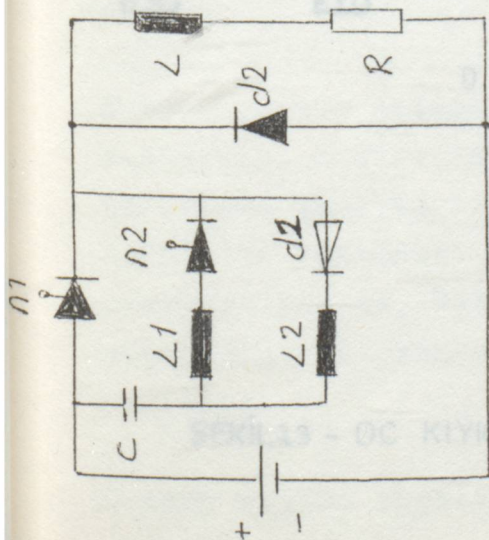
(f)



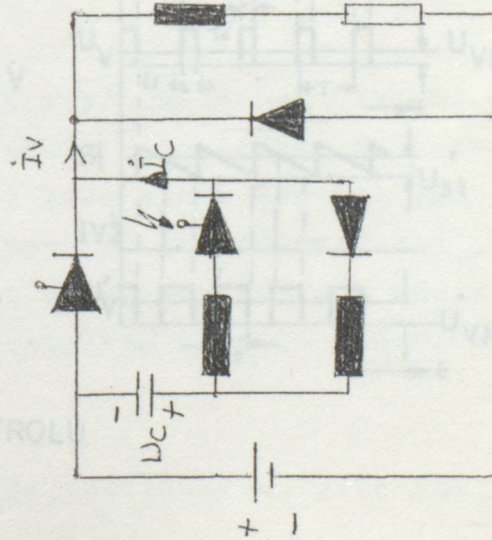
$U_c = U_E$   
(b)



(e)



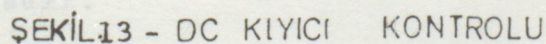
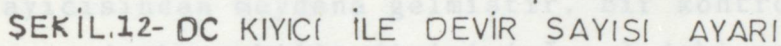
(a)



$i_c = i_v$   
(d)

Şekil.11.İn direkt Komütasyonlu DA kıyıcı devresi







leme diyodu (  $d_2$  )' ye komuta etmesini sağlar. ( diagram f ).

12 nolu şekil, bir d.a. kıyıcı regülatörün, ana tristör (  $n_1$  ), kapatıcı kondansatör C, yardımcı tristör (  $n_2$  ), polarıcı ters diyot (  $d_1$  ), köprüleme diyodu (  $d_2$  ) ve (  $L_1$  ), (  $L_2$  ) reaktörleri ile birlikte komple devresini içermektedir. TG zamanlayıcısından oluşan kontrol sistemi frekans kontroluyla bir kare dalga gerilimi üreterek devir sayısı ayarı yapar. Kapı kontrol ayarı ST, kontrol gerilimini kontrol potansiyometresine vererek uygun darbe genişliğine dönüştürür.

d.a. regülatörün kapı kontrol şeması şekil.13' de gösterilmiştir. Devre, kare dalga darbeleri yayımlayan bir TG zamanlayıcısından meydana gelmiştir. Bir kontrol darbesi, her dalgayı, darbe şekillendirici (  $I_{V1}$  ) deki zamanlayıcı darbelerin önünde oluşturur. Kontrol darbeleri kavvetlendirilerek  $n_2$  tristörünün kesime girmesini ve aynı zamanda kapı kontrol ayarı ( ST ) sağlanır ve böylece testeredişli gerilim şekli üretilir. Kontrol potansiyometresinin desteklediği 0 ile + 10V arasında değişen bir gerilim kapı kontrol ayarındaki testeredişli gerilime karşılaştırılır. Testeredişli önünde düşme ve harici gerilimle rastlantısal karşılaşma olduğu zaman, ana tristör  $n_1$  için kapı tetikleyici darbe oluşur,  $I_{V2}$ ' de yükseltgenir ve  $n_1$ ' i açmak için kullanılır (  $t_2$  zamanı ). Ana tristör, zamanlayıcı önündeki yükselmekte olan dalga,  $n_2$  tristörünü tekrar tetikleyinceye kadar iletken olarak kalır, dolayısıyla terminalden  $n_1$ ' e kadar olan bağlantıyı sona erdirir.

Motor hızının artışı için şekil.12' de örnek olarak, haricen başvurulmuş kontrol gerilimi yükseltilmelidir. Bu hareket testeredişli gerilim ile soldaki daha ileri kontrol gerilimi arasındaki kesişmeyi sağlar, sonuçta ana tristördeki iletkenlik erkenden başlar. Dolayısıyla, çıkış geriliminin genişliği, sonuç olarakta yükten geçen ortalama gerilim değeri arttırılmaktadır.

D.akım kıyıcı regülatörlerinde, açıklandığı gibi yük akımı ka-



pama süresince kapama devresine komuta eder ve kapatıcı kondansatör şarjı tersine dönüşünceye kadar köprü diyodunu değiştirmez. Buna, kapatıcı kondansatör şarjı ve yük devresindeki şarjlama ile birlikte indirekt komütasyon denir.

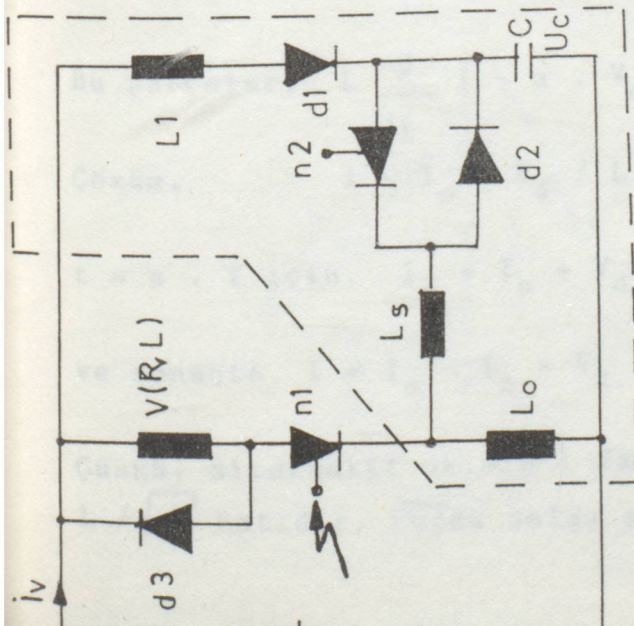
#### DİREKT KOMÜTASYONLU D.A. KIYICI DEVRESİ

Şekil.14' de ise diğer bir devre düzenlemesi görülmektedir. Burada ka pama ve yük devreleri ayrılmış olup birbirlerinden tamamen bağımsızdırlar. Yinede yük izole edilir ise kapatma mekanizması etkin olarak kalır. Kapatma olunca, yük akımı ana tristörden direkt olarak köprü diyoda geçer, sonuç olarak bu devre direkt komutalı d.a. kıyıcı regülatörü olarak adlandırılır. Devredeki (  $L_1$ ,  $d1$ ,  $C$  ) elemanlarının uyumuna bağlı olarak,  $C$  kondansatörü, kondansatör şarjını ters olarak tutan (  $d1$  ) diyodu ile çift kat batarya gerilimi  $2 U_E'$  ye doğru şarj edilir.  $n1$  tristörü yük ve gerilim kaynağı arasında bağlantıyı sağlar. Ana tristör  $n1'$  in kapatılması için yardımcı  $n2$  tristörü tetiklenir. Bu bağlantı, şeklin sağ tarafındada görüldüğü gibi,  $C'$  nin gerilim şarjından,  $L_0$  bobinine doğru sünizoidal bir osilasyon yaratır. Pozitif yarım dalgaların  $n2$  tristöründen geçişi ( şekil ) ile  $d2'$  den geçen negatif yarım dalgalar ( şekil ) görülmektedir. Batarya geriliminden iki kere fazla kondansatör gerilimi ile (  $L_0$  ) bobinindeki gerilim, batarya gerilimine ters kutuplu olup, ondan daha büyüktür. ( gerilim eğrisi  $U_{KQ}$ , şekilde sağ tarafta ).

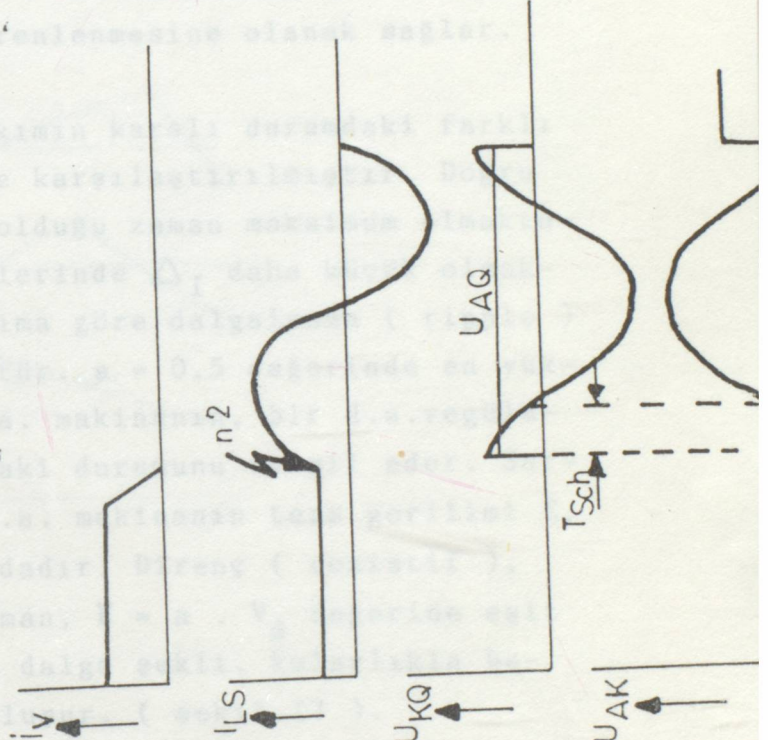
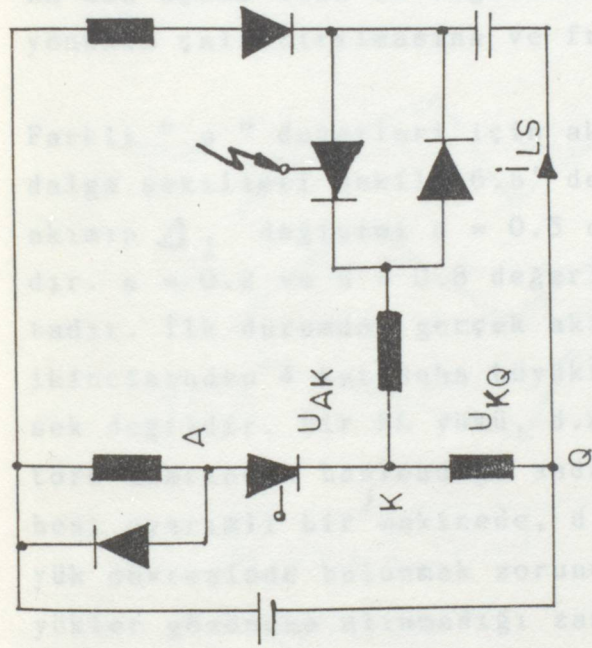
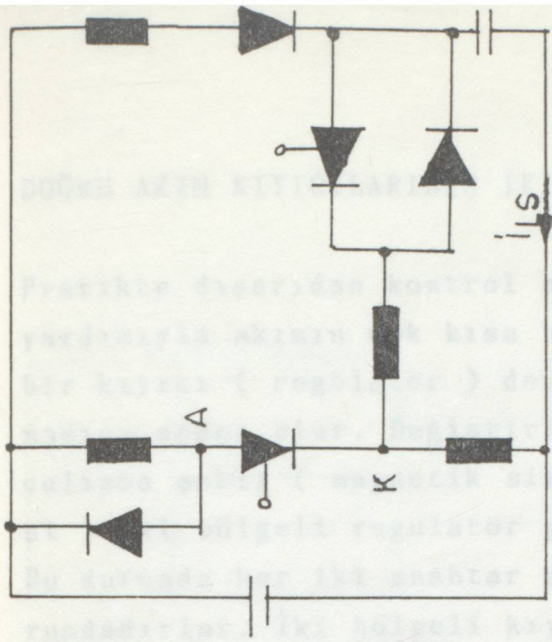
Bu, (  $T_{sch}$  ) zamanı, kapanma zaman devresi için, kapama ve güvenilir ileri bloklama için tristörün kaptılmasına müsaade eder. (  $n1$  tristöründen geçen gerilim eğrisine bakınız ).

Eğer, giriş geriliminden daha uygun alçak ve yüksek bir değişken çıkış gerilimi isteniyorsa, d.a. kıyıcı regülatörü ile yük arasında transformer ve doğrultmaç ile birlikte bir orta a.a. devresi gerekmektedir.





ŞEKİL.14. DİREKT KOMÜTASYONLU  
D.A. KIYICI DEVRESİ  
( REG. )





## DOĞRU AKIM KIYICILARININ İKİ VE DÖRT BÖLGELİ ÇALIŞMASI

Pratikte dışarıdan kontrol edilen bir anahtar ( kontaktör ) yardımıyla akımın çok kısa bir süre kesilmesi istendiğinde, bir kıyıcı ( regülatör ) devresinden diğerine değişimin olmasına neden olur. Değiştirilmeyen akım yönü ile olan ters çalışma şekli ( magnetik sistemlerin enerjilerinin kesilmesi ) iki bölgeli regülatör yardımıyla sağlanır. ( şekil.15 ). Bu durumda her iki anahtar aynı anda eş olarak çalışmak zorundadırlar. İki bölgeli kıyıcıların ( regülatörlerin ) kombinasyonu dört bölgeli regülatörü üretir.( şekil.16.a ). En son aşama olan bu regülatör d.a. makinanın her iki dönüş yönünde çalıştırılmasına ve frenlenmesine olanak sağlar.

Farklı " a " değerleri için akımın karalı durumdaki farklı dalga şekilleri şekil.16.b' de karşılaştırılmıştır. Doğru akımın  $\Delta I$  değişimi  $a = 0.5$  olduğu zaman maksimum olmaktadır.  $a = 0.2$  ve  $a = 0.8$  değerlerinde  $\Delta I$  daha küçük olmaktadır. İlk durumda, gerçek akıma göre dalgalanma ( ripple ) ikincisinden 4 kat daha büyüktür.  $a = 0.5$  değerinde en yüksek değildir. Bir RL yükü, d.a. makinanın, bir d.a.regülatörü üzerinden beslendiği andaki durumunu temsil eder. Serbest uyarımlı bir makinede, d.a. makinanın ters gerilimi E, yük devresinde bulunmak zorundadır. Direnç ( rezistif ), yükler gözönüne alınmadığı zaman,  $E = a \cdot V_d$  değerine eşit olur. Bu durumda yük akımının dalga şekli, kolaylıkla belirtilen lineer parçalardan oluşur. ( şekil.17 ).

Bu parçalar,  $L \frac{d}{dt} i - a \cdot V_d = V_D$  denlemi ile verilir.

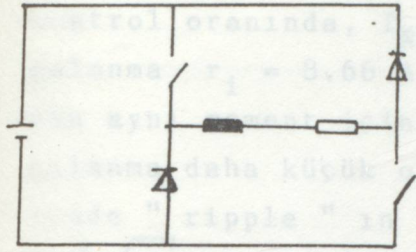
Çözüm,  $i = I_o + V_d / L ( i - a ) t$  şeklindedir.

$t = a \cdot T$  için,  $I_a = I_o + V_d / L ( 1 - a ) aT$

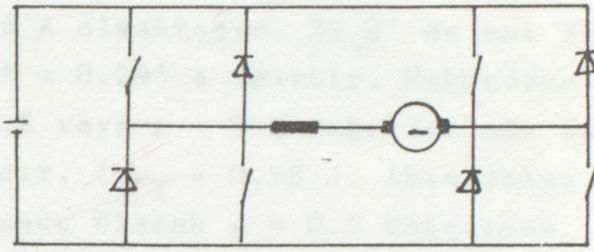
ve sonuçta,  $I = I_a - I_o = V_d / L ( 1 - a ) aT$  olur.

Çünkü, alternatif akımın 1 fazının rms değeri tepe değerinin  $1 / \sqrt{3}$  katıdır. Üçgen dalga şekline sahip ortalama doğru

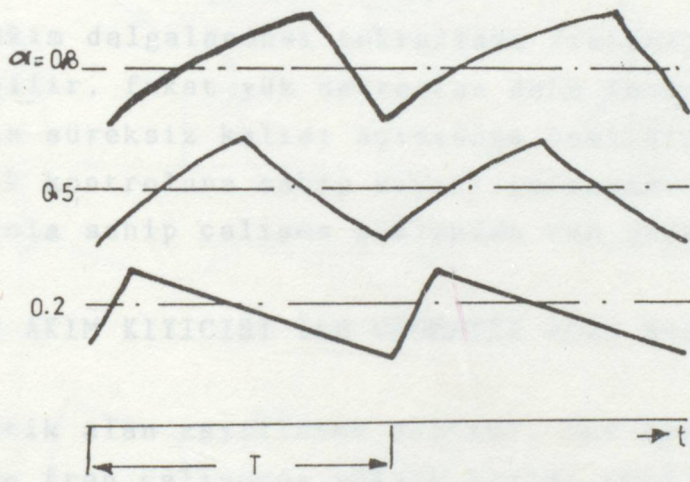




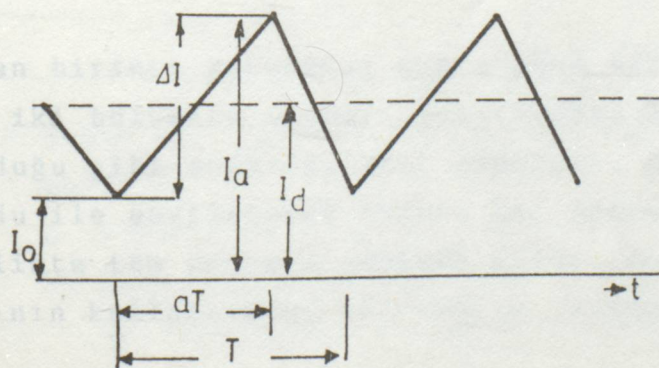
ŞEKİL-15 İki kadranlı regülatör



ŞEKİL-16 a Dört kadranlı regülatör



ŞEKİL -16.b



ŞEKİL-17



akımın üzerine binen 120 V' da 30 A büyüklüğünde bir akıma sahip, endüvi endüktansı 30 mH olan serbest uyarımlı bir motor, 10 ms' lik tekrarlamaya periyodundaki ( tekrarlamaya frekansı 100 Hz ) bir d.a. kıyıcı tarafından beslensin.  $a = 0.5$  kontrol oranında,  $I_N = 8.66$  A olmaktadır. 30 A' de max dalgalanma  $r_i = 8.66$  A / 30 A = 0.29' a eşittir. Makinadan alınan aynı moment için  $a = 0.2$  veya  $a = 0.8$  değerlerinde dalgalanma daha küçük olmaktadır. (  $r_i = 0.18$  ). Akım dalga şeklinde " ripple " ın bir sonucu olarak  $a = 0.5$  değerinde  $I_d < \sqrt{3} \times 8.66$  A' e kadar olan değerlerde, yani düşük momentlerde akım daima süreksiz kalır. Saf bir fonksiyon ile sıfıra yaklaşır ve süreklilik sınırı çok düşük bir akım seviyesindedir.

Ani akım dalgalanması tekrarlamaya frekansını arttırarak azaltılabilir, fakat yük devresine daha fazla endüktans eklenir. Akımın süreksiz kalışı açısından bakıldığında, darbe - genişlik kontroluna sahip kıyıcı çalışması, darbe frekanslı kontrole sahip çalışma şeklinden daha başarılı olur.

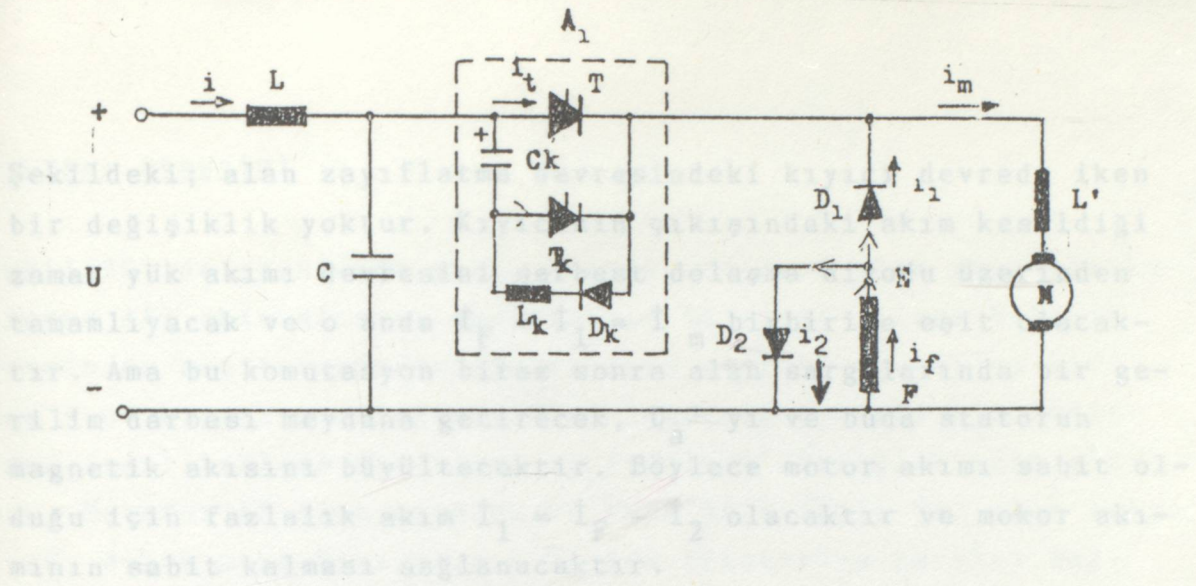
#### DOĞRU AKIM KIIYICISI İLE OTOMATİK ALAN ZAYIFLATMA

Otomatik alan zayıflatma yöntemi, hem normal çalışmada ve hem de fren çalışmada yüksek hızlar için kullanılır. Uygulaması, gerilimi ve gücü nisbeten büyük ( 1500 V d.a., 8 x 150 kW ) demiryolu, gücü ve özellikle gerilimi daha küçük ( 600 - 750 V d.a., 2 x 120 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 endüviye seri bağlanır, diğeri, geri besleme diyodu ile şöntlenerek ikinci bir doğru akım kıyıcısı ile birlikte tüm devreye paralel girer. Burada iki adet d.a. kıyıcısının kullanılması bir sakınca oluşturur.

