

154180

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RAYLI ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN
TAHRİK SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ**

Elektrik Mühendisi Hasan Hilmi ÇAKMAK

**FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği Programında
Hazırlanan**

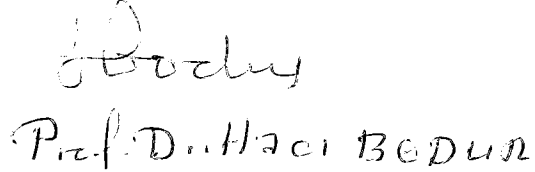
YÜKSEK LİSANS TEZİ



Tez Danışmanı : Doç. Dr. M. Hadi SARUL



Y. Doç. Dr. Tunçay ÖZÜN



Prof. Dr. Hacı BEDÜN

İSTANBUL, 2004

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Amaç	2
2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1 Elektrikli Ulaşım Sistemlerinin Tarihçesi	4
2.1.1 Demiryollarının Ortaya Çıkışı.....	4
2.1.2 Demiryolları ve Diğer Ulaştırma Sistemleri	5
2.1.3 Yeni Demiryolu Çağının Ortaya Çıkışını Hazırlayan Koşullar	6
2.2 Raylı Sistemlerde Kullanılan Tahrik Mekanizması	7
2.3 Şehir İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinin Tanımlanması	7
2.4 Ülkemizdeki Şehir İçi Raylı Ulaşım Sistemleri	8
2.5 İstanbul'daki Raylı Sistemler	11
2.5.1 Tünel (Füniküler)	11
2.5.2 Nostaljik Tramvay(Tünel-Taksim).....	11
2.5.3 Nostaljik Tramvay(Kadıköy-Moda).....	12
2.5.4 Tramvay.....	12
2.5.5 Hafif Metro (LRT).....	12
2.5.6 Metro	13
2.5.7 Banliyö Demiryolu.....	13
2.6 Şehir İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinin Avantajları.....	14
3. HAFİF METRO SİSTEMİNİN İNCELENMESİ	16
3.1 Hafif Metro Sisteminin Tarihi Gelişimi	16
3.2 Cer Sisteminin 750V DC Devresi	16
3.2.1 Pantograf	17
3.2.2 Ana İzolatör Anahtarı	18
3.2.3 Ana Devre Kesici	19
3.2.4 Şarj Devresi	20
3.2.5 Hat Filtresi	22
3.2.6 Parafudr	24
3.3 Cer Sistemi Temel Ekipmanları	24
3.3.1 DC Tahrik Motorunun Armatür Devresinin Kıyıcı Ünitesi	26
3.3.2 DC Motorun Uyarma Alan Çevrim Ünitesi	27

3.3.3	Motor Modül Kontakları ve Motor Kontakları	27
3.3.4	Faz Endüktansı	28
3.3.5	Frenleme Direnci	28
3.4	Cer Sisteminin Kontrol Devresi	29
3.4.1	Bilgisayar Kontrol Ünitesi.....	30
3.4.2	Hata Gösterme Sistemi.....	31
3.4.3	DC Motorların Çalışması	31
3.4.3.1	Serbest Uyarımlı DC Motorların Teorik Olarak İncelenmesi	32
3.4.4	Motor Kıyıcılarının İncelenmesi	34
3.4.5	DC Motorun Armatür Devresini Besleyen Kıyıcıların Kontrol Prensibi	37
3.4.5.1	Aracın İvmelenme Konumunda Kıyıcı Ünitesinin Çalışma Prensibi	38
3.4.5.2	Aracın Frenleme Konumunda DC Kıyıcıların Çalışma Prensibi	42
3.4.5.3	Armatür Kıyıcısının, Akım ve Gerilim Ölçüm Devreleri ve Bobinleri	46
3.4.6	Frenleme Devresi	48
3.4.7	Aşırı Gerilim Kıyıcıları	50
3.4.8	Alan Konvertörler.....	51
3.4.9	Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Doğru Akım Kıyıcısı Kullanılmasıyla Sağlanan Üstünlükler	53
4.	METRO SİSTEMİNİN İNCELENMESİ.....	55
4.1	Genel Tanıtım.....	55
4.2	Tahrik Sistemi	57
4.2.1	Akım/Voltaj Koruması ve Kontrol Elemanları	58
4.2.2	Tahrik Ünitesi Anahtar ve Kontaktörleri.....	59
4.2.3	Devre Kesici Paneli	59
4.2.4	LC Giriş Filtresi.....	59
4.2.5	Armatür Kıyıcı	60
4.2.6	Alan Sargısı Uyarımı Köprüsü	60
4.2.7	GTO'ların Özellikleri.....	61
4.2.8	Tahrik Modundaki Açıklamalar	62
4.2.8.1	Tahrik Durumunda Alan Köprüsünün Çalışması	64
4.2.9	Fren Modunda İşletme.....	67
4.2.9.1	Frenleme Esnasındaki Alan Köprüsünün Durumu.....	67
4.2.9.2	Fren Esnasında Armatür Kıyıcısının Durumu.....	68
5.	TRAMVAY ARACI TAHRİK SİSTEMİ.....	73
5.1	Yüksek Gerilim Sistemi	73
5.1.1	Pantograf	75
5.1.2	Hat Sigorta Kutusu	76
5.1.3	Stinger Besleme Kutusu	77
5.1.4	Yüksek Gerilim Kutusu.....	77
5.2	Tahrik Sisteminin Amacı.....	79
5.3	Tahrik Sisteminin İçeriği.....	81
5.3.1	Hat Filtresi	81
5.3.1.1	Normal İşletmedeki Durum.....	82
5.3.1.2	Anormal İşletmedeki Durum.....	82
5.3.2	Cer Konverteri	82
5.3.2.1	Normal İşletmedeki Durum.....	83
5.3.2.2	Anormal İşletmedeki Durum.....	85

5.3.3	Fren Kısıyıcısı	85
5.3.3.1	Normal İşletmedeki Durum	86
5.3.3.2	Anormal İşletmedeki Durum	87
5.4	Tahrik Sisteminin Dizaynı	87
5.4.1	Hat Filtre Endüktansı	88
5.4.2	Motor Konverter Modülü (MCM)	88
5.4.3	Fren Rezistörü	89
5.5	MCM'in Fonksiyon Tanımı	90
5.5.1	Hat Filtre Kondansatörü	92
5.5.1.1	Elektrolitik Kondansatörler	93
5.5.1.2	Voltaj Bölücüleri	93
5.5.1.3	Deşarj Rezistörü	93
5.5.1.4	Voltaj ve Kondansatör Denetimi için Devre Kartı, DYFD 111A	93
5.5.2	Üç fazlı Dalgalı İnvertör	94
5.5.2.1	IGBT Modülü	95
5.5.2.2	Kapı Sürme Devresi (GDU)	95
5.5.2.3	Faz Komütasyonu	96
5.5.2.4	Modülasyon Modelleri	98
5.5.3	Fren Kısıyıcısı	100
5.5.3.1	IGBT Modülü	101
5.5.3.2	Serbest Döngü Diyotu	101
5.5.3.3	Kapı Kontrol Ünitesi (GDU)	101
5.5.3.4	Aşırı Voltaj Koruması(OVP)	102
5.5.3.5	Aşırı Voltaj Kısıyıcısı (OVC)	102
5.5.3.6	Fren Kısıyıcısının Denetlenmesi	103
5.5.4	Düşük Voltaj Güç kaynağı	103
5.5.5	MCM Bilgisayarı (MCC/I)	104
5.5.5.1	Araç Bilgisayarı ile İletişim	105
5.5.5.2	Güç Kaynağı	105
5.5.5.3	Giriş ve Çıkışlar	106
5.5.5.4	Fiber Optik Giriş ve Çıkışlar	106
5.5.5.5	LED'ler (Light Emitting Diodes)	107
5.5.5.6	Microişlemci, MCU	107
5.5.5.7	Dijital Sinyal İşlemcisi, DSP	108
5.5.5.8	Programlanabilir Donanım, FPGA	108
5.5.5.9	Bellek	109
5.5.5.10	Portatif Test birimi	109
5.5.6	Kontrol ve Denetim	110
5.5.6.1	Tork Kontrolü	110
5.5.6.2	Fren Rezistörü Sıcaklık Denetimi	111
5.5.6.3	RPM-Ölçümleri	112
5.5.6.4	Kayma Kızaklama	112
5.5.6.5	Güç Boşlukları Süresince DC-Hat Voltajının Korunması	112
5.5.6.6	Aşırı Akım Koruması	112
5.5.6.7	EMG'nin Minimize Edilmesi	113
5.5.7	Fanlar	113
5.5.7.1	Dış Fan	113
5.5.7.2	İç Fan	115
5.5.8	Ölçüm Cihazları	115
5.5.8.1	Akım Ölçüm Cihazları	115
5.5.8.2	Sıcaklık Sensörleri	117

5.5.9 İzleme ve Sorun Giderme..... 118

6. SONUÇLAR 119

6.1 Doğru Akım Makinaları ile Asenkron Makinaların Karşılaştırılması..... 120

6.2 MCM Bilgisayarı’na Müdahale Etme 121

6.3 Buton Oluşturarak MCM ‘de IGBT ve GDU Hattının Testi..... 124

KAYNAKLAR..... 128

ÖZGEÇMİŞ..... 129



SİMGE LİSTESİ

B	Sürtünme katsayısı
C	GTO
E	Elektromotor kuvveti
ea	Zıt emk kuveti
FD	Serbest geçiş diyodu
Ia	Armatür Akımı
I _D	Serbest geçiş diyodu akımı
If	Uyarma alan akımı
I _M	Motor akımı
J	Motorun ve yükün toplam atalet momenti
K	Motorun fiziksel özelliklerine göre bir sabit
La	Armatür endüktansı
Lex	Alan sargısı öz indüksiyonu
Lf	Uyarma alan sargısı endüktansı
Li	Motor endüktansı
LLex	Yumuşatıcı bobin
n	Motorun devir sayısı
P	Ortalama güç
Ra	Armatür Direnci
Rex	Alan sargısı direnci
Rf	Uyarma alan sargısı direnci
Ri	Armatür iç direnci
RL	Yumuşatıcı bobin direnci
T _L	Elektriki moment
Tw	Mekanik moment
UD	Serbest geçiş diyotu uçlarındaki gerilim
UF	Giriş filtre voltajı
UL	Hat gerilimi
Va	Armatür Gerilimi
Vf	Uyarma alan gerilimi
ω	Dönme açısal frekansı
α	Tetikleme açısı
Φ	Alan akısı

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternative Current
ACM	Auxiliary Converter Module
BR	Braking Resistor
CC	Charging Contactor
CR	Charging Resistor
DC	Direct Current
DX	Digital Input/Output
FC	Uyarma Alanı Çevirici Ünitesi
FD	Free-Wheeling Diode
GTO	Gate Turn Off Transistor
İETT	İstanbul Elektrik Tünel ve Tramvay
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
LC	Line Capacitor
LD	Line Diode
LFC	Line Fitler Capasitor
LI	Line Inductor
LRT	Light Railway Transportation
LUM	Line Voltage Measurement
M1	Tahrik Motoru 1
MC1, MC2	Modül Kontakları
MCB	Main Circuit Breaker
MCC/I	Motor Converter Control for IGBT
MCH1	MM1'in Armatür Devresini Besleyen Kıyıcı Ünitesi
MCH2	MM2'nin Armatür Devresini Besleyen Kıyıcı Ünitesi
MCM	Motor Converter Module
MM1	Motor Modül 1
MVB	Multifunctional Vehicle Bus
OCH1	Yüksek Gerilim Kıyıcı 1. Ünitesi
OCH2	Yüksek Gerilim Kıyıcı 2. Ünitesi
OPT	Overvoltage Protection Thyristor
OPT	Overvoltage Protection Thyristor
OVC	Over Voltage Control
OVP	Over Voltage Protection
P	Pantograph
PC1, PC2	Motor Kontakları
PWM	Pulse Width Modulation
RFC	Radio Filter Capacitor
RFI	Radio Filter Inductor
VCU	Vehicle Control Unit

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Cer sistemi için 750 V DC devresi.....	17
Şekil 3.2 750 V Devre elemanları	19
Şekil 3.3 Ana devre kesici (ADK).....	19
Şekil 3.4 Şarj devresi.....	21
Şekil 3.5 Şarj süresince akım ve gerilimin değişimi	22
Şekil 3.6 Hat filtresi.....	22
Şekil 3.7 Tahrik motorları, motor kıyıcıları, uyarma alanı doğrultucuları ve yüksek gerilim kıyıcılarından oluşan tahrik sistemi.....	24
Şekil 3.8 Motor geriliminin ivmelendirme ve frenlemedeki hıza bağlı grafiği.....	26
Şekil 3.9 Tahrik donanım devresi.....	29
Şekil 3.10 Serbest uyarmalı motor ve mekanik sistem modeli	33
Şekil 3.11 Rezistif yüklü DC-DC konvertör	35
Şekil 3.12 Endüktif yüklü DC-DC konvertör.....	36
Şekil 3.13 Motor modülünün ivmelenme ve frenleme devresi	38
Şekil 3.14 İvmelenme konumundaki basit kıyıcı devresi.....	38
Şekil 3.15 Güç durumundaki armatür akımı ile hız arasındaki grafik	39
Şekil 3.16 İvmelendirme durumundaki akım yolu.....	40
Şekil 3.17 Frenleme durumundaki akı yolu	40
Şekil 3.18 Kıyıcı çıkış gerilimi, hat gerilimi, motor geriliminin zamanla değişimi.....	41
Şekil 3.19 GTO' dan geçen akımın zamanla değişimi	41
Şekil 3.20 Serbest geçiş diyodundan geçen akımın zamanla değişimi	41
Şekil 3.21 Tahrik motorunun armatür akımının zamanla değişim grafiği	42
Şekil 3. 22 (a),(b),(c),(d) Frenleme süresince DC/DC kıyıcının çalışma düzeni ve akım gerilim grafiği	43
Şekil 3.23 Fren modunda kıyıcı devresi	44
Şekil 3.24 Kıyıcının frenlemede izlediği akım yolu.....	45
Şekil 3.25 GTO Tıkamaya girdiğinde akım yolu	45
Şekil 3.26 Frenlemede armatür akımı ile hız arasındaki grafik	46
Şekil 3.27 DC/DC Konvertör	46
Şekil 3.28 Frenleme esnasında hat kapasitesinin geriliminin yükselmesi üzerine aktif hale getirilen yüksek gerilim kıyıcısı	48
Şekil 3.29 Yüksek, gerilim kıyıcılarının akım ve gerilimleri.....	49
Şekil 3.30 Aşırı gerilim kıyıcısının çalışma prensibi, aktif ve pasif olduğu durumlardaki akım- gerilim grafikleri.....	50
Şekil 3.31 Alan konvertörü	51
Şekil 3.32 Uyarma akımının kontrol grafiği	52
Şekil 3.33 Uyarma akımının kontrol devresi.....	53
Şekil 4.1 Elektrik ve pnömatik enerji dağıtımı.....	56
Şekil 4.2 Tahrik ünitesinin genel devresi	57
Şekil 4.3 Tahrik sırasında armatür kıyıcısının durumu	62
Şekil 4.4 Tahrik durumunda armatür kıyıcısı akım ve gerilimleri	63
Şekil 4.5 Tahrik durumunda alan köprüsünün durumu	65
Şekil 4.6 Tahrik durumunda alan sargı akım ve gerilimleri.....	66
Şekil 4.8 Frenleme sırasında alan köprüsünün durumu	68
Şekil 4.9 Yüksek hızda frenlemede armatür kıyıcısının durumu	69
Şekil 4.10 Düşük hızda frenlemede armatür kıyıcısının durumu.....	70
Şekil 4.11 Çok düşük hızda frenlemedeki karakteristikler.....	72
Şekil 5.1 Tramvay aracı.....	73
Şekil 5.2 Tramvay aracı 750 V DC dağılımı.....	74
Şekil 5.3 Hat sigorta kutusu elemanları.....	76

Şekil 5.4 Yüksek gerilim kutusu ana devresi	78
Şekil 5.5 Elektrikli cer sisteminin bileşenleri.....	80
Şekil 5.6 Sistemin çalışma prensibi.....	81
Şekil 5.7 Cer konverteri.....	83
Şekil 5.8 Normal işletme sırasında cer konverteri	83
Şekil 5.9 PWM modülasyon modeli.....	84
Şekil 5.10 Cer kuvvetinde bir kısıtlama ile sonuçlanan sıcaklık limitleri.....	85
Şekil 5.11 Fren kıyıcısı ve fren rezistörü	86
Şekil 5.12 Fren kıyıcısının arka plan çalışma prensibi.....	86
Şekil 5.13 Tahrik sistemi ekipmanları.....	87
Şekil 5.14 Hat endüktansı.....	88
Şekil 5.15 Motor konverter modülünün yandan ve üstten görünüşü	89
Şekil 5.16 Fren rezistörünün mekanik dizaynı.....	90
Şekil 5.17 Motor konverter modülünün elektriksel dizaynı.....	92
Şekil 5.18 Hat filtre kondansatörü ve ilgili donanımı	93
Şekil 5.19 İnvertör faz kolonları.....	95
Şekil 5.20 Komütasyondan önce U fazındaki akım (Pozitif faz akımı).....	96
Şekil 5.21 Komütasyondan sonra U fazındaki akım (Pozitif faz akımı).....	97
Şekil 5.22 U ve V Fazlarının çıkış voltajındaki kare dalgalar.....	97
Şekil 5.23 Motor voltajına karşı stator frekansı değişimi	100
Şekil 5.24 Fren elektrik kıyıcısı faz kolonları	101
Şekil 5.25 Düşük voltaj güç kaynağı.....	103
Şekil 5.26 MCM bilgisayarının giriş ve çıkışları	105
Şekil 5.27 MCU fonksiyonları	108
Şekil 5.28 DSP Fonksiyonları	108
Şekil 5.29 FPGA fonksiyonları	109
Şekil 5.30 MCM bilgisayarındaki tork kontrol şeması	111
Şekil 5.31 Dış fan hızının ayarlanması soğutucu modülü sıcaklığına ve araç hızına bağlıdır.....	114
Şekil 5.32 Dış fan kontrol şeması.....	114
Şekil 5.33 İç fan kontrol şeması	115
Şekil 5.34 Hat akımı için akım ölçüm cihazları	115
Şekil 5.35 Faz akımları için akım ölçüm cihazları	116
Şekil 5.36 Yüksek ısı alıcısı sıcaklıklarında tork düşüşü	117
Şekil 5.37 Yüksek iç hava sıcaklıklarında tork düşüşü	117
Şekil 6.1 DCUTerm programının açılış penceresi	124
Şekil 6.2 Yük testi sırasında akım yolu.....	125
Şekil 6.3 Yük testinde kullanılan komut içerikleri.....	127
Şekil 6.4 Yapılan yük testi sonucunun DCUTerm ekranındaki görünümü.....	127

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 Tramvay aracının katenerden ve stingerden beslendiğinde enerjili üniteleri.....	75
Çizelge 5.2 Üç faz dalgalı inverterdeki GDU ledlerinin fonksiyonları.....	96
Çizelge 5.3 Fren Kısıyıcısı GDU'larındaki ledlerin fonksiyonları.....	102
Çizelge 5.4 MCM bilgisayar giriş ve çıkışları	106
Çizelge 5.5 MCM bilgisayarındaki fiber optik kabloların fonksiyonları.....	107
Çizelge 5.6 MCM bilgisayarındaki ledlerin durumu.....	107
Çizelge 6.1 LRT, metro ve tramvay araçlarının karşılaştırılması	119



ÖZET

Elektrikle ulaşım sistemlerinde kullanılan tahrik sistemlerinin incelendiği bu çalışmada; İstanbul'daki Hafif Metro, Metro ve Tramvay araçlarının tahrik sistemleri incelenmiş ve tez sonunda araçların tahrik sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Ulaşım araçları toplumlar için vazgeçilmez olup tüm ekonomik, sosyal, kültürel aktivitelerinin bir noktada ulaştırmaya bağlı olduğu bilinmektedir. Kırsaldan kentlere göç nedeniyle nüfus artması özellikle büyükşehirlerde kent içi ulaşımı önemli bir sorun haline getirmiştir. Özellikle Türkiye açısından şehir içi raylı sistemler, büyük şehirler için yeni ve alternatif ulaşım sistemleri olarak ortaya çıkmaktadır.

Raylı sistemlere rağbetin arttığı günümüzde, hatta kullanılan aracın performansı da önem kazanmaktadır. Önceleri, kontrolündeki kolaylıktan dolayı elektrikli ulaşım sistemlerinde DC motor kullanılırken, günümüzde güç elektroniği alanındaki gelişmeler neticesinde, asenkron motorlar elektrikli ulaşım sistemleri için ideal motor tipi olarak karşımıza çıkmaktadır. İstanbul'da kullanılan raylı sistem araçlarından; yatırımı on yıl öncesine dayanan hafif metro ve metro araçlarında serbest uyarımlı DC motor kullanılmasına karşın, 2004 Haziran'da hizmete giren tramvay araçlarında asenkron motorlu tahrik bulunmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasının ilk bölümünde, raylı sistemlerin önemi vurgulanmış, ikinci bölümde ise raylı sistemlerin tarihçesi, İstanbul'daki raylı sistemler ve raylı sistemlerin avantajları vurgulanmıştır. Üçüncü bölümde hafif metronun tahrik sistemi, dördüncü bölümde metro aracının tahrik sistemi, beşinci bölümde ise tramvay aracının tahrik sistemi anlatılmıştır. Altıncı bölümde bu üç aracın tahrik sistemlerinin karşılaştırılması yapılarak elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan asenkron makinaların, serbest uyarımlı DC motorlara göre üstünlükleri anlatılmıştır. Aynı bölümde, asenkron motorun kullanıldığı ve bilgisayar sistemi olarak da diğer araçlardan farklı olan tramvay aracının cer sisteminde yapılan yük testi çalışması anlatılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Raylı sistemler, tahrik sistemleri, serbest uyarımlı DC motorlar, asenkron motorlar

ABSTRACT

In this thesis, traction equipments of the light railway vehicle-metro and tram vehicles are explained and compared clearly.

It is known that transportation vehicles are crucial for the community and all the economical, cultural activities are dependent mostly on transportation. Increased population due to the immigration from the rural areas to cities caused the public transportation become a big problem for the metropolitans. Especially for Turkey, intercity rail systems have become an alternative transportation system.

Also, the propulsion systems for vehicles are important. In the past, DC motors were used extensively in areas where variable speed operation was required, since their flux and torque could be controlled easily by the field and armature current. However DC motors have certain disadvantages, which are due to the existence of the commutator and the brushes. That is, they require periodic maintenance; they can not be used in explosive environments and they have limited commutator capability under high speed. These problems can be overcome by the application of alternating current motors, which can have simple and rugged structure, high maintainability and economy. Vehicles which have propulsion system of AC motors are used in tram firstly in Istanbul.

In this thesis, importance of the railway system is explained in first chapter. Second chapter is about history of the railway technology and railway systems in Istanbul. Propulsion system of the light rail vehicles, metro and tram are explained at third, fourth and fifth chapters sequentially. At last chapter, propulsion systems are compared and explained making load test on AC motor.

Keywords: Railway systems, propulsion systems, DC motors, AC motors

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1.1 Giriş

Ulaşım denince, kara, deniz veya hava yoluyla, yük veya insanların bir yerden başka bir yere götürülmesi anlaşılmaktadır. Ulaşım sistemleri;

- 1) Karayolu
- 2) Denizyolu
- 3) Havayolu

ile olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Karayolu ile ulaşım da 2 grupta toplanabilir.

1) Elektrikli ulaşım sistemleri

Genellikle bu ulaşım sisteminde enerji kaynakları taşıtın kendinde bulunmaz, yani enerji dışarıdan alınır.

2) Elektrikli olmayan ulaşım sistemleri

Bu ulaşım sisteminde enerji kaynakları taşıtın içerisinde bulunur ve genellikle enerji kaynağı petrol türünüridir.

Günümüzde elektrikli ulaşım sistemlerinin yaygın kullanımı, karayolu ulaşımı, hatta daha dar bir çerçeve içine alınırsa demiryolu taşımacılığıdır. Yaygın olarak demiryollarının kullanılıyor olmasının nedenlerinden birisi, henüz çözümlenemeyen enerji kaynağı sorunudur. Demiryolu taşımacılığında enerji iletimi, raylar ve kablolar yardımı ile olabildiği için enerji kaynağını beraberinde taşıma zorunluluğu yoktur. Aynı şekilde, çalıştığı güzergahlar belli olan trolleybüs, tramvay ve metrolarda da elektrik kullanılır ve verimi oldukça yüksektir.

Raylı sistem taşımacılığının diğer bir avantajı ise, raylı taşımacılığın çevre dostu olmasıdır. Günümüzde hızlı nüfus artışı ve kırsal kesimlerden şehir merkezlerine doğru oluşan göçlerin sonucunda, yoğun nüfusa sahip büyük şehirlerde, şehir içi ulaşım önemli bir sorun haline gelmiş bulunmaktadır. Çarpık ve plansız şehirleşme sonucu gelişmekte olan ülkelerdeki cadde ve sokaklar dar gelmekte, yeni açılan yollar yetersiz kalmakta, bunun sonucu olarak trafik yoğunluğu hayatı etkilemektedir. Özellikle düşük kapasiteli ulaşım araçları ve özel araçlarla yapılan ulaşım sonucunda cadde ve sokaklar taşıtlarla dolmakta, trafik sıkışmakta, hava kirliliği insan hayatını olumsuz yönde etkilemekte, enerji ve zaman

açısından büyük kayıplar ortaya çıkmaktadır. Bütün bu olumsuzluklar dikkate alındığında yoğun nüfusa sahip şehirlerde şehir içi ulaşımında özel taşıma yerine toplu taşımanın zorunlu olduğu açık bir gerçektir. Hangi tür toplu taşımanın yapılacağı ulaşım etütü yapılarak tespit edilmektedir. Ulaşım etütü yapılırken; o şehrin yapısı, fiziksel durumu, mevcut trafik ve yol durumu, gelecek 20-30 yıl içerisindeki potansiyel gelişmeler vb. parametreler dikkate alınmaktadır. Bu ulaşım etüdünün değerlendirilmesinde ülkenin ve o şehrin sosyo-ekonomik yapısının da önemli bir kriter olarak ortaya çıktığı gözlenmektedir. Çağdaş dünya, ulaştırma alanında ve özellikle şehir içi ulaşım konusunda çevre dostu ulaşım sistemi kavramını geliştirmiştir. Çevre dostu ulaşım sistemi; havayı, suyu, toprağı kirletmeyen, titreşimi ve gürültüsüyle insanları rahatsız etmeyen bir sistem, yani raylı sistemin ağırlık kazandığı bir sistemdir. Genelde, şehir içi gelişiminin belirli bir aşamasından sonra ana eksenlerdeki ulaşım talebinin ancak raylı sistemlerle gerekli şekilde ve ekonomik biçimde karşılanması mümkün olabilmektedir. Yapılan çalışmalar, bu yargının gelişmekte olan ülkeler açısından daha büyük oranda geçerlilik taşıdığını göstermektedir. Gerçekten de bugün dünyada tramvaydan metroya kadar çeşitli raylı sistemler pek çok şehrin ulaştırma sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Çağımızda, çevre kirliliği ve petrole bağımlı yakıtların tükenmekte olması, yarının taşıt araçları için farklı ve yeni çözümler aranmasını gerektirmektedir. Elektrik enerjisinin sürekli elde edilebilir bir enerji şekli olması, demiryolu ve toplu taşımacılıkta kullanılan en uygun ve sağlıklı enerji şekli olması, binek araçları için de uygun çözüm olabileceğini göstermektedir. Üretildiği yerden tüketileceği yere iletiminin ve kontrolünün kolay oluşu ve verimliliği en büyük etmenlerden sayılabilir. Toplu taşımacılıkta sorunlar çözümlenmiş olmasına karşılık, binek otolarda araçların gideceği güzergahların belli olmaması bazı sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu türlü araçların enerji, kaynak ve depolarını beraberlerinde taşıma zorunlulukları, günümüz için çözümlenmesi gereken en büyük sorundur. Henüz tam olarak çözülemeyen bu sorun için çeşitli yollar ve yöntemler denenmektedir. Önümüzdeki yüzyıl için, kullanılabilir duruma gelmesi söz konusu olabilecek kaynaklar olarak, güneş pilleri, atom pilleri ve daha yakın bir gelecek için söz konusu olabilecek yakıt pilleri geliştirilmektedir.

1.2 Amaç

Günümüzün önemli sorunlarından birisi de ulaşım sorunudur. Her geçen gün biraz daha artan bu soruna karşı çeşitli çözüm yöntemlerinin araştırılması yollarına gidilmektedir. Ulaşım sorunlarını çözmenin birinci yolu da elektrikli ulaşım sistemlerinden azami derecede

yararlanmaktadır. Bu amaçla raylı elektrikli ulaşım sistemleri (tramvay, hafif metro, metro, banliyö vb.) ile elektrikli otomobiller gerekli hassasiyetleri içerisinde incelenmeli, bölgelere göre uygun özellik gösteren araçlar kullanılmalıdır.

Bu tezde ülkemizdeki günümüz ulaşım sorunlarına büyük çözümler getiren raylı sistemlerin tahrik mekanizmaları, özellikle İstanbul'da bir ilk olan AC Motor ile tahrik sistemi incelenmiştir. Bu amaçla hafif metro, metro ve tramvayların yapısı, tahrik sistemleri ve besleme düzenlerinin araştırılması hedeflenmiştir.

Hafif metro, metro ve tramvay araçlarında kullanılan tahrik sistemleri, besleme düzenleri, yardımcı güç sistemleri karşılaştırılarak verimli ve etkili bir ulaşımın elde edilebilmesi için uygun niteliklere sahip olup olmadıkları incelenmiş, tramvay aracının tahrik sisteminde yük testi uygulaması yapılmıştır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1 Elektrikli Ulaşım Sistemlerinin Tarihçesi

Kesin sınırları olmamakla birlikte; ulaştırma standartlarının gelişmesi beş döneme ayrılabilir. Birinci dönem, hareketliliğinin çok düşük, yolların yok denecek kadar az, kısaca, ulaştırma olanaklarının çok zayıf olduğu dönemdir. Bu dönemin ulaştırma araçları; nehirler, yük hayvanları ve kağnılardır. Hareketliliğin biraz daha arttığı ve ulaştırma standartlarının biraz daha geliştiği ikinci dönemde, paralı yollar ve kanallar vardır. Üçüncü dönem, ulaştırmanın makineleştiği dönemdir. Buhar gücünün denizyolları ve demiryollarında kullanılması bu dönemde olmuştur. "Demiryolu çağı" da yine bu dönemde ortaya çıkmıştır. Dördüncü dönem, başta otomobil olmak üzere otobüs, kamyon v.b. kara taşıtlarının çığ gibi büyüdüğü "otomobil çağı" dır. Her türlü hava durumunda kullanılabilen yolların çoğalması da bu dönemde gerçekleştirilmiştir. Beşinci dönem ulaştırmayla ilgili hemen hemen bütün sorunların çözüldüğü ve halen yaşamakta olduğumuz "hava çağı" dır . Ancak, her ne kadar hava çağı üstünlüğünü sürdürmeye devam etmekte ise de, son yıllarda meydana gelen ilginç teknik gelişmeler sonucunda demiryolları adeta yeniden keşfedilerek ilk defa ortaya çıktığı dönemlerdekine benzer bir biçimde tekrar ilgi odağı haline gelmeye başlamış ve "yeni demiryolu çağı" ndan söz edilir olmuştur. Bu arada Avrupa Birliği'ndeki ortak ulaştırma politikalarına yönelik çalışmaların önemli bir bölümü, hatta ana konusu birlik ülkelerinde yer alan demiryollarının iyileştirilmesi ve yüksek hızlı tren hatlarının süratle çoğaltılmalarıdır.

2.1.1 Demiryollarının Ortaya Çıkışı

Demiryollarının yeni bir ulaştırma sistemi olarak dünyada ilk defa kullanılmaya başlaması ve bir döneme adını vererek "demiryolu çağı" olarak anılmasına yol açacak kadar önem kazanması, Batı'daki ekonomik gelişme sürecinin belli bir döneminde gerçekleşen bir olaydır. Bu dönem, sanayileşme sürecinde imal aşamasından fabrika aşamasına geçildiği, pazar için kitlesel üretimin yaygınlaşmaya başladığı, bir başka deyişle, sanayi devriminin ivme kazanarak mal ve insan dolaşımının genişlediği ve bu nedenle de kitlesel ulaştırma biçimlerine gereksinim duyulduğu bir dönemdir. Sanayi devriminin ivme kazandığı yıllarda yeni bir ulaştırma biçimi olarak ortaya çıkan demiryolları, bir yandan yarattığı pazarla demir-çelik sanayinin gelişimine ciddi katkılarda bulunurken, diğer yandan da özellikle kömür, demir ve çelik gibi ağır ve hacimli malların taşımacılığının daha ucuz, daha hızlı ve daha düzenli bir şekilde gerçekleşmesini sağlamıştır. Ayrıca, üretim ve dolaşımın ulusal pazarlar

dışına taşıp uluslar arası bir boyut alması ile birlikte kendisi de yeni bir eksen, uluslararası düzeyde de gerçekleşmiştir. Bu şekilde demiryolları, ulaştırma hizmetlerinde verimliliğin artmasına yol açarken, taşımacılık maliyetlerinin de ondokuzuncu yüzyılın ilk yarısının sonunda, örneğin, İngiltere'de % 50 ve Fransa'da % 60 düzeyinde düşmesini sağlamıştır. Almanya'da da Ruhr bölgesindeki kömürün 1820'lerde ton başına 40 fenik olan ulaştırma maliyetleri demiryollarıyla birlikte 1840'da ton başına 14 fenike, 1850'de ise ton başına 2 fenike düşmüştür.

2.1.2 Demiryolları ve Diğer Ulaştırma Sistemleri

Ondokuzuncu yüzyılın sonlarında ve yirminci yüzyılın başlarında içten yanmalı motorların keşfedilmesi ve kullanıma sokulmasıyla birlikte ulaştırmada yeni bir döneme girilmiştir: Otomobil çağı. 1900'lerin başında Henry Ford'un seri üretim yöntemini uygulamaya koyarak bu alanda yeni bir çığır başlatması, ucuz, seri ve bakımı kolay T modeli otomobilleri piyasaya sürmesi, izleyen yıllarda ağırlığı artacak karayolu taşımacılığının da ilk adımlarını oluşturmuştur. Karayollarının gittikçe mükemmelleşmesi ve buna paralel olarak da motorlu araçların gelişmesi, demiryolları ile karayolları arasında büyük bir rekabetin başlamasına yol açmıştır. Gerçekten, hemen hemen Birinci Dünya Savaşı'na kadar gerek yük gerekse yolcu taşımada karadaki ulaşımada adeta rakipsiz olan demiryollarına savaştan sonra önce otobüs servisleri, daha sonra da kamyon ve Özel otoların çoğalması ile güçlü bir rakip ortaya çıkmıştır. Bu rakip demiryollarının yer yer üstün geldiği kara içi su yollarından çok daha başka bir şeydi. Bugün özellikle yolcu taşımada karayolları kesin bir şekilde öne geçmiştir.

Kuşkusuz, bunda mükemmel yolların gittikçe ülkeleri birbirine bağlayacak bir şekilde yapımı yanında, çeşitli motorlu araçların ve özellikle özel otoların çoğalmış olması başlıca rolü oynamıştır. Bilhassa II. Dünya Savaşı'ndan sonra motorlu taşıt üretiminin çarpıcı bir hızla artarak 35 yıllık bir sürede dünya üretiminin 10 katına çıkması çoğu ülkeyi karayollaşma sürecine itmiş; kentsel yolcu taşımacılığında bireysel hareketliliğin sembolü olan otomobil ön plana çıkarken, kentler arası taşımacılıkta karayolu, demiryolu ve havayolu arasında ciddi rekabet koşulları oluşmuştur. Böylece, yolcu ve yük taşımacılığında her ulaşım türünün öncelikli ve ekonomik olduğu bir talep dönemi ortaya çıkmıştır. Örneğin, kısa mesafeli yük taşımacılığında karayolları tercih edilirken, uzun mesafeli bilhassa kitlesele yük taşımacılığında demiryolları seçilmiştir. Belirli bir mesafeden uzun yolcu taşımacılığında zaman faktörü önem kazandığında ise havayolları tercih edilir olmuştur.

2.1.3 Yeni Demiryolu Çağının Ortaya Çıkışını Hazırlayan Koşullar

1970'lerde başlayan petrol krizi ve 1973-74' de yaşanan petrol ambargosu, değişecek olan ulaştırma dengelerinin ilk habercisi olmuş, insanlara, "eski dost tren" e tekrar dönülmesi fikrini vermiştir. Bundan öte, günümüz ulaştırma politikalarını önemli ölçüde etkileyen pek çok yeni unsur vardır. Örneğin, enformasyon ve ileri malzeme teknolojilerinde meydana gelen çarpıcı gelişmeler, ulaştırma sistemlerinin yapılarında ciddi değişiklikler yapabilme olanaklarını getirmiş; bu olanaklar, demiryolu taşımacılığına, düne göre, teknik açıdan, çok daha hızlı, rahat ve güvenli ulaşım sağlayabilme yetkinliğini kazandırmıştır. Böylece, hızlı trenleri kentler arası ulaşımında tercih edilir kılan, yeni teknolojilerin ürünü olan hız ve sağlanan hizmetlerin görece ucuzluğu olmuştur.

Diğer taraftan, doğal çevrenin korunması yönünde artan toplumsal duyarlılık, doğal kaynakların sürdürülebilirliği ve sürdürülebilir hareketlilik arayışları gibi pek çok yeni faktör, ulaştırma politikalarını da etkiler hale gelmiştir. Karayollarında meydana gelen araç trafiğindeki tıkanmalar ve trafik kazaları ile motorlu araçların yarattığı hava kirliliği ve gürültünün giderek artan toplumsal maliyeti, günümüzdeki ulaştırma sistemlerinin, özellikle de karayolu taşımacılığının yeniden sorgulanmasını gerektirmiştir. Günümüz koşullarında demiryollarının sağladığı güvenli ve ekonomik yolcu taşıma kapasitesi başka hiçbir sistemde yoktur. Yüksek hızlı tren uygulamalarının olduğu Japonya ve Almanya'da yolcu-km başına maliyetlerinin, diğer ulaşım sistemlerine göre daha avantajlı olduğu saptanmıştır. Örneğin, 1995'de yayımlanan bir çalışmaya göre Japon yüksek hızlı treni Şinkansen'de birim yolcu-km başına maliyetler 1 iken, otomobilde 6.2, otobüste 1.4, uçakta 9.9 bulunmuştur. Benzer şekilde, Alman yüksek hızlı treni ICE'de km. başına yolcu taşıma maliyeti 1 iken, otomobilde 6.1, otobüste 1.3 ve uçakta 19.6 olarak saptanmıştır.

Raylı sistemlerin tekrar ortaya çıkışının ve gittikçe yaygınlık kazanmasının nedenlerini kısaca şöyle özetlemek olanaklıdır: Bunlardan birincisi, taşımacılık sektöründe karayolları ve havayollarında çok yüklü bir trafiğin oluşması ve mevcut koridorların bu yoğun trafik yükünü kaldıramaz duruma gelmesi; ikincisi, daha az zamanda daha çok yolcu ve yükü daha ucuz ve güvenli taşıyabilmesi; üçüncüsü, çevrecilik alanındaki duyarlılığın gittikçe artması: dördüncüsü, hızlı tren taşımacılığında meydana gelen baş döndürücü teknolojik gelişmeler ve beşincisi, demiryolu işletmeciliğinde ortaya çıkan reformlar. Özellikle çevrecilik bilincinin artması ve enerjinin daha verimli kullanılmasına duyulan ihtiyaç, demiryollarının değerini arttırmıştır. Teknolojide meydana gelen gelişmeler de değeri artan demiryollarının tekrar gerek yük gerekse yolcu taşımacılığında önemli bir ulaştırma sistemi olarak eski itibarına kavuşmasına olanak sağlamıştır.

2.2 Raylı Sistemlerde Kullanılan Tahrik Mekanizması

Seyir iletken gerilimi, doğru gerilim olan yakın mesafe raylı ulaşım sistemlerinde; önceleri, tahrik motoru olarak Doğru Akım Seri Motoru kullanılarak, taşıtın yol alması ve frenlemesi dirençlerle ve bağlama değişiklikleri ile gerçekleştirilirken, bugünün güç elektroniğinin sağladığı olanaklar, tahrik motorunun sadece doğru akım seri motoru değil, Üç Fazlı Sincap Kafesli Asenkron Motoru'da olabileceğini ortaya koymuştur. Doğru akım seri motoru kullanılması durumunda; motorun yol alması, devir sayısının ayarlanması ve frenlemesi doğru akım kıyıcı(chopper) devreleriyle yapılmaktadır. Üç fazlı sincap kafesli asenkron motor kullanılmasında ise bu işlemler; bir doğru akım kıyıcısı(chopper)'ndan geçerek, doğru akımı alternatif akıma çeviren bir dönüştürücü(invertör) kullanmak, veya doğrudan doğruya doğru akımı alternatif akıma çeviren bir dönüştürücüden yararlanmak şekliyle, motora uygulanan gerilimin şiddetini ve frekansını değiştirerek gerçekleştirilir.

Asenkron motorlarının en büyük yararı, kollektörsüz oluşu, dolayısıyla da az bakım gerektirmeleridir. Ayrıca komutasyon sorununun olmaması devir sayılarının yükseltilmesine de olanak sağlamaktadır. Doğru akımın eskiye oranla daha kolay üretilmesi, motorların hız kontrollerinin daha hassas sınırlar içinde kolayca ayarlanması, GTO (Gate Turn-off Thyristor), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) lerin kıyıcı ve hız devrelerinde kullanılmaya başlanması bu motorların önemini arttırmıştır. Güç elektroniğindeki gelişmelerden sonra kontrol sorunu da çözümlenen asenkron motorların, istenen pek çok özelliği üzerinde taşıyan ideal bir motor haline gelmek üzeredir

2.3 Şehir İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinin Tanımlanması

Raylı ulaşım sistemleri en geniş anlamıyla; rayların döşendiği sabit bir yola bağımlı olarak hareket eden, yük ve yolcu taşıyan tek yada birleşik araçlardan oluşan dizilerle, bunların yardımcı tesislerinden oluşan sistemler olarak tanımlanabilirler. Şehir içi raylı ulaşım türlerinin adlandırılmasında bir kavram karmaşası sürmektedir. Bir şehir içi raylı ulaşımına kimileri hafif metro, kimileri tramvay veya hızlı tramvay, kimileride metro diyebilmektedir. Uzman olmayanlar metro için, hattın tamamen yer altında olmasını tek koşul saymakta, metro dışındaki raylı sistemleri anlamak ve adlandırmakta güçlük çekmektedirler. Ancak günümüzde uzmanlar bile bu tartışmayı sürdürmektedirler. Ülkemizde ise bu tartışmalar, raylı toplu ulaşım türlerinin olabildiğince açık tanımlanmasını gerektirecek niteliktedir. Şehir içi raylı ulaşım türlerini birbirinden ayıran; taşıt niteliği, hız sınırlama oranı, en büyük sıklık yani bir dizinin öndekini izleyebilmesi için gerekli en az süreye bağlı olarak bir saatte bir yönde geçirilebilecek dizi sayısı ve kapasite gibi karakteristikler söz konusudur. Ancak

bunlar arasında belirleyici olan kapasitedir. Bir saatte bir yönde taşınabilecek yolcu sayısı olarak tanımlanan kapasite, bir taşıtın taşıyabileceği, oturan ve ayakta taşınabilecek yolcu sayısı toplamının, taşıt hızının, hızlanma ve frenleme ivmelerinin, hattın diğer karayolu trafiğinden korunma oranının, ticari hızın, bir dizideki taşıt sayısının ve dizi / saat olarak sıklığın fonksiyonudur. Görüldüğü gibi kapasite kavramı şehir içi ulaşım türlerini birbirinden ayıran faktörlerin sentezi niteliğindedir. Bu nedenle şehir içi raylı ulacın türlerinin sınıflandırılması için kapasite en tutarlı ölçüttür. Kapasite ölçütüne göre yapılacak bir sınıflandırmada; bir yönde bir saatte;

- 50.000 ve daha fazla yolcu taşıyan raylı ulaşım türü bölgesel tren,
- 25.000 ile 50.000 yolcu taşıyan raylı ulaşım türü metro,
- 15.000 ile 25.000 yolcu taşıyan raylı ulaşım türü hafif raylı sistem,
- 10.000 ile 15.000 yolcu taşıyan raylı ulaşım türü tramvay olarak adlandırılabilir.

2.4 Ülkemizdeki Şehir İçi Raylı Ulaşım Sistemleri

Osmanlı İmparatorluğu zamanında, şehir içi kara toplu ulaşım tesisi ile ilgili olarak 30 Ağustos 1869 tarihinde gerçekleştirilen ilk mukavele ile, İstanbul içinde insan ve eşya nakli için demiryolu inşası ile demiryolu üzerinde hayvan çekerli araba işletilmesi hakkı 40 yıl süre ile “DERSAADET TRAMVAY ŞİRKETİ”ne verilmiştir. Şirket ilk olarak iş ve ikamet hacminin en yoğun olduğu bölgelerde atlı tramvayın çalışacağı 4 hattın açılmasına karar vermiştir.

- 1.Azapkapı-Galata-Beşiktaş-Ortaköy hattı
- 2.Eminönü-Divanyolu-Beyazıt-Aksaray hattı
- 3.Aksaray-Samatya-Yedikule hattı
- 4.Aksaray-Topkapı hattı

1870 yılının ilk aylarında başlanan çalışmalar,1872 temmuz'unda tamamlanarak ilk tramvay hattı olan Azapkapı-Beşiktaş tramvay hattı hizmete girmiştir.

Daha sonra, Aralık 1872 tarihinde işletmeye açılan 2.büyük hat Eminönü-Aksaray hattı, 1873 yılında hizmete açılan Aksaray -Yedikule hattı ve1874 yılında hizmete giren Aksaray-Topkapı hattı takip etmiştir.

