

168370

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLİ ULAŞIMDA SİSTEM SEÇİMİ

Elektrik Mühendisi Mehmet AYDINER

FBE Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programında
Hazırlanan

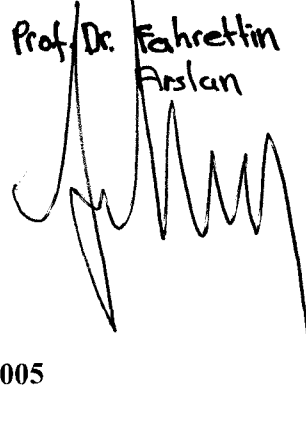
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Asım KASAPOĞLU

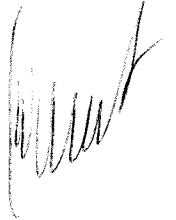
Prof. Dr. Asım Kasapoğlu



Prof. Dr. Fahrettin Arslan



Y. Doç. Dr. Gülbeyen Yıldırım



İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Demiryollarının Tarihi gelişimi	1
1.2 Türkiye`de Demiryolları	2
1.2.1 Şehir içi Toplu Ulaşım ve İstanbul Metrosu	4
1.2.2 İstanbul Metrosu Elektrik Sistemleri	5
1.2.3 Metro Araçlarının Teknik Tanıtımı	7
2. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ	9
2.1 Elektrikli Ulaşım ve Taşıma	9
2.1.1 Konvasiyonel sistemler	9
2.1.2 Konvasiyonel Olmayan Sistemler	10
2.2 Elektrikli Ulaşım Araçları	10
2.3 İşletme Şartları	11
2.3.1 Ağırlık	11
2.3.2 Yer Gereksinimi	11
2.3.3 İşletme Güvencesi	11
2.3.4 Ekonomiklik	12
2.3.5 Gerilim Salınımları	12
2.3.6 Aşırı Yüklenebilirlik	12
2.3.7 Paralel Çalışma	12
2.3.8 Ayar Kumanda	12
2.3.9 Direnimle, Faydalı Frenleme	13
2.3.10 Akım Cinsleri	13
2.3.11 Güç Programı	13
2.4 Elektrikli Demiryollarının Karakteristik Büyüklükleri ve Bu Büyüklüklerin Sistem Seçimine Etkisi	14
2.4.1 Miktar- Fiyat Karakteristiği	14
2.4.2 Enerjinin Sürekli En Ekonomik Şekilde Elde Edilme Özelliği	14
2.4.3 Enerjinin Yabancı Kaynaklara Bağlı Olmama Karakteristiği	14
2.4.4 Toplam Giderlerin Derecesi	14

2.4.5	Ömür Uzunluğu	14
2.4.6	Kayıpların Az Olması Özelliği.....	14
2.4.7	Daha Uzun Süre Çalışabilme Özelliği.....	15
2.4.8	Elverişsiz Doğa Koşulları Altında İşletme Özelliği	15
2.4.9	En Temiz Olma Özelliği	15
2.4.10	Lokomotiflerde Büyük Enerji Depolarının Bulundurulabilme Özelliği.....	15
2.4.11	Aşırı Yüklenebilme Özelliği	15
2.4.12	Hızın Arttırılmasının Kolaylaştırılma Özelliği	16
2.4.13	Lokomotiflerin Kendi Güç Kaynaklarından Bağımsız Olma Özelliği.....	16
3.	ELEKTRİK ENERJİSİNİN DEMİRYOLU SİSTEMLERİNDE UYGULANMASI	17
3.1	Doğru Akım Çekiş Motorları	17
3.2	Lokomotif Hareket Veren DC Motorlar	22
3.3	Trenler için Güç Elektroniği	26
3.4	Tren On-Board Servisler.....	33
3.5	Elektronik Yardımcı Sistemler.....	36
3.6	Çift Yönlü Ünite Kontrolü (EMU).....	39
4.	ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	42
4.1	Monorail-Havaray Sistemleri.....	42
4.2	Farklı Raylı Sistemlerin Karşılaştırılması.....	49
4.3	750 VDC ve 1500 VDC Sistemlerin Karşılaştırılması.....	54
4.4	Elektrikli Ulaşımında Enerji Depolama Sistemleri	60
4.4.1	Piller Powerbridge Enerji Depolama Cihazı.....	63
4.5	Hızlı Trenler ve Maglev Sistemleri	66
4.5.1	Süperiletkenli Maglev Sistemlerinin Çalışma İlkesi	69
5.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	71
	KAYNAKLAR.....	74
	ÖZGEÇMİŞ	75

SİMGE LİSTESİ

E	Birim zamanda harcanan enerji
G_t	Trene ait ağırlık
H	Trenin iç hacim yüksekliği
I	Akım
L	Trenin uzunluğu
$P_{kayıp}$	İletkendeki ısı kayıp gücü
R	Direnç
T	Zaman
U_n	Nominal gerilim
V	Tren hızı
W	Trene ait en uzunluğu
Z	Cer gücü
μ	Sürtünme katsayısı



KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternative Current
DC	Direct Current
DMU	Disel Multiple Unit
EMU	Electrical Multiple unit
GTO	Gate Turn Off
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
LPS	Lighting power substation
LRT	Light Rail Train
LRV	Local Rail Vehicle
SEMS	System Magnetic Energy Storage
TEAŞ	Türkiye Elektrik Anonim Şirketi
TPS	Traction Power Substation
TSB	Traction Sectioning Board
UPS	Uninterruptable Power Supply
USD	United States Dolar



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 İstanbul metrosunda kullanılan metro araçları.	7
Şekil 3.1 Seri sargılı bir DC motorun mekaniksel yapısı.....	17
Şekil 3.2 DC Çekiş motoruna ait basit bir güç kontrol devresi.....	18
Şekil 3.3 DC çekiş motoruna ait güçdevresi röle şeması.....	19
Şekil 3.4 Lokomotiflerde kullanılan DC motorlara ait güç devresi kontrol şeması.....	20
Şekil 3.5 Seri-İletim-Paralel DC motor kontrolü.	20
Şekil 3.6 Alan zayıflatma devresi ile DC çekiş sistemi diyagramı.	21
Şekil 3.7 Bir DC motorun dişli ve dişli takımı vasıtasıyla milinin dönmesi.	22
Şekil 3.8 DC Nose Suspended tren cer motoru.	24
Şekil 3.9 Lyons metro hattı için dizayn edilen monomotor bogie.	24
Şekil 3.10 Motorca sürülen Fransız stili monomotor bogie diyagramı.	25
Şekil 3.11 Klasik bir cer motorun nasıl lineer bir motora dönüştüğünü gösteren şekil.....	25
Şekil 3.12 Lineer motorun sabit ve hareketli parçaları arasındaki hava aralığı.	26
Şekil 3.13 DC ve AC Gerilime ait farklı gerilim sinyallerinin gösterimi.	27
Şekil 3.14 Transformator çıkışında kademe değiştirici olan bir AC lokomotif.	28
Şekil 3.15 AC – DC dönüştürücü için köprü diod devresi.....	28
Şekil 3.16 DC kaynak ve DC motorlu bir sistem için tristör kontrol devresi.	29
Şekil 3.17 Ortalama gerilim elde etmek için tristör kontrollü dc kıyıcı çıkış sinyali.....	30
Şekil 3.18 Tek faz AC kaynaklı bir sistemde 3 – faz AC motorların kullanılması.	32
Şekil 3.19 DC kaynaklı yardımcı sistemlerinin ilk kullanım yıllarına ait diyagram.....	35
Şekil 3.20 Elektrik lokomotiflerinde motor generatör sistemi.....	36
Şekil 3.21 DC EMU bir sistemde güç elektroniği ve yardımcı sistemlere ait blok diyagram. 37	
Şekil 3.22 AC EMU bir sistemde güç elektroniği ve yardımcı sistemlere ait blok diyagram. 37	
Şekil 3.23 Elektro magnetik rölenin çalışması.....	38
Şekil 3.24 Kontaktör çalışmasına ait şekil.	39
Şekil 3.25 Üç araçlı çok üniteli bit tren için aydınlatma kontrol şeması.	40
Şekil 3.26 MU sistemli lokomotif ve trenler için ileri ve geri kontrol iletken bağlantıları.	41
Şekil 4.1 Havaray tiplerinin sınıflandırılmasına ait blok diyagram.....	43
Şekil 4.2 Kablolü mekik sistemine ait uygulama.	44
Şekil 4.3 Konsollü asmalı tip.	44
Şekil 4.4 Kiriş asmalı (Suspended) tip.....	45
Şekil 4.5 Aerobus tipi havaray sistemi.	46
Şekil 4.6 Straddle tipi havaray sistemi.....	47
Şekil 4.7 AGT lastik tekerlekli tip.....	47
Şekil 4.8 Viyadükler için uygulanabilir LRT.....	48
Şekil 4.9 Metro hattına ait meyil çizelgesi. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)	57
Şekil 4.10 750 VDC bir tren için elde edilen devir/hız ve hat akım grafiği.	58
Şekil 4.11 İki saatlik işletme simülasyonu sonucu toplam enerji tüketimi ve kaybı.....	58
Şekil 4.12 1500 VDC sisteme ait enerji tüketim grafikleri.....	59
Şekil4.13 Enerji depolama sisteminin bir cer sistemine elektriki bağlantı şekli.....	63
Şekil 4.14 Piller powerbridge enerji depolama cihazı.	63
Şekil 4.15 Powerbridge kontrol diyagramı.	65
Şekil 4.16 Elektromanyetik ve elektrodimak farklı iki maglev sistemi.....	67
Şekil 4.17 Manyetik kaldırma.	69
Şekil 4.18 Yanal klavuzlama.....	70
Şekil 4.19 Aracın hareketi.....	70

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 İstanbul metrosunun USD olarak keşif tutarı.	4
Çizelge 4.1 Dünya `da uygulamaları yapılan havaray sistemleri.	48
Çizelge 4.2 Farklı raylı sistemlerinin karşılaştırılması.	49
Çizelge 4.3 Teknik bilgiler.....	54
Çizelge 4.5 EN 50163 `e göre elektrikli demiryolları için gerilim seviyeleri.....	55
Çizelge 4.6 Simülasyon sonuçları.	60
Çizelge 4.7 Değişik demiryolu sistemleri için farklı güç karakteristikleri.	62



ÖNSÖZ

İnsanoğlu varoluşundan bu yana, edindiği tecrübe ve birikimle yeryüzündeki mesafeler arası ulaşımın kısaltmasını, en büyük hedeflerinden biri olarak belirlemiştir. 20. yüzyılda insan sayısındaki ve hareketliliğindeki artışın yanısıra, ekonomik gelişmelere paralel olarak ürün taşımacılığında artması ile birlikte ulaşım; devletler, yerel yönetimler ve özel teşebbüs iştirakleri ile birlikte üzerinde yapılan çalışmaların arttığı büyük bir sektör haline gelmiştir. 21. yüzyılın bizlere gösterdiği; büyük metropol şehirlerde toplu ulaşım gereksiniminin her geçen gün dahada artacağı, globalleşen Dünya`da insanların ve malların daha fazla hareket edeceğidir.

Gelişmeler göstermektedir ki önümüzdeki asırda Dünya üzerindeki ulaşımında en büyük pay elektrikli ulaşımın olacaktır. Bu tez; tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Asım Kasapoğlu`nunda yönlendirmeleri doğrultusunda bu gelişmelerin ülkemiz tarafından takip edilmesi ve uygulanması yönündeki çalışmalara destek vermek amacıyla hazırlanmıştır.

Bu tezin hazırlanmasında, başta her konuda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Asım Kasapoğlu olmak üzere lisansüstü eğitimim süresince bilgi ve birikimlerini bizlere aktaran öğretim üyesi hocalarıma ve ayrıca tez çalışmalarım ile ilgili bilgi ve kaynakları elde etmemde yardımlarını esirgemeyen İstanbul Ulaşım A.Ş. personelinde elektrik mühendisi sayın Dr. Muhammed Garip`e sonsuz teşekkürlerimi saygıyla sunarım.

ÖZET

Şehirî toplu ulaşım ve uzun mesafeli ulaşım probleminin çözülmesi için en uygun yöntem demiryolu sistemleridir. 20. yüzyılda gelişmeye başlayan demiryolu ile taşımacılık, elektriğin bu sistemlerde kullanılmaya başlamasından sonra gelişimini hızla sürdürmüştür. Özellikle güç elektroniğindeki ve kontrol tekniklerindeki gelişmelerden sonra demiryolu sistemleri, elektrik tahrikli sistemler haline gelmiştir.

Bu çalışmada; Bir elektrikli ulaşım sistem dizaynı için gerekli olan çalışma safhaları anlatılmıştır. Bir elektrikli ulaşım sisteminin seçiminde AC ve DC besleme gerilimlerinin farkını ve birbirine karşı olan avantajlarını bilmek sistem dizaynı için bir temeldir. Bir sistemin besleme kaynak gerilimini seçmenin yanısıra, seçilen kaynağa ait gerilim düzeyinin sisteme göre belirlenmesi her sisteme göre farklı olabilir. Bu nedenle her sistem kendi özelliklerine göre dizayn edilir. Bu araştırmada genel olarak, bir elektrikli ulaşım sistem dizaynının hangi parametreler göz önüne alınarak yapılacağı anlatılmıştır.

Dünya üzerindeki şehirî elektrik cer kuvveti sistemlerini ve özelliklerini incelediğimizde İstanbul gibi büyük şehirlerimizde bu uygulamaların yaygınlaştırılması gerekliliği sonucuna varılmaktadır. Ayrıca Dünya`da süper iletken maglev (magnetik kaldırma) hızlı tren sistemleride ülkemiz için geç kalınmadan uygulanmalıdır.

Anahtar kelimeler: Demiryolları, elektrikli ulaşım, cer kuvveti, metro, tramvay sistemler, maglev, hızlı trenler.

ABSTRACT

Railway systems are the most appropriate method for solutions of urban and long way train transportations systems. Railway trains had started to set off beginning of 20 th. century and developed after electrical energy started to use in these systems. Especially, developments on power electronic and control technics, railway systems turned electrical traction transports.

In this work, stages of electrical train systems were expressed. Having knowledge of DC and AC differences of electrical sources and their advantages to each other is basic for designing a system for electrical transportation. Every system has own electrical source type and voltage level for its requirements and characteristics. Therefore, every system is designed according to its characteristics. In this research, generally an electrical traction system is designed with which parameters were expressed.

We had a conclusion about developing of electrical transportation systems in big cities of Turkey as Istanbul when we examine electrical traction power systems and their characteristics which applications are carried out all over the World. Furthermore, superconductor maglev (magnetically levitated) systems which are being developed rapidly in the World have to be put into practice in our country.

Keywords: Railway systems, electrical transportation, train traction, metro, tramway systems, maglev, fast trains.

1. GİRİŞ

Demiryolu ulaşımı günümüzde, güç elektroniğindeki gelişmeler ve elektrik enerjisinin üretim ve kullanımındaki avantajlar dolayısıyla bir elektrikli ulaşım yöntemi haline gelmiştir. Dünya üzerindeki ülkelere kıyasla ülkemizde, coğrafi yapı ve büyük şehir alt yapılarında göz önüne alındığında, elektrikli ulaşımın yeterli seviyede gelişmediği ve bu konu üzerine temel oluşturacak akademik çalışmaların yeterli oranda yapılmadığı görülmektedir. Özellikle son yıllarda büyükşehir belediyeleri, şehir içi toplu ulaşım problemine tek çözümün elektrikli lokomotif uygulamalarından faydalanmak olduğuna kanaat getirmiştir. Ayrıca ülkenin modern demiryolu ağları ile donatılmasının daha hızlı, daha ekonomik, daha güvenilir, ve daha etkin bir ulaşım çözümü olacağı düşünülmektedir. Elektrikli ulaşımında sistem seçimi bir elektrikli ulaşım projesi için en temel konudur. Elektrikli ulaşım, günümüze kadar DC gerilimin kullanılmasının tek çözüm olarak görüldüğü bir tahrik sistemi olarak değerlendirilmekteydi. Daha önce üniversitemizde doktora tezi olarakda yakın mesafe elektrikli ulaşımında bir DC sistemin, bilgisayarda PCPISE programı ile modellenmesi yapılmıştır. Günümüz uygulamalarında ise elektrik tahrikli ulaşım araçları birbirinden farklı onlarca sistemin mevcut olduğu bir konuma gelmiştir. Bir elektrikli ulaşım sistem dizaynında, sistem seçimi dış etkenlere bağlı olduğu gibi teknolojik gelişmeler ilede biçimlendirilmektedir. Bu tezde elektrikli ulaşım sistemlerinin temel yapısı ile bir elektrikli ulaşım sistem dizaynında göz önüne alınması gereken parametreler üzerinde durulmuştur.

1.1 Demiryollarının Tarihi gelişimi

İnsanların ve malların hızlı ve güvenli ulaşımı her organize toplumun hedefi olmuştur. Ulaşımın en temel icatlarının, tekerleğin ve demiryolunun keşfi olduğu kabul edilir. Demiryolları, ilk defa 19. yüzyılın başında İngiliz maden ocaklarında şekillenmeye başlamış olmasına rağmen, metal klavuzlar üzerinde Alsace madenlerinde kullanılan vagonlar, İsveç-Basel 1550 gravürlerinde görülmektedir. (Arlı, 2002)

Demiryolları, endüstriden, buharlı sistemlerden, kömür ve madenlerin yaygın olarak işlenmesinden çok fazla etkilenmiştir. İlk demiryolu hatları 1830`lu yıllarda bir çok Avrupa kentinde işlemeye başlamıştır ve bir çok demiryolu kurumu 20. yüzyılın başında maksimum kapasitede çalışmıştır. Demiryollarının hızlı gelişiminde en önemli etken yüksek hız imkanı ile hızlı ulaşım. 20. yüzyılın başında elektrikli çekimin devreye girmesi ile demiryolları daha fazla gelişmiş ve 2. Dünya savaşı öncesinde sinyalizasyon ve merkezi kontrol sisteminin gelişimi ilede 1950 yıllarında şimdiki demiryolları şekillenmeye başlanmıştır. (Arlı, 2002)

1.2 Türkiye`de Demiryolları

Türk Demiryolu Tarihi, 1856 yılında başlar. İlk demiryolu hattı olan 130 km'lik İzmir - Aydın hattına bir İngiliz şirketine verilen imtiyazla bu yılda başlanmıştır. Bu hattın İngilizler tarafından seçilmesindeki nedenler; Populasyon, İngiliz pazarına elverişlilik, İngiliz sanayisinin gereksinim duyduğu ham maddeye kolay ulaşabilme gibi nedenlerdi. Ayrıca Ortadoğu'nun kontrol altına alınarak Hindistan yollarının denetimi alınması bakımında da stratejik bir öneme sahipti. Osmanlı Devletinde, demiryolu imtiyazı verilen İngiliz, Fransız ve Almanlar ayrı ayrı etki alanları oluşturmuştur. Fransa; Kuzey Yunanistan, Batı ve Güney Anadolu ile Suriye`de, İngiltere; Romanya, Batı Anadolu, Irak ve Basra Körfezinde, Almanya; Trakya, İç Anadolu ve Mezopotamya`da etki alanları oluşturdu. Osmanlı Topraklarında yapılan demiryolu hatları ve bunların geçtiği güzergahlar bu ülkelerin iktisadi ve siyasi amaçlarına göre biçimlendirildi.

1876'dan 1909'a kadar tam 33 yıl Osmanlı Padişahı olan Sultan II. Abdülhamid hatıralarında şunları ifade ediyor; "Bütün kuvvetimle Anadolu Demiryollarının inşasına hız verdim. Bu yolun gayesi Mezopotamya ve Bağdat'ı, Anadolu'ya bağlamak, İran Körfezine kadar ulaşmaktır. Alman yardımı sayesinde bu başarılmıştır. Anadolu için iyi bir istikbal hazırlanmıştır. İmparatorluğumuz dahilindeki demiryollarının inşatı mevzuunda büyük devletler arasındaki rekabet çok garip ve şüphe davet edicidir. Her ne kadar büyük devletler itiraf etmek istemiyorlarsa da bu demiryollarının ehemmiyeti yalnızca iktisadi değil, aynı zamanda siyasidir." [1]

Demiryollarındaki gelişim, bu sistemleri kullanacak teknik personelin yetiştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu nedenle, Vilayet nafia idarelerinin "fen memuru" (eski adıyla kondüktör, yeni adıyla tekniker) gereksinimlerini karşılamak amacıyla 1911'de Kondüktör Mekteb-i Alisi adıyla, Paris'teki "Ecol de Conducteur"ün müfredat programı esas alınarak Yıldız sarayı yanında Bayındırlık Bakanlığı'na bağlı bir okul kurulmuş ve okula öğrenci kaydına 22 Ağustos 1911'de başlanmıştır. Bu okul, bugün Türkiye`deki 4 teknik üniversiteden biri olan Yıldız Teknik Üniversitesinin temeli olmuştur.

1856 - 1922 yılları arasında Osmanlı Topraklarında şu hatlar yapılmıştır:

Rumeli Demiryolları 2383 km normal hat

Anadolu-Bağdat Demiryolları 2424 km normal hat

İzmir -Kasaba ve uzantısı 695 km normal hat

İzmir -Aydın ve şubeleri 610 km normal hat

Şam-Hama ve uzantısı 498 km dar ve normal hat

Yafa-Kudüs 86 km normal hat
Bursa-Mudanya 42 km dar hat
Ankara-Yahşihan 80 km dar hat
Toplam 8.619 km.

Cumhuriyetten sonra, I. ve II. Beş Yıllık Sanayileşme Planlarında, demir-çelik, kömür ve makine gibi temel sanayilere öncelik verilmiş olması dolayısıyla bu tür kitlesel yüklerin en ucuz biçimde taşınabilmesi için demiryolu yatırımlarına ağırlık verilmiştir. Bu nedenle, demiryolu hatları milli kaynaklara yönlendirilmiş. Gerçekten de onca kıtlığa ve imkansızlıklara rağmen, demiryolu yapımı İkinci Dünya Savaşı'na kadar büyük bir hızla sürdürülmüştür. Cumhuriyetle Anadolu'daki demiryolu ağı genişlemiştir. Buna göre; 1927'de Kayseri, 1930'da Sivas, 1931'de Malatya, 1933'de Niğde, 1934'de Elazığ, 1935'de Diyarbakır, 1939'da Erzurum demiryolu ağına bağlanmıştır. Mevcut demiryolu hatlarının büyük bölümü ülkenin Batı bölgesinde yoğunlaştığından, Orta ve Doğu bölgelerinin merkez ve sahil ile bağlantısını sağlamak amaçlanmıştır. Bu dönemde yapılan ana hatlar: Ankara-Kayseri-Sivas, Sivas-Erzurum (Kafkas hattı), Samsun-Kalın (Sivas), Irmak-Filyos (Zonguldak kömür hattı), Adana-Fevzipaşa-Diyarbakır (Bakır hattı), Sivas-Çetinkaya (Demir hattı)'dır. [1]

Demiryollarının sadece yük taşımacılığındaki payının artırılması sonucunda, enerji tasarrufu, trafik kazası, yaralı ve ölü sayısı ile hava kirliliğinde azalma söz konusu olmaktadır. Demiryolunun yük taşımacılığındaki payının % 30'lara çıkarılması durumunda; on yıllık dönemde yaklaşık 1.500 kişinin ölümden, 16.000'nin yaralamaktan kurtulacağı hesaplanmıştır. Sonuç olarak, 1950 'lerden sonra uygulanan karayolu ağırlıklı ulaşım politikaları sonucunda, 1950-1997 yılları arasında karayollarındaki artış % 80 olurken, demiryolları sadece %11 oranında artmıştır.

Metal klavuzlar üzerinde ve insan gücüne dayalı olarak başlayan demiryolu sistemleri, zamanla buharlı, kömürlü ve nihayetinde elektrikli cer sistemleri olarak gelişimini sürdürmüştür. Günümüzde; petrol, Doğal gaz, Fuel-oil, Benzin gibi doğal kaynakların azalması ve ulaşım için lüks hale gelmesi dolayısıyla Devletler, belediyeler ve ulaşım ile ilgilenen sanayi kuruluşları uzak mesafelere hızlı ve güvenli ulaşım için elektrik enerjisine dayalı sistemleri seçmek zorunda kalmaktadır. Günümüzde yalnız uzak ve şehirler arası mesafelerde değil, özellikle büyük metropol şehirlerde, toplu taşıma araçları olarakda, Metro, Tramvay, Hafif raylı sistemler, Trolleybus gibi elektrik tahrikli taşıma sistemleri uygulanmaktadır.

1.2.1 Şehirli Toplu Ulaşım ve İstanbul Metrosu

İstanbul'un kent içi raylı ulaşım sisteminin tarihçesi yaklaşık bir asır öncesine, tarihi Karaköy tünel hattına dayanmaktadır. Cumhuriyetin ilk yıllarında elektrikli tramvayların ithali ile gelişmeye ayak uyduran raylı sistem, 1960'lı yıllarda trafik tıkanıklığına sebep olduğu gerekçesiyle sökülüştür. O günlerden günümüze İstanbul metropolü kent planlamacıların tahminlerinin aksine inanılmayacak boyutlarda bir büyüme trendi göstermiş, sonuç olarak kent içi ulaşım dokusu mevcut yükü kaldıramayarak çatlamış ve ulaşım dokusunun değişimi ve yenilenmesini kaçınılmaz hale getirmiştir.

Raylı ulaşım sistemi modellerinden biri olan Metro Sisteminin İstanbul için aşamalar halinde gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Birinci aşamayı Taksim-4.Levent arasında yürütülen çalışmalar teşkil etmektedir. Hat uzunluğu tek yönde 7900 metre olan bu aşamada 6 adet istasyon bulunmaktadır. Bu hattın Maslak'a kadar uzatılması için gerekli projeler hazırlanmaktadır. İkinci aşama inşaatına Taksim-Yenikapı arasında başlanmış olup, tek yönde 5070 metre olan hat boyunca 4 adet istasyon (Şişhane, Unkapanı, Şehzadebaşı, Yenikapı) bulunmaktadır. Ayrıca hafif raylı sistemi Yenikapı istasyonuna bağlayan Yenikapı-Aksaray hafif metro sistemi inşaatı bu ikinci aşama kapsamı içindedir. (İstanbul Ulaşım A.Ş., 2000)

Metro inşaatlarındaki maliyetlerde ana yük kazı ve inşa işlerine harcanmaktadır. Tünelin 1 cm daha geniş olması maliyetin katlanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, İstanbul metrosunda direk tipi sistem yerine üçüncü ray (third rail) sistemi uygulanmıştır.

Bu sistemde deprem etkisi 7. dereceye göre hesaplanmış, 9.2 şiddetindeki depreme göre tahkik edilmiştir.

Hattın Proje Keşif tutarları USD olarak Çizelge 1.1`de verilmiştir.

Çizelge 1.1 İstanbul metrosunun USD olarak keşif tutarı.

İnşaat İşleri	Elektromekanik İşler	Mühendislik Hizmetleri	Metro Araçları	Toplam
309.832.732 %56	180.000.000 %33	14.138.000 %3	45.000.000 %8	548.970.732 %100

1.2.2 İstanbul Metrosu Elektrik Sistemleri

İstanbul Metrosu, 50 MVA'lık bir kurulu güce sahip olup TEAŞ'ın Kasımpaşa (25MVA) ve Levent (25 MVA) şalt merkezlerinden beslenmektedir. Sistem bu merkezlerden herhangi birisinden enerjinin kesilmesi durumunda diğerinden beslenebilecek şekilde yedekli dizayn edilmiştir. Her iki şalt merkezinden de enerjinin kesilmesi durumunda sistem ve yolcu güvenliği düşünülerek Kasımpaşa ve Levent'e birer tane acil servis jeneratörü (5 MVA) konulmuştur. Bu jeneratörler 25 saniye içerisinde yüke binecek ve sistemi beslemeye başlayacaklardır. Bu jeneratörlerle sadece karşılıklı iki tren hareketi mümkün olabilecek ve trenler sırayla en yakın istasyonlara çekileceklerdir. İstasyonların enerjilendirilmesi Taksim ve Levent'teki ana trafo merkezlerinden dağıtım yapılan dual ring şebekesiyle sağlanmaktadır. Her istasyonun kuzey ve güney kısımlarındaki OG şalt odalarından, istasyon yardımcı tesislerine ve DC şalt donanımına enerji sağlanmaktadır. Metro sistemindeki trenler 750 VDC ile çalışmaktadırlar. Tren enerjisini, hat boyunca taşıyıcı rayların yanına monte edilmiş olan 3. raydan almaktadır. 3. ray az karbonlu çelikten imal edilmiş olup yerden 30 cm yukarıya monte edilmiştir. Motorlu araçlar bojilerinin ortasına yerleştirilmiş olan kollektör pabucunun 3. raya üstten sıkı basmasıyla enerjilenirler. 750 VDC gerilim, TPS'lerdeki (Çer Gücü Trafo Merkezi) redresör trafoları (34.5/06 kV 'luk) ve redresör (0.6 kV girişli 750 VDC çıkışlı) gruplarından elde edilmektedir. Metro sisteminde 5 adet TPS, 5 adet TSB (Traction Sectioning Board) ve 12 adet LPS (lighting&power substation) mevcuttur. Her TPS'de 2 adet redresör trafosu, 2 adet redresör grubu ve DC kesiciler bulunmaktadır. DC kesiciler yardımıyla Hat1 ve Hat2 ayrı ayrı enerjilendirilmektedir. İstasyon yardımcı tesislerinin enerjilendirilmesi için ise her istasyonun Güney ve Kuzey kısımlarında LPS odalarına konmuş olan 2000 kVA'lık iç ihtiyaç yardımcı trafoları mevcuttur. Bu trafolardan, yürüyen merdivenler, yürüyen bantlar, yangın sistemi, asansörler, havalandırma, drenaj sistemi, tünel priz ve aydınlatma sistemi, UPS vb. Sistemler beslenirler. İstasyon yardımcı sistemlerinin beslenmesinde üç tür öngörülmüştür;

1. Acil yüklerin UPS'den beslenmesi

- SOR (İstasyon İşletme Odası)
- Gelir bilgisayar
- İstasyon aydınlatma paneli
- SCADA RTU
- LCP
- Tünel aydınlatması

- TPS
- YG hücreleri
- Yangın kontrol paneli
- Atık su paneli

2. Zorunlu yüklerin beslenmesi

Tünel havalandırması

Egzoz havalandırması

Asansör makine daireleri

Asansör panelleri

Yürüyen merdivenler

Elektrik odaları havalandırmaları

UPS (Yardımcı sistemler,Sinyalizasyon,Haberleşme)

Tünel aydınlatması

Haberleşme

Yangın tespiti

Akü şarj cihazı

3. Zorunlu olmayan yüklerin beslenmesi

- Güç çıkışları
- İstasyon aydınlatması
- OG şalt donanımı ısıtması

PMA Geçici Bakım Alanı; 4. Levent istasyonunun hat2 tarafına trenlerin bakım için bir bakım alanı oluşturulmuştur. PMA adı verilen bu bölgede araçlar stinger adı verilen sistem tarafından 750 VDC ile beslenirler. Aynı zamanda bu bölgenin aydınlatma ve güç beslemesi amacıyla 1000 kVA'lık bir iç ihtiyaç trafosu kullanılmıştır.