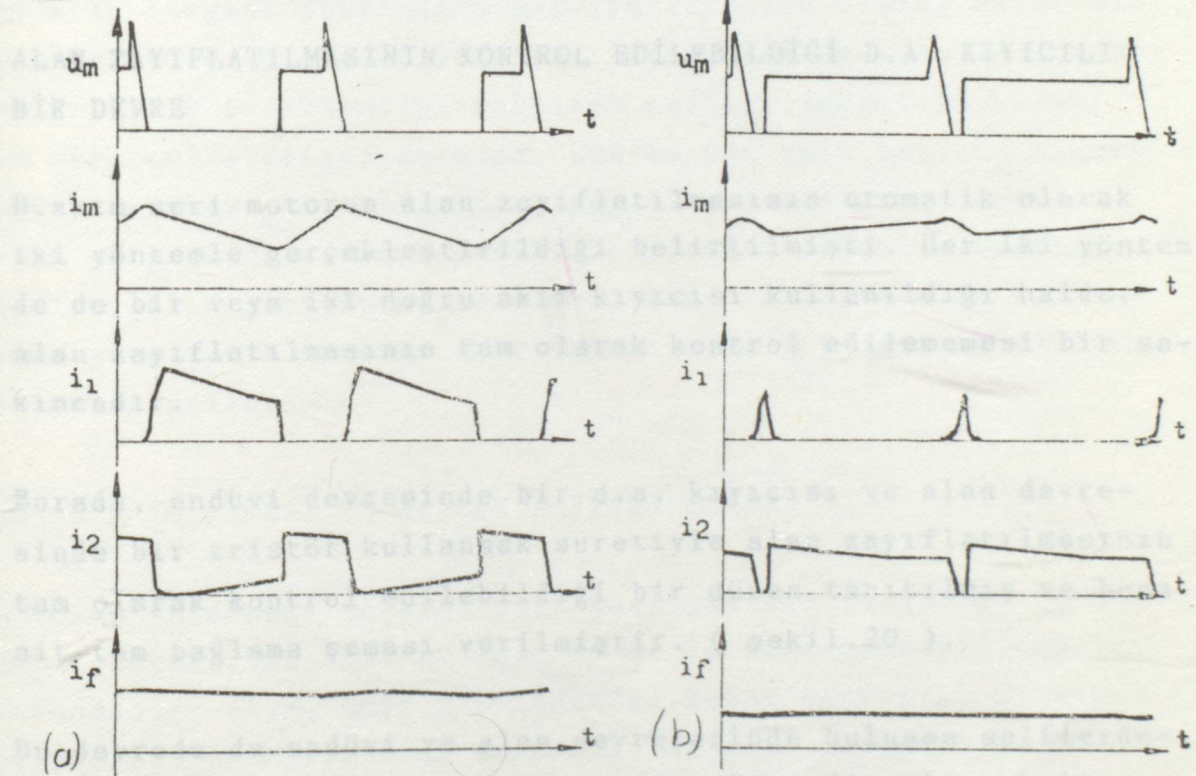
Otomatik alan zayıflatmasının yapıldığı motor çalışma şekli.18' deki devre ile gerçekleştirilir. Bu devre, geribesleme diyotları yardımıyla uyarma sargısındaki enerjiden faydalanma temeline dayanır.





Şekil.18. Otomatik alan zayıflatmalı d.a. seri motorun d.a. kıyıcısıyla beslenmesine ait bağlantı şeması

$T_k$  : Komutasyon tristörü     $i_t$  : Ana tristör akımı  
 $i_m$  : Endüvi akımı     $i_1$  : Geri besleme akımı



Şekil.19 Şekil 18' deki otomatik alan zayıflatmalı d.a. seri motorun,  
a. Normal alanla,  
b. Zayıflatılmış alanla,  
çalışmalarına ait akım ve gerilim dalga şekilleri



Şekildeki; alan zayıflatma devresindeki kıyıcı devrede iken bir değişiklik yoktur. Kıyıcının çıkışındaki akım kesildiği zaman yük akımı devresini serbest dolaşma diyodu üzerinden tamamlayacak ve o anda  $I_F = I_1 = I_m$  birbirine eşit olacaktır. Ama bu komutasyon biraz sonra alan sargılarında bir gerilim darbesi meydana getirecek,  $U_a$ 'yı ve buda statorun magnetik akısını büyültecektir. Böylece motor akımı sabit olduğu için fazlalık akım  $I_1 = I_F - I_2$  olacaktır ve motor akımının sabit kalması sağlanacaktır.

Alan zayıflatması devresi motorlar için yüksek hızlarda motor endüktansından bağımsız bir diyodun endüktansla şöntlenerek serbest dolaşma diyoduna ters yönde bağlanmasından oluşmaktadır.

#### ALAN ZAYIFLATILMASININ KONTROL EDİLEBİLDİĞİ D.A. KIYICILI BİR DEVRE

D.akım seri motorun alan zayıflatılmasının otomatik olarak iki yöntemle gerçekleştirildiği belirtilmişti. Her iki yöntemde de bir veya iki doğru akım kıyıcısı kullanıldığı halde, alan zayıflatılmasının tam olarak kontrol edilememesi bir sakıncadır.

Burada, endüvi devresinde bir d.a. kıyıcısı ve alan devresinde bir tristör kullanmak suretiyle alan zayıflatılmasının tam olarak kontrol edilebildiği bir düzen tanıtılmış ve buna ait tam bağlama şeması verilmiştir. ( şekil.20 ).

Bu devrede de endüvi ve alan devrelerinde bulunan selflerdeki enerjiden faydalanmak için geribesleme diyotları kullanılmıştır. Bu düzende, alan sargısı ve seri bağlı tristörü, endüvi d.a. kıyıcısına paralel bağlı bulunduğundan, alan tristörü için ayrı bir komutasyon devresine gereksinme duyulmaması ayrı bir üstünlük sağlar.

Bu devrede de endüvi ve alan devrelerinde bulunan selflerdeki enerjiden faydalanmak için geribesleme diyotları kullanılmıştır. Bu düzende, alan sargısı ve seri bağlı tristörü, endüvi d.a. kıyıcısına paralel bağlı bulunduğundan, alan tristörü için ayrı bir komutasyon devresine gereksinme duyulmaması ayrı bir üstünlük sağlar.



## ÇALIŞMA PRENSİBİ

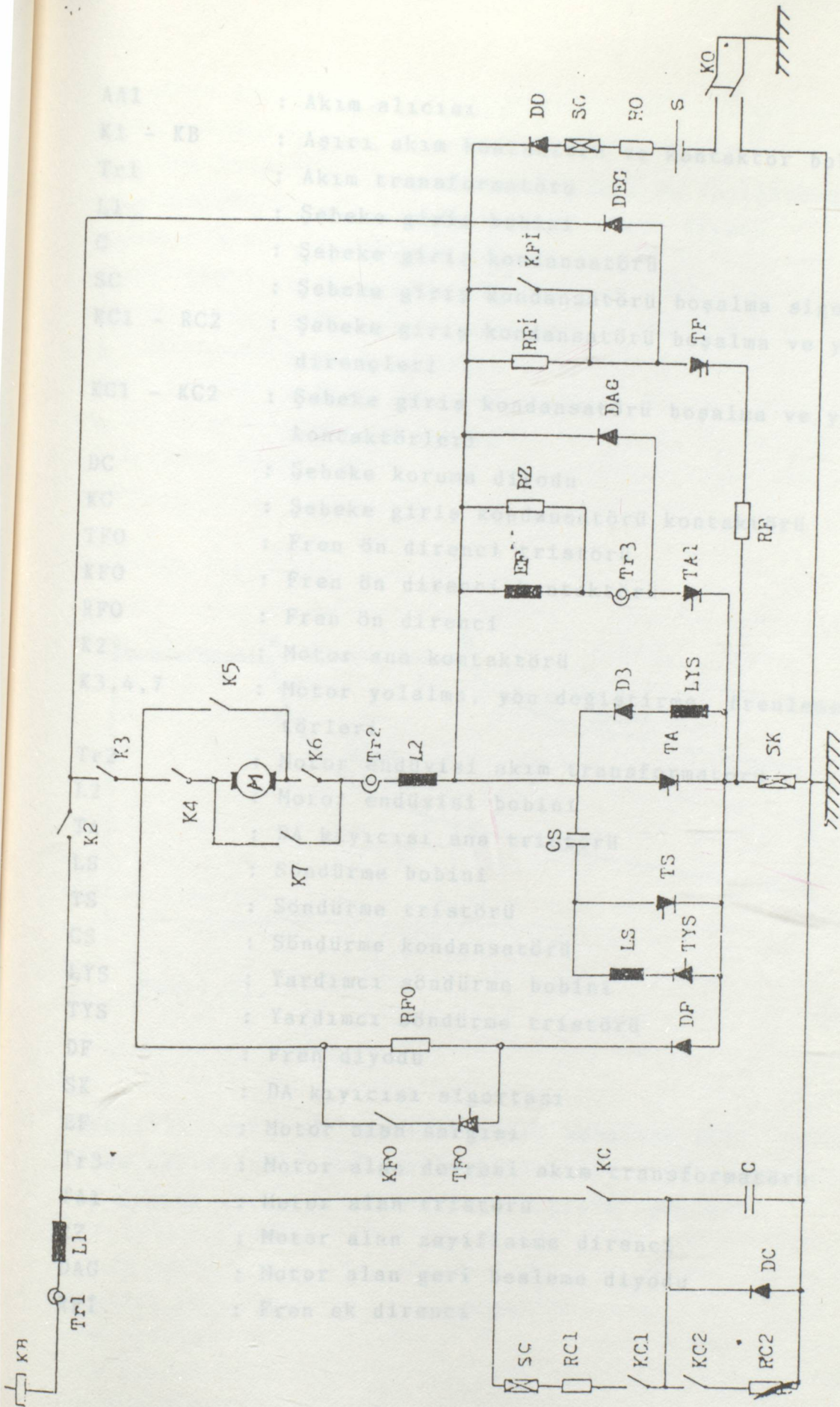
Şekil.20' de görüldüğü gibi; tahrik motoruna akım seyr iletkeninden AA1 akım alıcısı vasıtasıyla L1 giriş filtre bobini üzerinden sağlanmaktadır. Devre esas olarak; endüvi'de bir ana d.a. kıyıcısı, alan zayıflatılmasında gerekli alan tristörü, geri besleme diyotları ve frenleme dirençlerinden oluşur. Motorun EF alan sargısı ve buna seri bağlı TA1 alan tristörü, doğru akım kıyıcısının TA ana tristörüne paralel bağlanmıştır. Böylece ana tristörün kesime geçirme düzeniyle aynı anda alan tristörünü kesime geçirmek mümkün olur. Örneğin; alan tristörünün  $t_1$  anında tetiklendiğini kabul edersek; endüvi akımı alan sargısından akar. Bundan  $\Delta t$  zamanı sonra ana tristör tetiklenirse, ana tristörden akım geçmeye başlar ve alan sargısı üzerindeki gerilim yaklaşık olarak sıfır olur. Ana tristörü ve alan tristörünü kesime sokmak için TS söndürme tristörü tetiklendiği taktirde selfler nedeniyle endüvi ve alan devrelerinde akımlar, DEG ve DAG geri besleme diyotları üzerinden kısadevre olurlar. Alan zayıflatma derecesi, alan sargısı üzerindeki gerilimin efektif değerine bağlıdır. Bu ise; alan zayıflatma derecesi, ana tristörün alan tristörüne göre tetiklenme gecikme zamanı olan  $\Delta t'$  nin küçülmesi anlamına gelir.

## MOTORUN YOLALMASI VE ALANIN ZAYIFLATILMASI

Motorun yolalması ve alan zayıflatılmasının yapıldığı hareket işletmesinde, K1, K2, K3, K4 ve K6 kontaktörleri kapalı konumdadır. Akım, seyr iletkeninden motor endüvisi, L2 endüvi bobini, EF motor alan sargısı, TA1 alan tristörü ve TA ana tristörü üzerinde dönüş iletkenine akar. Ayrıca RF1 direnci de KF1 kontaktörü ile kısadevre edilmiştir.

Yolalmada motor akımının tümü TA1 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 endüvi akımı, alan sargısından ve sürekli şönt direnç üzerinden akar. Yolalma tamamlanıncaya kadar ( şekil.21' de A noktasına kadar ) TA ana tristörünün tetik-





Şekil.20. Alan yazıflatılmasının ve elektriksel olarak faydalı ve dirençle frenlemenin yapılabildiği, d.a. kılıyıcıyla beslenen bir seri motorun tam bağlantı şeması

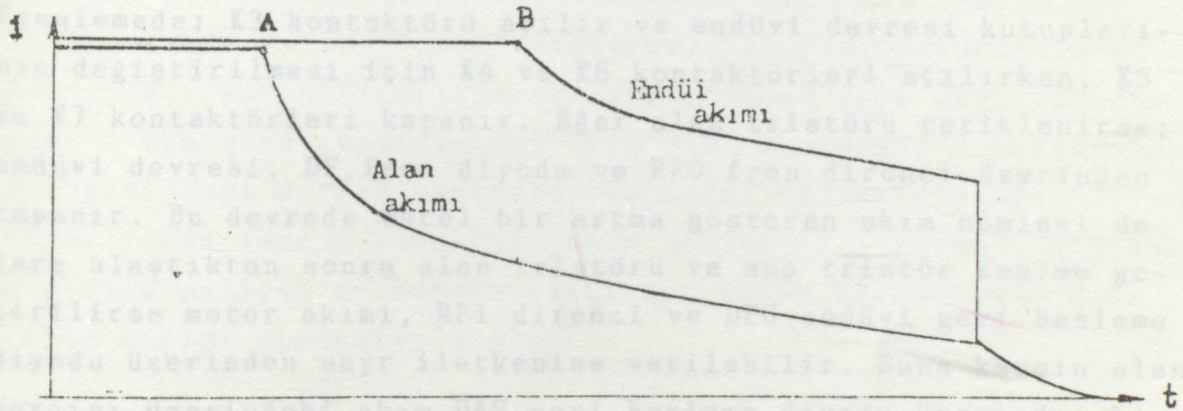


AA1 : Akım alıcısı  
 K1 - KB : Aşırı akım kontaktörü ve kontaktör bobini  
 Tr1 : Akım transformatörü  
 L1 : Şebeke giriş bobini  
 C : Şebeke giriş kondansatörü  
 SC : Şebeke giriş kondansatörü boşalma sigortası  
 RC1 - RC2 : Şebeke giriş kondansatörü boşalma ve yükleme dirençleri  
 KC1 - KC2 : Şebeke giriş kondansatörü boşalma ve yükleme kontaktörleri  
 DC : Şebeke 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 yolalma, yön değiştirme, frenleme kontaktörleri  
 Tr2 : Motor endüvisi akım transformatörü  
 L2 : Motor endüvisi bobini  
 TA : DA kıyıcısı ana tristörü  
 LS : Söndürme bobini  
 TS : Söndürme tristörü  
 CS : Söndürme kondansatörü  
 LYS : Yardımcı söndürme bobini  
 TYS : Yardımcı söndürme tristörü  
 DF : Fren diyodu  
 SK : DA kıyıcısı sigortası  
 EF : Motor alan sargısı  
 Tr3 : Motor alan devresi akım transformatörü  
 TA1 : 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 kısadevre kontaktörü  
 DEG : Motor endüvi geribesleme diyodu  
 DO : Ön uyarma diyodu  
 SO : Ön uyarma sigortası  
 RO : Ön uyarma direnci  
 B : Batarya grubu  
 KO : Ön uyarma kontaktörü  
 M : Tahrik motoru

#### ALAN ZAYIFLATILMASI İLE FRENLEME



Şekil.21.

Şekil.21. Şekil.20' deki bağlantı şemasına göre; sürekli alan zayıflatmasının yapıldığı d.a. seri motorunun endüvi ve uyarma akımının zamana göre değişim eğrileri.



lenmemesi gerekir. A noktasına erişildikten sonra yine endüvi akımı sabit kalacak şekilde sürekli alan zayıflatması başlar. Bu, alan tristörünün iletim oranı maksimumda sabit kalarak, ana tristörün, alan zayıflatmasını gittikçe arttıracak şekilde kumanda edilmesiyle gerçekleştirilir. Böylece endüvi akımı sabit, fakat uyarma akımı, kuvvet - hız diyagramında sabit güç doğrusuna uyulacak şekilde, uyarma dercesi belli bir değere (örneğin;  $\lambda = 1/3$ ) kadar azaltılır. (B noktası). Bundan sonra uyarma dercesi bu değerde sabit kalmak koşuluyla endüvi akımı ve alan akımı aynı oranda azaltılır. Bu durumda ana tristörde ilettime ve kesime sokacak tetikleme zamanları arasındaki uzaklıklar ayrı uzunlukta olabilir.

#### ALAN ZAYIFLATILMASI İLE FRENLEME

Frenlemede; K3 kontaktörü açılır ve endüvi devresi kutuplarının değiştirilmesi için K4 ve K6 kontaktörleri açılırken, K5 ve K7 kontaktörleri kapanır. Eğer alan tristörü tetiklenirse; endüvi 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, RF1 direnci ve DEG endüvi geri besleme diyodu üzerinden seyr iletkenine verilebilir. Buna karşın alan sargısı üzerindeki akım DAG geri besleme diyodu üzerinden kapanır. Frenlemede de alan zayıflatılması gerektiğinden 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 max 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 gerekli sınır gerilim, şebeke geriliminin alt sınırına ayarlanabilir. RFO fren direnci, motor devresi geriliminin, şebeke geriliminden daha aşağı bir değerde kalmasını sağlar. Böylece faydalı frenlemede motor akım ve gerilimi kontrol edilir. Örneğin, motor gerilimi şebe-



ke geriliminden küçük olduğunda; RFO fren direnci, buna paralel bağlı TFO tristörü yardımıyla 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.

### III.2.2.3. DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI

Çok sayıda taşıyıcıya sahip hızlı taşımacılık yapan demiryolu sistemleri, seyr iletkeni veya üçüncü bir raydan alınan d.a. beslemeye sahiptirler. Bu tür trenler ya seri reosta yada kıyıcılar ile kontrol edilirler.

Tasarım sınırlamaları 4 km/h altındaki hızlarda reosta kontrolünü gerekli kılar. Yüksek hızlarda, taşıyıcı motorların moment / hız karakteristiklerini değiştirmek için alan zayıflatması ( tüm alan akımının 0.5 veya 0.8' ine kadar ) kullanılır. Konvansiyonel direnç kontrolü ile karşılaştırıldığında, %7'ye kadar varan enerji tasarrufu elde edilebilir. Faydalı frenleme, sistemin maliyet ve karmaşıklığı göz önüne alındığında daha fazla enerji ekonomisi sağlar.

Demiryolu taşımacılığında, sistemdeki trenlerin değişen güç gereksinimlerinin sonucu olarak  $\pm$  % giriş gerilimi dalgalanmaları meydana gelir ve pantograf kollektörleri ani akım kesilmelerine neden olur. Bu durum faydalı frenlemede tehlikeli olur. Çünkü frenleme sırasında tekrar üretilen enerjinin, besleme sistemi tarafından alınmasını etkiler. Kontrol sistemi bu geri alınan enerjiden dinamik frenleme için birkaç milisaniye içinde transfer olmak zorundadır.

Demiryolu sisteminde önemli bir konu havai hatlardaki harmonik akım seviyeleridir. Bu harmonikler demiryolu hatlarına yakın ve paralel bulunan diğer iletim hatları ve iletişim hatlarında ciddi etkilere neden olabilirler. Çünkü beslemenin bir fazlı yapısı, tüm üçlü frekans bileşenlerini bulunduran harmonikleri verir.



Motor devresi harmonikleri güç kayıplarına ve fırça komütasyonuna yol açar. Kıyıcı dalga şeklinin temeli belirli bir frekanstaki darbelerdir. Bu frekans, komşu işaret devrelerindeki frekansın üzerinde olmak zorundadır. Bundan başka, 6 ve 12 darbelik temel doğrultucular tarafından konverterin her iki tarafı bağlantı hattında üretilen harmonikler tarafından etkilenecektir.