Bu arada 1860'lı yıllarda Galata bölgesinde, ticari faaliyetlerin giderek artması nedeniyle, Karaköy'den Pera'ya çıkış amacıyla bir "iner-çıkır" asansör yapma fikri doğmuştur. Karaköy'den Pera'ya yegane çıkış yolu olarak kullanılan Yüksek Kaldırım günde 40.000 kişinin muhatap olduğu bir yoldu. Bu sebeple çalışmalar hemen başlatıldı. 30 Haziran 1871

tarihinde başlayan tünel ve kazı çalışmaları 3,5 yıl içinde tamamlandı.

Dünyanın en eski 3. yeraltı metrosu olan ve Galata-Beyoğlu arasında halen hizmet veren TÜNEL’de 5 Aralık 1874 tarihinde hizmete girmiştir. Arabalarla birlikte toplam 350.000 sterlin’e mal olan tünel’de, önceleri sadece eşya ve hayvanlar taşınmış, 17 Ocak 1875 tarihinden itibaren yolcu taşınmasına başlamıştır.

Atlı tramvay’ın ilk işlemeye başladığı yıllarda, İştambul halkına toplu taşıma hizmeti verdiği atlı tramvay sayısı, 14 adedi yazlık trt olmak üzere toplam 45 adetti. Ayrıca o dönem hizmet veren iki katlı tramvaylar da mevcuttu.

1881 mukavelesi beraberinde bazı gerçekleri de ortaya çıkartıyordu. İştambul yarımadasının içinde yaşayan halka sunulan hizmetler farklılık gösteriyor, ağdaşlaşma çabalarında Galata yakasına yine öncelik tanınıyordu. Yani tramvay hatlarının dağılımında nüfus yoğunluğu dikkate alınmıyor, kentin seçkin nüfusuna hizmet götürme eylemi dikkat çekiyordu.

Sözleşme sonrasında 3 yeni güzergah daha yapılmasına karar veriliyordu.

1-Galata-şişli hattı: 5.200 metre uzunluğundaki bu hat 1883 yılında hizmete girdi.

2-Galata-Tatavla hattı: 1885 yılında işletmeye açıldı.

3-Eminnt-Eyüp hattı: O dönem için çok büyük bir istimlak bedeli gerektirdiğinden proje gerçekleştirilemedi.

1912 yılında başlayan Balkan harbi ile Harbiye nezareti, elindeki at ihtiyaının kafi gelmemesi zerine İştambul’da hizmet veren tramvayların tüm atlarını satın almıştır. Böylece İştambul yaklaşık 1 yıl tramvay’sız kalmıştır. Bu bir bakıma faydalı olmuş, Avrupa’da çoktan çalışmaya başlamış olan elektrikli tramvayın İştambul için de kaçınılmaz olduğu fikri iyice yaygınlaşmıştı.

1911 yılında Tramvay vagonlarının elektrikle çalıştırılması ile ilgili sözleşmenin Dersaadet Tramvay şirketi ile Osmanlı Devleti arasında imzalanması ile İştambul’da Elektrikli Tramvay devri başladı. şubat 1914 ’de inşaatı tamamlanan santral binası, bu tarihten itibaren tramvaylara ve tüm tesisatlara elektrik vermeye başlamıştır. 1928 yılında ise şkdar-Kısıklı hattı ile Anadolu yakasında başlamıştır.

1936 yılında İştambul caddelerinde şık görünümlü yeni tramvaylar görülmeye başlanıyordu, Genelde şişli-Tünel, şişli-Beyazıt ve Harbiye-Fatih hatlarında çalışmaya başlayan bu tramvayların havalı kapıları tramvaylar duraklara gelip durduğunda açılıp kapanıyordu.

Şehirlerin büyüme ve ihtiyaçları doğrultusunda yeni tramvay hatlarının yapılması sürdürülmüş, 1950'li yıllarda İstanbul içerisindeki Tramvay hattı uzunluğu 130 km'ye ulaşmıştır.

1956 sonbaharında İstanbul'da imar çalışmaları başlamış, yeni caddeler, bulvarlar, meydanlar oluşturmak için İstanbul adeta bir şantiye haline getirilmiştir. Sayısı gün geçtikçe artan otomobiller dolmuş sistemiyle çalışmaya başlamış, yeni ve geniş yollar ulaşımı kolaylaştırmış, bütün bunlar da tramvayların gözden düşmesine yol açmıştır. Bütün bunları göz önüne alan zamanın yöneticileri, daha modern bir nakil vasıtası olan trolleybüsleri sefere koymayı kararlaştırmışlardır.

İlk olarak, Rumeli yakasında Tünel-Maçka hattı, Avrupa yakasında ise Topkapı ve Yedikule tarafında tramvay seferlerinin Beyazıt'a kadar iptal edilmiştir. 1961 yılına gelindiğinde ise, Avrupa yakasında hiçbir tramvay hattı kalmamıştır.

3 Ekim 1966 tarihinden itibaren Kadıköy yakasından da tramvaylar kaldırılmaya başlanmış ve aynı yıl içinde Kadıköy yakasındaki tüm hatlar kaldırılmıştır.

1939 yılında tramvay ve elektrik idareleri birleştirilerek İstanbul Elektrik Tünel Tramvay İdaresi (İETT) olarak Belediye'ye devredilmiştir.

1945 yılında demiryollarındaki şirketler Türkiye Devlet Demiryolları (TCDD) olarak devletleştirilmiş, banliyö hatlarındaki biletlerin ucuzlatılması ile yolcu sayısı iki kat artarak günde 49.000'e ulaşmıştır. Bu tarihte İETT otobüsleri ile taşınan yolcu sayısı günde ortalama 11.500 olmuştur.

Özellikle otomotiv sanayinin kurulması ile 1970'li yıllarda hızlanan otomobil sahipliği yanında 1959 yılında devreye giren minibüs taşımacılığının hızla yaygınlaşması, bu arada özel otobüs taşımacılığının disipline edilmesi ve ruhsatlandırılması, kamu otobüs taşımasını üstlenmiş olan İETT'nin güçlenmesi, buna karşılık daha önce belirtildiği üzere tramvay hatlarının sökülüp bu taşıma türünün devreden çıkarılması ile 1960'lı yıllardan itibaren kentte karayolu ağırlıklı taşıma dönemi başlamıştır.

Sirkeci - Halkalı banliyö hattının 1956 yılında, Haydarpaşa - Pendik hattının da 1969 yılında elektrifikasyonu ile bu iki banliyö hattında önemli kapasite artışları sağlansa da raylı taşımanın payı yine de geri planda kalmıştır. Bu dönemlerde ve daha sonra deniz taşımasında da önemli sayılabilecek gelişmeler olamamış, bu arada Haliç'teki 16 iskele sayısı 1967 yılına gelindiğinde 6'ya düşmüştür.

İstanbul için metro yapımı girişimi Osmanlı döneminde başlamış, daha sonra unutulmuş, 1950 li yıllarda yine gündeme gelmiş ve 1952 yılında Societe Generale de Traction et Explotations adı Fransız şirketi Mecidiyeköy - Taksim - Beyazıt arasında 12 istasyonlu metro önerisinde bulunmuştur. Hesaplanan maliyet 160.000 USD dır. Daha sonraki yıllarda çok sayıdaki etüt ve proje yaptırılmasına rağmen ilk hat Eylül - 2000 de hizmete sokulabilmiştir.

Birinci Boğaz Köprüsü ve çevre yolunun 1973 de, İkince Boğaz Köprüsünün (Fatih Sultan Mehmet Köprüsü) ve Tem Otoyolunun 1989 yılında devreye girmeleri ile kentteki karayolu ağırlıklı taşıma daha da artmıştır. Son 15 yıl içinde olumlu gelişmeler olarak 1989 yılında hızlı tramvay ve 1994 de çağdaş tramvay olarak isimlendirilen hafif raylı sistemler ile deniz otobüsleri devreye sokulmuşlarsa da bugün karayolu taşıması toplam taşımada % 90 dolayında payı ile İstanbul'un temel taşıma türü durumundadır.

Karayollarının şu anki bu üstünlüğüne rağmen; hızlı ve güvenli taşıma ihtiyacı, çevresel bilincin artması ve enerjiyi daha verimli kullanma ihtiyacı günümüzde tekrar raylı sistemleri gündemimize getirmiştir.

Halen İstanbul'da 32 km hafif raylı+tramvay, 75 km TCDD banliyö ve 8 km Taksim Metrosu olmak üzere 115 km'lik şehir içi raylı toplu taşıma sistemi vardır. İzmir'de 10km, Ankara'da 24 km, Konya'da 18 km, Bursa'da 18 km aktif raylı sistem olup, Ankara-İstanbul ve Adana'da yeni hat çalışmaları devam etmektedir.

2.5 İstanbul'daki Raylı Sistemler

İstanbul'daki başlıca raylı sistemler aşağıda özetlenmiştir.

2.5.1 Tünel (Füniküler)

1874 yılında hizmete giren 574 m uzunluklu Tünel, Karaköy ve Beyoğlu Bölgeleri arasında önemli bir işlev sürdürmektedir. İki araçla yapılan günlük yolcu taşıması 13,000 yolcu dolayında gerçekleşmektedir.

2.5.2 Nostaljik Tramvay(Tünel-Taksim)

1990 yılının sonlarında Tünel-Taksim arasında tarihi tramvay, uzun bir aradan sonra tekrar işletmeye alınmış olup halen 3 motris (çekici), 2 vagon ile 1640 m.' lik hat üzerinde turistik bir işlev görmesinin yanında yılda 14.600 sefer ve 23.944 km. yaparak günlük ortalama 6,000 yolcu taşımaktadır.

2.5.3 Nostaljik Tramvay(Kadıköy-Moda)

01 Kasım 2003 tarihinde hizmete giren Kadıköy-Moda Tramvayı'nda 2.6 km'lik sistemde 10 istasyon yer almaktadır. Tramvay işletmesi 4 adet araçla yapılmaktadır.

Hattın Teknik Özellikleri

Hat Uzunluğu: 2.6 Km

İstasyon Sayısı: 10 istasyon

Araç Sayısı: 4Adet

Sefer Uzunluğu: 20 dakika

Yolcu Sayısı: 2000 yolcu / gün

2.5.4 Tramvay

Eminönü-Zeytinburnu arasında hizmet veren 11.2 km.lik tramvay hattının Sirkeci-Aksaray bölümü Temmuz 1992 tarihinde, Aksaray-Topkapı bölümü Ekim 1992 tarihinde, Topkapı-Zeytinburnu bölümü Mart 1994 ve Sirkeci Eminönü bölümü ise Nisan 1996 tarihinde hizmete açılmıştır.

Şu an inşaat çalışmaları bitmekte olan, Eminönü - Kabataş ve Zeytinburnu- Bağcılar hatları da hizmete alındığında güzergah toplam 20 km'yi bulacak ve bu bölgedeki trafik yoğunluğunun çözümünde önemli bir adım atılmış olacaktır.

Tramvay Kimliği

Hat Uzunluğu: 11.2 Km

İstasyon Sayısı: 20 istasyon

Araç Sayısı: 48 Adet

Sefer Aralığı: 5 dakika

Sefer Uzunluğu: 31 dakika

Yolcu Sayısı: 140 bin yolcu / gün

Yatırım Tutarı: 110 Milyon

2.5.5 Hafif Metro (LRT)

8.5 km olan Aksaray-Kartaltepe arasındaki Hafif Metro hattında ilk defa 03 Eylül 1989 tarihinde yolcu taşımaya başlanmıştır. Zaman içerisinde yapılan yeni yatırımlarla yeni güzergahlar sisteme dahil edilmiş, son olarak da 1 Aralık 2002 tarihinde de Dünya Ticaret

Merkezi ve Havaalanı istasyonları açılmıştır.

Hafif Metro Kimliği

Hat Uzunluğu: 20 Km

İstasyon Sayısı: 18 istasyon

Araç Sayısı: 58 Adet

Sefer Aralığı: 5 dakika

İşletme Hızı: 36 km/h

Sefer Uzunluğu: 32 dakika

Yolcu Sayısı: 170 bin yolcu / gün

Yatırım Tutarı: 550 milyon USD

2.5.6 Metro

Yapımına 1992 yılında başlanan ve Taksim – 4.Levent arasında hizmet veren metro, 16 Eylül 2000 tarihinde hizmete girmiştir.

Şu an çalışmaları devam eden Taksim - Yenikapı ve 4.Levent- Ayazağa bölümleri hizmete alındığında güzergah toplam 17 km'yi bulacak ve bu bölgedeki trafik yoğunluğunun çözümünde önemli bir adım atılmış olacaktır.

Metro Kimliği

Hat Uzunluğu: 8 Km

İstasyon Sayısı: 6 istasyon

Araç Sayısı: 32 Adet

Sefer Uzunluğu: 12 dakika.

Sefer Sıklığı: 5 dakika.

Yolcu Sayısı: 140 bin yolcu / gün

Yatırım Tutarı: 630 milyon USD

Tramvay, hafif metro ve metro işletmeleri Belediye'nin kuruluşumu olan İstanbul Ulaşım Sanayi ve Ticaret A.Ş. Genel Müdürlüğü'nce yürütülmektedir.

2.5.7 Banliyö Demiryolu

İstanbul'da banliyö yolcu taşıması, TCDD'nin sorumluluğunda olmak üzere aşağıda bazı özellikleri sıralanan iki hat'da yapılmaktadır.

Haydarpasa – Gebze Hattı

Hat Uzunluğu : 43,8 Km
 İstasyon Sayısı : 28
 Trafik Yönetim Sistemi : Sinyalizasyon
 Hat Kapasitesi : 178 Tren/gün (yolcu+yük+banliyö)

Sirkeci – Halkalı Hattı

Hat Uzunluğu : 27,6 Km
 İstasyon Sayısı : 18
 Trafik Yönetim Sistemi : Sinyalizasyon
 Hat Kapasitesi : 180 Tren/gün (yolcu+yük+banliyö)

2.6 Şehir İçi Raylı Ulaşım Sistemlerinin Avantajları

Şehir içi ulaşımında raylı ulaşım sistemlerinin kullanılması halinde elde edilecek avantajlar aşağıda sıralanmıştır.

Ucuz, hızlı ve konforlu ulaşım: Elektrik enerjisi kullanımından dolayı işletme maliyetleri düşüktür. Sarsıntısız, düzgün ivmelenen hareket kabiliyetine sahiptir. Bu da seyahat konforunu sağlamaktadır. İvmelenme ve duruş zamanları kısa olduğu için daha seri hareket etmekte ve seyahat süresi kısa olmaktadır. Demiryolu hattının yapımı ve bakımı otoyollara göre çok daha ucuz ve daha uzun ömürlüdür.

Şehir içi trafiğine çözüm: Raylı sistem araçları ile taşınan yolcu sayısı yüksek rakamlarda olacağı için lastik tekerlekli araçlara olan talebin düşmesini sağlayacaktır. Aynı zamanda modern, hızlı konforlu ve güvenli olmasından dolayı tercih edilecek ve dolayısıyla şehir içi trafik probleminin çözümü yönünde olumlu katkıda bulunacaktır.

Çevre kirliliği ve gürültü kirliliğinin azalması: Raylı sistem araçları, elektrik enerjisi ile çekildiğinden dolayı, hem sessiz çalışmakta hem de temiz enerji kullanarak çevreye zararlı gaz emisyonları oluşturmamaktadır.

Şehir gelişimini yönlendirme: Raylı ulaşım sistemlerinin bilinçli ve uygun tasarlanması durumunda hem şehrin uzun vadeli ulaşım ihtiyaçlarına cevap vermekte, hem de şehrin istenilen istikamette gelişmesini yönlendirerek imar planlarına katkıda bulunmaktadır.

Trafik kazalarını önleme: Raylı ulaşım sistemlerinin, lastik tekerlekli araçlarla kıyaslandığında, kaza yapma oranları çok düşüktür. Toplam trafik kazaları içinde otoyol kazalarının önemli bir payı vardır. Raylı sistem uygulaması ile trafik yoğunluklarının

azalması, hat koruma sistemleri ile güvenliğin artırılması, insan faktörünü en aza indirerek bilgisayarlı kumanda kontrolünün yapılması trafik kazalarını azaltmaktadır.

Emniyetli ve güvenilir yolculuk: Tam otomatik tren korumaları sayesinde trenlerin içerisinde taşınan yolcular için yüksek güvenli taşıma, yoldaki diğer yaya ve taşıtlar için emniyetli bir trafik akışı oluşturmaktadır.

Trafik koridorlarının verimli kullanımı: Raylı ulaşım sistemleri ile taşınan yolcu sayılarının yüksek olması, trafik koridorlarının verimli kullanılmasını sağladığı gibi, yeni koridor taleplerini de azaltmaktadır.

Düşük işletme maliyetleri: Raylı ulaşım sistem uygulamalarında, taşınan yolcu başına istihdam edilen personelin çok az olması, yolcu başına kullanılan enerjinin az ve ucuz olması, sistem içindeki araçların faydalı kullanım ömürlerinin uzun süreli olması gibi faktörler işletme maliyetlerini en aza indirmektedir.



3. HAFİF METRO SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

3.1 Hafif Metro Sisteminin Tarihi Gelişimi

1986 yılında imzalanan sözleşmeden sonra, Asea Brown Boveri Consortium'u (İsveç)-Yapı Merkezi (Türkiye) tarafından, sistemin yapımına başlanmıştır. Hattın ilk etabı olan Aksaray-Ferhatpaşa arası seferler 1989 yılında hizmete açılmıştır. (Gunnarsson ve Wahiberg, 1989). Asea Brown Boveri, hattın sinyalizasyon, radyo, iletişim, uzaktan kumanda sistemlerini yapmıştır. Yapı Merkezi ise, tüm inşaat işlerini ve sistemin altyapısını üstlenmiştir. Hafif metro şu anda sonradan eklenen diğer etaplarla beraber, 20 km'lik hat olan Aksaray-Havaalanı arasında hizmet vermektedir.

Ferhatpaşa'daki 60 000 m² alan üzerine kurulmuş atölye, araçların her türlü bakım ve onarımını yapacak ekipmanla donatılmıştır. Hafif metroda kullanılan toplam araç sayısı 105 olup, bunların 70'i MD vagonu denilen sürücü kabini olan araçlardan, 35'i de M vagonu denilen sürücü kabini olmayan araçlardan oluşmaktadır. Araçlar kuplaj bağlantısı ile birleştirilerek MD-MD , MD-M-MD , MD-M-M-MD şeklinde 2'li, 3'lü, 4'lü olarak çalışabilirler. (Aradaki M aracı yerine MD aracı bağlanabilir)

MD : (MOTORIZED and DRIVER) Motorlu ve sürücülü

M : (MOTORIZED) Motorlu

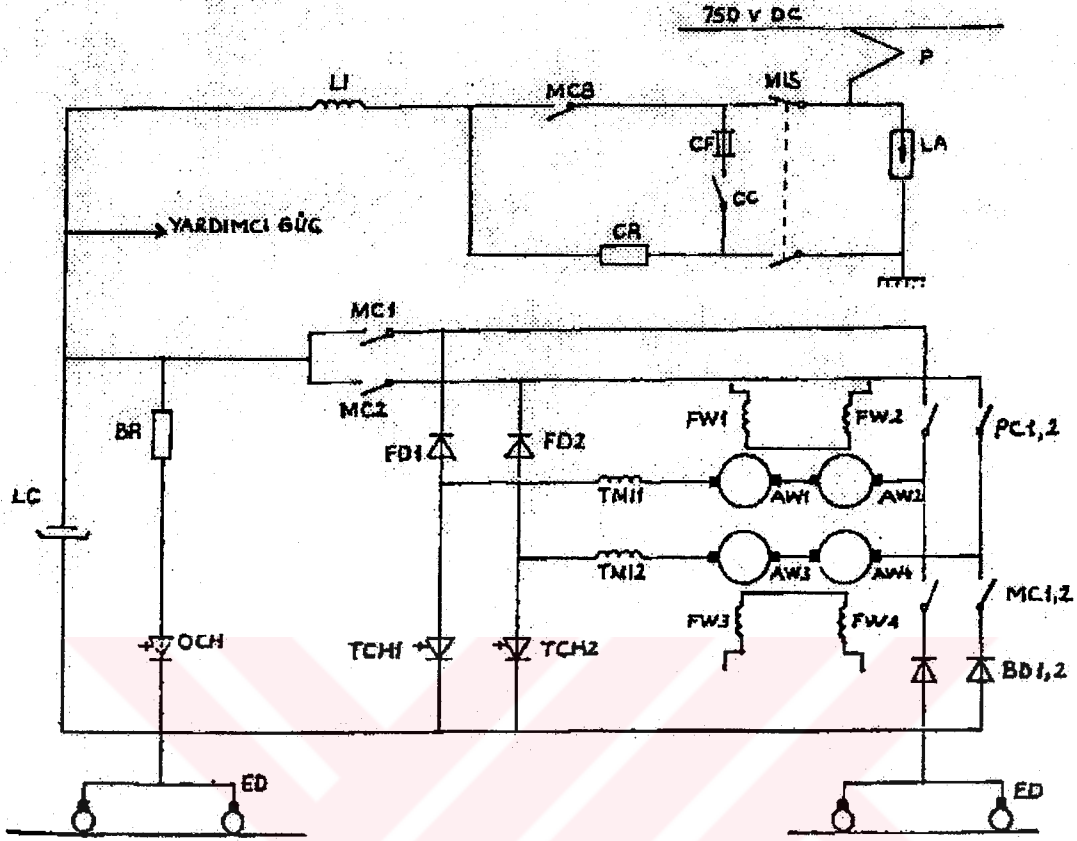
LRT : (LIGHT RAILWAY TRANSPORTATION SYSTEM) Hafif raylı taşımacılık sistemi
Vagonlarda A ve B bölmeleri vardır. MD araçlarda sürücü kabini A kısmıdır. M araçlarında A-B kısımlarında da sürme üniteleri bulunmaktadır. Bir vagona 3 bogi bulunup, her bogi 2 aksan oluşmaktadır. Birinci ve üçüncü bogiler ikişerli DC motora sahipken, 2 bogide motor bulunmamaktadır(Taşıyıcı bogi). Dolayısıyla bir vagona 4 adet Serbest Uyarımlı DC Motor bulunmaktadır. Armatür devresi; GTO kıyıcı ünitesi ile, uyarım devresi ise AC/DC doğrultucu ünitesi ile kontrol edilmektedir.

Araçtaki sistemler, enerji beslemesini havai hattan alınan 750 V DC gerilimle sağlar. Bu enerji, yardımcı güç sistemi denilen evirici ünitesiyle 3x380 V AC, 50 Hz'lik AC gerilime ve 24 V DC batarya gerilimine çevrilerek gerekli ünitelere besleme kaynağı sağlanır.

3.2 Cer Sisteminin 750V DC Devresi

Şekil 3.1'de dört adet serbest uyarmalı DC motorun, kıyıcı üniteleriyle birlikte çalışma düzeni gösterilmiştir. Her bogide bulunan 2 adet serbest uyarımlı DC motor bir şarj devresi

üzerinden beslenmektedir.



Şekil 3.1 Cer sistemi için 750 V DC devresi

P	: Pantograf	OCH	: Yüksek Gerilim Kıyıcı
LA	: Parafudr	MC	: Motor Modül Kontaktörü
MIS	: Ana İzolatör Anahtarı	FD	: Serbest Geçiş Diyodu
CF	: Şarj Ünitesi Koruma Sigortası	TCH	: Ana Kıyıcı
CC	: Şarj Kontaktörü	TMI	: Tahrik Motor Endüktansı
CR	: Şarj Rezistörü	AW	: Armatür Sargıları
MCB	: Ana Devre Kesici	FW	: Uyarma Sargıları
LI	: Hat Endüktansı	PC	: Motor Kontaktörü
LC	: Hat Kapasitesi	BD	: Frenleme Diyotları
BR	: Frenleme Rezistansı	ED	: Topraklama Ünitesi

3.2.1 Pantograf

Pantograf aracın üst kısmına monte edilmiş olup aracın, enerji hattından 750V DC

bağlantısını sağlar. Pantograf direk bataryadan beslenen 24V'luk motor ile yükseltilir veya alçaltılır. Bu motora sürücü kabinindeki bir butonla kumanda etmek mümkündür. Pantografi yukarıya kaldırmak için sürücü anahtarı takılı olmalı ve sürücü "PANTOGRAF YUKARI" butonuna basmalıdır. Pantografi aşağı indirmek için sürücü anahtarı takılı olmalı ve sürücü "PANTOGRAF AŞAĞI" butonuna basmalıdır.

Pantografin yükseltilmesi ve alçaltılması tren boyu M8 (yukarı) ve M9(aşağı) sinyaller ile kumanda edilir. Böylelikle bütün araçların pantografları aktif olan aracın sürücü kabininden

Verileri :

Nominal gerilim .: 750 V DC

Kontrol akımı: 400 A

Max. Akım.....: 900 A

Max.hız.....: 80 km/h

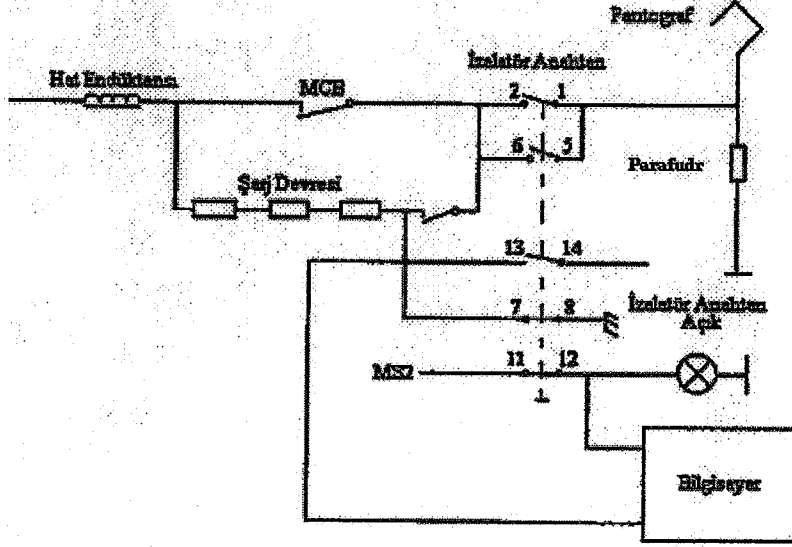
Nominal katenere yaptığı basınç: 80 N

Ağırlığı: 120 kg.

3.2.2 Ana İzolatör Anahtarı

Ana izolatör anahtarı, örneğin aracın yüksek voltaj devrelerinde çalışılacağı zaman 750V devrelerini topraklamak için kullanılır.(Hat kapasitörlerini boşaltır.)

Ana izolatör anahtarı elle çalıştırılır. Araç aktif hale alınmak istendiğinde, ana izolatör anahtarı güç pozisyonu konumuna getirilerek pantografla ana devre kesicinin birbirine bağlanmasını sağlar. Eğer araçta bir çalışma yapılacaksa pantograf indirilerek güç sistemi kapatılır. Anahtar toprak konumuna alınır. Bu durum pantografla ana devreyi birbirinden ayırmakta ve hat kapasitesini boşaltmaktadır. Böylece tehlikesiz bir durumda güç sisteminde çalışma yapılabilir. Şekil 3.2 devresinde, izolatör anahtarının çalıştığı durumdaki kontak pozisyonları gösterilmiştir.



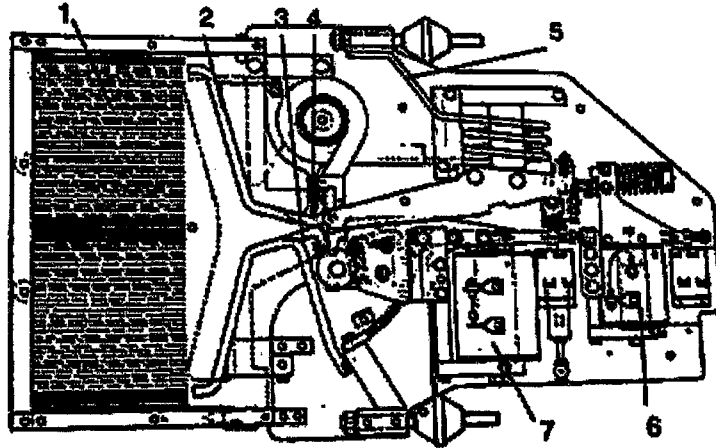
Şekil 3.2 750 V Devre elemanları

Bu devrede:

1-2 ve 5-6 nolu kontaklar ayrılarak pantograftan aşağı gelen kablonun araç devrelerine bağlantısını keser.

- 13-14 nolu yardımcı kontaklar açılarak ADK'nın çalışma kontrol gerilimini keserek ADK'nın çalışmasını engeller.
- 7-8 nolu kontaklar kapanarak şarj dirençleri üzerinden hat kapasitörlerini boşaltır.
- 11-12 nolu kontaklar ISOLSWON (anahtar açık) sinyalini aktif hale getirirler. Bilgisayar arıza verir. ADK kontrol bilgisayar programı şarj kontaktörünün ve ADK'nın çalışmasını bloke eder. Ayrıca sürücü panelinde bir lamba ile bu durum gösterilir.

3.2.3 Ana Devre Kesici



Şekil 3.3 Ana devre kesici (ADK)

1	Ark hücresi	5	Çözme Ünitesi
2	Ark yol verici	6	Reset bobini
3	Hareketli Kontak	7	Çalıştırma bobini
4	Sabit kontak		

Ana devre kesici, araçtaki güç ünitesinin en önemli koruma ünitesidir. Hat kapasitörlerindeki gerilim yaklaşık olarak 450 V'a ulaşınca bilgisayar ADK' yi kapatarak 750 V'u direkt olarak araca bağlar.

ADK aşırı akım koruma ünitesi ile teçhiz edilmiştir. 5 nolu çözme ünitesinin amacı budur. Kesicinin en önemli özelliği aşırı yüklemelerde veya kısa devreye sebep olan aşırı akımlarda aracın güç sistemini besleme kaynağından ayırmasıdır. Temel olarak anahtar 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

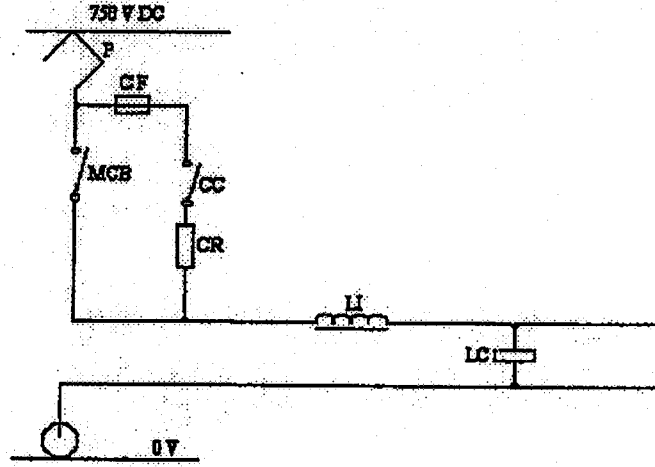
Açma Akımı: 1300 A

Kesme Kapasitesi ...: 19.2 kA

Bobin Gerilimi.....: 24 V DC

3.2.4 Şarj Devresi

Şarj devresi Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Bu devre ile hat kapasitörünü (LC) araç kullandığı zaman, kapasitörü ve diğer elemanları, zararlı akım darbelerine maruz bırakmamak (yumuşak bir şekilde kapasiteyi doldurmak) amaçlanmıştır.



Şekil 3.4 Şarj devresi

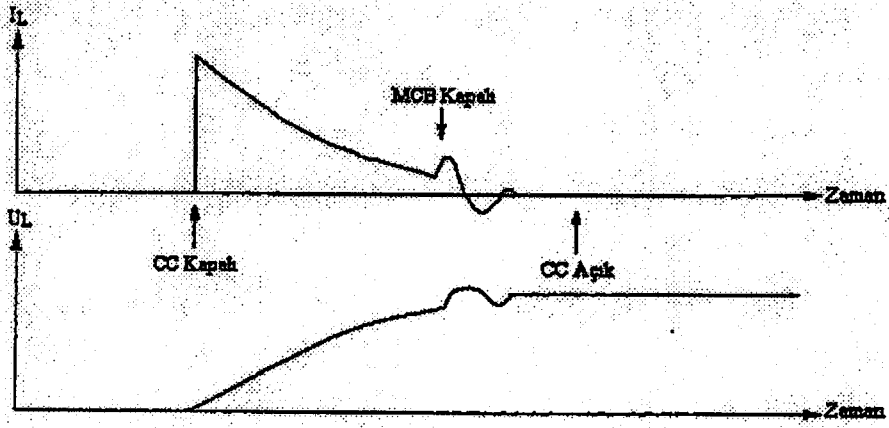
P	Pantograph	Pantograf
CF	Charging Fuse	Şarj Sigortası
MCB	Main Circuit Breaker	ADK
CC	Charging Contactor	Şarj Kontaktörü
CR	Charging Resistor	Şarj Direnci
LI	Line Inductor	Hat Endüktansı
LC	Line Capacitor	Hat Kapasitörü

Sürücü ADK'yı KAPAT butonuna bastığında bilgisayar kontrolü tarafından şarj kontaktörü (CC) kapanır. Yaklaşık 37 A'lık küçük bir akımla hat kapasitörleri şarj olur. Hat kapasitörlerindeki gerilim 450 V'u aşınca ADK kapanarak şarj kontaktörü açılır.

Şarj kontaktörü doğrudan bilgisayardan kontrol edilir. Bu kontaktörün amacı hat gerilimini şarj süresi (yaklaşık 1 sn) boyunca şarj direncine bağlamaktır. Şarj akımının 50A'i geçmesi durumunda sigorta atar. Sigorta atması bilgisayara FUSECHC (Fuse charging) sinyali yolu ile bildirilir.

Şarj direnci üç adet olup tel sarımlıdır. Toplam direnç 20.25 Ω 'dur.

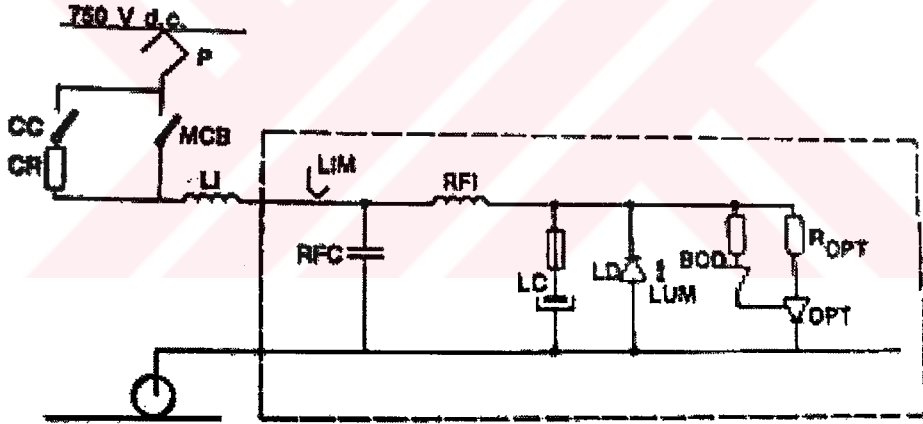
Şekil 3.5'te şarj süresince Hat akımı (I_L) ve hat geriliminin (U_L) değişim eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.5 Şarj süresince akım ve gerilimin değişimi

I_L	Line current	Hat Akımı	MCB	Main circuit breaker	ADK
U_L	Line Voltage	Hat Gerilimi	CC	Charging contactor	Şarj Kontaktörü

3.2.5 Hat Filtresi



Şekil 3.6 Hat filtresi

P	Pantograph	Pantograf	RFI	Radio Filter Inductor	Radyo Filtre Bobini
CC	Charging Contactor	Şarj Kontaktörü	LC	Line Capacitor	Hat Kapsitörü
CR	Charging Resistor	Şarj Direnci	LD	Line Diode	Hat Diodu
MCB	Main Circuit Breaker	Ana Devre Kesici	LUM	Line Voltage Measurement	Hat Gerilimi Ölçümü
LI	Line Inductor	Hat Endüktansı	OPT	Overvoltage Protection Thyristor	Aşırı voltaj koruma tiristörü
RFC	Radio Filter Capacitor	Radyo Filtre Kapsitörü	ROPT	Resistor	Direnç

Hat filtresi, bir endüktans bobini ve bir hat kapasitöründen oluşur. Hem ivmelenmede hem de frenlemede aktif durumdadırlar.

Kıyıcı ünitesi çalışmaya başladığı zaman, hat akımı DC akımdır. Fakat, değişik frekanslardaki alternatif akımlar, yani harmonikler, DC bileşen üzerine binerler. Bu parazitler, kıyıcılar tarafından oluşturulabildiği gibi, katener (DC iletim hattı) geriliminin AC harmonikleri de olabilir. Bu parazitlerin bastırılması hat endüktansı tarafından gerçekleştirilir. Eğer harmonikler, yeterince büyük olursa, haberleşme işaretlerinde parazitler meydana gelebilir.

Hat kapasitörü ise, kıyıcı üniteleri için düzgün bir gerilim sağlarken, gerilim değişimlerinden sistemi korur.

LI ve LC'nin değeri 50Hz'den daha aşağı frekanslarda rezonansa gelecek şekilde seçilmiştir. Böylelikle beslemedeki ana frekans AC bileşenleri sınırlandırılmış olur.

Yüksek frekans akımı için RFC ve RFI komponentleri ile bir filtre oluşturulmuştur. 17 kHz üzerindeki frekanslar için bastırma sağlanmıştır.

LD diyodu yanlış polariteli bir besleme gerilimden ekipmanları korumak için konulmuştur.

OPT, ROPT ve BOD elemanlarından oluşan devre bir aşırı gerilim koruyucu olarak hizmet eder. Bu sistem çalıştığı zaman aşırı bir güç ROPT üzerinde harcanır. OPT çalıştığı zaman bilgisayar durumdan haberdar olur; cer ve yardımcı güç sistemlerini bloke eder ve ADK'yı açar. Aşırı gerilimin tespiti aşırı gerilim koruma ünitesi içindeki BOD ünitesi vasıtası ile yapılır. Hat gerilimi 1100 ± 50 V aştığında BOD ünitesi devreye girer ve tristörü tetikler. Tristör tetiklendiğinde hat kapasitörü ROPT direnci üzerinden boşalır. BOD devreye girdiğinde bir röle yardımı ile durum bilgisayara aktarılır ve bilgisayar gerekli kontrol ve korumaları yapar.

LIM ve LUM sırası ile hat akımı ve hat gerilimi ölçüm noktalarını gösterir.

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.

Tüm bu olaylar, otomatik olarak tarik bilgisayarından kontrol edilmektedir. Şarj kontaktörü (CC) kapandıktan sonra, kapasitenin gerilimi yükselmeye başlayacak ve bir ölçme düzeneyle 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:

Hat Endüktansı: 1mH

Kontrol Akımı: 550 A

Ağırlığı: 110 kg

Hat Kapasitesi.....: 1.8 mF

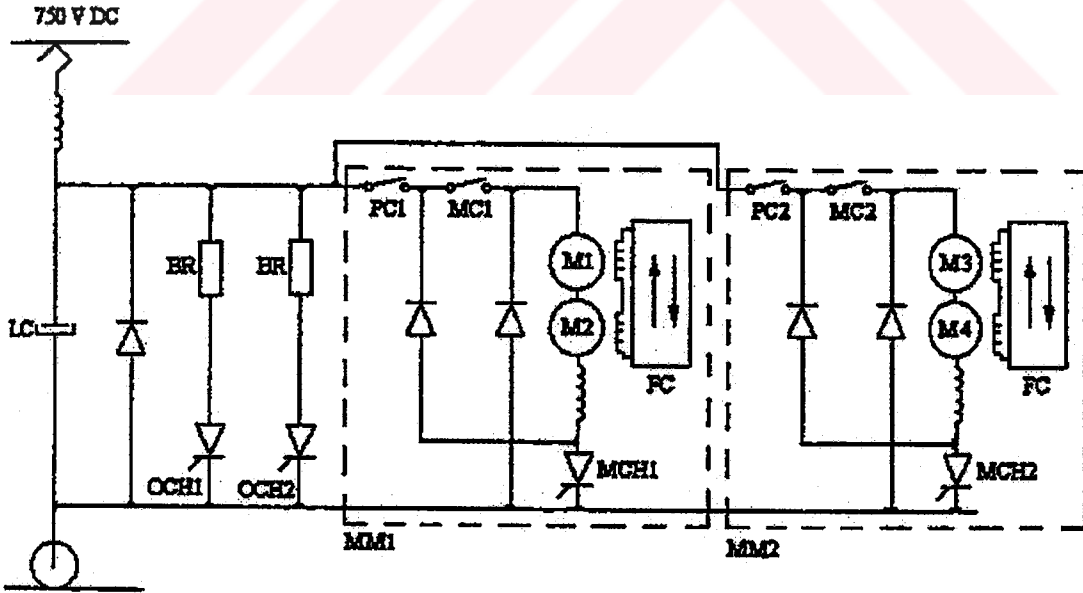
3.2.6 Parafudr

Yıldırım ve benzeri sebeplerden dolayı katener hattında aşırı gerilim oluşabilir. Bu tip aşırı gerilimlere karşı sistemin korunması parafudrlarla gerçekleştirilir. Bu ünitenin koruma gerilim seviyesi 3 kV'tur.

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

3.3 Cer Sistemi Temel Ekipmanları

Cer sisteminin ana devresi Şekil 3.7'deki gibi ifade edilebilir.



Şekil 3.7 Tahrik motorları, motor kıyıcıları, uyarma alanı doğrultucuları ve yüksek gerilim kıyıcılarından oluşan tahrik sistemi

MM1 : Motor Modül 1
 MM2..... : Motor Modül 2
 OCH1..... : Yüksek Gerilim Kıyıcı 1. Ünitesi
 OCH2..... : Yüksek Gerilim Kıyıcı 2. Ünitesi
 MCH1 : MM1'in Armatür Devresini Besleyen Kıyıcı Ünitesi
 MCH2..... : MM2'nin Armatür Devresini Besleyen Kıyıcı Ünitesi
 PC1, PC2 : Motor Kontakları
 MC1, MC2.. : Modül Kontakları
 M1 : Tahrik Motoru 1
 M2 : Tahrik Motoru 2
 M3 : Tahrik Motoru 3
 M4 : Tahrik Motoru 4
 FC : Uyarma Alanı Çevirici Ünitesi
 BR..... : Fren Rezisatörleri
 LI : Hat Endüktansı
 LC..... : Hat Kapasitörü

Tahrik sisteminin içerdiği kısımlar genel olarak şunlardır:

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

Sistem'deki tahrik motorları, serbest uyarımlı DC motorlardır. Her bir araçta 4 adet DC motor bulunmaktadır. Bu 4 motor grubu 2'şerli motor modülleri olarak gruplanmıştır. Motor modüllerindeki 2 motor birbirlerine seri bağlanmışlardır. İki motorun armatür devreleri seri olup, bir DC/DC kıyıcı ünitesi ile beslenir. Motorların uyarma sargıları da seri olup, bir doğrultucu ünitesiyle uyarılır. Farklı bogilerde olan bu 2 motor modülü, birbirinden bağımsız olup bilgisayarla kontrol edilir.

DC Motorun Değerleri:

Güç : 75 kW
 Armatür Akımı ...: 260 A
 Gerilim..... : 320 V
 Uyarma Akımı....: 16.9 A
 Nominal Hız: 2200 d/dk

Maximum Hız.....: 4580 d/dk

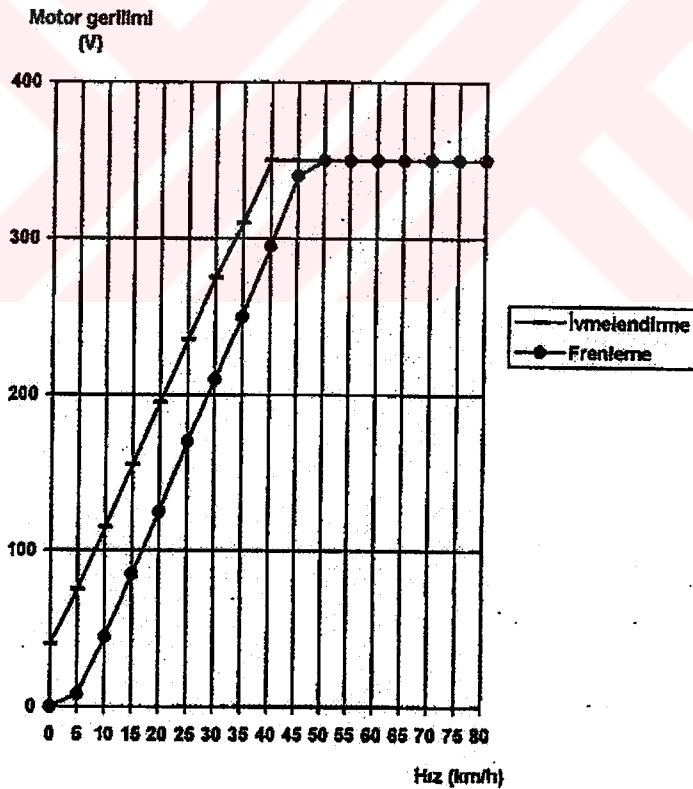
Ağırlığı: 368 kg

Motorun uyarma alan devreleri, sürücünün arzu ettiği hız seviyesine göre, bilgisayardan kontrol edilerek, istenilen maksimum akımla beslenir.

Alan akımı, motorda magnetik alan oluşturur. Bu alan, armatür akımı ile birlikte, motorda bir mekanik moment oluşturur. Bu moment dişliye ve oradan tekerlek dingiline iletilerek aracın hızlanmasını sağlar. Hız arttığı zaman, motordaki gerilim hızla beraber artar. Kıyıcıların çıkış gerilimi de aynı oranda artar.

Temel hız olarak, 35 km/h kabul edilen hıza motor eriştiği zaman, motorun gerilimi hat geriliminin altında olacaktır.

Motor gerilimi arttırılmadığı sürece, hızın 80 km/h'e erişmesi için magnetik alan akımı adım adım düzenli bir şekilde azaltılmaktadır.