Üçüncü Ray Sistemi; Akım taşıma kapasitesi ve gerilim dönüşümü, ilerde çalıştırılacak 8 araçlık trenler gözönüne alınarak hesaplanmıştır. Üçüncü ray BSC-75 tipi masif çelikten mamuldür. 3. raylar üzerine elektriksel bakımdan yalıtkan olan koruma kapakları takılıp bu şekilde insanların yanlışlıkla raylara dokunup elektrik çarpmasına maruz kalmaları önlenecektir. Üçüncü rayın dizaynı maksimum yükü, aşırı ısınma olmadan taşımaya ve gerilim düşmelerinin araç tahrik sistemi toleransları dahilinde kalmasını sağlamaya müsaittir. (İstanbul Ulaşım A.Ş., 2000)

1.1.1 Metro Araçlarının Teknik Tanıtımı

İşletme aracı, çalışması için gerekli elektrik enerjisini, 750 V DC giriş gerilimini 3. raydan sağlayan klasik tip bir raylı taşıttır. Araçlar 21.5 m boy, 3.050 m genişliğe sahip, Amerikan tipi geniş gabarili araçlardır. Her araç, iki yanında 4'er adet elektropnömatik olarak kontrol edilen toplam 8 kapıya sahiptir. Araç karoseri ekstrüzyon yöntemi ile, alüminyum alaşımdan imal edilmiş profillerden oluşmuş ve dış yüzeyi de ayrıca mekanik olarak zımparalanmıştır. (İstanbul Ulaşım A.Ş., 2000)



Şekil 1.1 İstanbul metrosunda kullanılan metro araçları.

İstanbul metrosu araçları kendi içinde 3 tipe ayrılır:

1. Önde (Y ucunda) sürücü kabini bulunan motorlu Mc aracı
2. Sürücü kabini bulunmayan , motorlu M aracı
3. Sürücü kabini ve motoru bulunmayan taşıyıcı T aracı

Genel olarak bütün motorlu araçlar aynı ekipmanlarla donatılmışlardır. Bütün bu motorlu araçların her biri 750 V DC giriş akımı ile tahrik olan cer sistemi ve elektrik - pnömatik besleme sistemleri için gerekli yardımcı güç sistemi ile donatılmışlardır. Bu araçlar ayrıca entegre bir cer sistemine sahiptirler. Bu sistem, cer motorları için cer/frenleme lojiği ve güç modülasyonu yarı iletken alt sistemlerini içerir.

Taşıyıcı araçlarda motor bulunmadığından, 3. ray pabuçları ve, MA grup ve cer sistemleri yoktur. Taşıyıcı araçlar gerekli olan elektrik ve pnömatik enerjiyi komşu motorlu araçlardan sağlar. Standart dizi formasyonu; her iki uçta Mc aracı ve bu ikisinin arasında bir M ve bir T aracı olacak şekildedir. $Mc (y/x) - T (y/x) - M (y/x) - Mc (y/x)$ Aracın önü y, arkası ise x olacak şekilde dizayn edilmiştir. Araçlar birbirine sabit kuplaj vasıtası ile mekanik olarak bağlıdır. Aralarında elektrik ve pnömatik bağlantılar, sırası ile kablo ve hortumlarla sağlanmıştır. Mc araçlarının y uçları otomatik kuplaja sahiptir. Bu otomatik kuplajlar sayesinde iki 4'lü diziyi birlikte çıkarmak mümkündür. Bu tip kuplajla elektrik ve pnömatik bağlantılar otomatik olarak yapılabilir. İki tren dizisi, sürücü kabininden otomatik olarak birbirinden çözülebilir. Her üç araç tipi de, her biri 2 teker seti ve 2 hava yastığından oluşan süspansiyon sistemine ve 2 adet bojiye sahiptir. Motorlu bojiler 3.ray pabuçları vasıtasıyla 3.raydan 750 V DC gerilimi alırlar. Bu bojiler, güç modülasyon ekipmanı tarafından kontrol edilen iki cer motora sahiptir. Ve her iki teker üzerine fren pabucu tarafından uygulanan mekanik fren sistemine sahiptir. Ayrıca her motorlu aks üzerinde bir park freni vardır. Her bir cer motoru, bir aksı sürer. Tahrik sistemi cer motorlarını, hızlanma veya elektrodinamik frenleme süresince statik elemanlarla kontrol eder. Elektrodinamik frenleme boyunca oluşan elektrik enerjisi, hat kabul ederse 3.raya, kabul etmezse restoraya gönderilir. Bu elektrik enerjisi kazanımı veya dirençlerde harcanması yöntemiyle yapılan elektrodinamik frenlemeye, belirli bir alt hız değerinden sonra pnömatik frenlemede katılır. Araç yükü ve kızaklama koruma (anti skid) tertibatı tarafından sürekli olarak kontrol edilen fren performansı her boji için yerel olarak yorumlanır. Taşıyıcı araçlardaki mekanik frenler, istenen hız kontrolü için hiçbir fren uygulaması olmayan her aks üzerindeki fren diski aracılığıyla uygulanır. Bütün araçların yolcu bölümleri ve Mc araçlarının sürücü kabinleri, ısıtma ve havalandırma ekipmanlarına sahiptir. "Otomatik" ve "Yarı Otomatik" işletme modunda standart dizi konfigürasyonu için, hızlanma ve yavaşlama ivmeleri $1m/s^2$ iken dizinin maksimum hızı 80 km/s dir. (4 ve 8'li araçlarda)

Sonuç olarak her dizi formasyonu 4 veya 8 oluşacak şekilde kurulabilir. T aracı üzerinde bulunan ATC sistemi (T aracı altındaki ilgili ekipmanı ile) sürücünün insiyatifi dışında aracı yönetir. (İstanbul Ulaşım A.Ş., 2000)

2. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Elektrikli ulaşım ve taşıma sistemleri elektrikli cer sistemi olarak adlandırılır. Genel olarak demiryolu ulaşımı ile gelişen ve bütünleşen elektrikli cer sistemleri, önceleri insan gücü, buhar ve dizel gibi enerjisini kullandıkları kaynaklar ile anılırken, daha sonraları ve günümüzde elektrik enerjisinin kullanılabilirliği, ve elektrik motorlarının bu sistemler için mükemmel bir tahrik makinası olması dolayısıyla elektrik enerjisi ve sistemleri modern ulaşım yöntemlerinde en önemli sırayı almaktadır. Elektrik motorunun tahrik milini döndürebilme kullanışlılığı yanısıra, kontrol ve kumanda sistemlerinden, sinyalizasyon ve pnömatik sistemlere hava kirliliğini önlemeden hızlı ve stabil ulaşım kadar elektrik, istenen tüm şartların yerine getirilmesinde en uygun kaynak olarak görülmektedir.

2.1 Elektrikli Ulaşım ve Taşıma

Elektrikli ulaşım ve taşıma, belli bir ağırlığı, elektrik enerjisi ve tahrik sisteminin, elektrik motorlarınca üretilen moment kuvveti ile taşındığı düzeneklere verilen isimdir.

Elektrikli ulaşım ve taşımanın uygulama alanlarını iki başlık altında inceleyebiliriz.

1. Konvansiyonel sistemler,
2. Konvansiyonel olmayan sistemler.

2.1.1 Konvasiyonel sistemler

Konvansiyonel sistemleride kendi içerisinde ulaşım mesafesine göre ikiye ayırırız.

I. Büyük Mesafeler

Ray üzerinde

- Demiryolları
- Yeraltı tünelleri (Metrolar)
- Tramvaylar (Hızlı Tramvaylar)

Yol üzerinde

- Dizel elektrikli otobüs
- Trolleybus
- Akülü taşıtlar.

Deniz üzerinde

- Elektrik pervaneli şilepler.

II. Küçük mesafeler

Havai taşıyıcılar (Teleferik)

Dağ demiryolları

Asansörler

Traylor, transbordeler, Gemi yükleme ve boşaltma sistemleri

2.1.2 Konvasiyonel Olmayan Sistemler

1- Transrapid magnetik yastıklı, Lineer motorlu uzak mesafeler için.

2- Transurban magnetik yastıklı, lineer elektrik motorlu yakın mesafeler için (Denendi ve bırakıldı)

3- Rail Jet

4- Elektrikli otomobil

5- Yürüyen elektrikli kaldırım.

2.2 Elektrikli Ulaşım Araçları

Elektrik motoru ile tahrik edilen ulaşım araçlarına elektrikli ulaşım araçları denir ve üç türlü sınıflandırılabilirler.

1- Genel Sınıflandırma

2- Yapım şekillerine göre sınıflandırma

3- Akım cinsine göre sınıflandırma.

1. Genel Sınıflandırma;

a.) Elektrik Enerjisini dışarıdan alan (Seyr iletkeni veya akım rayı ile)

b.) Enerji Depolarını yanında bulunduranlar.

Elektrik kaynaklı (Akümülatörler)

Termik Kaynaklı (termik motor elektrik genarörünü tahrik etmekte buda)

- Dizel elektrikli taşıtlar
- Buhar türbünlü taşıtlar
- Gaz türbünlü Taşıtlar.

2. Yapım Şekillerine göre sınıflandırma;

Bir elektrikli ulaşım sisteminin projelendirilmesinde sistemin uygulanacağı şehir, sistemin yapısı (Metro veya Tramvay), besleme gerilimi, yolcu taşıma kapasitesi, maliyet gibi tüm parametrelerin planlanıp ortaya koyulması gerekmektedir. Bu parametreler doğrultusunda sistemin gereksinimini sağlayacak araç tahriği ve tipi seçilir.

3. Akım cinsinden faydalanma;

Bir elektrikli tren cer sisteminde, doğru ve alternatif olan iki akım cinside kullanılabilir. Doğru akımlı cer sistemlerinde iki adet iletken kullanma gereksinimi vardır. Doğru akım kullanımında nötr iletkeni olarak ray kullanılabilir. Dünya üzerinde ki uygulamaların birçoğu doğru akım kullanılan sistemlerdir. Bunlardan, kısa mesafeli sistemlerden Tramvay ve Trolleybus`da; 500 V, 600 V doğru akımlı sistemler mevcut iken doğru akımlı uzun mesafeli taşıtlarda 500 V, 600 V, 800 V, 1200 V, 1500 V gerilimli sistemler mevcuttur. Ayrıca İtalya`da 5000 V ve 5400 V doğru akım cer sistemleri kullanılmıştır. Hatlardaki kayıpları azaltmak ve yüksek hıza ulaşma verimini arttırmak için yüksek doğru gerilimden yararlanır.

AC tren uygulamalarında, 3 fazlı sistemlerin iki hava bir ray iletkene gereksinim duyması nedeniyle pek tercih edilmez. Bu nedenle tek faz tercih edilir. Kollektörlü tek fazlı motorlarda komütasyon problemleri ortaya çıkar. Komütasyon sargısının reaktansı frekansla orantılıdır. Bu nedenle frekans 16 2/3 Hz. veya 25 Hz. e düşürülür. Tek fazlı AC tren cer sisteminde doğru akım gibi iki iletkene gereksinim duyar. Gerilimin yüksek olduğu 15 kV ve 25 kV durumlarında ise frekans 50 Hz. kullanılır.

2.3 İşletme Şartları

2.3.1 Ağırlık

Demiryollarında ve elektrikli ulaşım sistemlerinde birincil hedef faydalı ağırlığın taşınmasıdır. Burada, maksimum verim için yapılan tüm sistem dizaynında minimum kütle hedefi aranarak maksimum yolcu ve yük taşıma kapasitesi hedeflenir.

2.3.2 Yer Gereksinimi

Trenin ve yükün hareketini sağlayan tahrik motorları dingil boyutlarına uymak zorundadır.

2.3.3 İşletme Güvencesi

Tüm toplu ulaşım sistemlerinde olduğu gibi sistem güvenli dizayn edilmeli ve tüm bölümler

olabildiği kadar sağlam, darbelere ve zorlanmalara dayanıklı olmalıdır. Ayrıca her türlü işletme koşuluna uygun olmalı örneğin toz, nem ve her türlü hava şartına karşı hassas olmamalıdır.

2.3.4 Ekonomiklik

Elektrikli demiryolları önemli oranda bir yatırım gerektirirler. Taşıtların giderleri oranında, demiryolu mesafesi boyunca uzanan seyr iletkenleri ve akım gereksinimlerinin yanısıra bu sistemlere yardımcı olan doğrultucu ve kumanda sistemleri giderleri mevcuttur. Bir elektrikli demiryolu ve ulaşım sisteminin ekonomik olarak adlandırılabilmesi için işletme ve bakım maliyetlerinde gider maliyetlerine eklenmesinden sonra ancak ekonomik olarak adlandırılabilir.

2.3.5 Gerilim Sahnımları

Seyr iletkenlerini ve sekonder santralleri daha ucuza maletmek amacıyla büyük gerilim düşümleri göz önüne alınmalıdır. Taşıtlarda kuvvetli ve sık bir şekilde darbe gerilim salınımları oluşmaktadır. VDE'ye göre; Doru akımda, -30, +20 (%), değişken gerilimde, -20, +15 (%) 'dir. Pratikte is bu değerler daha yüksektir. Akım akışı süresince gerilim düşer ve yükselir, motorlar bu salınımlara dayanıklı olmalıdır.

2.3.6 Aşırı Yüklenebilirlik

Elektrikli bir ulaşım sisteminde değişen yol ve motor tahrik kuvvetine karşı oluşan zıt yöndeki değişken kuvvet nedeniyle uzun süreli eşit değerli bir sürekli yük söz konusu olamaz.. Bununla beraber eğimli rampalarda yol almada, kısa bir süre için, nominal gücün iki misline varan bir aşırı yüklenme istenir. Özellikle tramvay motorlarının kısa devre frenlemesinde bu değer 6 katına, hatta daha fazlasına, kadarda çıkabilir.

2.3.7 Paralel Çalışma

Tramvayı oluşturan her bir taşıttaki motorlar birbirleriyle paralel olarak çalışırlar. Burada her bir motorun eşit yüklenmesi gerekmektedir. Her bir motorun yalnız eğrileri dolayısıyla değil, eşit olmayan yüklenmeleri nedeniyle tahrik edilen tekerlek çapları ve devir sayıları farklı olabilir. Motor gücü devir sayısına bağlı olarak çok değişmemelidir. Bu nedenle genellikle seri karakteristikli motorlar kullanılır.

2.3.8 Ayar Kumanda

Lokomotifler hızlı olduğu kadar yavaş, hafif olduğu kadar ağır trenleride çekebilmeli, yani hız

ve cer kuvveti sıfırdan maksimuma kadar ayar edilebilmelidir.

2.3.9 Direnimle, Faydalı Frenleme

Frenlemede açığa çıkan kinetik ve potansiyel enerji, tahrik motorlarında elektrik enerjisine dönüşür. Bu bir direnç üzerinden olabilir. Bu durumda enerji faydasız bir şekilde ısı olarak dışarı verilir. Buna direnimle frenleme denir. Diğer bir yöntemde bu enerjinin seyr iletkenine geri verilmesidir. Bu durum bazı şartlarda enerji tüketiminde ekonomi sağlar. Fakat bu işlem özel ve pahalı düzenleri gerektirir.

2.3.10 Akım Cinsleri

Akım cinsi olarak elektrikli cer sistemlerinde, bazı özel durumlar dışında yalnızca doğru akım ve tek fazlı değişken akım kullanılır. Bu sistemlerde doğru akım en eski ve en çok kullanılan akım cinsidir. Doğru akım motoru oldukça basit ve sağlamdır, aşırı yüklenebilir, alaçak ve yüksek güçteki devir sayısı ve gerilimi için kullanımı elverişlidir. Ayrıca frenlemeler için de uygundur. Bağlantı elemanları nedeniyle gerilim en fazla 3 kV`dur. Çok yüklü hatlarda büyük değerli akım çekilir. Bu ise büyük seyr iletken kesiti ve birçok besleme noktası gerektirir.

Tek fazlı alternatif akım sisteminde kullanılan gerilim, 15-25 kV olup ortalama kesit 100 mm² dir. Taşıtta bu gerilim, taşıt üzerindeki trafo ile küçültülür ve bu düşürülen gerilim ayarlanarak değişken akım seri motorlarına verilir. Önceleri bu tip motorlardaki komutasyonu çözümlenmek için düşük frekanslar kullanılırken sonradan bu sorunun çözümlenmesiyle şebeke frekansından (50 Hz), dolayısıyla normal şebekeden faydalanılmıştır. Bu gelişmeye paralel olarak taşıta gelen gerilimin doğrultucularla doğru gerilime dönüştürülmesi olanağı doğmuş ve doğru gerilimle çalışan tahrik motorlu sistemler kullanılmıştır.

2.3.11 Güç Programı

Elektrikli taşıtların projelendirilmesinde, bir işletme programı vardır. Buna göre verilen (G_t) kadar ağırlığın verilen bir seyr (t) zamanı içerisinde belli bir yol üzerinden taşınması gerekmektedir. Bu programdan gerekli motor gücü hesap edilir. Güç genellikle (Z) cer kuvveti ile (v) hızının çarpımına eşittir. Cer kuvveti çeşitli bölümlerden oluşan seyr iletkeninin direncinin hesaplanmasıyla bulunur. Bu hesaplamalarda sürtünme kuvveti de hesaplanır ve sürtünme katsayısı (μ) ile gösterilir.

2.4 Elektrikli Demiryollarının Karakteristik Büyüklükleri ve Bu Büyüklüklerin Sistem Seçimine Etkisi

2.4.1 Miktar- Fiyat Karakteristiği

Elektrik işletmeli bir demiryolu şebekesi ne kadar büyük ise işletimi o kadar ucuz olur. Yani kWh miktarı, artan elektrik enerjisi tüketimi ile sürekli azalır. Buharlı ve dizelli işletmeler için ise böyle bir karakteristik yoktur. Elektrikle cerin akım üretim ve dağıtım tesislerine ait bütün giderleride içine almak üzere, enerji giderleri, ana yollarda bugünkü enerji fiyatlarıyla karşılaştırılması yapılırsa, buradada elektrikli sistemin dizelli sisteme olan üstünlüğü ortaya çıkar.

2.4.2 Enerjinin Sürekli En Ekonomik Şekilde Elde Edilme Özelliği

Elektrikli cer sistemi kendisi için gerekli olan enerjiyi, büyük enterkonnekte elektrik şebekelerinden, sistemin ihtiyaç duyduğu noktada kendisine en yakın dağıtıcı sistemden sağlar. Enerji sağlanması böylece en ekonomik şekilde gerçekleştirir. Böylece cer sistemi için kendi santralini kullanım zorunluluğuna gerek kalmadığı gibi, gerilim düşümü iki veya daha fazla taraflı besleme ile daha düşük seviyede tutulur.

2.4.3 Enerjinin Yabancı Kaynaklara Bağlı Olmama Karakteristiği

Elektrikli cer sisitemi diğer sistemler gibi yabancı, değişken ve ömürlü doğal kaynaklara (benzin , dizel gibi) bağlı olmaksızın mevcut yerli elektrik sistemleri ile kesintisiz olarak sağlanabilir, ve böylelikle uzun vadeli elektrikli cer projeleri güvenle hazırlanabilir.

2.4.4 Toplam Giderlerin Derecesi

Elektrikli cerin kuruluş giderleri yüksek olmasına rağmen aynı yol yükünde elektrikli cer diğer sistemlere oranla daha az toplam gider gösterir.

2.4.5 Ömür Uzunluğu

Bir elektrikli lokomotifin ömrü dizelinkinden daha uzundur. Makina titremesi, yanma ve yağ kalıntısı olmadığından elektrikli makinanın mekanik bölümleri dizel makinelere oranla daha fazla dayanıklıdır. Dolayısıyla bakım giderleri daha azdır.

2.4.6 Kayıpların Az Olması Özelliği

Elektrikli lokomotiflerde ısıtma için daha az elektrik enerjisi tüketimi gerekmektedir. Cer kuvvetinin üretilmesi için gerekli enerji tüketimi yanısıra ısıtma en büyük enerji tüketim şeklidir. Buharlı ve elektrikli lokomotiflerde ısıtma enerjisi ana enerji seviyesinden

çekildiğinden ısıtma için tüketim azdır. Elektrikli lokomotiflerde ısıtma enerjisi toplam enerjisinin genellikle %10-12`si kadardır.

2.4.7 Daha Uzun Süre Çalışabilme Özelliği

Elektrikli işletme lokomotifler için daha uzun süre çalışabilmeyi sağlar. Revizyonlar ve onarımlar göz önüne alındığında elektrikli lokomotifler senede ortalama 314 gün serviste kalır. Dolayısıyla her işletme gününe düşen km sayısı dizel lokomotiflerinkinden çok fazladır.

2.4.8 Elverişsiz Doğa Koşulları Altında İşletme Özelliği

Elektrikli cer işletme sistemleri zor iklim şartlarında da güvenceli bir işletim sağlar. En sert kış ikliminde bile gerekli olan şartlar ancak elektrikli cer sisteminde yerine getirilebilir. Örneğin kış aylarında sibiryaya gibi soğuk bölgelerde -40 C° ve hatta daha aşağılardaki sıcaklıklarda bile çalışabilmektedirler.

2.4.9 En Temiz Olma Özelliği

Yeryüzündeki ulaşım sistemlerinde elektrikli cer sistemleri en temiz ve en az gürültülü sistemlerdir. Çünkü elektrik akımı, enerji olarak temiz, hafif ve ayarlanabilir niteliktedir. Uzun süreli yollarda ve şehir içi ulaşımında elektrikli araçlar tercih edilir çünkü dizelli araçların dumanları insan hayatı için zararlı olmaktadır.

2.4.10 Lokomotiflerde Büyük Enerji Depolarının Bulundurulabilme Özelliği

Elektrik lokomotiflerde, dizel lokomotiflerden farklı olarak santral biçiminde büyük enerji deposu bulunur. Bu nedenle teorik olarak elektrikli lokomotifler istenen her gücü ve cer kuvvetini tren miline verebilir. Enerji kaynaklarını beraberinde taşıyan dizel lokomotiflerde ise güç sınırlıdır.

2.4.11 Aşırı Yüklenebilme Özelliği

Elektrikli lokomotifler aşırı yükte yüklenebilirler. Bu ise üzerinde bulunan elektrik motorlarının aşırı yükte yüklenmesi demektir. Dizel motor pratik olarak aşırı yüklenemez. Elektrik lokomotiflerinde sürekli cer kuvvetlerinden başka, dahada yüksek değeri olan cer kuvvetleri ve saatlik cer kuvveti büyüklükleri tanımlanabilir. Bir elektrik lokomotifi yol alma döneminde, kendi sürekli cer kuvvetinin üç misline kadar bir kuvvetle yüklenebilir. Bu özellikle durma durumundaki bir taşıtın hızlanması için önemlidir. Elektrik lokomotiflerinin fazla yüklenebilir olması, hem taşınan yükün fazla olması hemde seyr zamanının kısa olması gibi faydalı verim sonuçları elde edilmesini sağlar. Bu özellik muhakkakki durak sayısının

fazla ve sık olduğu hatlarda elektrikli cer sisteminin kullanılma cazibesini arttırmaktadır. Hızlı ivmelenebilme özelliği ile bu tip kısa mesafelerde oldukça kullanışlıdır.(Akın, 1999)

2.4.12 Hızın Arttırılmasının Kolaylaştırılma Özelliği

Elektrikli cer işletim sistemi, hızın arttırılması problemini kolaylaştırır. Özellikle uçaklar ve diğer yolcu ve yük taşıma sistemleri ile trenlerin yarışabilmesi için tren sistemlerinin daha hızlı olma zorunlulukları vardır. Araştırmalar; Trenlerin en güvenilir ve ekonomik taşıma sistemi olduklarını göstermektedir. Özellikle elektrik cer sistemli, şehirlerarası yolcu trenlerinin hızları her geçen gün artmaktadır. Yeni hızlı tren sistemleri (Maglev, supersonic gibi) yanısıra gelişen uygun lokomotif ve vagon sistemleri, frenleme sistemleri, sinyalizasyon uygun ray ve yol yapımı gibi düzenlemelerle bu sistemler dahada hızlı hale getirilebilir.

2.4.13 Lokomotiflerin Kendi Güç Kaynaklarından Bağımsız Olma Özelliği

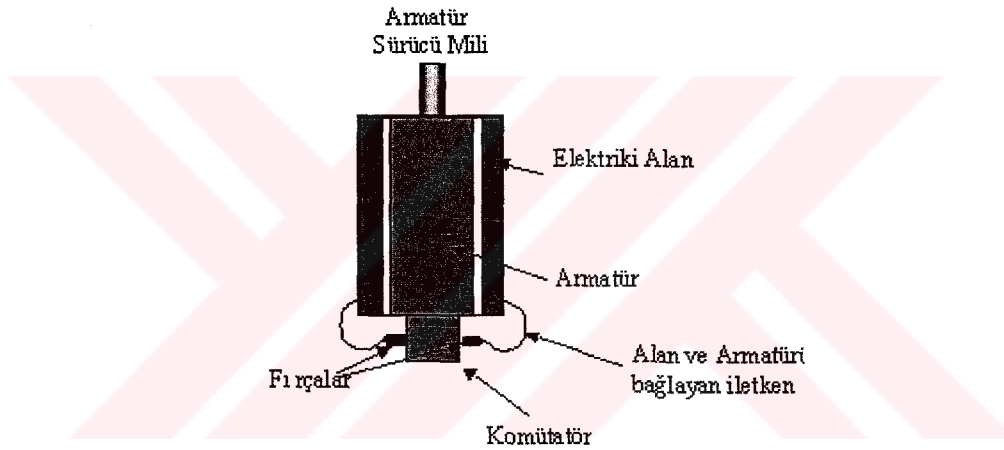
Elektrikli cerin en büyük avantajlarından biride lokomotiflerin kendi güç kaynaklarını yanlarında taşımamasıdır. Fakat bunun sonucu olarak büyük bir yatırım gerektirirler bu yatırıma rağmen uzun vadede ekonomik ve kullanışlıdır. Elektrik enerjisi lokomotive seyriletkeni üzerinden verilir. Gücün tekerleğe indirgenmesinde dizel lokomotiflerde elektrikli lokomotiflere göre daha büyük bir güç harcanır.

1. ELEKTRİK ENERJİNİN DEMİRYOLU SİSTEMLERİNDE UYGULANMASI

Demiryolu taşımacılığını, daha önce metal klavuzlar üzerindeki tekerleklerin dönmesi ile yük ve insan taşıma sistemi olarak tanımlamıştık. Bu metal klavuzlar üzerine yerleştirilen katarların hareketi için gerekli enerji, aslında bu sistemlerin temelini oluşturmaktadır. Demiryollarında, günümüzde kullanılan ulaşım sistemlerinin tümü hemen hemen elektrikli sistemlerden ibarettir. Bu nedenle sistem dizaynında kullanılacak olan enerjiden, motor seçimine, lokomotif dizaynına kadar tüm sistem ve yardımcı sistemler bu parametrelere göre dizayn edilir.

1.1 Doğru Akım Çekiş Motorları

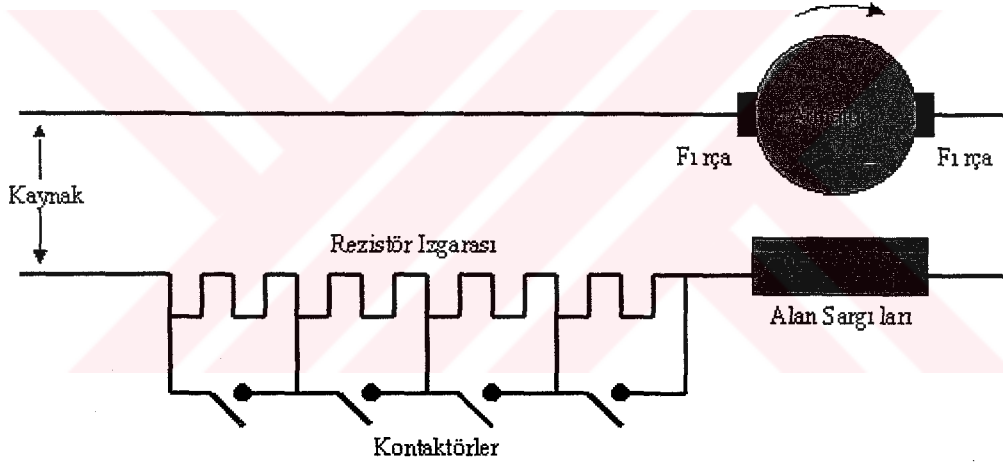
DC motorlar, elektrikli cer sistemlerinin ve disel-elektrikli lokomotif sistemlerinin dizaynında yıllarca temel dayanak olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Seri sargılı bir DC motorun mekaniksel yapısı.