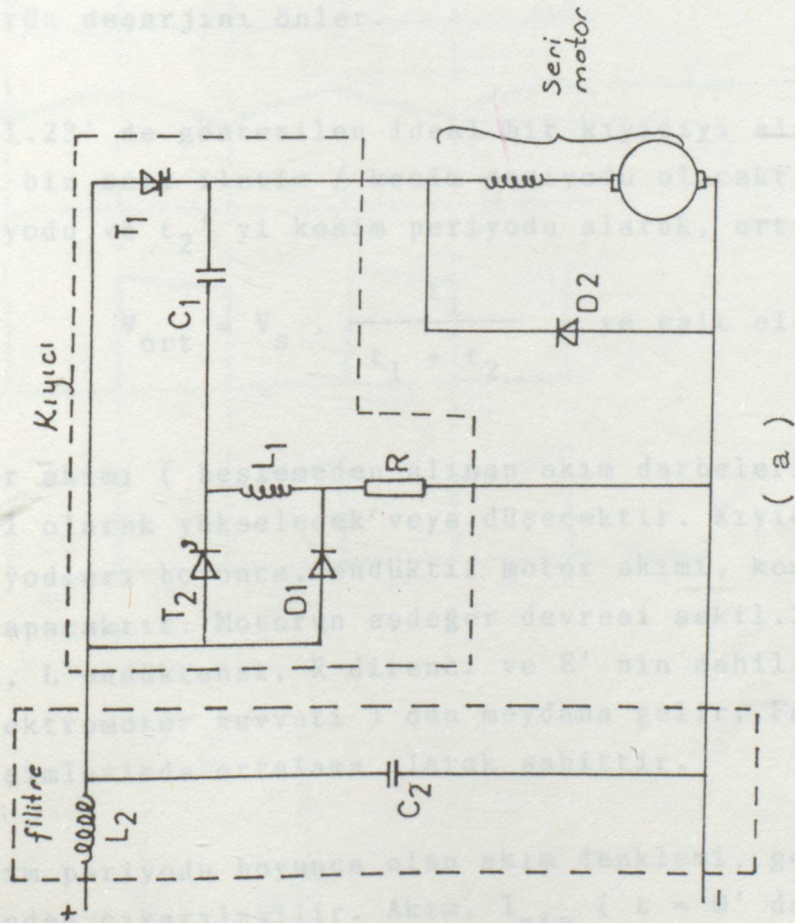
İletim raylarındaki yüksek akımları önlemek için demiryolu sistemlerinde bir filtre bulunmalıdır. Kıyıcının daha yüksek frekanslarda çalıştırılması sınırlamalar ve kıyıcının kendisindeki kayıplar yüzünden önlenir. Kıyıcı devresinin girişine paralel giren kondansatörler ( filtre işlemi için ) değişen bağlantı hattı uzunluğunda ( endüktiftir ) geniş aralığa sahip rezonans frekansı üretirler. Kıyıcı frekansı daima rezonans frekansını 2 kat geçmek zorundadır. Çünkü kıyıcı girişine seri olarak sabit bir endüktans bağlanmak zorundadır. Endüktansın boyutlarını sınırlamak için yüksek frekans kullanılır. Frekansın yüksek olmasının diğer bir nedenide motor akımındaki uyumsuz dalgalanmalardan sakınmak yani darbesel momentlerden sakınmaktır.

Demiryolu kullanışında, kıyıcı frekansı iletim ve işaret kanalları ile karışmamak zorundadır. Tipik olarak 1 kHz' in çevresindeki frekanslar kullanılmalıdır.

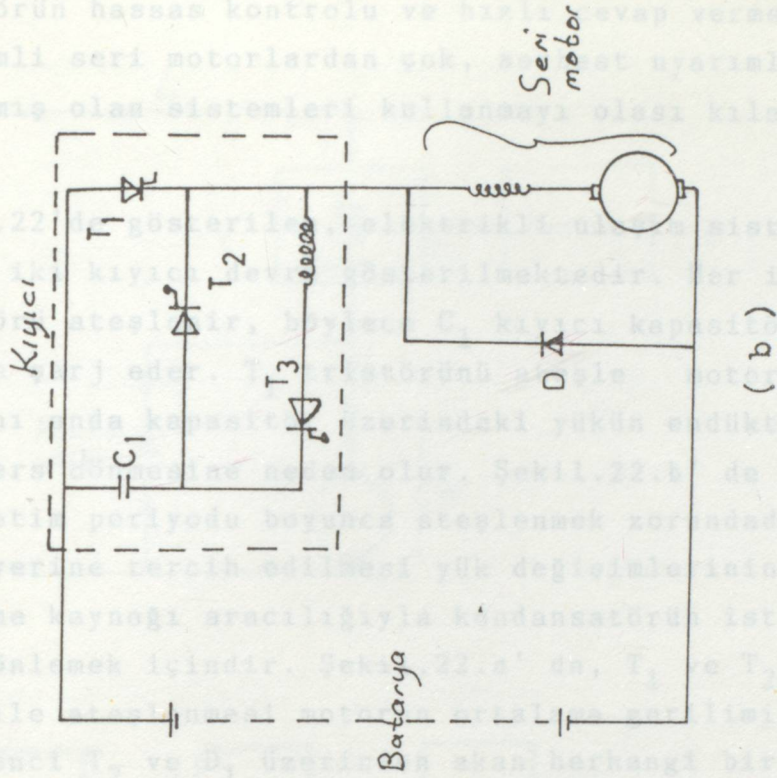
Bir demiryolu lokomotifinde taşıyıcı motorları kontrol eden tristörleri kullanarak ( değişken transformatörlerin yerine ) motorların çok daha hassas kontrolü mümkündür. Kayma yapmaksızın max tekerlek - ray yapışmasını sağlamaktadır.

Fakat, düşük güç faktöründen sakınmak için tristörlerde dikkat edilecek iki temel fikir vardır. Yani, hat akımını minimumda tutmak ve aynı zamanda aşırı harmoniklerden sakınmaktır.





( a )



( b )

SEKİL . 22 - KİYİCİ SİSTEMLERİ ( a - Demiryolu uygulaması, b - Karayolu uygulaması )



Tristörün hassas kontrolu ve hızlı cevap verme zamanı diod sistemli seri motorlardan çok, serbest uyarımlı motorlardan yapılmış olan sistemleri kullanmayı olası kılar.

Şekil.22'de gösterilen, elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan iki kıyıcı devre gösterilmektedir. Her iki devrede,  $T_2$  tristörü ateşlenir, böylece  $C_1$  kıyıcı kapasitörünü giriş gerilimine şarj eder.  $T_1$  tristörünü ateşle motoru girişe bağlar ve aynı anda kapasitör üzerindeki yükün endüktans aracılığı ile ters dönmesine neden olur. Şekil.22.b' de  $T_3$  tristörü,  $T_1$ ' in iletim periyodu boyunca ateşlenmek zorundadır. Tristörün diod yerine tercih edilmesi yük değişimlerinin sonucu olarak besleme kaynağı aracılığıyla kondansatörün istenmeyen deşarjını önlemek içindir. Şekil.22.a' da,  $T_1$  ve  $T_2$  tristörlerinin sıra ile ateşlenmesi motorun ortalama gerilimini kontrol eder. R direnci  $T_2$  ve  $D_1$  üzerinden akan herhangi bir sızıntı akımını şöntlemek için çok yüksek bir değerdedir. Sonuçta kondansatörün deşarjını önler.

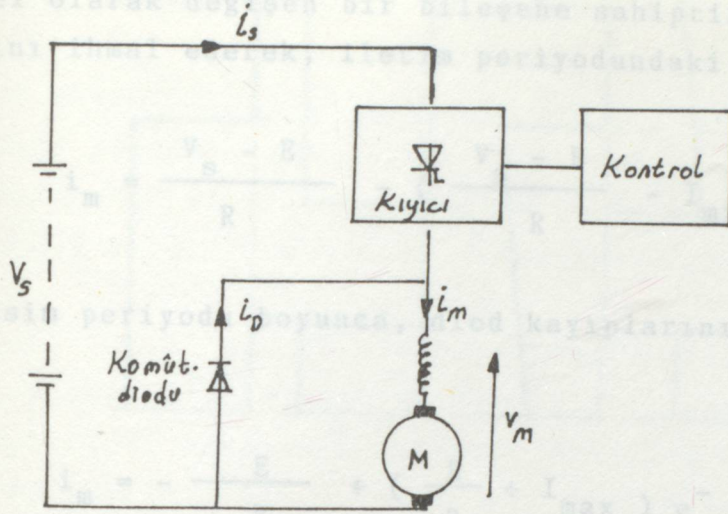
Şekil.23' de gösterilen ideal bir kıyıcıyı alarak, motor gerilimi bir seri iletim / kesim periyodu olacaktır.  $t_1$ ' i iletim periyodu ve  $t_2$ ' yi kesim periyodu olarak, ortalama yük gerilimi,

$$V_{\text{ort}} = V_s \cdot \frac{t_1}{t_1 + t_2} \quad \text{ye eşit olur.}$$

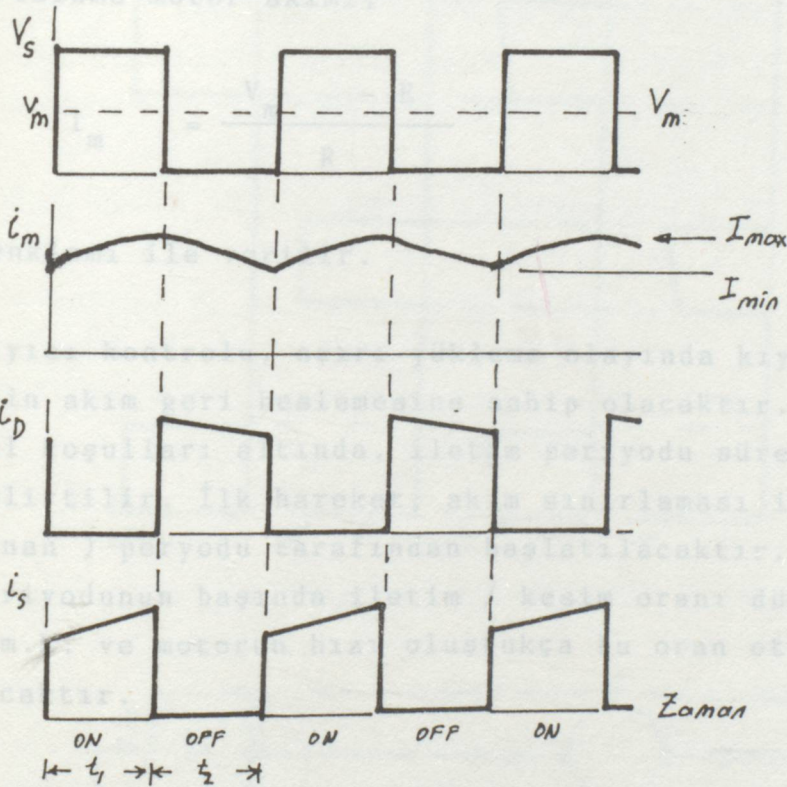
Motor akımı ( beslemeden alınan akım darbeleri şeklindeki ) üstel olarak yükselecek veya düşecektir. Kıyıcının kesimdeki periyodları boyunca, endüktif motor akımı, komütasyon dioduna sapacaktır. Motorun eşdeğer devresi şekil.23.c' de olduğu gibi, L endüktansı, R direnci ve  $E'$  nin dahili ters e.m.k. ( elektromotor kuvveti ) den meydana gelir. Fakat küçük akım değişimlerinde ortalama olarak sabittir.

İletim periyodu boyunca olan akım denklemi, geçici cevap bilgisinden çıkarılabilir. Akım,  $I_{\text{min}}$  (  $t = 0$ ' da ) başlar. Eğer tanımlanmadan akmaya devam ederse,  $(V_s - E) / R$  değerine

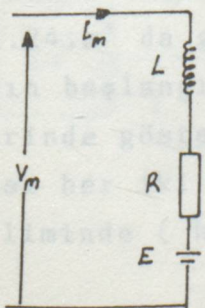




a) Devresi



b) Dalga şekilleri



c) Eşdeğer devresi

ŞEKİL.23. Kıyıcı beslemeli motor



ulaşır ve  $\left[ (V_s - E) / R \right] - I_{\min}$  değerinde başlayan üstel olarak değişen bir bileşene sahiptir. Tüm kıyıcı kayıplarını ihmal ederek, iletim periyodundaki  $i_m$  motor akımı denlemi

$$i_m = \frac{V_s - E}{R} - \left( \frac{V_s - E}{R} - I_{\min} \right) e^{- (R/L) t}$$

Kesim periyodu boyunca, diod kayıplarını ihmal ederek,

$$i_m = - \frac{E}{R} + \left( \frac{E}{R} + I_{\max} \right) e^{- (R/L) t}$$

Ortalama motor akımı,

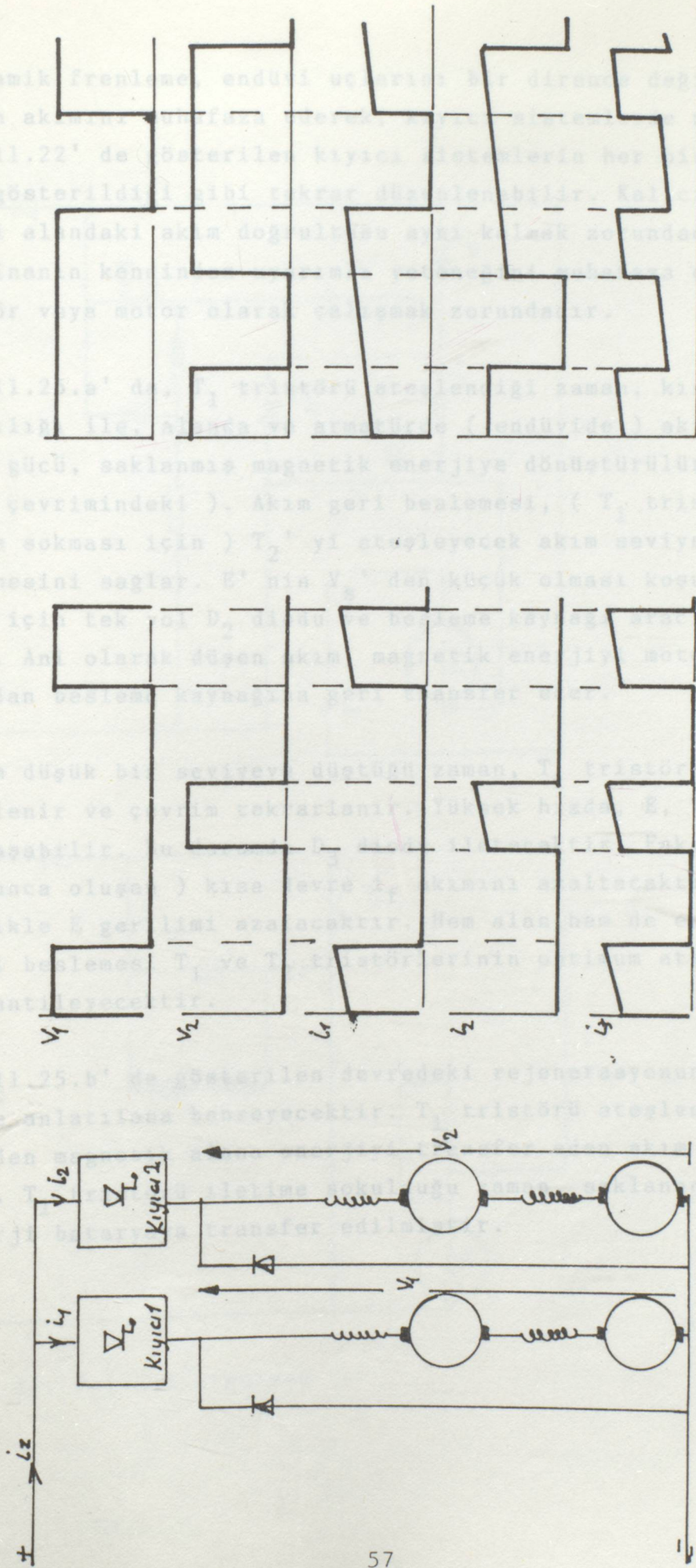
$$I_m = \frac{V_m - E}{R}$$

denklemleri ile verilir.

Kıyıcı kontrolü, aşırı yükleme olayında kıyıcıyı kesime sokmak için akım geri beslemesine sahip olacaktır. Normal kararlı - hal koşulları altında, iletim periyodu süresi hız tarafından belirtilir. İlk hareket, akım sınırlaması ile iletim ( sap-tanan ) periyodu tarafından başlatılacaktır. Böylelikle iletim periyodunun başında iletim / kesim oranı düşük olacaktır. Ters e.m.k. ve motorun hızı oluştukça bu oran otomatik olarak uza-yacaktır.

Dört taşıyıcı motora sahip bir demiryolu sisteminde, bir iki fazlı kıyıcının kullanılması avantaj olarak görülebilir. Sistem şekil.24.a' da gösterilmiştir. İki kıyıcının iletim pe-riyodlarının başlangıç zaman diyagramları ( b ) ve ( c ) dal-ga şekillerinde gösterilmiştir. Besleme akımının temel harmo-nik frekansı her iki kıyıcıdakinin iki katıdır ve daha yüksek çıkış geriliminde ( hız ) besleme akımı sürekli olarak.





a) Temel devresi

b) Düşük hız durumu

c) Yüksek hız durumu

ŞEKİL.24. İki fazlı kıyıcı



Dinamik frenleme, endüvi uçlarını bir dirence değiştirerek ve alan akımını muhafaza ederek, kıyıcı sistemlerde mümkündür. Şekil.22' de gösterilen kıyıcı sistemlerin her biri şekil 25' de gösterildiği gibi tekrar düzenlenebilir. Kalıcı akıdan dolayı alandaki akım doğrultusu aynı kalmak zorundadır. Çünkü makinanın kendinden uyarımlı yeteneğini muhafaza ederek generatör veya motor olarak çalışmak zorundadır.

Şekil.25.a' da,  $T_1$  tristörü ateşlendiği zaman, kısa devre aracılığı ile, alanda ve armatürde ( endüvide ) akım oluşur. Mil gücü, saklanmış magnetik enerjiye dönüştürülür. ( armatür çevrimindeki ). Akım geri beslemesi, (  $T_1$  tristörünü kesime sokması için )  $T_2$  ' yi ateşleyecek akım seviyesinin yükselmesini sağlar.  $E$  ' nin  $V_s$  ' den küçük olması koşulu ile, akım için tek yol  $D_2$  diodu ve besleme kaynağı aracılığıyla olur. Ani olarak düşen akım, magnetik enerjiyi motor endüktansından besleme kaynağına geri transfer eder.

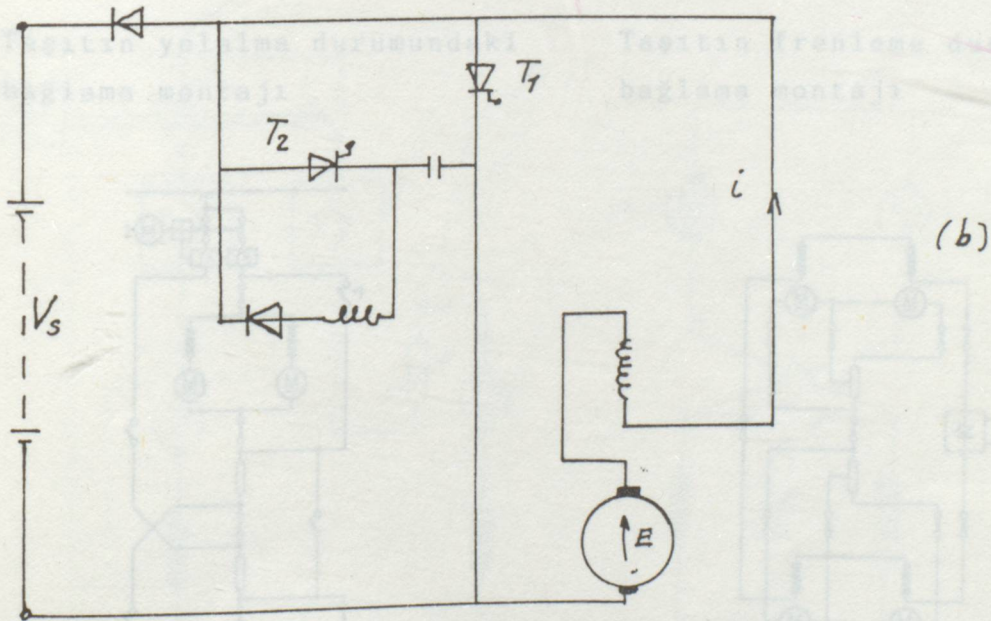
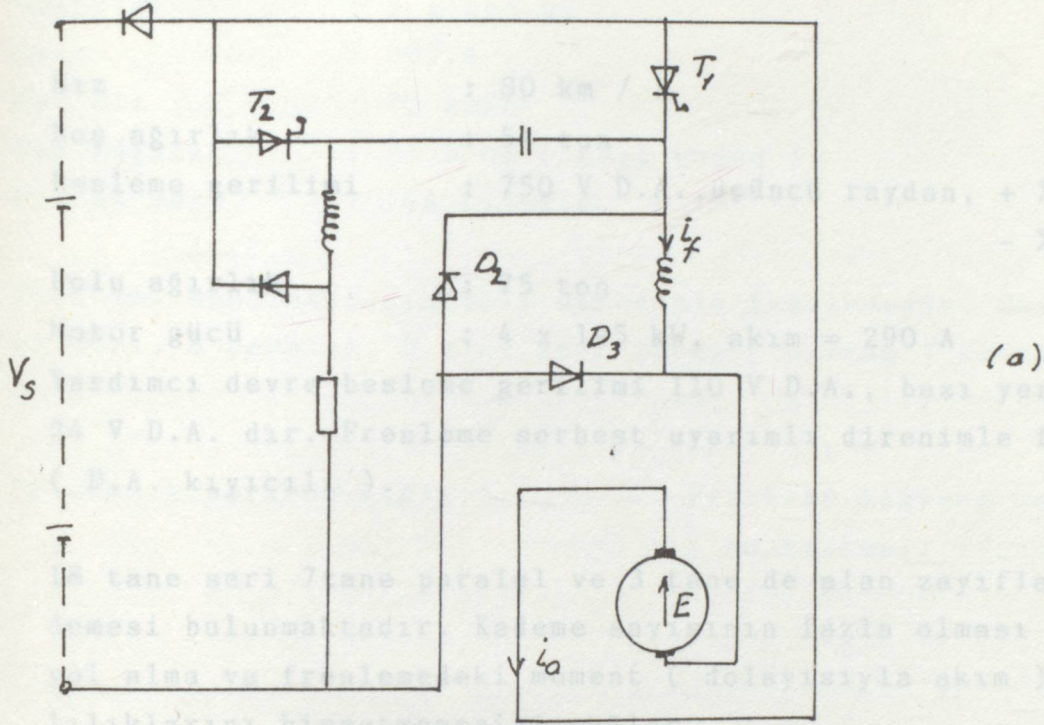
Akım düşük bir seviyeye düştüğü zaman,  $T_1$  tristörü tekrar ateşlenir ve çevrim tekrarlanır. Yüksek hızda,  $E$ ,  $V_s$  gerilimini aşabilir. Bu durumda  $D_3$  diodu iletecektir. Fakat ( alan boyunca oluşan ) kısa devre  $i_f$  akımını azaltacaktır. Ve böylelikle  $E$  gerilimi azalacaktır. Hem alan hem de endüvi akım geri beslemesi  $T_1$  ve  $T_2$  tristörlerinin optimum ateşlemesini garantileyecektir.