Şekil 3.8 Motor geriliminin ivmelendirme ve frenlemedeki hıza bağlı grafiği

3.3.1 DC Tahrik Motorunun Armatür Devresinin Kıyıcı Ünitesi

Motor kıyıcıları, temel olarak GTO tristörleri ve diyotlarından oluşan yarı iletkenlerden

kurulu DC/DC çevirici temeline dayanır. Kıyıcının amacı, hattaki DC gerilimi kontrol edilebilen daha düşük darbeler halinde tahrik motorlarına uygulayabilmektir.

Kıyıcı, hat gerilimini değişik periyotlarda kıyarak motor 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 3.7) Her bir kıyıcı ünite; bir GTO ve bir serbest geçiş diyotundan 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, gücün fren rezistörlerinde harcanma anına kadar devam eder.

Veriler:

Nominal Besleme Gerilimi..... : 750 V DC

Maksimum Besleme Gerilimi : 825 V DC

Minimum Besleme Gerilimi..... : 550 V DC

Armatür Kıyıcı Ünitesi Fazları..... : 2

Maksimum Faz Akımı..... : 460 A

Frekans : 69/207 Hz

Maksimum Çıkış Gerilimi..... : 825 V DC

3.3.2 DC Motorun Uyarma Alan Çevrim Ünitesi

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

Doğrultucu 4 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 AC

Griş Frekansı : 50 Hz

Çıkış Akımı : 20 A

Max Çıkış Akımı..... : 22 A

3.3.3 Motor Modül Kontakları ve Motor Kontakları

Motor kontakları, ana devrenin ivmelendirme modunda çalışmasını sağlar. Kontaklar 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 ünitesinin 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 Nominal gerilimi : 24 V DC

3.3.4 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. Maksimum akım dalgalanmaları, kıyıcı ünitesinin her periyotta düzenli bir şekilde devreye girmesiyle olur.

Veriler:

Kontrol Akımı: 328 A

Max. Akım.....: 460 A

Endüktansı.....: 3 mH

Ağırlığı: 100 kg

3.3.5 Frenleme Direnci

Frenleme dirençlerinin görevi, elektrodinamik frenleme olduğu sürece, hatta geri verilecek olan gücün eğer hatta alıcısı yoksa 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.... : $2 \times 1.9 \Omega$

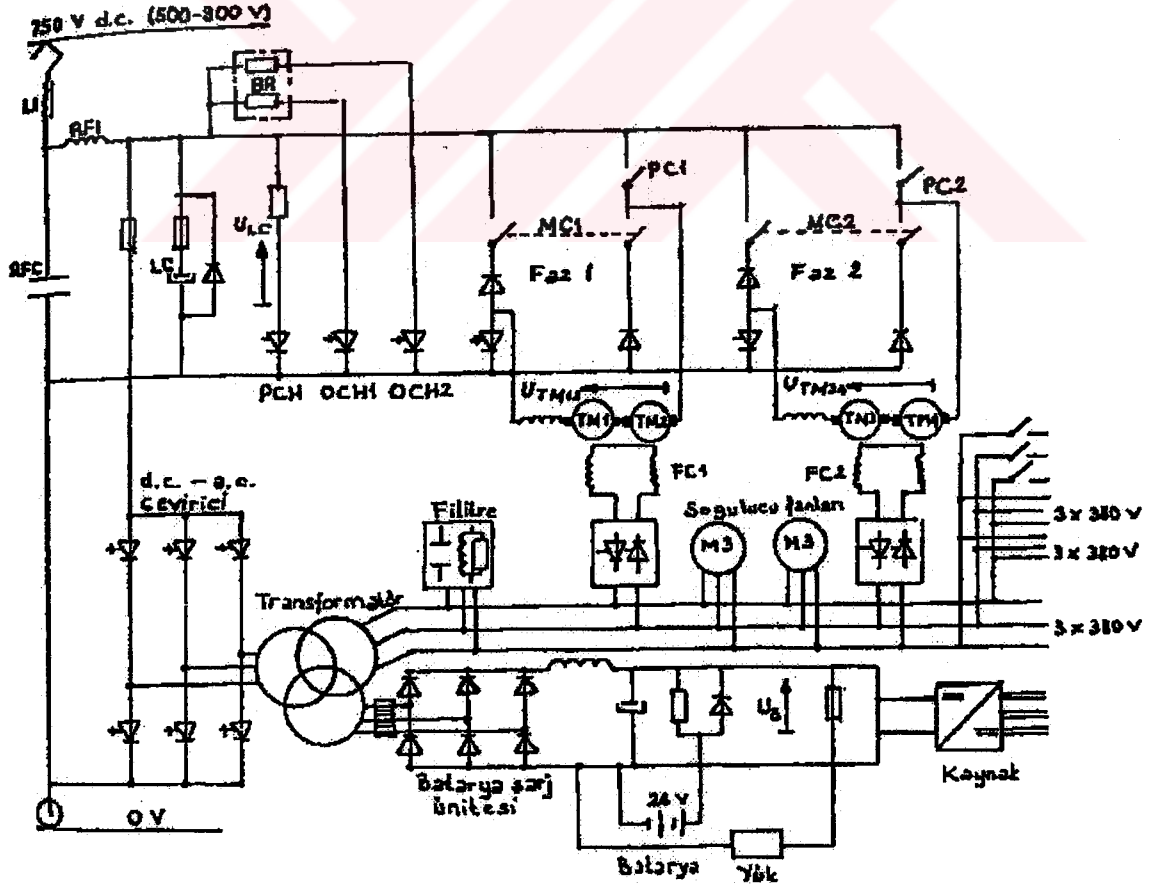
Ağırlığı : 90 kg

3.4 Cer Sisteminin Kontrol Devresi

Cer sistemi kontrol devresi genel olarak aşağıdaki ekipmanlardan oluşur:

- Serbest uyarmalı DC tahrik motorları,
- GTO güç elemanları ile kontrol edilen kıyıcı üniteleri,
- Bilgisayar kontrol ünitesi,
- Yüksek gerilim kıyıcısı,
- İki adet birbirinden bağımsız motor modülü,
- Geri kazanımlı frenleme sistemi.

Bu tahrik sisteminin ana kapsamı, dört adet birbirinden tam olarak bağımsız olan, serbest uyarmalı D. C motorlardan ve onlar için güç sağlayan ünitelerden oluşmuş olmasıdır. Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Tahrik donanım devresi

Burada;

LI: Hat endüktansı
 RFI.....: Radyo filtre endüktansı
 LC.....: Hat kapasitesi
 BR.....: Frenleme direnci
 PCH: Yüksek gerilim koruyucu kıyıcısı
 OCH1, OCH2: Yüksek gerilim kıyıcısı
 MCI, MC2: Modül kontakları
 PCI, PC2.....: Motor kontakları
 TM1, TM2, TM3, TM4 : Tahrik motorları
 FC1, FC2: Uyarma alanı doğrultucusu
 dır.

Motor modülleri, birbirinden tam olarak bağımsız beslenip, armatür ve uyarma devresi olmak üzere iki ana bölümden oluşmuştur. Bir modüldeki iki DC motorun, uyarma alanı ve armatür devreleri seri olarak bağlanmıştır. Kıyıcının çıkış gerilimi, DC motorunun armatür devresini besleyen kontrollü bir gerilimdir.

Kıyıcının çıkış gerilimi ile giriş gerilimini %5 ile %100 arasında değiştirmek mümkündür. Çünkü kıyıcının çıkış gerilimini adım adım değiştirmek mümkün olduğundan, motora kontrollü bir gerilim uygulamak ve akımını, momentini, hızını ve tüm aracı kontrol etmek mümkün olmaktadır.

3.4.1 Bilgisayar Kontrol Ünitesi

Araçlardaki bütün tahrik sistemi, frenleme sistemi güç sistemi mikrobilgisayar ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Sürücü, aracın ivmelendirilmesini ve frenlemesini, sürücü koluyla kontrol ederek, istediği ivmelendirmeyi yaptırabilir. Bu ivmelendirme, elektriki olarak, bilgisayara aktararak, motor kontaktörlerine, kıyıcılara, alan çeviricilerine, mekanik frenlere, ivmelendirme veya durdurmayı sağlayacak sinyalleri, bilgisayardan gelen uyanlarla gerçekleştirir.

Bilgisayar programı kontrol sistemi, geri besleme düzeniyle çalıştırılır. Bilgisayar, birbirine bağlı olan araçların, güç üniteleri arasında iletişimi sağlar. Bu ünite, araçların aynı anda aktif hale veya frenleme durumuna girmesini gerçekleştirir. Herhangi bir araçta arıza olduğu zaman, bilgisayar arıza sinyalini kontrol ederek, sürücü kolu vasıtasıyla, sürücü panelindeki arıza bildirim ünitesine ileterek sürücüyü uyarır.

Bütün araçların, her bir aksında hız sensörleri vardır. Sensörler, hız sinyallerini bilgisayara ileterek aracın hız konumunu kontrol etmek için, bilgisayarın vereceği komutlarla motorun armatür akımını kontrol edebilmesinde ve tahrik veya elektrodinamik frenlemenin uyarılmasında kullanılmaktadır.

Bu hız sinyalleri, aynı zamanda araçta kayma ve kızaklama kontrolünde de kullanılır.

Bilgisayarın yaptığı en önemli kontrol fonksiyonları şunlardır :

- Armatür akımı,
- Motor gerilimi,
- Yüksek gerilim kısıyıcısı,
- İvmelendirme ve yavaşlatma ivmesi,
- Frenleme,
- Kayma ve kızaklama,
- Yüksek hız.

3.4.2 Hata Gösterme Sistemi

Bu sistemin amacı, araçta meydana gelen hataları bozuklukları sürücüye haber vermektir. Sistemin mikrobilgisayarı içinde entegre edilmiştir ve sürücü, kontrol paneline yerleştirilmiş bir gösterge yoluyla uyarılmaktadır. Hata gösterme ekranı, MD ve M vagonlarının A bölümünde yer almaktadır.

Hata tipleri sistemde önceden programlanmakta ve meydana gelen hatalar bilgisayara elektriksel sinyaller olarak gönderilmektedir. Bu durumda sinyaller bilgisayara bir sayısal giriş kanalı yoluyla girmekte ve sistem bu sinyali sürücü için, önündeki göstergede çıkacak bir mesaj şekline dönüştürmektedir.

Trendeki diğer araçlardan gelecek hata bilgileri, ilk araca ya da ana bilgisayara iletişim yoluyla gönderilmektedir. Bu sistem sürücüye yalnızca hangi hatanın meydana geldiğini değil, aynı zamanda aracın hangi ünitesinde olduğunu da bildirir.

Önceden programlanan her hata tipi bir numara ile bağlantılıdır. Arıza olduğunda numara ile hatalar göstergede belirlenmekte ve en son oluşan arızaların yüz adedi hafızasında saklanmaktadır.

3.4.3 DC Motorların Çalışması

Motorun uyarma alan devreleri, sürücünün arzu ettiği hız seviyesine göre, bilgisayardan kontrol edilerek, istenilen maksimum akımla beslenir.

Alan akımı, motorda magnetik alan oluşturur. Bu alan, armatür akımı ile birlikte, motorda bir mekanik moment oluşturur. Bu moment dişliye ve oradan tekerlek dingiline iletilerek aracın hızlanmasına neden olur.

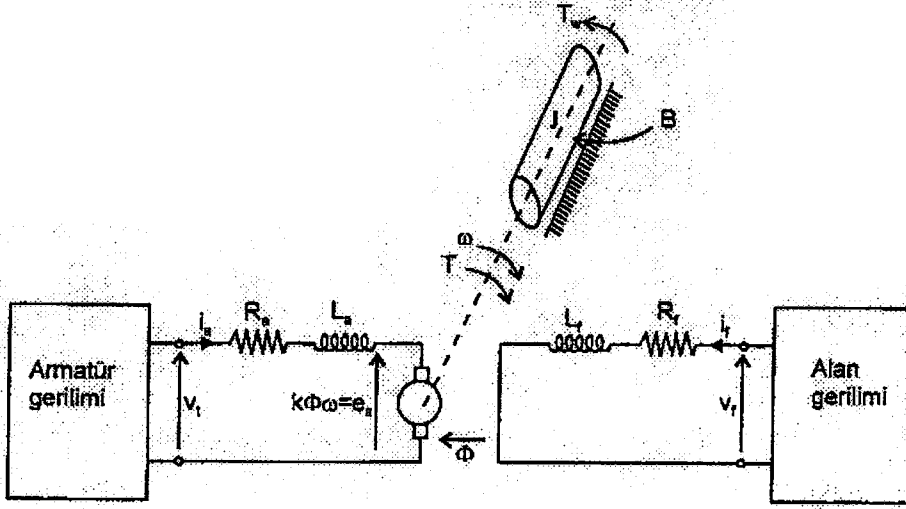
Hız arttığı zaman, motordaki gerilim hızla birlikte artar. Kıyıcıların çıkış gerilimi de aynı oranda artar.

3.4.3.1 Serbest Uyarımlı DC Motorların Teorik Olarak İncelenmesi

Bir sanayi kuruluşunda normal güç kaynağı 50 Hz alternatif akımdır. Asenkron ve senkron motorlar, aslında sabit hız tahriği sağlayan klasik kontrol malzemelerinden oluşan bir kaynaktan beslenebilirler. Değişken hız tahriği elde etmenin bir yolu da AC gücünü DC'ye çevirmektir. Böylece DC makinanın kolay kontrol edilebilme avantajı kullanılmış olacaktır. Eğer uygun potansiyel farkındaki bir DC güç kaynağı daha önceden mevcut ise DC'den DC'ye çevirici veya kıyıcı ile kontrol edilebilir ve bu yolla tahrik edilen bir DC makinadan değişken hız tahriği sağlanabilir. Elektrik taşıma sistemlerinde DC'nin yaygın olmasından dolayı kıyıcılar bu alanda geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır. (Kasapoğlu, 1989)

Ulaşım sistemlerinde en uygun kontrol, endüvi ve alan devrelerinin ayrı bir kaynaktan beslendiği serbest uyarımlı DC motorlar vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu motorların kullanılması sonucu ideal karakteristiklere yakın hız-moment karakteristikleri elde edilmektedir. Giriş kaynağı için bir kontrollü redresör veya kıyıcı gereklidir. Eğer alan akımı kontrol ediliyorsa alan devresi için benzer bir kontrol devresi oluşturulmalıdır.

Dönüştürücüleri de içeren tahrik sistemlerinde kullanılan şönt veya serbest uyarımlı motorlar belirli dizayn özelliklerine sahiptirler. Kumanda değişimlerine çabuk cevap vermesi gereken sistemlerde, mekanik ataleti azaltmak için rotorun çapça büyük olması istenir. Eğer yüksek tepe momentleri gerekiyorsa motorlarda kompanzasyon sargıları bulunmalıdır. Bu sargılar endüvi devresinin zaman sabitini küçültmektedir. Yani endüvi akımının düzgünlüğünün azalması gibi karşı bir etkiye sahiptir. (Demir, 1990)



Şekil 3.10 Serbest uyarımlı motor ve mekanik sistem modeli

Burada;

V_a : Armatür Gerilimi

I_a : Armatür Akımı

R_a : Armatür Direnci

L_a : Armatür Endüktansı

e_a : Zıt emk kuvveti

V_f : Uyarma alan gerilimi

I_f : Uyarma alan akımı

Φ_f : Alan akısı

K : Motorun fiziksel

özelliklerine bağlı sabit

J : Motorun ve yükün toplam atalet momenti

ω : Dönme açısal frekansı

T_w : Mekanik moment

T_L : Elektriki moment

n : Motorun devir sayısı

B : Sürtünme katsayısı

R_f ... : Uyarma alan sargısı direnci

L_f ... : Uyarma alan sargısı endüktansı

Yarıiletken elemanlardan oluşan çeviricilerden sağlanan doğru gerilim ve akımlarının nominal çalışma bölgelerinin çok üzerinde harmonik bileşene sahip olmalarından dolayı, motor bu harmonikli akıma toleranslı şekilde dizayn edilmelidir. Harmonikli DC, aynı momenti oluşturmak için gerekli olan düzgün DC'den daha yüksek rms değere sahiptir ve dolayısıyla aşırı ısınmayı önlemek için iletken kesitini arttırmalıdır. Fuko akımlarının yardımcı kutup akısı üzerindeki söndürme etkisinden dolayı stator yapısı ince tabakalardan oluşturulmalıdır.

Şekil 3.10 Serbest uyarımlı motorun eşdeğer devresini ve genel bir mekanik sistemin modelini göstermektedir. Bu mekanik sistem, motorun ve ona bağlı mekanizmanın mekanik parametrelerini içermektedir.

Seçilen herhangi bir alan akımı için, motorun gidiş değişkenlerini ifade eden eşitlikler aşağıda verilmiştir:

$$\Phi_f = K i_f \quad (3.1)$$

$$v_f = R_f i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad V \quad (3.2)$$

$$v_t = k \phi \omega + L_a \frac{di_a}{dt} + R_a i_a \quad V \quad (3.3)$$

$$T = k \phi i_a = J \frac{d\omega}{dt} + B \omega + T_w \quad N.m \quad (3.4)$$

Burada T hava boşluğu veya dahili momenttir. Sürekli rejim çalışma için bu eşitliklerde zamana göre türev sıfırdır. Böylece:

$$v_f = R_f i_f \quad V \quad (3.5)$$

$$v_t = k \phi \omega + R_a i_a \quad V \quad (3.6)$$

$$T = k \phi i_a = B \omega + T_w \quad N.m \quad (3.7)$$

(3.1) ve (3.7) eşitlikleri, momentin armatür akımına ve de uyarma alanı akımına bağlı olduğunu göstermektedir. Bu iki büyüklük, birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilir.

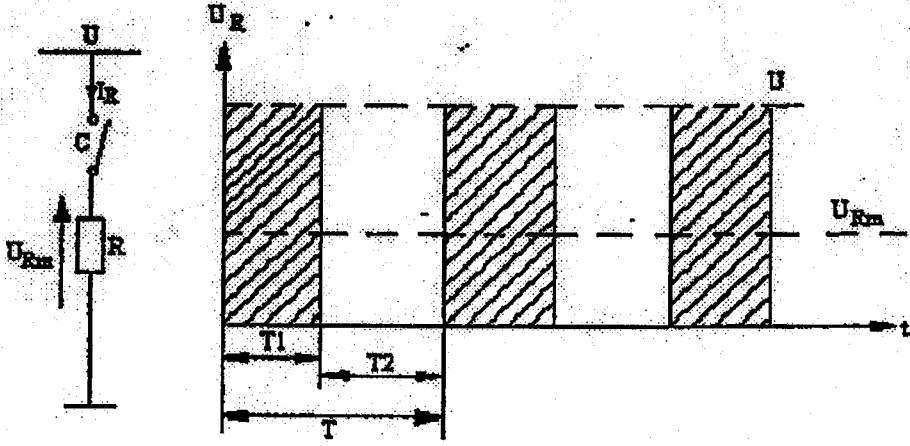
Armatür akımının sabit kaldığını varsayarsak , armatür geriliminin değişimi, hızı değiştirecek fakat üretilen momenti sabit tutacaktır.

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

3.4.4 Motor Kırıycılarının İncelenmesi

DC-DC konvertörün (kıyıcı) temeli yüke istenen akımı ve yük üzerinde düşecek gerilim U_R 'yi esas olacak şekilde ortalama bir güç vermektedir. Enerji depolamak için bir L endüktansı

konularak enerji uygulandığında, enerji bobinde depolanır ve hat ile bağlantı kesildiğinde üzerindeki enerji yüke aktarılır. Böylelikle endüktans yüke devamlı bir akım vermiş olur. Şekil 3.11’de rezistif yüklü DC-DC konvertör uygulaması görülmektedir.



Şekil 3.11 Rezistif yüklü DC-DC konvertör

Bağlı bulunan yük; bir direnç, motorun alan sargıları veya endüvi sargıları olabilir. Bir DC-DC konvertör sürekli olarak açma kapama yapan bir kontak ile karşılaştırılabilir.

Yukarıdaki devrede, periyot süresi;

$$T = T_1 + T_2 \quad (3.8)$$

Frekans;

$$F = 1 / T \quad (3.9)$$

T_1 = Kontakın kapalı kalma süresi

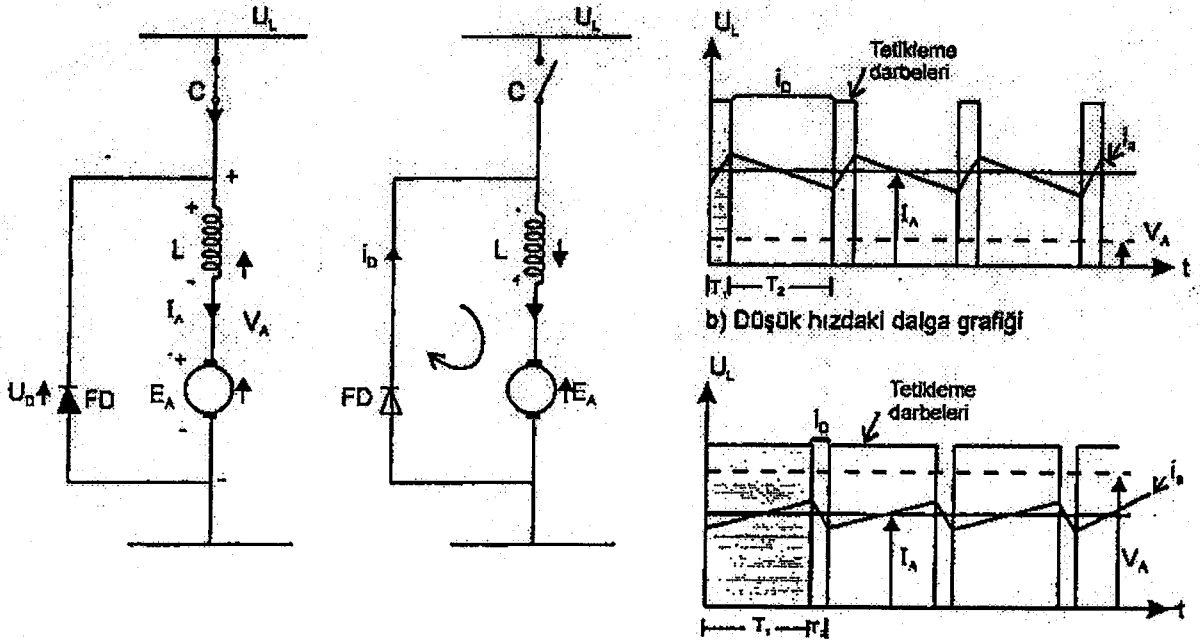
T_2 = Kontakın açık kalma süresi

$$U_{RM} = U \cdot \frac{T_1}{T_1 + T_2} = U \cdot f \cdot T_1 \quad (3.10)$$

Frekansı değiştirerek veya T_1 darbe genişliğini değiştirerek U_{RM} voltajı ayarlanabilir. Saf rezistif yüklerde akım gerilimi izleyecektir. Burada U_{RM} : Yük üzerinde düşen ortalama gerilimi gösterir.

Yukarıdaki eşitliğe göre frekans değiştirilerek veya T_1 darbe genişliği ayarlanarak U_{RM} , gerilimi ayarlanabilir.

Şekil 3.12'de endüktif yük uygulaması görülmektedir.



Şekil 3.12 Endüktif yüklü DC-DC konvertör

Yukarıdaki devrede;

U_L : Hat gerilimi

I_D : Serbest geçiş diyodu akımı

C : GTO

P : Ortalama güç

FD : Serbest geçiş diyodu

I_M : Ortalama hat akımı

V_A : Motor gerilimi

I_A : Armatür akımı

E_A : Armatür hız gerilimi

U_D : Serbest geçiş diyodu uçlarındaki gerilim

dır.

Endüktif tipi devrelerde şekilde de görüldüğü gibi endüktörün yükünü boşaltmak için bir diyot eklenmelidir. Şekilde bu diyot, FD serbest döngü diyodudur. Kaynaktan çekilen güçle, kullanılan güç eşittir. Bir DC/DC kıyıcı transformatörde olduğu gibi hem akımı hem gerilimi değiştirir.

Gerilimin ortalama değeri şu üç yöntemden birisiyle ayarlanabilir:

- 1- Darbe frekansı $f_p=1/T$ sabit 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)

Düşük hızda, ortalama motor gerilimi V_A ve tetikleme periyodu küçük tutulur. Ortalama I_A akımı moment tarafından belirlenir. Motor gerilim T_1 periyodu süresince: (U_L-E_A) gerilimi (R_a-I_a) endüvi devresine uygulanır ve endüvi akımı eksponansiyel 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 küçük olmalıdır ve E_A gerilimi hat gerilim değerine yaklaştırılarak motor hızı artırılır. Buradan çıkarılan eşitlikler aşağıda belirtilmiştir.

$$P = U_L \cdot I_m = E_A \cdot I_A \quad (3.11)$$

$$I_m = \frac{E_A}{U_L} \cdot I_A = \frac{T_1}{T} \cdot I_A = f \cdot T_1 \cdot I_A \quad (3.12)$$

$$I_A = \frac{I_m}{f \cdot T_1} \quad (3.13)$$

$$E_A = U_L \cdot \frac{T_1}{T} = f \cdot T_1 \cdot I_A \quad (3.14)$$

$$P = f \cdot T_1 \cdot U_L \cdot I_A \quad (3.15)$$

$(f \cdot T_1)$ faktörü modülasyon seviyesi olarak adlandırılır. Değeri, DC/DC çevirici yük için bir gerilim artışı verdiği zaman, 0'dan 1'e kadar değişir.

İvmelenme süresince armatür voltajı, armatür ve alan sargı akımları sabit tutularak sabit yapılabilir. Güç tüketimi hız ile lineer olarak artar.

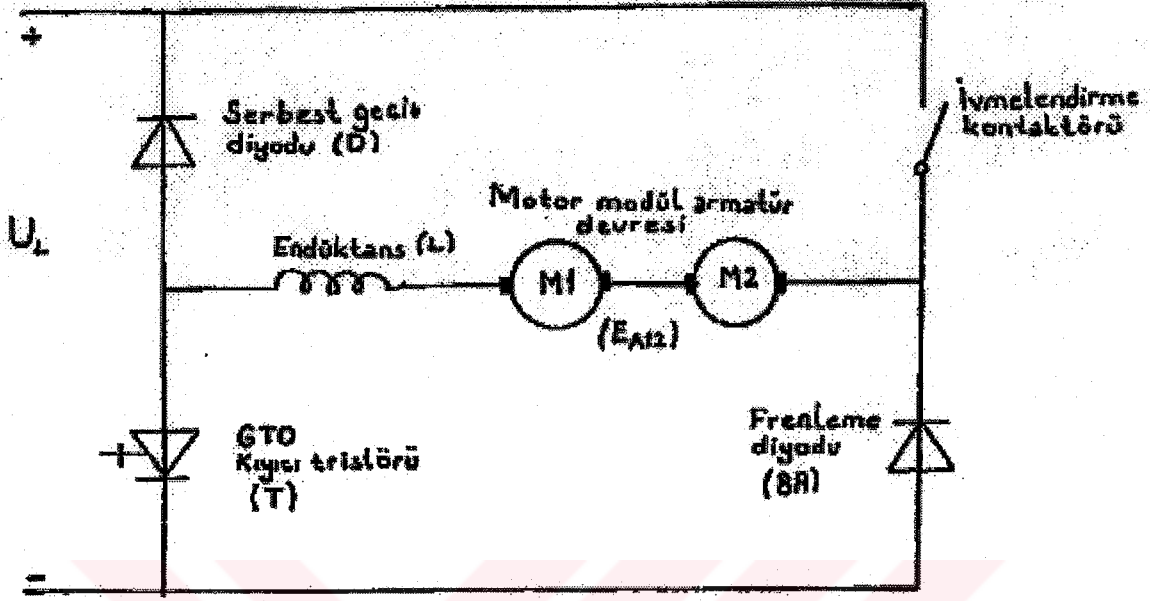
3.4.5 DC Motorun Armatür Devresini Besleyen Kıyıcıların Kontrol Prensipleri

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

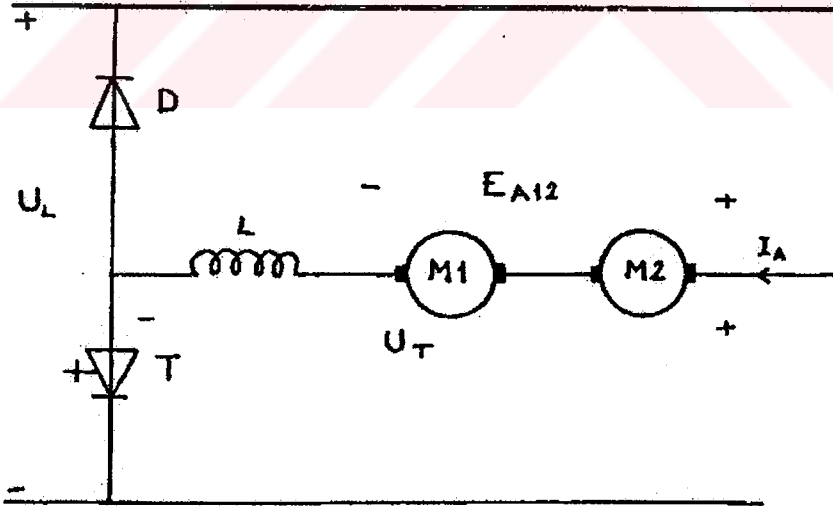
beslenmektedir.

3.4.5.1 Aracın İvmelenme Konumunda Kıyıcı Ünitesinin Çalışma Prensibi

Güç modu için basit bir kıyıcı devresi Şekil 3.13'te gösterilmektedir.



Şekil 3.13 Motor modülünün ivmelenme ve frenleme devresi

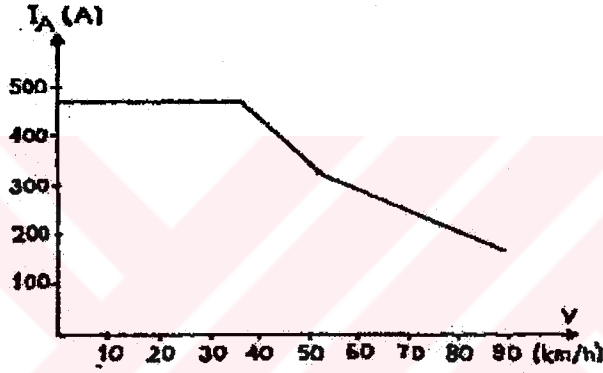


Şekil 3.14 İvmelenme konumundaki basit kıyıcı devresi

U_L hat gerilimi olup, ünitenin giriş tarafına uygulanan gerilimdir. Kıyıcının çıkış gerilimi U_T gerilimidir. U_T geriliminin motorda, bir DC bileşeni ve L bobininden dolayı bir AC bileşen gerilimi mevcuttur.

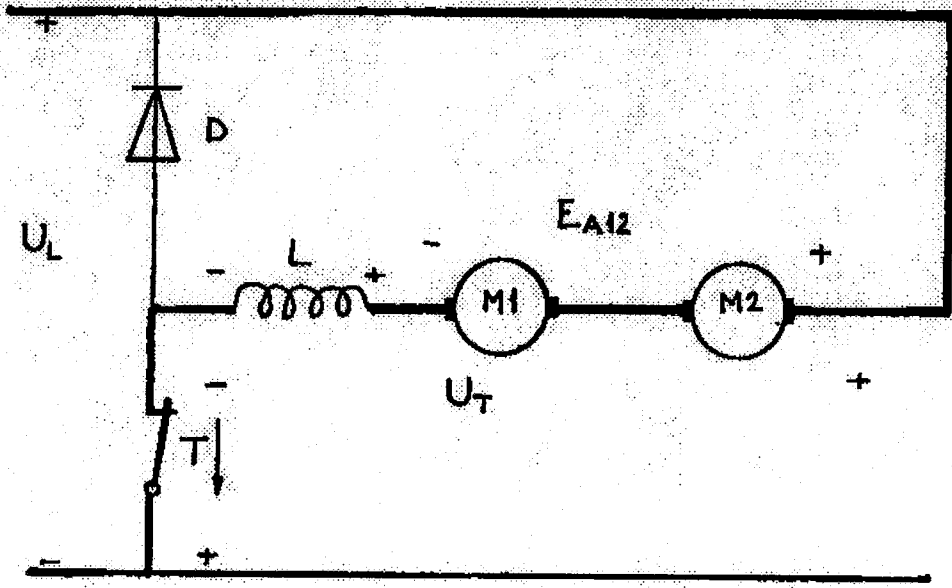
Motorun armatür devresine, kıyıcı tarafından oluşturulan sert darbeleri filtre etmek için, bir L bobini seri bağlanmıştır. Kıyıcı ünitesi, GTO tristörü T'nin iletim ve tıkama durumlarının, ortalama saniyede birkaç yüz devirle değişmelerine izin vererek çalışır. Motor durduğu zaman, sıfır hızda indüklenmiş E_A gerilimi sıfırdır. Bu sebepten dolayı kıyıcı, motoru sadece ($R.I_A$) gerilim düşümünü karşılayabilecek kadar ufak bir gerilimle beslenmelidir. Motordaki armatür akımı ve magnetik akı tarafından oluşturulan moment, aracın ivmelenmesini sağlayacaktır (Şekil 3.15). Bu nedenle motorun hızı (n) ve E_A gerilimi artacaktır.

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



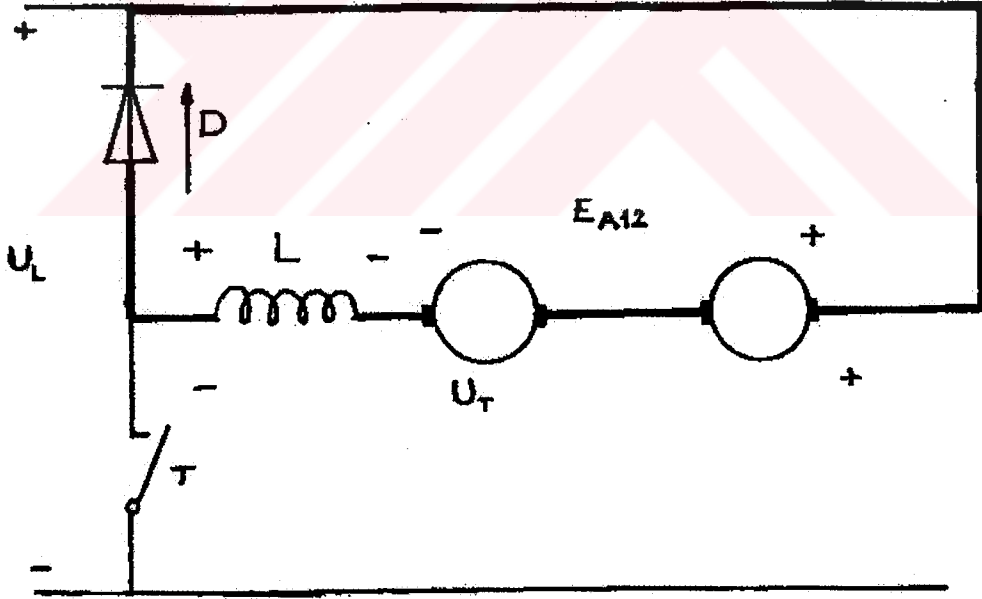
Şekil 3.15 Güç durumundaki armatür akımı ile hız arasındaki grafik

Şekil 3.16 kıyıcı devresinin ivmelendirme durumunu göstermektedir. Kalın çizgiler, GTO tristörü iletime geçtiği andaki akım yolunu gösterir.



Şekil 3.16 İvmelendirme durumundaki akım yolu

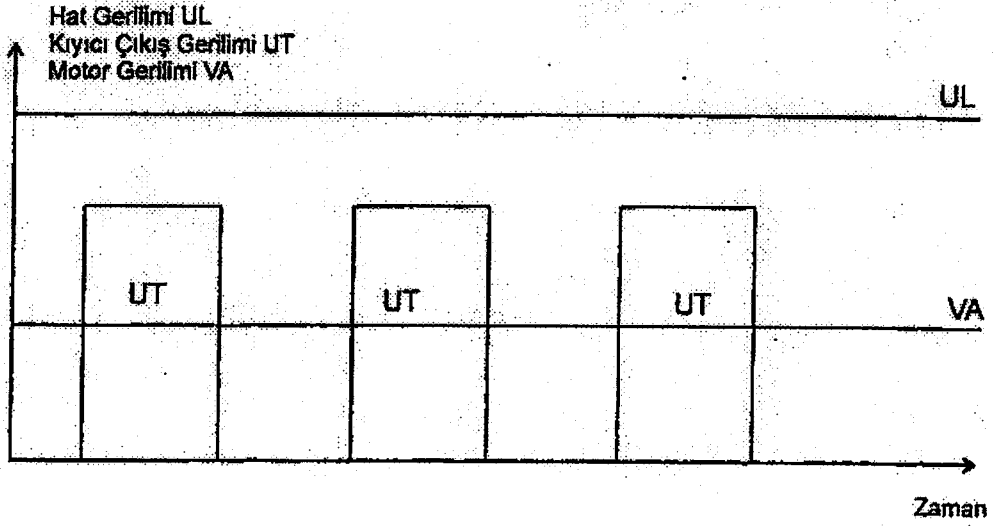
GTO, iletme çok kısa süre için geçirilir ve sonra yeniden tıkamaya sokulur. GTO tıkamaya girdiğinde, Şekil 3.17'deki akım yolunu izler.



Şekil 3.17 Frenleme durumundaki akı yolu

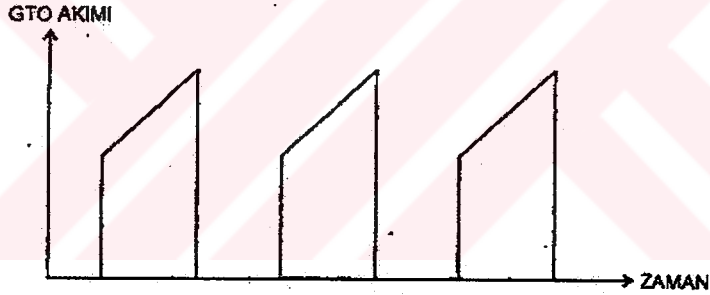
GTO tıkamaya girdiği zaman, akım, yolunu serbest geçiş diyodu üzerinden tamamlar. Akım, GTO tıkamaya girdiği zaman hemen sıfırlanmaz, çünkü büyük miktarda enerji bobinde depolanmıştır. Bu nedenle, akım, yolunu serbest geçiş diyodu üzerinden tamamlar. Bu bir nevi armatür akımının filtre edilmesidir. İvmelenme modundaki önemli gerilim grafikleri

Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



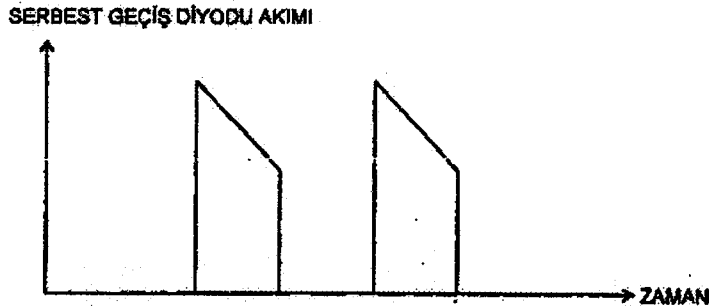
Şekil 3.18 Kırıcı çıkış gerilimi, hat gerilimi, motor geriliminin zamanla değişimi

GTO iletime geçirildiği zaman, motor armatür devresindeki akım yükselecek ve GTO'daki akım Şekil 3.19'deki gibi olacaktır.



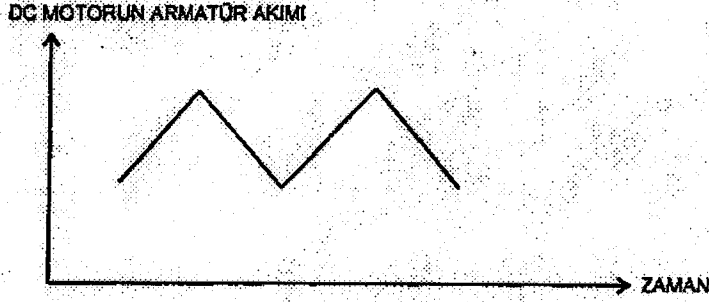
Şekil 3.19 GTO'dan geçen akımın zamanla değişimi

GTO tıkamaya sokulduğu zaman, motor armatür devresindeki akım düşecek ve serbest geçiş diyodundaki akım Şekil 3.20'deki gibi olacaktır.



Şekil 3.20 Serbest geçiş diyodundan geçen akımın zamanla değişimi

Motor armatür devresindeki alam, GTO'dan geçen akımla serbest geçiş diyodundan geçen akımın toplamına eşit olup, Şekil 3.21'de gösterilmiştir.

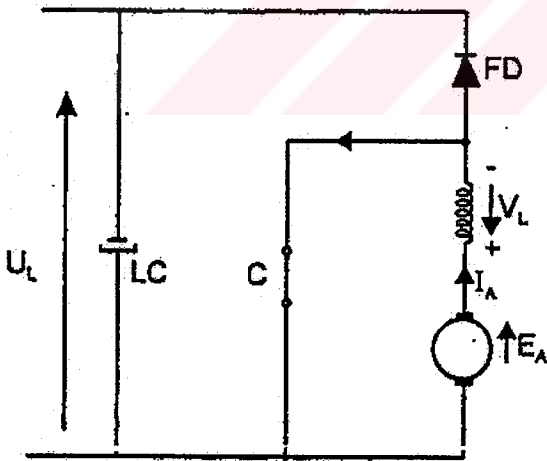


Şekil 3.21 Tahrik motorunun armatür akımının zamanla değişim grafiği

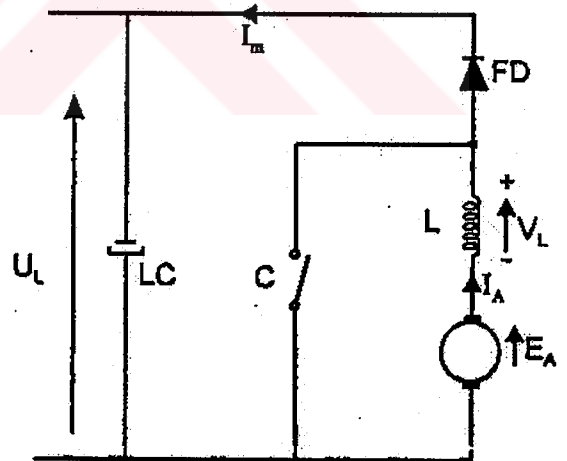
3.4.5.2 Aracın Frenleme Konumunda DC Kıyıcıların Çalışma Prensibi

Kıyıcılar, frenlemede hat akımını kısa aralıklarla kıyarak, endüktans bobini üzerinden, motora uygularlar. Eğer E_A endüvi gerilimi, U_L hat geriliminden küçükse motor akımı hattı beslemeye başlar.

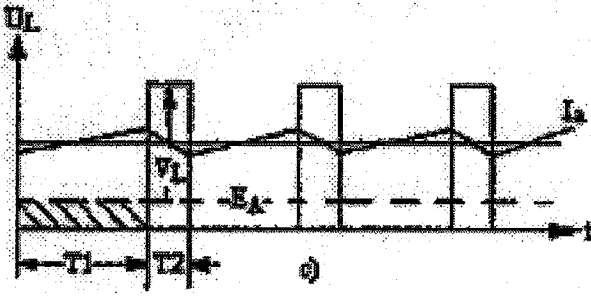
Şekil 3.22 (a), (b), (c), (d)'de frenleme devreleri ve gerilim-akımın zamana bağlı olarak değişim grafikleri verilmiştir.



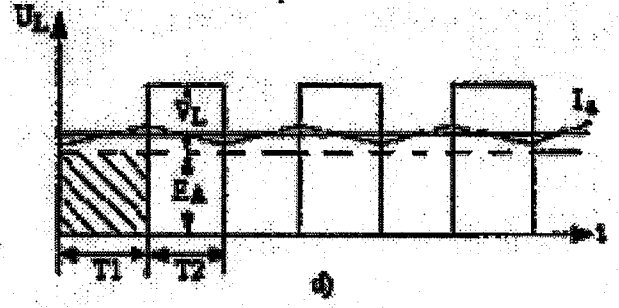
(a) C kontağı kapalıyken I_A şarj akımı



(b) C kontağı açıkken I_m rejeneratif akım



(c) Düşük hızda dalga grafiği



(d) Yüksek hızda dalga grafiği

Şekil 3. 22 (a),(b),(c),(d) Frenleme süresince DC/DC kısıyıcının çalışma düzeni ve akım gerilim grafiği

Buradaki büyüklükler:

I_M : Ortalama hat akımı

V_L : Endüktans gerilimi

T_1 : Şarj süresi

T_2 : Rejeneratif süresi

T : Periyot

f : Frekans

P_L : Kaynak gücü

C kontağı kapalı olduğu zaman motorun endüktansında 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.

Buradan çıkarılacak eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$I_M = \frac{T_2}{T_1 + T_2} I_A = (1 - f T_1) I_A \quad (3.16)$$

$$E_A = \frac{T_2}{T_1 + T_2} U_L = (1 - f T_1) U_L \quad (3.17)$$

$$P_L = U_L I_L = E_A I_A \quad (3.18)$$

$$\frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{T_2}{T} = \frac{T - T_1}{T} = 1 - f T_1 \quad (3.19)$$

Yukarıdaki denklemler motor akımı ile besleme akımı arasındaki ilişkiyi(3.16), motor gerilimi ile hat gerilimi arasındaki ilişkiyi(3.17) ve motorun giriş gücü ile besleme gücü arasındaki bağlantıyı (3.18) göstermektedir.

Frenlemede konvertör motor gerilimini daha yüksek besleme gerilimine çeviren bir transformatör gibi davranırken, ivmelendirme pozisyonunda daha yüksek besleme gerilimini daha düşük motor gerilimine çeviren transformatör gibi davranır. Dönüştürme oranı $1-f.T_1$ ile hesaplanır.