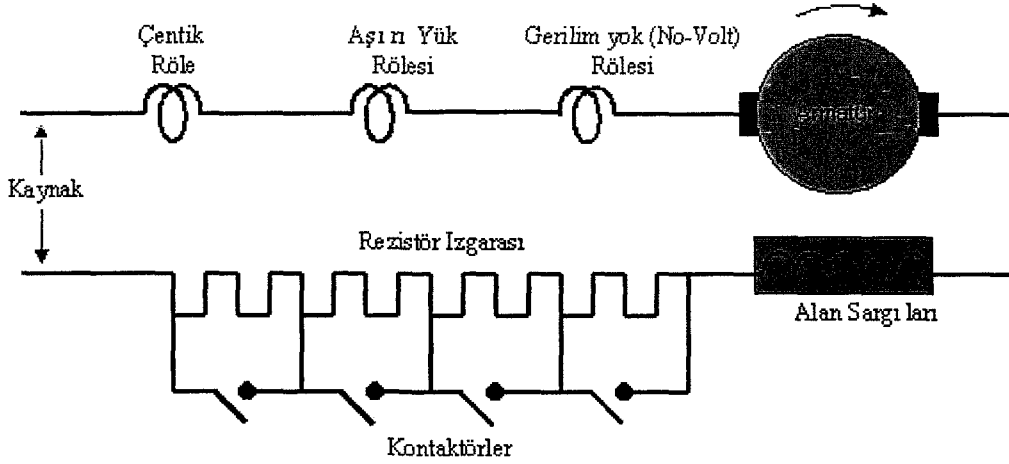
Bir motorun çalışması basit bir şekilde şöyledir: Motor devresi içerisinde dolaşan akım, alandaki akım ile armatürdeki akım arasında bir tepkimeye neden olur. Bunun sonucu olarak armatür dönmeye başlar. Armatür ve alan birbirine seri bağlı olduğundan tüm motor "seri sargılı" motor olarak nitelendirilir. Seri sargılı bir motor düşük rezistanslı alan ve armatür devresine sahiptir. Bundan dolayı, motora gerilim uygulandığı zaman akım yükselir. (Ohm kanunu) Yüksek akımın avantajı, motor içindeki magnetik alanın yüksek olması ve böylece yüksek dönme kuvveti (tork) oluşturmasıdır ki buda bir trenin kalkış ve hareketi için ideal bir karakteristiktir. Bir dezavantajı ise, motor içinde akan akım, bir şekilde sınırlandırılmalıdır ki aşırı yüklenme olmasın veya motor ve kablolar zarar görmesin. Bu da başlangıç akımını sınırlayacak rezistörlerin kullanılması ile önlenmektedir.

DC motorun dönmeye başlaması, motor içerisindeki karşılıklı magnetik alanların iç bir gerilim üretilmesine neden olur. Bu "geri gerilim" uygulanan gerilim ve akıma, karşı koyar. Motor hızı arttırıldığında üretilen iç gerilimde artar fakat etkin gerilim düşer. Motorun dönmesini daha az bir akım zorlar ve böylece tork düşer. Motor doğal olarak, trenin çekilme hızı ile motorca üretilen torkun yeterli olması durumunda hızlanmayı durdurur. Trenin hızlanmaya devam etmesi için rezistörler sıra ile devre dışı bırakılır. Her devre dışı kalan dirençin ardından efektif gerilim artar ve böylece akım ve tork, motor yeterince hızlanana kadar daha fazla etkisini gösterir. Devrede hiç rezistör kalmadığı zaman, motora tam gerilim uygulanmaktadır. Tren hızı, motorun torku ile çekiş kuvvetinin eşit olduğu durumlarda sabit kalır ve bu hız balans hızı olarak adlandırılır. Eğer tren bir meyil tırmanmaya başlamışsa, hız düşecektir. Çünkü bu durumda çekiş kuvveti torkdan daha büyüktür. Fakat hızdaki azalma "geri gerilime" neden olacak ve böylece efektif gerilim, yeni çekiş kuvvetini karşılayacak yeterli torkun motor tarafından üretilmesine kadar artacaktır. [2]



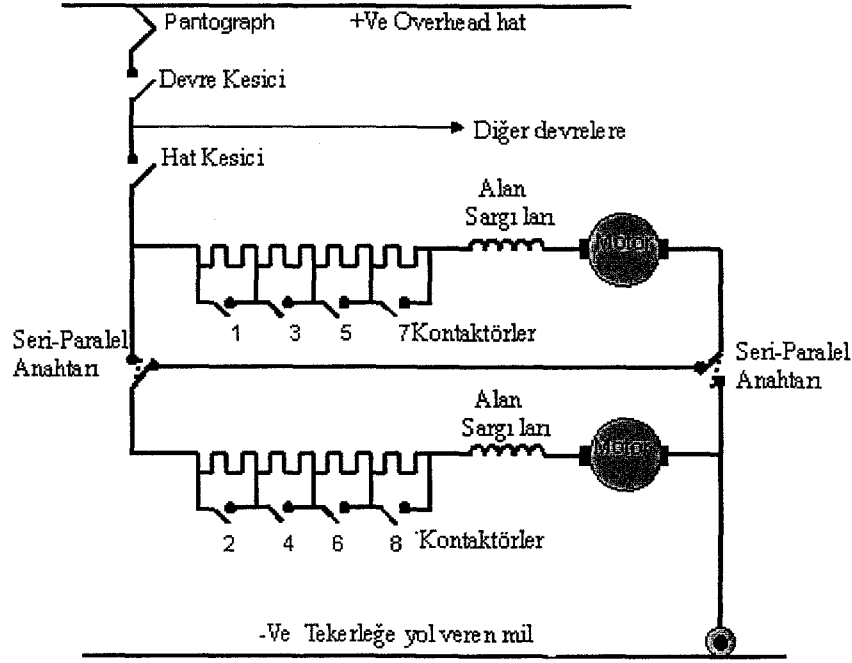
Şekil 3.2 DC Çekiş motoruna ait basit bir güç kontrol devresi

İlk elektrikli trenlerde sürücü, rezistansı devreden çıkarma kontrolünü elle manuel olarak yapmak zorundaydı. 1914 deki 1. Dünya savaşının başlamasıyla ilk kez İngilterede çoklu üniteli trenlerde (EMU) otomatik hızlandırıcılar kullanılmaya başlandı. Bu, motor devresinde akımı, rezistanslar gibi adım adım değiştiren bir etki oluşturan ve "çentikli röle" olarak adlandırılan bir hızlandırıcı rölenin kullanılmasıyla gerçekleştirildi.



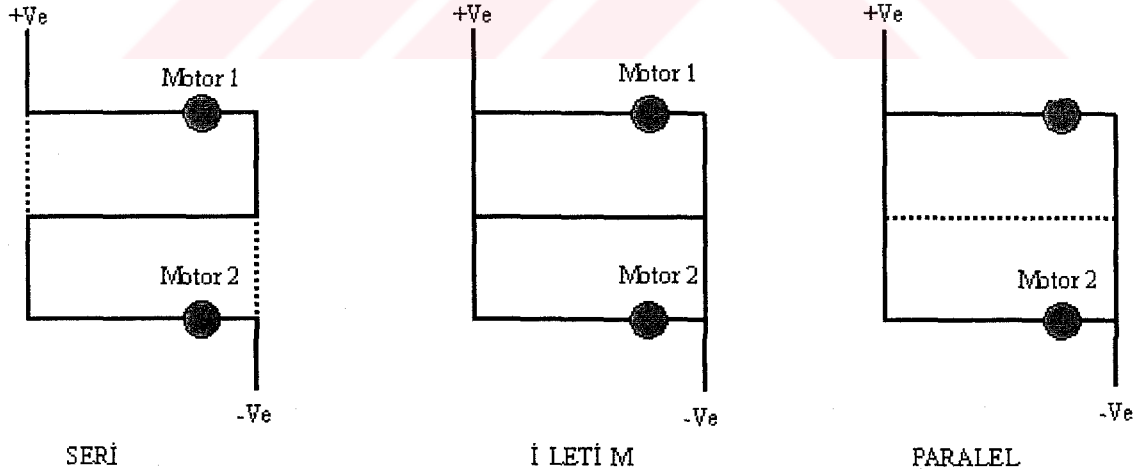
Şekil 3.3 DC çekiş motoruna ait güçdevresi röle şeması.

Görüldüğü üzere DC motorlar, güç devresine bir çentikli rölenin eklenmesiyle kontrol edilmeye başlandı. Fakat motor korumasını diğer röleler sağlamaktaydı. Keskin akım artışları DC motora çabukça zarar verebilirdi. Bunun için devreyi, aşırı akım yükselmesi durumunda kesecek olan "aşırı yük rölesi" güç devresine eklenmiş oldu. Güç uzaktan kontrol edilen hat kesicileri tarafından kesilir. Bunlar normalde sürücünün kontrolü ile açılıp kapandığı gibi, aşırı akım rölesi tarafında devre kesilebilir. Daha ileri bir koruyucu cihaz, klasik DC motor kontrol devresince sağlanan "gerilim yok" (no-volt) rölesidir. Bu röle herhangi bir neden dolayısıyla gücün kaybolması anında devreyi keser ve kontrol sırasının başlangıç seviyesine (örneğin, güç devresindeki tüm rezistanların başlangıç konumuna) gelmesine kadar yeni bir güç uygulanmasını engeller. Bu, motor akım yok iken motor hızını kaybettiği sırada, motora çok fazla akımın uygulanmamasından emin olmak için gereklidir. [2]



Şekil 3.4 Lokomotiflerde kullanılan DC motorlara ait güç devresi kontrol şeması.

Bu diyagram basitçe, bir tren cer sistemine ait güç kontrolünü göstermektedir. Çoğu DC motor devresi, kontrollü 2 veya 4 motordan oluşur. Kontrol aralığı motor bağlantılarının değiştirilmesi ile artırılır. Bu sistem "seri-paralel kontrol" olarak bilinir.

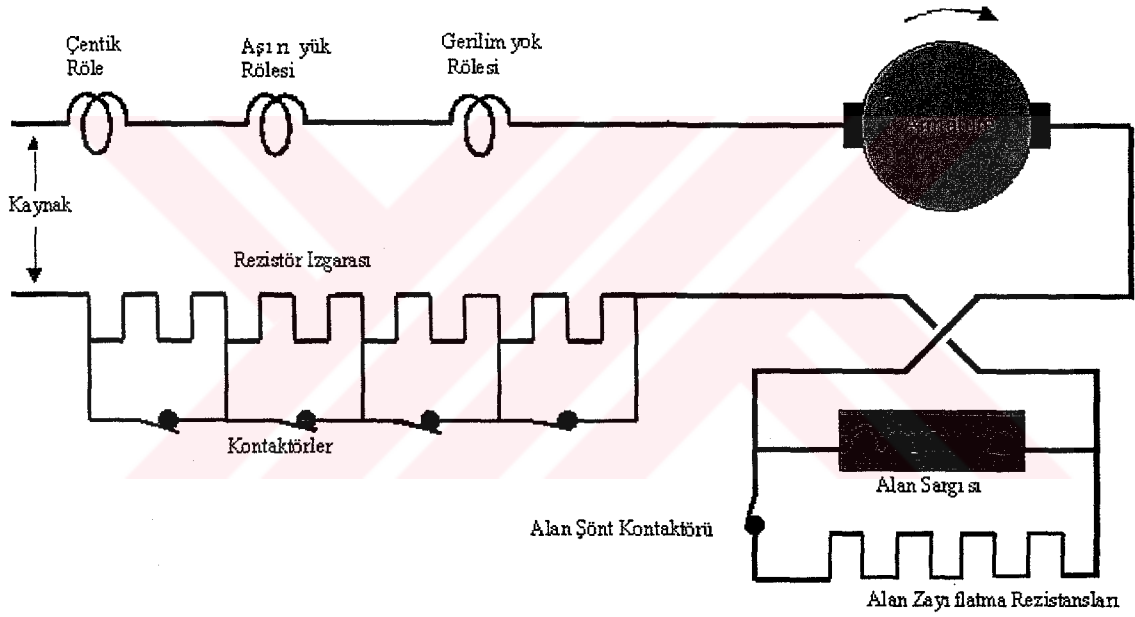


Şekil 3.5 Seri-İletim-Paralel DC motor kontrolü.

Seri paralel kontrol şekildeki gibidir. İletim, üç bölümden oluşur "seri", "iletim" ve "paralel". Bağlantılar otomatik olarak trenin hızlanması ile değişir. Başlangıçta motorlar birbirine ve rezistanlara seridir. Rezistanlar, hızla birlikte, adım adım devreden çıkar ve

tamamı devreden çıktığı durum "tam seri" durumu olur. Tren bu durumda yaklaşık 30 km/saat hızdadır. Eğer tren tam hızlı konuma getirilirse, iletim devresi vasıtasıyla seri devreler arasındaki iki bacak birbirine bağlanarak "paralel" bağlantı sağlanmış olur. Burada iki seri bağlantı devresinin açılması ve rezistansın her motor devresine tekrar eklenmesi, çok hızlı bir şekilde olur. Rezistanslar tekrar adım adım devreden çıkar ve tren bu çalışmada dizayn edilen maksimum hız seviyesine gelir. Bu çalışma halinde "tam paralel" çalışma denir.

DC Motor, tam paralel konfigirasyonlu rezistanssız bir devrede temel "balans hızında" çalışabilir. Bu , alan boyunca akan akımı zayıflatmak için motor devresine eklenecek bir ek devre ile gerçekleştirilir. Bu zayıflık, alan içerisine yerleştirilecek paralel rezistanslar ile gerçekleştirilir. Buda, armatüre zorlanma etkisi vererek hızı, oluşturulan magnetik alan içerisinde balans değerine çikartır. Bu trenin hızlı yol almasını sağlar.

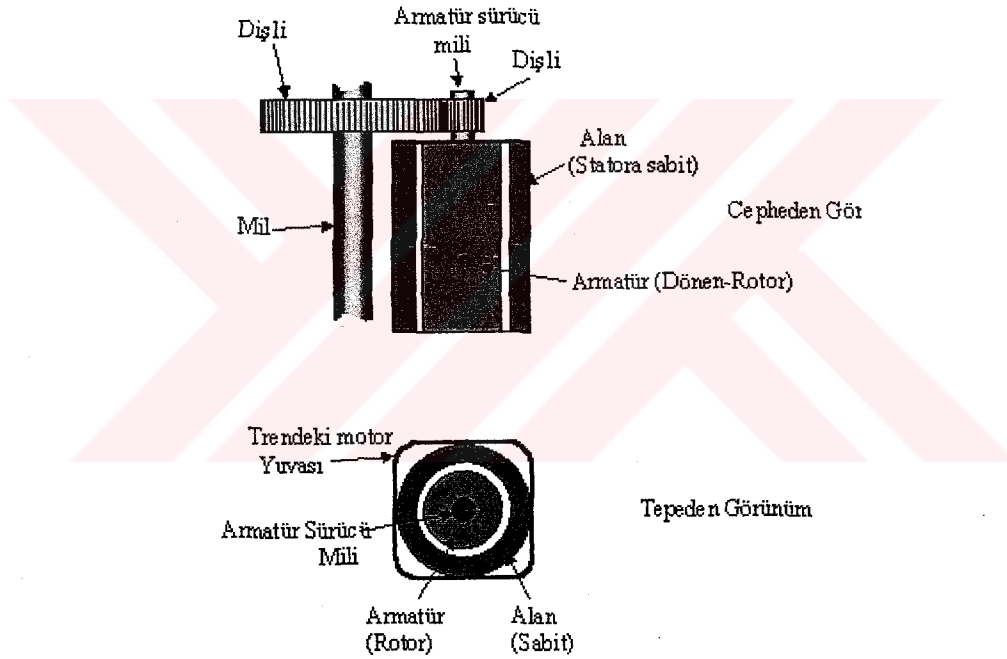


Şekil 3.6 Alan zayıflatma devresi ile DC çekiş sistemi diyagramı.

DC motor ve DC generatör, hemen hemen aynı mekaniksek makinelerdir. Bir trendeki motorların, eğer açığa çıkan enerjiyi yok etmek için uygun bir yol bulunursa, generatör gibi kullanılabilceği ve bunun bazı frenleme etkisi sağlayabileceğinin farkına varılmışdır. Bu düşünce, frenlemede ortaya çıkan güç eğer kaynağa geri verilebilirse, diğeri bir tren tarafından bu enerjinin kullanılabilceği şeklinde gelişmiştir. Frenleme esnasında ana hatta verilebilecek olan frenleme enerjisinin başka bir tren tarafından kullanılması için çalışmalar özellikle son yıllarda devam etmektedir. Fakat trenlerin mevcut dizayn ve sistemlerin yapıları ile modern elektroniğin gelişim süresi içerisinde henüz nihai bir uygulama sonucu elde edilememiş olup bu yolda bazı uygulamalarda mevcuttur.

Frenleme enerjisi ile hat tarafından çekilen akımı, hat sistemi her zaman kabul edecek durumda değildir. Bazı demiryollarında, belirli istasyonlarda, frenleme ile hatta verilen bu enerjiyi absorbe edecek büyük rezistanslar mevcuttur. Bu şekilde enerji tren tarafından kullanılmamakta ve ısı olarak boşa harcanmaktadır. Bu, kompleks ve her zaman güvenilmeyecek bir çözümdür. Aslında her tren kendi rezistansına sahiptir ve frenleme esnasında açığa çıkan bu enerjiyi bu rezistansları kullanarak boşaltmak en mantıklı yoldur. Burada çözüm reostatik frenlemedir. Sürücü, trene fren komutunu verdiğinde motorlardaki güç devresi bağlantıları değişerek, güç konfigürasyonundan fren konfigürasyonuna geçer ve rezistörler motor devresine girer. Motorun üretmeye başladığı enerji rezistörlerde harcanır ve tren hızı düşer. Rezistörler devreden hızlanma esnasında adım adım çıkar.[2]

1.2 Lokomotif Hareket Veren DC Motorlar



Şekil 3.7 Bir DC motorun dişli ve dişli takımı vasıtasıyla milinin dönmesi.

Bir DC (Doğru akım) elektrik motoru, bir tren yada lokomotifi süren basit bir makinadır. Bu motor durağan bir elektrik parçası olan stator ve dönen elektriki parçası olan rotor yada kullanılan diğer genel bir ifadeyle armatürden meydana gelir. Rotor döndüğü zaman, bu bir dişli tarafından sürülen çarkın dönmesini sağlar. Dişli çarkı dönmeye başladığında mili çeker

ve böylece tekerlekleri döndürmeye başlar. Bu şekil 3.7'de gösterilmektedir. Motorun hareketi, akım akışı tarafından oluşturulan karşılıklı magnetizma tarafından oluşturulur. Bu karşılıklı etkileşim rotorun dönmesine ve trenin hareketine neden olur.

DC motordaki stator ve rotor elektriksel olarak bağlıdır. Bu bağlantı, sabit karbon fırçalardan oluşur. Böylece statordaki dönme kuvveti armatür ve komütatöre aktarılır.

AC ve DC motorların her ikisinde aynı yapıya sahip olmasına rağmen değişik nedenler dolayısıyla bazı farklılıkları vardır. Günümüze kadar DC motorlar, demiryolu uygulamaları ve çoğu sistemler için tercih edilen motorlardı. Günümüzde, modern güç elektroniği AC motorları ve bunlar için kullanılan sistemleri bizlere sunmaktadır.

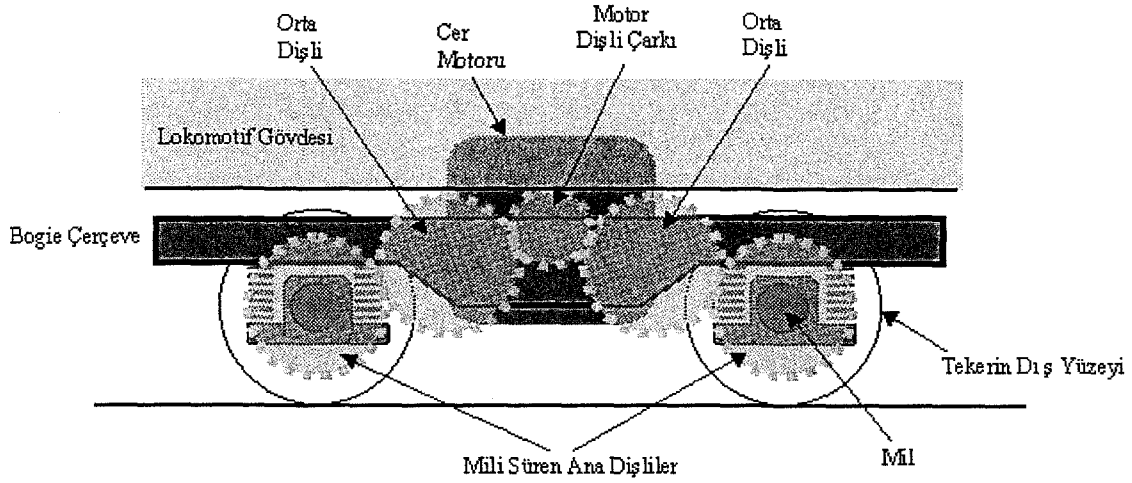
İnsanlar sıklıkla, lokomotif ve tren çekiş kuvvetleri olarak kullanılan AC ve DC motorlar arasındaki kullanım farkını sorarlar. Geçen yüzyılın başlarında, elektrikli trenlerin ilk yıllarında, her iki tip motorda elektrikli cer sistemleri için denendi. Fakat bu denemeler demiryolları işletimi için doğru moment karakteristikleri ve basit kontrolü nedeniyle DC motorların kullanılması lehine sonuçlanmıştır. 1980 lerin başlarına gelindiğinde ise, güç elektroniğindeki büyük gelişmelerle 3 fazlı AC motorlar, DC motorlara karşı ciddi ve etkili bir alternatif haline gelmiştir. Bunlar;

1. AC motorların kurulumu daha basittir. Çalışmaları için mekaniki bir bağlantıya ihtiyaç duymazlar (fırçalar gibi) ve DC motorlardan aynı gücü almak için daha az yüklenirler.
2. Modern elektronik, AC motorların etkili kontrol edilmesine ve çekiş kuvvetinin artırılmasına izin verir.
3. AC motorlar , mikroişlemci kontrolörler sayesinde iyi bir açıda ve akımın düşüp neredeyse durma noktasına geldiği sırada hızlıca çalışabilir. Halbuki DC motorlarda düşük hızlarda iken gücün hızla yenilenme şansı daha düşüktür.
4. AC motorlar daha güçlü ve bakımları DC motorlardan daha kolaydır.

Şeklinde ifade edilebilir. Bu tip motorlar genellikle sincap kafesli asenkron motorlardır. AC motorların genel olarak DC motorlardan farkı fırça ve komütatörlerinin olmamasıdır diyebiliriz. [2]

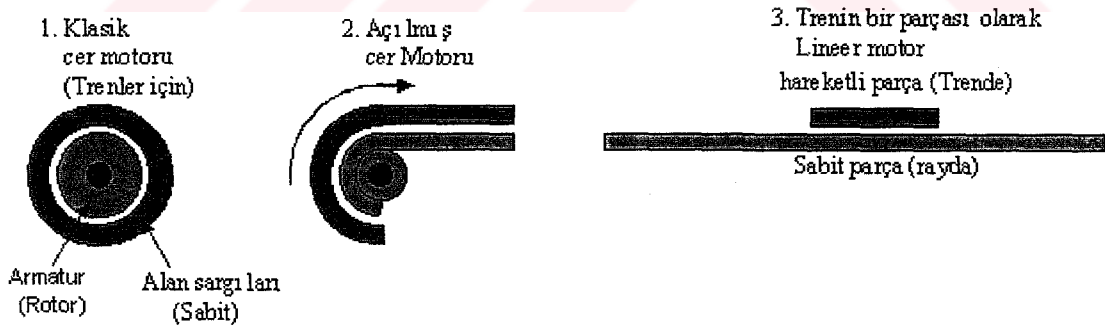
Aşağıdaki diyagram bir lokomotif aracının altına monte edilen DC motor sistemini göstermektedir.

takımları lastik tekerleklerin dairesel virajlardaki işletim gereksinimi için gerekmektedir. Monomotor bogie'nin başka bir versiyonunda yine Fransa'da lokomotif uygulamaları için dizayn edilmiştir. Fakat burada organizasyon daha rutindir. Her bogie şekil 3.10`da gözüktüğü gibi merkezin üstüne çarpaz olarak yerleştirilen bir tek motora sahiptir.



Şekil 3.10 Motorca sürülen Fransız stili monomotor bogie diyagramı.

Motor tamamiyle bogie çerçevesine asılı halde olup trendeki dişliler sayesinde her iki milde sürmektedir. Lokomotif tekerlerinin bu şekilde yönlendirilmesine B-B tipi hareket denir. Diğer taraftan lokomotifler için daha yaygın olan 4 motorlu yani her milin kendi motoruna sahip olduğu sistemlerde Bo-Bo olarak adlandırılır.



Şekil 3.11 Klasik bir cer motorun nasıl lineer bir motora dönüştüğünü gösteren şekil.

Lineer motor, son yıllarda ortaya çıkan yeni çekiş kuvveti formudur. Şekil 3.11`dek temel diyagram, lineer motor prensipini göstermektedir. Genel olarak DC motor sabit kısım stator ve dönen kısım rotordan oluşur. Her iki parça trenin monte edilmiş durumunda bulunur ve rotor mil ile bir dişli ile bağlanır. Böylece, armatürün dönmesiyle birlikte tekerlekler döner. Lineer motorun iki parçası birbirinden ayrı olup, biri trenin üzerine monte edilmişken diğer kısımda

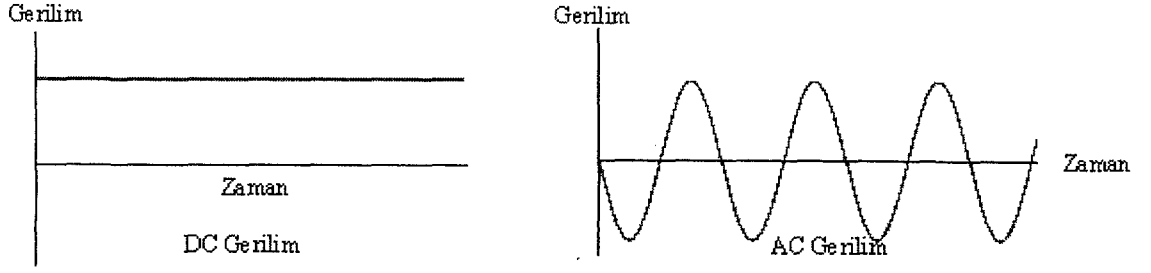
demiryolu üzerinde bulunmaktadır. Her iki parça açılmış ve bunlar değiştirilmiştir. Böylece, DC motorun sabit parçası trene monte edili lineer motorun hareketli parçası olmaya başlar. Sabit kısım akımı ile hareketli kısım akımı arasındaki elektro-magnetik etkileşim trenin hattan akım çekmesine neden olur. Bu iki parça arasındaki hava aralığı yaklaşık 10 mm dir. [2]



Şekil 3.12 Lineer motorun sabit ve hareketli parçaları arasındaki hava aralığı.

1.1 Trenler için Güç Elektroniği

Modern elektrikli trenleri anlayabilmemiz için AC ve DC devreler arasındaki farklılıkları bilmemiz gerekir. DC, iletken üzerinde bir yönde değişmeksizin hareket eden doğru akıma verilen isimdir. AC, iletken üzerinde yönü, hızı ve periyodik olarak değişen ve genellikle sinuzoidal dalga şeklindeki alternatif olarak adlandırılan akımdır. AC'deki bu değişim hızının saniyedeki değişim sayısı periyot olarak adlandırılır ve Hertz (Hz) birimindeki frekans adını alır.



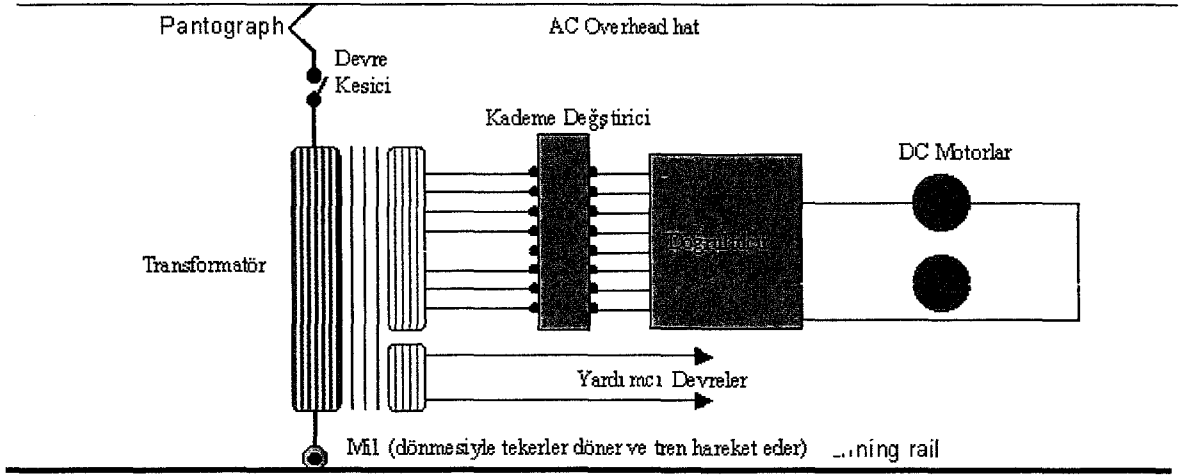
Şekil 3.13 DC ve AC Gerilime ait farklı gerilim sinyallerinin gösterimi.