Şekil.25.b' de gösterilen devredeki rejenerasyonun açıklaması önce anlatılana benzeyecektir.  $T_1$  tristörü ateşlenecektir, milden magnetik alana enerjiyi transfer eden akım oluşacaktır.  $T_1$  tristörü ilettime sokulduğu zaman, saklanan magnetik enerji bataryaya transfer edilmiştir.



# DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞINDAN ÖRNEKLER ( KİİYİCİ KONTROLLÜ )

## AMSTERDAM METROSU



ŞEKİL. 25. Faydalı frenleme



## DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞINDAN ÖRNEKLER ( KIYICI KONTROLLÜ )

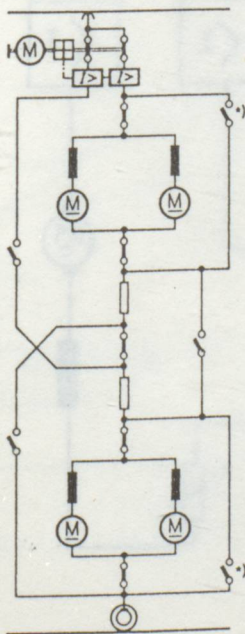
### AMSTERDAM METROSU

Hız : 80 km / h  
Boş ağırlık : 54 ton  
Besleme gerilimi : 750 V D.A., üçüncü raydan, + % 20  
- % 30

Dolu ağırlık : 75 ton  
Motor gücü : 4 x 195 kW, akım = 290 A  
Yardımcı devre besleme gerilimi 110 V D.A., bazı yerlerde 24 V D.A. dır. Frenleme serbest uyarımlı direnimle frenleme ( D.A. kıyıcılı ).

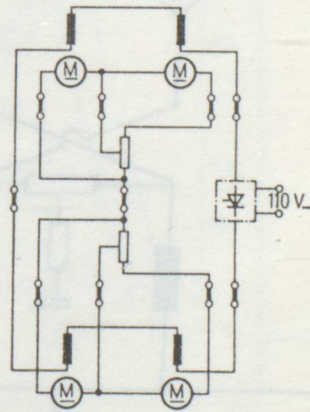
18 tane seri 7 tane paralel ve 3 tane de alan zayıflatma kademesi bulunmaktadır. Kademe sayısının fazla olması taşıtın yol alma ve frenlemedeki moment ( dolayısıyla akım ) farklılıklarını hissetmemesini sağlar.

Taşıtın yolalma durumundaki  
bağlama montajı



Şekil.26

Taşıtın frenleme durumundaki  
bağlama montajı



Şekil.27



## HIZLI TRAMVAY ( MODERN TRAMVAY )

Besleme gerilimi : 600 V D.A.

Motorlar : 2 x 165 kW

Akım : 303 A

Max hız : 70 km/h

Boş ağırlık : 25.5 Mp ( mega pound )

Oturma yeri : 174 kişilik

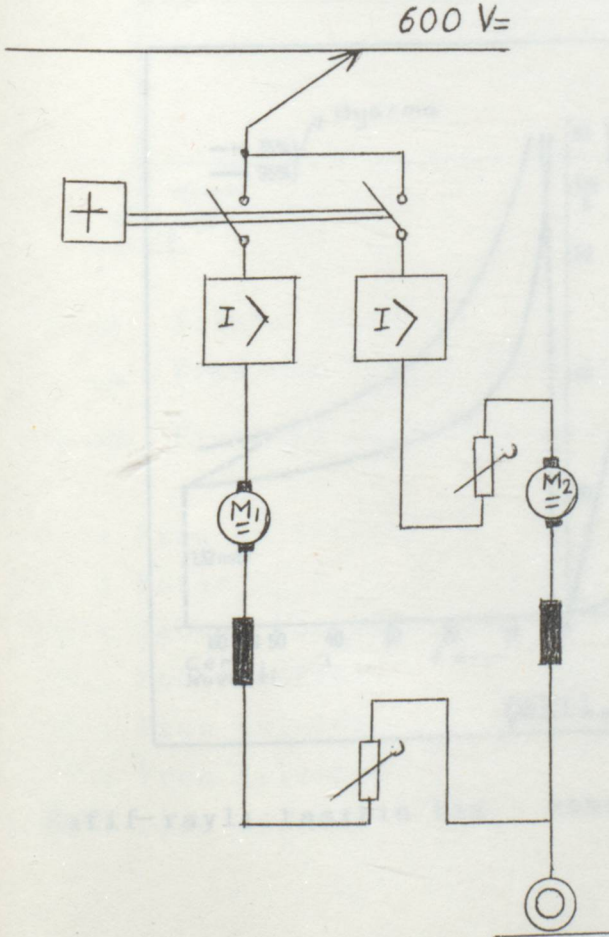
Kapasitesi : 64 oturma yeri, 77 ayakta durma yeri

Frenleme kendinden uyarmalı direnimle frenlemedir. Seyr halinde 11 seri, 8 paralel, 2 alan zayıflatma ( uyarma ) kademesi bulunur.

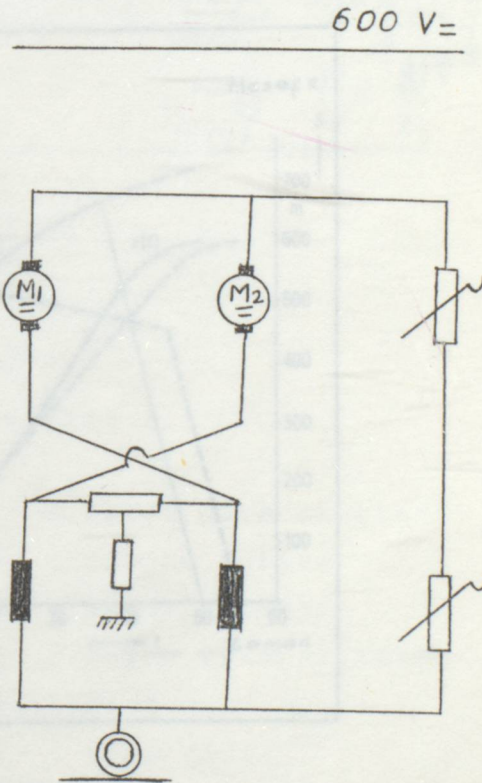
Yolalma ( paralel bağlı )

Frenleme bağlama şeması

( ön uyarmalı frenleme )



Şekil.28



Şekil.29



## HAFİF RAYLI TAŞIT RTC 1 ( CALGARY ŞEHRİNDE )

Raylar arası mesafe : 1435 mm

Taşıt genişliği : 2650 mm

Taşıt uzunluğu : 23.150 m

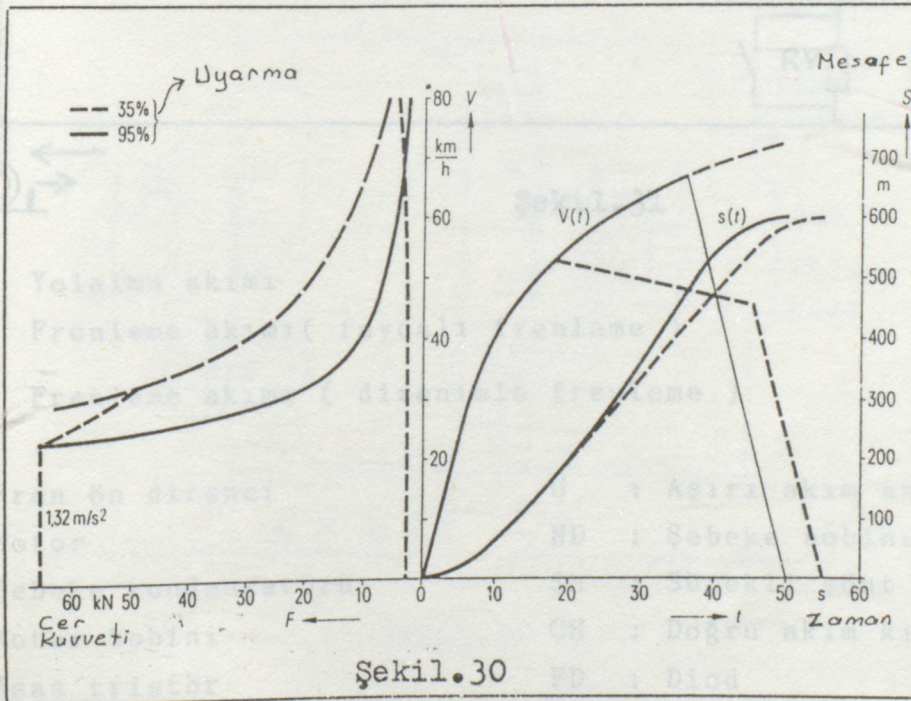
Besleme gerilimi : 600 V DA

Maksimum hız : 80 km/h

Boş ağırlık : 32.600 kg

Yolcu kapasitesi : 64 oturma yeri, 97 ayakta durma yeri  
( 0.25 m<sup>2</sup> / yolcu )

Hafif raylı taşıtların bu nesli; şehir ve banliyöler arasındaki servis için olduğu gibi, şehir taşımaları ve tünel çalışmaları için tasarlanmıştır. İki taşıma motoru vardır, her birinin saatteki güç miktarı 150 kW, sürekli çalışmada ivme 1.32 m / s<sup>2</sup> ye kadardır. Motorların seri/paralel yolalmaları için motor tahrik kontrolü çift anahtarlıdır. 17 kendinden uyarmalı reostatik frenleme kademesi ve 2 alan zayıflatma kademesi vardır.



Hafif raylı taşıtın hız - zaman eğrisi



# AVUSTRALYA' NIN MELBORN KENTİNDE KULLANILAN TRAMVAY SİSTEMİ

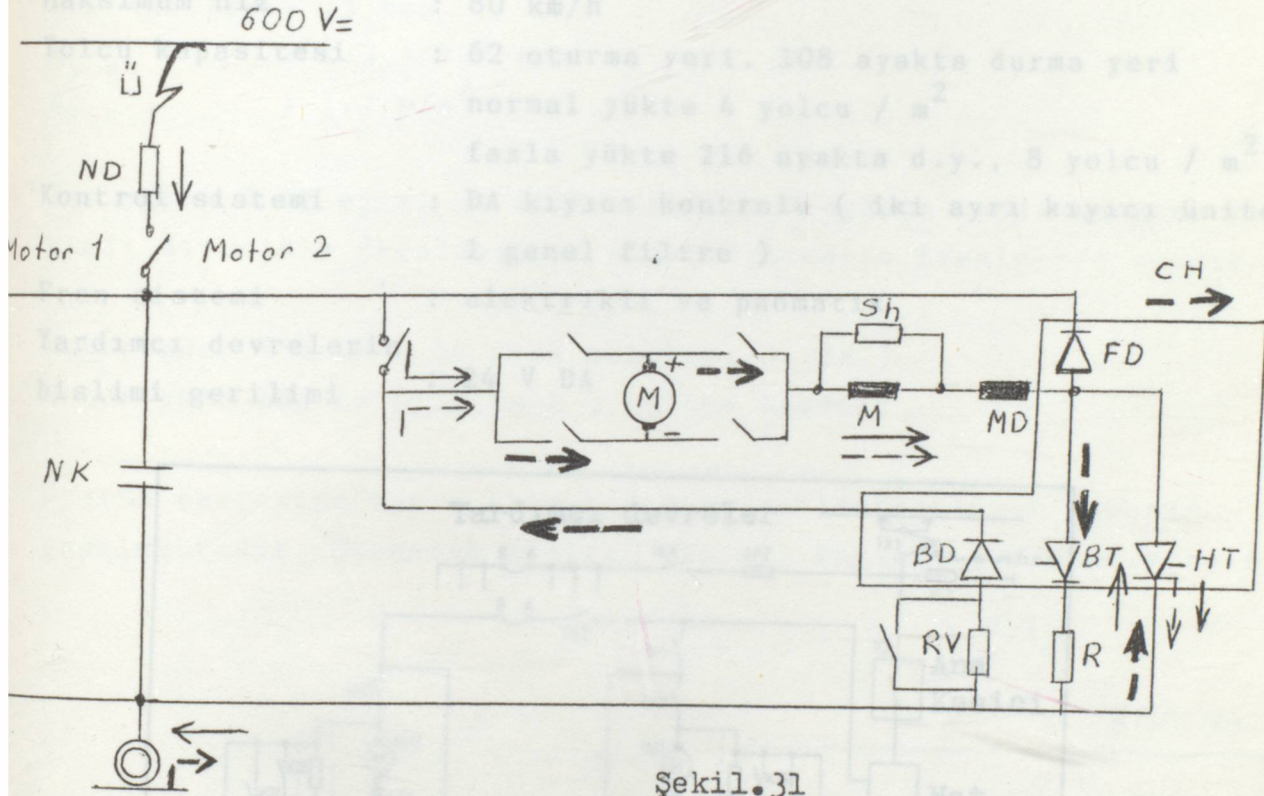
Max hız : 70 km/h : 1588 mm

Toplam yer: 129 yolcu 2685 mm

Boş ağırlık: 21 ton : 24.9 m

Gerilim : 600 V DA 650 V DA + 2 15 = 2 35

Motor iki adettir ve çektiği akım 360 A' dir.



Şekil.31

- Yol alma akımı
- → Frenleme akımı ( faydalı frenleme )
- → Frenleme akımı ( direnimle frenleme )

$R_v$  : Fren ön direnci  
 M : Motor  
 NK : Şebeke kondansatörü  
 MD : Motor bobini  
 HT : Esas tristör  
 BT : Fren tristörü  
 R : Fren direnci

Ü : Aşırı akım anahtarı  
 ND : Şebeke bobini  
 Sh : Sürekli şönt  
 CH : Doğru akım kısıyıcısı  
 FD : Diod  
 BD : Fren diodu



## HAFİF RAYLI TAŞIT ( PİTTSBURGH )

Raylar arası mesafe : 1588 mm

Araba genişliği : 2685 mm

Araba uzunluğu : 24.9 m

Besleme gerilimi : 650 V DA + % 15 - % 35

Motor gücü : 2 x 250 kW ( 1 saatte )

Maksimum hız : 80 km/h

Yolcu kapasitesi : 62 oturma yeri, 108 ayakta durma yeri

normal yükte 4 yolcu / m<sup>2</sup>

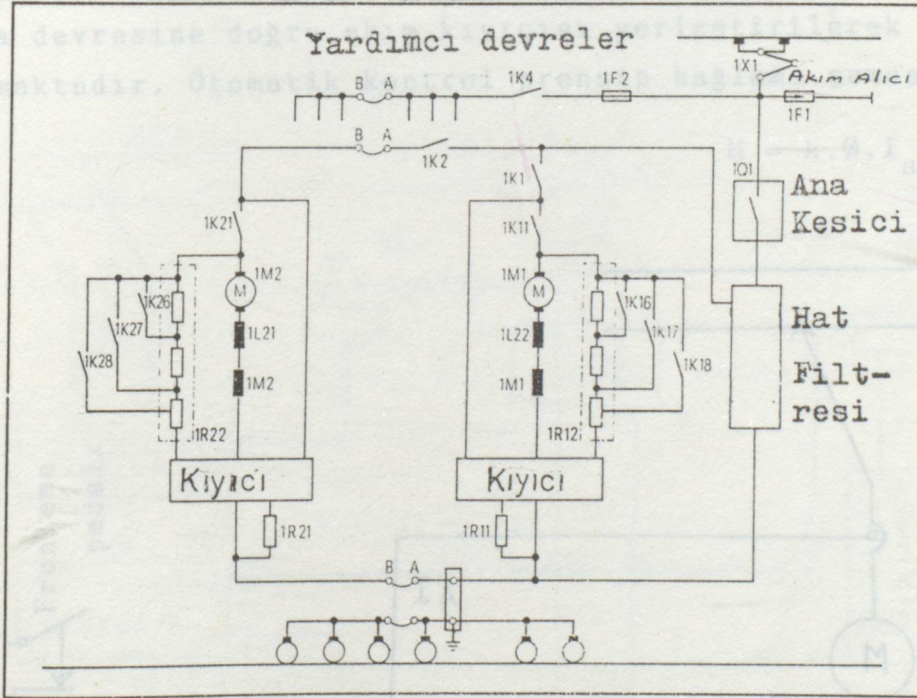
fazla yükte 216 ayakta d.y., 8 yolcu / m<sup>2</sup>

Kontrol sistemi : DA kıyıcı kontrolü ( iki ayrı kıyıcı ünitesi, 1 genel filtre )

Fren sistemi : elektrikli ve pnömatik

Yardımcı devrelerin

bislimi gerilimi : 24 V DA



Şekil.32

Ana devre blok diagramı



## TROLEYBÜS ÖRNEKLERİ

### 1. AVUSTURYA' DAN

Üç dingilli körüklüdür.

Gerilim : 600 V DA, + % 20 - % 30

Hız : 70 km/h

Boş ağırlık : 13 ton

$a_{y.a.}$  :  $1.3 \div 1.5 \text{ m/s}^2$

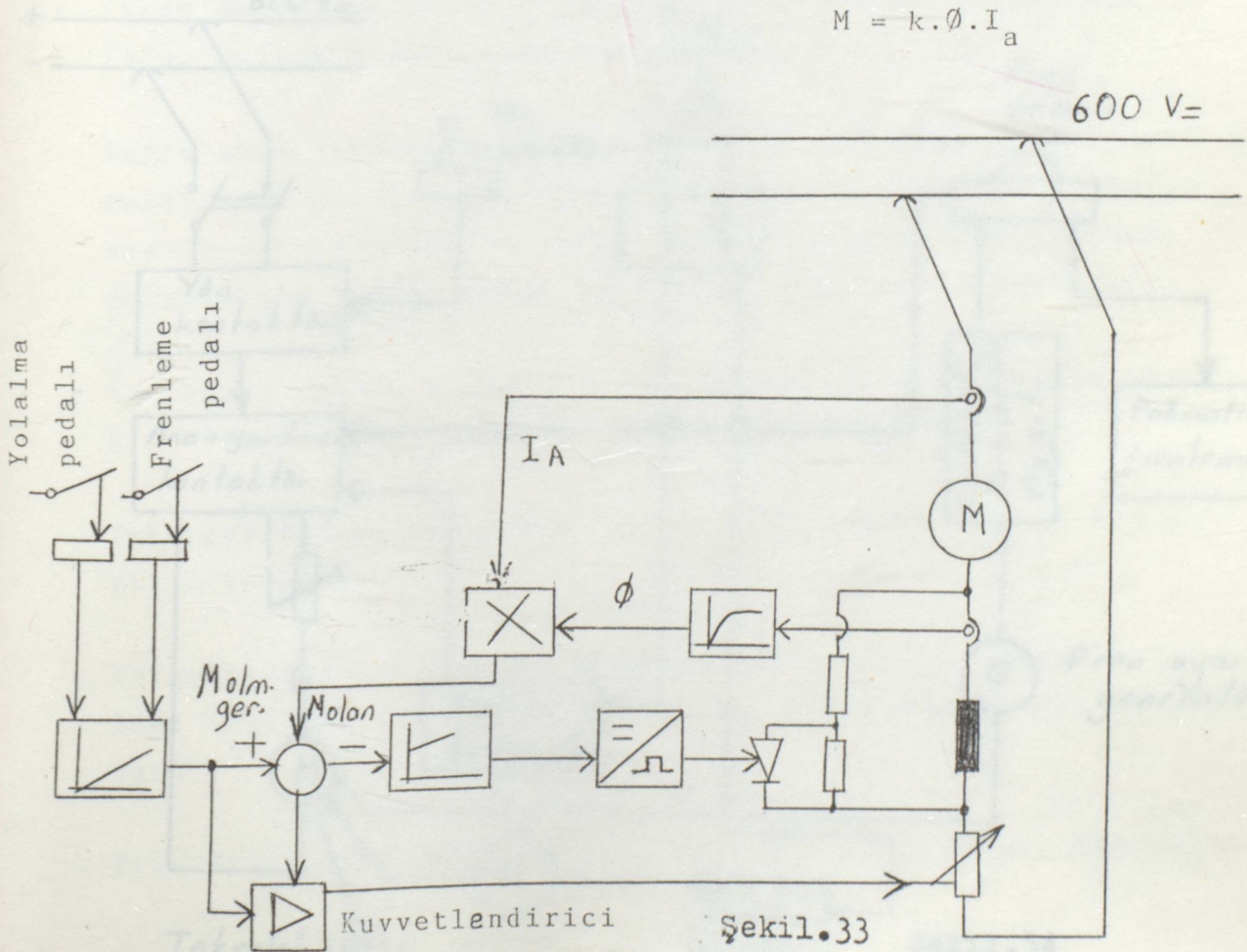
$a_{f.r.}$  :  $1.2 \text{ m/s}^2$

Tam yükte % 13 eğimi çıkabilmektedir. Frenleme kendi kendine uyarımlı direnimle frenlemedir. Ayrıca pnömatik frenlemede vardır.

Motor gücü 150 kW ( 24 km/h ortalama hızda )

Motor gücü 185 kW ( 31 km/h ortalama hızda )

Uyarma devresine doğru akım kıyıcısı yerleştirilerek kumanda yapılmaktadır. Otomatik kontrol prensip bağlama şemasını verelim:





## 2. İSVİÇRE' DEN

3 dingilli körüklüdür.

