

ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNİN
TAHRİK DONANIMLARINDA KULLANILAN
ELEKTRİK MOTORLARININ KARŞILAŞTIRILMASI
ve SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Elek.Yük.Müh. **Mebrure ŞANAL**

F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 17 Eylül 1992
Tez Danışmanı : Prof.Dr. Atif URAL (Y.T.Ü.)
Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Nusret YÜKSELER (İ.T.Ü.)
Prof. Oktay AYBAR (Y.T.Ü.)

İSTANBUL, Eylül 1992

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

Elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan tahrik motorları ile ilgili olan bu çalışmada, motorların nitelikleri, en önemli işletme karakteristikleri incelenerek karşılaştırılmıştır. Çeşitli ülkelerde halen kullanılmakta olan veya deney aşamasında bulunan sistem örneklerine de yer verilmiştir.

Böylesine çağdaş bir bilim dalını, yıllardır ülkemizde tanıtmaya ve öğretmeye çalışan hocam, Kocaeli Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Atif URAL'a uzun süren çalışmalarım boyunca göstermiş olduğu yakın ilgiden ve değerli katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarımın her döneminde rahat bir çalışma ortamı sağlayarak bana destek olan hocam Prof. Oktay AYBAR'a ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bilgisayar çalışmalarımda, bilgilerinden yararlandığım değerli arkadaşım, Ar.Gör. İhsan ÇANAKOĞLU'na ve Ar.Gör. Ferit ATTAR'a yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, bu süreç içinde bana yardımcı olan ve manevi desteğini gördüğüm eşim Elk.Y.Müh. Zeki ŞANAL'a da teşekkürlerimle.

İstanbul, 1992

İÇİNDEKİLER

ÖZET

SUMMARY

BÖLÜM 1 - GENEL BAKIŞ	1
1.1. Elektrikli ulaşım sistemlerinin tarihsel gelişimi	1
1.2. Elektrikli ulaşım sistemlerinin genel sınıflandırılması	10
1.3. Elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan tahrik motorları	19

BÖLÜM 2 - DOĞRU AKIM SERİ MOTOR

2.1. Giriş	21
2.2. Çalışma prensibi	24
2.3. İşletme karakteristikleri	27
2.4. Yol verme	32
2.5. Hız ayarı	33
2.5.1. Endüi devresi direnci değiştirilerek . .	34
2.5.2. Motora uygulanan gerilim değiştirilerek .	34
2.5.2.1. Kısıyıcı kontrol devresi ile hız ayarı	36
2.5.3. Akı değiştirilerek	37
2.6. Frenleme	38
2.6.1. Faydalı frenleme	38
2.6.2. Direnimsle frenleme	39
2.6.2.1. Seri uyardımla direnimsle frenleme	39
2.6.2.2. Serbest uyardımla direnimsle frenleme	44
2.6.3. Ters akım bağlantısı ile fren çalışma . .	46
2.7. Serbest uyardımlı motor	50
2.8. Uygulama alanları	56
2.8.1. Elektrikli ulaşım sistemlerindeki uygulama örnekleri (Örnek 1...Örnek 21) .	56

BÖLÜM 3 - BİR FAZLI KOLLEKTÖRLÜ SERİ MOTOR

3.1. Giriş	113
3.2. Çalışma prensibi	114
3.3. İşletme karakteristikleri	119
3.4. Yol verme	123
3.5. Hız ayarı	125
3.6. Frenleme	125
3.7. Uygulama alanları	126
3.7.1. Elektrikli ulaşım sistemlerindeki uygulama örnekleri (Örnek 1)	126

BÖLÜM 4 - ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTOR	131
4.1. Giriş	131
4.2. Çalışma prensibi	132
4.3. İşletme karakteristikleri	146
4.4. Yolverme	147
4.5. Hız ayarı	147
4.5.1. Stator gerilimini değiştirerek hız kontrolü	147
4.5.2. Frekans ayarı ile hız kontrolü	148
4.6. Frenleme	151
4.6.1. Senkron üstü frenleme	151
4.6.2. Döner alan yönünü değiştirerek frenleme	152
4.6.3. Stator sargılarına doğru gerilim uygulayarak frenleme	153
4.7. Uygulama alanları	153
4.7.1. Elektrikli ulaşım sistemlerindeki uygulama örnekleri (Örnek 1...Örnek 4)	154
BÖLÜM 5 - LİNEER ASENKRON MOTOR	177
5.1. Giriş	177
5.2. Çalışma prensibi	178
5.3. İşletme karakteristikleri	186
5.4. Yolverme	191
5.5. Hız ayarı	192
5.6. Frenleme	192
5.6.1. Akımın yönünü değiştirerek frenleme	193
5.6.2. Senkron üstü frenleme	193
5.6.3. Stator sargılarına doğru gerilim uygulayarak frenleme	193
5.6.4. Kutup sayısını değiştirerek frenleme	194
5.7. Lineer senkron motor	195
5.8. Uygulama alanları	202
5.8.1. Elektrikli ulaşım sistemlerindeki uygulama örnekleri (Örnek 1...Örnek 7)	203
BÖLÜM 6 - ANAHTARLI RELÜKTANS MOTORU	262
6.1. Giriş	262
6.2. Çalışma prensibi	262
6.3. İşletme karakteristikleri	268
6.4. Yolverme	270
6.5. Hız ayarı	270
6.6. Frenleme	272
6.7. Uygulama alanları	272

BÖLÜM 7 - TAHRIK MOTORUNUN GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ 273

BÖLÜM 8 - KARŞILAŞTIRMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ. . 277

- 8.1. Elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan tahrik motorlarının karşılaştırılması 277**
- 8.2. Sonuçların değerlendirilmesi 280**

SEMBOLLER

REFERANSLAR

EK

ÖZGEÇMİŞ



Ö Z E T

Elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan tahrik motorlarının tek tek incelendiği bu çalışmada, motorların gücünün belirlenmesi ve güce bağlı olan diğer faktörlerin değişimi bilgisayar programı ile irdelenmiş ve sonuçta motorların karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmalar sekiz bölümden oluşmaktadır.

Genel sınıflandırmanın yapıldığı ilk bölümde, ulaşım sistemlerindeki olumlu gelişmelere de değinilmiştir.

Daha sonra tahrik motoru olarak en çok kullanılan doğru akım seri motor incelenip karakteristikleri ve ulaşım sistemleri açısından işletme özellikleri üzerinde durulmuştur. Konunun devamında doğru akım serbest ve seri uyarımlı motorlarla tahrik edilen ulaşım sistemleri örnekleri yer almaktadır.

İncelenen motor tiplerinden kollektörlü seri motorun yer aldığı bölümde, diğer motor tipleri ile karşılaştırması yapılabilecek özelliklerine kısaca değinilmiş ve motorun güncelliğini yitirmesi nedeniyle halen kullanılmakta olan bir sistem örneği yeterli görülmüştür.

Asenkron motor içinde aynı incelemeler yapılmış ve ulaşım sistemleri için uygun bir motor tipi olduğu özellikleri ve işletme karakteristikleri ile belirtilmiştir. Tahrik motoru olarak tercih edilir olmasının kanıtı ise inceleme sonunda verilen örnekleridir.

Diğer motor tiplerine göre daha büyük hızlarda ulaşım olanağı sağlayan lineer motorların yapı itibariyle diğerlerinden farklı olan yönleri, işletme özellikleri ve ulaşım örnekleri beşinci bölümde yer almaktadır.

Son motor tipi olan anahtarlı relüktans motoru henüz deneme

safhasında olduğundan, bu tahrik motorunun kullanıldığı ulaşım örneği yoktur. Bulunduğu bölümde sadece motorun kendisine ait özellikler ve çalışma şekli verilmiştir.

Motor tiplerinin incelenmesi bittikten sonra, elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılan tahrik motoru gücünün belirlenmesi ve incelenen tüm motorların karşılaştırılması son bölümde yapılmıştır. Ayrıca hangi motor tipinin kullanım açısından daha avantajlı olduğu da belirtilmiştir.

S U M M A R Y

In this thesis, the drive motors used in electrical transport systems are examined one-by-one, and also, identifying the power of the motors and changing of the other factors based on power are realized by a computer program and as a result the comparison of the motors are made. The content of all of the examines the thesis is divided into eight chapters.

In the first chapter, general classification is made and also discussed about the positive advances in the transport systems.

Then the most used drive motor is d.c. series motor, its characteristics and the operating properties about the transportation systems are reviewed in chapter 2. In the other part of this chapter, the examples of the transport systems which are derived with the dc series or separately excited motors.

Chapter 3 includes dc commutator series motor. The properties of this type of motor, which can be compared with the other types of motors and only one system example is given because of the motor's using is not much anymore.

The same examines are made for induction motor in chapter 4 and discussed that it is a preferable suitable motor type for transport systems by reviewing its specialities and operation characteristics. The proof of the motor's preferable as derive motor is the various kinds of examples given at the end of this chapter.

The linear motors which give the possibility of transportation with greater speeds, the characteristics different from the others as structure, the operating properties and the transportation examples are reviewed in chapter 5.

In chapter 6, the last motor type, the switched reluctance motor is described. Because of it is yet in the test period, there is no transportation example given in which this type of drive motor is used. The only described things are, the motor's self specialities and the type of operation.

After the examining of the motor types is finished, the determining of the power of the motor used in electrical transport systems and the comparison of the whole motors reviewed are in the last chapter 7. In addition to the subjects, it is certified that which type of motor using has more advantages.



BÖLÜM 1

1. GENEL BAKIŞ

1.1. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

Elektrikli ulaşım, uzmanlar tarafından tanınmayan, güç elektronığının özel kullanım alanını ortaya çıkarmıştır. "Avrupa Güç Elektronığı Konferansı" Grenoble'da, ilgili kişilerce açıldı ve burada her şeyden önce güç elektronığının trafikte kullanımı üzerinde duruldu. Güç elektronığının elektrikli işletim sistemlerindeki başarıları kendini özellikle elektrikli ulaşım sistemlerinde ispatlamıştır. Çünkü endüstride demiryolu mühendislerini bu yöne iten bazı zorunluluklar vardı.

Taşıtların elektriki donanımları için yeteri kadar yer yoktu. Toplam kullanma süresinin miktarı ve maliyeti sığırda yaklaşmakta idi. Havai hattın mekaniki ve elektriki özelliklerinin iyi olması yanında ucuz ve dayanıklı olması gerekiyordu. Demiryolu mühendislerinin sadece güç elektronığı ile değil çevre ile ilgili problemlerle de ilgilenmeleri gerekiyordu.

Elektrikli ulaşım sistemlerindeki başarının nereye ulaştığını anlamak için geçmiş tarihine bir göz atmak gerekir.

Dinamonun icadı ve buna bağlı olarak enerji üretim tesisinin yapılmasından sonra karşımıza 1879'da ilk elektrikli hareket aracı çıkmıştır. Bu araç bile şu anda kullanılan bazı elemanlara sahipti. Seri motor karakteristikli kollektörlü motor, tüm

akslara kumanda eden kademeli anahtar ve tek kutuplu havai hat gibi. Siemens'ten Werner o zamanlar motorun düşük devirlerde yavaş fakat daha kuvvetli çekmeye sahip otomatik ayar karakteristiğini ortaya çıkardı. Bu buluştan uzun yıllar demiryolu mühendisleri yararlandı.

1979 yılında uzun mesafe trafik çağı başladı (ilk ulaşım aracının icadından 100 yıl sonra) BR 120 tipi beş lokomotif Alman demiryolları için yapıldı. Bu lokomotifler o zamandan bu yana sürekli çalışmaktadır. Şimdiye kadar yüksek hız trenleri (200 km/h) ve ağır yük trenleri (2000 t) olarak yaklaşık 7.000.000 km yol yapmışlardır. Lokomotif başına yaklaşık 1500 km/gün oranındaki bir verime sahiptirler. Bu lokomotifler ile güç elektronığının yarı iletken çağı başlamıştır.

Bu dönemde yapılan lokomotifler içinde en verimli olanı Avusturya demiryollarının BR 1044 modelidir. Bu İsveç imalatı olan BR Rc 3 tipi lokomotifin daha geliştirilmişidir. Lokomotifin ağırlığı 84 t ve hızı 160 km/h olarak tasarlanmıştır.

Kentlerdeki hareketliliğin giderek artması hızlanan ve ağırlaşan lokomotiflerin yapılmasına neden oldu. Böylece uzak mesafeler için yeni hızlı hatlar inşa edildi. Fakat bu hatların dezavantajı çok uzun ve yüksek meyile ihtiyaç göstermeleriydi. Ekonomik bakımdan kollektörlü motora sahip lokomotiflerin sonu gelmiş oldu.

Demiryolu mühendisleri yüzyıl devrinde en sağlam olan üç fazlı asenkron motoru kullanmaya yöneldiler. Daha önceleri Avusturya, İtalya ve İsviçre demiryolları da kendilerini geleceğe hazırlamak ve elektrikli sistemlerini azami hıza ulaştırmak istiyorlardı.

Nihayet 1903 yılında 210 km/h'lik hıza ulaşıldı. Motorlar ve araçlar yapılan denemelerde mükemmel sonuç verdi. Ancak çevre

şartları sağlanamıyordu. O zamanın teknikleri ile tek kutuplu iletimden gelen enerjinin üç fazlı sisteme çevrilmesi mümkün olmadığından havai hat 3 fazlı enerjiyi taşımak zorunda kalıyordu. Aynı zamanda ayar mekanizmaları hızı hassas ayarlayacak kapasitede değildi. Bu nedenle frekans ve gerilim hıza göre ayarlanıyordu.

Bu problemler daha önceden bilinen basamak ve grup kontrollu doğru akım seri motorun kullanılmasına yönlendirdi. 1970 yılında ilk kez Almanya'da üç fazlı sistem dizel lokomotiflerde kullanıldı.

Böylece ilk adım olarak önce sadece hareket motorlarının ve bunların kumanda mekanizmalarının üç fazlı sistem çalıştırılmasıydı. Araç verimleri 0.5 ile 0.6 arasındaydı. Yakın mesafeler için uygun olabilirdi. Ancak uzak mesafelerde kompanzasyon sistemleri kullanılmasına karşılık bu durum pek iç açıcı değildi. Böylece 16 2/3 Hz tek fazlı alternatif akım ağı üzerine deneyler başlatıldı. Dizel motor-generatör sistemi DE 2500 lokomotifinde 4 qS ile değiştirildi. O dönem için bu büyük bir başarı idi.

Bu deneylerin sonuçlarına göre taşıtlar uzak mesafelere uygun şekilde yapılmaya başlandı. Yüksek hızlar artık kollektörlü motorların karakteristiğine bağlı değil bilakis rotorun mekaniki sağlamlığına bağlı idi. Üç fazlı asenkron motorun kafesli rotoru maksimum çekme kuvveti hız ve verime izin veriyordu. Yarı iletken akım regülatörleri çok rahat ayarlanabiliyor, böylece her teker aynı oranda kontrol edilebiliyordu. Bu teknik ile ray arasındaki fiziksel özelliklerin çok iyi kullanılmasını sağlıyordu. Bu motorlar kollektörlü motora göre daha hafif ve daha dayanıklı idi. Ayrıca çevre elemanlarının daha az ve basit olması yer ve zamandan tasarruf sağlıyordu. Böylece yüksek hızlar için gerekli

olan 4 ve 6 tekerden çekişi sağlamak mümkündür. Lokomotiflerin ağırlıkları 1/3 oranında hafiflemiş, istenilen en yüksek hıza ulaşılmış ve yük trenlerinde yüksek ivmelere erişilmiş oldu. Herbiri 120 ton ağırlığındaki iki lokomotif hızları 250 km/h'e varan 84 tonluk iki lokomotif ile değiştirilmişti.

Almanya'da gerilim transfer devresi üzerine çalışmalar yapılmıştı. Başlangıç dizel elektrikli lokomotif idi. Bu dizel motor senkron generatörü tahrik ediyordu. Bundan sonraki devre doğrultmaçlardan oluşuyordu. Doğru akım gerilim transfer devresi ve toplama raylı inverter, ilk lokomotiflerin hepsinde grup kumanda sistemi kullanılıyordu. Fakat, elektrikle çalışan bir fren tertibatı da düşünülmüştü.

Deneyler sonucunda bu devre sisteminin hareketli araçlarda kullanılmasına karar verildi. Gerçekten çok uygun olan ve 4 qS'li doğru gerilim transfer devresi, giriş devresi olarak kullanıldı. Yüksek hızlarda ve dinamik frenlerin kullanılmasının şebeke etkilenmelerinden kaçınmak için özellikle tavsiye edilmekteydi. Mühendislerin en büyük arzusu enerji kaybına yol açmayacak şebeke frenleri elde etmek idi. Bu sistem şebeke freninin kullanılmasını sağlamıştı. Güç devresinde ayrıca değişiklik yapmaya da gerek kalmamıştı. İşletim sırasında devre değişikliği yapmadan frenler kontrol altında tutulabiliyordu. Deneyler dağ ve vadi yolculuklarında harcanan enerjinin % 40'ının geri kazanıldığını göstermiştir. Yakın mesafelerde ise bu değerler % 20 - % 30 arasında idi. Bu da tüm hatlarda ortalama % 11 ila % 12 arasında bir enerji kazancına neden olmuştur.

İkinci tercih ise verim faktörünün $\eta = 1$ olması ve besleme şebekesinin tamamen kullanılmak istenmesi bu tür bir devrenin zorunluluğunu ortaya koymuştur. Ölçümler verim faktörünün sadece sıfır hızda bir'e yaklaştığını göstermiştir.

Üç fazlı işletimli tek büyük lokomotif serisi BR120'dir. Bu lokomotifler 1988 başında teslim edilmiştir. O güne kadar da üç fazlı sistemle ilgili hiç bir şikayet çıkmamıştır.

Daha sonraları masrafları en aza indirebilmek için senkron ve asenkron motorlarda da transfer devrelerinin uygunluğu araştırılmıştır. Bu prensibinde gerilim ayarı için transfer devresinden önce bir giriş elemanına ihtiyacı vardır. Çünkü doğrultmaç sadece üç fazi doğrultma görevi yapmaktadır.

Doğru akım şebekelerinde giriş elemanı basit bir doğrultmaçtan ibarettir. Fakat alternatif akım şebekelerinde bu düşük bir verim faktörü olan ayarlı bir doğrultmaçtır ki bu şebeke freni için uygun değildir. Giriş tarafındaki bu engel akım transfer devresinin artık asenkron motoru besleyen alternatif akım şebekesine uygun olmayacağını göstermiştir.

Senkron motorun devreye girmesiyle daha basit olan makinalar tarafından yönetilen akım transfer devreli doğrultmaçlar kullanılabilirdi. Bununla birlikte basit giriş akım doğrultmaçları ile verim faktörünün sadece 0.7 olması sağlanabiliyordu. Bu değer bazı yardımcı devre elmanlarıyla yükseltilebiliyordu, direnç ve şebeke frenleri bir ek masraf doğuruyordu. Burada mekanik olan ve kolaylıkla birbirine kaynayabilecek olan kontaklarda dikkate alınmalıydı. Fren sisteminin ulaşım esnasında sürekli kontrolü mümkün değildi.

Bu teknik Fransa'da da kullanılıyordu. İlk önceleri yukarıda belirtilen dezavantajları ile fakat daha sonra verim faktörü yükseltilmiş yeni giriş elemanları ile yapıldı. 10004 serisi deney lokomotifinde akım transfer devreli senkron motor devresi denenmiştir. Fakat deneyden sonra lokomotif kullanılmamıştır.

Akım transfer devreli 3 fazlı senkron motor 50 Hz'lik frekansa sahip şebekeler için en iyi karar olmuştur. Kondansatör

ve diğer elemanlar çok hafif ve küçük hacimlidir. 16 2/3 Hz'lik frekanslarda ise elemanlar ağırlaşmakta ve boyut olarakta büyümektedir. 1500 V doğru akım şebekesinde kullanıldığında da uygunluk sürmektedir. Böylece SCNF'nin "Sybic" olarak tanınan lokomotifleri çift sistem lokomotifi olarak yapılmıştır. Bu lokomotifler 1988 yılı sonunda kullanılmaya başlandı. Lokomotifler çift özellikli tek bir motora sahipti. BB 26000 lokomotifinin ağırlığı 90 t maksimum hızı 200 km/h, sürekli gücü ise 5.6 MW olacaktı.

Asenkron motorlu BR 120'nin verileri sürekli güç 5.6 MW, ağırlık sadece 84 t, maksimum hız 250 km/h, verim faktörü 1 olmuştu. Aynı zamanda şebeke frenine de sahipti.

SCNF'nin TGV-Atlantique'inde aynı devre kullanılmıştır. Ancak bunlarda her tekerin aynı devreden beslenen ayrı motoru vardır. Bunun gücü ise 8.8 MW'dır. Fakat bu güce sadece maksimum hız ile erişilebilmekteydi. Daha düşük hızlarda bu değer daha azdı. Doğru akım şebekelerinde her iki lokomotif de alternatif akım şebekelerindeki gücün sadece bir kısmına ulaşabiliyordu. 1988-1990 yıllarında TGV - Atlantique kullanıma hazır olacaktı. TGV - Atlantique'in tahrik sistemi Sybic lokomotifinden farklı olacaktır. İlave parçalar ile verim faktörünün 1 olması sağlanacaktır.

Almanya'daki uzak mesafe trafiğinin gelişmesi tamamen üç fazlı gerilim transfer devreli ve kafes rotorlu asenkron motora bağlanmıştır. Başlangıç noktası DE 2500'dür. Bundan sonra dizel lokomotiflerden, endüstri lokomotiflerinden, uzak mesafe lokomotiflerinden vazgeçilmiş oldu. Bunların ilki olan ICE (Intercity Experimental) deney yolunda 500 km/h hat deneyinde ise 406 km/h'lik bir hıza ulaşmıştır.

Bu ilerlemenin sebebi sadece yarı iletken tekniklerinin güç

1983 yılından bu yana üç fazlı tahrik sistemli araçlar düzenli olarak mikroişlemci kumanda sistemleri ile kullanılmaktadır. Çünkü bu sistemler minimum bakım ve ayarlama gerektirmektedirler ve son derece güvenlidirler.

Sistemin özellikleri:

- Genişletme ihtiyacına iyi cevap vermesi,
- Birbirine uyum sağlayan mikroişlemci ünitelerinin bulunması,
- Assambler ve öteki dillerde programlanabilir olması,
- Arızaların ve gelişmelerin gözlenebileceği bir monitörün olması ve buna benzer özellikler.

En son özellik, modern demiryollarında aranan kolay arıza tespiti, arızanın kayıt edilmesi ve arızanın giderilmesi konusunu karşılamaktadır. Böylece bakım personeli arızaları aramadan hemen arızalı noktaya giderek zaman kazanmaktadır.

Akım regülatörlerinin gelişmesinin en büyük amacı, bakım masraflarının hacmin ve ağırlığının en aza indirilmesidir. Üç fazlı sistemlerde akım regülatörlerinin soğutması yağ ile yapılmaya başlanmıştır. (BR 120 trenleri). Böylece yüksek izolasyon verim ve arıza yapmama amacına ulaşılmıştır.

BR 120 ve ICE tipi lokomotiflerde yakın zamanlarda cebri akım değişmeli tristör devrelerinin yerini GTO tristörleri almaya başlamıştır. Yakın mesafelerde ilk adımda GTO tristörleri Berlin şehir treninde akım transfer devre inverteri olarak kullanılmıştır.

GTO tristörleri ile kumanda da, masrafın az olması ve frekansın en üst düzeyde tutulması gibi avantajları olması bu devrenin kullanılmasını kolaylaştırmıştır.

levrelerinde kullanılmasından değil, yarı iletken tekniklerinin ayar devrelerinde de başarıyla kullanılmasındandır. Çünkü kendi kendini ayarlayan basamak ve grup kontrollü kollektörlü motor, üç fazlı kısa devre rotorlu asenkron motor ile değiştirilmiştir.

Elektrikli trenlerde sadece elektroteknikğin çabası yeterli gelmemektedir. Bununla birlikte istenilen kuvvet bağını oluşturabilmek için ayrıca sekiz-dokuz mekanik elektriki sistem kullanılıp tamamen ayarlanması gerekmektedir. Şimdiye kadar salınım sistemleri ve onların bağlı bulundukları faktörler pek hesaba katılmamıştır.

Avrupa'daki demiryolu birliği yük trenlerinde 22 t tekerlek yükünde karar kılmıştır. Yani her tür trende 21 t tekerlek yüküne izin vardır. Bununla beraber dört tekerlek bulunması standartlara bağlanmıştır. Bugün arzulanan 5,6 MW sürekli güç ve 250 km/h'e yaklaşan maksimum hızdır. Bu da şunu göstermekteydi: tüm yollarda kullanılabilecek bir araç yapmak için büyük serilerde planlanmış ve ucuza mal edilmiş trenler yapılmasıydı.

Yakın mesafelerde kullanılacak lokomotiflerde aranan özellikler şunlardı: Küçük hacim, yüksek verim, minimum enerji sarfiyatı, minimum masraf, maksimum çalışma süresi. Bu nedenle yapılan çalışmalar sonucu sekiz motor yerine altı motor kullanılmasına karar verildi. Bu şekilde kollektörlü motorlara sahip araçlardaki teçhizatın 2/3'si kadarı kullanıldı.

Cadde ve yeraltı trenleri doğru akım sistemine bağlıydı. Bu nedenle en uygunu, bir giriş filtresi ile şebekeye bağlı bulunan darbe konvertörleri kullanmaktı. Bu sistemin tek basamaklı enerji değişimine ihtiyacı vardır. Bu devreler ilk defa Helsinki metrosu için yapılan lokomotiflerde düzenli olarak kullanılmıştır. Buradaki dezavantaj sistemin pahalı olmasıydı. Bu sebepten Rotterdam şehir treninde kullanılmıştır.

Bu teknik uygulama alanı doğru akım uzun mesafe trenlerine göre daha düşük gerilim seviyeli olan yakın mesafe trenleridir. Japonya'da bu sistem yakın mesafeler için çok uygun olduğundan büyük GTO tristörleri özel bu iş için geliştirilmiştir. Bu sistemle çalışan ilk araçlar bugün hizmettedir.

Bugün işletim arızalarında ve geri beslemelerdeki koruma ve işletim davranışının nasıl olacağı gibi sorular henüz cevap bulamamıştır. Fakat şüphesiz bu sistem doğru akım şebekelerindeki tek basamaklı enerji dönüşümünün gelişmesini şimdiye kadar kullanılan akım transfer devre inverterli, üç fazlı güç transfer levresine göre daha çok tamamlayacaktır.

Sonuç olarak; yakın ve uzak mesafedeki 1200'den fazla araçta üç fazlı güç transferi kendini ispatlamıştır. Alternatif akım şebekelerine uygun araçlarda gerilim transfer devre inverteri, doğru akım şebekelerine uygun araçlarda ise akım transfer devre inverteri görevini yapmıştır.

Bu sistemler daha az enerji sarfiyatına ve daha yüksek güçlere minimum bakım masraflarına ulaşabilmek için geliştirilmiştir.

Ayrıntılı iyileştirmeler yeni devre teknikleri ve mikro-işlemciler ile çalışan akım regülatörleri sayesinde başarılmıştır. Öteki güç besleme sistemlerine göre üç fazlı güç iletimi demiryolları için büyük avantaj sağlanmıştır. Bu şekilde demiryolları işletmelerinin masrafları ortalama % 30 azalmıştır.

GTO ve mikroişlemcilerin baş döndürücü gelişimi bundan sonra daha ucuz daha hafif ve basit araçların üretilebileceğini şimdiden göstermektedir.

Lineer motorlarla tahrik edilen yüksek hızlı trenler konusunda dünyada özellikle Alman, Japon ve Fransız bilim adamlarının büyük çabaları olmuştur. Alman Kraus - Maifei firması

bu konuda önemli çalışmalar yapmıştır.

Japonya'da yüksek hızlı temassız trenlerde süperiletken magnetik yastıklar ve lineer motorlar kullanılmaktadır.

1960'lardan önce lineer motor kullanımı için çalışmalara başlanmıştır. MLU 001 adlı taşıtla 1983 yılında 352 km/h maksimum hıza ulaşılmıştır. 1987'de MLU 002 adlı taşıtla 400,8 km/h'e çıkılmıştır. 1988 yılı sonlarında ICE ile DB'nin ortak yapımı olan taşıt 406,9 km/h'lik hızla dünya rekoruna ulaşmıştır. Günümüzde lineer motorların kullanıldığı temassız taşıtlarla 500 km/h hızın üstüne çıkmak için araştırma ve denemeler yapılmaktadır.

Şimdiye kadar adı geçen tahrik motorlarının dışında, 1970 yılından bu yana yürütülen çalışmalar endüstriyel amaçlı yeni bir motorun kullanımını gündeme getirmiştir. Bu da Anahtarlı Relüktans Motorudur. Bu tür tahrik sisteminin, doğru akım ve alternatif akım tahrik sistemlerine oranla temel olarak anahtarlı relüktans motoru ve sürücü devrelerin basitliğinin olması nedeniyle bazı üstünlükleri ortaya koyduğu görülmüştür. Günümüzde bu motor tipinin tahrik sistemlerinde, özellikle elektrikli ulaşım tahriğinde kullanılabilmesi için çalışmalar sürdürülmektedir.

1.2. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNİN GENEL SINIFLANDIRILMASI

Elektrikle ulaşım ve taşıma, belli bir ağırlığın, belli bir uzaklığa, istenilen süre ve koşullarda elektrik motoru ile tahrik edilen düzenlerle taşınmasıdır.

1.2.1. KULLANILMASINA GÖRE SINIFLANDIRMA

1.2.1.1. Konvansiyonel sistemler

1.2.1.2. Konvansiyonel olmayan sistemler

1.2.1.1. KONVANSİYONEL SİSTEMLER

A. Uzak mesafelerde yapılan ulaşım

*** Ray üzerinde yapılan ulaşım**

(Demiryolları, yeraltı metroları, tramvaylar)

*** Yol üzerinde yapılan ulaşım**

(Dizel elektrikli otobüs, trolleybüs, akülü taşıt gibi).

*** Deniz üzerinde yapılan ulaşım**

(Elektrik tahrik pervaneli şilepler gibi)

B. Yakın mesafelerde yapılan ulaşım

*** Havai taşıyıcı teleferikler**

*** Dağ demiryolları**

*** Asansörler**

*** Gemi yükleme ve boşaltma makinaları.**

1.2.1.2. KONVANSİYONEL OLMAYAN SİSTEMLER

*** Transrapid (Transurban, Magnetik yastıklı tren)**

*** H. Bahn, M. Bahn (Üst Yollu Elektrikli Ulaşım Sistemi)**

*** Elektrikli Otomobil (Akülüdür, akü boşalınca kadar gider.)**

*** Yürüyen kaldırımlar**

*** Tele elektrikli otomobil**

1.2.2. ENERJİ ALIŞLARINA GÖRE SINIFLANDIRMA

- 1.2.2.1. Elektrik enerjisini dışarıdan bir akım alıcısı ile alanlar (Bunlar seyr iletkeni veya üçüncü raydan beslenen trolleybüs-metro-tramvay)
- 1.2.2.2. Elektrik enerjisini üzerlerindeki bir enerji deposundan taşıyan sistemler. (Bunların çalışma süresi enerji deposunun kapasitesine bağlıdır.)
 - a. Bir akümülatör bataryası (akülü taşıtlar)
 - b. Bir termik motor (Diesel motoru, buhar türbini, gaz türbini).

1.2.3. YAPIM ŞEKİLLERİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

- 1.2.3.1. Tek demiryolu taşıtı olarak ray üzerinde giden elektrikli taşıtlar.
 - A. Akım alışına göre
 - 1) Dışarıdan akım alanlar
 - 2) Üzerlerindeki bir enerji kaynağından akım alanlar (akümülatör, diesel elektrikli)
 - B. Kullanılma amacına göre
 - 1) Uzun mesafe demiryolu lokomotifleri
 - 2) Yakın mesafe demiryolu lokomotifleri
 - 3) Şehir yolları için ototren
 - 4) Tramvaylar için ototren
 - 5) Dağ demiryolları için ototren

1.2.3.2. Yoldan Yararlanan Ulaşım Sistemleri

- A. Akümülatörlü taşıtlar, insan ve yük taşımacılığında kullanılan elektrikli

kariyerler, elektrikli otomobiller.

B. Diesel elektrikli otobüsler veya yük kamyonları

C. Trolleybüsler, akü bataryalı veya diesel elektrikli olabilen tipleri de vardır.

1.2.4. AKIM CİNSİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

1.2.4.1. Doğru Akımla Beslenen Elektrikli Taşıtlar

1.2.4.2. Alternatif Akımla Beslenen Elektrikli Taşıtlar

a. Bir fazlı A.A. beslenen sistemler

1. 16 2/3 Hz'li sistem

2. 50 Hz endüstri frekanslı sistem

b. Üç fazlı A.A. beslenen sistemler

1.2.5. ENERJİ SİSTEMLERİNE GÖRE SINIFLANDIRMA

1.2.5.1. Buharlı Sistemler

1.2.5.2. Diesel Sistemler

1.2.5.3. Elektrikli Sistemler

1.2.1.1. KONVANSİYONEL SİSTEMLER

1.2.1.1.1. Tanım:

Duraklararası mesafelerin ve seyr sürelerinin kısa olması nedeniyle yolalma ve frenleme periyotlarının, motor gücünün ve enerji tüketiminin saptanmasında önemli bir faktör olan ulaşım sistemine, yakın mesafe ulaşım sistemi denir. Bunun tam tersi uzak mesafe ulaşım sistemidir.

Kentlere ve bunlara bağlı dış kesimlerde yakın mesafe ulaşımında yolcu taşınması görevini; genel olarak otobüsler, trolleybüsler, tramvaylar, metrolar ve banliyö trenleri, özel

olarak üst yollu sistemler, dişli tekerlekli demiryolları, teleferikler ve küçük yolcu gemileri yerine getirirler. Bunlara ek olarak, kent içi yakın mesafe ulaşım sistemi içinde taksileri, minibüsleri, motosikletleri, bisikletleri de saymak gerekir.

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

1.2.1.1.2. KONVANSİYONEL SİSTEMLERE ÖRNEKLER

TRAMVAY

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

Bir tramvay taşıtının olumlu olarak değerdendirilebilecek nitelikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- * Büyük bir sebeke yoğunluğu olduğundan ve güzergahın kentin oturma yapısına iyi uyabilmesi zorunluluğundan kısa yolalma ve hareket etme mesafeleri vardır.

- * Yol yapımında az bir giderle iyi bir yapısal esneklik sağlanır.

- * Basit ve sağlam taşıtlar ve tesislerin kullanılabilmesi nedeniyle büyük bir işletmesels güvenilirlik bulunur.

- * Durakların az yer gerektirmesi ve uygun yol taşıt ünitesi hacmi nedenleriyle kent yapısına kolay ve iyi uyabilirlik

niteliği vardır.

Bu olumlu niteliklerin yanında olumsuz olarak sayılabilecek özellikleri vardır:

* Kent içi yol trafiğinin neden olduğu tıkanıklılıklar sonucunda taşıma hızı küçüktür.

* Bu tıkanıklıklar sonucunda hareket programı zamanında gerçekleşemez.

* Taşıtta oturma yerlerinin azlığı, hareket sırasındaki gürültünün çokluğu, kötü havalandırma ve iniş-biniş durumları nedenleriyle istenilen bir hareket durumundaki rahatlık yoktur.

* Duraklarda kötü hava durumlarına karşın iyi bir koruma bulunmaz.

* Büyük personel gereksinmesi ve dolayısıyla büyük personel giderleri vardır.

Düşük bir ulaşım hacmi gerçekleşir.

HIZLI TRAMVAY

Hızlı tramvay, 600 m duraklararası mesafedeki kent içi yolları olduğu kadar, kent dışı yöreleri de kent içiyle bağlar. Büyük duraklararası mesafelerde saatte 100 km'lik maksimum hızlara saatte 40 km'lik değerlere yaklaşan yolculuk hızlarına ulaşılabilir. Bu tip raylı sistemde toplam 2 X 4 motorlu (tahrik dingilli) 2 otomotris bulunur. Tramvayda olduğu gibi ünite birleştirilebilir. Bunlarda gerekli durumlar için büyük frenleme ivmeleri verebilmelidirler. Bu sistem, tramvay'ın daha geliştirilmiş bir şeklidir. Dolayısıyla genel olarak, aynı olumlu ve olumsuz nitelikleri içerir.

BANLİYÖ TRENİ

Bu işletme şekli, esas olarak demir yolları üzerinde hızlı bir ulaşım sağlar. Kentin ana merkezlerini, dış bölgelere, komşu küçük kentlere bağlar. Bu görevi sisteme özgü taşıt cinsleri yaptığı gibi uzak mesafelere yapılan ulaşımında lokomotifli katarlarda yerine getirir.

Bu sistemin olumlu özellikleri genel olarak aşağıdaki şekildedir.

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

Olumsuz nitelikler olarak şu hususlar belirtilebilir:

- * Büyük hız ve ağır değişken akım seyr düzeni ve büyük sayıdaki yer olanakları nedenleri sonucunda oluşan ağırlıktan ötürü büyük bir enerji gereksinmesi gösterir.

* Uzak mesafe demiryolları güzergahınında kullanılması sonucunda daha az bir kullanılma sıklığı daha az oranda seyr programlarına uyabilme vardır.

* Değişken akım sisteminin kullanılması nedeniyle daha büyük bir alan gereksinmesi, daha büyük bir sistem kesiti gerektirir.

* Alt yapının kurulmasında daha büyük zorluklar bulunur.

METRO

Metro en güçlü yakın mesafe elektrikli ulaşım sistemidir. Kendine özgü kapalı bir sistemi ve taşıtları içerir ve gerek yer üstünde gerekse yer altında trafiği büyük oranda zorlaştıran kavşaklar yoktur.

Yaklaşık olarak, bir banliyö sisteminde bulunan olumlu özellikler bu sistemde de vardır.

Olumsuz nitelikleri ise biraz farklıdır.

* Yolcular için bu ulaşım sisteminin duraklarına gidip gelmeler daha zor, daha zaman alıcıdır.

* Aktarma yapma gerekliliği ve zorluğu vardır.

* Yol şebekesinin değiştirilmesinde veya genişletilmesinde, yapım işlemlerinin pahalılığı ve bu işin yavaş yapılması nedenleriyle zorluklar ortaya çıkar.

* Kent yapısına uyumda zorluklar gösterir.

1.2.1.1.3. SONUÇ

Yukarıda belirtilen bütün bu toplu taşıt sistemlerinde ortak olan genel hususlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

* Taşıt birçok ünitelerden oluşur.

* Besleme gerilimi 600-750 V DC gerilimidir.

* Küçük yapım hacminde ve ağırlığındadırlar.

* Sarsıntısız bir yol alma ve frenleme vardır.

* Ray açıklığı aynıdır.

Bunlara karşın farklı olan özellikler ise şu şekildedir:

* Birim başına düşen motor sayısı

* Motorların güçleri

* Frenleme ivmeleri

* En büyük hızlar

* Taban yüksekliği değerleri birbirinden farklıdır.

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

1.2.1.2. KONVANSİYONEL OLMAYAN SİSTEMLER

1.2.1.2.1. Tanım

Bugün kentlerde, bazı saatler dışında genellikle caddeler tıkalıdır, hava motorlu kara taşıt araçlarının çıkardığı egzost gazlarıyla kirlenmiştir ve gürültü çekilmez durumdadır. Kent taşıtları ve genel motorlu kara taşıtları hareketsiz, yeraltı taşıtı ise pahalıdır. Bütün büyük kentlerde, merkez bölgelerde trafiğin yoğunlaşması aynı problemleri ortaya çıkarmıştır. Kentin varolan şekilleriyle ve bugünkü trafik tekniğiyle bu sorunlar çözümlenemez. Bugünün konvansiyonel sistemleri olan özel motorlu taşıt (otomobil), genel motorlu taşıt (otobüs), yeraltı taşıtı (metro), kent taşıtı (tramvay, trolleybüs) hızlı kent taşıtı (kent içi treni) tesisleriyle beraber sürekli olarak düzeltildikleri ve

genişletildikleri durumda bile bulundukları kentte bir trafik boğulması oluşturmaktadırlar. Bu probleme çözümler getirebilecek alternatif sistemler geliştirilmiştir.

1.2.1.2.2. KONVANSİYONEL OLMAYAN SİSTEMLER ÖRNEK

TRANSURBAN

Bu sistem, dokunmasız magnetik kaldırmalı tahrik tekniğine göre çalışan tek kabinden veya kabinlerden oluşur. Yerüstünden veya yeraltından geçer, çevrenin ve ekonominin gerektirdiği koşullara göre saptanan durakları vardır. Tam otomatik işletme kumanda sistemi, her 30 ila 60 saniyede bir duraklarda bir taşıtın olmasını sağlayacak sık aralıklı bir trafik düzeni sağlar. Bir doğrultuda bir saat içinde 18000 oturulacak yer sağlayabilecek kapasitedeki birkaç kabinden oluşmuş sistem ile, yer problemi çözümlenmektedir.

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

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

1.3. ELEKTRİKLİ ULAşIM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TAHRİK MOTORLARI

Bugün elektrikli ulaşım sistemlerinde en çok klasik cer motoru olarak doğru akım seri motor ve modern güç elektroniğinin uygulaması olarak asenkron motor kullanılmaktadır. Diğer cer

motor türlerinden kollektörlü alternatif akım seri motor bugün artık yeni sistemlerde tercih edilerek kullanılmamaktadır. Lineer motor ise modern teknolojinin en son ürünlerinden birisi olmakla beraber sistem komponentlerinin ekonomik olmaması nedeniyle optimum bir çözüm vermemektedir. İleride çok yüksek hızlı, kentler ve ülkelerarası elektrikli ulaşım sisteminin temel tahrik motoru olabilecektir. Relüktans motoru ise karakteristikleri gereği elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılabilir bir motor olmakla birlikte henüz bugün pratik anlamda bir uygulama alanı bulmamıştır.



BÖLÜM 2

2. DOĞRU AKIM SERİ MOTOR

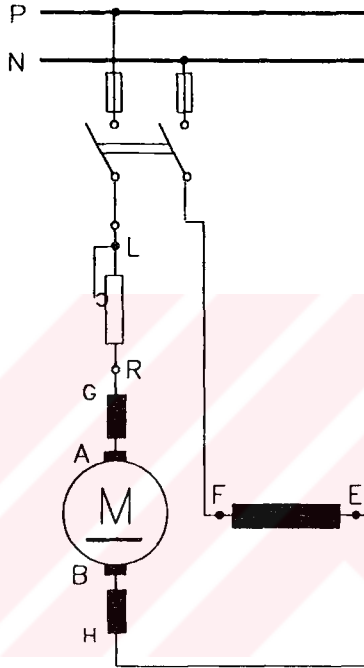
2.1. GİRİŞ

Doğru akım seri motor, elektrikle tahrikte, kren işletiminde ve özellikle elektrikli ulaşım sistemlerinde önemli bir yer tutar. Bu motorlar büyük yolalma momentine sahiptirler. Devir sayısının sabit kalması istenilen yerlerde kullanılamazlar. Seri motorları kullanırken dikkat edilecek en önemli husus motorun devamlı olarak bir yük altında çalıştırılmasıdır. Çünkü motor yüksüz çalıştırılırsa hız sonsuza yaklaşır ve motor tahrip olur. Ayrıca seri motor yüke hiçbir zaman kayış ve benzeri şeylerle bağlanmamalıdır. Zira böyle bağlantı araçları her an kopabilir ve motor yüksüz kalacağı için tahrip olabilir.

Devir sayısının yüke bağlı olarak değişimi Cer ve Kren işletiminde fayda sağlayan bir durumdur. Elektrikli ulaşım sistemlerinde doğru akımın, şönt ve seri motorlar üzerinde denenmesi sonucunda hızının azalması ile döndürme momentinin artması özelliğine sahip seri motor uygulamaya konulmuştur.

Yukarıda sözü edilen nedenlerden dolayı cer işletmesinde doğru akım şönt motor pratik olarak bütün önemini kaybetmiştir. Bu sebepten tramvay, banliyö ve endüstri katarlarında doğru akım seri motor kullanılmaya başlanmıştır.

Doğru akım seri motorunun bağlantısı, bütün devre elemanları: alan, komütasyon, kompanzasyon sargıları ve yolverme direnci endüi ile seri bağlıdır.



Şekil: 2.1 - Doğru akım seri motorun bağlantı şeması.

Uygulamada bu bağlantı şeması gerekli ölçü aletleri, motor koruma ve emniyet düzenleri ile donatılır.

Seri bağlamada uyarıtım bobinleri, endüi ile seri bağlı olduğundan bu bobinlerden de endüi akımı geçeceğinden bobinlerin kesiti kalın olur.

Magnetik devrede esas Amper X Sarım olduğundan büyük akım yanında sarım sayısında küçük olur. Bu tip makinalar, diğerlerinden kalın ve az sarımlı uyarım sargısı ile ayrılırlar. Bu sargıda yük akımının doğrudan doğruya uyarım görevini de yapması yolu ile makinanın uyarımı yüke bağlı olarak kendiliğinden ayarlanmış olur. Ancak uyarmanın ortaya çıkabilmesi için muhakkak bir yük akımı bulunması şarttır. Bu da makinanın daima yük altında çalıştırılması ile sağlanır.

Makinanın yükünün azalması halinde endüi akımı ve buna bağlı olarak uyarma akımı giderek düşer. Uyarma akımının düşmesi ile uyarma alan şiddeti giderek azalacağından makinanın devri yükselir. Bunun tam tersi yüklenmenin artmasıyla endüi akımı ve buna bağlı olarak uyarma akımı yükselir. Uyarma akımının yükselmesi sonucu döndürme momenti artar ve makinanın devri düşer.

Motorun akım geçen devresinde bir öndirenç varsa yüklenme anında devir sayısındaki azalmalar oldukça büyük olur. Böyle bir durumda yükselen endüi akımı öndirenç üzerinde bir gerilim düşmesine neden olur ve bunun sonucu endüi gerilimi düşer. Endüi geriliminin düşmesi ile devir sayısı azalır.

Seri motorda endüi akımının tümü uyarma sargısından geçtiğinden endüi akımı yükseldikçe uyarma akımıda yükselir ve bu yükselme motorun yolalması sırasında büyük olur. Seri motorların yolalma momentleri bütün diğer motorlardan büyüktür.

Bir doğru akım seri motorunun gücü bir aracı belli bir hızda yokuşta götürebilecek değerde hesaplanırsa, araç düz yola geldiğinde yani yük momenti azaldığında hızı artacak ve motor yaklaşık aynı güçte çalışacaktır. Böylece güç tüketimi de olmayacaktır.

Doğru akım seri motorlar bu özelliklerinden dolayı

elektrikli ulaşım düzenlerinde, diğer doğru akım motorları içinden seçilmiştir.

2.2. ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bir doğru akım motorunun çalışması prensip olarak endüi akımı ile stator alanının birbirini etkilemesi sonucu oluşan döndürme momenti ile açıklanır.

B endüksiyon alanı içindeki l uzunluğundaki endüi iletkenlerinden I akımının geçirilmesi ile F_1 döndürme kuvveti oluşur.

Bu kuvvetin ifadesi aşağıdaki formülle verilebilir.

$$F_1 = B \cdot I \cdot l \quad [N] \quad (2.1)$$

Burada;

B (T) Magnetik endüksiyon

I (A) Akım

l (m) Uzunluk

Bir doğru akım motorunun şebekeden çekeceği akım ile üretilen moment motorun miline bağlı olan iş makinasının yük momentini karşılayacak değerde olmalıdır. Her yükte döndürme momenti en az yük momentine eşit olmalıdır.

Doğru akım motorları sabit gerilim kabulü ile imal edildiklerinden karakteristikleri de bu kabule göre çizilir.

Hesaplamalarda mil momenti yerine, elektromagnetik moment kullanılır. Bu moment mil momentinden biraz daha büyüktür, fakat kullanım için daha pratiktir.

Doğru akım makinaları için genel moment ifadesi:

$$M = K_a \cdot I_a \cdot \phi_a \quad [N.m] \quad (2.2)$$

şeklindedir.

K_a () Moment sabiti

I_a (A) Endüi akımı

ϕ_a (Wb) Akı'dır.

Burada;

$$K_a = z \cdot \frac{p}{a} \cdot \frac{1}{2} \quad (2.3)$$

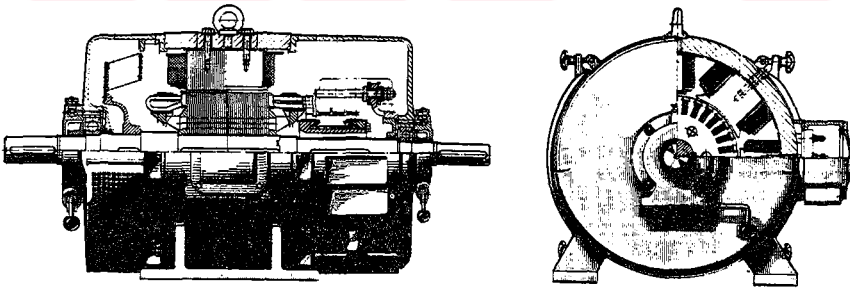
z () Endüideki toplam iletken sayısı

p () Çift kutup sayısı

a () Endüi sargısındaki paralel
kol sayısı

Motor yükünün artmasıyla, motor hızının azalması problem değilse ve büyük bir yolalma momentine ihtiyaç varsa doğru akımla çalışan motorlar içinden seri motor tercih edilir.

Elektrikli ulaşım sistemlerinde arzu edilen bir durum olan; moment arttıkça hızın azalması, moment düştükçe de hızın artması isteği tam yükten yararlanmak içindir. Bu da ancak doğru akım seri motorları ile sağlanır.



Şekil: 2.2 - Bir doğru akım motorunun kesiti.

Bir doğru akım makinasında endüklenen e.m.k

$$E_a = K_a \cdot n \cdot \phi_a \quad [V] \quad (2.4)$$

şeklindedir.

K_a () Endüklenen hareket gerilimi sabiti

n (d/d) Devir sayısı

ϕ_a (Wb) Akı'dır.

Burada;

$$K_a = z \cdot \frac{p}{a} \cdot \frac{1}{60} \quad (2.5)$$

Moment ifadesi:

$$M = K_a \cdot I_a \cdot \phi_a \quad [Nm] \quad (2.6)$$

şeklindedir.

K_a () Moment sabiti

I_a (A) Endüi akımı'dır.

Buradaki K_a sabiti daha önce formül (2.3)'de belirtildi.

Gerilim ifadesi:

$$V_a = E_a + R_a \cdot I_a \quad [V] \quad (2.7)$$

şeklindedir.

V_a (V) Motora uygulanan gerilim

E_a (V) Endüide endüklenen e.m.k

R_a (Ω) Endüi direnci'dir.

Devir sayısı:

$$n = \frac{V_a - R_a \cdot I_a}{K_a \cdot \phi_a} \quad [d/d] \quad (2.8)$$

şeklindedir.

Motorun şebekeden çektiği güç:

$$P = V_a \cdot I_a \quad [W] \quad (2.9)$$

Verim:

$$\eta = \frac{P_{\text{a11}}}{P} \quad (2.9a)$$

$P_{\text{a11}}(W)$ Milden alınan güç

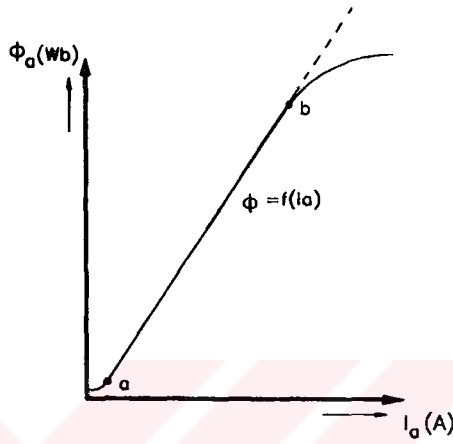
2.3. İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ:

Doğru akım seri motorda ϕ_a akısı yük akımına bağlıdır. Bu iki büyüklük arasındaki bağıntı Şekil: 2.3'de gösterilmiştir.

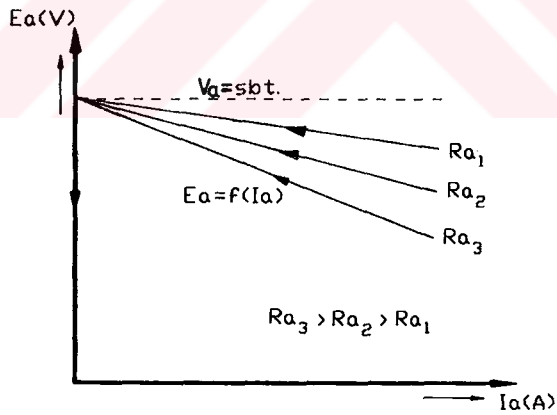
Seri motorda ϕ_a akısı endüi akımının bir fonksiyonudur ve akı ile akım arasında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$\phi_a = k_\phi \cdot I_a \quad [Wb] \quad (2.10)$$

Yük akımı sıfıra yaklaştığında yani yüksüz duruma geçildiğinde ϕ_a akısı da azalır ve artık mıknatıslanma akısı değerine yaklaşır. Bu sebepten $E_a = f(I_a)$ karakteristikleri Şekil: 2.4'de görüldüğü gibi koordinat sisteminin bir tarafında başlar, sıfır noktasında düşüş gösterir. Endüi devresindeki dirençlere bağlı olarak (R_{a1} , R_{a2} , R_{a3}), $E_a = f(I_a)$ eğrisi Şekil: 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil: 2.3 - Doğru akım seri motorun mıknatıslanma eğrisi.



Şekil: 2.4 - Seri motorda $E_a = f(I_a)$ karakteristikleri.

Denklem (2.10)'daki ϕ_1 uyarma akısı ifadesini, denklem (2.8)'deki, n devir sayısı ifadesinde yerine koyalım {7}.

$$n = \frac{V_1 - R_1 \cdot I_1}{K_{a1} \cdot k_f \cdot I_1} \quad [d/d] \quad (2.11)$$

$$n = \frac{V_1}{K_{a1} \cdot k_f \cdot I_1} - \frac{R_1}{K_{a1} \cdot k_f} \quad (2.12)$$

$$K_{a1f} = K_{a1} \cdot k_f \quad (2.13)$$

olarak tanımlanırsa,

$$n = \frac{V_1}{K_{a1f} \cdot I_1} - \frac{R_1}{K_{a1f}} \quad (2.14)$$

bulunur.

Bu formül sonucu çizilen $n = f(I_1)$ eğrisi bize devir sayısı ile akımın hiperbolik olarak değiştiğini gösterir.

Seri motorda devir sayısı yük akımına bağlıdır. Devir sayısı yük ile değişir. Yük ile birlikte devir sayısı ve karakteristiğin eğimide değişir.

Denklem (2.10), denklem (2.6)'da yerine koyulursa,

$$M = K_{a1} \cdot k_f \cdot I_1^2 \quad [Nm] \quad (2.15)$$

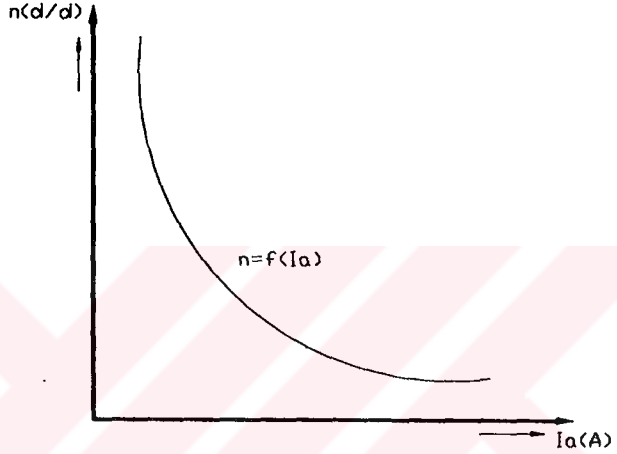
bulunur.

$$K_{a1f} = K_{a1} \cdot k_f \quad (2.16)$$

olarak tanımlanırsa;

$$M = K_{a1f} \cdot I_1^2 \quad (2.17)$$

elde edilir.



Şekil: 2.5 - Seri motorun devir sayısı akım karakteristiği
(Yük karakteristiği)

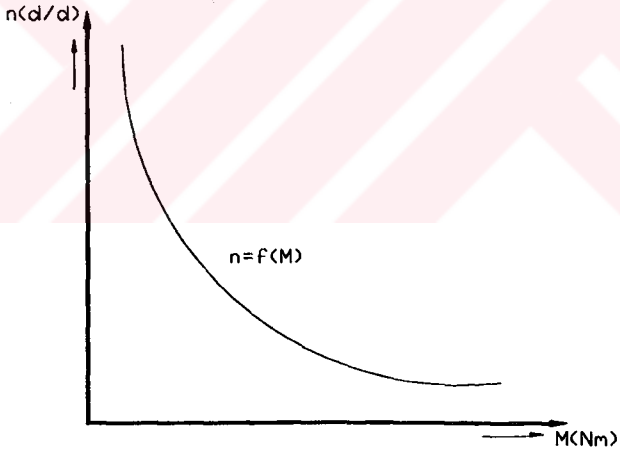
Doğru akım seri motorun devir sayısı moment karakteristiğini bulmak için;

Denklem (2.14) daha önceden bulunmuştur. Bu devir sayısı ifadesinde I_a akımı denklem (2.17)'den bulunarak (2.14) ifadesinde yerine koyulur. {7}

$$I_a = \sqrt{\frac{M}{K_{as}}} \quad [A] \quad (2.18)$$

$$n = \frac{V_s}{K_{as} \cdot \sqrt{\frac{M}{K_{as}}}} - \frac{R_s}{K_{as}} \quad (2.19)$$

$n = f(M)$ karakteristiği aşağıda görüldüğü gibi hiperbole yakın bir şekil oluşturur.



Şekil: 2.6 - Seri motorun devir sayısı moment karakteristiği

2.4. YOLVERME

Yol almanın başlangıcında motor hareketsiz olduğundan $n=0$, endüklenen e.m.k [denklem (2.4)] sıfır olur ve yol alma akımı endüi devre direnci ile sınırlanır. Küçük güçlü motorlar hariç, yol alma akımını nominal akım değerinin 1.5 ila 2 katı civarında sınırlamak için endüi devresine bir direnç ilave edilir. Bazı durumlarda yol alma akımı nominal değer dördü katı kadar büyük olabilir.

Yol verme direnci, yol verme işleminin başlangıcında devrede olur. Yol verme sırasında, motor devir sayısı arttıkça bu artışa paralel olarak devreden çıkartılır. Motor yol aldıktan sonra devrede bulunmaz.

Motora uygulanan gerilim ile endüide endüklenen gerilim arasındaki bağıntı (2.7) no'lu denklemde verilmişti.

Motora gerilim uygulandığında $n=0$ olduğundan;

$$I_{kd} \approx \frac{V_a}{R_d} \quad [A] \quad (2.20)$$

olur.

Burada;

I_{kd} (A) kısa devre akımı'dır.

Endüi direncinin küçük olması bu akımın fazla büyük olmasını sağlar. Endüi devresine seri olarak bağlanan R_v direnci ile maksimum akım;

$$I_{\max} \cong \frac{V_a}{R_t + R_{yv}} \quad [A] \quad (2.21)$$

nominal akımın 1.5 ila 1.6 katı olacak şekilde yol verme direnci tespit edilir. Motor genellikle bir iş makinası ile akuple olduğundan, yol alma sırasında beraberce harekete geçmeleri yani motorun yük altında yol alması gerekir. Bu nedenden uygun bir yol alma momenti sağlamak için (2.6)

$$M = K_t \cdot I_a \cdot \phi_a$$

ifadesinde görüldüğü gibi endüi akımının $I_a = I_{\max}$ değerinden başka ϕ_a akısının arttırılması uygun olur. ϕ_a akısının uyarma devresindeki uyarma akımı ayar direncinin kısmen veya tamamen devreden çıkartılması ile arttırılması mümkündür.

Yolverme dirençleri genellikle kademeli dirençler halinde yapılır. Bir kol sayesinde bu dirençler devreye sokulur. Bu şekilde yol verme klasik sistemde uygulanan yöntemdir.

2.5. HIZ AYARI

Devir sayısı ayarı cer ve kren işletiminde kullanılan seri motorlar için çok gereklidir.

Hız ayarı, prensip olarak:

2.5.1. Endüi devresi direnci değiştirilerek,

2.5.2. Motora uygulanan gerilim değiştirilerek

2.5.3. Akı değiştirilerek

yapılır.

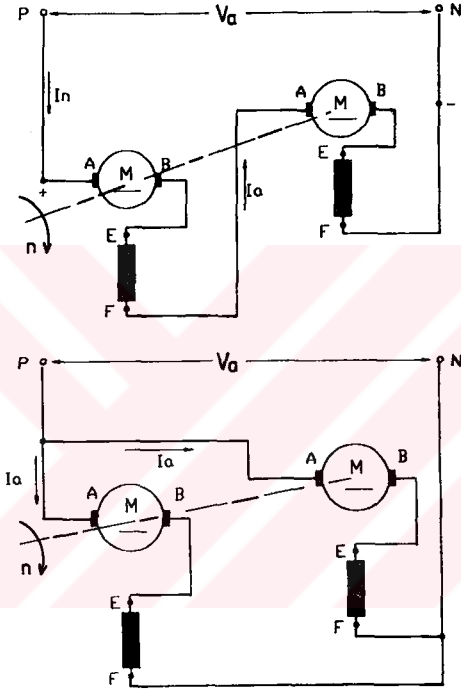
2.5.1. ENDÜİ DEVRESİ DİRENCİ DEĞİŞTİRİLEREK

Bu yöntemle hız ayarı, endüye seri kademeli direnç katılması ile yapılır. Yük moment ve yük akımının sabit olması halinde endü devresi direnci arttırıldığında devir sayısı düşer. Bu şekilde ayar tek yönlü ve kademelidir. Bu yöntemin en sakıncalı yanı seri bağlanan dirençteki ısı kaybıdır.

2.5.2. MOTORA UYGULANAN GERİLİM DEĞİŞTİRİLEREK

En ideal hız ayarı şeklidir. Motora uygulanan gerilim değiştirildiği zaman karakteristikler bozulmaz, çift yönlü ayar yapılır ve ayar alanı geniştir. Motora nominal gerilimin üstünde bir gerilim uygulanamayacağından, bu yöntemle devir sayısı, nominal devirin altındaki değerlere ayarlanabilir. Bu arada klasik iki motorlu sistemde seri, paralel bağlamayla bir çeşit gerilim kademe ayarı yapılabilir. Bu şekilde seri motorun endü gerilimini değiştirerek, motorun devirini kademeli olarak değiştirmek, elektrikle tahrikte çok kullanılır ve ekonomik bir yöntemdir. Doğru akım seri motorun kullanıldığı elektrikli ulaşım sistemlerinde genellikle birden fazla çift sayıda motor kullanılır. Bu motorlar doğru akım şebekesine önce seri sonra seri-paralel, daha sonra da paralel bağlanarak ortak devir sayıları kademeli bir şekilde ve ekonomik olarak ayarlanabilir.

Bu ayar şeklinde bir kademe bağlantısından diğerine geçiş ya elle kumandalı veya tam otomatik sistemlerle gerçekleştirilir. İki motorlu tahrikte seri bağlantıda motorlar aynı yük akımında yaklaşık olarak yarı devirle paralel bağlantıda tam devirle çalışırlar. Doğru akım seri motorun kullanıldığı doğru akımlı cer işletiminde bu metod kullanılmaktadır.



**Şekil: 2.7 - iki motorlu doğru akım tahrikinde
seri-paralel bağlantı ile devir sayısı ayarı.**

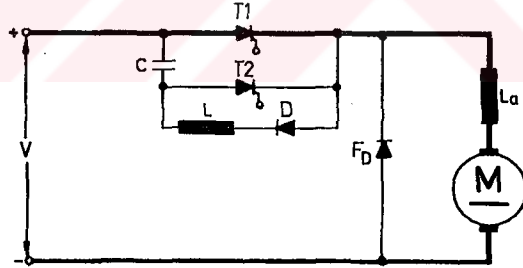
Motoru uygulanan gerilimin değiştirilmesi ile hız ayarı, en gelişmiş olarak güç elektronığı elemanlarından oluşan devrelerle yapılır.

Bu devrelere "kıyıcı devreler" denir.

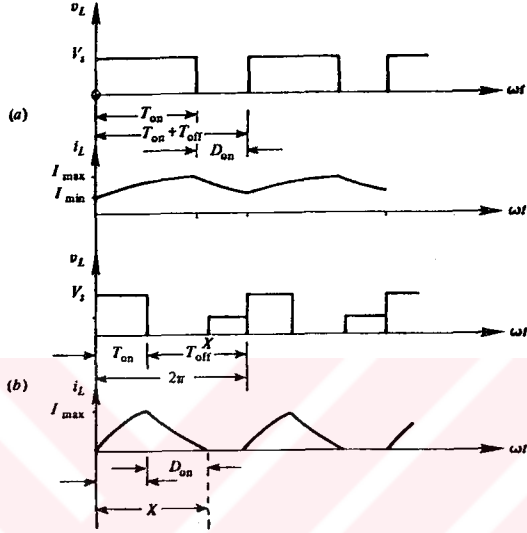
2.5.2.1. KIYICI KONTROL DEVRESİ İLE HIZ AYARI

Bu devre bir doğru akım seri motorun bir doğru akım kaynağından beslendiğı uygulamalar için kullanılır. Kıyıcı devre güç kaybına neden olan seri bağlı hız kontrol dirençlerini değiştirir. Kıyıcı devrenin bu değiştirmesi, motorun faydalı frenlemesini veya enerjinin bataryaya geri dönmesini sağlamak için kullanılır.{13}

Kıyıcı devrelerin tipik uygulama alanları elektrik bataryalı taşıtlar, şehirlerarası trolleybüslerdir.



Şekil: 2.8 - Doğru akım seri motor kıyıcı devresi.



Şekil: 2.9 - Endüktif yük için akım ve gerilim dalga şekilleri.

a) Sürekli yük akımı

b) Süreksiz yük akımı

2.5.3. AKI DEĞİŞTİRİLEREK

Uyarma alanının değiştirilmesi yani alan zayıflatma, uyarma sargısına paralel bir direnç bağlayarak, ya da uyarma sargısının bir kısmından uçlar çıkararak bu kısımdan akım geçmesini sağlayarak yapılır. Alanı zayıflatılan motorun momentti, nominal motor momentinden daha küçük olur. Fakat devir sayısı nominal devir sayısının üstündedir. Akının değiştirilmesi ile yapılan devir sayısı ayarı en fazla doğru akım seri motorunun

kullanıldığı elektrikli ulaşım sistemlerinde hızı yükseltmek amacıyla yapılır.

2.6. FRENLEME

Doğru akım seri motoru ve seri karakteristikli motorlar şönt motorlar kadar fren çalışmaya uygun makinalar değildir. Uygun koşullar sağlandığı takdirde üç farklı şekilde frenleme yapılabilir. Bu çalışma şekilleri aşağıda açıklanmıştır.

2.6.1. FAYDALI FRENLEME

Doğru akım seri motorunun faydalı frenlemede çalıştırılabilmesi için endüisine seri ve paralel dirençler bağlamak gerekir. Ancak bu şekilde işletme karakteristikleri düşey eksenini keserek 2. bölgeye geçerler. Motorun devir sayısı, karakteristikin düşey eksenini kestiği n_0 ideal boşta devir sayısının üstüne çıkarıldığında motor artık generatör olarak çalışır ve böylece faydalı frenleme gerçekleşir. Fakat bu şekilde frenlemede enerjinin önemli bir bölümü endüiye seri ve paralel bağlı dirençlerde ısı şeklinde tüketildiği için faydalanma derecesi oldukça düşüktür.

Frenlemeden yararlanılacak enerjinin önemli olduğu elektrikli ulaşım sistemlerinde bu iş için ikinci bir yardımcı alan sargısı kullanılır. Bu alan sargısı, motor çalışmadan faydalı frenlemeye geçiş için doğru akım şebekesinden serbest olarak uyarılır. Bu durumda seri motor, şönt veya kompund generatör özelliği kazanarak kolayca faydalı fren olarak çalışabilir. Bu şekilde bir faydalı fren çalışma elektrikli ulaşım sistemlerinde önem kazanır. Doğru akım seri motorlarının

ydalı frenlemeye olanak sağlaması bu tip motorun elektrikli aşım sistemlerinde tercih edilmesinin bir nedenidir.

2.6.2. DİRENİMLE FRENLEME

Doğru akım seri motorda direnimle frenleme iki farklı kilde uygulanabilir.

2.6.2.1 - Seri uyarımla direnimle frenleme,

2.6.2.2 - Serbest uyarımla direnimle frenleme.

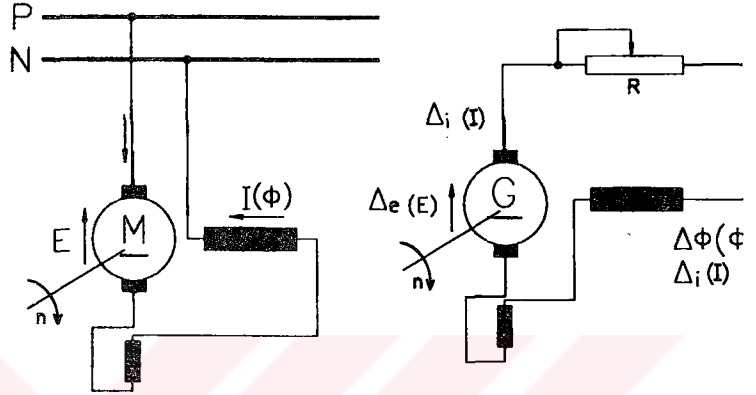
2.6.2.1. SERİ UYARTIMLA DİRENİMLE FRENLEME

Seri uyarımla frenlemede motorun uçları şebekeden ayrılarak seri alan sargısı devrede olduğu halde kademeli bir yolverme renci üzerine kapatılır. Ancak seri motorun bu bağlantı ile en olarak çalışabilmesi için bazı ön koşulların yerine getirilmiş olması gereklidir. Bu fren çalışma koşulları şunlardır:

a) Bağlantıda değişiklik koşulu

Motorun şebeke ile alan bağlantısı kesildikten sonra, devresi direnç üzerine kapatılmadan önce endüi veya uyarma sargısı uç bağlantıları değiştirilmelidir. Aksi halde motorun fren çalışması mümkün olmaz.

Motor çalışmadan fren çalışmaya geçişte devresi açılan motorun endüi akımı I değerinden sıfır değerine düşerken magnetik alan akısı $\emptyset$ değerinden $\Delta\emptyset$ değerine düşer. Bu remenans akısı ile akınanın kendi kendini uyararak fren olarak çalışması için bu ön koşulun yerine getirilmesi zorunludur. Şekil: 2.10'da doğru akım seri motorun, motor ve direnimle fren çalışma bağlantıları gösterilmiştir.



Şekil: 2.10 - Doğru akım seri motorun motor ve direnitle fren çalışma bağlantı şemaları.

Motor çalışmadan fren çalışmaya geçişte sadece seri alan sargısının bağlantısı değiştirilmiştir. Fren çalışmanın başında endüi akımı $I=0$, magnetik alan akısı $\Delta\phi$, devir sayısı n ve endüi elektromotor kuvvetinin değeri

$$\Delta e = k_e \cdot \Delta\phi, \quad [V] \quad (2.22)$$

dir. Bu ilk remenans geriliminden dolayı endüi içinde yük akımına zıt yönde geçen bu ilk frenleme akımının değeri;

$$\Delta I_{fr} = \frac{\Delta e}{\Sigma R_a} \quad [A] \quad (2.23)$$

Burada;

Δe (V) e.m.k

ΣR_a (Ω) Toplam endüi direnci'dir.

Alan sargısından aynı yönde geçen bu akım remenans akısına eklenen yeni bir alan meydana getirir. Bu akı ile birlikte endüi elektromotor kuvveti artar. Elektromotor kuvvetin artması ile endüi akımı ve endüi akısı artışı birbirini izler. Böylece makina kendi kendini uyartarak frenleme akımı toplam endüi devresi direncinin belirlediği bir değere kadar yükselir. Alan yönü aynı kalmakla beraber endüi akımının yönü değiştiği için bu sırada frenleme momentinin işaretide değişir.

b) Toplam endüi devresi direncinin kritik dirençten küçük olması koşulu:

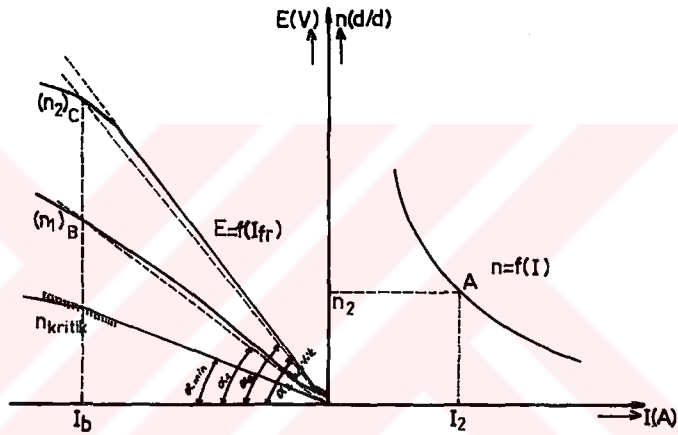
Doğru akım seri motorun direnimle frenlemeli çalışabilmesi için bağlantısında yapılan değişiklikten sonra diğer bir ön koşul: Toplam endüi devresi direnci, motorun o andaki devir sayısına ait $E = f(I)$ mıknatıslanma karakteristiğinin eğimine eşit olan kritik direnç değerinin altında olmalıdır.

Doğru akım seri motoru başlangıçta koordinat sisteminin 1. bölgesinde normal $n = f(I)$ karakteristiği üzerinde sürekli bir A çalışma noktasında I_1 yük akımı ve n_1 devir sayısı ile çalışırken şebekeden ayrılarak 1. ön koşul yerine getirildikten sonra $R_2 = R_a + R_f$ gibi bir kademe direnci üzerine direnimle frenlemeye geçirilirse motor çalışma (direnimle frenleme) durumuna geçirilmiş olur. Bu sırada endüi akımının yönü değiştirildiği için bu çalışma durumuna ait frenleme karakteristikleri koordinat sisteminin 2. bölgesinde bulunur.

Seri uyartımla direnimle frenlemeye geçildiğinde başlangıçtaki işletme değerleri: n_2 devir sayısı ile

$\Delta\phi_r$ ve Δe_r remenans değerlerinden ibarettir. Bu değerlerden yararlanarak makina kendi kendini ikaz eder ve kısa bir süre içinde endüi elektromotor kuvveti ve bununla birlikte frenleme akım ve momenti de artar.

Çalışmaları kolaylaştırmak için bu elektrik büyüklükler çok hızlı bir şekilde değişirken devir sayısının değişmeyerek n_2 değerinde sabit kaldığını kabul edelim.



Şekil: 2.11 - Seri uyarımla dirençle fren çalışmada

$E = f(I_{fr})$ frenleme karakteristikleri.

Uyarım sırasında endüi elektromotor kuvveti n_2 devir sayısına ait mıknatıslanma karakteristiğine göre yükselerek sonunda bir sürekli rejim değerine ulaşır. Karakteristik üzerinde sürekli çalışma noktası C ise, bu noktayı orijine bağlayan doğrunun eğimi toplam endüi devresi direncine eşit olduğu için bilindiği gibi bu doğruya direnç doğrusu adı verilir.

$$R_2 = R_A + R_1 = \frac{E_0}{I_0} = \operatorname{tg} \alpha_1 \quad [2] \quad (2.24)$$

Değişen endüi direnci halinde direnç doğrusunun eğimi ve mıknatıslanma karakteristiğinin sürekli çalışma noktası değişir. Sürekli çalışma noktasının karakteristik üzerindeki yeri ve sürekli çalışma geriliminin değeri toplam endüi devresi direncine bağlıdır. R_2 endüi devresi direnci yüksek tutulursa direnç doğrusunun eğimi artar ve kesişme noktası sağa doğru kayarak elektromotor kuvvet ve frenleme akımının değeri düşer. Dirençle birlikte eğimi artan direnç doğrusu, eğer mıknatıslanma karakteristiğinin lineer kısmı ile üst üste çakışırsa, bu durumda generatörün çalışması belirsiz olur, bu hale akord hali denir. Rototrol ve reguleks gibi eski özel kontrol generatörlerinde bu akord halinden faydalanılır. Mıknatıslanma karakteristiğine teğet olan bu direnç doğrusuna kritik direnç doğrusu denir. n_1 devir sayısı için kritik direncin değeri:

$$R_{2\text{kritik}} = \operatorname{tg} \alpha_{2\text{kritik}} \quad [2] \quad (2.25)$$

dir.

Bu durumda doğru akım seri generatörünün kendi kendine uyararak direnimle fren olarak çalışabilmesi için toplam endüi devresi direncinin verilen devir sayısına ait kritik direnç değerinin altında olması gerekir.

Kritik direncin değeri devir sayısına bağlıdır. Frenleme sonucu devir sayısı düştükçe frenlemenin devamı için endüi devresi direncinin de azaltılması gerekir. n_1 devir sayısında aynı frenleme akımını elde etmek için endüi devresi kademe direncinin değeri:

$$R_1 = \frac{E_b}{I_c} = \operatorname{tg} \alpha_1 \quad [2] \quad (2.26)$$

olmalıdır. Devir sayısı düşmeye devam ettiği takdirde son ayar kademesi (kısa devre) durumuna geçilir. Bu durumda direnç doğrusunun eğimi:

$$\operatorname{tg} \alpha_{\min} = R_0 \quad [2] \quad (2.27)$$

dür. Bu minimum eğime sahip direnç doğrusuna teğet olan mıknatıslanma karakteristiğine ait devir sayısına kritik devir sayısı denir. Fren çalışmada devir sayısı bu değerin altına düştüğü zaman frenleme etkisi ortadan kalkar.

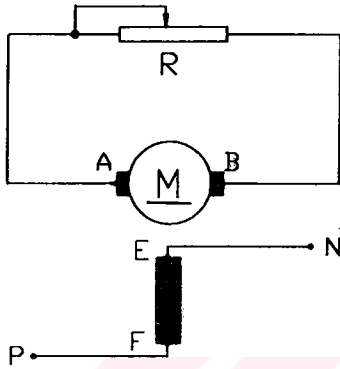
2.6.2.2. SERBEST UYARTIMLA DİRENİMLE FRENLEME

Kendiliğinden uyartımlı doğru akım seri motorun direnimle fren çalışmasında karşılaşılan güçlükleri ortadan kaldırmak ve daha etkili bir frenleme elde etmek için Şekil: 2.12'de gösterilen frenleme bağlantısı kullanılır.

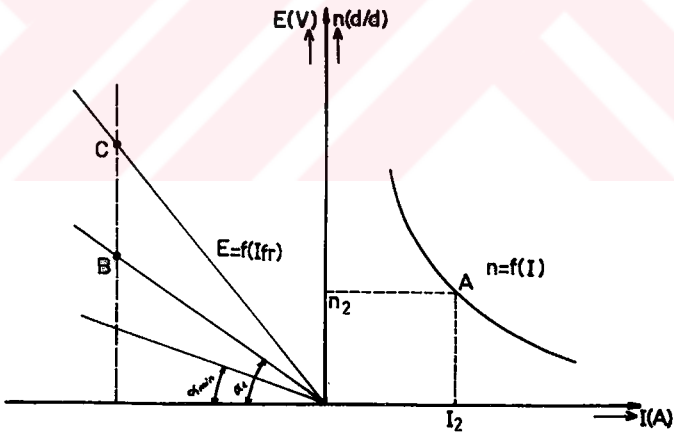
Bu fren bağlantısında doğru akım seri motoru şönt generatör karakteristiği kazanır.

Seri alan sargısı ya düşük gerilimli ayrı bir doğru akım şebekesine veya alan akımının nominal değerine ayarlayan bir R_1 direnci üzerinden mevcut doğru akım şebekesine bağlanır. Bu tip frenlemede, frenleme eğrileri koordinat sisteminin 2. bölgesinde doğru şeklini alır.

Serbest uyartımla direnimle fren çalışmada, motorların daha kısa sürede daha fazla bakım gerektirdikleri saptanmıştır.



Şekil: 2.12 - Serbest uyarımla direnimsel fren çalışma bağlantısı.



Şekil: 2.13 - Serbest uyarımla direnimsel fren çalışmada $E = f(I_{fr})$ frenleme karakteristikleri.

2.6.3. TERS AKIM BAĞLANTISI İLE FREN ÇALIŞMA

Doğru akım seri motorun kullanıldığı tahriklerde daha geniş bir alan içinde daha etkili frenleme elde etmek için ters akım bağlantısı ile frenleme daha çok kullanılır. Doğru akım şönt motorda olduğu gibi bu frenlemeye iki farklı şekilde geçilir:

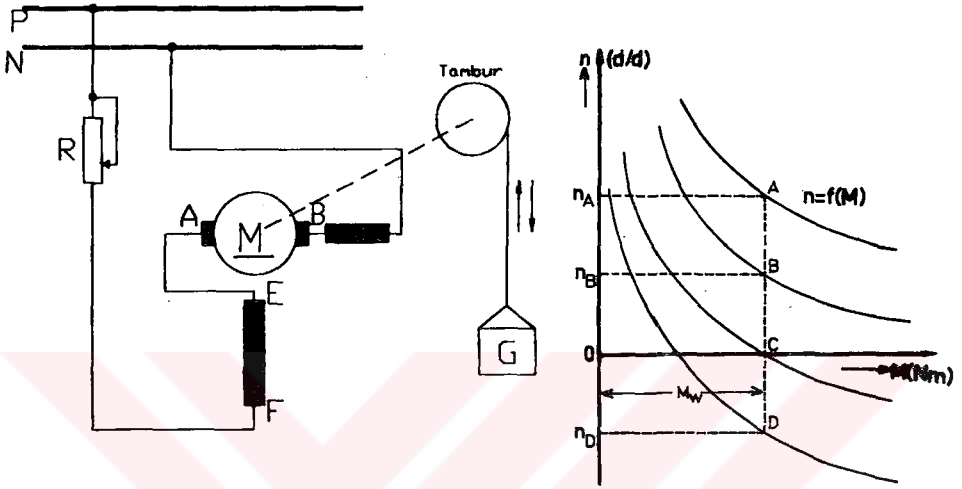
a) Bağlantıda bir değişiklik yapmadan sadece endüi devresine direnç katılarak dış kuvvet ve yüklerin etkisiyle motorun dönüş yönü değiştirilerek.

b) Bağlantısında değişiklik yapılarak, endüi veya alan sargısı uç bağlantısı değiştirilerek.

İlk frenleme şekli sadece kren-moment yük karakteristiğine sahip makinalarda indirme frenlemesi, ikinci frenleme şekli ise doğru akım seri motorlu herhangi bir tahrikte emniyet frenlemesi olarak kullanılır.

Motorun normal koşullarda çalışma noktası, normal karakteristiği ile $M_s = Sbt$ yük karakteristiğinin A kesişme noktasıdır. Bu durumda motor yükü n_s devir sayısı ile yukarı kaldırır. Bağlantısında bir değişiklik yapmadan endüi devresine direnç katılması halinde yükün kalkış hızı azalır. R_2 kademe direnci için yeni çalışma noktası C ve devir sayısı $n_c = 0$ 'dır. Bu durumda motor bir elektromekanik fren gibi çalışarak yükü havada tutar. Direnç daha da arttırılırsa R_2 kademe direnci için yeni sürekli çalışma noktası D noktası olur.

Bu durumda yükün etkisiyle motorun dönüş yönü değişmiştir. Yük n_p hızı ile aşağı doğru inerken motor dönüş yönü değişir ve motor ters yönde fren olarak çalışır. Kaldırma makinalarında indirme frenlemesi olarak kullanılan bu fren çalışma şeklinde



Şekil: 2.14 - Kren - moment yük karakteristiğine sahip bir makinayı tahrik eden doğru akım seri motorun indirme fren bağlantısı ve karakteristikleri.

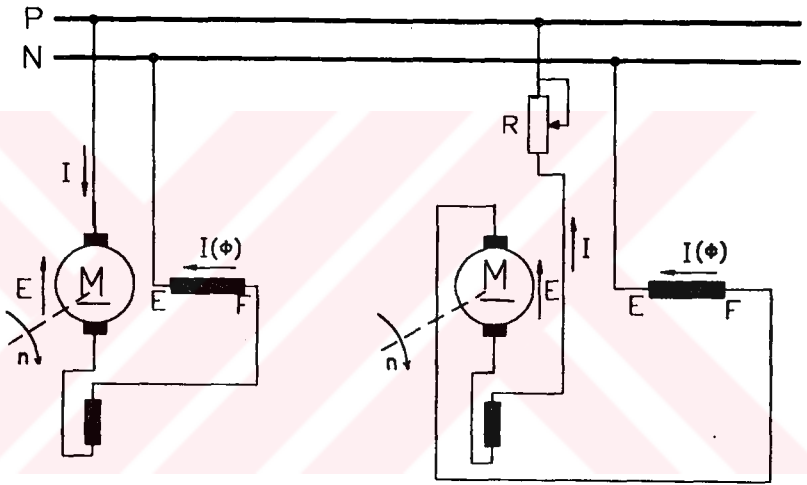
değişen dönüş yönü ile birlikte endüi elektromotor kuvvetinin yönü de değişir ve endüi akımının yeni ifadesi;

$$I_a = \frac{V_a + E_a}{R_a} \quad [A] \quad (2.28)$$

olur.

Doğru akım seri motorun kullanıldığı cer işletiminde ters akım bağlantısı ile frenleme şekli emniyet frenlemesi olarak

kullanılır. Emniyet frenlemesine motorun bağlantısında değişiklik yapılarak geçilir.



Şekil: 2.15 - Doğru akım seri motorun normal motor ve ters akımla fren çalışma bağlantıları.

Motor normal çalışmadayken frenlemeye geçişte endüi uç bağlantıları değiştirilirken frenleme akımını ayarlamak için

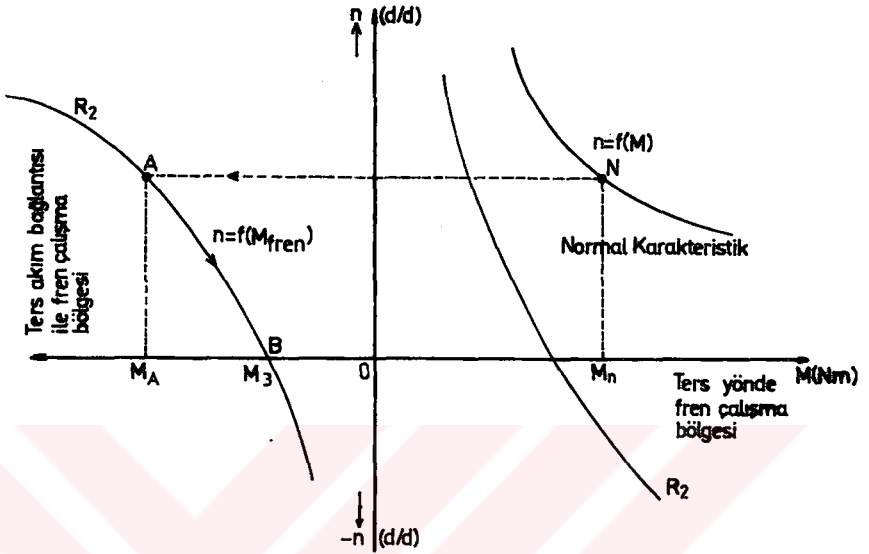
devresine kademeli bir direnç bağlanır.

Endüi uç bağlantısında yapılan değişiklikle beraber endüi akımının yönü ile birlikte endüi elektromotor kuvvetinin işareti değişir ve endüi akımının ifadesi;

$$I_a = - \frac{V_a + E_a}{R_a} \quad [A] \quad (2.29)$$

şeklini alır ve bu ifadeye ait frenleme eğrileri koordinat sisteminin ikinci bölgesinde bulunurlar. Aynı işletme değerleri ve sabiteleri için emniyet frenleme eğrisi indirme eğrisinin O noktasına göre simetrisidir.

Motor normal karakteristiği üzerinde M noktasında n_n devir sayısı ile çalışırken emniyet frenlemesine geçilirse yeni çalışma noktası A ve frenleme momenti de M_A olur. Frenleme sonucu devir sayısı düşerken çalışma noktası yeni karakteristik üzerinde B'ye doğru hareket eder. Devir sayısı ile frenleme momentide düşer, fakat sükunet durumuna kadar etkin bir frenleme elde edilir. Bu sükunet çalışma noktasında momentin değeri M_0 'dir. Bu noktada frenleme son bulur. Sükunet durumuna erişildiği anda motor devre dışı edilmelidir, aksi durumda bu defa ters yönde yol alır.

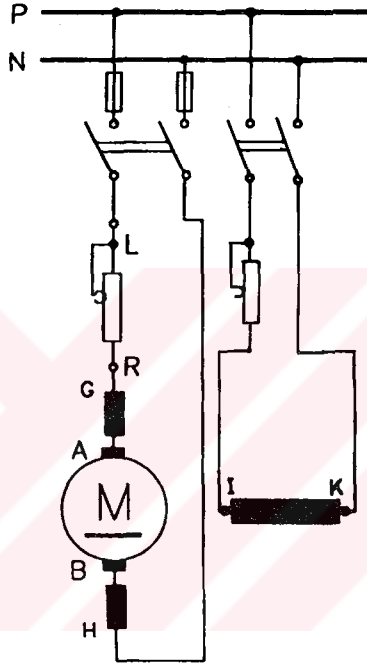


Şekil: 2.16 - Doğru akım seri motorun ters akımla fren çalışma karakteristikleri.

2.7. SERBEST UYARMALI MOTOR

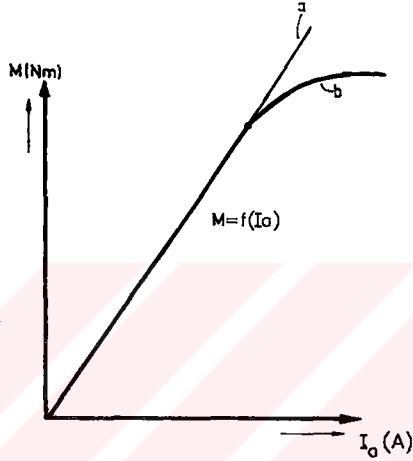
Serbest uyarmalı motorun uyarma sargıları yabancı bir kaynaktan beslenmektedir. Kontrol sistemlerinde kullanıldığında serbest uyarmalı makinanın, uyarma sargısına zamanın istenilen bir gerilim fonksiyonu uygulanabilir.

Güç elektroniği kontrol sistemlerinde endüi gerilimi kontrolü tercih edilir. Uyarma sargıları genellikle kontrolsüz bir doğrultucu ile beslenir.



Şekil: 2.17 - Serbest uyarmalı motorun bağlantı şeması.

Serbest uyarmalı motorda I_f uyarma akımı sabit tutulduğunda a_k 'da sabit olur. Bu durumda M momentinin I_f akımı ile değişimi bir doğru şeklindedir (Şekil: 2.18).



Şekil: 2.18 - Sabit uyarma akımında serbest uyarmalı motorda endüklenen momentin endüi akımına bağlı olarak değişimi.

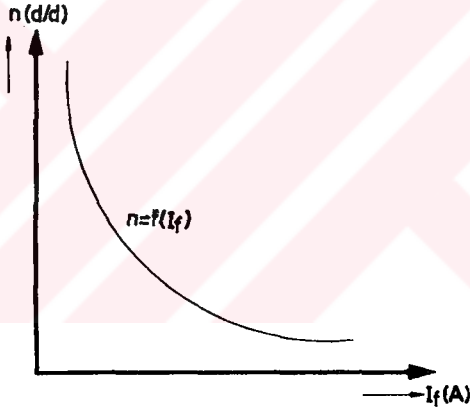
a : lineer çalışma

b : lineer olmayan çalışma

Motorda I_o akımının artması ile doyma olursa toplam kutup akısı ϕ_p azalır, bununla birlikte momentte azalır. ϕ_p , endüi akımının büyük değerlerinde magnetik akı yolu üzerinde bulunan dişler ve kutup ayaklarının magnetik olarak doyması nedeniyle azalma gösterir. Sonuçta Şekil: 2.18 b'deki gibi lineer olmayan bir karakteristik ortaya çıkar.

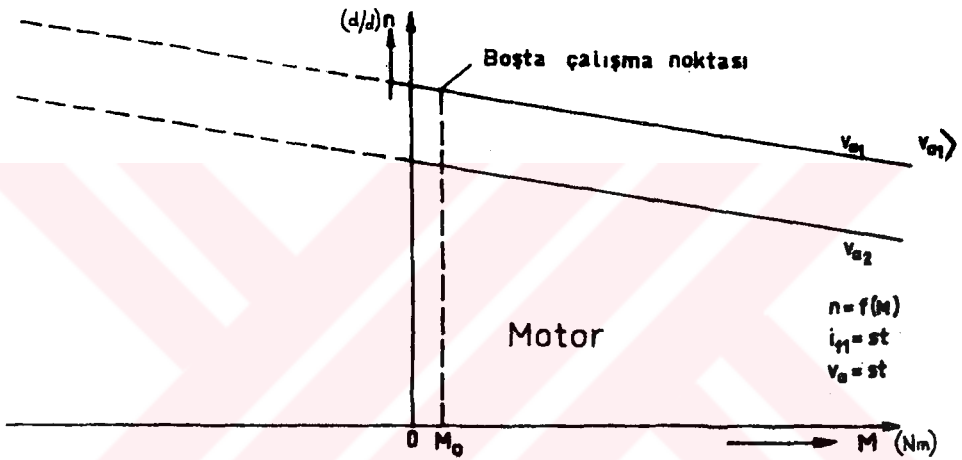
Serbest uyarmalı motorda devir sayısının uyarma akımına bağlı değişimi bir hiperbol şeklindedir. Uyarma akımının çok küçük değerlerinde n çok büyür ve bu yüksek devir sayısı motor için mekanik zorlanmalara neden olur. Bu sebepten motorun uyarma akımı, hiçbir zaman sıfır yapılmamalıdır.

Serbest uyarmalı motorun hız karakteristiği aşağıda gösterildiği gibidir (Şekil: 2.19).



Şekil: 2.19 - Serbest uyarmalı motorun hız karakteristiği. Serbest uyarmalı motora uygulanan V_s endüi gerilimi ve uyarma akımı I_f sabit olduğu durumda hızın momente bağlı değişimi bir doğru gösterir. $M=0$ olduğunda $I_a=0$ olduğundan motor dönmez.

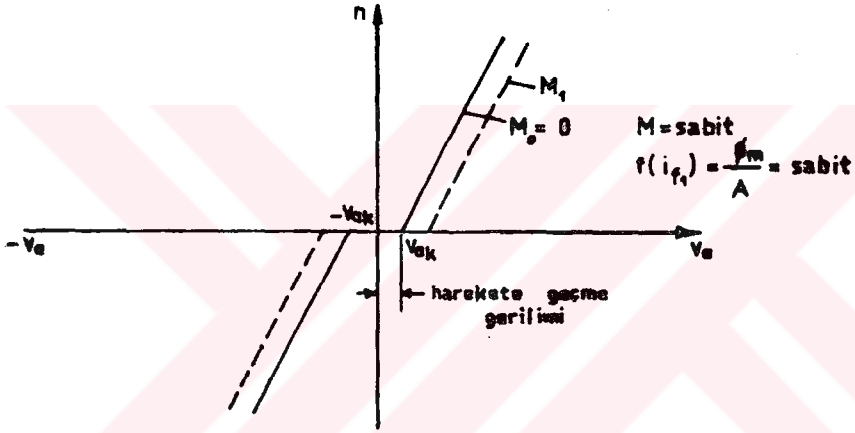
Aşağıdaki şekilde $n = f(M)$ karakteristiği gösterilmiştir (Şekil: 2.20).



Şekil: 2.20 - Serbest uyarmalı motorun hız-moment karakteristiği.

Serbest uyarmalı motorun hızını kontrol etmek için uyarma akısı ve toplam endüi devresi direncinin sabit kalması gereklidir. V_a değişken olur ve buna bağlı olarak uyarma akımı I_f 'de değişirse devir sayısı n istenilen şekilde ayarlanamaz. Bu nedenle motorun serbest uyarmalı olması gerekir. $n = f(V_a)$ karakteristiği ER_a ve I_f sabit ve motor milindeki moment sabit kalmak üzere bir doğru gösterir (Şekil: 2.21). Bu tip bir hız

ayarı ancak gerilimi değiştirilebilen bir kaynak ile gerçekleştirilebilir. Endüstride bu ayar tristörlerle yapılabilir.



Şekil: 2.21 - Serbest uyarmalı motorun $n = f(V_a)$ karakteristiği.

Yukarıda belirtilen karakteristikleri itibariyle de serbest uyarmalı motor elektrikli ulaşım sistemlerinde tercih nedeni olmuştur. Hızın ve momentin geniş bir alanda ayar edilebilmesi özelliğinden dolayı endüstriyel uygulamalarda da kullanılmaktadır.

2.8. UYGULAMA ALANLARI

Doğru akım seri motor elektrikli ulaşım sistemlerinden elektrikli tren, elektrikli banliyö, metro, hafif metrolarda ve elektrikli tramvaylarda kullanılmaktadır.

Dünyadaki elektrikli ulaşım sistemlerinin, elektrikle tahrik donanım düzenlerinde yaklaşık % 95 oranında doğru akım seri motor kullanılmaktadır. Bununla ilgili olarak çeşitli ülke ve kentlerde işlemekte olan doğru akım motorlu elektrikli ulaşım taşıtlarına ilişkin bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

2.8.1. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDEKİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

ÖRNEK: 1 - HAFİF METRO

Aksaray - Esenler, Hafif Metro su

Hafif Metro Sistemi Hakkında Genel Bilgiler

Metronun şu anda işletmeye alınan bölümü 8.5 km uzunluğundadır. Bu Bölüm: 7 istasyondan oluşmaktadır. İstasyonlardan üçü yeraltında tüneller içindedir. Metro toplam 105 vagon kapasiteli yapılmıştır. Bunlardan 70 vagon da sürücü kabini vardır, diğer 35 vagon da ise sürücü kabini bulunmamaktadır.

Bir vagon da, 4 adet serbest uyarmalı doğru akım motoru bulunur. Motor devresi, GTO kıyıcı ünitesiyle, uyarma alanı ise, AC/DC doğrultucu ünitesiyle kontrol edilir.

Vagonlardaki sistemler, beslenmesini 750 V'luk doğru gerilimden temin ederler. Bu gerilim, yardımcı güç ünitesi denilen evirici ünitesi ile 3 X 300 V AC, 50 Hz'lik, besleme

gerilimine çevrilerek, gerekli ünitelerin beslenmesini sağlar.

Sisteme ait temel ve elektriksel değerler:

Vagon boyu	23.5 m
Vagon genişliği	2.65 m
Vagonun raydan yüksekliği	3.36 m
Vagonun yolcu zemininden tavana yüksekliği	2.10 m
Vagon başına kapı sayısı	8 adet
Aracın ömrü	30 yıl
Aracın ağırlığı	40.6 ton
Maksimum yüklemde ağırlık	49.2 ton
Araçtaki koltuk sayısı	48 adet

Tahrik motoruna ait veriler:

Araçtaki toplam motor gücü	4 X 75 kw
Motor akımı min/max	252 A / 460 A
Motor kontrol akımı	195 A
Motor gerilimi	320 V
Modül kontrol akımı	193 A
Frenleme diyod akımı	160 A
Uyarma alanı akımı	16.9 A
Motorun nominal devir sayısı	2200 d/d
Motorun max devir sayısı	4580 d/d
Motor ağırlığı	368 kg

Aracın ulaştığı hız değerleri:

Maksimum hız	80 km/h
--------------	---------

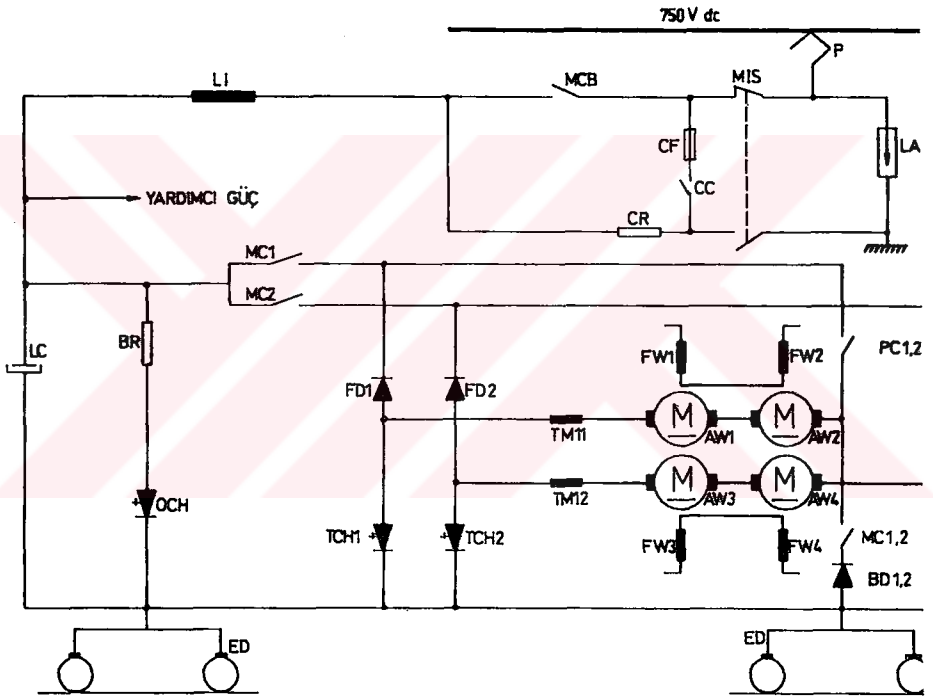
Maksimum ivmelendirme oranı (0-35 km/h)	0.71 m/s ²
Maksimum durdurma ivmesi oranı	1.14 m/s ²

Tahrik donanım devresi:

Aracın tahrik donanımı genel olarak aşağıdaki bölümlerden oluşur.

- Serbest uyarmalı doğru akım tahrik motorları,
- GTO güç elemanları ile kontrol edilen kıyıcı üniteleri,
- Bilgisayar kontrol ünitesi,
- Yüksek gerilim kıyıcısı,
- İki adet birbirinden bağımsız motor modülü,
- Geri kazanımlı frenleme sistemi,
- Sistemdeki tahrik motorları, serbest uyarmalı doğru akım motorlarıdır. Her vagona 4 adet doğru akım motoru bulunmaktadır. Bu dört adet motor, iki motor modülünü meydana getirir. Her bir motor modülü, iki seri motor grubundan oluşmuştur. İki motorun armatür devreleri seri olup, bir dc/dc kıyıcı ünitesiyle beslenir. İki motorun uyarma sargıları da seri olup, bir doğrultucu ünitesi ile uyarılır. Her iki motor modülü de birbirinden bağımsız olarak bilgisayar ile kontrol edilir. Bu motorlara ait veriler yukarıda belirtildi.
- Motor kıyıcıları, temel olarak GTO tristörleri ve diyotlardan oluşan yarı iletkenlerden kurulu dc/dc çevirici temeline dayanır. Kıyıcının amacı, battaki

Kıyıcı hat gerilimini, değişik periyotlarda kıyarak, motorun armatür devresine uygular. Bu darbeler, motora uygulanmadan önce filtre edilir. Şekil 1'de aracın iki kıyıcı ünitesiyle dört adet DC tahrik motorunun nasıl beslendiği gösterilmiştir. Her bir kıyıcı ünite, bir GTO tristörü ve bir serbest geçiş diyodundan oluşmuştur.



Şekil: 2 - Ana devre şeması.

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

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

Bilgisayar kontrol ünitesi:

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

Bilgisayar programı kontrol sistemi, geri besleme düzeniyle çalıştırılır. Bilgisayar birbirine bağlı olan araçların, güç üniteleri arasında iletişimi sağlar. Bu ünite, araçların aynı anda aktif hale veya frenleme durumuna girmesini gerçekleştirir.

Herhangi bir araçta arıza olduğu zaman, bilgisayar arıza sinyalini kontrol ederek, sürücü kolu vasıtasıyla, sürücü panelindeki arıza bildirim ünitesine ileterek, sürücüyü uyarır.

Yüksek gerilim kıyıcısı:

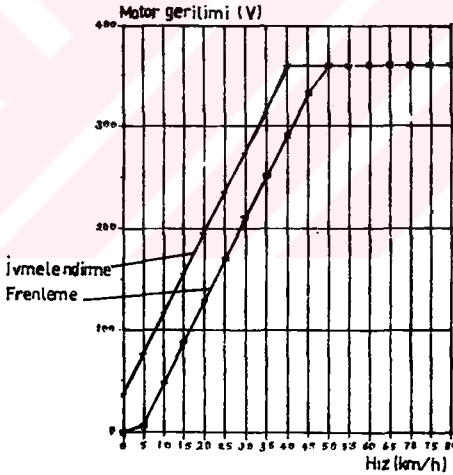
Bir yüksek gerilim kıyıcısı, yük olarak bir direnç ile

birlikte çalışır. Bu ünite hat kapasitesi ile paralel bağlanmıştır ve gerilim çok yükseldiğinde kapasiteyi boşaltır.

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

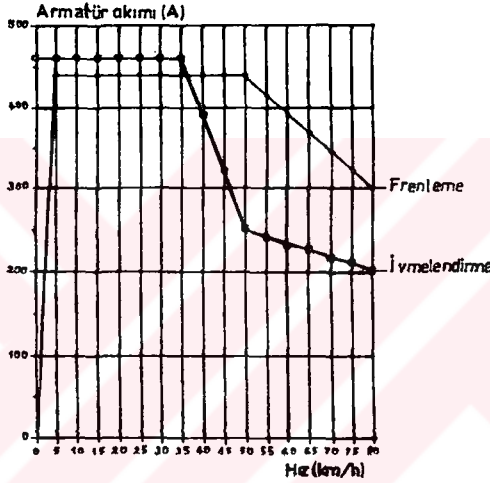
Tahrik motorlarının çalışmaları:

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



Şekil: 3 - Motor geriliminin ivmelendirme ve frenlemedeki hıza bağlı grafiği.

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



Şekil: 4 - Armatür akımının, ivmelendirme ve frenlemedeki hıza bağlı grafiği.

Hız arttığı zaman, motordaki gerilim hızla birlikte artar (Şekil: 3). Kıyıcıların çıkış gerilimi de aynı oranda artar.

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

Motor gerilimi arttırılmadığı sürece magnetik alan akımı

adım adım düzenli bir şekilde azaltılarak, hızın 80 km/h'e erişmesine kadar devam edecektir.

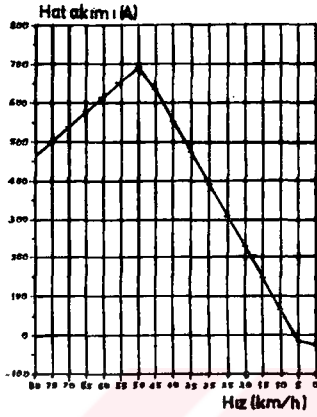
Aynı zamanda armatür akımı, kademeli bir şekilde azaltılarak, hızın artması sağlanır (Şekil: 4). Aracın çekme kabiliyeti, düşük alan hızında maksimumdur ve artan hızla düşer, tren yükünün azalmasıyla artar.

Aracın ivmelendirme ve frenleme konumları sırasında, hat akımının hıza bağlı olarak değişim grafikleri Şekil: 5 ve Şekil: 6'da verilmiştir [18].

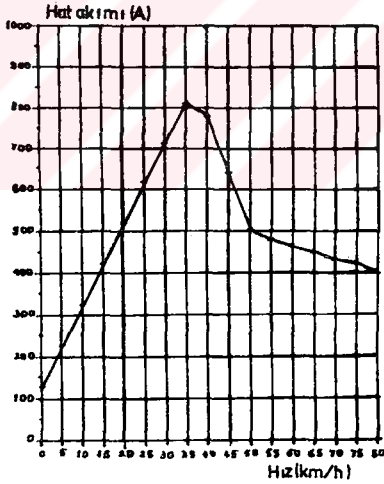
Frenleme sistemi:

Normal frenleme durumu, sürücü tarafından, sürücü koluyla kontrol edilerek sağlanır. Frenlemede öncelikle, elektrodinamik frenleme devreye girer. Eğer dinamik frenleme kuvveti yetersiz kalırsa, bilgisayar vasıtasıyla, mekanik disk frenler otomatikman devreye sokulur. Frenleme ünitesi, normal olarak, aracın durma konumuna erişinceye kadar devrede kalır. Dinamik frenleme, otomatikman bilgisayar tarafından devreye girer. Bu sırada motor uyarma alanı ters döndürülerek, armatür akımı uygulanır ve frenleme sağlanır. Bu yolla motorlar, frenleme momenti oluştururlar ve motorlar generatör gibi çalışarak, hatta bir miktar enerji verirler (Şekil: 6).

Dinamik frenleme, aracın hızının 5-10 km/h olması durumuna kadar etkili olur. Disk frenleri, bilgisayardaki disk fren kontrol ünitesi aracılığıyla kontrol edilir. Disk fren kontrol ünitesi, elektropnömatik devreden oluşmaktadır. Bu devreler, fren silindirleri için kontrollü hava basıncı oluştururlar. Ancak bu olay, elektrikli sinyallerin magnetik valflere uygulanması ile oluşturulur. Seçilen uygun elektrikli sinyal kombinasyonlarıyla, gerekli olan disk fren kuvveti uygulanılır.



Şekil: 5 - Hat akımının frenlemedeki hıza bağlı grafiği.



Şekil: 6 - Hat akımının ivmeleri.

Dinamik fren, düşük hızlarda etkili olup, disk fren mutlaka her zaman aracı durdurmak için uygulanır ve araç durana kadar uygulama devam eder.

Frenlemede Yeniden Üretilen Enerji:

Elektrodinamik fren süresince, aracın kinetik enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür ve eğer hat enerjisi alabilecek kapasitedeyse hatta verilir. Eğer hat gerilimi alacak kapasitede değilse, aşırı güç frenleme rezistörlerinde harcanır.

Normalde frenleme olduğu sürece hat, geri üretilen enerjiyi, hatta başka bir araç varsa alır. Eğer hat daha fazla güç alamayacak durumdaysa, hat kapasitörlerinin gerilimi yükselecektir. Bu durumda aşırı gerilim kısıyıcılarının çalışmasıyla aşırı güç, fren rezistörlerinde harcanarak, hat kapasitelerinde gerilim yükselmesi sınırlandırılmış olunacaktır.

ÖRNEK: 2 - HAFİF RAYLI TAŞIT

ESG LINZ için SIBAS 16 MC kontrol ile 10 axlı
tek yönlü mafsallı hafif ray aracı

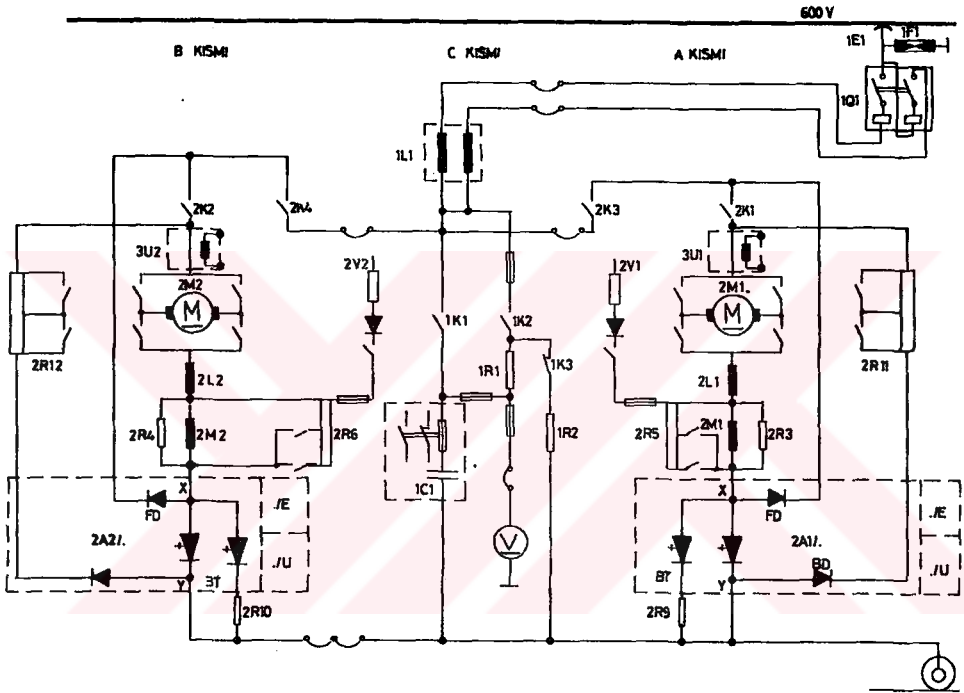
Sisteme ait veriler:

Tekerlek sıralaması	Bx '2'2'2' By
Ray açıklığı	900 mm
Taşıtın genişliği	2300 mm
Taşıtın uzunluğu	31776 mm

Tekerlek çapı yeni kullanılmış	680 mm/600 mm
Çatı panelinin üzerindeki yükseklik	3210 mm
Boji tekerlek tabanı	1800 mm
Döşeme yüksekliği	908 mm
Boş ağırlık	38 t
Yolcu kapasitesi	54 kişi oturarak 141 kişi ayakta (0.25 m ² /kişi)

Sisteme ait motor değerleri:

Doğru gerilim	600 V DC (+ 20 % - 30 %)
Nominal güç	2 X 150 kw
Dişli çevirme oranı	5.666 : 1
Maksimum hız	70 km/h
Yolalma ivmesi	1.0 m/s ²
Frenleme ivmesi	1.5 m/s ²
Yardımcı (el) frenleme ivmesi (elektriki ve mekaniki frenleme)	2.8 m/s ²



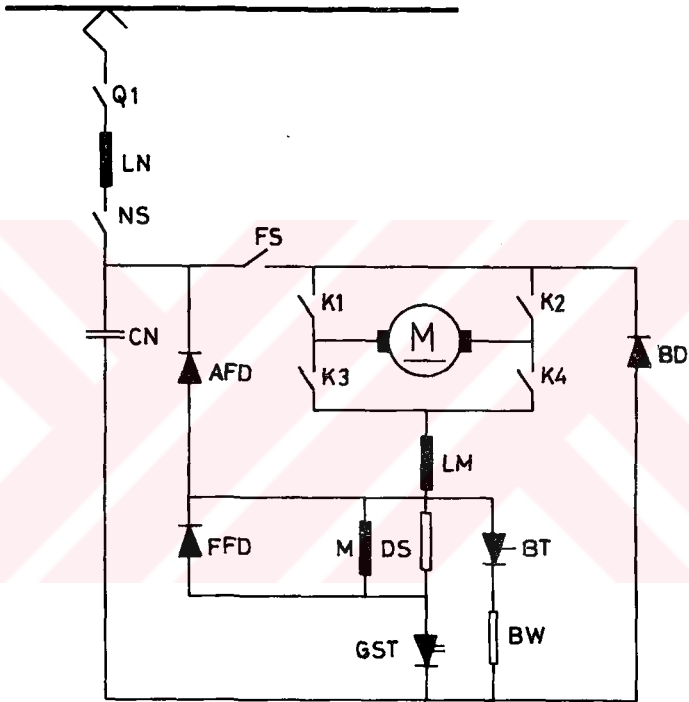
Şekil: 7 - Ana akım diyagramı.

1C1	Şebeke kondansatörleri
1E1	Hat akımı
1F1	Parafudr
1K1	Şarj kontaktörü
1K2	Önşarj kontaktörü
1K3	Boşaltma kontaktörü
1L1	Filtre reaktörü
1Q1	Ana devre şalteri
1R1	Deşarj direnci
1R2	Deşarj direnci
2A1/.,2A2/.	DC.Kıyıcılar
./E	Vantilatör (230 V, 100 Hz AC)
./U	Hava akış monitörü
2K1, 2K2	Tahrik kontakları
2K3, 2K4	İzoleli kontaklar
2L1, 2L2	Motor akımını düzelten reaktörler
2M1, 2M2	Tahrik motorları
2R3, 2R4	Sürekli şöntler
2R5, 2R6	Alan zayıflatan dirençler
2R9, 2R10	Fren dirençleri
2R11,2R12	Seri fren dirençleri
2V1, 2V2	Serbest uyartımlı frenleme
3U1, 3U2	Motor uyarmaları

ÖRNEK: 3 - HAFİF RAYLI TAŞIT
16 SIBAS Mikro-Bilgisayar Kontrolleri ile
TLİENMUN KCRC Hong Kong'un
Dört Akslı Hafif Ray Araçları

Sisteme ait veriler:

Tip :	Tek yönlü hafif ray aracı
Tekerlek sıralaması	Bx' By
Ray açıklığı	1435 mm
Taşıtın genişliği	2650 mm
Taşıtın uzunluğu	20200 mm
Döşeme yüksekliği	950 mm
Doğru Gerilim	750 V DC
Çıkış gücü	492 kw
Max. hız	80 km/h
Yolcu kapasitesi	60 kişi oturarak
	130 kişi ayakta
Taşıtın ağırlığı	26 t



Şekil: 8 - Ana akım şeması.

AFD	Seri Motor tekerlek diyodu
BD	Fren diyodu
BT	Fren tristörü
BW	Fren direnci
CN	Hat kapasitörü
DS	Şönt direnç
FFD	Serbest geçiş diyodu
FS	Hareket kontaktörü
GST	Doğru Gerilim Kısıyıcısı
K	Yön kontaktörleri
LM	Motor devresi süzücü bobini
LN	Hat süzücü bobini
M	Serbest alan sargısı
NS	Hat kontaktörü
Q	D.C kesicisi

ÖRNEK: 4 - RAYLI TAŞIT

Dağ Demiryolu için Kramayer Dişlili ve Yapışık Raylı Çift Vagonlu Ünite.

Yapım şekli: Kramayer ve yapışık 8 akslı çift vagonlu ünite, yarı kalıcı şekilde birleştirilmiş.

Dingil düzeni	(1A)'(1A)' + (1A)'(1A)'
Ray aralığı	1000 mm
Taşıt uzunluğu	29300 mm
Vagon genişliği	2500 mm
Vagon yüksekliği	3690 mm
Maksimum hız	
Kramayerli işletim	34 km/h
Yapışık işletim	70 km/h
Nominal çıkış gücü	4 X 220 kw
Tekerlek Çapı	
Arka teker	605 mm
Yapışık tekerlek,	
yeni	760 mm
aşınmış	736 mm
Çıkılan yükseklik,	
maksimum	2650 m

Herbirinin 880 kw'lık motor çıkışı olan, yarı kalıcı olarak birleştirilmiş çift vagonlu ünite, hem Garmisli-Grainav (7.5 km) arasındaki kramayerli bölümde hem de Grainav - Zugspitze (11.1

km) arasındaki yapışık bölümde % 25'lik eğimde kullanılır. Bunlar tek veya çift hatta kullanılabilir. Yukarıdaki değerler ve oldukça yüksek maksimum hızı, vadi bölgelerindeki trafiği arttırır.

Elektriksel fren, frenleme sırasında döndürme kuvvetini belirli zamanda sistemin emme limitine kadar, öncelikle havai hatta veren rejeneratif reostatik fren olarak dizayn edilmiştir.

Sistemin gelişme ve imalatı:

Elektriksel kısım	Siemens AG
Mekanik kısım	S.L.M Winterthun

firmaları tarafından yapılmıştır.

Doğru Akım Çekme Motoru:

Motor gerilimi	1650/2 V
Devamlı Nominal Güç	1850 d/d da 220 kw
Max moment	2298 Nm.

Doğru Akım Kıyıcısı (DC CHOPPER)

2 tristör modüllü ve buharlaşma banyosu soğutmalı.

Veriler

Nominal gerilim	1650 V + % 20 - % 30
Nominal akım	400 A

Her DC kesici, her bir yarı çift vagondaki seri bağlı 2 çekme motorunu kontrol eder.

Statik dönüştürücü:

GTO teknolojisindeki batarya şarjı ve 3 faz on-bord sistemi yedekleri için,

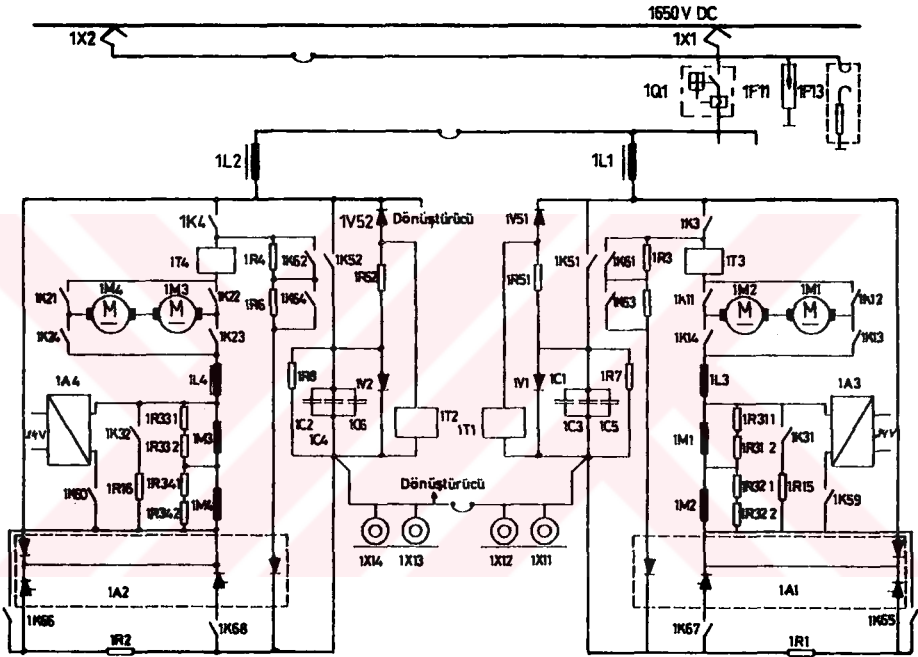
Giriş Gerilim	1650 V + 20 - % 30
Çıkış Gerilimi	3 X 380 V, 50 Hz, 24 V DC
Nominal güç	~ 30 kVA

Mikrobilgisayar güç kontrol ünitesi:

Her bir ünite bir çift vagonun yarısına yerleştirilir. Tren kontrol hatları sayesinde sürücünün oturduğu kabinde kontrol edilir.

Görevleri : Çekiş ve frenleme gücü kontrolü, sürücünün komutlarını referans ve gerçek değerleri ve hem kremayer hem de yapışık işleme için önceden verilmiş programa göre chekback sinyallerini kontrol etmek.

Kremayerli % 25 veya % 12 eğimli bölgede, 15 km/h veya 20 km/h hızda yokuş inişte otomatik hız kontrolü.



Şekil: 9 - Ana blok diyagramı.

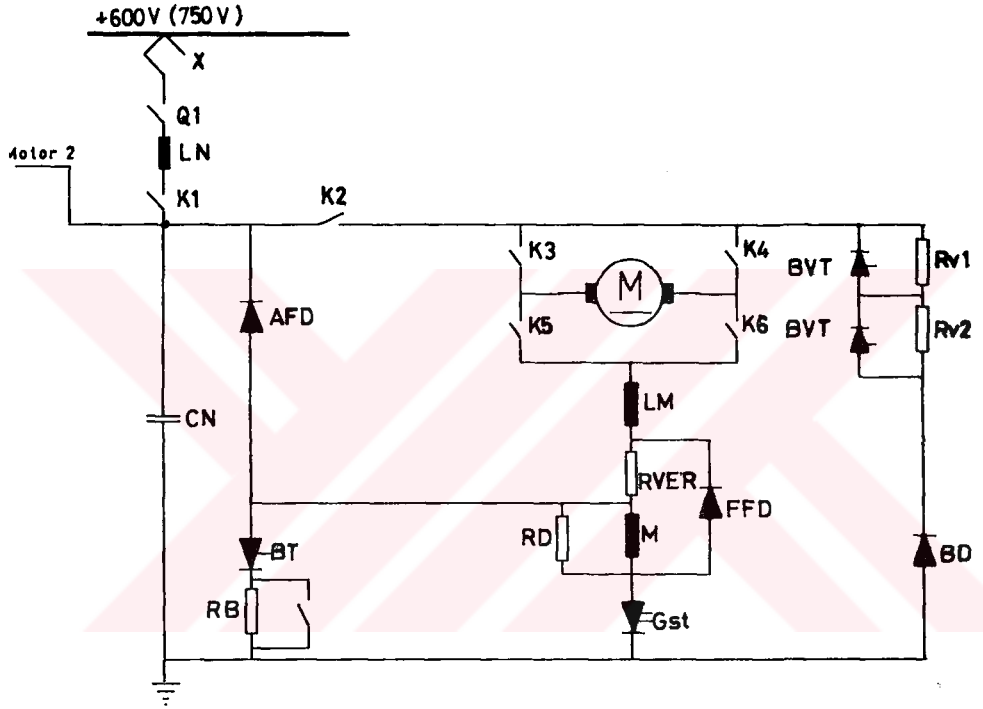
1A1, 1A2	DC kesicisi
1A3, 1A4	Ön uyarma ünitesi
1C1, 1C6	Hat kapasitesi
1F11	Dalgalanma yön değiştiricisi
1F13	Elektrikli ark çatalı aralığı
1K3, 1K4	Sürme kontaktörü
1K31 - 1K32	Manevra kontaktörü
1K51 - 1K52	Şarj kontaktörü
1K59 - 1K60	Fren ön uyarma kontaktörü
1K61 - 1K64	Seri bağlı fren direnç kontaktörü
1K65 - 1K68	Acil yürüme kontaktörü
1L1 - 1L2	Hat bobini
1L3 - 1L4	Motor bobini
1M1 - 1M4	Çekme bobini
1Q1	Ana açıcı
1R1, 1R2	Frenleme direnci
1R3, 1R6	Seri frenleme direnci
1R7, 1R8	Deşarj direnci
1R15, 1R16	Alan zayıflatan manevra direnci
1R31 - 1R34	Kalıcı şönt direnç
1R51 - 1R52	Şarj direnci
1T1 - 1T2	Hat akım trafosu
1T3 - 1T4	Motor akım trafosu
1V1, 1V2	Kutup değiştirme koruma diyodu
1V51, 1V52	Önşarj diyodu
1X1 , 1X2	Akım kollektörü

ÖRNEK: 5 - HAFİF RAYLI TAŞIT

A/S Oslo Sporveir Firmasının 79 serisi 6 Akslı Mafsallı Hafif Raylı Sistem Taşıtı.

Yapım Şekli: Tek yönlü mafsallı.

Dingil düzeni	B x' 2' By
Ray aralığı	1435 mm
Vagon genişliği	2500 mm
Taşıt uzunluğu	22180 mm
Tamponlararası taşıt uzunluğu	23030 mm
Tabandan tavana yükseklik	880 mm
Nominal gerilim	600 V DC (750 V DC)
Nominal güç	360 kw/bir saatlik nominal güç
Maksimum hız	80 km/h
Vagonun boştaki ağırlığı	32.8 t
Dişli çevirme oranı	5.11 : 1
Yolcu kapasitesi	71 koltuk + 66 ayakta, m ² 'ye 4 yolcu
Kalkış ivmesi	1.3 m/s ²



Şekil: 10 - Ana devre şeması.

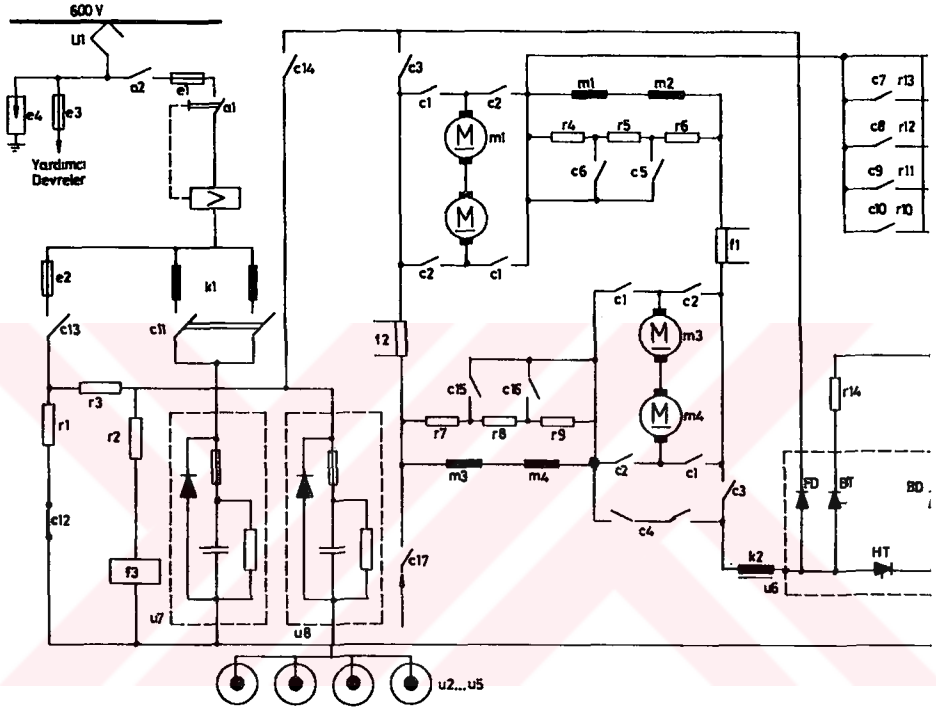
AFD	Armatür devresi için serbest geçiş diyodu
BD	Frenleme devresi diyodu
BT	Frenleme tristörü
BVT	Seri bağlı frenleme dirençleri için tristörler
CN	Hat kapasiteleri
FFD	Alan devresi için serbest geçiş diyodu
Gst	Kesici
K	Yön ve grup kontrol kontaktörleri
LM	Motor bobini
LN	Hat bobini
M	Çekme motoru
Q	Ana devre kesici (açıcı)
RB	Fren direnci
RD	Kalıcı şönt bağlı direnç
RV	Frenleme için seri bağlı dirençler
X	Pantograf

ÖRNEK: 6 - METRO

Doğru Akım Kırıyıcılı Metro Tahrik Vagonu Seri 1000.

AEG Firmasının Yapımı Olan Bu Metro Madrid'de Kullanılmaktadır.

a_1	Güç anahtarı
a_2	Seksiyoner, ayırıcı anahtar
C_1, C_2	Yön değiştirici kontaktörler
C_3	Yolverme kontaktörü
C_4	Frenleme kontaktörü
C_5, C_6	Alan zayıflatma kontaktörleri
C_{15}, C_{16}	Alan zayıflatma kontaktörleri
C_7, C_{10}	Fren öndirenç kontaktörü
C_{11}	Şebeke kontaktörü
C_{12}, C_{13}	Boşaltma doldurma kontaktörü
C_{14}	Şebeke ayırıcı kontaktörü
C_{17}	Ön uyarım
e_1	Şebeke sigortası
e_2	Şebeke kondansatörünün yüklenmesi için sigorta
e_3	Sigorta
e_4	Aşırı gerilim ayırıcısı
f_1, f_2	Endüi akım uçları
f_3	Şebeke kondansatöründeki gerilim için uçlar
k_1	Şebeke bobini
k_2	Motor bobini
$m_1 \dots m_4$	Motor ve uyarım
r_1	Boşaltma direnci
r_2	Ön direnç
r_3	Yükleme direnci
$r_4 \dots r_9$	Alan zayıflatma direnci



Şekil: 11 - Doğru akım kısıyıcı tahrik vagonunun
kuvvetli akım bağlama şeması

r_{10} , r_{13}	Fren öndirençleri
r_{14}	Fren yedek direnci
u_1	Akım alıcı
$u_2 \dots u_3$	Dingil kontakları
u_4	Doğru akım kıyıcısı
$u_7 \dots u_8$	Şebeke kondansatörü
BD	Fren diyodu
BT	Fren tristörü
FD	Serbest geçiş diyodu
HT	Ana tristör

Teknik Veriler:

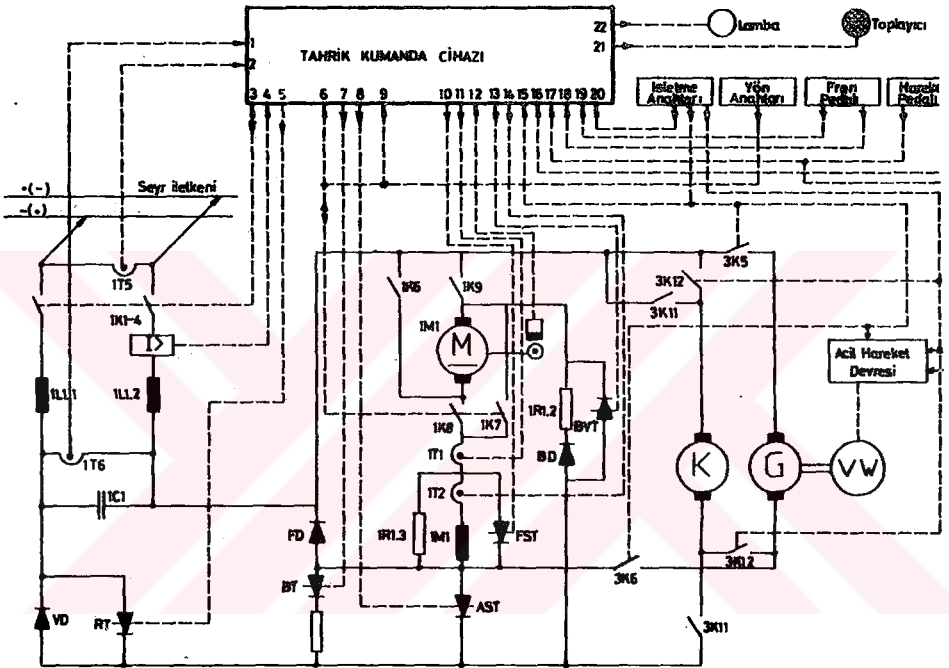
Yapım şekli	Tek kumandalı çift tahrik vagonu
Nominal gerilim	600 V
Vagondaki cer motorları	4
Motorun etiket değerleri	75 kw, 600/2 V, 1175 d/d'da 280 A
Maksimum işletme devri sayısı	4420 d/d
Kumanda (Hız ayarı)	Bir doğru akım kıyıcısı ile kademersiz gerilim kumandası
Yolalma bağlantısı	Motorlar
Frenleme bağlantısı	Faydalı, direnimle frenleme ve karışık frenleme
Maksimum hız	80 km/h
Yolalma ivmesi	0.95 m/s ²
Frenleme ivmesi	0.95 m/s ²
Vagon uzunluğu	14413 mm

Vagon genişliği	2375 mm
Yerden vagonun en üst noktasına olan yükseklik	3437.5 mm
Tabandan yükseklik	1150 mm
Dingillerarası mesafe	9300 mm
Dingil uzaklığı	2100 mm
Dingil düzeni	Bo'Bo' + Bo'Bo'
Ray genişliği	1445 mm
Vagonun boştaki ağırlığı	26 t
Vagonun maksimum yükü	12 t
Oturma yeri (çift tahrikli vagon)	44
Ayakta durma yeri (çift tahrikli vagon)	270
Sürücü yer sayısı	2
Toplam yer sayısı	314
Tekerlek çapı	825 mm
Dişli çevirme oranı	7.235 : 1

ÖRNEK: 7 - TROLEYBÜS

Luzern Kenti Trafik İşletmesine Ait Körüklü İki Eksenli Trolleybüs.

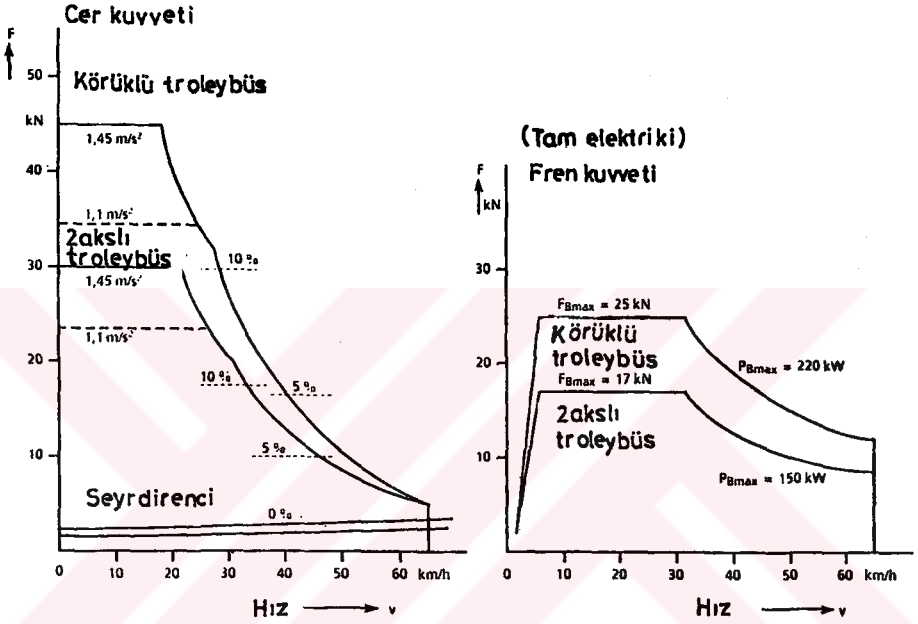
Yapım şekli	3 eksenli körüklü trolleybüs
	2 eksenli tek trolleybüs
Akım sistemi	600 V - (400 - 750 V)
Cer motor güçleri	28 km/h 'lik hızda 185 kw
	34 km/h'lik hızda 155 kw
Kumanda	SIBAS, Mikrobilgi işlem kumandalı endüi ve alan kısıyıcıları GTO tristörleri ile bağlantılı.
Frenleme	Şebekeden bağımsız, faydalı ve direnimle frenlemeli, pnömatrik frenleme
İhtiyaç işletmesi	İhtiyaç hareket cihazı (VW Motor 3 fazlı generatör ve doğrultucu), 40 kw elektrikli.
Maksimum hız	65 km/h
Maksimum yolalma ivmesi	1.45 m/s ²
Maksimum frenleme ivmesi	1.10 m/s ²
	(tamamen elektrikli)
Eğim çıkabilme yeteneği	tam yüklü % 14
Dişli çevirme oranı	9.802 : 1
Tekerlek çapı	1.014 m
Boştaki ağırlıklar	15.80 t 11.67 t
Maksimum yüklü ağırlıklar	26.65 t 17.97 t
Vagon uzunlukları	17580 mm 11510 mm
Yer durumları	33 + 1 Oturma yeri 24+1 Oturma yeri
	121 Ayakta durma 65 Ayakta durma
	yeri yeri



Şekil: 12 - Fabrik sisteminin prensip fonksiyon şeması.

GİRİŞ / ÇIKIŞLAR

- 1 Şebeke kondansatör geriliminin olan değeri
- 2 Seyr iletkeni geriliminin değeri
- 3 Kutup kontaktörlerinin kumandası ve işaretlenmesi
- 4 Şebeke aşırı akımı
- 5 Geri besleme tristörünün geri besleme impulsu
- 6 Hareket ve frenleme kontaktörlerinin kaydedilmesi
- 7 Frenleme tristörünün ateşleme impulsu
- 8 GTO'lu AST Ana tristörün ateşleme ve söndürme impulsu
- 9 İleri geri sinyali
- 10 GTO'lu FST alan kıyıcı tristörünün ateşleme ve söndürme impulsu
- 11 Endüli akımının olan değeri
- 12 Motor devir sayısının olan değeri
- 13 Fren öndirenç tristörünün ateşleme impulsu
- 14 Uyarı akımının değeri
- 15 İhtiyaç hareket sinyali
- 16 Hareket emri
- 17 Hareketin olması gereken değeri
- 18 Fren emri
- 19 Fren olması gereken değeri
- 20 ASG'nin bağlama emri (devreye girme emri)
- 21 Akustik sinyal
- 22 Optik sinyal



Şekil: 13 - Hareket ve Fren Kuvveti Diyagramları

ÖRNEK: 8 - HAFİF METRO

**Melbourne'da Kullanılan 6 Akslı Hafif Metro Taşıtı
(SIBAS 16 MC Kumandalı)**

Yapım şekli	2 yönlü körüklü taşıt
Dingil düzeni	Bx' 2' By'
Ray aralığı	1435 mm
Vagon genişliği	2640 mm
Vagon uzunluğu	24640 mm
Taban yüksekliği	850 mm
Nominal gerilim	600 V
Nominal güç	436 kw
Maksimum hız	80 km/h
Yer durumu	76 Oturma yeri
	106 Ayakta durma yeri (4 kişi/m²)
Taşıtın boş ağırlığı	34 t

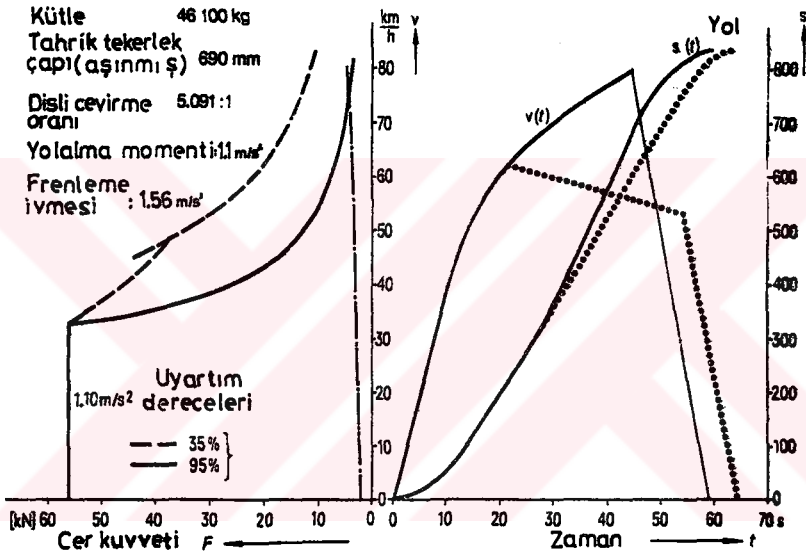
**Taşıt, 1 adet SIBAS 16 tipi mikrobilgi işlemcili kumandalı
2 doğru akım kıyıcısı ile donatılmıştır.**

AFD	Endüi serbest geçiş diyonu
BD	Frenleme diyonu
BS	Frenleme kontaktörü
BT	Frenleme tristörü
BVT	Fren ön direnç tristörü
BVW	Fren ön direnci
BW	Fren direnci
CN	şebeke kondansatörü
DS	Sürekli şönt
FFD	Alan serbest geçiş diyonu
FS	Hareket kontaktörü
GST	Doğru akım kıyıcısı
K	Yön kontaktörleri
LM	Motor bobini
LN	şebeke bobini
M	Motor
NS	şebeke kontaktörü
Q ₁	Doğru akım güç anahtarı

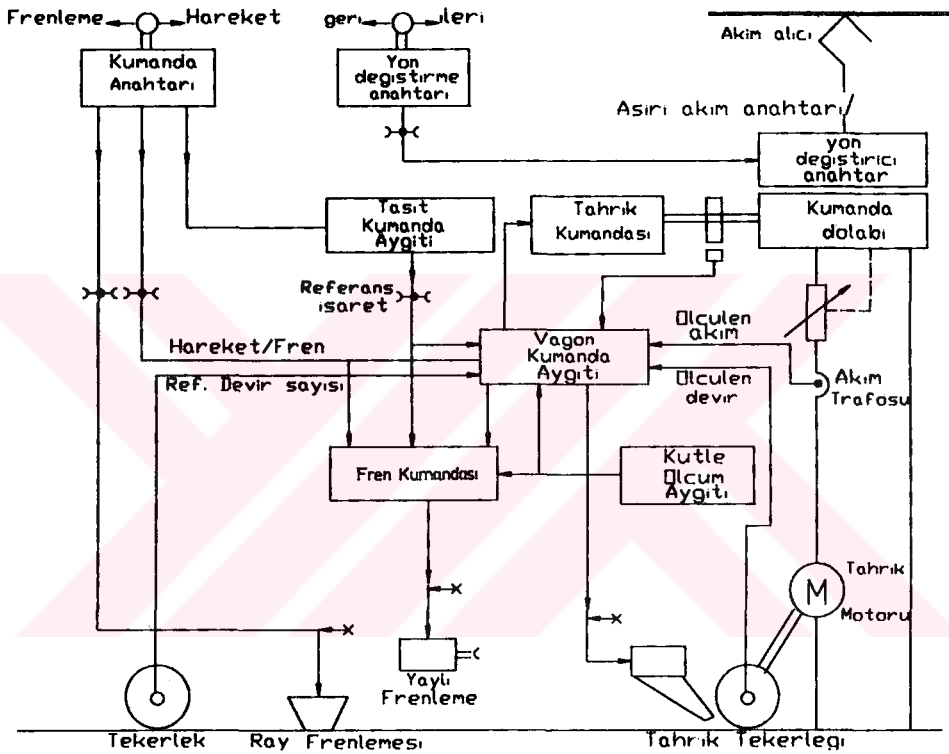
ÖRNEK: 9 - HAFİF METRO**Sacramento'daki Körüklü Hafif Metro Taşıtı**

Yapım şekli	İki yönlü körüklü taşıt
Dingil düzeni	Bx'2'By'
Ray açıklığı	1435 mm
Vagon genişliği	2678 mm
Vagon uzunluğu	24240 mm
Vagonun ray üzerinden yüksekliği	3777 mm
Nominal gerilim	750 V =
Nominal güç	378 kw/60 min
Maksimum hız	80 km/h
Vagonun boş ağırlığı	35.9 t
Vagonun maksimum ağırlığı	52 t
Yer durumu	64 oturma ve 80 ayakta (0.25 m² / kişi)

Her biri 189 kw/h'lik güçte olan iki cer motoru taşıta 1.1 m/s² 'lik bir yol alma ivmesi ile 1.56 m/s²'lik bir işletme frenleme ivmesi sağlamaktadır.



Şekil: 15 - Hareket ve fren kuvveti diyagramları.



Şekil: 16 - Kumanda devresi.

Hareket fren ayarı ve taşıt kumandası yarı otomatik, elektronik kumandayla gerçekleştirilirken aşağıdaki görevler yerine getirilmektedir.

- İvmenin zamana göre değişiminin sınırlandırılması,
- Akım ayarı, patinaj kayma koruması,
- Sıfır gerilim gözetimi
- Kumanda konum kontrolü
- Fren akımı gözetimi
- Konum motor kumandası
- Kütle dengelenmesi
- Frenleme ivmesi gözetimi
- Akım sağlanması.

Bütün taşıtlar bir Totmann düzenine sahiptirler.

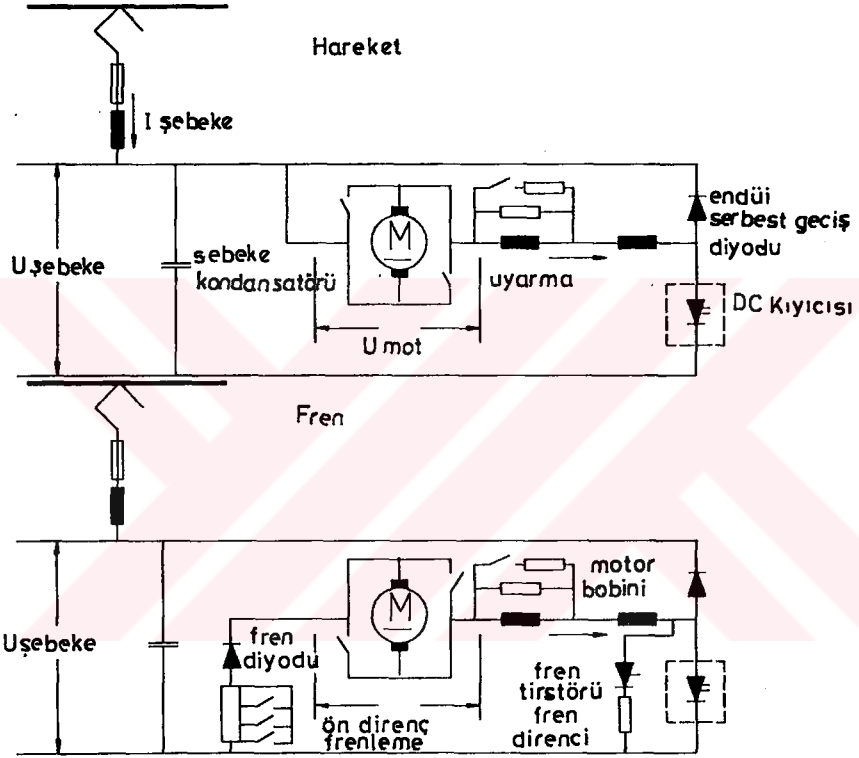
ÖRNEK: 10 - TROLEYBÜS

İki yönlü tristör kumandalı çift körüklü 4 eksenli trolleybüs, Almanya Rastatt deney yolunda kullanılmıştır.

Mekanik donanımı Daimler-Benz tarafından, elektriksel donanımı AEG - Telefunken tarafından gerçekleştirilen bir deney trolleybüsü.

Deney taşıtının teknik verileri.

Nominal gerilim	750 V
	+ 20 % - 30 %
Cer motorları sayısı	2
Tahrik edilen dingil sayısı	2
Tahrik edilmeyen dingil sayısı	2
2420 d/d ve % 94 uyarmada	
Sürekli akım	365 A
Sürekli güç	250 kw
Kumanda	Yolalma ve frenlemede 1 alan zayıflatma kademeli kademersiz gerilim kumandası
Maksimum hız	100 km/h
Vagon uzunluğu	24000 mm
Vagon genişliği	2500 mm
Yol açıklığı	2600 mm



Şekil: 17 - Motor devresi için prensip bağlama şeması.

ÖRNEK: 11 - TROLEYBÜS

Faydalı Frenlemeli, Dizelli ve Seyr İletkenli Körüklü Trolleybüs.

Teknik veriler:

Nominal gerilim	$\pm 600 \text{ V} \pm 750 \text{ V}$ $+ 20 \% - 30 \%$
Max. hız	80 km/h
Taşıt uzunluğu	17260 mm
Taşıt eni	2500 mm
Taşıt yüksekliği	3200 mm
Döşeme yüksekliği (Raya göre)	710 mm
Dingillerarası açıklık	5600 mm + 6150 mm
Taşıt ağırlığı DIN 25008'e göre	15.7 t
Oturma yeri sayısı	62 + 1
Ayakta durma yeri	106 (4 kişi/m ²)
Dişli çevirme oranı	12.8 : 1
Elektrik tahrik motoru	1 tane karışık akımlı seri karakterli motor
Sürekli güç	
600 V'ta	180 kw
750 V'ta	220 kw
Motor sürekli akımı	
600 V'ta	
1830 d/d % 85 uyartım, ikaz	330 A
750 V'ta	

2360 d/d % 85 uyarım, ikaz

316 A

Hareket bağlantısı

Sürekli alan
zayıflatmalı bir DC
kıyıcı yardımıyla
kademersiz gerilim
kumandalı.

Fren bağlantısı

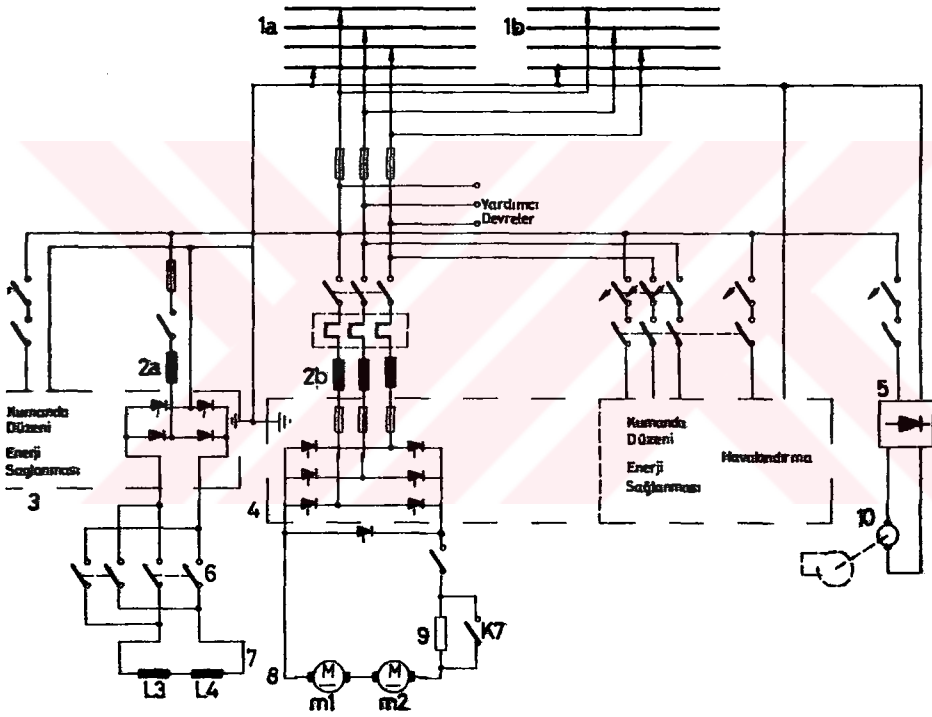
Kendinden uyarımlı
karışık faydalı frenleme
ve sürekli ayarlı seyr
iletkeninden bağımsız
direnimle frenleme,
faydalı frenleme.

Diesel motor**Otomatik dişli düzenli****Motor gücü****177 kw**

ÖRNEK: 12 - H-BAHN

Siemens'in imalatı asılı sistem, bu sistemde iki tahrik düzeni kullanılmaktadır.

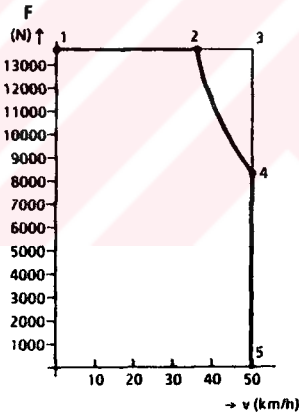
1- Doğru akım motorlarıyla, 2- Lineer asenkron motorlarla.



Şekil: 19 - Doğru akım motorlu, yol alma bağlantı devre şeması.

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURUI
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

- | | |
|-------|--|
| 1 a,b | Akım rayları |
| 2 a,b | Komütasyon bobinleri |
| 3 | Cer motorunun uyarması için kıyıcı devresi |
| 4 | Cer motor endüisi için kıyıcı devresi |
| 5 | Havalandırma motoru için doğrultucu |
| 6 | Yön değıştirici kontaktör |
| 7 | Cer motorunun uyarması |
| 8 | Cer motorunun endüisi |
| 9 | Frenleme direnci |
| 10 | Cer motor havalandırıcısı (soğutucusu) |



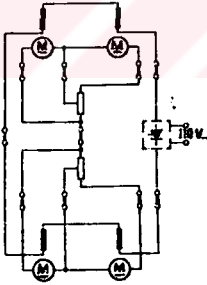
Şekil: 20 - Döner tahrikte hız-kuvvet eğrisi (4 motor).

ÖRNEK: 13 - METRO**Amsterdam Metrosu**

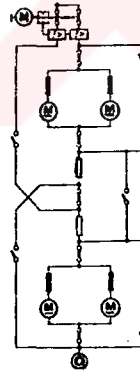
Hız	80 km/h
Boş ağırlık	54 t
Besleme gerilimi	750 V DC
	üçüncü rayda
	+ % 20, - % 30
Dolu ağırlık	75 t
Motor gücü	4 X 195 kw, akım 290 A

yardımcı devre besleme gerilimi 110 V DC, bazı yerlerde 24 V DC'dir. Frenleme serbest uyarımlı direnimle frenleme (DC kıyıcılı).

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



Şekil: 21 - Taşıtın yol alma durumundaki bağlama şeması



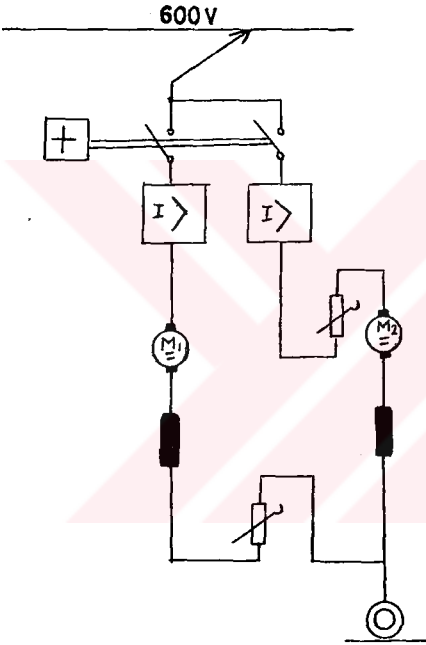
Şekil: 22 - Taşıtın frenleme durumundaki bağlama şeması

ÖRNEK: 14 - HIZLI TRAMVAY

Besleme gerilimi	600 V DC
Motorlar	2 X 165 kw
Akım	303 A
Max hız	70 km/h
Boş ağırlık	25.5 Mp
Oturma yeri	174
	kişilik

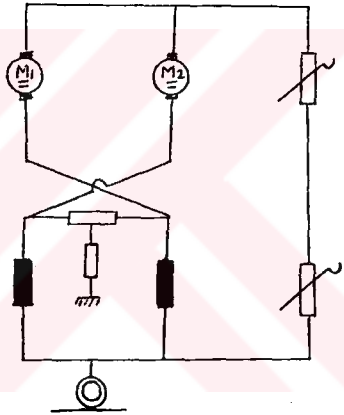
Frenleme kendinden uyarmalı direnimle frenlemedir. Seyr halinde 11 seri, 8 paralel, 2 alan zayıflatma (uyarma) kademesi bulunur.

600V



Şekil: 23 - Yolalma
(paralel bağlı)

600V

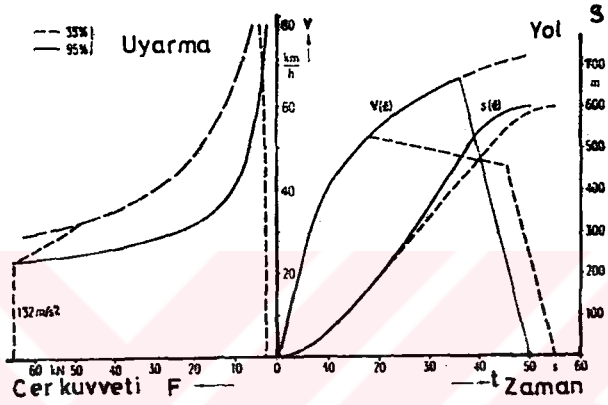


Şekil: 24 - Frenleme
(ön uyarmalı)

ÖRNEK: 15 - HAFİF RAYLI TAŞIT**Hafif Raylı Taşıt RTC 1 (Calgary şehrinde)**

Raylararası mesafe	1435 mm
Taşıt genişliği	2650 mm
Taşıt uzunluğu	23150 mm
Besleme gerilimi	600 V DC
Max. hız	80 km/h
Boş ağırlık	32.6 t
Yolcu kapasitesi	64
	oturma yeri,
	97
	ayakta durma yeri
	(0.25 m ² / yolcu)

Hafif raylı taşıtların bu nesli, şehir ve banliyöler arasındaki servis için olduğu gibi, şehir taşımacılığı ve tünel çalışmalar için tasarlanmıştır. İki taşıma motoru vardır, her birinin saatteki güç miktarı 150 kw, sürekli çalışmada ivme 1.32 m/s²'ye kadardır. Motorların seri/paralel yolalmaları için motor tahrik kontrolü çift anahtarlıdır. 17 kendinden uyarmalı reostatik frenleme kademesi ve 2 alan zayıflatma kademesi vardır.



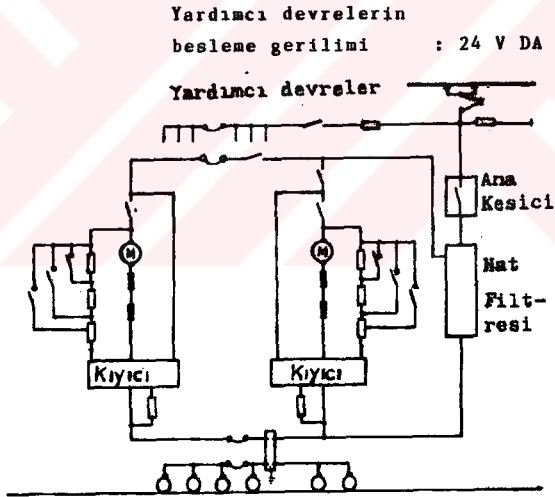
Şekil: 25 - Hafif raylı taşıtın hız-zaman eğrisi.

ÖRNEK: 16 - TRAMVAY

Avustralya'nın Melborn kentinde kullanılan Tramvay

Max. hız	70 km/h
Toplam yer	129 yolcu
Boş ağırlık	21 t
Gerilim	600 V DC

İki adet motor vardır ve çektikleri akım 360 A'dır.



Şekil: 26 - Sistemin tabrik donanımı.

ÖRNEK: 17 - HAFİF METRO

Charlerai ve Belçika'da kıyı boyunca kullanılmaktadır.

Teknik veriler:

Ray aralığı	1000 mm
Vagon toplam uzunluğu	22880 mm
Vagon genişliği	2500 mm
Zeminden tavana yükseklik	860 mm
Raydan tavana yükseklik	3260 mm
Tekerlek çapı	660 mm
Kapıların sayısı	4 çift/8 çift
Kapıların tipi	Açılır
Kapıların genişliği açık iken	1200 mm
Boş ağırlık	34.250 t/35 t
Oturma yeri sayısı	59/44
Ayaktaki yolcu kapasitesi	6 kişi/m ² : 132/148
Toplam yolcu kapasitesi	191/192

Elektrik Sistemi :

Nominal gerilim	600 V DC
Nominal güç	2 X 228 kw
Maksimum faydalı hız	75/65 km/h

ÖRNEK: 18 - HAFİF METRO**Manila hafif metrosu.****Teknik Veriler:**

Ray aralığı	1435 mm
Vagon uzunluğu	29280 mm
Vagon genişliği	2500 mm
Zeminden tavana yükseklik	900 mm
Raydan tavana yükseklik	3272 mm
Kullanılmamış tekerlek çapı	660 mm
Kapıların sayısı	5 çift (her iki tarafta)
Kapıların tipi	Uzaktan kumandalı, kendiliğinden açılıp kapanabilen kapılar.
Kapıların açıklığı	1300 mm
Boş ağırlık	41 t
Oturma yeri sayısı	81
Ayaktaki yolcu kapasitesi	293 (7 kişi/m ²)
Toplam yolcu kapasitesi	374

Elektrik sistemi

Nominal gerilim	750 V DC
Nominal güç	2 X 217.7 kw
Maksimum hız	60 km/h

ÖRNEK: 19 - HAFİF METRO

Mafsallarla birleştirilmiş Hafif Metro:
(Tri-Met, Portland ve Oregon hattı)

Teknik Veriler:

Ray aralığı	1435 mm
Vagon uzunluğu	26510 mm
Vagon toplam uzunluğu	27170 mm
Vagon genişliği	2650 mm
Zeminden tavana yükseklik	984 mm
Raydan tavana yükseklik	3398 mm
Tekerlek çapı, yeni/yıpranmış	711/660 mm
Bir taraftaki kapı sayısı	4 çift
Kapıların tipi	Kendiliğinden açılır, kapanır.
Kapıların açıklığı	1320 mm.
Boş ağırlık	41.8 t
Oturma yeri sayısı	76
Ayaktaki yolcu kapasitesi	135 (6 kişi/m ²)
Toplam yolcu kapasitesi	211

Tahrik Sistemi ve Elektrikli Yardımcı Sistemler

Nominal gerilim	750 V DC
Motor gücü	2 X 195 kw

ÖRNEK: 20 - HAFIF METRO

Hollanda Amsterdam'daki "Sneltram" Hafif Metro su

Teknik Veriler:

Ray aralığı	1435 mm
Vagon uzunluğu	30080 mm
Vagon genişliği	2650 mm
Zeminden tavana yükseklik	3424 mm
Tekerlek çapı, yeni	690 mm
Kapıların sayısı	12 çift
Kapıların tipi	Sürgülü
Kapıların açıklığı	1300 mm
Boş ağırlık	46.3 t
Oturma yeri sayısı	64
Ayaktaki yolcu sayısı	169
	(4.0 kişi/m ²)
Toplam yolcu kapasitesi	233

Tahrik Sistemi ve Elektrikli Yardımcı Sistemler

Nominal gerilim	600 V DC
Nominal güç	6 X 74 kw

ÖRNEK: 21 - TREN

Ülkemizde Haydarpaşa - Gebze hattında kullanılmakta olan elektrikli tren.

Bir faz, 25 kV - 50 Hz frekanstan beslenen (doğrultucularla) sistemde, tahrik motoru olarak doğru akım seri motor kullanılır.

BÖLÜM 3

3. BİR FAZLI KOLLEKTÖRLÜ SERİ MOTOR

3.1. GİRİŞ

Bir fazlı kollektörlü motor, alternatif akımla beslenen doğru akım motorunun aynısıdır. Bu motorda da rotorun bütün iletkenlerindeki akımlar aynı fazdadırlar.

Elektrikli trenlerin tahrikinde, geçmiş yıllarda çok kullanılan kollektörlü seri motor bugünde aynı amaçla kullanılmaya devam etmektedir. Bu motor doğru akım seri motorun bütün özelliklerini taşımaktadır.

Kollektörlü motor, asenkron motorun verimini düşürmeden hızını ayarlamak imkansız olduğundan, asenkron motorun endüisi yerine, sargısı doğru akım motorunun endüi sargısı ile aynı olan bir sargı koyularak yapılmıştır.

Bu şekilde imal edilmiş olan motorda hız ayarı istenilen şekilde yapılabildiği gibi, güç faktörünün de tam yükte bire yükseltilmesi de sağlanmış olur.

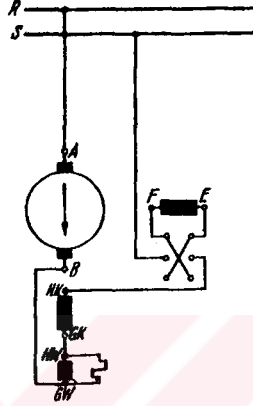
Kollektörlü seri motorun devamlı kullanımı komütasyon problemlerini ortaya çıkarır. Frekans arttıkça komütasyon daha da zorlaşır. Çünkü komütasyon sargısının reaktansı frekans ile orantılıdır. Bu nedenle bu tip motorlar tahrik amacıyla kullanıldığında frekans şebeke frekansının yarısından daha az bir değerde olmalıdır.

3.2. ÇALIŞMA PRENSİBİ

Bir fazlı kollektörlü seri motorun çalışması prensip olarak doğru akım seri motorun çalışması gibidir.

Bunun kontrolu amacıyla, doğru akım kollektörlü seri motorun uyarma devresi sargısından ve aynı zamanda rotorundan geçen akımın yönünü değiştirecek olursak, momentin yönü değişmeyeceğinden, motor aynı yönde dönmeye devam edecektir. Akımın yönünü sürekli olarak değiştirmeye devam edecek olursak, yani motorun kutuplarına alternatif bir gerilim uygulayacak olursak, aynı sonucu elde etmiş oluruz. Bu tür bir çalışmada, kutupları masif olarak yapılmış olan doğru akım motorunun Foucoult akımları kaybı çok yüksek olduğundan istenilen çalışma verimi elde edilemez. Bu sebepten ötürü kollektörlü alternatif akım motorlarında magnetik akımın dolaştığı stator, masif değil, saç parçalarının birbiri üzerine getirilmesiyle yapılır.

Kollektörlü motorun doğru akım seri motordan bir diğer farkıda hava aralığının daha küçük olmasıdır. Büyük oluklar içerisinde kutbu saran uyarma sargısı ve yardımcı kutup dişlerini saran yardımcı kutup sargısı bulunur. Kutup yayındaki oluklara kompanzasyon sargısı yerleştirilmiştir ve diğer sargılar ile seri olarak bağlanmıştır. Kompanzasyon sargısının görevi güç katsayısını iyileştirmektir. Bundan başka endüi akımı ile alanın şeklinin bozulmasına engel olur. Kollektörlü motor kompanzasyon sargısız yapılmış olsaydı, şebeke tarafından ek olarak fırçalar ekseninde endüinin tam mıknatıslama gücü temin edilmiş olacaktı. Endüide bükümlü şekilde yapılmış bir normal doğru akım sargısı vardır.



Şekil: 3.1 - Bir fazlı seri motorun bağlama şeması.

Yardımcı kutup sargısına paralel bir omik direnç ve gerekirse buna seri olarak da bir endüktif direnç bağlanır. Yardımcı kutup sargısından fazı kaydırılmış bir akım geçer, bu akımın bir bileşeni reaktans gerilimini yok edecek bir alan ve diğer bileşeni ise komütasyon yapan bobindeki transformatör gerilimini yok edecek bir alan meydana getirir.

Kollektörlü seri motor herhangi bir frekansta çalıştırılabilir. Fakat elektrikli trenlerin tahrikinde kullanıldığında, yalnız elektrikli tren frekansı olan $16 \frac{2}{3}$ Hz'lik frekansta çalıştırılır. Motorun şebekeden çektiği akım uyarma sargısından geçer ve esas kutup ekseninde titreşen bir ϕ akısı meydana getirir. Bu akı doğru akımın geçtiği endüi iletkenleri ile bir döndürme momenti meydana getirir. ϕ ve I

birbirlerine doyma eğrisi $\phi=f(I)$ ile bağlıdır. Döndürme momenti ϕ ve I 'nin çarpımı ile orantılıdır. Doyma eğrisi, doymamış motorlarda I akımı ile karışel olarak, çok doymuş motorlarda ise doğrusal olarak değişir. Eğer I verilmişse, döndürme momenti pratik olarak devir sayısına bağlıdır. Fakat devir sayısının artması ile I düştüğünden, döndürme momenti de hızın artması ile azalır. Şekil 3.2'de motorun belirli bir $\bar{I}$ akımı için fazör diyagramı gösterilmiştir [19].



Şekil: 3.2. - Bir fazlı kollektörlü seri motorun fazör diyagramı

Toplam şebeke gerilimi, $\bar{I}$ ile aynı fazda bulunan $\bar{I}.R$ omik gerilim düşümü ile endüi, yardımcı kutup ve kompanzasyon sargılarının birlikte $\bar{I}.j X_s$ ile ifade edilen endüktif kaçak gerilim düşümlerinden ve uyarma sargısının $\bar{I}.j X_{alan} = U_{alan}$ endüktif gerilim düşümünden meydana gelir, bunlara sonuçta $\bar{I}$ ile aynı fazda olan endüinin faydalı gerilimi, yani endüinin $\bar{U}$,

rotasyon gerilimi de gelir. Her iki endüktif gerilim düşümü $\bar{I}.j X_s$ ve $\bar{U}_{alın}$ akıma göre 90° önde giderler.

Yardımcı kutup ve kompanzasyon sargılarında ve endüide meydana gelen her watsız gerilimin $\bar{I}.j X_s$ düşümüne göre daha büyük olduğu, fakat sargılar ters bağlandığı için, $\bar{I}.j X_s$ değerine kadar birbirlerini götürdükleri gözönünde tutulmalıdır. Alan sayısındaki watsız gerilim doğal olarak bir ters sargı aracılığı ile azaltılamaz. Yardımcı kutup sargılarına paralel bağlanan dirençler ile meydana gelen küçük omik bileşenler ihmal edilsin. Rotasyon gerilimi $\bar{U}_r$, devir sayısı ile direkt olarak orantılı olduğundan sabit $\bar{I}$ akımında devir sayısının artması ile şebeke geriliminin de yükselmesinin gerektiği ve $\bar{U}$ ile $\bar{I}$ arasındaki α açısı aracılığı ile tayin edilen güç katsayısının, devir sayısının artması ile iyileştiği, fakat 1.0 olamayacağı görülür. Diğer taraftan sabit şebeke geriliminde ve artan akımda devir sayısı düşmelidir, bu şekilde seri karakteristik açıklanır. Diğer akımlarla kaçak gerilim ve omik gerilim düşümü orantılıdır, alan ve rotasyon gerilimleri buna karşılık doyma eğrisi aracılığı ile hesaplanır.

Kollektörlü seri motorlarda dönüş yönü, alan devresinde bulunan bir enversör yardımı ile değiştirilir.

Bu motorlar için döndürme momenti, doğru akım motorlarında olduğu gibi, birbirini takibeden iki fırça arasında, yani bir kutup taksimatı boyunca, özgül amper iletken sayısı (a_p) sabittir. Bu durumda döndürme momenti aşağıdaki şekildedir.

$$M_d = p \cdot D \cdot l \cdot a_p \int_0^{\tau_p} B \, dx \quad (3.1)$$

Kollektörlü motorun iki fırçası arasında bir kutup taksimatı boyunca alan eğrisi şekline bağlı olmadan endüye giren toplam akı:

$$\phi = l \cdot \int_0^{\tau_p} B \, dx \quad (3.2)$$

Bu alanı esas dalga ve harmoniklere ayırmaya gerek yoktur. Bu durumda doğru akım motorlarında olduğu gibi, kollektörlü seri motorlarda da döndürme momenti için; {11}

$$M_d = p \cdot D \cdot a_1 \cdot \phi \quad [Nm] \quad (3.3)$$

Burada;

p () Çift kutup sayısı

D (m) Endüi çapı

a_1 (A/m) Özgül amper-iletken sayısı

ϕ (Wb) Magnetik akı'dır.

Kollektörlü motor ile doğru akım motorunun döndürme momenti aynıdır. Fakat aralarında bir fark vardır. Kollektörlü motorlarda özgül amper-iletken sayısı ile magnetik akı zamanın fonksiyonlarıdır.

Özgül amper - iletken sayısı:

$$a_1 = A \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \omega t \quad (3.4)$$

Magnetik akı:

$$\phi = \phi_m \cdot \sin (\omega t - \psi) \quad (3.5)$$

(3.4) ve (3.5) denklemlerini (3.3)'te yerlerine koyarsak, ortalama döndürme momentini buluruz.

$$M_d = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot p \cdot D \cdot A \cdot \phi_m \cdot \cos \psi \quad (3.6)$$

Buradaki ψ açısı, birbirini izleyen iki fırça arasından endüye giren ve çıkan akı ile akım arasındaki faz farkıdır.

Elektromotor kuvvet:

$$E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot \omega \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \phi_{max} \quad (3.7)$$

Kutup adımı :

$$\tau_p = \frac{\pi D}{2p} \quad (3.8)$$

(3.7) ve (3.8) denklemlerini aşağıdaki moment ifadesinde yerlerine koyalım.

$$M_d = \frac{\pi}{4} \cdot p \cdot D \cdot A_n \cdot \phi_n \cdot \cos \psi \quad (3.9)$$

$$M_d = \frac{E \cdot I}{\omega / p} \cdot \cos \psi \quad (3.10)$$

bağıntısı elde edilir.

Döner alan gücü (iç güç):

$$P_D = E \cdot I \cdot \cos \psi \quad [W] \quad (3.11)$$

Geometrik açısal hız:

$$\omega_{geo} = \frac{\omega}{p} \quad (3.12)$$

olursa;

(3.10) ifadesi;

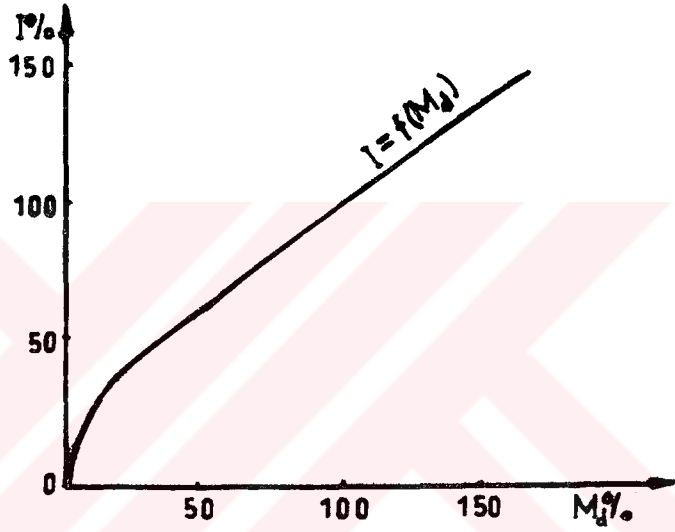
$$M_d = \frac{P_D}{\omega_{geo}} \quad [Nm] \quad (3.13)$$

şeklini alır.

3.3. İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ

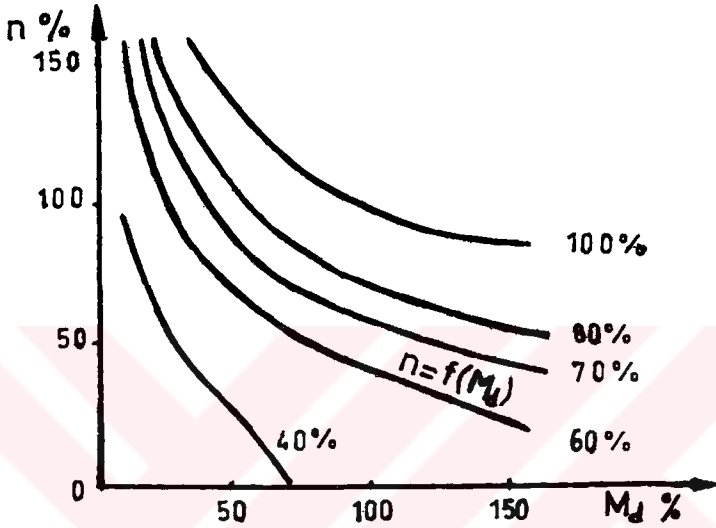
Motorun döndürme momenti M_d , küçük doymalarda akımın karesiyle orantılı olduğundan, akımın, döndürme momentinin

fonksiyonu olduğu eğri başlangıç kısmında parabol şeklindedir. Akım arttıkça $I=f(M_d)$ eğrisi bir doğru şeklini almaya başlar (Şekil: 3.3).



Şekil: 3.3. Bir fazlı kollektörlü seri motorda akımın döndürme momentine bağlı değişimi.

Kollektörlü motorda döndürme momentinin fonksiyonu olarak devir sayısı karakteristiği, $n=f(M_d)$, doğru akım motorlarında olduğu gibi hiperbol şeklindedir (Şekil: 3.4)

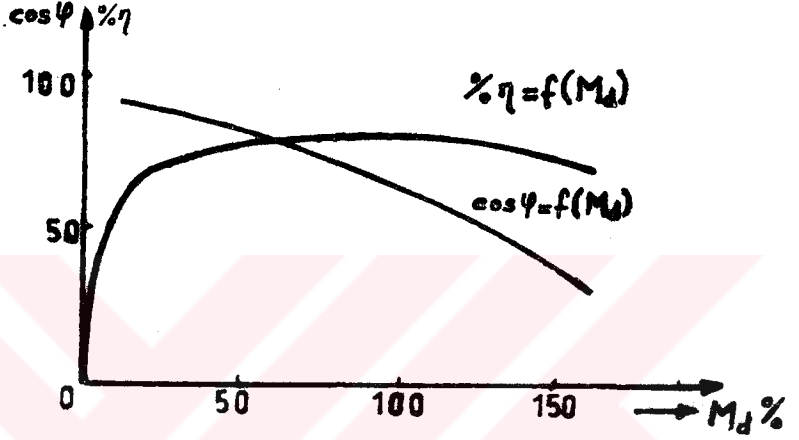


Şekil: 3.4 - Bir fazlı kollektörlü seri motorda momentin devir sayısına bağlı değişimi.

$I = f(M_d)$ karakteristiği motora uygulanan gerilimin değişik değerlere ayarlanması ile değişmez. Fakat $n = f(M_d)$ karakteristiği her gerilim değerinde, yeni bir $n = f(M_d)$ şeklini alır.

Bir fazlı kollektörlü motorun $\eta = f(M_d)$ karakteristiği Şekil: 3.5'de gösterilmektedir.

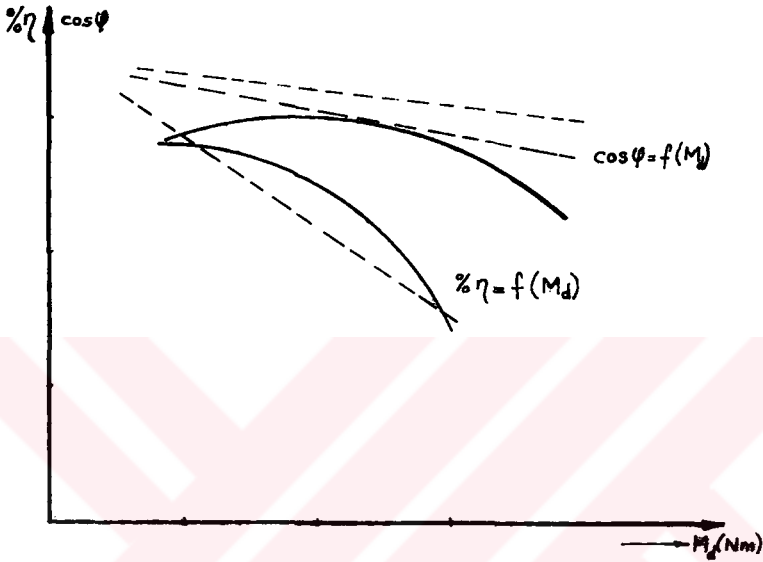
$\cos \varphi = f(M_d)$ karakteristiği de aynı eksen takımında gösterilmiştir.



Şekil: 3.5 - Bir fazlı kollektörlü seri motorun $\% \eta = f(M_d)$ ve $\cos \varphi = f(M_d)$ karakteristikleri.

368 kw gücünde, devir sayısı 640 d/d ve saatlik gücü 641 kw olan, elektrikli tren motoruna ait $\% \eta$ ve $\cos \varphi$ eğrileri.

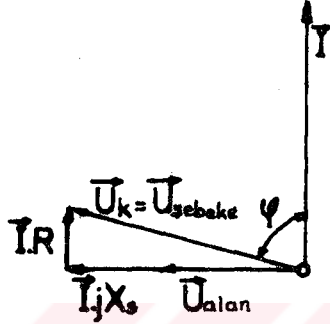
Motora uygulanan gerilim azaldıkça eğride aşağıya doğru düşer.



Şekil: 3.6 - Tren motorunun $\% \eta = f(M_d)$ ve $\cos \varphi = f(M_d)$ karakteristikleri.

3.4. YOLVERME

Kollektörlü motora yol verme fırça kaydırma yöntemi ile yapılır. Doğru akım motorlarından bahsedildiği gibi, ilk anda elektromotor kuvvet sıfırdır. Fazör diyagramında gösterildiği gibi akım ve gerilim fazörleri arasındaki açı 90° 'ye yakın olur ve $\cos \varphi$ güç faktörü de sıfıra yaklaşır.



Şekil: 3.7 - Bir fazlı kollektörlü seri motorun yolvermesine karşı gelen fazör diyagramı.

Sıfıra yaklaşan $\cos \varphi$ değerinin iyileştirilmesi için motorun X_a ve X_s reaktanslarını küçültmek ve endüinin elektromotor kuvvetini büyütmek gerekir. Endüi elektromotor kuvvetine karşı olan zıt elektromotor kuvvet yok edilemez fakat bir miktar azaltılabilir. Endüi enine alanının oluşturduğu zıt e.m.k ise ϕ endüi akısını tamamen veya kısmen yok etmek üzere stator üzerine yerleştirilmiş bulunan kompanzasyon sargısı aracılığı ile sıfıra kadar düşürülebilir.

Fırçalar kollektör üzerinde nötr ekseninde iken, endüi ve kompanzasyon sargılarının ortak ekseni uyarma sargısı ekseni ile dik bir açı oluşturur. Kompanzasyon sargısı bulunan motorların $\cos \varphi$ si, bu sargısı olmayan motorlara nazaran çok daha yüksektir.

Stator ve endüi sargı eksenleri arasındaki elektriki açısı sıfır iken statora nominal gerilim uygulanır. Daha sonra fırçalar işletme konumuna getirilir ve motor yolalmaya başlar.

3.5. HIZ AYARI

Kollektörlü motorun hız ayarı hemen hemen yalnızca motorun statoruna uygulanan gerilimin değiştirilmesi ile yapılabilir. Bu gerilim ise bir transformatörün bağlantı uçları olan sekonder tarafından alınır.

Sabit frekanslı bir şebekede enerji kaybı olmaksızın geniş sınırlar içinde devir sayısı ayarı kollektörlü alternatif akım makinalarında mümkündür. Kollektöre ve fırçaların kıvılcım yapmasına karşılık bu motorlar büyük devir sayısı ayar alanına sahip olmalarından işletmede istekle kullanılırlar.

Kollektörlü motorlarda hız ayarı fırçaların kollektör üzerinde ileri geri kaydırılması ile yapılmaktadır.

3.6. FRENLEME

Kollektörlü motorlarda frenleme doğru akım seri motorlardaki frenleme şekillerine benzer. Doğru akım şönt motordaki faydalı frenleme şekli, nasıl ki doğru akım seri motorda kolayca yapılamıyorsa, kollektörlü seri motorda da aynı şekilde kolayca yapılamaz.

Direnimle fren çalışma doğru akım seri motorlarda olduğu gibi kollektörlü seri motorda da kullanılabilir. Ayrıca ters akım bağlantısı ile de frenleme şekli uygulanabilir.

3.7. UYGULAMA ALANLARI

Kollektörlü seri motorların uygulama alanları çok benzediği doğru akım seri motorların uygulama alanları ile hemen hemen aynıdır. Elektrikli çekme, yük kaldırma makinaları gibi.

Çok seneler öncesinden elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır.

Bir, fazlı kollektörlü seri motor özellikle elektrikli uzun demiryollarında bugüne kadar tercih edilerek kullanılmış ve bugün de hala kullanılmaktadır.

Kollektörlü motorlar ilk kullanılmaya başladığı günden bugüne, değişik alternatifler aranmasına neden olmuştur. Çünkü kollektörlü motorların kullanılmasında bazı dezavantajlar vardı. Tarihsel gelişim sürecinde bu dezavantajların ortadan kaldırılması için çaba sarfedildi. Sonuçta daha az bakım gerektirmesi, fırça problemini ortadan kaldırmak (fırçalardaki aşınma), nedeniyle kollektörlü motorların yerine üç fazlı asenkron motorlar tercih edilmeye başlandı.

3.7.1. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDEKİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

ÖRNEK: 1 - TREN

Türkiye'de Sirkeci-Halkalı Hattında Kullanılan Elektrikli Tren

Bu tren 1955 yılında işletmeye açılmıştır. Bugün hala kullanılmaktadır.

Güzergah uzunluğu

28 km

Demiryolu uzunluğu

75 km dir.

Bu merkez bugün monofaze olarak çalışmaktadır.

Sistemde kullanılan kollektörlü cer motorunun özellikleri:

(TAM 639)

Sürekli çalışmada

Gerilim	240 V
Akım	1320 A
Güç	254 kW
Devir sayısı	1530 d/d
Güç faktörü	0.925

1 saatlik çalışmada:

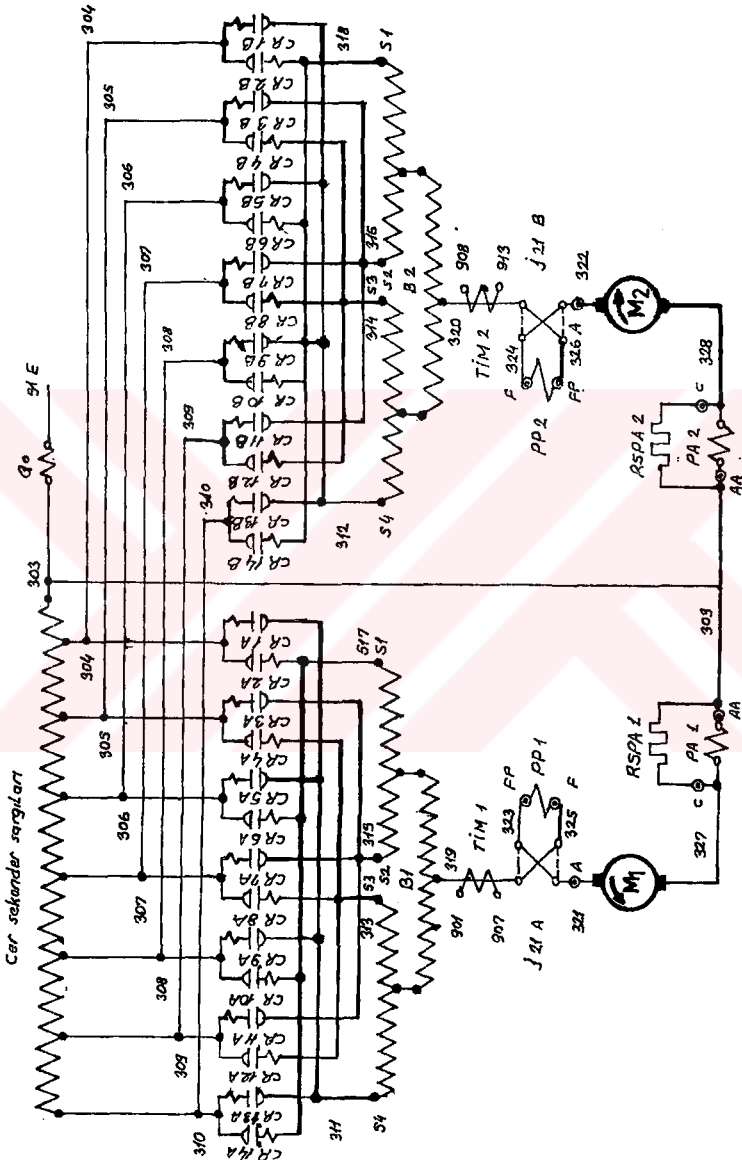
Gerilim	250 V
Akım	1400 A
Güç	272 kW
Devir sayısı	1400 d/d
cos	0.925

Tren'e ait değerler

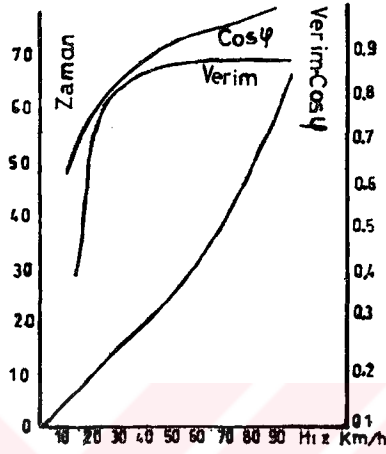
Dinji sayısı	4
Lokomotifin boş ağırlığı	
Vagon	48 t
Römork	31 t
Maksimum hız	90 km/h
Motor adedi	2

Motorlar kendinden havalandırılmalı olarak soğutulmalıdır.

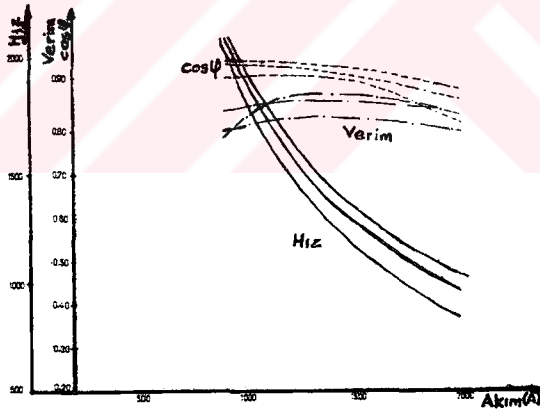
Motorlar, yağda tabii soğutmalı 500 kVA gücünde bir transformatör aracılığı ile paralel olarak bağlanmışlardır.



Şekil: 1 - TAM 639 lokomotifinin tahrik donanımı.



Şekil: 2 - TAM 639'un verim, $\cos \varphi$ ve hız karakteristikleri.



Şekil: 3 - TAM 639 Cerr motorunun sabit sıcaklık ve gerilimde hız - akım, verim - akım ve $\cos \varphi$ - Akım Egrileri.

BÖLÜM 4

4. ÜÇ FAZLI ASENKRON MOTOR

4.1. Giriş

Asenkron motor veya endüksiyon motoru duran bir kısım ile dönen bir kısımdan oluşur. Duran kısma stator, dönen kısma rotor adı verilir. Asenkron motorlar bir yada çok fazlı yapılabilir. Endüstride kullanılan elektrik motorları içinde tercih edilmesinin nedeni, sağlam oluşu, az arıza yapması, ucuz olmasıdır. Bu sebeplerden dolayı endüstride en çok kullanılan motor olmuştur. Çalışma şekli bakımından bu motorlara "Endüksiyon motorları"da denir. Bu motorları senkron motorlardan ayıran en büyük özellik, dönme hızının sabit olmayışındır.

Üç fazlı asenkron motorun elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanımı oldukça fazladır. Özellikle hızlı tren, metrolar, yakın mesafe raylı ulaşım sistemleri, elektrikli lokomotiflerde kullanılmaktadır. Güç elektroniği ile tahrik ve mikroislemciler ile kontrolün devreye girmesi alternatif akım tahrik tekniğinin gelişimini arttırmıştır.

Asenkron motorların hız ayarları, doğru akım motorlarının hız ayarı ve kontrolü kadar kolay ve ucuz düzenlerle yapılamamaktaydı. Fakat günümüzde tristörlü devreler ile bu motorların hızları da kolay bir şekilde ayar ve kontrol edilebilmektedir. Bu nedenle de bu motorlar elektrikli ulaşım sistemlerinde tercih edilebilir duruma gelmiştir.

Bu motorların özellikle sincap kafesli tipleri ayarlanabilir hızlı alternatif akım tahrik sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

4.2. ÇALIŞMA PRENSİBİ

Üç fazlı asenkron motorların statorlarında uzayda aralarında 120° 'lik elektriki açısı bulunan üç faz sargısı vardır. Bu sargılar yıldız ya da üçgen olarak bağlanabilir. Rotor sargıları sincap kafesli ya da bilezikli asenkron motorda genellikle yıldız olarak bağlanır.

Asenkron motorun stator sargıları, her fazda seri ya da üçgen olarak bağlanabilen çift sargı olarak sarılabilir. Ayrıca kutup sayısı değiştirilerek dönme sayısı ayarlanabilen, özel stator sargı bağlantıları da yapılmaktadır.

Üç fazlı sargılara aralarında 120° 'lik açı bulunan üç fazlı sinüsoidal gerilim uygulanır. Sürekli sinüsoidal çalışmada bir faz sargısına yıldız bağlamada, şebekenin faz arası gerilimi U ise $U/\sqrt{3}$ faz-nötr gerilimi etki eder. Sargı akımları motorun şebekeden çektiği akıma eşittir. Üçgen bağlamada ise bir faz sargısına fazarası gerilimi U etki eder ve sargı akımları motorun şebekeden çektiği akımının $1/\sqrt{3}$ 'idir.

Rotoru sargılı asenkron motorların statorları da yıldız ya da üçgen bağlanabilir. Rotor sargıları genellikle yıldız bağlanır.

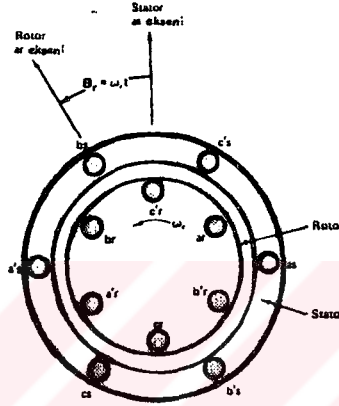
Genel olarak üç fazlı bir asenkron motorun stator sargısının şebekeye paralel bağlanması ile stator sargısına şebekeden bir akım akmaya başlar. Bu akımın akmasıyla bir döner alan meydana gelir. Meydana gelen bu döner alan statora nazaran n_s ile belirtilen bir senkron devir sayısı ile döner. Bu senkron devir

sayısı şebeke frekansı ve çift kutup sayısına bağlıdır. Bu döner alan, rotor sargısında gerilimler endükler ve bunun sonucunda kapalı bir devre oluşturan rotor sargısından akımlar akar. Bu akımlar rotoru stator döner alanı yönünde tahrik edip, rotor devir sayısını stator döner alan devir sayısına yaklaştırmaya çalışan döndürme momentleri meydana getirirler. Rotor hiç bir durumda döner alanın hızına ulaşamaz. Aksi takdirde rotor sargılarında gerilim endüklenemediğinden, rotoru döner alan yönünde tahrik edecek döndürme momentleri de meydana gelmez. Bu sebeptendir ki, rotor döner alana nazaran daima bir kayma ile döner alanın peşinden gider. Aynı zamanda rotor devir sayısı da döner alandan az veya çok küçüktür. Bu motorlara asenkron motor denmesinin nedeni de budur. Motor büyük bir fren momentleri ile yüklenecek olursa, rotor devir sayısı ile döner alan devir sayısı arasındaki fark o kadar büyümüş olur. Yani kayma o kadar büyük olur. Kaymayla orantılı olarak endüklenen gerilim ve akımda büyümüş olur. Akımın büyümesi ile rotorda endüklenen döndürme momentinin de büyümesi sağlanır. Rotorda endüklenen gerilim belirli bir hıza kadar yapılır. Bu bir sınırdır. Bu sınırdaki döndürme momentine "devrilme momentleri" denir.

Asenkron makina dıştan bir tahrik makinası ile döner alan hızı üzerinde tahrik edilecek olursa, bu durumda rotor ile döner alan arasındaki hız farkı (kayma) negatif olur. Yani rotor döner alandan daha hızlı döner ve rotorda endüklenen döndürme momentleri döner alana ters etki yapar. Bu durumda asenkron makina motor olarak değil de generatör olarak çalışır ve statordan şebekeye elektrik enerjisi verir. Bu da bize asenkron makinanın motor olarak çalışmasının yanında, döner alan yönünde senkron üstü tahrik edilerek generatör olarak çalışabildiğini gösterir. Bu özelliğinden dolayı da asenkron motorlardan elektrikli ulaşım

sistemlerinde yararlanılmaktadır.

İdeal üç fazlı iki kutuplu bir asenkron motora ait şekil aşağıda verilmiştir (Şekil: 4.1).



Şekil: 4.1 - İdeal üç fazlı iki kutuplu bir asenkron motor.

Stator ve rotor sargılarının her fazında, uzayda 120° açı yapacak şekilde dağıtılmış faz sayısına eşit bobin grupları vardır. Stator sargıları dengeli üç fazlı alternatif gerilimle beslendiğinden bu gerilim kısa devre rotor sargılarında, endüksiyon veya transformatör etkisiyle akımlar endüktler.

Sargıların ideal olmayan şekilde dağılımına ve sinüsoidal olmayan gerilim ve akım dalga şekillerine bağlı olarak üreyen harmoniklerin etkisi ihmal edilirse, statorun hava aralığında senkron hızla dönen sinüsoidal akı yoğunluğu dalgası meydana getirdiği gösterilebilir.

Senkron hız :

$$n_s = \frac{60 \cdot f_s}{p} \quad [d/d] \quad (4.1)$$

$f_s (H_s)$ Statora uygulanan gerilimin frekansı

p () Çift kutup sayısı

formülüyle hesaplanır.

Rotor başlangıçta duruyorsa, rotor iletkenlerinde aynı frekansta akım endüklenecektir. Şekil: 4.2.'de gösterildiği gibi hava aralığı akısı ile rotor magnetomotor kuvvetinin birbirine etkisi sonucu motorda moment ürer. Senkron hızda rotor herhangi bir endüksiyona maruz kalmaz ve bu nedenle moment meydana gelmez. Herhangi bir n_r rotor hızında, $n_s - n_r$ farkı meydana getirir ve per-unit olarak s kayması: {9}

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{\omega_s - \omega_r}{\omega_s} \quad (4.2)$$

şeklinde hesaplanır.

Burada;

s ()

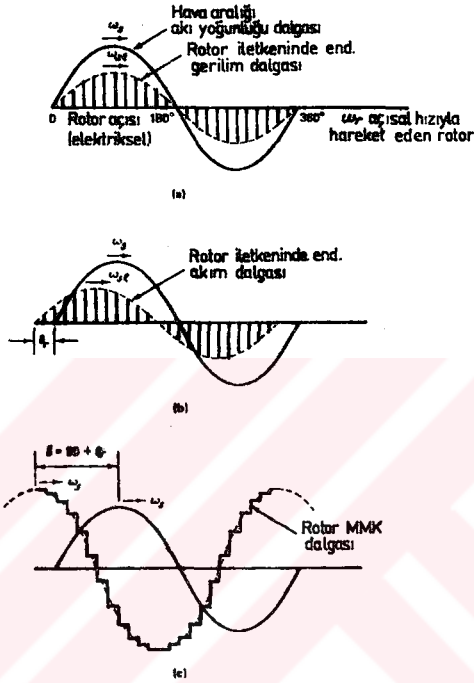
Kayma

ω_s (rad/s)

Stator açısal frekansı

ω_r (rad/s)

Açısal frekans olarak rotor
elektiriksel hızı



Şekil: 4.2 - Hava aralığı akısı ve rotor magnetomotor kuvvet etkileşimi ile momentin oluşumu.

Şekil: 4.2 (a)'da, ω_s hızıyla hareket eden sinüsoidal hava aralığı akı yoğunluğu, dikey çizgilerle gösterilen rotor iletken gerilimlerini endükler. Sonuçta meydana gelen rotor akım dalgası, rotor güç faktörü açısı θ , kadar gerilimden geri kalır. Rotor akım dalgası ω_s kayma açısal frekansı ile hareket etmektedir. Basamaklı rotor magnetomotor kuvveti dalgası, şekilde kesik

çizgilerle yaklaşık olarak gösterilebilen akım dalgasından elde edilebilir. Rotorun ω_r açısal hızı ile dönmesi ve akım dalgasının ω_{sl} kayma frekansı ile dönmesinden dolayı, rotor magnetomotor kuvvet dalgası senkron hızla hareket edecektir.

Yani;

$$\omega_s = \omega_r + \omega_{sl} \quad [\text{rad/s}] \quad (4.3)$$

olacaktır.

Asenkron motorda endüklenen momentin ifadesi:

$$M_e = \pi \cdot p \cdot l \cdot r \cdot B_p \cdot F_p \cdot \sin \delta \quad [N_m] \quad (4.4)$$

formülüyle verilir. {10}

p ()	Çift kutup sayısı
l (m)	Stator boyu
r (m)	Stator yarı çapı
B_p (Wb/m ²)	Hava aralığı akı yoğunluğu tepe değeri
F_p (A.sarım)	Rotor magnetomotor kuvvet tepe değeri
$\delta = 90 + \theta_r$	

Yukarıdaki (4.4) ifadesi aşağıdaki şekilde de verilebilir.

$$M_e = \frac{m}{2} p \cdot |\overline{\psi}_s| \cdot |\overline{I}_r| \cdot \sin \delta \quad (4.5)$$

$ \overline{\psi}_s $	(wb . sarım)	Kutup başına hava aralığı toplam akısının tepe değeri
$ \overline{I}_r $	(A)	Rotor akımı tepe değeri
m ()		Faz sayısı

Eşdeğer Devre:

Asenkron motorun faz başına eşdeğer devresi transformatörün eşdeğer devresinden faydalanarak Şekil: 4.3'teki gibi çizilebilir. Senkron hızla dönen hava aralığı akısı V_n zıt elektromotor kuvvetini üretir. Bu gerilim rotor tarafında kayma

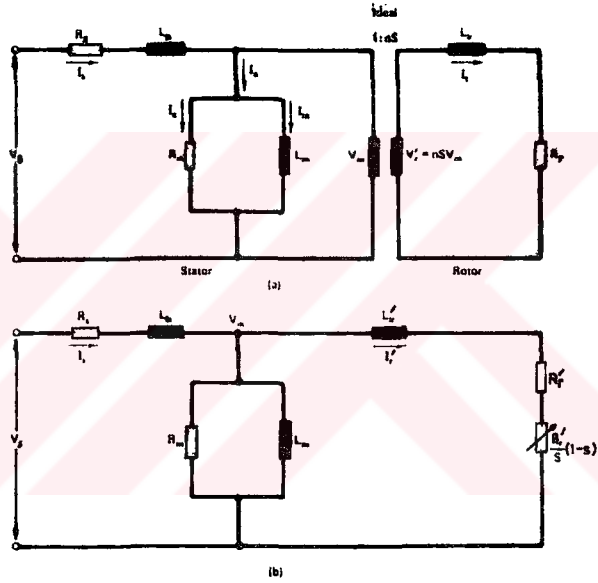
gerilimine dönüştürülür;

$$V'_r = n_d \cdot s \cdot V_n \quad [V] \quad (4.6)$$

n_d () Rotor ve stator sarım sayıları oranı

s () Kayma

V_n (V) Zıt elektromotor kuvveti



Şekil: 4.3. Asenkron motorun bir faz eşdeğer devresi.

Stator faz gerilimi V_s , V_n 'den R_s stator direnci ve L_{ls} kaçak endüktansındaki gerilim düşümü kadar farklıdır.

Boşta çalışma akımı I_0 'ın iki bileşeni vardır. Demir kayıplarına karşılık I_c ve mıknatıslama bileşeni I_m akımları

aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I_c = \frac{V_n}{R_n} \quad [A] \quad (4.7)$$

R_n (Ω) Uyarma kayıpları eşdeğer direnci

$$I_n = \frac{V_n}{\omega_s \cdot L_n} \quad [A] \quad (4.8)$$

L_n (H) Mıknatıslama endüktansı

I_s stator akımı, boşa çalışma akımı I_0 ile statora indirgenmiş I'_r rotor akımının toplamına eşittir. Statora indirgenmiş rotor akımı:

$$I'_r = n_d \cdot I_r = \frac{n_d^2 \cdot s \cdot V_n}{R_r + j \omega_{sl} \cdot L_{lr}} = \frac{V_n}{\frac{R'_r}{s} + j \omega_s L'_{lr}} \quad [A] \quad (4.9)$$

olarak bulunur. R'_r ve L'_{lr} statora indirgenmiş değerlerdir. Motor dururken $s=1$ olur ve bu durum transformatörün kısa devre çalışmasına karşılık gelir. Yani rotor durmakta iken motor kısa devre durumundadır. Senkron hızda $s=0$ 'dır. $I'_r=0$ olacağından motor sadece I_0 boşa çalışma akımını çeker.

Asenkron motorun eşdeğer devresine ait fazör diyagramı

Şekil: 4.4'te gösterilmiştir.

$$M_s = K' \cdot I_m \cdot I_f \sin \delta \quad (4.11)$$

$$= K' \cdot I_m \cdot I_s \sin \theta$$

$$= K' \cdot I_m \cdot I_s \quad (4.12)$$

(4.12) ifadesi doğru akım motorlarının moment eşitliğine benzemektedir. I_m stator akımının mıknatıslama bileşeni, $I_s = I_s \cdot \sin \theta =$ stator akımının moment bileşeni ve K' moment sabitidir.

Eşdeğer devre analizi:

Motorun güç ve kayıp eşitlikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Giriş gücü:

$$P_s = 3V_s \cdot I_s \cdot \cos \phi \quad [W] \quad (4.13)$$

V_s (V) Stator faz gerilimi

I_s (A) Stator faz akımı

Stator bakır kaybı:

$$P_{scc} = 3I_s^2 R_s \quad [W] \quad (4.14)$$

R_s (Ω) stator faz direnci

Demir kayıpları:

$$P_{Fe} = 3 \frac{V_m^2}{R_m} \quad [W] \quad (4.15)$$

Hava aralığı gücü;

$$P_g = 3 I_r'^2 \frac{R_r'}{s} \quad [W] \quad (4.16)$$

I_r' (A) Statora indirgenmiş rotor akımı

R_r' (Ω) Statora indirgenmiş rotor direnci

s () Kayma

Rötor bakır kayıpları

$$P_{reu} = 3 I_r'^2 R_r' \quad [W] \quad (4.17)$$

Mekanik güç:

$$P_m = P_g - P_{reu} = 3 I_r'^2 R_r' \frac{1-s}{s} \quad [W] \quad (4.18)$$

Mil gücü

$$P_{mil} = P_m - P_{s,v} \quad [W] \quad (4.19)$$

$P_{s,v}$ (W) Sürtünme, vantilasyon kayıpları

Verim:

$$\eta = \frac{P_{mil}}{P_g} = \frac{P_m - P_{s,v}}{P_g} \quad (4.20)$$

Mekanik güç, endüklenen moment ve hızın fonksiyonudur ve M_e değeri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$M_e = \frac{P_g}{\omega_n} = \frac{3}{\omega_n} \cdot I_r'^2 \cdot R_r \cdot \frac{1-s}{s} \quad (4.21)$$

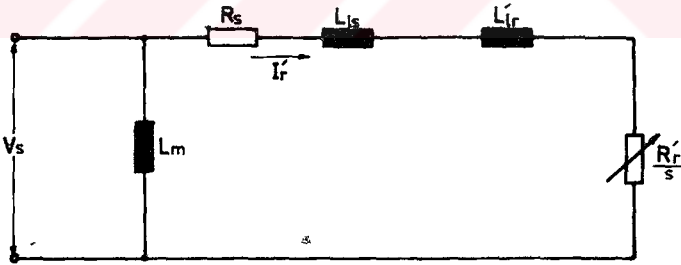
Rotor mekanik hızı:

$$\omega_n = \frac{\omega_r}{p} \quad [\text{rad/s}] \quad (4.22)$$

(4.16) ve (4.21) eşitliklerinden;

$$M_e = p \cdot \frac{P_g}{\omega_s} \quad (4.23)$$

yazılır ki, momentin, stator frekansının bilinmesi durumunda hava aralığı gücünden hesaplanabileceği görülür. {9}



Şekil: 4.5. - Yaklaşık eşdeğer devre.

Asenkron motorun yaklaşık eşdeğer devresi Şekil: 4.5'te gösterilmiştir. Burada $V_s = V_n$ kabul edilmiş ve R_n 'in, çok büyük olduğu varsayılmıştır. Bu durumda I_r' akımı:

$$I_r' = \frac{V_s}{\sqrt{\left(R_s + \frac{R_r'}{s}\right)^2 + \omega_s^2 \cdot (L_{ls} + L_{lr}')^2}} \quad [A] \quad (4.24)$$

(4.21) ve (4.24) eşitliklerinden;

$$M_g = 3p \frac{R_r'}{s \cdot \omega_s} \cdot \frac{V_s^2}{\left(R_s + \frac{R_r'}{s}\right)^2 + \omega_s^2 \cdot (L_{ls} + L_{lr}')^2} \quad (4.25)$$

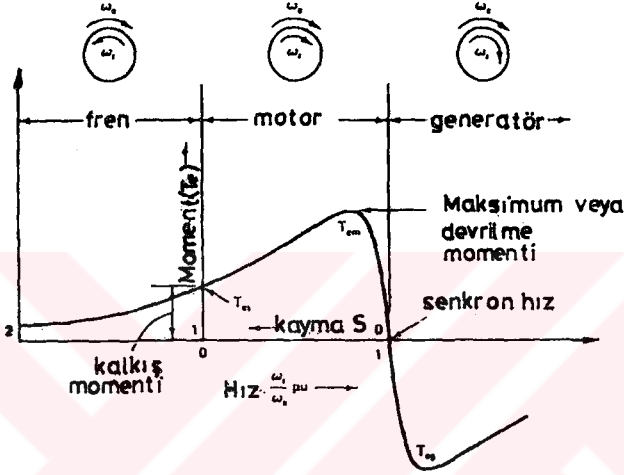
ifadesi bulunur. Bu eşitlik, asenkron motorda momentin rotor direnci ve gerilimin karesi ile doğru orantılı olduğunu göstermektedir.

(4.25) eşitliğinde $s=1$ koyulursa, motorun kalkış momentini buluruz.

$$M_{gy} = 3p \frac{R_r'}{\omega_s} \cdot \frac{V_s^2}{(R_s + R_r')^2 + \omega_s^2 \cdot (L_{lr} + L_{lr}')^2} \quad (4.26)$$

Şekil: 4.6 sabit gerilim ve frekans için asenkron motorun devir sayısı moment karakteristiklerini göstermektedir. Kaymanın $0 \leq s \leq 1$ aralığında motor çalışma, $1 \leq s \leq 2$ aralığında fren ve kaymanın negatif değerlerinde generatör çalışma sözkonusudur. Şekilde M_{gn} değeri motorun maksimum veya devrilme momentidir. Frenleme bölgesinde rotor, hava aralığı akısının ters yönünde

dönmektedir. Bu durum motor çalışmada, statoru besleyen üç fazın ikisinin yön değiştirilmesi veya motorun yük tarafından ters yönde tahrik edilmesiyle ortaya çıkar.



Şekil: 4.6. - Sabit gerilim ve frekansta hız-moment eğrisi.

Generatör çalışma bölgesinde motorun devir sayısı senkron hızın üzerindedir. Kaymanın negatif olması nedeniyle R_f/s direnci negatif olacaktır. Bu durumda bu direnç enerji tüketecek ve üretilen enerji şebekeye geri verilecektir. Stator frekansının değiştirilmesiyle hız kontrolunda, stator frekansı statorun açısal hızı ω_s , rotorun açısal hızı ω_r 'den küçük olacak şekilde ayarlanarak regeneratif frenleme etkisi sağlanabilir.

(4.25) eşitliği s 'e göre türetilip sıfıra eşitlenirse motorun devrilme kayması bulunabilir.

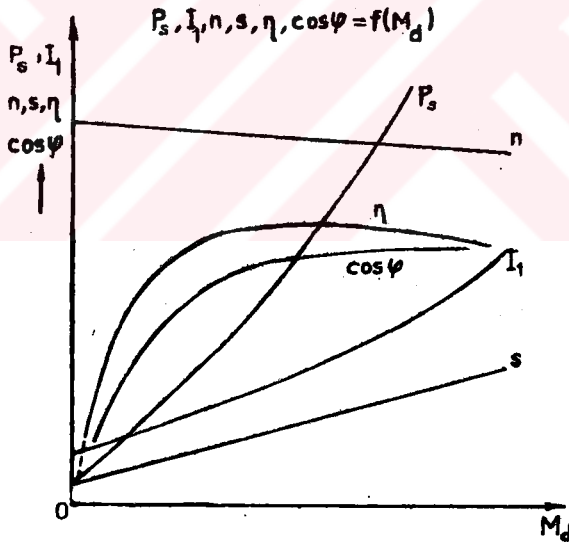
$$s_k = \pm \frac{R_r'}{\sqrt{R_s^2 + \omega_s^2 \cdot (L_{ls} + L_{lr}')^2}} \quad (4.27)$$

s_k , M_{en} devrilme momentine karşılık gelen kayma değeridir.
Bu değer s_k olarak (4.25) ifadesinde yerine koyulursa:

$$M_{en} = \frac{3}{2} \cdot \frac{p}{\omega_s} \cdot \frac{V_s}{\sqrt{R_s^2 + \omega_s^2 (L_{ls} + L_{lr}')^2 + R_r}} \quad (4.28)$$

olarak M_{en} devrilme momenti bulunabilir.

4.3. İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ



Şekil: 4.7 - Asenkron motorun fren momentinin fonksiyonu olarak çizilmiş işletme karakteristikleri.

4.4. YOLVERME

Bir asenkron motor dururken devir sayısı $n=0$ ve kayması $s=1$ 'dir. Bu durumda motorun stator sargısına tam gerilim uygulandığında, motor bağlı olduğu şebekeden nominal akımın 5-6 katı daha fazla akım çeker. Büyük güçlü motorlarda ve bunların çalışabileceği zayıf şebekelerde bu akım, şebeke geriliminde azalma meydana getirir. Bu sebepten motorun yolalma akımını sınırlamak gerekir. Bu da çeşitli yöntemlerle yapılır.

- 1- Doğrudan doğruya şebekeye bağlanarak yol verme,
- 2- Yıldız-üçgen yol verme,
- 3- Rotorda çift sincap kafes kullanarak yol verme,
- 4- Rotora direnç ekleyerek ya da tristör kullanarak yol verme,
- 5- Statora alternatif akım ayarlayıcısı (tristör) bağlayarak yol verme (yük vantilatör ya da pompa olarak)
- 6- Gerilim ve frekans kontrollü inverterli sistemlerle yol verme.

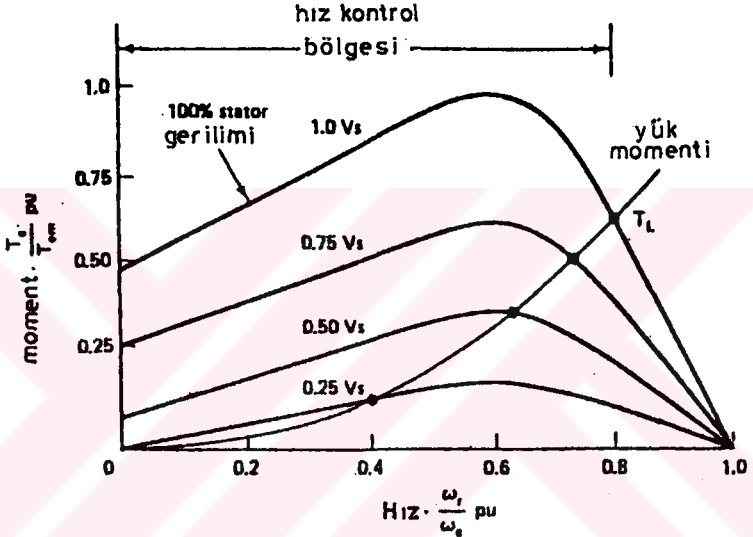
4.5. HIZ AYARI

Asenkron motorun hızını ayarlamak için aşağıdaki yöntemler uygulanır.

4.5.1. STATOR GERİLİMİNİ DEĞİŞTİREREK HIZ KONTROLU

Asenkron motorun en basit ve en ekonomik hız ayarı sabit frekansta stator gerilimini değiştirerek yapılabilir. Şebeke frekansındaki stator gerilimi, her faza bağlanmış ters paralel

tristörlerin tetikleme açısı kontrol edilerek değiştirilebilir. Ancak bu tür ayarda yük, vantilatör ya da pompa türü olmalıdır ki bu yüklerde moment hızın karesi ile orantılıdır. Ayrıca motorun devrilme kaymasının büyük olması, geniş sahada ayar imkanı sağlayacaktır. Bu tür ayara ait karakteristikler Şekil: 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil: 4.8. - Stator geriliminin ayarında hız-moment karakteristikleri

4.5.2. FREKANS AYARI İLE HIZ KONTROLU

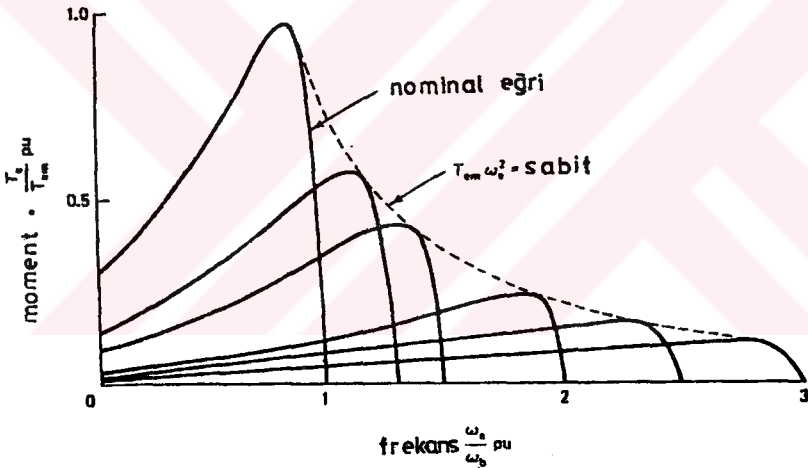
Stator frekansı nominal değerinin üzerine çıkartılırsa, (4.25) eşitliğine göre hız-moment karakteristikleri Şekil: 4.9'daki gibi olur. Frekansın artmasıyla stator akımı ve hava aralığı akısı azalır, dolayısıyla elde edilebilecek maksimum momentin değeri küçülür. Kayma frekansının fonksiyonu olarak maksimum moment,

$$M_{em} = 3p \cdot \left(\frac{(V_s)^2}{\omega_s} \right) \cdot \frac{\omega_{sin} \cdot R'_r}{R'_r + \omega_{sin}^2 \cdot L'_{lr}} \quad (4.29)$$

olarak bulunur.

$$\omega_{sin} = \frac{R'_r}{L'_{lr}}$$

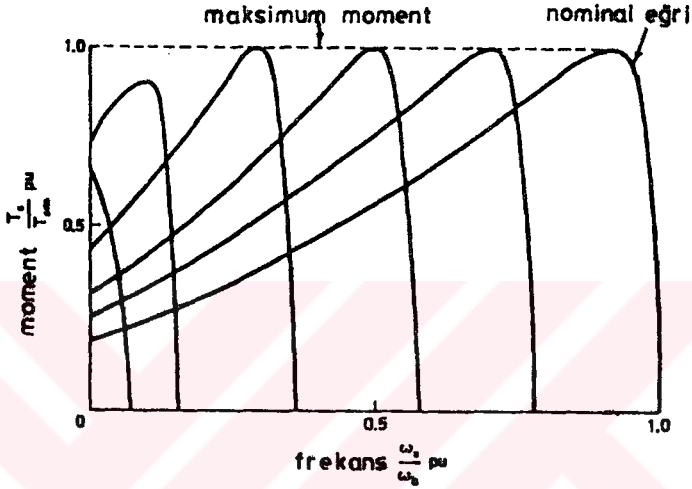
ω_{sin} maksimum momentteki kayma frekansıdır. (4.29) eşitliği bize $M_{em} \cdot \omega_s^2$ sabit olduğunu gösterir. Yani motor değişken frekans kontrolunda doğru akım seri motor gibi davranmaktadır.



Şekil: 4.9. Değişken frekansta hız-moment karakteristikleri.

Nominal gerilimde frekans azaltılırsa, hava aralığı akısı doymaya giderek aşırı stator akımına sebep olacaktır. Nominal frekansın altında, hava aralığı akısını sabit tutmak için gerilim

de aynı oranda azaltılmalıdır. V_s/ω_s değeri sabit olursa motorun maksimum momentini her kaymada sabit kalacaktır. Buna ait eğriler Şekil: 4.10'da verilmiştir.

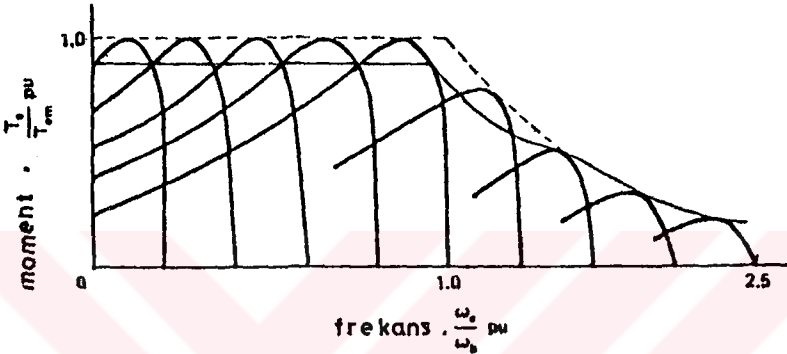


Şekil: 4.10 - Sabit V_s/ω_s de hız-moment eğrileri.

Asenkron motorun hız ayarında bugün yaygın olarak inverterler kullanılmaktadır. $0 \leq s \leq 1$ bölgesinde V_s/ω_s sabit tutulmaktadır. Dolayısıyla bu bölgede moment sabit kalmaktadır. Senkron üzerindeki hızlar için, gerilim nominal değerinin üzerine çıkamayacağından sadece frekans arttırılır.

- $s \geq 1$ bölgesinde ise motor sabit güçle çalışacaktır. Buna ait eğriler Şekil: 4.11'de gösterilmiştir.

sabit güç bölgesi
($T_e \omega_m = \text{sabit}$)

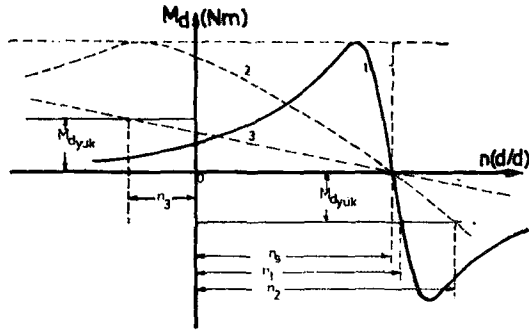


Şekil: 4.11 - Değişken gerilim, değişken frekansta hız -moment karakteristikleri.

4.6. FRENLEME

4.6.1. SENKRON ÜSTÜ FRENLEME

Bir asenkron motor, senkron dönme sayısının üstünde döndürülürse, generatör olarak çalışır. Milinden aldığı gücü, elektrik enerjisine dönüştürerek bağlı olduğu şebekeye verir. Böyle bir frenleme etkisi olabilmesi için motorun miline bağlı olan yükün motoru senkron dönme sayısının üstünde döndürmesi gerekir. Motorun generatör olarak çalışması ile motor momenti yön değiştirir. Moment yön değiştirdiğinden, yükün uyguladığı momente karşı gelir ve motoru frenlemeye çalışır.



Şekil: 4.12 - Senkron altı ve senkron üstü çalışmada döndürme momenti eğrileri.

Senkron üstü frenleme güç elektroniği sistemleriyle kolayca gerçekleştirilebilir. Motora uygulanan gerilimin frekansını değiştirmek suretiyle yapılan hız ayarında, frekans, rotor hızını düşürmek için azaltılırsa regeneratif frenleme etkisi elde edilir. Çünkü rotor, değişikliği ani olarak takip edemeyeceğinden bir müddet senkron hızın üzerinde kalacaktır. Ancak inverter gerilim kaynaklı tip ise doğrultucu çıkışındaki doğru gerilim yön değiştirmedeğinden, enerji şebekeye iade edilmez dolayısıyla frenleme etkisi ortaya çıkmaz. Frenlemenin olabilmesi yani enerjinin şebekeye iade edilmesi için inverterin akım kaynaklı olması gerekir.{9}

4.6.2. DÖNER ALAN YÖNÜNÜ DEĞİŞTİREREK FRENLEME

Motor normal hızında çalışırken stator sargısının iki fazının yeri değiştirilir ve böylece stator döner alanının yönü aksedilir. Stator döner alanı, rotora göre ters yönde döner ve

motor bu durumda fren bölgesinde çalışır. Moment motorun dönüş yönüne ters yönde etkiyerek rotoru frenler.

4.6.3. STATOR SARGILARINA DOĞRU GERİLİM

UYGULAYARAK FRENLEME

Bu yöntemle bir asenkron motoru dinamik frenleme ile durdurmak için, motor üç fazlı şebekeden ayrıldıktan sonra, stator sargılarına uygun yönde doğru gerilim uygulanır. Bu gerilimin uygulanması ile stator sargılarında bir alan oluşur. Rotor bu alan içinde hareket ettiğinde, rotor sargılarında gerilimler endükler. Bu gerilimlerin rotordaki alanları bir rotor döner alanı oluşturur. Makina içinde iki alan meydana gelir. Bunlardan birisi stator doğru akımlarının oluşturduğu uzayda duran alan ve diğeri ise rotorun döner alanıdır. Bu iki alanın oluşturduğu moment rotoru frenleyecek ve durduracak yöndedir. Stator sargısı doğru akım duran alanı gözönüne alınırsa, dinamik frenleme uygulanan bir asenkron motor, normal asenkron motorun kısa devre çalışmasına karşılık sıfır kaymasında ve normal motorun senkron hızda çalışmasına karşılık 1 kaymasında çalışır.

Frenleme kısa bir aralıkta olup bittiğinden statora uygulanan doğru akım nominal akımın iki ya da üç katı kadar olabilir. Böylece daha büyük fren momentleri elde edilmiş olur.

4.7. UYGULAMA ALANLARI

Üç fazlı asenkron motorun çok elverişli işletme özellikleri ve basit yapısı, elektrikli ulaşım sistemleriyle uğraşan mühendisleri, asenkron motoru daima cer tekniği içerisinde kullanmaya teşvik etmiştir. Günümüzde raylı taşımada tahrik motoru olarak kullanımı geniş alanlara yayılmıştır.

Cer mühendisleri için üç fazlı asenkron motor hafiflik, ucuzluk, bakım kolaylığı düşük maliyet ve pratikteki birçok avantajları nedeniyle ideal cer motoru olarak düşünüldüğünden elektrikli ulaşım sistemlerinde tahrik donanımlarının geliştirilmesi çalışmaları üç fazlı asenkron motorun yaygın bir şekilde kullanımı yönünde ağırlık kazanmıştır.

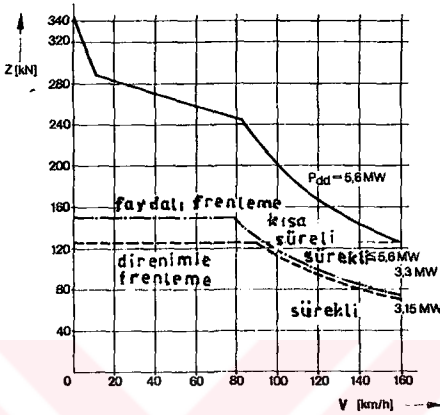
İşletmeye konulan sistemler asenkron motorlu tahrik tekniğinin üstünlüklerini doğrulamaktadır.

4.7.1. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDEKİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

ÖRNEK: 1 - Alman demiryollarının trifaze teknikli 120 lokomotifi.

Bu ulaşım sistemi yapılırken, Alman demiryollarının isteği, kullanışlı, düşük işletme masraflı, ekonomik bir lokomotifi trifaze akım işletme tekniğiyle gerçekleştirmektir. İstenilen kalitede ekonomik ve teknik emniyetli trifaze lokomotif elektrik tesisatı gerçekleştirilebildiği gibi bu teknik sistem ve özel bileşenlerine ait ön araştırmalar yapılmıştır.

Alman demiryollarının BR 120 yapım sıralı lokomotiflerinin hangi traksiyon görevinde oldukları şartnamede belirtilmektedir. Marşandiz treni işletmesi için kısa zamanda oluşan boşta çalışma cer gücü düşük hızlarda sürekli yüksek ilk hareket gücünü gerektirir (Şekil: 1).



Şekil: 1 - Z/v Diyagramı.

Bu bölge hareket motorlarının termik açıklamasını belirtir. En üst hız sınırı içinde yolcu trenlerinin süratlendirilmesi için çer kuvvetinin mümkün mertebe arttırılması istenir. Bu şekilde çer kuvveti, hız karakteristik eğrisi hiperbolik olur. Hareket motorlarının düşünülen devrilme momenti, yüksek devir sayısı sebebiyle, istenilen döndürme momenti üzerinde tutulmalıdır. Termik açıklamalar işletmedeki motorun maksimum Z/v karakteristiklerine uygundur. Doğrultucunun bu maksimum gücü bile şartnamede daimi olarak belirtilir. Yarı iletken elementlerin küçük termik zaman sabiteleri bu gibi ölçümlerde dikkate alınır.

Elektrik Düzeni:

Dört eksenli üç fazlı lokomotifin gücü dingil düzeni ile değil, özellikle lokomotifin gövdesine yerleştirilen elektrik

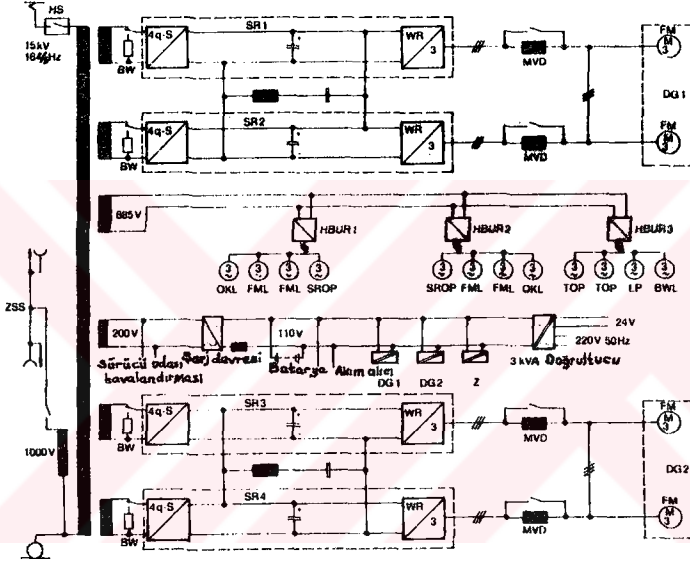
düzeninin ağırlık ve hacmi ile sınırlandırılacaktır. Bu dingil düzeni kollektörsüz küçük hareket motorları ile kolayca işletme tekniğine uygun olarak yürütülebilecektir. Buna karşılık lokomotif gövdesine transformatörden başka, doğrultucu ve sürücü kısımlar, frenleme direnci ve yedek işletme yerleştirilir.

Sabit doğru akım transfer devreli, dört bölgeli regülatör (4q-S) ve dört dalgalı doğrultucu, transformatörün sekonder bobini üzerinden beslenir. Dört bölgeli regülatörün ayarlanmasıyla optimal bir şebeke etkisine ulaşılır. İki doğrultucu hareket motorlarıyla işletilen dingil sistemi, ortak bir kontrol ve ayarlama ile bir üç fazlı akım barası üzerinden çalıştırılmaktadır.

Üç fazlı elektrikli lokomotif deneyimlerinin değerlendirilmesiyle, baraların yüksek kullanım avantajlarından cer tekniğinde en yüksek fayda sağlanmış olur. Kumanda ve ayar tesisinde daha ekonomik sarfiyat için, lokomotif dingil düzeni hızla işletmeye hazırlanır yani iki işletme tesisatı, dingil düzeni içinde seçilen bu bara sisteminin daha geniş esaslar dahilinde kullanılmasını gerektirir. Transfer devresi için 2.8 kv' luk uygun gerilim seçimi ve hazır tristörlerle 5.6 MW tekerlek gücü yanında 16 2/3 Hz' lik bir BO' BO'- lokomotifi içinde kurulan motor ve transformatör gücüyle, ekonomik açıdan uyumlu bir güç doğrultucusu gerçekleştirilir.

Yüksek harmonik reaksiyonuyla, kabul edilen düşük hızlarda motor ve doğrultucu içinde oluşan aşırı sürekli akım, kurulu güç tasarımıyla optimal bir motor ve doğrultucu değeri için ara bağlantı motor empedans bobiniyle yapılmıştır. Büyük hızlarda, yüksek cer gücüne ulaşabilmek için üç kutuplu koruma köprülemesi yapılmalıdır. Transformatör o şekilde yerleştirilmiştir ki, bu ağır komponentlerin ağırlık limitinin sağlanmasında yük treni

işletmesinde arzu edilen yükler sürekli olarak taşınabilsinler. Yolcu treni işletmesi içinde ısıtma gücü dikkate alınmalıdır. 700 tonluk tren transformatörünün, ısınma sınırını aşmaması da beklenmektedir. {15}



Şekil: 2 - Genel devre şeması.

Faydalı frenleme ve direnitle frenlemede fren güçleri Z/v diyagramında belirtilmiştir. Faydalı frenleme, nizami şebeke durumları için elektrik frenidir ve tekerleğe 3.3 MW etkir. Direnitle frenleme gereken 5.6 MW maksimum ve 3.15 MW sürekli güç

Ana Akım Devresi:**Yardımcı İşletme:**

HS	Lokomotif ana şalteri	HBUR	Yardımcı modülatör
BW	Fren direnci	ÖKL	Yağ soğutma vantilatörü
4q-S	Giriş regülatörü (dört bölgeli regülatör)	FML	Hareket motoru vantilatörü
WR	Dalgalı doğrultucu	SRÖP	Doğrultucu yağ pompası
SR	Doğrultucu	TÖP	Transformatör yağ pompası
MVD	Motor empedans bobini	LP	Hava kompresörü
FM	Hareket motoru	BWL	Fren direnci vantilatörü
DG	Dingil düzeni.	ZSS	Tren akım barası

ile sistem gereği şebekeden bağımsızdır ve bu gücü almaya yeterli olmayan havai akım şebekesine bağlanmamalıdır. Her iki elektrik fren sistemi, güç sınırları içindeki önemli büyüklükteki fren kuvvetleri pratik olarak durmaya kadar etkilidirler. Z/v diyagramındaki, 125 kN ve 150 kN üzerindeki işletme şartlarına bağlı sınırlamalar şartnameden alınmıştır.

E 120 lokomotifi, 160 km/h hız için yapılmıştır. Bu hız için kontak hattı gerilim kaybı yanında tam teşekküllü şebekeden bağımsız bir yedek işletme sistemi kurularak, Alman demiryollarında özellikle şebeke kayıpları minimuma indirilebilecek ve standart faydalı frenleme mümkün olacaktır. Hareket motoru vantilatörü, yağ soğutma vantilatörü, doğrultucu yağ pompası ve fren direnci vantilatörünün beslenmeleri için uygun ağırlıkta ve işletme emniyetli bir üç fazlı akım şebekesi kullanılacaktır. Müstakil şebeke üzerinde bir yedek işletmenin temini için genişleme kabiliyeti belirlenmiştir.

Dört bölgeli çalışmada açık bir ana şalter durumunda, ana transformatörün bir geri beslemesi öngörülmüştür. Bu çözüm masraf

gerektiren yardımcı düzenlerden ve gövde üzerinde bulunan üç fazlı asenkron motorun kısmen kullanılmasından daha basittir.

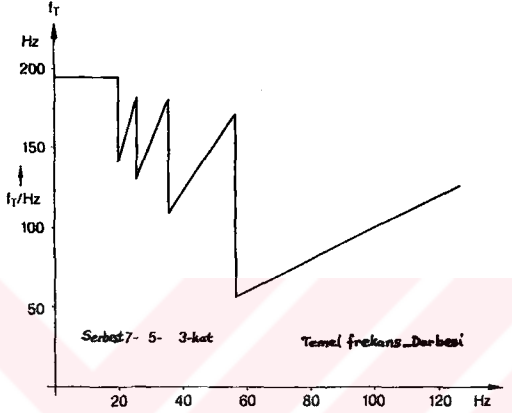
Ana güç devresi ve fonksiyonları:

Ana transformatör akım kollektörü üzerinden hızlı hava basınçlı kesici DBT F 20 : 200'ü besler. Transformatörün, yüksek gerilim bağlantısı kablolar ile uygun kablo başlarıyla sağlanır. Transformatörün her biri 1513 V'luk dört sekonder bobini, 1000 V ısıtma sargısı ve yedek işletmenin temini için iki bobini vardır. Toprak bağlantısı bir topraklama levhası ve toprak temaslı tekerlekler üzerinden yapılır.

Dört sekonder devre bobininin her biri, dört bölgeli doğrultucu ve doğrultmaçtan oluşan doğrultucuyu besler. Dört bölgeli regülatör darbesiyle ilk olarak doğru gerilim transfer devresi yüklenebilecektir. Bu Hareket - Frenleme - Şalterinin yükleme durumu ve yük akımının darbesini sınırlayan frenleme direnci üzerinden gerçekleşir. Eğer transfer devresinin kondansatörleri 4q-S'in diyetleri ile yüklü ise, Hareket - Fren - Şalterinin ana kontağı kapatıldığında, 4q-S transformatör ile bağlantılanacaktır. Bunun için 1200 A akım taşıyabilen fakat sadece enerjisiz açılabilen şalter kullanılacaktır. Bir dingil düzeninin her iki doğrultucusu doğru gerilim ve alternatif gerilim kısmına bağlanmıştır.[15]

Dalgalı doğrultucu, değişken gerilim ve frekanslı hareket motorları için 2800 V'luk sabit transfer devresi doğru gerilimini oluşturur. Frekansa bağımlı darbe ritimleri, dalgalı doğrultucu çıkış gerilimlerini, frekansla orantılı yüksek harmonik spektrumuna çevirebilmek için, düşük harmonik sistemi içerisinde kullanılır (Şekil: 3). Temel darbe frekansı 60 Hz. üzerindedir. Bu demektir ki, daha fazla ana darbesiz motor gerilimleri 120°

'lik bloklardan ibaret olup, regülatör bağlantısından sonra 2200 V'luk maksimum değerine ulaşır.



Şekil: 3 - Giriş frekansının fonksiyonu olarak darbe frekansı.

Sabit doğru gerilimli transfer devresi büyük transformatör - sızıntı reaktansı ve emme devresi yardımıyla aynı zamanda uygun şebeke etkili 4q-S'i meydana getirir. Transfer devresindeki 4q-S diyotlarının, 15 KV'luk şebeke gerilimi yanında yaklaşık 2200 V üzerinde yüklenmesinden sonra, 4q-S'in tetiklenmesiyle gerilim 2800 V'a yükseltilir ve sabit tutulur. 4q-S'in çalışma tarzı, tek fazlı bir şebeke dalgalı doğrultucunun ters yönde enerji akışıyla uyumludur.

Bir faz darbe frekansı 183 Hz olup, şebeke frekansının onbir katıdır. Tek faz kullanımlı tipik güç salınımları için, dengeleme kolunda uygun çift şebeke frekansı $33 \frac{1}{3}$ Hz'de LC emme devresi kullanılır. Uygun şebeke etkisine bir dingil düzeninin iki

4q-S'nin 180° değişmesi ve başka bir dingil düzeni grubunun birinciye karşı 90° 'lik konum değişikliğiyle, 0.99 değeri yanında, düşük parazit akım değerine ulaşılır. Transformatör primer akımının dengelenmiş yüksek harmonikleri, 1440 Hz'lik bir frekans yanında ve yaklaşık % 1'lik nominal akımın genlik değerine sahiptir.

Faydalı fren çalışmada bütün sistemin işleme tarzında hiçbir değişiklik olmaz. Hareket motorunun generatör çalışması negatif elektriksel kayma verilerek başarılır. Çalıştırma sırasında, doğrultmaç ve 4q-S ters çevrilmiş enerji akışı doğrultusunda aynı tarzda çalışır. Direnimli frenlemeye geçilmeden önce doğrultucu devreden çıkartılmalıdır. Enerjisiz halde, Hareket - Fren - Şalterinin ana kontağı açılacak ve fren kontağı kapatılacaktır. Buna göre doğrultucu darbeleri ayrılabilir. Doğrultmaç, faydalı fren çalışmada olduğu gibi darbelenir, 4q-S frenleyici olarak çalışır ve fren direncinde 200 Hz'lik dikdörtgen alternatif akım meydana getirir. Blok genişliği güce bağlı olarak ayarlanacaktır.

Yardımcı İşletme:

Üç fazlı kısa devre rotorlu motorun avantajları bu motor tipinden yedek işletme çalışmasında da faydalanılması arzusunı doğurmuştur. Bu nedenle E 120'ler için bir üç fazlı şebeke gerçekleştirilmiştir. Yedek işletme bobininden 885 V, 16 2/3 Hz sağlanacaktır. Bir fazlı alternatif gerilim dönüşümü için değişken üç fazlı gerilim ve ayarlanabilir frekanslı birbirinden bağımsız üç statik dönüştürücü kullanılmaktadır.

1. ve 2. modölatörler hareket motoru vantilatörü ve yağ soğutma vantilatörünü, aynı zamanda her bir dingil düzeninin doğrultucu - yağ pompasını besler. 3. modölatör kompresör motorunu veya fren direnci soğutma motorunu, bundan başka

transformatör yağ pompası yanında doğrultucu ve emme devresi yardımcı vantilatörünü besler. Her bir dönüştürücü kesmeli kumandalı besleme doğrultucusuna ve doğru gerilim tarafından birbirlerine düzeltme elemanları üzerinden bağlı bir transistörlü eviriciden oluşur.

Modüler yapı, kuvvetli akım güç devresindeki gibi, bir dingil düzeni işletmesini mümkün kılar. 3 numaralı dönüştürücünün devre dışı kalmasında bunun tüketicileri 2 numaralı dönüştürücüye bağlanabilirler, öyleki bu durumda yeni bir dingil ile tekrar gidilebilecektir. Yedek işletme modülatörlerinden her biri kendi vantilatörleri ile soğutulacaktır. Modülatör frekans kontroluyla yarı iletken güçlerinin ekonomik ölçümü mümkündür, çünkü sabit işletme frekansında meydana çıkan asenkron motorların büyük yol alma akımından kaçınılmış olacaktır. Frekans kontrollü işletmenin ikinci esaslı avantajı, asgari gerekli güçte ve düşük sıcaklıkta vantilatör devir sayısının mümkün olduğunca azaltılmasıdır. Gereksiz bir havalandırma, kirlenme, gürültü, motor yatağının aşınması yüksek enerji kullanımı gibi bunlara bağlı zararlardan kaçınılacaktır. Modülatöre ait bilgiler:

Giriş	885 V	16 2/3 Hz
Çıkış		0....440 V
		0.... 60 Hz
		60 Hz'de 60 kVA

Yardımcı işletme modülatörünün çalışma şekli ve yapısı birbirinden ayrı olarak incelenecektir.

Bataryanın şarjı ve 110 V'luk sarfiyatın temini için, 220 V'luk 16 2/3 Hz'lik transformatör bobiniyle beslenen, kesmeli kumandalı doğrultucu şarj cihazı ile düzeltme bobini kullanılacaktır.

Taşıtla haberleşme, vantilatör ve birkaç özel sarfiyat için

bir tane daha 220 V, 50 Hz ve 24 V doğru gerilimli 3 kVA'lık yedek doğrultmaç bulunmaktadır.

Doğrultucu

Yüksek güç konsantrasyonlu doğrultucu içinde, hava soğutma sistemli bir kullanım, su ve pislikten emniyetli bir ayırma için kapasiteye göre belirlenmeyebilir. Doğrultucunun esaslı ısı generatörü kayıplarının yağ ile soğutulması basit hava kanallı duyarsız yağ soğutucuları aracılığıyla doğrultucudaki nem, kirlenme ve temizlik problemlerinden kaçınılması mümkün olur. Bundan başka temiz makina odası yanında kompakt bir yapı tarzı gerçekleştirilir. Doğrultucuda ara duvar aracılığıyla aktarma empedans bobini ile, aktarma kondansatörleri ve doğru gerilim transfer devresinin besleme kondansatörleri arka bölmede bulunur. Beş faz devre şemasına uygun olarak üst üste oturtulmuştur. Yarı iletken elemanlar ve bir fazlı aktarma regülatörleri ve aktarma kondansatörleri her defasında bir düzlem içinde bulunurlar. 4q-S fazları, doğrultmaç fazları arasına kaydırılır.

Yarı iletken gücü, şalter dirençleri ve aktarma regülatörleri tümü yağ ile soğutulurlar. Kuyu içinde kurulmuş kondansatörler iki yardımcı vantilatörle havalandırılır. Kondansatörlerin ve regülatörlerin bağlantı bölümleri şalter odası önündeki doğrultucu bölgesinde olunca, menfezler çok küçük hava miktarları için, emme kısmındaki doğrultucular üzerine yerleştirilmiş vantilatörlerle irtibatlı paralel devre içinde bir ısı toplanmasını engellemiş olacaktır. Doğrultucu yapı iskelesi soğuk sertleştirilen bir alüminyumdan oluşan dikdörtgen profilili bir kaynak konstrüksiyonudur. Akım dönüştürücünün ön ve arka bölümleri arasındaki sert cam dokudan oluşan ayırıcı, duvar yağ dağıtıcı çerçeve ile birbirine vidalanmıştır. Bu grup iskeletin,

arka pervaz takviye parçası ve aynı zamanda yarı iletken yapı taşları için taşıyıcılık yapar. Yağ distribütörü iki dikey kol ile aşağıda enine duran bir giriş rekoru demetinden oluşur. Geri hareket çubuğu yukarıda enine durur ve altında iki dikey kol vardır. Bu dikey kollara ters akım prensibi ile soğutulan yarı iletken yapı taşları eklenir.

Cer doğrultucusuna ait teknik bilgiler:

Giriş değerleri

Nominal gerilim : 1513 V 16 2/3 Hz

Nominal akım : 1050 A

Doğru Gerilim-Transfer Devresi

Nominal gerilim : 2800 V

Çıkış değerleri 0 2200 V_{eff}

Frekans 0 200 Hz

Maksimum akım 600 A

Nominal güç 1900 kVA

Soğutma

Soğutma merkezi Transformator yağı

Soğutma sıcaklığı - 30° C + 62° C

Yağ akış hacmi 21.6 m³/h

Yağlı ağırlık 1950 kg

Fren direnci:

BBC özgül hacim ve ağırlık içinde uygun değerlere ulaşan ve yüksek işletme gerilimleri için elverişli olan modüler yapıda bir fren direnci geliştirmiştir. BR 120 lokomotifleri için, şartnameye uygun bir fren direnci modeli seçilmiştir.

Fren direnci teknik bilgileri:

Direnç :	4 X 4.05 Ohm
Sürekli güç :	4 X 700 kW
Maksimum güç :	4 X 1200 kW
Nominal gerilim	2800 V
Vantilatör	
Akış hacmi	11 m³/s
Toplam basınç	2020 Pa
Dalga gücü	27 kW
Devir sayısı	1760 min⁻¹
Motor gerilimi	440 V, 60 Hz
Ağırlık	1160 kg

Fren direncinin temel ünitesi kapalı bir çerçeve içerisine yayla asılan, değişik şekilde bükülen şeritlerdir. Bu direnç şeridi kıvrık şekilli zımbalamayla hava akımına ve solungaç şeklindeki takviye kanadı ile takviye parçasına yönelik yapılır. Bu şeritin oluşumu büyük bir rölatif band uzunluğu sağlar. Yedi çekmece şekilli temel ünite bir direnç bloğu oluşturur. Dört özel direnç her iki yanda arka arkaya bir özel çelik blok içine monte edilir.

Bütün fren direnci aksiyel bir vantilatörle aşağıdan yukarıya doğru havalandırılır. Vantilatörün plastik madde katmanlı çelik bloğu ve kısa bir difüzör fren direncinin taşıyıcısıdır. Havalandırma çarkı alüminyumdur.

Hareket Motoru:

BQg 4843 hareket motoru, laboratuvar tecrübesiyle kontrol edilmiş ve 1600 P deney lokomotiflerinde çok kullanılmış QD 64604

prototip motorudur. Buna ait elektriksel ölçü ve açıklamalar daha önce verilmiştir.

Hareket Motoruna Ait Bilgiler:

Maksimum gerilim :	2200 V
	(efektif fazlararası)
Maksimum akım :	600 A
Sürekli güç :	P_{ad} 1400 kW
Maksimum devir sayısı :	3600 min ⁻¹
Maksimum moment :	10.5 kNm
Soğutma :	Havalı
Hava miktarı :	1.5 m ³ /s
Ağırlık	2380 kg

Yüksek basınçlı hareket motoru vantilatörü küçük yapı, en düşük ağırlık, düzeltilmiş verim ve asgari gürültü yayılması için çift kademeli aksenal bir vantilatör ve özel yapıdaki kılavuz tekerlekleri ile yapılabilmektedir.

Motor ön direnç bobini ve hareket motoru vantilatörünün teknik bilgileri:

Motor ön direnç bobini

İndüktivite : 3 X 0.76 mH

Sürekli çalışma akımı : 3 X 500 A_{eff}

Yapım şekli : Üç fazlı çevre
çekirdek bobinli,
özel alüminyum
şeritli

Soğutma : Hareket motoru
vantilatörü ile

Hava miktarı : 0.35 m³/s

Ağırlık : 225 kg

Hareket motoru vantilatörü:

Taşıma miktarı : 2.3 m³/s

Toplam basınç : 1650 Pa

Dalga gücü : 4.8 kW

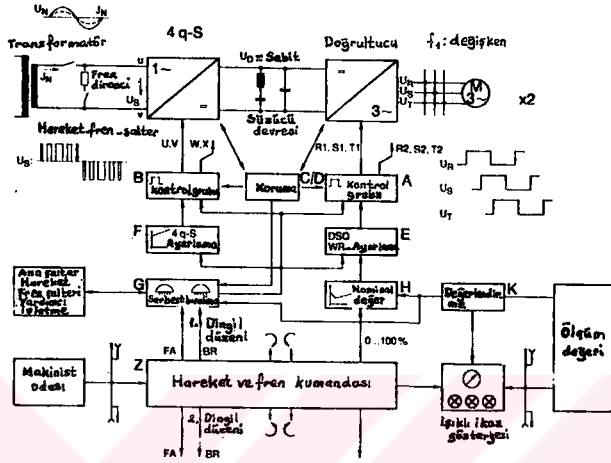
Devir sayısı : 1740 min⁻¹

Motor gerilimi : 440 V - 60 Hz

Ağırlık : 95 kg.

Elektronik Kumanda:

Lokomotifde birbirinden bağımsız iki çalıştırma donanımı vardır. Her dingil düzeni için uygun kumanda düzenleri ayrı olarak tesis edilir. Hareket ve fren kumanda şekli bütün lokomotif merkezleri için kolektiftir. Elektronik kumanda düzenleri fonksiyon gruplarına göre alt parçalara ayrılırlar. Şekil 9'da taşıt kumandasının prensip devre şeması gösterilmiştir.



Şekil: 4 - E 120 Taşıt kumanda prensip devre şeması.

Hareket ve fren kumanda fonksiyon grubu Z kumanda kabininden, devre kumandası ve gözönüne alınan çift cerde gerçek dingil hareket kumandası için geçit kanallarından, cer veya fren gücünü çalıştırır.

Fonksiyon grubu G, tesisatın devreye hazırlığını kontrol eder hareket ve fren kumandasına bağlı olarak, doğrultucu ve devre cihazlarının konjektör akımını iletir. Açıp kapama işlemi dikkate alındıktan sonra regülatörler devre dışı bırakılır.

4q-S ayarlama fonksiyon grubu F, transfer devresi gerilimi U_p sabit iken ve giriş akımı I_N faz şebeke gerilimli 4q-S için

kumanda görevi yapar. Arzu edilen cer kuvveti miktarı fonksiyon grupları içinde dikkate alınan H, hareket motorları için çevrilmiş bir değer ve işletme değerleri dikkate alınarak sınırlandırılır.

Fonksiyon grubu E, hareket motorları için istenilen döndürme momenti yön kumandaları ile beraber dalgalı doğrultucu düzenlemesi ve üç fazlı motorlar için kumanda kontrolünü sağlar. Bu kumanda kontrolleri istenilen motor geriliminin üç fazlı benzeridir. A ve B kumanda tertipleri tristörlerin çalışması için ateşleme impulsunu meydana getirir.

CD koruma fonksiyon grubu doğrultucunun çalışma tarzını kontrol eder ve devre elemanlarının göreceği zararların azaltılmasına düzgün olmayan bir biçimde müdahale eder. Elektronik kumanda ve konvansiyonel kumanda arasındaki ilişki giriş ve çıkış sarfiyat düzeni K fonksiyon grubu ile sağlanır. Bu grup içinde gereken ölçüm sonuçları dönüşüm ve hesaplamalar bulunur.

Özet

1971'den beri kademeli olarak kısıtlı bir işbirliği içinde Alman Demiryolları Merkez Bürosu Münih aracılığıyla yürütülen, 16 2/3 Hz alternatif akım beslemeli bir lokomotifin gerçekleştirilmesiyle, genel cer özellikli bir müstakil işletmeli taşıtın yapımı mümkün olmuştur. Talep edilen yüksek gücü, bir BO' BO' Lokomotifinde kurabilmek için bileşenlerin geliştirilmesindeki büyük zorluklar yanında, lokomotifin kendi fonksiyonlarına uygun düzenleme ile kablo bağlantısı, havalandırma ve yağla soğutma sistemini getirmiştir.

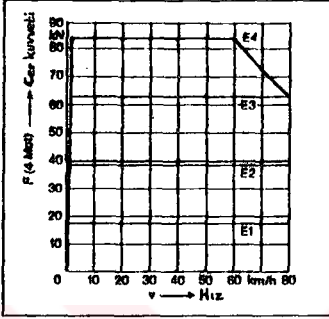
Kısa bir ortaklık işbirliği ile Kraus Maffei, Krupp ve Thyssen Henschel firmaları ile BZA - Münih aracılığıyla bilinen amaç için proje transferi sayesinde lokomotif zamanında tamamlanıp işletmeye alınmıştır.

Yeni elektrikli işletme tekniği her şeyden önce, bütün prototip tesislerde olduğu gibi yeni bir teknik jenerasyon başlangıcı için işletmeye alınma seyri geniş ölçümler içinde sağlanır. Beş lokomotif ile yapılan işletme deneyi başarılı ve geniş ölçüde parazitsiz oluşan optimal fazla birleşir.

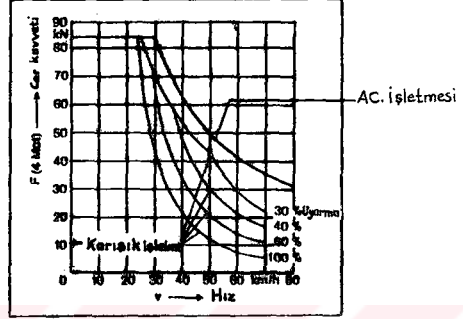
İşletme deneyi ve ölçümler 120 yapım sıralı lokomotifin seri gelişimi için hipotezler mümkün olduğu kadar hızlı elde edilmelidir.

ÖRNEK: 2 - METRO

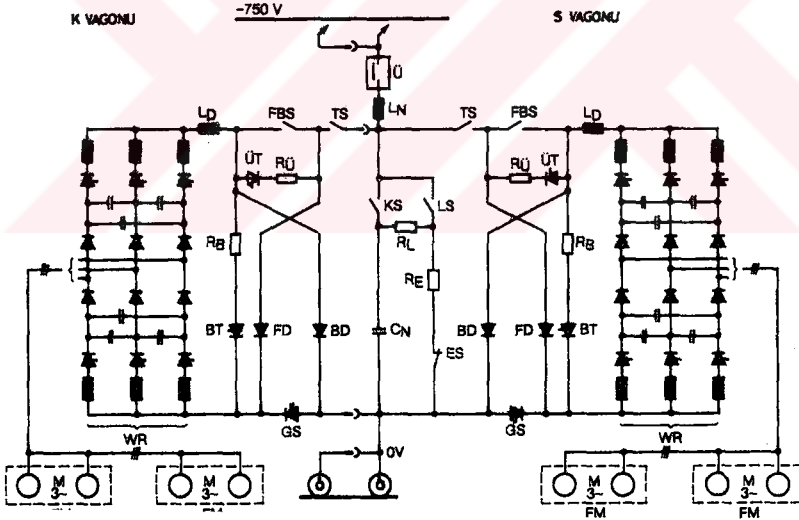
U-Bahn Berlin Metrosunda kullanılan üç fazlı, alternatif akım tahrik teknikli çift tahrik vagonlu dizi (F84/F87 Serisi):



Şekil: 5 - Fren kuvveti hız eğrisi



Şekil: 6 - Çer kuvveti hız eğrisi



BD	Frenleme diyodu
BT	Fren tristörü
CN	Şebeke kondansatörü
ES	Boşaltma kontaktörü
FBS	Yolalma frenleme kontaktörü
FM	Çift cer motoru 1-4
FD	Serbest geçiş diyodu
GS	Doğru akım kıyıcısı
KS	Kondansatör kontaktörü
L _D	Ara devre bobini
L _H	Şebeke bobini
L _S	Yükleme kontaktörü
R _B	Fren direnci
R _E	Boşaltma direnci
R _L	Yükleme direnci
R _Q	Köprüleme direnci
TS	Ayırıcı kontaktör
Ü	Aşırı akım otomatik anahtarı
ÜT	Köprüleme tristörü
WR	Faz izlemeli evirici

Teknik Veriler:

Yapım şekli	Kısa bağlantılı çift tahrik vagonu
Ray genişliği	1435 mm
Nominal gerilim	DC 750 V
Max. hız	80 km/h
Tekerlek dingil düzeni	Bo'Bo' + Bo'Bo'
(DIN 30052'ye göre)	

Kaplin üzerinden taşıt uzunluğu	32100 mm
Kaplinsiz taşıt uzunluğu	31400 mm
Kaplinsiz taşıt eni	2640 mm
Vagon dam yüksekliği	3425 mm
Dingillerarası mesafe	9500 mm
Dingil - tekerlekarası mesafe	1800 mm
Taşıt ağırlığı	43 t
(Boşken DIN 25008'e göre)	:
Oturma yeri sayısı	72
Ayakta yolcu sayısı (4 kişi/m ²)	166
Tekerlek yeni kullanılmış	850 mm/760 mm
Dişli çevirme oranı	6.625 : 1
Cer motorlarının sayısı ve cinsi	4 adet 3 ~'lı AC
	Asenkron çift motor
Her çift motorda $f_1 = 50$ Hz'de	133 kW
motor sürekli gücü	
973 d/d'da $\cos \varphi = 0.75$ 'de	
motor sürekli akımı	280 A
Motor stator gerilimi	395 V
Kumanda şekli	Gerilim kumandası doğru akım kıyıcısıyla, frekans ayarı da faz sıralı evirici ile yapılır.
Yolalma bağlantı şekli	Kademesiz gerilim ve frekans kumandası iki birbirinden bağımsız DC kıyıcısıyla yapılmaktadır, daha sonra eviriciler bağlanmaktadır.

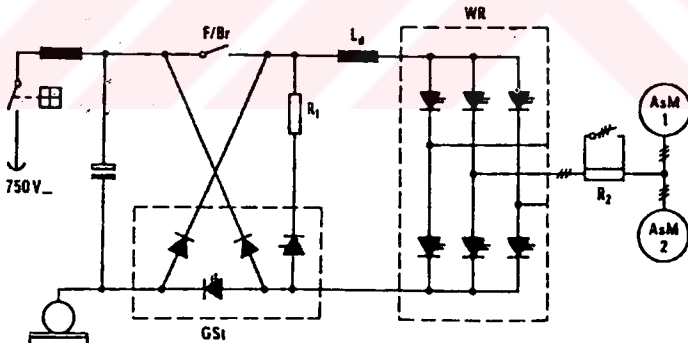
Fren bağlantısı**Karışık faydalı ve
direnimle frenleme****Yardımcı işletme gerilimi****Taşıt şebekesi statik
dönüştürücü GSU 4, 110 V
100 A****Akü'sü****Kurşunlu akü 48 hücreli
60 Ah'lik kapasiteli**

ÖRNEK: 3 - METRO**Nuremberg Metrosu**

Tristör kontrollu, üç fazlı alternatif akım tahrikli ve faydalı frenlemeli bir sistemdir.

Ray aralığı	1435 mm
Boş ağırlık	51 t
Dolu ağırlık	70 t
	4 yolcu/m ² (288 yolcu)
Max. hız	80 km/h
Besleme gerilimi	50 V DC, ~% 30, + % 20
Motor gücü	4 X 200 kW / 0.5 - 180 Hz

Taşıt kontrolu en modern yöntemlerden biri olan SIMOTRAC ile yapılmaktadır. Frenleme kendinden uyarmalı faydalı/reostatik frenlemedir. Yardımcı devreler 110 V DA ile beslenmektedir.

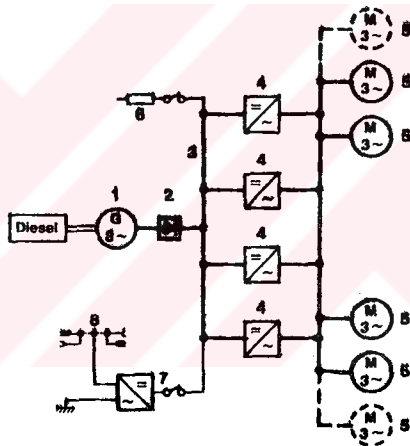


Şekil: 8 - Hat filtreli bir taşıtın ana devre şeması.

F/Br	Yolalma/Frenleme kontaktörü
GS1	Doğru akım kısıyıcısı
R ₂	Seri fren direnci
WR	Evirici
M	Asenkron motor
Ld	Bobin
R ₁	Fren direnci

ÖRNEK: 4 - ELEKTRİKLİ LOKOMOTİF

DE 2500 Dizel elektrikli lokomotif.



Şekil: 9 - DE 2500 Lokomotifi'nin tahrik düzeni.

- | | |
|-------------------|---------------------|
| 1. Generatör | 5. Tahrik motorları |
| 2. Doğrultucu | 6. Frenleme direnci |
| 3. DC Akım barası | 7. Evirici-DC-AC |
| 4. Çer eviricisi | 8. Isıtıcı devre |

BÖLÜM 5

5. LINEER ASENKRON MOTOR

5.1. GİRİŞ

Lineer elektrik motorları kara taşımacılığı için yeni bir tahrik şeklidir. Günlük yaşamda ve sanayi de sonlu ya da sürekli doğrusal hareket yapan motorlara gerek duyulmaktadır. Geçmiş yıllarda ve günümüzde doğrusal hareket, dönme hareketi yapan motorlar ve bu hareketi doğrusal harekete çeviren mekanik çeviriciler yardımı ile sağlanmaktadır. Bu tip sistemlerde güç kaybı çok fazladır. Lineer elektrik motorlarının en büyük üstünlüğü, doğrusal hareketi mekanik çeviriciye gerek duyulmadan meydana getirmesidir.

Lineer elektrik motorları uygulamada yalnızca doğrusal hareket ile sınırlı kalmamakta, dönme hareketinin gerektirdiği durumlarda da kullanılmaktadır.

1960 senesinde lineer elektrik motorlarının yeniden ele alınması ile değişik türlerde lineer elektrik motorları üzerinde çalışmalar yapılmış ve bugün daha çok kullanılır hale getirilmesi sağlanmıştır.

Lineer elektrik motorlarının uygulama alanlarında, her koşula uyabilme özelliği de tercih nedenidir. Bazı durumlarda örneğin güç veya hızın yeterli olmaması halinde, kullanılmakta olan motoru değiştirmek yerine daha küçük güçlü bir motorun ilave edilmesi kolaylığını yaratmıştır.

Tercih edilmesi için pek çok nedeni olan lineer elektrik motorları günümüzde ulaşım araçlarında kendine ait yeri almıştır. Gelecekte de daha çok kullanılarak bu yerini koruyacağı muhakkaktır.

Elektrikli ulaşım sistemlerinde günümüzde hız limitinin artması örneğin 300 km/h'lik hızların üzerinde 500 km/h'e varan hızları gerçekleştirebilecek düzenler üzerinde çalışılmaktadır.

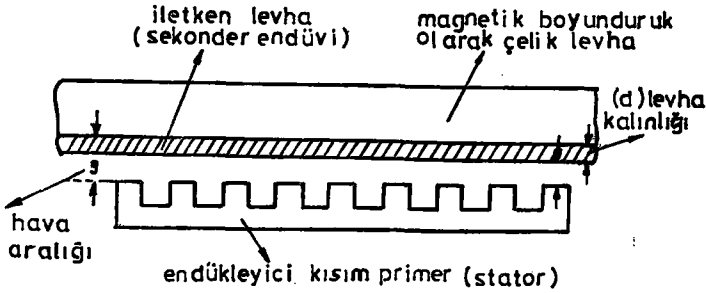
5.2. ÇALIŞMA PRENSİBİ

Lineer elektrik motorları, dönen elektrik motorlarının eksen doğrultusunda kesilip, primer ve sekonderin doğrusal hale getirilmiş şeklidir. Doğrusal hale getirme işlemi sonunda primer, sekonder veya her ikisi de sonlu uzunlukta olabilir. Primer ya da sekonderin sonlu uzunlukta oluşu, elektromagnetik bir sistem olan lineer elektrik motorunda elektromagnetik olayların bir başlangıcı bir de sonunun bulunduğunu gösterir. Dönen elektrik motorlarında ise elektromagnetik yapı çevre boyunca süreklidir.

Lineer asenkron motor yapı olarak iki kısımdan oluşur. Bunlar endüktör ve endüi'dir. Endüktör, üzerine üç fazlı sargıların yerleştirildiği saç paketli kısımdır, diğer adı da primerdir. Endüi ise, iletken levhalı veya kısa devre çubuklu kısımdır, diğer adı da sekonderdir.

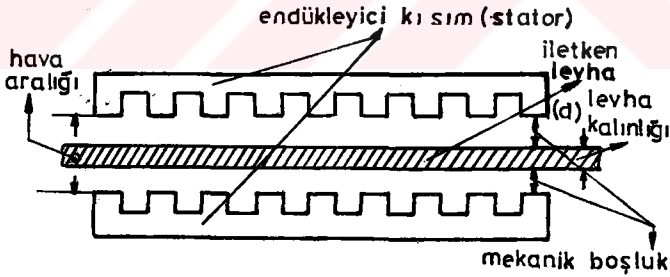
Lineer asenkron motorlar endüktör yapısına göre; tek endüktör düzenli (tek yanlı) veya çift endüktör düzenli (çift yanlı) adını alır.

Şekil: 5.1'den de görüleceği gibi basit lineer asenkron motorun endüisi iki metal levhadan oluşmaktadır. Bu levhalardan biri statorda üretilen magnetik akının üzerinden devresini kapatacağı magnetik boyunduruğu oluşturan çelik levhadır.



Şekil: 5.1 - Tek yanlı lineer asenkron motor kesiti.

Diğeri ise, üzerinde primer akı tarafından endüklenen Foucault akımlarını taşıyacak olan yüksek elektriksel iletkenli metal bir levhadır. Çift endüktörlü lineer asenkron motorun endüsinde Foucault akımlarının oluşmasını sağlayan yalnız bir iletken levha vardır.



Şekil: 5.2. - Çift endüktörlü lineer asenkron motor kesiti.

Tek ve çift yanlı lineer asenkron motor tiplerinin çalışma tarzları için dönen asenkron motorlardaki kurallar geçerlidir.

Yalnız dönen tip elektrik motorları dönme hareketi yaparak elektrik enerjisini mekanik enerjiye çevirirken, lineer asenkron motorlar aynı işlevi doğrusal hareket yaparak yerine getirirler.

Üç fazlı bir lineer asenkron motorun primer sargılarının üç fazlı gerilim ile beslendiğini kabul edersek, primer tarafından senkron hızı v_s olan bir yürüyen alan meydana gelecektir. Dönmeli makinalardaki döner alanın karşılığı lineer motorlarda yürüyen alandır. Dönen asenkron motorlarda olduğu gibi primerin görevi hava aralığında sinüs formunda dağılmış ve senkron hızla ilerleyen bir magnetik alan üretmektir. Şebeke frekansı f_1 ve stator sargısının kutup taksimatı τ_p olduğuna göre; senkron hız

$$v_s = 2 f_1 \cdot \tau_p \quad [\text{m/s}] \quad (5.1)$$

f_1 (H_1) Şebeke frekansı

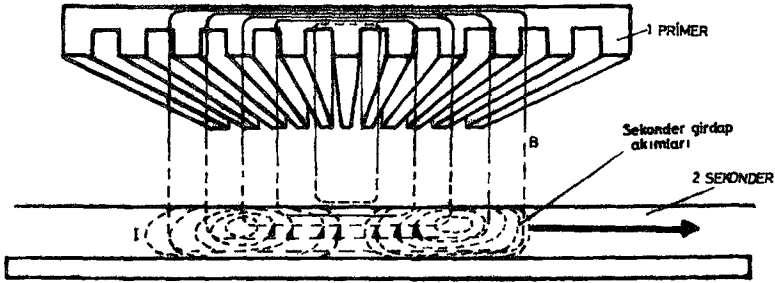
τ_p (m) Kutup taksimatı

olur. m fazlı dönen asenkron motorlardaki gibi $2 m f_1$ frekansı ile şekil değiştirerek ilerleyen alan, amper sarım ve akım dalgaları oluşturur.

Endüi (sekonder) v_s asenkron hızı ile ilerleyen alan yönünde fakat v_s 'e nazaran daha düşük bir hızla hareket edecektir. İletken levhanın hızını v_1 ile gösterelim. Bu durumda levha ile ilerleyen alan hızı arasındaki farkın senkron hıza olan oranı aynı şekilde dönen asenkron motorlarda olduğu gibi s kaymasına eşit olacaktır.

$$s = \frac{v_s - v_1}{v_s} \quad (5.2)$$

Böylece sekonder kısmı oluşturan levhada $f_2 = s f_1$ frekanslı çok fazlı akımlar endüklenir. Bu akımlar ilerleyen alanla birlikte kuvvetler üreterek sekonder kısmın öteleme hareketini temin eder. (Şekil: 5.3).

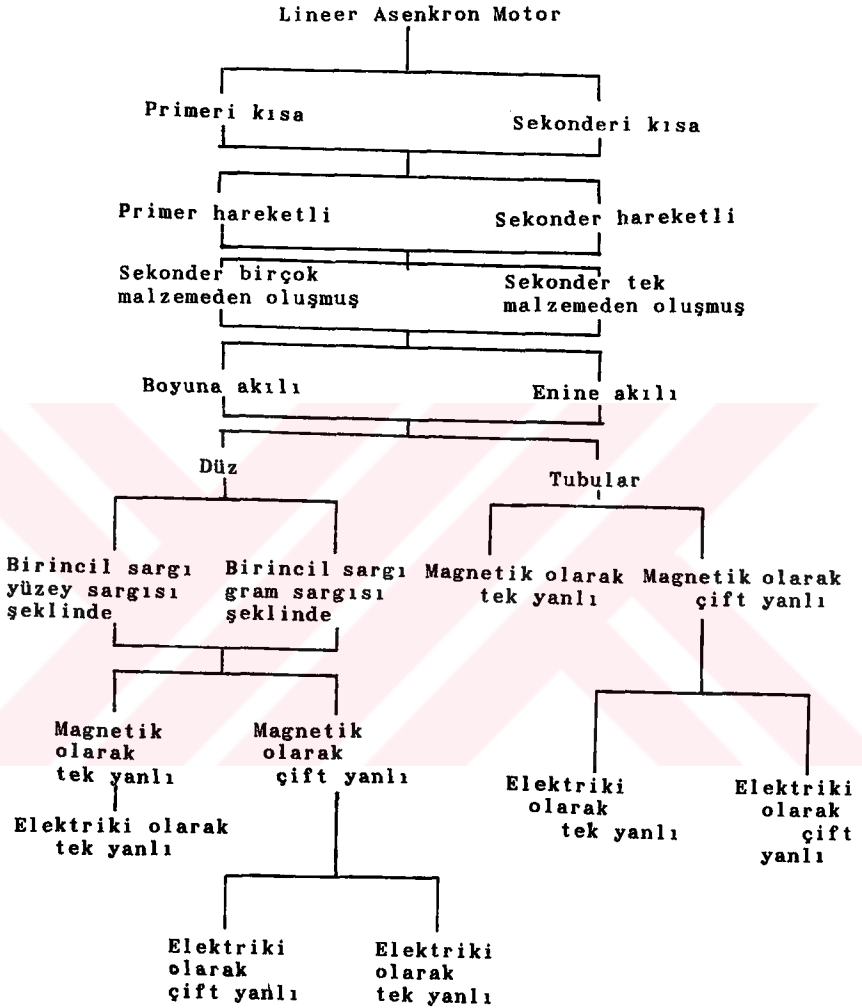


Şekil: 5.3 - Endüktörün perspektif görünüşü ve endüksiyon çizgileri ile akım yoğunluğu çizgilerinin gidişi.

- B** Endüksiyon çizgileri
1 Akım yoğunluğu çizgileri

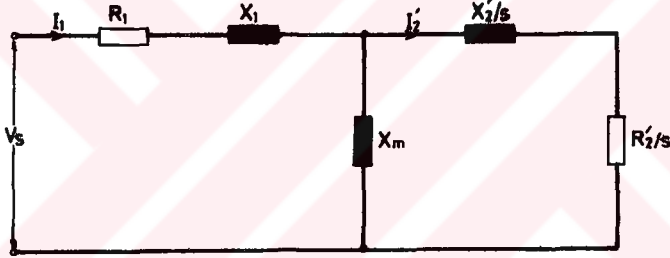
İletken levhanın yürüyen veya ilerleyen alana nazaran geride bulunmasının nedeni enerji dönüşümünden sorumlu olan ve senkron hızla ilerleyen alanın enerji dönüşümüne, dolayısıyla kendi hareketine karşı koymaya çalışan bir etki ile karşılaşmasıdır. Bu etki sekonderden gelmektedir. İlerleyen alanın hızını yavaşlatmak için sekonder kısmın tek olanı, primere nazaran kendi rölatif hareketini, ilerleyen alanın rölatif hızını düşürecek şekilde ayarlamasıdır. Bu nedenle endüklenen kısmın gerçek hızı rölatif olarak endükleyen kısmın senkron hızına ulaşamaz. Bu nedendir ki, lineer endüksiyon motorları asenkron motorlar türüne girerler.

Lineer asenkron motorlar birincil ya da ikincil yanın uzunluğuna, hareket tarzına, malzeme cinsine çekirdek akışının doğrultusuna göre sınıflandırılırlar (Tablo: 5.1).



Tablo: 5.1. - Lineer Asenkron Motorların Sınıflandırılması.

Pratik kullanımlarda, iletken levha yani sekonder kısmın hareket edebilir şekilde yerleştirilmesi çift endüktörlü motorun daha çok tercih edilmesini sağlamıştır. Bu tipin en büyük avantajı, basit motora nazaran primer akım çizgilerinin iki misli yoğunluk göstermesidir. Bu sebeplerden dolayı çift motor sabit bir hava aralığında ve aynı konstrüksiyon kısımlarında basit motorun dört misli nakil hattına sahiptir. Yani çift motor dört misli bir hava aralığına sahip olduğunda basit motorun verdiği güce eşit bir güç nakledebilmektedir. Buradaki avantaj öteleme hareketi için gerekli olan mekanik bir aralığın yeterli bir büyüklükte kullanıma açık olmasıdır. Bir lineer asenkron motora ait eşdeğer devre:



Şekil: 5.4. - LAM'a ait eşdeğer devre.

- | | |
|------------|--|
| I_1 (A) | Primer akımı |
| R_1 (Ω) | Primer sargı direnci |
| X_1 (Ω) | Primer sargı kaçak akı reaktansı |
| X_m (Ω) | Mıknatıslama reaktansı |
| I'_2 (A) | Primere indirgenmiş sekonder akımı |
| X'_2 (Ω) | Primere indirgenmiş sekonder kaçak akı reaktansı |
| R'_2 (Ω) | Primere indirgenmiş sekonder direnci |
| s () | Kayma |

Eşdeğer devreden;

$$\bar{I}_1' \cdot (jX_2' / s + R_2' / s) + (\bar{I}_1' - \bar{I}_1) \cdot jX_m = 0 \quad (5.3)$$

$$\bar{I}_1 [(R_2' / s + j(X_m + X_2' / s))] = j\bar{I}_1 X_m$$

$$\bar{I}_1' = \frac{I_1 \cdot X_m}{\sqrt{(R_2' / s)^2 + (X_m + X_2' / s)^2}} \quad (5.4)$$

X_m değeri X_2' yanında büyüktür ve uygulama $s \approx 1$ yolverme durumunda söz konusudur. Bu durumda $X_m \approx (X_m + X_2' / s)$ alınabilir.

$$\bar{I}_1' = \frac{I_1}{\sqrt{(R_2' / s \cdot X_m)^2 + 1}} = \frac{I_1}{(1 / sG)^2 + 1} \quad (5.5)$$

$$G = \frac{X_m}{R_2'} \quad \text{formülüyle hesaplanabilir.}$$

Hava aralığı gücü:

$$P_g = 3 \cdot \bar{I}_1'^2 \cdot R_2' / s \quad [W] \quad (5.6)$$

$\bar{I}_1'$ (A) Primere indirgenmiş sekonder akımı

R_2' (Ω) Primere indirgenmiş sekonder direnci

s () Kayma

Öteleme kuvveti:

$$F = \frac{P_g}{v_g} = \frac{3 \cdot \bar{I}_1'^2 \cdot R_2' / s}{v_g} \quad [N] \quad (5.7)$$

Burada;

v_g (m/s) senkron hız'dır.

Yukarıdaki (5.5) ifadesi F öteleme kuvvetinde yerine
koyulursa;

$$F = \frac{3 \cdot I_1^2 \cdot R_2'}{[(1 + sG)^2 + 1] \cdot s \cdot v_2} \quad [N] \quad (5.8)$$

Giriş Gücü: (Şebekeden çekilen güç)

Eşdeğer devreden;

$$P = 3 \cdot (I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2' / s) = 3 \cdot I_1^2 R_1 + \frac{3 \cdot I_1^2 \cdot R_2'}{[(1 / sG)^2 + 1] \cdot s} \quad [W] \quad (5.9)$$

Verim:

$$\eta = \frac{P_n}{P} \quad (5.10)$$

P_n (W) Mekanik güç

P (W) Giriş gücü

$$P_n = F_r \cdot v_2 \quad [W] \quad (5.11)$$

Primerin verimi:

$$\eta_1 = \frac{P_r}{P} \quad (5.12)$$

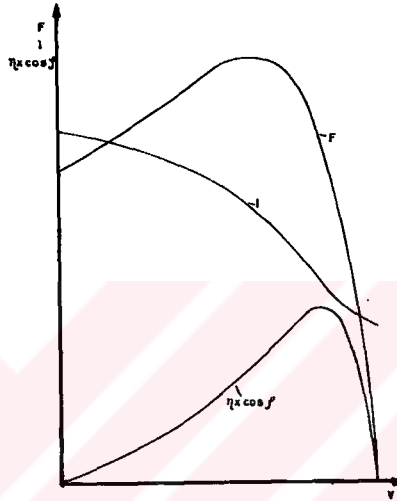
Sekonderin verimi:

$$\eta_2 = \frac{P_n}{P_r} \quad (5.13)$$

Hava aralığından sekondere geçen güç:

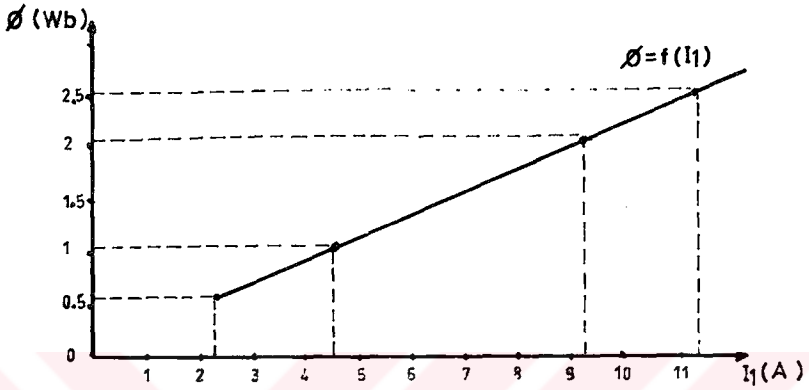
$$P_r = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2' / s \quad (5.14)$$

5.3. İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ:

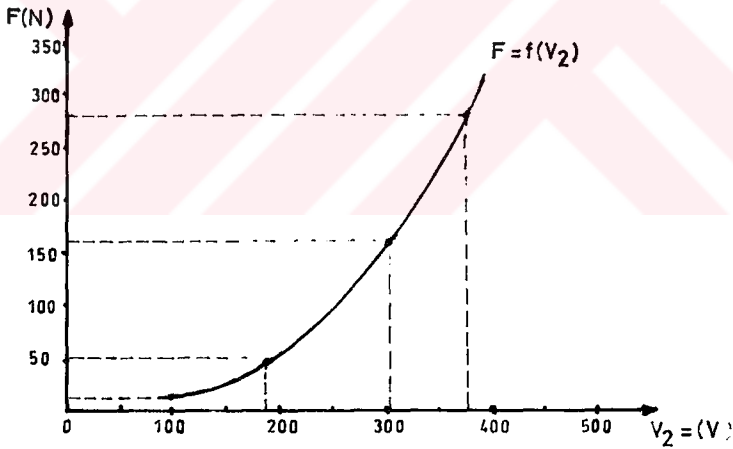


Şekil: 5.5. - Lineer asenkron motorun karakteristikleri.

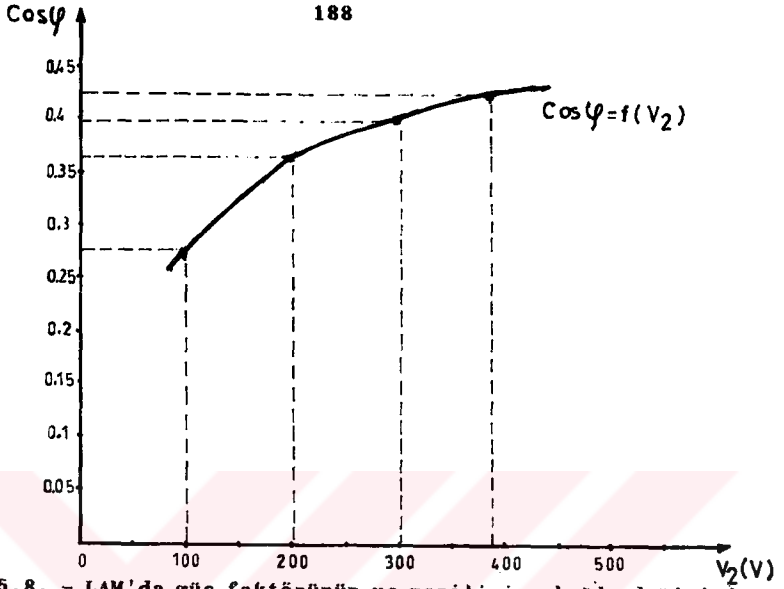
Aşağıdaki karakteristikler, hızı yüksek bir lineer asenkron motor tasarımı yapılarak bulunan teorik değerlerle çizilmiştir.{5}



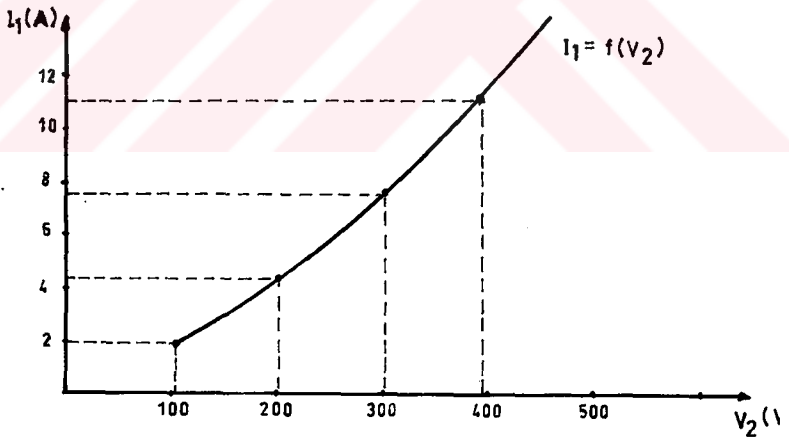
Şekil: 5.6. - LAM'da akının akıma bağlı değişimi



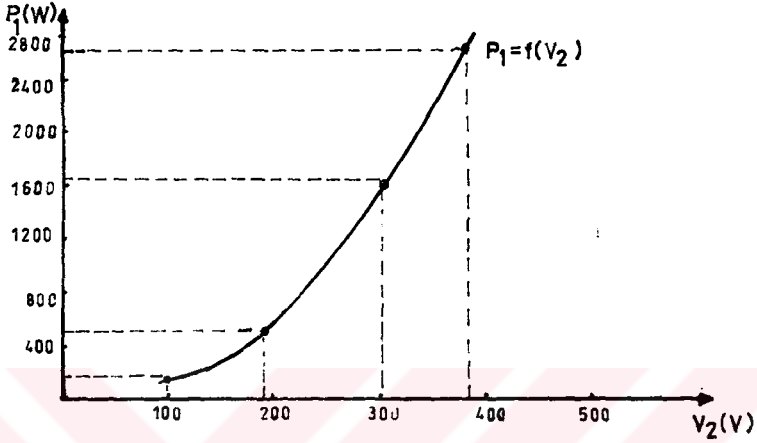
Şekil: 5.7. - LAM'da öteleme kuvvetinin uç gerilimine bağlı değişimi.



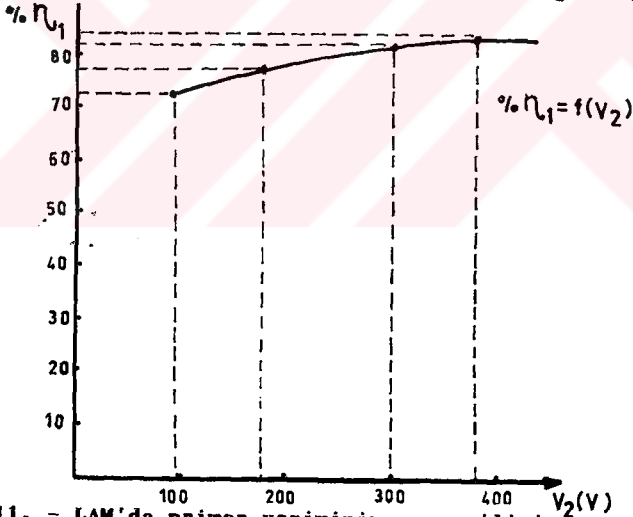
Şekil: 5.8. - LAM'da güç faktörünün uç gerilimine bağlı değişimi.



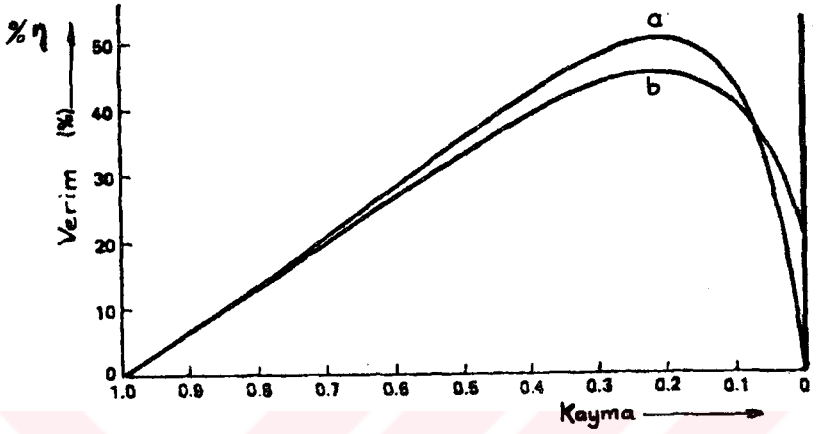
Şekil: 5.9. - LAM'da primer akımının uç gerilimine bağlı değişimi.



Şekil: 5.10. - LAM'da giriş gücünün uç gerilimine bağlı değişimi.

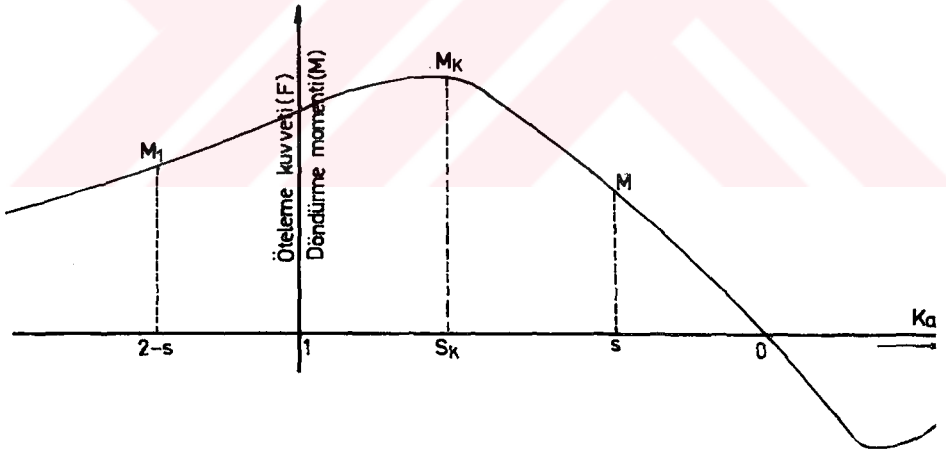


Şekil: 5.11. - LAM'da primer veriminin uç gerilimine bağlı değişimi.



Şekil: 5.12. - LAM'da verimin kaymaya bağlı değişimi.

- a) Uç etkisi yok iken,
- b) Uç etkisi var iken.



Şekil: 5.13. - LAM'da itme kuvvetinin kaymaya bağlı değişimi.

s_x devrilme kaymasına karşı gelen M_x devrilme momentini bulabilmek için aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$s_x = K \frac{g}{d} \quad (5.15)$$

s_x () Devrilme kayması

K () Sabit

g (m) Hava aralığının kalınlığı

d (m) İletken levhanın kalınlığı

Yukarıdaki karakteristiğin istenilen şekilde adapte edilmesi ve büyük devrilme kaymasında çalıştırma imkanı, lineer motorları pek çok işletme probleminin çözümlendiği motorlar yapmıştır.

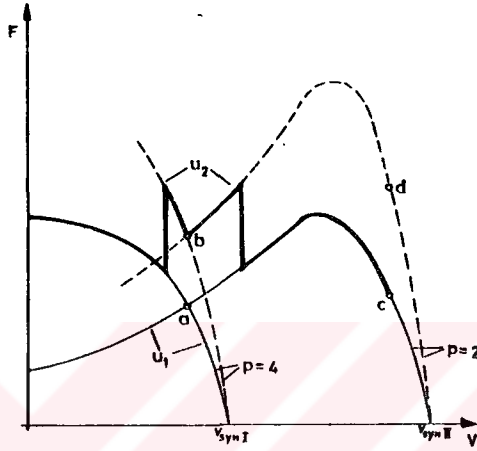
5.4. YOLVERME

Lineer motorlara yol verme dönen asenkron motorlara uygulanan yöntemlerle aynıdır.

Bu yöntemler:

1. Şebekeye doğrudan bağlanarak yol verme,
2. Stator gerilimini değiştirerek yol verme
3. Güç elektroniki sistemleriyle gerilime etki edilerek yol verme'dir.

5.4.2. STATOR GERİLİMİNİ DEĞİŞTİREREK YOLVERME



Şekil: 5.14. - İtme kuvvetinin hıza bağlı değişimi.

5.5. HIZ AYARI

Dönen asenkron motorlarda olduğu gibi statora uygulanan gerilimin değeri ve frekansı değiştirilerek lineer asenkron motorun hızı ayarlanabilir.

5.6. FRENLEME

LAM'un frenlemesi aynı şekilde yol verme ve hız ayarında olduğu gibi dönen asenkron motorlardaki frenleme şekilleri uygulanarak yapılır.

Bu frenleme şekilleri şunlardır. {6}

5.6.1. Akımın yönünü değiştirerek frenleme

5.6.2. Senkron üstü frenleme

5.6.3. Stator sargılarına doğru gerilim uygulayarak frenleme

5.6.4. Kutup sayısını değiştirerek frenleme'dir.

5.6.1. AKIMIN YÖNÜNÜ DEĞİŞTİREREK FRENLEME

Lineer motorun primer sargılarının iki fazının sıralarının değiştirilmesi ile motorun hareketli alanının hareket yönü değiştirilir. Bundan dolayı Şekil: 5.12'deki s apsisli M çalışma noktası, 2-s apsisli M_1 gibi yeni bir çalışma noktasına kayar. Böylece büyük bir frenleme kuvveti elde edilir. Bundan başka bu kuvvet bir çok durumda çekilen yük ile kuvvetlendirilir.

5.6.2. SENKRON ÜSTÜ FRENLEME

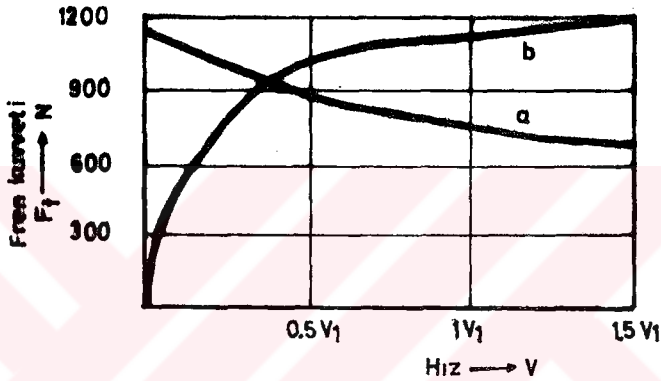
Yük, bir düşme doğrultusunda motorun hızlandığı ve senkron hızın geçildiği bir eğim gösterir. ($s=0$) Daha sonra senkron üstü çalışmalardaki frenleme olanaklarından dolayı motor bir hız sınırlandırıcısının oynadığı rolü oynar. Yani sekonderin hızlanmasını ters kuvvet etkisi ile engellemeye çalışır. Bu çalışma motorun en büyük karşı kuvvetinin, çekim kuvveti olarak etkiyen ağırlık (yer çekimi) kuvvetinin bileşeninden daha büyük bir değere erişmesine kadar devam eder.

5.6.3. STATOR SARGILARINA DOĞRU GERİLİM

UYGULAYARAK FRENLEME

Diğer bir frenleme metodu da endükleme akımı ile etkili bir frenleme elde etmek için, motorun sargılarını doğru akım ile beslemektir. Şekil: 5.13'de frenleme kuvvetinin hıza bağlı olarak ve ayrıca kutup bağlantısına ve doğru akım ile besleme

metodlarına bağılı olarak değişimi gösterilmiştir. Bu eğriler "Urba" adındaki asma demiryolunun motorundan deneysel olarak elde edilmiştir.



Şekil: 5.15 - LAM'ın Fren Kuvveti Hız Karakteristikleri.

- a) Çift Kutup Sayısı Değiştirmekle Frenleme
- b) Doğru Akımla Frenleme

5.6.4. KUTUP SAYISINI DEĞİŞTİREREK FRENLEME

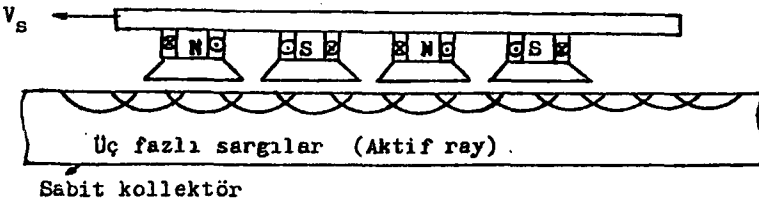
Lineer motorun çift kutup sayısını büyüterek frenleme yapılabilir. Böylece senkron hızı belirli bir oranda küçültmekle motorun öteleme hareketinin azaltılması sağlanmış olur (Şekil: 5.15a).

5.7. LİNEER SENKRON MOTOR

Lineer senkron motorlarda kendi türleri olan dönen senkron motorların lineer şeklidir.

Son yıllarda ortaya çıkan lineer senkron motor, lineer asenkron motorlara karşı bir seçenek oluşturmıştır. Aynı büyüklükteki dönen senkron motor ile asenkron motor karşılaştırılacak olursa, dönen senkron motorun gücünün ve veriminde daha büyük olduğu görülür. Lineer motorlar içinde aynı durum söz konusudur. Lineer asenkron motorda senkronizasyonda bazı zorluklar ortaya çıksa dahi değişen frekanslı kaynak kullanarak motorun uyarılması sağlanırsa bu güçlüklerde ortadan kalkmış olur.

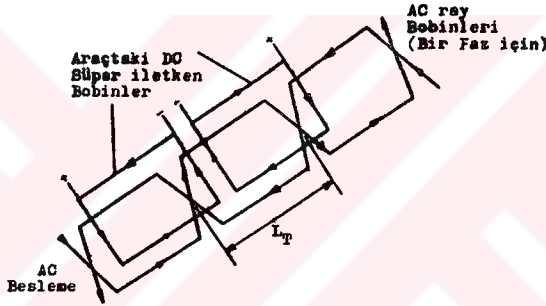
Lineer senkron motorların iki tipi vardır. Bunlardan birincisi uyarım alanlı lineer senkron motordur ki, bu durumda uyarım için araçta süper iletken bobinleri bulunur (Şekil: 5.16). İkincisi ise uyarım alansız senkron motorlardır.



Şekil: 5.16 - Çıkık kutuplu lineer senkron motor

Lineer asenkron motorlarda hava aralığı yaklaşık 16 mm'dir. Lineer senkron motorlarda ise hava aralığı 30-40 cm'dir. Lineer asenkron motorlarda hava aralığının çok küçük olmasından dolayı bu aralığı kontrol için geri beslemeli çok karmaşık sistemler kullanılır. Halbuki lineer senkron motorlarda böyle bir durum söz konusu değildir.

Lineer hız formülünün aşağıdaki gibi verilebilmesi için doğru akım araç bobinleri ile alternatif akım ray bobinlerinin kutup adımı aynı uzunlukta olmalıdır. Senkron hız v_s formül (5.1)'de verildiği gibidir.

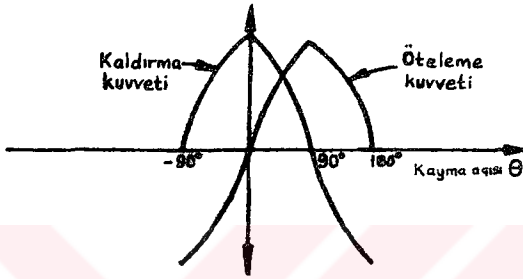


Şekil: 5.17 - Süper iletken mıknatısları araç üzerinde bulunan lineer senkron motor.

Bu şekilde gösterilen lineer senkron motorda aktif raylı primer sargılar rayda, sekonder ise araçtadır. Primer bobinlerin yeterli büyüklükte alan oluşturabilmesi için büyük kütleli sargılara gerek vardır. Bu sargılar alüminyumdan yapılmış ve U şeklindeki rayın oluklarına yerleştirilmiştir.

Lineer senkron motorlarda kayma sıfır olmakla beraber θ ile gösterilen bir kayma açısı vardır. Bu açı yürüyen dalga ile

rölatif olarak aracın pozisyonunu göstermektedir. Şekil: 5.18'dan da görülebileceği gibi motor bu açıya bağlı olarak kaldırma ve öteleme kuvveti üretmektedir. θ 'ya aynı zamanda yük açısı da denir.



Şekil: 5.18. - Lineer senkron motorda kayma açısının kaldırma ve öteleme kuvvetine göre değişimi

$\theta = 90^\circ$ olduğunda öteleme maksimum, kaldırma ise sıfırdır. Primerin frekans ve akımını değiştirerek kaldırma ve öteleme kuvvetlerini büyük bir aralıkta değiştirebiliriz. Endüktif maglevlerde kullanılan süper iletken mıknatıslar ek olarak lineer senkron motorun uyarma sargıları olarak kullanılabilir. Lineer asenkron motorlarda öteleme ve normal kuvvetlerin ayrı ayrı sistemlerden elde edilmesine karşılık lineer senkron motorlarda bu kuvvetlerin tek bir motor tarafından üretilmesi lineer senkron motorların üstünlüğünü ortaya koyar. Lineer senkron motorlarda değişken frekanslı bir uyarma ile araç kalkış yapar. Kaldırma ve öteleme kuvvetinin kontrolü için ilk ivmelenmede θ kayma açısının kontrol edilmesi gerekir Bu kontrol araca yerleştirilen bir aygıt tarafından sağlanır. θ yavaş değiştiğinden gelen sinyalleri

almak için ince bir bant yeterlidir. θ 'nın kontrolu için bir başka yaklaşımda güç kaynağından yararlanmaktır. Akım ile gerilim arasındaki faz açısı ve sargı empedansı bilindikten sonra θ 'nin kontrolu mümkün olmaktadır.

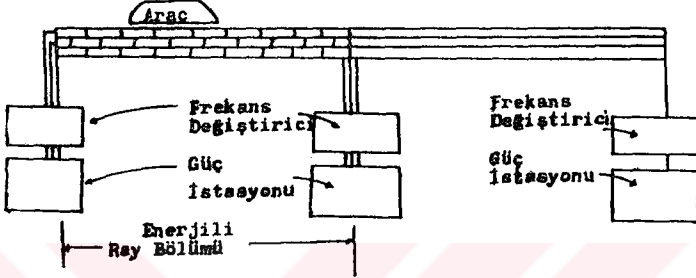
Lineer senkron motor sargılarındaki güç kaybını minimuma indirmek için $\theta = 90^\circ$ olan işletme seçilmelidir. Frekans ve gerilimi sabit lineer senkron motorların işletilmesinde $\theta \geq 90^\circ$ olduğundan motor senkronizasyondan çıkar. Çünkü hızda herhangi bir düşme ötelemede düşmeye neden olacaktır.

Süper iletken mıknatısların bulunması ile lineer senkron motor uygulama alanında büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Japonya'da gerçekleştirilen ve saatte 516 km/h'lik hızla lineer motorun uyarma sistemi polariteleri ters yönlü, doğru akımla beslenen süper iletken bobinlerin ardarda (seri) bağlanmasıyla gerçekleştirilir. Bu bobinler trene yerleştirilir.

Tren hareket ettiği zaman rayda bulunan üç fazlı alternatif akım sargılarında bir gerilim endüklür. Süper iletken bobinlerden ne kadar büyük akım geçirebilirsek o kadar büyük bir itme kuvveti oluşacaktır. Yine akımın artmasıyla itme kuvveti değişmeden iletken hacimleri küçültülebilir.

Lineer senkron motorun kullanıldığı yüksek hızlı trenlerde; aracın üzerinde bulunduğu rayın tümü enerjilendirilmez. Bunun nedeni ise tüm ray sargılarının beslenmesiyle ortaya çıkan enerji kaybıdır. Aracın üzerinde bulunduğu rayın haricindeki kısımlar gereksiz beslenmiş olacaktır. Bu sakıncalı durumun ortadan kaldırılması için 1 ile 10 km'lik aralıklarla rayların direkt frekans çeviriciler üzerinden beslenmesi gerekir (Şekil: 5.19). Araç hangi kaynağa bağlı ray üzerinde ise o kaynak devreye girmeli, araç o rayı terk ettiğinde kaynak devreden çıkmalı ve

bir sonraki kaynak devreye girmelidir. Bu durum açıp kapamayı sağlayan iyi bir anahtarlama ile olur.



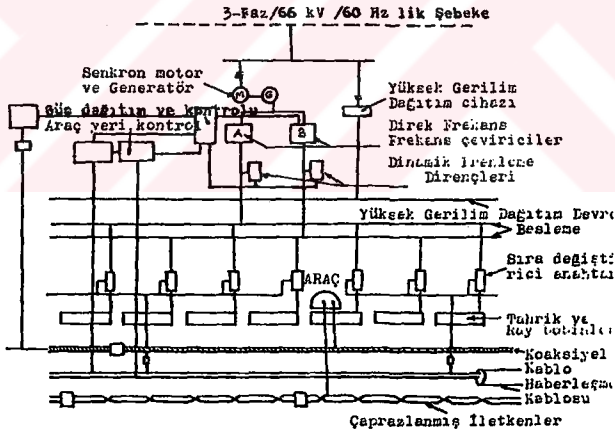
Şekil: 5.19. - Üç fazlı ray bobinlerinin bölümler halinde enerjilendirilmesi.

Burada güç beslemesi ve kontrolü hakkında kısaca açıklanması gerekenler şunlardır:

Besleme istasyonlarındaki frekans değiştiricilerin çıkışı üç fazlı besleme hattına ray boyunca Şekil: 5.20'de görüldüğü gibi bağlanır. Güç aracın üzerinde bulunduğu ve gelmek üzere olduğu bölümlere verilir. Burada sıra değiştirici anahtarın açıp-kapaması araç-yerbildirim dedektöründen alınan sinyallerle yapılmaktadır. Dedektör araç üzerine yerleştirilmiştir ve sinyalleri buradan göndermektedir. Göndericinin gönderdiği sinyaller hat boyunca yerleştirilmiş iki endüktif tel tarafından alınarak belli konumlarda endüklenmiş sinyal sayısından belirlenir. Daha sonra bu sinyaller kontrol merkezine gönderilir.

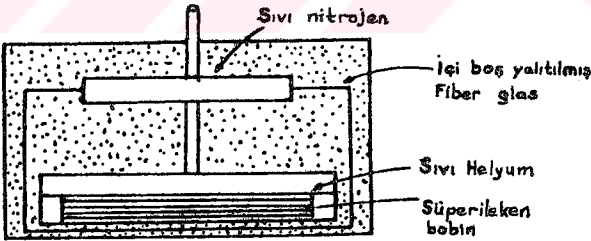
Bu alınan sinyallerde anahtar açıp-kapama için güç besleme istasyonuna gönderilir. Faz kontrolu için rayın üzerine çok kısa aralıklarla optik yansıtıcılar yerleştirilir. Araç üzerindeki kaynaktan gönderilen ışık yansıdıktan sonra araç üzerindeki dedektör tarafından tutulur. Bu sinyal ray boyunca döşenmiş bir kovaksiyel kablo tarafından kontrol merkezine iletilir. Bu sinyallerde araca karşılık gelen tahrik bobininin pozisyonunu vermektedir. Bu verilen faz açısı hesaplanır ve dalga şekli seçilir. Faz açısı ve dalga şekli besleme merkezine gönderilir. Burada akım ve faz açısı kontrol edilir.

Araçta tehlike fren donanımında bulunmaktadır. İki tip fren donanımı vardır. Birinci tip; frekans değiştiricinin çıkışına ayarlı bir direnç bağlanarak hızda meydana gelen anormal değişimlerde devreye girerek aracı durdurmak. İkinci tipte ise araca mekanik fren yerleştirip güç kesilmelerinde işlemini sağlamaktır.



Şekil: 5.20. - Yüksek hızlı tren sisteminin besleme ve kontrol şeması.

Yüksek hızlı trenlerde kullanılan lineer senkron makinalarda normal kuvvetin teşkili için süper iletkenler kullanılmaktadır. Süper iletkenlerin kendi özelliğini koruyabilmesi için 4°K ile 18°K arasında değişen bir sıcaklığa ihtiyaç vardır. Lineer senkron motorda süper iletken alan bobinleri için bir düzenleme aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Sıvı helyum soğutucusu saf çelikten yapılmıştır. (Girdap akım kayıplarını mümkün olduğunca azaltmak için) Sıvı nitrojen soğutucu da alüminyum alaşımlarından yapılmıştır. Isı korunması; çok düşük ısı iletkenliğine ve yüksek basınç iletimine sahip içi boşaltılmış fiberglas tarafından sağlanır. Ayrıca yalıtılmış fiber glasın yüzeyindeki kuvvet yoğunluğu distribisyonu üniformdur. Bu yüzden soğutulmuş DC alan bobini ve ray arasındaki uzaklık daha küçük yapılabilir. Bu çeşit yalıtımın bir avantajıda artık gaz moleküllerinin fiberglas'a çok zor nüfuz etmesidir. Yalıtım 10 mm Hg basıncına kadar düzenli bir şekilde dayanır. Bu basınç değeri bir vakum pompası ile sağlanabilir. Süper iletken mıknatısların çok önemli bir özelliği de yalnızca çok küçük kayıplara izin vermesidir.



Şekil: 5.21. - Süper iletken mıknatısların korunması.

5.8. UYGULAMA ALANLARI

Lineer motorlar hareket yönünün kolayca değiştirilebilmesi, tek veya çift endüktörlü olarak yapılabilmesi ve frenleme olanaklarından dolayı uygulama alanları geniş motorlardandır. Bu motorlar insan taşıyan ulaşım araçlarından, yük taşıyan sistemlere kadar pek çok alanda tercih edilerek kullanılmaktadır.

Lineer motorlar şimdiye kadar özellikle hava yastıklı trenlerde, "Urba" adı verilen taşıtların hareket ettirilmesinde kullanılmaktaydı. Trenlerde taşıma ve yöneltme magnetik kuvvetler tarafından, tahrik ise lineer motorlar ile yapılmaktadır. Bu şekilde tren tamamen temassız halde harekete geçer. Bu uygulamalar Japonya, Amerika, İngiltere, Fransa gibi ülkelerde tam bir araştırma ve geliştirme yapılmasına yöneltmiştir.

Lineer motorlarla tahrik edilen ulaşım araçlarında sürtünme büyük oranda azaltılır veya tamamen yok edilirken, ulaşım esnasında ortaya çıkan gürültüde minimuma düşürülmüş olur.

Lineer asenkron motorlar gibi, lineer senkron motorlarda çok hızlı yer taşımacılığında kullanılan motorlar olmuştur.

5.8.1. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDEKİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

ÖRNEK: 1 - M-BAHN

Magnetbahn Transrapid (TRO6) Almanya.

GİRİŞ:

Mıknatıslı demiryolu taşıtları kendilerine has birçok özelliğinden dolayı, titreşim tekniği bakımından diğer taşıtlara göre daha dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Bunun sebebi, bu tip taşıtlarda titreşim problemlerinin karmaşık olarak ortaya çıkmasıdır. Mıknatıslı demiryolu sisteminin dinamik davranışı üç değişik sistemin değişken etkileri sonucu belirlenmektedir. Bunlar; Viyadükler üzerine yerleştirilmiş olan taşıt yolu, taşıtın taşıma ve hareket kuvvetlerini taşıt yolu üzerine temassız olarak ileten birbirinden bağımsız çok sayıda ve birbiri ardına düzenlenmiş elektromıknatıslardan oluşan ray hareket sistemi, taşıma ve hareket mıknatıslarının tespit edilmesi için asma ray sisteminin ve buna ait yaylanma elemanlarının oluşturduğu vagon yapısı ve tertibatı'dır. Bu üç kısım magnetik tren sisteminin dinamik davranışını oluşturur.

Taşıtın tahrik edilmesi için de lineer senkron motor kullanılmıştır.{8}

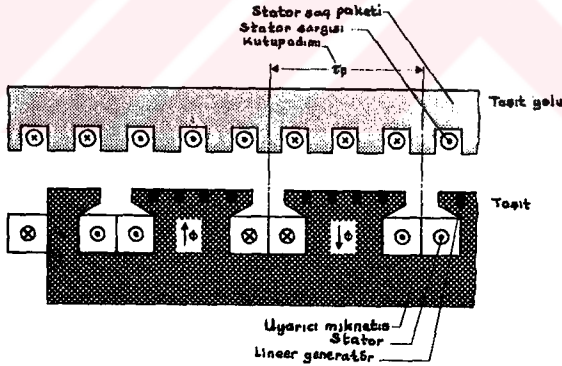
Lineer motor ve beslenmesi

Transpaid 06 (TRO6), mıknatıslı asma hatlı bir elektrikli ulaşım aracıdır. TRO6 tahrik ünitesi, esası demirden olan uzun statorlu lineer senkron motorla, magnetik taşıma sisteminin bir araya gelerek oluşturduğu bir sisteme sahiptir. Taşıt saatte

412.6 km'lik bir hıza ulaşmaktadır.

M-Bahn tahrik prensibi

Temassız taşıt tekniği olan mıknatıslı demiryolunda tahrik motoru olarak lineer motorların kullanılması gerekmektedir. Lineer motorlar ile kayma ve fren kuvvetlerinin sürtünme olmaksızın iletilmeleri sağlanır. Uygun bir proje ve hattın güzergahını belirleyen parametrelerin en iyi şekilde kullanılması ile dağ ve tepe gibi yeryüzü şekillerinin aşılması kolaylaşır ve aynı zamanda yatırım masraflarının en aza indirilmesi sağlanmış olur. TRO6 taşıtında tahrik amacıyla demir esaslı, uzun statorlu lineer senkron motor kullanılmıştır. Taşıtın taşıyıcı sistemindeki mıknatıslar aynı zamanda motorun ikaz edici mıknatıslarıdır. Stator, üç fazlı yer değiştirebilen alan sargıları ile birlikte düzenlenmiştir (Şekil: 1).



Şekil: 1 - Demir esaslı senkron uzun statorlu motorun prensibi

Sargılardan en iyi şekilde yararlanma ve verimin yüksek tutulması için tek tek besleme bölümlerine ayrılmıştır. Motor kesitinin boyuna uzunluğu ile tahrik sistemi, aracın esnek bir şekilde yönlendirilmesi ve isteğe cevap vermesi için uygun biçimde yapılmıştır. Yol boyunca olan eğimler ve ivmelenmenin uygun şekilde karşılanması bu isteklere örnek olarak gösterilebilir.

Tahrik kuvveti ve bunun yanında tahrik için gerekli enerji herhangi bir kontakt meydana getirmeden magnetik motor alanı üzerinden taşıta iletilmektedir. Taşıtta mıknatısların uyarılması, klima düzenlerinin ve yardımcı kısımların uyarılması için gerekli enerji lineer generatörler tarafından sağlanmaktadır. Bunların taşıyıcı mıknatıslarının kutup ayaklarında üç fazlı sargılar vardır. Taşıyıcı mıknatıslarda hıza bağlı olarak endüksiyon değişimleri ile stator oluklarının sebebiyet verdiği gerilim endüklenmeleri meydana gelir (Şekil: 1).

Taşıtta uzun statorun bir avantajı, enerji dönüşümü için akım alıcısı ve enerji dönüştürücü aktif ek tahrik donanım ve teçhizatlarının gerekli olmamasıdır. Bu teknik özellik çok yüksek seyir hızları nedeniyle gerekli olan tahrik güçlerinden taşıtların daha iyi yararlanmasını sağlar.

Uzun statorlu senkron motorun aşağıdaki gibi birçok özelliği vardır;

* Taşıyıcı ve tahrik sistemi arasındaki kombinasyon sonucu taşıt ağırlığı motorun uyarılmasını belirler.

* Magnetik taşıma kuvvetinin ayarı motor hava aralığı içindeki akıyı sabit tutar. Kayma stator akımının amplitüdü ve fazı üzerinden etki edilebilir.

* Stator sargılarının her bir besleme bölümü taşıt boyundan uzundur. Motor sargılarının ve bağlantı iletkeninin kaçak

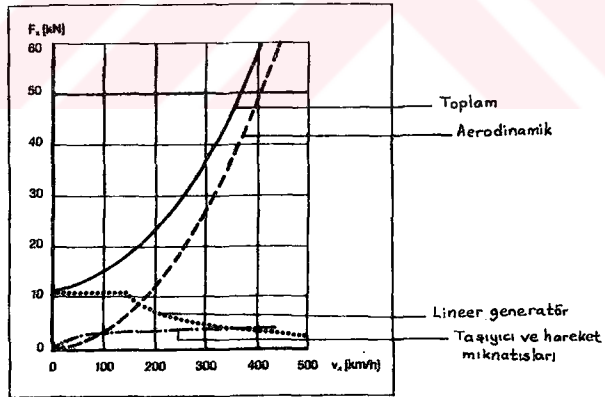
reaktansı bu nedenle motorun özelliklerini önemli oranda belirler.

* Gözönüne alınan tahrikin prensibi motorun değişebilir frekans ve amplitütteki 3 fazlı akımla beslenmesini gerektirir. Motora enerji sağlanması yol boyunca yerleştirilmiş yardımcı istasyonlardaki statik dönüştürücüler üzerinden gerçekleşir.

TRO6 taşıtının tahriki

Projelendirme kriterleri:

TRO6 taşıtı herbirinin boyu 54 m olan iki adet taşıt kısmından meydana gelmektedir. TRO6 toplam 112 ton ve maksimum 200 yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. Taşıtın tahrik ünitesi seyir hızı 300 km/h ve azaltılmış bir ağırlıkta (108 ton) 400 km/h'lık maksimum bir hıza ulaşacak şekilde projelendirilmiştir. Taşıtın seyir dirençlerinin değişimi boyutlandırma için esastır (Şekil: 2).



Şekil: 2 - TRO6 taşıtının seyir direnci.

Motor ve motor beslemesinin yapısı:

Motor

Şekil: 1, Üç fazlı sargılı statorun yapısını göstermektedir. Stator taşıt yoluna her iki taraftan tespit edilmiştir. Her iki stator yarısında elektriksel olarak seri bağlanmıştır. Stator tek tek saç paketlerinden meydana gelmiştir. Saç paketleri birbirine yapıştırılmış trafo saçlarından üretilmiş ve alttan taşıt yoluna tespit edilmiştir.

Üç fazlı elektrik sargıları üzeri yalıtılmış tek bir kablo ile biraraya getirilmiş ve yol kenarının her iki yanındaki statora monte edilmiştir.

Motorun kutupları arasındaki mesafe, 400 km/h'lik bir yüksek hızda en yüksek motor frekansı 215 Hz olacak şekilde 0.258 m seçilmiştir.

Dalgalı akım doğrultusunun eğrisel formunun dikkate alınması şartı altında motor faz geriliminin maksimum efektif değeri:

Motor kablolarının izolasyon mukavemeti 6/10 kV olacak şekilde 4250 V seçilmiştir.

Bu faz gerilimi yüksek hız deneylerinde hemen hemen 4500 V'a kadar yükseltilebilir. Maksimum motor akımı 1200 A değerindedir. Motor sargıları kablo testlerinde aşağıdaki kesit değerlerine sahiptir.

*** 150 mm² Bakır**

İlk yapı bölümünde (kuzey virajı)

*** 300 mm² Alüminyum**

İkinci yapı bölümünde (güney virajı)

*** 285 mm² Bakır**

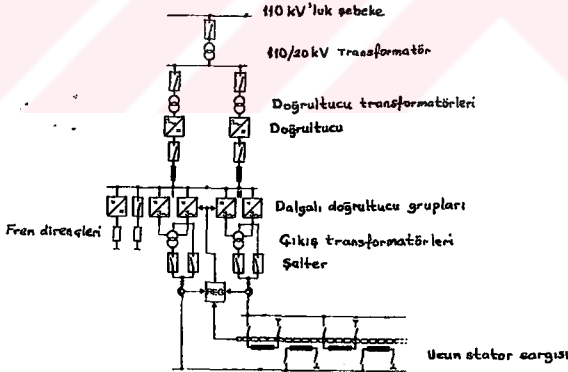
İkinci yapı bölümünde (güney virajı), % 35'lik bir eğime sahip hat boyunca

Motor geriliminin, motor akımının ve motor frekansının maksimum değerleri motorun beslenmesinin düzenlenmesinde belirleyici değerler olmaktadır.

Taşıt yolunun bağlantısı, döşenmesi

Her bir tek motor kısımları Bocksprung yöntemi denilen bir yöntemle tespit edilmiş ve iki dalgalı akım değiştirici üzerine oturtularak ayrılmış kablo sistemi üzerinden test hattı boyunca enerji ile beslenmektedir. Bu yüzden tahrik sisteminin bölüm değişimlerinde kesinti olmaksızın çalışmaktadır. Hat boyunca 30 adet bağlantı noktası vardır. Bu bağlantı noktaları motor sargılarına üç fazlı vakum kontaktörleri üzerinden akım vermekte ve kesmektedir. Bu kontaktörlerin mekanik ve elektriksel ömürleri hayli uzundur.

Bağlantı noktalarındaki vakum kontaktörleri ara istasyonlardan tahrik edilerek uzaktan kumanda ile devreye sokulmaktadır.



Şekil: 4 - TVE-Enerji-besleme fabrik bağlantı şeması

Uzaktan kumanda düzeni multiplex ses frekansı metoduna göre çalışmaktadır. Multiplex ses frekansı yöntemi yanlış bağlantıların önlenmesinde büyük bir taşıma güvencesi sağlamaktadır. Bağlantı noktaları vakum kontaktörlerinin yanında yine uzaktan kumanda edilebilen ek kontrol ve koruma düzenine sahiptir. Çok hassas olan yüksek gerilim sigortaları taşıtı ve seyr yolunu kısa devre akımlarının etkilerine karşı korumaktadırlar. Kısa devre akımları motorun ikaz alanı dolayısıyla stator sargılarında endüklenen gerilim sonucu ortaya çıkabilmektedir.

Enerji temini

TVE - deney düzeninin enerji temini, 110 KV'luk genel şebekeden sağlanır (Şekil: 4). 110 kV/20 kV'luk bir yüksek gerilim transformatörü ile 20 kV/1.2 kV'luk iki adet transformatör üzerinden, iki adet paralel olarak bağlanmış ayar edilen doğrultucu sistem ile 2.6 kV, 2 X 3.3 kA'lık doğru gerilim ara devresi beslenmektedir. Ara devre girişine doğrultucu bobinler (boğucu bobinler) ve koruma amacıyla hızlı açan bir doğru akım salteri yerleştirilir.

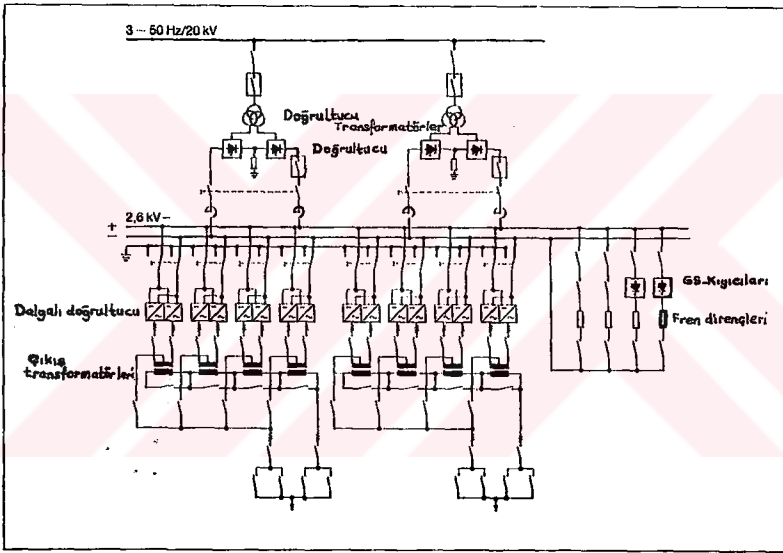
İki impuls doğrultucu sistem ile ara devre gerilimi üç fazlı sisteme dönüştürülür. Sistemin gerilimi 0-2027 V frekansı ise, 0-215 Hz arasında ayarlanabilir. 0 ila 55 Hz'lik motor frekanslarında, bu üç fazlı gerilim sistemi direkt olarak uzun statorlu motora bağlanmaktadır.

Daha yüksek motor frekanslarında ise transformatörler motor gerilimini maksimum 7800 V'a yükseltmeye yararlar. Maksimum motor akımının değeri ise 1200 A'e erişir.

TR-06 taşıtının elektriksel frenlemesinde, ara istasyonlara düşen fren enerjisi doğru gerilim ara devresine geri

verilmektedir. Bu fren için gerekli enerji fren dirençlerini bir kısmı doğru akım kıyıcıları bir kısımda şalterler üzerinden beslemektedir.

Şekil: 5'de ara istasyonlardaki tahrik ünitesinin (düzeninin) bağlantısı detaylı olarak çizilmiştir. Akım doğrultucu transformatörleri oniki impulsu bir düzen içinde iki seri bağlanmış tam kumanda doğrultucu köprülerini beslemektedir.



Şekil: 5 - Dönüştürücü donanımının prensip bağlantı şeması

Doğrultucu köprülerinin orta noktası yüksek dirençli bir şekilde topraklanmıştır. Bu bağlantıdan amaçlanan doğru akım ara devresindeki simetrik potansiyelin garanti edilmesidir. Herhangi bir topraklama hatasının (topraklama kontağının) kontrolünde, (bu

kontak toprak bağlantı noktasında ortaya çıkar) tüm kapalı kablo sisteminde ortaya çıkabilecek izolasyon hataları farkedilebilir. Yüksek dinamikli doğrultucu düzeni ile, 2600 V'luk ara devresi geriliminin, hem besleme geriliminde meydana gelen değişimlerde, hem de çok hızlı değişen yük değişimlerinde daha aşağıya inmeyeceği tespit edilmiştir.

Statik frekans dönüştürücüsünün sisteminin esasını, çıkış transformatörüne bağlanmış ikişer tane, iki kısmi dalgalı doğrultucu oluşturmaktadır. Her dört birim çıkış transformatörü üzerinden seri olarak bağlanmıştır. 1 ve 2 no'lu yol çıkışları çıkış kontaktörü üzerinden sağlanır.

Düşük frekanslarda ($\sim < 55$ Hz) kısmi dalgalı doğrultucular paralel bağlı olarak çalışmaktadır. Çıkış transformatörünün primer sargıları, akım bölücü direnç bobininin fonksiyonunu yerine getirmektedir. Bu durumda sekonder sargılardan ise akım geçmemektedir. Çıkış geriliminin ayarı, dalgalı doğrultucunun titreşim sistemi tarafından gerçekleştirilmektedir.

Yüksek motor frekanslarında ($> \sim 55$ Hz), çıkış transformatörünün sekonder sargıları, seri olarak bağlanmıştır. Her bir kısmi dalgalı doğrultucu tam besleme durumunda çalışmaktadır. Tahrik sisteminin isteğine bağlı olarak gerekli gerilim ayarlaması, doğrultucunun faz donanımının iki taraflı olarak dönmesi ile mümkün olmaktadır.

Dört çıkış transformatöründeki gerilimler faz olarak birbirini ardına sıralanmıştır. Bu prensip ile yol çıkışında motor temel titreşimli akımına eklenen harmonik osilasyon akımlarının büyük ölçüde azaltılması mümkün olmaktadır. Harmonik osilasyon akımları ise yol kablolarının çok yüksek topraklama kapasitesinden dolayı ortaya çıkmaktadır.

Ayırma şalteri herhangi bir arıza durumunda temel bir birimin dışarı doğru ayrılmasını mümkün kılmaktadır. Böylece tahrik sisteminin her durumda düşük bir çıkış gerilimi ile işletimi mümkün olmaktadır ve çıkış transformatörünün ikincil sargıları da irtibatlandırılmaktadır.

Fren sistemi dört adet fren direncinden meydana gelmektedir. Sistemin toplam gücü 8 MW civarındadır. İki fren direnci kontaktörler üzerinden doğru akım ara devresine bağlanmıştır. Bunlar, doğru akım ara devresinde ortaya çıkan gerilim yükselmelerini belirli bir sınırdan tutma hedefiyle fren gücünün çok hassas bir biçimde ayarlama ve düzenlenmesini sağlamaktadır.

Tali istasyonlardaki doğrultucu, her blokta dört adet kısmi doğrultucu bulunmak üzere dört blok üzerine yapılmıştır.

2600 V'luk bir ara devresi gerilimi sağlamak amacıyla, her birine 3 tane olmak üzere, 3 adet tristör (Typ T670F2000) birbirine seri olarak bağlanmıştır. Toplam olarak herbirinin gücü 2.2 MVA olan 16 adet doğrultucu kullanılmıştır. Bu bir doğru akım toplama rayında, puls dalgalı doğrultucu 35 MVA'lık güçte büyük bir tesistir.

Dalgalı doğrultucuların soğutma sistemi hava soğutmalıdır. Soğutma havası dalgalı doğrultucuların üzerine oturtulmuş vantilatörler tarafından, soğutma kanallarından aşağıdan yukarıya doğru çekilmektedir. Soğutma kanallarının içinde soğutma cisimleri ile birlikte yarı iletken fiş blokları bulunmaktadır. Soğutma havası kapalı bir çevrim içinde dalgalı doğrultucuların yanında duran radyatörlerde hava-su ısı değiştirme sistemi ile tekrar soğutulmaktadır.

Dalgalı doğrultucuların kumandası tahrik sisteminin ayarlanmasında bir ayar elemanı olarak anlaşılabilir. Dalgalı doğrultucunun çıkış geriliminin amplitütü ve faz açısının

kumandasındaki hareket (sevk) büyüklükleri, multiplex tekniğinde iletim hattı kabloları ile bilgi sevkinin gerekli şekilde düzenlenmesi ile aktarılmaktadır.

Motor frekansına bağlı olarak, dalgalı doğrultucunun çalışma tarzı aşağıdaki şekilde belirlenmektedir.

$f < 55 \text{ Hz}$ olduğunda direkt besleme

$f > 55 \text{ Hz}$ olduğunda transformatör beslemesi

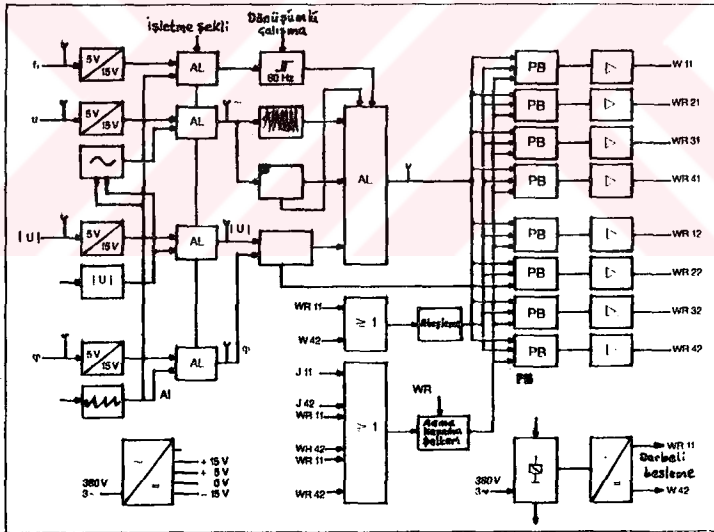
Direkt olarak besleme durumunda, dalgalı doğrultucunun geriliminin kumandasında pulsli işletme her frekans için senkronize ve senkronize olmayan puls çubukları tarafından sağlanmaktadır.

Transformatör beslemesi durumunda, gerilimin kumandası için birbirine ait dalgalı doğrultucu gerilimleri (Örneğin WR 11 ve WR 12)'nin faz durumları birbiri ardına salınım yapmaktadır. Titreşimin oluşumu, bağlantı düzeni için gerekli olmakta ve kontrollü yarı iletken doğrultucuları darbeli durumlarda kumanda etmektedir. Koruma düzenleri ise yöresel işletme durumunu kontrol etmekte ve doğrultucudaki rahatsız edici büyüklükleri istenilen sınırdan tutmaktadır.

Motor

* Kutuplararası mesafe	258 mm
* Hava aralığı	10 mm
* Kayma kuvveti	100 kN
* Motor akımı	1200 A
* Kablonun izolasyon dayanıklılığı	6/10 kv
Enerji sağlanması	
* Yüksek gerilim transformatörü	31.5 MVA
	110/20 kv

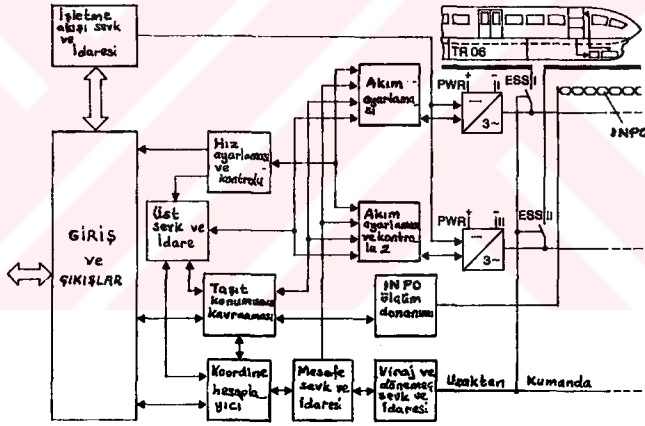
* Doğrultucu transformatör	2 X 5.6 MVA
	20/1.2 kV
* Doğrultucu	2 X 3300 A
	2 X 1300 V
* Evirici (sistem başına)	8 X 2.2 MVA
	0...2027 V
	680 A
	0...215 Hz
* Fren devresi	4 X 2 MW
	4 X 800 A
* Çıkış transformatörleri	4 X 1.8 MVA
(sistem başına)	max. 4500 V/faz
	55...215 Hz



Şekil: 6 - Dalgalı doğrultucu kontrolünün blok diyagramı

Tahrikin ayarı ve kumandası

Tahrikin ayarı ve kumandası, tahrik donanımı ve kontrol sistemi tarafından gerçekleştirilir. Sistem olması gereken bir hızda ve seyir konforunda gereken şartların (ivmelenme $\leq 1.5 \text{ m/s}^2$, darbe $\leq 0,5 \text{ m/s}^2$ koşullarında) dikkate alındığı bir iletim sistemi, motorun kendine has özellikleri (değişik uzunluklara sahip 58 adet besleme bölümü) ve tahrikteki özel sınırlamalardan (motor gerilimi, motor akımı) meydana gelmektedir.



Şekil: 7 - Tahrik donanımı ve kontrol sisteminin blok diyagramı.

Şekil: 7'de besleme bölümlerinin elektriksel olarak açılma ve kapanması ve zamansal olarak bunların üst üste binme durumları, enerji ihtiyacı optimum olacak şekilde kumanda

edilmeleri gösterilmektedir. Herhangi bir üst düzeydeki sevk ve kumanda, her bir motor kısmındaki sistemlerin kumandasını ve kontrolünü sağlarken, koordine hesaplayıcı taşıtın hareketindeki hıza bağlı olarak açılıp kapanmaktadır (elektiriksel olarak).

Her iki akım ayarı salınımlı, dalgalı doğrultucular için kumanda ve iletim sinyalleri sağlamaktadır. Her iki düzenlemede TRANSVEKTOR metoduna göre çalışmaktadır. Motor akımı bileşenlerini, motor momentinin devrilme noktasına çok yakın bir durumda çalışırken, maksimum kaymanın gerçekleşmesini sağlayacak şekilde ayarlamaktadır.

Akım ayarının sağlanması için, stator sargılarına bağlı olarak motor ikazının konumu tamamıyla belirlenmiş olmalıdır. Taşıt konumunun belirlenmesindeki bu kutuplaşmalar, değişik donanımlarla elde edilirler. Burada taşıt konumunun yanında taşıtın tam olarak pozisyonu ve hızı da tamamıyla belirlenir. Kurulan sistemler 8° den daha küçük elektiriksel bir açısal sapma içeren bir doğruluk değerine ulaşmaktadır. Bu 516 mm'lik bir stator periyodunda, 12 mm'den daha küçük bir uzunluk sapmasına karşı gelmektedir.

Akım ayarı üstüste bindirme hız ayarınada sahiptir. Bu seyir konforunu gözönüne alan iletim büyüklüklerinin oluşumu ve yük kuvvetinin gözlenmesi şeklinde tarif edilir. Akımın alması gereken değerler seyir konforunun dikkate alınması ile belirlenir. Seçilen ayarlama sistemi olması gerekli değişimlerdeki geçiş davranışlarında zamansal olarak optimum ve periyodik olmayan bir davranış gösterecek şekilde tayin edilir. Taşıtın hiçbir sürtünmesi yok ise, durma eyleminde taşıtın sürüklenmemesi için ek bir denge durumu olmadığından düzenleyici sisteminin konulması gerekir.

Ara istasyonlardaki tahrik sisteminde ek olarak taşıt üzerinde kaymalı ve pandüllu kavramalar bulunmaktadır. Bunlar herhangi bir arıza ve noksanlık durumunda tahrikteki elektriği kesmekte ve taşıyıcı sistemi istenmeyen ve uygun olmayan etkilerden korumaktadır.

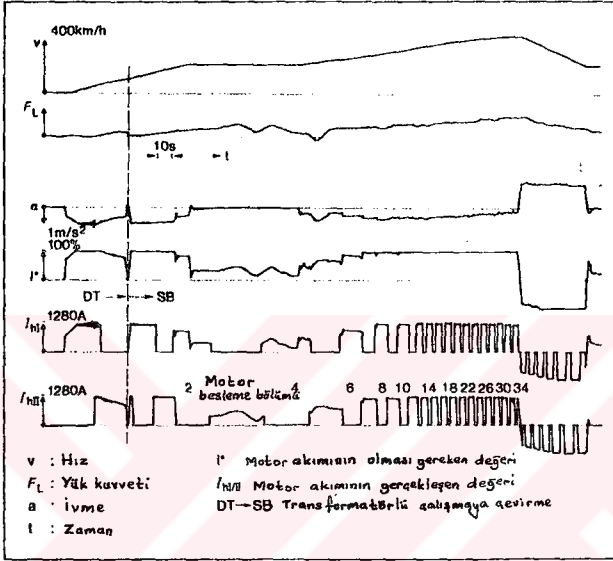
İşletme akıllı sevk ve idare sistemi, idare ve sevk sinyallerinin merkezi şekilde bağlanmasında, kontrollerde ve tahrik sisteminin göstergelerinin merkezi şekilde bağlanmasında etkili olmakta ve tüm bunların gerçekleşmesini sağlamaktadır. Bu sistem tahrik sisteminin tüm alt sistemlerinden gelen sinyalleri toplamakta ve enerji beslemesi ve dönüştürücü için gerekli kumanda büyüklüklerini verilen işletme şekli programlarına göre aktif duruma geçirmektedir.

İşletme Sonuçları

TR06 taşıtı ile 1988 yılının başından bu yana 30.000 km yol katedilmiştir. Taşıtın tahrik sistemi bu süre içinde kendinden beklenenleri tam olarak yerine getirmiştir. Taslak şeklindeki çalışma durumlarında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir {8}.

30.06.1983	Test merkezinin salonundan çıkış
04.05.1984	En yüksek hız 205 km/h
17.08.1984	En yüksek hız 300 km/h
12.12.1985	En yüksek hız 355 km/h
22.01.1988	En yüksek hız 412.6 km/h

Özellikle 1988 yılının başlangıcında en yüksek hızlı seyahat gerçekleşmiştir.



Şekil: 8 - 412.6 km/h'lik hızda ivmelenme fazındaki karakteristik büyüklükler.

Bundan başka ivme ve motor akımı taşıt seyir hızına bağlı olarak çizilmiştir. Motor uyarılması taşıt ağırlığından dolayı hemen hemen sabit olduğundan kayma miktarı da bu motor akımıyla doğru orantılı olmaktadır. Transformatörün çalışma durumunda en yüksek hız değerine kadar 100 kN'luk bir maksimum kaymanın meydana geldiği açıkça farkedilmektedir.

Bu diyagramların değerlendirilmesi, bir başka deyişle sayılarla ifade edilmesi tahrik ünitesinin seyir dinamiği açısından karakteristik bilgileri göstermektedir.

maksimum ivmelenme	0.85 (m/s ²)
400 km/h sürattteki ivmelenme	0.2 (m/s ²)
maksimum motor etki gücü	13.6 (MW)
maksimum motor görünen gücü	16 (MVA)
maksimum motor kayması	100 (kN)

Ölçülen bu bilgilerin hesaplanan bilgiler ile karşılaştırılması, tahrik ünitesinin yeterli miktarda güç rezervine sahip olduğunu kanıtlamıştır. Seyir dinamiğini içeren teorik hesaplamalar bir program ile gerçekleşmiştir. Hesaplar yapılırken yol boyunca dizilmiş 58 adet kısmi motorun elektriksel özellikleri, her bir taşıt direnç kısımları, taşıtın kütlesi, yolun eğimleri (yokuşlar), ve aynı zamanda yolun dönemeçleri de dikkate alınmıştır. Tahrik sisteminin enerji ihtiyacının elde edilmesi amacıyla atalet seyirleri değişik maksimum hızlarda gerçekleştirilmiştir. 400 km/h'lik bir atalet seyrinde verimi η ve güç faktörü $\cos \varphi$ (tali) istasyonda çıkış noktasında ölçülmüştür) için aşağıdaki büyüklükler elde edilmiştir.

$$\eta \approx 0.93$$

$$\cos \varphi \approx 0.84$$

Bu TR06 taşıtının yolcu kapasitesi açısından özgül enerji ihtiyacı olarak $a \approx 90$ Wh/şahıs.km değerini vermektedir.

Buraya kadar, deney tesisi içinde elde edilen yüksek hızların 300 m'lik motor besleme bölümlerinde gerçekleştiği

dikkate alınmalıdır. Bu mesafe oldukça kısadır. Motor besleme bölümlerinin aralarındaki uzaklık 1000 m'ye çıkarıldığında verimi $\eta = 0.8$ değerine düşecektir. Bu durumda ise özgül enerji ihtiyacı yine de uygun bir değer olan 100 Wh/şahıs.km değerine ulaşacaktır.

Donanım sisteminin geliştirilmesi

TR06 taşıtının tahrik sistemi (1978'de projelenme zamanı) deneysel işletme ve çalışmanın çok çeşitli istekleri ve görevleri için projelendirilmiştir. Bununla birlikte kullanımı bire birlik (1:1) ölçekte gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Sistemi kullanıma hazır duruma getirmek için aşağıdaki geliştirme adımları ve amaçları çok önemli ve gereklidir.

- * Spesifikasyonların ve taleplerin azaltılması ve kontrol edilmesi,
- * Tahrik sisteminin güç, ayarlama ve düzeltme kısımları için sürekli geliştirilen konseptlerin araştırılması,
- * Güç elektronığı dallarındaki yeni teknolojilerden yararlanma
(örnek olarak GTO tristörlü yarı-iletken doğrultucular)
- * Sistem güvenilirliğini yükseltmek amacıyla önlemler alınması.

Yukarıda kısaca değinilen bu olanaklar yardımıyla aşağıda belirtilen düzen ortaya çıkmıştır.

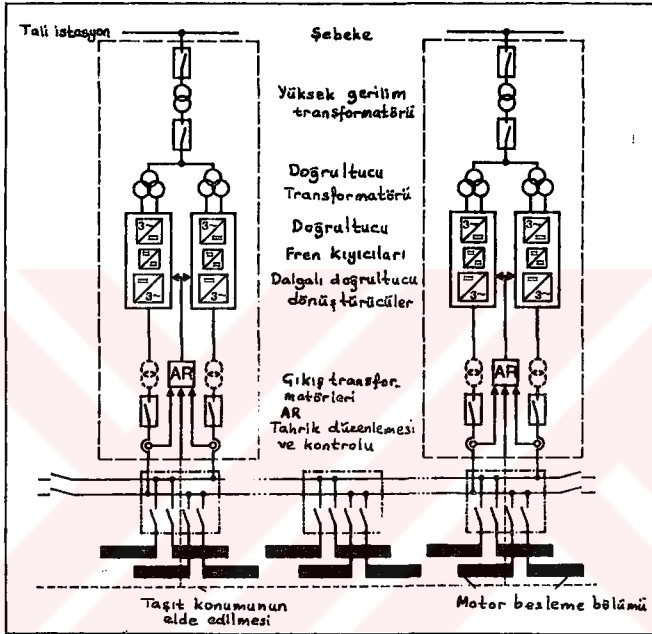
Yeni motor besleme sistemi

TRO6 taşıtının tahrik düzeni motor bölümlerinin beslenmesini kapsayan BOCKSPRUNG denilen bir metodla geliştirilmiştir. Bu

metod ayrılmış yol kablo sistemi üzerindeki iki adet dalgalı doğrultucu sisteminin alterne ve üst üste binen beslemesi ile yol kısımlarındaki bölümlerden geçerken motor kaymasında hiç bir kesinti meydana gelmeyecek şekilde çalışmasıdır. Bu şekilde amaçlanan seyir konforu için dalgalı doğrultucuların çift olarak bağlantısı gerekmektedir.

"Değişken adım" veya "dalgalı adım (Wechselschrittverfahren)" yöntemi ise Şekil 9 "Ayaklı atlama" yöntemi ile karşılaştırıldığında yapılan harcamalar açısından daha ekonomik olmaktadır. Motorun her iki kısmı sargıları - taşıt yolunun hem sağındaki hem solundaki- taşıtın seyir yönünde birbiri ardına çapraz olarak konulmuş ve ayrı yol kablo sistemi tarafından beslenmektedir. Bu sistemler iki taraflı olarak komşu ara istasyonlardaki dalgalı doğrultucular tarafından beslenmektedir. Çapraz şekilde konulmuş motor sargıları üzerinde, bölüm değişimlerinde meydana gelen kayma hareketi kesintisi burada da önlenmiştir. Sargı yarılarının ayrıık şekilde beslenmesi monte edilmiş dalgalı doğrultucuların güçlerinin azaltılmasına veya besleme bölümlerinin uzunluklarının büyütülmesine imkan vermektedir. Böylece tahrikin güç ünitesindeki harcamanın da oransal olarak çok büyük miktarda azaltılmasına olanak sağlamaktadır.

Motor sargılarının ayrıık sistemler tarafından beslenmesi ve aynı zamanda komşu ara istasyonlar tarafından beslenmesi, tahrik sisteminin çok yüksek bir derecede hazır biçimde olmasını sağlamaktadır.



Şekil: 9 - Transrapid - tahrik sisteminin enerji ihtiyacı dalgali adım, değişken adım metodu prensip bağlantı şeması.

ÖRNEK: 2 - M-BAHN

Magnetbahn Transrapid (TRO7) Almanya

TRO7 taşıtının fabrik sisteminin işletme davranışları

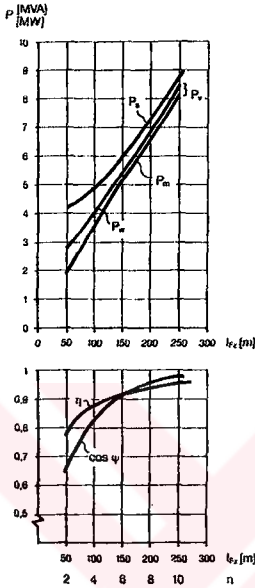
Tahrik sisteminin ölçülendirilmesindeki en önemli parametre taşıtın etkisi altında olduğu ve taşıta doğru gelen seyir direncidir. Yüksek hız sınırlarında tüm toplam dirençte en belirleyici direnç olan aerodinamik seyir direnci, taşıtın burun kısmına çok uygun bir şekil verilmesi ve taşıtın boylamasına yönde kesintisiz olarak devam eden şasi şekillendirmesiyle çok büyük oranda azaltılmıştır.

Seyir hızı üzerine yapılan hesaplar, taşıt kütlelerinin ve TRO7'nin seyir direncinin de dikkat alınarak test pistinde (TEV) 5.5 km'lik bir yol boyunca 400 km/h'lik bir hıza ulaşıldığını göstermektedir. En yüksek hız değeri olarak ise 450 km/h'lik bir hız değerine erişilmiştir. {8}

Tahrik sistemine bağlantılı olarak TRO7 taşıtı en az 200 kişilik kapasiteye sahip ve her bir vagonu 50m boyunda olacak şekilde tasarlanmıştır. En yüksek sınır değeri olarak ise her bir vagon boyu 250 m ve her bir vagon kapasitesi 1000 kişi olarak düşünülmüştür. Aralarında 20 km mesafe bulunan iki istasyon arasındaki bir seyirdeki çok kısımlı güç bilançosu bir taşıt için Şekil: 10'da gösterilmektedir.

Bir ara istasyon için çıkış geriliminin maksimum değeri 10 kV ve çıkış akımı ise 1000 A değerindedir.

Altı kısımlı bir taşıt için (600 kişilik kapasite) 400 km'lik bir seyir hızı, verim η ve güç faktörü $\cos \phi$ için ise hemen hemen 0.9 değerleri elde edilmektedir.



P_s = Görünen güç
 P_a = Aktif güç
 P_m = Mekanik güç
 P_v = Kayıplar
 η = Verim
 $\cos \phi$ = Güç faktörü
 l_{t1} = Taşıt uzunluğu

Tali istasyon uzaklığı 20 km
 Besleme kablosu 4x3x150 mm² Al
 Bağlama bölüm uzunluğu 1 km
 Uzun stator kablosu 190 mm² Al
 Taşıt hızı 400 km/h

Şekil: 10 - Çok bölümlü taşıtların güç eğrileri
(güç bilançoları)

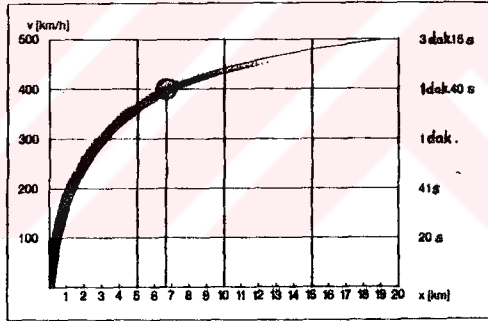
Çok yüksek kısım sayılarında daha uygun bir tahrikin gerçekleştirilmesi, aşağıdaki nedenler açısından özellikle önemlidir.

- * Taşıt kısım sayısının iki katına çıkarılması durumunda seyir direnci aynı oranda artmamaktadır.
- * Taşıta etki eden kayma (çekme kuvveti) değeri sabit bir motor akımında taşıt boyunun uzunluğuna orantılı olarak artar.

Yukarıdaki bu esaslar sonucu, sabit bir hız değerindeki gerekli kayma değeri, uzun taşıtlarda daha düşük akım değerleri

ile gerçekleştirilebilir. Düşük akım değerlerinde verim η ve güç faktörü $\cos \varphi$ büyükmektedir. Kısa taşıtlarda $\cos \varphi$ ve η için uygun değerler, istasyonlar arasındaki mesafelerin ve bağlantı bölümlerinin uzunluklarının azaltılması sonucu elde edilmektedir.

Taşıt ile taşıt yolu arasındaki temassız kuvvet taşınımı, % 10 değerine kadar yüksek eğimlerde bile çok iyi bir seyir ve aynı zamanda da yüksek bir ilk harekete geçme ivmelenmesi sağlamaktadır. Düz bir yoldaki (eğimsiz) ilk harekete geçme durumu Şekil: 11'de gösterilmiştir. Taşıt hemen hemen 6 km sonunda 400 km/h'lik bir hıza ulaşmıştır. Bu arada geçen zaman ise 2 dakikanın altındadır. Ayrıca hızlı ulaşım sistemleri için çok yüksek bir ivmelenme değeri olan 0 km'den 100 km'ye 20 saniyede yükselme değeri de şekilde görülmektedir.



Şekil: 11 - Düz Yolda (Eğimsiz Yol) Harekete Geçme (İlk Hareket)

Modern dönüştürücü sistemi

Günümüzde, tahrik düzeninin bugüne kadar aldığı durum karşısında, çok daha uygun dalgalı doğrultucu devrelerinin gerçekleştirilebileceği ve bunu gerçekleştirme imkanları

görülmüştür. Bu imkanlar GTO tristörlerin kullanılması temeline dayanmaktadır. Aynı zamanda bu imkanlar sayesinde her türlü komütasyon devrelerinden ve değişik transfer devresi gerilimleri ile işletmeden vazgeçmek mümkün olmaktadır.

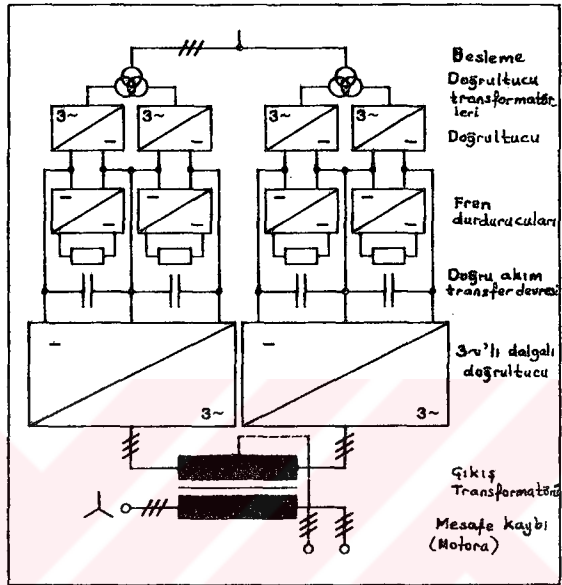
Aşağıdaki gerilim hedefleri arzulanmaktadır:

- * Düşük dönüştürücü masrafları.
- * Ara istasyon çıkış geriliminin yükseltilmesi.
- * İlk hareketteki motor geriliminin yükseltilmesi.
- * Sinüs fonksiyonu formuna uyan bir çıkış gerilimi.
- * Kayma (çekme) kuvveti ve fren kuvveti boşluklarının önlenmesi.

Yeni dönüştürücü sisteminin prensipleri:

Şekil: 12 önerilen ortalama gerilimli dönüştürücü sisteminin prensiplerini göstermek amacıyla çizilmiştir. Burada örnek olarak üç noktalı dalgalı doğrultucunun bağlantı şeması görülmektedir. Sistemin temeli iki adet seri olarak bağlanmış doğru akım besleme ağı olan bir dalgalı doğrultucuya dayanmaktadır. Özellikle çok yüksek motor frekanslarındaki gerilim ayarı, her bir transfer devresi gerilimlerinin değiştirilmesi ile meydana getirilmektedir. Her bir transfer devresine bir fren regülatörü (kıyıcıları) bağlanmıştır. Fren kıyıcılarının görevi, generatörle çalışma durumunda düşen frenleme enerjisini üzerine almaktır.

Bu dönüştürücü sistemi ile prensip olarak değişik çözümlerin düşünülmesi de mümkündür. Bunlardan biri şimdiye kadar gerekli olan çıkış transformatörlerinin ortalama gerilimli dönüştürücülerin kullanılması ile gerekli olmayan bir şekil alması durumudur. Bu konudaki düşünce ve çalışmalar, bu durumun ekonomik



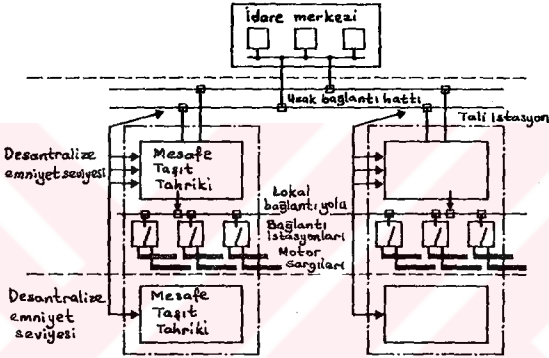
Şekil: 12 - Transrapid'in tahriki - 3 noktalı dalgali doğrultuculu dönüştürücünün bağlantı prensip şeması.

bakımdan gerçekleştirileceğinin mümkün olup olmadığını bize gösterecektir.

Her durumda, çıkış gerilimi sinüs fonksiyonu formuna uyan bir dönüştürücü sisteminin kurulması zorunludur. Bu, mıknatıslı taşıtlarda uzun statorlu motorun dallanmış kablo ağının beslenmesi açısından zorunludur.

Tahrikin kumandası ve ayarı

Mıknatıslı demiryolu taşıtlarının gelecekteki yol ağları tek bir işletme sistemi tarafından sevk ve idare edilecek ve ayrıca kontrol edilecektir (Şekil: 13).



Şekil: 13 - Transrapid haberleşme, kontrol ve idare sisteminin prensibi

Bu sistem üç seviyeden oluşmaktadır. Bunlar;

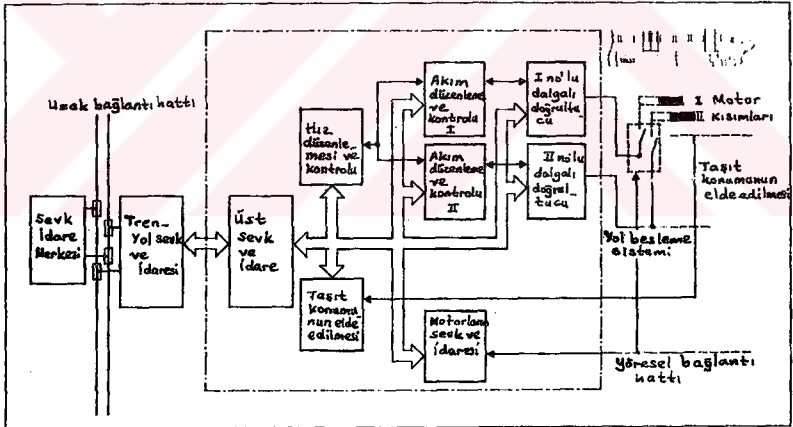
- * Merkezsel pozitif olmayan seviye ve sevk merkezi,
- * Yol mesafesi, taşıt ve tahrik sevkini kapsayan desantralize sevk ve idare seviyesi,
- * Yol mesafelerinin, istasyonların ve taşıtların emniyetinin sağlanması için desantralize emniyet seviyesi.

Desantralize seviyeler ışıık dalgaları iletim teknolojisi ile inşa ve standardize edilmiş uzun yol otobüs sistemleri üzerinden

hem birbirlerine hem de iletim santrallerine bağlanmıştır. Bu sistemler çok yüksek seviyede bir nakil iletimine sahiptir ve daimi olarak kendi işletim sistemi tarafından kontrol edilmektedir.

Tahrik sisteminin kumandası, desantralize sevk ve idare seviyesinin bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu sistem tahrik sistemini, taşıtların mümkün olabilen en yüksek hızlarında işletilmesi durumunda, zaman ve enerji harcanması bakımından optimum bir şekilde belirlenen hedeflere erişilmesini sağlayacak şekilde sevk ve idare etmekte ve düzenlemektedir. Bunun yanında emniyet seviyesinde sınır değerlerle ilgili bilgileri kontrol etmektedir.

Modüler olarak yapılan tahrik kumanda ve kontrol sistemi aşağıdaki ana bileşenlerden meydana gelmektedir (Şekil: 14).



Şekil: 14 - Transrapid - tahrik kontrolunun prensip akış şeması.

- * En üst seviyede konumlanmış sevk ve idare hesaplayıcısı: Bu hesaplayıcının görevi, tahrik kontrolü ile birlikte, tren ve mesafe sevk ve idaresini birleştirmek ve güç sistemi bileşenlerinin aktivitesini sağlamaktır.
- * Tahrik kontrolü: hız kontrolünün ve tahrik işletmesi için gerekli motor akımı kontrolünün mümkün olan en iyi ve optimum işletme noktasında olmasını sağlar.
- * Dönüştürücü kontrolü: Herhangibir seyir hızında ve çekme kuvveti ihtiyacına göre, motor kısımlarının gerekli frekans ve genlikteki stator akımı ile beslenmesi için dalgalı doğrultucuların aktivitesini sağlayan dönüştürücü kontrolü.
- * Taşıt durumu ölçüm sistemi: Motor tahrikinin, statora ve aynı zamanda taşıtın hızına ve pozisyonuna göre rölatif durumunu belirleyen taşıt durumu ölçüm sistemi.
- * Motor besleme kısımlarının kumandası: Stator kısımlarının, taşıtın hızına ve bulunduğu ortama uygun şekilde, enerji bakımından optimum olarak aktive edilmesi.

MC tekniğinin imkanları, toplam tahrik kontrolü için, dönüştürücü sevk ve idaresinden faydalı şekilde yararlanılmasını sağlar. Bu;

- * Tasarruflu ve sıhhatli motor modelleri yardımı ile optimal bir çalışma (işletme) noktasında taşıtın gitmesi.
- * Sargılardaki ısınma ve yüzey etkisini gerektiren, çalışma noktası bağımlı motor parametrelerinin adaptasyonu.
- * Tahrikten yararlanmanın yükseltilmesi ve toplam sisteme ait elektromagnetik uygunluğun düzeltilmesi için yüksek titreşimleri az olan kumanda metodları.

İşletme durumunun sürekli kontrolü ile sistemin her an hazır durumda olmasının derece olarak yükseltilmesini sağlamak amacıyla

tanı donanımlarının birleştirilmesi.

Örnek olarak verilenler uzun statorlu tahrikde, kompleks kumanda ve kontrol sistemlerinin gerçekleştirilmesinde bugün için hazırda olan yenilik potansiyelinin hangi seviyede olduğunu açıkça göstermektedir. Endüstrideki ve raylı taşıtlardaki cihazların sürekli olarak gelişmesi, gelecekte raylı taşıtların gerçekleşmesindeki bu potansiyeli önemli ölçüde arttıracaktır.

Sonuc

TVE'deki enerji ihtiyacı ile uzun statorlu tahrikin işletme ve çalışma durumunda denenmesi, bu tahrik sisteminin kullanım sahası bulacağını göstermektedir. Uzun statorlu kısımların uzunluklarının uygun bir şekilde seçimi ve aynı zamanda ara istasyonlar arasındaki uzaklığın uygun şekilde belirlenmesi, hem tren yolundaki hat güzergahına hem de çalışma şartlarının belirlediği engebeli araziye uyumu mümkün kılmaktadır. Sistemin engebeli arazide, örneğin eğimlerin hemen hemen % 10 civarında olduğu durumlarda (Bu tekerlekli/raylı taşıtlarda % 3 - % 4 arasında olabilmektedir, en fazla eğim değeri) çalışabilmesi ve bu durumun gerçekleştirilebilmesi özel avantajlarından biridir.

Uzun statorlu tahrikin aktif bölümleri tüm yol uzunluğu boyunca bölüştürülerek inşa edilmiştir. Uygun yatırımlar ise küçük tren boyutları ve buna paralel daha yoğun şekilde tren serisi ile sağlanmıştır. Bunun yanında yoğun trafik gereksinmelerinde, tahrik sisteminin uygun şekilde ölçeklendirilmesi ile, toplam kapasitesi 1000 kişiye varan taşıtlarında gerçekleştirilmesi mümkündür.

TVE üzerinde yapılan çalışmalar ve elde edilen tecrübeler şu sonucu açıkça göstermiştir.

Çok yüksek güvenilirlik ve her zaman işletmeye hazır durumda olabilme özelliklerine sahip bir tahrik sistemini gelecekte kullanılabilecek bir sistem olarak gerçekleştirmek mümkündür.

TVE'ye dair, motor beslenmesi, dönüştürücü sistemi ve düzenleme sistemi hakkında sunulan yeni düzenlerin denenmesi, teknik olarak bir iyileşmeyi, sistemin her an hazır olmasının ve ekonomik-iktisadi yönden iyileşmesini beraberinde getirecektir.

TR06 ve TR07'nin kullanım aşamasında değerlendirilmesi

Mıknatıslı hızlı tren Transrapid 1989 yılının sonunda kullanılmaya hazır duruma gelmiştir. 1989 yılına kadar endüstri ve MVP arasında uygun ve uyumlu bir çalışma programı sürdürülmüştür. Bu çalışma programının amacı aracı kullanılmaya hazır duruma getirmektir. Çalışma programı birbirine paralel giden üç kısmi programı öngörmektedir.

- * Emsland'ta Transrapid - Deney tesisatı ve tesisi (TVE) üzerinde yapılan deneylerden elde edilen sistem verilerinin teknik olarak tecrübe edilmesi ve ispatlanması.
- * Teknoloji programı içinde, günümüz sistem bileşenlerinin daha iyi duruma getirilmesi ve bu konuda endüstri ile yan yana çalışılması.
- * Sistemin araştırılması, tecrübe edilmesi ve teorik olarak ispatlanması teorik olarak yapılan hesaplamada gerekli etüd, simülasyon ve hesaplamaların yapılması. Burada, çalışma durumu, ekonomi ve teknikten gelen soruların ve sorunların araştırılması gerekmektedir. Bu şekildeki soruların TVE (Emsland'daki Transrapid deney - tesisatı) üzerinde ispatlanması deney tesisatının konfigürasyonundan

dolayı mümkün değildi. (Bunlara örnek olarak, çift izli taşıt yolu çok taşıtlı işletme, yüksek dere ve akarsu köprüleri gösterilebilir.)

Kullanıma hazır hale getirme programının amacı, temel olarak mümkün olan en yüksek seyir gücünde teknik olarak cevaplanmamış ve hala açık olan sorulara cevap bulmaktır. Cevap aranan bu sorular sistemin güvenilirliği, sistem bakımı, sistemin emin ve kararlı olması yanında aynı zamanda çevre ve çevre şartlarına uyumudur.

Tüm bu soruların cevaplandırılması 1989 yılının sonunda gerçekleşmiş oldu.

Mıknatıslı hızlı tren Transrapid eriştiği hızlar bakımından gelecek gösteren ve tren, uçak gibi ulaşım araçları arasındaki hız sahasında en uygun talebi karşılamaktadır ve tekerlek/ray sistemi arasındaki hız sınırı açısından oluşan boşluğu doldurmaktadır. Gerçekten Transrapid hem, 30 km ile 100 km arasındaki ortalama uzaklıktaki mesafeler için (bu ortalama mesafelerde hızı 300 km/h ile 400 km/h arasında değişmektedir) hem de, 100 km ile 1000 km arasında değişen uzak mesafe trafik sisteminde (bu mesafeler de ise hızı ortalama olarak 400 km/h ile 500 km/h arasında değişmektedir) gösterdiği özelliklerden dolayı trafik sistemleri için çekici ve çok avantajlı bir taşıt olma özelliğini göstermektedir.

Bu yeni Alman trafik ve ulaşım sistemi birçok yabancı dış ülkede artan bir ilgi ile izlenmektedir. Bir çok ülke Transrapid'ten kendi trafik problemlerine bir çözüm getirmesini beklemektedir.

Tabii ki, her ülkede mıknatıslı demiryolu taşıtlarından meydana gelen trafik sistemini gerçekleştirme şansı büyük farklılıklar göstermektedir. Trafik ve ulaşım talebinin yanında, bu

lkelerdeki ulaşım ve trafik politikası, böyle bir sistemin finanse edilmesi, ulaşım ve taşıt tekniği bakımından bu ülkelerin teknolojik seviyesi, sistemin gerçekleştirilmesi şansını etki-leyen başlıca faktörlerdir.

Avrupa'da Transrapid'in Avrupa'daki başkentleri ve önemli merkezleri birbirine bağlayan bir hızlı tren ağı oluşturması özellikle istenen bir durumdur. Fakat bu girişimin sonucu memleketler arasındaki ülke sınırlarının aşılmasını formüle etmeyi sağlayacak Avrupa ulaşım politikasının atacağı olumlu adımlara bağlıdır.

Avrupa dışındaki ülke ve bölgelere baktığımızda, bu yüzyıl içinde mıknatıslı demiryolu taşıtlarının yapılabilme umudunun bulunduğu ülkeleri iş hacmi açısından aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

- * Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada
- * Japonya
- * Kuzeydoğu Asya
- * Avustralya
- * Sovyetler Birliği
- * Suudi Arabistan
- * in
- * Güney Amerika

Bu tahminlere göre özellikle Amerika Birleşik Devletlerinde Transrapid'in milletler arasında (TRI) kullanılması ve ayrıca denizaşırı ülkeler arasında aktif hale getirilmesi düşünceleri son iki yıldır yoğunluk kazanmaktadır.

Amerika Birleşik Devletlerinde Florida, Pennsylvania, Nevada, Illinois, Texas ve Kaliforniya gibi bazı eyaletlerde insanların taşınması amacıyla özenle seçilmiş bazı alanlara yeni hızlı trenlerin inşa edilmesi görüşü oluşmakta ve ağırlık

kazanmaktadır. Bu görüşün oluşmasının başlıca nedenleri, hava yollarının aşırı şekilde kalabalıklaşması, hava limanlarındaki donanım ve düzenlerin gün geçtikçe yetersizleşmesi, karayollarında trafiğin doyuma ulaşması ile ortaya çıkan problemler ve tüm bunların yanında çevreyi koruma siyaseti dahilinde hava kirlenmesinin önlenmesi ve nihayet boşa harcanan enerji'nin korunması olarak özetlenebilir.

Mıknatıslı bir demiryolu taşıtının projelendirilmesi için şimdilik (zaman açısından) en enteresan olan Las Vegas - Los Angeles alanıdır. Bu yüzden bu taşıtların ABD'deki kullanımının planlamasına örnek olarak Las Vegas - Los Angeles projesi daha ayrıntılı olarak incelenecektir.

Transrapid, diğer dış ülkelerde kullanılma yönündende yeterli özelliklere sahiptir. Fakat bunun gerçekleştirilmesi için ilk önce, taşıtın Federal Almanya'da kullanılacağı hatların belirlenmesine paralel olarak, diğer ardışık dış ülkelerdeki Transrapid - Projelerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

1987 yılında Transrapid'in ulusal kullanım hatlarının belirlenmesi için önemli ön kararlar alınmıştır. Kuzey Almanya'daki sahil eyaletleri, Transrapid'in kullanım hattı olarak, Kiel, Hamburg - Hannover ve Bremen'i birleştiren bir hat için öneride bulunmuşlardır. Baden-Württemberg ve Bayern hattı için de çeşitli öneriler ortaya atılmıştır. Bunun yanında siyasi partilerde mıknatıslı hızlı demiryolu taşıtlarının Federal Almanya'da kullanılması için pozitif ve destekleyici kararda olduklarını beyan etmişlerdir.

Trafik ve ulaşımdan sorumlu bakanlık olduğu gibi araştırma ve teknoloji bakanlıkları da, Federal Alman Demiryolları Lufthansa ve MVP bu projenin gerçekleştirilmesi için birlikte ve

büyük bir yoğunlukla "kullanım sahası etüdünde" çalışmaktadır. Bu ortak çalışma içinde bir çok kurum temsilcisi ulusal kullanım hattı olarak bazı özel kullanım kriterlerinden yola çıkarak 2 veya 3 tane potansiyelli kullanma hatları teklif edilecektir. Bu hat, kullanma kriterleri gözönüne alınarak 2 veya 3 potansiyel kullanma hattından ibarettir. Tüm katılımcılar içinde oluşan ortak fikir, kullanma hattının büyük bir trafik ve ulaşım görevini yerine getirmesi yanında, ekonomik bakımdan akla yatkın ve uygun finansal kaynaklar ve finanse edilebilmesi bakımından başarılabilecek ve uluslararası alanda örnek bir hat teşkil edebilecek özellikler göstermesi meylindedir.

Amerika Birlesik Devletlerindeki Las Vegas - Los Angeles hattındaki kullanma sahası araştırmaları

Mıknatıslı taşıt ve ulaşım tekniğine erken giriş, bu sistemin, mevcut tekerlekli-raylı ulaşım sistemine göre teknolojik ve diğer alanlardaki avantajlarının uluslararası planlama faaliyetleri açısından ispat edilmesi gerektiğini ortaya çıkardı. Bunun yanında bu tekniğin uluslararası alanda kullanılma aşamasına gelmesi gerektiği de önemli bir unsurdur. Sistemin yapıcı bir şekilde gerçekleştirilmesi için Las Vegas - Los Angeles hattından alınacak araştırma sonuçları bu açıdan çok büyük bir önem taşımaktaydı.

Yapılan araştırmalar temel olarak mıknatıslı taşıt Transrapid ile Tekerlek - Ray sisteminin, sistem tekniği ve somut olarak kullanma durumlarının karşılaştırılması yönünden özellikle değerlendirilmelidir. Elde edilecek sonuçlar mıknatıslı demiryolu sistemine geçişi destekleyecek yöndeydi. Las Vegas'la Los Angeles'in bağlantısı ABD'de sistem için temsili bir alan olarak

görülmektedir. Bu arada ABD'nin genel olarak tekerlek-ray sistemi açısından önemli bir pazar geleceğine sahip olacağını göstermektedir.

1. Araştırma süreci: 1982-1983

1982 yılında Las Vegas şehir idaresi tarafından, yüksek ve çok yüksek hızlı ray tekerlek sistemine dayanan ulaşım sistemlerinin kullanılabilirlik araştırmaları başlatıldı. Las Vegas şehrinde şehir idaresi tarafından Budd Company görevlendirildi. Budd Company'nin görevi Las Vegas, Los Angeles hattında raylı yüksek hızlı taşıma sistemlerinin inşa edilebilme ve işletme açısından gerçekleştirilebilme imkanlarını araştırmaktır. Çalışmada, Budd Company'nin idaresi altında ABD'den Bechtel ve Transtech International; Federal Almanya'dan da Transrapid International firmaları yer aldı. Çalışmada esas alınan ve belirleyici kriterler aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

- * Las Vegas - Los Angeles arasında hızlı demiryolu bağlantısının gerçekleştirilebilme imkanları.
- * Teknik ve ekonomik bakımdan en elverişli ve en uygun hızlı demiryolu sisteminin seçimi.
- * Rantabilite ve sistem harcamalarının elde edilmesi ve çıkarılması.
- * Masraf/Değer analizi
- * Sistem tavsiyesi, Sistem referansı
- * Yapım planının hazırlanması.
- * Finans planı
- * İşletme akışı

Çalışmada, yüksek hızlı tekerlekli/raylı sistemler, (Shinkansen - hızlı treni, TGV, ET403/DB, APT, LRC ve diğerleri)

Japonların EDS/JNR sistemi Alman mıknatıslı demiryolu taşıtı Transrapid çeşitli özellikleri açısından karşılaştırılmıştır.

Tüm bu sistemler arasında Alman mıknatıslı demiryolu sistemi Transrapid'in Las Vegas - Los Angeles hattında kullanılması yönünden en avantajlı, en uygun ve en iyi sistem olduğu ortaya çıkmıştır. Transrapid için böyle bir sonucun çıkmasına aşağıdaki özellikleri sebebiyet vermiştir.

Sistem Raylı-Tekerlekli sistemlere göre işletme bakımından daha karlı bir sistemdir. Japonların EDS teknolojisi ile karşılaştırıldığında ise konstrüksiyonunun ileriki senelerde çok daha uygun bir şekilde geliştirilme imkanına sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Raylı-tekerlekli sistemler 260 km/h'lik bir maksimum hız ile 2 saat 10 dakikalık bir sürede yukarıdaki hattı tamamlamaktadır. Mıknatıslı hızlı tren ise bu mesafeyi sadece 1 saat 10 dakikada tamamlamakta ve 400 km/h'lik bir hıza ulaşmaktadır. Bu veriler ile ortaya çıkan Fransızların TGV sistemi ile mıknatıslı hızlı tren arasındaki büyük farktır. Bu ise seyahat zamanının hemen hemen yarıya inmesidir. Ayrıca trafik hacminin iki katına çıkması sonucunu da açıkça ortaya koymaktadır.

1983 yılında 370 km'lik mıknatıslı demiryolu taşıtı hattı için, yatırım masrafı olarak 1.9 milyar Amerikan doları ayrılmıştır. Tekerlekli-raylı hattın yatırım masrafları da hemen hemen aynı seviyededir. Potansiyel trafik hacmi ise yılda 3.8 milyon yolcu olarak elde edilmiştir (1982 sonuçlarına göre). Yolcu ücreti ise gidiş-dönüş olmak üzere 65 Amerikan dolarıdır.

1983 yılının Ocak ayında elde edilen sonuçların sunulması sonucu, projenin birinci fazı, Alman mıknatıslı demiryolu sistemi Transrapid'in ileriki araştırmalar için temel bir sistem olarak inşa edilmesi kararının alınması ile son bulmuştur. Aynı zamanda

Las Vegas şehir idaresi 1984 yılının sonbaharında başlayacak II. Faz araştırmalar için bir proje koordinatörü görevlendirmiştir.

II. Araştırma süreci: 1984-1987

Çalışmanın ikinci aşaması 50'ye yakın firmanın yer aldığı araştırmaların gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. Çalışma ve teklifler tekrar gözden geçirilerek 1984'ün sonları ve 1985'in başlarında ihale kapsamına giren firmalar değerlendirilmiştir. Çalışmanın temeli aşağıdaki verilere dayanmaktadır.

* Tatbik edilecek, kullanılacak temel sistem:Transrapid 06.

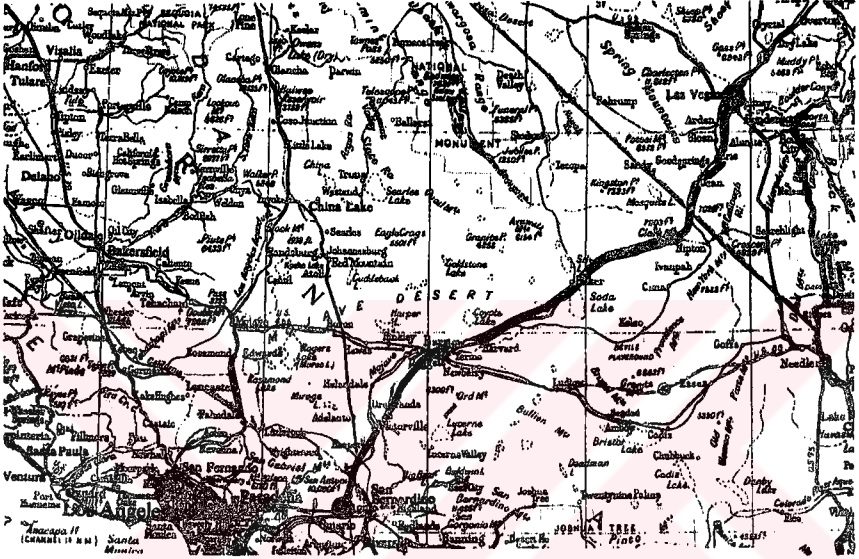
* Alternatif sistemler: JNR - Maglev - TGV

Sistemler aşağıdaki özellikleri ve önemli sahalara açısından araştırılmışlardır. Bunlar; trafik hacmi, sosyo-ekonomik etkiler, çevre ve çevresel etkiler, organizasyon/finansman edilme/planlama, sistemlerin teknik statüsü.

Daha ilerideki adımlar için elde edilen rapor, 1987 Haziran ayında Las Vegas şehir idaresi tarafından ABD Federal demiryolu idaresinin bilgisine sunulmuştur.

Trafik Hacmi

Las Vegas yıllık 15 milyon yolcu tarafından ziyaret edilmektedir. Bu sayı her yıl artan bir durum göstermektedir. Bu yolcu hacminin % 40'ı Güney California bölümünden, kamyon ve yük taşıtları, uzun yol yolcu otobüsleri ve uçaklarla gerçekleşmektedir. Las Vegas'a olan hava yolu bağlantısı Los Angeles'ten gelen yolcu hacmi ile bugün hedeflenen hacmin 5 katına çıkmıştır. Karayolunun gerçekleştirdiği otoban ise trafik hacmi olarak kapasitesinin en son sınırında bulunmaktadır.



**Şekil: 15 - Las Vegas - Los Angeles arasındaki
mıknatıslı-hızlı tren yolu**

1984 yılındaki verilere göre 5.5 milyon yolcu Güney California - Las Vegas arasında seyahat etmiştir. Bunların % 84'ü ise karayolu taşıtlarını kullanmışlardır ve hemen hemen tüm seyahat edenlerin % 90'ını kendi özel araçları ile seyahat etmiştir. Bu yolcu hacmi 2025 yılında 12 milyon seyahat eden kişiyi aşacaktır. Kabaca yolcu adedinin % 40 kadarı mıknatıslı

hızlı tren ile seyahat edebilecektir. Çekici bir yüksek hızlı trafik sistemi tüm trafik hacminde de hemen hemen % 28'lik bir yükselmeye de sebebiyet verecektir.

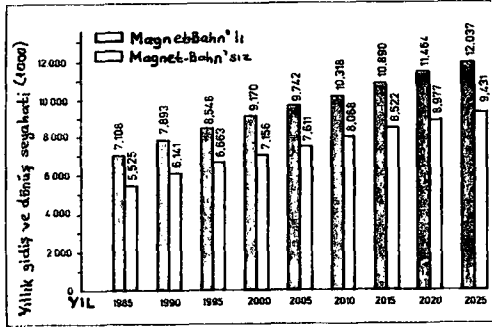
Trafik sistemindeki düzenleme temel olarak bireysel trafik üzerinde etkili olacaktır. Bireysel trafik hacminin üçte biri miknatıslı demiryolu sisteminin gerçekleştirilmesi ile boşalacaktır. Yani böylece bireysel trafik hacminde 1/3'lük bir azalma meydana gelecektir ve sonuç olarak bu hatta daha önceden planlanan otobanın genişletilmesine ilişkin projedeki yüksek yatırım masraflarından da büyük oranda tasarruf edilmiş olunacaktır.

Trafik hacminin seyahat zamanı dikkate alınarakta hassasiyeti araştırılmıştır. Las Vegas - Los Angeles hattında 185 mph (295 km/h) maksimum hıza sahip ikinci bir TGV jenerasyonunun kullanılması sonucunda, bu projenin sadece miknatıslı - demiryolu - trafik hacminin % 85'ine ulaşabileceği görülmüştür.

Potansiyel trafik pazarı yeni geliştirilen bir miknatıslı - demiryolu sistemi için 2000 yılında yıllık 4.5 milyonluk yolcu adedini alt sınır olarak belirlemektedir. Birbirinden bağımsız olarak çalışan iki enstitünün çalışmanın birinci ve ikinci sürecinde yaptığı hacim tahminleri de yukarıdaki ile hemen hemen aynıdır.

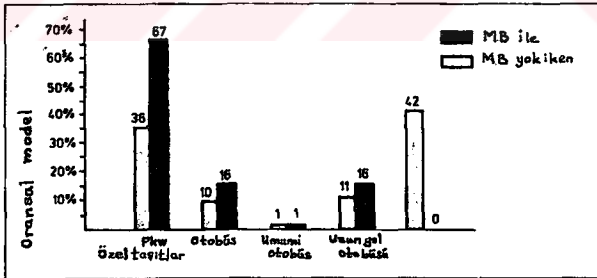
Şekil: 17, 1985 yılı itibariyle dağılımı miknatıslı demiryolu taşıtları ile ve onlar olmaksızın göstermektedir. Şekilden çıkarılan sonuç miknatıslı demiryolu sistemine geçiş ve böylece bireysel ulaşım ve hava yolu trafiğindeki rahatlamadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında trafik hacminin zamansal dağılımı da elde edilmiştir. Trafiğin en kalabalık olduğu saatlerde de sistemin efektif şekilde hizmet verebilmesi için,



Şekil: 16 - Las Vegas - Los Angeles arasındaki yıllık trafik hacmi.

teknik ve ekonomik bakımdan uygun çözümleri sağlayacak biçimde şekillendirilmesi gereklidir. Burada özellikle uzun statorlu-lineer tahrik sisteminin teknik imkanları gözönüne alındığında taşıt yolunun tek izli veya çift izli (tek yön, tek hat veya çift hat) olarak projelendirilmesi sorusu çok önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil: 17 - Las Vegas - Los Angeles Koridorundaki Oransal Model Ayırımı (1985 yılında)

Las Vegas - Los Angeles hattını birleştiren yolun ilk yapı aşamasında tek hatlı olarak gerçekleştirilmesine karar kılındı. Bu tek hatlı yol karşıdan gelen trafik için birtakım karşılaşma hatlarına sahip olarak düşünüldü. (Yani iki yönden tek hat üzerinde gelen taşıtlar çift hatlı olan bu karşılaşma hatlarında aksi istikamette birbirlerini geçecekler ve daha sonra yine tek hatta geçerek yollarına devam edecekler). Bu şekilde bir projelendirme tabii ki, yatırım masraflarının çok büyük miktarda azalmasını sağlayacaktır.

Çalışmanın ikinci aşamasında 12 bölüm içeren trenler dikkate alınmış ve incelenmiştir. Bu bölüm sayısına kadar özel tahrik ölçülendirilmelerinin yapılması mümkündür. Bölüm sayıları gözönünde tutularak yapılan tüm tren konfigürasyonlarında elde edilen ortalama hızlar hemen hemen 340 km/h değerindedir. Elde edilen en kısa seyahat süresi ise 1 saat 10 dakika kadardır. Uzun-statorlu-lineer tahrik uygun bir ölçülendirme sonucu uzunluk olarak birbirinden çok farklı trenlerin arzu edilen maksimum hıza ulaşabileceğini ve bu hızlarda istenilen ivmelenmenin gerçekleşebileceğini göstermektedir.

Cevre açısından konuya bakış

Mıknatıslı demiryolu sisteminin yapı ve işletme şartları açısından çalıştığı hat boyunca çevreye karşı oluşturacağı negatif etkiler çok disiplinli ve çok yönlü bir şekilde çeşitli çalışma grupları tarafından araştırılmıştır. Analitik çalışmaların yanı sıra, Victoria, Barstow, Ontario gibi yerleşim merkezlerinin (bunlar hat üzerindeki çeşitli yerleşim merkezleridir) belediyelerinde katılması ile sistemin yöresel bakımdan da değerlendirilmesini amaçlayan çalışmalar yapılmıştır.

Çalışma sonuçları sistemin yapı ve işletme bakımından çevreye karşı hiçbir negatif etkisi olmayacağını göstermiştir. Bunun yanında çevreyi koruma şartlarının sağlanması amacıyla sistem donanımında hiçbir değişikliğin gerekmediği ve aynı zamanda masraflar açısından da uygunluğun sağlandığı da tespit edilmiştir.

Olaya çevrecilerin gözü ile bakıldığında çok yüksek hızlı tren sistemleri avantaj sağlayan sistemler olarak gözükmektedir. Çünkü Güney California'lılar hava trafiğinin ve bireysel trafiğin hacim olarak azaltılması olayını bir an önce ve ivedi olarak çözümlenmesi gereken bir olay olarak görmektedir. Aşırı trafik yükü nedeniyle ("Southern California Association of Governments") bireysel trafiğin ve havayolu trafiğinin hemen azaltılması politikası uygulanmaktadır. Uzaklığın 400 milden az olduğu bölgelerde bu politika uygulanmaya çalışılmaktadır. Güney California bölgesindeki halihazırdaki havaalanları kapasitelerini tamamıyla doldurmuş durumdadır ve beşinci bir hava alanının inşası için gerekli planlama çalışmalarına şimdiden başlamıştır.

Özellikle Las Vegas şehri bireysel trafik hacminin azaltılması olayına çok önem vermektedir ve bu konuya çok ciddi bir biçimde eğilmektedir. Las Vegas caddelerindeki yoğun bireysel trafik ulaşımının gerçekleştiği yol ağını aşırı derecede yüklemekte ve bu da ciddi büyüklükte ve tehdit edici bir hava kirliliğine yol açmaktadır. Özetle bu çalışmada çevreye bakış açısı bakımından aşağıdaki olaylar tespit edilmiştir.

* Gelecekteki trafik hacminin uygun bir şekilde

karşılanabilmesinde çok yüksek hızlı tren sistemi diğer alternatif sistemlerle karşılaştırıldığında birçok avantajı ile üstünlük sağlamaktadır.

- * Çevreyi koruma ve çevre faktörleri açısından sistemin gerçekleştirilmemesine hiçbir sebep yoktur. Sistem çevre faktörleri açısından emniyetlidir.
- * 30 ila 40 arasındaki üst makam (mahalli idareler, hükümet) yapı ve işletme açısından olayı uygun bulmaktadır.

Sosyo-Ekonomik etkiler

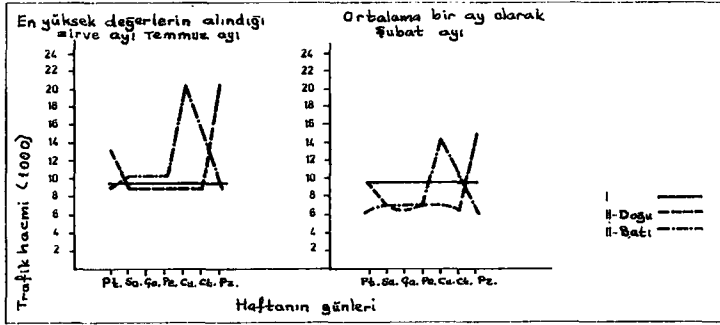
Projenin gerçekleşmesi ile bu hattaki kısa vadeli iş gücü avantajı % 80 oranında Güney California ekonomik bölgesinde yer alacaktır. Bunun sebebi hattın büyük bir bölümünün California bölgesinde yer almasıdır. Kısa vadede 10.000 kişilik bir işgücü için çalışma imkanı sağlanmış olacaktır.

Projenin getireceği uzun vadeli avantajlar ise oran olarak % 80 dolayında Las Vegas'ı etkileyecektir. Bunun sebebi yükselen yolcu sayısı dolayısıyla ek gelir sağlanacaktır.

Mıknatıslı demiryolu projesinin gerçekleştirilmesindeki diğer bir avantaj, bu hattın, California'daki çok hızlı-mıknatıslı tren ağının gerçekleştirilmesinde bir başlangıç olarak görülmesidir. Özellikle San Francisco ve San Diego gibi yerleşim merkezlerindeki bireysel trafik ve hava yolu trafiğinin azaltılması amacıyla, projenin bu iki yerleşim birimine ulaşacak şekilde devam ettirilmesi her bakımdan arzu edilen bir olaydır.

Finanse edilme/Organizasyon

Çalışmanın sonuç raporunda Las Vegas - Los Angeles hattındaki mıknatıslı demiryolu sisteminin sadece uygun işletme giderleri, periyodik bakım ve genel olarak onarım ve genel bakım giderleri açısından rantabl bir sistem olmadığı açıkça belirtilmişti.



Şekil: 18 - Las Vegas - Los Angeles hattındaki günlük trafik hacmi. (Gidilen ve gelinen, kullanılan yönler dikkate alınarak)

Projenin finanse edilmesindeki önemli faktörler şunlardır:

* Federal Highway Administration'nun California ve Nevada eyaletlerindeki eyaletlerarası üst yol için müknaatıslı -demiryolu sistemi ile bir fayda elde edilmesi yolunda verdiği karar. Bu her iki eyaletinde projeyi desteklemesi gerektiğini ve Federal Highway Administration'a karşı verilecek tavsiyelerin beyanını ortaya koymaktadır.

* "California Highspeed Rail Passenger Band Authority"yi özel kapital temininde devreye sokmak ve aynı düzeyde bir çalışmayı Nevada'da da gerçekleştirmek.

Toplam finanse edilebilme ve finans çalışmaları üç aşamalı olarak yapılmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- 1) Projeyi yapım aşamasında özel bir konsorsiyum finanse edecektir.
- 2) Sistemin başarılı bir şekilde servise konulması sonucunda ön finansın vergiden muaf ve faiz getiren evrakların

satılması ile karşılanması.

- 3) Beklenen trafik hacminin ve buna bağlı olarak gelirin gerçekleşmesi ile belirlenen bir işletme zamanından sonra finansın kendi kapitali üzerinde hisse senetlerinin satışa çıkarılması ile gerçekleştirilmesi.

Sistemin teknolojik değerlendirilmesi

Dört değişik ulaşım sistemi "Canadian Institute of Guided Ground Transport" (CIGGT) enstitüsü tarafından ciddi bir çalışma ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak bunlardan ikisi kısa zamanda faaliyete geçebilecek kapasitede bulunmuştur. Birincisi Alman Transrapid sistemi, diğeri ise Fransızların TGV-Atlantique sisteminin ikinci jenerasyonudur. Bu iki sistem muntazam işletmeli bir faaliyet için 1995 yılına kadar rekabet halinde bulunmaktadır.

Geriye kalan diğeri iki sistem Japon JNR mıknatıslı demiryolu sistemi ve yine kısa statorlu Japon HSST mıknatıslı demiryolu sistemi CIGGT'nin kararı ile kullanıma geçmeleri için en azından 5 sene geride oldukları tahmin edildi.

Şu an hazırda olan değişik ulaşım sistemlerinin araştırılması ve değerlendirilmesi bir özelliğin temeline bağlı olarak gelişmektedir. Bu özellik Las Vegas - Los Angeles arasının belirlenen yerlerde durma ve tekrar hareket etme işlemleri de gözönüne alındığında 75 dakikalık bir seyahat süresinde tamamlanmasıdır. Fransızların TGV - Atlantique'sinin ikinci jenerasyonu ile karşılaştırıldığında Alman Transrapid'in 1989'a dek kullanıma hazır ve 1990'lı yılların ortalarında da somut olarak kullanıma başlaması amacıyla daha bir çok test programından geçmesi gerekmektedir.

Yatırım masrafları

Transrapid mıknatıslı demiryolu için gereken harcamalar aşağıdaki gibi elde edilmiştir. (milyon ABD Doları)

Stasyoner (sabit) tesisler	1606
Taşıt donanımı	286
Plan ve proje işletme ve idaresi	(% 12) 209
Önceden belli olmayan masrafların ilavesi	(% 20) 435
TOPLAM	2536

Stasyoner tesisler için verilen harcamalar 153 km uzunluğundaki paralel hattı ve bu hat için gerekli olan makas vs gibi elemanların maliyetini de kapsamaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasındaki sonuç raporda Fransızların TGV sistemi için gerekli yatırım masrafları aşağıdaki gibidir. (Milyon Amerikan doları).

Stasyoner (sabit) tesisler	1421
Taşıt Donanımı	218
Plan ve Proje İşletme ve İdaresi	(% 12) 185
Önceden belli olmayan masrafların ilavesi	(% 20) 215
TOPLAM	2039

Proje planlaması

Las Vegas - Güney California arasında gerçekleştirilecek bir hızlı ulaşım sisteminin hazırlığının ve inşasının yapılması, bu projede birçok politik üst makamın yer alması gerektiğinden komplike bir iştir.

Gerçekleştirilecek ana hat iki Amerikan eyaletinden geçmektedir. Bu hattın uç istasyonu Nevada eyaletinde Las Vegas şehrinde ve Clark Country de bu hatta dahildir. Ana hattın California eyaletindeki uç istasyonu ise Ontario şehrinin çok yakınında bir yerdedir. Bu bölümdeki hat ise tamamıyla San Bernardino şehrini içine almakta ve bunun yanında Victor Ville, Barstow ve Baker şehirlerinden geçmektedir. Şu anda oluşan görüşlerden biride sistemin Anaheim'a kadar uzatılmasına iliskindir. Sistemin Anaheim'a dek uzatılması sonucu hat Orange Country'de içine alan bir hat olacaktır.

Planlama hat otobanları, karayolları, demiryollarını ve yüksek gerilim hatlarını izleyen bir hattır. Bunun dışında hat olarak hizmet olarak birleşik eyaletlerden, şehirlerden ve daha küçük yerleşim birimlerinden de geçmektedir.

Las Vegas ve Güney California arasındaki hızlı ulaşım sisteminin araştırma ve inceleme çalışmaları bugüne dek daha çok Las Vegas şehri tarafından daha ağırlıklı bir şekilde yürütülmüştür. Bu şehir, proje hakkındaki tüm karmaşık politik görüşleri her zaman gözönünde tutmuştur. Bu amaçla Las Vegas belediye başkanı tüm resmi makamları ve diğer grupları her seviyede proje hakkında bilgilendirmiş ve haberdar etmiştir. Bununla birlikte Güney California'lı temsilcilerin her an proje çalışmalarına katılmalarıda sağlanmıştır.

Projenin daha ileri seviyelere ulaşması için, birinci çalışma aşamasının sonundaki gerek California, gerekse Nevada eyaletlerinin ve hattın içine aldığı diğer şehirlerin ve Las Vegas şehrinin proje çalışmalarına katılımlarını ve katkılarını içeren bir sonuç rapor sunulmuştur. Çalışmaların ikinci aşamasının sonunda hızlı tren sisteminin geliştirilmesi için çalışan çalışma grupları her iki eyaletin komisyonlarının teşkil

ettiği somut bir ortak komitenin kurulması gerektiğini ortaya koymuştur. Fakat iki eyaletin birleşik olarak kurulmasına ilişkin bu komisyon için Nevada Senatosundaki 406 nolu kanun hükmü ve California Parlamentosundaki 1839 nolu kanun hükmü ile iki eyalet arasında komisyon kurulması gerçekleşecektir.

California - Nevada arasındaki yüksek hızlı ulaşım sistemi için kurulan komisyon (iki eyaletin dahil olduğu komisyon) her eyaletten 8 tane olmak üzere 16 kişiden oluşmaktadır. Komisyonun yaptığı yasal anlaşmada, ortak yapılacak çalışmalar, yol hak ve kanunlarının tespit edilmesi ve belirlenmesi, yüksek hızlı ulaşım sisteminin inşa ve işletmesinde öncelikli yerlerin belirlenmesi yer almaktadır.

İki eyalet arasında kurulan komisyon aşağıdaki maddelerin gerçekleştirilmesi doğrultusunda karar almıştır. Bunlar;

- 1- İstasyonlar ve bununla ilgili olarak yatırım, teberru, kira, faydalanma masraflarının belirlenmesi ve temel hizmetlerden sağlanacak kar ve faydanın tespit edilmesi.
- 2- Hattın ve öncelikli yerlerin seçimi için yapı ve inşa tekniği ve diğer çalışmaların birbirini tamamlayan hisselerle birlikte gerçekleştirilmesi. Bunun yanında projenin sosyo-ekonomik çevreye ve çevre üzerindeki etkilerinin, finanse edilebilme durumunun bir birlik ve bareberlik ile araştırılması.
- 3- Alternatif hızlı tren teknolojilerine, sistemlerine ve işletmeleri üzerine karar vermek ve Las Vegas - Güney California arasında hızlı trenin inşa edilmesi ve işletilmesi için gerekli makâmın seçimi.
- 4- Devir - Teslim, Teberru - Bağış, sahip ve gerçekte kime ait olduğu, tahsis gibi hukuki meselelerin Nevada veya onun politik alt makamları, birleşik hükümetler, yabancı

hükümetler ve diğer özel kaynaklar tarafından kabul edilmesi ve anlaşma sağlanması. Bu durumda hem California Birleşik Eyaletine hem de onun politik makamlarına birtakım masraflar yüklenebilir.

- 5- Finans kaynaklarının kiralanması, bu yapılırken yükün bir bütün olarak birleşik eyaletlerden California veya Nevada'ya yüklenmesi ve diğer taraftan bu her iki eyaletin politik makamlarından birine de gidilmemesi.
- 6- Komisyonun gerekli gördüğü ve onayladığı bir genel müdürün, onun yanındaki personelin ve danışmanın görevlendirilmesi.
- 7- Uç istasyonların yerlerinin ve yol hattının kesin bir şekilde tespit edilmesi.
- 8- Tüm gerekli gizli belgelerin ve vesikaların California ve Nevada'daki hükümet makamları tarafından elde edilmesi.
- 9- Gerekli kapital topluluğunun kurulması.

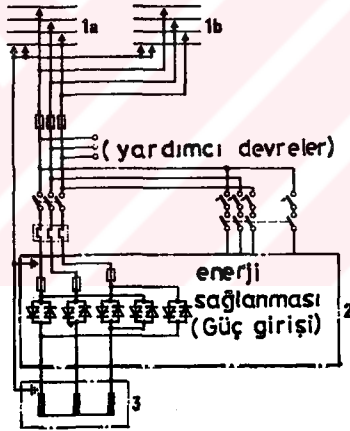
Zaman planlaması

Hattın planlama ve yapı çalışmaları için 5 yıllık bir süre tahmin edilmektedir. Böylece hattın 1995 yılında çalışmaya geçeceği beklenmektedir.

ÖRNEK: 3 - H-BAHN

Siemens'in H-BAHN sistemi (asılı sistem)

Aşağıdaki şekilde sisteme ait tahrik kumanda devresi görülmektedir. Primer gerilimi üç fazlı alternatif akım kıyıcı devresiyle ayarlanır. Kıyıcı devresi her faza ait ters paralel bağlı iki tristör ile gerçekleştirilir. Frenleme içinde aynı şekilde iki tristör grubu vardır ve bunlar faz yerlerini değiştirerek dinamik frenlemeyi temin ederler. Taşıtın kullanımı esnasında oluşan reaktif gücü karşılamak amacıyla istasyonlarda kompensatör merkezleri kurulmuştur. Lineer motorlu fabriklerde tekerlekler üzerindeki çekici güç zorlanması ortadan kalktığından, aşınma olayı da minimuma indirilmiş olur.



Şekil: 19 - Lineer Motorun Statik Kumanda Devresi

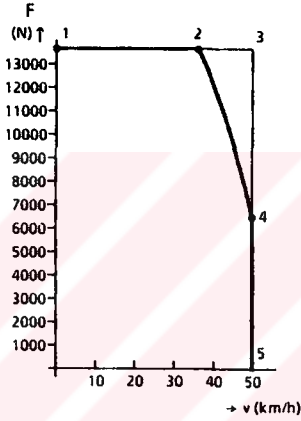
1 a,b Akım rayları

2 Yön değiştiricili cer motoru için kıyıcı, ters akım frenlemeli cer motoru için kıyıcı Doğru akım frenlemeli cer motoru için kıyıcı

3 Lineer asenkron motor

Lineer motorun tahrik dalgası tepesinin kırılması ile, belli şartlarda senkron hızda bile net bir itme oluşur. Bu dalga türü, sürekli bir spektruma sahip olduğundan daha hızlı bir dalganın oluşumuna sebep olur.

Sisteme ait itme kuvveti hız diyagramı aşağıdaki gibidir.

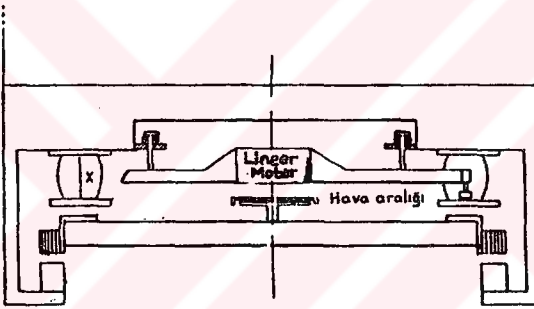


Şekil: 20 - Lineer Tahrikli Sisteme Ait Karakteristik (2 motor)

ÖRNEK: 4 - MAGLEV TRENİ**Birmingham MAGLEV transit link'i**

Birmingham havalimanı ile Birmingham milletlerarası demiryolu istasyonu arasındaki çalışmalar sonucu gerçekleştirilen bu sistem 1984 yılından bu yana kullanılmaktadır.

Kısa primerli tek yanlı lineer motor ile tahrik edilen sistem için 600 V'luk DC güç rayları ve akım kollektörleri kullanılmıştır.



Şekil: 21 - Birmingham Maglev'i için motor ve mıknatısların görünüşü.

Taşıtın toplam ağırlığı 8 ton'dur. 620 m'lik hattı 90 s'lik bir seyahat süresinde alabilmek için 4 kN'luk sabit bir itme kuvveti gerektiği tespit edilmiştir. Lineer motorun primeri ile reaksiyon rayı arasında güvenlik sınırına bağlı olarak nominal

20 mm'lik bir hava aralığı gereklidir. Bu elde edilen net lineer motor aralığının 20 mm $\pm$ 15 mm olması demektir. Hava aralığının bu sınırlar içinde kalmasını sağlamak güç bir başarı olmuştur.

Birmingham Maglevinde kullanılan lineer motora ait değerler:

Çekirdek genişliği	202 mm
Çekirdek uzunluğu	1853 mm
Çekirdek kalınlığı	90 mm
Kutup sayısı	7
Kutup adımı	240 mm
Bir kutba ait oluk sayısı	12
Motor ağırlığı	440 kg
Güç değerleri:	
Maksimum akım	850 A
Maksimum anahtarlama frekansı	540 Hz
Nominal kaynak gerilimi	600 V
Sürekli çıkış gücü	~ 240 kVA
Sürekli çıkış akımı	~ 335 A
Soğutma şekli	doğal havalandırma

ÖRNEK: 5 - MAGLEV TRENİ**HSST 03 Japonya**

Japon havayolları ile Sumitoma elektrik endüstrisinin birlikte çalışmaları sonucu ortaya çıkan bu maglev taşıtı 16 ton ağırlıklı 48 yolcu kapasitelidir.

Sistemin tahrik kuvveti, güç rayları ve akım kollektörleri tarafından beslenen altı adet kısa primer ve tek yanlı lineer asenkron motorlar tarafından sağlanır. Her bir motor 13 mm'lik hava aralığında, 1.8 kN'luk bir itme kuvveti oluşturur. Lineer motorlar 18 kutuplu, 150 mm kutup adımlı 3 faz sargılı olarak yapılmıştır. Reaksiyon rayı ise, 25 mm X 220 mm çelik, sırt levhası üzerine monte edilen 5 mm kalınlığında alüminyum levhadan oluşmaktadır. Sırt çelik levhası aynı zamanda, kaldırma mıknatısları için de reaksiyon rayı görevini görür.

Tahrik sistemine ait veriler:

Primer:

Toplam uzunluk	2831 mm
Çekirdek genişliği	220 mm
Toplam genişlik	490 mm
Çekirdek kalınlığı	33 mm
Kutup sayısı	18
Kutup adımı	150 mm

Reaksiyon rayı

Hava aralığı	13 mm
Alüminyum kalınlık	5 mm
Arka demir kalınlığı	25 mm

Süspansiyon

4 elektromıknatıs, temassız	11 mm
Motor ve mıknatıs ağırlığı	7990 kg
Taşıt gövde ağırlığı	16 t
Toplam max. güç	380 kVA
Frekans	5-100 Hz

Güç raylarının iki seti, akım kollektörleri aracılığı ile taşıtı besler. Bir set havalandırma gücü için 215 Volt'luk bir doğru gerilim sağlarken, diğeri 3 fazlı bir değişken frekans dönüştürücü ile lineer asenkron motoru besler. Bu besleme, taşıttaki dönüştürücüleri kaldırarak hafiflemesine neden olur. Dönüştürücüleri kontrol eden sinyaller, endüksiyonlu bir radyo sistemi aracılığı ile geriye iletilir. Çıkış frekansı, taşıt hız frekansına tahmin edilen bir kayma frekansının ilave edilmesi ile bulunur.

ÖRNEK: 6 - MAGLEV TRENİ**MLU 001 Japonya**

Japon milli demiryolları taşıt üzerinde süper iletken kutuplara sahip, lineer asenkron motor aktif hatlı yüksek hız Maglev trenini geliştirmeye çalışmaktadır. Havalandırma, elektrodinamik prensipli hat üzerindeki bir grup kısa devre bobiniyle, reaksiyona giren süper iletken mıknatıslar tarafından hızdan bağımsız temin edilir. Bu bobinlerde oluşan akımlar, taşıt üzerindeki kaldırma mıknatıslarını iterler.

Miyasaki'deki deney hattı birkaç yıldır faaliyettedir. 13.5 mil uzunluğundaki sistem 10 tonluk bir deney taşıtı, $\perp$ şekilli ray yolunda (ML 500), 517 km/h'lik bir hıza erişecek şekilde 1979 yılında gerçekleştirilmiştir.

ÖRNEK: 7 - MAGLEV TRENİ**Kanada'daki Elektrodinamik Maglev**

Kanada Maglev'i Toronto - Montreal arası 590 km'lik trafik sahası için, havâ nüveli senkron motor tahrikli elektrodinamik havalandırmalı ve yönlendirmeli bir taşıt olarak dizayn edilmiştir. Japon JNR'ından farklı şekilde yapılan bu trende yaygın çapraz sargı kullanımıyla hat yoğunluğunu azaltmak amacıyla taşıt yolu yükseltilmiş ve üstü düzlenmiştir. Lineer senkron motor primer sargısı, hat yolunun dikey yüzeylerine yerleştirilmiş, değişen bir frekans dönüştürücünden beslenmektedir.

Hattın her iki yanındaki sargılar, yan hava aralıklarını eşitlemek üzere, dolaşan akım ve kuvvetleri üreten bu

sargılardaki dengesiz e.m.k'i netice veren herhangi bir taşıt asimetrisini önlemek amacıyla çapraz eşlenmiştir. Bu kendine ait kararlılık metodu genellikle olumsuz akı yolu olarak görülür. Taşıt kaldırma düzenide her bir vagon için altı adet süper iletken mıknatıs grubundan oluşur ve 150 mm'lik aralıklarda çalışabilir. Havalandırma mıknatısları hat yolunun her birindeki iki yatay alüminyumda akımlar endükler ve bu 50 km/h'in üzerindeki hızlarda taşıtı destekler. Hat yolu üç fazlı tahrik sargıları, yaklaşık 5 km'lik bölümlere ayrılmıştır.

Kanada süper iletken Maglev'ine ait değerler:

Toplam ağırlık	59.2 t
Maksimum hız	450 km/h
Ray açıklığı	150 mm
Ray yolu kesiti	2.8 X 1.7

Lineer senkron motora ait değerler

Mıknatıs gücü	500 k/At
Kutup adımı	1.1 m
İtme kuvveti	61.7 kN
Bölge uzunluğu	5 km
Verim	% 75
Güç faktörü	0.9

Lineer motorlar üzerinde yapılan araştırma ve testler sonucu, yeterli tahrik ve normal kuvvet temini ile taşıt dinamiği ve kararlılığı sağlanmış ve elde edilen seyahat kalitesi

sayesinde yeni ulaşım sistemlerinin temeli atılmıştır. Testlerin başarılı sonuçlar vermesi, lineer motorların bu sahadaki yerini sağlamlaştırmıştır. Büyük kütlelere sahip yolcu taşıtları, 375 km/h'lik hız sınırına kadar güvenle taşınabilmektedir. Bununla birlikte, özellikle 400 km/h'in üzerindeki hızlarda taşıt dinamiği üzerinde daha fazla araştırmalara gerek duyulmaktadır.



BÖLÜM 6

6. ANAHTARLI RELÜKTANS MOTORU

6.1. GİRİŞ

Anahtarlı relüktans motorları bazı özellikleri nedeniyle asenkron motorlara benzediğinden günümüzde elektrikli ulaşım sistemlerinde yeni bir tahrik seçeneği olmuştur. Asenkron motor kadar sağlam ve yapı olarak basit bir motordur. Bu motorun diğer elektrik motorlarından farklı olmasını sağlayan stator sargılarının basit oluşu ve endüisinin sargısız olarak imal edilmesidir. Anahtarlı relüktans motorlarına kısaca "ARM" ya da "SRM" denilmektedir. 1972 yılından bu yana yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkartılan bu motor doğru ve alternatif akım tahrik sistemlerine oranla, bundan sonraki senelerde daha çok tercih edilecek bir motordur.

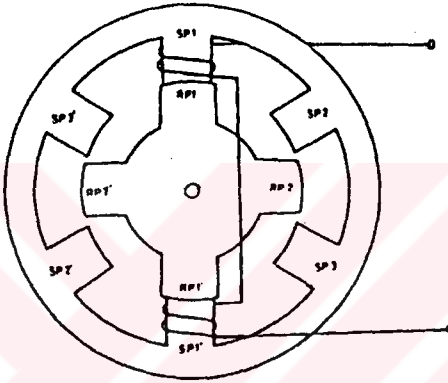
6.2. ÇALIŞMA PRENSİBİ

Anahtarlı relüktans motoru yapı olarak adım motoruna benzetilmektedir. Bu motorlarda stator ve rotor kutup sayısı diğer elektrik motorlarında olduğu gibi birbirine eşit değildir. Stator ve rotor kutupları adım motorlarındaki gibi çift taraflı çıkık kutupludur. Rotor üzerinde herhangi bir sargı bulunmaz.

Stator ve rotor kutuplarının eşit sayıda yapılmamasının nedeni, stator kutupları belirli bir sıra ile enerjilendirildiğinde, rotorun sürekli olarak dönmesi sağlanmış olur.

Bu özellik anahtarlı relüktans motorunu diğer motor tiplerinden ayıran bir avantajdır.

Birbirleri ile karşı karşıya gelen stator kutuplarının sargıları seri olarak bağlanmışlardır (Şekil: 6.1).



Şekil: 6.1. - 3 Fazlı bir A.R.M'nun kesiti
ve bir fazına ait sargılar

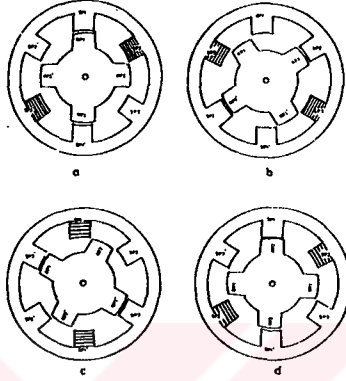
Anahtarlı relüktans motorunun statoruna bir gerilim uygulandığında motorun rotorunda bir moment oluşur. Stator ve rotor kutupları aynı eksen üzerine gelipte birbirleri ile çakıştıklarında endüktans maksimum olacağından moment sıfır olacaktır. Momentin sürekli olarak üretilebilmesi, uyarma sargılarının sırayla uyarılması ile mümkündür. Faz akımının yönü momentin yönünden bağımsızdır. Rotorda sürekli bir dönüş elde edebilmek için stator sargıları rotorun dönüş yönüne ters yönde sıralı ilettime girmelidir.

Çalışma prensibi olarak motorun magnetik devresinde, hareketli parçanın devrenin relüktansını en aza indirecek bir konum almak üzere bir kuvvet üreteceği esas alınmıştır.

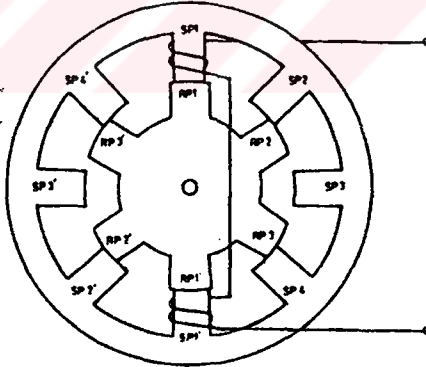
Şekil: 6.1.'de inceleme yapılacak olursa fazlardan birini oluşturan SP1 ve SP1' kutuplarına gerilim uygulandığında, rotorun şekilde gösterilen konumda kalacağı anlaşılır. Eğer statorun SP2 ve SP2' kutuplarına gerilim uygulanacak olursa, rotorun minimum relüktans konumu almak üzere, saat yönünün tersine, SP3 ve SP3' kutuplarına gerilim uygulandığında da saat ibresi yönünde bir dönüş elde edilmiş olacaktır. Saat ibresinin tersine bir dönüş elde edebilmek için 2. faza bir gerilim uygulayalım. Rotor, stator ve rotor adımları arasındaki fark kadar 30° hareket edecektir. Aynı yönde dönüşü sürdürmek için 3.faz uyarıldığında ise saat yönünün tersine 30° 'lik bir hareket daha oluşacaktır. Statorun her yeni fazı uyarıldığında, rotorun hareket etmesiyle oluşan mesafeye adım açısı α denir. 3 fazda uyarıldıktan sonra rotorun hareketinin devam etmesi isteniyorsa yukarıdaki işlemler (1. faza gerilim uygulanması) yeniden tekrarlanmalıdır.

Anahtarlı relüktans motorlarında faz sayısı stator kutuplarının sayısına bağlıdır. Örneğin; tek kutup sayısı $2p = 6$ ise, çift kutup sayısı $p = 3$ olur ve buna bağlı olarak faz sayısı $m = 3$ 'dür.

Dört fazlı anahtarlı relüktans motorunda ise stator üzerinde sekiz adet çıkık kutup, rotor üzerinde ise altı adet çıkık kutup bulunmaktadır. Üç fazlı anahtarlı relüktans motoru ile dört fazlı



Şekil: 6.2. - Rotorun saat yönü tersine hareketi.
motor arasında çalışma şekli bakımından hiç bir fark yoktur. Aynı
şekilde statorun N ve S kutuplarındaki sargılar birbirleriyle
seri olarak bağlanmıştır (Şekil: 6.3).



Şekil: 6.3. - Dört fazlı anahtarlı relüktans motorunun
bir fazına ait sargıları.

Anahtarlı relüktans motorunun adım açısı α aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\alpha = \frac{360^\circ}{m \cdot N_r} \quad (6.1)$$

m () faz sayısı

N_r () Rotor tek kutup sayısı.

(6.1) eşitliğinden dört fazlı bir relüktans motorunun adım açısı $\alpha=15^\circ$ olduğu kolayca bulunabilir.

Anahtarlı relüktans motorunun bir fazının endüktansı,

$$L = \frac{N^2}{R} \quad [H] \quad (6.2)$$

N () Bir fazdaki sarım sayısı

R (Ω) Motorun relüktansı'dır.

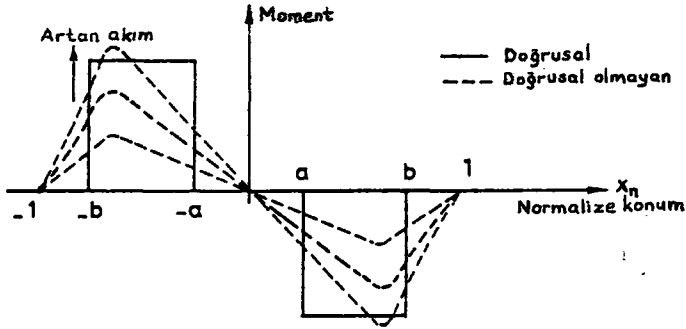
Anahtarlı relüktans motoruna ait moment ifadesi; {12}

$$M = \frac{1}{2} \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\theta} \quad [Nm] \quad (6.3)$$

I (A) Akım

L (H) Bir fazın endüktansı

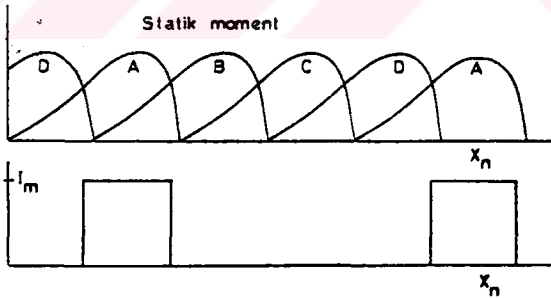
Pratikte kaçak akı ve doyumun etkisiyle moment eğrisi Şekil: 6.4'te görüldüğü gibi kesikli çizgiyle belirtilen eğriye benzer. Momentin büyüklüğü akımla artmaktadır.



Şekil: 6.4 - Anahtarlı relüktans motorunun statik moment eğrileri.

Endüstride bazı durumlarda motorun sabit bir moment üretmesi istenir. Bu durumda elde edilmesi istenen karakteristiğin faz geriliminin bir kıyıcı ile kontrol edilmesi ve gerilim/hız oranının sabit tutulması yeterlidir.

Anahtarlı relüktans motorunda kalkış esnasında fazlar düşük bir frekansta uyarılırsa, akımın dalga şekli kareye yakın bir hal alır.



Şekil: 6.5. - Dört fazlı ARM'u için statik moment eğrileri ve bir faza ait kalkış akımı dalga şekli.

Anahtarlı relüktans motorlarında verim diğer motor tiplerinde olduğu gibidir. Özellikle elektrikli ulaşım sistemlerinde kullanılacak bir motorun veriminin yüksek olması gerekmektedir.

Verim motora giren elektriksel güç P ile çıkış gücü P_{mil} in birbirine oranına eşittir.

$$\eta = \frac{P_{mil}}{P} = \frac{P_{mil}}{P_{mil} + \text{Kayıplar}} \quad (6.4)$$

Verimin (6.4) eşitliğinden bulunabilmesi için motor kayıplarının hesaplanması gerekir. Kayıplar iki ana bileşenden oluşmaktadır.

Bunlar;

Kayıplar = Bakır kaybı P_{Cu} + Demir kaybı P_{Fe}

şeklindedir.

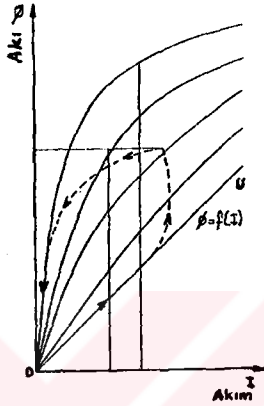
6.3. İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ

Anahtarlı relüktans motorunda akının akıma bağlı değişimi (mıknatıslanma eğrisi) Şekil: 6.6'da gösterildiği gibidir.

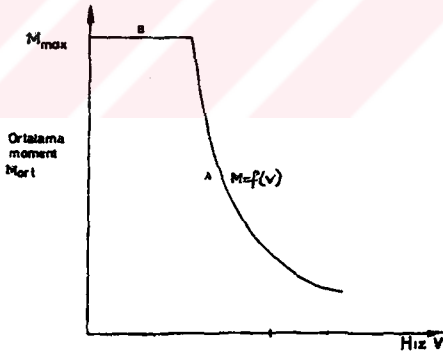
Şekil: 6.7'deki eğri motorun çalışabileceği bir bölgeyi tanımlamaktadır. Bu nedenle motor karakteristiği kontrol devresinin karşılayabileceği oranda esnektir ve çeşitli şekiller alabilir.

Bazı endüstriyel uygulamalarda motorun sabit bir moment üretmesi istenebilir. Bu sebepten karakteristiğin elde edilebilmesi için faz geriliminin bir kısıyıcı ile denetlenmesi ve gerilim/hız oranının sabit tutulması gerekmektedir. Bu işlem

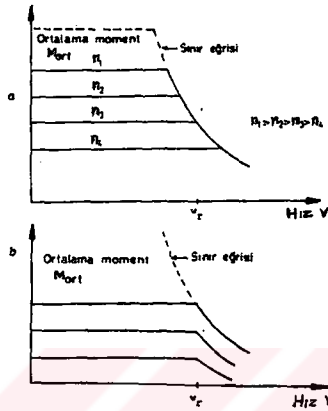
yapıldığı takdirde aşağıdaki şekilde çeşitli moment-hız karakteristikleri elde edilebilecektir.



Şekil: 6.6. - Anahtarlı relüktans motorunun mıknatıslanma eğrisi.



Şekil: 6.7. - Anahtarlı relüktans motorunda momentin hıza bağlı değişimi.



**Şekil: 6.8. – Gerilim/Hız oranı sabit
bir ARM için moment-hız eğrileri**

6.4. YOLVERME

Anahtarlı relüktans motorlarının yolalmadaki akımları güç elektronığı devreleri ile sınırlandırıldığından ayrıca bir yol verme işlemine gerek duyulmamaktadır. Çünkü motorun ilettime geçirildiği ilk anda akımın değeri oldukça küçüktür.

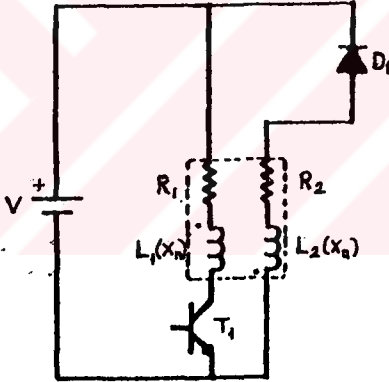
6.5. HIZ AYARI

Anahtarlı relüktans motorunun hızını ayarlayabilmek için yapısı oldukça basit sürücü devreler kullanılır. Sürücü devreler de motorun her fazı için bir anahtarlama elemanı kullanılmaktadır.

Anahtarlı relüktans motorları geri beslemeli çalıştı-
larından, faz akımı, hız ve yükün dışında, optimum momente de
bağlıdırlar.

Kullanılan kontrol devreleri ile motor sürekli kontrol
edilebilir. Rotordaki moment, stator fazlarını uygun adım açısı
ile uyartarak elde edileceğinden, güç elektroniği devreleri ile
bu işlem yerine getirilmiş olacaktır.

Motorun moment ve hız kontrolü için kullanılan kontrol
devreleri faz sayısına, sarım şekline, devrede kullanılan kontrol
elemanlarına ve besleme gerilimini de içine alan bir çok faktöre
bağlı olarak değişir. Evirici girişine doğru gerilimin sağlanması
için doğrultucu devresi koyulur.



Şekil: 6.9. - Anahtarlı relüktans motoru sürücü devresi.

6.6. FRENLEME

Anahtarlı relüktans motorlarında faydalı frenleme gerçekleştirilir.

Faydalı frenlemede elde edilen ortalama akım, doğru akım kaynağına geri gönderilir. Bu frenleme sürecinde enerji depolanmış magnetik enerjiden, kaynağa aktarılır. Uygulamalarda önemli bir avantaj sağlayan bu frenleme şekli, ek bir eviriciye gerek duyulmadan gerçekleştirilir.

6.7. UYGULAMA ALANLARI

Dört fazlı anahtarlı relüktans motorlarının özellikle akülü taşıtlar ve bazı endüstriyel uygulamalar için uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu motorlar ile yapılan değişken hızdaki tahrik sistemi, klasik motor tipleri ve asenkron motorlar ile yapılan sistemlere rakiptir. Anahtarlı relüktans motorları ile yapılan uygulamalar ve uygulanması düşünülenler; evlere ait beyaz eşyalar, iş makineleri tahriği, güç aletleri, otomotiv sanayiinde kullanılan bazı aksesuarlar ve çekme tahriğidir. Günümüzde uçak motor ve generatörleri için de düşünülmektedir.

Elektrikli ulaşım sistemlerinde henüz tam bir uygulama alanı bulunmadığından bu motorun kullanıldığı bir ulaşım sistemi örneği verilememiştir.

BÖLÜM 7

7. TAHRİK MOTORUNUN GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ

Demiryolu banliyölerinde kullanılan elektrikli taşıtlar, kısa zaman aralıkları içinde sürekli olarak tekrarlanan durup kalkmalar nedeniyle, tren ağırlık birimi başına nispeten daha yüksek bir özgül tahrik gücüne ihtiyaç gösterirler. Bu arada ortalama duraklararası mesafesi için geçerli olan yol uzunluğu ile durak aralarında ulaşılması gereken maksimum hız miktarında büyük önem taşır. Duraklar arasındaki yolalma ivmesi de diğer başka faktörlerin yanısıra, tesis edilecek olan tahrik gücüne oldukça etki eder.

Bir elektrikli taşıta monte edilecek motorun gücünün hesaplanmasında, bugüne kadar önceden verilen bir hareket programından yola çıkılarak ve kullanılan tahrik motorlarının verileri de gözönünde bulundurularak her kuvvetindeki, hızdaki ve kullanılan elektrik akımındaki zamana bağlı değişikliğin geliştirilmesi yöntemi kullanılıyordu. Bu yöntem ile ortalama akım değerinin karesi ile motor geriliminden motor gücünün hesaplanması mümkün olmaktadır. Fakat bu yöntem fazla zaman gerektirmektedir ama yine de ilk yaklaşık hesaplarda kullanılmaktadır.

Bu yöntemin uygulanması durumunda, hesapları motorların verilerine dayanarak yapma imkanımız yoksa, tahrik motorunu önemli verilere dayanarak kurup geliştirmek zorunluluğu vardır.

Bu yöntemin en önemli dezavantajı ise, hareket programı düzeni ile tahrik gücü arasında yapılacak hesaplamalar bile, tek

bir taşıt projesi için, ancak sınırlı bir gözlem imkanı verir.

Taşıt içine monte edilecek motorun gücünü direkt olarak etkileyen faktörler; maksimum hız V_{max} , seyahat hızı V_R , duraklararası mesafe L ve seyahat ivmesi b_R 'dir. Gücü etkileyen bu dört faktör arasında bir bağıntı vardır.

Motor gücünün istenilen şekilde bulunabilmesi için yukarıdaki faktörlerin yanısıra, gücü direkt etkileyen diğer faktörlerinde gözönüne alınması gerekir. Bunlar, seyr direnci, yol direnci ve dişli çevirme oranı gibi faktörlerdir.

Yakın mesafe ulaşım sistemlerinde, sabit hızla gitmenin motorun termik olarak aşırı ısınmasına neden olmasında motor gücünün seçiminde etkili olabilir. Seyr süresinin kısalığı nedeniyle ihmal edilebilir.

Isınmadan daha önemli olan bir neden de, yakın mesafe ulaşımında taşıtın sık sık yolaılmasıdır. Bu özellik gözönüne alınarak motor gücüne % 15 ilave öngörülür. % 15 ilave de dikkate alındığında maksimum hızın % 7'sinde cer motorlu yakın mesafe ulaşım taşıtlarında yerleştirilecek sürekli güç aşağıdaki bağıntıyla verilir. {17}

$$\frac{N_D}{G} = \frac{V_{max}}{27} \cdot \sqrt[4]{\frac{V_{max} \cdot V_R}{L} \cdot b_R} \quad [\text{kW/Mp}] \quad (7.1)$$

Burada;

G	(Mp)	Taşıt kütlesi
V_{max}	(km/h)	Maksimum hız
V_R	(km/h)	Seyahat hızı
L	(m)	Ortalama duraklararası mesafe
b_R	(m/s ²)	Seyahat ivmesi'dir.

güç hesabı yapılırken taşıtın seyahat esnasında aşırı yüklenme durumunda gözönünde bulundurulmalıdır. