



67818  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

# TÜRKİYE 'DEKİ HAFİF METRO SİSTEMLERİ TESİSLERİNİN İNCELENMESİ

Elek. Müh. Muhammet GARİP

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında  
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Halit Pastacı

*Prof. Dr. Halit Pastacı*

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Halit PASTACI

*Prof. Dr. Galip Anşener*

*Prof. Dr. Galip Anşener*  
*[Signature]*

İSTANBUL, 1997

	<u>Sayfa</u>
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b>	<b>vi</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>viii</b>
<b>BÖLÜM 1 ÜLKEMİZDEKİ ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNE GENELBİR YAKLAŞIM</b>	<b>1</b>
1.1 İstanbul LRT Sistemine Genel Yaklaşım	1
1.2 Ankaradaki Raylı Ulaşım Çalışmaları	5
1.2.1 Ankara Metrosu	5
1.2.2 Ankaray	6
1.3 Diğer Şehirlerimizdeki Raylı Ulaşım Çalışmaları	8
1.3.1 İzmir Metrosu	8
1.3.2 Bursa Metrosu	9
1.3.3 Adana Hafif Metrosu	10
1.3.4 Konya Hafif Metrosu	10
<b>BÖLÜM 2 HAFİF METRO SİSTEMLERİNİN BESLEME ÜNİTELERİ</b>	<b>11</b>
2.1 Enerjilendirmede Kataner Sistemi	11
2.2 Kataner Hattının Genel Boyutları ve Değişik Gerilimdeki Katanerler	12
2.3 3. Ray Enerjilendirme Sistemi	14
2.3.1 3.Rayda Akım Kollektörü	15
2.3.2 3. Ray Sistemindeki Topraklama ve Akım Geri Dönüş Sistemi	17
2.4 Kataner Sistemi İle 3.Ray Sisteminin Karşılaştırılması	20
2.4.1 Kataner Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları	20
2.4.2 3.Ray Sisteminin Avantajları ve Dezavantajları	22
<b>BÖLÜM 3 BESLEME İSTASYONLARININ İNCELENMESİ</b>	<b>23</b>
3.1 İstanbul Hafif Metrosunun Besleme İstasyonları	23
3.1.1 Kullanılan Trafolar Hakkında Teknik Veriler	24
3.1.2 İstanbul Hafif Metrosunda Doğrultucu Ünitesi	31
3.2 Ankaray 'daki Besleme İstasyonları	33
3.2.1 Kullanılan Transformatörler Hakkında Teknik Veriler	33
3.2.2 Ankaray 'da Doğrultucu Ünitesi	42
<b>BÖLÜM 4 YARDIMCI GÜÇ SİSTEMİ</b>	<b>44</b>
4.1 Yardımcı Güç Sisteminin Genel Devresi	44
4.2 Evirici Ünitesi	45
4.3 Üç Fazlı Transformatör Ünitesi ve Filtre Devresi	47
4.4 Batarya Şarj Ünitesi	48
4.5 Ankaray Yardımcı Güç Sistemi	48
4.6 Ankaray 'da Kullanılan Statik Konvertör	50

4.7	Ankaray Akü Ünitesi	52
<b>BÖLÜM 5</b>	<b>TAHRİK SİSTEMİNİN ANA DETAYLARI</b>	<b>53</b>
5.1	Tahrik Sisteminin aksamı	53
5.2	Pantoğraf	54
5.3	Ana İzolatör Sivici	54
5.4	Ana Devre Kesicisi	55
5.5	Hat Filtresi	55
5.6	DC Tahrik Motorları	56
5.7	DC Tahrik Motorunun Endüvi Devresinin Kıyıcı Ünitesi	56
5.8	DC Tahrik Motorunun Uyarma Alan Çevirici Ünitesi	57
5.9	Motor Modül Kontakları ve Motor Kontakları	57
5.10	Faz Endüktansı	58
5.11	Frenleme Direnci	58
5.12	Aşırı Akım Koruyucu Ünitesi	59
5.13	Aşırı Gerilime Karşı Koruyucu Ünitesi	59
<b>BÖLÜM 6</b>	<b>TAHRİK SİSTEMİNİN İÇERİĞİ</b>	<b>60</b>
6.1	Tahrik Sisteminin Genel Kapsamı	60
6.2	DC Tahrik Motorunun Teorik Olarak İncelenmesi	61
6.3	DC Motorun Endüvi Kıyıcılarının İncelenmesi	63
6.3.1	DC Motorun Endüvi Devresini Besleyen Kıyıcıların Kontrol Prensipleri	67
6.3.1.1	İvmelendirme Konumundaki Kıyıcı Ünitesinin Çalışma Prensipleri	67
6.3.1.2	Frenleme Durumundaki Kıyıcıların Çalışma Prensipleri	72
6.4	Motor Kıyıcı Devresinin Çalışma Durumundayken Hattan Gelen ve Hatta Geri Dönen Akımlar	77
6.4.1	Doğru Akımlar	77
6.4.2	Alternatif Akımlar	78
6.4.3	Motor Kıyıcılarının Yüklenmedeki Akım Dalgalanması	79
6.5	Endüvi Kıyıcısının, Akım, Gerilim Ölçüm Devreleri ve Bobinleri	80
6.5.1	Frenleme Devresinin İçeriği	82
6.6	Yüksek Gerilim Kıyıcısı	83
6.7	Uyarma Alanı Çeviricisi	85
6.8	Doğru Akımlı Ulaşım Sistemlerinde, Doğru Akım Kıyıcısı Kullanılmasıyla Sağlanan Üstünlükler	87
<b>BÖLÜM 7</b>	<b>KONTROL VE DENETLEME PRENSİPLERİ</b>	<b>88</b>
7.1	Kontrol Prensipleri	88
7.1.1	İvmelendirme Kontrolü	89
7.1.2	Yavaşlatma İvme Kontrolü	89
7.1.3	Endüvi Akım Kontrolü	90
7.1.4	Motor Gerilimi Kontrolü - Uyarma Alan Kontrolü	91

7.1.4.1 İvmelendirme ve Frenleme Durumunda	91
7.1.5 Uyarma Alan Akımının Kontrolü	92
SONUÇLAR	93
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	



## ÖZET

Türkiyedeki hafif metro sistemlerinin besleme ve enerjilendirme şekilleri ele alınarak, beş büyük şehrimizin hafif metrosunda genel olarak kullanılan araç tahrik sistemi ele alınmıştır.

Tezin ana amacı, Türkiyedeki hafif metro sistemlerinin besleme ünitelerinin incelenerek uygun bir modelin ortaya konulması ve araçlarda ortak olarak kullanılan güç elektroniğine dayalı tahrik sistemini, İstanbul hafif metrosunu baz alarak incelemektir.

Hafif metro sistemlerinde kullanılan en genel enerjilendirme şekilleri kataner ve 3. Ray 'dır. Bu iki sistemden biri tercih edilirken, emniyet, maliyet, hattı uzatma ihtimalleri ekipman, estetik, yedek parça gibi unsurlar dikkate alınmalıdır.

Bu çalışma hazırlanırken, yapılan araştırma, inceleme ve gözlemler ülkemizin iki çalışan hafif metrosu olan Ankaray ve İstanbul hafif metrosunda gerçekleştirilmiştir. Konya hafif metrosundaki araçlar, eski Köln metrosunda kullanılan ve reostalı tahrike dayalı araçlar olduğu için inceleme dışında tutulmuştur.

Dünyada kullanılan en genel hafif metro besleme gerilimleri, 600, 650, 750, 1500 V 'tur. Ülkemizde bunlardan 750 V ve 1500 V kullanılmaktadır.

İstanbul hafif metro sisteminde kullanılan aracın elektrik sistemi kısaca aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Yardımcı güç sistemi  
Serbest uyarmalı DC tahrik motorları,  
GTO ile kontrol edilen kıyıcı ünitesi,  
Bilgisayar kontrol ünitesi,  
Yüksek gerilim kıyıcısı,  
İki adet birbirinden bağımsız motor modülü,  
Dinamik frenleme.

Tahrik donanımı 4 adet serbest uyarmalı motor ve onların beslenmesi için gerekli elektrik ünitelerinden oluşur. Endüvi devresi bir DC/DC kıyıcı ünitesinden, alan devresinde bir AC/DC redresör ünitesinden beslenmektedir.

Bu 4 tahrik motoru iki gruba veya motor modülüne ayrılır. Her bir motor modülü bir kıyıcı ve bir alan redresöründen beslenen iki motor içermektedir. Bir gruptaki iki motorun alan ve endüvi devreleri seri olarak bağlanmıştır.

Kıyıcının girişi 750 V 'tan beslenmektedir. Çıkış gerilimi, giriş geriliminin % 5 ile %100 'ü arasında değiştirilebilmektedir. Çünkü kıyıcının çıkış geriliminin değişebilir olması, motorlara kontrollü bir gerilim uygulanmasını sağlamaktadır. Böylece motorların, dolayısıyla bütün aracın hızını kontrol etmek mümkündür.

Birinci bölümde; Türkiyedeki işleyen ve inşaat halinde olan hafif metro ve metro sistemlerinin proje genel bilgileri verilmiştir.

İkinci bölümde; Kataner, 3. Ray sistemi ele alınmış ve bu sistemlerde kullanılan besleme gerilimleri incelenmiştir.

Üçüncü bölümde; Besleme istasyonları ve bu istasyonlara kullanılan trafolar tanımlanmıştır.

Dördüncü bölümde; Ankaray ve İstanbul hafif metrolarında kullanılan araçların yardımcı güç üniteleri izah edilmiştir.

Beşinci bölümde; İstanbul hafif metrosunda kullanılan araçların tahrik sisteminin genel kapsamı tanımlanmıştır.

Altıncı bölümde; aracın tahrik sisteminin içeriği ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

Yedinci bölümde ise; aracın tahrik sisteminin kontrol ve denetleme prensipleri ele alınmıştır.



## SUMMARY

In the thesis, the way Turkish LRTs are supplied and energized and propulsion system of vehicles in İstanbul LRT are explained.

Main purpose of the thesis is to examine the supply units of LRT systems in our country and the commonly used propulsion system based on power electronics. While the thesis is prepared, all the researchs, examinations, and observations were carried out on the two working LRT 's of our country, namely Ankaray and İstanbul LRT.

The most common ways of energization which is used in LRT 's are catenary and third railway. When one of those two is preferred, security, cost, extension possibilities, esthetics and accessories must be taken into consideration. The most common LRT voltage levels in the world are 600, 650, 750, 1500 V. Only 750 V and 1500 V are used in our country.

The electrical system of vehicles which are used in İstanbul LRT can be characterized by the following points:

- Auxillary power system
- Seperately excited DC traction motors
- Chopper control with GTO thyristor
- Computer control
- Overvoltage chopper
- Two seperated motor modules
- Regenerative braking

The traction equipment comprices mainly the four separated traction motors and electric units necessary to supply power to them. The armature circuit is supplied with current from a chopper DC/DC unit and the field circuit is supplied with current from an AC/DC converter.

The four traction motors are divided into two groups or motor modules. Each motor consist of two motors supplied from one chopper and one field convertor. The armature circuits and the field circuit of the two motors in one group are connected in series. The chopper is an electric device consist of static components such as thyristor, diodes and inductors. The chopper has an input and an output.

The input of chopper is fed from 750 V DC. The output voltage can be varied between 5 and close to %100 of the input voltage. Because the output voltage from the chopper is steplessly varriable it is possible to apply a controlled voltage to the motors and thus control current, torque and speed of the motors and the entire vehicle.

## BÖLÜM 1

### ÜLKEMİZDEKİ ELEKTİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNE GENEL BİR YAKLAŞIM

#### 1.1 İstanbul LRT Sistemine Genel Yaklaşım

1986 yılından sonra imzalanan sözleşmeden sonra ABB - Yapı Merkezi konsorsiyumu tarafından sistemin yapımına başlanmıştır. Metronun 1989 'da işletmeye giren Aksaray-Ferhatpaşa etabı 8.5 km uzunluğundadır. Bu kısım 7 istasyondan oluşmuştur. Bu istasyonlardan 3 tanesi tünellerin içindedir.

ABB metronun elektrifikasyon, sinyalizasyon, radyo, kominikasyon uzaktan kumanda sistemlerini ve araçları yapmıştır. Yapı Merkezi ise tüm inşaat işlerini ve sistemin alt yapısını üstlenmiştir. Metro 'da kullanılacak araç sayısı 105 olup garaj sahasında aynı miktarlık kapasiteye sahiptir. Besleme çeşidi 750 V 'luk DC katanerdir.

Aksaray-Esenler arasında çalışan metronun mesafesi 8800 metredir. Esenler son durak aynı zamanda ise workshop olarakta kullanılmaktadır. Aksaray-Yenibosna arası ise 16830 metre olup bu güzergahta son durağın Havaalanı 'na alınması için gerekli çalışmalar yapılmaktadır. Zeytinburnu - Sirkeci arasındaki hat Eminönüne kadar uzatılmıştır.

İnşaatı tamamlanan Taksim - 4. Levent hattının ihalesi tamamlanmış olup elektrifikasyonuna başlanmıştır. Taksim-Levent arası enerji alış sistemi 3.ray olup 750 V besleme gerilimi kullanılacaktır. Bunun dışında kullanılan sistem tamamıyla kataner 'dir.

Laleli-Taksim arasındaki hat ise şu anda proje aşamasındadır. Anadolu yakasında ise Harem-Maltepe arasındaki hattın proje aşaması tamamlanmış olup ihaleye çıkarılma aşamasındadır.

Şekil 1.1 'de İstanbuldaki hafif metro ve tramvay güzergahları gösterilmiştir. Tablo 1.1 'de ise yine İstanbuldaki tüm elektrikli ulaşım sistemleri ile ilgili teknik veriler belirtilmiştir.





TEKNİK KARAKTERİSTİKLER	AKSARAY- ESENLER OTOGAR-YENİBOSNA HAFİF METRO SİSTEMİ	EMİNÖNÜ-ZEYTİNBURNU CADDE TRAMVAY SİSTEMİ	H.PAŞA- GEBZE BANLIYO SİSTEMİ	SİRKECI- HALKALI BANLIYO SİSTEMİ
HAT UZUNLUK (m)/GENİŞLİK (mm)	18400/1435 Çift Hat	10811/1435 Çift Hat	44400/1435 Çift Hat	27700/1435 Çift Hat
MIN. KURPÇAPI (m)	30 (Aylıyo)-50 (Hafta)	35	285	300
MAX. EGİM	%06	%033	%012	%08
İSTASYON SAYISI (Adet)	15	21	28	18
PERON UZUNLUK/GENİŞLİK (m)	100 / 5,75 - 8	50 / 2,20 - 4,4 - 6	300 / 8 - 4 (Orta Peron)	210 - 240 - 350 / 8
RAYDAN PERON YÜKSEKLİĞİ (m)	0,90 - 0,92	0,8	1 - 1,1	0,9 - 1,1
TRAVERS	Beton (1 ünlü, köprü ve depo de makas kusurlarda ahşap)	75 cm aralıkla beton mozaik	Sag.yol Ahşap Sol.yol Beton	Beton
RAY K/gm	S49 (49,43)	S. 60480 - RJ60	S46. 303 S49. 050	S46. 303 S49. 050
RAY BAĞLANTI TİPİ	Vossloh Tipi	-	K.Tipi Sekt Krobo Bulon	K.Tipi Sekt Krobo Bulon
SİNYALİZASYON SİSTEMİ	ATP (Otomatik tren koruma)	Başk Kaypak Sinyali	CTC (Merkezi Üstünlük Kurumunda)	DRS (Yerel Kurumda)
İLAT GERİLİMİ	750 V DC	750 V DC	25 KV, 50 Hz AC	25 KV AC
KATENER Seyir telli/taşıyıcı tel/Direk tipi	1 x 120 mm <sup>2</sup> Bakır Tel/ 2 x 150 mm Bakır Tel/ 8 m Demir Direk	1 x 120 mm <sup>2</sup> Bakır Tel/ - 8 m Demir Kafa Direk	1 x 107 mm <sup>2</sup> Bakır Tel/ 65 mm <sup>2</sup> Broom Tel/ 8,5 - 13 m Beton Direk	1x107mm <sup>2</sup> Bakır Tel/ 65mm <sup>2</sup> Broom Tel/ 8m Demir Direk
TRAFÖ SAYISI (Adet)	10 Trafo Merkezi (8'i Katener Beslevic)	6 Trafo Merkez	1 Trafo merkez 2 Trafo (Biri Yedek)	1 Trafo Merkez 2 Trafo (Biri Yedek)
MEVCUT ARAÇ SAYISI (Adet)	66	39	26 x 3 Vagon	28 x 4 Vagon
ARAÇ İMAL YILU/TİPİ	1988 SGP-ABB Ortak yapım	1988 SGP-ABB Ortak yapım	1968 / E - 1400 ALSTHOM LİSANSI İLE	1955 E- 800 Fransız
ARAÇ UZUNLUK/GENİŞLİK (m)	23,5 / 2,65	23,5 / 2,65	22 / 2,896	22 / 2,65 (Dişten dışa 2,977)
PANTOGRAF İNİK ARAÇ YÜKSEKLİĞİ (m)	3,8	3,8	4,328	4,280
ARAÇ AĞIRLIĞI (TON)	29 (Boş) 44 (Dolu)	29 (Boş) 44 (Dolu)	54,9 Motorlu Vagon 33,2 Motoruz Vagon	48
TEKERLEK ÇAP YENİ ASINMIŞ (m)	0,68 / 0,60	0,68 / 0,60	1,1 / 0,98	1,1 / 1,02
MOTOR SAYISI	4	4	4	4
TAHRİK GÜCÜ	4x75 kW	4x75 kW	2 x 520 kW	345 Hp
MAX. İVME m/s <sup>2</sup>	0,7	0,7	0,6	0,6
MAX. HIZ km/h	80	45	115	90
SÜREKLİ GÜÇ	300 kW	300 kW	1020 kW	1480 BB - 1380 BB
DİZİDE ARAÇ SAYISI (Adet)	2,3,4	2	3	4
DİZİDE YOLCU KAPASİTESİ (Kişi)	372 - 1008 (1344)	672	571	836
DİZİ SIKLIĞI (dk)	5-10 (Sistem min. 2,5 dk \	10	10 - 15	10 - 15
SEFER SÜRESİ (dk)	Aksaray-Esenler 14 Aksaray-YeniBosna 26 Otogar-YeniBosna 14	Eminönü-Zeytinburnu = 45 dk Eminönü-CevizliBağ = 30 dk	70	50
ORTALAMA TİCARİ HIZ km/h	40	25	40	35
PERSONEL SAYISI (Kişi)	258	350	1497	1002
GÜNDE TAŞINAN YOLCU (Kişi)	125.826 (Mayıs 1996)	142.000 (Mayıs 1996)	78.795 (1995)	97.040 (1995)
Tabloyu Hazırlayan	İnşaat mühendisi	Orhan Ününer	RUŞ	İRSAP

Tablo 1.1 Mevcut İstanbul raylı sistemleri

Tramvay ve Metroda kullanılan araçlar tek tip olup verileri aşağıda belirtilmiştir:

Araç Boyutları:

Aracın Boyu	23.5 m.
Aracın Genişliği	2.65 m.
Aracın ray hizasından tavanına olan yüksekliği	3.36 m.
Aracın ray hizasından düşük pantoğraf seviyesine olan yüksekliği	3.74 m.
Yolcu zemininden tekerlek hizasına kadar olan mesafesi	2.10 m.
Aracın kapı yüksekliği	2.0 m.
Aracın kapı genişliği	1.4 m.
Vagon başına kapı sayısı	2×4(8 adet)
Vagon başına pencere sayısı	2×6(12 adet)
Öngörülen araç ömrü	30 yıl
Aracın ağırlığı	29 ton
Yüklü durumundaki araç ağırlığı	40.6 ton
Max. yükte araç ağırlığı	40.6 ton
Max. yükte araç ağırlığı	49.2 ton

Bogi Boyutları:

Tahrik edilen bogi sayısı	2 adet
Tahrik edilmeyen bogi sayısı	1 adet
Bogi merkezleri arasındaki mesafe	8 m.
Tekerlek çapı değeri	680/600 mm.
Dişli oranı (sabit)	1/6.92
Ray Genişliği	1.485 m.

Yolcu kapasitesi:

Oturan yolcu sayısı	48 kişi
Ayaktaki yolcu sayısı (yüklü/max. yüklü)	4/8 kişi/m <sup>2</sup>
MD araçlarındaki yüklü/max. yüklü yolcu sayısı	124/248 kişi
M araçlarındaki yüklü/max. yüklü yolcu sayısı	132/264 kişi

Toplam oturan ve ayakta duran yolcu sayısı:

MD aracında	296 kişi
M aracında	312 kişi

Kataner enerjisi:

Hattın normal gerilimi	750 V. DC
Hattın maksimum gerilimi	825 V. DC
Hattın minimum gerilimi	500 V. D.C
Hattın akımı	386 A. D.C
Elektrodinamik frenlemedeki hattın gerilimi	900 V. D.C

Tahrik Motoru Verileri:

Araçtaki toplam motor gücü	4x75 kW
Armatür akımı min./max.	252 A/460 A
Motor kontrol akımı	195 A
Motor gerilimi	320 V
Modül kontrol akımı	193 A
Frenleme diyod akımı	160 A
Uyarma alan akımı	16.9 A
Motorun nominal devir sayısı/max. devir sayısı	2200/4580 d/d

Aracın Ulaştığı Değerler:

Max. ivmelendirme oranı	(0-35 km/h)
Max. durdurma ivmesi oranı	1.14 m/s <sup>2</sup>

Ray seviyesinde Harcanan Enerji:

İvmelendirmede	3.86 kWh
Dinamik Frenlemede	2.41 kWh

Kıyıcıdaki Enerji:

İvmelendirmedeki giriş enerjisi	4.78 kWh
Dinamik frenlemedeki çıkış enerjisi	1.96 kWh

Pantoğraftaki Enerji:

Harcanan Enerji	5.21 kWh
Geri verilen enerji	1.71 kWh
Geri verilen enerji yüzdesi	%32.78
İvmelendirme süresi	63.2 sn.
Frenleme süresi	19.9 sn.
Durma süresi	20.0 sn.
Toplam süre	103.2 sn.
İvmelendirme mesafesi	947 metre
Frenleme mesafesi	222 metre
Toplam mesafe	1169 metre

## 1.2 Ankaradaki Raylı Ulaşım Sistemleri

## 1.2.1 Ankara Metro su

Ankara 'daki hafif' raylı ulaşım ulaşım sistemleri Ankara metrosu ve Ankaray olmak üzere iki ayrı kategoride incelenmektedir.



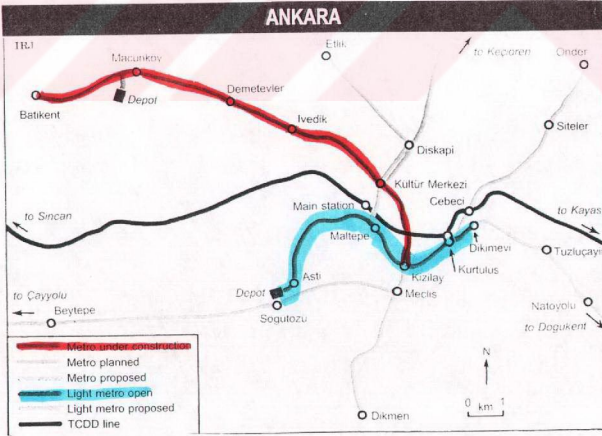
Ankara metrosunun yapımına 1960 yılında karar verilmiştir. Uzun bir aradan sonra ancak 1982 yılında yeniden proje ve etüt çalışmalarına başlanabilmektedir. 1991 yılında anahtar teslimi yöntemiyle ihaleye çıkarılmasına karar verilmiş, yapım sözleşmesi 1993 yılında imzalanarak inşaat başlanmıştır. 14,6 km 'lik bir mesafe ile gerçekleştirilecek ilk etap metro sistemi, tam otomatik kumanda ve kontrol sistemiyle donanmış 108 araçtan oluşmaktadır. 2000 yılı tahminlerine göre günlük yolcu taşıma kapasitesi 550 bin kişi civarında olacaktır.

Sağlanacak servis destekleriyle sistemin 5 km. etrafındaki yerleşim merkezlerine hizmet vermesi planlanmaktadır. Enerji alış sistemi açısından üstten 3. Ray sistemi kullanılmıştır.

Metro sistemindeki 12 adet yolcu istasyonu çevreleriyle uyum sağlayacak ve diğer ulaşım sistemleriyle bütünleşebilecek biçimde tasarlanmıştır. Deneme seferlerine başlayan metronun 30 Ağustos 1997 tarihinde hizmete açılması düşünülmektedir.

### 1.2.2 Ankaray

30 Ağustos 1996 tarihinde hizmete giren Ankaray ise Söğütözü - Dikimevi arasında 8,7 km. 'lik bir güzergah üzerinde çalışmaktadır. 11 istasyon ve bir workshop 'a sahiptir. Ankaray saatte ve tek yönde 16.000 yolcu kapasitesi ile 600 - 2400 saatleri arasında çalışmaktadır. Sistemin büyük bir kısmı tünelden oluşmaktadır yalnızca Aşti - Emek istasyonları arası ve depo henzemindir. Ankaray 'ı gerçekleştiren konsorsiyum üyeleri ve görev dağılımları aşağıda belirtilmiştir. Şekil 1.2 'de Ankaradaki hafif metro ve metro güzergahları gösterilmiştir



Şekil 1.2 Ankaradaki hafif metro ve metro güzergahları

Konsorsiyum Lideri Elektrik ve Mekanik Donanım	SIEMENS Almanya
Motorlar ve Araç Kontrolü	AEG Almanya
Araç Gövdesi ve Boji	BREDA İtalya
Elektrik Tesisatı	SIMKO Türkiye
İnşaat İşleri	Bayındır-YÜKSEL Türkiye

Sistemin enerjilendirilmesi 3. Ray ile gerçekleştirilmiştir. Ankara metrosu ile arasındaki fark pabuçların 3. Ray 'a temas şeklindedir. Ankara metrosunda pabuç ray 'a üstten temas ederken Ankaray 'da alttan temas etmektedir. Buda araçların dizaynlarının farklı olduğu anlamına gelmektedir.

Ankaray 11 dizilik 33 araçtan oluşmaktadır. Normal işletme koşullarında 9 dizi çalışmakta olup, 1 dizi yedekte 1 dizide bakım ve onarımda tutulmaktadır. Diziler 3 'er dakika arayla yola çıkmaktadırlar.1997 yılında toplam olarak 111.458.269 insan taşınacağı tahmin edilmektedir. Kullanılan araçların verileri aşağıda verilmiştir.

#### Araç verileri:

En	: 2.5 - 2.65 m
Boy	: 23 - 30 m
Yükseklik	: 3.3 - 3.7 m (ray üst kotundan)
Taban Yüksekliği	: 0.9 - 1.2 m (ray üst kotundan)
Tekerlek tipi	: Çelik (esnek bantlı)
Yolcu kapasitesi	: 280 kişi (6k/m <sup>2</sup> ) (3'lü dizi ise)
Gövde malzemesi	: Hafif çelik veya alüminyum
Hızlanma ivmesi	: 1.1 m/s <sup>2</sup>
Frenleme ivmesi	: 1.3 m/s <sup>2</sup>
Acil fren ivmesi	: 2 - 2.5 m/s <sup>2</sup>
En çok hız	: 80km/saat
Fren	: Rejenaratif fren
Kapı sayısı	: Her yanda 4 'er adet
Kapı genişliği	: 1200mm
Kuplaj	: Aracın her iki ucunda otomatik

En çok eğim : % 4  
En az dönme yarıçapı : 30 m

Ankara'yı 'a inşaat açısından bakacak olursak, hattın %5 'i yani 390 metresi yer üstünde, % 4 'ü yani 355 metresi yarma tünel, %68 'i yani 5922 metresi açma - kapama tünel ve %23 'ü yani 2058 metresi delme tünelden oluşmaktadır.

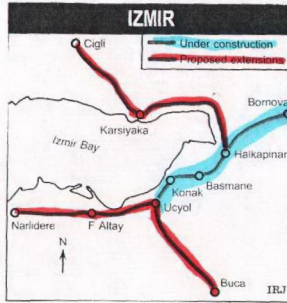
Raylı sistem hatlarının kenarında yer alan ve yerden 0.5 metre yüksekteki enerji alma rayı ( 3.Ray) elektrik çarpmalarına karşı yalıtkan bir malzeme ile korunmuş ve bakım-onarımın yapıldığı workshop 'ta stringer sistemi kullanılmıştır.

Ankara projesinin en önemli özelliği bugüne kadar karayolu trafiği içerisinde ve diğer trafikten ayrılmamış tramvay uygulamasından farklı bir güzergah yapısında tamamen henzemin ayrılmı olmasdır. Ray sistemlerinin kent trafik yapısının içerisinde bir takım önlemler alınmadan geçirilmesi uygun bulunmamaktadır. Bu nedenle Ankara LRT toplu taşıma sistemi güzergahı duvar ve emniyet çitleriyle tamamen koruma altına alınmıştır.

### 1.3 Diğer şehirlerimizdeki hafif metro çalışmaları:

#### 1.3.1 İzmir metrosu

Adtranz liderliğinde ABB ve Yapı Merkezi tarafından oluşturulan konsorsiyum ile 1994 Haziran ayında 420 milyon Dolarlık bir kontrat imzalanmıştır. İlk olarak Bornova - Basmane arasında 9 km. olarak düşünülen LRT daha sonra Üçyol 'a kadar uzatılmıştır. Şekil 1.3 'de İzmir hafif metrosunun güzergahı verilmiştir.



Şekil 1.3 İzmir hafif metro güzergahı

Şimdi 11.5 km. 'lik bu hat 10 adet istasyonu ile inşaa edilmektedir. Bornova istasyonu yer altındadır fakat Basmane 'ye kadar olan kısım eğimli ve yüksektir. Şehir merkezine doğru uzanan kısımlar yer altındadır. Basmanede LRT ile TCDD kesişmektedir.

45 araçtan oluşan bir filo meydana getirilmiştir. Araçların her biri 23.5 km. uzunluğunda, 2.65 m genişliğinde ve 3.76 m yüksekliğindedir. Dış bogilerde her biri serbest uyarmalı 2 'şer adet DC motor bulunmaktadır.

Enerji 750 V DC ve alış şekli 3. raydır. İstasyon platformları 125 m. ve 5 araç barındırabilecek kapasitededir. Üç araçlık bir dizi çalıştırıldığı zaman bir yönde 17.700 kişilik bir yolcu kapasitesine sahiptir. Beş araç çalıştırıldığı zaman bu rakam 37.400 'e çıkarılabilecektir.

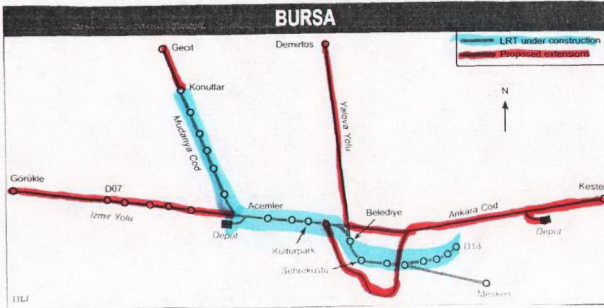
Bornovada - Halkapınar arası 1998 ilkbaharında işletmeye açılacaktır. Geri kalan kısım ise 1998 yılı sonuna doğru hizmete girecektir.

### 1.3.2 Bursa Metro su

Bursa hafif metrosu, Siemens liderliğinde, Ansaldo İtalya, Gürış ve Tüvesaş Türkiye, tarafından oluşturulan konsorsiyum tarafından yapılmaktadır. 300 milyon dolara mal olacak LRT 21.5 km uzunluğundadır. Ansaldo sistemin sinyalizasyon, haberleşme, kontrol gibi elektronik ile ilgili kısımlarından sorumludur.

3.7 km. lik üç istasyonlu kısım yer altında olacaktır. Toplam 23 adet İstasyon vardır. 30 m. uzunluğundaki 48 adet araçtan oluşan filoya ihtiyaç vardır. Araçlar 190 kişi kapasitelidir.

Sistem ise tek yönlü 11.000 kişi kapasiteli ve araçların maksimum hızı 80 km/ş dir. 1500 V DC. olup enerjilendirme sistemi katanerdir. İnşaat işlerine başlanmıştır. Şekil 1.4 Bursa hafif metrosunun güzergahı gösterilmiştir.



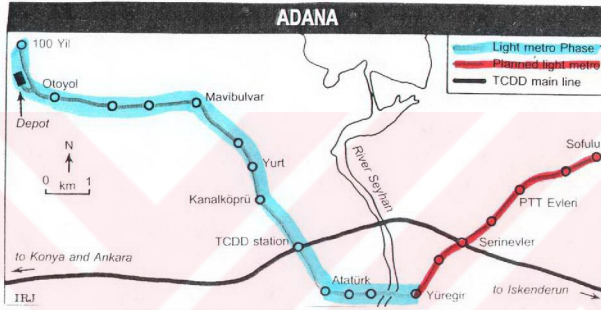
Şekil 1.4 Bursa hafif metrosunun güzergahı



### 1.3.3 Adana Hafif Metrosu

ABB, Alarko ve Adtranz 'dan oluşan konsorsiyum Türkiye'nin 4. büyük şehri olan Adana 'da LRT sistemi için bir araya geldi. 340 milyon dolara mal olan kontrat geçen Eylül ayında imzalanmıştır. Alarko sistemin inşaat işlerinden sorumludur. ABB ise elektrifikasyon işlerini yapacaktır.

Enerji 750 V DC. ve alış şekli katanerdir 13.3 km olan ilk güzergah 100. Yıl - Yüreğir arasında gerçekleştirilecektir. Şehir merkezine iki adet yer altı istasyonu olacaktır. Metro bu kısımda tamamen yer altında olacaktır. Şekil 1.5 'de Adana hafif metrosunun güzergahı gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Adana hafif metrosunun güzergahı

36 adet altı dingilli araçtan oluşacak bir filo hizmet verecek ve tek yönde 25.000 yolcu kapasitesine sahip olacaktır. Araçlar gelecek yıl alınacak ve LRT 1999 yılı başında hizmete girecektir.

### 1.3.4 Konya Hafif Metrosu

Halen işleyen hafif metro sistemine sahip illerimizden birisi 'de Konya 'dır. Burada sistem 750 V DC kataner olarak çalışmaktadır. Toplam uzunluğu 18 km.dir. Kullanılan araçlar, eski Köln metrosunun araçlarıdır ve oldukça eskidir. Kullanılan tahrik sistemi güç elektroniğine değil reostal tahrik sistemine dayalıdır. Maliyeti ucuz olduğu için böyle bir çözüm yoluna gidilmiştir.

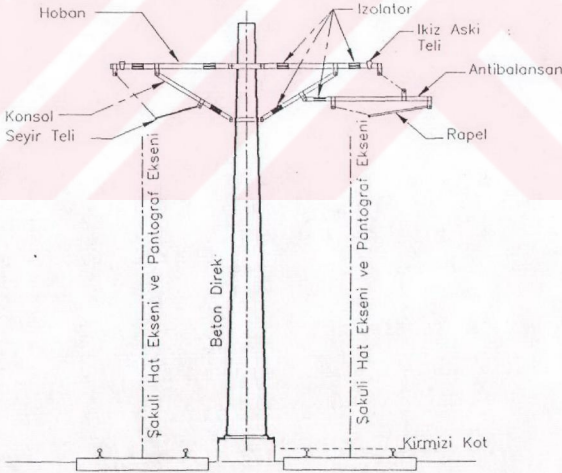
## BÖLÜM 2

### HAFİF METRO SİSTEMLERİNİN BESLEME ÜNİTELERİ

#### 2.1 Enerjilendirmede Kataner Sistemi

Elektrikleme için kullanılan bir sistemdir ve demiryolu üzerine asılmış bulunan bir temas hattı, yol eksenini üzerinde hassas bir şekilde yatay olarak tutulan bir taşıyıcı kablo sisteminden oluşur. Portör ve seyir telinden meydana gelmiş hatlara kısaca kataner denilir. Şekil 2.1 'de genel kataner tertibatı gösterilmiştir. Kataner sisteminde genellikle şu kısımlar mevcuttur:

- Portör : Konsollar ve izolatörler ihtiva eden direkler vasıtasıyla taşınan esas taşıyıcı kablo. Sabit düşey çubuklar vasıtası ile (pandüller) seyir teline bağlanmıştır ve alüminyum - çelik 'ten yapılmıştır.
- Pandüller: Seyir teli portöre yuvarlak sert bakır telden yapılmış pandüllerle asılmıştır. İki Pandül arası en fazla 9 m dir.