Gerilim : 600 V DA

Motor gücü: 150 kW ( 23.7 km/h ortalama hızda )

Max hız : 60 km/h

$a_{y.a.}$  :  $1.2 \text{ m/s}^2$

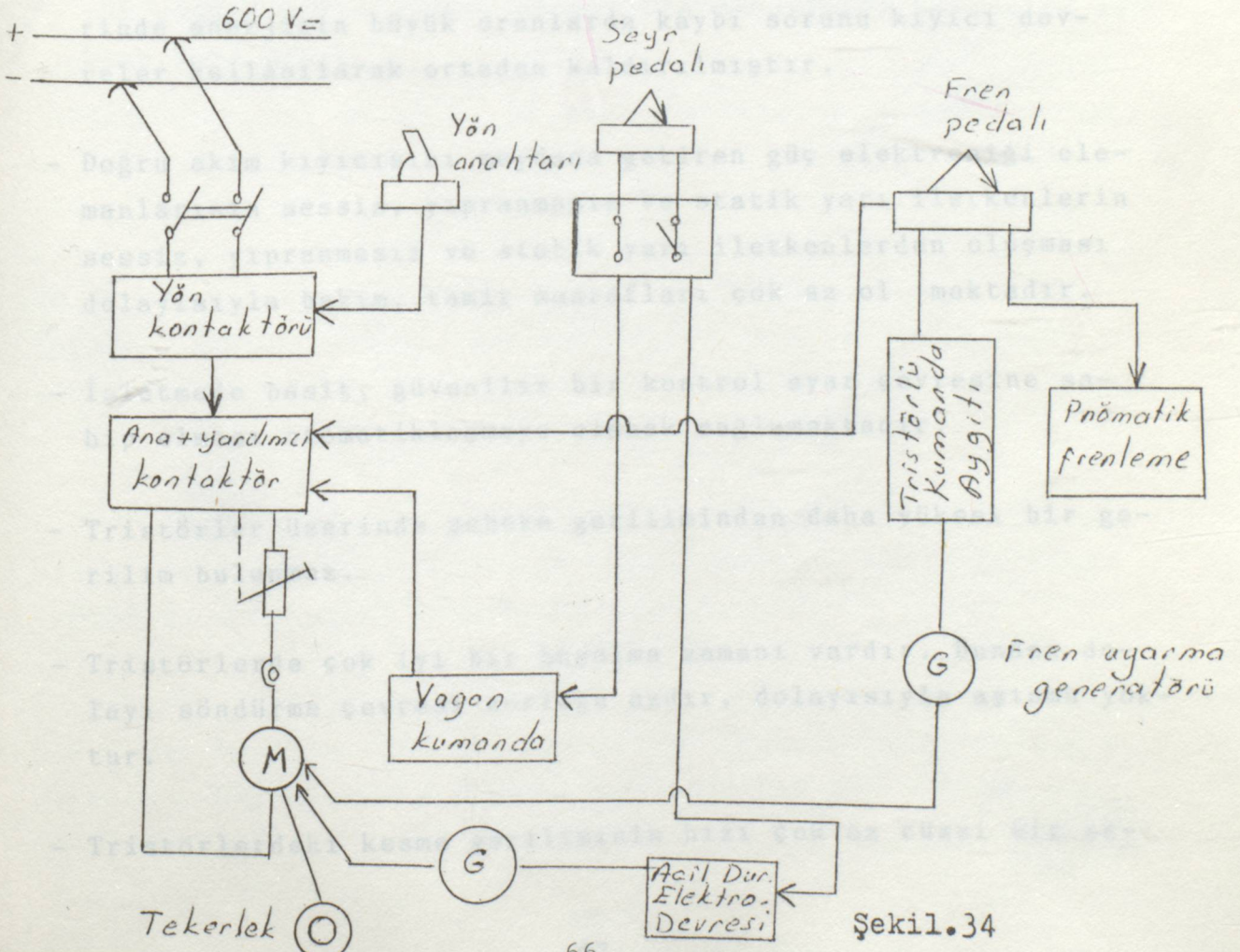
$a_{f.r.}$  :  $1.2 \text{ m/s}^2$

% 15 eğime tırmanabilmektedir.

boş ağırlık : 15.4 ton

40 oturma, 110 ayakta durma yeri mevcuttur. Serbest uyarmalı direnimsiz frenlemeli bir taşıttır. Yardımcı devrelerinde eviriciyle d.a. - a.a.'a çevrilen gerilim değişik değerlerde kullanılmaktadır.

Bu taşıtın otomatik kontrol kumanda devresi :



Şekil.34



## DOĞRU AKIM KİYİCİ İLE SAĞLANAN AVANTAJLAR

Son yıllarda Yarıiletkenler teknolojisinde ve bununla orantılı olarak güçelektronisindeki büyük gelişmeler, tahrik sistemlerinde bu elemanlardan oluşmuş devrelerin kullanılmasıyla büyük aşamalar kaydedilmesine olanak sağlamıştır. Bu gelişimin en etkili olduğu alanlardan birisi elektrikli ulaşım sistemleridir. Ulaşımdaki gelişme özellik doğru akım kiyıcısı ile beslenen yakın mesafe ulaşım sistemlerinde olmuştur.

- Kademesiz bir şekilde hareket ve frenleme her hızda istenilen çekiş gücüyle ve fren gücüyle devreye girebilmektedir.
- Enerji tasarrufu olması, iyi düzenli bir faydalı frenleme ile her hangi bir engel ile karşılaşmaksızın frenleme enerjisinin en küçük hızlarda bile şebekeye geri verilmesinin sağlanması, gerçekleştirilmektedir.
- Klasik yöntemle yapılan gerilim kontrolunda dirençler üzerinde enerjinin büyük oranlarda kaybı sorunu kiyıcı devreler kullanılarak ortadan kaldırılmıştır.
- Doğru akım kiyıcısını meydana getiren güç elektroniği elemanlarının sessiz, yıpranmasız ve statik yarı iletkenlerin sessiz, yıpranmasız ve statik yarı iletkenlerden oluşması dolayısıyla bakım, tamir masrafları çok az olmaktadır.
- İşletmede basit, güvenilir bir kontrol ayar çevresine sahip olması otomatikleşmeye olanak sağlamaktadır.
- Tristörler üzerinde şebeke geriliminden daha yüksek bir gerilim bulunmaz.
- Tristörlerde çok iyi bir boşalma zamanı vardır. Bundan dolayı söndürme çevresi zorluğu azdır, dolayısıyla aşınma yoktur.
- Tristörlerdeki kesme geriliminin hızı çok az cüzzi bir şe-



kilde yükselmektedir.

- Grupta yer alan elemanların sayısı azdır.
- Hat ile motor arasında güç transformasyonu görevini görür ve hattan yalnız ihtiyaç olan enerjinin alınmasını sağlar. Doğru akımlı taşıtlarda daha az akım çekilmesini sağlar ve böylelikle güç istasyonlarının kapasitelerinin yeterliliğini arttırır.
- Doğru akım kıyıcıları ile motorlar karakteristik eğrilerinin üstündeki noktalarda çalıştırılabilir, yalnız ısınma sınırını aşmamak koşulu ile.
- Ayar sürekli olduğu için yani kademeli olmadığından geçişlerde ayar süresince sarsıntı hissedilmez.
- Hızlanma ve yavaşlamanın kesintisiz olması elektriksel büyüklükleri kontrol eden elektronik kontrol sisteminin büyük olması hızlı olması nedeni ile motorlarda aşınma ve eskime daha azdır.



### III.3. ALTERNATİF AKIMLI TAHRİK

Elektrikli ulaşım sistemlerinde çok fazlı motor tipi olarak yalnızca asenkron motor kullanılır. Bu motor, devir sayısı - moment karakteristiği bakımından şönt karakteristiğe yaklaşıır. Klasik yöntemle ekonomik hız kontrolu yapılması istendiğinde; özel sargılar veya ikinci bir motor veya her ikiside 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 meyili 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 yaparlar. Bu tip motorların konstrüksiyon bakımından sağlam olmaları, komütatörlerinin bulunmaması ve verimlerinin yüksek bulunması gibi nitelikleri, elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılmalarının nedenidir.

Modern yöntemde, doğru akım seri motorunun d.a. kıyıcısıyla beslendiğini söylemiştik. Üç fazlı asenkron motoru ise eviricilerle ( impuls evirici veya faz sıralı evirici ) beslenmektedir. Bu evirici yöntemlerinden her ikisi de d.a. kıyıcısına göre çok karışıktır. ( Çok elemandan meydana gelmektedir). Bu da bakımı gerektirmektedir. Bunlar özellikle asenkron motor için bir dezavantajdır. Asenkron motorlar bu nedenle büyük güçlü lokomotiflerde dolayısıyla uzak mesafe ulaşım sistemlerinde daha çok tercih edilmektedir.

Buna rağmen Avrupa' da metro uygulamalarında yeni bir yöntem olarak doğru akım beslemeli üç fazlı asenkron motor kullanılmaktadır. ( Örneğin; Berlin Metrosu ).

Türkiye' de üç fazlı asenkron motor uygulaması 1 fazlı 25 kV a.a.' dan beslenen güç elektronik ara devreli ( doğrultucu + evirici ) Haydarpasa - Manevra Lokomotifi ( BBC ) örnek olarak verilebilir.



### III.3.1. KALASİK SİSTEM

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

$$n = n_s (1 - s) = \frac{f_1 \cdot (1 - s)}{p} \text{ dir.}$$

$f = st.$  olduğunu kabul ederek ( klasik yöntemde ) devir sayısı ayarını yukarıdaki formüle göre iki büyüklüğe etki ederek yapabiliriz;

- a. Kaymayı değiştirerek
- b. Kutup sayısını değiştirerek,

Bu yöntemlerin her ikisinin birlikte kullanılmasıyla birlikte sınırlı olan devir sayısı ayarı alanı oldukça genişletilmiştir.

Rotor devresinde endüklenen elektriksel gücün

$$P_g = P_2 + P_m' \text{ veya } P_g = sP_g + (1 - s) P_g \text{ olduğunu}$$

ve burada,

$P_g$  = Hava aralığı gücü,

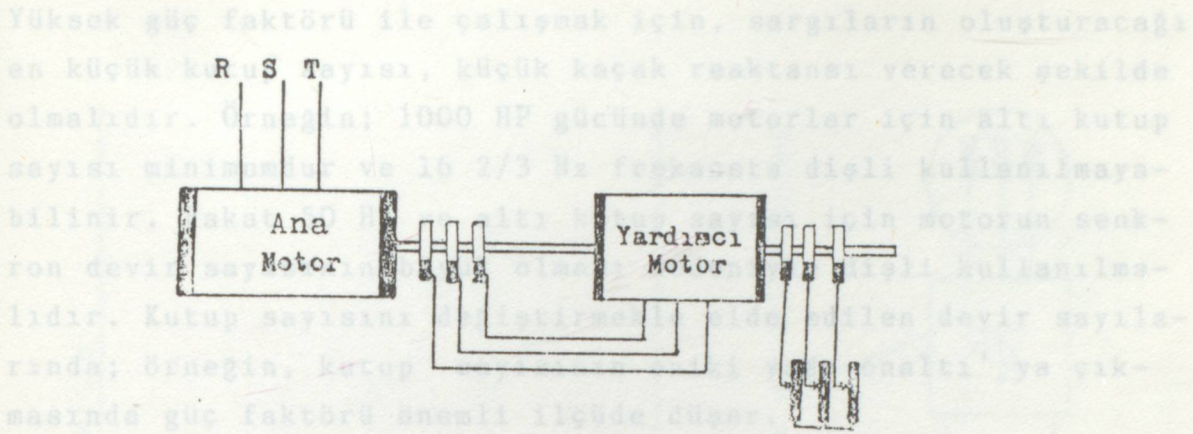
$P_2$  veya  $sP_g$  = Rotor devresinde endüklenen elektrissel güç,

$P_m'$  = Rotor devresinde endüklenen mekanik güç olduğunu ve  $P_2'$  nin kayma ile değiştiğini görüyoruz.

$M = st.$  ve  $n$  ayarının  $s$  ile yapıldığı yöntemde  $P_2$  gücü rotor devresine bağlanmış dirençlerde harcanması yerine, rotor devresine kaskad bağlı ikinci bir motor ( örneğin; asenkron motor ) vasıtasıyla bu güçten faydalanılabilir. Bu yöntemde esas motor rotor devresinde endüklenen elektriksel gücün bir bölümü akuple ikinci bir motorla tekrar mile veya besleme sistemine geri verilir.



düşünmek gerekir.



Şekil.1. Asenkron motorun kaskat bağlama düzeniyle devir sayısı ayar düzeni.

Kaskad Sistemle devir sayısı ayarının sakıncaları şu şekilde özetlenebilir :

- 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 çalışabilmektedir.
- Sistemin güç faktörü düşüktür.
- İki makinanın bulunması nedeniyle toplam verim küçüktür.
- 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 değişikliği uygulamak ile gerçekleştirilebilir.

Kutup sayısı seçiminde güç faktörünü ve çalışma hızlarını



düşünmek gerekir.

#### A- DOĞRU AKIMLA BESLENEN EVİRİCİ SİSTEMİ

Yüksek güç faktörü ile çalışmak için, sargıların oluşturacağı en küçük kutup sayısı, küçük kaçak reaktansı verecek şekilde olmalıdır. Örneğin; 1000 HP gücünde motorlar için altı kutup sayısı minimumdur ve 16 2/3 Hz frekansta dişli kullanılmayabilir. 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 yada onaltı' ya çıkmasında güç faktörü önemli ölçüde düşer.

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 kutupla ve yarı oluklu olması, dolayısıyla kaçak reaktansının küçük olması istenir.

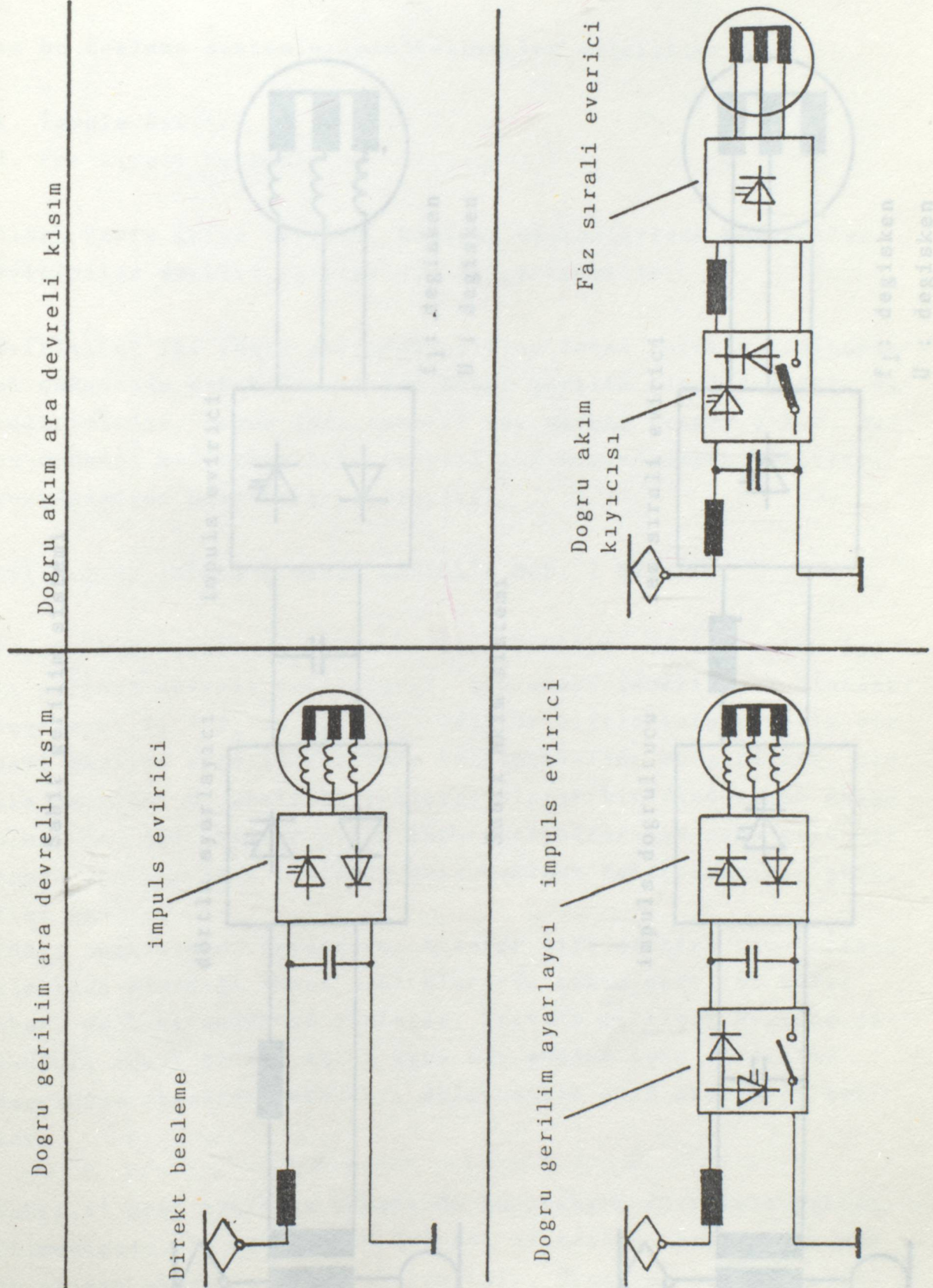
#### III.3.2. MODERN SİSTEM

Ulaşım sistemlerinde kullanılan alternatif akım tahrik motorlarının beslenmesi eviricilerle yapılmaktadır. Yalnız burada önemli olan bir konu uygun evirici tipinin seçimidir. Gerek alternatif akımla gerekse doğru akımla beslenen sistemlerde iki çeşit evirici kullanılmıştır. Yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinde küçük güçlü motorlar kullanılmaktadır. Bunun için eviriciler seçilirken motorların güçleri dikkate alınır. Ayrıca yakın mesafe ulaşım taşıtlarının düşük hızlı olmaları da eviricinin seçiminde rol oynar, çünkü bu hızlarda moment dalgalanmaları meydana gelmektedir. Motorun ısınmasına neden olan evirici çıkışındaki salınımlı geriliminde evirici için önemli bir etken olduğu şüphesizdir.

Yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinde asenkron motor-



B- ALTERNATIF AKIMLA BESLENEDE EVIRICI SISTEMI  
A- DOGRU AKIMLA BESLENEDE EVIRICI SISTEMI





## B- ALTERNATİF AKIMLA BESLEMEDE EVİRİCİ SİSTEMİ

A. Doğru Akımla Beslenen Alt. Akım Motorları

B. Alternatif Akımla Beslenen Alt. Akım Motorları.

ve bu besleme sistemlerinde kullanılan eviriciler

1. İmpuls Evirici

2. Faz sıralı Evirici

olmak üzere ikiye ayrılır. Bu sistemlerde kullanılan eviriciler şekil. 3'te görülebilir.

Eviriciler iki yönlü çalışabilirler fakat motorun beslenmesi esnasında sadece bir yönlü çalıştırılmalıdır. Bu nedenle eviricilerin içine frekans ve gerilim ayarları yapılmıştır. Bu ayarlar için reaktif güç sorunu yoktur. Bu nedenle ortadan akım çekim ve gerilim düşümü gibi sorunlar komünikasyon ve diğer problemlerle karşılaşılır.

İki yönlü çalıştırılabilir eviriciler (MOD. ) eviricinin eviricinin içine frekans ve gerilim ayarları yapılmıştır. Bu ayarlar için reaktif güç sorunu yoktur. Bu nedenle ortadan akım çekim ve gerilim düşümü gibi sorunlar komünikasyon ve diğer problemlerle karşılaşılır.

Yüksek empedanslı bir devrede, triyot çiftleri arasında bir frekans ve gerilim ayarları yapılmıştır. Bu ayarlar için reaktif güç sorunu yoktur. Bu nedenle ortadan akım çekim ve gerilim düşümü gibi sorunlar komünikasyon ve diğer problemlerle karşılaşılır.

İletimle empedanslı bir devrede, triyot çiftleri arasında bir frekans ve gerilim ayarları yapılmıştır. Bu ayarlar için reaktif güç sorunu yoktur. Bu nedenle ortadan akım çekim ve gerilim düşümü gibi sorunlar komünikasyon ve diğer problemlerle karşılaşılır.

Şekil. 4'teki bağlantı esnasında komünikasyon devreleri kontrol edilmelidir. Bu devrelerin doğru çalışması için gerekli ayarlar yapılmalıdır. Örneğin, frekans ve gerilim ayarları yapılmalıdır.

Sabit gerilim sistemi

impuls evirici

dörtlü ayarlayıcı

$f_1$ : degisken

$U$ : degisken

Sabit akım sistemi

faz sıralı evirici

impuls dogrultucu

$f_1$ : degisken

$U$ : degisken

ŞEKİL. 3



lar besleme sistemine göre;

A. Doğru Akımla Beslenen Alt.Akım Motorları

B. Alternatif Akımla Beslenen Alt.Akım Motorları,

ve bu besleme sistemlerinde kullanılan eviriciler de ;

1. İmpuls Evirici

2. Faz sıralı Evirici

olmak üzere ikiye ayrılır. Besleme sistemlerinde kullanılan eviriciler şekil.2 ve şekil.3' de görülebilir.

Eviriciler iki yönlü çalışmaktadırlar fakat motorun beslenmesi esnasında şebekeden alınan doğru gerilim ideal değildir ve salınımlıdır. Bunun için reaktif güç sorunu ortaya çıkar. Bunu ortadan kaldırmak için reaktif güç kopmanzasyonu yapılır, kompanzasyon devreleri kullanılır.

#### III.3.2.1. İMPULS ( DARBE GENİŞLİK MOD. ) EVİRİCİ

İmpuls eviricinin açıklanması için şekil.4' de basit tek fazlı evirici devresi verilmiştir. Çalışmayı inceleyecek olursak: 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 dikdörtgen 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 dirençler üzerinden akmasını sürdürür, dolayısıyla akım kaynağını besler.

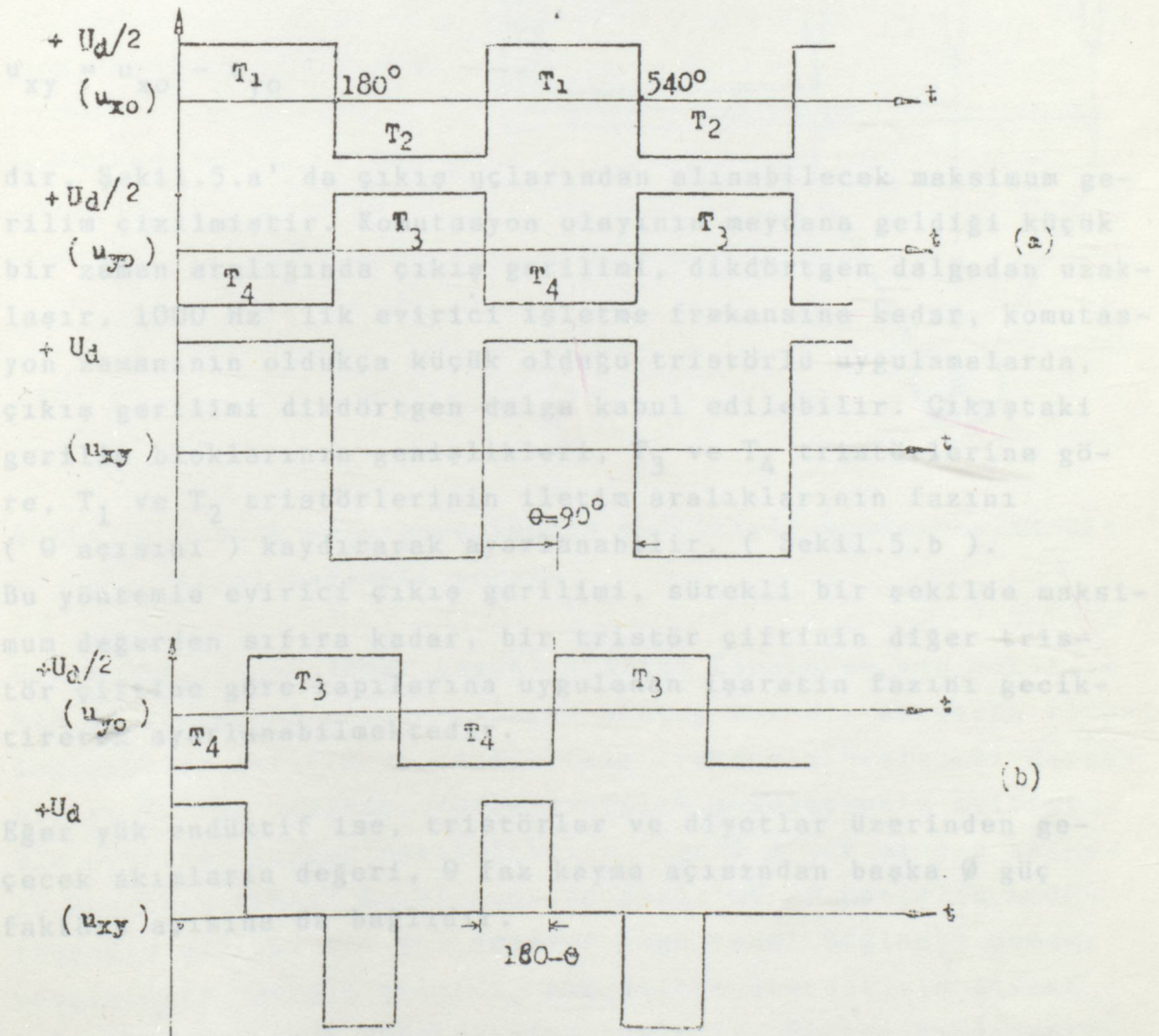
Şekil.4' deki bağlantı şemasında komutasyon devreleri gösterilmemiştir. Bu komutasyon devresi sitenilen herhangi bir anda akımın akmasını durdurabilmelidir. Örneğin, her bir tris-



törün beslen geçirilmesinde bir komutasyon devresi kullanıla-  
bilir. Ayrıca  $T_1$  ve  $T_2$  tristorlerinin ( veya  $T_3$  ve  $T_4$  tristor-  
leri) çıkışları aynı anda dolaşırılma ve aynı şekilde  
beslenerek, tristorlerin aynı anda iletimde olmaları, dola-  
şısıyla kısa devre önlenir.

Şekil 5'de  $x$  ve  $y$  noktalarının doğru akım kaynağının teorik  
nötr noktası  $O$  ya göre  $x$  ve  $y$  noktalarının gerilimleri  $u_{xo}$  ve  $u_{yo}$  olarak  
gösterilmiştir. Burada,  $u_{xo}$  ve  $u_{yo}$  gerilimleri dikdörtgen dalga biçimine sahip-  
tir. Çünkü  $x$  ve  $y$  noktaları sürekli doğru akım kaynağının bir  
ucuna ve sonra da diğer ucuna bağlanmaktadır. Buna göre: cı-

Şekil. 4. Tek fazlı impuls eviricinin temel bağlantı şeması



Şekil.5. Şekil.4'deki devrede faz kayma açısı a.  $\theta = 0^\circ$ ,  
b.  $\theta = 90^\circ$  değerleri için gerilimlerin zamanla değişimi.



törün kesime geçirilmesinde bir komutasyon devresi kullanılabilir. Ayrıca  $T_1$  ve  $T_2$  tristörlerinin ( veya  $T_3$  ve  $T_4$  tristörlerinin ) kâkpları aynı kare dalga gerilimle uygun şekilde beslenerek, bu tristörlerin aynı anda iletimde olmaları, dolayısıyla kısa devre önlenmiş olur.

Şekil.5' de x ve y noktalarının doğru akım kaynağının teorik nötr noktası 0' 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;

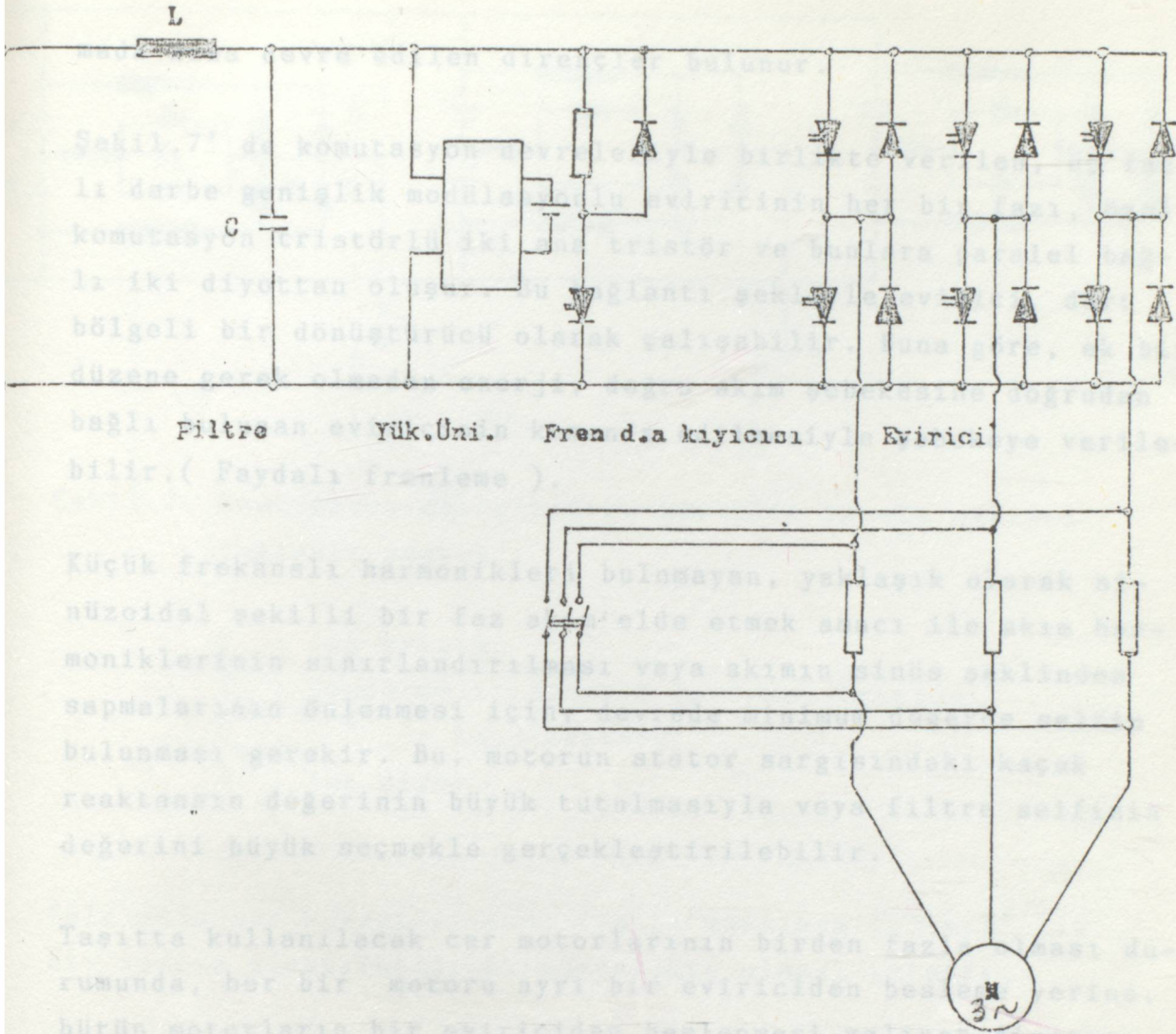
$$u_{xy} = u_{xo} - u_{yo}$$

dır. Şekil.5.a' da çıkış uçlarından alınabilecek maksimum gerilim çizilmiştir. Komutasyon olayının meydana geldiği küçük bir zaman aralığında çıkış gerilimi, dikdörtgen dalgadan 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 (  $\theta$  açısını ) kaydırarak ayarlanabilir. ( Şekil.5.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,  $\theta$  faz kayma açısından başka  $\emptyset$  güç faktörü açısına da bağlıdır.





Şekil.6. Tahrik motorunun impuls eviriciyle beslenmesine ait karakter temel bağlantı şeması

Geniş bir yük ve devir sayısı aralığı üzerinden hem motor ve hem de generatör olarak çalışan sincap kafesli asentron motor, değişebilir gerilim ve değişebilir frekanslı beslemeyi gerektirir. Bu tür besleme, darbe genişlik modülasyonlu evirici ile doğrudan gerçekleştirilebilir. Şekil 6' da sincap kafesli asentron 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 ve 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 çalış-



mada kısa devre edilen dirençler bulunur.

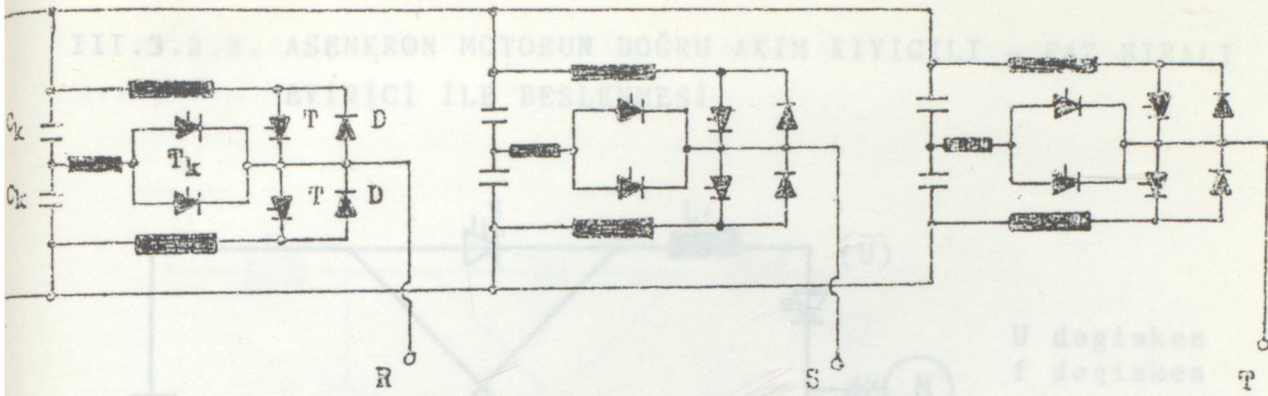
Şekil.7' de komutasyon devreleriyle birlikte verilen, üç fazlı darbe genişlik modülasyonlu eviricinin her bir fazı, özel komutasyon tristörlü iki ana tristör ve bunlara paralel bağlı iki diyottan oluşur. Bu bağlantı şekliyle evirici, dört bölgeli bir dönüştürücü olarak çalışabilir. Buna göre, ek bir düzene gerek olmadan enerji, doğru akım şebekesine doğrudan bağlı bulunan eviricinin kumanda edilmesiyle şebekeye verilebilir.( Faydalı frenleme ).

Küçük frekanslı harmonikleri bulunmayan, yaklaşık olarak sinüzoidal şekilli bir faz akım'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 kullanılması yerinde olur. Çünkü motorlar arasındaki devir sayısı, farklı olduğu takdirde, motorların çektikleri akımların veya verdikleri momentlerin belirli bir sınır içinde olması gerekir.

Fren çalışma durumunda, asenkron makina generatör olarak çalışır. Gerekli koşullar gerçekleştirildiğinde 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.





Şekil.7. Komütasyon devreleriyle birlikte impuls evirici bağlantı şeması

T : Ana tristör

$T_k$  : Söndürme tristörü ( yardımcı tristör )

$C_k$  : " kondansatörü

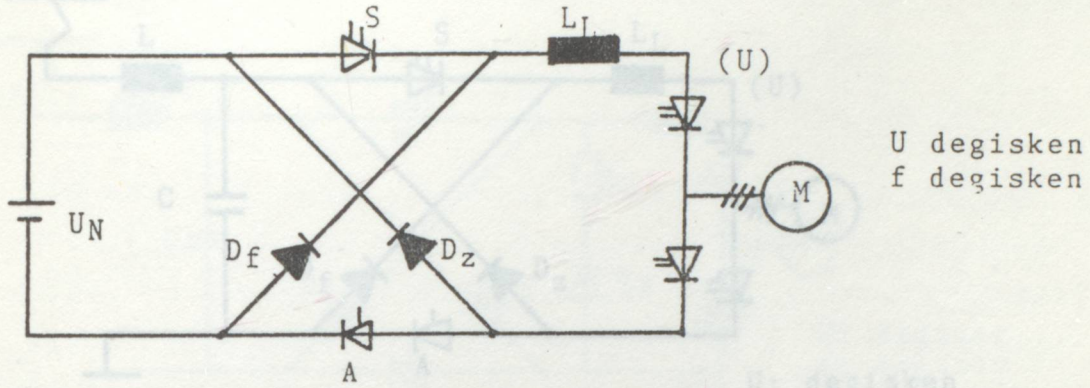
D : Ana diyot

Yolalmada cer kuvvetlerinin, taşıtı maksimum  $1.3 \text{ m/s}^2$  lik bir ivmeye ulaştırabilecek büyüklükte olması istenir.

Frenlemede ise, maksimum hızlarda da  $1.3 \text{ m/s}^2$  lik frenleme ivmesi istenir. Bunun sonucunda, maksimum hızda ortaya çıkan fren gücünün değeri, yol alma gücünün iki kat değerine erişir. Tramvaylarda ise güvenliknedeni ile yönetmelikler gereği sürekli frenleme ivmesi  $1.8 \text{ m/s}^2$  öngörülmüştür. O halde, bilhassa frenleme ivmesinin büyük olduğu taşıtlarda, bütün tahrik düzenlerinin boyutlandırılmasında, fren çalışma göz önünde bulundurulmalıdır. Yüksek hızlardaki frenlerde ortaya çıkan gücün normal işletmelerdeki güçten çok daha büyük olması nedeniyle, eğer fren fücü, eviricinin izin verilen maksimum gücünü aşı yorsa, 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.



### III.3.2.2. ASENKRON MOTORUN DOĞRU AKIM KIYICILI - FAZ SIRALI EVİRİCİ İLE BESLENMESİ



Şekil.8. Doğru akım kıyıcılı - faz sıralı evirici ile beslenen as.motorun temel bağlantı şeması

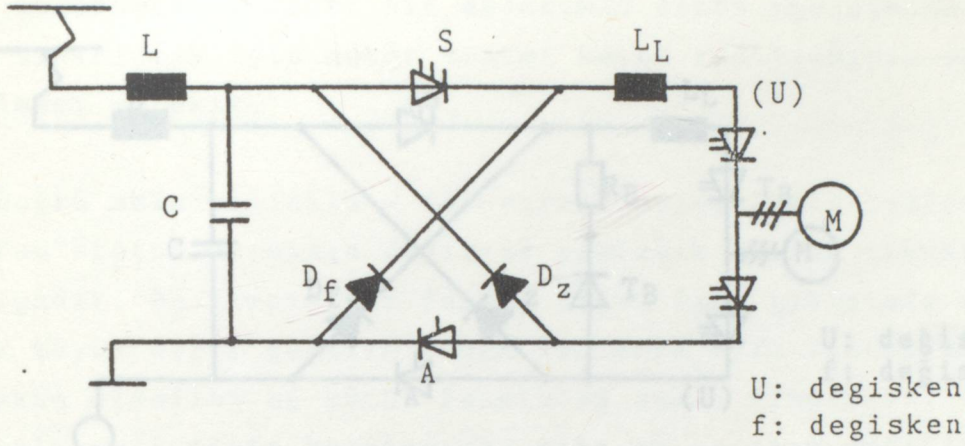
Alternatif akımlı tahrik sisteminde besleme sistemleri açıklanırken açıklandığı gibi çok fazlı AC tahrik motoru olarak asenkron motor kullanılıyor ve iki değişik besleme sistemi var.

Yukarıda görülen bağlantı şeması sabit şebeke gerilimi ile beslenir ve  $S$  ile gösterilen doğru akım kıyıcısı tarafından gerilim sıfır ve şebeke gerilimi arasında değiştirilerek eviriciye uygulanır, evirici ise daha önce anlatıldığı şekilde çalışarak yani tristörlerin tetiklenme frekansı ayarı ile aynı şekilde asenkron motorun gerilimi ayarlanmış olur. Böylece frekans ve gerilim ayarı ile kontrol yapılır. Burada  $D_f$  motor boş dolaşma diyodu,  $D_z$  geri besleme diyodu,  $A$  otomatik anahatar görevi yapar ve frenleme anında açılır. Blok şemada da gösterildiği gibi devre girişine bir LC filtresi konabilir.

Bu devreye kıyıcı girişindeki akımı düzeltmek amacı ile bir LC filtresi konmuş devre düzenlemesi şekil.9' da görülmektedir. Bu filtre seyriletkeninden beslemelerde hattan gelebilecek darbeleri akımlar için gerekmektedir. Burada ayrıca yine evirici ile kıyıcı arasında ara devre bobini bulunmaktadır. Bunun nedeni ise eviricinin belli bir akımla çalışmasıdır.



sı gerektiğindendir.  $L_L$  bobini ise akım dalgalanmasını sınırlamaktadır. Enerjinin geri besleme verilebilmektedir.



Şekil.9. Girişteki filtre devresi ile birlikte seyr iletkeninden besleme

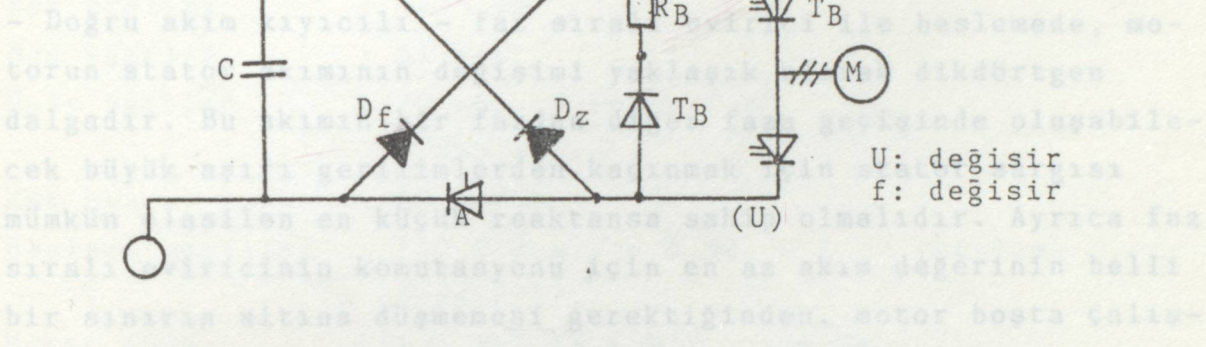
Seyr iletkeninden sabit doğru gerilimle beslenen doğru akım kırıyıcılı - faz sıralı evirici ile kontrol edilen asenkron motorun fren çalışması ise şekil.10' da görölüyor. Fren çalışması A otomatik şalterinin açılması ile oluyor. Burada ayrıca fren direnci  $R_B$  ve birde fren tristörü  $T_B$  vardır. Bu  $T_B$  tristörü yerine fren kırıyıcısı da konabilir. Asenkron makina frenlendiği anda U ile gösterilen faz sıralı evirici o anda generatör olarak çalışan asenkron makinadan aldığı enerjiyi doğrultarak geri besleme diyonu  $D_z$  üzerinden şebekeye vermektedir.

Bu esnada A otomatik anahtar açık olduğu için şebekeden devreye herhangi bir enerji akışı olmaz. Frenleme olayında  $T_B$  frenleme tristörü kesime ve ilettime götürölerek faydalı frenleme yapılır. Tristör iletimde iken bağlantı kısa devre olur. Bu esnada  $L_L$  bobini üzerinde akım kuvvetlendirilir, tristörün kesimi esnasındada geri besleme diyonu ( $D_z$ ) üzerinden şebekeye verilir.

Bu tür besleme sistemleri özellikle yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinde metrolarda kullanılmaktadır. Yakın me-







Şekil.10.Seyr iletkeni bağlantılı asenkron makinanın fren işlemleri bağlantı şeması

Faz sıralı eviricinin 3 fazlı bağlantı şeması şekil.11' de görülmektedir.

ASENKRON MOTORUN KONTROLUNDA KULLANILAN DOĞRUDAN BESLENEN  
İMPULS EVİRİCİLİ DÜZENLE DOĞRU AKIM KIYICILI - FAZ SIRALI  
EVİRİCİLİ DÜZENİN KARŞILAŞTIRILMASI

- İmpuls 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 gereksinme vardır. Bu ise büyük ağırlıkların olması sonucunu doğurur.

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



- İmpuls evirici, motorun stator sargılarına, her yarı periyotta bir çok gerilim blokları uygular. Böylece stator akımında, yukarı ve aşağıya doğru çıkıntılar oluşur. Akımdaki bu bozunumları, diğer bir anlatımla sinüs eğrisinden 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 olası 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.

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

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



### III.3.2.3. ALTERNATİF AKIM MOTORLU TAHRİK İLE İLGİLİ ÖRNEKLER

#### NUREMBERG METROSU

Tristör kontrollü, 3 faz AA tahrikli ve faydalı frenlemelidir.

Ray aralığı : 1435 mm

Boş ağırlık : 51 ton

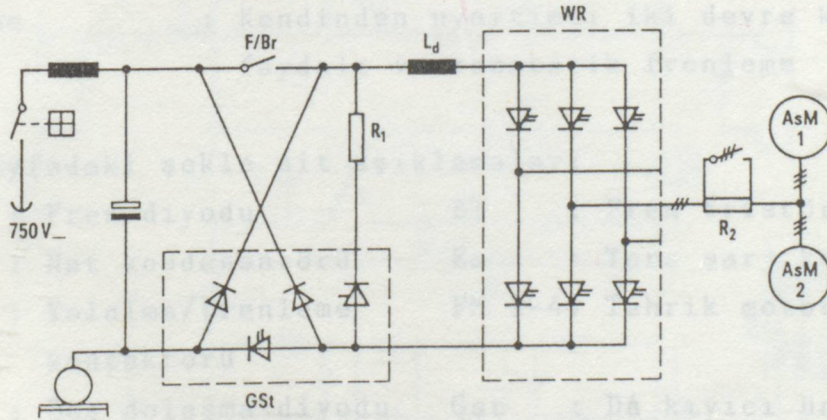
Dolu ağırlık : 70 ton, 4 yolcu / m<sup>2</sup>  
( 288 yolcu )

Max hız : 80 km/h

Besleme gerilimi : 750 V d.a., - % 30, + % 20 (besleme 3.ray-  
dandır ).

Motor gücü : 4 x 200 kW / 0.5 - 180 Hz

Taşıt kontrolü en modern yöntemlerden biri olan SİMOTRAC ile yapılmaktadır. Frenleme Kendinden uyarımlı faydalı/reostatik frenlemedir. Yardımcı devreler 110 V DA ile beslenmektedir.



Şekil.11

Şekil'de Hat filtreli bir taşıtın ana devre diyagramı

F / Br Yol alma / frenleme kontaktörü

GSt DA kıyıcı

WR Evirici

L<sub>d</sub> Bobin

R<sub>1</sub> Fren direnci

R<sub>2</sub> Seri fren direnci

M Asenkron motor



## BERLİN METROSU

|                                |                                                                                                                      |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ray aralığı                    | : 1435 mm                                                                                                            |
| Boş ağırlık                    | : 43 ton                                                                                                             |
| Dolu ağırlık                   | : 70 ton                                                                                                             |
| Yolcu kapasitesi               | : 72 oturma yeri, 320 toplam oturma yeri<br>( 6 yolcu / m <sup>2</sup> )                                             |
| Max hız                        | : 80 km/h                                                                                                            |
| Besleme gerilimi               | : 750 V DA, - % 30, + % 20<br>Besleme 3. raydan yapılmaktadır.<br>( Negatif kutup 3.ray, pozitif kutup taşıma rayı ) |
| Tahrik Motorları               | : 4 x 133 kW/0.5 - 180 Hz, kontrol tristör ayarlama üniteli SİMOTRAC YÖNTEMİ İLE yapılmaktadır.                      |
| Max yolalma ve frenleme ivmesi | : 1.8 m/s <sup>2</sup>                                                                                               |
| Güç elektroniği donanımı       | : DA / üç - fazlı AA konverter                                                                                       |
| Yardımcı devreler              | 110 V DA ile beslenmektedir.                                                                                         |
| Frenleme                       | : Kendinden uyarımlı iki devre kesicili faydalı ve reostatik frenleme                                                |

Arka sayfadaki şekle ait açıklamalar;

|     |                               |         |                          |
|-----|-------------------------------|---------|--------------------------|
| BD  | : Fren diyodu                 | BT      | : Fren tristörü          |
| CN  | : Hat kondansatörü            | Es      | : Ters şarj kontaktörü   |
| FBS | : Yolalma/frenleme kontaktörü | FM 1-4: | Tahrik motorları         |
| FD  | : Boş dolaşma diyodu          | Gst     | : DA kıyıcı ünitesi      |
| HS  | : Yüksek hız kesici devresi   | Ld      | : DA aradevre bobini     |
| LN  | : Hat bobini                  | KS      | : Kondansatör kontaktörü |
| LS  | : Ön-şarj kontaktörü          | RE      | : Ters şarj direnci      |
| RB  | : Frenleme direnci            | Rv      | : Seri fren direnci      |
| RL  | : Şarj direnci                | ÜS      | : Köprüleme kontaktörü   |
| Ts  | : Hat yalıtım kontak.         | WR      | : Faz sıralı evirici     |
| ÜT  | : Köprüleme tristörü          |         |                          |



# ÜÇ FAZLI ALTERNATİF AKIM TAHRİK MOTORLARI İÇİN YAPILAN YENİ ARAŞTIRMALARDAN BİR ÖRNEK

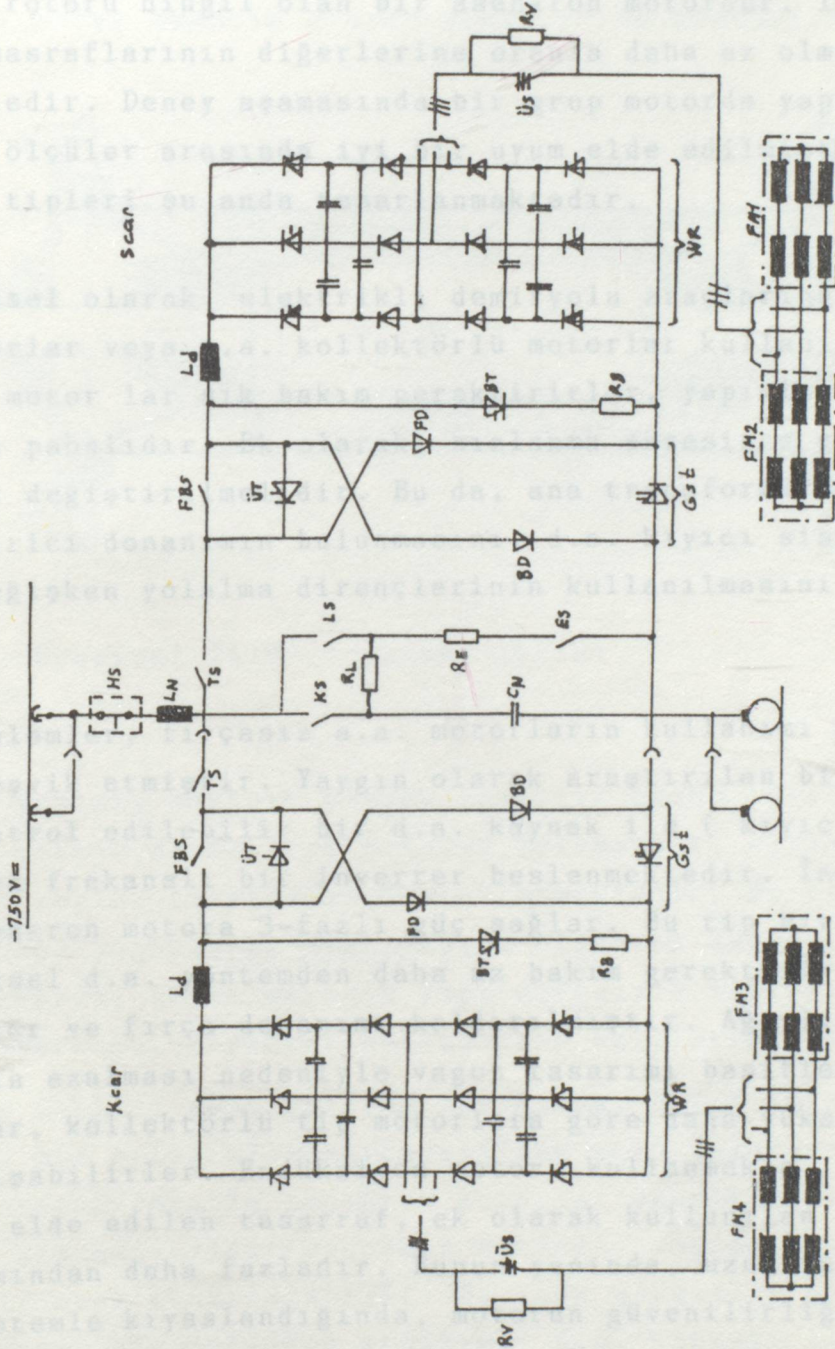
## DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI İÇİN DİNGİL RÖTÖRLÜ ASENKRON MOTORLAR

Bu motor, tekerlekleri dişli kullananlardan doğrudan tahrik eden ve rotörü dingil olan bir asenkron motordur. İmalat ve bakım masraflarının diğerlerine göre daha az olması beklenmektedir. Deney aşamasında üretilen motorun yapılış hâsası ve ölçüler aşağıda verilmektedir.

Geleneksel olarak bu motorlar, kolektörlü motorlar olarak üretilmektedir. Bu tip motorlar, bakım masraflarının yüksekliği ve verimliliği düşüklüğü nedeniyle, yeni üretilen motorların yerini almaktadır. Bu da, ana tahrik kademesi olarak, değişirici donanımların kullanılması gerektirir. Bu motor, tekerlekleri dişli kullananlardan doğrudan tahrik eden ve rotörü dingil olan bir asenkron motordur. İmalat ve bakım masraflarının diğerlerine göre daha az olması beklenmektedir. Deney aşamasında üretilen motorun yapılış hâsası ve ölçüler aşağıda verilmektedir.

Bu motor, tekerlekleri dişli kullananlardan doğrudan tahrik eden ve rotörü dingil olan bir asenkron motordur. İmalat ve bakım masraflarının diğerlerine göre daha az olması beklenmektedir. Deney aşamasında üretilen motorun yapılış hâsası ve ölçüler aşağıda verilmektedir.

Bu motor, tekerlekleri dişli kullananlardan doğrudan tahrik eden ve rotörü dingil olan bir asenkron motordur. İmalat ve bakım masraflarının diğerlerine göre daha az olması beklenmektedir. Deney aşamasında üretilen motorun yapılış hâsası ve ölçüler aşağıda verilmektedir.



ŞEKİL.12. BERLİN METROSU İÇİN ÜÇ FAZLI AC TAHRİK  
(ana devre diagramı)



## ÜÇ FAZLI ALTERNATİF AKIM TAHRİK MOTORLARI İÇİN YAPILAN YENİ ARAŞTIRMALARDAN BİR ÖRNEK

### DEMİRYOLU TAŞIMACILIĞI İÇİN DİNGİL ROTORLU ASENKRON MOTORLAR

Bu motor, tekerlekleri dişli kullanmadan doğrudan tahrik eden ve rotoru dingil olan bir asenkron motordur. İmalat ve bakım masraflarının diğerlerine oranla daha az olması beklenmektedir. Deney aşamasında bir grup motorda yapılan hesap ve ölçüler arasında iyi bir uyum elde edilmiştir. Yeni üretim tipleri şu anda tasarlanmaktadır.

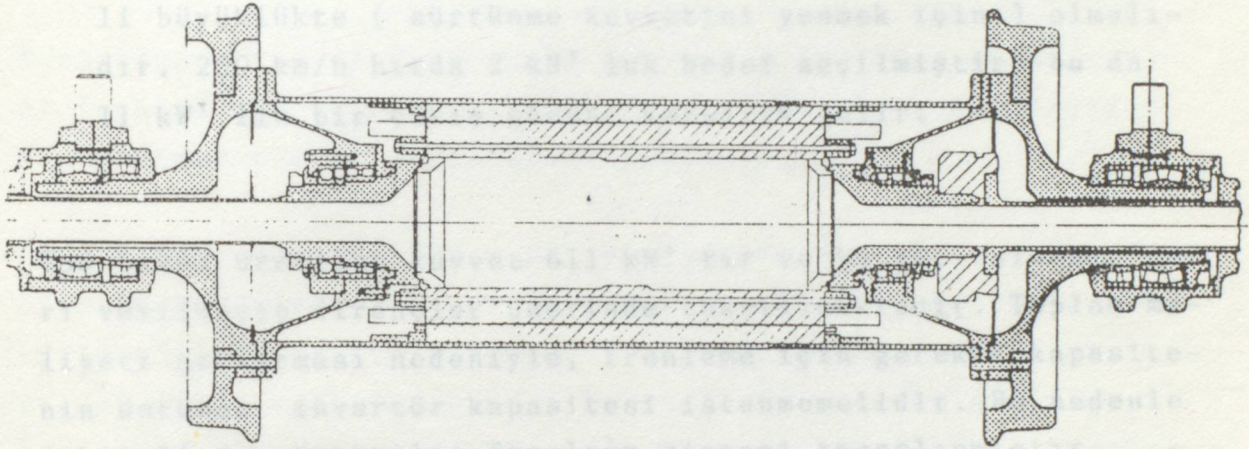
Geleneksel olarak, elektrikli demiryolu araçlarında d.a. seri motorlar veya a.a. kollektörlü motorlar kullanılırlar. Bu tip motorlar sık bakım gerektirirler, yapımları ve işletimleri pahalıdır. Ek olarak, hızlanma süresince giriş gerilimleri değiştirilmelidir. Bu da, ana transformatörde kademe değiştirici donanımın bulunmasını, d.a. kıyıcı sistemleri veya değişken yolalma dirençlerinin kullanılmasını gerektirir.

Bu problemler, fırçasız a.a. motorların kullanımı çalışmalarını teşvik etmiştir. Yaygın olarak araştırılan bir yöntemde, kontrol edilebilir bir d.a. kaynak ile (kıyıcı gibi) değişken frekanslı bir inverter beslenmektedir. İnverter de bir asenkron motora 3-fazlı güç sağlar. Bu tip bir sistem geleneksel d.a. yöntemden daha az bakım gerektirir, çünkü kollektör ve fırça donanımı kaldırılmıştır. Ağırlığın ve boyutların azalması nedeniyle vagon tasarımı basitleşir. Bu motorlar, kollektörlü tip motorlara göre daha yüksek hızlarda çalışabilirler. Endüksiyon motoru kullanmakla, ilk yatırımdan elde edilen tasarruf, ek olarak kullanılan inverter yatırımından daha fazladır. Bunun yanında, uzun zamanda klasik sistemle kıyaslandığında, motorun güvenilirliği artmıştır ve bakım masrafları azalmıştır. Bir asenkron motor, tam anlamıyla bir elektrikselsel fren olarak çalışabilir. Asenkron motor, frenleme sırasında yüksek moment üretir fakat klasik motorlarda bu moment kollektör tarafından sınırlanır. Elektrik frenleri özellikle yüksek hızlarda faydalıdır, çünkü 160 km/h' i aşan hızlarda sürtünme frenlerinin ağır-



lık ve performans sınırlamaları vardır. Bu nedenlerden dolayı İngiliz Demiryolları Araştırma ve Geliştirme Bölümü tarafından alternatif bir motor tipi geliştirilmiştir.

Dingil rotorlu asenkron motor olarak ( TAIM, İng. adının kısaltılmışı, Tubular - axle induction motor ) adlandırılan bu deneysel motor şematik olarak şekil.1' de gösterilmiştir.



Şekil.1. Deneysel TAIM' in genel yapısı

Motorun yapısı, mekanik olarak basittir çünkü, dişli kutuları ve iletim elemanları ortadan kalkmıştır. Ayrıca, motor doğrudan raylar tarafından desteklenmektedir. Bu da motorlu ve motorsuz vagonların aynı yapıda olmasını sağlar. Bir çok uygulamalarda, basit mekanik yapı nedeniyle sağlanan ilk yatırım tasarrufu, inverter kullanmanın maliyetini karşılar.

Tekerlek setinin sert çalışma ortamında, hafifliğin ve sağlamlığın bir bileşimini sağlayabilmek için yalnızca kafesli ve yekpare rotorlu asenkron motorlar önerilebilir. Güç besleme sistemi, diğer asenkron motorlu taşıma sistemleri örnek alınarak tasarlanabilir. Bu rada anlatılan güç besleme sistemi bir değişken gerilimli d.a. kaynağı ile  $120^{\circ}$  kare - dalga, değişken frekanslı inverterden oluşur. Bu motorlar laboratuvar ve yol testlerinde denenmişlerdir.

Şehir dışı ulaşım için kullanılacak bir üretim öncesi tip motorun tasarımı devam etmektedir.

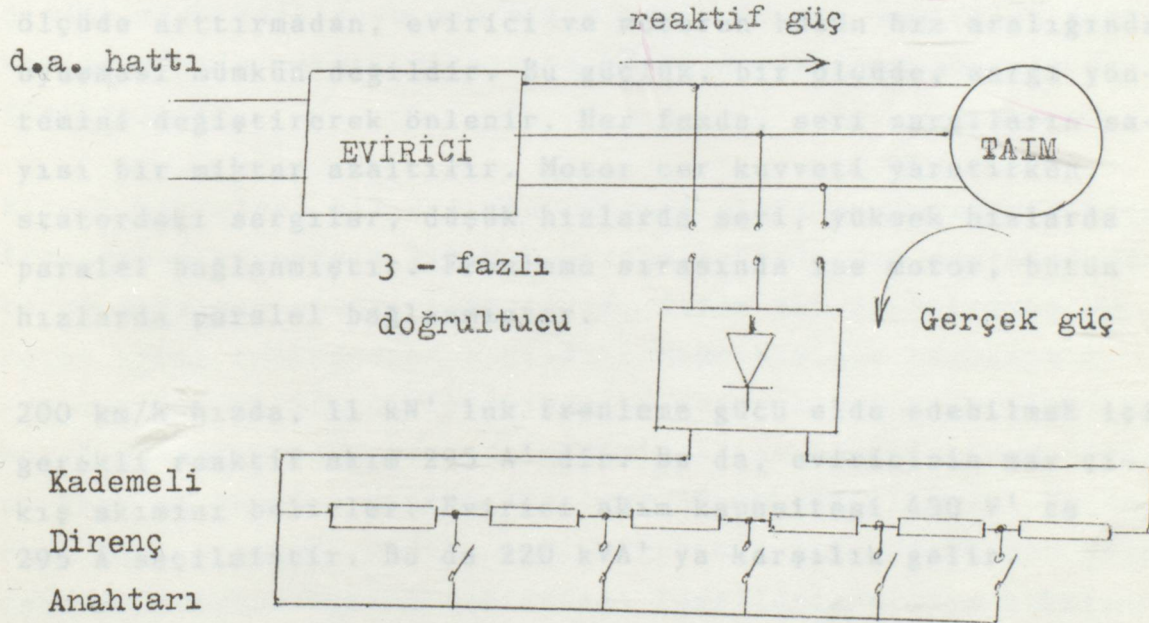
Motor için gerekli moment, bağlı olduğu aracın performans



Özellikleri tarafından belirlenir. Deneysel motor için tasarım hedefleri aşağıda belirtilmiştir :

- 16 tonluk bir dingil yüküyle  $0.7 \text{ m/s}^2$  ' lik ilk ivme. Bu 11 kN' luk cer kuvvetine eşittir.
- Yüksek hızlarda, motorun çıkış gücü inverterin kapasitesine çok bağımlıdır. Maksimum hızda, üretilen güç yeterli büyüklükte ( sürtünme kuvvetini yenmek için ) olmalıdır. 200 km/h hızda 2 kN' luk hedef seçilmiştir, bu da 11 kW' lık bir çıkış gücüne karşılık gelir.

Tam hızda üretilen kuvvet 611 kW' tır ve bu güç sisteme geri verilmeyip dirençler üzerinde tüketilmektedir. Toplam maliyeti arttırmaması nedeniyle, frenleme için gerekli kapasitenin üstünde invertör kapasitesi istenmemelidir. Bu nedenle şekil.2' de gösterilen frenleme sistemi tasarlanmıştır.



Şekil.2. Frenleme sisteminin şematik gösterimi



Gerçek güç doğrudan dirençlere verilmektedir ve inverter, motorun uyartımını devam ettirebilmek için, bir reaktif güç kaynağı olarak kullanılmaktadır. 11 kN üretebilmek için motor doymaya yakın bir noktada çalıştırılmaktadır. Böylece sistem voltajı ile frekans kabaca orantılı olur. Sabit moment sürdürebilmek için, güç hız veya frekans ile birlikte değişmelidir. Bu da, hız ile birlikte direnç değerini değiştirerek sağlanır.

Tasarlanan fren donanımında ( Şekil.2 ) inverter kapasitesini reaktif güç talebi belirleyecektir. Bu da, kutup sayısının minimum olması gerektiğini gösterir.

İnverterin, d.a. üçüncü - ray sisteminde 650 V' ta çalışabilecek kapasitede olması istenmiştir. Bu d.a. bağlantı geriliminde, tam yükte inverter ( evirici ) temel çıkış gerilimi 430 V civarındadır. ( Etkin ). Eviricinin sabit gerilim ve akım sınırları varken motorun gerilim ve akım gereksinimi hız ile değişir. Sonuçta, evirici kapasitesini önemli ölçüde arttırmadan, evirici ve motorun bütün hız aralığında uyuşması mümkün değildir. Bu güçlük, bir ölçüde, sargı yöntemini değiştirerek önlenir. Her fazda, seri sargıların sayısı bir miktar azaltılır. Motor her kuvveti yaratırken, statordaki sargılar, düşük hızlarda seri, yüksek hızlarda paralel bağlanmıştır. Frenleme sırasında ise motor, bütün hızlarda paralel bağlanmıştır.

200 km/h hızda, 11 kN' luk frenleme gücü elde edebilmek için gerekli reaktif akım 295 A' dir. Bu da, eviricinin max çıkış akımını belirler. Evirici akım kapasitesi 430 V' ta 295 A seçilmiştir. Bu da 220 kVA' ya karşılık gelir.

Bağlantı şeklini değiştirme olanağı olmasaydı her ve frenleme kuvvetlerini yaratabilmek için çok daha büyük kapasiteli bir evirici gerekcekti.



Sistemin, max hızdaki temel frekansı 75 Hz olarak sınırlanmıştır. Bu rakam, motor kutup sayısı ve tamamen aşınmış durumdaki tekerlek çapı kullanılarak bulunmuştur. Sinüs verebilen bir gerilim kaynağı kullanılabilseydi, en iyi yolalma koşulları 2 Hz'lik kaynak frekansında elde edilirdi. Fakat evirici çıkışı sinüs şeklinde değildir. Bu nedenle oluşan temel akı ve harmonik akım etkileşimleri motor momentinde salınımlara yol açar.  $120^{\circ}$  ve  $180^{\circ}$  kare dalga eviricilerinde, altıncı harmonik moment salınımı etkilidir. Bu moment, temel akı ile beşinci ve yedinci akım harmoniklerinin etkileşmesiyle ortaya çıkar. Moment salınımları, yükten bağımsız olarak, hava boşluğu akı yoğunluğunun karesi ile yaklaşık olarak orantılıdır. Salınımların tepeden tepeye değeri, tipik olarak, tam yük momentinin % 20 - 30' u kadardır.

Evirici, frenleme sırasında kontrol devrelerinin dışında, hiç güç kullanmaz. Bu nedenle güç kesilmelerinde bile frenleme başlatılıp sürdürülebilir. Frenleme sırasında, eviricilerin frekans talebi normal çalışmada olduğu gibi, çıkış voltajından elde edilir ve ona bağımlıdır. Orantı sabitinin değiştirilmesi ile motor voltajı ve böylece frenleme kuvveti değiştirilir.

Birçok etkenler, bir dış güç kaynağı olmadan, duruncaya kadar frenlemeyi olanaksız kılar. Sincap kafesli bir asenkron motorun maksimum moment kapasitesi, doyma akı yoğunluğuna ve rotor kaçak reaktansına bağlıdır. Maksimum güç kapasitesi ise max moment ile ona karşı gelen rotor hızının çarpımıdır. Motor yavaşlayınca, max güç girişi sistem kayıplarının altına iner ve kendini uyaran frenleme devam ettirilemez. Bu durum, test aracında olduğu gibi, uyarımın bir eviriciden veya senkron kompanzatörden sağlandığı koşullarda ortaya çıkar. Her iki durumda da sistem negatif geri besleme gösterir. Çünkü frekanstaki azalma, rotor kaymasında artışa ve böylece üretilen gücün artmasına yol açar. Böylece, senkron kompanzatörün dönme momentinde depolanan enerji veya eviricinin d.a. bağlantı kondansatöründeki yük artar ve frekans tekrar yükselir. Yüksek frekanslarda, sistemin cevabı iyi bir yavaşlama sağlar. Fakat frekans uyarım limitine doğru yaklaştığın-



da, yavaşlama azalır ve negatif olur. Frenleme dirençlerinin uygun değerleriyle, sistem kaynaktan herhangi bir güç girişi olmaksızın, 200 km/h' ten 50 km/h' in altına kadar tam frenleme yapabilir.

## SİNÜS OLMAYAN DALGA ŞEKİLLERİNİN ETKİSİ

Asenkron motoru sinüs dalga şekilleri ile beslemek sistem tasarımı bazı sorunlara neden olur. Kaynak harmonikleri tarafından meydana getirilen ek kayıplar momenti zayıflatıcı etkiye sahiptirler. Moment salınımları ise mekanik problemlere yolaçarlar. Evirici çıkış dalga şeklinin darbeli özelliği nedeniyle denge problemleri ortaya çıkar. Sinüs dalga veren bir P.W.M. Evirici kullanılsaydı evirici maliyeti yükselirdi fakat yukarıda belirtilen problemler azalır yada hiç olmazdı.

## SONUÇLAR

Bu yazıda TAIM projesinin şu anda içinde bulunduğu deneysel gelişme, geniş bir biçimde özetlenmiştir. Gerçek boyutlara sahip bir grup motor başarıyla tasarlanmış, yapılmış, laboratuvar ve yolda denenmiştir. Belirtilen istekler gerçekleştirilmiştir. Yolalmada 11 kN çekici ( cer ) kuvveti elde edilmiştir. Frenleme sırasında ise, max frenleme gücü kapasitesinde güç dönüştürme elemanı kullanmadan, geniş bir hız aralığında istenen frenleme kuvveti elde edilmektedir.

Evirici ve motor geniş bir frekas aralığında uyum sağlamış, buda sargı şeklinin değiştirilmesi ile sağlanmıştır. TAIM uygulamalarının gelecekte ulaşım donanımının ilk maliyetini ve bakım masraflarını önemli bir derecede düşüreceği öngörülmektedir.



#### IV. MİKROBİLGİSAYARLA ELEKTRİKLİ TAŞIMADA ELEKTRONİK TAH- RİKLİ KONTROL SİSTEMLERİNİN YENİ UYGULAMALARI

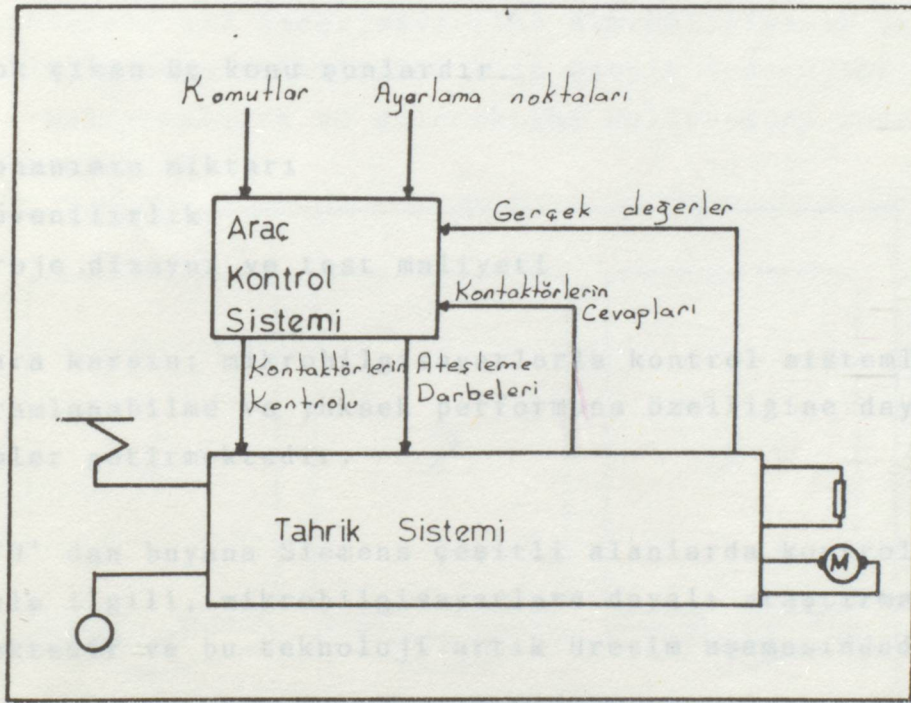
Günümüzde, tahrik sistemlerinin karmaşıklığı ve artan fonksiyonlarının sayısı nedeniyle, statik akım dönüştürücüleri- ne sahip modern elektrikli ulaşım sistemlerinde, bilinen tahrik kontrol teknolojisi, uygulamada sürekli artan maliyet ve güvenilirlik sorunlarını karşımıza çıkarmaktadır. Bu olumsuz niteliklerinden dolayı, bilinen tahrik kontrolunun yerine bugün artık yeni mikrobilgişlemcili kontrol sistemi geçerli olmaktadır. Bu sistem daha büyük kapasitelere, gelişmiş karakteristiklere sahiptir. Bu nitelikleri, maliyet ve karmaşıklığın azaltılmasına neden olmuştur. Donanım ve yazılımın geniş ölçüde standardizasyonu sayesinde çok küçük bir uyarılama ile, farklı tahrik sistemi çeşitlerine uygulanabilmektedir. Tümüleştirilmiş bir arızayı bulma sistemine sahip olması önemli bir yeteneğidir. Kontrol sistemlerinde mikrobilgişlemciler 1981' den beri kullanılmaktadır.

Bugün artık bir cer motorunun kontrolunda, güç elektroniğine gereksinme duyulmadan bir elektrikli ulaşım sistemini düşünmek olanaksızdır. Tristörlerin son 20 yıl içindeki gelişimi güç elektroniğinin büyüme hızını arttırmıştır. Bu artışla birlikte karmaşıklığın da artmasının önüne geçilememiştir. Alternatif akımla beslenen sistemlerde gelişim daha basittir. Hat komütasyonu ile kontrol edilebilen dönüştürücüler daha sonraları, güç faktörünü düzelten aygıtlarla donatılmışlardır. Doğru akımlı sistemler, çoğunlukla hızlı ulaşım araçlarında, doğru akım kıyıcılarıyla düzenlenmeye başlandı. Bu iki sistemde ve dizel elektrikli araçlarda, alternatif akım endüksiyon motorlarını kontrol eden eviriciler de yerleştirilmeye çalışıldı.

Dönüştürücülerin tümü, geniş elektronik kontrollara gereksinim duyarlar. Bu elektronik kontrol düzenlerinin görevi, sinyallerden ve çalıştırma değişkenleriyle ( akım, gerilim ve hız gibi) bağlantılı olan yol verme, tahrik veya hız için



bağlantılı olan yol verme, tahrik veya hız için gerekli ayar - lama noktalarından, güç bölümünden aldığı kontrol değişkenle - rini üretmektir. Sözü geçen kontrol değişkenleri; genel ola - rak dönüştürücülerdeki tristörler için ateşleme darbeleri ve güç devresindeki anahtar devreleri için gerekli kontrol ko - kont - mutlarıdır. Kontrol sistemleri aynı zamanda emniyet, dinamik performans ve sistemin korunması ile ilgili görevleri yeri - ne getirme yeteneğine sahip olmalıdır. Sistemin korunması; mekanik frenlerin otomatik çalışması, patinaj' ın önlenmesi, kapalı çevrimin sınırlaması ve aşırı yük koruması işlevleri - ni kapsar. Bunu, kontrol sınırlayıcı devreler üzerinden ve de önleme sistemleriyle sağlar.



Şekil.1. Taşıt Kontrol sisteminin Fonksiyonları

Mikrobilgisayarlı kontrol sistemleri güvenilirlik bakımından çok büyük miktarda donanım sorunu çıkarmaktadır. Buna örnek olarak Hannover LRT ( hafif raylı ulaşım ) sistemine yerleş - tirilen donanımı verebiliriz. Bu sistem 50 DA baskı devre - sinden oluşmuş iki DA kıyıcı tahrik sistemini kontrol etmek - tedir. Sistem güvenilebilir sayılabilmesine ve yıllardır kullanımda olmasına karşın her 120 bin km.de bir hata yapmak - tadır. Uluslararası anlamda iyi gibi görülebilen bu km. başı -



yapılmış hesaplama yanıltıcı da olabilir. Çünkü sistemin kontrol ettiği araç sayısının çokluğu km.yi arttırmakta ancak hatta oranı sabit kalmaktadır. ( Elimizdeki bu örnek 1/3 yıl'dır). Bu değerler 3 fazlı tahrik sistemi için incelendiğinde daha kötümser sonuca varılır. Çünkü bu sistemler daha karmaşık kontrolleri gerektirir. ( Almanya' daki ulaşım sistemleri akım kaynağı evirici sistemlerini daha fazla kullanmaktadır. Nedeni ise daha basit kontrol donanımına sahip olmalarıdır ).

Çok miktarda donanımın yanısıra birçok proje dizaynı da gerektiğinden kullananlarca sistemin montajında veya tamirinde fazlasıyla külfete neden olmaktadır.

En çok çıkan üç konu şunlardır.

1. Donanımın miktarı
2. Güvenilirlik
3. Proje dizaynı ve test maliyeti

Bunlara karşın; mikrobilgisayarlarla kontrol sistemlerinin programlanabilme ve yüksek performans özelliğine dayanan yeni çözümler getirmektedir.

( 1979' dan buyana Siemens çeşitli alanlarda kontrol sistemleriyle ilgili, mikrobilgisayarlara dayalı araştırmalar yürütmektedir ve bu teknoloji artık üretim aşamasındadır).

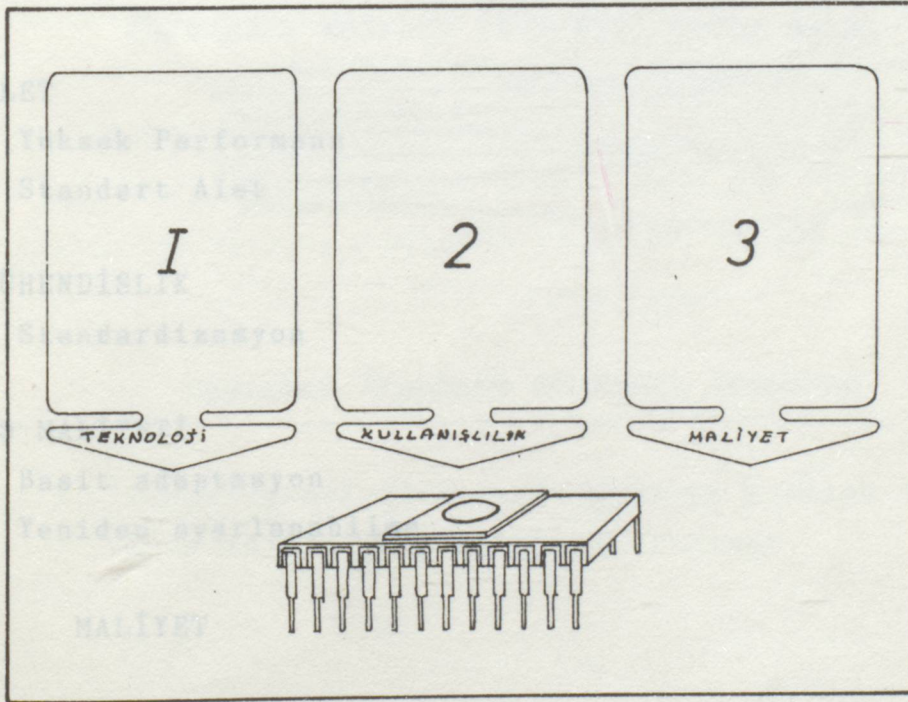
#### MİKROBİLGİSAYARLARA DAYALI ARAÇ KONTROL SİSTEMLERİ

Konvansiyonel sistemlere paralel olarak çalıştırılmaktadır ve tüm fonksiyonlar sabitleştirilmiştir. Her devre elemanı ( lojik çalışma, bellek, amplifier ve multiplier ) yalnızca tek fonksiyon verir.



Mikrobilgisayar kontrol sistemi tamamen farklıdır ve farklı aritmetik, lojik işlemleri yapabilen bir bilgisayara dayalıdır. Örneğin; Siemens tarafından kullanılan Tip 8086, kontrol komutlarınca belirlenen operandları ve işlem çeşidini yani standart fonksiyonlardan yaklaşık 70 tanesini yapabilir. Bu şekilde bilgisayar değişik değişkenli bir seri farklı fonksiyonları ardışıl olarak yapabilir.

8086 bilgisayar uygun programlandığı zaman, onun geniş komut kümesi ve yüksek işlem hızı sayesinde taşıt kontrol sistemleri, konvansiyonel kontrol sistemleri ile karşılaştırıldığında davranışları arasında fark olmadığı görülür. Konvansiyonel kontrol sistemleri ile karşılaştırılır mikrobilgisayar sisteminin farklı işlem modu teknolojide bazı önemli avantajları verir. Bunlar, kullanışlılık ve gelecekteki kullanımına neden olacak maliyettir.



Şekil.2. Taşıt kontrol sistemleri için mikrobilgisayarın avantajları.



Şekil.2' de motor kontrol sistemi aynen konvansiyonel kontrol sistemi gibi davranış gösterir. Her ikisini birleştiren hib-

## I. REGÜLATÖRLER 2. GÜVENİLİRLİK

. Akıllı Regülatörler . Daha az eleman

. Kompleks Fonksiyonlar . Seri İşlem

## GERÇEL DEĞERLER HATA İZLEME

. Sayısal İşlem . Basit hata arama

. Yeni Çözümler . Hızlı hata ortadan kal-

## FONKSİYONLAR dırılışı

. Yüksek Doğruluk

. Matematiksel Fonk. KULLANIŞLILIK

. Akıllı Fonksiyonlar

## TEKNOLOJİ

## 3. ALET

. Yüksek Performans

. Standart Alet

## MÜHENDİSLİK

. Standardizasyon

## İŞ MALİYETİ

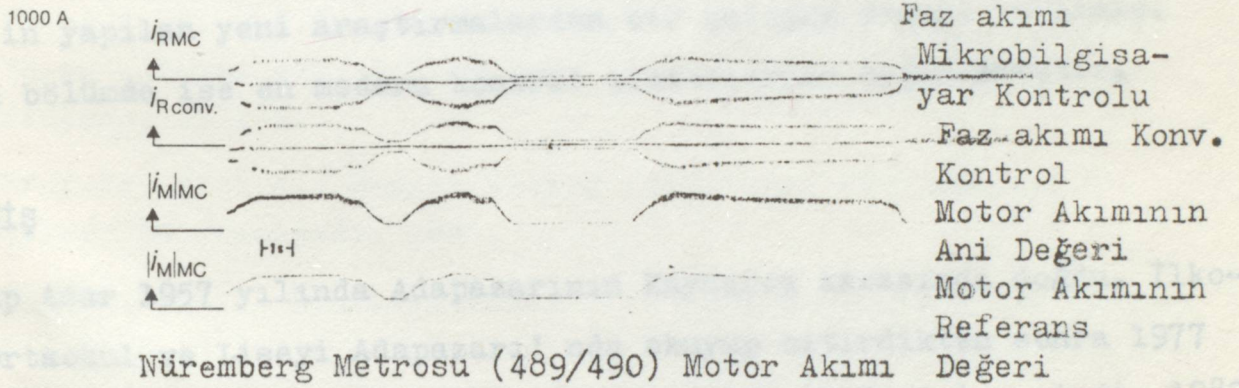
. Basit adaptasyon

. Yeniden ayarlanabilme

## MALİYET



Mikrobilgisayar kontrol sistemi aynen konvansiyonel kontrol sistemi gibi davranış gösterir. Her ikisini birleştiren hibrit sistemler olasıdır. Şekil.3'de Nuremberg metrosunda 3-fazlı a.a. tahrik edilen trenden alınan osilogram görülmektedir. Bu tren hem konvansiyonel kontrol sistemine hemde mikrobilgisayar kontrol sistemine sahiptir. Motor akım eğrileri şekilde görüleceği gibi küçük farklılıklar göstermektedir. Örneğin; yüksüz geçişte.



### Değişken Frenleme Kuvvetli Frenleme

Şekil.3. Konvansiyonel ve mikrobilgisayar kontrol sistemlerinde motor akımlarının karşılaştırılması.



## SONUÇ

Bu çalışmada, Modern Yakın Mesafe Elektrikli Ulaşım Sistemlerinin tahrik Düzenleri modern ve klasik yöntemlerle incelenmiş ve modern yöntemlerden d.a. kıyıcılı tahrik sisteminin avantajları, dezavantajları ve yine modern tahrik yöntemlerinden a.a. eviricili yöntemler karşılaştırılıp değerlendirme sonuçları verilmeye çalışılmıştır. Çalışmanın daha sonraki bölümlerinde üç fazlı alternatif akımlı motorlar için yapılan yeni araştırmalardan bir çalışma örneği verilmiş, son bölümde ise en modern kontrol sistemlerine değinilmiştir.

## GEÇMİŞ

Serap Acar 1957 yılında Adapazarının Kaynarca kazasında doğdu. İlkokul, Ortaokul ve Liseyi Adapazarı'nda okuyup bitirdikten sonra 1977 yılında Kocaeli Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisine girdi. 1982 yılında aynı okulun Elektrik Mühendisliği Bölümünden Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 1984 yılında Yıldız Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans Çalışmasına başladı ve halen bu çalışmayı sürdürmektedir.



## YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. Mltgen, Converter Engineering, Siemens, Munich, 1983.
2. Lander, Power Electronics, Mc.Grawhill, London, 1981.
3. Ed Taylor, Direct Current Machines, Pitman Publishing Limited, 1980 , London.
4. dr 035 Electronic D.C. Chopper Regulators a General Guide, Siemens, München, 1984.
5. Class F 79, 3 D.C. - Operated Two - Car Units with SMOTRAC Three - Phase A.C. Drives for Berlin Underground ( BVG ), Siemens, 33/1981.
6. Prof.Dr. URAL,A., Modern Ulaşım Sistemleri Ders Notları, Yıldız n.,İstanbul, 1985.
7. Dr.Mh.URAL,A, Kentteki Elektrikli Ulaşım Sistemlerine İlişkin Byklklerin İncelenmesi ve Sistem Seğimine zg Kriterin ıkarılışı, Doğentlik Tezi, 1974.
8. Doğ.DR. URAL,A., Profesrlk Tezi," Y.M. Elektrikli Ulaşım Sistemlerinin G Elektro. Bak. İnc. ve Değ.",İst.,1979.
- 9."Tubular - axle İnduction Motors For Railway Traction" , Proc. IEE, VOL.125, No.10, OCTOBER 1978.
10. Electric Traction, A.T.Dover, S.İ.Pitman.Sons.LTD., London, 1963.
11. Y.Müh.A.Kasapoğlu, Modern Yak.Mes.Ulaşım Sist. Elk.Tah.Düz. İncelenmesi, Karşılaştırılması ve Değ., Doktora Tezi, 1983.
12. İ.Kocaarslan, En Mod.Elk.Yak. Mes.Ul.Sist.Besleme ve Tahrik Dz.İnc.,Değ. ve Sonuları, Y.Lisans Tezi,İst.1985.
13. Light Rail Vehicle RTC 1 of City of Calgary, Siemens, E 41 - 84/85
14. Light Rail Vehicle of the Port Authority of Allegheny Country Pittsburg, Pa., Siemens.
15. D.C. Operated Double Units with Thyristor-Controlled Three-Phase A.C. Drives and Regenerative Brake, of the Nuremberg Underground, Siemens, E 41.83/98.
16. U- Bahn- Doppeltriebwagen Typ M2 der GVB Amsterdam, Siemens Ref E 1, E 4 , E 6 , 80/34.