İletim açısından bakarsak AC , DC den daha iyidir. Çünkü AC akımın iletilmesinde yüksek gerilimlerde küçük kesitli iletkenler yeterli olurken, DC gerilimde daha büyük ve ağır iletkenler ve çoğu zaman ekstra bir ray kullanma ihtiyacı vardır. DC gerilim ayrıca AC gerilimden daha fazla besleme istasyonuna ihtiyaç duyar. Bu demiryollarında ortalama 1/8 oranındadır.

Elektrik çekişli demiryolu uygulamalarında ve trenlerin başlangıcından beri varılan nihai karar; AC gerilim uzun ve ana hatlar arasındaki (örneğin şehirler arası trenler) hatlarda kullanılırken, DC gerilim kısa mesafede metro, tramvay yada şehir içi banliyö trenlerinde kullanılmaktadır. DC trenler, genelde 3000 V ile hareket ederken, AC trenler 15 000 - 50 000 V ile çalışmaktadır. Sonuç olarak DC motorlar trenler için uygun karakteristikleri nedeniyle elektrikli ulaşımda tercih edilen motorlardır. Ayrıca DC motorların kontrolleride daha kolaydır. Bu nedenle eğer tren AC kaynaklı olarak dizayn edilmiş olsa bile, trenlerde DC motorlu ekipmanlar kullanılmaktadır.

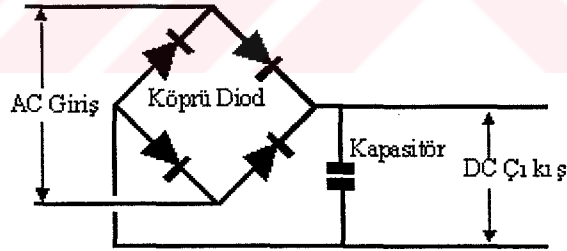
Şekil 3.14 'de, 1960 lardan sonra İngiltere'de kullanılan 25 kV AC elektrik lokomotifin şeması gösterilmektedir. 25 kV AC pantograph 'lar tarafından çekilerek dönüştürücülere iletilmektedir. Bu dönüştürücüler cer sistemi motorları için gerekli olan gerilim düşümünü gerçekleştirmektedir. Motorlara uygulanan enerji kuvveti, motora bir "kademe dönüştürücüsü (tap changer)" tarafından kontrol edilerek iletilmektedir. Aynı yöntem DC sistemlerde, resistans kontrolör tarafındanda resistans kontaktörlerinin sürücünün vereceği komutla bir makara mili tarafından kontrol edilmesiyle yapılır.

Motorlara geçiş olmadan AC gerilim bir doğrultucudan geçerek DC gerilime dönüştürülmelidir. Son 30 yılda, doğrultucu sistemlerde diyotlar ve bunların türevleri olan yarı iletkenler kullanılmakta olup her geçen gün gelişen teknoloji ile modern AC cer sistemlerinin temelini oluşturma yolunda ilerlenmektedir.[2]



Şekil 3.14 Transformatör çıkışında kademe değiştirici olan bir AC lokomotif.

AC – DC dönüşümü için kullanılan en temel yarı iletken diotdur. Diotlar esas olarak tek yönde akım geçiren ve buna karşılık ters yöndeki akım geçişini engellenen yarı iletkenlerdir. Dört diyotla oluşturulan bir diyot köprüsü ile AC gerilim DC gerilime dönüştürülebilir. Buna köprü bağlantı denir. İlk olarak 1960`larda ortaya çıkan diyotlar, yine ilk olarak 25 kV AC elektrikli lokomotiflerinde kullanıldıktan sonra hızlı bir şekilde demiryolu uygulamaları için popüler olmaya başladı. Çünkü diyot doğrultucular düşük bakım gereksinimi sunmaktadır.



Şekil 3.15 AC – DC dönüştürücü için köprü diod devresi.

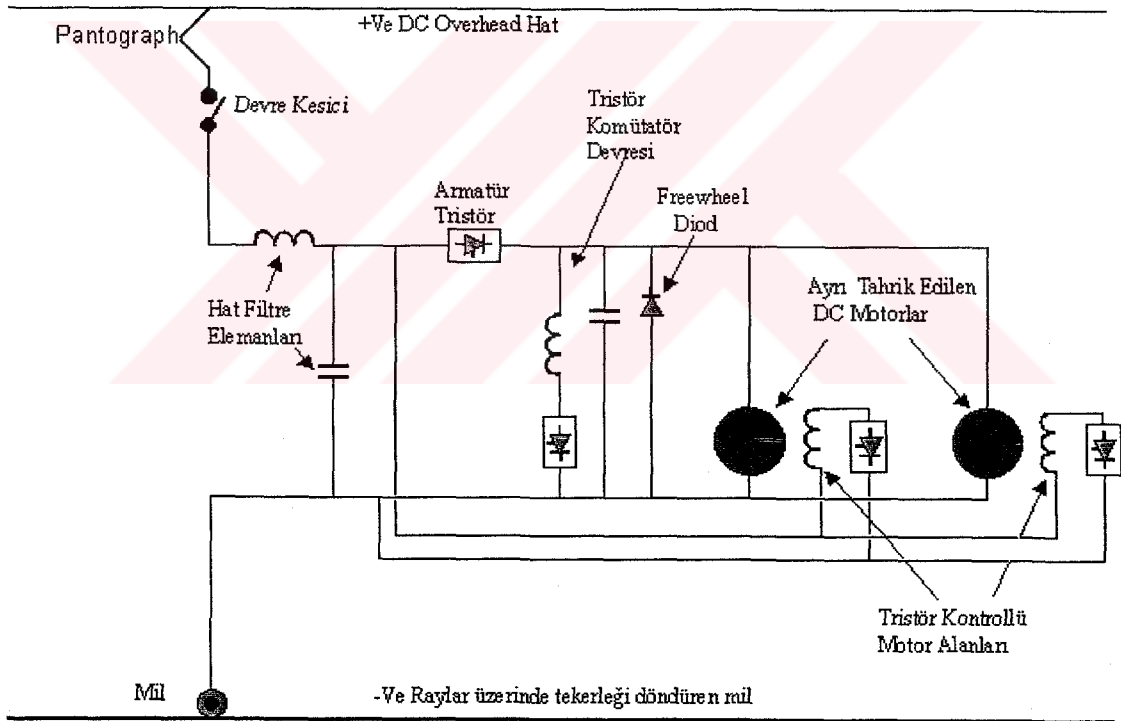
Tristör ise diodun gelişmiş bir halidir. Tristörde diyot gibi tek yönde akım iletir fakat diotdan farkı iletim yapabilmesi için belirli bir akımla tetiklenmesi gerekir. Tetiklendikten ve akım akışı başladıktan sonra tetikleme akımını sona erdirmenin tek yolu ters yönde bir akım vermekle gerçekleşir. AC lokomotiflerde bu sistemlerin uygulanabilirliği hızla artarken seviye (kademe) dönüştürücü sistemler hızla tarih oldu.

Son yıllardaki tristör kontrollü sistemlerde, eski tip DC sistemlerden farklılıklar geliştirildi. Burada, armatür ve alan sargıları birbirine seri bağlanmak yerine birbirinden ayrı olarak

bağlanarak her ikisinde kendisine ait farklı tristörler vasıtasıyla tahrik edildi. Böylece kontrolleri daha doğru olarak yapılmaya başlandı. Bu yöntem "sepex" (separate excitement) olarak adlandırılmaktadır.

Sepex yöntemi kullanılmaya başlandıktan sonra, hız alma sırası iki bölüm şeklinde gerçekleşmeye başladı. İlk bölümde, armatür tam gerilime ulaşınca kadar kendi tristörü vasıtasıyla beslenmektedir. Bu lokomotif maksimum hızının yaklaşık %25 ine ulaşması demektir. İkinci bölümde, alan tristörleri kullanılarak alan akımı zayıflatılır ve motorun zorlanmasıyla motor hızı artırılır. Bu teknik daha öncede zaten bazı elektronik uygulamalarda yapılmaktaydı.

Sepex'in bir büyük avantajı tekerlek kaymalarını anında farkedip hızlıca düzeltebilmesidir. Halbuki eski tip sistemlerde tekerleğin kaymasına, sürücü farkedene kadar yada kullanılan bir tekerlek kayma rölesinin, devreyi kesip yeniden başlatmasına kadar kaymaya izin verilirdi.



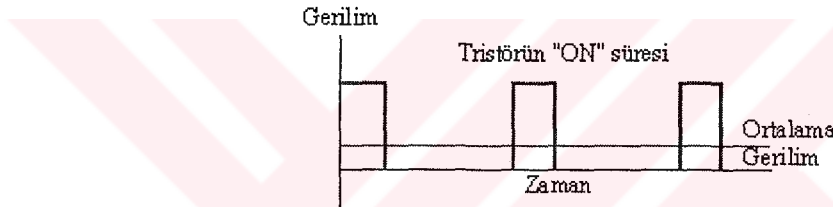
Şekil 3.16 DC kaynak ve DC motorlu bir sistem için tristör kontrol devresi.

Geleneksel rezistans kontrollü DC motorlarda, gereksiz yere overhead (üst seyir iletkeni) hattın veya 3. raydan aşırı akım çekilerek motorun tam gerilimde bile ancak 25 mph ile dönmesi sağlanırdı ve önemli bir güç rezistanslarda ısıya dönüşürdü. Tristörlerin AC sistemlerde ortaya çıkması ile bu yöntemin DC sistem için kullanılması için çalışmalara

başlandı. Fakat burada ana problem tristörü tetikledikten sonra sönmek için nasıl ters yönde bir gerilim uygulanacağıydı. Bu problem bir indüktör ve kapasitör kullanılması ile bir rezonans devresi eklenerek aşıldı. Böylece şekil 3.16 `danda anlaşılacağı gibi ters yönde zoraki bir sönmeme akımı oluşturuldu.

DC tristör devresinin diğer önemli iki özelliğide, "freewheel diod" ve "hat filtresi" özellikleridir. Freewheel diod, tristör akım geçirmezken motorun kendi elektro-magnetik indüktansını kullanarak motor boyunca akım sirkülasyonunu sağlamasıdır. Diodsuz devrelerde, motor için akım oluşumu daha yavaş olacaktır.

Tristör kontrolü, tüm kıyıcı işlemleri esnasında bir çok elektriksel parazit ve sıçramalara sebep olabilmektedir. Hat filtresi, bir kapasitör ve bir indüktöre sahiptir. Ve ismindende anlaşılacağı gibi güç kaynağından gelen, tren güç devresindeki parazitlenmeyi önlemek için kullanılır.



Şekil 3.17 Ortalama gerilim elde etmek için tristör kontrollü dc kıyıcı çıkış sinyali.

DC tren sistemlerinde, tristör segmentler halinde motora uygulanan akımı kontrol eder. Şekil 3.17 `de görüldüğü gibi tristör "ON" pozisyonu ile motor devresindeki ortalama gerilimi kontrol etmek için regüle edilir. Eğer "ON" zamanı arttırılırsa, ortalama gerilim ve motor hızı arttırılır. Bu sistem ilk olarak 1980 `lerde İngiltere `de uygulanmaya başlandı.

Tristör kontrollü trenlerde dinamik frenleme yöntemi rahatlıkla kullanılabilir. Motorların generatör gibi davranmaya başladığı ve oluşan akımın on-board dirençleri (reostatik frenleme) yada enerji hat sistemini (yeniden üretim frenleme sistemi) beslemesi durumunda tristör kontrollü dinamik frenleme sistemleri kullanılır. Devre, genellikle sürücü tarafından kontrol edilen bir "motor / fren anahtarı" sistemi ile yeniden konfigüre edilir. Bu konfigürasyon ile motor yavaşlamaya başladığında kullanılan tristör, akım akışını kontrol eder.

1980`lerin sonunda trenlerde GTO (gate turn off) tristörlerin kullanılmasına başlanmıştır. Böylece tristör devresi DC besleme devresinden ayrıldı. Tristörler şimdi ON ve OFF konumuna gelebilmekte ve bir DC motoru kontrol edebilmek için tek bir tristör kullanmak

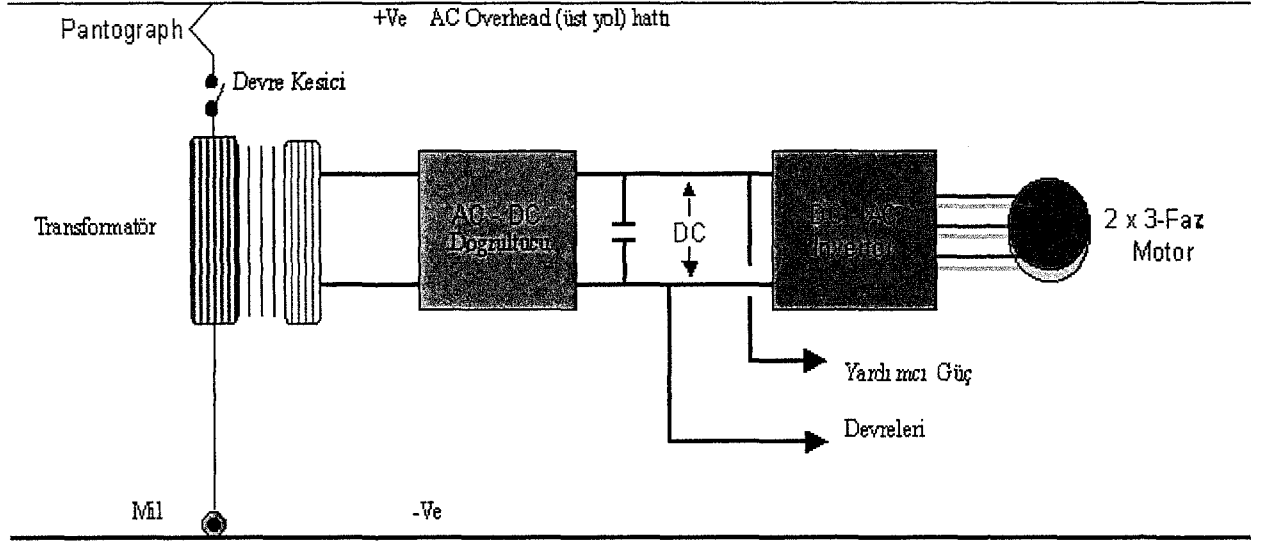
yeterli olmaktadır.

Bu noktada klasik DC motorlu sistemler nihai gelişim noktasına geldi ve elektrikli demiryolu ulaşımı endüstrisinde çoğu sistemde artık AC motorların kullanımına başlandı.

Senkron ve asenkron olmak üzere iki türlü AC motor vardır. Senkron motor gövde üzerinde kendi alan sargılarına sahiptir. Senkron motor elektrikli cer sistemleri için çokca kullanılan bir motordur. Bunun için bilinen en iyi örnek Fransa'daki TGV Atlantik trenidir. Burada enerji kaynağı olarak 25 kV AC kullanılmış olup bu gerilim bir doğrultucu ile DC gerilimine çevrilir ve daha sonra motorlar için tekrar bir invertörle AC gerilime çevrilir. Bu sistem GTO tristörlerin kullanılmasından önce uygulanan bir sistemdi. Senkron motorlar için bu uygulamada bir avantaj, motorun ürettiği ters yöndeki gerilimin tristörler için gerekli olan sönmüleme gerilimi olarak kullanılabilmesidir. Bu tristörlerin sönmülenmesi için iyi bir çözümdü, fakat GTO tristörlerin ortaya çıkması ile ikinci tip AC motorların, asenkron motorların, kullanılmasında böylece başlandı.

İndüksiyon motor olarakda adlandırılır asenkron motor DC motorlar gibi bir rotor ve statora sahip olan AC bir motordur. Fakat AC motor armatürden akan bir akıma ihtiyaç duymaz. Alan sargılarında dolaşan akım rotoru dönmeye zorlar. Bununla beraber asenkron motorlar üç faza ve üç iletkene ihtiyaç duyabilmektedir. 3-Fazlı dizaynın 2 büyük avantajı vardır. Bunlardan birincisi, motorda fırçaların bulunmamasıdır. Çünkü armatürle alan arasında bir elektriksel bağlantı bulunmamaktadır. İkincisi, armatür diğer sarmal motorların aksine çelik levhalardan yapılabilmektedir. Bu özellik bir komütatör motordan daha ucuz ve daha sağlam bir motor kullanımını sağlar.

Modern elektronik bize AC sürücüleri sunmaktadır. Bunlar yalnızca modern elektronikte birlikte kullanılabilir olmaktadır. Çünkü 3-fazlı AC motorun hızı, kaynaktan gelen frekansla stabil olmasına rağmen aynı zamanda güç değişiklik göstermek zorundadır. Daha önceleri frekansın kontrolü çok zordu ve bu nedenle modern elektroniğin gelişimine kadar, AC motorlar hemen hemen yalnızca sabit hızlı uygulamalarda kullanılabilmekte ve demiryolu uygulamaları için uygun görülmemekteydi. Modern bir demiryolunda 3-fazlı çekiş motorları, kontrollü 3- fazlı AC akımlarla beslenerek makinenin dönmesi için gerekli çark sistemini çalıştırmaktadır. 3-Faz, bize üç farklı gerilim ve frekans veren bir invertör sayesinde kolayca elde edilebilir. Frekans ve gerilimdeki değişim elektronik olarak kontrol edilir.



Şekil 3.18 Tek faz AC kaynaklı bir sistemde 3 – faz AC motorların kullanılması.

AC motor, AC yada DC bir cer sistemli kaynak için kullanılabilir. AC kaynaklı bir sistemde, seyir hattından gelen gerilim, (örneğin 25 kV tek faz) transformatörün primerine uygulanır ve transformatörün sekonderine bağlı olan doğrultucu ile DC gerilim (1500 - 2000 V DC gerilim gibi) istenilen seviyede elde edilmiş olur. Bundan sonra gerilim invertör aracılığıyla, çekiş motorlarının kullanacağı 3 - fazlı kontrollü AC gerilime tekrar dönüştürülür. Bu sistem ile ilgili akış devresi şekilde verilmiştir. Burada, doğrultucu ve invertör arasındaki kısım DC link olarak adlandırılır ve genellikle tren yardımcı devreleri için kullanılan DC gerilimin kaynağı olarak kullanılır.

Daha etkili bir çıkış değeri için tüm eski tip tristörlerin yerine, doğrultucu sistemlerle birlikte GTO tristörler kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca DC motor kontrolünün mümkün olması, dinamik frenleme yapılabilmesi daha etkili sonuçlara daha az hareketli parçayla ulaşma imkanı vermektedir. DC bir gerilimin, tren cer sistemi için uygulanabilirliği, transformatör ve doğrultucuya ihtiyaç duymadığından vade motor kontrolü için 3 - faz gerilim elde etmenin bir invertör ile basitçe sağlanabildiğinden de uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.

Bu sistemlerin kontrolü kompleks olmasına rağmen mikroişlemciler tarafından tamamiyle gerçekleştirilmektedir. Gerilim ve frekans kontrolü, motorun hızı ile uygun olmalıdır.

GTO tristörleri kullanan AC sürücüler, taki güç elektroniği mühendislerinin yeni birini bulana kadar elektrik çekişli tren sistemleri için tüm dünyaca kabul edilmişti. Bulunan bu yeni yarı iletkenin adı IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) dir. Transistörler modern elektroniğin atası olarak kabul edilir. IGBT lerde tristörler gibi "on", "off" edilmelerine rağmen bir tristör

gibi "off" konumuna geçmesi için yüksek akıma ihtiyaç duymaz. AC cer sistemlerindedede artık yüksek akımlı IGBT tristörler kullanılmaya başlanmıştır. Bunların esas faydası, GTO `lardan üç veya dört kat daha hızlı anahtarlama yapabilmeleridir. Bu istenilen akımı düşürür ve bu yüzden ısı üretilir. Daha hızlı anahtarlama, ayrıca kompleks dişli GTO `ların kompleks dişli sistemlerinede azaltır ve trenin daha yumuşak ve gürültüsüz kalkmasınada neden olur. [2]

3.4 Tren On-Board Servisler

Modern yolcu trenleri bir çok on-board servis sağlarlar. Bunlar hem kontrol sistemleri hemde yolcular için gerekli olan servislerdir. Ve hemen hemen hepsi elektrik enerjisiyle gerçekleştirilir. Bunun yanısıra birkaç hava ve pnömomatik düzeneği bu sistemler ile tanımlanır. Fakat trenler, özünde bağımsız birer ünitelerdir ve tüm bu servisler tren içerisinden kontrol ve kumanda edilir. Bunların kullanımı ve özellikleri aşağıda özetlenmiştir. [2]

Compressed air (Yüksek basınçlı hava) - Bu tamamıyla frenleme sistemi için kullanılan bir özelliktir. Fakat bazen otomatik kapılar içinde kullanılır. Ayrıca çekme kuvvetini veren anahtar ve kontaktörlerin enerjilenmesinde de kullanılır. Genellikle overhead iletken hattından elektrik alan pantographların kaldırılmasında kullanılır. Valflerin arası sıkıştırma sonrası nemlenmeye karşı muhakkak kurutulmalıdır. Kompresör normalde ana güç kaynağından direkt olarak sürülür. (Üst seyr iletkeni (overhead line) yada üçüncü ray, ana generatör yada dizel generatör vasıtasıyla elektrikleğinde).

Batarya - Normal olarak tren ve lokomotiflerde kullanılan temel öğedir. Alçak gerilim, standby akım kaynağı ve trenin ilk kalkışındaki başlangıç amaçları için kullanılır. Batarya normalde tren üzerindeki bir sistemle şarj edilir.

Generatör - Generatör tren için gerekli olan alçak gerilim için, tren içerisinde mevcuttur. Generator, dizel motor yada çekiş gücünü veren akım kaynağı tarafından enerjilenen ve elektrik lokomotifler tarafından sürülen bir DC motordur. Bir vagona, generator genellikle bir mil (dinamo) olmaksızın direkt olarak sürülür. Tren durağan olduğu durumlarda aydınlatma ve sinyalizasyon enjileri bataryalar tarafından sağlanır.

Alternatör - Yardımcı kaynaklar için AC gerilimi sağlayan generatörün yedeğidir. AC, DC den daha iyidir. Çünkü tren içerisinde enerji iletim daha küçük kablolar ve enerji kayıplarına imkan verceğinden kullanılması daha kolaydır. AC akımın dönüştürülüp, diğer DC devrelerin şarj edilmesinde kullanılması için bir çevrirciye ihtiyaç vardır..

Konvertör - Alternatörün yedeğidir. Bu yardımcı akım kaynağının bir transistörlü

versiyonudur. Ve AC yi DC ye dönüştürmede yada DC yi AC ye dönüştürmede bir invertör olarak ayarlanabilir. Her ikiside bölgesel ihtiyaçlar ve dizayndaki ilgili gereksinimler için kullanılır. Konvertör ismi bu her iki akım dönüştürümü için genel olarak kullanılabilir.

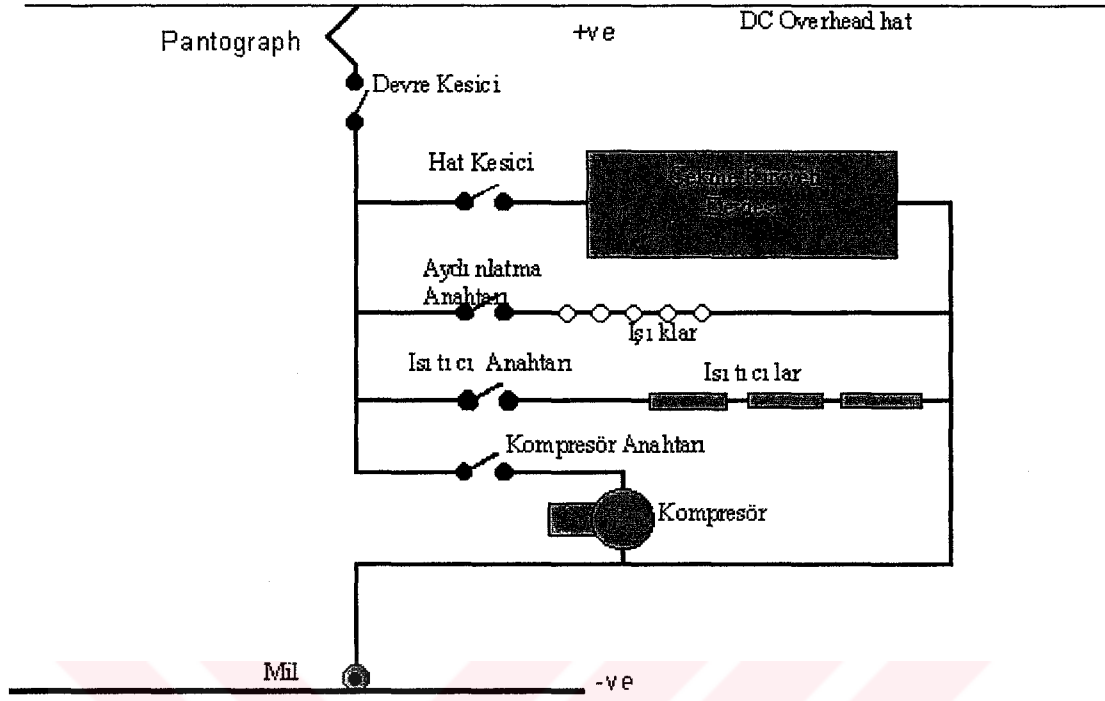
Yüksek Gerilim ve Alçak Gerilim sistemleri - Bir lokomotif yada çok yönlü bir ünite iki elektriki sistem ile sağlanır, yüksek gerilim (HV) ve alçak gerilim (LV). Yüksek gerilim sistemi, çekme kuvveti ve alçak gerilim için gerekli gücü sağlar. Alçak gerilim sistemi ise trendeki aydınlatma, air-condition, akü şarjı ve kontrol devreleri gibi tüm yardımcı sistemlerin enerjisini kaynaklar. İkisi birbirinden ayrılmıştır. Çünkü yüksek gerilim, yalnızca çekme kuvveti için kullanılır. Trendeki çoğu diğer sistem için gerekli değildir. Bu yüzden yüksek gerilimi kullanmak faydasız ve pahalıdır .

Yüksek gerilimi alçak gerilime çevirme - Bir lokomotif tarafından üst seyr iletkeninden (overhead line) veya üçüncü raydan çekilen akım 25,000 volt AC ila 600 volt DC arasında olabilir. Elektrikli ulaşım sistemlerinde normalde DC gerilim enerji hattından alınır. Çoğu sistem yükünün, bir tren üzerindeki on-board sitem tarafından beslenmesi etkili bir kullanımdır. Bu nedenle genel yaklaşım, hat gerilimini uygun bir seviyeye düşürmektir. Genellikle bu seviye 450 V `un altında olup bazı sistemlerde 37.5 V `a kadar düşmektedir. İstenilen düşük gerilimi sağlamak için çoğu sistemde bir dinamo, bir generatör, bir alternatör yada bir akım dönüştürücü kullanılır. Genellikle, farklı gerilimler farklı uygulamalar için kullanılır, sistem dizaynıda buna uygun olarak tasarlanır.

Aydınlatma ve ısıtma sistemlerinin demiryollarındaki gelişimi - İlk elektrikli aydınlatma, Buhar çekişli bir trende, tren altına yerleştirilmiş büyük kapasiteli bir batarya ile sağlanıyordu. Batarya, tren millerinden birinin dinamoyu çalıştırması ile yeniden şarj oluyordu. Tabiki bu bataryanın yalnız tren hareket ederken şarj olabileceği anlamına geliyor ve özellikle terminallerde ve uzun süreli hareketsiz beklemelerde problemlere yol açabiliyordu. Gerilim, sistemden sisteme değişebilmekte, fakat genellikle 12 - 48 V arasında olmaktadır. Trenler bu sistemlerde motordan gelen bir buhar borusu ile ısıtılırdı. Eğer lokomotif elektrikli yada disel ise, tren ısıtıcı kazanı lokomotifde kurulu olmalıydı. Bazı Avrupa demiryollarında trenler hem buhar hemde elektrikli ısıtıcılara sahipti. Son yıllarda, tüm ısıtıcılar elektrikli hale getirildi.

Elektrik trenler normalde, ısınma ve aydınlanma ihtiyaçlarını doğrudan enerji hattından elde ederler. Bu sistemlerde lamba gerilimi, seri bağlı lamba grupları vasıtasıyla düşük seviyede kalır ve her araç kendi mürettebat tarafından açılıp kapatılan kendi anahtarlarına sahipti. Tünellerin olduğu bazı demiryollarında, gündüz mürettebatı tünel giriş ve çıkışlarında

aydınlatma anahtarlarını girişde açıp çıkışta kapatması için eğitilirdi.