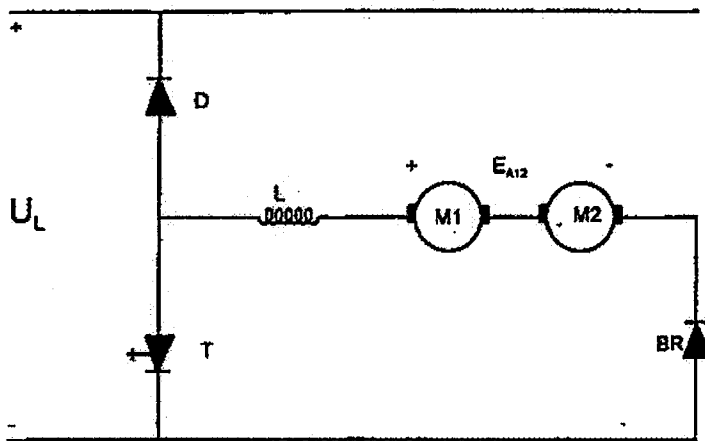
Frenleme periyodu süresince motor gerilimi, hız ile azalır. Bu $(f.T_1)$ modülasyon seviyesini arttırmakla dengelendirilir. Bu seviyenin değeri %0 ile %95 değerleri arasında değişebilir. Böylelikle düşük hızlarda da elektrikli fren yapmak mümkün olur.

Fren modunda kıyıcı devresi Şekil 3.23'deki gibi olur.

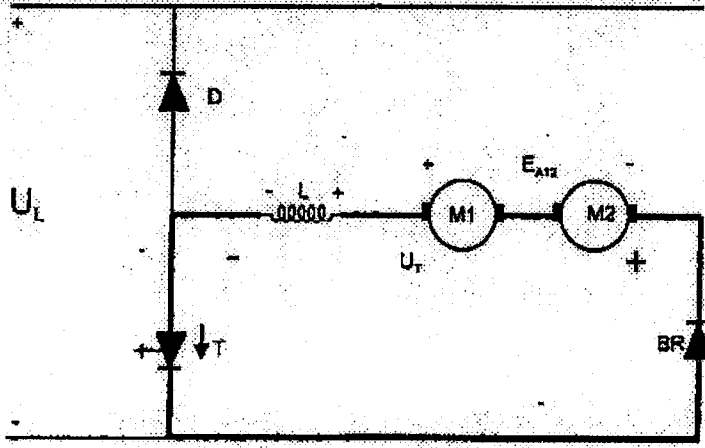
Elektrodinamik frenlemedeki kıyıcı devrenin çalışma prensibi ivmelendirme modundaki çalışma prensibi ile aynıdır. Frenleme modunun ivmelendirme modundan farkı, motor geriliminin polaritesinin ters olmasıdır.

Motor yüksek devirde çakışırken uyarma alanına akım verildiğinde, motorun E_A gerilimi birkaç yüz volt 'a ulaşır ve GTO bobinle motora bağlanır.

GTO iletime geçtiği an endüvi akımı ivmelendirme durumundaki gibi artacaktır. Şekil 3.24'de frenleme konumunda endüvi akımının izlediği yol kalın çizgilerle ifade edilmiştir.



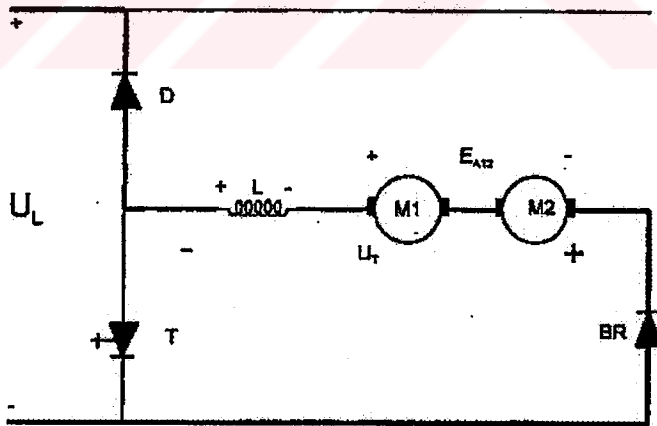
Şekil 3.23 Fren modunda kıyıcı devresi



Şekil 3.24 Kıyıcının frenlemede izlediği akım yolu

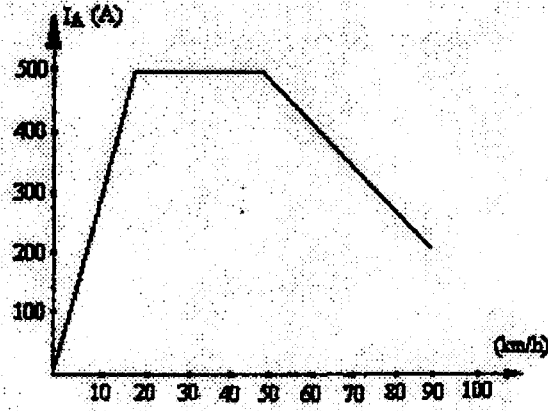
GTO tıkamaya girdiğinde endüvi akımı belirli bir oranda düşecek ve yolunu Şekil 3.25'de gösterildiği gibi tamamlayacaktır.

Akım, yolunu serbest geçiş diyodu üzerinden tamamlar. Bunun sebebi de endüktif bobinde ivme durumunda iken büyük miktarda enerji depolanmış olmasıdır. Endüktif bobinde endüklenen bu gerilim geri besleme gerilimi olarak hatta geri verilir. Kıyıcı, istenilen hız konumuna göre, motor için gerekli akımı, belirli periyottaki darbeleri uygulayarak sağlar.



Şekil 3.25 GTO Tıkamaya girdiğinde akım yolu

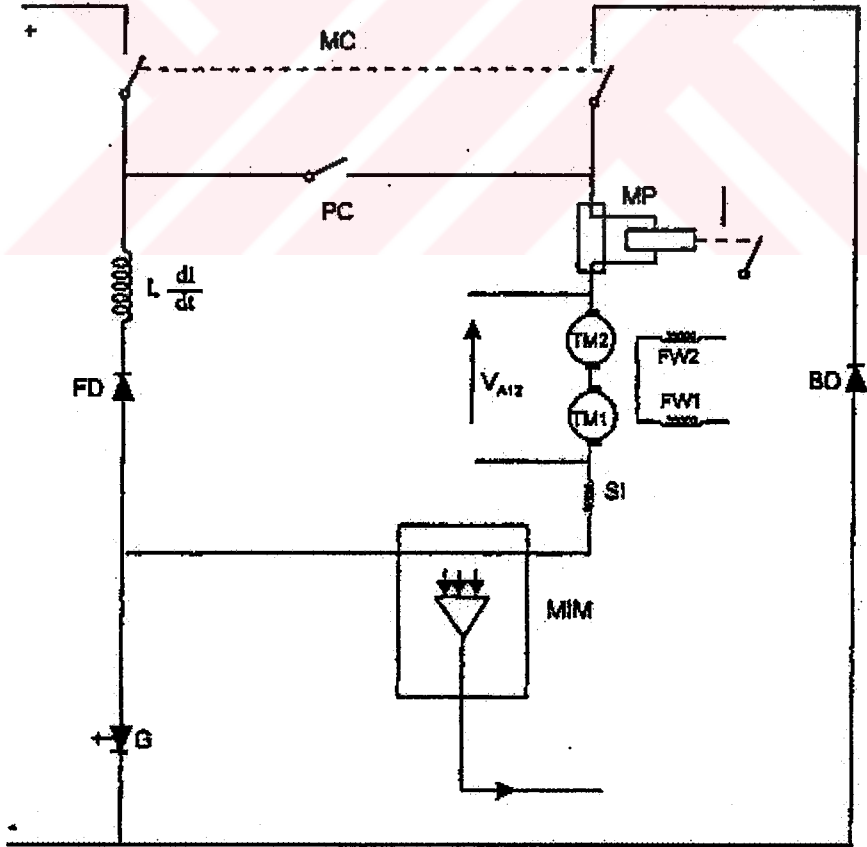
Frenlemede, aracın hızıyla birlikte motor gerilimi de düşecektir. İstenilen motor akımını devam ettirebilmek için kıyıcı darbe genişliği motor gerilimi (E_A) sıfır olana kadar artırılır. Pratik durumda endüvi akımı saatte 2-5 km hızlarda sıfıra düşer ve elektrodinamik fren mekanik sürtünme freni ile yer değiştirir.(Şekil 3.26)



Şekil 3.26 Frenlemede armatür akımı ile hız arasındaki grafik

3.4.5.3 Armatür Kırıcısının, Akım ve Gerilim Ölçüm Devreleri ve Bobinleri

DC/DC konvertör ünitesi yarı iletken devreler dışında, kontaktörler, akım ve gerilim ölçme devreleri ve endüktans bobinlerini de içermektedir. Konvertör devresi Şekil 3.27’de verilmiştir.



Şekil 3.27 DC/DC Konvertör

G	Main thyristor (GTO)	Ana tristör (GTO)
FD	Free-wheeling diode	Serbest döngü diyodu
L _d /dt	Inductor	Endüktans
SI	Smoothing inductor	Süzme endüktansı
MIM	Motor Current measurement	Motor Akım Ölçer
MP	Motor Protection with current shunt	Motor Koruma Şöntü
U _{TM12}	Traction Motor voltage measurement	Cer motor voltaj ölçer.
PC	Motoring Contactor.	Motoring Kontaktör
MC	Module Contactor	Modül Kontaktör
TM1	Traction Motor 1	Cer Motoru 1
TM2	Traction Motor 2	Cer Motoru 2
V _{A12}	Voltage	Tahrik Motoru Voltajı

İvmelendirme boyunca motor kontaktörü PC ile modül kontaktörü MC kapalıdır. GTO tristörü iletime geçtiğinde hattın güç çekilir. Motor 1 ve motor 2'den akım geçer. GTO kesime girdiğinden motorlar üzerindeki akım FD serbest geçiş diyodundan akar. Bu sırada akan akım azalır. Motor akımı GTO 'nün iletime geçme sürelerinin değiştirilmesi ile kontrol edilmektedir. Akımın iyi kontrol edilebilmesi için ölçülmesi gerekir. Bu ölçme işlemini ise şekildeki MIM (Motor Akımı Ölçer) ünitesi ile yapılır. Bu LEM ünite olarak adlandırılır. Bu devrenin çıkış işareti ana devre ile arasına galvanik yalıtım yapılarak sağlanmıştır I_{TM12} değeri tahrik bilgisayarına verilmektedir.

Araç bilgisayarı motor akımını kontrol eder. Eğer akım daha önceden ayarlanan değeri aşar ise (yaklaşık 660 amper) GTO' nün iletim süresini değiştirerek akım daha önceden ayarlanan yaklaşık 470 ampere düşünceye kadar bu işe devam eder. Bu olay eğer 7 defa olur ise kıyıcılar bloke edilir, arıza verir. Eğer akım yaklaşık olarak 730 amperin üzerinde çıkar ise kıyıcılar hemen bloke edilir ve arıza ihbar edilir.

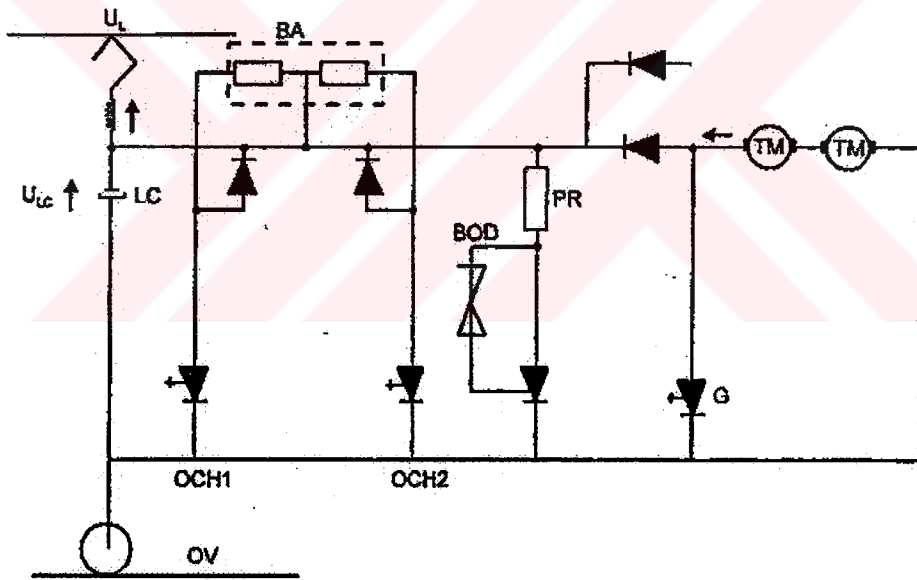
Her araçta birbirinin aynı iki adet DC/DC konvertör kullanılmaktadır. Bunların besleme hatları farklı olup, kontrol devreleri 180° lik faz farkı ile senkronize çalışırlar. Motoru korumak için ayrıca röleli bir şönt koruma ünitesi MP ilave edilmiştir. Bu ünite akım yaklaşık 900 Amperi geçince devreye girer ve ADK (Ana Devre Kesici) devreyi açar. MIM, Motor Akım Ölçer arızalanır veya motorlarından birinde bir topraklama hatası olursa motoru korumak için gereklidir. Bu durumda motor akım ölçer aşırı akım ihbarında bulunmaz ise bile bu ünite motora korur ve arıza ihbarında bulunur.

Frenleme suresince, motor kontakları PC açıktır. Motorun E_A 'nın yönü değiştirilerek (alan akım yönü değiştirilerek) ivmelendirme durumunda 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. Motor kontaktörü MC, bir motor modülünü kaynaktan ayırmak için kullanılır. Bu durum olduğu zaman, motor modülünün alan çeviricisine ihtiyaç duyulmaz. Bu durum, alan çeviricisine, bilgisayar tarafından bağlantısının kesilmesine dair, gönderilen işarette sağlanır.

3.4.6 Frenleme Devresi

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 mümkündür.

Eğer üretilen bütün güç hatta verilmez ise hat kapasitörlerindeki gerilim U_{LC} yükselecektir. Araç bilgisayarı bunun üzerine aşırı voltaj kısıyıcılarını devreye sokar ve üretilen güç frenleme rezistörleri BR (ısı şeklinde) harcanır. (Şekil 3.28)



Şekil 3.28 Frenleme esnasında hat kapasitesinin geriliminin yükselmesi üzerine aktif hale getirilen yüksek gerilim kısıyıcısı

Burada;

LC.....: Hat kapasitesi

BOD...: Frenleme diyodu

ULC....: Hat kapasitesinin geçiş gerilimi

PR.....: Yüksek gerilime karşı koruyucu direnç

UL: Hat gerilimi

G : GTO

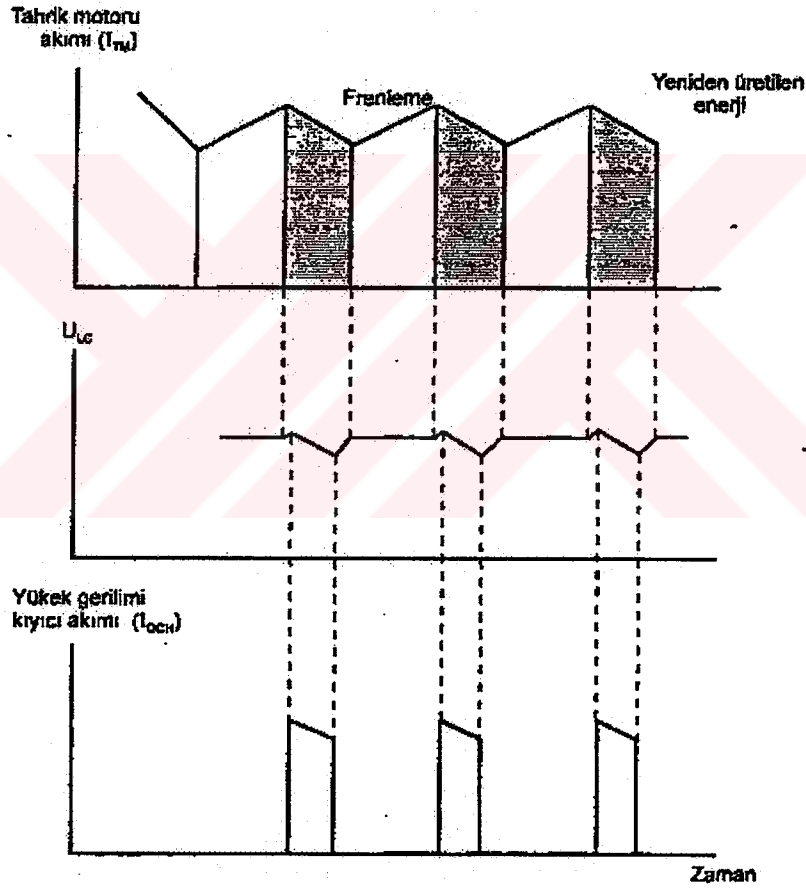
BR..... : Frenleme direnci

TM..... : Tahrik motoru

OCH1, OCH2 : Yüksek gerilim kıyıcısı fazları

dır.

Aşırı gerilim kıyıcısı her biri frenleme direncinin yarısını kullanan iki ayrı fazdan OCH₁-OCH₂ oluşmaktadır. Aşırı gerilim kıyıcıları motor kıyıcıları ile senkronize olarak çalışırlar. İlgili motor kıyıcı kesime gittikten sonra aşırı gerilim kıyıcı kısa bir süre ilettime geçer. Bunun sebebi hat kapasitörlerinde minimum dalgalanma (ripple) oluşmasına yol açmaktır. (Şekil 3.29)



Şekil 3.29 Yüksek gerilim kıyıcılarının akım ve gerilimleri

Aşırı gerilim kıyıcılarının yanlış olarak ilettime geçirilmesini önlemek için hızlanmadaki ilettime geçme seviyeleri frenlemedekinden daha yükseğe ayarlanmıştır. Bu seviye aynı zamanda hat akımının yönüne de bağlıdır. Araç katenerden güç çektiği zaman yüksek seviye, güç verildiği zaman ise alçak seviye pozisyonuna göre ayarlanmıştır.

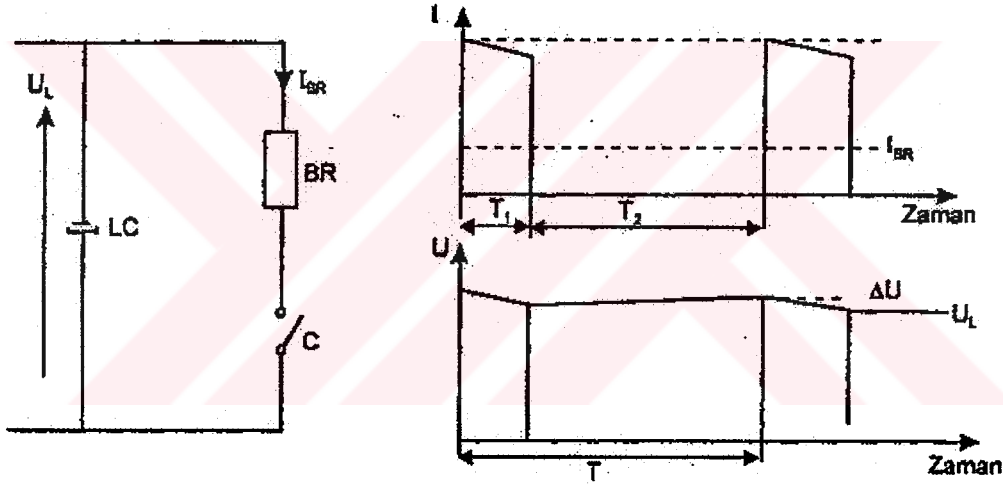
Ek koruyucu olarak, yüksek gerilim koruyucu dreni kullanılmıştır. Direnç BOD elemanı ile iletme geçirilen normal bir tristöre seri bağlıdır. Bu devre çalıştırıldığında araç bilgisayarına bilgi gönderilir. Ve motor kıyıcılar bloke edilerek ADK (Ana Devre Kesicisi) açılır.

BOD elemanı belirlenen gerilim belli bir seviyeyi (1100V DC) aştığı zaman tristörü tetikleyerek devreye sokar.

3.4.7 Aşırı Gerilim Kıyıcıları

Aşırı gerilim kıyıcıları, hat gerilimi çok fazla arttığında fren rezistörlerinin hat kapasitörlerine paralel bağlayarak onu deşarj etmeye çalışır.

Aşırı gerilim kıyıcıları, frenleme anında hatta verilemeyen aşırı gerilim olduğu zaman devreye girer. Bazı durumlarda örneğin pantografin zıplamasından oluşan ani akımlarda da devreye girmektedir.



Şekil 3.30 Aşırı gerilim kıyıcısının çalışma prensibi, aktif ve pasif olduğu durumlardaki akım-gerilim grafikleri

LC	Line capacitor	Hat Kapasitörü
BR	Braking resistor	Fren Rezistörü
C	Contact	Kontaktör
I_{BR}	Braking Current	Frenleme Akımı

U_L belirlenen değeri aştığında C kontaktörü kapanır ve gerilim ΔU kadar azalıncaya kadar T_1 süresince kapalı kalır. Bu değer hattın akım alış kabiliyetine, motor akımına ve aracın hızına bağlı olduğu için tam anlamıyla hesaplanılmaz.

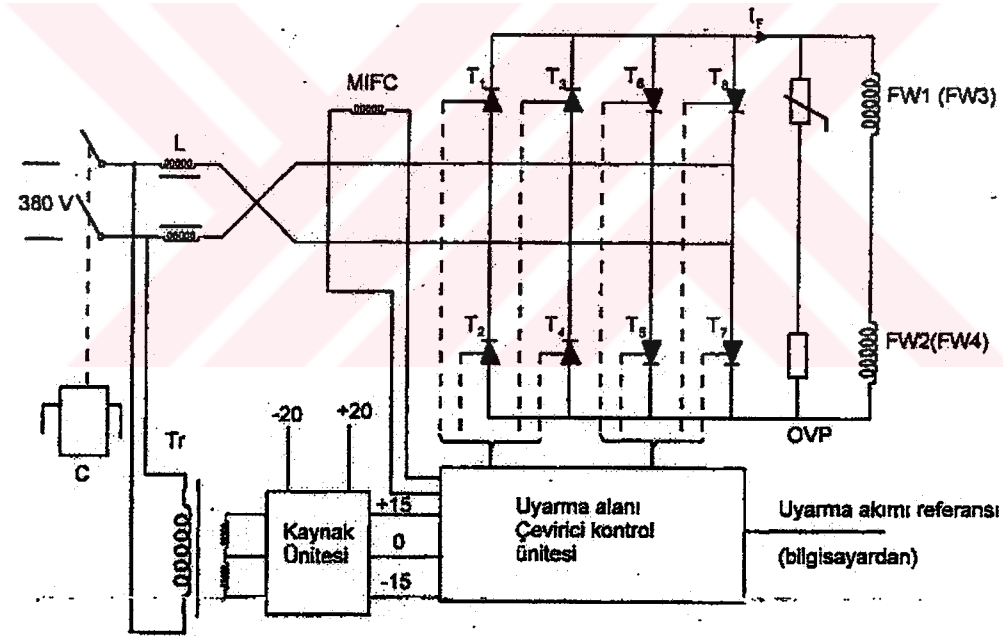
C kontaktörünün çalışma değeri frenlemede ve hızlanmada farklı değere ayarlanmıştır. Fren rezistöründeki gerilim içinden akan akımı izler. Çünkü seri yola endüktans bağlanmamıştır.

Fren rezistörlerinde harcanan güç normalde motorlar tarafından üretilen güce eşit veya ondan azdır. Fren rezistörlerindeki güç, hat kapasitörlerindeki güç belirlenen değerin altına düşünceye kadar aşın gerilim kırıyıcıları tarafından kontrol edilir. Bu da şunu gösterir ki; Fren rezistörlerinde başlangıçta maksimum güç harcanırken hızla beraber motor geriliminin azalması ile harcanan güçte azalır.

$$P_{TM} = U_A \cdot I_A > \frac{U_L^2}{R_{BR}} \cdot f \cdot T_1 \quad (3.20)$$

3.4.8 Alan Konvertörler

Bir alan konvertörü iki adet seri bağlanmış motorun alan akımlarını sağlar. (Şekil 31)



Şekil 3.31 Alan konvertörü

Burada,

FW: Tahrik motorlarının alan sargıları

EF: Alan Akımı

T.....: Tristör

Tr: Transformatör

L.....: Endüktans

OVP: Yüksek gerilim koruyucusu
 MBFC...: Alan akım ölçeri
 C: Alan doğrultucu kontaktörü
 dür.

Verileri:

Giriş gerilimi: Bir fazlı sinüs dalga Frekansı 50 Hz, 380 V AC

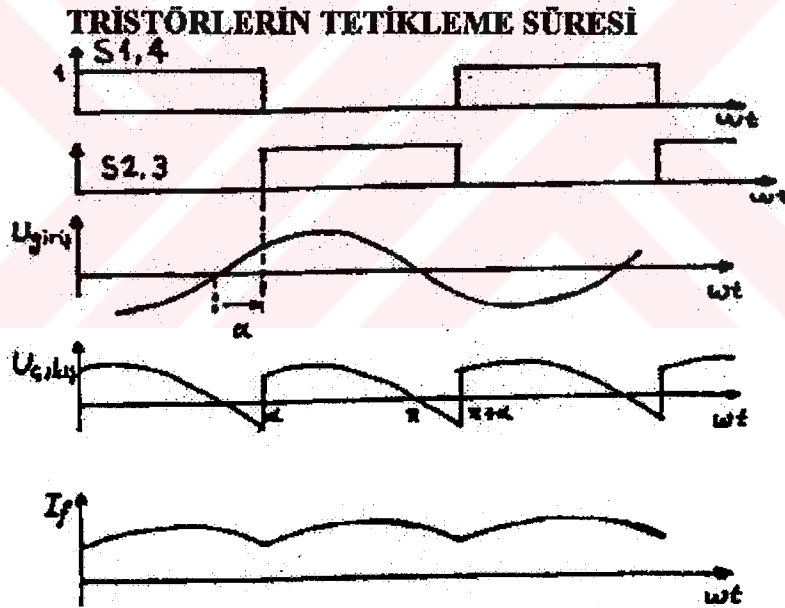
Yedek güç gerilimi: ± 24 V

Çıkış gerilimi maksimum...: ± 340 V

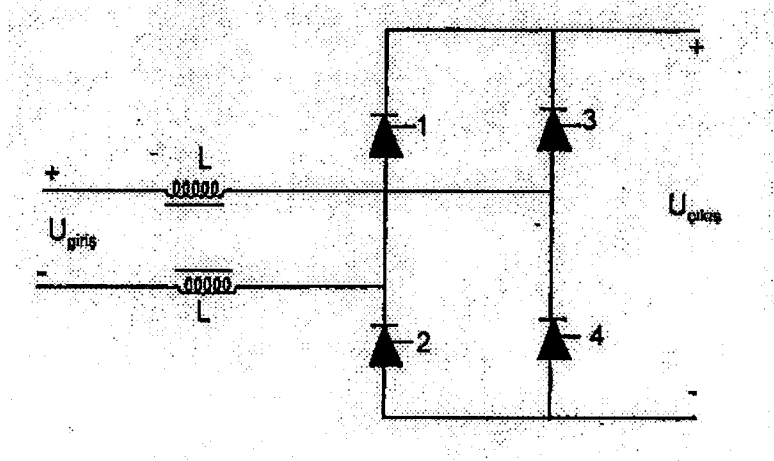
Çıkış kontrol akımı.....: ± 20 A

Çıkış akımı maksimum.....: ± 22 A

Akım ve gerilim dalga şekilleri ile uyarma akımı kontrol devresi Şekil 3.32 ve Şekil 3.33’de verilmiştir.



Şekil 3.32 Uyarma akımının kontrol grafiği



Şekil 3.33 Uyarma akımının kontrol devresi

Burada,

U_g: Sinüs dalga giriş gerilimidir.

$U_ç$: Doğrultulduktan sonraki çıkış gerilimi

I_f: Uyarma akımı

α: Tetikleme açısı

dır.

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

Ortalama çıkış gerilimi:

$$U_{\varphi} = \frac{1}{\Pi} \cdot \int_{\alpha}^{\alpha+\Pi} \sqrt{2} \cdot U_g \cdot \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{2\sqrt{2}}{\Pi} \cdot U_g \cdot \cos \alpha \quad (3.21)$$

3.4.9 Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Doğru Akım Kırıyıcı 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 dirençlere kaybolan enerjiden ekonomi sağlanır. Faydalı frenleme yapılamıyorsa, dirençle frenleme için genelde bir direnç gereklidir.
- Hat ve motor arasındaki 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 kırıyıcı 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 yapılabilirdi için, hareket süresince sarsıntı hissedilmez.
- Hızlanma ve yavaşlamanın kesintisiz olması ve elektriksel büyüklükleri kontrol eden elektronik kontrol sisteminin cevap hızının büyük olması nedeniyle motorlarda ve transmisyonda aşınma ve eskime daha az olur.(Kasapoğlu, 1984)



4. METRO SİSTEMİNİN İNCELENMESİ

4.1 Genel Tanıtım

Metro aracı genel olarak üç kısımdan meydana gelir.

- MC Araç : Sürücü kabinli, motorlu araç,
 M Araç : Sürücü kabinsiz, motorlu araç,
 T Araç : Sürücü kabinsiz, motorsuz araç (Taşıyıcı araç).

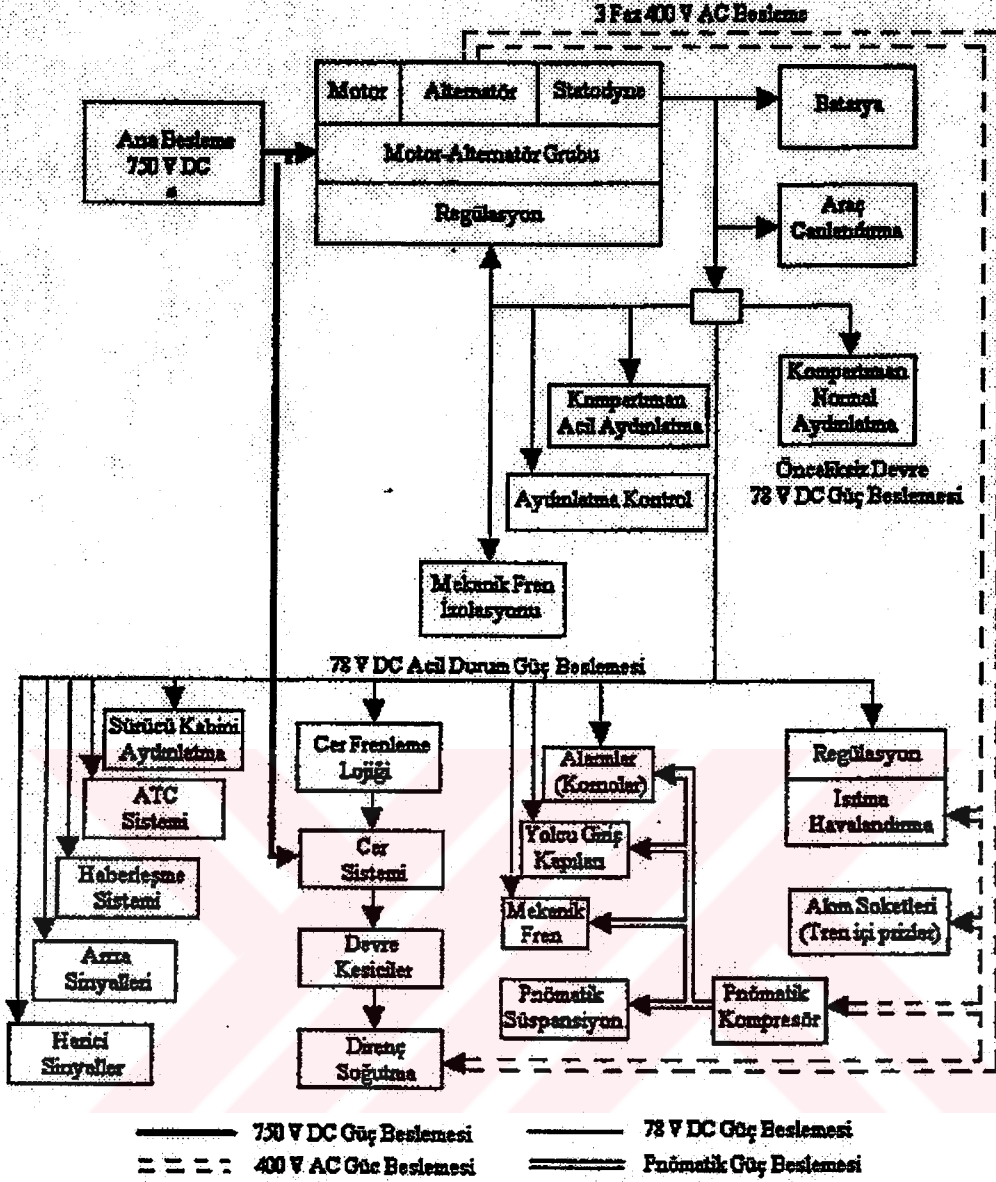
M ve MC isimli güç vagonları ikişer adet akupl edilmiş motor çiftinden oluşmuştur ve bunlara, üçüncü ray tarafından fırçalar yardımıyla 750 V DC uygulanır. Her bir akupl edilmiş motor çiftinde ikişer adet 375 V DC gerilim ile çalışan serbest uyarımlı motor mevcuttur.

Güç araçları ve vagonlar nominal batarya voltajı 72 V DC olan güç ile beslenir. Bu gerilim 50 V ile 90 V arasında değişmektedir. Güç ünitesi kartı A153 (± 15 V, +5 V) ve A243 (+80 V, ± 24 V) olarak isimlendirilirler.

Metro araçlarının elektriksel olarak besleme ünitelerinde şu kısımlar bulunmaktadır:

- 750 V yüksek gerilim beslemesi.
- Cer sistemi ve Motor-alternatör (MA) grubunun yüksek gerilim beslemesi,
- Orta gerilim dağıtımı (400 V AC, 3 faz besleme şebekelerine),
- 78 V DC batarya gerilimi,

Şekil 4.1’de metro araçlarının pnömatik ve elektriksel enerji dağıtım devresi verilmiştir.



Şekil 4.1 Elektrik ve pnömatik enerji dağıtım

Yüksek Gerilim kutusunda bulunan yüksek gerilim güç besleme şalteri(KPU), aracın canlandırılmasını sağlar. Aracın beslenmesi bogi üzerinde bulunan kollektör pabucunun 3. raya teması ile yada atölyedeki soketlerle (stinger) sağlanır.

Bu kaynaklardan biri, cer sistemini ve MA grubunu(Motor Alternatör Grubunu) nominal 435 A akım, 750 V DC gerilimle besler.

MA grubu; 400 V AC, 3 faz, 50 Hz frekanslı alternatif gerilim sağlar. Bu gerilim, 400 V AC 3 faz şebekesi vasıtasıyla aracın düzgün bir şekilde çalışması için, çeşitli yardımcı sistemlerine dağıtılır (orta gerilim dağıtım).

Statodyne; alçak gerilim devrelerinin beslenmesi (120 A'de) ve bundan ayrı olarak aktünün

şarjı (17 A'de) için gerekli olan 78 V DC gerilimi sağlar.

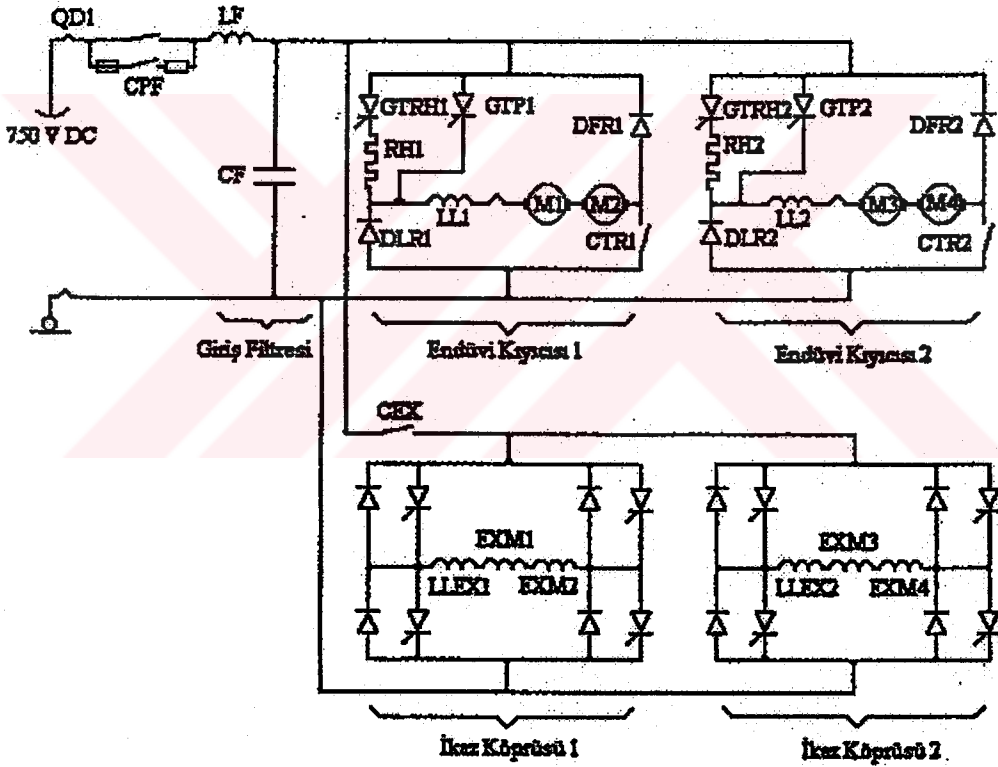
Akü; statodyne devrede değilken ve özellikle araç canlandırma esnasında kontrol devrelerine 78 V DC gerilim beslemesini sağlar.

Tüm şebeke, alçak gerilimi çeşitli kontrol ünitelerine, sinyallere, aydınlatma ünitelerine ve diğer ekipmanlara dağıtır (alçak gerilim dağıtımı).

Diğer taraftan, ekipmanların belli parçalarının mekanik fren kontrolü, kapılar ve süspansiyonlar gibi, pnömatik enerji ile çalışır.

4.2 Tahrik Sistemi

Tahrik ünitesinin genel devre diyagramı aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.2 Tahrik ünitesinin genel devresi

Her MC ve M aracında 2 adet motorlu bogi ve her bogide 2 adet 375 V luk DC motor vardır. Her bir bogideki motorlar birbirine seri olup her bir motor bir aksı sürer. Bir bogideki tahrik ve fren ekipmanı diğer bogidekine paraleldir. Enerji, kollektör pabuçları aracılığı ile 3. raydan alınır.

MC aracındaki ivmelenme kolundan gönderilen tahrik ve fren istekleri Demand Transmitter ve tren iletişim hatları aracılığı ile tüm araçlardaki tahrik ve fren ünitelerine gönderilir.

Tahrik ve fren ünitesi 3 temel kutudan oluşur:

- **CM** (Motor Kontrol kutusu), güç ve kontrol elektroniklerinden oluşur.
- **CB** (Bobin Kutusu), tahrik ekipmanının ana bobinlerini içerir.
- **CRh** (Fren Direnci Kutusu), her iki boginin fren dirençlerini ve onların soğutma fanlarını içerir.

Ayrıca MC araçlarında Demand transmitter vardır.

4.2.1 Akım/Voltaj Koruması ve Kontrol Elemanları

Yüksek Voltaj girişinde aşırı akım koruma ve ölçmesi aşağıdaki gibi yapılır:

- **FPU** Hat koruma sigortası. (kollektör pabucundan sonra gelir)
- **QDI** Akım fark rölesi giriş-çıkış arasında 50 Amperden fazla bir akım farkı varsa açtırır ve sistemi kısa devrelere karşı korur.
- 25 Amperlik **FPF** sigortası mikrokontakt tipli olup kapasitörler ön şarj olurken +HV/-HV arasındaki kısa devrelere karşı sistemi korur.
- 2000 Amper, 1000 V'luk çok yüksek hızlı devre kesici(**DJ(HSCB)**)
- Kapasitör gruplarını kısa devrelere karşı koruyan 8 adet 50 Amperlik mikrokontakt tipli sigorta (**FF1/FF8**).
- 2 adet bogilere giren akımı ölçen galvanik izoleli akım sensörü (**CTIB1/CTIB2**)
- Her bogi için bir tane motorlara giren akımı ölçen galvanik izoleli akım sensörü (**CTIM1/CTIM2**)
- 2 adet 1350 Amperlik bogi 1 ve bogi 2 yi aşırı akıma karşı koruyan akım rölesi (**QIBG1/QIBG2**)
- 2 Adet 500 Amperlik mikrokontakt tipli, elektrik fren esnasındaki kısa devrelerde motor armatürünü koruyan **FFR1/FFR2** sigortası
- 2 adet 50 Amperlik aşırı akımlara karşı uyarım devresi indüktörünü koruyan mikrokontakt tipli **FEX1/FEX2** sigortası.
- 2 adet galvanik izoleli akım sensörü her bogi için uyarım devresine giren akımı ölçer (**CTIEX1/CTIEX2**)

Yüksek Voltaj girişinde aşırı akım koruması ve voltaj ölçmesi aşağıdaki gibi yapılır:

- Giriş filtresi üzerindeki voltaj **CTUF** galvanik izoleli sensörü ve **R.CTUF** direnci kullanılarak ölçülür.

- Her bogideki motor terminalleri arasındaki voltajı ölçmek için ise galvanik izoleli **CTUM** sensörü ve **R.CTUM** direnci kullanılır.

4.2.2 Tahrik Ünitesi Anahtar ve Kontaktörleri

- Yüksek gerilim kutusunda 1000 V DC, 1250 A'lık 3 pozisyonlu devre kesici (**KPU**) ile sistemin, 3. raydan ve atölye besleme prizinden beslenmesi sağlanır. Yine aynı devre kesiciyi kullanarak tahrik sistemi izole edilebilir.
- **CTR1** ve **CTR2** kontaktörleri tahrik durumunda kapalı fren durumunda açıktır. Bu kontaktörler tren harekete başlayınca kapanıp tren hareket halinde iken tahrik durumunda fren durumuna geçinceye kadar kapalıdır. Ancak fren durumunda ve tren duruyorken açıktır.
- **CEX** kontaktörü ise izole durumunda motorların kendi kendine uyarımını engellemek için açıktır.

4.2.3 Devre Kesici Paneli

- 1 adet 2000 A, 1000 V DC'lik hızlı devre kesicisi (**DJ(HSCB)**)
- 1 adet filtre ön şarj devresi. Bu devre bir **FPF** sigortası, bir **CPF** kontaktörü ve bir **RPF** ön şarj direncinden oluşur.

Giriş filtresi CPF kontaktörünün kapanmasıyla şarj edilir. RPF direnci şarj akımındaki dalgalanmayı kapasitörlere uygun olacak şekilde sınırlandırır. Kapasitör terminalleri arasındaki voltaj değeri 400 V'a ulaşınca DJ(HSCB) kapanırken bir komut ile CPF açılır.

4.2.4 LC Giriş Filtresi

- 1 adet 1.2 mH, 650 Aeff, 1300 A'lık giriş filtre bobini (**LF**) bobin kutusu içerisine yerleştirilmiştir.
- Birbirine paralel bağlanmış 8 kapasitör bankının her birinde 6 mF'lık 4 kapasitör olup bunlar birbirine seri bağlanmıştır. ($C_{eş} = 12 \text{ mF}$)
- Bu 8 kapasitör bankının her birine 27 k Ω 'luk deşarj dirençleri bağlanmıştır.
- 32 adet dengeleme dirençleri ise her bir kapasitöre paralel bağlanmıştır.
- 8 adet mikrokontaklı ve 50 A'lık hızlı sigorta her bir kapasitör bankının üzerine bağlanmıştır.
- Her biri tahrik ünitesinin bir tarafına yerleştirilmiş 2 adet indikatör lamba yardımıyla kapasitörlerin yüklü olup olmadığını anlayabiliriz. Sistemden enerjiyi kestikten en az 4 dakika sonra kapasitörler üzerinde çalışılabilir. Buna rağmen indikatörleri kontrol edip kapasitör üzerindeki voltajı ölçmek gerekir.

42 Hz lik bir alçak geçiren filtre elektriksel ekipmanı hattaki yüksek voltaja karşı korur. Ayrıca, bu iki armatür ve iki alan kıyıcı, köprü devresinden gelen harmonikleri filtre eder.

4.2.5 Armatür Kıyıcı

2 adet Armatür kıyıcısından her birinin çalışma frekansı 360 Hz'dir. 2 kıyıcı yarım dalga faz kaymalı olup giriş filtresindeki çalışma frekansı 720 Hz olarak görülür($2 \times 360 \text{Hz} = 720 \text{Hz}$)

Her bir kıyıcı SMF (Freon Modular System - Freon R113 sıvı soğutmalı sistem.)olarak dizayn edilmiş olup aşağıdaki elemanlardan oluşur:

- 1 adet ana GTO GTP 2500V 2200A
- 1 adet fren GTO GTRH 2500V 2200A
- 1 adet serbest döngü diyodu DRL 2500V
- 1 adet fren diyodu DFR 2500V
- Koruma devreleri
- 2 adet ana ve fren GTO'larını süren modüller

Soğutma sistemi sıvı ve buhar olmak üzere 2 fazlıdır. Isı transferi sıvı Freonun parlaması ve parmaklı tip soğutucu içerisinde yoğunlaşması ile başılır. Yoğunlaştırıcı yüksek voltaj izolelidir. SMF modülleri yarı iletken röle (GTO ve Diyot) bağlantılarının ısıları 125°C'yi geçmeyecek şekilde dizayn edilmiştir.

SMF modülü içerisindeki elemanlar kutu içerisine yerleştirildiğinden toz, su ve ark riskine karşı korunmuşlardır. Soğutucu kanatlar modülün dışına yerleştiğinden herhangi bir özel önlem almadan yıkanabilirler

4.2.6 Alan Sargısı Uyarım Köprüsü

Alan sargıları için güç devresi, her bogi için bir olmak üzere, iki üniteden oluşur. Her bir modüldeki elemanları aşağıdaki gibi listeleyebiliriz:

- 4 adet 2500 V 400 A GTO
- 4 adet 2500 V serbest döngü diyodu.
- Güç devreleri için koruma sistemi
- GTO kapı sürme kartları.

Güç elemanları alüminyum panelin bir yüzüne sıkıştırılarak monte edilmiştir. Aynı panel soğutmada da kullanılır. Cam tabaka eleman ile soğutucu arasındaki elektriksel izolasyonu sağlar. Soğutucunun diğer yüzü ise kanatlardan oluşmuştur. Bu kanatlar çevre ısısının

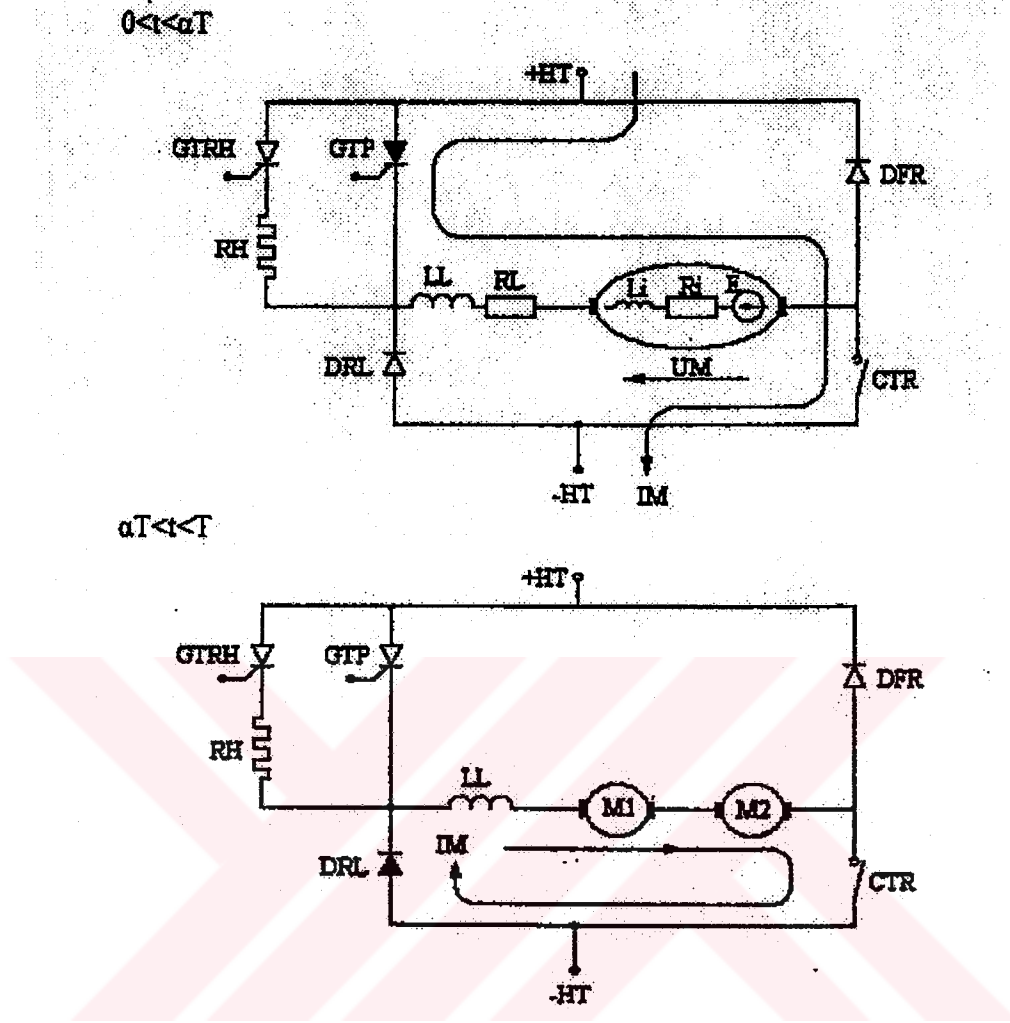
yayılmasını sağlar.

4.2.7 GTO'ların Özellikleri

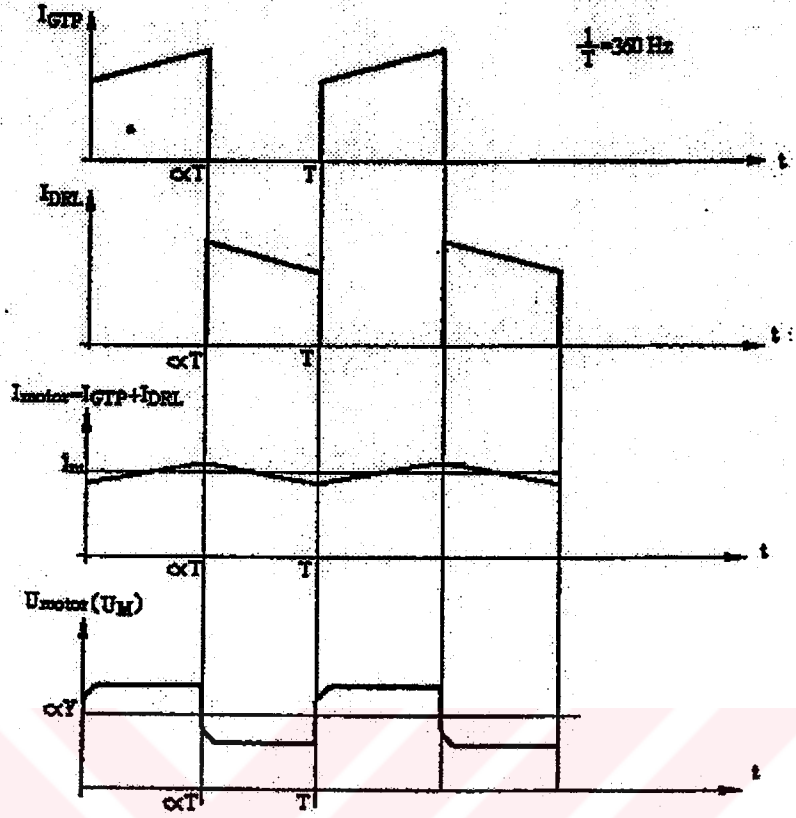
Motor armatür ve alan sargıları GTO'lar tarafından sürülür. Tristör gibi GTO da (Gate Turn-off Thyristör) iki durumlu bir elemandır. GTO'lar kapılarına verilen bir pozitif darbe ile sürülürler. Tristörden farklı olarak GTO kapı darbesi ile bir açık bir kapalı pozisyonda tutulur. GTO kesme esnasında dV/dt ye doyum bağışıklığı kazandırmak için gate-katot arası ters beslenmiştir. Bu işlem GTO kapısı ateşleme devreleri tarafından yapılır. GTO lar ON ve OFF olarak çalıştırılabilir. Tristörler için kullanılan cebri anahtarlama devreleri GTO lar için kullanılmaz. Snabır devrelerindeki kondansatörler aşırı voltajlara, bobinler aşırı akımlara karşı GTO' ları korur.



4.2.8 Tahrik Modundaki Açıklamalar



Şekil 4.3 Tahrik sırasında armatür kıyıcısının durumu



Şekil 4.4 Tahrik durumunda armatür kıyıcısı akım ve gerilimleri

Tahrik durumunda CTR İvmelenme kontaktörleri kapanır (ON). Bu durumda armatür kıyıcısını inceleyecek olursak:

Ana kıyıcı 360 Hz frekansla çalışır. Ana GTO GTP iletimde ise serbest döngü diyodu DRL kesimdedir. GTP kesimde ise DRL iletimdedir. GTP'nin iletkenlik oranı α , demand transmitter tarafından gönderilen değere göre armatür akımını kontrol eder.

Şekillere bakarak aşağıdaki eşitlikleri çıkartabiliriz.

$$0 < t < \alpha T \quad \text{için:} \quad \begin{cases} U_M = E + R_i I_M + L_i dI_M / dt & (4.1) \\ U_F = L_L dI_i / dt + R I_M + U_M & (4.2) \end{cases}$$

$$\alpha T < t < T \quad \text{için:} \quad \begin{cases} U_M = E + R_i I_M + L_i dI_M / dt & (4.3) \\ 0 = L_L dI_M / dt + R_L I + U_M & (4.4) \end{cases}$$

E = Elektromotor kuvveti (Volt)

R_i = Armatür iç direnci

L_i = Motor endüktansı (Henry)

L_L = Yumuşatıcı bobin (Henry)

R_L = Yumuşatıcı bobin direnci

I_M = Motor akımı

Motor akım ve voltajının ortalama değerleri aşağıdaki gibidir:

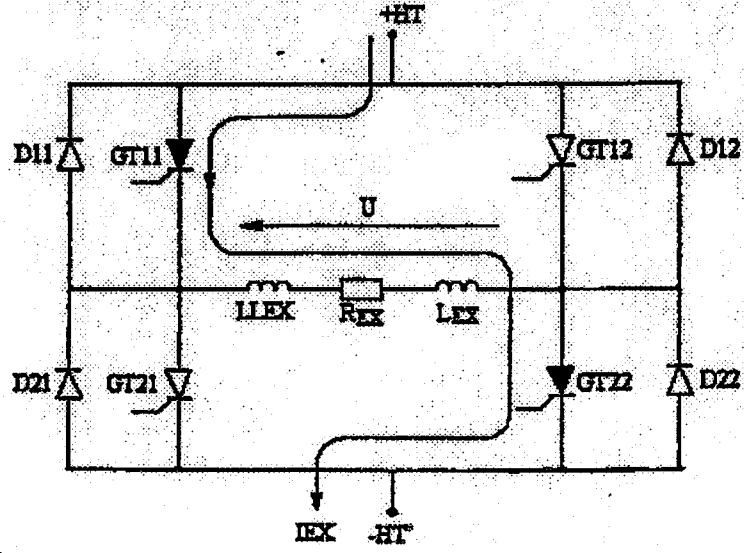
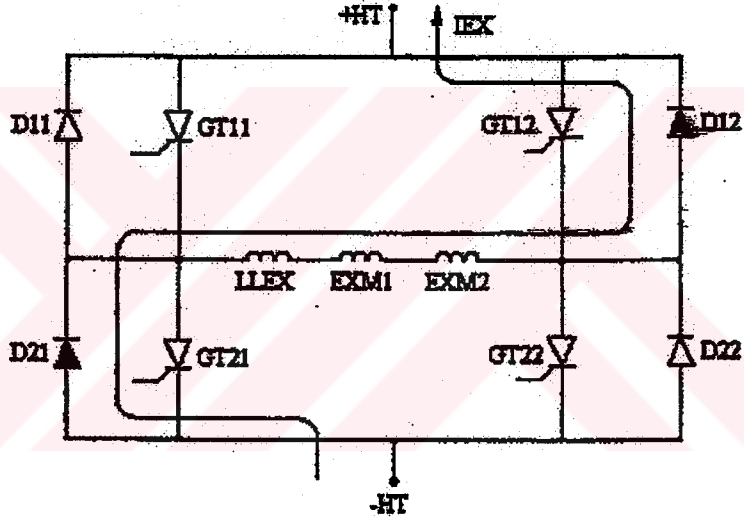
$$\bar{U}_M = \alpha U_F \quad (4.5)$$

$$\bar{I}_M = ((\alpha U_F - E) / R) \quad (4.6)$$

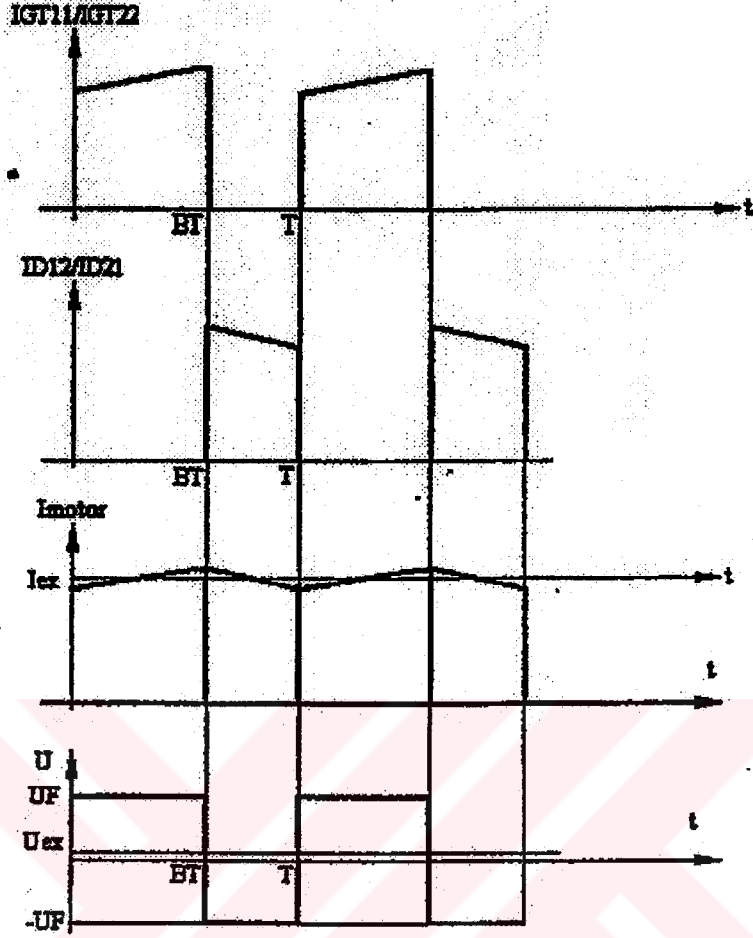
$$\text{Ort. } R = R_i + R_L \quad (4.7)$$

4.2.8.1 Tahrik Durumunda Alan Köprüsünün Çalışması

Alan köprüsünün yapısı gereği tren tahrik/fren durumunda ileri veya geri gidebilir. İleri yön tahrik veya geri yön fren durumunda işletim GTO' lardan GT11 ve GT22'nin kontrolü ile yapılır. Diğer 2 GTO GT12 ve GT21 daima kesim durumundadır. GT11 ve GT22 kesimde iken D12 ve D21 diyotları alan akımının devresini tamamlaması için iletimdedir.

$0 < \beta T$

 $\beta T < T$


Şekil 4.5 Tahrik durumunda alan köprüsünün durumu



Şekil 4.6 Tahrik durumunda alan sargı akım ve gerilimleri

Kesikli olmayan iletim için özel denklemler:

$$0 < t < \beta T \quad U_F = (LL_{ex} + L_{ex}) \frac{dI_{ex}}{dt} + R_{ex} I_{ex} \quad (4.8)$$

$$\beta T < t < T \quad -U_F = (LL_{ex} + L_{ex}) \frac{dI_{ex}}{dt} + R_{ex} I_{ex} \quad (4.9)$$

U_{bridge} = Alan ve öz indüksiyon yumşatma sargısı terminalleri arasındaki voltaj

R_{ex} = Alan sargısı direnci

L_{ex} = Alan sargısı öz indüksiyonu

LL_{ex} = Yumuşatıcı bobin

U_F = Giriş filtre voltajı

Sonuç olarak aşağıdaki Voltaj/Akım değerleri alan sargısı terminallerinde görülür:

$$\bar{U}_{ex} = (2\beta - 1)U_F \quad (4.10)$$

$$\bar{I}_{ex} = (2\beta - 1)U_F/R \quad (4.11)$$

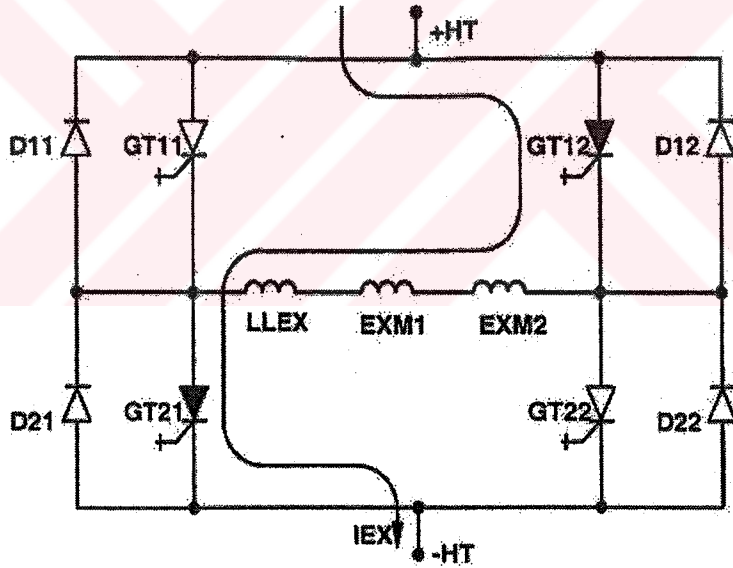
4.2.9 Fren Modunda İşletme

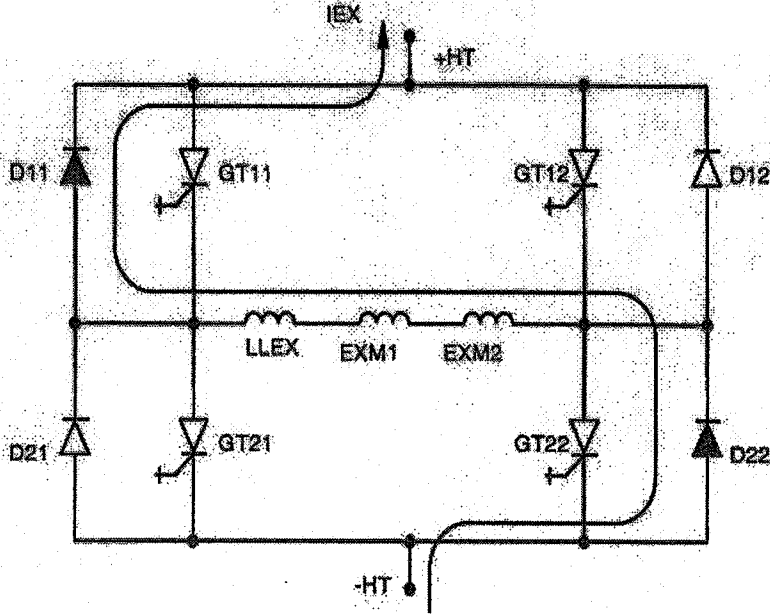
Fren durumunda CTR kontaktörü açılır(OFF). Tren aynı yönde giderken tahrik moduyla fren modunu karşılaştıracak olursak; motor terminalleri arasına uygulanan akımı ters çevirip generatör olarak çalıştırmak için, alan akımının yönü ters çevrilir. İndüktörler üzerindeki polarite ters döner. Aracın kinetik enerjisi elektrik enerjisine çevrilip bu enerji ya 3. ray duyarlı ise 3. raya verilir yada 3. ray duyarlı değilse fren direnci üzerinden ısıya çevrilir veya hattın durumuna göre bunlardan ikisi de yapılır. Şunu da hatırla tutmak gerekir ki enerjiyi 3. raya geri vermek direnç üzerinde harcamaya göre önceliklidir. Çünkü:

- Bu enerjiyi hattaki başka trenler tarafından kullanmak daha kârlıdır.
- Fren direncindeki ısınmayı da minimuma indirmiş oluruz.

4.2.9.1 Frenleme Esnasındaki Alan Köprüsünün Durumu

İleri yönde fren veya geri yönde tahrik modu GTO'lardan GT21 ve GT12'yi kontrolde tutar. GT12 ve GT21 kesimde(OFF) iken D11 ve D22 iletimdedir(ON).





Şekil 4.8 Frenleme sırasında alan köprüsünün durumu

4.2.9.2 Fren Esnasında Armatür Kıyıcısının Durumu

Hat tamamen duyarlı ise frenlemede armatür kıyıcısının durumu aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

a. Yüksek Hızlarda: (1. Bölge)

Motor voltajı hat voltajının çok az üzerindedir. Bundan dolayı GTP sürekli kesimdedir(OFF). Armatür akımı, I_M , verilen hıza kadar köprü devreleriyle alan akımı tarafından kontrol edilir. Alan akımı ayrıca Motor generatör olarak çalışırken oluşan EMK'ya ve sonuç olarak aşağıdaki denklemlere bağlı olarak armatür akımı I_M 'ye karar verir.

$$U_M = E - R_i I_M - L_i dI_M / dt \quad (4.12)$$

$$U_F = -L_L dI_M / dt - R_L I_M + U_M \quad (4.13)$$

$$E = 2 (p n N \phi (I_{ex})) / a \quad (4.14)$$

Öz indüksiyon üzerine düşen voltajı ihmal edecek olursak ortalama değer aşağıdaki gibi çıkar:

$$\bar{U}_M = E - R_i \bar{I}_M \quad (4.15)$$

$$\bar{I}_M = (E - U_F) / R \quad (4.16)$$

$$U_F = U_M - R_L \bar{I}_M \quad (4.17)$$

U_M = Bir bogi motor terminalleri arasındaki voltaj

U_F = Filtre voltajı

R = Yumuşatma indüktörü direnci ve motor iç dirençleri toplamı.

E = Seri bağlı iki motorun EMK'sı

$2p, 2a$ = Kutup çiftleri sayısı ve motordaki paralel kanal sayısı

$\phi (I_{ex})$ = Alan sargısına bağlı olarak her kutuptaki akı

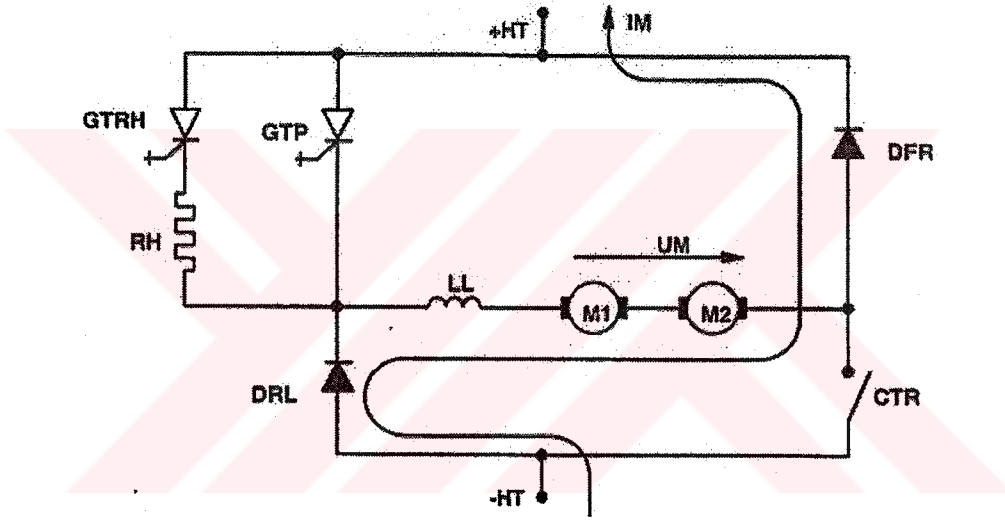
N = Saniyedeki dönme hızı

n = Alan sargısı sarım sayısı.

Bu bölgede, gerekli olan tüm torku elektriksel güç formunda üretmek için maksimum armatür akımı hızın bir fonksiyonu olarak artar. Hattâ en yüksek hızlarda bile.

$$C = E I_M / \Omega = E I_M / 2\pi N \quad (4.18)$$

$$C = (1/\pi)(p/a) n \phi (I_{ex}) I_M \quad (4.19)$$

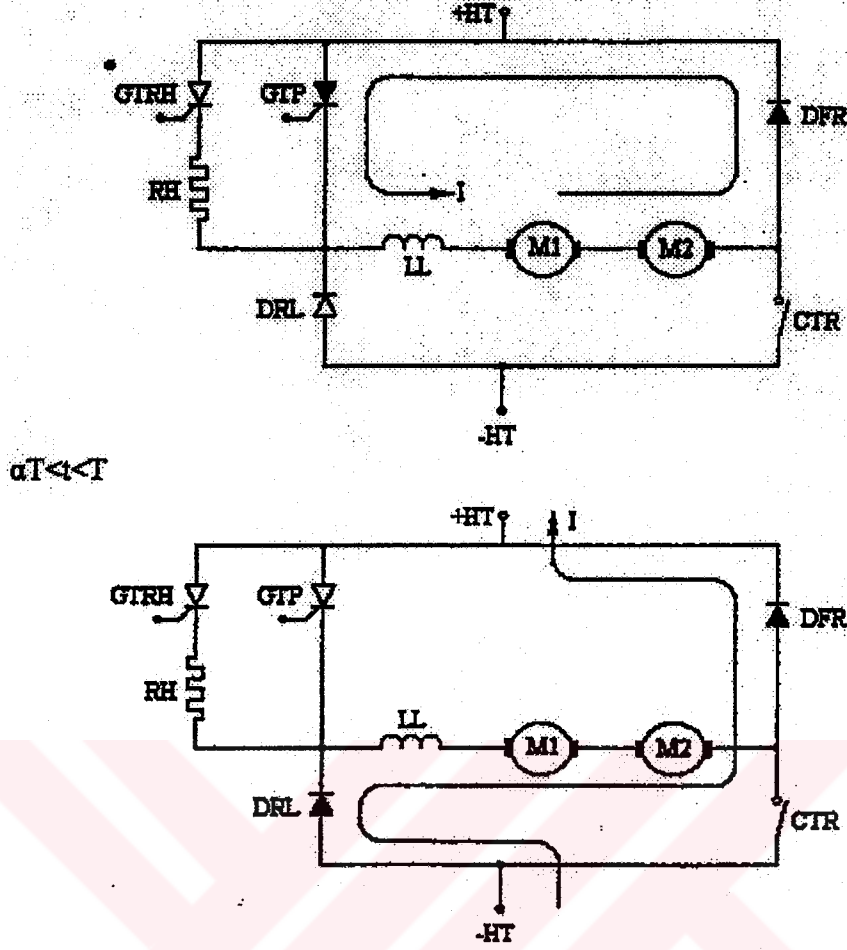


Şekil 4.9 Yüksek hızda frenlemede armatür kıyıcısının durumu

b. Düşük Hızlarda:(2. Bölge)

Alan sargısı akımının motor için kabul edilebilen maksimum değere(32 A) ulaşınca kadar bütün işlemler yukarıda tanımlanan 1. bölgede gerçekleşir. Sonra, generatör olarak çalışan motorların terminalleri arasındaki gerilim hat voltajından daha düşük olmasına rağmen, bu akım maksimum değerde sabitlenir ve ana kıyıcı akım artırıcı alet olarak çalışmaya başlar öyle ki Armatür akımı(I_M) gerekli olan tork değerine karşılık gelir. Bu nedenle hız düşerken kıyıcının iletimde kalma süresi artar.

$$0 < t < \alpha T$$



Şekil 4.10 Düşük hızda frenlemede armatür kısıyıcısının durumu

Buradan, fren durumunda ve hat tamamen duyarlı iken ilgili denklemleri şöyle çıkartabiliriz:

GTP iletimde (ON) iken

$0 < t < \alpha T$ için:

$$U_M = E - R I_M - L \frac{dI_M}{dt} \quad (4.20)$$

$$0 = U_M - L \frac{dI_M}{dt} \quad (4.21)$$

DRL (serbest döngü diyodu) iletimde (ON) iken

$\alpha T < t < T$ için:

$$U_M = E - R I_M - L \frac{dI_M}{dt} \quad (4.22)$$

$$U_F = U_M - L \frac{dI_M}{dt} \quad (4.23)$$

Ortalama değerlerde öz indüksiyon sargısı terminalleri arasındaki dikkate alınan ortalama voltaj değeri 0'dır.

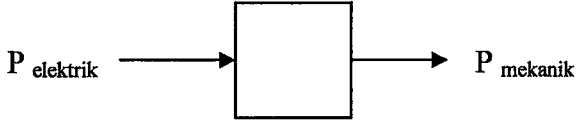
$$\bar{U}_M = (1 - \alpha) U_F \quad (4.24)$$

$$\bar{I}_M = (E - (1 - \alpha) U_F) / R \quad (4.25)$$

c. Çok düşük hızlarda:(3. Bölge)

Kıyıcı iletkenlik periyodu (α) maksimum değerine ulaştığında armatür akımı düşer ve elektrik fren sıfıra doğru iner. Elektrik frenin yerini yavaş yavaş pnömatik fren alır. Elektrik fren çok düşük hızlara kadar pnömatik frenle beraber uygulanmaya devam eder.

Hız 16 km'ye düştüğünde elektrik frenle beraber pnömatik fren devreye girer. Hız 8 km'nin altına inince sadece pnömatik fren kullanılır. Pnömatik fren valf vasıtasıyla kontrol edilir. Pnömatik valfi çalıştırmak için 240 mA akım gereklidir. İvmelenmede uygulanan basıncın akım değeri 150 mA den büyük olmalıdır. Pnömatik fren uygulamak için akım bu değerin altında olmalıdır.

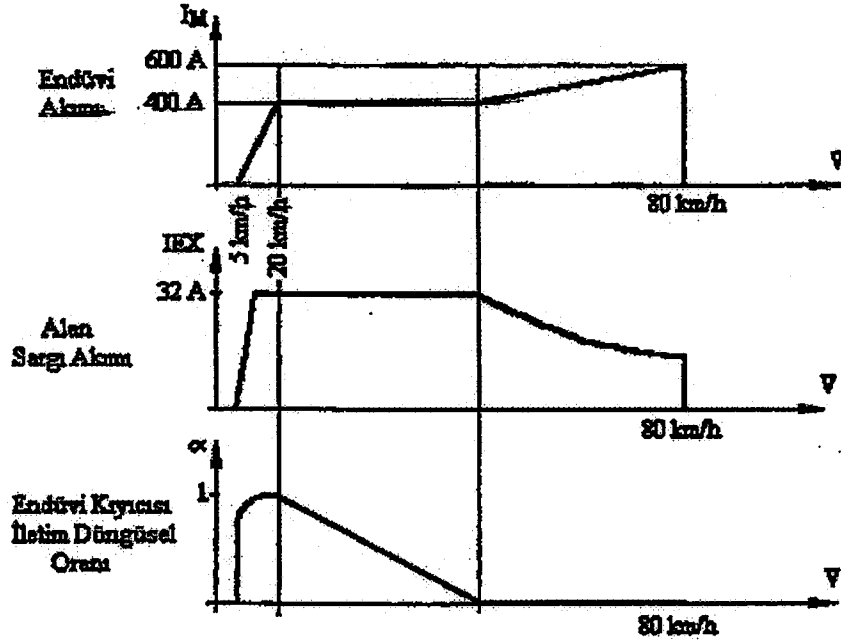


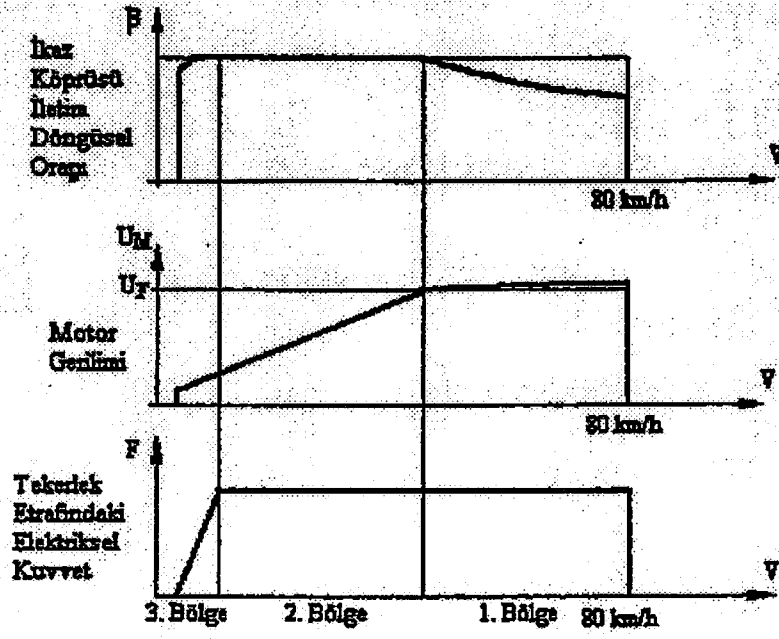
$$P_{\text{mekanik}} = F \times N = 10 F \times N \quad (4.26)$$

$$P_{\text{elektrik}} = U_M I_M \quad (4.27)$$

$$P_{\text{mekanik}} = 0,975 P_{\text{elektrik}} \quad (4.28)$$

$$10 F \times N = 0,975 U_M I_M \longrightarrow F = U_M I_M / 10,3 \quad (4.29)$$





Şekil 4.11 Çok düşük hızda frenlemedeki karakteristikler

5. TRAMVAY ARACI TAHRİK SİSTEMİ

Tramvay aracı A-B ve C Bölümlerinden oluşur. A ve B, motorlu bogiler olup her iki bogi 2'şer tane sincap kafesli asenkron motor içerir. Şekil 5.1'de görüldüğü gibi C bogi taşıyıcı bogidir, bu bölümde motor bulunmamaktadır. (Mathisen, 2003)



Şekil 5.1 Tramvay aracı

Araçlar hem A bölümünden hem de B bölümünden sürülebildiği gibi, kuplaj yapılarak 2'li, 3'lü diziler oluşturulabilir.

Araçtaki sistemler, beslemesini 750 V DC katener geriliminden sağlar. Bu gerilim, yardımcı konvertör modülü (ACM=Auxiliary Converter Module) ünitesi ile, 3x380 V AC-50 Hz ve 24 V DC batarya gerilimine çevrilerek, araçtaki ünitelere gerekli besleme yapılır.

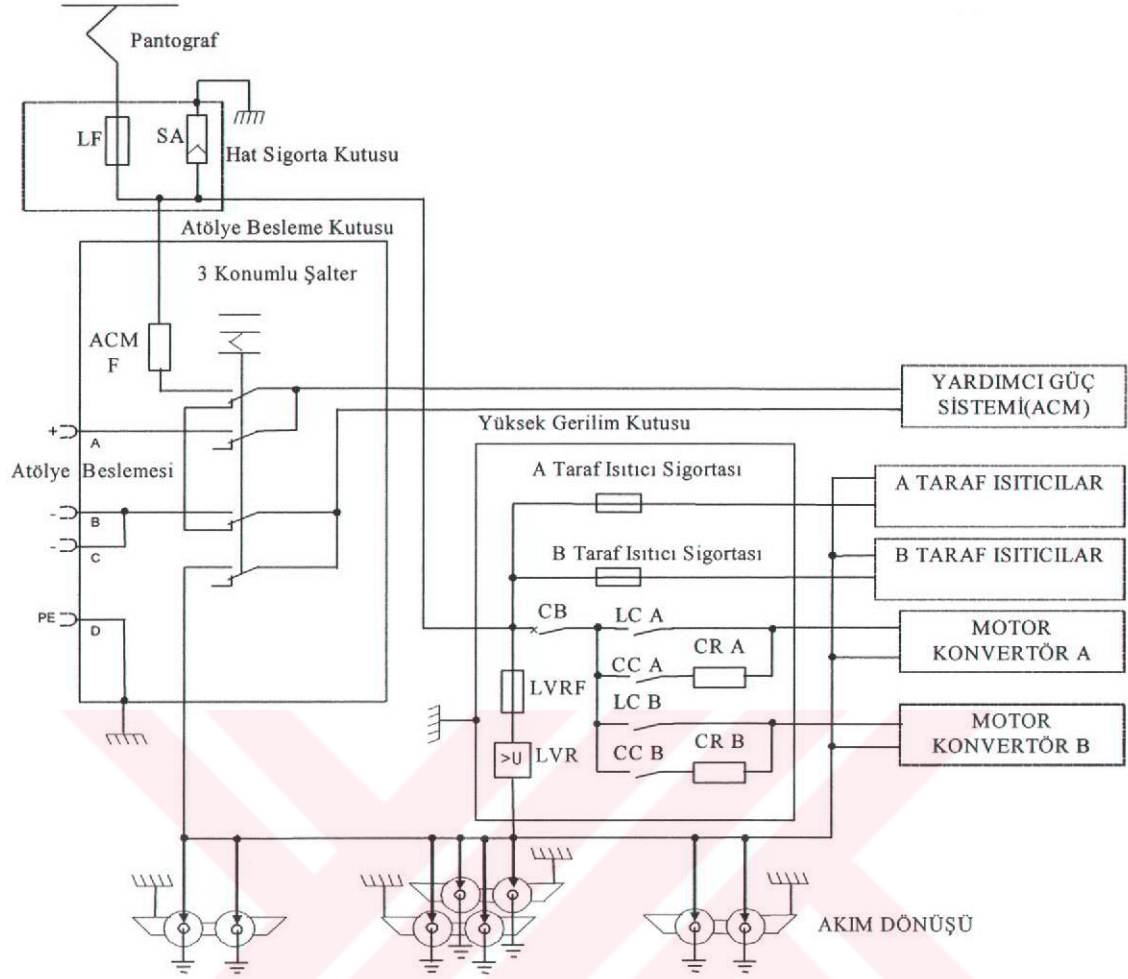
Araç, düşük tabanlı tramvay aracı tipinde olduğu için, birçok ekipman araç üzerindedir. Cer ekipmanları da A ve B bogi için ayrı ayrı olup araç üzerine yerleştirilmiştir.

5.1 Yüksek Gerilim Sistemi

Yüksek Gerilim Sisteminin Amacı:

- Katenerden veya stingerden alınan elektriksel enerjinin araca iletilmesini sağlamak
- Hat gerilimi yardımıyla cer sisteminin şarj ve beslemesini sağlamak ve bir arıza durumunda aşırı akımdan korunmayı sağlamak;
- Yardımcı Konvertör Modülünün(ACM) beslemesini sağlamak.
- Isıtma ünitelerini beslemek;
- Acil durumda, cer sistemi ve ısıtma ünitelerinin hat gerilimi beslemesi kesmek ve ACM'i bloke etmek;
- Araç atölyede stinger plug'dan beslenmeye başladığı andan itibaren Yardımcı Konvertör

Modülü'nü(ACM) beslemektir.



Şekil 5.2 Tramvay aracı 750 V DC dağılımı

Aracın yüksek gerilim sistemi; Pantograf, Hat Sigorta Kutusu, Yüksek Gerilim Kutusu ve Stinger Besleme Kutusu'ndan oluşur. Bu ekipmanlar aracın B kısmının çatı üstüne monte edilmişlerdir. Yüksek Gerilim Sistemi ayrıca; ilgili bogi üzerinden akım geri dönüş ekipmanlarını da içerir.(Şekil 5.2)

Normal çalışmada yüksek gerilim sistemi içindeki ekipmanlar enerjisini katenerden alırlar. Katenerden alınan yüksek gerilim ACM'e, MCM'lere, Yolcu klimalarına, Kabin Isıtıcılarına ve Koltuk Altı Isıtıcılarına verilir.

Yüksek Gerilim Sistemi; araç atölyede iken stinger besleme kutusundaki stinger plug'undan da beslenir. Stinger plug'undan enerji verildiğinde; bu enerji sadece ACM'e verilir. ACM bu enerji ile, araçtaki ekipmanlar için gerekli olan; 400/230 V AC 3 faz gerilimi ve 24 V DC batarya şarj gerilimini sağlar.

Stingerden araca enerji verildiğinde, MCM'lere 750 V DC gerilim gelmediği için aracı

hareket ettirmek mümkün değildir.

Çizelge 5.1 Tramvay aracının katenerden ve stingerden beslendiğinde enerjili üniteleri

Katenerden Araca Enerji Verildiğinde 750 V DC Gerilimi Olan Sistemler		Stingerden Araca Enerji Verildiğinde 750 V DC Gerilimi Olan Sistemler	
1	ACM(Yardımcı Konvertör Modülü)	1	ACM(Yardımcı Konvertör Modülü)
2	MCM(Motor Konvertör Modülü)		-
3	Yolcu Klimaları(Isıtıcı Dirençler)		-
4	Kabin I/H Sistemi		-
5	Koltuk Altı Isıtıcıları		-

Yüksek gerilim kutusu ve onun bileşenlerinin kontrol ve denetimi araç bilgisayarı(VCU=Vehicle Control Unit) tarafından sağlanır.

5.1.1 Pantograf

Pantograf, aracın B kısmının çatı üzerine monte edilmiştir. Pantograf katener sistemi ile temas sağlayarak; araç ve sabit hat besleme kaynakları (trafolar) arasında enerji transferi sağlar. Katener hat geriliminde çok büyük değişimler olsa bile; katener ile temas (kapalı kontak) oluşturacak şekilde dizayn edilmiştir. Pantograf bir yay yardımı ile, gerili katener hattına doğru kaldırılır ve katener hattına basar, ayrıca bir elektrik motoru yardımıyla indirilir.

Pantografin kaldırılabilmesi için, sürücü kabininin aktif olması gerekmektedir.(Kontak anahtarının “Açık” olması yeterli). Pantografin indirilebilmesi için ise herhangi bir ön şart yoktur. Kabin aktif olsun veya olmasın; “Pantograf yukarı-aşağı” anahtarı ile “aşağı” pozisyonuna getirildiğinde, pantograf katener hattından aşağıya doğru indirilir.

Sürücü kabini, P1 panelinde bulunan “Pantograf” anahtarı ile; pantograf hareketini sağlayan DC motorun kontrolü yapılır. Bu DC motorun 24 V DC beslemesi; batarya kontaktöründen bağımsız olup; direk batarya hattından sağlanır. Bu şu anlama gelmektedir: Batarya kontaktörünün pozisyonundan (Açık-Kapalı) bağımsız olarak pantografin kontrolü yapılabilir. Batarya geriliminin olmaması gibi bir durumda ise; araç B taraf iç kısımda bulunan manuel pantograf hareket ettirme kolu ile pantograf indirilebilir veya kaldırılabilir.

Pantografin aşağıda olması durumunda; aşağıda olduğunu belirten bir sinyal araç bilgisayarına(VCU) gönderilir. Pantografin aşağıda olduğu bilgisini alan VCU, araca 750 V bağlantısı olmadığı için, ACM, MCM ve tüm 750 V DC ısıtıcı devrelerini bloke eder. Ayrıca bu sinyal; normal işletme sırasında da herhangi bir acil durumdan dolayı pantografin aşağı

veya yukarıdaki pozisyon hatalarında kullanılır ve araç displayine ilgili arıza mesajı gönderilir..

Dizi halinde çalışma durumunda da; bir araçtan yapılan pantograf aşağı-yukarı talebi, kuplaj hattı vasıtasıyla dizideki diğer araçlara iletilir. Dolayısıyla, dizi halinde, dizideki araçların pantograf kontrolü tek bir araçtan sağlanabilir.

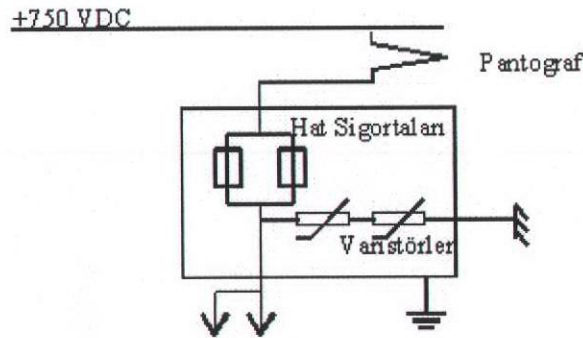
5.1.2 Hat Sigorta Kutusu

Hat sigorta kutusu araç B kısım çatı üstüne yerleştirilmiştir. Hat sigorta kutusunda, hat sigortaları ve parafudr bulunur.

Hat sigortaları katenerden gelen hat gerilimi için kısa devre koruması sağlarlar. Aşırı bir akım; ilk önce ana devre kesici tarafından; ikinci olarak ise hat sigortaları tarafından kesilecektir. Hat sigortalarının ana amacı; ana devre kesici ile hat sigorta kutusu arasındaki kabloları korumaktır. Hat sigorta kutusu ayrıca bir parafudr içerir. Parafudrun ana görevi; araç içindeki ekipmanları aşırı gerilimlere karşı korumaktır.

Parafudr; seri olarak bağlanmış iki varistör'den oluşmuş olup, aracın elektriksel ekipmanlarını yıldırıma karşı korur. Parafudr normal işletmede varistör devresi ile açık devre gibidir.(OFF) Eğer hat gerilimi belirli bir değerin üstüne çıkar ise(Yıldırım vb bir sebeple) bu durumda varistörlerin direnci düşer ve akım, yüksek gerilim ekipmanlarından geçmeyip hızlıca toprağa akar.

Hat sigorta kutusu içerisindeki ekipmanların yerleşimi aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 5.3 Hat sigorta kutusu elemanları

Hat Sigortasının Teknik Özellikleri:

Nominal Akım.....: 1000 A (2 x 500 A)

Nominal Gerilim..: 750 V DC

Üretici.....: Ferraz

Tipi: CC 7 Badk C3 gRC 123 Ttc 500

Ağırlık: 3.6 kg (2 x 1.8 kg)

Parafudr'un Teknik Özellikleri:

Max. sürekli çalışma gerilimi.....: 1490 V (2 x 745V)

Dayanma Gerilimi, 5 kA: 3800 V (2 x 1900V)

100 kerelik Darbe: 5 kA, 40 mikrosaniye

1 Kerelik Darbe: 70 kA, 20 us

Enerji Emisyonu 2 ms: 3000 J (2 x 1500 J)

Üretici.....: Siemens

Tipi: SIOV-B60K550

Ağırlık: 0.6 kg (2 x 0.3 kg)

5.1.3 Stinger Besleme Kutusu

Stinger Besleme Kutusu ACM'e hat gerilimi beslemesi sağlar. ACM'e normal beslemenin dışında alternatif bir besleme şekli de, sitinger plug'ından 750 V DC besleme sağlamaktır. Bu durumda herhangi bir kısa devreye karşı koruma araç dışındaki kesici sistemi tarafından sağlanır.

ACM hem katenerden beslenen yüksek gerilim sisteminden ve hem de atölyede stinger plugundan verilecek yüksek gerilim sisteminden beslenir. Bu besleme şekillerinden birini seçmek için; stinger besleme kutusu içindeki 3 konumlu şalter kullanılır. 3 konumlu şalterin konum durumu şu şekildedir.

Normal...: Araca 750 V DC gerilimi pantografından sağlanır.

İzole.....: Aracın 750 V DC bağlantısı hem pantograftan hem de atölyeden izole edilir.

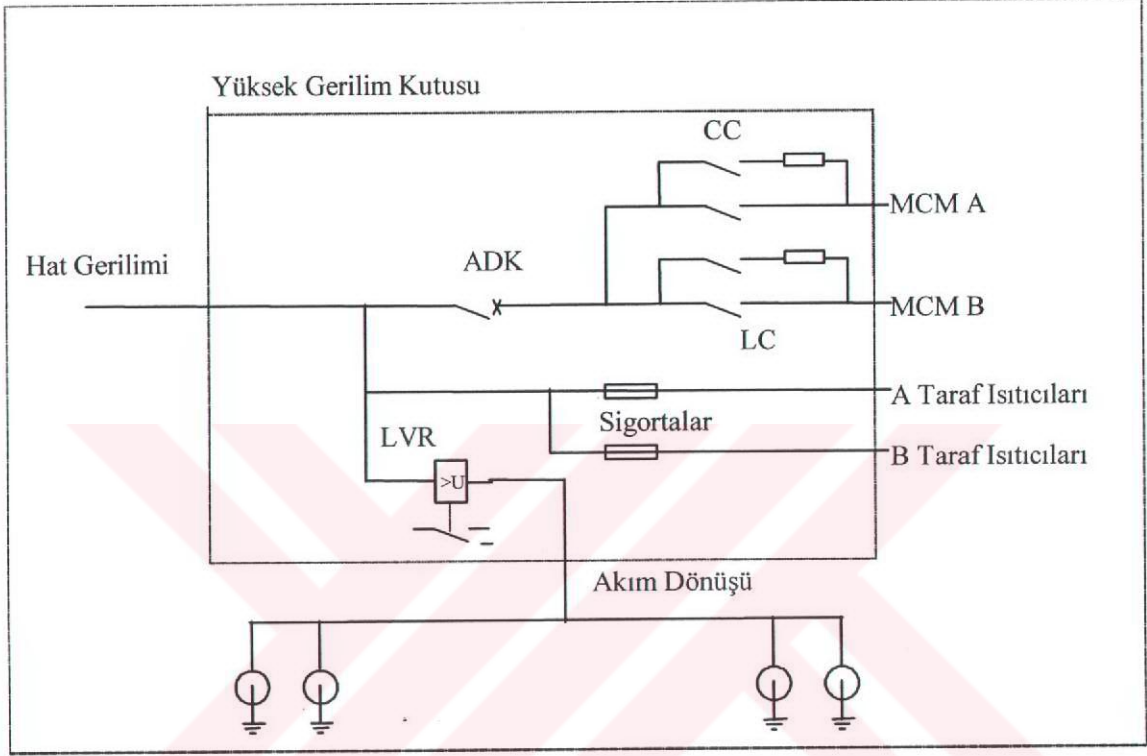
Atölye.....: 750 V DC stinger plug'ından sağlanır. Araca atölyeden enerji vermek için kullanılır.

5.1.4 Yüksek Gerilim Kutusu

Yüksek gerilim kutusu motor konverter modüllerini ve araç içi ısıtma devrelerini yüksek voltajla çalıştırır. Ayrıca yüksek gerilim kutusundaki ekipmanlar, Motor konverter ve ısıtıcı devrelerini kısa devre ile aşırı gerilime karşı korur. Her araçta bir adet yüksek gerilim kontrol kutusu vardır.

Yüksek gerilim kontrol kutusu araç içi haberleşme yolu üzerinden araç bilgisayarına bağlı bir DX ünitesi (Digital Input/Output) yardımıyla kontrol edilir ve denetlenir.

Yüksek gerilim kutusuna bağlı iki adet motor konverter modülü ve iki adet ısıtıcı devresi vardır. Motor konverter modülleri bir ana devre kesici ve iki ayrı şarj devresi üzerinden beslenir ve korunur. Isıtıcı devrelerini korumak için de iki sigorta vardır. Sinyal kabloları kutunun yan taraflarından birisine yerleştirilmiş konnektörler vasıtasıyla bağlanır. Güç kabloları ise diğer yan taraftan rekorlar içerisinden geçerek kutuya girer ve iç kısma bağlanır. Yüksek gerilim kutusu içerisindeki ana devre Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Yüksek gerilim kutusu ana devresi

Burada;

ADK: Ana Devre Kesici

LC.....: Hat Kontaktörü

CC.....: Şarj Kontaktörü

LVR.....: Hat Voltajı Ölçüm Rölesi

dir.

Kontrol kutusu içindeki işlemlerin devamı için batarya voltajı ve araç haberleşme bus'ı (MVB) üzerinden araç bilgisayarı ile haberleşmeyi gerektirir. MVB kutu içindeki bir DX ünitesine bağlıdır. DX ünitesi dijital giriş ve çıkış sinyalleri ile kutu içindeki fonksiyonları kontrol eder ve denetler. Fonksiyon aktifleme ve geri besleme sinyalleri araç bilgisayarına gönderilir.

Motor konverterlerine hat voltajı, bir hat devre kesicisi ile iki şarj devresi üzerinden verilir. Şarj direnci hat filtre kondansatörlerini şarj olurken ani akım yükselmelerinden korumak için motor konverterlerine seri bağlıdır. Kondansatörler içindeki voltaj belli bir seviyeye ulaştığında(hat geriliminin %87'sine) hat kontaktörü kapanır ve şarj kontaktörü açılır. Her MCM için bir şarj devresi vardır.

Yüksek gerilim kutusuna yüksek gerilim, pantograf ve hat sigorta kutusu vasıtasıyla verilir. Buradaki voltaj ölçüm sensörü hat geriliminin 450 V DC'ye ulaştığını gördüğünde ADK'yı kapatır. ADK kapandı bilgisi VCU'dan MCM bilgisayarına iletilir. MCM bilgisayarı da şarj direnci ve şarj kontaktörünü kapatır. MCM kondansatörleri hat geriliminin %87'sine şarj olduğunda ise hat kontaktörü kapanarak, şarj kontakörü açılır. Kondansatörlerin hat geriliminin %87'sine kadar şarj olduğunu MCM'deki voltaj ölçüm kartı ölçer.

Hat kontaktörü şarj kontaktörü ve şarj rezistörüne paralel bağlıdır. MCM aktif edilip hat filtre kondansatörleri şarj devresi üzerinden şarj edildiğinde (kondansatörlerin gerilimi, hat geriliminin %87'sine kadar şarj olduğunda) hat kontaktörü kapanır ve şarj kontaktörü açılır. MCM deaktif edildiğinde kontaktör açılır. Kontaktör normalde akımı kesmez veya kapatmaz. Ama bir arıza meydana geldiğinde akım kesme kabiliyetine sahiptir ve akımı bazı arızalar için kullanılan 1,3kA değerinde kesebilir.

Şarj kontaktörü şarj rezistörü ile beraber şarj devresini oluşturur. MCM aktif edildiğinde şarj kontaktörü kapanır. Hat filtre kondansatörleri şarj akımını yaklaşık 45A'de sınırlamak için şarj rezistörü üzerinden şarj edilir. Kondansatörler dolduğunda hat kontaktörü kapanır ve şarj kontaktörü açılır.

Hat voltajı rölesi minimum izin verilen voltaj seviyesinin altında veya üstünde olduğunu gösterir. Hat voltajı belirtilen değere eriştiğinde araç bilgisayarı hat kesicisine kapanması emrini verebilir. Röle histerezis fonksiyonuna sahiptir ve hat voltajı belirtilen değerin üzerindeyse DX ünitesi üzerindeki dijital girişlerden birisine bilgi verir.

Ana devre kesicisi teknik özellikler:

Nominal akım.....: 1000 A

Kesme hızı.....: 30 kA L/R=15 ms

Trip seviyesi: 2200 A

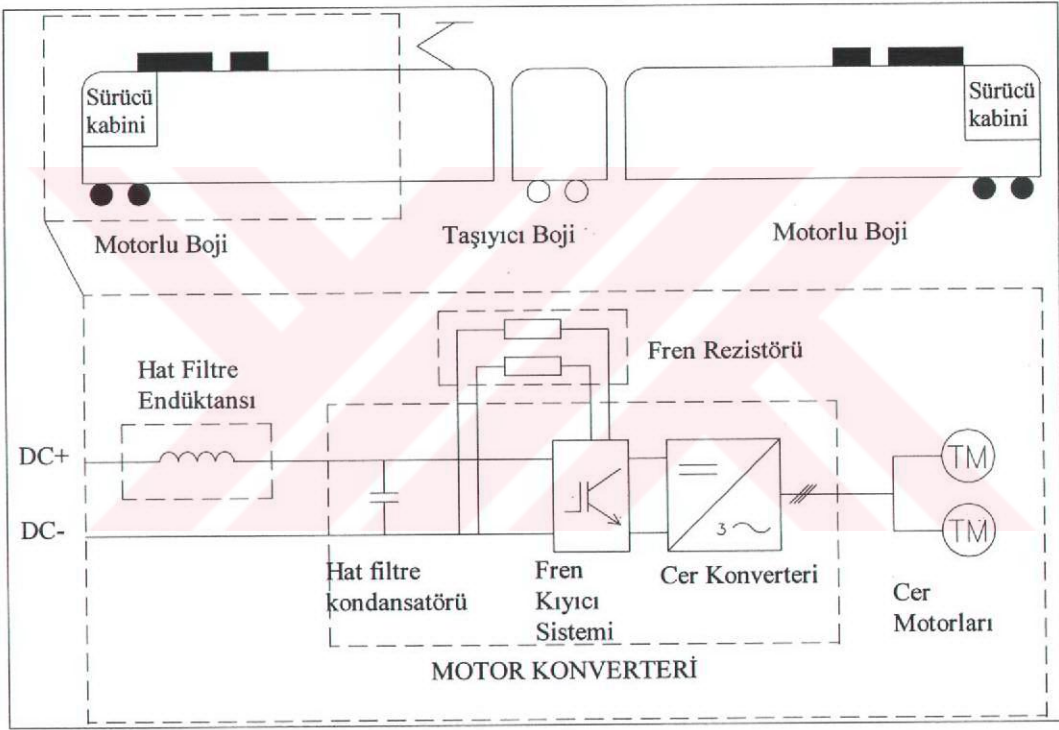
Nominal voltaj.....: 1000 V

5.2 Tahrik Sisteminin Amacı

Elektrik ile tahrik sisteminin başlıca amacı 750 V DC yüksek gerilim sistemini farklı genlik

ve frekanstaki 3-fazlı bir voltaja dönüştürmektir. Elde edilen bu 3-faz voltaj, tahrik motorlarını(sincap kafesli asenkron motor) çalıştırmak yada frenlemek için kullanılır. Elektriksel olarak bir fren yapıldığında güç akış yönü değişir, bu durumda cer motorları jeneratör gibi çalışır ve güç akışı motorlardan güç kaynağına doğru olarak değişir. Frenleme prosesi sırasında mekanik fren enerjisi, diğer araçları beslemek için normal olarak hatta dönen elektrik enerjisine dönüşür. Eğer hat üzerinde beslenecek başka araç yoksa bu fren enerjisi aracın fren rezistöründe ısıya dönüşür.

Her bir araç iki elektrikli tahrik sistemine sahiptir. Her sistem, bir bogi içinde konumlanmış olan 2 cer motoruna güç sağlar. Cer motorları birbirlerine paralel bağlanmışlardır..



Şekil 5.5 Elektrikli cer sisteminin bileşenleri

Elektrikli cer sistemi aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- Bir hat endüktansı ve hat filtre kondansatörüne bağlı bir hat filtresi(hat filtre kondansatörü motor konverterinin içinde yer alır, Şekil 5.5'e bakın)
- Bir cer konverteri (motor konverterinin içinde bulunur, Şekil 5.5'e bakın)
- Bir fren kıyıcısı ve fren rezistörüne sahip bir elektrikli frenleme sistemi (fren kıyıcısı motor konverterinin içinde yer alır, Şekil 5.5'e bakın)

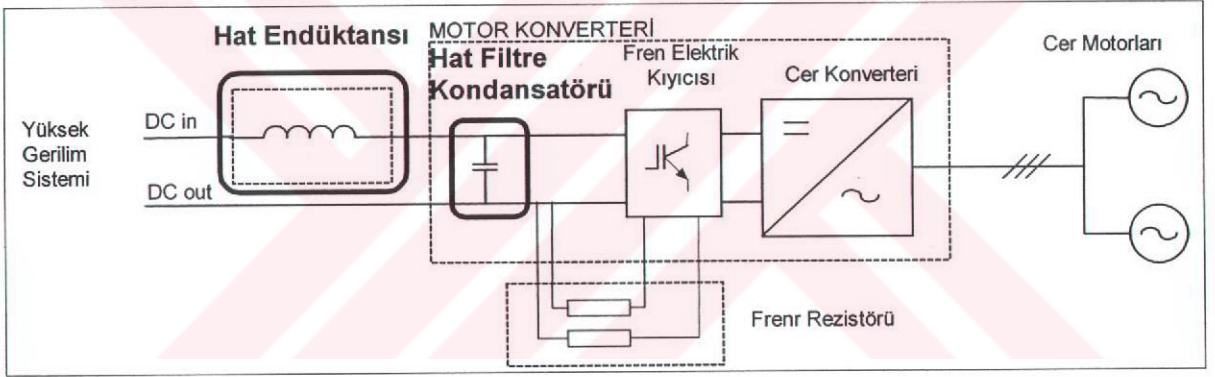
Cer Motorunun Özellikleri:

Tipi : Sincap kafesli asenkron motor
 Gücü : 110 kW
 Gerilim..... : 340 V/590 V (Faz ve fazlar arası gerilim)
 Akım..... : 150 A (20 dk)
 Max Devir..... : 5575 d/dk
 Nom. Devir : 2300 d/dk
 Ağırlık : 355 kg

5.3 Tahrik Sisteminin İçeriği

5.3.1 Hat Filtresi

Hat filtresi, bir hat endüktansı ve bir hat kondansatöründen oluşur. Hat filtresi güç kaynağı ve cer konverteri arasındaki akım ve voltajdaki harmonikleri ve geçici sapmaları azaltır.



Şekil 5.6 Sistemin çalışma prensibi

Hat endüktansı demir çekirdeğine sahip olmayan bir bobindir. Bu, kısa devre meydana geldiğinde endüktansın doygun olmadığı, ancak kısa devre akımını büyük oranda azalttığı anlamına gelmektedir. Hat filtre kondansatörü seri ve paralel bağlı pek çok elektrolitik kondansatörden yapılmıştır. Kondansatör aynı zamanda kısmen uygun voltaj dağılımını sağlamak ve kısmen de voltajda bir düşüş meydana geldiğinde kondansatörü boşaltmak için pek çok rezistöre bağlanmıştır. Kondansatörün güç kaynağından bağlantısı kesildiğinde, deşarj olarak geriliminin 50V'un altına düşmesi yaklaşık 5 dakika alır.

Kondansatör genellikle fren elektrik kıyıcısı ve fren rezistörü yoluyla deşarj edilir ancak bu bileşenlerin düzgün çalışmaması durumunda kondansatörün deşarj olmasını garanti altına almak için bir deşarj rezistörü yada voltaj bölücü rezistör mevcuttur.

Hat filtre kondansatörü yolu ile sağlanan voltaj, DC hat voltajı (DC Link Voltage) olarak bilinir.

5.3.1.1 Normal İşletmedeki Durum

Elektrikli işletim sisteminin kaynak voltajı değişik değerlere değişebilir. Bununla birlikte, cer konverterinin etkin olarak kontrol edilmesini sağlamak için DC hat voltajının olabildiğince sabit tutulması gereklidir.. DC hat voltajını sabit tutmak hat filtresinin görevidir.

Tramvay aracı hareket halindeyken özellikle bir enerji aralığı oluştuğunda yada akım toplanması düzensiz olduğunda (havai hat'tan kaynaklanabilir) hat voltajında ciddi değişimler oluşur. Hızlı voltaj düşüşleri durumunda hat filtresi, motor konverteri için bir yedek güç rezervi gibi davranır.

Cer motorları için AC voltajının üretilmesi IGBT'lerin devreye girip-çıkmaları ile sağlanır. Bu durum hat filtresi tarafından düşürülen bir akım dalgalanması yaratır.

Eğer hat voltajı, tramvay aracı ray üzerinde hareket ederken(nötr hat) düşerse, cer konverteri, hafif bir fren uygulandığında DC hat voltajını aracın yaklaşık 5 km/saat hızda yol almasını sağlayacak şekilde korur. Bu aynı zamanda cer motorlarının manyetize olmuş şekilde kalabildiği anlamına da gelir.

5.3.1.2 Anormal İşletmedeki Durum

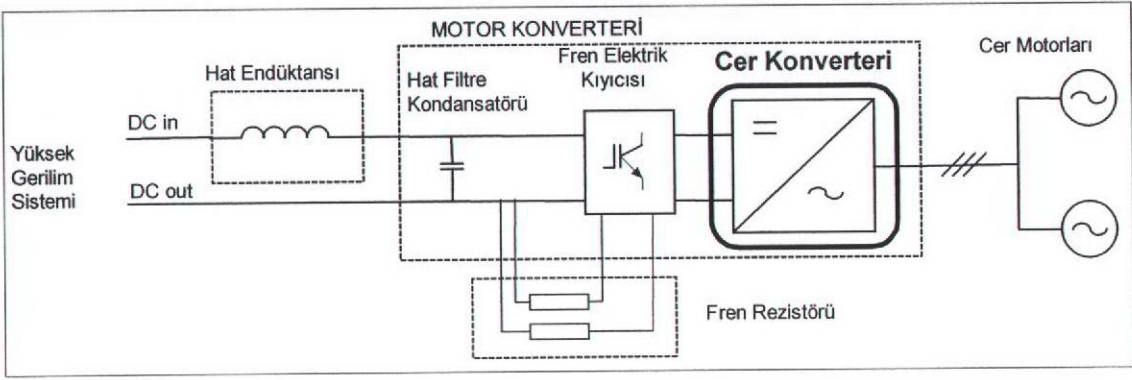
Eğer hat akımı belirlenen seviyeleri aşarsa yüksek voltaj sistemindeki akım kesicisi devreye girerek sistemi korur.

Hat filtresi içindeki elektrolit kondansatörler boyunca geçen voltaj görüntülenir. Bir hata oluştuğunda aşağıdaki durumlar ortaya çıkabilir:

- Motor konverteri bloke olur (Bu durumda tüm IGBT'lerin devre dışı kalması talimatı verilir)
- Akım kesicisi devreye girer
- Fren kısıyıcısı, fren rezistörü yolu ile hat filtre kondansatörünü deşarj eder.

5.3.2 Cer Konverteri

Cer konverteri, DC hat voltajını (hat filtre kondansatöründen sağlanan) farklı genlik ve frekanstaki 3-fazlı simetrik bir voltaja dönüştürerek cer motorlarındaki RPM ve torku kontrol eder. IGBT'ler güç yarı iletkenleri olarak kullanılır. Konverteri görüntülemek ve kontrol etmek için bir mikroişlemci kullanılır.



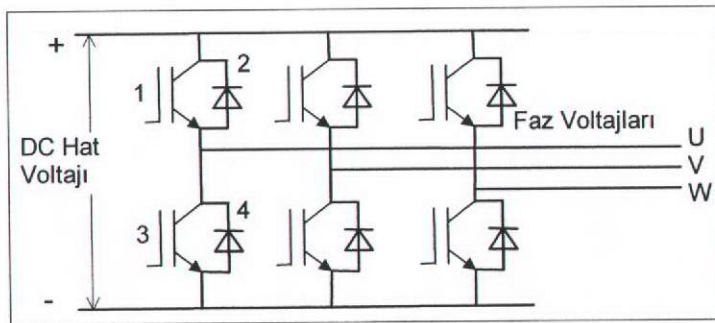
Şekil 5.7 Cer konverteri

Elektriksel olarak bir fren uygulandığında, güç akış yönü cer motorlarının RPM'indeki denk frekansla bağlantılı olarak konverterin çıkış frekansının düşmesiyle değişir. Bu durum, IGBT pozisyonlarının kontrol pulslarının değişmesiyle sağlandığında çok hızlı bir şekilde yapılabilir.

Aracın frenlemesi durumundan başka, bu fonksiyon aynı zamanda hat filtre kondansatörü voltajını korumak için de kullanılabilir, örneğin rayın elektriksel olarak ölü bir kesiti boyunca ilerliyorsa yada akım toplanması zayıfsa. Bu örneklerde cer sistemi frenlemenin hafif bir uygulamasına başvurur. Bu, aynı zamanda hat voltajı geri yüklendiğinde maksimum çekme kuvveti performansının hızlı bir şekilde elde edilebilmesi için motorların manyetize kalmasını sağlar.

5.3.2.1 Normal İşletmedeki Durum

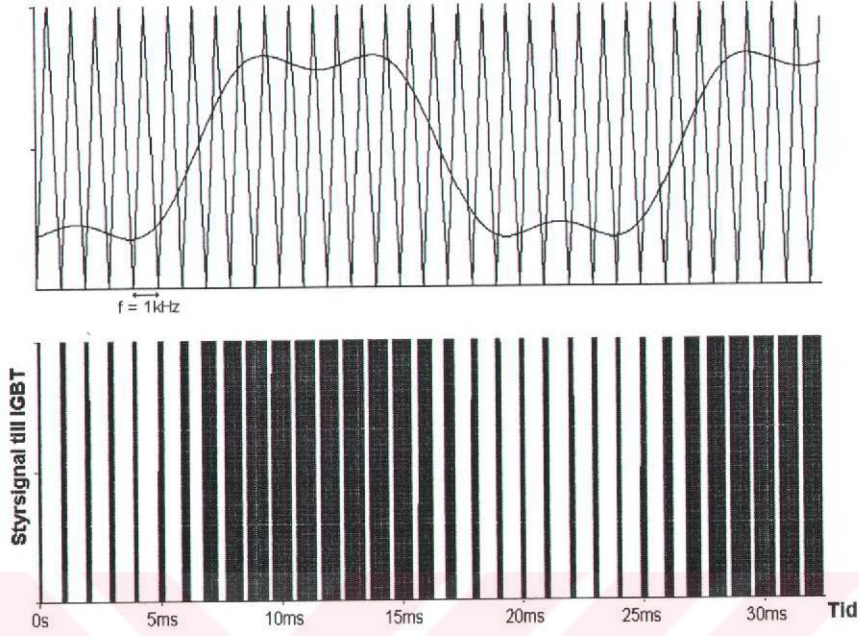
Cer konverteri iki IGBT'ye sahip birbirine eşit üç fazdan ve her fazda bulunan iki serbest döngü diyotundan oluşur. IGBT'ler kendilerini süren GDU(Gate Drive Unit) kartlarının kendilerini tetiklemesiyle devreye girer ve çıkarlar.. Bu durum, motor fazları u, v ve w'nin dönüşümlü olarak DC hat voltajının pozitif yada negatif potansiyeline bağlanmasıyla sonuçlanır. (Şekil 5.8)



Şekil 5.8 Normal işletme sırasında cer konverteri

İdeal sinüs formunu mümkün olabildiğince yakın yansıtan bir çıkış voltajı üretmek için puls

genişliği, faz voltajının temel frekansından (stator frekansı) daha yüksek olan bir anahtar frekansı kullanılarak modüle edilir. (şekil 5.9)



şekil 5.9 PWM modülasyon modeli

İstenen temel voltaj ile çıkış voltajı arasındaki fark motor akımında harmonikler yaratır.

Cer motoru, verilen bir zaman aralığında pek çok sayıda anahtarlama üretebilen stator frekansı ile bağlantılı olarak 1 kHz'e kadar bir anahtar frekansı ile işletilir, bu nedenle motor akımında harmonikler küçük oranlarda meydana gelir. (İncekara, 2000)

Konverterin görüntülenmesi ve kontrolü

Cer konverterinin çalışmasını görüntülemek ve kontrol etmek için aşağıdaki akım ve voltaj ölçümleri alınır:

- Konverterin üç fazından ikisi için akım
- Hat filtresi DC voltajı
- Kondansatördeki herhangi bir hatanın belirlenmesi için hat filtre kondansatörleri boyunca voltaj
- Topraklama hatalarını da içeren tüm hataların belirlenmesi için DC+ ve DC- akımı
- Kutudaki hava sıcaklığı ve soğutucu sıcaklığı

Lokal kontrol birimi ve görüntüleme

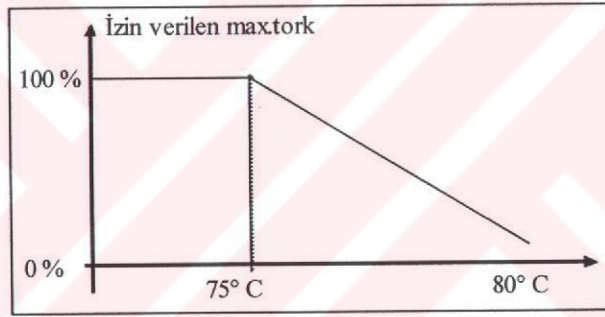
- Motor konverteri, lokal kontrol birimi MCC/I kartı tarafından kontrol edilir.

MCC/I kartı haberleşme bus'ı (MVB) yolu ile bir araç bilgisayarı (VCU=Vehicle Control Unit) ile bağlantı kurar. Motor konverterinin kontrol birimleri, motor konverteri içindeki güç kaynağı(Power Supply Unit) yolu ile sağlanan bir batarya gerilim (24 V DC) ile beslenir.

5.3.2.2 Anormal İşletmedeki Durum

Bir IGBT beklendiği gibi açılıp kapanmadığı zaman ortaya çıkan bir konverter fazındaki anahtarlama hatası, faz akımı yükseldiği yada GDU(IGBT için kapı kontrol ünitesi) bloke olduğunda belirlenir.

Sıcaklıklar yükseldiğinde ise, Şekil 5.10'da da gösterildiği üzere konverterin performansının ciddi bir seviyede düşer ve bloke olmasıyla sonuçlanır.



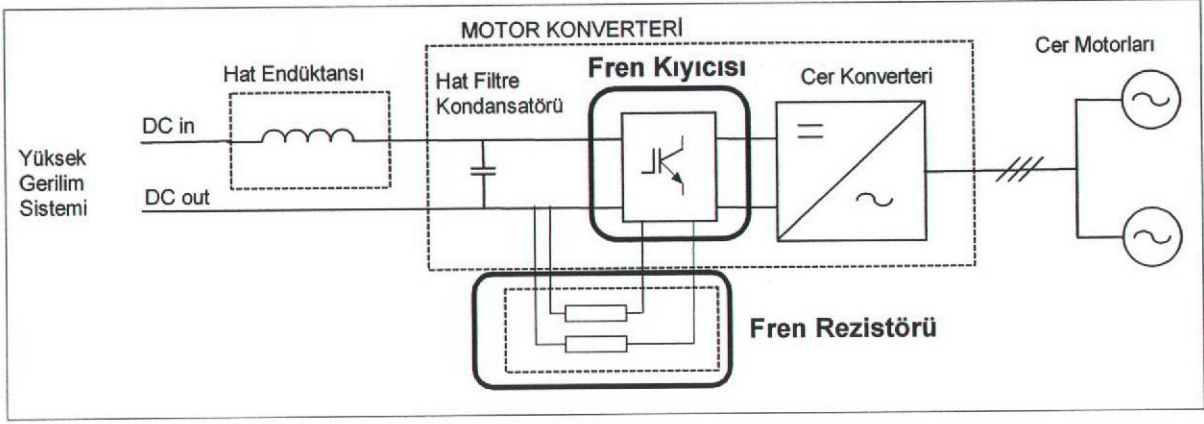
Şekil 5.10 Cer kuvvetinde bir kısıtlama ile sonuçlanan sıcaklık limitleri

Hatalar tekrarlıyorsa arızalı motor konverteri bloke olur. Bozuk motor konverter bu durumda bağlantısı kopmuş olarak bırakılır ve diğer motor konverteri normal şekilde çalışmaya devam edebilir.

5.3.3 Fren Kıyıcısı

Her elektrikli cer sistemi, aynı zamanda aşırı voltaja karşı da koruma sağlayan bir fren kıyıcısına sahiptir. Fren elektrik kıyıcısı, fren rezistörlerine seri bağlı olan iki fazdan oluşur.

Fren elektrik kesicisinin görevi, elektriksel fren enerjisini hatta geri beslenmeyecek şekilde tutmaktır. Sistem aynı zamanda motor konverterini voltaj değişimlerinden korur ve hat filtre kondansatörünü deşarj etmede kullanılır. (Mathisen, 2003)

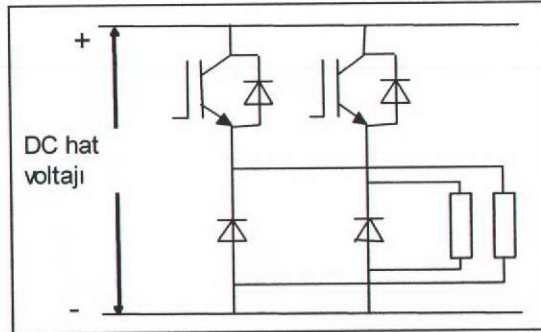


Şekil 5.11 Fren kıyıcısı ve fren rezistörü

5.3.3.1 Normal İşletmedeki Durum

Fren Kıyıcısı motor konverterini hat üzerinde meydana gelebilecek yada cer sisteminin kendisi tarafından üretilebilen voltaj değişimlerine karşı korur. Bu durum OVP (Over Voltage Protection=Aşırı Voltaj Koruması) fonksiyonu olarak bilinir. Bu fonksiyon motor hem hareket halindeyken hem de frenleme esnasında aktiftir.

Fren yapıldığında freni kontrol etmek için aynı zamanda OVC (Over Voltage Chopper=Aşırı Voltaj Kıyıcısı) fonksiyonu olarak adlandırılan fonksiyon devreye girer. Bu fonksiyonun amacı DC hat voltajını her zaman belirlenen değerde sabit tutmaktır. Araç fren yaptığı anda akım, motor konverter'den hatta doğru akar. Hattın akımı uygun hale getiremediği durumlarda (bu gücü sağlayacak başka bir araç olmadığında), DC hat voltajı artar. Bu OVC fonksiyonu belirlenen bir voltaja ulaştığında uygulanır. Fren enerjisi bu durumda fren rezistörlerinde ısıya dönüştürülür.



Şekil 5.12 Fren kıyıcısının arka plan çalışma prensibi

Fren elektrik kesicisi iki paralel fazdan oluşur. Her bir faz, bir fren rezistörü, bir IGBT ve

Şekil 5.12’de gösterildiği gibi bir anti-paralel diyottan oluşur. İki faz, güç kaynağı için yararlı bir etki oluşturan zıt faz prensibiyle çalışır.

5.3.3.2 Anormal İşletmedeki Durum

Fren rezistörünün çalışması ve durumu iki ayrı görüntüleme fonksiyonu ile görüntülenir. Bunlardan biri, örneğin beklenen güç ile fren rezistöründe okunan gerçek güç arasındaki farkın ölçümü gibi, motor konverterindeki bozuk herhangi bir bileşenin çok çabuk tespit edilmesine olanak sağlayan güç dengesini kontrol eder.

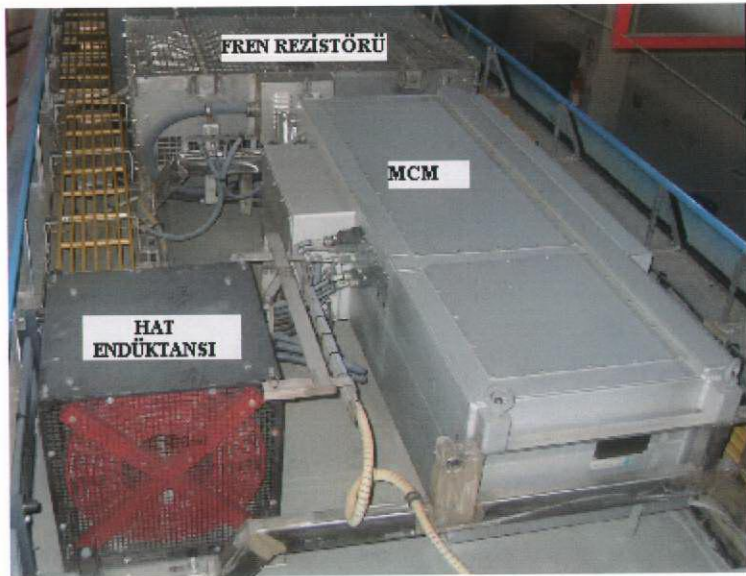
Bir arıza belirlendiğinde elektrikli cer sisteminin bağlantısı kesilir. Diğer fonksiyon, bir sıcaklık modeline bağlı olarak fren rezistöründeki ısı artışını hesaplar. Eğer rezistörde çok yüksek bir ısı tespit edilirse, başka bir frenleme sistemi ile değiştirilmesi gerektiği anlamına gelen, mevcut frenleme gücü düşürülür. Eğer ısı artmaya devam ederse dinamik fren tamamen bloke olacaktır.

5.4 Tahrik Sisteminin Dizaynı

Tramvay aracı temelde, araç üzerinde bulunan 3 ekipman ile sağlanır.

- 1) Hat Endüktansı
- 2) Motor Konvertör Modülü(MCM)
- 3) Fren Rezistörleri

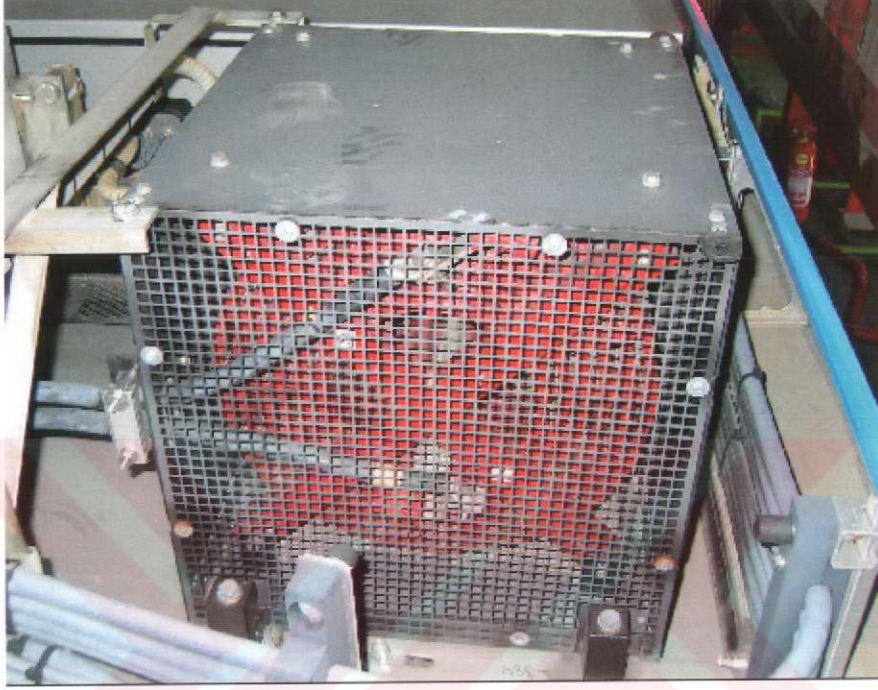
Bu 3 ekipmanın araç üzerindeki yerleşimi Şekil 5.13’da gösterilmiştir.



Şekil 5.13 Tahrik sistemi ekipmanları

5.4.1 Hat Filtre Endüktansı

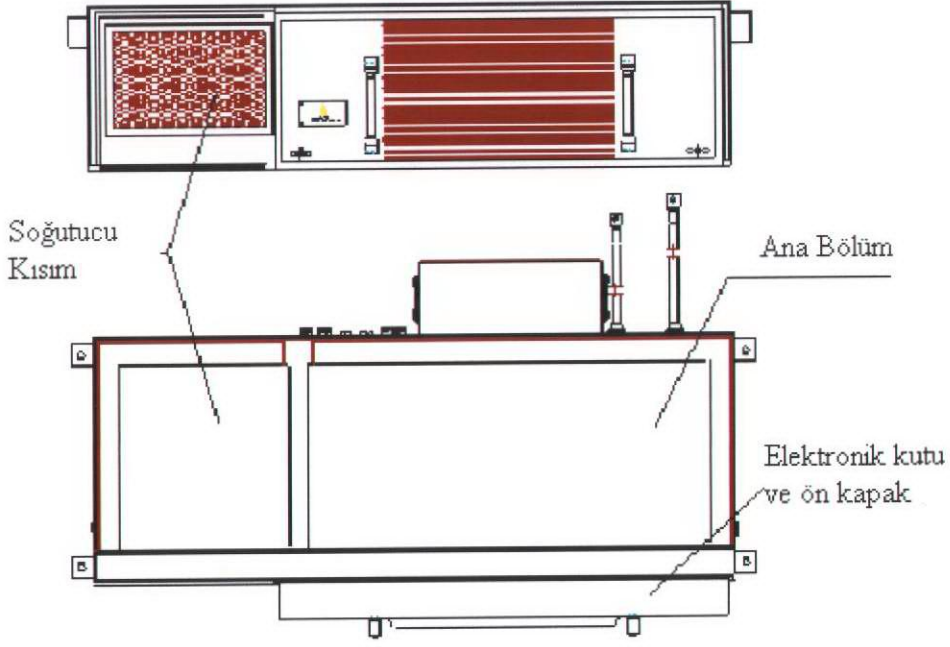
Hat endüktansı aracın tavanında ayrı bir kutu içerisinde yerleştirilmiştir. Araç hareket halinde iken soğuk tutulmaktadır. Hava akımı, geniş kare örgülerden oluşan bir metal üzerinden olmaktadır. Endüktans, ağırlığını minimum tutmak için bobini alüminyumdan yapılmış bir hava sarım bobini içermektedir. Kablaj, bir kablo kısıkaçı ile raya bağlanmıştır.



Şekil 5.14 Hat endüktansı

5.4.2 Motor Konverter Modülü (MCM)

Mekanik olarak, MCM üç bölgeden oluşmaktadır; güç aygıtları için ana bölme, MCM bilgisayar ile düşük gerilimin bulunduğu kısım ve dış fan ve soğutma kanat bölgesi içeren soğutma sistemi.



Şekil 5.15 Motor konverter modülünün yandan ve üstten görünüşü

5.4.3 Fren Rezistörü

Aracın tavanında, her motor konverteri için bir fren rezistörünü içeren bir kutu bulunmaktadır. Her kutu iki fren rezistörü içermektedir. Motor konverterde, iki direnç, ayrı fren elektrik kesici fazlarına bağlanmışlardır.

Rezistörün dış kısmı delikli metal levhadan oluşmaktadır. Fren dirençleri otomatik soğutma için tasarlanmışlardır, fakat araç hareket halinde iken, belirli bir dereceye kadar onlar da soğutulmaktadır.

Motor konverteri ve fren direnci arasındaki kablolaj, EMI'nın etraftaki donanımı etkilemesini önlemek için korunmaktadır.

Dış muhafazadaki delikler, EMI'yı engellemek ve iyi bir soğutma kapasitesi elde etmek için optimize edilmişlerdir. Fren rezistörünün mekanik dizaynı Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



Şekil 5.16 Fren rezistörünün mekanik dizaynı

5.5 MCM'in Fonksiyon Tanımı

Motor Konverter Modülü (MCM), iki paralel yük çekme motoru için güç kaynağıdır. MCM'de DC hat voltajı, değişken genlik ve frekansa sahip simetrik bir 3-fazlı voltaja çevrilmektedir.

Elektrodinamik frenlemede, MCM üzerindeki güç tersine döner ve enerji DC hattını beslemeye başlar.

Araç, voltaj kaynağında bir güç boşluğu ile karşılaştığında, işletim sistemi frenleme moduna geçer. Bu sayede, sistem, Hat Filtre Kondansatörü (LFC) üzerine olabilecek bir enerji kaymasını engellemekte ve ayrıca voltaj döndüğü anda işletim için meşgul olmamak amacı ile motorlar manyetizasyonlarını korumaktadırlar.

MCM, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistors) modülleri ile donatılmıştır ve kontroller mikroişlemciler tabanlıdır.

Motor Konverter Modülü (MCM), hem soğutmayı hem de kontrol sistemlerini içeren bağımsız bir birimdir. MCM aracın tavanına yerleştirilmiştir.

Elektriksel olarak, MCM üç temel alt sisteme sahiptir; 3-fazlı invertör, hat filtre kondansatörü ve fren kıyıcısı. Üç sistem de, dahili bir bilgisayar ile denetlenmekte ve kontrol edilmektedir.

Hat Filtre Kondansatörü (LFC) giriş DC voltajını dengelemektedir. İnvertörün düzgün bir

şekilde motor akımlarını düzenleyebilmesi için, stabil bir giriş voltajının olması önemlidir. Hat filtre reaktörü ile birlikte, LFC ayrıca hat filtresi olarak da çalışmaktadır. Hat filtresi, MCM tarafından yayılan yüksek frekansı düşürmekte ve MCM'nin giriş güç hattından gelen dalgalanmalardan daha az etkilenmesini sağlar.

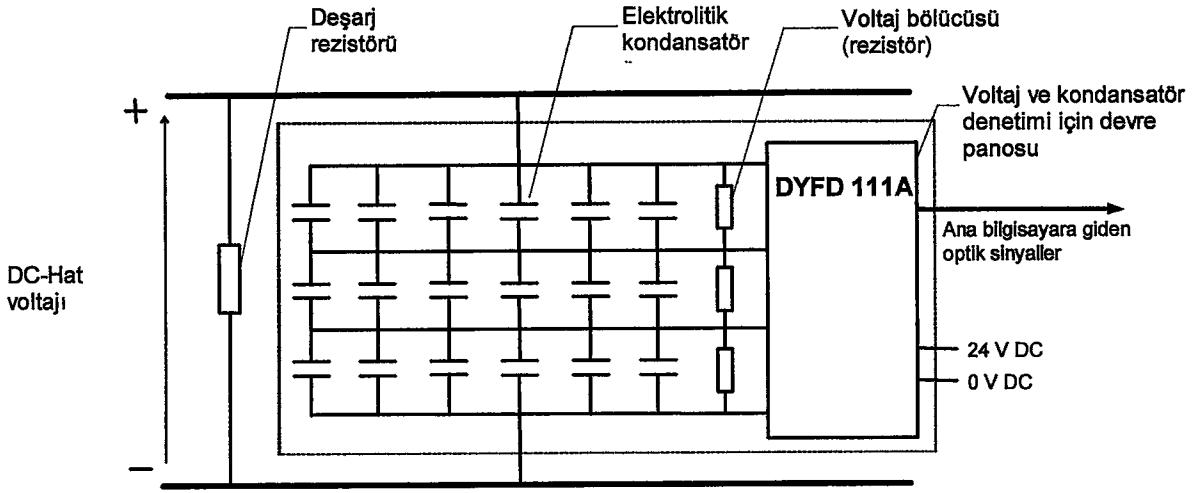
3-fazlı invertör, asenkron motorları beslemek amacı ile, giriş DC-voltajını 3-fazlı voltaja çevirmektedir. Invertör, IGBT modülleri ile donatılmış olan üç faz bacağı içermektedir.

Fren Kısıyıcısı, aşırı voltajdaki geçici sapmaları önler. Kısıyıcı ayrıca, DC-hattı alıcı olmadığında, elektrodinamik frenleme süresince enerji dağılımı için kullanılmaktadır. Elektrodinamik frenlemede, motorlardan gelen enerji, eğer hatta bir alıcı yoksa, MCM dışında ayrı bir kutu şeklinde tasarlanmış fren rezistörlerinde harcanır.

Denetleme ve kontrol amacı ile, MCM, sıcaklık, akım ve voltaj ölçümü yapar.

MCM'in temel devre düzeneği aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. MCM şunları içermektedir:

- Hat filtre kondansatörü
- 3-fazlı invertör
- Fren kısıyıcısı
- Soğutucu fanlar
- Bilgisayar
- Düşük gerilim kaynağı
- Ölçme aygıtları.



Şekil 5.18 Hat filtre kondansatörü ve ilgili donanımı

5.5.1.1 Elektrolitik Kondansatörler

LFC herbiri 7.5 mF kapasite değerine sahip 18 kondansatörden oluşur. Kondansatörler, Şekil 5.18’de gösterildiği üzere üç grup seri ve altı tanesi paralel olarak bağlıdır. Konfigürasyon, voltaj bölücülerini ve deşarj rezistörlerini minimize edecek şekilde ayarlanmıştır.

Elektrolit kondansatörler eşleşmiş değildir fakat ayrı ayrı değiştirilebilir.

LFC 15 mF’lik toplam kapasitansa sahiptir.

5.5.1.2 Voltaj Bölücülerini

Voltaj bölücüsü olarak görev yapan 9 rezistör mevcuttur. Şekil 5.18’de gösterildiği gibi rezistörlerin üçü, altı tane elektrolit kondansatöre paralel bağlıdır. Rezistörlerin her biri 18 k Ω ’luk bir rezistansa sahiptir ve kondansatörlerin üç sırası arasında düzgün voltaj dağılımını garanti altına alır.

5.5.1.3 Deşarj Rezistörü

LFC ile paralel bağlı bir deşarj rezistörü vardır. Fren elektrik kısıcısında bir hata oluşması durumunda deşarj rezistörü LFC’yi beş dakikadan kısa bir sürede 50 V’un altına deşarj edebilir.

5.5.1.4 Voltaj ve Kondansatör Denetimi için Devre Kartı, DYFD 111A

- Kondansatör LFC takımının üstünde yer alan bir devre kartıyla denetlenir. Devre kartı iki temel göreve sahiptir:

- DC-hat voltajını ölçmek
- Kondansatördeki hataları belirlemek

Kondansatördeki hataların belirlenmesi için DC-hat voltajı ve kondansatörler arasındaki voltaj bölünmesi ölçülür.

Kondansatör hatası, voltaj bölücülerinden biri boyunca voltajın DC-hat voltajının %25 altına düşmesiyle belirlenir. 100 V'luk bir DC-hat voltajının altında hata belirlenmesi mümkün değildir.

Kondansatörde bir kısa devre olduğunda MCM bilgisayarına fiber optik kablolar ile bir sinyal gönderilir. Bilgisayar kondansatördeki kısa devreden dolayı MCM'i devre dışı bırakır.

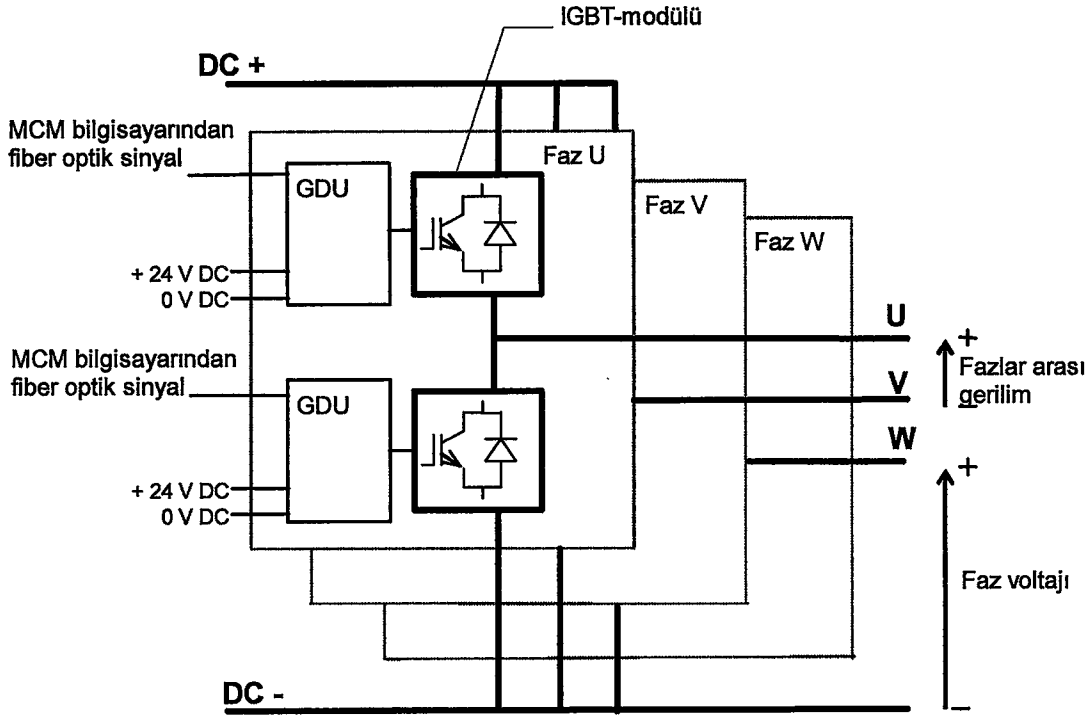
DC-hat voltajı ile ilgili bilgiler fiber optik kablolar ile sürekli MCM bilgisayarına gönderilmektedir.

5.5.2 Üç fazlı Dalgalı İnvörtör

3-fazlı dalgalı invörtör, cer motorlarındaki hız ve torku kontrol eder. Bu, DC-hat voltajının Değişken Voltaj ve Değişken Frekans (VVVF) ile 3-fazlı simetrik bir güce dönüştürülmesiyle sağlanır.

Elektrodinamik frenlemede dalgalı akım değiştirici boyunca güç tersine çevrilir ve enerji 3-fazdan DC voltajına dönüştürülür.

- 3 Faz invörtör birbirine eş üç faz ayağından oluşur. (Şekil 5.19)



Şekil 5.19 İnvörtör faz kolonları

5.5.2.1 IGBT Modülü

Herbir faz ayağı iki IGBT modülüne sahiptir. Her bir modülde bir serbest döngü diyotu ile bir IGBT bulunur. IGBT, kapı terminaline giden bir voltaj sinyali ile beslenen kapı sürme devresi(GDU) tarafından açılır ve kapanır. IGBT'nin anahtarlanması voltajın faz çıkışlarında (Şekil 5.19'da U, V ve W) tam DC-hat voltajı ve sıfır volt arasında değişmesine sebep olur. Bu durum her fazda kontrollü bir AC voltajı ile sonuçlanır.

Bir anahtarlama (switching) sırasında faz akımlarının yönü yüksekte düşük IGBT modülüne yada tam tersi olarak yön değiştirecektir.

5.5.2.2 Kapı Sürme Devresi (GDU)

Kapı Sürme Devresi (GDU), IGBT'yi MCM bilgisayarının talimatına göre açar yada kapatır. GDU'lar aynı zamanda faz kısa devrelerini de belirleyebilir. Her faz kolonunda her bir IGBT için iki GDU bulunur: İnvörtör faz kolonlarında bulunan GDU'lar fren elektrik kesicisinde bulunan birimlerle eşitir.

GDU'lar güç kaynağından +24V'luk bir güç ile beslenir. GDU kabloları mümkün olduğunca kısa sürede denetim yapmak için IGBT-modülüne mümkün olduğunca yakın bir yerde bulunur.

MCM bilgisayarıdan gelen anahtarlama talimatları fiber optik kablolar ile iletilir. Bilgilerin bu şekilde galvanik iletimi, yüksek voltaj sistemini kontrol sisteminden ayırır.

IGBT-modülünden kablolar bir konnektör ile GDU'ya bağlanır. GDU üzerindeki kapı terminali, kısa devre ile ilgili ipucu verir.

MCM bilgisayarı +24V'luk bir güç kaybı belirlediğinde invertör anında bloke olur.

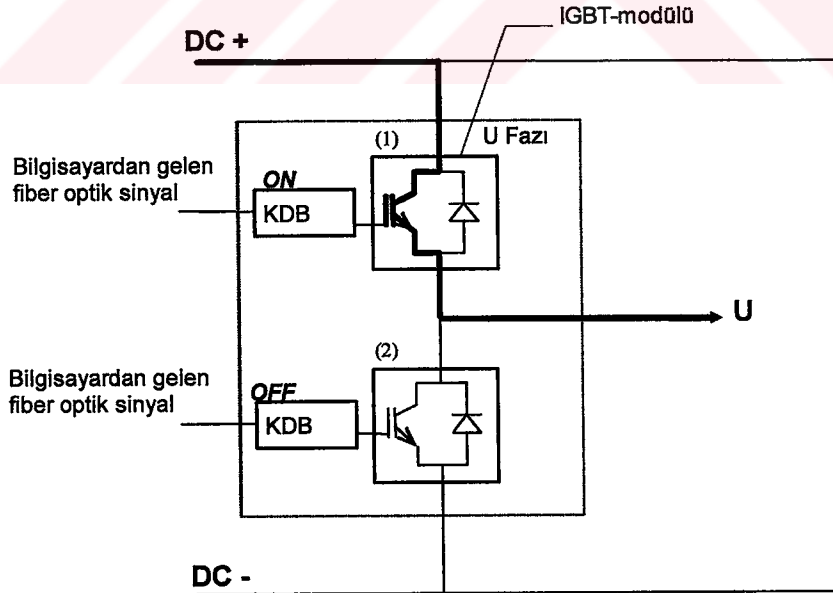
GDU üzerindeki ledler, aşağıdaki tabloya göre GDU'nun durumunu belirler.

Çizelge 5.2 Üç faz dalgali inverterdeki GDU ledlerinin fonksiyonları

Fonksiyon	LED işareti
Güç kaynağı AÇIK	YEŞİL, Sürekli AÇIK
Anahtarlama talimatı	YEŞİL, Yanıp sönen
Güç kaynağında arıza	KIRMIZI, Sürekli AÇIK
Kısa devre blokesi	KIRMIZI, Yanıp sönen

5.5.2.3 Faz Komütasyonu

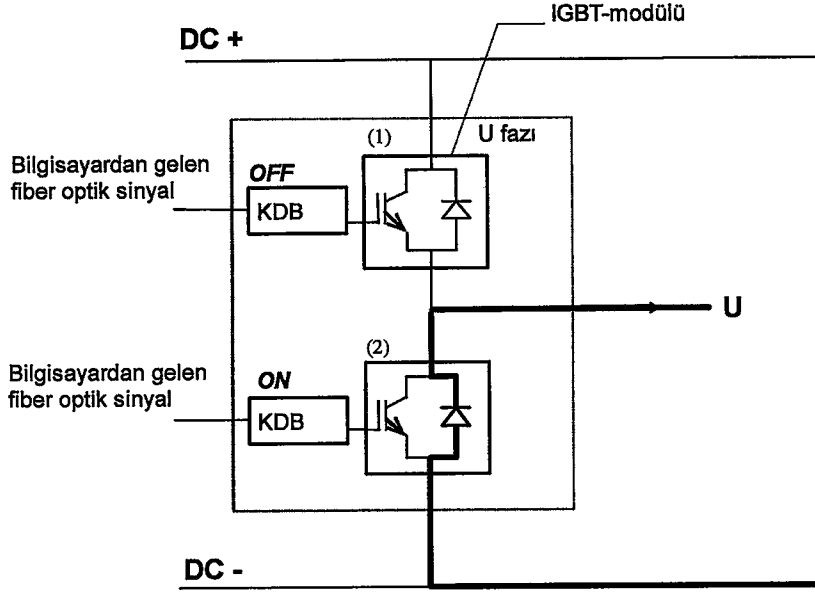
U fazındaki üst IGBT (1) AÇIK ve alt IGBT (2) KAPALI ise, U fazındaki voltaj çıkışı DC-hat voltajına (DC+) eşittir. (Şekil 5.20)



Şekil 5.20 Komütasyondan önce U fazındaki akım (Pozitif faz akımı)

U faz çıkışı düşüğe ayarlanırsa, bir KAPAT (OFF) talimatı üst IGBT'ye (1) gönderilir ve bir AÇ (ON) talimatı alt IGBT'ye gönderilir ve faz akımı alt IGBT-modülünün (2) serbest döngü

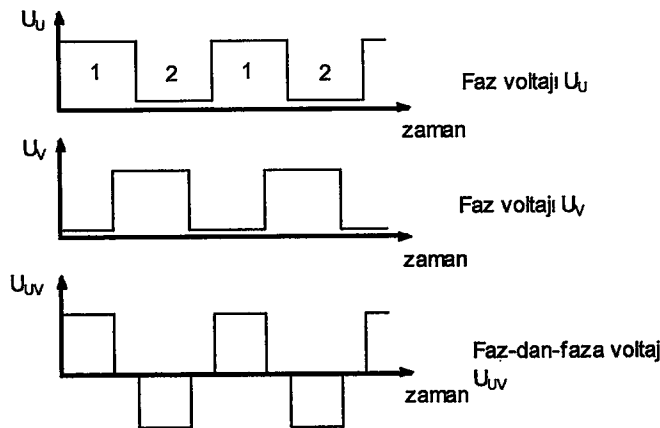
diyotu boyunca ilerler. Şekil 5 ve 6'ya bakın. U fazının çıkış voltajı bu durumda sıfır voltur (DC-).



Şekil 5.21 Komütasyondan sonra U fazındaki akım (Pozitif faz akımı)

Faz akımı negatifse, komütasyon sırasında akım tersine çevrilir; akım alt IGBT'den (2) üst IGBT-modülünün (1) serbest döngü diyotuna doğru olacak şekilde değişir.

IGBTler açık ve kapalı olarak anahtarlanırken bir puls zinciri oluşur. Puls zinciri modeli, U_U faz çıkış voltajını yaratır. En basit model olan kare dalga, aynı zamanda HEX-modeli olarak da adlandırılır. (Şekil 5.22)



Şekil 5.22 U ve V Fazlarının çıkış voltajındaki kare dalgalar

Numaralar, U fazındaki hangi IGBTlerin AÇIK olduğunu göstermektedir.

U fazındaki puls zinciri üst IGBT'nin (1) AÇIK (ON) olmasıyla başlar. Üst IGBT KAPALI olduğunda, alt IGBT (2) AÇIKTIR. U ve V fazlarındaki faz voltajları şeklen aynıdır fakat 120° 'lik (yada 240°) bir gecikme faz açısına sahiptirler. Fazlar arası voltaj Şekil 5.22'de gösterilmiştir.

Bu, teoride AC-akımının invertörden nasıl oluştuğunu gösterir.

Kare dalgalar kullanıldığında AC-voltajının genliği DC-hat voltajı ile belirlenir. Değişken genlikli bir AC-voltajı üretmek için Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM=Pulse Width Modulation) kullanılır. PWM kullanılarak AC-voltajının genliği DC- hat voltajından neredeyse bağımsız olarak türetilir.

5.5.2.4 Modülasyon Modelleri

Asenkron bir motor giriş gücünün voltajı ve frekansı ile kontrol edilir. Değişken voltaj ve frekans PWM kullanılarak üretilir. MCM'de kullanılan PWM metodu Uzay Vektör Modülasyonu (SVM) olarak adlandırılır. Çıkış mesafesi boyunca yalnız bir modülasyon metodu kullanılır, bu yolla, motorlar modülasyon modeli içinde değişiklikler ve basamaklar olmaksızın kademeli bir ayara sahip olur.

Güç elektroniği devrelerinde kullanılan en genel modülasyon modeli sinüzoidal PWM'dir. Ancak bu metotta maksimum çıkış gerilimi düşük ve anahtarlama sayısı yüksektir. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bu metotlar halen kullanılmakta ise de özel olarak şekillendirilen referans dalga ve onunla senkronize bir taşıyıcı dalga gerektirdiğinden kontrol devresi oldukça karışıktır. Özellikle son yıllarda, sinüzoidal modülasyonun bir alternatifi olarak PWM dalga şekilleri üretmek amacıyla, uzay vektör PWM modeli geliştirilmiştir. Bu metotta, sinüzoidal modülasyona göre daha düşük harmonik distorsiyonlu çıkış akımı ile daha yüksek çıkış gerilimi meydana getirmesi ve mikroişlemcilerle kolayca gerçekleştirilebilmesi gibi avantajları sebebiyle endüstriyel uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmuştur.

Serbest uyarımlı doğru akım makinalarında akıyı ve momenti oluşturan akım bileşenleri birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilir. Asenkron makinelerde ise akıyı ve momenti ayrı ayrı kontrol edebilecek iki akım bileşeni mevcut değildir; sadece stator akımı vardır. Buna karşın stator akımı sinüzoidal bir akım olması nedeni ile genlik, frekans ve faz bilgilerini içerir. Dolayısıyla, asenkron makinada kontrol edilmesi gereken büyüklük, genlik, fazı ve frekansı ile tanımlı olan akım vektörüdür. Bu kontrol geliştirilen vektör kontrol yöntemi ile yapılabilir. Bu yöntemde, makinanın stator akım vektörü, doğru akım

makinasındaki uyarma ve endüvi akımlarına benzer şekilde, birisi akıyı, diğeri momenti oluşturacak şekilde birbirine dik iki bileşene ayrılır. Akı baz alınarak stator akımının bileşenlerine ayrılması işlemi akı oryantasyonu olarak adlandırılır. Baz alınacak akıya göre farklı akı oryantasyon yöntemleri vardır. Ancak tüm bu yöntemlerde akıyı oluşturan ve akı ile aynı yönde olan akım bileşeni yardımı ile akı sabit tutulup diğerk akım bileşeni ile moment doğrusal olarak ayarlanır. Böylece asenkron makina, hız referansı değişimlerine ve yük moment değişimlerine doğru akım makinası kadar hızlı cevap verebilir.

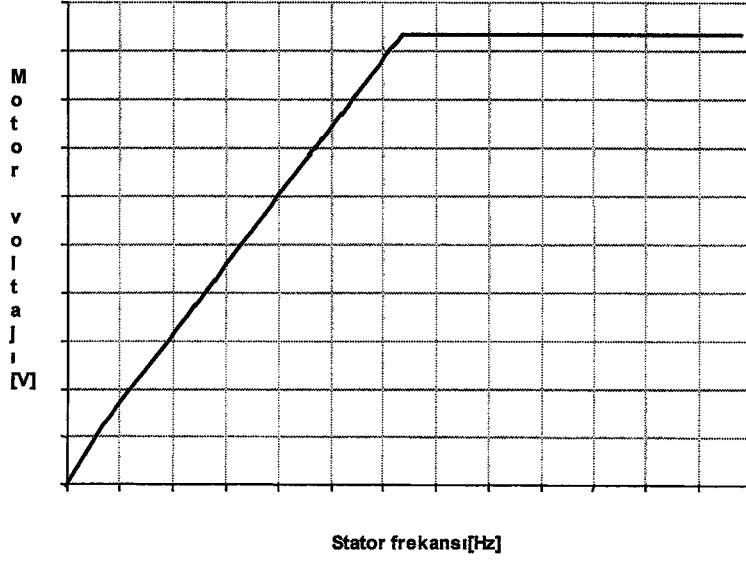
PWM, invertördeki IGBTlerin anahtarlarını açıp kapatarak DC-hat voltajını 3-fazlı bir AC-voltajına ayırır. Kontrol, komütasyonların zamanlamasına bağlıdır, bu çıkış fazlarındaki pulsların uzunluğudur. Her bir pulsun genliği halen DC-hat voltajı tarafından belirlenmektedir.

DC-hat voltajını maksimumda kullanmak için aşırı modülasyon kullanılır. Modülasyonun bu çeşidi normal PWM voltaj genliği limitine ulaştığında başlatılır. Bu limit maksimum çıkış voltajının (verilen bir DC-hat voltajı için) yaklaşık %90'ıdır. %100'e ulaşmak için PWM'den kare dalgaya kademesiz bir aşırı modülasyon kullanılır.

PWM metodu etkin bir motor kontrolü sağlar ve nispeten yüksek anahtarlama frekansı, motordaki dalgalanma kayıplarını düşürür.

IGBT'lerin anahtarlama frekansı, ideal motor akımları üretmek için PWM'nin yeteneğini zorlar. Frekans yükseldikçe motor akımında dalgalanmalar düşer, motordaki kayıplar azalır. MCM, 1 kHz'lik bir anahtarlama frekansı için dizayn edilmiştir.

Motor stator frekansı aracın hızını belirler ve normal PWM boyunca motor voltaj-frekans oranı sabittir. Stator frekansı temel frekansı aşarsa, motor voltajı sabit kalır. (Şekil 5.23)



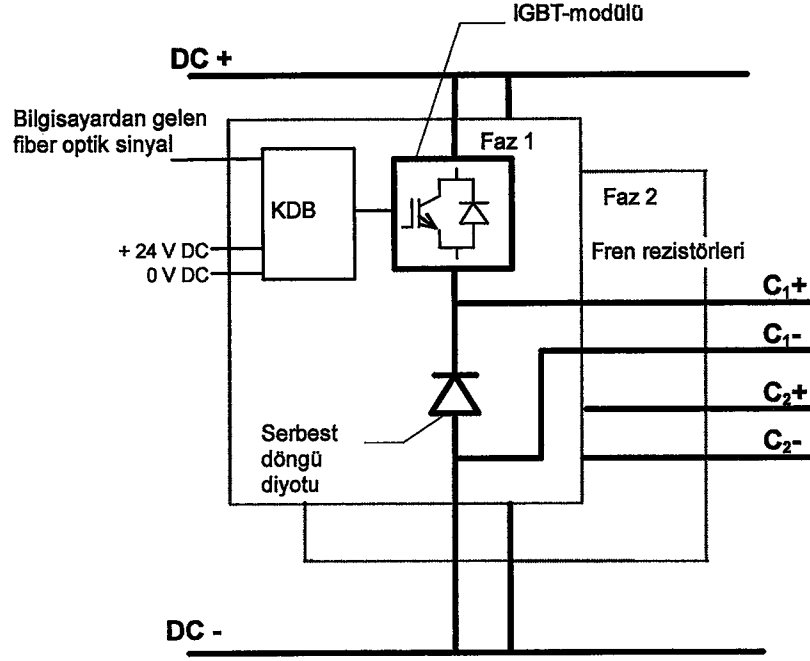
Şekil 5.23 Motor voltajına karşı stator frekansı değişimi

5.5.3 Fren Kısıyıcısı

MCM içinde kombine bir fren kısıyıcısı ve aşırı voltaj koruması mevcuttur. Kısıyıcı, MCM'in dışında yer alan fren rezistörüyle bağlıdır.

Fren Kısıyıcısı, elektrik enerjisini hat voltajına geri beslenmeyecek şekilde tutar. Akım kesicisi aynı zamanda MCM'i voltaj değişimlerine karşı korur ve LFC'nin aktif deşarjı için kullanılır.

Birbirine eşit iki faz kolonu fren elektrik kısıyıcısını oluşturur. (Şekil 5.24)



Şekil 5.24 Fren elektrik kısıyıcısı faz kolonları

5.5.3.1 IGBT Modülü

Her bir faz kolonu bir IGBT modülüne sahiptir. Her bir modülün içinde bir anti-paralel serbest döngü diyotu ile bir IGBT bulunur. IGBT, kapı terminaline uygulanan bir voltaj sinyali ile GDU tarafından açılıp kapatılır. IGBT'nin kapatılması elektriksel enerjinin fren rezistörlerine gitmesini sağlar.

5.5.3.2 Serbest Döngü Diyotu

Her bir fren akım kesici kolonda bir serbest döngü diyotu bulunur. Diyot, kapalı durumda akım için alternatif bir yol sağlar ve bu yolla anahtarlamamanın gerçekleşmesini mümkün kılar.

5.5.3.3 Kapı Kontrol Ünitesi (GDU)

Kapı Kontrol ünitesi (GDU), MCM bilgisayarından aldığı talimata göre IGBT'nin açık ve kapalı olarak anahtarlanmasını sağlar. GDU'lar aynı zamanda faz kısa devrelerini de belirleyebilir.

Her faz kolonunda her bir IGBT için bir GDU olmak üzere, iki GDU bulunur: İnvertör faz kolonlarında bulunan GDU'lar ile fren kısıyıcısında bulunan GDU'lar arasında fark yoktur.

GDU'lar +24V'luk DC gerilim ile beslenirler. GDU kablolarının mümkün olduğunca kısa sürede denetlenebilmesi için IGBT-modülüne oldukça yakın bir yerde bulunur.

MCM bilgisayarından gelen anahtarlama talimatları fiber optik kablolar ile iletilir. Bilgilerin bu şekilde galvanik iletimi, yüksek voltaj sistemini kontrol sisteminden ayırır.

IGBT-modülünden kablolar bir irtibat konnektörü ile GDU'ya bağlanır.

MCM bilgisayarı +24V'luk bir güç kaybı belirlediğinde invertör anında bloke olur.

LED'ler aşağıdaki tabloya göre GDU'nun durumunu belirler.

Çizelge 5.3 Fren Kıyıcısı GDU'larındaki ledlerin fonksiyonları

Fonksiyon	LED işareti
Güç kaynağı AÇIK	YEŞİL, Sürekli AÇIK
Anahtarlama talimatı	YEŞİL, Yanıp sönen
Güç kaynağında arıza	KIRMIZI, Sürekli AÇIK
Kısa devre blokesi	KIRMIZI, Yanıp sönen

5.5.3.4 Aşırı Voltaj Koruması(OVP)

Fren Kıyıcısı Aşırı Voltaj Koruyucusu (OVP) olarak aktive edildiğinde, MCM'i voltaj değişimlerinden korur. OVP, elektrodinamik frenleme olmadığında devreye girebildiği gibi aynı zamanda frenleme moduna da devreye girebilir.

İki-faz sütunu, faz filtre kondansatörleri boyunca geçen voltaj 1000V'u geçtiğinde aktive olur. OVP aktive olduğunda, enerji fren rezistörlerinde harcanır ve DC-hat voltajı düşmeye başlar. Voltaj 950V'a ulaştığında, OVP deaktive olur. OVP modunda paralel iki fren kıyıcı faz sütunu birlikte aktive olur.

5.5.3.5 Aşırı Voltaj Kıyıcısı (OVC)

Elektrodinamik frenleme; gücün 3-fazlı invertör boyunca tersine dönmesiyle üretilir ve bu güç hat voltajına geri beslenir. Eğer güç hattında bir alıcı yoksa, DC-hat voltajı artar. 900 V DC'de Fren Kıyıcısı devreye girer.

Frenlemeden gelen enerji bu durumda fren rezistörlerinde dağılır. Elektrodinamik frenleme durduğunda Fren Kıyıcısı da deaktive olur.

OVC sadece frenleme sırasında kullanılabilir. Sabit bir anahtarlama frekansı ve değişken bir puls uzunluğu kullanılarak, OVC DC-hat voltajını kontrol eder. Anahtarlama frekansı 500 Hz'dir ve iki faz sütunu karşı faza aktive edilir yani 180°'lik bir gecikme ile çalışırlar. Bu durumda görünür Fren Kıyıcısı anahtarlama frekansı 1000 Hz olur.

5.5.3.6 Fren Kıyıcısının Denetlenmesi

Beklenen hat akımı MCM bilgisayarında, 3-fazlı invertör ve Fren Kıyıcısı boyunca geçen akımdan hesaplanır. Beklenen değer, akım ölçen aletlerden elde edilen gerçek değer ile karşılaştırılır. Gerçek akım değeri beklenenden sapma gösteriyorsa “Güç dengesi hatası” belirlenir.

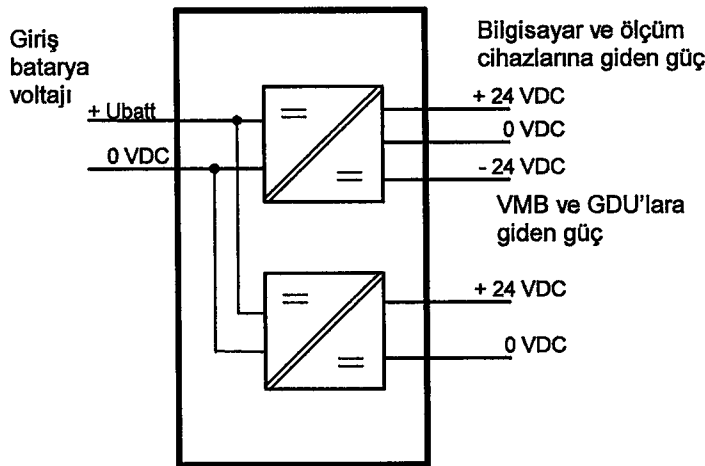
Eğer gerçek değer beklenenden yüksekse, bir kesici faz sütununda bir IGBT kısa devresi meydana gelmiş olabilir. Eğer beklenen değer gerçek değerden yüksekse, bir fren rezistör hatası yada GDU’ların bir tanesinde bloke olma durumu beklenebilir.

Fren rezistörlerinin termal yükü Fren Kıyıcısı boyunca geçen güçten hesaplanır. Güç dağılımı DC-hat voltajı ve Fren Kıyıcısının modülasyon indeksi kullanılarak hesaplanır. Eğer izin verilen maksimum rezistör ısıya ulaşırsa, OVC fonksiyonu geçici olarak devre dışı kalır ve elektrodinamik frenlemenin yerini mekanik frenleme alabilir.

5.5.4 Düşük Voltaj Güç kaynağı

MCM içinde MCM bilgisayarını ve akım ölçüm cihazlarına ± 24 V DC güç sağlamak için bir düşük voltaj güç kaynağı bulunur. Bu güç kaynağı aynı zamanda Voltaj Ölçüm Kartını (VMB) ve GDU’ları da $+24$ V DC ile besler.

Güç kaynağı araç batarya voltajından beslenir. Giriş voltajı, galvanik olarak ayrılmış giriş ve çıkışlar ile bir DC/DC-konverter kullanılarak sözü geçen çıkış voltajlarına dönüştürülür.



Şekil 5.25 Düşük voltaj güç kaynağı

5.5.5 MCM Bilgisayarı (MCC/I)

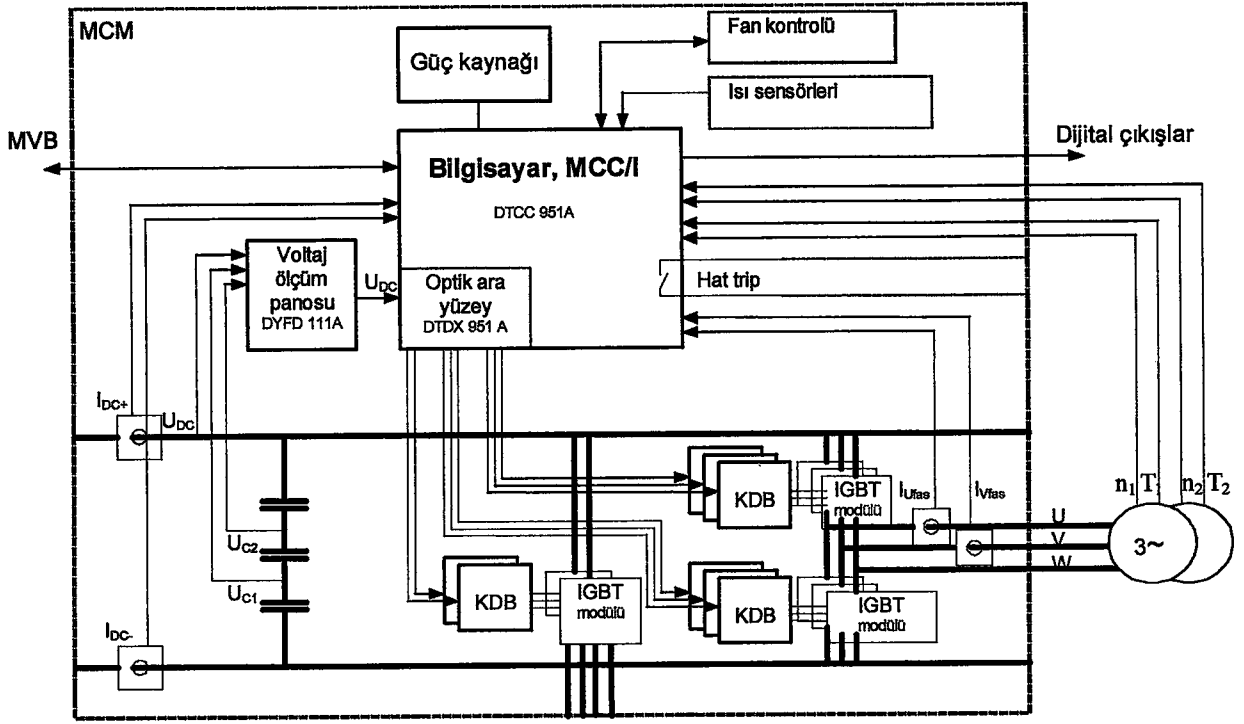
MCM bilgisayar, MCC/I (Motor Converter Control for IGBT) MCM'nin fonksiyonlarının çoğunu kontrol eder ve denetler. Bilgisayar, araç içindeki kontrol sisteminin bir parçasıdır. Bu durumda, MCM dış kontrollerden bağımsızdır ve işletim kontrolü için minimum bir giriş ve çıkış sinyali ile çalışır. Bilgisayar, Araç bilgisayarına MVB (Multifunctional Vehicle Bus) yolu ile bağlanır.

- MCC/I kartı aşağıdakileri kontrol eder:
- Hat filtre kondansatörlerinin şarj ve deşarj olması
- Tork kontrolü
- RPM Ölçümleri
- Kayma kızaklama kontrolü
- Fren Kısıyıcısı
- Aşırı Voltaj Koruması, OVP
- Aşırı akım koruması
- Antilock Brake System, ABS (mekaniksel frenleme)
- Soğutma Sistemi
- Test fonksiyonları
- MCC/I hem donanım hem de yazılımdır. Sistem kontrollerinin çoğu bir Mikroişlemci ve bir Dijital Sinyal İşlemcisi (DSP=Digital Signal Processor) içinde programlanır.

Yazılım, fonksiyonel bloklardan oluşturulmuştur.

Bazı önemli ve kritik zaman fonksiyonları programlanabilir donanım içinde gerçekleştirilir (FPGA, Field Programmable Gate Array).

Kontrol yapısı bilgisayarın boyutunu ve ağırlığını azaltırken aynı zamanda kontrolü büyük ölçüde esnek hale getirir.



Şekil 5.26 MCM bilgisayarının giriş ve çıkışları

5.5.5.1 Araç Bilgisayarı ile İletişim

Araç bilgisayarı ile iletişim (VCU, Vehicle Control Unit), MVB (Çokfonksiyonlu Araç Busı-Multifunctional Vehicle Bus) ile yapılmaktadır. VCU ve MCM bilgisayarı arasında iletilen en önemli bilgilerden bazıları şunlardır:

- Harekete geçme emri (in)
- Aracın seyahat yönü (in)
- Tork referansı (in)
- Sağlanan tork (out)
- DC-hat voltajı (out)
- Hat akımı (out)
- RPM (out)
- Durum (out)
- Hata göstergeleri (in/out).

5.5.5.2 Güç Kaynağı

Bilgisayar devre panosu, düşük voltaj kaynağından +24 V DC ile beslenmektedir. Bilgisayarda bulunan DC/DC konverter, bu voltajı, bilgisayarın içinde kullanılan +5 VDC,

+3,3 VDC ve ± 15 VDC voltajlarına çevirmektedir.

5.5.5.3 Giriş ve Çıkışlar

MCM bilgisayarının hem dijital hem de analog sinyaller için çok sayıda giriş ve çıkış bulunmaktadır. Bu giriş ve çıkışlar, MCM dahili kontrolü, motor sıcaklıkları, hız ölçümleri ve ABS için kullanılmaktadır.

MCM bilgisayar donanımı aşağıdaki giriş ve çıkışları içermektedir:

Çizelge 5.4 MCM bilgisayarı giriş ve çıkışları

Analog Girişlerin Çeşidi ve Toplam Sayısı	Kullanıldığı Fonksiyon
MCM içerisinde 6 tane	Hat akımı DC- Hat akımı DC+ Faz akımı U Faz akımı V Sıcaklık, iç hava soğutucu Sıcaklık, iç hava
MCM dışı-4 tane	Motor sıcaklığı 1 Motor sıcaklığı 2 RPM 1 RPM 2
Dijital Girişler	
MCM içerisi-2 tane	Kontaktör, iç fan Kontaktör, dış fan
MCM dışı	Kullanılmıyor
Dijital çıkışlar	
MCM içerisi-3 tane	Kontaktör, iç fan Kontaktör, dış fan, tam devir Kontaktör, dış fan, yarım devir
MCM dışı	Kullanılmıyor
Röle çıkışı	Line trip

5.5.5.4 Fiber Optik Giriş ve Çıkışlar

Fiber optik kablolar için, MCM bilgisayarına yerleştirilmiş ayrı bir devre panosu bulunmaktadır. Fiber optik kablolar, GDU ve voltaj ölçüm kartı arasındaki iletişim için

kullanılmaktadır. Optik panoda, voltaj tabanlı sinyaller optik sinyallere (düşük pulslara) çevrilmektedir, optik sinyaller fiber optik kablolarla iletilmektedir. Fiber optik kablonun diğer ucunda, sinyaller tekrar voltaj sinyallerine çevrilmektedir. Fiber optik kablolar, galvanik olarak güç devresini bilgisayardan ayırmakta, böylece elektriksel etkileşimleri azaltmaktadır.

Çizelge 5.5 MCM bilgisayarındaki fiber optik kabloların fonksiyonları

Çeşit ve Toplam Sayı	Kullanıldığı fonksiyon
Bir-optik giriş	DC-hat voltajı ve kondansatör denetimi
Sekiz-optik çıkış	İnvertör ve kıyıcıdaki IGBT'lerin açılma ve kapanma komutları

5.5.5.5 LED'ler (Light Emitting Diodes)

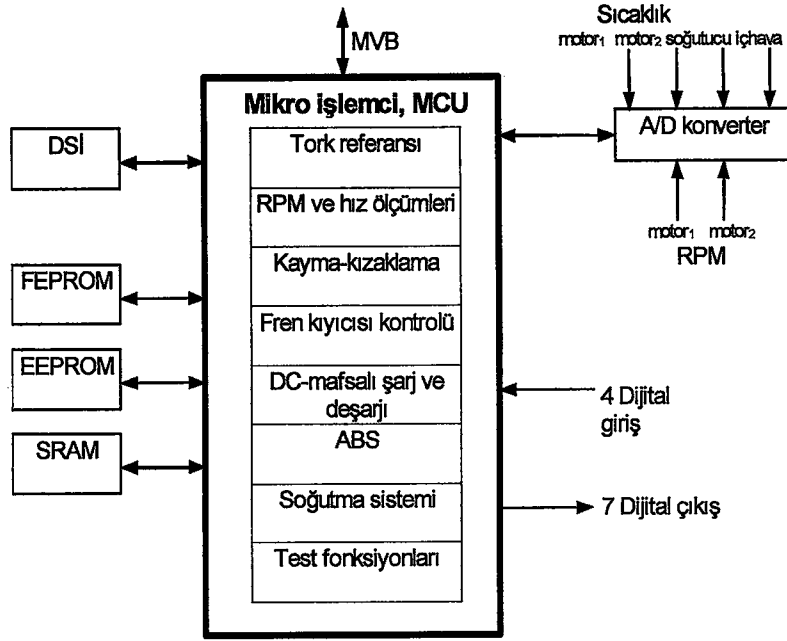
MCM bilgisayarı, altı LED'den meydana gelmektedir. Sarı LED'ler bilgi için, yeşil LED'ler TAMAM komutu için ve kırmızı LED'ler de HATA komutu için kullanılmaktadır.

Çizelge 5.6 MCM bilgisayarı üzerindeki ledlerin durumu

Fonksiyon	LED rengi
Donanım TAMAM	Yeşil
Yazılım TAMAM	Yeşil
HATA (tip 1 - devamlı AÇIK, tip 2 – flash yapan)	Kırmızı
MVB'nin aktif olması	Sarı
Alınan veri (RS 232)	Sarı
İletilen veri (RS 232)	Sarı

5.5.5.6 Mikroişlemci, MCU

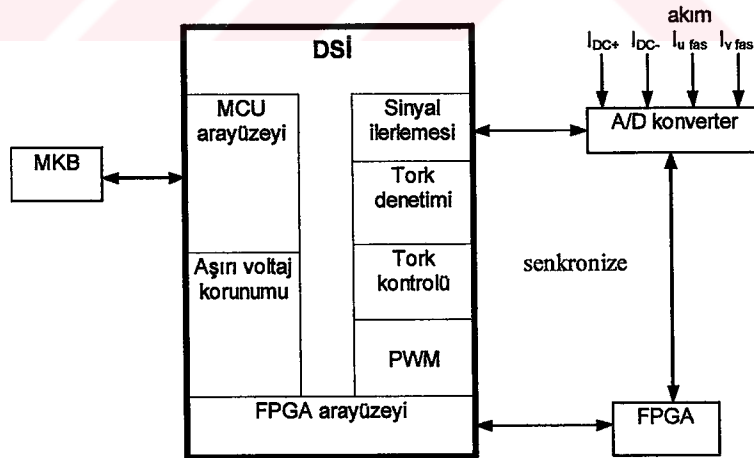
Mikroişlemci, MCU (Micro Controller Unit), bir Motorola MC68360 QFP 25 MHz'dir. Mikroişlemci TRACSOS+ işletim sistemini kullanmaktadır ve MCM bilgisayarındaki yavaş kontrolleri kontrol etmektedir. Yavaş kontroller, 5 – 500 ms'lik örnekleri içeren fonksiyonlar olarak tanımlanmaktadır. MCU ayrıca dış iletişimleri de kontrol etmektedir.



Şekil 5.27 MCU fonksiyonları

5.5.5.7 Dijital Sinyal İşlemcisi, DSP

Dijital Sinyal İşlemcisi (DSP=Digital Signal Processor) bir Motorola DSP56303, 66 MHz'dir. Bu işlemci, MCU'dan daha yüksek örnekleme bir frekans kullanmaktadır, bu 100 μ s'ye kadar düşen bir örnek hızla, hızlı yazılım fonksiyonlarını kontrol etmek anlamına gelmektedir. DSP ayrıca, FPGA'daki arayüzleri de yönetmektedir.

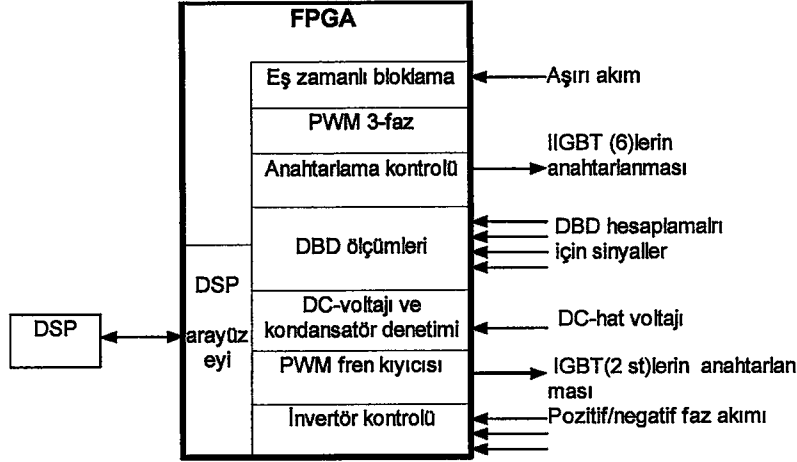


Şekil 5.28 DSP Fonksiyonları

5.5.5.8 Programlanabilir Donanım, FPGA

Programlanabilir donanım, FPGA (Field Programmable Gate Array), bir Xilinx XC5204A'dır. FPGA, yüksek hız talep eden fonksiyonları kontrol altında tutmaktadır.

Böylece 100µs'nin altındaki örnek hızları kontrol eden fonksiyonları yönetmektedir, Ayrıca yazılım ve donanım arasındaki arayüzdür.



Şekil 5.29 FPGA fonksiyonları

5.5.5.9 Bellek

MCM bilgisayarı üç tip bellek içermektedir:

FEPRM (Flash Erasable Programmable Read Only Memory)

EEPROM (Electrical Erasable Programmable Read Only Memory)

SRAM (Static Random Access Memory).

FEPRM, DSP, MCU ve FPGA için yazılımın saklandığı yerdir. Start-up süresince, DSP yazılımı bu bellek bloğundan kopyalanacaktır. FPGA davranışı da (örneğin, program) aynı şekilde kopyalanacaktır.

EEPROM, devre kartı ile ilgili veri depolamak amacı ile kullanılmaktadır, örneğin seri numarası.

SRAM, kontrol için sinyalleri ve parametreleri depolamak amacıyla kullanılan bellektir. Güç kesintisi süresince, burada saklanan bilgiyi kaybetmemek için, bellek bloğu MCM bilgisayarındaki küçük bir pil ile beslenmektedir. Böylece, hatalı durum bilgisi, sistem gücünün kesilmesinden sonra bile saklı tutulacaktır.

5.5.5.10 Portatif Test birimi

Bir portatif test birimi MCM'e bağlanabilir. Test birimi, teşhis ve hata işaretlerini görmek için kullanılabilir. Fiziksel birim bir PC ve 8-kanallı loger panosudur.

PC, MCM bilgisayarındaki RS232-bağlantısına bağlanır. RS232 kullanımda olduğunda,

bilgisayardaki iki sarı LED verinin iletim ve alımını göstermektedir.

PC, MCM bilgisayarındaki durum ve parametre değerlerini kontrol etmek amacı ile kullanılmaktadır. Ayrıca, hata gösterimi ve sinyaller, daha etkili teşhisler için bilgisayara transfer edilebilmektedir.

Logger panosuna bağlanırken, mümkün olan tüm sinyaller ve parametreler devamlı olarak bir osiloskopta yada veri grafikleyicide görüntülenebilmektedir. 100 μ s'ye kadar düşebilen örnekler DSP sinyalleri için mümkün olmaktadır.

5.5.6 Kontrol ve Denetim

5.5.6.1 Tork Kontrolü

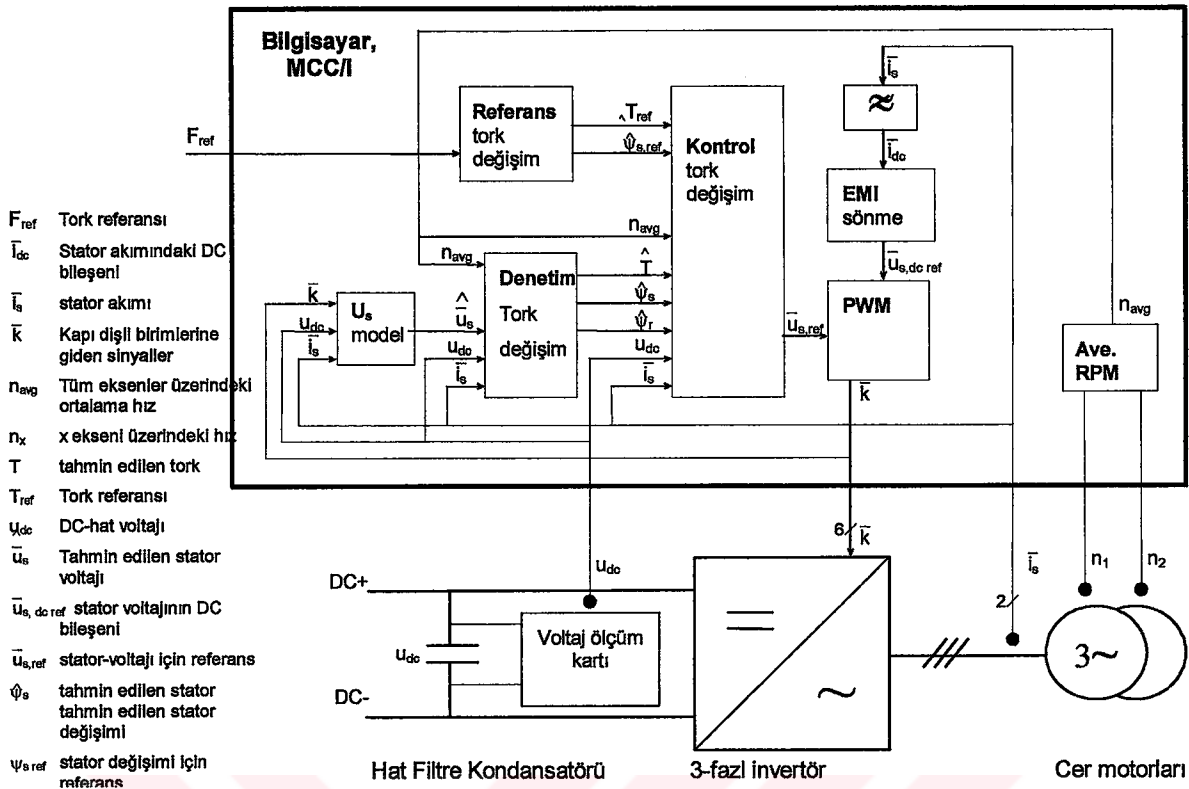
MCM bilgisayarı, cer motorlar tarafından üretilen torku kontrol etmekte ve denetlemektedir. Araç bilgisayarı (VCU), MVB (multifunctional vehicle bus) hattı üzerinden MCM bilgisayarına, ağırlık dengeli ve sarsıntıları sınırlayan bir tork referansı sağlamaktadır.

MCM bilgisayarı; tekerlek çapı ve kayma-kızaklama kontrolüne göre, referansı ayarlamaktadır.

Tork referansı şunlara göre MCM bilgisayarı ile sınırlandırılmaktadır:

- Yüksek motor yada MCM sıcaklıkları
- Yüksek fren rezistör sıcaklığı
- Yüksek yada düşük DC-hat voltajı
- Yüksek hat akımı
- Yüksek eksen torku

Tork kontrolü iki faz akımı ölçümleri, DC-hat voltajı ve son tork hesaplamaları için RPM kullanılmaktadır.



Şekil 5.30 MCM bilgisayarındaki tork kontrol şeması

İstenen motor torkuna ulaşmak için, motor voltaj referansı kontrol edilmekte ki bu genlik, faz voltajlarının frekans ve faz açıları anlamına gelmektedir. PWM bu kontrol için kullanılmaktadır.

Darbe Genişlik Modülasyonu, DC-hat voltajının mümkün olan maksimum kullanımı gerçekleştiren ve böylece mümkün olan torku maksimize eden vektör referanslarına dayanmaktadır.

Tork kontrolü, temel olarak Dijital Sinyal İşlemcisi tarafından kontrol edilmektedir.

5.5.6.2 Fren Rezistörü Sıcaklık Denetimi

Fren rezistöründeki sıcaklık iki ayrı fonksiyon ile denetlenmektedir. Fonksiyonlardan birincisi, güç dengesini denetlemekte ve hatalı aygıt gösterimleri verebilmektedir. Bir hata gösterildiğinde, MCM devre dışı bırakılmaktadır.

Diğer denetim fonksiyonu, fren rezistöründeki sıcaklık artışını hesaplamayan bir sistem modeli kullanmaktadır. Elektrodinamik frenin mevcudluğu, rezistörlerdeki aşırı yüksek sıcaklıklardan dolayı sınırlanabilmektedir.

5.5.6.3 RPM-Ölçümleri

Her bir aks için devir (RPM= Revolutions Per Minute) ölçülmekte ve ortalama RPM ve tüm eksenlerin hızları hesaplanmaktadır. Hesaplamalar ayrıca tekerlek çapı ve dişli kutusu çevirim oranına bağlıdır.

MCM bilgisayarı, MVB hattı üzerinden, araç bilgisayarının (VCU) aks hızıyla beraber gerçek bir araç hızı hesaplamasını sağlar.

Gerçek araç hızı tüm MCM bilgisayarlarına geri gönderilmekte ve ayrıca kayma kızıklama kontrolleri, tekerlek çapı kalibrasyonu ve ABS için kullanılmaktadır.

Ortalama motor hızı daima tork kontrolünde kullanılmaktadır.

5.5.6.4 Kayma Kızıklama

Kayma kızıklama kontrolü, mümkün olan maksimum tutunma(adezyon) kullanımı sağlamaktadır. Mevcut tutunma % 4'ü aştığında, kontrol, ray-tekerlek sürtünmesinin en az % 70'ini kullanılır hale getirmektedir.

Kontrol, kızıklamayı belirlemek için tüm beslenen aksların hızlarını kullanmaktadır. Kızıklama durumunda, tork referansı hemen azalmaktadır. Kontrol, sürme ve frenleme modlarının her ikisi için de aktiftir.

5.5.6.5 Güç Boşlukları Süresince DC-Hat Voltajının Korunması

Aracın kinetik enerjisini kullanarak, güç boşlukları süresince hat filtre kondansatöründeki voltajı korumak mümkündür.

Bir güç boşluğu belirlendiğinde, tork referansı kısa bir süre için hassas frenleme ile yer değiştirilmektedir.

Frenleme modunda, 3-fazlı invertöründe tersine dönmüş bir güç akışı meydana gelir ve güç hat filtre kondansatörüne geri döndürülür. Güç, akım toplayıcılarına geri döner dönmez, orjinal tork tekrar uygulanmaktadır.

Böylece, MCM'i her güç boşluğundan sonra tekrar aktif hale geçirmek gerekmemektedir. Ek olarak, MCM güç boşluğu süresince gücü sağlayacağından, yardımcı elektrik sisteminde hiçbir güç düşüşü olmamaktadır.

5.5.6.6 Aşırı Akım Koruması

MCM bilgisayarının donanımında, faz çıkışlarında aşırı akım korumaları mevcuttur. Faz aşırı

akımları faz kısa devrelerinde meydana gelebilmektedir. Koruma, U ve V fazlarındaki akım ölçümlerine dayanmaktadır ve koruyucu fonksiyon, hızlı aşırı akım tepkileri için bilgisayar donanımına yerleştirilmiştir.

GDU'larda ayrıca kısa devre dedeksiyonu ve koruması bulunmaktadır. Koruma, IGBT'nin açılmasından önce ve IGBT'nin açık kaldığı süre boyunca oluşan kısa devreyi de kontrol edebilmektedir. Bu koruma etkili bir şekilde hızlıdır ve hem güç devrelerindeki kısa devrelerde hem de toprağa olan kısa devrelerde aktif olmaktadır.

Kısa devre, IGBT'nin kollektör-emiter denetiminde belirlenmektedir. Koruma aktif olduğunda, IGBT, hızlı fakat hassas bir şekilde kapatılmaktadır.

5.5.6.7 EMG'nin Minimize Edilmesi

Hat akımındaki dalga; Elektro Manyetik Parazit (EMI= Electro Magnetic Interference), elektriksel cer sisteminde önemli ve kompleks bir konudur. Bu konu, özellikle düşük frekans bazlı sinyalleme sistemi kullanıldığında çok önemlidir. Faz akımındaki bir DC bileşeni, cer motorlarda yükselen tork meydana getirmektedir. Titreşimli torktaki güç tüketimi, hat voltajına bir güç dalgası olarak transfer edilmektedir. Motor akımlarındaki DC bileşenlerini önlemek için, MCM bilgisayar donanımı, güç dalgasını minimize etmek ve böylece hat akımındaki EMI'yi azaltmak amacı ile kullanılan bir DC kontrolünü içermektedir.

5.5.7 Fanlar

Motor Konverter Modülünü soğutmak için 2 fan kullanılır.

- 1) Dış Fan
- 2) İç Fan

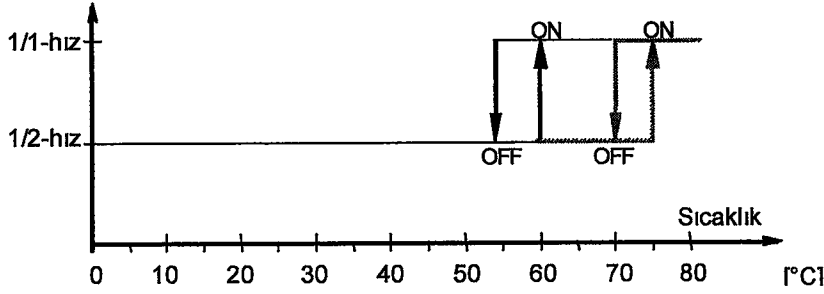
Dış fan, MCM'nin tabanında bulunan soğutucuları(ısı alıcısını) soğutmak için dış havayı kullanılır. IGBT-modülleri hat filtre kondansatörü ısı alıcısının karşı yüzüne monte edilmiştir.

İç fan MCM içindeki havanın sirküle olmasını, bu yolla MCM içindeki ısının dağılmasını sağlar. İç soğutma sistemi kapalı bir döngü sistemidir. Normal olarak, MCM çalışmaya başlar başlamaz fanlar da çalışmaya başlar. Bununla birlikte MCM soğutma olmaksızın belli bir süre çalışabilir. Fanlara giden güç bakım yapılırken manuel olarak kesilebilir.

5.5.7.1 Dış Fan

Dış fan, tam ve yarı devir olmak üzere iki modda çalışır. Normal çalışma sırasında fan yarı hız modunda çalışacaktır. Soğutucunun düşük sıcaklıklarında ($< 0^{\circ}\text{C}$), fan deaktive olur. Fan,

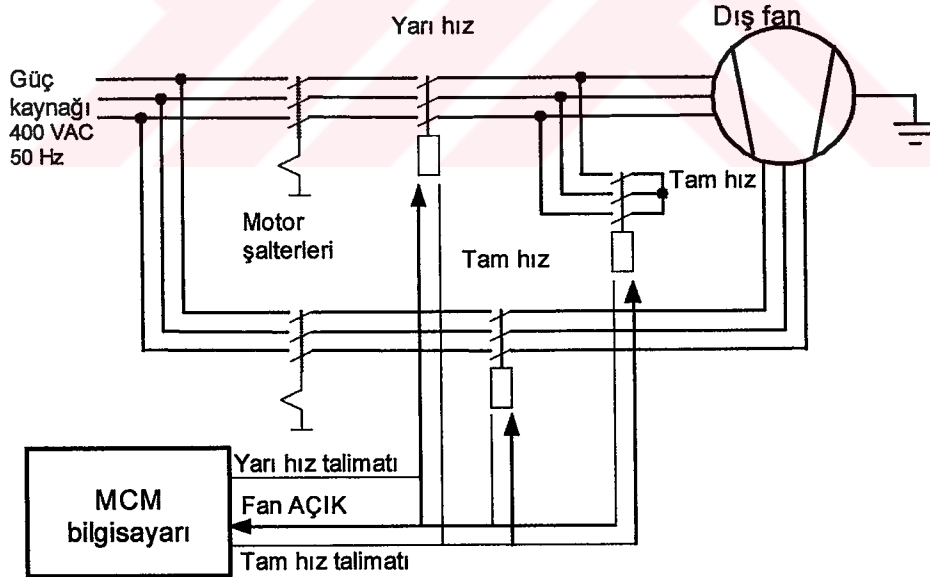
soğutucu modülü yüksek sıcaklıklara ulaştığında tam devir moduna geçer. Fan hızının ayarlanması aynı zamanda araç hızına bağlı olarak da yapılabilir.



Şekil 5.31 Dış fan hızının ayarlanması soğutucu modülü sıcaklığına ve araç hızına bağlıdır

Gürültüyü azaltmak için dış fan istasyonlarda duruş sırasında yarı hız modunda çalışır. Hız tam hızdan yarı hıza ayarlandığında, akımı minimuma indirmek için 10 saniye boşta çalışır (free wheeling).

Dış fan 3-fazlı bir 400 V AC, 50 Hz ile beslenir. Fan, her iki tam ve yarı hız modları için birer motor şalteri (motor circuit breaker) ile korunur. Motor şalterleri elektronik birim içinde konumlanmıştır.



Şekil 5.32 Dış fan kontrol şeması

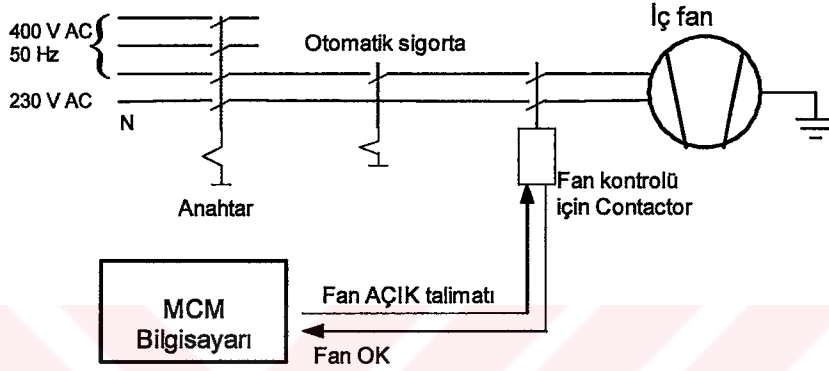
Fan kontrolü üç kontaktör kullanılarak sağlanır. Kontaktörler MCM bilgisayarı tarafından bir OK sinyali kullanılarak denetlenir. OK sinyalinin olmaması durumunda MCM çalışmaya devam edebilir ve deaktivasyon sadece yüksek sıcaklık belirlenmesiyle meydana gelir.

5.5.7.2 İç Fan

İç fan MCM içindeki ısıнын dağıtımında kullanılır. Hiç bir dış hava girişi yoktur; kapalı bir döngü sistemi kullanılarak MCM içindeki hassas bileşenler kir ve nemden korunur.

Normal işletim sırasında iç fan her zaman çalışır durumdadır. Bununla birlikte, düşük iç hava sıcaklıklarında ($< 0^{\circ}\text{C}$), fan aktif konumda değildir.

Fan kontaktör MCM bilgisayarını geri beslemek için bir OK sinyali kullanır. OK sinyalinin olmadığı durumda dış fan tam hız modunda çalıştırılır.



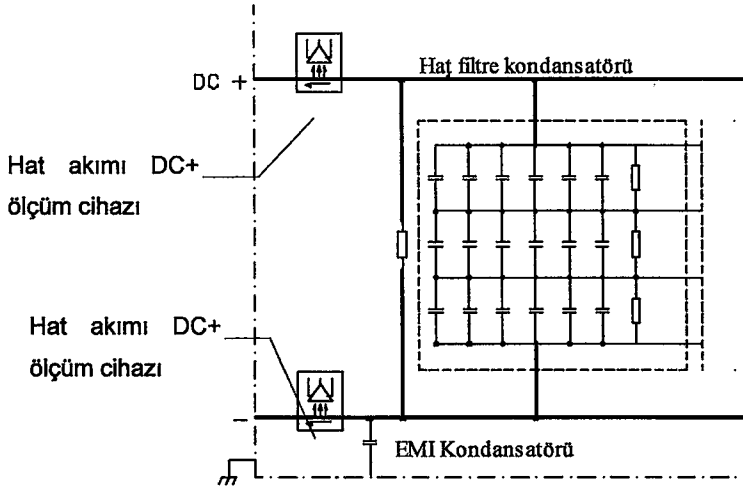
Şekil 5.33 İç fan kontrol şeması

İç fan 230 V AC ile beslenir. Otomatik sigorta yardımıyla korunur.

5.5.8 Ölçüm Cihazları

5.5.8.1 Akım Ölçüm Cihazları

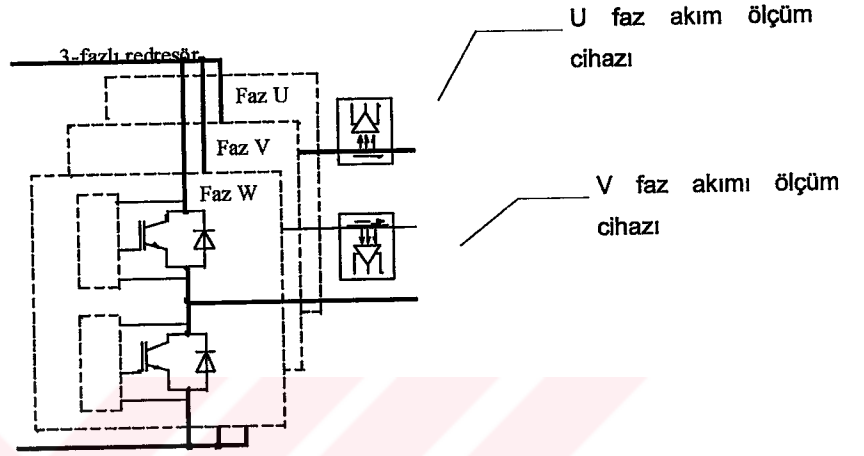
MCM içinde dört tane akım ölçüm cihazı mevcuttur. İki cihaz, (DC+) giriş hattı ve (DC) çıkış hattı üzerindeki hat akımını ölçer. (Şekil 5.34)



Şekil 5.34 Hat akımı için akım ölçüm cihazları

Topraklama problemlerini belirlemek için hat akımının ölçümünde iki cihaz kullanılır. Eğer cihazlardan geçen akım farklılık gösterirse sistemde bir topraklama hatası söz konusu demektir.

U ve V fazlarındaki faz akımı her biri için ayrı bir akım ölçüm cihazı ile ölçülür. Üçüncü W fazından geçen akım MCM bilgisayarında sürekli ölçülür. Üç fazdan geçen akım toplamı sıfıra eşittir. (Şekil 5.35)



Şekil 5.35 Faz akımları için akım ölçüm cihazları

Faz akımı ve hat akımı MCM bilgisayarı tarafından sürekli görüntülenir. Faz akımlarından biri izin verilen maksimum seviyeyi aşarsa, motor torku geçici olarak düşer.

Tüm akım ölçüm cihazları MCM bilgisayarıdan gelen ± 24 V DC ile beslenir. Akım sinyalleri bilgisayar üzerindeki analog girişlere bağlanır.

Akım ölçüm cihazları bir Hall-element temeline dayanır bu nedenle hem AC hem de DC akımlarını ölçebilir.

Faz akımlarındaki yüksek DC bileşenleri MCM'i devre dışı bırakır. Böylece cer motorlarında oluşan tork dalgalanmaları elimine edilmiş olur.

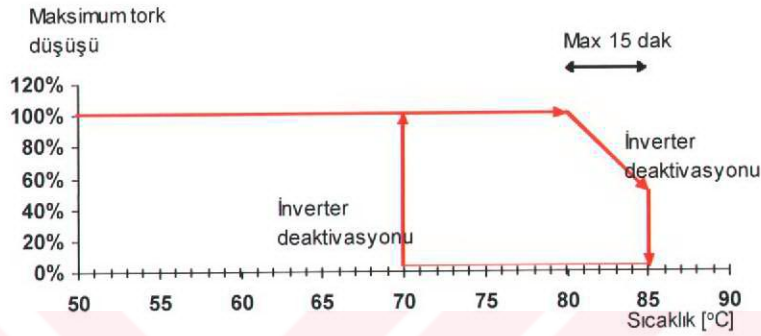
Yüksek DC bileşenleri büyük olasılıkla aşağıdaki durumlardan birinin sonucudur:

- Fiber optik kabloyla taşıma hatası
- IGBT hatası
- GDU hatası
- Yüksek IGBT akımı belirlenmesi sonucu GDU'nun deaktive edilmesi.

5.5.8.2 Sıcaklık Sensörleri

MCM içinde üç tane sıcaklık sensörü vardır. Sensörlerden 2 tanesi MCM içerisinde ana birimde konumlandırılmışlardır ve soğutucu modülü ile iç havadaki ısıyı ölçerler. Elektronik kutudaki sıcaklığı ölçen üçüncü sensör MCM bilgisayar kartında yer alır.

Soğutucu modülü sıcaklığı bir Pt100-cihazı ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $100\ \Omega$) ile ölçülür, sensör modülün içine yerleştirilmiştir. Eğer sensör ısı alıcısında yüksek sıcaklık belirlerse, MCM'in çıkış gücü sınırlanır. (5.36)

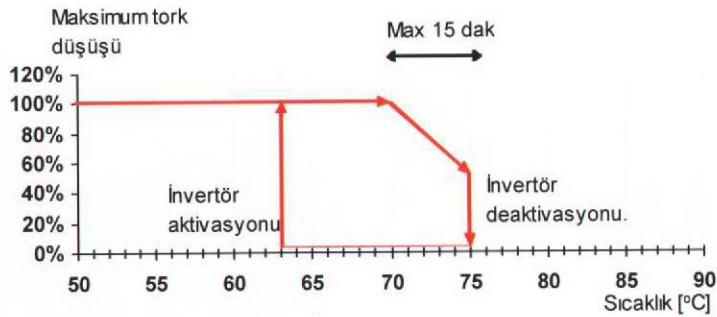


Şekil 5.36 Yüksek ısı alıcısı sıcaklıklarında tork düşüşü

Soğutucu modülü sıcaklığı $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye geldiğinde yüksek sıcaklık durumu söz konusu olur. Eğer sıcaklık 15 dakika yada daha fazla 80 ve 85°C civarında kalırsa, hata durumu ortaya çıkar ve 3-fazlı invertör deaktif olur.

İç hava için iki ısı sensörünün kontrolü benzer bir yolla çalışır. Bununla birlikte, ısı seviyeleri daha düşüktür. (Şekil 5.37) Tork düşüşü en yüksek sıcaklık değerine sahip sensör tarafından kontrol edilir.

Eğer sensör makul aralığın dışında bir sıcaklık belirlerse hata durumu ortaya çıkar.



Şekil 5.37 Yüksek iç hava sıcaklıklarında tork düşüşü

Bilgisayar panosu üzerindeki ısı sensörü, pano üzerine direkt monte edilmiş, ısıya hassas yarı iletken boyunca voltaj düşüşünü ölçen yarı iletken bir ısı ölçüm cihazıdır.

5.5.9 İzleme ve Sorun Giderme

MCM bilgisayarı, bakım süresini ve kullanım dışı süreyi minimize etmek için kapsamlı bir izleme ve sorun giderme sistemi ile donatılmıştır.

Sistem, MCM bilgisayarının kendi kendini test etme fonksiyonuna sahiptir. MCM ve cer motorlarındaki sorunun izlenmesi, tanımlanması ve bakımı işletim sırasında gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda bakım sırasında kullanılabilen yarı otomatik test fonksiyonları da mevcuttur.

Ortaya çıkan bazı sorunlar, ekipmanın zarar görmesini engellemek için, MCM'nin deaktive olmasıyla sonuçlanabilir. Sorunla ilgili bilgi makinistin görebileceği, kumanda kısmındaki display'e de iletilir.

MCM bilgisayara bir PC bağlayarak iç transient recorder'dan veri indirmek mümkündür. Recorder'dan gelen bilgiler bakım ekibi tarafından kapsamlı analizler için kullanılabilir.

Transient recorder aynı zamanda özel bir sinyali takip etmek için de kullanılabilir. Tetikleme fonksiyonunu (trigger function) kullanarak ve ilgili sinyalleri seçerek spesifik bir veri kaydı mümkündür. Bu fonksiyon kullanılırken bir kerede sadece bir veri kaydedilebilir, bir sonraki veri öncekinin üstüne kaydedilecektir.

Normal çalışma modunda MCM bilgisayarı aktive olur olmaz transient recorder'da devreye girer. Recorder, olası sorunlara karşı önceden belirlenmiş pek çok tetikleme fonksiyonuna sahiptir. Recorder verileri, MCM'deki sorunla ilgili daha detaylı bilgi almak için daha sonra da kullanılabilir. Normal çalışma modunda pek çok veri transient recorder, eski bilgilerin üzerine yazmaya başlamadan kaydedilebilir, bu yolla pek çok hatalı durum MCM bilgisayarından indirilebilir.

6. SONUÇLAR

Aşağıdaki tabloda hafif metro-metro ve tramvay araçlarının karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 6.1 LRT, metro ve tramvay araçlarının karşılaştırılması

LRT, METRO VE TRAMVAY ARAÇLARI KARŞILAŞTIRMA TABLOSU			
Genel Tanıtım	HAFİF METRO/LRT	METRO	TRAMVAY
Üretici Firma (Orjinal)	ABB	Alstom	Bombardier
Çalıştığı Bölge	Aksaray-Havaalanı, Otogar Esenler	Taksim-4 Levent	Eminönü- Zeytinburnu
Kaç Adet Var	105	32	55
Açılış Tarihi	1988	1999	2002
Yolculu Çalışma Şekli	2'li,3'lü ,4'lü	4'lü (MC-M-T-MC) veya 8'li	Tek ,2'li,3'lü
Serviste Sürüş Şekli	Manuel	ATC kontrol. (oto veya yarı otom.) veya Manuel	Manuel
Tahrik Sistemi			
Araç Gücü	300 kW	152X4=608 kW 4'lü=1824 kW	440 kW
Güç/metre	12,93 kW/m	21,23 kW/m	14,84 kW/m
Dolu Güç/Ton	6,12 kW/ ton	9,93 kW/ton	7.69 kW/ton
Besleme Voltajı	750 VDC	750 VDC	750 VDC
Motor Gücü	75 kW	152 kW	110 kW
Tahrik Sistemi	Katener	3. Ray	Katener
Sürücü Tipi	GTO/ DC Motor	GTO/DC Motor	IGBT/ AC Motor
Bogi Motorları Bağlantı Şekli	Seri Bağlı	Seri Bağlı	Paralel Bağlı
Motor Tipi	Serbest Uyarımlı DC Motor	Serbest Uyarımlı DC Motor	4LXA 1442 Asenkron Motor
Motor Gerilimi	750/2 V	750/2 V	340/590 V
Alan Sargı Beslemesi	340/2 V	750/2 V	-
Motor Devri	Max. 4.590 d/dk Nom.: 2.200 d/dk	Max.: 3.082 d/dk. Nom.: 1.965 d/dk	Max. 5.575 d/dk Nom.: 2.300 d/dk
Motor Armatür Akımı	Max. 400 A Nominal: 260 A	Max.: 600 A Nominal: 440 A	Max. 300 A (2 dk) Nom.:150 A(20 dk)
Motor Alan Akımı	Max. 22 A Nominal: 16,9 A	Max.: 38 A Nominal: 24 A	-
Motor Ağırlığı	368 kg Rotor: 110 kg	690 kg Rotor: 235 kg	355 kg
Motor Komütatör Çapı	Yeni:200 mm	Yeni: 250+2 mm	-
Motor Soğutma Şekli	Harici (cebri) soğutma	Kendinden soğutmalı	Kendinden soğutmalı

LRT, METRO VE TRAMVAY ARAÇLARI KARŞILAŞTIRMA TABLOSU

	HAFİF METRO/LRT	METRO	TRAMVAY
Kömür Fırça Sayısı	4 fırça tutucu, 8 kömür	4 fırça tutucu, 8 kömür	Yok
Enerji Harcaması	3.5kWh/km- AW1(4p/m ²)	3,7kWh/km (4p/m ²)	2,089kWh/km (6p/m ²)
Performans			
Maksimum Hız	80 km/h	80 km/h	70 km/h
Hızlanma İvmesi	0,7 m/sn ²	1.03 m/sn ² ± %10	1.1 m/sn ²
Frenleme İvmesi	1,1 m/sn ²	(1.04 m/sn ² ± %13)	1.5 m/sn ²
Acil Frenleme İvmesi	1,27 m/sn ²	(1.04 m/sn ² ± %20)	2.7 m/sn ²
Yatay Kurp (hatta)	50 m	95m	25 m
Yatay Kurp(Depoda)	30 m	80 m	20 m
Dikey Kurp	300 m	1.500 m	300 m
Eğim	6%	4%	6%
Frenler			
Frenleme Sistemi	Elektriki+Pnömatik	Elektriki+Pnomatik	Elektriki+Hidrolik
Mekanik Frenler	Disk+Ray Freni	Disk+Pabuç Fren	Disk+Ray Freni
Ekipmanlar			
Yardımcı Güç Sistemi	3 faz GTO, 27kVA	3 faz+Motor Alternatör, 70 kVA	3 faz,IGBT,80kVA
Akü Gerilimi	24 VDC	72 VDC	24V DC

6.1 Doğru Akım Makinaları ile Asenkron Makinaların Karşılaştırılması

Serbest Uyartımlı Doğru Akım Makinaları ile hız kontrolünün kolayca yapılabilmesi nedeni ile sanayide yaygın olarak kullanılan değişken hızlı kontrol sistemleri sınıfında, uzun bir süre rakipsiz kalmışlardır; ancak bu makinaların en büyük dezavantajları olan komütatör ve fırça yapısı, makinaların hem belirli aralıklarla bakım gereksinimine hem de fırça kolektör teması nedeni ile patlayıcı, parlayıcı ve tozlu ortamlarda kullanılamamasına, yüksek devir sayılarına ve yüksek gerilimlere çıkılamamasına neden olmuştur. Bütün bu dezavantajları nedeni ile değişken hızlı tahrik sistemlerinde doğru akım makinası yerine, güvenle kullanılacak başka bir makinenin yerleştirilmesi için mikroelektronikğin günümüzde ulaşmış olduğu teknolojik seviyeye ulaşmış olmasının beklenmesini gerektirmiştir. Asenkron makinalar sağlam yapıları, bakım gerektirmemeleri, yüksek güç/ağırlık oranları ve her türlü ortam koşullarında çalışabilmeleri gibi üstün özellikleri nedeniyle eski zamanlardan beri kullanılmakta ve endüstrinin ilgisini çekmekteydiler, fakat doğru akım makinaları ile kontrol açısından rekabet

edebilmeleri ancak mikroelektronik alanındaki önemli gelişmeler sayesinde mümkün olmuştur. Bu gelişmeler sayesinde, karmaşık kontrol ve dönüşüm algoritmalarını yüksek hızlarda uygulayabilen büyük kapasiteli mikrokontrolörlerin tasarlanmış olmasının yanısıra, yine artan güç ve hızda güç elektroniği anahtarlama elemanlarının üretimi ile mümkün olmuştur.

Asenkron makinaların kontrolüne ilişkin diğer bir problem de sinüzoidal sargı akımları oluşturmak üzere bağlandıkları eviriciden kaynaklanan akım harmonikleridir. Bu harmonikler motor sargılarındaki ilave ısınmanın yanısıra makinanın momentinde oluşturdukları harmonik momentlerinin salınım etkisi nedeni ile makinanın bağlı olduğu mekanik sistemlerde vuruntulara ve hızda da dalgalanmalar yol açmaktadırlar. Günümüzde güç elektroniği anahtarlama elemanları olarak çoğunlukla kullanılan IGBT'ler ile yaklaşık 20kHz anahtarlama frekanslarına ulaşmak mümkün olmaktadır. Hızlı anahtarlama elemanlarının kullanımı ile bu elemanlardan oluşturulan eviriciler üzerinden beslenen makinada harmonik akımları ve dolayısı ile, harmonik momentleri etkisi azalmaktadır.

Asenkron makinaların karmaşık kontrol ve dönüşüm algortimaları gerektirmesinin nedeni makinanın doğrusal olmayan yapısından kaynaklanmaktadır. Oysa serbest uyarmalı doğru akım makinası doğrusal bir kontrol yapısına sahiptir. Bunun nedeni akıyı ve momentini oluşturan akım bileşenlerinin birbirinden bağımsız olarak kontrol edilebilmesidir. Bu sayede akı sabit tutulduğunda, moment kendini oluşturan akım bileşenleri ile doğrusal olarak kontrol edilmektedir.

6.2 MCM Bilgisayarı'na Müdahale Etme

Gelişim tarihi göz önüne alındığında 3 tip araç bilgisayar sistemi vardır. LRT araçlarındaki DS100 sistemi ilk jenerasyon sistemdir. ABB Master 200 ikinci jenerasyon, Yeni Tramvay Aracı'ndaki sistem ise üçüncü ve son jenerasyon bilgisayar sistemidir. İlk jenerasyonda araç üzerinde tek bir bilgisayar sistemi vardı. Araç üzerindeki sistem ekipmanlarının kontrolü ana bilgisayar tarafından direkt olarak kablolar aracılığıyla yapılmaktaydı. Daha sonraki jenerasyonlarda her sistem kendi bilgisayarı ile kontrol edilmeye başlandı. Bu bilgisayarlar ana bilgisayar ile bir haberleşme busı üzerinden interaktif olarak çalışmaya başladılar. Bu sayede araç üzerindeki kablolama büyük oranda azaltıldı.

Tramvay aracının her birisinde bir araç bilgisayarı (VCU=Vehicle Control Unit) vardır. Araçlar 3'lü dizi olarak bağlandığında aktif olan aracın VCU'su "master", diğer araç bilgisayarları ise "slave" pozisyonundadır. Her araç bilgisayarının yazılımında master ve

slave durumuna göre yerine getirilecek işlemler vardır. Slave pozisyonundaki araçlarda programın sadece slave pozisyonu ile ilgili kısımları yerine getirilirken, master araçta programın hem slave hem de master uygulama kısımları yerine getirilir. Araçta meydana gelen arızalar her aracın kendi VCU'su içinde batarya ile desteklenen bir memoride saklanır. Bazı arızaların sonucu başka arızalar meydana gelebilir. Tarih ve saat bilgisine bakılarak ilk meydana gelen arıza tespit edilebilir. Arızalar sürücüye display üzerinden yansıtılır.

Araç bilgisayarı araç üzerindeki şu sistemlerle interaktif olarak çalışır ve mevcut durumu (arıza, hata gibi...) display üzerinden sürücüye iletir.

- Kapılar
- Yolcu bilgilendirme sistemi
- Yardımcı güç sistemi
- Batarya sistemi
- Yüksek gerilim sistemi
- Cer sistemi
- Fren sistemi
- Kuplaj
- Aydınlatmalar
- Klima sistemi

MVB (Multifunctional vehicle bus) araç içi haberleşme busı'dır. Statik bir konfigürasyonu vardır. Twisted-pair ekranlı kablodan oluşup haberleşme hızı 1,5 Mbps'dir. Bus yöneticisinden en son noktaya kadar izin verilen maksimum mesafe 200 metredir. 200 m sağlıklı haberleşme için garanti edilen mesafe olup daha uzun haberleşmelerde bus-coupler kullanmak gerekir. Bus'ın bağlantısı olmayan açık uçlarına Terminator denen sonlandırıcı eleman takılır.

Örneğin, kapı açma komutunda sistemlerde gerçekleşen işlemler şunlardır:

- Makinist "Kapıları Açma" butonuna basınca, butonun bağlı olduğu I/O ünitesine(DX) bilgi gelir.
- Bu bilgi I/O tarafından MVB bus üzerinden VCU'ya gönderilir.
- VCU kapıları açma isteğini değerlendirir. Şartlar uygunsa (araç hızı 5km< gibi) MVB'ye COMC(Araç içerisindeki sistemlerin haberleşmesini sağlıyor)üzerinden onay bilgisini bırakır.
- Bu bilgi kapı motorunun bağlı olduğu I/O ünitesi tarafından, kapı motoruna iletilerek

kapılar açılır.

Araç üzerinde, araç bilgisayarı ile haberleşmeyi sağlayan AX (analog input-output) ve DX (dijital input-output) üniteleri mevcuttur. Kutuları da benzerdir. DX ünitelerinin 10 adet girişi 6 adet çıkışı vardır.. AX üniteleri 4 analog giriş, 1 batarya voltaj denetlemesi ve stall alarm için giriş ve 2 analog çıkışa sahiptirler. Ünitelerin üzerindeki X1 ve X2 haberleşme, X3 adres ve besleme X4 sinyal giriş çıkış konnektörleridir.

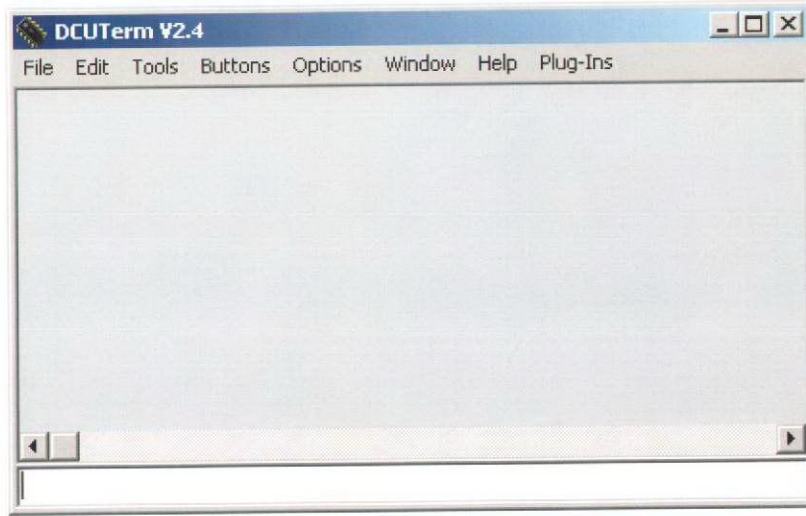
COMC Araç içi haberleşmeyi (MVB) kontrol eden ünite dir. Araç displayleri direkt olarak VCU'ya bağlıdır.(Bir araçta 2 display var) İki displayden birisinin VCU ile olan bağlantısı koparsa muhtemelen busın bir üyesi olmadığı için bağlantısı olan display kapanacak, fakat araç diğer displayle kullanılabilir olacaktır. COMC aynı zamanda VCU çok meşgul bir ünite olduğu için VCU adına uygulama programının bir kısmını gerçekleştirerek ona yardımcı olur. Non-MITRAC olarak adlandırılan (PIS sistemi gibi) sistemleri MVB'ye bağlar. Motorola MC68360 32 bit mikroişlemciye sahiptir. 2 MB flash-PROM ve 256 kB SRAM2 vardır.

VCU, COMC, MCM bilgisayarı, yardımcı güç sistemi (ACM) bilgisayarı üniteleri gibi mikroişlemciye sahip MITRAC üniteleri ile DCU-Term programını kullanarak haberleşmek mümkündür. DCU-Term Bombardier tarafından geliştirilmiş bir araç servis programıdır. MITRAC ünitelerinin yazılımında bir parçası olan monitör komutları kullanılarak bilgisayar ekranında bazı bilgiler görüntülenebilir, datalar değiştirilebilir veya test yapılabilir. En çok kullanılan bazı komutlar şunlardır:

- O : Sinyalin mevcut durumunu görüntüler, istenirse sinyal aktif veya deaktif yapılabilir.
- OP : Parametrenin değerini görüntüler, istenirse parametre değiştirilebilir.
- LM : Dinamik olarak sinyallerin değişimini gözlemek veya kaydetmek için kullanılır.
- SL : LM tanımlanan sinyallerin görüntüleme veya kayıt işlemlerine başlamak için kullanılır.

DCUTerm programı bilgisayardan ilk çalıştırıldığında aşağıdaki pencere ekrana gelecektir..

Buradan menüler ile veya komut yazarak istenilen işlem yapılabilir.



Şekil 6.1 DCUTerm programının açılış penceresi

Eğer bağlanılan sistemle arada bir sorun yoksa, bilgisayar ile sisteme bağlanılıp, DCUTerm programı açıldıktan sonra ENTER tuşuna basılırsa TRACSOS+> uzantısı ekranda belirir.

BUTTONS menüsündeki Button setup'dan en çok kullanılan işlemler için 9 tane buton tanımlama imkanı vardır. İlgili işlem yapılacağı zaman tek tek komutları ekrandan girme yerine ilgili butona basılarak gerçekleştirilebilir. Oluşturulan butonların ekranın alt kısmında yer alır.

Asenkron makinaların DC motorlara göre üstünlükleri ve araç lojiğine bu şekilde müdahale edebilme göz önüne alındığında, AC motorların raylı sistemlerde ideal motor tipi olduğu ortaya çıkmaktadır. Günden güne artan ulaşım sorunlarının çözümünde büyük bir kolaylık sağlayacak olan tramvay aracındaki AC motor uygulaması geliştirilerek Türkiye çapında uygulanması gerekmektedir.

6.3 Buton Oluşturarak MCM 'de IGBT ve GDU Hattının Testi

MCM'de fazların akım taşımasındaki problemi ve faz akımı sensörlerinin(U ve V fazlarında) doğru çalışıp çalışmadığını yük testi yaparak (3 faz hattına akım göndererek) tespit edilebilmektedir.

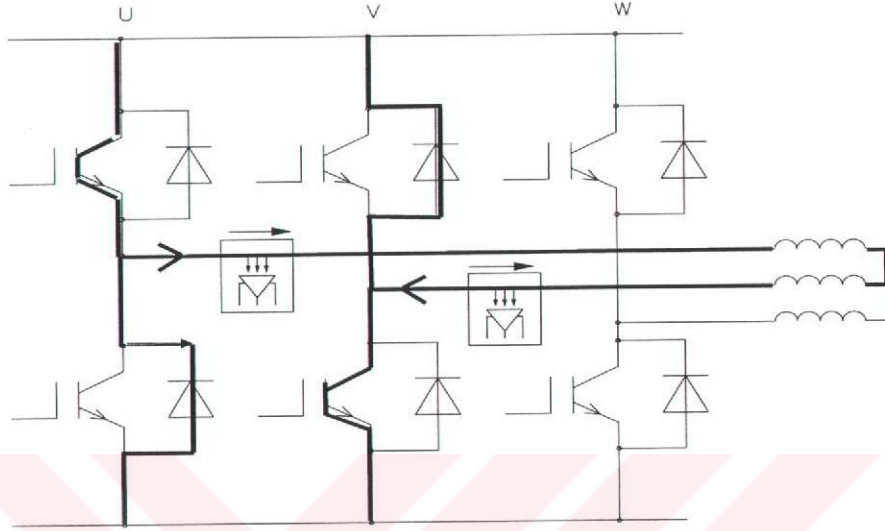
2 tip yük testi vardır:

- 1) Düşük Yük Testi (Low Load Test)
- 2) Yüksek Yük Testi (High Load Test)

Düşük yük testinde fazlar 150A ile, yüksek yük testinde ise fazlar 700A ile test edilmektedir.

Normalde DCUTerm'den komut girilerek yapılması gereken bu işlem, buton oluşturarak hazırlanmış, yapılan bu çalışma zaman açısından büyük kolaylık sağlamıştır.

Yük testi sırasında, IGBT'lerin iletim durumuna göre akım farklı yollardan geçer. Aağıdaki şekilde u alt ve v üst faz IGBT'leri kesimde iken akımın u- fazları arasındaki yolu gösterilmiştir. (Persson, 2003)



Şekil 6.2 Yük testi sırasında akım yolu

Test aşamaları aşağıdaki gibidir:

MCM'e yük testi yaparken; araç bataryası açık olup, kontak anahtarı AÇIK konumunda olmalıdır.

MCM'de yük testinin yapılması için şu adımlar takip edilir:

- 1-) Aracın herhangi bir kabininden kontak anahtarını AÇIK pozisyonuna getirip, araç bataryası açılır.
- 2-) MCM bilgisayarının(MCC/I) X1 konnektörüne RS232 çapraz kablo ile bağlanılır. DCUTerm programı açılıp <ENTER> tuşuna basılarak TRACSOS+> işaretinin ekranda çıktığı, yani MCM bilgisayarıyla bağlantının sağlandığı kontrol edilir.
- 3-) Laptoptaki "Yük Testi" için hazırlanmış DTS dosyasının sağ alt bölümünden "Power circuit test-MCM" buton yapısı seçilir.
- 4-) DTS dosyasının sol kısmında bulunan ağaç yapısından;

MCM Test

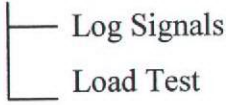
└─ Active Production Test Mode

MCM Test kısmından "Activate train test mode" seçeneği seçilir. Yapılan bu işlem ile, MCM test moduna alınmış olur.

- 5-) Araca katenerden 750 V DC verilir.

6-) MCM Test klasörü altından

Load Test



ile hem Log Signals, hem Load Test seçenekleri yapılır.

7-) F6'ya basılarak log edilen sinyallerin değişimleri grafik olarak görülebilir.

Görülen grafikte;

WPXCPDK sinyali (MCM'in durumunu gisteren sinyal)=1

Test No=22551 olmalıdır...

Eğer Test No 22550 görülürse Stop butonuna basılarak 22551 olması sağlanır.

8-) Charge butonuna basılır.

Charge butonuna basılmasıyla UD (DC Hat Voltajı)=750 V DC'ye ulaşır.

9-) Start butonuna basılır.

Start butonuna basılmasıyla yük testi başlamış olur ve test yaklaşık 1 dakika sürer. Bir dakika içerisinde , test başarılı ise sırayla şu sonuçlar görüntüye gelir.

"LOW LOAD TEST U-V OK"

"LOW LOAD TEST V-U OK"

"HIGH LOAD TEST SELECTED"

"HIGH LOAD TEST U-V OK"

"HIGH LOAD TEST U-W OK"

"HIGH LOAD TEST V-W OK"

"LOAD TEST OK"

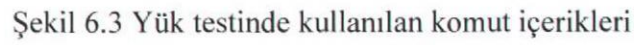
10-) Stop butonuna basılır

11-) Discharge butonuna basılır.

12-) Araçtan 750V DC bağlantısı kesilir.

13-) TRACSOS+>init <ENTER> yazılarak test modundan çıkılır..

Test sırasında kullanılan butonların komut içerikleri aşağıdaki gibidir.



KAYNAKLAR

Büyükatlı, A., (2001), Asenkron makinenin Hız Sensörsüz Vektör Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.

Gülğün, R., (1999), Güç Elektroniği, YTÜ Basım Yayın Merkezi, İstanbul.

İncekara, B., (2000), PWM İnverterlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.

Kasapoğlu, A., (1984), Yakın Mesafe Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Elektrikle Tahrik Düzenlerinin İncelenmesi, Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.

Mathisen, A., (2003), Electrical Propulsion System, Bombardier, Sweden

Mathisen, A., (2003), High Voltage System, Bombardier, Sweden

Persson, C., (2003), MCM Software Diagram, Bombardier, Sweden

Sarıoğlu, K., (2003), Asenkron Makinalar ve Kontrolü, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Ural, A., (1991), Modern Elektrikli Ulaşım Sistemleri, Kocaeli Üniv.

Şanal, Mebrure., (1985), Güç Elektroniği Devrelerinden Yararlanarak Doğru Akım makinelerinde Hız Ayarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vas, P., (1994), Vector Control of AC Machines, Clarendon Pres, Oxford.

İNTERNET KAYNAKLARI

1- www.istanbul-ulasim.gov.tr

2- www.tcdd.gov.tr

3- www.bombardier.com

4- www.railway-technology.com

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Hasan Hilmi ÇAKMAK	
Doğum Tarihi	11.03.1978	
Doğum Yeri	Alanya/ANTALYA	
Lise	1992-1995	Alanya Lisesi
Lisans	1995-1997 1997-2000	Kocaeli Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği
Yüksek Lisans	2000-2003 2003-	İ.T.Ü, Kontrol ve otomasyon Mühendisliği Y.T.Ü, Kontrol ve Otomasyon Mühendisliği

Çalıştığı Kurum

2002-Devam Ediyor ULAŞIM A.Ş