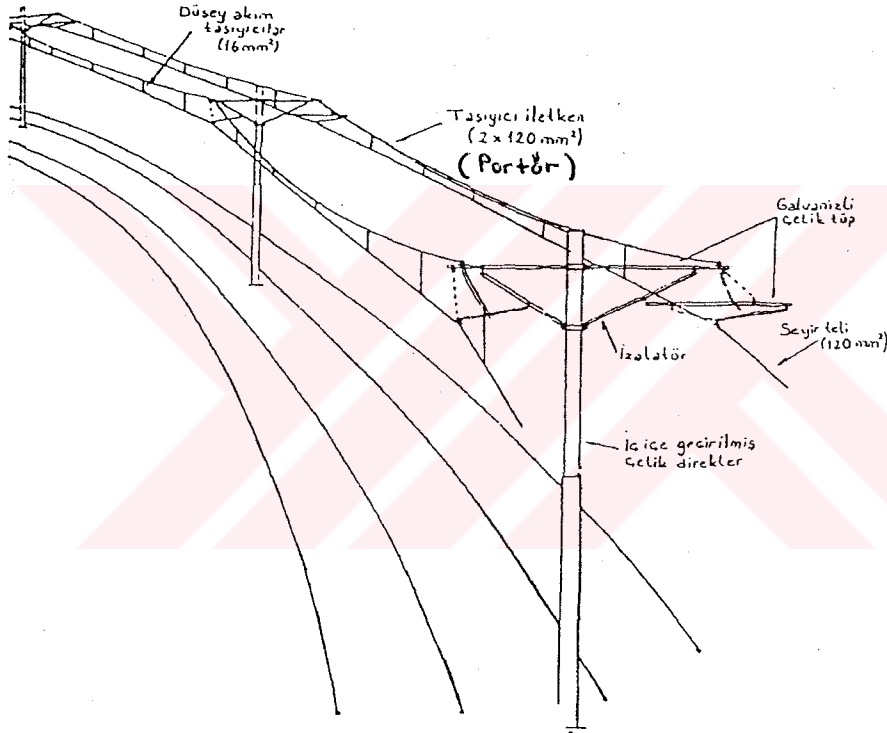


Şekil 2.1 Genel Kataner Tertibatı

c) Seyir teli: Elektrolitik sert bakırdır. Kesiti ve çapı kullanılan kataner gerilimine göre değişir. Pandüllerin tesbiti için seyir telinin sağında ve solunda kanallar vardır. Seyir teli özellikle büyük hızlarda, pantoğrafın iyi bir teması ve ısınma tesirinin yok edilmesi için çift yapılıdır (Şenol, 1992).

## 2.2 Kataner hattının genel boyutları ve değişik gerilimdeki katanerler:

İstanbul Hafif metrosuna kullanılan kataner sistemi  $3 \times 120 \text{ mm}^2$  kesitli bakır iletkenlerden oluşan, iki taşıyıcı ve bir seyir iletkeninden meydana gelmiştir. Şekil 2.2 'de İstanbul 'da kullanılan kataner sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.2 İstanbuldaki kataner sistemi

Seyir teli gerek elektriksel gerekse mekaniksel vasıflara sahip olmalıdır yani büyük gerilim düşümleri oluşturmayacak kadar iyi iletkenliği olmalıdır. Akımın portörden seyir teline akışı kolay olmalıdır. Genelde kataner devamlı olarak  $\text{mm}^2$  ye 4 A akım yoğunluğuna ve 3 dakika süreyle de  $\text{mm}^2$  'ye 6 A akım yoğunluğuna dayanabilir.

Yaklaşık her 1000 ve 2000 metre aralıkta, kataner hattına dengeleme balans üniteler yerleştirilmiştir. Bu üniteler vasıtasıyla, temas telinin gergi düzeni ayarlanmaktadır.

Hafif metro sistemlerinde kullanılan gerilimler şunlardır:

1. 600 V DC
2. 650 V DC
3. 750 V DC
4. 1500 V DC

Genellikle kullanılan gerilim 750 V ve 1500 V 'tur. 1500 V DC ile çalışan sistemlerde tali istasyonların elektrik tertibatı 750 V 'taki tertibatdan biraz daha masraflı olmasına rağmen; düşük akım çekildiğinden dolayı tali istasyonlar arası mesafe arttırılır. Buda hem ekonomik açıdan hemde kayıplar açısından önemli bir durumdur.

1500 V 'un bir avantajıda kataner hattı için 750 V 'daki armatürlerin kullanılabilmesidir. 750 V 'ta  $120 \text{ mm}^2$  olan seyir teli 1500 V dc. de ise  $400 \text{ mm}^2$  dir. Fransada kullanılmakta olan gerilimler 650 Volt (3.ray) ve 1500 volt (Kataner hatlarıdır). Gerilimlerin yüksek kullanılması durumunda kataner kesitleri biraz büyür. Fransada kataner  $400$  ve  $480 \text{ mm}^2$  dir.

Gerilimin yüksek olması 15 - 20 kilometrede bir trafo merkezi gerektirir. Kataner gerilimi arttıkça, trafo besleme merkezleri arasındaki mesafe artar (15 kV a.c sistemlerde 40 -60 km)

Hafif metro sistemlerinde 1500 V 'un kullanılması durumundaki avantaj ve dezavantajlar aşağıda yer almaktadır:

Gerilimin 1500 V DC Seçilmesindeki Avantajlar:

- 1) İyi bir cer kontrolü sağlanmakta
- 2) Akım ve gerilim %50 azalmakta
- 3) Daha az sayıda trafo merkezi yapılmakta
- 4) Fren enerjisinin daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamakta
- 5) Şalt ekipmanı ve koruma tesisi ihtiyacı hemen hemen yarıya inmekte
- 6) Trafo bina maliyetleri %40 azalmakta
- 7) Trafo kayıpları %15 daha az olmakta
- 8) Hat güç düşümü %75 azalmakta
- 9) AC/DC şalt tertibatı ve hat ekipman maliyeti %50 azalmakta

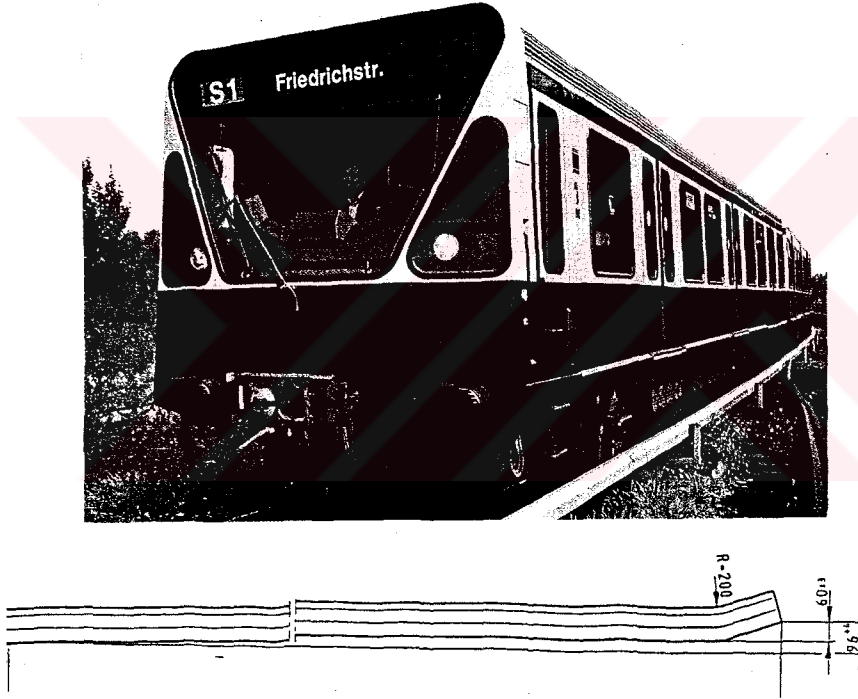
Dezavantaj olarakta:

- 1) Hat ekipman ebatları bir miktar büyümekte
- 2) Trafo merkezleri alanları bir miktar artmaktadır.

### 2.3 3.Ray Enerjilendirme sistemi :

3.Ray sistemi, trenlerin enerjilendirilmesinde kullanılır.Üçüncü ray STR 40 tipi ve yaklaşık 18 metre boyunda olup montaj anında kesilip uzatılabilir.Şekil 2.3 'de 3.ray ve bir trenin korumalı raydan enerji alışları gösterilmiştir. Hat boyunca ısı değişikliklerinden dolayı olabilecek genleşmeler için derz noktaları bırakılmıştır.

Üçüncü rayda kullanılan rampa raylar vardır ve bu raylar tek rampa ve çift rampa rayı olmak üzere iki çeşittir. Rampa rayları prensip olarak akım alma pabucunun hatta giriş çıkışını sağlar.Tek rampa rayı üçüncü rayın başladığı ve bittiği yerlerde kullanılır. Çift rampa rayı, üçüncü rayın kısa mesafeli monte edildiği yerlerde ve makaslarda kullanılır. Rampa rayların desteklenmesinde üçüncü rayın desteklenmesinde kullanılan malzemeler kullanılır.



Şekil 2.3 3.Ray ve trenin PVC korumalı raydan beslenmesi

Üçüncü raydaki enerjinin izolasyonunu sağlamak amacıyla, hattın üstüne PVC 'den imal edilmiş koruyucu kapak yerleştirilmiştir.Bu kısım çok önemlidir çünkü çarpılma sonucu hayati tehlike arz etmektedir. Koruyucu kapak rayın tipine göre değişik tipte ve boyutlarda olabilir.

Üçüncü raylardaki mesnetler, beton ve ahşap traverslerde kullanılmak üzere iki tiptir. Ahşap traverslerde, çam, meşe veya palamut kullanılabilir.Ankarayda kullanılan çam traverslerdir. Üçüncü rayın girişinde ve çıkışında kot ayarlamak için mesnetler

altında aralayıcılar kullanılır. İzolatörler üçüncü ray ile üçüncü ray mesnedi arasına monte edilir.

Üçüncü rayın enerjilendirilmesi projede belirlenen noktalarda  $2 \times 300 \text{ mm}^2$  NYY kablolarla sağlanır. Bu kablonun pabuçları galvanizlidir ve rayla birleştiği yerde rayın korozyona karşı korunması için kalay veya lehim pastası ile korunur.

Üçüncü rayda gerek işletmeden gerekse ısınmadan dolayı hatta bir takım bozulmalar meydana gelmektedir. Bunu düzeltmek için hattın mutad peryotlarla ölçümleri yapılmakta ve tesbit edilen kaymalar bilgisayar kontrollü ray düzeltme makinası tarafından düzeltilir.

### 2.3.1 3.Rayda akım kollektörü

Bu akım kollektörü üç fazlı akımla çalışan demiryolu araçlarında yeni bir ürün olarak geliştirilmiştir. Bogi 'ye direkt olarak izolatörsüz monte edilen akım kollektörü, ihtiyaç duyulan enerjiyi iletken raydan ulaşım aracına iletir. Düşük basınçta polietilenle izole edilmiş kollar, kollektör ayağından gerilim izoleli, akım kollektörünün gövdesini korur. Enerjili kısımları sadece kollektör pabuçu ve ring devre bağlantılı temas noktasıdır.

Sabit basınçlı hava kaynağı kollektör ayağını çalışma pozisyonunda tutar. Optimum iletken ray teması için kontak basıncı, spiral şeklinde iki adet gergin yay tarafından üretilir ve sürekli olarak ayarlanabilir. Basınçlı hava kaynağındaki bir arıza durumunda kollektör ayağı iletken raydan başka bir konuma alınır.

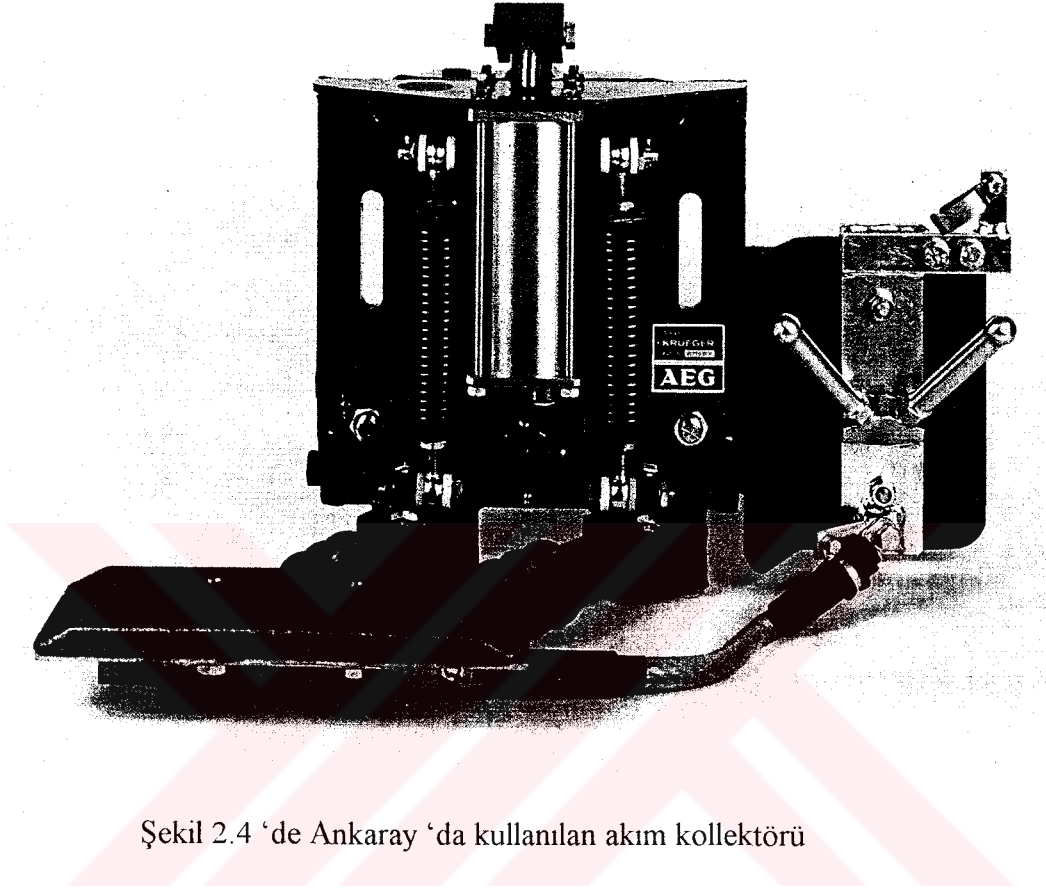
Bu özel durumda, akım kollektörünü elle hareket ettirmek mümkündür. Böyle bir durumda akım kollektörü bir el kolu vasıtasıyla çalışma pozisyonuna getirilir ve basınçlı hava silindiri içerisindeki kilitleme sistemi ile bu pozisyonda tutulur.

Akım kollektörünü iletken raydan ayırmak için gerekli konum değişikliği hem el ile hemde basınçlı hava işareti ile otomatik olarak yapılabilir. Kollektör pabucunun durma pozisyonu konum belirleyici anahtar ile gösterilir. Bunun için kullanılan elektriksel bağlantı akım kollektörünün üst tarafındadır. Şekil 2.4 'de Ankarayda kullanılan akım pabucunun şekli gösterilmiştir.

Tipik bir akım kollektörü 1000 A 'lik bir akımı iletebilmelidir. Normal olarak bir pabuç - ray temas kuvveti 100 N ve 140 N arasında uygulanır. Kontak kuvveti akım pabucunun dizaynına, ve iletken ray ile akım pabuçu arasındaki malzemeye bağlıdır.

Yumuşak akım geçişi için, düşük karbon içerikli alaşımsız, yüksek sertlikteki çelikten akım pabuçu kullanılabilir. Pabuç için servis ömrü 150.000 km. 'ye kadar ulaşabilir. Akım kollektörü, yalıtılmış konsol üzerine yerleştirildiği zaman tekrar yalıtılmasına gerek yoktur.





Şekil 2.4 'de Ankaray 'da kullanılan akım kollektörü

Akım kollektörü yerleştirilirken, iyi bir pabuç-ray temasına, optimum iletim ve minimum elektriksel pabuç aşınmasına özen gösterilir. Pabuç ve teker aşınmasını telafi etmek için düşey yükseklik ayarı, akım kollektörünün montajına dahil edilebilir. Yaklaşık olarak 40mm 'lik bir ayar sahası sağlanabilir.

Akım kollektörünün dizaynında, paralelkenar prensibi ile yüklenen bir yay benimsenmiştir. Bu durum pabucun, raya sabit bir basınçla deplasmanın tümü boyunca temasını sağlar. bir diğer faydasıda, akım pabucundan yayılan gürültüyü azaltmasıdır. Taşıma sisteminden istenilen işletme şartları, akım kollektörünün mekaniksel ve elektriksel açıdan yüksek bir performansta olmasını gerektirir.

Teknik özellikler:

Gerilim : 750 V  
Nominal akım : 1000 A

Temas basıncı	: 130 N $\pm$ 10 N
Akım toplaması	: Alttan
Basınçlı hava	: 0.3 - 0.6 Mpa
Ağırlık	: 35 kg
Model	: 430080

### 2.3.2 3. Ray sistemindeki topraklama ve akım geri dönüş sistemi :

LRT sistemlerinde, sistemin kurulmasından önce topraklama ve besleme akımının dönüş sistemlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Doğru akımla çalışan raylı sistemlerin işletme akımları, trafo istasyonlarının pozitif kutbundan 3. Ray ve akım kollektörleri üzerinden araca ulaşır.

Akımın geri dönüşü ise araç ve raylar üzerinden sağlanır. Geri dönüş akımı raylardan alınıp izole edilmiş iletkenlerle doğrultucu trafo merkezinin negatif kutbuna iletilir. Şimdi 3. Ray 'da kullanılan topraklama sistemlerine bir göz atalım.

#### Hat topraklaması (RE) :

Raylar, izolasyonu sağlanmış geri dönüş kablosu ve doğrultucu trafo istasyonlarının akım dönüş baraları RE 'yi oluşturur.3. ray 'ın normal işletme anında ve kısa devre durumlarında 3. Ray, tren rayları ve geri dönüş iletkeninde gerilim düşümleri olur. Geri iletim sistemindeki bu gerilim düşümleri tren rayları ve tünel topraklaması TE arasında "ray potansiyeli" adı verilen bir gerilim farkına yol açar. Şekil 2.5 'te Ankaraydaki topraklama sistemi gösterilmiştir.

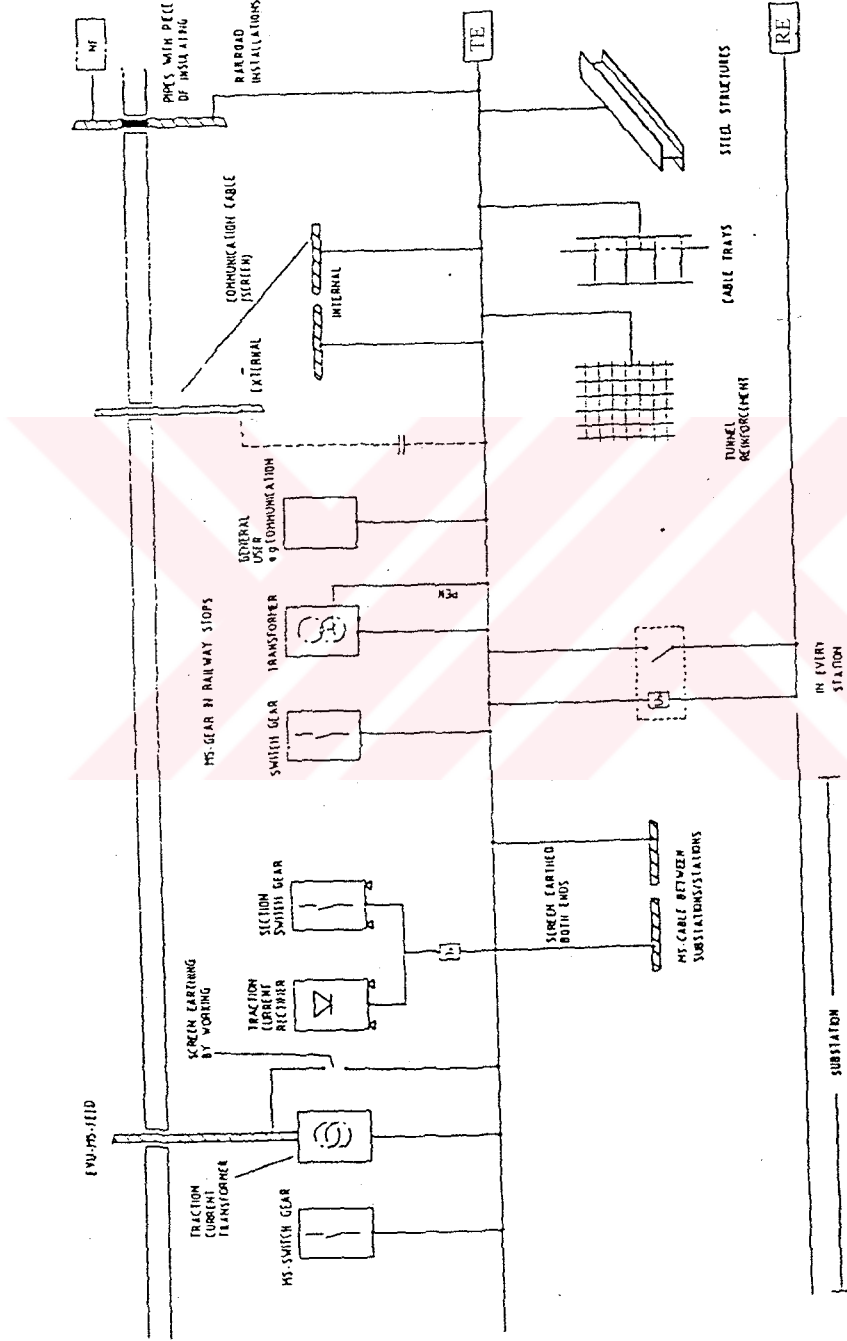
Doğru akım etüdlerinde raylar üzerine düşebilecek gerilimler hesap edilmiştir. Trenlerin arzulanmayan konumlarda olmasıyla, bir trafonun devreden çıkması durumlarında ray üzerine düşen gerilimler işletmede izin verilen dokunma gerilimi olan 92 voltun üzerine zaman zaman çıkabilmektedir.

Bu nedenle her istasyonda kısa devre elemanlarına ihtiyaç vardır. İstasyon kısa devre elemanı, hat toprağı RE ile tünel toprağı TE arasındaki potansiyel farkını algılar ve normal değerinin dışında, yüksek ray gerilimlerinin ortaya çıkması halinde bu iki toprak sistemini kısa devre ederek aralarındaki gerilim farkını ortadan kaldırır. Şalter kapandıktan 16 sn sonra otomatik olarak açılır. Böylece yüksek kaçak akım değerlerinin oluşması önlenir. Şalterin kapanması esnasında DC besleme kaynağından sağlanan işletme akımları ve oluşan kısa devre akımları tünel toprağı TE üzerinden geri döner.

Bu gerilim düşümünün uzun süreli olması ve sık sık tekrar etmesi durumunda yukarıda izah ettiğimiz koruma yetersiz kaldığı için "Frame Fault Protection" denilen ayrı bir koruma devreye girer.



Doğrultucunun yanındaki akım geri dönüş panosunun içerisinde yer alan bu koruma, işareti doğrultucunun şasesinden alır ve ölçer. 120 V 'un üzerinde belirli bir süre gerilim görülürse kesicileri açarak 3.Rayı enerjisiz bırakır. Dolayısıyla sistemdeki cihazlar korunmuş olur. Her istasyonda bulunan, yukarıda izah ettiğimiz kısa devre elemanları cihazdan ziyade insan sağlığını korumaya yöneliktir.



Şekil 2.5 Ankaray 'daki topraklama sistemi

### Kaçak akımlar:

Toprağa geçen kaçak akımlar, kaynağa döndürülemez ve kontrolsüz olarak sistemin dışına dağılırsa, çevredeki metal yapılarda ve borularda elektriksel korozyona sebep olur. İstatistiklere göre 1 A 'lik kaçak akım senede 9 kg demiri yemektir. Kaçak akımlar bir demir aksamla karşılaştıkları zaman, özellikle çıkış bölgelerinde elektronlar kopararak korozyona sebep olurlar (Şekil 2.6).

Bu zararları engellemek için tünellerin altında kaçak akımları toplama sistemleri oluşturulur. Kaçak akımların en fazla olduğu tünel altlarında ızgara şeklinde demir kütleler oluşturulur. Bu oluşturulan kütlelerde toplanan akımlar izoleli kablolarla akım geri dönüş rayına iletilir.

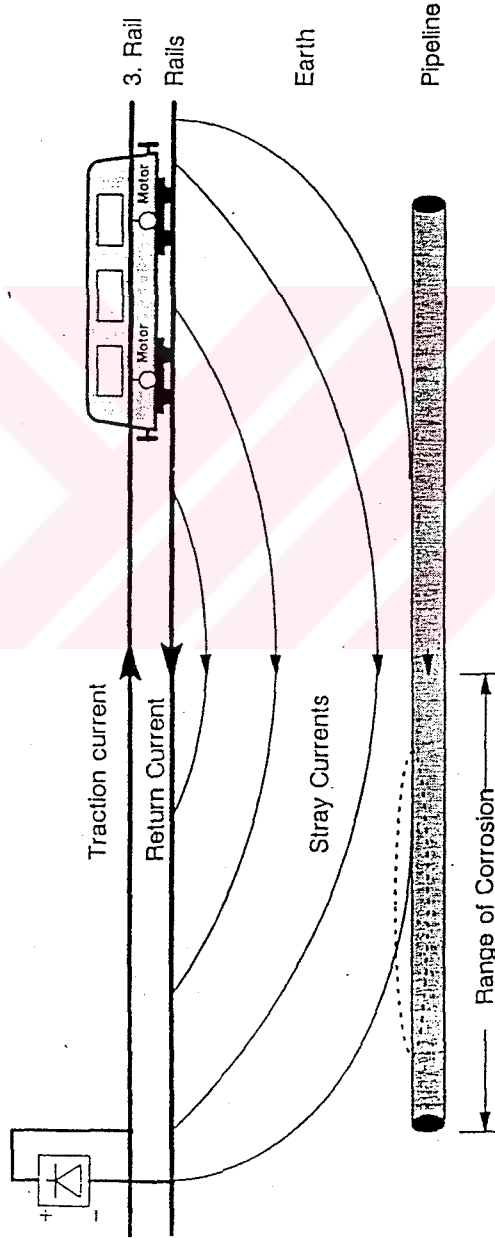


Bild 4.1.1: Ankaray – Operation Currents and Stray Currents of DC Railways

Şekil 2.6 Kaçak ve geri dönüş akım şeması

### Tünel topraklaması (TE) :

Elektriksel olarak birbirine bağlanan demir tünel iskeleti “Tünel topraklaması” olarak adlandırılır. TE, gerilim eşleyiciler ile birlikte orta gerilim ve alçak gerilim koruma topraklamasını da oluşturur.

Dışarıdan tünele giren, topraklamaya temas eden yada diğer topraklama sistemlerine bağlı olan iletkenler TE ‘ye göre elektriksel olarak izole edilmeli yada izolasyon flanşı sayesinde TE ‘den ayrılmalıdır. Raylar ile TE arasında elektriksel bağlantılara izin verilmemelidir. Sinyalizasyon, tahrik, koruma sistemleri gibi zorunlu olarak raylara monte edilen elemanların, kaçak akımları önlemek için, TE ‘ye karşı izolasyonu sağlanmalıdır.

### 2.4 Kataner sistemi ile 3. Ray sisteminin karşılaştırılması

Hafif metro ve metro sistemlerinde kullanılan kataner ve 3.ray sistemi değişik kriterler göz önünde tutularak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar yapılırken gözlemler ağırlıktadır. Tablo 2.1 ‘de ise iki sistem emniyet, fiyat, bakım, hat bağlantısı v.b açılardan karşılaştırılmıştır.

#### 2.4.1 Kataner sisteminin avantajları ve dezavantajları:

##### Kataner Sisteminin Avantajları:

- 1) Güvenlik bakımından esas olan halkın ve personelin erişemeyeceği kadar uzağa sistemin tesisine imkan sağlar.
- 2) Tren arızası ve acil durumlarda herhangi bir almağa ihtiyaç olmadan bakım personelinin raylar üzerine inebilmesi, ray üzerindeki bir yaralıyı tren seferlerinde önemli bir gecikmeye meydan vermeden alınabilme imkanını sağlar.
- 3) Kataner sisteminde cer akımının bir veya daha fazla vagonun ayrılmasını gerektiren, bir vagon üzerinde elektrik arızası gibi acil durumlarda öteki vagonları besleyen enerji kesilmeden, ilgili pantoğraf süratle ve otomatik olarak aşağı indirilebilir.

##### Kataner sisteminin dezavantajları:

- 1) Pantoğrafta kömür harcanması mutad olarak bakımı ve değiştirmeyi gerektirmektedir.
- 2) Estetik olarak güzel bir görünüme sahip değildir. Direkler, teller karmaşık bir görüntü arz etmektedir.

	Kataner hattı	Üçüncü ray
	0	0
Akım dağıtma özelliği	Yüksek akım uygun ölçümlü çapın seçimiyle gerçekleştirilebilir	Uygun çapın seçimiyle, başka bir önlem alınmaksızın yüksek akım bile mümkün
	+	-
Hat bağlantısı	Bütün tras şekillerinde uygulanabilir	Sadece kendi demiryolu gövdesi için uygulanabilir, bariyerlerde sorunludur
	+	-
Fiyat görünümü	Kontakt ray'dan daha ucuzdur, çünkü az istinat noktası gereklidir	Çok sayıda istinat noktası ve ek ekipman aynı değerdeki havai kantakt hattından daha pahalıdır
	+	-
Bakım	Ray çalışmaları sırasında elektrik cer kuvveti kontağının kapatılmasına gerek yok	Ray çalışmaları sırasında fazla israflı elektrik cer kuvveti kontağı kapatılmalı
	+	-
Emniyet	Yetiştirilecek alanın dışında, kaza tehlikesi sadece çok büyük dikkatsizlikte olabilir.	Ulaşılabilinecek alanda bulunmaktadır, kaza tehlikesi var
	+	-
Tüneldeki imdat yolu	İmdat yolunu engellemiyor.	Kontakt ray imdat yolunun alanında bulunmaktadır. Yolcuların emniyeti için özel önlemler gereklidir.
	+	-
Üst ulaşım hatlarındaki estetik düşünceler	Optik görünümü bozmakta, bazı dizayn önlemleriyle asgariye indirilebilir.	Doğrudan görülebilen cisimler örnek direkler çapraz alanlar vs. yok
	0	0
Yer ihtiyacı	Tünel profiline bağlı: Taşıtın üstünde boşluğa ihtiyaç var	Tünel profiline bağlı: Taşıtın yanında boşluğa ihtiyaç var

Tablo 2.1

### 2.4.2 3.Ray sisteminin avantajları ve dezavantajları

#### 3.Ray sisteminin avantajları:

- 1) Tünel yüksekliği kataner sistemine göre daha düşük olmaktadır. Bunun neticesinde tünel inşaat maliyeti daha az olmaktadır.
- 2) Kataner sisteminde tellerin onarımı için özel tamir ekipmanı gerekmektedir.
- 3) Estetik açısından güzel bir görünüşü vardır.
- 4) Akım pabucunda kömür harcama gibi bir problemi yoktur.

#### 3.Ray sisteminin dezavantajları:

1)Arıza ve acil durumlarda korumalı olmayan 3. Ray sisteminde personelin raylar üzerinde gerilim kesilmeden veya gerekli tedbir alınmadan çalışması mümkün değildir. Nitekim Ankara metrosunda bir kaza meydana gelmiştir.

2)Bakım tesislerinde, güvenlik bakımından özel cer gücü tesisleri (Ankaraydaki Stringer sistemi gibi ) kurulmasını gerektirmektedir.

3)Tünellerde yolcu indirilirken 3. Ray korumalı değilse gerilim kesilmeden yolcu indirmek tehlikeli olmaktadır. Ayrıca gerilim kesildiği için klimalar çalışmadığından tahliye güvenli ve rahat değildir.

4)İşletmeden ve sıcaklıktan kaynaklanan genleşmelerden dolayı rayda kaymalar olmaktadır.Bilgisayar kontrollu bir makine ile kontrol ve düzeltmeler gerekmektedir.

5)İletken Ray genleşme sebebiyle kesintisiz yekpare olamamakta aralıklı döşenme durumunda olmaktadır. Elektriki sürekliliği sağlamak için elektriki köprüler yapılmasını icap ettirir.

6)Makaslarda bu aralıklar daha fazla olmakta, tekrar kontak sağlandığında ekipmanı korumak amacıyla özel düzenlemelere ihtiyaç duyulmaktadır.

7)Özellikle makaslardan geçerken akım alma pabuçlarının iletken rayla temasının devamlılığı sebebiyle her iki araçlık üniteye dört pabuç koymayı gerektirmektedir. Buda araç altında gerilim ileten kabloların fazla kullanılması demektir.

8)3. Raydaki izolatörler oldukça temiz ve kuru tutulması gerekir. Temiz ve kuru tutulmadığı sürece özellikle nemli ve kirli tünellerde iletken raydan toprağa elektrik kaçağı meydana getiriyor.

9)PVC izolasyon koruma maliyeti arttırmaktadır.

10) Üsten temaslı 3. Raylarda koruma olayı çok zordur ve açık mekanlarda ray çevresel etkilerden daha fazla etkilenir.

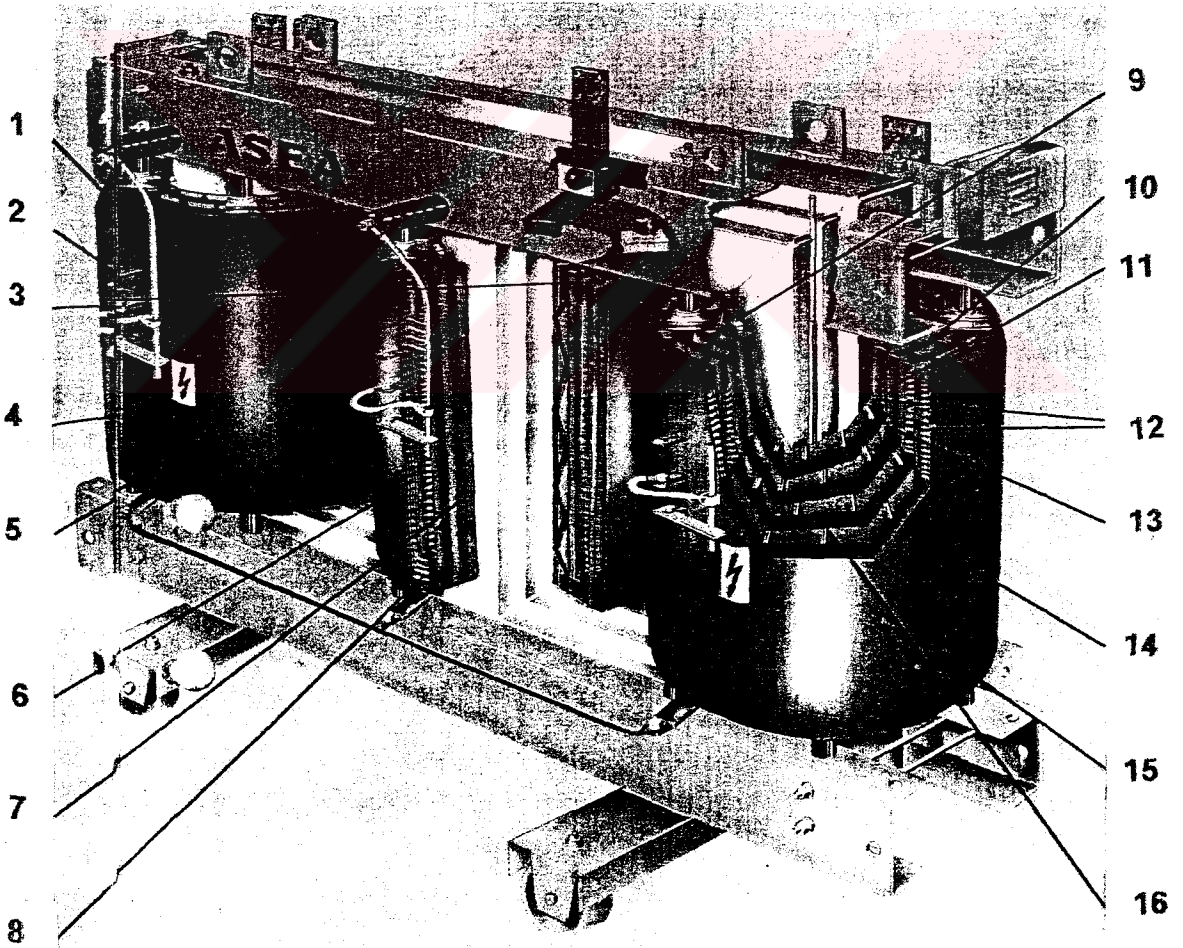
## BÖLÜM 3

### BESLEME İSTASYONLARININ İNCELENMESİ

#### 3.1 İstanbul hafif metrosunun besleme istasyonları

On adet trafo merkezi, 34.5 kV 'luk besleme girişlerinden köprülenerek birbirlerine bağlanmıştır. Yani 34.5 kV 'luk enerjiyi, kesiciler vasıtasıyla diğer istasyonlara aktarmak mümkündür. Trafo merkezlerinden dokuz adedi, kataner enerjisini ve istasyon aydınlatması için gerekli enerjiyi sağlar. Onuncu trafo merkezi, sadece workshop alanının aydınlatma ve yardımcı servislerinin elektrik enerjisini sağlamada kullanılır. (380/220)

Aksaray, Ferhatpaşa, Bakırköy trafo merkezleri hariç diğer istasyonlarda, ikişer adet 2.4 MVA 'lık kuru tipli güç trafosu mevcuttur. Bu trafoların kullanımından sağlanan en büyük fayda yangın tehlikesinin bulunduğu bölgelerde diğer trafolara nazaran daha güvenilir olması, nem ve değişken çevre şartlarına dayanımının yüksek olmasıdır. Şekil 3.1 'de bu trafo gösterilmiştir.



Şekil 3.1 ASEA tarafından üretilen kuru tip transformatör

### 3.1.1 Kullanılan trafolar hakkında teknik veriler

- 1) Fiber glass dayanımı çatlama riskini ortadan kaldırır.
- 2) En yüksek ve en düşük sıcaklıklarda bile yalıtımı sağlar.
- 3) Sargı
- 4) Pürüzsüz yüzey toz birikimini önler,
- 5) Fiber glass ve epoksi reçine rutubet girişini önler ve değişken çevre şartlarına karşı koruma görevi yapar,
- 6) Lineer bir gerilim dağılımı sağlayan gerilim tabakası vasıtasıyla ani aşırı gerilim yükselmelerini önler,
- 7) Alçak gerilim sargılarının dışındaki fiber glass vasıtasıyla kısa devrelere dayanabilir,
- 8) Fiber glass yüksek gerilim sargılarında bakır kullanılmasına izin verir,
- 9) Kısa devrelere karşı gövde koruması vardır,
- 10) Eksenel soğutma kanalları 10 MVA 'ya kadar doğal soğutma imkanı sağlar,
- 11) Alçak gerilim sargılarında bakır veya aliminyum plaka kullanılmıştır.
- 12) YG ve AG sargılarında fiber glass kullanımı ile yüksek mekanik ve kısa devrelere dayanımı sağlar,
- 13) Alçak gerilim metal tabaka sargıları eksenel kısa devre zorlamalarını minimuma indirir,
- 14) Fiber glass kullanımı ile 15 MVA 'ya kadar tek parça blok halinde sargıların kullanımı mümkündür,
- 15) Kullanılan tüm malzemeler kendinden söndürmelidir ve ark olaylarında zehirli gazlar ortaya çıkmaz,
- 16) Silindirik soğutma kanalları optimum soğutma avantajını sağlar.

#### Cihaz verileri:

##### 1. PTC sensörlü aşırı yük koruması:

Nominal çalışma gerilimi $U_c$	220 V(isteğe göre değiştirilebilir)
Frekans	40-60 Hz
Müsade edilen çevre sıcaklığı	-20 - +55°C
Çalışma Bölgesi	0.8 - 1.1 $U_c$
Güç tüketimi	3.5 A
Sensör çevriminin toplam soğuk direnci	$\leq 1.5\Omega$
Koruma sınıfı	IP20
Devamlı akım $I_{th2}$	4A
Nominal çalışma akımı $I_e$	1.5A
Nominal anahtarlama kapasitesi	15 A(max.250 V, $\cos\phi=0.7$ )
Kısa devre sigortası, yavaş cevap	2 A
Kısa devre sigortası, hızlı cevap	4 A
Hat kesiti	2.5 mm <sup>2</sup>
PTC sensör verisi:	
25°C soğuk direnç	$3 \times \leq 250\Omega$
Test gerilimi	2500 V



## 2. Kadranlı termometre verileri:

Ölçme alanı	0-160°C
Skala çapı	100 mm
Sıcaklık sensörü	çap 8×65 mm <sup>2</sup>

## 3. Direnç termometre:

Direnç	platinyum, 100Ω
Sıcaklık katsayısı	3.86×10(-3)/°C
Sıcaklık sensörleri	2 × 8 × 250 mm

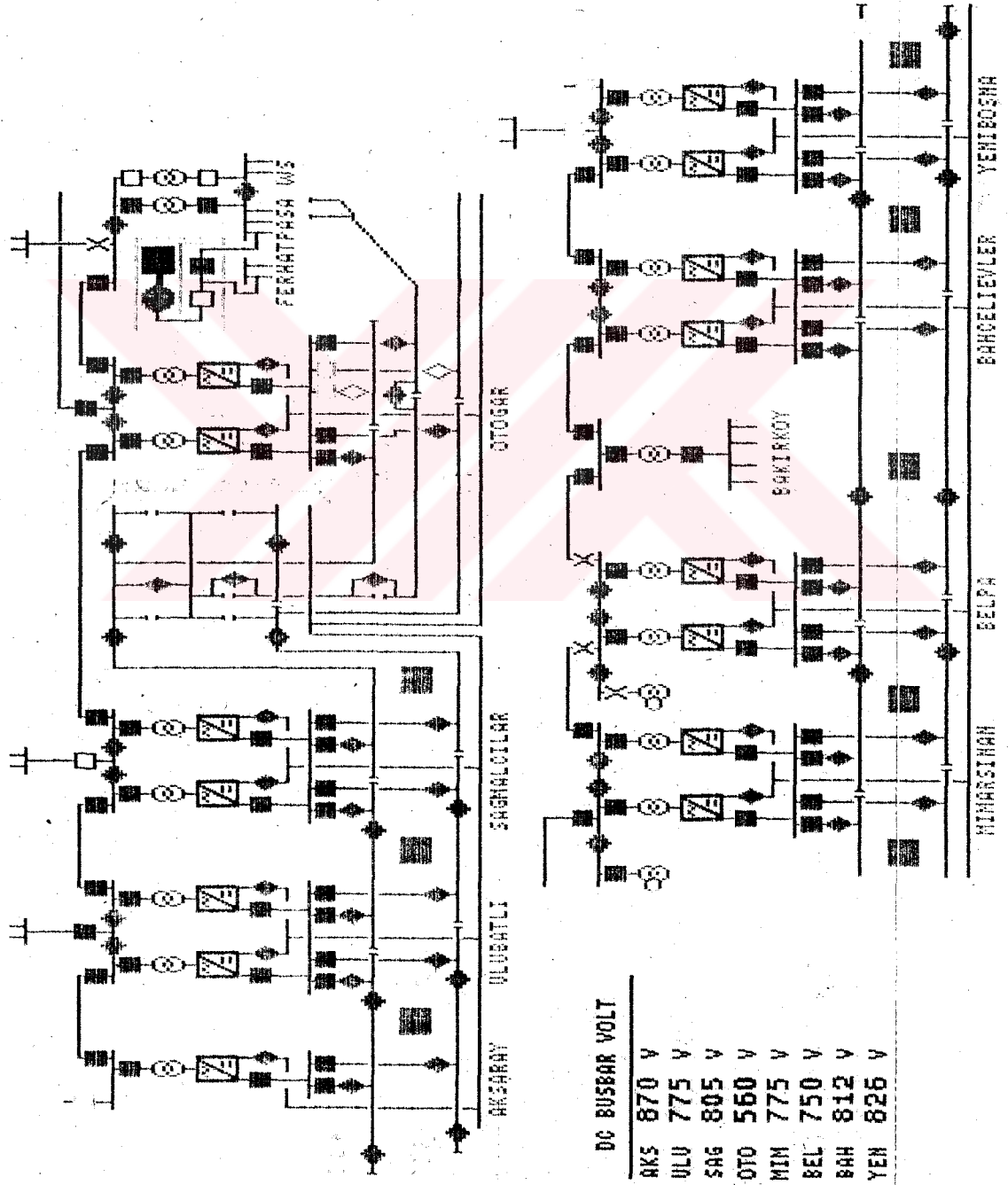
Aşağıda İstanbul hafif metrosundaki merkezleri yerleri, değerlerive gerilim kademeleri belirtilmiştir:

AKSARAY	trafo merkezi :	34.5/2×0.6kV S= 2.4 MVA
ULUBATLI	trafo merkezi :	34.5/2×0.6kV S= 2×2.4 MVA
SAĞMALCILAR	trafo merkezi :	34.5/2×0.6kV S= 2×2.4 MVA
OTOGAR	trafo merkezi :	34.5/2×0.6kV S= 2×2.4 MVA
FERHATPAŞA	(merkez) :	34.5/0.4 kV S= 2×1.25MVA
MİMARŞİNAN	trafo merkezi :	34.5/2×0.6kV S= 2×2.4 MVA
BELPA	trafo merkezi :	34.5/2×0.6kV S= 2×2.4 MVA
BAKIRKÖY	trafo merkezi :	Yapımı devam ediyor
BAHÇELİEVLER	trafo merkezi :	34.5/2×0.6kV S= 2×2.4 MVA
YENİBOSNA	trafo merkezi :	34.5/2×0.6kV S= 2×2.4 MVA

Bu ana trafolarının yanı sıra istasyonlarda iç ihtiyaçlar için yardımcı trafolar vardır.Kullanılan trafolar yağlı tip yardımcı servis trafolarıdır.Bütün trafo merkezleri, TEK 'ten enerji alabilecek şekilde düzenlenmiştir. Fakat sadece Ulubatlı, Sağmalcılar, Ferhatpaşa ve Yenibosna istasyonları TEK 'ten direk beslenirler. TEK 'den direkt beslenecek istasyonların seçimi sadece TEK 'in müsaade etmesine ve uygun görmesine bağlıdır.Aşağıda yardımcı trafoların değerleri ve yerleri belirtilmiştir. Şekil 3.2, 3, 4, 5, 6 'da kontrol bilgisayarından alınan genel trafo merkezlerinin şeması, bu merkezlerden şekilen akımlar ve gerilimler ile bazı trafo istasyonlarının şemaları gösterilmiştir.

AKSARAY	trafo merkezindeki :	500 kVA	34.5/0.4 kV
ULUBATLI	trafo merkezindeki :	315 kVA	34.5/0.4 kV
SAĞMALCILAR	trafo merkezindeki :	100 kVA	34.5/0.4 kV
OTOGAR	trafo merkezindeki :	315 kVA	34.5/0.4 kV
MİMARŞİNAN	trafo merkezindeki :	315 kVA	34.5/0.4 kV
BELPA	trafo merkezindeki :	315 kVA	34.5/0.4 kV
BAKIRKÖY	trafo merkezindeki :	1 MVA	34.5/0.4 kV
BAHÇELİEVLER	trafo merkezindeki :	630 kVA	34.5/0.4 kV
YENİBOSNA	trafo merkezindeki :	800 kVA	34.5/0.4 kV

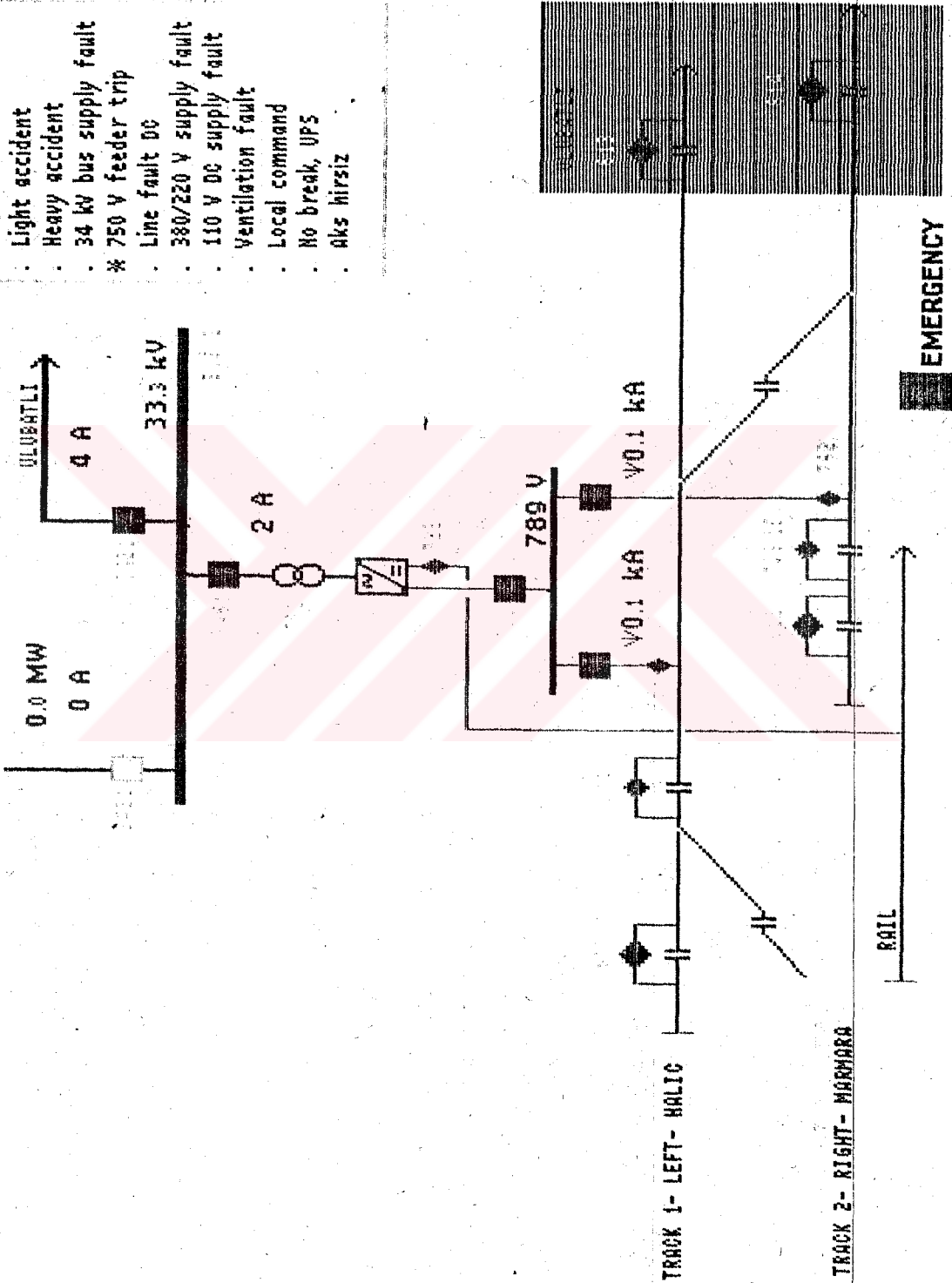




Şekil 3.2 Aksaray - YeniBosna arasındaki trafo istasyonlarının kombine devre şeması

## ALARMS

- . Light accident
- . Heavy accident
- . 34 kV bus supply fault
- \* 750 V feeder trip
- . Line fault DC
- . 380/220 V supply fault
- . 110 V DC supply fault
- . Ventilation fault
- . Local command
- . No break, UPS
- . Aks hirsiz



Şekil 3.3 Aksaray trafo istasyonunun kombine devre şeması

## ALARMS

Light accident

Heavy accident

. 34 kv bus1 supply fault

. 34 kv bus2 supply fault

. 750 V feeder trip

. Line fault DC

. 380/220 V supply fault

. 110 V DC supply fault

\* Ventilation fault

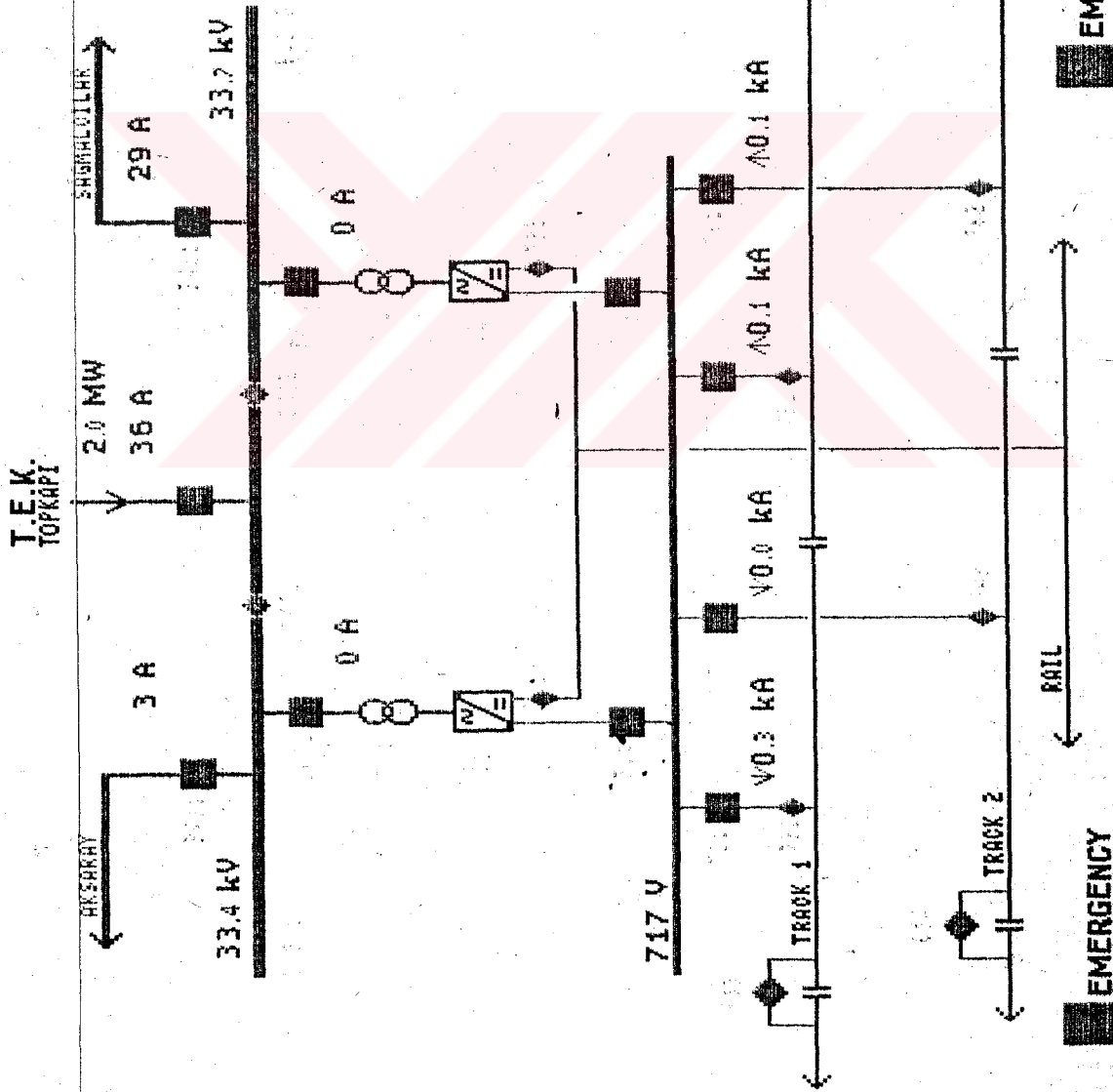
. Local command

. No break, UPS

. Motor I fault

\* Motor II fault

. Ulu hirsiz

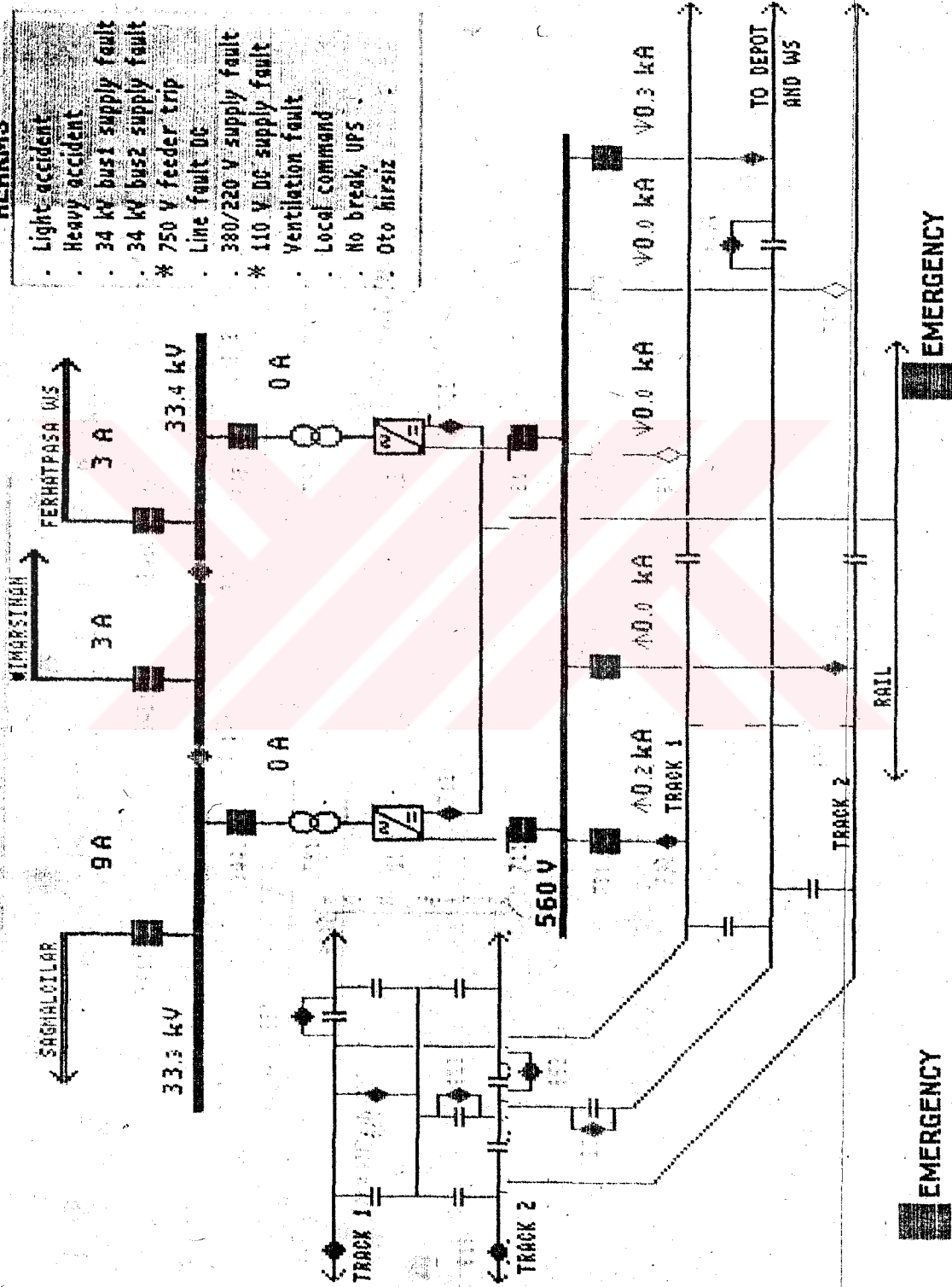


Şekil 3.4 Ulubatlı trafo istasyonunun kombine devre şeması

AKSARAY POWER 0.0 MW	ULUBATLI POWER 4.2 MW	SAGMALCILAR POWER 0.0 MW	OTOGAR	FERHATPASA
3411 8 A	3411 8 A	3411 15 A	3411 32 A	3411 4 A
3421 0 A	3421 37 A	3421 16 A	3421 3 A	3421 0 A
BUS 1 33.7 kV	3431 51 A	3431 0 A	3431 28 A	BUS 1 33.3 kV
BUS 2 33.7 kV	BUS 1 33.4 kV	BUS 1 33.5 kV	BUS 1 33.7 kV	
3441 6 A	BUS 2 33.7 kV	BUS 2 33.4 kV	BUS 2 33.4 kV	
DC 785 V	3441 10 A	3441 0 A	3441 1 A	3431 4 A
	3451 10 A	3451 0 A	3451 1 A	3441 0 A
	DC 677 V	DC 793 V	DC 560 V	
	731 $\sqrt{0.0}$ kA	731 $\sqrt{0.5}$ kA	731 $\sqrt{0.0}$ kA	
	741 $\sqrt{2.0}$ kA	741 $\sqrt{0.1}$ kA	741 $\sqrt{0.1}$ kA	
751 $\sqrt{0.0}$ kA	751 $\sqrt{0.3}$ kA	751 $\sqrt{0.0}$ kA	751 $\sqrt{0.0}$ kA	
761 $\sqrt{0.5}$ kA	761 $\sqrt{0.0}$ kA	761 $\sqrt{1.0}$ kA	761 $\sqrt{0.0}$ kA	
			771 $\sqrt{0.3}$ kA	
MIMARSINAN	BELPA	BAKIRKOY	BAHCELIEVLER	YENIBOSNA
3411 18 A	3411 14 A	3411 3 A	3411 3 A	POWER 0.0 MW
3421 16 A	3421 5 A	3421 5 A	3421 2 A	3411 0 A
BUS 1 33.3 kV	BUS 1 33.4 kV	BUS 1 33.2 kV	BUS 1 33.4 kV	3431 0 A
BUS 2 33.3 kV	BUS 2 33.3 kV	BUS 2 33.5 kV	BUS 2 33.3 kV	BUS 2 33.7 kV
3441 2 A	3441 5 A	3441 1 A	3441 1 A	3441 0 A
3451 2 A	3451 0 A	3451 1 A	3451 1 A	3451 0 A
DC 732 V	DC 786 V	DC 817 V	DC 817 V	DC 817 V
731 $\sqrt{0.1}$ kA	731 $\sqrt{0.3}$ kA	731 $\sqrt{0.1}$ kA	731 $\sqrt{0.1}$ kA	731 $\sqrt{0.0}$ kA
741 $\sqrt{0.0}$ kA	741 $\sqrt{1.0}$ kA	741 $\sqrt{0.0}$ kA	741 $\sqrt{0.1}$ kA	741 $\sqrt{0.0}$ kA
751 $\sqrt{0.1}$ kA	751 $\sqrt{0.0}$ kA	751 $\sqrt{0.0}$ kA	751 $\sqrt{0.0}$ kA	751 $\sqrt{0.0}$ kA
761 $\sqrt{0.5}$ kA	761 $\sqrt{0.0}$ kA	761 $\sqrt{0.0}$ kA	761 $\sqrt{0.0}$ kA	761 $\sqrt{0.0}$ kA

Şekil 3.6 Bütün istasyonlardaki herbir trafodan, kıyıcı ve ayırıcıdan çekilen akım - Bara gerilimleri

- ALARMS**
- Light accident
  - Heavy accident
  - 34 kV bus1 supply fault
  - 34 kV bus2 supply fault
  - \* 750 V feeder trip
  - Line fault DC
  - 380/220 V supply fault
  - \* 110 V DC supply fault
  - Ventilation fault
  - Local command
  - No break, UPS
  - Oto hirsiz



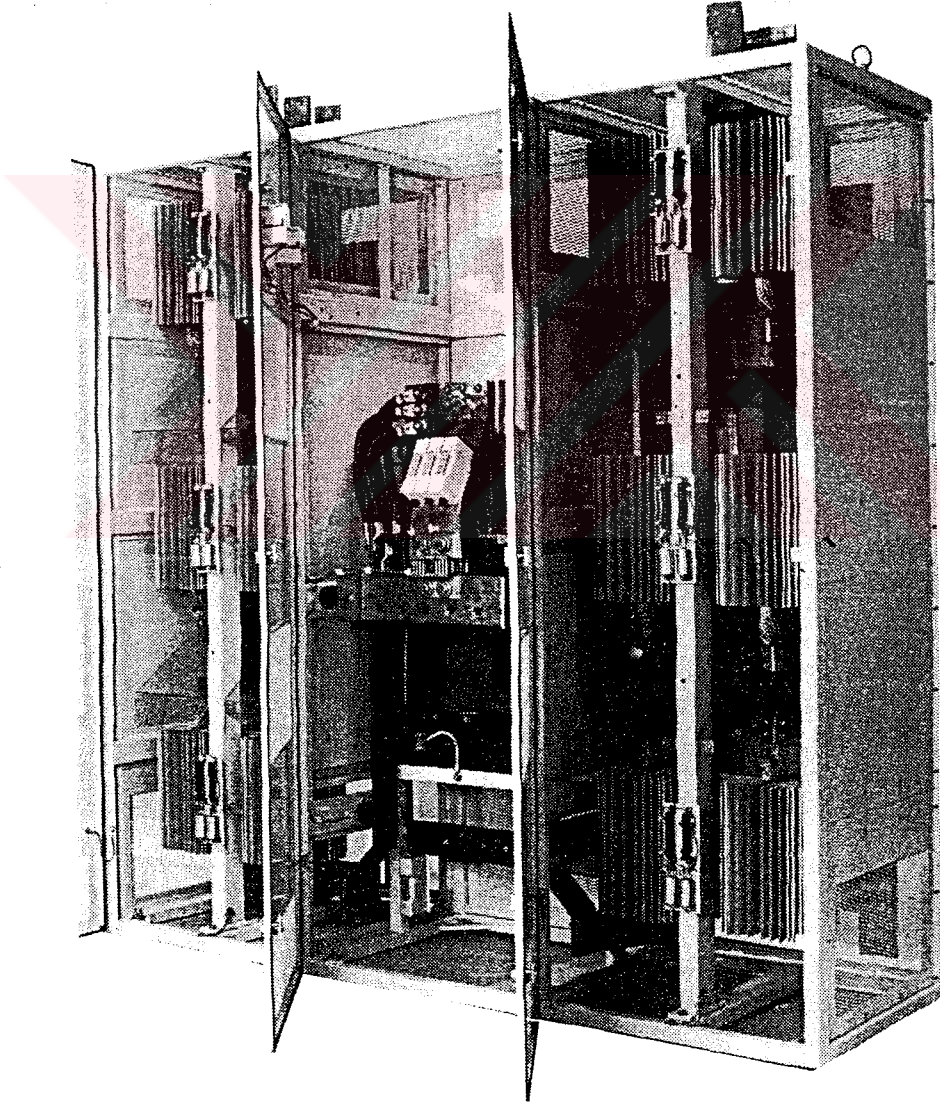
Şekil 3.5 Otogar trafo istasyonunun kombine devre şeması



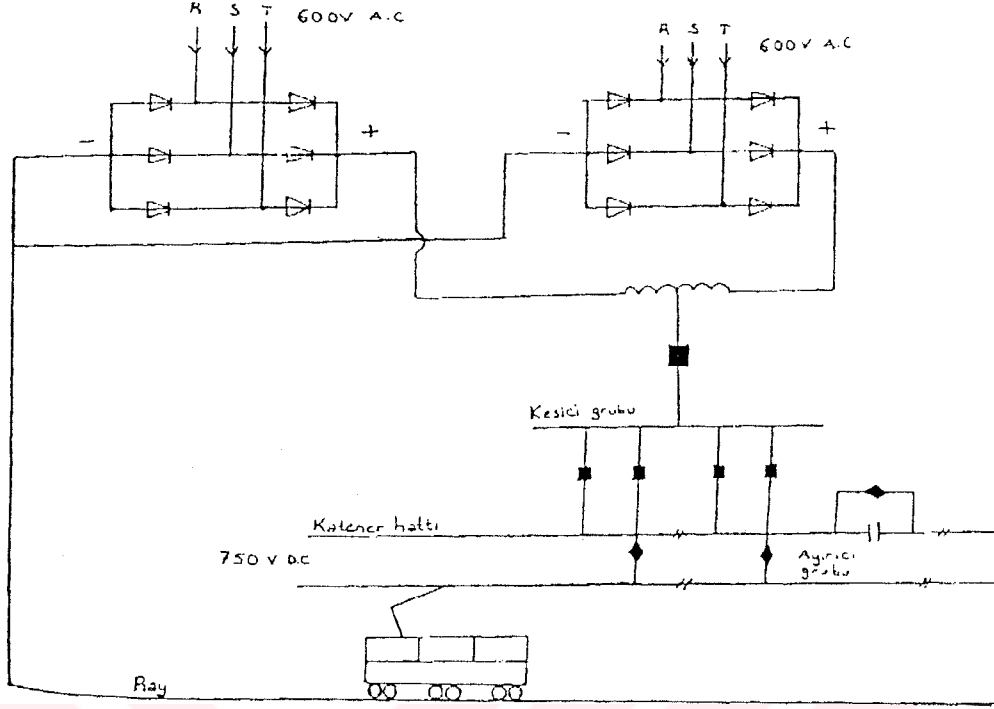
### 3.1.2 İstanbul hafif metrosunda doğrultucu ünitesi:

Burada kullanılan 12 darbeli paralel diyot doğrultucusudur ve üç kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlardan ikisi altışar darbeli diyot köprüsü içermektedir. Merkezdeki kısım ise bir faz arası reaktör içermektedir. Bu reaktörlerin amacı 6 darbeli doğrultucunun çıkışındaki ani gerilim değişmelerine mani olmaktır. Bu kısımda aynı zamanda sigorta korunumuna sahip bir şönt ve doğru gerilim ve akım ölçen bir analog ölçü cihazı bulunmaktadır. Doğrultucu, 6 darbeli köprü koruyucu sigortalara ihtiyacı olmayan DC baralarda meydana gelecek kısa devrelerden etkilenmeyecek şekilde dizayn edilmiştir ( Şekil 3.7)

Doğrultucunun ana değerleri, 2.4 MVA,  $2 \times 0.58 \text{ kV AC}$ ,  $0.75 \text{ kV DC}$  'dir. Bu doğrultucu ünitesinden, her trafo merkezinde iki adet bulunmaktadır. Doğrultucu trafosu 6 darbeli trafolarla bağlı olan biri Y, diğeri  $\Delta$  sekonder sarımlardan oluşur.



Şekil 3.7 12 darbeli doğrultucu ünitesi



Şekil 3.8 Trafo istasyonlarındaki doğrultucu ünitesi

Bu doğrultucunun dizaynı sigorta ve DC ayırıcıların doğrultucu diyotları koruması için kullanıldığı sıradan sistemlerden daha üstündür ve daha az bakım gerektirir. Bu ünitelerin herbiri  $45 \text{ cm}^2$  'lik diyotlardan oluşmuştur. Trafo istasyonlarındaki doğrultucu ünitesinin devresi şekilde gösterilmiştir (Şekil 3.8)

Kesici ve ayırıcılar 750 V DC uç gerilimine ve 4000 A açma akımına sahiptir. Kesicilerin kısa devre akımları 200 kA 'dır. Çıkış kesicileri, kuru tip doğru kesicilerdir. Kesiciler, motorlu olarak, ayırıcılar elle kumandalı olarak kontrol edilirler.

Ayırıcılarda arkın söndürülmesi için tertibat yoktur. Sadece kesici tarafından akımı kesilmiş bir devrede gözle görülebilir bir ayırma yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Yani ayırıcılar devreden akım geçmiyorken açılıp kapatılabilirler. Akım geçen bir yüksek gerilim devresinde, yanlışlıkla kesiciden evvel ayırıcının açılması, yani devrenin akımının ayırıcı ile kesilmesi, çok önemli ve tehlikeli bir manevra hatasıdır. (Alperöz, 1987)

İstanbul Ulaşım A.Ş tarafından kullanılan ayırıcılar ve kesiciler birbirlerine pnömatik olarak kilitlidirler, böylece ancak kesici açıldıktan sonra ayırıcıya açma veya kapama kumandası iletilebilmektedir. Kesici olarak az yağlı kesiciler kullanılmaktadır. Bunların şalterlemeye hazır olduklarını yağ gösterge düzeyinden anlamak mümkündür. Her kesmede yağın çok azda olsa bir kısmı eksildiğinden dolayı, yağ yüzeyinden kesicinin daha kaç şalterleme yapabileceğini anlamak mümkündür. Az yağlı kesicilerin olumsuz başka bir yanı sıra çok sayıda kısa devre arızası olan fiderlerde sık bakıma ihtiyaç göstermeleridir.

Bununla birlikte az yağlı kesicilerin bakımı çok basittir. En fazla üç saat içerisinde yapılabilmektedir. Bakımda sadece kontaklar ve ark söndürme hücresi gözden geçirilerek yağ değiştirilir. Bakım için personel kolayca eğitilebildiği gibi, özel cihaz ve önlemlerde gerek yoktur.

### 3.2 Ankaray 'daki besleme istasyonları

Ankarayda dört adet trafo merkezi vardır. Tüm sistem TEK 'den alınan 154 kV 'luk enerji ile Balgat ve Maltepeden olmak üzere ring olarak beslenir. Aşağıda Ankaray 'daki trafo merkezleri ve güçleri gösterilmiştir.

DEPO	trafo merkezi:	34.5/0.610 kV	S = 2.5 MVA
BEŞEVLER	trafo merkezi:	34.5/0.610 kV	S = 2.5 MVA
DEMİRTEPE	trafo merkezi:	34.5/0.610 kV	S = 2.5 MVA
KURTULUŞ	trafo merkezi:	34.5/0.610 kV	S = 2.5 MVA

Trafo mekezleri arası mesafe:

Tek Balgat - Depo	595 m
Depo - Beşevler	2867 m
Beşevler - Demirtepe	2280 m
Demirtepe - Kurtuluş	2353 m

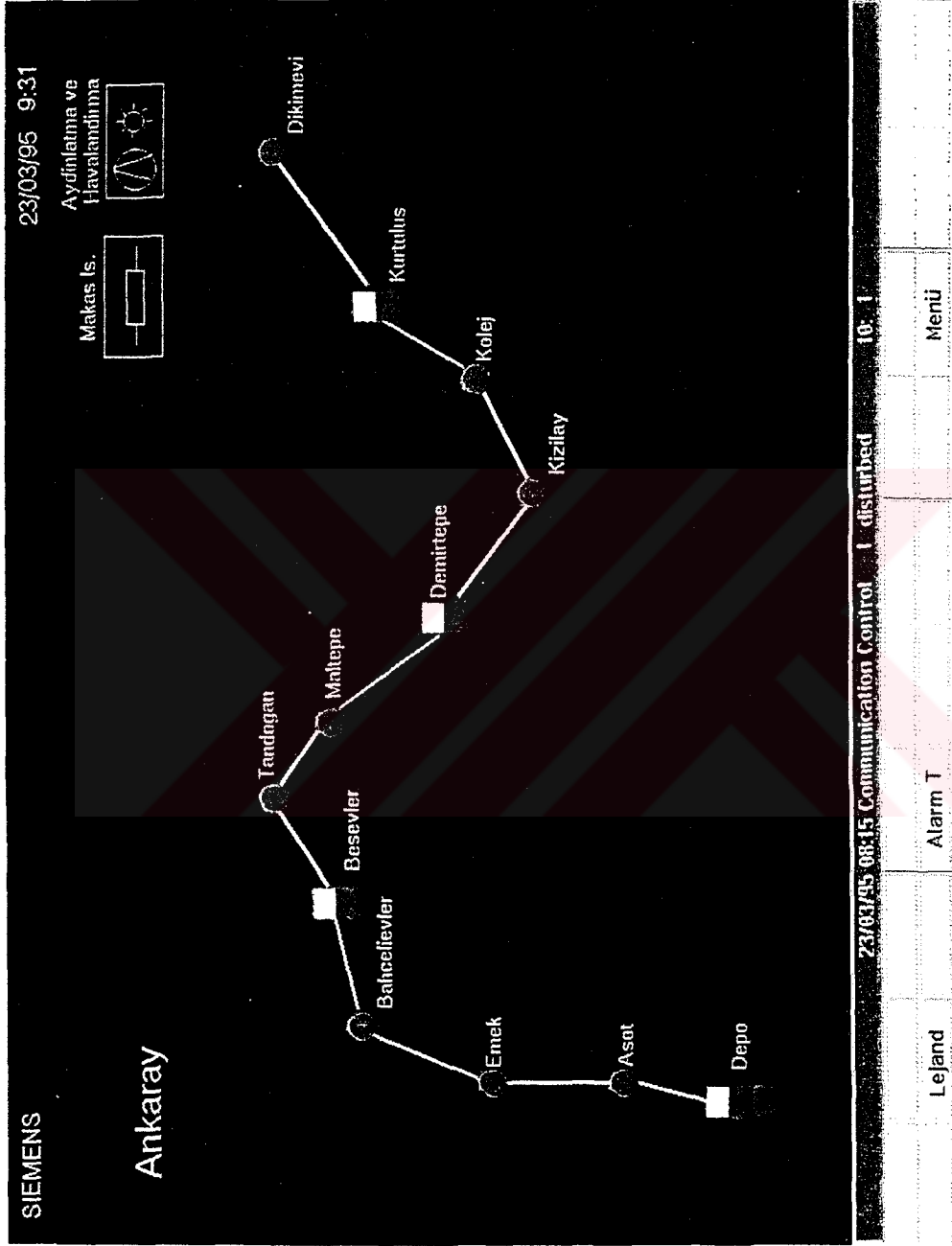
Depo hariç diğer trafo merkezlerinde 1 'er tane 2.5 MVA 'lık trafo, depoda ise 2 adet 2.5 MVA transformatör vardır. 34.5/0.61 kV 'lık bu trafolar 3.rayı beslemektedirler. Tali istasyonları beslemek için 2 adet 2 MVA 'lık 34.5/10.5 kV 'luk trafo ring yapılarak bağlanmıştır. Tali istasyonlarda iç ihtiyaçlar için, ana istasyonlar ve Kızılay hariç 250 kVa 'lık 34.5/0.4 kV kademeli transformatörler kullanılmıştır.

Ana istasyonlarda iç ihtiyaç için 1 MVA 'lık 34.5/0.4 kV 'luk trafo, Kızılayda ise 315 kVA 'lık bir trafo vardır. Bunun farklı olmasının nedeni bu istasyonun Ankara metrosu ile kesişme noktası ve iki katlı olmasıdır. Ayrıca Kızılay istasyonunun da birde 250 kVA 'lık jenaratör vardır. Bu istasyonlara ait skada şemaları Şekil 3.9, 10, 11, 12, 13, 14 15 'de verilmiştir.

#### 3.2.1 Kullanılan transformatörler hakkında teknik veriler:

Ankarayda trafo olarak AEG tarafından yapılan kuru tip dökme reçineli trafolar kullanılmıştır. Kuru tip yapay reçineli transformatör neme ve yangına karşı özel koruma önlemleri gerektirmezler. Yüksek nem oranına sahip yerlerde güvenli bir şekilde çalışırlar. Bu trafolar kompakt yapıları nedeniyle bakım gerektirmezler. Transformatör odası içerisindeki hava sıcaklığı 40° 'i aşmamalıdır. Sıcaklığın artması durumunda oda





Şekil 3.9 Ankaray genel görünümü

SIEMENS

23/03/95 13:02

## Genel görünüm için Lejand

- CER istasyonu 34.5 kV
- CER istasyonu 750 V
- Depo Atölye
- Yolcu istasyonu

23/03/95 08:15 Communication Control | disturbed 10: |

Gen.gör

Alarm T

Menü

Şekil 3.10 Genel görünüm için lejand

SIEMENS 23/03/95 11:53

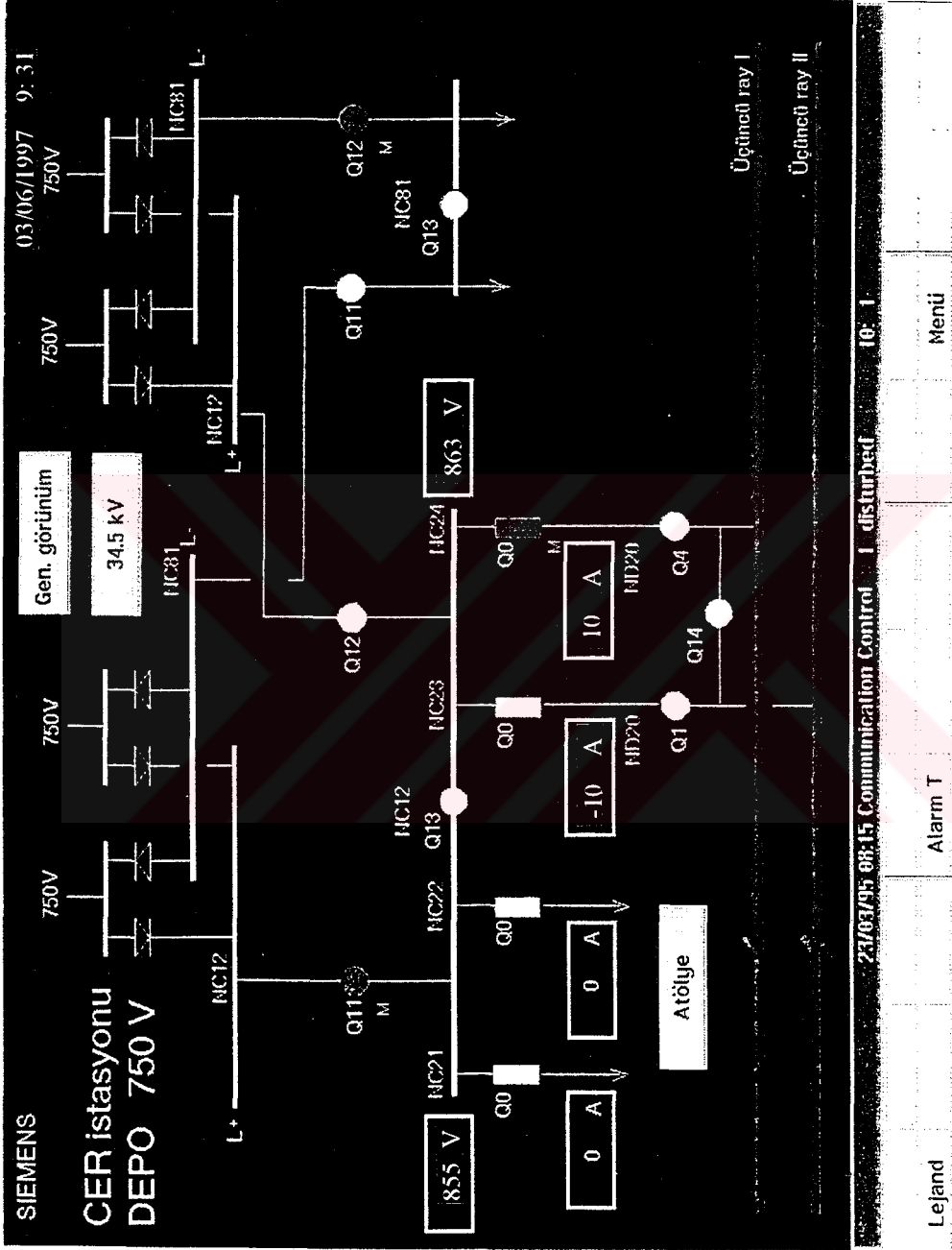
### Proses sinyalleri için Lejand

devre kesici	devrede	devre arizi	ölçülen deger
seksiyoner	devrede arizi	ariza	açtırma
fan	devre kesici	devre kesici	fan açık/kapalı kumandasi
aydınlatma	seksiyoner	seksiyoner	kumanda gönderiliyor
	fan	fan	kumanda bloke edildi
	aydınlatma	aydınlatma	elle

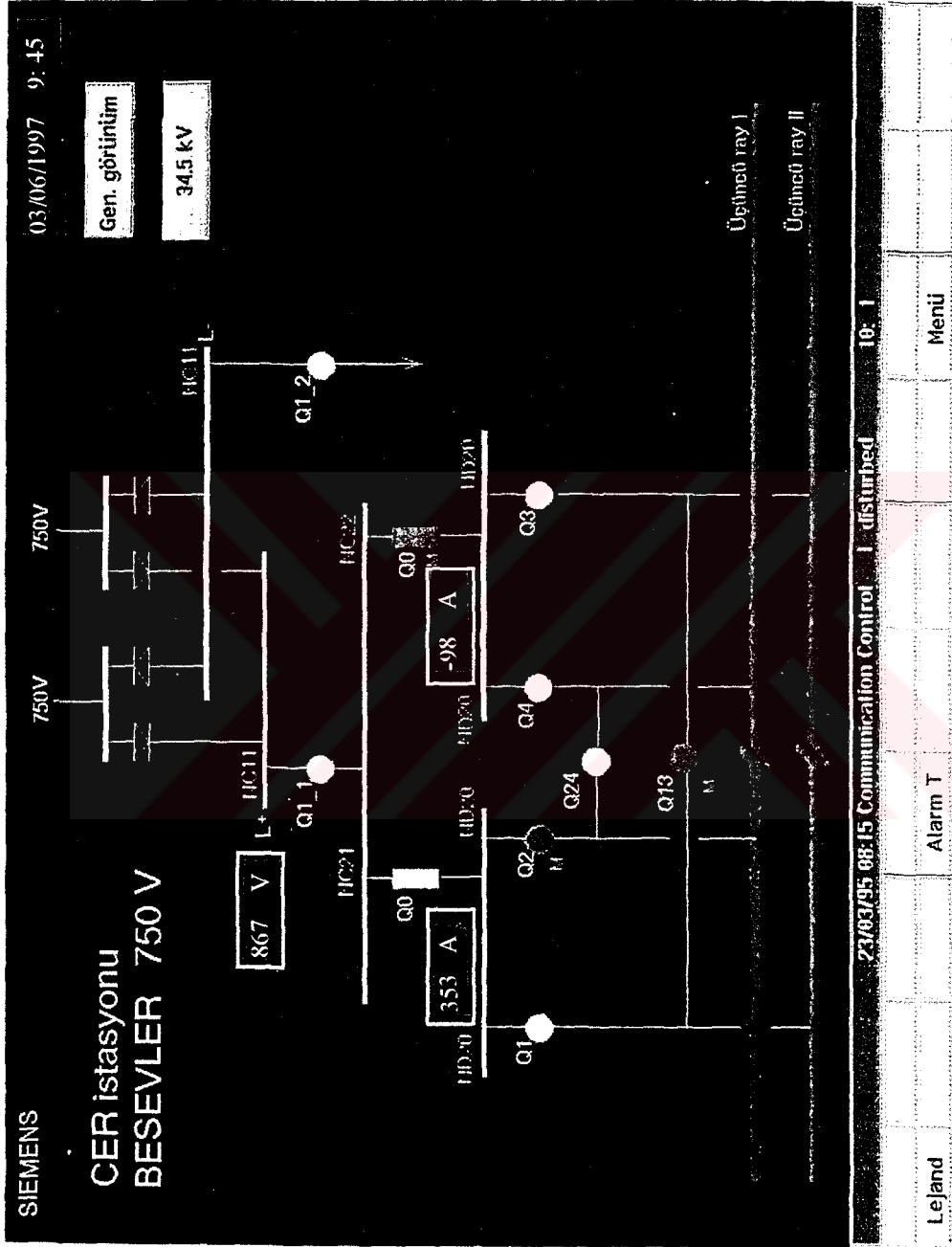
23/03/95 08:15 Communication Control I disturbed 10: I

Gen.gör Alarm T Menü

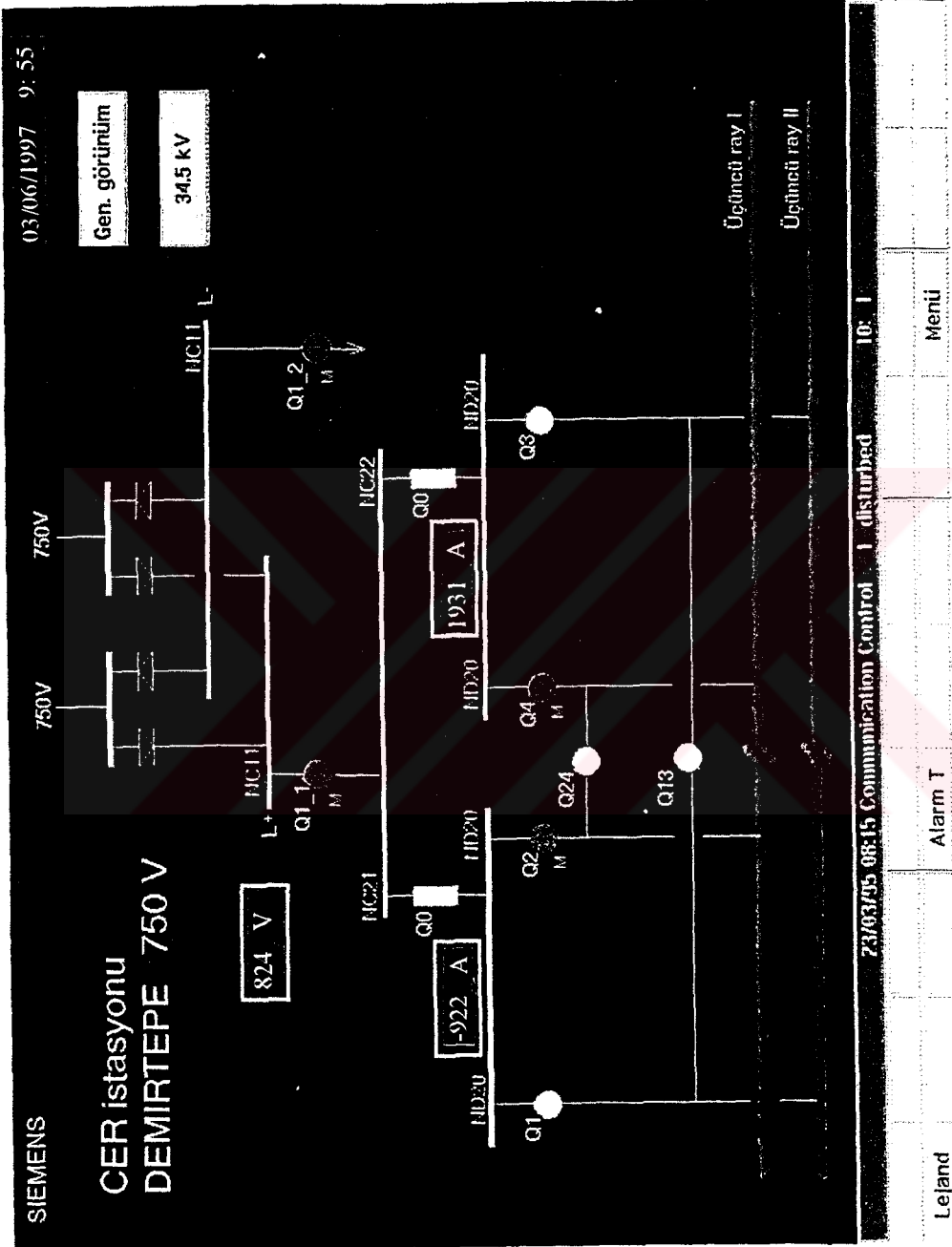
Şekil 3.11 Skadada yer alan semboller ve anlamları



Şekil 3.12 Depo trafo istasyonunun genel görünümü

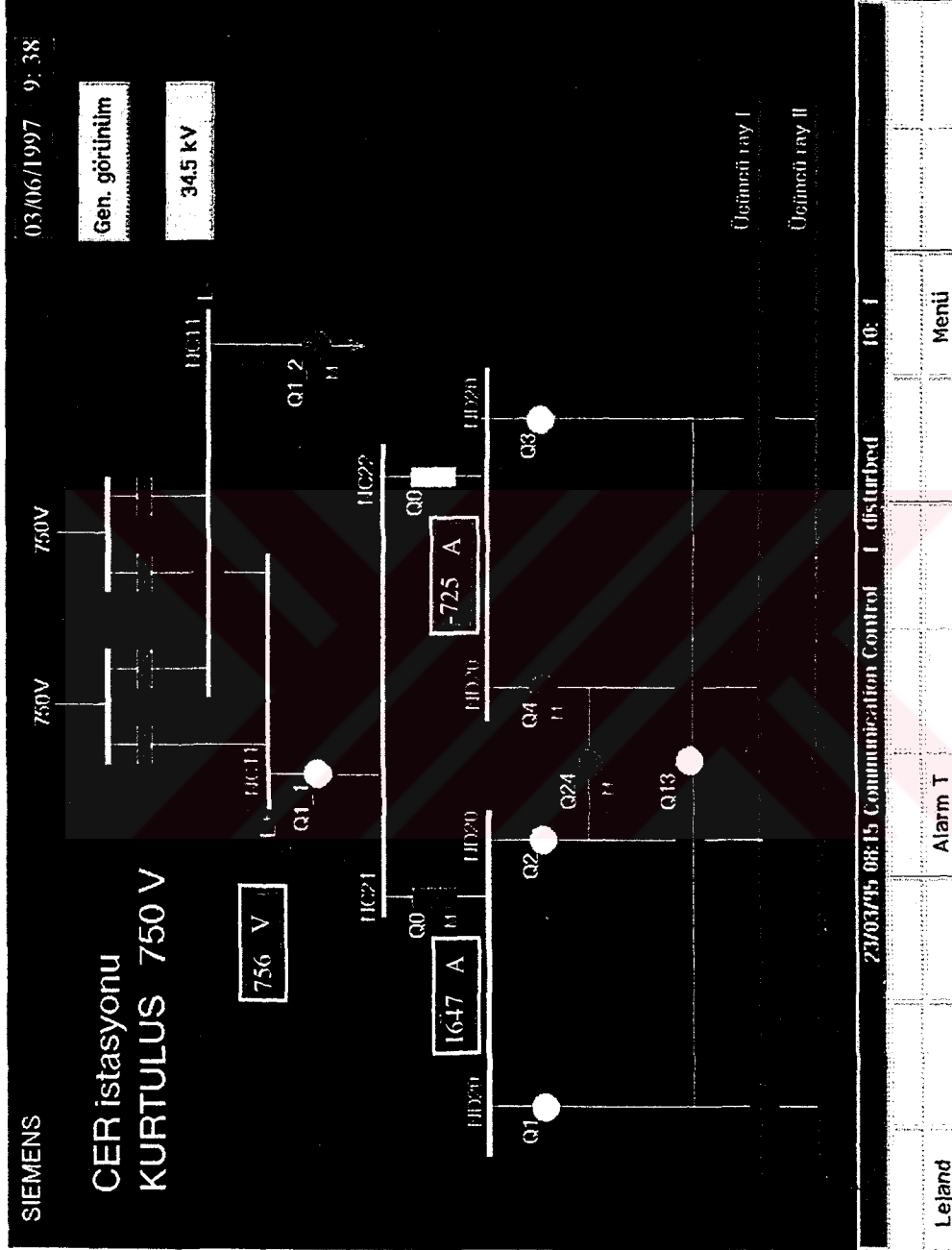


Şekil 3.13 Beşevler trafo istasyonunun genel görünümü



Şekil 3.14 Demirtepe trafo istasyonunun genel görünümü

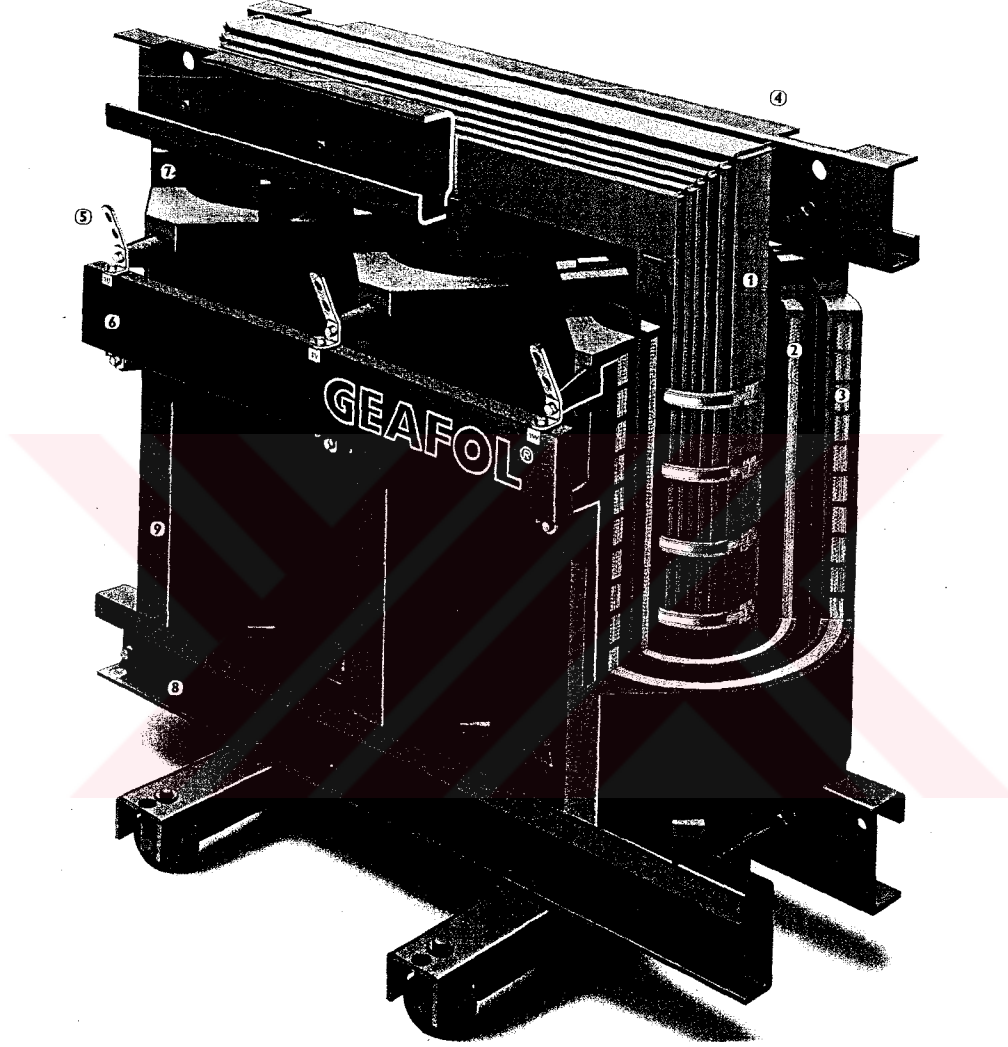




Şekil 3.15 Kurtuluş trafo istasyonunun genel görünümü

içindeki ısının dışarı atılması gereklidir.Yüksek gerilim sargıları, yüksek bir sıcaklıkta vakum altında kalıp halinde dökülür.

Bu metod istenmeyen gaz bileşenlerini engeller. Alçak gerilim sargıları alüminyumdandır. Alüminyum şeritin genişliği, bobinin boyuna eşittir.Bu durum transformatördeki aksel kısa devre kuvvetlerini önemli miktarda azaltır.Şekil 3.16 'da bu transformatör gösterilmiştir.



Şekil 3.16 AEG tarafından üretilen kuru tip reçineli transformatörler

Teknik veriler:

- 1- Her iki tarafı izole edilmiş, nüve saçlarından yapılmış üç adet birbirine benzer çekirdek
- 2- Prepreg izoleli alüminyum iletkenlerden oluşan alçak gerilim sargısı
- 3- Vakumlanmış alüminyum şeritlerden oluşmuş Yüksek gerilim sargıları
- 4- Değişik kademeler halinde düzenlenmiş alçak gerilim uçları
- 5- Montaj durumuna göre bağlantıları ayarlamaya müsait Yüksek gerilim uçları
- 6- Üçgen bağlantılı muhafazalı bara ucu

- 7- Nüve ve sargıların, küçük gürültü yayılması ile sonuçlanan mekaniksel titreşimlere karşı yalıtımını sağlayan dayanıklı aralık parçaları
- 8- Boyunduruk sıkıştırma çerçevesi ve trafoyu boyuna, enine yürütmek için (yönünü 90° değiştirebilen) tekerlek
- 9- Transformatörü, nem geçirmez, bakım gerektirmez, tropik şartlara uygun, alev dayanıklı ve kendi kendine sönebilen hale getiren, epoksi reçine veya quartz izolasyon tozu

### 3.2.2 Ankarayda doğrultucu ünitesi:

Ulaşım sistemlerinin, etkili, az bakımlı güvenilir ve sık olması istenir. Bu isteklerin karşılanmasında istasyonlar ve bu istasyonların en önemli parçası olan doğrultucular büyük önem kazanmaktadır. İlk olarak 1960 yılında Siemens tarafından üretilen doğrultucular gelişen güç elektroniği ile donatılmış ve bir güç istasyonunun bütün ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Şimdi Ankarayda kullanılan doğrultucu hakkında teknik birtakım özelliklerden bahsedebiliriz. Doğal soğutmalı doğrultucular tek parça halindedir. Bu özellik kesintilere karşı bir emniyettir ve az bakım gerektirir. Soğutulmuş havanın göreceli olarak yavaş devirdayımı tozun doğrultucu ünitelerine girişini azaltır ve istenmeyen yüzey kirliliğini engeller. Kullanılan bu doğrultucu Şekil 3.17 'de verilmiştir.

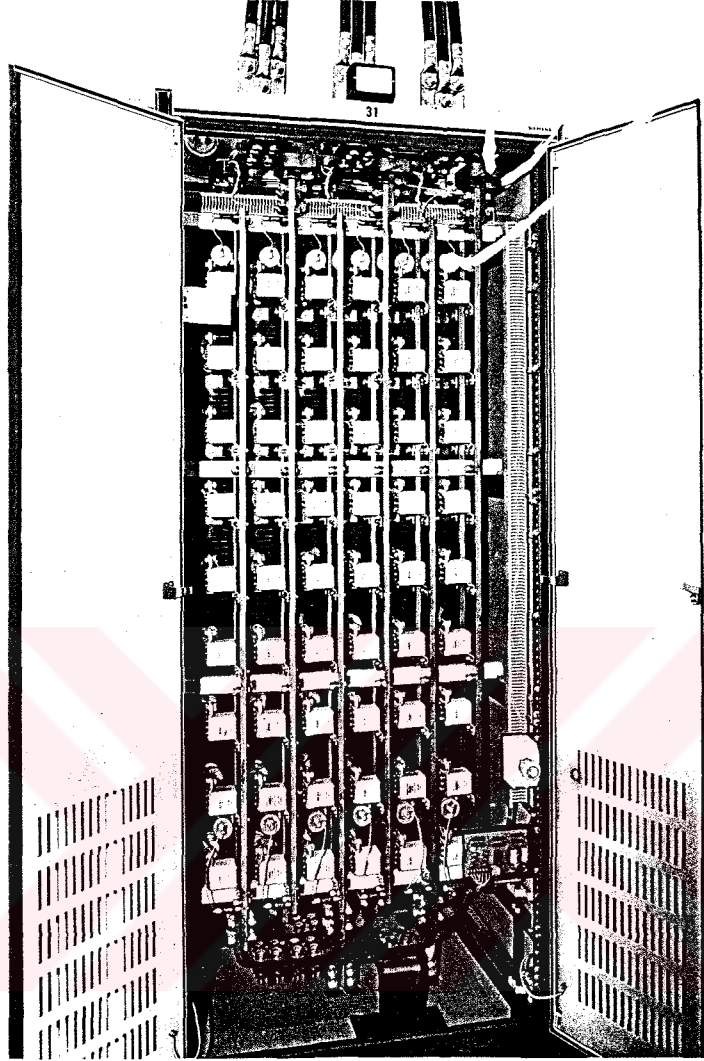
Orta gerilim kesicisi, DC tarafında bir kısa devre olduğu zaman üniteleri korur. Cihaz, çevresel etkilere, sıcaklık dalgalanmalarına ve yüksek gerilimlere karşı duyarlıdır ayrıca ters akım korumasına ihtiyaç duymazlar.

Ulaşım kaynaklarındaki silikon doğrultucuların çoğu, ekonomik elverişliliğinden dolayı 3~ köprü bağlantı kullanırlar. Mevcut istasyonlarda silikon yerine civa buharının kullanıldığı zaman fazlar arası transformatörlü çift yıldız bağlantı bulunur. Siemens silikon diyotlarının gelişmesi ileri derecede bir doğrultucu dizaynını meydana getirmiştir.

Maksimum ters tepe gerilimi 4000 V 'a kadar olan yüksek bloklamalı diyotların ortaya çıkması, 1800 V 'a kadar seyir hattı gerilimleri için üç fazlı köprülerde diyotların seri bağlanmalarını gereksiz kılmıştır.

3 kV 'luk kataner gibi, yüksek gerilimlere ihtiyaç duyulan yerlerdeki adet üç fazlı seri olarak bağlanabilir ve üç - sargılı transformatörden beslenebilir. DC gerilimdeki düşük dalgalanma ve faz etkisini azaltma daha sonra, ekta maliyet olmaksızın, bir sekonderinin yıldız olarak diğerinde üçgen olarak bağlanmasıyla elde edilir.

Doğrultucu üniteleri, aşırı yüklenmelere ve kısa devrelere karşı, orta gerilim devre kesici ile birlikte bir termal birde aşırı akım rölesi korunur. Bir diyodun tıkama yeteneğini kaybetmesinden kaynaklanan iç kısa devre, etkilenen doğrultucu kollarına ters



Şekil 3.17 Siemens tarafından üretilen 12 darbeli doğrultucu ünitesi

bir akımın akmasıyla sonuçlanan iki fazlı trafo arıza akımının artmasını sağlar. Bu akım diyod sigortası tarafından kesilir.

Basit fakat etkili doğal hava soğutma,baklava şeklinde kalıptan çıkarılmış alüminyum kısımlardan yapılan özel soğutucular ile sağlanır. Paralel bağlı bir doğrultucu kolunu taşıyan soğutucular düşey sırayla düzenlenir.

## BÖLÜM 4

### YARDIMCI GÜÇ SİSTEMİ

#### 4.1 Yardımcı Güç Sisteminin Genel Devresi

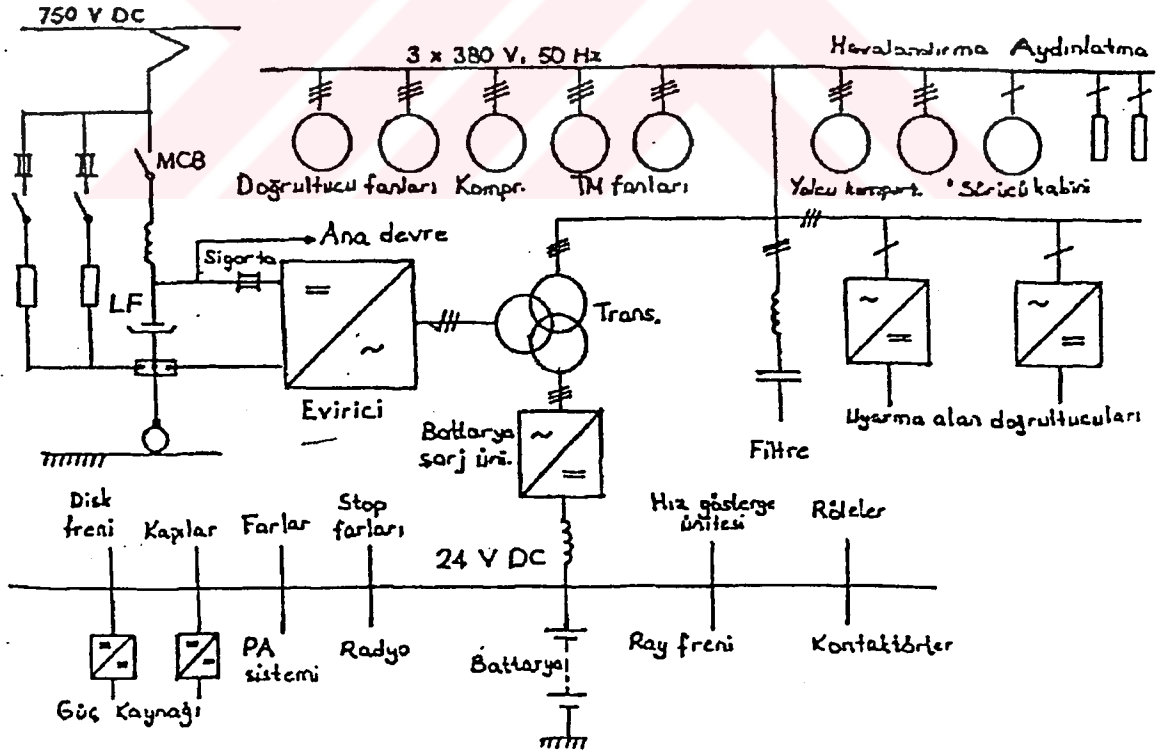
İstanbul hafif metrosunda kullanılan araçların, yardımcı güç sisteminin devresi Şekil 4.1 'de verilmiştir. Bu sistemin amacı, araçtaki güç ünitelerine besleme kaynağı sağlamaktır.

Bu kaynaklar:

- 750 V DC
- 3 x 380 V, 50 Hz AC
- 24 V DC dir.

750 V 'luk katenerden alınan enerji, sürücü kabini ve yolcu kompartımanının ısıtıcı motorlarını beslemek için kullanılır. 750 V 'luk gerilim bir eviriciyle, AC gerilime çevrildikten sonra üç fazlı trafodan 3x380 V, 50 Hz 'lik gerilime çevrilir ve bu gerilimle aydınlatma sistemleri ve havalandırma motorları beslenir.

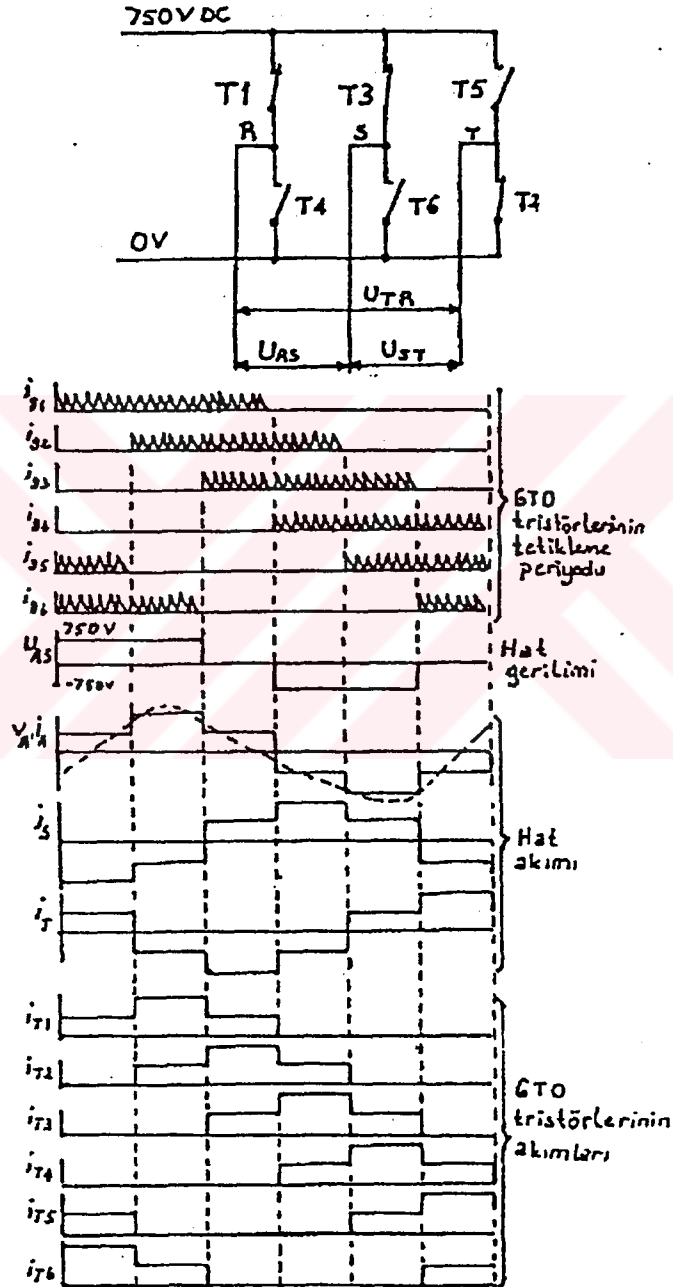
Yardımcı güç ünitesinde bulunan 24 V 'luk DC gerilim ünitesi, trafonun düşük gerilim sargısından alınan beslemeyle, bir diyod doğrultucu ünitesiyle doğrultularak kurşun asid aküleri şarj etmekte kullanılır.



Şekil 4.1 Yardımcı güç sistemi

## 4.2 Evirici Ünitesi

Şekil 4.2 'de eviricinin tetikleme devresi ve gerilim akım şemaları gösterilmiştir. Evirici devresi 6 GTO tristöründen oluşmuş, üç fazlı köprü devresidir (Lander, 1981). GTO tristör devresi, darbe genişlik modülasyonu ile kontrol edilir. Değişim frekansı 450 Hz 'dir. Darbelerin modülasyonu sırasında, 50 Hz 'lik frekans elde edilir. Giriş DC gerilimi, 500 V ile 900 V arasında ayarlanır. Buna rağmen, üç fazlı çıkış gerilimi küçük değişimler gösterir. Eviricinin çıkışı, 3x300 V 'luk AC gerilime dönüştürülür.



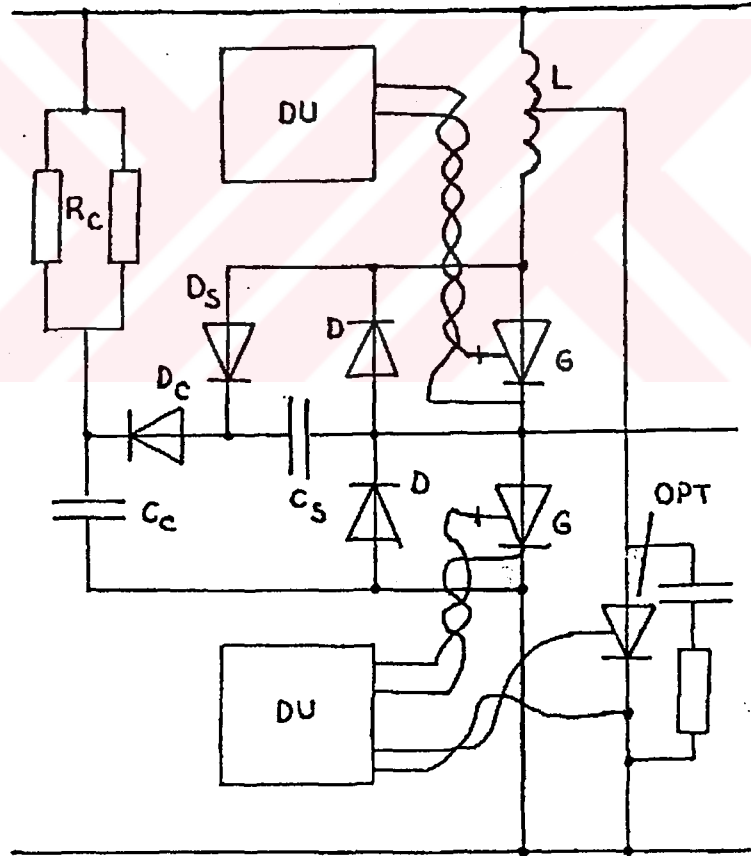
Şekil 4.2 Üç fazlı evirici köprü devresi. 180° 'lik tetikleme açılı akım-gerilim diyagramları



AC çıkış gerilimi, sabit genlikli bir sinüs dalgasıdır. Sırasıyla üretilen gerilim ve sakınılan yüksek frekanslı harmonikler çıkışa filtre edilir. Bu filtreleme, transformatörün ikincil sargısında yapılır.

Şekil 4.3 'de gösterildiği gibi eviricinin her fazında iki GTO tristörü vardır ve diyodlar bunlara paralel bağlanmıştır. Bu diyodlar, gücü hatta geri vermek için kullanılır. GTO 'ları geçici gerilim yükselmelerinden korumak için, sınıbbır devresi (kapasitör  $C_s$ ,  $D_c$ ) bağlanmıştır ve aynı zamanda sınıbbır devresi, gerilim seviye belirleyici olarak kullanılır. (Bassett et al, 1989)

Devrede oluşacak fazla gerilim, seviye kaydırıcı CC kondansatörüne aktarılır. RC direnci bu gerilimi kaynağa geri gönderir. GTO 'lardaki akım türevinin değişimlerini sınırlı tutmak için (L) bobini kullanılır. Böylece, açma-kapama kayıpları kabul edilebilir değerlerde sınırlanmış olur.



Şekil 4.3 Eviricinin bir fazına ait devre

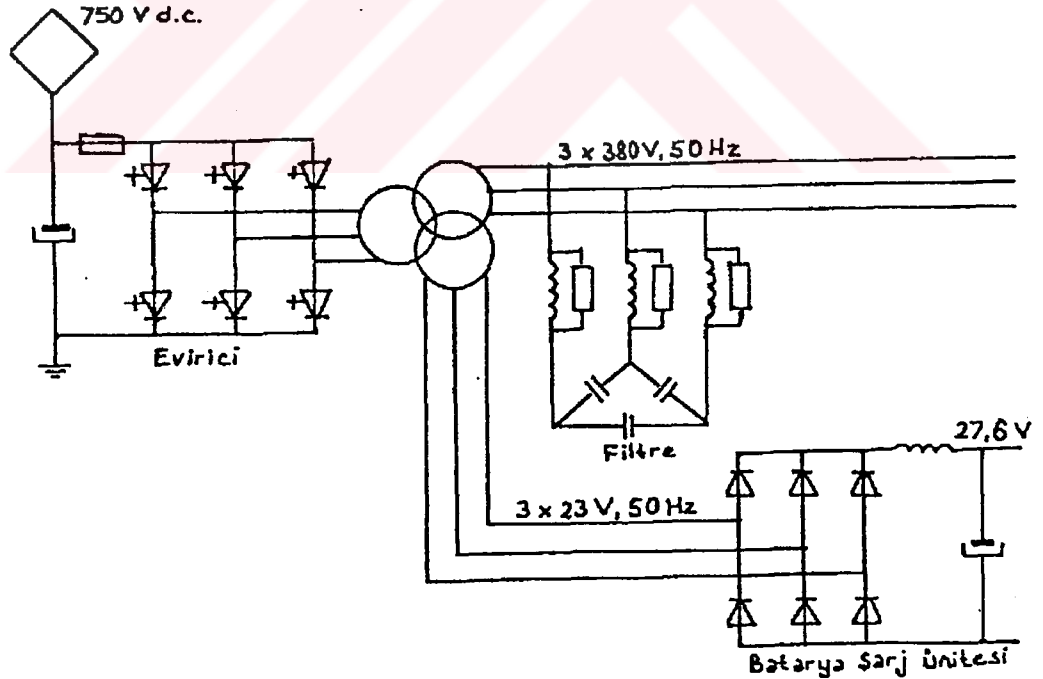
Herhangi bir fazdaki, hatalı bir değişme veya aşırı akım durumunda, yüksek gerilim koruma tristörü (OPT) tetiklenir. OPT tetiklendiğinde, yardımcı güç hattındaki sigorta atar ve GTO 'lar korunmuş olur. GTO 'ların ve koruma tristörlerinin, açp kapaması bilgisayarla kontrol edilir ve iki sürücü devresi de DU tarafından tetiklenir.

Burada;

- Rc : Seviye kaydırıcı direnç
- Cc : Seviye kaydırıcı kondansatör
- Dc : Seviye kaydırıcı diyod
- Cs : Sınabbır kondansatörü
- Ds : Sınabbır diyodu
- D : Diyod
- G : GTO
- DU : Tetikleme ünitesi
- L : Bobin
- OPT : Yüksek gerilime karşı koruyucu tristör dür.

#### 4.3 Üç Fazlı Transformatör Ünitesi 3x380 V, 50 Hz ve Filtre Devresi

Statik eviriciden alınan çıkış gerilimi, 3x380 V AC, 50 Hz 'dir. Bu üç fazlı AC gerilimi, yüke direk uygulanmaz. İlk önce, üç fazlı transformatörle dönüştürülür. Transformatörün iki sekonder sargısı vardır, bunlardan birinin çıkış gerilimi 3x380 V, diğerinin gerilimi 3x23 V 'dur (Şekil 4.4) .

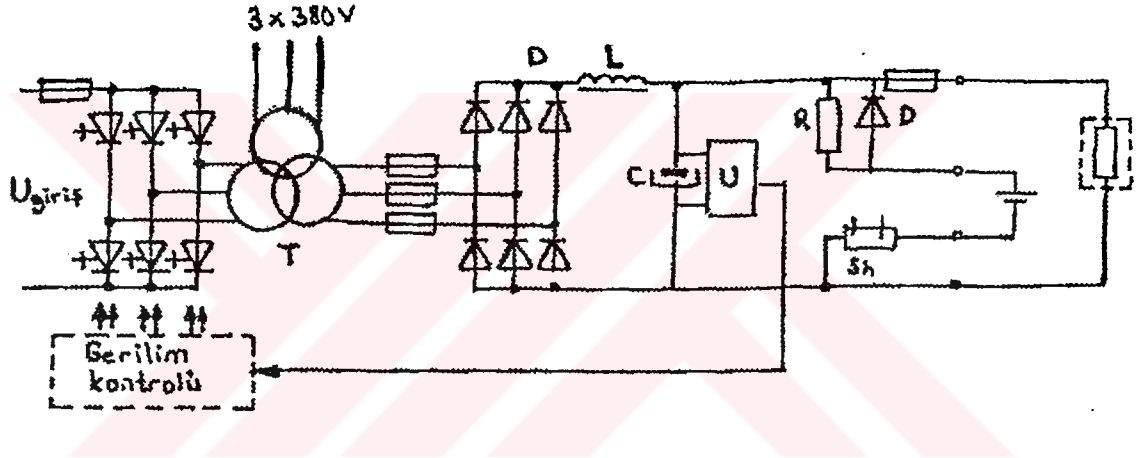


Şekil 4.4 Yardımcı güç ünitesinin açık devresi

3x380 V 'luk çıkış terminalinde, bir tane çift kombineli filtre vardır. Birinci filtre eviriciden gelen yüksek frekanslı harmonikleri filtre etmek için kullanılır. İkincisi reaktif güç üretmek için kullanılır.

#### 4.4 Batarya Şarj Ünitesi

24 V luk batarya şarj ünitesi, transformatörün ikincil sargısından sağlanan 3x23 V 'luk AC gerilimle bir batarya şarj ünitesi olan, 6 diyoddan oluşmuş doğrultucu köprüsüyle doğrultulur. Köprünün çıkışı 24 V 'luk yükleri direk olarak besler. Batarya, doğrultucu köprü ile akım sınırlayıcı rezistörden geçerek bağlanmıştır. Ünitenin kontrol sistemi, doğrultucunun çıkış gerilimini 27.6 V 'ta sabit kılacak şekilde dizayn edilmiştir. (Şekil 4.5)

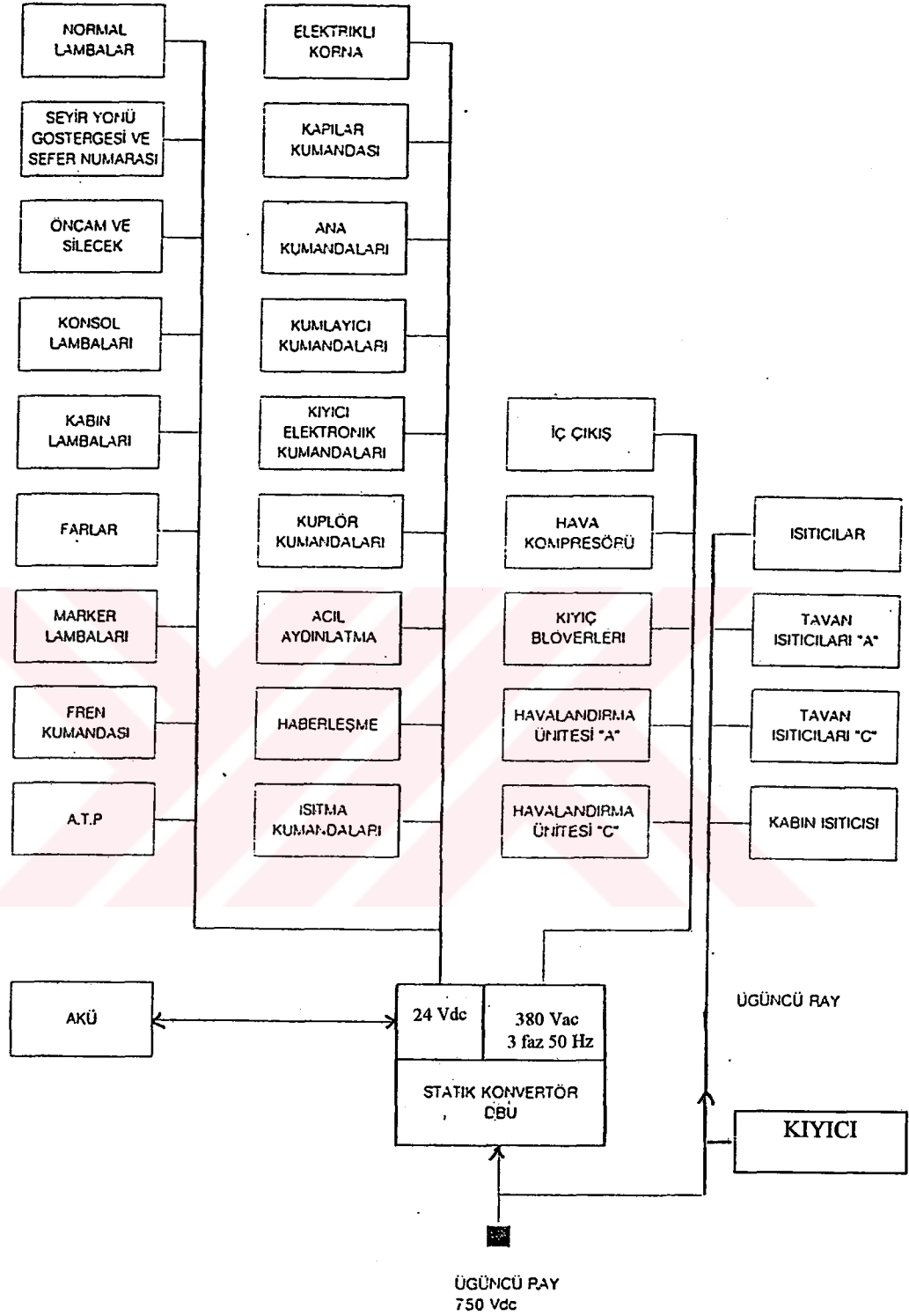


Şekil 4.5 Batarya şarj ünitesi

#### 4.5 Ankaray Yardımcı Güç Sistemi

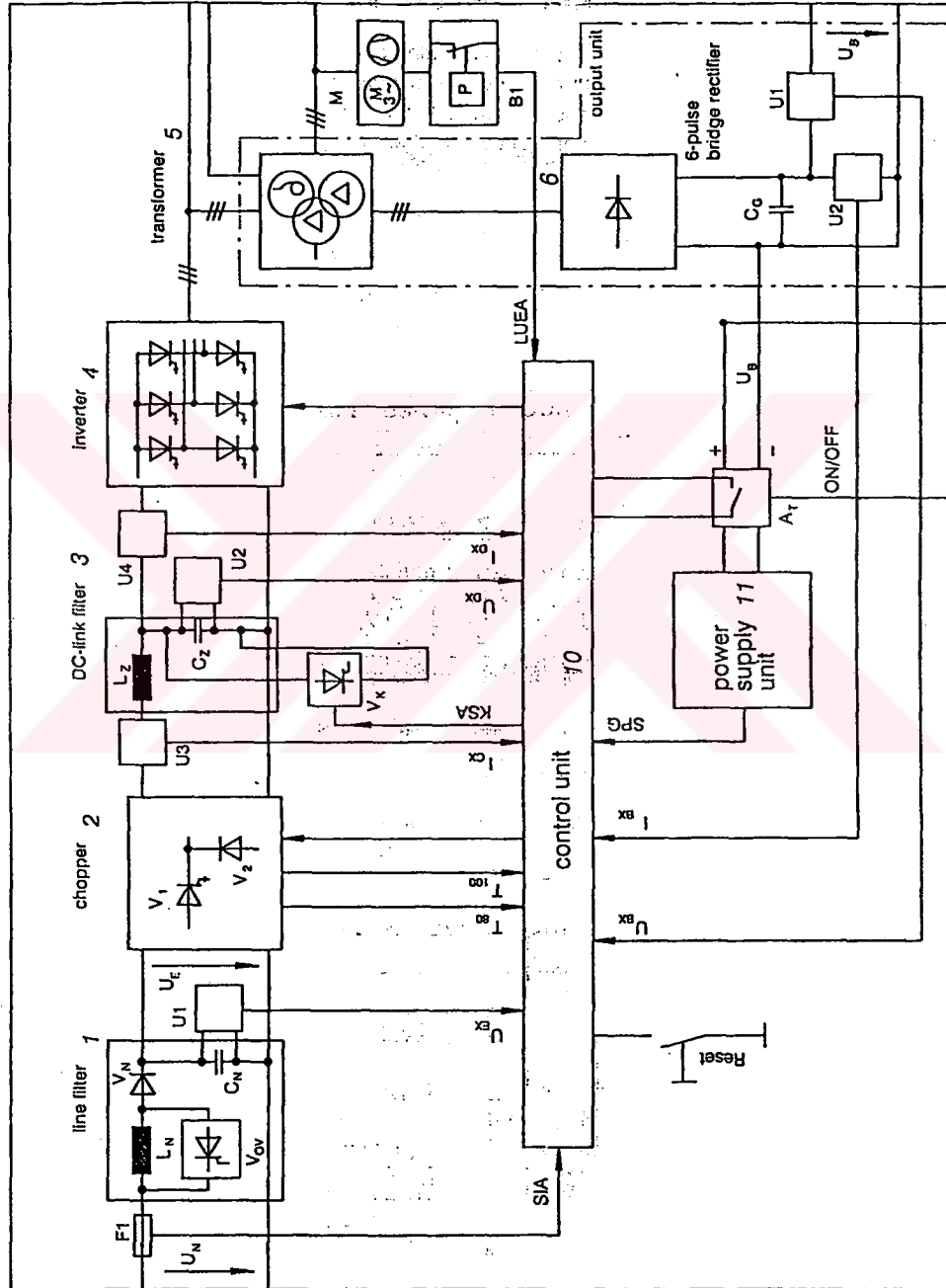
Alçak gerilimle besleme DBU 01 tipi statik konverter tarafından sağlanmaktadır. DBU 750 V 'luk doğru gerilim şebekesinden direkt olarak beslenmektedir. Şekil 4.6 'da yardımcı güç sistemi görülmektedir. Şu cihazlar 750 V gerilimle çalışmaktadır:

- Yer havalandırması
- Tavan havalandırması
- Kabin havalandırması



Şekil 4.6 Ankaray yardımcı güç ünitesi

- Şebeke filtresi
- Kıyıcı
- Ara alan filtresi
- Üç fazlı inverter
- Çıkış
- Kumanda
- Mekanik dizayn



Şekil 4.7 Ankarayda kullanılan DBU 01 konvertör

Kıyıcı konvertörün doğru akım kısmı olup bir GTO tristörü ve bir serbest diyottan oluşmuştur. Konvertörün gerilim ve akımının kumandasını ayarlayan bir kısımdır. Üç fazlı konvertörün söndürme kısmı GTO tristörleri ile teçhiz edilmiştir. İnverter üç fazlı 380 V gerilim sağlar ve üç fazlı çıkışın yıldız noktası tek fazlı cihazlar için kullanılır.

Çıkış tarafında sargıları galvanik olarak birbirinden ayrılmış bir adet üç fazlı transformatör, akü şarjı için bir adet doğrultucu ve tüm doğru akım ile akü şarj akımı için bir adet akımatrafosu vardır. Transformatörün gücü üç faz için 16 kVA ve tek fazgüç için 7.53 kVA olarak seçilmiştir.

Konvertörün teknik değerleri aşağıda verilmiştir:

Giriş gerilimi	750 V $\pm$ %30
Çıkış gerilimi	-3 $\times$ 380 V, 50 Hz -24 V
Alternatif akım gücü	15.8 kVA
Doğru akım gücü	7.5 kW
Elektronik beslenmesi	24 V DC $\pm$ %20

#### 4.7 Ankaray akü ünitesi

Şebeke geriliminin kesilmesi durumunda, yani statik konvertörden besleme yapılamaması durumunda, işletmede sadece 24 V 'la beslenen kısımlar bulunmaktadır. her tramvay aracı bir aküden beslenir. Akü 24 V DC değerinde yedek güç sağlamak ve acil aydınlatma lambalarını 2 saat süreyle beslemek amacıyla kullanılır.

Akü kutusu A ve B tipi araçların altşasisi üzerine yerleştirilmiştir. Her biri 1,5 V 'luk bir nominal voltaj sağlayan 16 nikel kadmiyum göze sahip bir gövdesi vardır. Kutu, gerektiğinde bakım personelinin iki ön kolu kullanarak bir dizi tekerlek üzerinde dışarı çekmesine izin veren iki rayla gövde şasisine bağlanır.

Akü, acil durumda veya yüksek voltaj gücü bağlanmadığında iki saat kadar 24 V DC sağlar. Normal çalışma koşullarında akü, DBU konvertörünün akü şarj cihazı kısmı tarafından şarjlı tutulur. Akü devrede olmadığında harici akü şarjı ile şarj edilebilir.



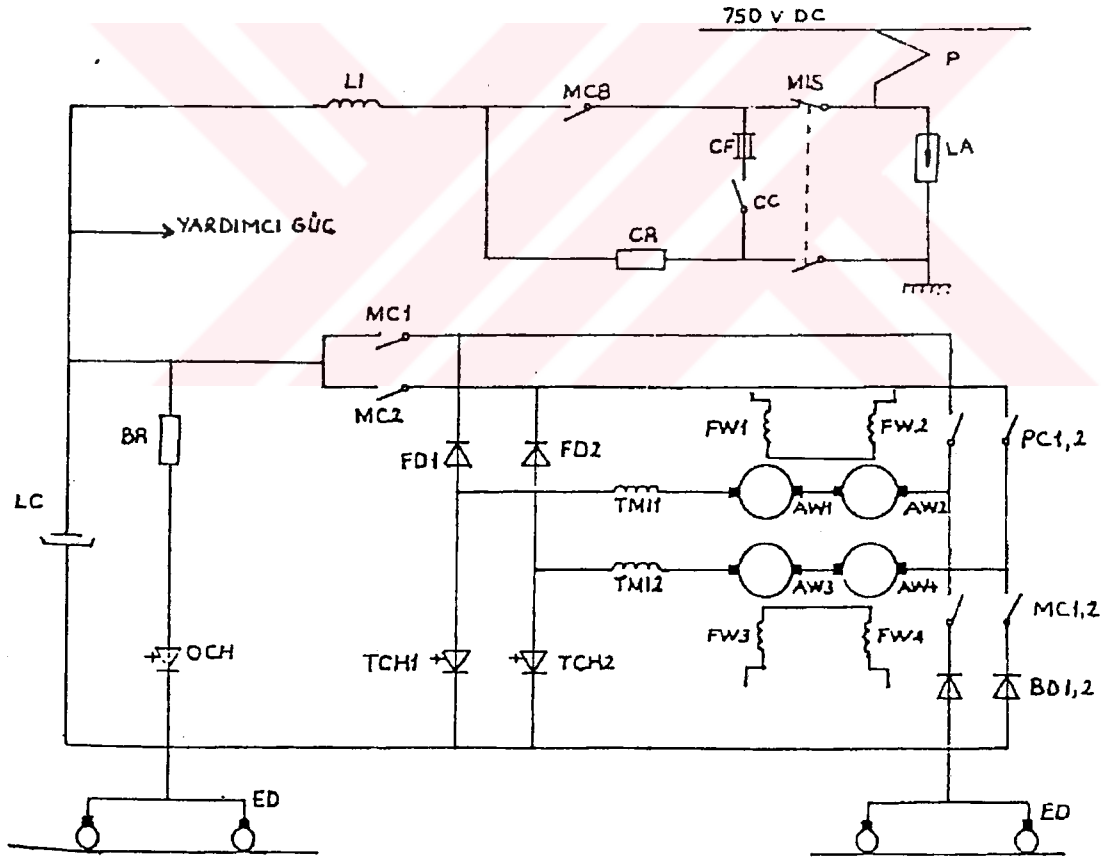
## BÖLÜM 5

### TAHRİK SİSTEMİNİN ANA DETAYLARI

#### 5.1 Tahrik Sisteminin Kapsamı

Bu bölümde İstanbul hafif metrosunda kullanılan aracın, pantoğraf, ana izolatör sivici, ana devre kesicisi, hat filtresi, DC tahrik motorları, endüvi devresi kısıyıcısı, uyarma alan çevirici ünitesi, motor kontaktları, frenleme direnci, aşırı akım koruyucusundan oluşan tahrik sistemi incelenecektir.

Şekil 5.1 de dört adet serbest uyarımalı DC motorun, kısıyıcı üniteleriyle birlikte çalışma düzeni gösterilmiştir. İkişer adet, seri DC motordan oluşmuş, motor modüllerinin, nasıl düzenlendiğini ve pantografla hat filtresinin devre ile bağlantısının nasıl sağlandığını gösterilmiştir. (Friden, 1986)



Şekil 5.1 Ana devre şeması

Burada;

P	: Pantograf	OCH	: Yüksek gerilim kıyıcısı
LA	: Yıldırıma karşı koruyucu	MC	: Motor modül kontaktörü
MIS	: Ana izalatör anahtarı	FD	: Serbest geçiş diyodu
CF	: Şarj ünitesi koruma sigortaları	TCH	: Ana kıyıcı
CC	: Şarj kontaktörü	TMI	: Tahrik motor endüktansı
CR	: Şarj rezistörü	AW	: Armatür sargıları
MCB	: Ana devre kesicisi	FW	: Uyarma sargıları
LI	: Hat endüktansı	PC	: Motor kontaktörü
LC	: Hat kapasitesi	BD	: Frenleme diyodları
BR	: Frenleme rezistansı	ED	: Topraklama ünitesi

## 5.2 Pantograf

Pantograf, aracın üst kısmının, arka bogisinin üzerine monte edilmiştir. Pantografin, kaldırma ve indirme hareketleri, bir motor vasıtasıyla sağlanır. Bu motora sürücü kabinindeki bir butonla kumanda etmek mümkündür. Pantograf, katener hattından 750 V luk enerjinin sisteme iletilmesini sağlar.

Verileri :

Nominal gerilim	: 750 V
Kontrol akımı	: 400 A
Max. akım	: 900 A
Max. hız	: 80 km/h
Nominal katener yapacağı basınç	: 80 N
Ağırlığı	: 120 kg

## 5.3 Ana İzalatör Sivici

Araç aktif hale alınmak istendiğinde, ana izalatör sivici, güç pozisyonuna getirilerek, pantografla ana devre kesicisinin birbirine bağlanmasını sağlar.

Eğer araçta bir çalışma yapılacaksa, pantograf indirilerek, güç sistemi kapatılır, siviç toprak konumuna alınır. Bu durum pantografla ana devreyi birbirinden ayırmakta ve hat kapasitesini boşaltmaktadır. Böylece, tehlikesiz bir durumda güç sisteminde çalışma yapılmaktadır.

#### 5.4 Ana Devre Kesicisi

Ana devre kesicisi, araçtaki güç devresinin en önemli koruma düzenidir. Kesicinin en önemli özelliği, aşırı yüklenmelerde veya kısa devreye sebep olan aşırı akımlarda aracın güç sistemini besleme kaynağından ayırmasını mümkün kılmasıdır.

Temel olarak siviç bir DC kontaktörden oluşmuştur. Arıza sebebiyle 5-9 ms mertebesinde açılma emrini alır. Açılma emri, akım seviyesinin belli bir seviyeye gelmesinden sonra verilir. Yeniden kesici kapanmadan, sürücü tarafından resetlenerek kesicinin kapanabilmesi sağlanır. Reset sinyali ana devre kesicisindeki bir reset bobini ile sağlanır.

Verileri :

Gerilim	: 900 V DC
Akım	: 600 A
Açma akımı	: 1300 A
Kesme kapasitesi	: 19,2 kA
Bobin gerilimi	: 24 V DC

#### 5.5 Hat Filtresi

Kıyıcı ünitesi çalışmaya başladığı zaman, hat akımı DC akımıdır. Fakat, değişik frekanslardaki alternatif akımlar, yeni harmonikler, DC bileşen üzerine binerler. Bu harmonikler, kıyıcı tarafından oluşturulmakla birlikte, katener geriliminin AC harmoniklerinden de etkilenirler.

Bu AC harmoniklerin mümkün olduğu kadar azaltılması gerekir ve bu da hat endüktansını kullanmakla gerçekleştirilir. Eğer harmonikler, yeterince büyük olursa, haberleşme işaretlerinde parazitler meydana getirebilir. Hat filtresi, bir endüktans bobini ile bir hat kapasitesinden oluşmaktadır. Hem ivmelendirme hem de elektrodinamik frenleme modunda aktif duruma getirilmektedir.

Ana devreler, aktif hale geçmeden önce hat kapasitesi doldurulmaktadır. Kapasitenin büyük olması nedeniyle kapasiteyi fazla akım çekmeden doldurmak mümkün olmamaktadır. Fazla akım geçtiği zaman MCB'yi (ana devre kesici) açtırır. Bu akımı sınırlamak için kapasiteye seri olarak şarj direnci (CR) bağlanmıştır. Bu direnç sadece şarj süresince kullanılmakta olup, daha sonra devreden ayrılmaktadır. Kapasiteyi şarj etme, şarj kontaktörünü kapatmakla gerçekleştirilmektedir.

Tüm bu olaylar, otomatik olarak tahrik bilgisayarından kontrol edilmektedir. Şarj kontaktörü (CC) kapandıktan sonra kapasitenin gerilimi yükselmeye başlayacak ve bir ölçme düzeniyle, bilgisayar, kapasitenin geriliminin 500 V' a eriştiği anda ana devre kesicisine 1.5 sn sonra kapatma emri gönderecektir.

Şarj kontaktörü (CC), her şarj süresi boyunca 2 sn 'den fazla kapalı kalmamalıdır. Aksi halde şarj direnci (CR), aşırı ısınarak kapasitenin şarj olmasını engeller.

Veriler :

Self	: 1 mH
Kontrol akımı	: 550 A
Ağırlığı	: 110 kg
Hat kapasitesi	: 1.8 mF

### 5.6 DC Tahrik Motorları

Sistemdeki tahrik motorları serbest uyarımalı DC motorlardan oluşmuştur. Her bir araçta, dört adet DC motor bulunmaktadır. Bu dört adet DC motor, iki motorun modülünü meydana getirilir. Her bir motor modülü, iki seri motor gurubundan oluşmuştur. İki motorun armatür devreleri seri olup, 1 DC/DC kıyıcı ünitesiyle beslenir. Bunların uyarıma sargıları da seri olup bir doğrultucu ünitesiyle uyanılır. İki motor modülü birbirinden bağımsız olup, bilgisayarla kontrol edilir.

DC motorun değerleri :

Güç	: 75 kW
Armatür akımı	: 260 A
Gerilim	: 320 V
Uyarıma akımı	: 16.9 A
Nominal hız	: 2200 d/dk
Max. hız	: 4580 d/dk
Ağırlığı	: 368 kg

### 5.7 DC Tahrik Motorunun Endüvi Devresinin Kıyıcı Ünitesi

Motor kıyıcıları, temel olarak GTO tristörleri ve diyodlarından oluşan yarı iletkenlerden kurulu DC/DC temeline dayanır. Kıyıcının amacı hattaki DC gerilimi kontrol edilebilinen daha düşük darbeler halinde tahrik motorlarına uygulayabilmektir.

Kıyıcı hat geriliminin, değişik periyotlarda kıyarak, motorun armatür devresine uygular. Bu darbeler motora uygulanmadan önce filtre edilir. Ana devre diyagramında, aracın iki kıyıcı ünitesiyle, dört adet DC tahrik motorunun nasıl beslendiği gösterilmiştir (Şekil 5.1). Her bir kıyıcı ünite, bir GTO tristörü ve bir serbest geçiş diyodundan oluşmuştur.

İki motor kıyıcı ünitesi, modüllerdeki armatür akımını kontrol eder. Bu kontrol işlemi, yüksek gerilim kıyıcılarının hat kapasitesinin müsaade edilen gerilim seviyesine ulaştığında devreye girerek bir miktar gücün fren dirençlerinde harcanmasını kontrol edene kadar sürer.

Veriler :

Nominal besleme gerilimi	: 750 V DC
Max. besleme gerilimi	: 825 V DC
Min. besleme gerilimi	: 550 V DC
Armatür kıyıcı ünitesi fazları	: 2
Max. faz akımı	: 460 A
Frekans	: 69/207 Hz
Max. çıkış gerilimi	: 825 V

### 5.8 DC Tahrik Motorunun Uyarma Alan Çevirici Ünitesi

Uyarma alan doğrultucu ünitesi, DC motorun uyarma alan akımını kontrol eder. Bu ünitenin girişi 380 V 'luk AC kaynaktan beslenir.

Doğrultucu, dört ana tristörü içeren köprü doğrultucu temeline dayanır. Bilgisayar, bir referans sinyalle doğrultucudan alınan akımı, her bir motor modülünün uyarma alanına uygulayarak, uyarma akımını kontrol eder.

Veriler:

Giriş gerilimi	: 380 V
Giriş frekansı	: 50 Hz
Çıkış akımı	: 20 A
Max. çıkış akımı	: 22 A

### 5.9 Motor Modül Kontakları ve Motor Kontakları

Motor kontakları, ana devrenin ivmelendirme modunda çalışmasını sağlar. Konraklar ivmelendirme modunda kapatılır, elektrodinamik frenlemede ise açılır. Kontaklar bilgisayardan aldığı emre göre kapanmakta ve içinden akım geçtiği sürece hiç açılmamaktadır. Bilgisayar, armatür akımını kontrol ederek armatür kıyıcı ünitesine bloke edilmesi durumunda kontakları açtırmaktadır.

Motor modül kontaklarının ana amacı, motor modülünü herhangi bir arıza durumunda veya test durumunda elektriki olarak ana devreden ayırmaktır.

Motor çalışma kontakları verileri :

Nominal gerilim	: 750 V DC
Kontrol akımı	: 225 A
Arıza akımı	: 7 kA
Gerilim sargısının nominal gerilimi	: 24 V DC

Motor modül kontakları verileri :

Nominal gerilim	: 750 V DC
Kontrol akımı	: 250 A
Gerilim sargısının gerilimi	: 24 V DC

### 5.10 Faz Endüktansı

Ana devrede, her kıyıcı ünitesi fazında, bir adet faz endüktansı bulunmaktadır. Faz endüktansının amacı; motordaki akım dalgalanmasını sınırlandırarak, komütatörde ark oluşmasını önlemektir. Akım dalgalanması, motor çalışma modunda ve frenleme modunda ayarlanır. Max. akım dalgalanmaları, kıyıcı ünitesinin her periyotda düzenli bir şekilde devreye girmesiyle olur.

Veriler :

Kontrol akımı	: 328 A
Max. akımı	: 460 A
Endüktansı	: 3 mH
Ağırlığı	: 100 kg

### 5.11 Frenleme Direnci

Frenleme dirençlerinin görevi, elektrodinamik frenleme olduğu sürece, hatta geri verilecek olan gücü, üzerinde ısıya dönüştürerek harcamaktır. Frenleme dirençleri, motor modüllerinin her frenlemede oluşturacakları güce dayanabilecek şekilde dizayn edilmiştir.

Frenleme direnç ünitesi iki bölüme ayrılmıştır. Her bir bölüm bir yüksek gerilim kıyıcısına bağlanmıştır.

Veriler:

Frenleme direnci	: 2x1.9 Ohm
Ağırlığı	: 90 kg



### 5.12 Aşırı Akım Koruyucu Ünitesi

Ana devrede elektriki arıza olduğu zaman, bu arıza akımını çok kısa sürede kesmek gerekir. Akım seviyesi, belli bir seviyenin üstüne ulaştığında bu durumu farkedip anında devreyi kesmeyi sağlayan ünite ana devre kesicisidir. (MCB)

Her motor ünitesinde aşırı akım rölesine bağlı bir şönt devre vardır. Bu koruma ünitesi üzerinden, normal ve anormal akım seviyelerini geçirerek, anormal akımlarda bilgisayarı uyararak anında ana devre kesicisini açtırır.

### 5.13 Aşırı Gerilime Karşı Koruyucu Ünitesi

Aşırı gerilim çeşitli sebeplerden dolayı oluşabilir. Örneğin yıldırımın katener hattına düşmesiyle, aşırı gerilim oluşabilir. Bu tip aşırı gerilime karşı korunma, yıldırım parafudrlarıyla gerçekleştirilir. Bu ünitenin koruma gerilim seviyesi yaklaşık 3 kV' dur.

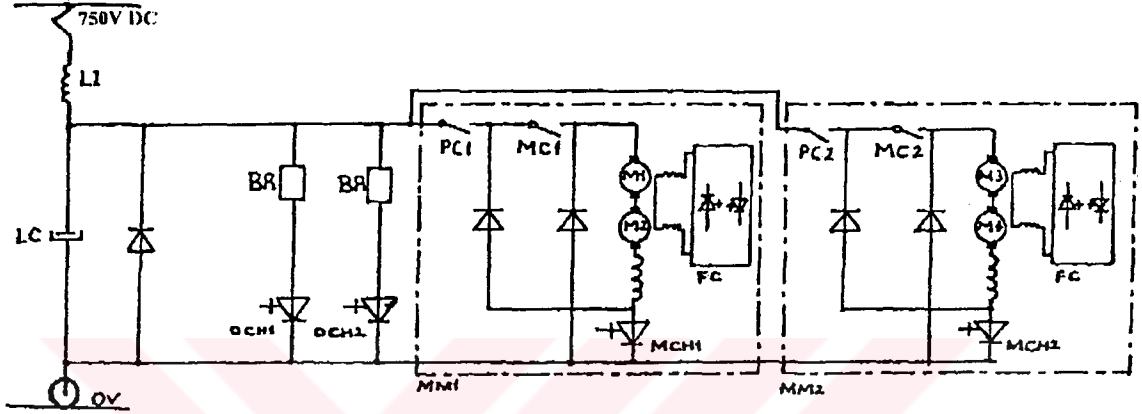
Ana devrede aşırı gerilime karşı koruyucu ünite vardır. Bu ünite bir tristöre seri bağlı bir dirençten oluşmaktadır. Bu devre hat kapasitesine paralel bağlanmıştır. Belirli bir aşırı gerilimde tristör tetiklenerek direnç üzerinde bu durum koruma altına alınır.

## BÖLÜM 6

### TAHRİK SİSTEMİNİN İÇERİĞİ

#### 6.1 Tahrik Sisteminin Genel Kapsamı

Tahrik sisteminin ana devresi Şekil 6.1 'deki gibi ifade edilir.



Şekil 6.1 Tahrik motorları, motor kıyıcıları, uyarma alanı doğrultucuları ve yüksek gerilim kıyıcılarından oluşan tahrik sistemi

Burada;

MM1	: Motor modül I
MM2	: Motor modül II
OCH1	: Yüksek gerilim kıyıcı I. ünitesi
OCH2	: Yüksek gerilim kıyıcı II. ünitesi
MCH1	: MM1 'in armatür devresini besleyen kıyıcı ünitesi
MCH2	: MM2 'in armatür devresini besleyen kıyıcı ünitesi
PC1	: Motor kontaktları
PC2	: Motor kontaktları
MC1	: Modül kontaktları
MC2	: Modül kontaktları
M1	: Tahrik motoru I
M2	: Tahrik motoru II
M1	: Tahrik motoru III
M2	: Tahrik motoru IV
FC	: Uyarma alanı çevirici ünitesi

Tahrik sisteminin içerdği kısımlar:

- DC tahrik motorları
- DC motorun armatür devresinin kıyıcı ünitesi
- DC motorun uyarma alanı devresinin doğrultucu ünitesi
- Aşırı gerilim kıyıcı ünitesi

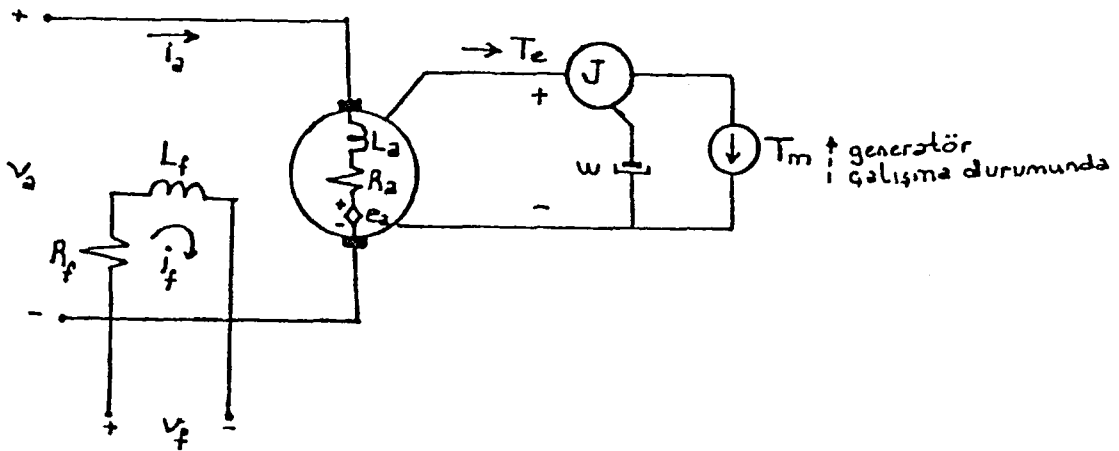
Bilindiği gibi, aracın ana devresi,iki motor modülünden oluşmaktadır. Her bir modülde, iki tane seri serbest uyarmalı motor bulunur.Serbest uyarmalı AC motorların endüvi ve uyarma akımları birbirinden bağımsız olarak kontrol edilirler. Bu nedenle maksimum alan akımında, motorun armatür gerilimi, besleme gerilimine eşit olduğu anda, moment maksimum değerine ulaşır (Sarioğlu 1975).

Elektriksel frenleme süresince, motorlar generatör olarak çalışarak, hattı besler. Ancak hattın gerilim seviyesi yüksekse, yüksek gerilim kıyıcıları devreye girerek bu enerjiyi frenleme rezistöründe harcar.

## 6.2 DC Tahrik Motorunun Teorik Olarak İncelenmesi

Uyarma sargıları ve endüvi sargıları, birbirinden bağımsız olarak kontrol edilir. Şekil 6.2 'de verilen bir serbest uyarmalı DC motorunun özelliklerini belirleyen eşitlikler, eşdeğer devreden kolaylıkla elde edilebilir (Sarioğlu,1981).DC Motorun Dinamik Bağlıntıları;

$$V_a(t) = e_a + L_a \frac{di_a}{dt} + i_a \cdot R_a \quad (6.1)$$



Şekil 6.2 Serbest uyarmalı D.C motorun eşdeğer devresi

Burada;

$v_a$	: Endüvi gerilimi
$i_a$	: Endüvi akımı
$R_a$	: Endüvi direnci
$L_a$	: Endüvi endüktansı
$e_a$	: Endüvi hız gerilimi
$v_f$	: Uyarma alanı gerilimi
$i_f$	: Uyarma alanı akımı
$\Phi_f$	: Alan akısı
$n$	: Motorun devir sayısı
$K_a, K_T, K$	: Motorun fiziksel özelliklerine bağlı birer sabit
$B$	: Sürtünme katsayısı
$J$	: Motorun ve mekanik yükün toplam atalet momenti
$w$	: Dönme açısal frekansı
$T_m$	: Mekanik moment
$T_e$	: Elektriki moment
$F_e$	: Elektriksel çekme kuvveti
$F_m$	: Mekanik kuvvet
$F_{sü}$	: Sürtünme kuvveti
$Mdv/dt$	: Hıza ve kütleyle bağlı olarak değişen kuvvet

$$e_a = K_a \cdot \Phi_f \cdot n \quad (6.2)$$

$$v_f = i_f \cdot R_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad (6.3)$$

$$\Phi_f = K \cdot i_f \quad (6.4)$$

$$T_e = K_T \cdot \Phi_f \cdot i_a \quad (6.5)$$

Motor ve motora bağlı mekanik yük için moment denge denklemleri:

$$T_e = J \frac{dw}{dt} + Bw + T_m \quad (6.6)$$

$$F_e = F_m + F_{sü} + M \frac{dv}{dt} \quad (6.7)$$

(6.4) ve (6.5) eşitlikleri, momentin endüvi akımına ve de uyarma alanı akımına bağlı olduğunu belirtmektedir. Bu iki büyüklük, birbirinden bağımsız olarak kontrol edildiği sürece, momentin kontrolü için iki yol vardır. Eğer endüvi direnci ihmal edilirse, moment; armatür akımı ve akı ile orantılı olacaktır (6.5 eşitliği). Armatür hız gerilimi ( $e_a$ ), hıza ve akıya bağlıdır (6.2 eşitliği).

Sürekli hal durumunda, motorun çalışma özelliklerini belirleyen eşitlikler, türevlerin sıfıra eşitlenmesi ve ortalama değerlerinin kullanılması ile denklemler;

$$V_A = E_A + I_A \cdot R_A \quad (6.8)$$

$$E_A = K_a \cdot \Phi_f \cdot n \quad (6.9)$$

$$V_F = I_F \cdot R_F \quad (6.10)$$

$$\Phi_f = K \cdot I_F \quad (6.11)$$

$$T_e = K_T \cdot \Phi_f \cdot I_A = Bw + T_m \quad (6.12)$$

$$F_e = F_m + F_{sü} \quad (6.13)$$

olarak elde edilir.

Endüvi akımının sabit kaldığını varsayarak, endüvi geriliminin değişimi, hızı değiştirecek fakat üretilen momenti sabit tutacaktır.

Eğer endüvi gerilimi sabit tutulursa ve alan akımı değiştirilirse T momenti azalacak, fakat n hızı aynı oranda artacağından, üretilen güç değişmeyecektir. Genellikle temel hıza kadar endüvi gerilimi denetlenir, temel hızdan sonra alan zayıflatması yapılır. Çalışılabilir maksimum hız mekaniksel ve elektriksel sorunlar dolayısıyla sınırlıdır. Mekaniksel sınırlar santrifüj kuvvetleri nedeniyle ortaya çıkar, elektriksel sınırlar ise komütasyon sorunlarından kaynaklanır. Alan akımı zayıfladıkça endüvi reaksiyonu olarak bilinen bir etki fazlaşır ve komütatörün bir diliminden ikinci bir dilimine aktarım yapmak için yeterli süre kalmayabilir.

### 6.3 DC Motorun Endüvi Kıyıcılarının İncelenmesi

Daha evvel belirtildiği üzere, DC/DC kıyıcılar, yükün akımına ve yükten geçen gerilime bağlı olarak sağlanan ortalama gücün prensibine dayanır (Kusko, 1969).

Enerji depolayan endüktans yük olarak bağlandığı zaman, enerji depolayan bir eleman olarak çalışır. Depolanan enerji, bağlantı ayrıldığında, yük üzerinden akıtılır. Sürekli bir akım, yük olan endüktansla sağlanır. Bu yük, bir rezistans, bir batarya, bir motorun alan sargılarını veya motorun endüvi sargılarını içerir. Bir DC/DC kıyıcı devresi ile yapılan bağlantı şekli incelenecek olursa;

Eğer yükümüz, saf endüktif L ise, Şekil 6.2a 'da devre şeması, b ve c 'de gerilim, akım diyagramları hıza bağlı olarak verilmiştir.

Burada;

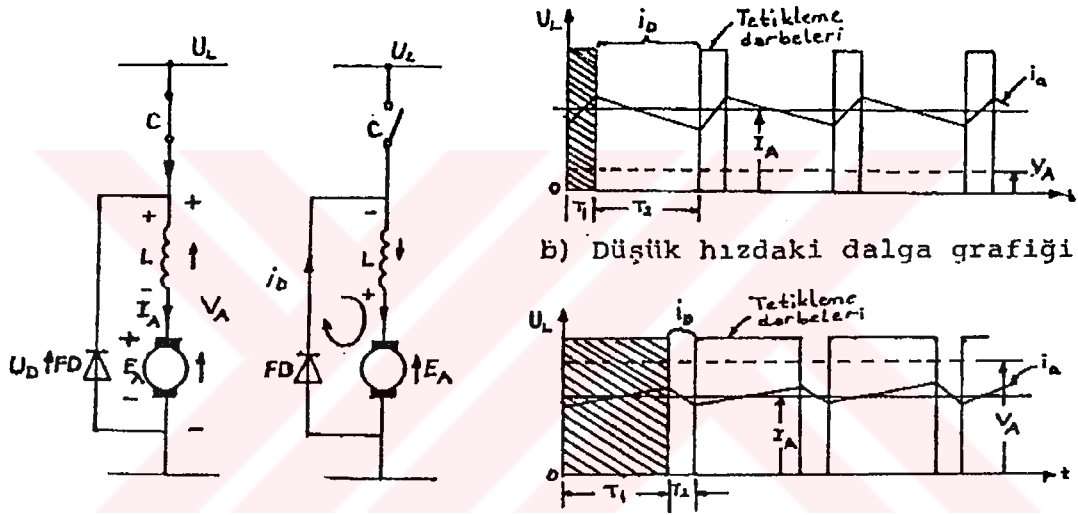
$$\text{Periyot} \quad : \quad T = T_1 + T_2 \quad (6.14)$$

$$\text{Frekans} \quad : \quad f = \frac{1}{T} \quad (6.15)$$

Kontağın kapalı olduğu süre :  $T_1$

Kontağın açık olduğu süre :  $T_2$

Frekansını veya  $T_1$  (darbe süresini) değiştirerek ortalama gerilim ayarlanır.



Şekil 6.3a) Kıyıcı hız kontrol ünitesi

c) Yüksek hızdaki dalga grafiği

Buradaki büyüklükler;

$U_L$  : Hat gerilimi

$C$  : GTO

FD : Serbest geçiş diyodu

$E_A$  : Endüvi hız gerilimi

$U_D$  : Serbest geçiş diyodu uçlarındaki gerilim

$I_m$  : Ortalama hat akımı

$V_A$  : Motor gerilimi

$I_A$  : Endüvi akımı dır.

$i_D$  : Serbest geçiş diyodu akımı

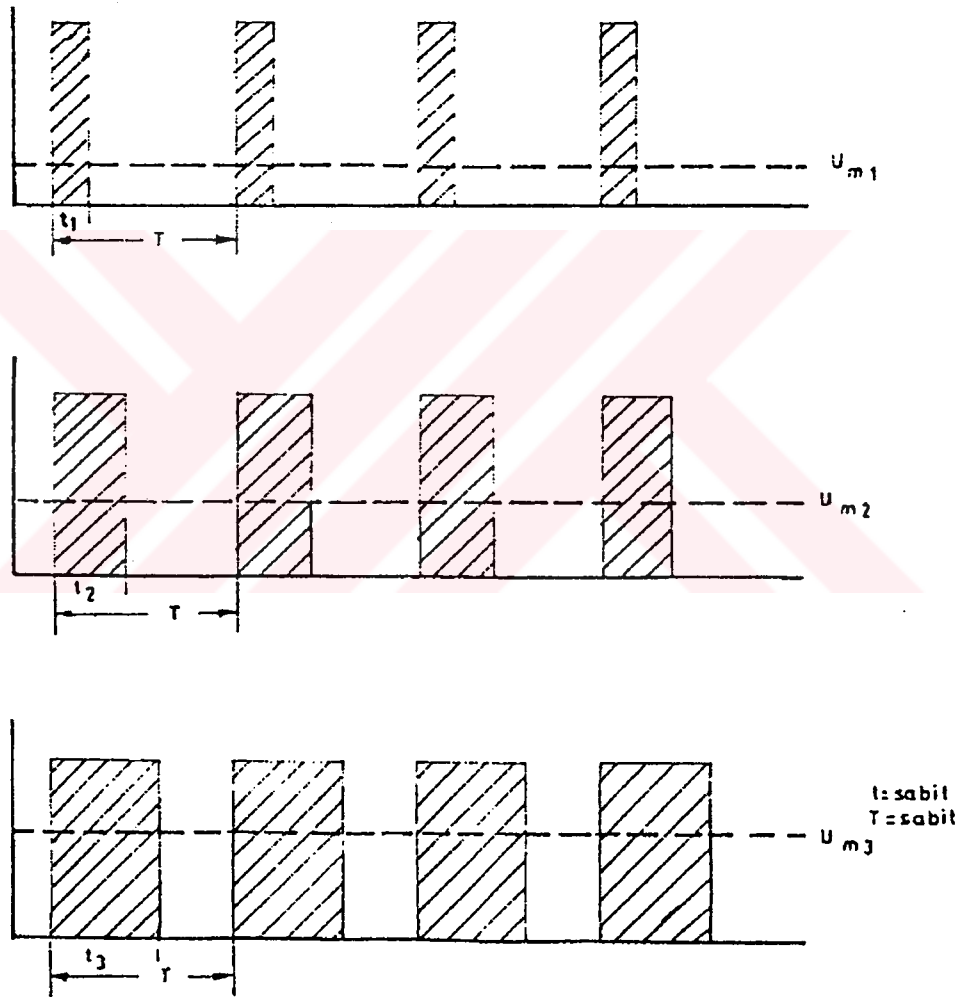
$P$  : Ortalama güç

Yük kendi kendini endüktif hale geçirdiği zaman endüktansın akımını üzerinden boşaltması için, devreye muhakkak serbest geçiş diyodu konmalıdır. Kaynaktan çekilen güçle, kullanılan güç eşittir. Bir DC/DC kıyıcı, transformatörde olduğu gibi hem akımı hem gerilimi değiştirir.

Gerilimin ortalama değeri şu üç yöntemden biri ile ayarlanabilir:

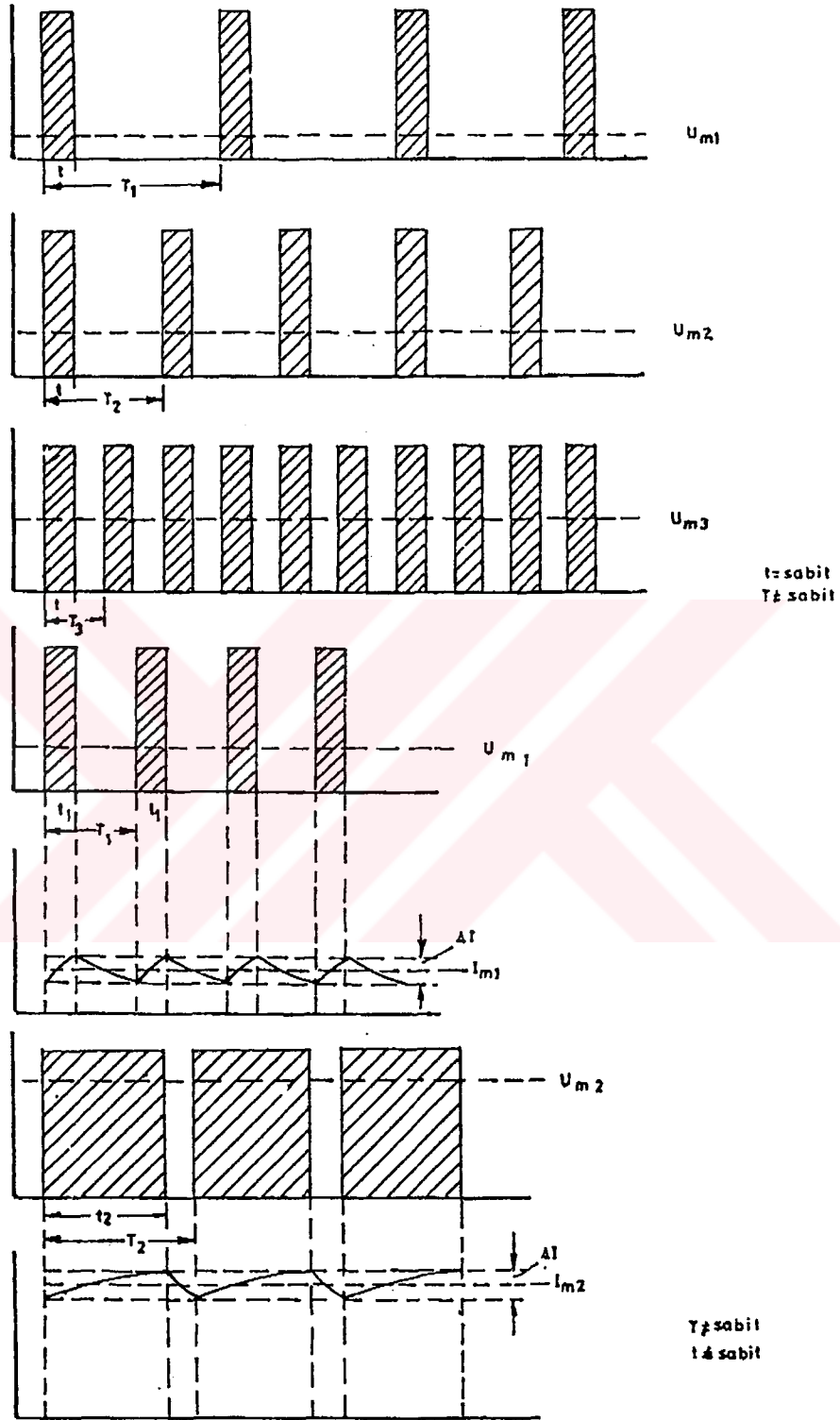
1. Darbe frekansı  $f_p=1/T=Sbt$  tutulup GTO 'nun devreye girme süresi ( $t$ ) değiştirilir.
2.  $t$  sabit tutulup darbe frekansı  $f_p$  değiştirilir.
3.  $t$  ve  $f_p$  beraber değiştirilir (Ural,1991).

Bu üç duruma ait akım gerilim değişimleri Şekil 6.4a, b ve c 'de verilmiştir.



Şekil 6.4a GTO 'nun devreye girme süresi değişiyor,  $f_p = \text{sabit}$





Şekil 6.4b, c Sırasıyla önce  $t = Sbt$ ,  $f_p$  değişken; sonra  $t \neq Sbt$ ,  $f_p = Sbt$ .

Düşük hızda, ortalama motor gerilimi  $V_A$  ve tetikleme periyodu küçük tutulur. Ortalama  $I_A$  akımı moment tarafından belirlenir. Motor gerilimini,  $T_1$  periyodu süresince ( $U_L - E_A$ ) gerilimi ( $R_A - L_A$ ) endüvi devresine uygulanır ve endüvi akımı exponansiyel olarak artar.

Yüksek hızda,  $T_2$  tıkama süresince  $i_a$  akımı düşmeye başlar ( $U_L - E_A$ ) gerilim farkı  $T_1$  süresince akımı arttırmak için  $E_A$  gerilimi hat gerilimi değerine yaklaştırılarak motor hızı artırılır. Buradan çıkarılan eşitlikler:

$$P = U_L \cdot I_m = E_A \cdot I_A \quad (6.16)$$

$$I_m = \frac{E_A}{U_L} \cdot I_A = \frac{T_1}{T_2} \cdot I_A = f \cdot T \cdot I_A \quad (6.17)$$

$$I_A = \frac{I_m}{f \cdot T_1} \quad (6.18)$$

$$E_A = U_L \cdot \frac{T_1}{T} = f \cdot T_1 \cdot U_A \quad (6.19)$$

$$P = f \cdot T_1 \cdot U_L \cdot I_A \quad (6.20)$$

dir.

( $f$ ,  $T_1$ ) faktörü modülasyon seviyesi olarak adlandırılır. Değeri, DC/DC çevirici yük için bir gerilim artışı verdiği zaman, 0 'dan 1'e kadar değişir. Endüvi gerilimi olan  $E_A$ , endüvi ve alan akımının sabit tutulması ile sağlanır. Ortalam güç, hızla lineer olarak artırılır.

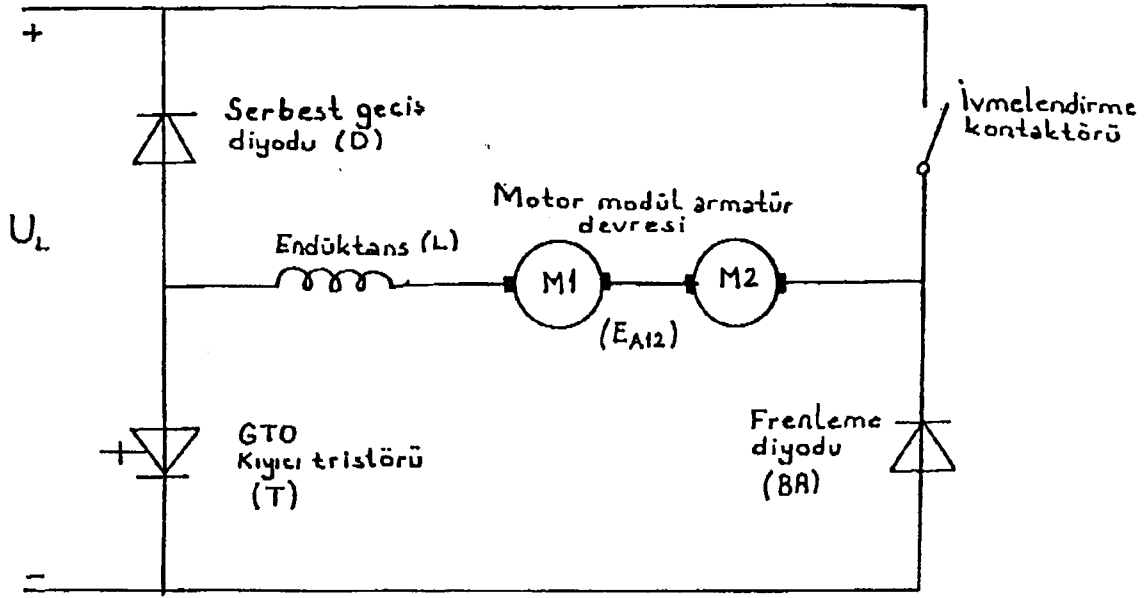
Araçtaki bir motor modülüne ait devre şeması Şekil 6.5 'de verilmiştir.

### 6.3.1 DC Motorun Endüvi Devresini Besleyen Kıyıcıların Kontrol Prensipleri

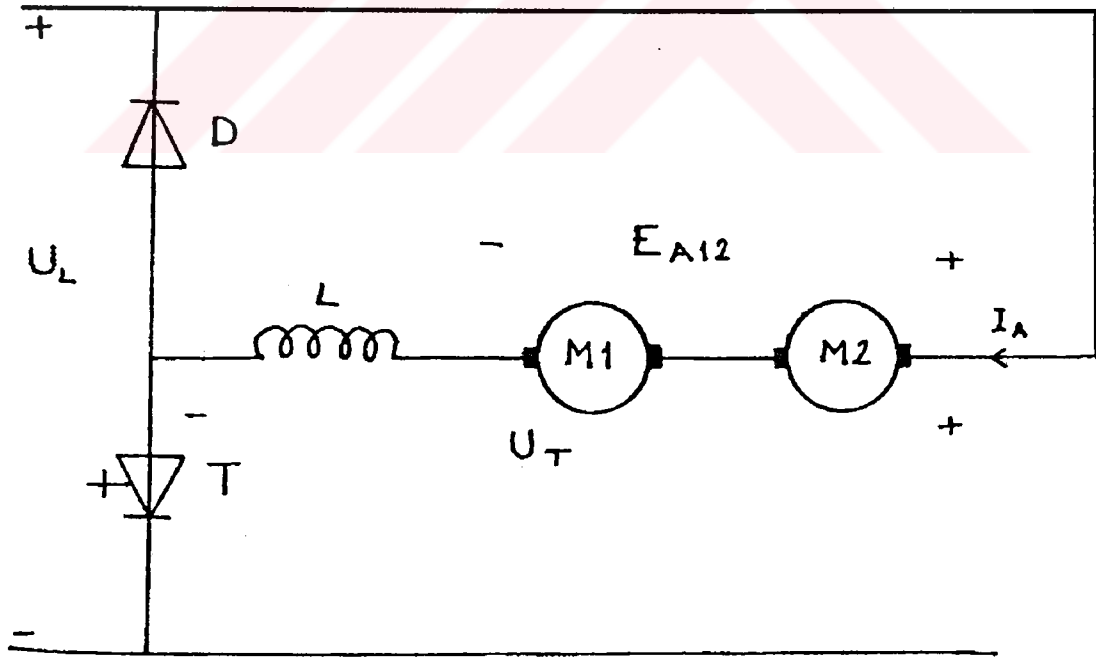
Bu ünitenin amacı, belirtildiği gibi, DC olan hat gerilimini daha düşük ve kontrol edilebilir gerilim seviyelerine getirerek DC motorların endüvi sargılarını beslemektir. Bu darbeler motorun endüvi devresini beslemeden önce filtre edilirler. Araçların ana devresi, iki kıyıcı ünitesinden oluşup her bir motor modülünün endüvi devresi, bir kıyıcı ünitesinden beslenmektedir.

#### 6.3.1.1 İvmelendirme Konumundaki Kıyıcı Ünitesinin Çalışma Prensipleri

Güç modu için basit bir kıyıcı devresi Şekil 6.6 'da gösterilmektedir.

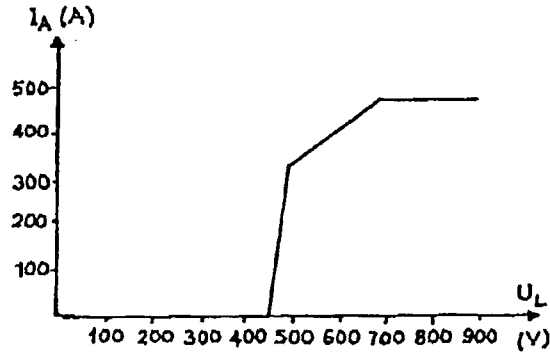


Şekil 6.5 Motor modülünün ivmelendirme ve frenleme devresine ait şeması



Şekil 6.6 İvmelendirme konumundaki basit kıyıcı ünitesi

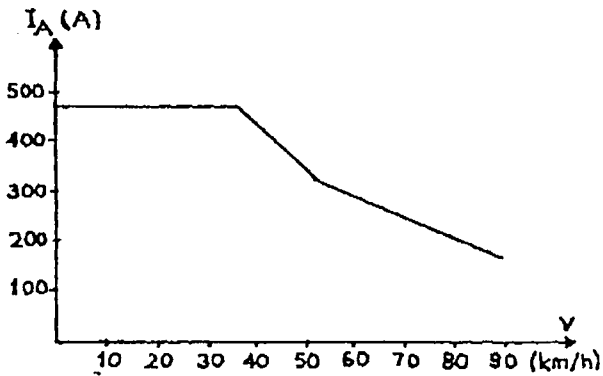
UL hat gerilimi olup, ünitenin giriş taarafına uygulanan gerilimdir. Kıyıcı çıkış gerilimi UT gerilimidir. UT geriliminin, motorda bir dc bileşeni ve L bobiniden dolayı bir a.c bileşeni mevcuttur. Şekil 6.7 'de armatür akımıyla hat gerilimi arasındaki grafik gösterilmiştir.



Şekil 6.7 Güç durumunda armatür akımıyla hat gerilimi arasındaki grafik.

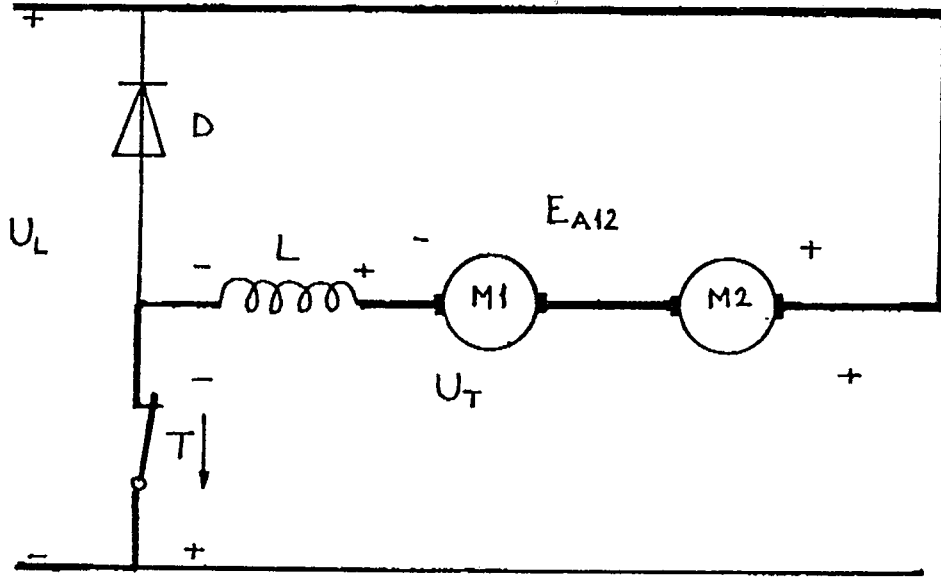
Motorun endüvi devresine, kıyıcı tarafından oluşturulan sert darbeleri filtre etmek için, bir L bobini seri bağlanmıştır. Kıyıcı ünitesini, GTO tristörü T'nin iletim ve tıkama durumlarının, ortalama saniyede birkaç yüz devirle değişmelerine izin vererek çalışır. Motor durduğu zaman, sıfır hızla endüklenmiş  $E_A$  gerilimi sıfırlanır. Bu sebepten dolayı kıyıcı motoru, sadece  $(R \cdot I_A)$  gerilim düşüşünü karşılayabilecek kadar ufak bir gerilimle beslenir. Motordaki endüvi akımı ve manyetik akı tarafından oluşturulan moment, aracın ivmelenmesini sağlayacaktır (Şekil 6.8). Ve bu nedenle motorun hızı ( $n$ ) ve  $E_A$  gerilimi artacaktır.

Armatir akımının sürekliliğini sağlamak için, kıyıcı çıkış geriliminin artırılması gerekir. Bu da kıyıcı çıkış geriliminin, darbe genişliklerini (periyodunu), artırarak mümkün olur.



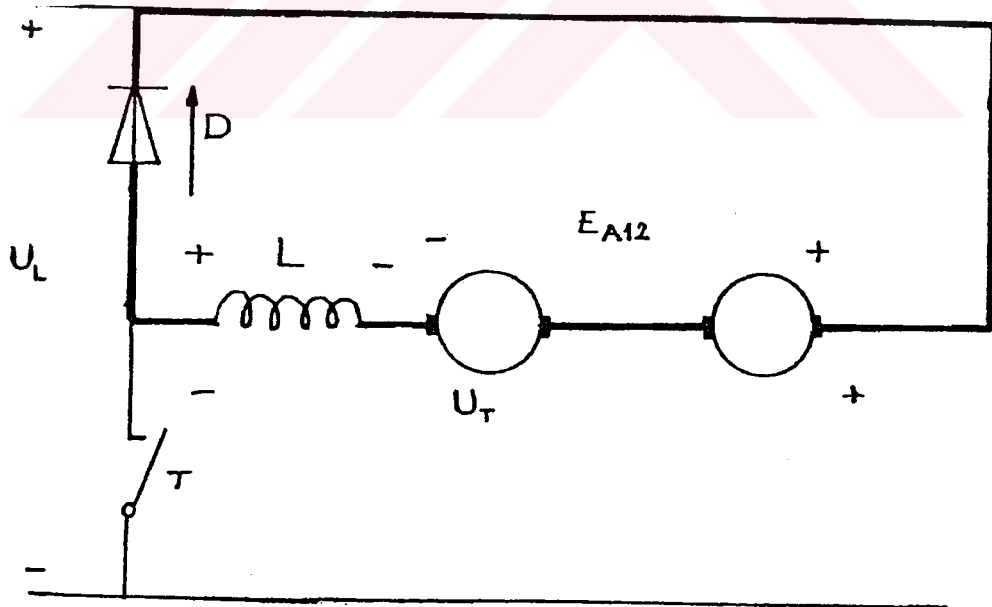
Şekil 6.8 Güç durumundaki armatür akımı ile hız arasındaki grafik

Şekil 6.9 'da, kıyıcı devresinin ivmelendirme durumunu göstermektedir. Kalan çizgiler, GTO tristörü iletme geçtiği andaki akım yolunu gösterir.



Şekil 6.9 İvmelendirme durumundaki akım yolu

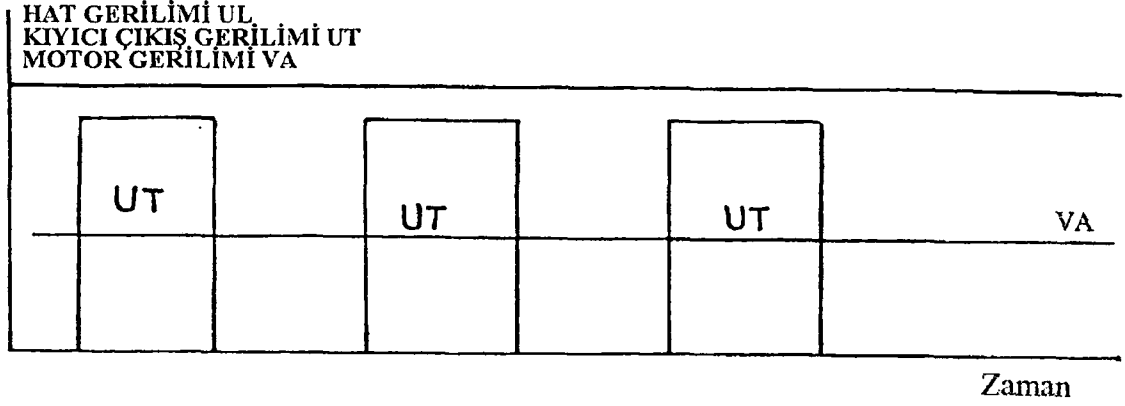
GTO, iletme çok kısa süre için geçilir ve sonra tıkamaya sokulur. GTO tıkamaya girdiğinde, Şekil 6.10 'daki gibi akım yolu izler.



Şekil 6.10 Frenleme durumundaki akım yolu

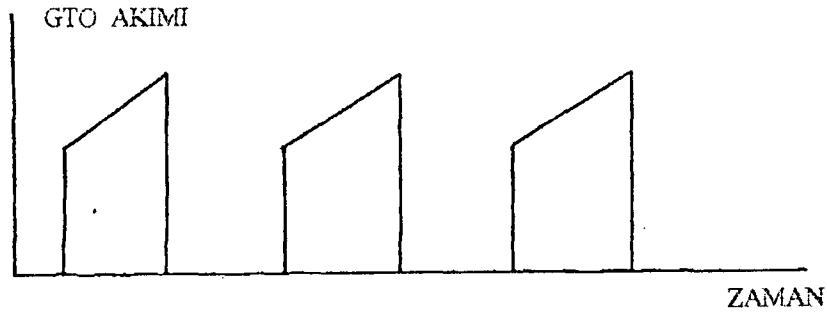
GTO tıkamaya girdiği zaman, akım, yolunu serbest geçiş diyodu üzerinde tamamlar. Akım, GTO tıkamaya girdiği zaman hemen sıfırlanmaz, çünkü büyük miktarda enerji bobinde depolanmıştır.

Bu nedenle, akım yolunu serbest geçiş diyodu üzerinden tamamlar. Bu bir nevi armatür akımının, filtre edilmesidir. İvmelendirme modundaki önemli gerilim grafikleri Şekil 6.11 'de gösterilmiştir.



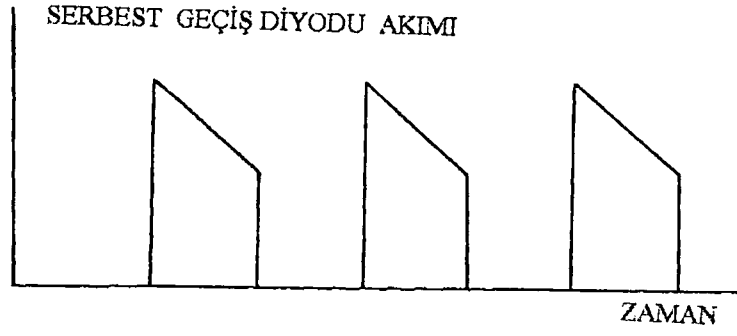
Şekil 6.11 Kırıyıcı çıkış gerilimi, hat gerilimi, motor geriliminin zamanla değişimi.

GTO iletme geçtiği zamani motor armatür devresindeki akım yükselecek ve GTO 'daki akım Şekil 6.12 'deki gibi olacaktır.



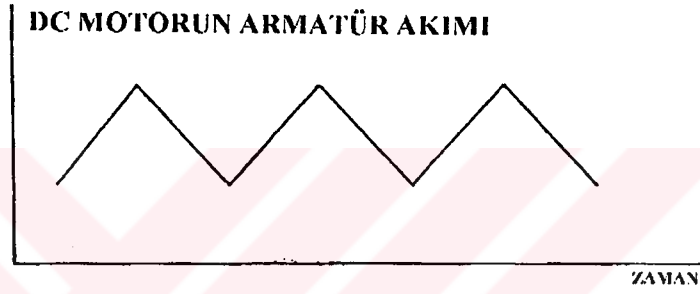
Şekil 6.12 GTO 'dan geçen akımın zamanla olan değişimi.

GTO tıkamaya sokulduğu zaman, motor armatür devresindeki akım düşecek ve serbest geçiş diyodundaki akım Şekil 6.13 'deki gibi olacaktır.



Şekil 6.13 Serbest geçiş diyodundan geçen akımının zamanla değişimi.

Motor endüvi devresindeki akım, GTO'dan geçen akımla serbest geçiş diyodundan geçen akımın toplamına eşit olup, Şekil 6.14 'de gösterilmiştir.

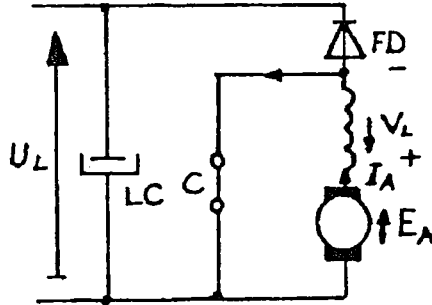


Şekil 6.14 Tahrik motorunun endüvi akımının zamanla değişim grafiği.

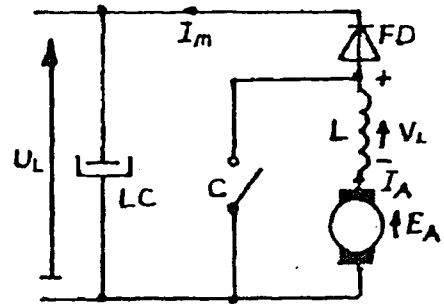
### 6.3.1.2 Frenleme Durumundaki Kıyıcıların Çalışma Prensibi

Kıyıcılar, frenlemede hat akımını kısa aralıklarla kıyarak endüktans bobini üzerinden, motora uygulanırlar. Eğer  $E_A$  armatür geriliminden küçükse, motor akımı hattı beslemeye başlar.

Şekil 6.15a, b, c ve d 'de frenleme devresi ve gerilim, akımın zamana bağlı olarak değişim grafikleri verilmiştir.

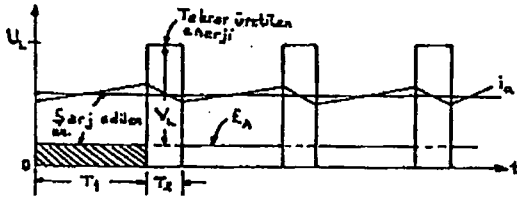


(a) C kontağı kapalıyken  $I_A$  şarj akım

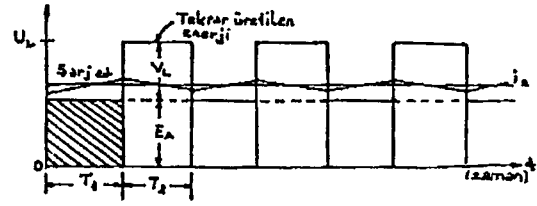


(b) C kontağı açıkken  $I_m$  rejeneratif akım





(c) Düşük hızda dalga grafiği



(d) Yüksek hızda dalga grafiği

Şekil 6.15a, b, c ve d Frenleme sürecince dc/dc kırıyıcının çalışma düzeni ve akım gerilim grafiği.

Buradaki büyüklükler;

- $I_m$  : Ortalama hat akımı
  - $V_L$  : Endüktansın gerilimi
  - $T_1$  : Şarj süresi
  - $T_2$  : Regeneratif süresi
  - $T$  : Periyot
  - $f$  : Frekans
  - $P_L$  : Kaynak gücü
- dür.

Buradan çıkarılacak eşitlikler;

$$I_m = \frac{T_2}{T_1 + T_2} I_A = (1 - f \cdot T_1) I_A \quad (6.21)$$

$$E_A = \frac{T_2}{T_1 + T_2} U_L = (1 - f \cdot T_1) \cdot U_L \quad (6.22)$$

$$P_L = U_L \cdot I_L = E_A \cdot I_A \quad (6.23)$$

$$\frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{T_2}{T} = \frac{T - T_1}{T} = 1 - f \cdot T \quad (6.24)$$

dir.

C kontağı kapalı olduğu zaman, motorun endüktansından (L), enerji depolanır. C kontağı açıldığı zaman, bu enerji hatta geri verilir. Endüktans, C kontağının durumuna bağlı kalarak, polaritesini değiştirir ve üzerinden akım her zaman aynı yönde akar. C kontağı kapandığı zaman, gerilim frenleme diyodundan (polaritesi değişmiş olan BD 'den) geçer ve motoru hattan ayırır.

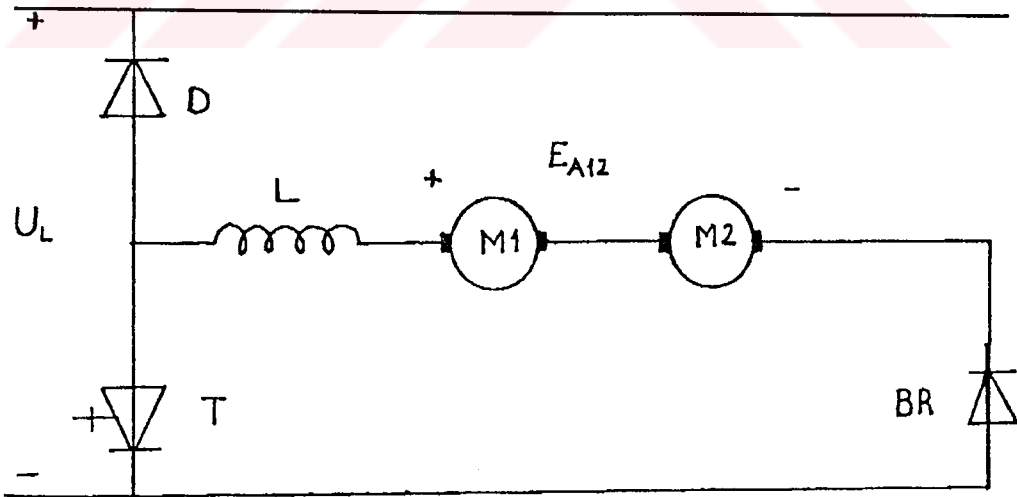
Yukarıdaki eşitliklerde motor akımı ve hat akımı arasındaki oran (eşitlik 6.21) ve motor gerilimiyle hat gerilimi arasındaki oran (6.22) ifade edilmiştir. Motorun giriş gücü ile kaynak gücü arasındaki bağıntısı eşitlik 6.23'de verilmiştir.

Frenleme periyodu süresince motorun gerilimi, hız ile azalır. Bu ( $f.T_1$ ) modülasyon seviyesini artırmak dengelenirilir. Bu seviyenin değeri %0 ve %95 değerleri arasında değişebilir. Bu seviye değeri, dinamik frenin, düşük motor gerilimlerinde yani düşük hızlarda bile etkili olmasını sağlar. Fren modunda kıyıcı devresi şekil 6.16 'daki gibi olur.

Elektrodinamik frenlemedeki kıyıcı devresinin çalışma prensibi, ivmelendirme modundakiyle aynıdır. Frenleme modunun ivmelendirme modundan farkı, motor geriliminin polaritesinin ters olmasıdır.

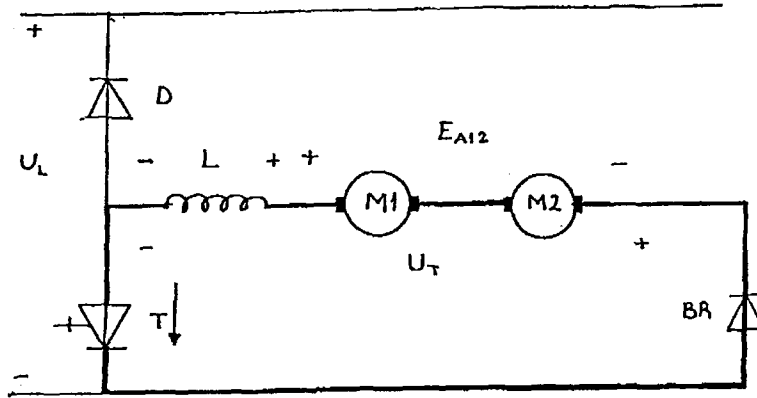
Motor yüksek devirle çalışırken, uyarma alanına akın verildiğinde, motorun  $E_A$  gerilimi birkaç yüz Volt'a ulaşır ve GTO bobinle motora bağlanır.

GTO iletme geçtiği an, endüvi akımı ivmelendirme durumundaki gibi aratacaktır. şekil 6.17 'de, frenleme konumunda armatür akımının izlediği yol, kalın çizgilerle ifade edilmiştir.



şekil 6.16 Fren modundaki kıyıcı devresi

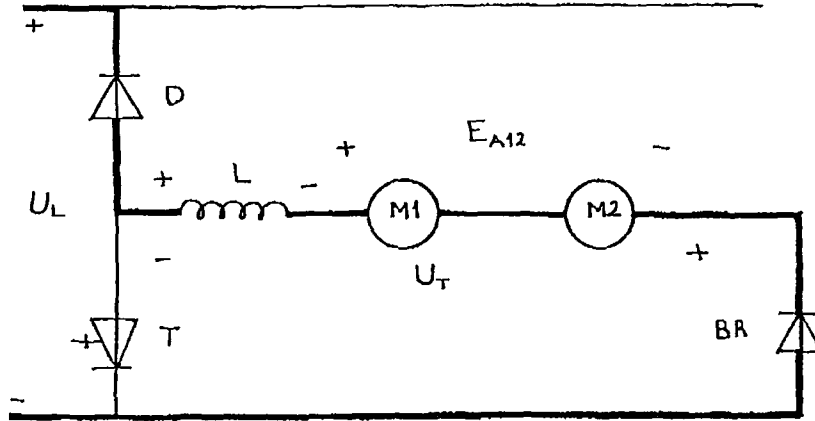
GTO tıkamaya girdiğinde, endüvi akımı belirli bir oranda düşecek ve yolunu aşağıdaki Şekil 6.18 'de gösterildiği gibi devresini tamamlayacaktır. Şekil 6.19 'da frenleme durumunda, armatür akımıyla hat gerilimi arasındaki grafik gösterilmiştir.



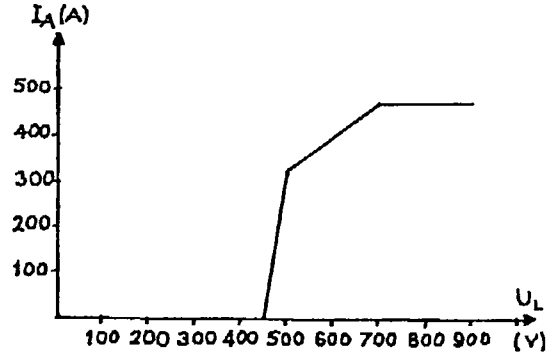
Şekil 6.17 Kıyıcının frenlemede izlediği akım yolu

Akım yolunu, serbest geçiş diyodu üzerinden tamamlar. Bunu sebebi de endüktif bobinde, ivme durumunda iken, büyük miktarda enerji depolanmış olmasıdır. Endüktif bobinde, indüklenen bu gerilim, geri besleme gerilimi olarak hatta geri verilir (Şekil 6.19).

Kıyıcı, istenilen hız konumuna göre, motor için gerekli akımı, belirli periyottaki darbeleri uygulayarak sağlar.



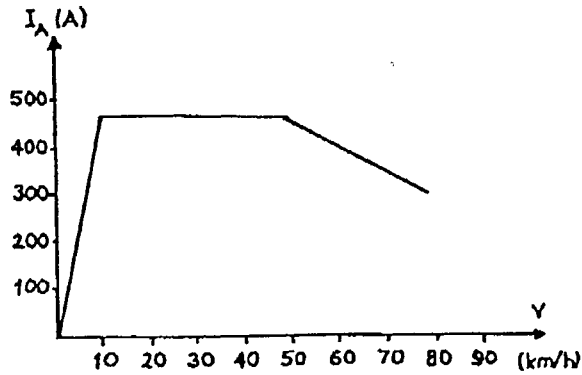
Şekil 6.18 GTO tıkamaya girdiğinde akım yolu



Şekil 6.19 Frenlemede armatür akımıyla hat gerilimi arasındaki grafik

Frenlemede, aracın hızıyla birlikte motor gerilim de düşecektir. İstenilen motor akımını devam ettirebilmek için, kıyıcı genişliği, motor  $E_A$  gerilimi sıfır olarak artırılır. Pratik durumda, endüvi akımı, saatte 2-5 km hızlarda, sıfıra düşer ve elektrodinamik fren mekanik sürtünme freniyle yer değiştirir (Şekil 6.20).

Veriler:	
Sağlanan nominal gerilim	:750 V D.C
Sağlanan max. gerilim	:825 V D.C
Sağlanan min. gerilim	:500 V D.C
Kıyıcı fazı	:2
Max. faz akımı	:460 A
Frekans	:69/207 Hz
Max. çıkış gerilimi	:825 V

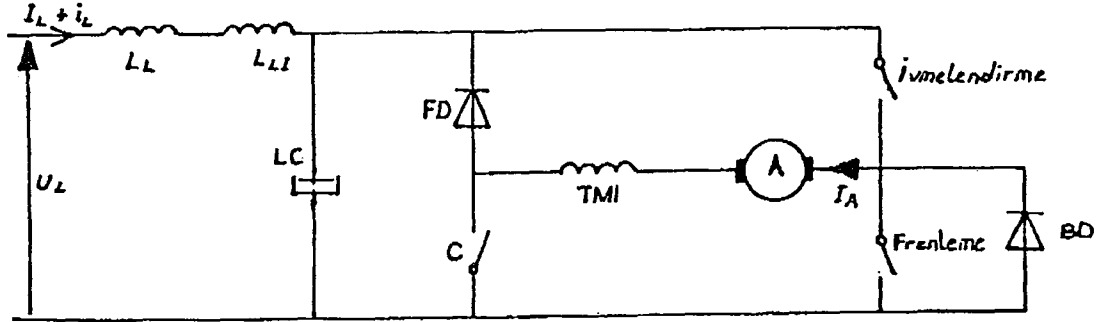


Şekil 6.20 Frenlemede armatür akımıyla hız arasındaki grafik.

#### 6.4 Motor Kıyıcı Devresinin Çalışma Durumundayken Hattan Gelen ve Hattan Geri Dönen Akımlar

##### 6.4.1 Doğru Akımlar

Motorun ivmelendirme ve frenleme sırasındaki, besleme hattına verdiği ve hattan çektiği gücü, endüvi devresindeki güce eşittir. Bu durumu Şekil 6.21 'deki devrede görelim;



Şekil 6.21 Hat akımı ile ivmelendirme ve frenleme modları

Burada;

$L_L$	: Hat bobini	$F_D$	: Serbest geçiş diyodu
$L_C$	: Hat kapasitörü	$T_M$	: Tahrik motor endüktansı
$C$	: Kontakt	$A$	: Armatür
$BD$	: Frenleme diyodu		

dur.

Buradan çıkarılacak eşitlikler,

$$P_L = U_L \cdot I_L = V_A \cdot I_A \quad (6.25)$$

$$E_A = K \cdot \phi_f \cdot n \quad (6.26)$$

$$I_L = K \cdot \phi_f \cdot \frac{n \cdot I_A}{U_L} \quad (6.27)$$

dır.  $K$  'nın sabit olduğu yerde;

Temel hızının altındaki hat akımı, devir sayısına ( $n$ ), endüvi akımının ve gerilimin fonksiyonudur. Nominal hızda,  $(\phi_f.n)$  sabit tutularak uyarma alanı akımı azaltılır. Hat akımı, sadece endüvi akımıyla hat gerilimine bağlı olarak değişir.

#### 6.4.2 Alternatif Akımlar

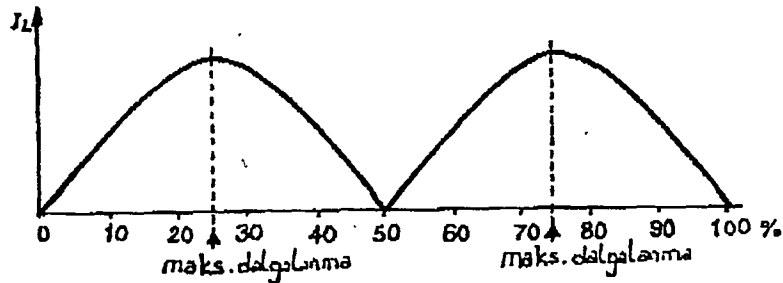
İvmelendirme durumundaki hattan, motor kırıycısına darbeler halindeki akım çekilir. Hat kapasitesi, alternatif akımı absorbe eder, bu esnada kapasite geriliminin değişmesine neden olur. Böylece hattın d.c gerilimi üzerine, alternatif gerilim biner. Hat filtresinin rezonans frekansı  $f_L$ , hat bobini  $L_{LI}$ 'nin endüktanlarına bağlıdır.

$$f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_{LC}(L_L - L_{LI})}} \quad (6.28)$$

$f_L$  frekansının değeri, yaklaşık 37 Hz olup, katener besleme istasyonlarındaki frekans değerine yakındır. Düşük bir rezonans frekansı seçilmesiyle, besleme sistemindeki herhangi bir 50 Hz'lik komponentin rezonansa girmesi önlenmektedir. Besleme hattındaki alternatif akım büyüklüğü şöyle ifade edilir;

$$I_{Leff} < \frac{I_A}{43} \cdot \frac{1}{C_{LC}(L_L + L_{LI})} \cdot \frac{1}{f^2 p^3} \quad (6.29)$$

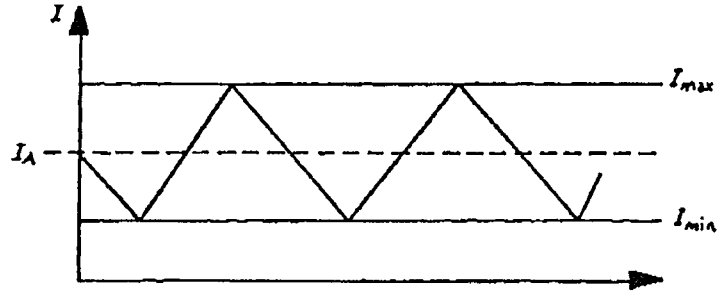
Bu a.c komponentin genliği, aynı zamanda hat kapasitesine bağlı olan motor kırıycısı sayısına ve modülasyon sayısına bağlıdır. İki motor kırıycısı ile elde edilen dalgalı akım Şekil 6.22 'de gösterilmiştir. Maksimum dalgalanma %25 ile %75 arasındaki modülasyonlarda elde edilmektedir.



Şekil 6.22 İki motor kırıycısı ile elde edilen dalgalı akım.

### 6.4.3 Motor Kırıcılarının Yüklendeki Akım dalgalanması

Tahrik motorları kısmındaki yüke, dalgalı bir akım verildiği belirtilmişti. Dalgalı akım bir dalgalılık faktörü (K) ile ifade edilmektedir. Şekil 6.23 'de dalgalılık faktörünün tanımı yapılmıştır.



Şekil 6.23 Motorların dalgalılık faktörünün tanımı dalgalanma faktörüdür.

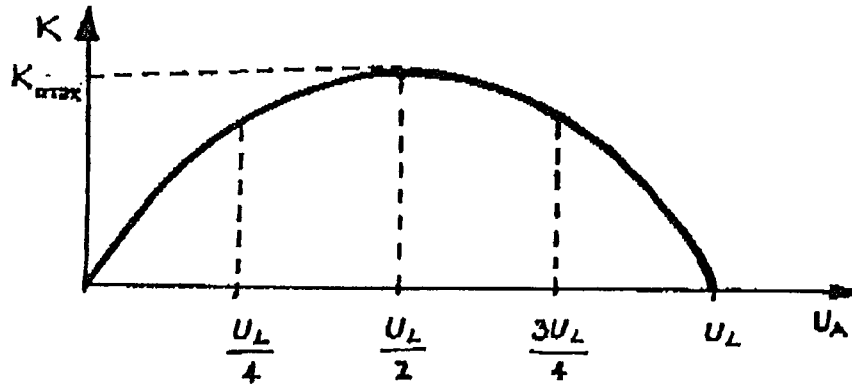
$$K = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (6.30)$$

d.c/d.c kırıcısının dalgalanma faktörü;

$$K = \frac{U_L \cdot T_1 (1 - f \cdot T_1)}{2 \cdot L_A \cdot I_A} \quad (6.31)$$

dır.

İndüksiyon bobinleri, dalgalanmayı sınırlandırmak için kullanılır. Şekil 6.24 'de  $E_A$  ve  $U_L$  gerilimleriyle olan bağıntısı gösterilmiştir.



Şekil 6.24 Dalgalılık faktörünün  $E_A$  ve  $U_L$  gerilimleriyle olan bağıntısı.



Dalgalanma faktörünün ölçümleri:

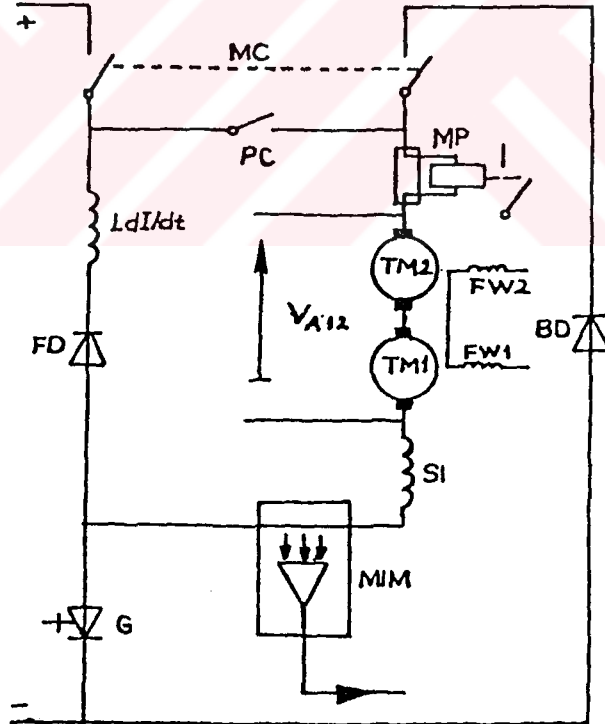
Max. K değeri  $E_A = U_L/2$  olduğu zaman max. değerini alır ve max. akımda;

$$I_{\max} = I(1 + K_i) \text{ olur.}$$

### 6.5 Endüvi Kıyıcısının, Akım ve Gerilim Ölçüm Devreleri ve Bobinleri

D.C/D.C .kıyıcı ünitesi, yarı iletken devreler dışında, kontaktörler, akım ve gerilim ölçümleri için devreler ve indüksiyon bobinlerini içermektedir. Devresi, Şekil 6.25 'de verilmiştir.

İvmeledirme boyumca, motor kontaktörü PC ile modül kontaktörü MC kapalıdır. GTO tristörü G, iletme geçince tıkanana kadar artar. Tıkanmadan sonra, akım azalarak serbest geçiş diyoduna akar. Motor akımı, GTO'nun iletme geçme sürelerinin değiştirilmesiyle, kontrol edilmektedir. Akımın iyi kontrol edilebilmesi için ölçülmesi gerekmektedir. Bu ise, MIM devresi ile gerçekleştirilmektedir. Buna L.E.M devresi denilmektedir. Bu devrenin çıkış işareti, ana devre ile arasında galvanik yalıtım yapılarak sağlanmıştır.  $I_{TM12}$  değeri tahrik bilgisayarına verilmektedir.



Şekil 6.25 D.C kıyıcı, akım ve gerilim ölçüm devreleri ve bobinleri.

Burada;

- G : Ana tristör (GTO)
- FD : Serbest geçiş diyodu
- LdI/dt : Akım sınırlayıcı indüksiyon bobini
- SI : Yumuşak indüsiyon bobini
- MIM : Motor akımını ölçen ünite
- MP : Motoru koruyan ünite (akım kesimine ve dağılımına karşı)
- V<sub>A12</sub> : Tahrik motorunun gerilimi
- PC : Motor kontaktörü
- BD : Frenleme diyodu
- MC : Modül kontaktörü
- TM1 : Tahrik motoru 1
- TM2 : Tahrik motoru 2

dir.

Bilgisayarın tahrik bölümünde, motor akımı kontrol edilmektedir. Akım seviyesi 660 A'lık seviyeyi geçtiği zaman, iletme geçme zamanını ayarlayarak, akım seviyesinin önceden belirli, daha düşük bir seviyeye, yaklaşık 470 A 'e düşmesine kadar sürmektedir. Bu seviyede, yine GTO'nun iletme geçmesine izin verilmektedir. Bloke etme ve hata göstermenin başlamasına kadar, bu olay en fazla yedi kez tekrarlanabilir. Bununla beraber, daha yüksek bir seviye vardır ki yaklaşık 730 A 'lik bu seviyenin üzerinde, bloke etme ve har gösterme derhal başlamaktadır.

Her araçta iki eş d.c/d.c kıyıcı ünitesi kullanılmaktadır. Bunlar kaynak kısmından bağımsızdır, fakat kontrol devreleri 180°'lik faz farkıyla senkronize çalışırlar. Ek bir motor koruyucu olarak, şönt alan rölesi olan MS kullanılır. Bu 900 A olan aşırı akımda devreye girer ve MCB ana devre kesicisini açar.

Eğer motorların birinde, bir topraklama arızası olursa, MIM bunu ölçerek bildirir. Koruma düzeni ve arıza göstergesi, motor akım ölçülerinin, I<sub>TM12</sub> yüksek akım seviyesini farketmeden bunu farkeder. Frenleme süresince motor kontaktörü PC açıktır. Motorun E<sub>A</sub> 'nın yönü değiştirilerek (alan akım yönü değiştirilerek), ivmelendirme durumuyla karşılaştırılır.

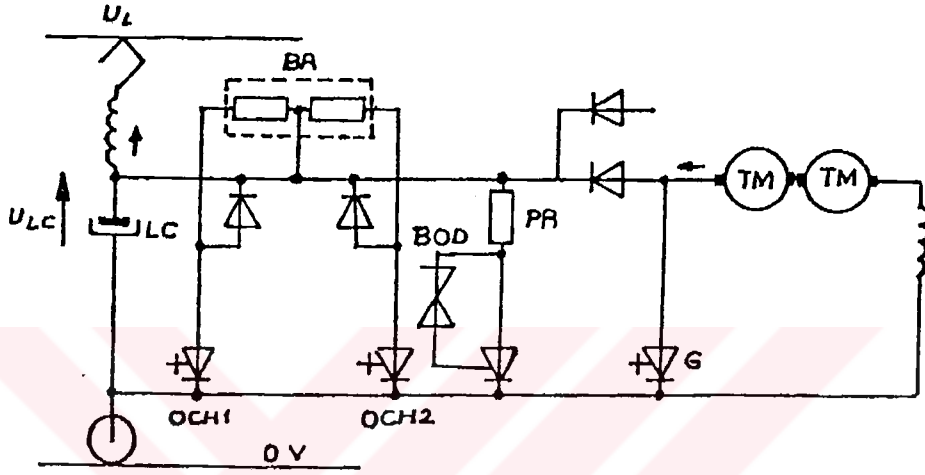
Motorlar generatör olarak çalışırlar ve bunların güçleri GTO tristörü tarafından kontrol edilir. GTO tristörü çalışmaya başladığı zaman, akım artar ve güç serbest geçiş diyodundan geçerek, hattı besler.

Modül kontaktörü MC, Bir motor modülünü kaynaktan ayırmak için kullanılır. Bu durum olduğu zaman, motor modülünün alan çevircisine ihtiyaç duyulmaz. Bu durum, alan çevircisine, bilgisayar tarafından bağlantısının kesilmesine dair, gösterilen işaretlerle sağlanır.

### 6.5.1 Frenleme Devresinin İçeriği

Normal şartlarda, frenleme esnasındaki tüm güç hatta iade edilir. Ancak bu işlem, o anda hatta, motor ve yardımcı devreleri için, güç çekmekte olan araçlar varsa gerçekleşir.

Eğer iade edilecek olan tüm frenleme gücü, o anda kullanılmazsa hat kapasitesi gerilimi ( $U_{LC}$ ) yükselir. Bunun üzerine bilgisayar içindeki gerilim regülatörü yüksek gerilim kısıcısının aktive eder ki bu anda akımın BR frenleme dirençleri devresi üzerinden akarak gücün ısıya dönüşmesini sağlar (Şekil 6.26).



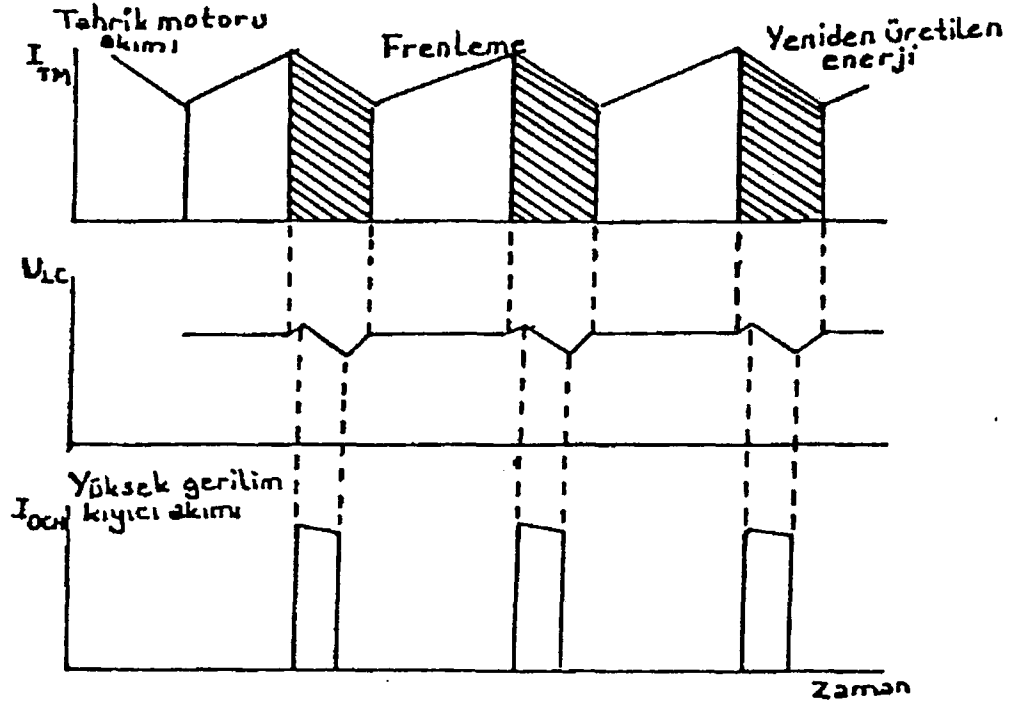
Şekil 6.26 Frenleme esnasındaki hat kapasitesinin geriliminin yükselmesi üzerine aktif hale getirilen yüksek gerilim kısıcısı.

Burada;

LC	:Hat kapasitesi	BOD	: Frenleme diyodu
ULC	:Hat kapasitesinin	PR	: Yüksek gerilime karşı koruyucu direnç
$U_L$	:Hat gerilimi	G	: GTO
BR	:Frenleme direnci	TM	: Tahrik motoru
OCH1, OCH2	:Yüksek gerilim kısıcısı fazları		

Yüksek gerilim kısıcısı, herbiri frenleme direncinin yarısını kullanan iki ayrı fazdan (OCH1-OCH2) oluşmaktadır. Bu iki motor kısıcılı fazı, motor kısıcılı ile senkronize edilir. Öyle ki GTO ilgili motor kısıcısının tıkanmadından kısa bir süre sonra ilettime geçer. Bu şekilde hat kapasitesi geriliminde dalgalanma olur (Şekil 6.27).

Yüksek gerilim kısıcısının gereksiz yere aktive edilmesini önlemek amacıyla güç çekme durumunda (ivmelendirmede) aktive etme seviyesi frenlemeye göre daha yüksek tutulmuştur. Bu seviye aynı zamanda hat akımının yönüne de bağlıdır. Araç katenerden



Şekil 6.27 Yüksek gerilim gerilim kıyıcılarının akım ve gerilimleri

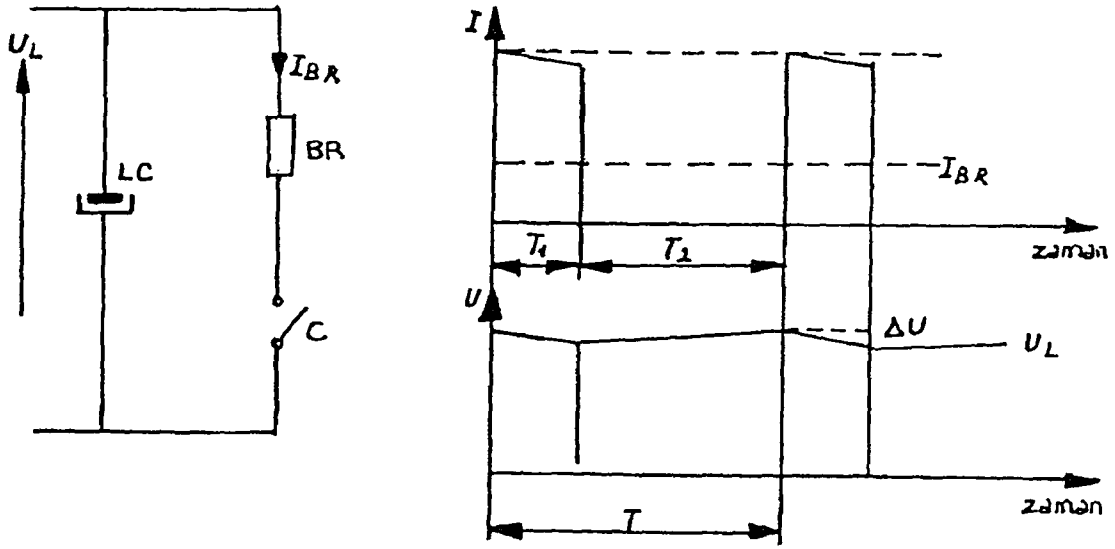
güç çektiği zaman yüksek seviye, güç verdiği zaman ise alçak seviye pozisyonuna göre ayarlanmıştır. Sonuç olarak her araç kendi iade edilemeyen gücü ile ilgilenmektedir.

Ek koruyucu olarak, yüksek gerilim koruyucu direnci kullanılır. Direnç BOD elemanı ile ilettime geçirilern normal bir tristöre seri bağlıdır. Bu devre çalıştırıldığı zaman, aynı anda bilgisayara MCB'yi (ana devre kesicisinin) açma ve kıyıcıları bloke etmek için sinyal verilir.

BOD elemanı, üzerindeki gerilim belli bir seviye aştığı zaman tristörü tetikleyerek devreye sokar.

## 6.6 Yüksek Gerilim Kıyıcısı

Bir yüksek gerilim kıyıcısı, yük olarak, bir dirençle birlikte çalışır. Bu ünite har kapasite ile paralel bağlanılmıştır ve gerilim çok yükseldiğinde kapasiteyi boşaltır (Şekil 6.28).



Şekil 6.28 Yüksek gerilim kıyıcısının çalışma prensibi, aktif ve pasif olduğu kurumlardaki akım-gerilim grafikleri.

Burada,

- $I_{BR}$  : Frenleme akımı
- $L_C$  : Hat kapasitesi
- $BR$  : Frenleme direnci
- $C$  : Kontaktör

dür.

Yüksek gerilim kıyıcısı, frenleme konumundaki, frenleme gücü hatta iade edildiği zaman çalışır. Aynı zamanda güç çekilirken, pantograftaki sıçramalardan kaynaklanan dalgalı akımlar meydana geldiğinde de çalışır.

$U_L$  gerilimi, ön ayar değer seviyesini aştığı zaman  $C$  kontağı kapanır.  $T_1$  periyodu süresince,  $C$  kontağı,  $\Delta U$  gerilim azalması süresince açılı kalır. Bu değer tam olarak hesaplanamaz. Çünkü bu değer, hat kapasitesinin dolma akımına, motor akımının değerine ve aracın hızına, motor kıyıcılarının modülasyon seviyesine bağlıdır.

$C$  kontaktörünün aktif durumu için gösterilen seviye, ivmelendirme ve frenleme durumu için, farklı durumlarda düzenlenmiştir.

Frenleme direncinin geçiş gerilimi, seri olarak bir endüktans kullanıldığı sürece akım akıtır. Frenleme direncinde harcanan güç, normal olarak motorların iade ettiği güce eşit veya daha küçüktür (eşitlik 6.32). Bu güç, yüksek gerilimi kıyıcıları tarafından

$$P_{TM} = E_A \cdot I_A > \frac{U_L^2}{R_{BR}} \cdot f \cdot T_1 \quad (6.33)$$

kontrol edilir. Bu nedenle hat kapasitörünün geçiş gerilimi, düzenlenilen seviyenin aşağısında tutulur. Frenleme periyodunun başlangıcında, rezistördeki güç büyüktür.

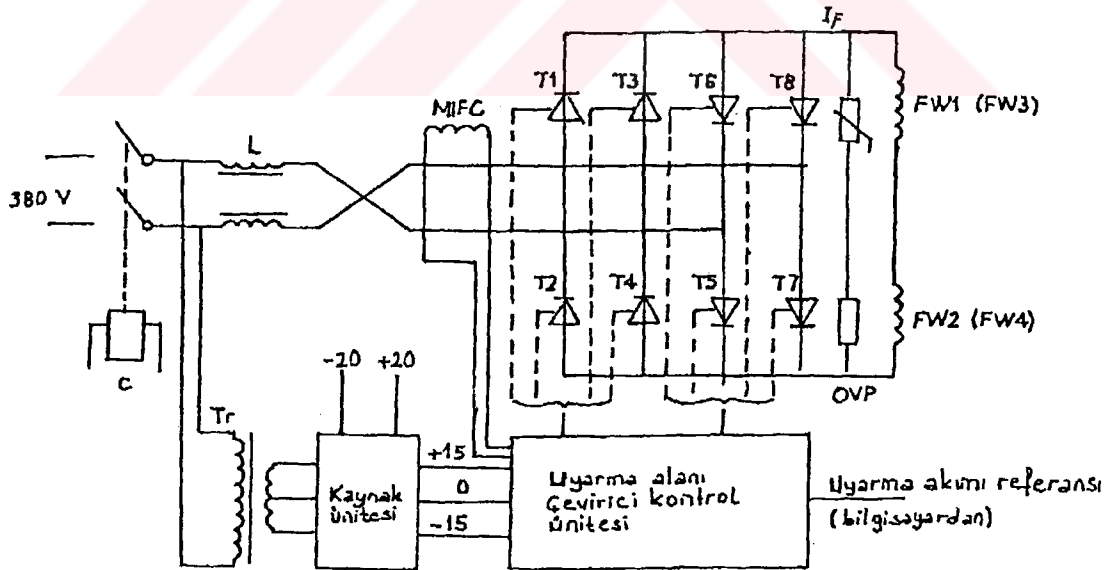
### 6.7 Uyarma Alanı Çeviricisi

Her bir motor modülü için birer adet olmak üzere toplam bir araçta iki adet alan çeviricisi ünitesi vardır. Çeviricisi ünitesindeki sekiz adet tristör yarı iletkeninden oluşmuştur ve dörder gruplar halinde birbirine ters bağlanmıştır (Şekil 6.29).

Yalnızca iki doğrultucu tristör, aynı anda tetiklenir. Doğrultucunun tıkanmaya girmesi için, tetikleme darbeleri kesilir (Gülgün, 1983).

Kontrol sisteminin görevi, doğrultucu devresinin aktif olmasını veya aktif olmamasını sağlamaktır. Ve kesilen kontrol darbelerini, özel bir kesici tarafından yatırmaktır. Alan çeviricisi, geri besleme akımı ve akım kontrolü ile çalışır.

Doğrultucu gerilimi hemen hemen kare dalga şeklindedir. Giriş gerilimi sinüs şeklinde olup frekansla orantılı olup, giriş geriliminin genliği, frekansla orantılı olduğu farzedilmektedir. Yani bu da bir periyottaki geriliminin integralinin sabit olmasıdır.



Şekil 6.29 Alan çeviricisi ünitesi

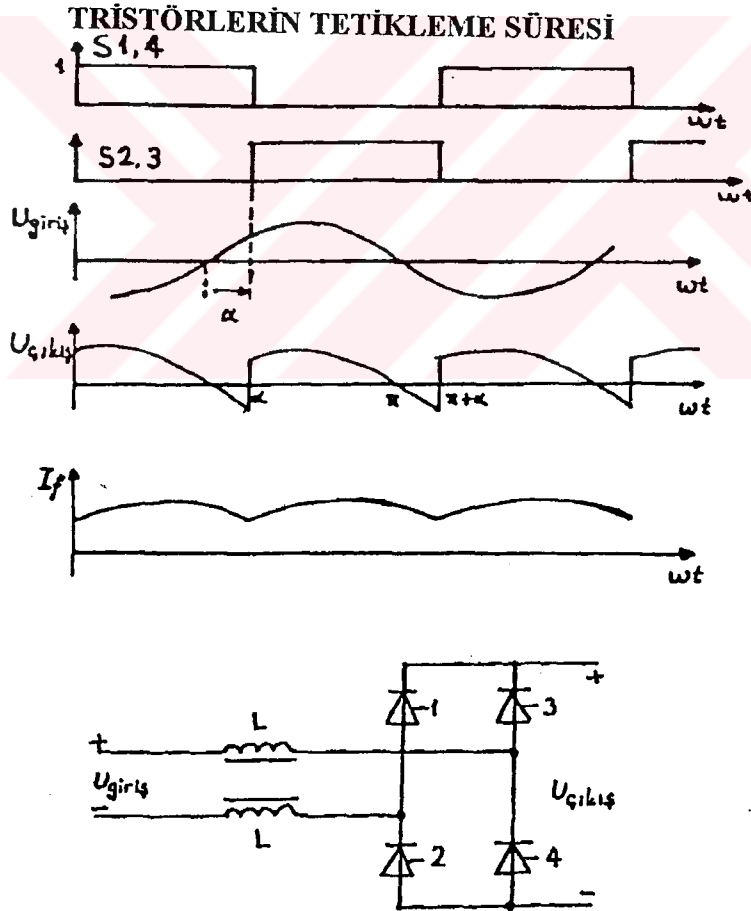
Burada;

- FW : Tahrik motorlarının alan sargıları  
 T : Tristör  
 L : Endüktans  
 MIFC : Alan akım ölçeri  
 IF : Alan akımı  
 T<sub>r</sub> : Transformatör  
 OVP : Yüksek gerilim korucu  
 C : Alan doğrultucu kontaktörü dür.

Verileri:

- Giriş gerilimi : Bir fazlı sinüs dalga frekansı 50 Hz, 380 V, a.c  
 Yedek güç gerilimi : ±24 V  
 Çıkış gerilimi max. : ±340 V  
 Çıkış kontrol akımı : ±20 A  
 Çıkış max. akımı : ±22 A

Uyarma akım kontrol grafiği ve akım, gerilim dalga şekilleri Şekil 6.30'da verilmiştir.



Şekil 6.30 Uyarma akımının kontrol grafiği



Burada;

- $U_g$  : Sinüs dalga gerilimidir.
- $U_ç$  : Doğrultucudaki çıkış gerilimidir.
- $I_f$  : Uyarma akımı
- $\alpha$  : Tetikleme açısı

dır. Maksimum uyarma akımı,  $\alpha=0$  olduğunda elde edilir.

Ortama çıkış gerilimi:

$$U_{ço} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha-\pi} \sqrt{2} \cdot U_{giriş} \cdot \sin wt \cdot d(wt) = \frac{2\sqrt{2}}{\pi \cdot \cos \alpha} \cdot U_g \quad (6.34)$$

### 6.8 Doğru Akımlı Ulaşım Sistemlerinde Doğru Akım Kıyıcısı Kullanılmasıyla Sağlanan Üstünlükler

- Cer motorlarına özgü endüvi gerilimlerinin değeri hemen hemen, sıfır ile besleme gerilimi arasında sürekli olarak ayarlanabilir.
- Gerilim kontrolü için seri dirençlere gereksinme olmadığından seri dirençlerde kaybolacak enerjiden ekonomi sağlanır. Faydalı frenleme yapılamıyorsa, dirençle frenleme için gereklidir.
- Hat ve motor arasında güç transformasyonu, yol alma süresince, doğru akımlı taşıtların hattan daha az akım çekmesine neden olur. Yol almadaki akım yükselmeleri, güç istasyonlarının hesabında önemli bir faktördür ve doğru akım kıyıcısı kullanılması güç istasyonlarının kapasitelerini daha uzun bir süre için yeterli kılabilir.
- Isınma sınırını aşmamak şartı ile motorlar, karakteristik eğrileri üstünde herhangi bir noktada çalıştırılabilirler.
- Kademeli ayar yerine sürekli ayar yapılabildiği için hareket süresince sarsıntı hissedilmez.
- Hızlanma veyavaşlanmanın kesintisiz olması ve elektriksel büyüklükleri kontrol eden elektronik kontrol sisteminin cevap hızının büyük olması nedeni ile motorlarda ve transmisyonda aşınma ve eskime daha az olur (Kasapoğlu, 1984).

## BÖLÜM 7

### KONTROL VE DENETLEME PRENSİPLERİ

#### 7.1 Kontrol Prensipleri

Sürücü kabinindeki sürücü koluyla, istenilen hızlanma ve yavaşlama ivmesi, bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Hızlanma- yavaşlama durumundaki ivme referansları, endüvi referansına dönüştürülür. Yavaşlama ivmesinde, mekanik frenleme referansı hesaplanır. ve endüvi akım referansıyla, endüvi akım kontrolü beslenir.

Tahrik motorlarında; momen, endüvi akım ile uyarma akımına bağlıdır [15], [16]. Düşük hızlarda uyarma alan akımı (akı), sabit tutulur ve moment, endüvi akımı vasıtasıyla değiştirilir. Akımı sabit tutulmasıyla, motor gerilimi hızla artarak, hat gerilimi değerine ulaşacaktır. Aslında motor geriliminin (temel hız bazında) haz gerilimi seviyesine ulaşmasına izin verilmez, her iki büyüklüğün arasında küçük bir fark her zaman için bırakılır.

Motor gerilimi, hat gerilimi seviyesine ulaştığında, kısıyıcı çıkış gerilimi maksimum değerine ulaşır ve hız artırılmaz. Bunun nedeni ise, motor geriliminin hızla artmasıdır. Aracın hızının, temel hız bazının üstüne çıkarılabilmesi için, uyarma alan akımı (akı), temel hız seviyesini üstünde azaltılır. Bu durumda motor gerilim değeri düşmeye başlar.

Frenleme modunda, mekanik frenleme kontrol altına alınır. Elektrikli frenleme (elektrodinamik frenleme) max. seviyede uygulanır, yetersiz olduğunda buna mekanik frenleme de eklenir.

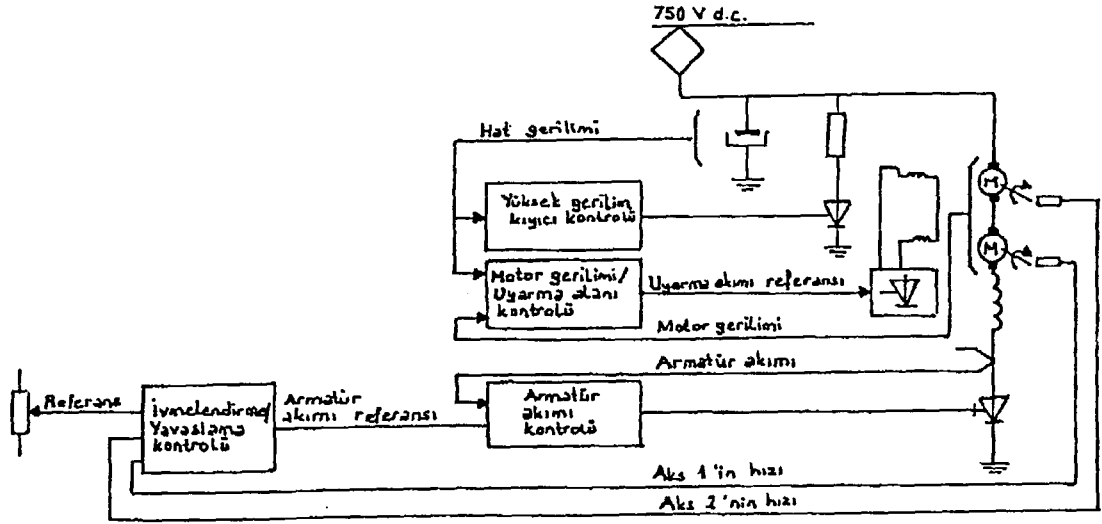
Elektrikli frenleme sürresince, motordan hatta geri verilen enerji nedeniyle, hattın gerilimi yükselir. Hattın geriliminin fazla yükselmesini engellemek için, yüksek gerilim kısıyıcısı ünitesi bulunmaktadır. Bu ünite bir yüksek gerilim kısıyıcı kontrol ünitesiyle kontrol edilir. Şekil 7.1 'de, tahrik kontrol sistemi gösterilmektedir. Şekil sadece bir motor modülü içindir.

#### 7.1.1. İvmelendirme Kontrolü

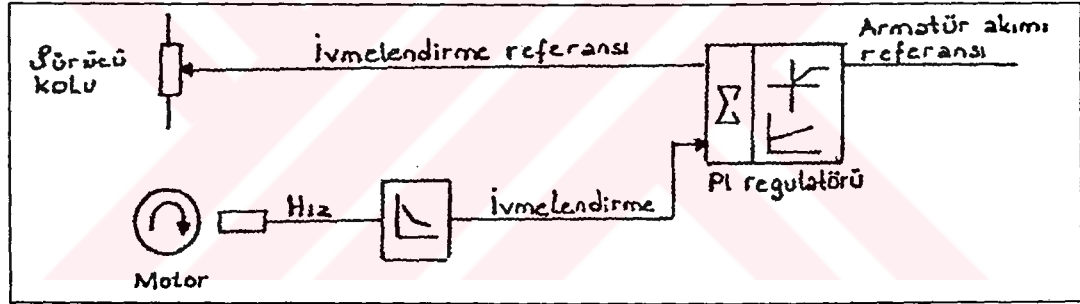
İvmelendirme konumunda ivme, PI regülatörü ile kontrol edilir (şekil 7.2). Sürücüden gelen referansa göre, hızın türeviyle karşılaştırılarak,, PI regülatörüne gönderilir.

İvmelendirme modunda, regülatörün çıkışından alınan endüvi akımı referansı endüvi akım kontrol ünitesine gönderilir. İvme kontrolü için kullanılan hız, 3. ve 4. aksların maksimum hızlarıdır. Bunun sebebi bilindiği gibi, 3. ve 4. aksların motor içermemesi ve kaymaya sebebiyet vermemesidir.

İvmelendirme kontrolü, bilgisayardaki ivmelendirme kontrol lojiiyle oluşturulmuş programla kontrol edilir.



Şekil 7.1 Tahrik sisteminin kontrol devresi



Şekil 7.2 İvmelendirme kontrolü

### 7.1.2 Yavaşlatma İvme Kontrolü

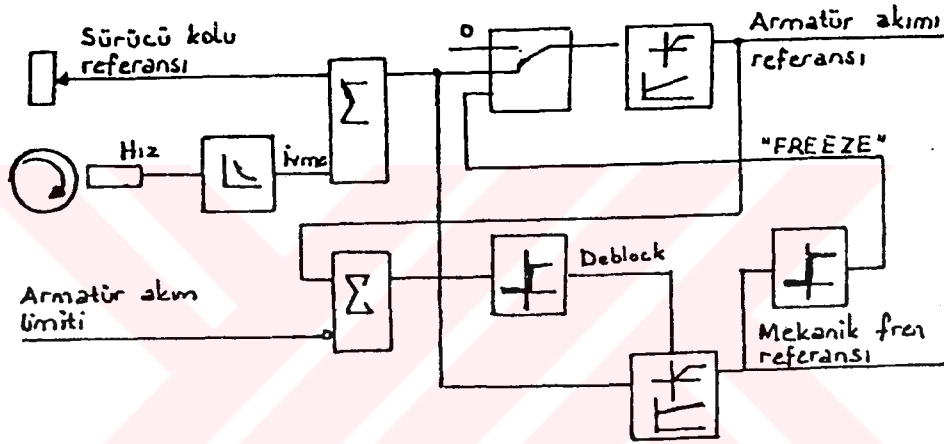
Fren modunda, yavaşlatma ivmesi, PI regülatorü tarafından kontrol edilir. Sürücünden gelen referans (sürücü kolu vasıtasıyla), hızın türevi ile karşılaştırılmakta ve PI regülatorüne gönderilmektedir.

Frenleme sırasında, regülatorün çıkış seviyesi, armatür akımını belirler ve bu akımla armatür akım kontrolünü (frenleme) besler. İzin verilen maksimum akıma ulaşıldığında, sürücünün arzu ettiği daha fazla yavaşlama ivmesi istediğine karşılık, mekanik frenleme de devreye sokulur. "DEBLOC" sinyali gerçekleşerek, mekanik fren

kontrolü serbest bırakılır. Mekanik fren referansı, sıfırı (0) geçer geçmez "FREEZE" sinyali gerçekleşir. Bu sinyal, endüvi akım frekansını sabit tutarak, mekanik frenleme referansının tekrar sıfır olmasına kadar sürer. Bunun bu şekilde olmasının nedeni, yavaşlamayı kontrol edecek iki regülatörün aynı anda birlikte çalışmasının mümkün olmamasındandır.

Bu nedenle, elektrikli fren etkili olduğu sürece uygulanılır ve ihtiyaç olduğunda, mekanik fren devreye sokulur. Mekanik fren devreye girdiğinde, endüvi akımı sabit tutulur. Yavaşlama ivmesinin kontrolü için kullanılan hız, bütün aksların maksimum hızıdır. Bunun sebebi kullanılan hızın kayan bir akstan gelmesini önlemektir.

Yavaşlatma ivmesinin kontrolü bilgisayardaki yavaşlatma lojisi programıyla kontrol edilir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Yavaşlama ivmesi kontrolü

### 7.1.3. Endüvi Akım Kontrolü

Şekil 7.4 'de görüldüğü gibi, hızlanma ve yavaşlama ivmelerinin kontrolündeki armatür akım referansı, endüvi akım kontrolüne gönderilir ve ölçülen endüvi akımı ile karşılaştırılır. Elde edilen sonuç, PI regülatörüne gönderilir. PI regülatöründen gelen çıkış, kıyıcıdaki GTO 'nun tetiklemeye girme süresi ile orantılı olmaktadır.

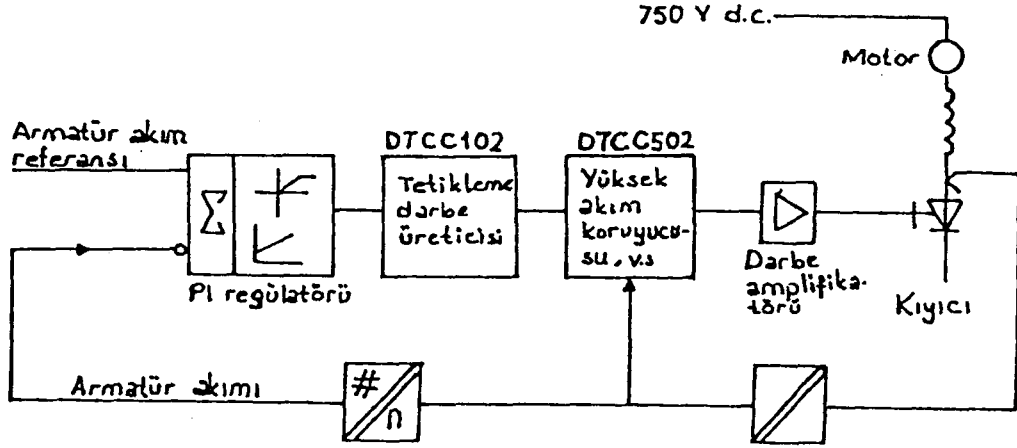
Tetikleme zamanı, endüvi akım kontrolü ünitesinden gelir ve bu sinyal, DTCC 102 A bilgisayar bordundan üretilir. Bu bordtan GTO için tetikleme puls 'ları üretilir. Bu tetikleme palsları DTCC 502 A borduna gider ve bu bord aynı zamanda aşırı akıma karşı korunmayı sağlar. DTCC 502 A kartından alınan palslar, GTO 'ya bağlanmış olan bir puls amplifikatörüne gönderilir. Endüvi akım kontrolü computer tarafından aşağıdaki düzende oluşturulur.

IA12P : Güç konumunda motor modül 1 de armatür akım kontrolü

IA34P : Güç konumunda motor modül 1 de armatür akım kontrolü

IA12B : Frenleme konumunda motor modül 1 de armatür akım kontrolü

IA34B : Frenleme konumunda motor modül 1 de armatür akım kontrolü



Şekil 7.4 Endüvi akım kontrolü

#### 7.1.4. Motor Gerilimi Kontrolü - Uyarma Alanı Kontrolü

Daha önceki bölümde de belirtildiği üzere, tahrik motorunun gerilimi, motor hızı ve motor akışı ile orantılıdır. Akı veya uyarma alanı akımı sabit tutularak, motor geriliminin hızla birlikte artması sağlanır.

Motor geriliminin hat gerilimini geçmesine müsaade edilmemelidir. Bu nedenledir ki kontrol sistemi, motor gerilim kontrol sistemini kapsamı içine alır.

Kıyıcı ünitesi tetiklendiğinde, kıyıcının çıkış gerilimi uzun bir süre artırmayacaktır. Eğer bir sinyal alınmazsa, hız artmayacaktır. (Çünkü motor gerilimi hızla birlikte artıyor) Hızın temel hıza kadar artmasına kadar izin verilir. Bu kontrol sistemi uyarma alanının kontrol sistemini de içerir.

##### 7.1.4.1. İvmelendirme ve Frenleme Durumunda

İvmelendirme ve frenleme konumunda motor gerilimi, hattın gerilimi ile karşılaştırılır ve elde edilen karşılaştırma değeri, PI regülâtörüne gönderilir. Eğer motor gerilimi, hat gerilimi değerini aşarsa,  $\Delta$  kadarlık bir azalma sinyali gönderilerek PI çıkışındaki uyarma akımı referansı azaltılır ve buna bağlı olarak da motor gerilimi azaltılır.

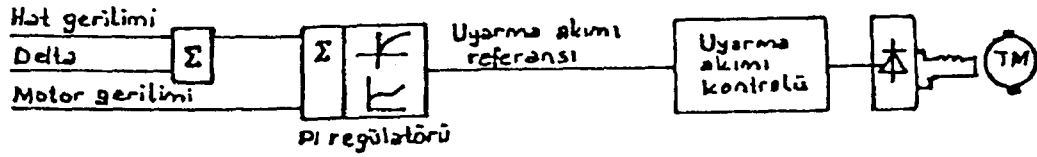
(Şekil 7.5). PI çıkışındaki uyarma akımı referansı, uyarma alanı akım kontrolünü besler. Motor geriliminin ivmelendirme ve frenleme konumundaki kontrolü, bilgisayar tarafından aşağıdaki sırayla kontrol edilir:

VC12P: Motor modülü 1'in motor gerilim kontrolü ivmelendirme durumunda

VC34P: Motor modülü 2'nin motor gerilim kontrolü ivmelendirme durumunda

VC12B: Motor modülü 1'in motor gerilim kontrolü frenleme durumunda

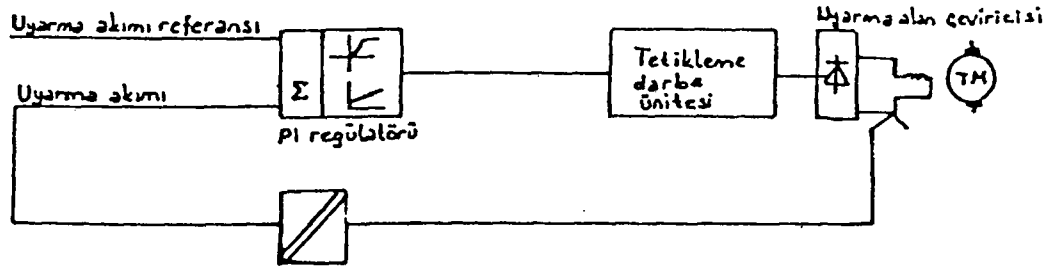
VC34B: Motor modülü 2'in motor gerilim kontrolü frenleme durumunda



Şekil 7.5 Uyarma alanının, güç ve frenleme modundaki kontrol blok şeması

#### 7.1.5. Uyarma Alan Akımının Kontrolü

Uyarma akım kontrolü, Şekil 7.6 'daki blok şemada gösterildiği gibi yapılmaktadır. Bu kontrol, uyarma alanı çevircisinde bulunan analog yöntemi kullanılarak yaptırılır. Bu sistem, computer tarafından yapılmaz. Uyarma akımı referansı computerden (motor gerilimi / uyarma alanı kontrolü kısmından) gelir.



Şekil 7.6 Uyarma alanı akım kontrolü

## SONUÇLAR

Ülkemizde günden güne ağırlaşarak artan adeta buhran haline gelen trafik anarşisine karşı tek çözüm, raylı toplu taşıma sistemleridir. Sosyal hayatın rahatlığı iş hayatının düzenli olması, yakın mesafe ulaşım sistemlerinin yaygın hale getirilmesi ile sağlanacaktır.

Çalışma esnasında, ülkemizde hafif metro ve metro sistemleri için en uygun besleme sistemi, 1500 V kataner olarak ortaya çıkmıştır. Kataner sistemi, kullanılan tüm teçhizatın yerli olarak temini, emniyet, maliyet, teknik kadro temini, mevcut hatların uzatılması gibi özelliklerinden dolayı ön plana çıkmıştır.

1500 V 'ta ise, düşük akım çekildiğinden dolayı, tali istasyonlar arası mesafe arttırılır. Buda hem ekonomik açıdan hemde kayıplar açısından önemli bir durumdur. Böylece daha az sayıda trafo merkezleri inşa edilmektedir.

3. Ray enerjilendirme sistemi özellikle, emniyet, maliyet, mevcut güzergahların ileride uzatılması gibi unsurlar dikkate alındığında bir takım dezavantajlara sahiptir. Kataner sisteminde şehirlerin genişlemesinden ve yeni taleplerden dolayı zaruri hale gelen hat uzatmaları, Konya ve İstanbul 'da olduğu gibi yerli ekipmanlar tarafından gerçekleştirilebilmektedir. 3. Ray 'da özellikle akım alma şekli üstten olduğu zaman güvenlik açısından büyük tehlike arz etmektedir. Nitekim Ankara metrosunda kısa bir süre önce böyle bir çarpılma olayı meydana gelmiştir.

Hafif metro ve metro sistemlerinde kullanılan araçların tahrik sistemi, gelişen yarı iletken teknolojisinden dolayı, güç elektroniğine dayalı bir tahrik sistemidir. Dünyada değişik şirketlerin ürettiği araçlarda, yardımcı güç sisteminde küçük değişiklikler olmakla birlikte tahrik sistemi aynıdır. Çalışmamda tahrik sisteminin içeriği ve çalışma düzenleri incelenmiştir.

Maliyeti çok yüksek olan yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemlerinin ülke çapında yaygın hale getirilmesi için bir takım olumsuz koşulların düzeltilmesi ve raylı ulaşım gereken önemin verilmesi gerekmektedir. Üniversitelerimizde raylı ulaşım bölümleri veya ana bilim dalları kurulmalıdır.

İstanbul, Ankara ve Konyada yaptığım çalışmalar esnasında, hafif metro ve metro projelerinin yerli olarak gerçekleştirilmesinin mümkün olduğu fakat merkezi bir takım düzenlemelerin gerektiği ve mevcut imkanların yeterince değerlendirilemediği sonucuna varılmıştır.

**KAYNAKLAR**

- 1- Alperöz N., Elektrik Enerji Dağıtımı, İ.T.Ü, 1987.
- 2- Aström P., The Traction Control System, Asea Traction Document, December 1988
- 3- Bassett J. R., Chamund J. R., Optimised Diodes Reduce GTO Stress, Railway Technology International, 1989.
- 4- Current Collectors For Third Rail, AEG Ankaray Documents, 1994
- 5- DC Traction Power Supply, SIEMENS Ankaray Documents, 1994
- 6- Friden L., Traction Equipment, Asea Tidning 3.4, 1986.
- 7- Gunnarsson L., Wahiberg K., İstanbul New Metro Line, ABB Review, March 1989
- 8- Gülgün R., Güç Elektroniğine Giriş, 1983
- 9- International Railway Journal, March 1997
- 10- Kasapoğlu A., Modern Yakın Mesafe Ulaşım Sistemlerinde Elektrikle Tahrik Düzenlerinin İncelenmesi, Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi Y.T.Ü, 1984
- 11- Kusko A., Solid-State DC Motors Drivers, The Massachusetts Institute of Technology, 1969
- 12- Lander W.C., Power Electronics, Mc Graw Hill Book Company, 1981
- 13- LRT Vehicle, Technical Instruction Manual, BREDA Railway Group, 1994
- 14- Metro Vehicle, Design and Installation Documents F00.100, ABB Traction, 1989
- 15- Overhead Catenary System Design Installation Documents G40.112, ABB Consortium, 1989
- 16- Power Supply Substations, Design and Installation Document G40.100, ABB Consortium, 1989
- 17- Sarıoğlu K.M., Doğru Akım Makinalarının Geçici Rejimleri, 1975
- 18- Sarıoğlu K.M., Dynamics of Electrical Machines, University of Illinois Urbana, 1981



19- Őenol İ., Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Enerji Dűzenlerinin Karşılaştırılması ve Deęerlendirilmesi Doktora tezi, Y.T.Ü, 1992.

20- Ural A., Modern Elektrikli Ulaşım Sistemleri, Kocaeli Őniversitesi, Őubat 1991

21- Urban Railway Transport Report, 1995

22- Urban Railway Transport Report, 1996



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Muhammet GARİP

Doğum yeri ve tarihi : Adana - 1972

Öğrenim Durumu : Lisans

Bitirdiği Okullar ve yılı

İlkokul : Mehmed Akif İlkokulu - 1983

Ortaokul : Ziya Paşa Ortaokulu - 1986

Lise : Adana Merkez Teknik Lisesi - 1990

Üniversite : Yıldız Teknik Üniversitesi - 1994

Yabancı Dili : İngilizce

Bir yıl süresince özel sektörde çalıştı. 1995 yılında Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Bölümünde Yüksek Lisans hakkını kazandı. Daha sonra bir yıl ders aldı. Halen Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü Elektrik Makinaları Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.