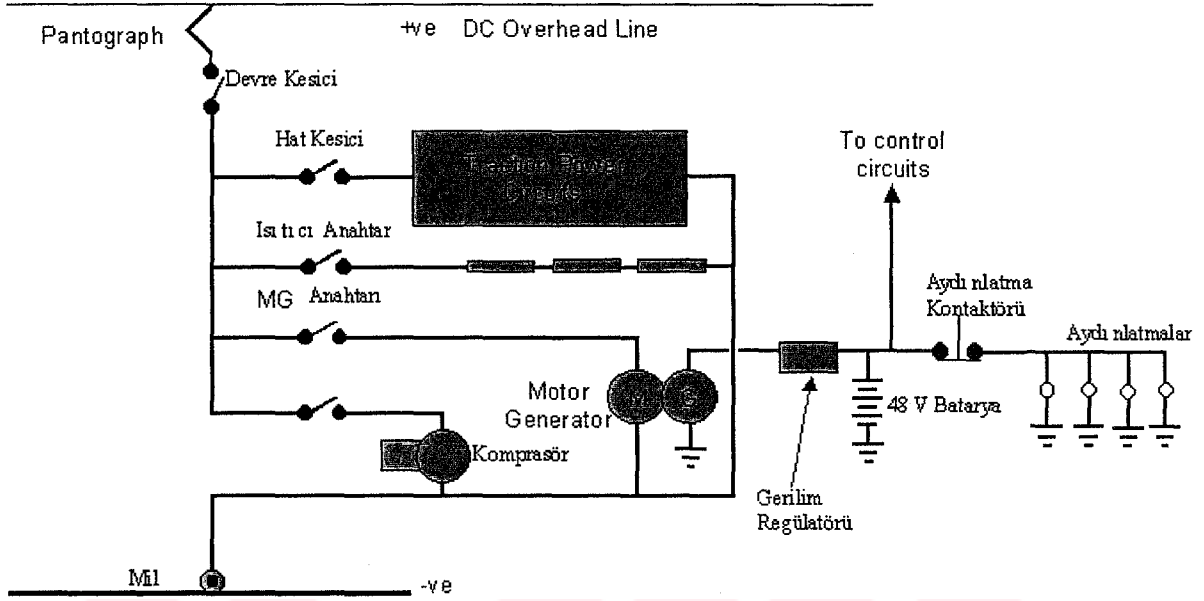


Şekil 3.19 DC kaynaklı yardımcı sistemlerinin ilk kullanım yıllarına ait diyagram.

Şekil 3.19, tamamem DC seyr iletkenli hattan beslenen, ilk kurulan temel bir elektrikli tren sistemini göstermektedir. Hat gerilimi ile doğrudan aydınlatma, ısıtma yapılmakta ve kompresör güç sistemleri doğrudan beslenmektedir. Gerilim de azaltma yalnızca seri bağlanan lamba ve ısıtıcılar vasıtasıyla yapılmaktadır. Her devre kendi anahtarlama sistemine sahipti. Bu diyagram 1914`den önceki tipik bir tren yönetim şeklini ifade etmektedir. Bu yıldan sonra, trenler tüm araçların tüm tren boyunca devam eden ayrı kontrol kablolarının kullanılması ile bir noktadan kontrol edildiği, yardımcı servislerin çoklu ünite kontrol birimleri ile donatıldığı sistemlere dönüştürüldü. Bununla birlikte bataryaların özellikle yeraltlarında ve tünellerde acil durum aydınlatmaları için kullanılmasına devam edildi. Böylece, her araçdaki küçük bir grup lamba bataryalara bağlanarak, ana akım kaynağındaki enerjinin kesilmesi durumunda, bazı aydınlatmalar sağlanacaktı. Ayrıca, bataryalar bir rezistans aracılığıyla ana kaynaktan yeniden şarj edilirdi.

Motor Generatör - 1930`ların ortasında, elektrik multiple üniteler (çift yönlü) , on-board sistemlerle ortaya çıkmaya başladı. Bu sistemlerde aydınlatma, DC generatörler tarafından sağlanmakta ve bu daha düşük gerilime ve cer sistemi için çekilen akımın düşmesine sebep olmaktaydı. Bu tip generatörlerin çıkış gerilimi 37 ila 70 volt arasında cihazlara bağlı olarak

değişmektedir. Generatörler, cer kuvveti ile enerjilenen küçük bir elektrik motoru tarafından sürülürdü bu nedenle bu sistem "motor generatörler" olarak adlandırılır.



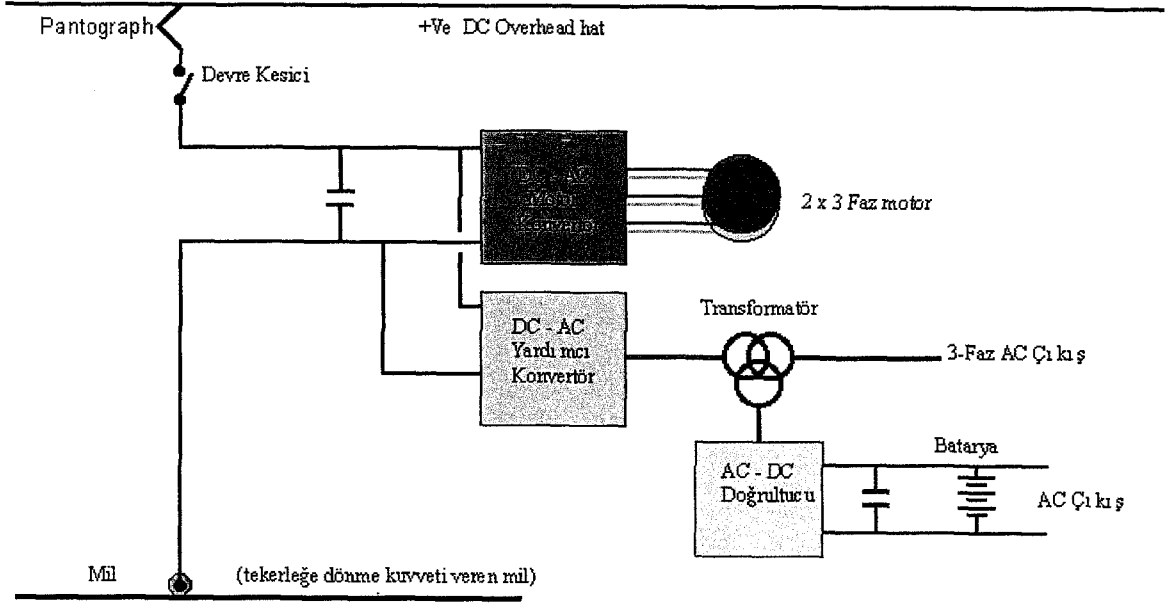
Şekil 3.20 Elektrik lokomotiflerinde motor generatör sistemi.

Şekil 3.20'deki motor generatör diyagramında, tren aydınlatması ve bataryalar generatörden beslenirken generatörün, hat gerilimi ile beslenen bir motor tarafından sürüldüğü gösterilmektedir. Bir voltaj regülatörü ile ani gerilim değişimleri ile doğabilecek zararlı risk faktörünün azaltılması sağlanır.

1940'ların sonunda, floresanlı aydınlatma daha popüler ve daha tanınır bir hale gelmeye başlamıştır. Bu lambalar, akkor flamanlı lambalardan daha fazla ışık vermekte ve daha az enerji harcamaktadır. Bu nedenle trenlerde, aydınlatma için DC gerilim yerine AC gerilim kullanımı benimsenir hale gelmeye başlamıştır. Generatörün DC çıkışı kontrol devreleri için kullanılırken, alternatörün AC çıkışı aydınlatma için kullanılır. Acil aydınlatma için ise bataryalar kullanılır. [2]

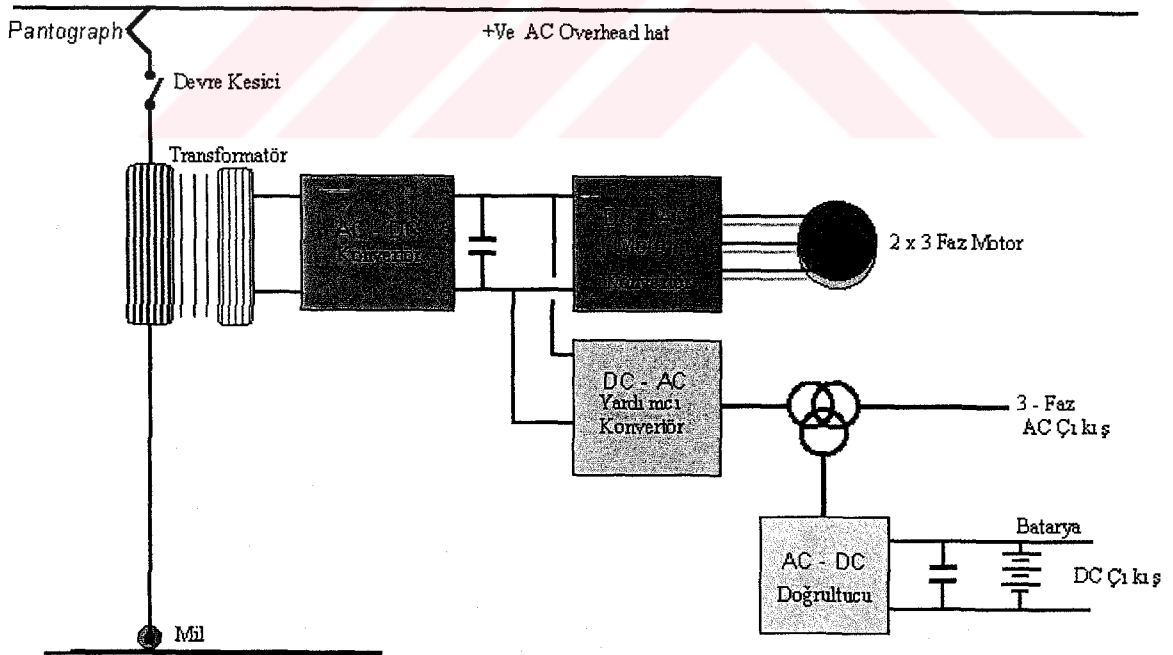
1.1 Elektronik Yardımcı Sistemler

Modern elektrikli trenlerdeki yardımcı sistemler, şekil 3.21'de gözüktüğü gibi daha fazla elektronik ve kontrol devresi kullanmaktadır.



Şekil 3.21 DC EMU bir sistemde güç elektroniği ve yardımcı sistemlere ait blok diyagramı.

Yardımcı konvertörler sayesinde DC den elde edilen 3-faz 380 V AC gerilim; aydınlatma, AC motorlar, havalandırma fanları ve kompresörler için kullanılır. AC kaynaklı bir trende ise 3-fazlı AC gerilim DC gerilime çevrilerek kontrol devreleri ve batarya şarjları için kullanılır.

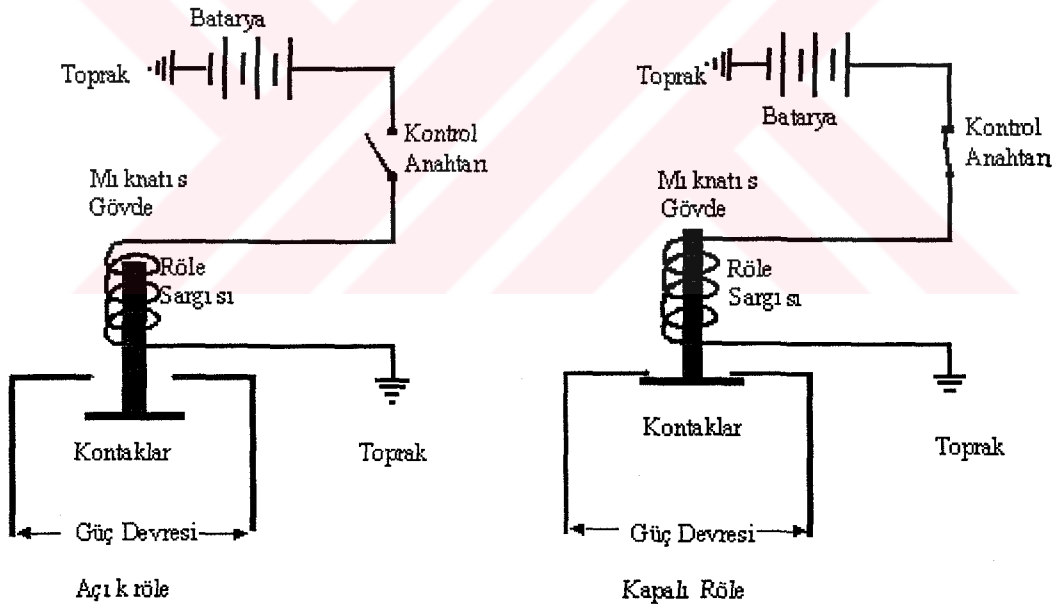


Şekil 3.22 AC EMU bir sistemde güç elektroniği ve yardımcı sistemlere ait blok diyagramı.

Elektrikli lokomotifler sürücüler tarafından kontrol edilen motorlar esasına göre dizayn edilirler. Çekiş kuvveti sürücü kabini içerisine monte edilen büyük bir kontröler tarafından yönetilir, ve sürücü gerekli olan gücün azaltılması ve artırılması işlemlerini kontrol eder. Bu yönetim sürücünün motorlara yakın olmasını gerektirir.

Trenlerde, uzaktan kontrol sistemlerinin gelişmesi ile trenlerin her iki yönde dizayn edilecek kabinlerden kumanda edilebileceği sonucuna varılmıştır. Böylece trenlerin dönmelerine gerek kalmayacak ve geri vites gibi seçenek üzerinde de durulmayacaktı. Bu sistemin uygulanmaya başlaması özellikle şehir içi tramvay ve benzeri sistemlerin hızla gelişmesine neden oldu. Bu sistemin kullanılması ile motorlarında tren üzerinde herhangi bir yere konulmasında çok büyük bir sakınca olmadığı sonucuna varılmış oldu. Bu gelişme ile lokomotifde büyük bir ana motor kullanımı yerine daha fazla fakat dah küçük bir çok motorun tren boyunca yerleştirildiği sistemler kullanılması tercih edilmeye başlandı.

Bu sistemler için şekil 3. 23 `de çalışma prensibi gösterilen röleler en ideal anahtarlama yöntemi olarak ortaya çıktı..

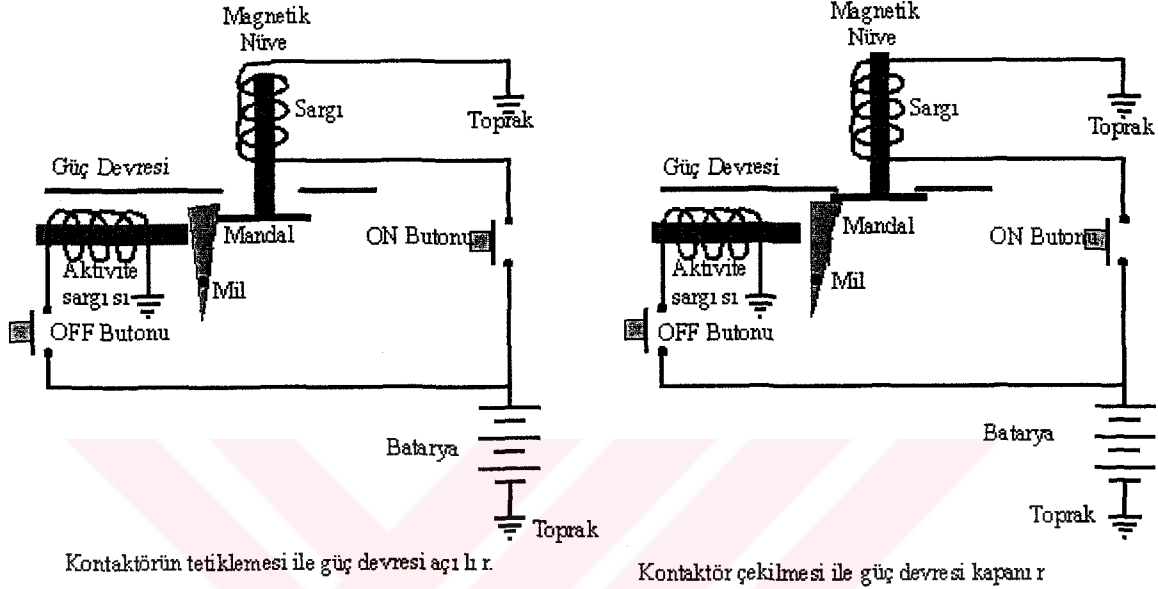


Şekil 3.23 Elektro magnetik rölenin çalışması.

Röle gerçekte bir uzaktan kontrollü anahtarlama sistemidir. Şekil 3.23 `de, rölenin kontaklarının açılıp kapanması ile çalışan bir güç devresi gösterilmekte olup rölenin şu anki pozisyonu enerjisiz haldeki kontaklarının açık halidir. Röle magnetik bir nüvenin enerjilendiğinde kontaklarını çekip kapatması prensibiyle çalışır. Röle için gerekli olan akım genellikle beslediği güç devresi için gerekli olan akımdan düşüktür. Bu nedenle röle bir

batarya ile beslenebilir.

Yukarıdaki tanımlamada anlaşılacağı gibi rölenin kapalı olabilmesi için bir akım uygulanması gerekmektedir. Akımın daima aktif olarak kalmasını önlemek için farklı bir uzaktan kontrol anahtar sistemi uygulanır ve bu sistem uygulayan cihazlara kontaktör olarak adlandırılır.

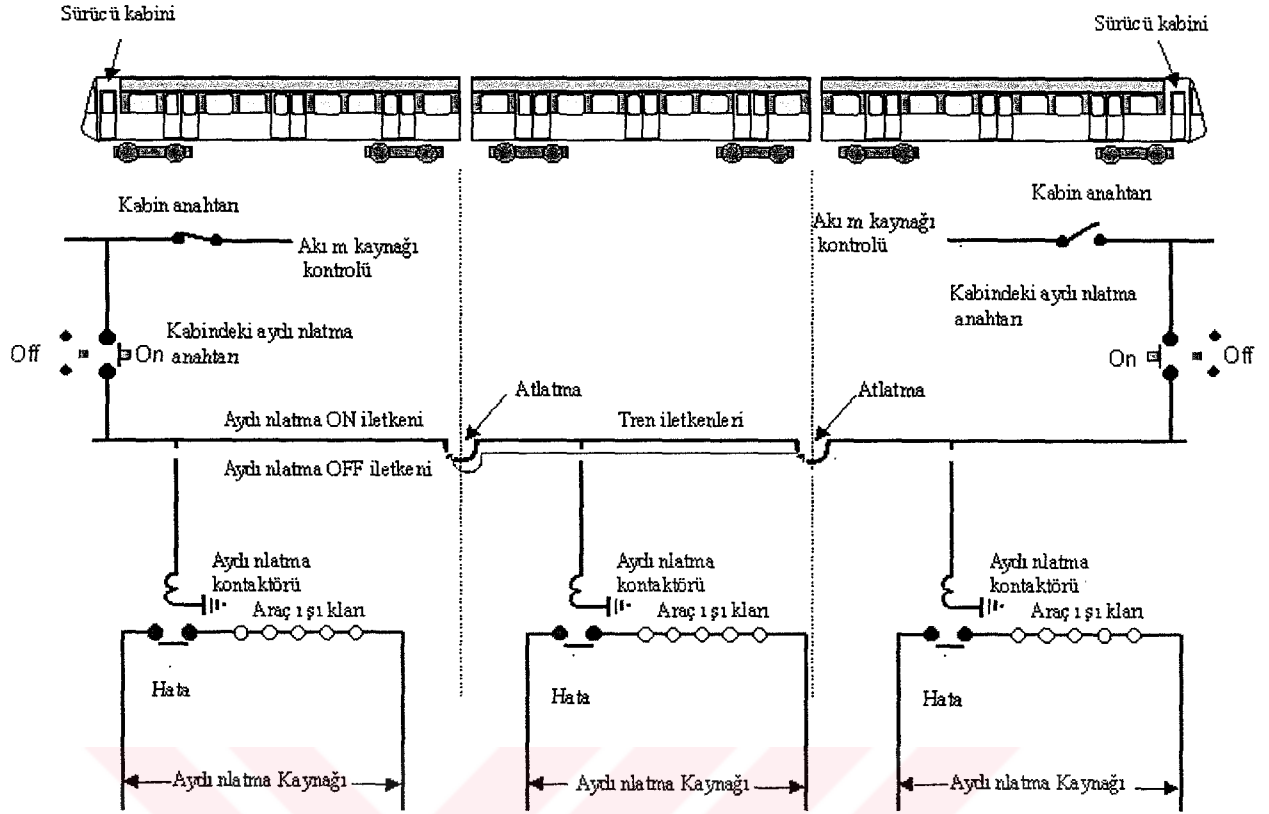


Şekil 3.24 Kontaktör çalışmasına ait şekil.

Kontaktör, "ani anahtar" olarak adlandırılan normalde açık bir röledir. Yalnızca bir anlık bir akımla aktif duruma getirilir. Devrenin iletken ve aktif hale gelmesi için kontakların çekilmiş olması gerekir. Kontaklar açıldığı zaman devrede açık devre halini alacaktır. Şekil 3.20`de görüldüğü gibi kontaktör, iki sargının aktif olması ile işlem görür. yani "on" butonu ile kontaklar kapanır, "off" butonu ile de devre açık devre haline gelir. Hem "on" hem "off" butonlarına anlık olarak basılır yani sadece sargıların aktivasyon işlemi için kullanılırlar. Kontaktörler, trenler için çok yaygın olarak kullanılan elamanlar olup bir çoklu ünite kontrolünün nasıl pratikte gerçekleştiğini anlamamızda yardımcı olurlar. [2]

1.2 Çift Yönlü Ünite Kontrolü (EMU)

Şekil 3.25`deki diagram çoklu ünite kontrol (Multiple Unit Control) temelini gösteren, 3 vagonlu bir çiftli kontrol ünitesine ait gösterimdir.

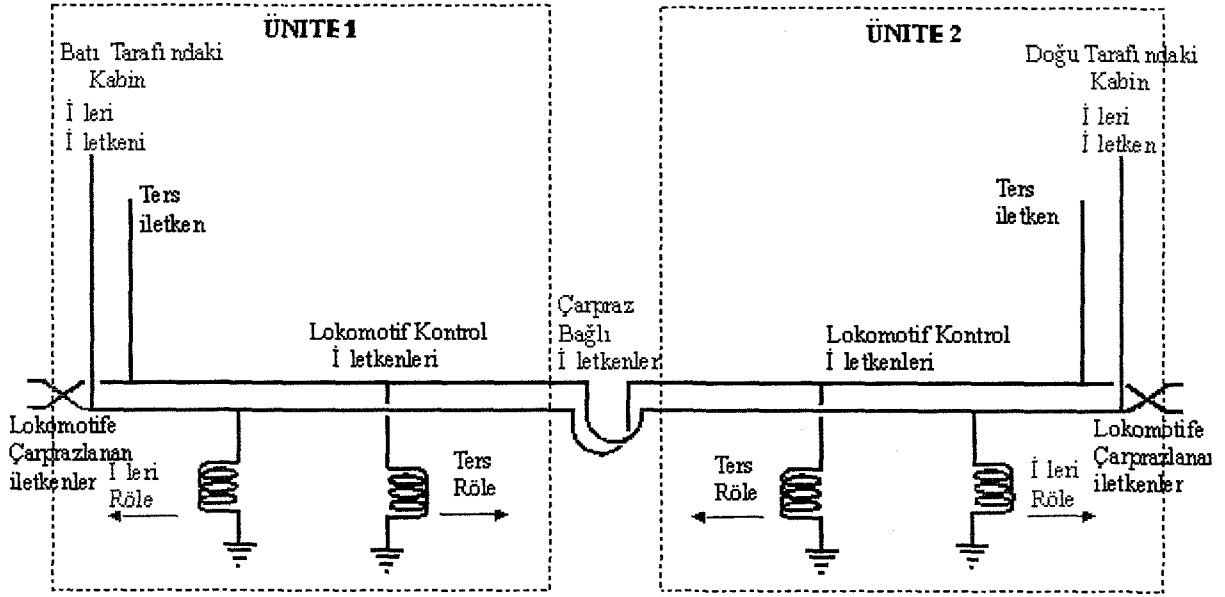


Şekil 3.25 Üç araçlı çok üniteli bit tren için aydınlatma kontrol şeması.

Şekil 3.25`de; Aydınlatma, on-off pozisyonları için her araçta aydınlatma kontaktörleri tarafından yapılmaktadır. Trendeki tüm aydınlatma kontaktörleri tren iletkenlerine bağlıdır. Şekil 3.25`de aydınlatmaların "on" durumu siyah, "off" durumu mavi iletken sembolü ile gösterilmiştir. Her trenin, her iki ucundaki tren kabininde bulunan "on" ve "off" butonları ile aydınlatma sistemleri bu kabinlerden kontrol edilebilir. Kontrol butonlarının yetkisiz kullanımını önlemek için kabin içerisindeki en önemli devreler bir kontrol anahtarı ile izole edilir. Böylece, bu sistemlerin ancak işletme anahtarlarına sahip eğitimli yetkili kişiler tarafınca kullanılması sağlanır. Bunun anlamı iki kabinli örnek trende aydınlatmalar yalnızca sürücünün bulunabileceği trenin bir yönündeki kabinden açılıp kapatılabilir. Aynı mantıkla diğer sistemlerde, (sürücü kontrolü, frenleme kontrolü, ısıtıcılar, kapılar, air-condition ve durak bilgileri gibi) kullanılacak olan röle ve kontaktörlerde yetkili kişi tarafından tek yönden kumanda edilir. Bu arada her araç için akım kaynağı farklı olabilir. Şekildeki örnekte aydınlatma için ayrı bir kaynaktan, bir batarya, bir invertör, bir alternatör yada direkt seyr iletkeninden alınan enerji kullanılabilir. [2]

Çift kontrol kabinli bir sistemde trenin ileri ve geri yönde hareket etmesi gerekir. Bir lokomotif grubunun, örneğin bir metro aracının aynı ray üzerinde her iki yönde, yani

birbirine zıt olan iki yönde elektrik motorlarının tahrik kuvvetiyle nasıl hareket ettiği şekil 3.26`da gösterilmektedir.



Şekil 3.26 MU sistemli lokomotif ve trenler için ileri ve geri kontrol iletken bağlantıları.

Her güç ünitesi, kabindeki "İleri ve geri" anahatarına bağlı olan ileri ve geri iletkenlerine sahiptir. 1. üniteye bakacak olursak, eğer sürücü "ileri" durumunu seçerse ileri iletkeni ve "ileri rölesi" enerjilenerek lokomotif ileri yönde hareket edecektir. İkinci lokomotifinde, (ünite 2) doğru yönde hareketinden emin olmak için birinci ve ikinci üniteadaki ileri geri iletkenleri şekilde de görüldüğü gibi çarpraz bağlanırlar. Eğer ikinci lokomotifin yönü birinciye zıt yönde ise ters yöndeki iletken enerjilenerek partneri ile aynı yönde yol alması sağlanacaktır. [2]

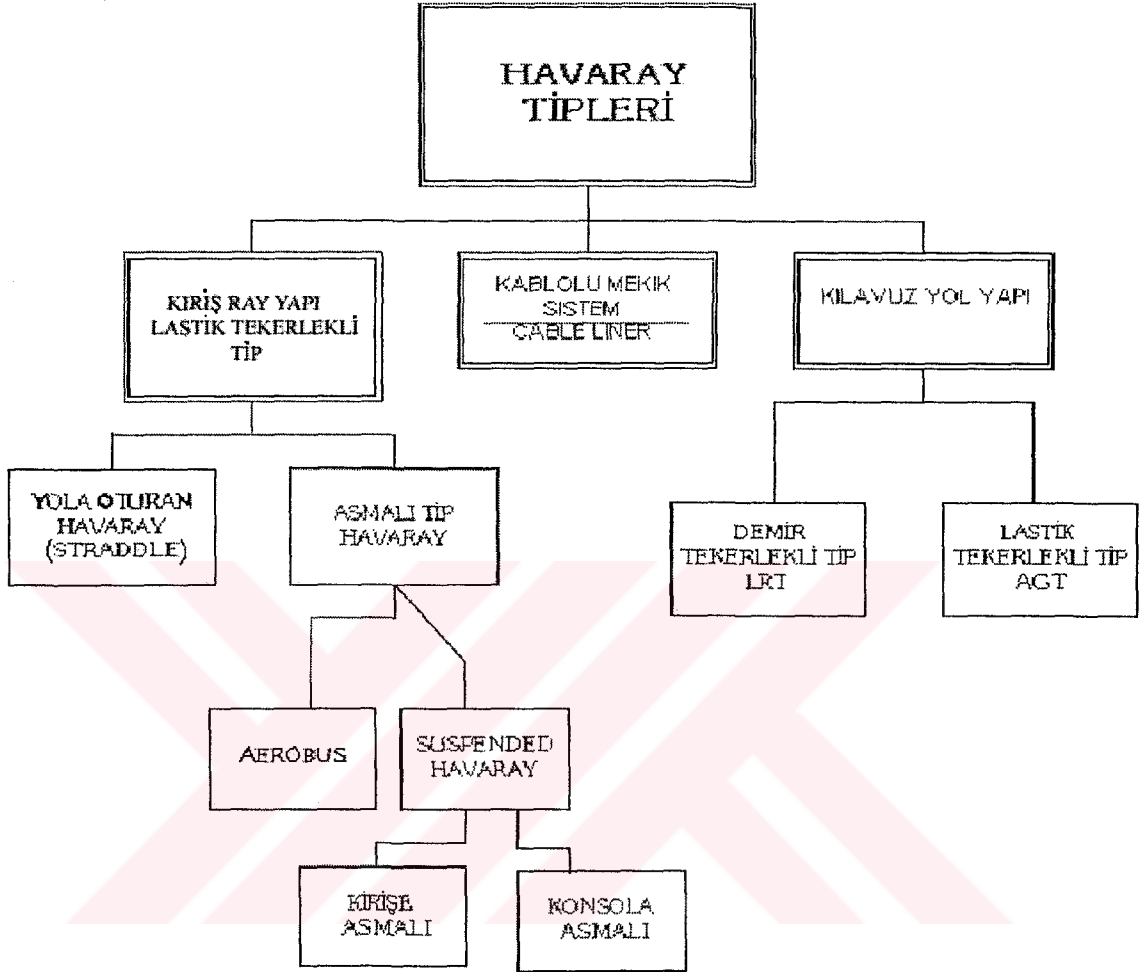
4. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Temel olarak elektrikli cer sistemi olarak adlandırılan elektrik ulaşım sistemlerinde, sistemin uygulanma tarzına bağlı olarak birçok farklı şekilde adlandırılan elektrik ulaşım sistemleri bulunmaktadır. Bunlar; metro, Tramvay, Monorail, Thirdrail, elektrikli otobüs, havaray gibi isimlerle anılmaktadır. Ayrıca bir elektrikli ulaşım sistemi kullanılan enerji cinsine (AC veya DC) göre, uygulanan besleme gerilimine göre (500, 600, 750, 1500 V DC, 25kV AC) sınıflandırılabilir. Tabiki tüm bunlara karar verilmesinde uygulanacak sistemin kendi şartları esas sebep olmaktadır. Bir sistem dizaynında; kullanılacak gerilim çeşidi, lokomotif özellikleri motor güçleri ve yol güzergahına göre sistem seçimi kullanılabilirlik, uygulanabilirlik ve ekonomiklik gibi daha önce belirtilen karakteristikler doğrultusunda gerçekleştirilir.

4.1 Monorail-Havaray Sistemleri

Elektrikli ulaşımında, lokomotif sistemin uygulanacağı arazi yüzeyi sistemin seçiminde en önemli etkenlerden biridir. Özellikle şehiriçi ulaşımında ve büyük metropollerde kurulan lokomotif sistemlerinde, sistemin güzergahının belirlenmesinde büyük problemler yaşanmaktadır. Türkiye'nin en büyük şehri olan İstanbul'u göz önüne alacak olursak, İstanbul son 50 yılda şehir planlamacıların beklentilerinin üzerinde hızla büyümüş ve nüfusun göçle birlikte artmasıyla birlikte çarpık yerleşimli bir mega şehir haline gelmiştir. Bunun sonucundada, şehrin içinde kalan karayolları yetersiz hale gelmiş ve toplu taşıma, ekonomiklik, zamandan kazanma, çevre kirliliği, şehir planlaması gibi parametrelerin avantajlarını taşıyan elektrikli tren sistemleri bu şehir içinde kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir. Hale hazırda İstanbul'da Metro, Tramvay, hafif metro, finüküler sistem gibi değişik lokomotif ulaşım sistemleri uygulanmakta ve yeni projeler geliştirilmektedir. Fakat İstanbul'da yüzey üzerine döşenecek demiryolları için bugün fırsat oluşturmak imkansız bir hale gelmektedir. Yeraltı sistemlerinin ise, özellikle İstanbul gibi tarihi ve düzensiz alt yapıya sahip bir şehirde uygulanması ve ayrıca yüksek maliyet gibi kendine özgü bazı dezavantajları bulunması nedeni ile uygulama zorlukları bulunması dolayısıyla, farklı sistemler de gözününe alınmalıdır. Havaray sistemler bunlardan biridir. Örneğin mevcut bir karayolu üzerine çift katlı otoyol yapmaktansa otoyol üzerine bir havaray sisteminin dizayn edilmesi daha ekonomik olabilir. Ayrıca İstanbul örneğini ele alırsak Anadolu ve Avrupa yakalarının bir havaray sistemi ile birleştirilmeside uygun bir proje olarak geliştirilebilir. Havaray sistemlerinin bir başka avantajıda şüphesiz estetik açıdan ve turistik açıdan şehir seyrine sağlayacağı katkıdır. Aslında havaray sistemler, kuşbakışı mesafenin ayakyolu mesafesinden

çok daha kısa olduğu, bir vadinin iki yakasını birleştirme gibi projeler için uygulanabilir sistemlerdir. Örneğin İstanbul maçkadaki teleferik sistemi bu tür bir uygulama için verilebilecek basit bir örnektir.



Şekil 4.1 Havaray tiplerinin sınıflandırılmasına ait blok diyagram.

Şekil 4.1'deki blok diyagram, havaray sistemlerinin uygulamalarındaki ufak farklılıklara göre kendi içerisindeki sınıflandırma yapısını göstermektedir.

Uygulamaları yapılmış olan bazı havaray sistemlerinin teknik bilgi ve gösterimlerine ait örneklerden bazıları şunlardır; [6], [7]

Kablolu Mekik Sistemi (Cable Liner);

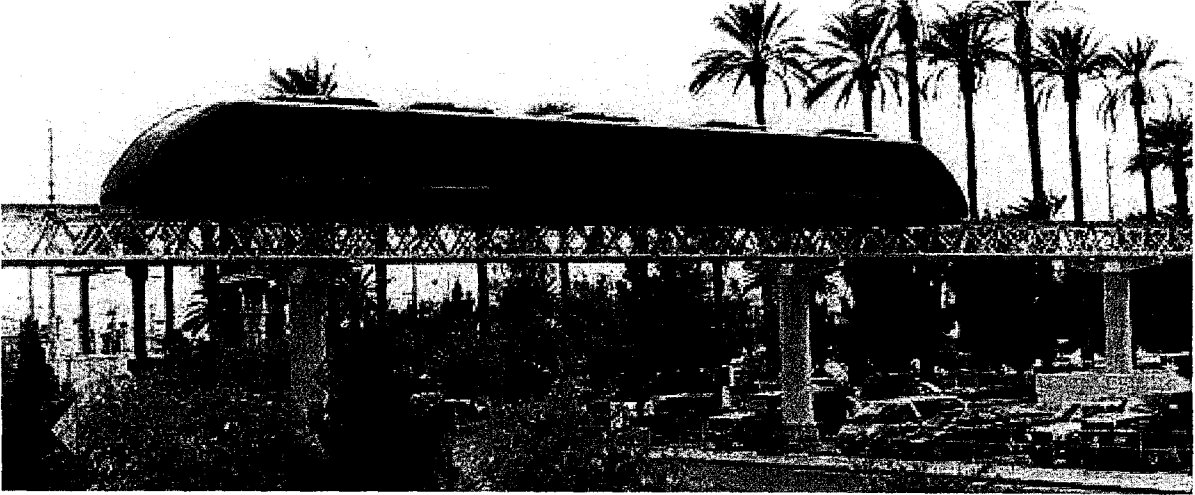
Araç Kapasitesi : 35 kişi - 140 kişi

Hat Uzunluğu : 5 km.

Max. Kapasite : 4000 kişi / tekyön / saat

Max. Hız : 30 km / saat

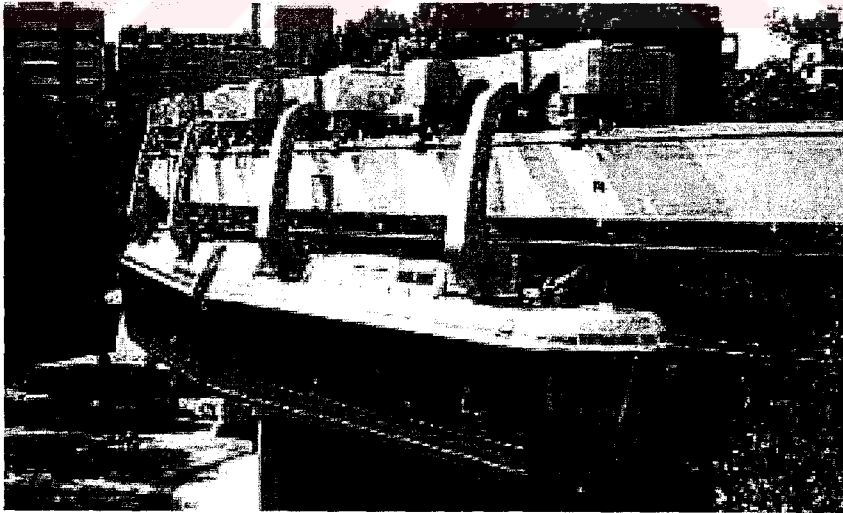
İşletme hızı : 20 km / saat
Mevcut Max. Kap. : 3500 kişi / tekyön / saat



Şekil 4.2 Kablolu mekik sistemine ait uygulama.

Konsollu Asmalı Tip;

Araç Kapasitesi : 52 kişi
Hat Uzunluğu : 5 km.
Max. Kapasite : 20000 kişi/ tekyön / saat
Max. Hız : 70 km / saat
İşletme Hızı : 30 km / saat

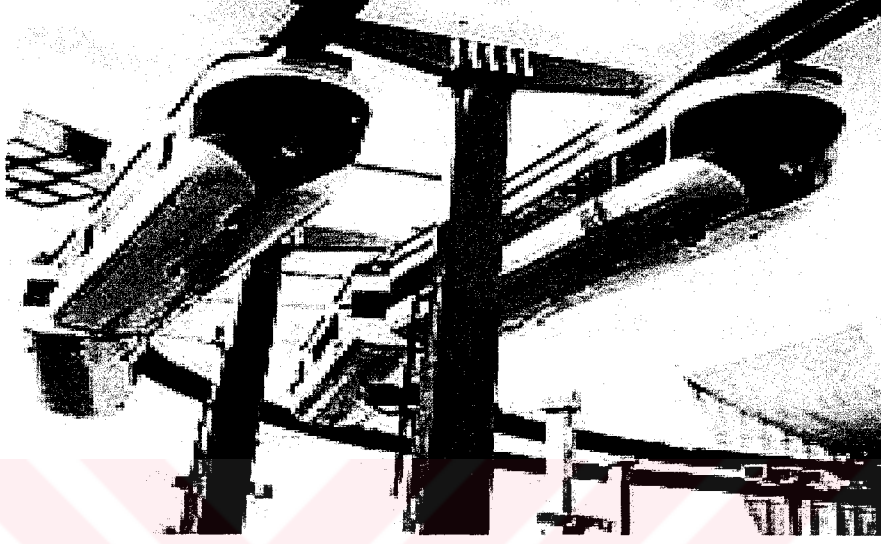


Şekil 4.3 Konsollu asmalı tip.

Kiriş Asmalı tip (Suspended);

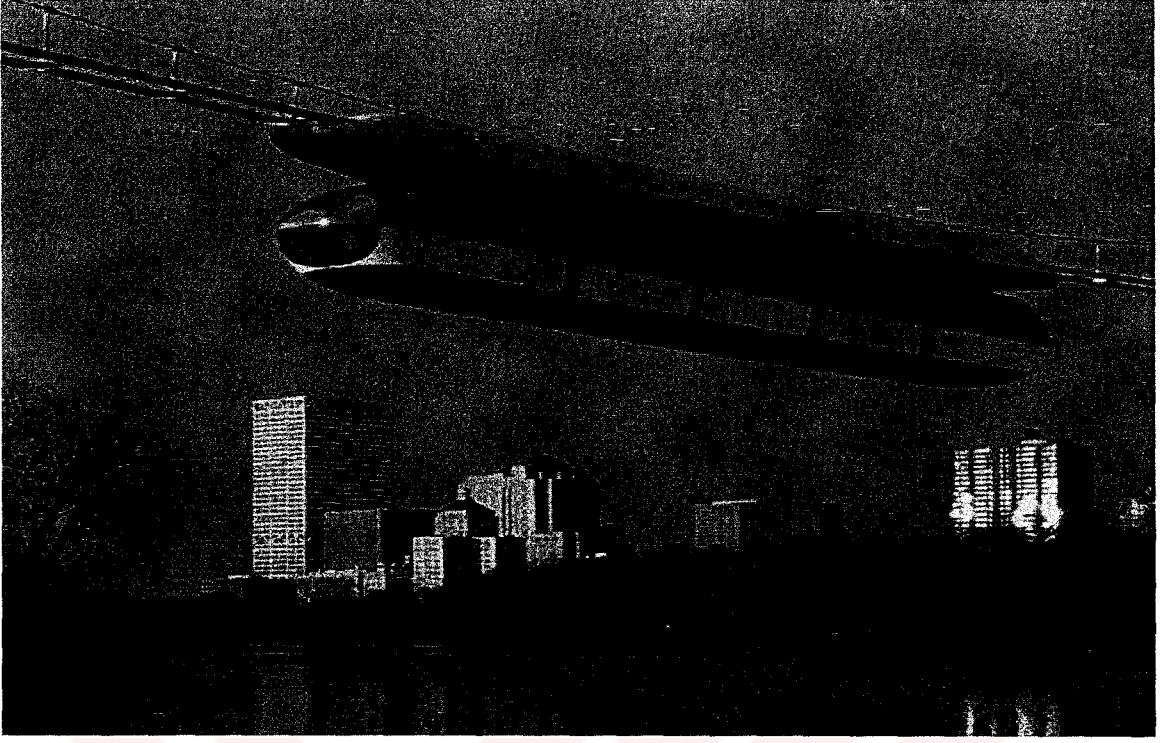
Araç Kapasitesi : 250 kişi

Hat Uzunluğu : 15 km.
Max. Kapasite : 20000 kişi/ tekyön /saat
Max. Hız : 65 km / saat
İşletme Hızı : 40 km / kaat
Mevcut Max. Kap. : 15000 kişi/tekyön / saat



şekil 4.4 Kiriş asmalı (Suspended) tip.

Aerobus;
Araç Kapasitesi : 300 kişi
Hat Uzunluğu : 10 Km.
Max. Kapasite : 20000 kişi/TekYön / Saat
Max. Hız : 80 Km / Saat
İşletme Hızı : 40 Km / Saat
Mevcut Max. Kap. : 6500 kişi / TekYön / Saat
Mevcut Max.Hat Uz.: 3.2 Km.



Şekil 4.5 Aerobus tipi havaray sistemi.

Havaray (Straddle);

Araç Kapasitesinde ve hat uzunluğunda sınırlama yok.

Max. Kapasite : 35000 kişi/TekYön / Saat

Max. Hız : 70 Km / Saat

İşletme Hızı : 40 Km / Saat

Mevcut Max. Kap. : 25000 kişi/TekYön / Saat

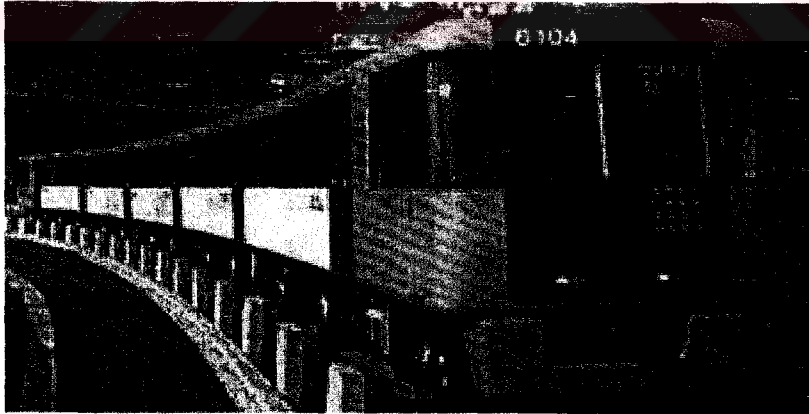
Mevcut Max.Hat Uz.: 24 Km.



Şekil 4.6 Straddle tipi havaray sistemi.

AGT (lastik tekerlekli klavuzlu tip);

Araç Kapasitesi	: 100 KİŞİ
Max. Kapasite	: 12000 kişi/TekYön / Saat
Max. Hız	: 70 Km / Saat
İşletme Hızı	: 40 Km / Saat
Mevcut Max. Kap.	: 12000 kişi/TekYön / Saat
Mevcut Max.Hat Uz.:	18.4 Km.



Şekil 4.7 AGT lastik tekerlekli tip.

Viyadükte LRT;

Araç kapasitesi ve hat uzunluğunda sınırlama yok.

Araç Kapasitesi	: 35000 kişi/TekYön / Saat
Max. Hız	: 80 Km / Saat

İşletme Hızı : 35 Km / Saat

Mevcut Max. Kap. : 28000 kişi/TekYön / Saat

Mevcut Max.Hat Uz. : 18.4 Km.



Şekil 4.8 Viyadükler için uygulanabilir LRT.

Çizelge 4.1 Dünya `da uygulamaları yapılan havaray sistemleri.

İMALAT TÜRLERİ	REFERANSLARI
Kablolu Mekik Sistemi	Las Vegas (ABD) Mandalay B. (Shuttle)
Straddle	Bangkok Mall,(Tayland) LotteWorld,G.Kore
Straddle	Tama, Osaka, Okinawa (Japonya)
Straddle	Las Vegas , Newyork (ABD)
Suspended – AGT	Chiba , Shonan (Japonya)
Aerobus	Manheim (Almanya) Texs (ABD)
Straddle	Kula Lumpur (Malezya)
Konsollu Asmalı Tip	Test Halinde
Straddle	Sunway (Malezya)

4.2 Farklı Raylı Sistemlerin Karşılaştırılması

Çizelge 4.2 Farklı raylı sistemlerinin karşılaştırılması.

	SIEMENS- DOPPELMAYR (HALATLI – KABİNLİ METRO)	AERO BUS Asma Kablolu – Çift Ray – Metro Sistemi	HITACHI Monoray Sistemi
Tahrik Sistemi	400 KW – Elektrik Motorlu	750 ~ 1500 V DC Katener	1500 V DC – Lastik Tekerlekli
Maximum Çalışma Mesafesi	5.000 m	Çalışma mesafesinde sınır yok	Çalışma mesafesinde sınır yok
Maximum Eğim	% 15	% 8	% 6
Çift Hat Genişliği (Viyadükte)	5.60 m	6.00 m	Tek Hat 3.00 m
Viyadük Ayak Yüksekliği	4.60 m	10 metre	5.00 m
İki Ayak Açıklığı	30 m	Kısa Tip : 107m Orta Tip : 288m Uzun Tip : 610 m	Kiriş ve Kolonlar prekast beton 30 metre
Vagon Kapasitesi	33 Kişi (23 Ayakta + 10 Oturan)	320 kişi (4 kabinli)	Kabin Kapasitesi 150 kişi
Saatlik Yolcu Kapasitesi	6.000 kişi / saat /tek yön	20.000 kişi / saat /tek yön	20.000 kişi / saat /tek yön
Headway	30 sn	60 sn	90 sn
Gürültü Şiddeti	62 dBA	65 dBA	65 dBA
Maximum Hız	30 ~ 40 km / saat	80 km / saat	80 km / saat
Kumanda Sistemi	Merkezi bir yerden	Araç üzerinden	Araç üzerinden
Personel İhtiyacı	Min. 18 kişi (3 vardiya olmak üzere)	Min. Hat Uzunluğu ve Araç Miktarına göre değişiyor	Min. Hat Uzunluğu ve Araç Miktarına göre değişiyor
Bir yıllık İşletme Masrafı	1.6 ~ 1.9 Milyon \$	-	-
Km .Maliyeti	15 milyon \$ (Anahtar Teslimi)	11 milyon \$	
Saatte Yapılan Yolculuk Başına Maliyet	2500 \$	550 \$	
Kullanım Alanları	Kısa Mesafeli Aktarmalar için	Haliç Bölgesinde uygulanabilir.	Beşiktaş-Zincirlikuyu Kadıköy – Kartal arasında uygulanabilir.

Çizelge 4.2`de karşılaştırmaları yapılan monaray sistemlerinin avantajları şunlardır;

İnşaa maliyeti düşüktür. Ayrıca inşaa esnasında neredeyse tüm ana parçalar önceden imal edilerek inşaa alanına getirildiği için kısa sürede servise açılabilir ve çevreye verilen rahatsızlık minimumdur. Çevreye verilen en büyük rahatsızlık kolon temellerinin inşası esnasındadır. %20 lik eğimlere tırmanabilir. Az yer işgal eder (kamulaştırma gerektirmez).

Dizaynları sebebi ile dray olayı olmaz ve yükseltilmiş olduğu için cadde trafiği ile kaza olma ihtimali yoktur. Şu ana kadar tüm dünyada hiçbir ölüm kaydı yoktur, dört adet hafif yaralanma olmuştur.

Bakım: Konvansiyonel sistemlerde hem ray hem de teker aşınmaktadır, dolayısı ile devamlı bakım gerektirirler. Cadde tamvayında ayrıca lastik tekerlekli araç trafiğini düşünmelisiniz. Monorayda lastik tekerlekler 150-200 bin km`de değiştirilir. Yol bakım gerektirmez. Viyadüklü LRT sistemlerine göre daha az güneş ışığını keser.

Gürültü: Elektrik Tahrikli, lastik tekerlekli araçların gürültü seviyesi (65dB) otobüs ve çelik tekerlekli raylı sistemlere göre daha azdır.

Depreme dayanıklılık: Askıda olduğu için Salınım yaparak az zararla deprem atlatılabilir. Örneğin; Japonya`da ki yıkıcı Kobe depreminden birkaç saat sonra tam servise açılmıştır.

Ekonomi : Tokyo-Haneda monorail`i 1964 den beri işletilmektedir. Özel işletmecilik yapılan bu sistem her yıl kâra geçmektedir. Seattle`daki sistemde aynı şekilde kâra geçmektedir. (Garip ve Yazar, 2004)

Monaray sistemlerinin dezavantajları ise şunlardır;

Makas sistemlerinin karmaşıklığı.

Acil durumlarda yolcu tahliyesinin zorluğu.

Yükseltilmiş istasyon ihtiyacı.

Yükseltilmiş olması sebebi ile görüntü kirliliği.

Birim yolcu-kilometre başına enerji maliyetinin LRT sistemlerine göre daha fazla olması. (Garip ve Yazar, 2004)

Monoray Sistemi Kuran Firmalar ve bu sistemlere ait bazı bilgiler aşağıdaki gibidir.

Intamin;

- Üç kıtada Kuzey Amerika-Avrupa-Asya da çalışan sistemleri kurmuştur.
- Max. %20 eğime tırmanabilir.
- 4 milyon \$/km → herşey dahil → özel işletilebilir.
- Maksimum kapasite → 5000 kişi/saat (ppdph) 450 kişiden itibaren karlı olduğu iddia ediliyor. Şu anki sistemler 1000-3000 kişi/saat.
- Gerçekleme oranı : %99.8

Örnek 4.1 P30 tipi araçlar – 30 yolcu/araç → 10 araçtan = 300 yolcu

L= 15m-50m , W=2.3m, H=2.7m

Güç=400VAC veya 600VDC

Hız= 60km/h

Kapasite= 1000-5000 kişi/saat

A/C = Opsiyonel

Gürültü : 75 dBA at 40km/h dış

Yol : 65dBA at 40 dBA km/h iç

Tip: Destekli

Eğim: %20

Kmur: 25m min; 250m normal

Destek Kolonları : 80cm silindirik

Destek Kolonları Arası Açıklık : 30 m'ye kadar.

Hitachi:

- 20000 ppdph,
- Max eğim %6
- IGBT inverter kontrollü AC motor.
- Cer Gücü S/S: 34,5 kV→1500 VDC. Scada mevcut.
- 3. ray üzerinden besleme.
- Sinyalizasyon: TD (tren algılama) ve ATP (otomatik tren koruma) ve Interlocking device.
- Komünikasyon: PA, Telefon, Telsiz, Saat ve CCTV
- Tüm sistemler CRR dan kontrollü.

Mitsubishi, Shonan Monoray:

Kamakura'da 6.6 km lik hat 1971'de tamamen açılmıştır. Askı tipidir. (+) bara yukarıda 2 adet (-) bara yanda. 1500 VDC tek hat ve ayrıca, orta noktalarda çift hatlı istasyonlar var.

İki renkli sinyalizasyon , ATS , CTC var. Empedans band. A/C var. Sistemin yerden yüksekliği 10 m ve yolculuk süresi 15 dk sürüyor.

Wuppertal Askı:

1903'de açılmış olan hat 1970'ler de yenilenmiştir. Şu an 13.3 km lik yolculuk 35 dk sürüyor.

- 26km/h işletme hızı, 600 VDC , 4x50 kW
- 60 km/h max. hız, $a= 1.1 \text{ m/s}^2$
- 2.55 kWh/km-araç
- CCTV mevcut.

Colorado Monorail;

- Destekli tip olacak
- Taşıyıcı ve klavuzlama tekerlekleri var.
- Seraphim Lineer Motor: Tekerlekler tahrik edilmemektedir. İvmelenme ve Frenleme , araç üzerindeki elektromıknatıslar arasındaki magnetik kuvvet ile sağlanacaktır.
- 200km/h max. hız
- 10000 yolcu → 20 araç x 500 kişi
- Maliyet = 13.5 M\$/km

Severn Ltd;

- Güç : 30-45 kW AC motor/bogi, %6 eğim max.
- Min düşey kurp = 50m
- Min yatay kurp = 20m

System 21;

12.5-15.6 Mil.\$/km

- Cantilever tip inşaa edilecek.
- Yatay kurp: 18m , Düşey kurp: 90m
- Kolon Açıklığı = 25m-30m
- Araçlar: 8.5m, 52 yolcu (24 otu + 28 ayakta).
- Tren = 10 araca kadar
- Kapasite =20000 kişi/saat/yön , Min. Headway Time: 90 sec.
- Max. %10 gradient
- Vmax= 110 km/h

- Acil durum: Araç içinde taşınan merdiven veya acil durum kızıkları olabilir. Arabalar arası geçiş olası.
- 750 VDC 3.ray. 4.5 km de bir adet S/S olacak. Her araçta 3φ fırçasız AC motor var.
- Taşıyıcı sistem 240 km/h rüzgara dizayn edilecektir.

Çizelge 4.3 Teknik bilgiler.

Sistem Adı	Motor Gücü (kW)	Araç Boyutları LxWxH(m)	Güç Kaynağı (V)	İvme (m/s ²)	Fren (m/s ²)	Araç (ton)	Max. (km/h)
ALWEG,Seattle	8x75	36,5x3,5x3,4	600DC	1,1	1,4	40	
Siemens	8 ad. DC		380AC			60	
Disney/Bombardier Mark VI	8x75 600 DC	62x2,55x3,2	750DC	0,44	0,2		90
Hitachi	16x100 kW/4 araç AC 3φ	63,5x3x4,5	1500DC 750 DC			140	80
Aerorail	1400 kW 3φ AC	18,24x3,3 x3,8	750DC				
Von-rail/Adtranz	6x37kW/araç DC, 7 araç		500AC				
Mitsubishi, China	2 motor/araç	15,4x2,65	1500	1,0	1,0	21,5	65
Wuppertal	4x50 kW DC/train	24x2,7x2,1	600DC	1,1	1,2	22	60

4.3 750 VDC ve 1500 VDC Sistemlerin Karşılaştırılması

Daha öncede bahsedildiği gibi, elektrikli demiryolu sistemlerinde gerilim kaynağı olarak AC ve DC kaynaklar kullanıldığı gibi ilk elektrikli trenin dizayn edilmesinden bu güne her iki kaynak cinsi içinde değişik gerilim seviyelerinde uygulamalar yapılmıştır. Çizelge 4.5 'deki tabloda en çok kullanılan elektrik kaynak güçlerine ait tablo verilmiştir. Bu sistemler EN 50163* 'e göre belirlenmiştir. Fakat bunların yanısıra 580 V AC 3 – faz, ve 1200 V DC gerilimli sistemlerde kullanılmaktadır. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

* EN 50163 Avrupa Standartları.

Çizelge 4.5 EN 50163` e göre elektrikli demiryolları için gerilim seviyeleri.

Gerilim	Un (V)	Umin2 (V)	Umin1 (V)	Umax1 (V)	Umax2 (V)	Umax3 (V)
600 VDC	600		400	720	770	1015
750 VDC	750		500	900	950	1269
1500 VDC	1500		1000	1800	1950	2538
3000 VDC	3000		2000	3600	3900	5075
15 kV AC, 16 2/3 Hz	15000	11000	12000	17250	18000	24311
25 kV AC, 50 Hz	25000	17500	19000	27500	29000	38746

Tablo 4.5`deki semboller şu anlamları ifade etmektedir;

Un : Nominal gerilim

Umin2 : En düşük sürekli gerilim

Umin1 : En düşük sürekli olmayan gerilim

Umax1 : En yüksek sürekli gerilim

Umax2 : En yüksek sürekli olmayan gerilim

Umax3 : 20 ms den daha uzun olan kısa dönemli aşırı gerilim.

AC sistemler uzun mesafeli ana hatlar için kullanılan sistemlerdir. Dünya üzerinde kullanılan tren sistemlerinin çoğu DC beslemeli sistemlerdir. Şehir içi tren sistemlerinde çoğunlukla 1500 V DC`ye kadar olan gerilimler kullanılır. Bazı ülkelerde 1500 ve 3000 V DC sistemlerde uzun mesafeli ana hatlarda kullanılmaktadır. Aslında 90`lı yılların sonuna kadar tüm Dünya üzerindeki sistemlerin yarısı DC sistemlerden oluşmaktaydı. Fakat son yıllarda bu durum, güç elektroniğindeki gelişmeler sonucu, karşı konulamaz bir şekilde AC sistemler lehine değişmektedir. Bu durum şehir içindeki toplu taşıma araçları içinde geçerliliğini sürdürmektedir. 19. yüzyıl başlarında ilk kez 600 V DC sistemler toplu taşıma araçları olarak kullanılmaya başlandı. Fakat güç elektroniği teknolojisi ve elektrikli sistemlerdeki gelişmeler sonucu 1500 V DC Dünya üzerinde en çok kullanılan ve yeni dizayn edilen ulaşım sistemlerinin besleme kaynak gerilimi haline gelmiştir. Bu gerçeklere göre ilginç sayılabilecek tek örnek 176 km uzunluğundaki, 600 V DC beslemeli Madrid metrosudur. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

Japon metro cemiyeti tarafından mayıs 2000 tarihli yayınlanan “Subways of the World” adlı kitapta Dünya üzerindeki 117 metro incelenmiş ve bazı karakteristikler bu kitaba göre aşağıdaki gibi çıkartılmıştır:

1. Dünya üzerindeki ilk elektrikli ulaşım sistemlerinde (Almanya, İngiltere ve Fransa) 600 ve 750 VDC sistemler kullanılmaktadır. Fakat yeni sistemlerde çoğunlukla 1500 VDC kullanılmaktadır.
2. İtalya ve İspanya `daki sistemler 1500 VDC `dir.
3. Asya ülkelerinin çoğu 1500 VDC sistemleri nominal gerilim olarak benimsemiştir. (Örneğin Singapur `daki NE hattı)
4. Bunun yanısıra 5 vagonlu ve daha fazla olan sistemlerde, 1500 V DC gerilimin tercih edildiği bir sonuç olarak belirtilebilir.

Bu noktada, İstanbul Anadolu yakasında dizayn edilen 1500 V DC beslemeli Üsküdar – Ümraniye metrosunu, 1500 V DC nin avantajlarını ve 750 V DC ile 1500 V DC nin kıyaslanması üzerinde duracağız.

1500 V DC bir sistem daha ekonomik, modern ve kolayca işletilebilir olabilmektedir. Aynı bir hatta, 1500 V DC bir tren, 750 V DC bir trenin çektiği akımın yarısı kadar bir akımı hattan çekmektedir. Bunun sonucu olarak hattaki gerilim düşümünde azalma göstermektedir. Buda, iki besleme trafo istasyonu arasındaki mesafenin uzatılabilmesine imkan vermektedir. Pratikteki uygulamalar sağlıklı bir 750 V DC sistemde 1500-2500 m mesafelik bir komşu trafo istasyonu aralığının uygun olduğunu göstermektedir. Halbuki 1500 V DC bir sistemde bu mesafe yaklaşık 4000 m `e kadar çıkmaktadır. Buda aynı mesafedeki bir ulaşım hattında daha az sayıda besleme trafo istasyonu kullanılmasına imkan vermekte ve bu sayede kullanılan ekipmanların maliyeti ve toplam fiyat maliyeti de düşmektedir. 1500 V DC `lik bir sistem tercih edilmesinde maliyet düşümü 750 V DC bir sisteme oranla %25 ila %35 arasında beklenmektedir. Ayrıca besleme istasyonlarının sayısının azalması daha az bakım maliyeti, daha az potansiyel arıza noktası ve doğal olarak daha az insan gücü harcanmasına sebep olacaktır. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

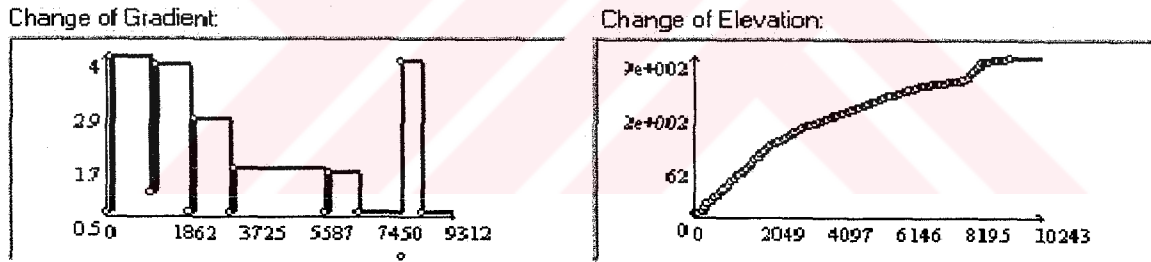
Bir elektrikli ulaşım sisteminde, işletim süresi esnasında; kullanılan iletken, trafo, ve diğer ekipmanlarla birlikte kaçınılmaz olarak enerji kayıpları olacaktır. 1500 V `luk bir sistemde aynı güç talebine oranla akım çekimi azalacaktır.

$$P_{\text{kayıp}} = R \times I^2 \quad (4.1)$$

(4.1) eşitliği doğrultusunda, enerji kayıplarının akımın karesi ile orantılı olarak değiştiği görülmektedir. Buda, gerilimi iki katına çıkarmanın bu kayıpları %25 oranında azaltacağını göstermektedir. Fakat bu yaklaşım, frenleme enerjisi göz önüne alındığında her zaman doğru olmayabilir. Ayrıca besleme istasyonları arasındaki mesafeyi arttırmanında hatlardaki kayıpları arttıracığı unutulmamalıdır. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

750 V DC ve 1500 V DC sistemleri karşılaştırmak üzere İstanbul Ulaşım A.Ş ve İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından, multi-tren sistemleri için geliştirilen ve SimuX olarak adlandırılan bir simülasyon programı kullanıldı. Bu simülasyon vasıtasıyla trene ait çeşitli karatersitikler elde edilmiştir. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

Bu simülasyon, Üsküdar – Ümraniye arasında planlanan 16 km mesafe uzunluğundaki ve 13 yolcu istasyonundan oluşan metro sistemi üzerinde gerçekleştirildi. Mesafenin, yolcu sayısının fazla olmasının beklenmesi ve meyilin fazla olması nedeniyle, kullanılacak sistem üzerinde yapılan araştırmalar sonucu bu hatda 1500 V DC, tümü motorlu 6 araçlı bir sistemin uygulanmasına karar verilmiştir. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

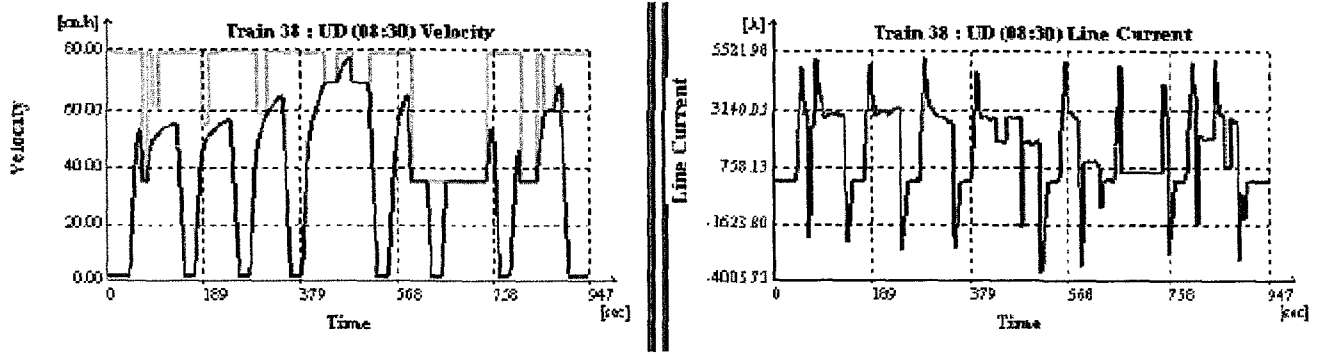


Şekil 4.9 Metro hattına ait meyil çizelgesi. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

Hattın tüm geometrik verileri, araziye ait meyiller, hız limitleri gibi tüm veriler şekil 4.9`da görüldüğü gibi programa girilmiş ve her istasyonda bekleme süresi 20 saniye olarak farzedilmiştir. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

750 ve 1500 V DC`lik her iki sistem içinde iki saatlik işletme süreleri göz önüne alınarak birkaç simülasyon yapıldı. Trenin her iki durumu içinde, önce tam yüklü ve sonra yarım yüklü olarak, simülasyon sonuçları elde edildi. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

Sonuç olarak, 750 VDC bir sistemde minimum Tren gerilimi 662 V, her araç için enerji tüketimi km başına 3.18 kWh olarak elde edilmiştir.

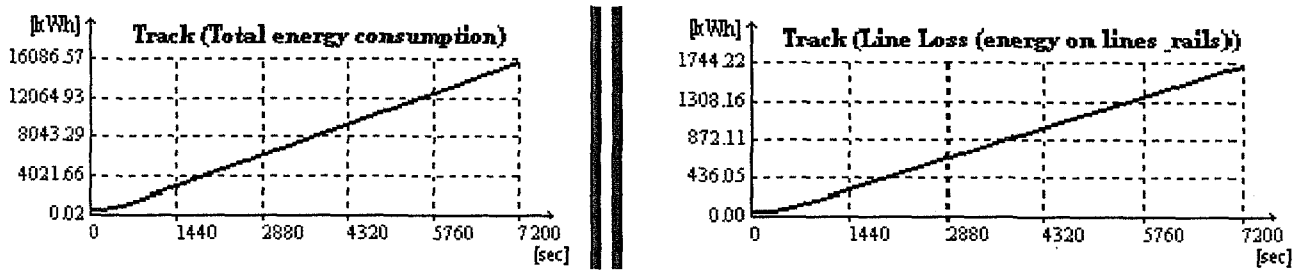


Şekil 4.10 750 VDC bir tren için elde edilen devir/hız ve hat akım grafiği. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

Şekil 4,10`daki grafikten, metro hattı için işletme hızı 38 km/h olarak elde edilir. Şekil 4.10`da sağdaki grafikte eğimin bir trenin çektiği akıma etkisi açıkça görülmektedir. Şekil 4.10`danda anlaşılacağı gibi istasyonlar arasında trenden çekilen akım yaklaşık 3100 A civarında değişmektedir. İlk üç yolcu istasyon durağı %4 daha meyilli olduğundan sonraki yol hattında daha düşük akım hareketleri gözlenmektedir. Toplam enerji tüketimi ve enerji kayıplarına ait genel grafik, şekil 4.11`de görülmektedir. Grafikte sistemin 2 saatlik işletme sonucu tüm sistemden çekilen akım miktarı ve enerji tüketim miktarı hesaplanabilmektedir. Bu da 2 saat sonucu 16086 kWh enerji tüketimi ve 1744 kWh`da sistemdeki kayıplar olarak ortaya çıkmaktadır. Enerji kaybı;

$$Ekayıp (\%) = Ekayıp / Etüketim \times 100 \quad (4.2)$$

Şeklinde formüle edilebilir.

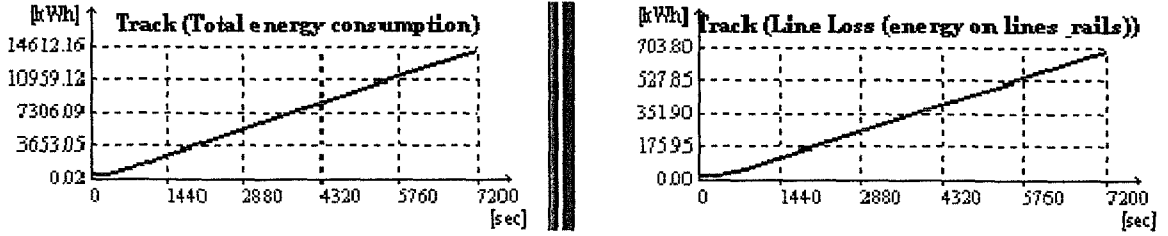


Şekil 4.11 İki saatlik işletme simülasyonu sonucu toplam enerji tüketimi ve kaybı. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

Burada enerji kaybı yüzde olarak 10.84% hesaplanır. Bu sonuç her 100 kWh için 10 kWh`lık bir enerji kaybı olduğunu göstermektedir. İstanbul Aksaray – havalimanı LRT sistemini göz önüne alırsak ayda 2 GWh`lık bir enerji tüketimi olmaktadır. Bunun 200,000 kWh`lık kısmının hatlarda kaybolduğu anlamına gelmektedir. Türkiye`deki yüksek enerji fiyatları göz

önüne alındığında (8.3 cent/kWh) yaklaşık 200,000 \$'ın hat kaybı olarak boşa harcadığı ortaya çıkmaktadır. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

1500 VDC beslemeli bir sistem içinde benzer simülasyon uygulandığında enerji kayıpları yüzde olarak 4.82% olarak görülmektedir. Enerji tüketimi ve hat kayıpları şekil 4.12'deki grafiklerle elde edilmiştir. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)



Şekil 4.12 1500 VDC sisteme ait enerji tüketim grafikleri. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

Şekil 4.12'deki grafiklerde ulaşım hattında 14612 kWh'in 703.8 kWh'ı enerji kaybı olarak gözükmektedir. Simülasyon sonucu aynı hat için toplam enerji tüketiminin, 750 V DC sistemdeki 16086 kWh'dan 1500 V DC sistemdeki 14612 kWh'a düşürüldüğü görülmüştür. Bu, toplam enerji tüketiminde bize, cer sistemi enerji tüketiminin 9.16%'sına tekavül eden 1474 kWh'lık bir düşüş sağlamıştır (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

Rakamlar, ayrıca bize beklendiği gibi 1500 V DC bir sistemde frenleme de oluşan enerji tüketimininde arttığını göstermiştir.

Çizelge 4.6'da SimuX programı ile yapılan tam yüklü (TY=271 ton) ve yarım yüklü (YY=219 ton) varsayımları ile yapılan 4 ayrı test sonucunda (her teste 300 sn arttırarak) elde edilen toplam enerji tüketimi ve kayıplara ait tablo verilmiştir. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

Çizelge 4.6 Simülasyon sonuçları.

Güç Besleme Sistemi	Tren Yük Durumu	Yol alma Zamanı	Toplam Enerji (kWh)	Enerji Kaybı (kWh)	Enerji Kaybı (%)	Toplam Enerjideki Fark (%)
750 V DC	TY	150 sn.	16087	1744	10.84	9.17
1500 V DC	TY	150 sn.	14612	704	4.82	
750 V DC	YY	150 sn.	13978	1412	10.10	10.13
1500 V DC	YY	150 sn.	12562	570	4.54	
750 V DC	TY	300 sn.	89998	857	9.53	12.87
1500 V DC	TY	300 sn.	7837	363	4.63	
750 V DC	YY	300 sn.	7901	674	8.53	11.78
1500 V DC	YY	300 sn.	6970	280	4.02	

1500 V DC bir sistemde enerji kayıpları yüzde olarak 4.02 ve 4.82 arasında iken 750 V DC sistemde 8.53 ve 10.84 arasında değişmektedir. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

Sonuç olarak 1500 V DC bir sistem 750 V DC bir sisteme oranla avantajlara sahiptir. Bunlardan en başta geleni ise enerji tasarrufudur. Tüm metro sistemlerinde yapılan simülasyon hesaplamalarında 1500 V DC bir sistem aynı hat için 750 V DC sisteme oranla %10 luk daha az bir enerji tüketimi sağlamaktadır. Bu sonuçlar dayanarak, Üsküdar - Ümraniye metro hattında olduğu gibi birçok sistemde 1500 V DC sistem yerine 750 V DC sistem kullanılması tercih edilmesi önerilmektedir. (Açıkbaş ve Söylemez, 2004)

4.4 Elektrikli Ulaşımında Enerji Depolama Sistemleri

Ulaşım sistemlerinin birbirleriyle mukayese edilmesinde pek tabii olarak ekonomiklik ilk sıralardaki yerini alacaktır. Elektrikli ulaşımda, tüm dizayn işlemleri maliyet ilişkisi ile orantılı gelişim göstermektedir. Elektrik lokomotifleri özellikle frenleme esnasında, büyük oranda bir faydasız enerjiyi kullanmadan tüketmektedir. Bunun gibi verimi düşüren ve maliyeti arttıran işletim problemleri, mühendislik hizmetlerince çözümlendiği sürece elektrikli ulaşım, diğer ulaşım sistemleri ile birçok alanda kıyaslanamayacak projeler geliştirmeye açıktır. Bu tür enerji kayıplarını önlemek için enerji depolama cihazları çözüm olarak kullanılmakta ve geliştirilmektedir.

Demiryolu araçlarının dizaynında ve işletiminde; hız, konfor, güven gibi parametrelerin yanısıra en önemli mühendislik yaklaşımı, sistemi ucuz inşa etmek ve işletmektir. Tren ulaşımında maliyetleri göz önüne alacak olursak kullanılan enerji yükü en önemli fiyat tarifi

olarak karşımıza çıkmaktadır.

Enerji depolama cihazları olarak akümülatör, kapasitör, flywheel gibi sistemler demiryolu endüstrisinde kullanılan basit enerji tasarruf yöntemleridir. Depolama sisteminden beklenen fayda yalnızca enerji tüketimini düşürmek değil hattın tepe yük değerini düşüren, şebeke kararlılığına yardımcı olan ve sürüş performansını yükselten avantajlar olarakda düşünülmelidir. Bu cihazlar frenleme sırasında ortaya çıkan büyük kinetik enerjiyi, depolama ve hızlanma esnasında yada maksimum güç ihtiyacında sistemi beslemek için kullanılabilir. (Caputo,2000)

Çizelge 4.7 dağıtım şebekesindeki tepe güç değeri ile bu değeri düşüren depolama cihazlarını göstermektedir. Bu cihazlar araç üzerinde bulunmalıdır. Çünkü şebeke üzerinde böyle bir sistemin kullanılması şebeke karakteristiğinin bozulmasına sebep olacaktır. Ve bu sistem frenleme enerjisinin şebekede kullanılması için ekonomik olmayacaktır. Bir sistemin enerji tüketim ve depolama sistemini incelemeyen önce doğru bir analiz yapabilmek için olası farklı depolama teknolojilerini incelemek ve hacim – ağırlık – fiyat – teknik özellikleri arasında bir uyum noktası bulmak gerekir. (Caputo,2000)

Sonra, Demiryolu araçlarının, nihai teknik seçim ve doğru depolama sistemi uygulaması için teknik karakteristiklerini bilmek gerekir. Uzun mesafeli tren karakteristikleri ile bölgesel, hatta bazı şehir içi tren karakteristikleri birbirinden büyük farklılıklar gösterir. Bu teknik faktör seçilen depolama yöntemi için esas etkindir. Max. Hız, kütle, cer kuvveti, frenleme kuvveti gibi veriler aracın max. Hızdaki depolanan kinetik enerjisini ve frenleme zamanında harcanan enerji ile frenleme gücünü bize verir. Frenleme zamanı ağır demiryolu taşıtlarında 1 dakikayı alırken LRV (local rail vehicle) gibi şehir içi taşıtlarda 10 saniye kadar sürmektedir. (Caputo,2000)

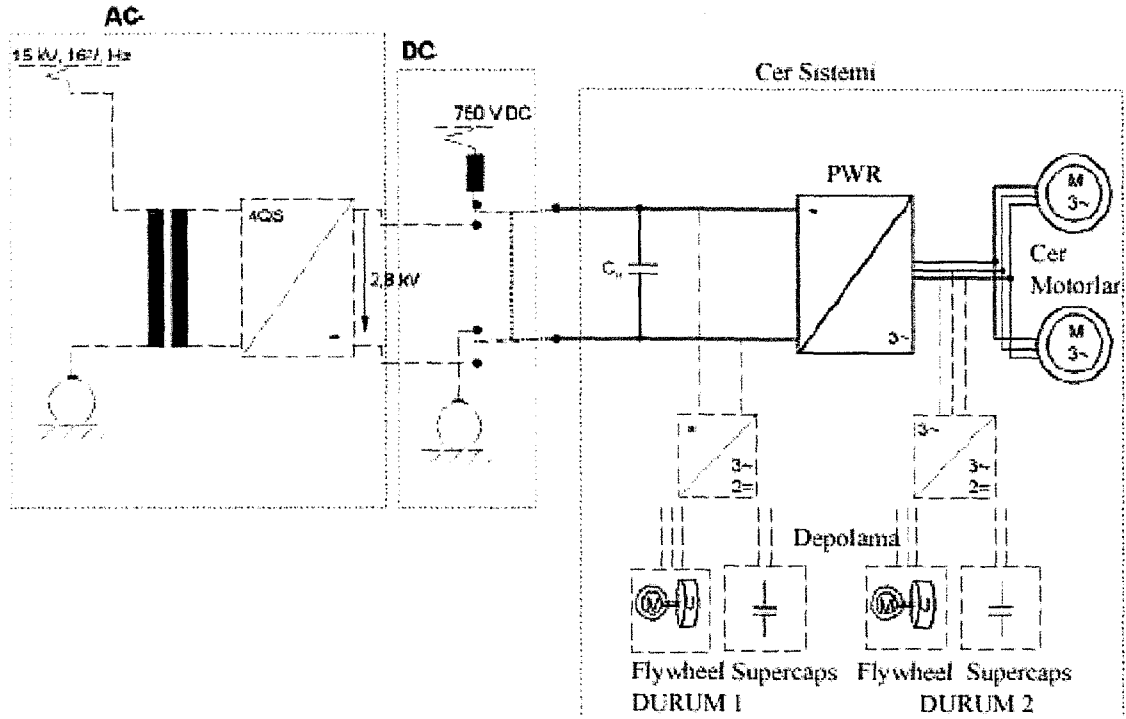
Çizelge 4.7 Değişik demiryolu sistemleri için farklı güç karakteristikleri.

	Bölgesel multi üniteler (EMU)	Yeraltı EMU (DC, 4 araç)	Dizel multi üniteler (DMU)	LRV (Local Rail Vehicle)
Trenin kütlesi	250t	160t	116t	39t
Maksimum hız	160km/saat	100km/saat	120km/saat	70km/saat
Sürüş gücü	4000 kW	1200 kW	875 kW	300 kW
Maksimum çekme kuvveti	250kN	180 kN	122 kN	60 kN
Frenleme gücü	4800 kW	3000 kW	875 kW	900 kW
Maksimum frenleme kuvveti	270 kN	200 kN	56 kN	100 kN
Depolanan Kinetik enerji	70 kWh	16 kWh	18 kWh	2 kWh
Frenleme zamanı	50 sn	15 sn	70 sn	9 sn
Her yıl için sürüş devri	40000	100000	50000	300000
Ömür boyu sürüş devri (106)	0,8	2	1	6

Bu tablodan, LRV'den bölgesel demiryolu taşıtlarına kadar kullanılabilen depolama cihazını anlamak mümkün olabilir.

Bir demiryolu sisteminin kurulumunda enerji yönetimini kontrol edebilmek için değişik depolama sistemleri hakkında temel bir bilgiye sahip olmak gerekir. Günümüzde bu alanda kullanılan değişik fizik prensipleri ile değişik teknolojiler mevcuttur. Tabiki burada doğru analizi yapıp en iyi karakteristikli uygulamaya karar verilmelidir. Bu karakteristikler, depolanacak enerji miktarını ifade eder. (Caputo,2000)

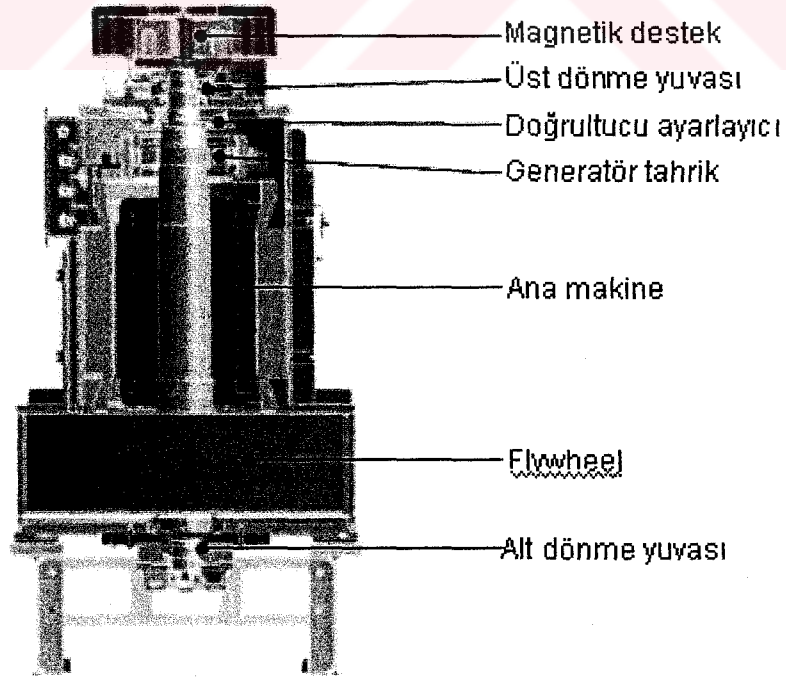
Günümüzde, karakteristik avantajları dolayısıyla kullanılan 4 temel enerji depolama cihazı; Süper Kapasitörler (supercaps), Bataryalar, flywheel'ler ve SEMS (System Magnetic Energy Storage) `lerdir. Pratikteki uygulamalarda yalnızca süper kondaktörler ve flywheel `ler önemli teknolojik gelişmeler kaydederek uygulanabilirliğini sürdürmektedir. Aşağıdaki şekilde, supercap ve flywheel `lere ait, AC 2800 V ve DC 750 V kaynaklı sistemlerin tipik elektrikli bağlantı şekli görülmektedir. Aslında kullanılan konvertör ve invertöre göre farklı bağlantı şekilleride olmaktadır. (Caputo,2000)



Şekil4.13 Enerji depolama sisteminin bir cer sistemine elektriki bağlantı şekli.

1.1.1 Piller Powerbridge Enerji Depolama Cihazı

Bu kısımda, elektrikli trenlerde kullanılan Piller firması tarafından üretilen ve Dünya üzerinde birçok sistemde kullanılan powerbridge kinetik enerji depolama cihazını inceleyeceğiz.



Şekil 4.14 Piller powerbridge enerji depolama cihazı.

Bu cihazlar, kuruldukları istasyon başına, DC kaynaktan çekilen enerjide yaklaşık 250-360 MWh'lık bir enerji tasarrufu sağlayabilmektedir. 1000 kW gücünde, 600 V - 750 V (1500 V) nominal geriliminde çalışan bu cihazlar, Dünya üzerinde 400 'den fazla sistemde uygulanmaktadır.

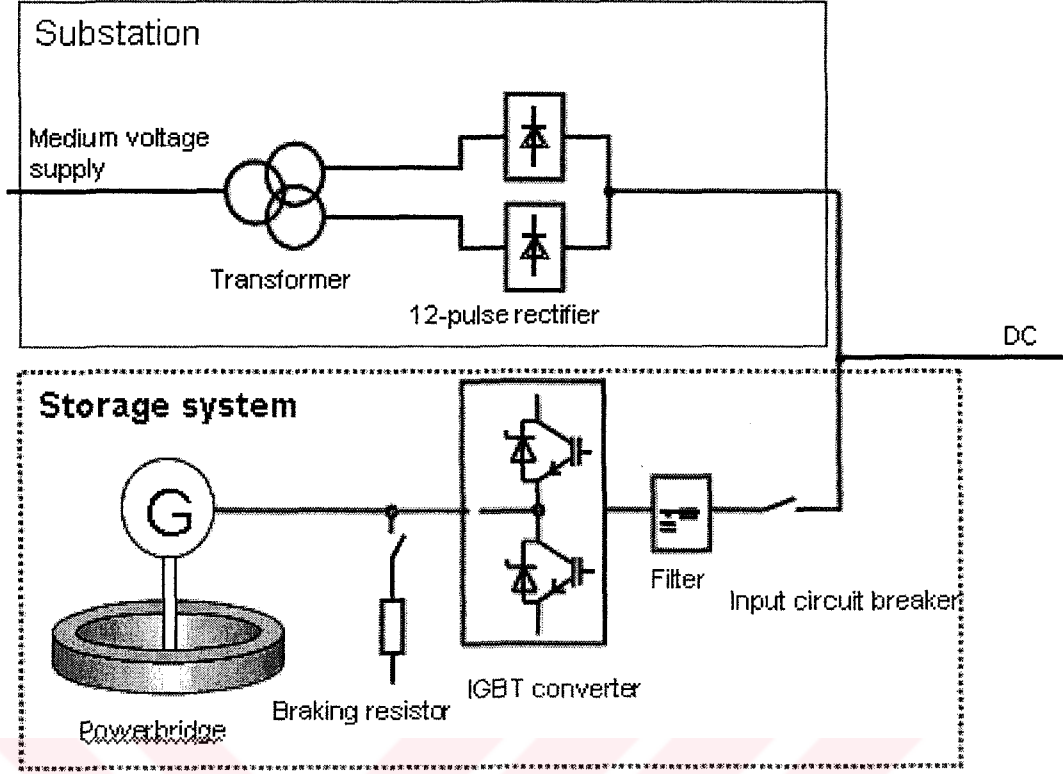
Powerbridge hiçbir başka kaynak olmadan direkt olarak katenara (seyr enerji barası) bağlanır. Bu sistem yaklaşık 300 000 kWh lık (15 000 €)bir enerji tasarrufu sağlayacak frenleme enerjisini depolama özelliğine sahiptir.

Flywheel sisteme ait teknik bilgiler:

- Maximum güç : 1670 kVA
- Enerji hacmi : 16.5 MJ (4.6 kWh)
- Hız : 3300 -1800 min-1
- PB'nin Ağırlığı : 6000 kg
- Rotor ağırlığı : 2950 kg
- Çalışma sıcaklığı : 0 - 40 °C
- Gürültü seviyesi : < 74 dB(A)
- Stand-by şarj (hıza bağlı) : 5 - 10 kW
- Gerekli hava akışı : 9000 m³/h

Bir Powerbridge cihazının kontrol ve çalışma prensibi şu şekilde olmaktadır;

- Temel şarj yüksek hız durumunda gerçekleşir.
- Frenleme esnasında gerilim artarken güç Powerbridge'e doğru akar. Gerilim, besleme istasyonu gerilimine düştüğünde, gerilim kaynağından Powerbridge enerji akışı olmaz.
- Aracın hızlanması esnasında şebekeye verilen geri besleme gücü nedeniyle gerilim düşer ve bu esnada powerbridge gerilimi sonraki güç istasyonunun minimum gerilim seviyesine kadar yükseltir.
- Gerilim seviyesi güç istasyonu limitleri içerisine geldiği anda Powerbridge'in şarj edilmesi durur.



Şekil 4.15 Powerbridge kontrol diyagramı.

Powerbridgin gerilim düzeyi, ayarlı olduğu 620 V `da boşalmaya ve yine 695 V `a ayarlı olunan gerilim seviyesine ulaştığında frenleme enerjisini depolamaya başlar. 620 ve 695 V arasındaki hat gerilimi çalışma gerilimidir.

Almanya `da, 120 km`lik hat uzunluğu (101.5 km yerüstü, 18.5 km tünel), 44 istasyon (2 flywheel istasyonu, 1 photovoltaic sistemden besleme), 600 V DC geriliminde seyr iletkeni. 404 LRT (89`u DC kıyıcı, 315`I AC teknik) olan bir sistemde iki tren iki istasyon arasında eş zamanlı olarak harekete geçirildi ve bunun sonucu gerilim düşümü 400 V `a kadar geriledi ve 1. istasyondaki kesici devreyi açarak trenlerin durmasına neden oldu. Fakat Powerbridge kurulduktan sonra yapılan incelemelerde kesicinin devreyi açması günde 15 den sıfıra kadar düştü. (Gören, 2003)

4.5 Hızlı Trenler ve Maglev Sistemleri

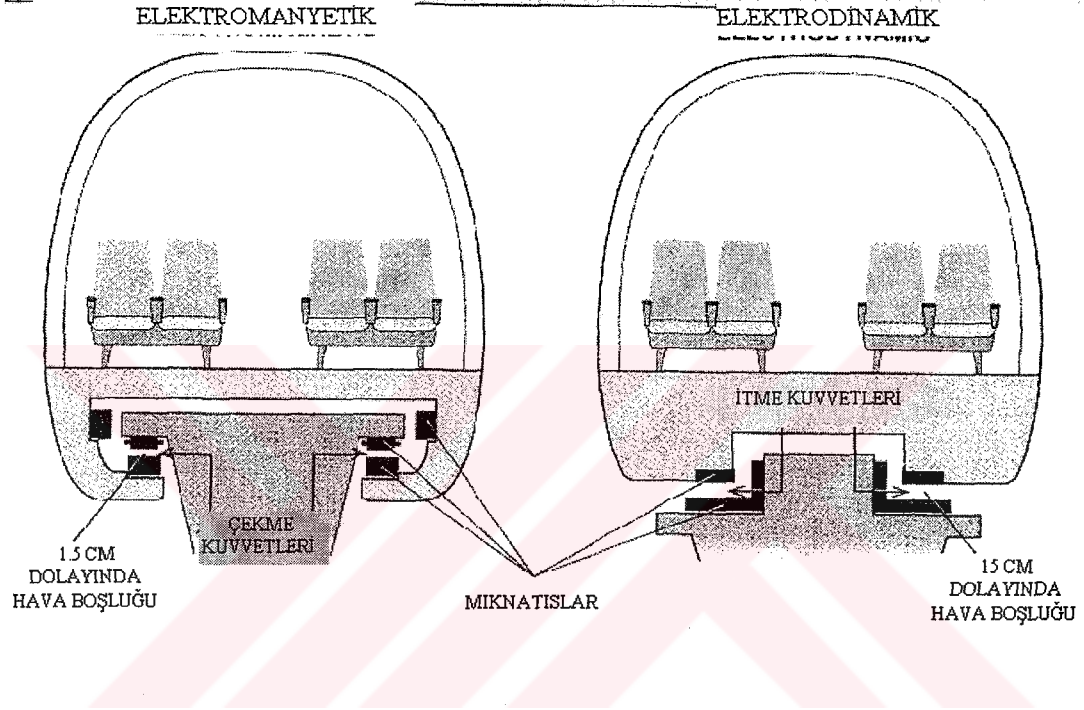
Elektrikli ulaşım sistemleri son yıllarda yalnız şehir içi ulaşımında değil şehirler arası ve hatta ülkeler arası uzun mesafeli ulaşım yöntemlerindedeki büyük gelişmeler sağlamıştır. Mevcut tren sistemleri yeni güç elektroniği sistemleri ve daha iyi kontrol edilen motorlarla trenler hız, konfor ve verimlerini arttırarak 20. yüzyılın başlarında olduğu gibi yeniden en etkin ulaşım ve taşımacılık yöntemi olma yolundadırlar. Ayrıca yalnız elektrikli lokomotif sistemlerinin hızlandırılması değil süperiletkenlik teknolojisinin kullanıldığı ve Maglev trenler olarak adlandırılan süper hızlı trenler uzun mesafeli ulaşım sistemlerinde gelecekte alternatifsiz olabilecek bir hızla gelişmektedir. Süperiletken maglev trenleri Japonya'daki testlerde 500 km/saat hızını aşmışlardır. Maglev'in yaratıcıları bu trenlerin sadece hızlı değil aynı zamanda da çok sessiz olduklarını ifade ediyorlar. Maksimum hızlarda dahi duyulan tek ses ise rüzgar sesi.

Maglev, manyetik güç aracılığı ile bir taşıtın kaldırılıp yönlendirildiği ve hareket ettirildiği teknolojiler için kullanılan genel bir terimdir. Maglev sisteminde yol boyu sıralanmış bulunan bobinlere, aracın mıknatıslarının kilitlendiği bir manyetik dalga yaratmak üzere alternatif akım verilir. Böylece aracın mıknatısları ile yol boyu sıralanmış bobinler, aracın doğrusal hareketini sağlayan, tek bir senkron motor oluşturur. Japonya'da, süperiletken maglev trenleri, yol üzerinde, aracın her iki ucunda bulunan süper soğutmalı, süperiletken mıknatıslar vasıtası ile yükseltiyorlar. Tren hareket ettiğinde, yol üzerinde bulunan iletkenlere verilen elektrik akımı, bir itme gücü oluşturuyor. Tren 100 km/saat hızı aştığı anda, tekerlekleri içe katlanıyor ve hat üzerinde havalanmaya başlıyor. Yani tren sürtünmesiz bir ortamda hattın üzerinde uçmaya başlıyor. Enerji tasarrufu için de mıknatıslar bir soğutma sistemi ile soğutuluyorlar. Maglev trenini durdurmak için ise akım yönü terse çevriliyor. Japon maglev teknolojisinin güncellenmiş bir versiyonu ile yolcu vagonlarının tam dolu olarak 35-50 ton ağırlığa ulaşabilecekleri ve 30 km/saat hızdan sonra da hat üzerinde yüksekebilecekleri öngörülüyor [3], [4]

1960'larda temelleri atılan bu teknolojinin fikir babalarından Jim Powell, süperiletken mıknatısların elektrik akım dalgası ile itilmesini, bir sörfün su dalgası ile itilmesine benzetiyor. "Araç, ön veya arka rüzgarların etkisinden arınmış olarak her zaman AC dalgasının hızında hareket ediyor" diyor Powell. Inductrack adındaki rakip bir maglev teknolojisi de, oda sıcaklığında çalışan ve kompleks soğutma sistemleri gerektirmeyen sabit mıknatıs sistemlerini öngörüyor. Bu basit yapı ile, trenler 2 km/saat hızda bile yüksekebilecekler. Sistemi geliştiren Lawrence Livermore Ulusal Laboratuvarından Dick Post,

sistemin yürüme hızında bile çalıştığını söylüyor. Indutrack teknolojisinin özellikle şehir içi ulaşımında iyi bir alternatif olacağı ifade ediliyor. Maglev trenlerde araç hızı bobinlere verilen akım frekansının değiştirilmesiyle denetlenir. Kısaca açıklanmaya çalışılan bu ilkeye dayalı olarak iki farklı sistem geliştirilmiştir. [3], [4]

Şekil 4.16'da elektrodinamik ve elektromanyetik maglev sistemleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.16 Elektromanyetik ve elektrodinamik farklı iki maglev sistemi.

Üzerinde Japonların çalıştığı itme modlu elektrodinamik sistemde, yol boyundaki bobinlerde akım 'endüksiyonu' için araç üzerindeki süperiletken mıknatıslardan yararlanılır. Bu etkileşim sonucu oluşan manyetik yastık, aracı yaklaşık 15 cm havaya kaldırır ve araç adeta alçaktan uçan bir hava aracı gibi yol alır. Japonlarca bu sisteme göre geliştirilen araçlar, 100 km/saat'in üzerindeki hızlarda manyetik yastık, daha düşük hızlarda ise tekerlekler üzerinde gitmektedirler. [8]

Japonların itme modlu elektrodinamik sistemi geliştirme çalışmaları ülkenin Demiryolu Teknik Araştırmalar Enstitüsü ile büyük mühendislik firmalarının işbirliği ile yürütülmektedir. Prototip olarak geliştirilen ML-500R, Miyazaki yakınlarında Kyushu adasında 1977 yılında açılan ve en küçük dönemeç yarıçapı 10 kilometre olan yedi kilometrelik deneme hattında çalıştırılmıştır. Burada 1979 yılında maglev için rekor değer olan saatte 517 kilometrelik hız gerçekleştirilmiştir. Daha sonra geliştirilen prototip taşıt, 42,7

kilometrelik, ticarileşme öncesi deneme ve gösteri hattında deneme seferlerine 1997 yılında başlayacaktır. Bu çift yönlü hat, tünelden saatte 500 kilometre hızla geçiş de dahil olmak üzere, işleyen bir sistemin hemen tüm yönlerinin denenmesini sağlayacaktır. Projenin destekleyicileri 2005 yılında Tokyo ve Osaka arasında ticari seferlerin başlayabileceğini düşünmektedirler. [3]

Almanya'da geliştirilen çekme modlu elektromanyetik sistemde ise, araçtaki, bilinen demir-çekirdekli (süperiletken olmayan) elektromıknatıslar yolun altından tutturulmuş ferro manyetik komponentler tarafından yukarı doğru çekilmektedir. Bu tür bir manyetik yastık (suspansiyon) doğal olarak kararlı (stabil) değildir ve aracın mıknatısları ile yol arasında 1.5 cm'lik açıklığın korunması hassas denetim gerektirmektedir. Sistemin bir üstünlüğü, hareketsiz durumda da araç manyetik yastık üstünde kalabildiğinden uzun yüksek-hız hatlarında olduğu gibi şehir içi ulaşım ve banliyö trenlerinde de kullanılabilir. [3]

Almanya'da çekme modlu elektromanyetik 'Transrapid' maglev sistemi Magnetbahn GmbH tarafından 1960 yılından beri geliştirilmektedir. Almanya'da, Emsland'da 1980'lerin başında prototipler için bir deneme hattı inşa edilmiştir. Sekiz şeklindeki 32 kilometrelik hat işletim anındakine benzer koşullar sağlamaktadır. Prototip olarak geliştirilen TR-07 taşıtı saatte 400 ile 500 kilometre arasındaki hızlarda beş yıl kadar düzenli olarak denendi. Son olarak Alman Hükümeti bu sistemin Berlin ve Hamburg arasındaki yeni bağlantı hattında kullanılmasına karar verdi. 2005 yılında inşası tamamlanacak olan hattın birleşik Almanya'da doğu-batı ulaşımını güçlendirecek programın önemli bir parçası olması beklenmektedir. [3]

ABD'de 1960'ların sonundan 1970'lerin ortalarına kadar Ford Motor Şirketi, Stanford Araştırma Enstitüsü ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü tarafından gerçekleştirilen maglev araştırmaları, on yıllık bir aradan sonra, 1980'lerde yeniden başlatıldı. Federal Hükümet desteği ile, Kuzey Amerika koşullarına ve ihtiyaçlarına uygun, ikinci kuşak maglev sistemini geliştirmeye yönelik bir teknoloji temeli oluşturmak için düşük sıcaklıklar fiziği, güç elektroniği, aerodinamik, denetim ve araç dinamiği alanlarında araştırma-geliştirme çalışmaları yapıldı. Dört yeni maglev sistemi tasarlandı. Bunların hiçbiri gerçekleştirilemedi; fakat bu çalışmalar senkronize itme; taşıt ve hat arasında büyük hava boşluklu elektromanyetik suspansiyonların süperiletken temeline dayananları gibi yeni kavramların geliştirilmesini sağladı. [3]

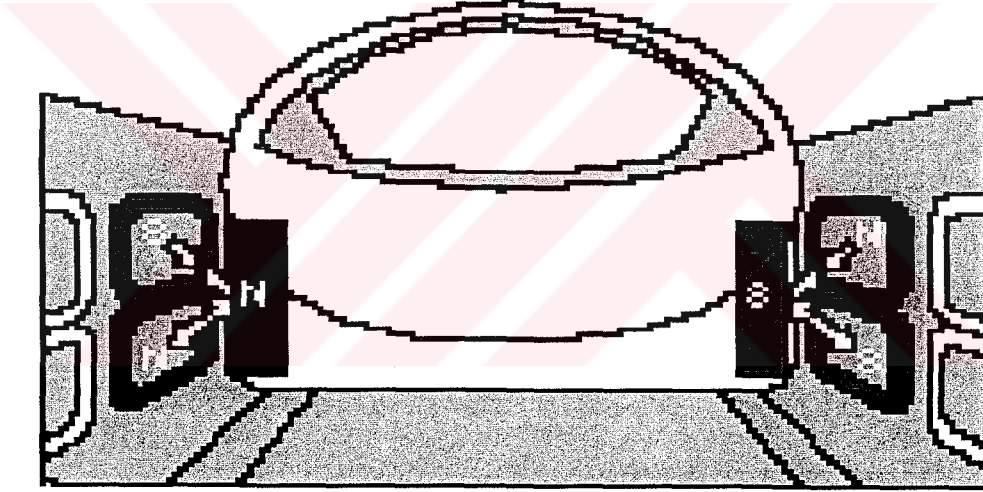
Berlin'nden Transrapid International firması ise elektromanyetik bir yükseltme sistemi kullanıyor. Süperiletken maglevlerden farklı olarak, elektromanyetik sistem tekerleklerle

ihtiyaç duymuyor, çünkü tren dururken bile mıknatıslar aktif olarak çalışabiliyor. Maglev trenleri hattın üzerinden 10-20 cm kadar yükselebilirken, elektromanyetik trenler 15 mm'den az yükseklikte hareket ediyorlar. Mıknatıslar hat arasındaki mesafe sensörlerle kontrol ediliyor ve akım bu mesafeyi 10mm'de sabit tutmak üzere otomatik olarak ayarlanıyor.

Shanghai'da Transrapid teknolojisi ile çalışan ve havaalanını şehir merkezine bağlayan 33 km uzunluğunda bir maglev hattının devreye alınma çalışmaları devam etmektedir. [4]

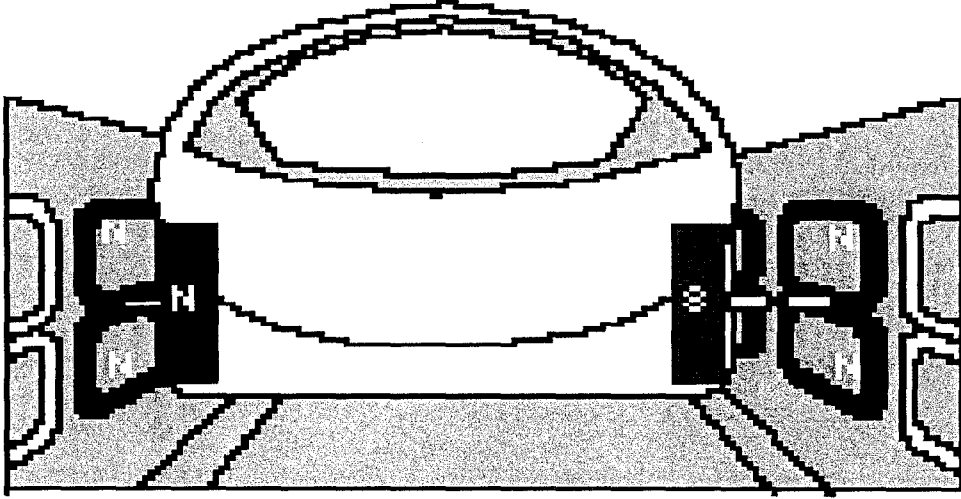
1.1.1 Süperiletkenli Maglev Sistemlerinin Çalışma İlkesi

Manyetik Kaldırma: '8' şeklindeki kaldırma bobinleri yolun yan duvarlarına yerleştirilmiştir. Trendeki süperiletken mıknatıslar bu bobinlerin eksenlerinin birkaç santimetre altından yüksek hızla geçerken bobinlerde bir elektrik akımı oluşur ve bobinler geçici olarak elektromıknatıs özelliği kazanır. Böylece, maglev aracındaki süperiletken mıknatısları eş zamanlı olarak yukarı doğru iten ve çeken kuvvetlerin etkisiyle araç yukarı doğru kalkar. [5]



Şekil 4.17 Manyetik kaldırma.

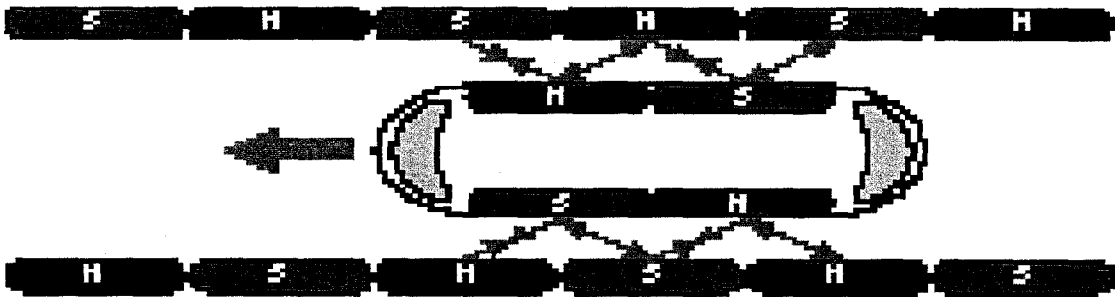
Yanal Klavuzlama: Karşı karşıya duran kaldırma bobinleri bir döngü oluşturacak biçimde yolun altından birbirine bağlıdır. Hareket halindeki maglev aracı, dolayısıyla de taşıdığı süperiletken mıknatıslar, yolun kenarından birine doğru kayarsa, söz konusu döngüde bir elektrik akımı oluşur ve bu akım, aracın yaklaştığı kenardaki kaldırma bobininde bir itme kuvveti, uzaklaştığı kenardaki diğer kaldırma bobininde ise bir çekme kuvveti doğurur. Böylelikle, araç her zaman yolun ortasından gider. [5]



Şekil 4.18 Yanal klavuzlama.

Aracın Hareketi: Yolun her iki tarafına, yan duvarlar üzerine yerleştirilmiş bulunan ve üç-fazlı alternatif akımla beslenen tahrik bobinleri, manyetik bir dalga yaratırlar. Araçtaki süperiletken mıknatıslar, yol boyu yayılan bu manyetik dalganın oluşturduğu çekme ve itme kuvvetlerinin etkisiyle hareket ederler; dolayısıyla, bağlı oldukları aracın da hareketini sağlamış olurlar.

Söz konusu manyetik dalga yayılımını, şekil 4.19`da basitçe gösterildiği gibi, yol boyu dizilmiş mıknatısların sürekli kutup değiştirmesi biçiminde düşünebiliriz. Yol boyundaki bir mıknatısın, örneğin, N kutbu karşısına gelen araç mıknatısının N kutbunu itip S kutbunu çekerek onun belli bir yönde hareketini sağladıktan hemen sonra yön değiştirebilmelidir ki, araç mıknatısının S kutbu karşısına gelince, bu kez de onu itip araç hareketinin sürekliliğini sağlayabilsin. [5]



Şekil 4.19 Aracın hareketi.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Şehirleşmenin hızla gerçekleştiği, insanların çoğaldığı, ulaşım ve taşıma ihtiyaçlarının her geçen gün arttığı büyük şehirlerde bununla birlikte insan ve mal taşıma gereksiniminin yine her geçen gün arttığı şehirlerarası, ülkelerarası hatta kıtalararası mesafelerde ulaşımın esas yükü ancak demiryolu sistemleri ile sağlanabilir. Buharlı ve disel enerji sistemli olarak yıllarca kullanılan demiryolları, günümüzde yalnız elektrikli ulaşım sistemleri olarak anılmaktadır. Bu tezdede incelendiği gibi elektrik sistemleri demiryolları için en kusursuz karakteristiklere sahip sistemlerdir.

İstanbul gibi büyük bir şehri göz önüne aldığımızda, çarpık şehirleşmenin olduğu 15 milyona yakın nüfusu ile insan hareketlerinin çok fazla olduğu bir şehirde ulaşımın karayolundan benzinli araçlarla sağlanması mümkün olmayacaktır. Bu yükün, lastik tekerlekli toplu taşıma araçlarına ağırlık verilerek de azaltılma ihtimali, düzenli, zaman aksaması olmayan hava şartlarından etkilenmeyen, kaza ve trafik engeli olmayan elektrikli demiryolu sistemlerine oranla daha az ihtimallidir.

Şehirinde ulaşımın elektrikli sistemler ile yapılması gürültü, hava kirliliği, şehir planlaması gibi dış çevreyi etkileyen olumsuz faktörlerin sıfır mertebelerinde olduğu daha güvenli ve ekonomik olacaktır. Elektrik enerjisi maliyeti itibariyle, yurtdışı kaynaklı benzin ve benzeri araç yakıtlarına oranla daha ekonomiktir. Ayrıca elektrik enerjisi ülke içi yerli kaynaklar ile elde edilebilir ve sürekli olduğundan dışa bağımlılık söz konusu değildir. Petrol ve türevleri ile sağlanan enerjilerin önümüzdeki 50 yıldan sonra Dünya üzerinde tükeneceği varsayımında yapılacak olursa elektrik ve elektrikli ulaşım araçları ile çok daha uzun vadeli plan ve yatırımlar yapmak stratejik açıdan daha mantıklı ve faydalı olacaktır. Ayrıca klavuzlu demiryolu sistemleri uygun sinyalizasyon sistemleri ile dizayn edildiği sürece ulaşım sektöründe kaza ve ölüm risklerini yok denecek seviyeye indirebilmektedir. Özellikle ülkemizde, otoyollarda meydana gelen trafik kazaları ve ölü sayıları göz önüne alındığında bu sistemlerin, ülke yaşam standartlarına ve ekonomisine getireceği kazanç göz arda edilemez. Elektrikli ulaşım sistemleri, Dünya üzerinde hemen hemen her türlü iklim ve hava şartlarında çalışabilen tek sistemlerdir. Elektrikli araçlar diğer yanma prensibi ile çalışan araçların aksine -40 C°`ye kadar problemsiz olarak çalışabilmekte olup yine yağmur, kar ve benzeri dış hava etkilerine karşı ulaşımında hiçbir aksama olmadan işletilebilmektedirler.

Elektrikli bir ulaşım sisteminin kurulumunda en önemli temel aşama, sistemin dizayn aşamasıdır. Çünkü her sistem için kendi coğrafi, ekonomik, kentsel ve teknolojik yapısına

uygun olarak farklı bir uygulama uygun olacaktır. Bu çalışma içerisinde verilen sistem karakteristiklerine ait parametreler ile sistem projelendirilir. Bu nedenle bir elektrikli ulaşım için her zaman diğerinden daha üstündür demek doğru olmayacaktır.

Elektrikli ulaşım sistemlerinin kurulum maliyeti çok yüksektir. Şehir içi ulaşımında yeraltı metro sistemlerinin cazip görünmesine rağmen özellikle kazı maliyetlerinin fazla olması, mümkün olduğu bölgelerde LRT, havaray ve benzeri sistemlerinin uygulanmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, yeraltı metro sistemlerinde diğer sistemlerden farklı olarak, kazı tünel çapını küçük tutmak için enerji kaynağı olarak 3. bir ray döşenerek sistem enerjisi buradan sağlanır. Ayrıca birçok metro sisteminde raylar nötr iletkeni olarak kullanılmaktadır. Bir elektrikli ulaşım sisteminde elektriksel olarak aslında en önemli seçim kullanılacak gerilim türü ve genliğidir. Elektrik ulaşım sistemlerinde hem AC hemde DC gerilim kullanılabilir. Bir elektrik lokomotifinde temel prensip; elektrik akımı ile lokomotifdeki motorları tahrik etmek ve dönmeye başlayan rotorun tren miline aktardığı tork kuvveti ile ray üzerinde bulunan tekerleklerin dönmelerini sağlamaktır. Matematiksel olarak bir trenin hareket edebilmesi için motor dönme momentinin; trenin ağırlığı, tam kapasitedeki yolcu yükü, rüzgar sürtünme kuvveti, güzergahtaki maksimum eğim ve kavislerce oluşturulan karşı yöndeki moment kuvvetinden büyük olması ile gerçekleşir. Günümüze kadar yapılan uygulamalar sonucu DC gerilim, DC motorun elverişliliği dolayısıyla tren cer sistemleri için benimsenen bir gerilim olmuştur. DC motorun aşırı yüklenebilmesi ve kolay kontrol edilebilmesi bunun en büyük nedenidir. Fakat güç elektroniğindeki büyük gelişmeler önümüzdeki yıllarda yapılacak elektrikli tren uygulamalarında AC gerilimin ana besleme gerilimi olarak daha avantajlı bir konuma geleceğini işaret etmektedir. Bundan sonra en önemli husulardan biride ekonomiklik prensibi doğrultusunda seçilecek işletme gerilimidir. Temel prensip olarak şehir içi ulaşım sistemlerinde 500 – 1500 V arası şehirlerarası ulaşım sistemlerinde 1500 – 5500 V arası gerilimler uygulanmaktadır. Gerilimi arttırmak şüphesiz hat kayıplarını azaltacaktır ama bunun yanısıra bazı dezavantajları da olmaktadır. İstanbul, Ümraniye-Üsküdar tramvay sisteminin dizaynı için yapılan 750 V DC bir sistemle 1500 V DC bir sistem arasındaki kıyaslama sonucu 1500 V DC sistemin bu hat için elverişli olduğu sonucuna varılmıştır.

Demiryolu sistemi için kamulaştırılacak alanların zorluğu nedeni ile ve coğrafi yapının zorunlu kıldığı durumlarda havaray sistemleri uygun alternatiflerdir. Büyükşehirlerde ana yollardaki karayolları üzerinde şehir içi trafiğini rahatlatmak üzere viyadüklü havaray sistemleri kullanmak pratik bir çözüm olabilir. Ayrıca boğaz geçiş yada benzeri yapıdaki iki nokta arası ulaşım hava ray sistemleri ile yapılabilir.

Elektrikli ulaşım sistemleri yalnız şehiriçi ulaşımı düzenlemek için değil uzun mesafeli hatlarda ulaşımı daha hızlı, ekonomik ve güvenilir yapmanın en iyi yoludur. Türkiye gibi büyük bir coğrafi alana sahip bir ülkede demiryolu sistemleri modernize edilerek ulaşım hızlı ve yeni teknolojilerle gerçekleştirilmelidir. Modern hızlı trenlerin en dikkat çeken süperiletken mıknatıslanma teknolojisinin kullanıldığı Maglev teknolojili trenlerdir. Dünya üzerinde hızla yaygınlaşan uygulamalarının olduğu bu sistemde esas; trenin magnetik alan kuvveti ile yerden kaldırılarak sürtünmenin minimuma indirilmesidir. Böylece trenler, eski tren sistemlerine oranla çok hızlı olabilmektedir. Japonya `da yapılan bazı uygulamalarda saatte 500 km `nin üzerindeki hız sonuçlarına ulaşılmıştır.

Sonuç olarak, insanoğlu varoluşundan buyana gereksinim duyduğu ulaşım taşıtlarına her geçen gün daha fazla muhtaç haline gelmektedir. Elektrikli ulaşım tüm parametreleri ile ulaşım sektörünün günümüzde ve gelecekteki en önemli yıldızı olmaya adaydır. Dünya`nın en büyük sanayi sektörlerinden biri olan ulaşım sektöründe ibre her geçen gün elektrikli ulaşım yönüne kaymaktadır. Elektrikli ulaşım sistemlerine ve teknolojisine sahip olan ülke ve şehirler problemlerini daha hızlı çözecek ve kalkınmalarını daha hızlı gerçekleştireceklerdir.

KAYNAKLAR

Açıkbaş S. Ve Söylemez M.T., (2004), “Energy Loss Comparison Between 750 VDC and 1500 VDC Power Supply Systems Using Rail Power Simulation” İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul Municipality, İstanbul Technical University, Electrical Engineering Department, İstanbul.

Akın E., (1999) “PCPICE Programı Kullanılarak Modern Yakın Mesafe Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Tahrik Düzenlerinin İncelenmesi”, Doktora Tezi, 1999 İstanbul.

Arlı V., (2002) “Demiryolu Mühendisliği (Railway Engineering)” Eylül, 2002 İstanbul. (Tercüme edilen ana kaynak: V.A. PROFİLLİDİS Associate Professor Section of transportation Democritus Thrace University, Greece)

Caputo L., (2000), “Control of Energy Storage Device for Rail Vehicles”, ISSN 0280-5316 ISRN LUTFD2/TFRT--5647—SE, Department of Automatic Control Lund Institute of Technology, September 2000, Lund, Sweden

Garip M. ve Yazar M.M., (2004), “Farklı Raylı Sistemlerin Karşılaştırılması”, İstanbul Ulaşım A.Ş., İstanbul.

Gören E., (2003) “Energy Storage Device POWERBRIDGE ”, PILLER premium power Systems, İnform Elektronik A.Ş., İstanbul.

İstanbul Ulaşım A.Ş. (2000) İstanbul Ulaşım A.Ş. Metro Müdürlüğü Taksim-4 Levent Metrosu, İstanbul.

INTERNET KAYNAKLARI

[1] www.tcdd.org.tr

[2] www.railway-technical.com

[3] www.tubitak.gov.tr

[4] www.yapiworld.com

[5] www.rtri.or.jp/rd/maglev/maglev_2E.html

[6] www.lightrailnow.org

[7] www.tsd.org

[8] http://dutch.phys.strath.ac.uk/CommPhys2004Exam/Craig_Donaldson/apps/train.htm

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	30.12.1978	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1992-1995	Of Şehit Ahmet Türkkân Lisesi
Lisans	1996-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik - Elektronik Fak. Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2001-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Programı
Çalıştığı kurumlar		
	2002-2003 (03-10)2004	Ortadoğu Yatırımlar ve Dış Tic. A.Ş. Baydemirler tekstil ve Tic. A.Ş.

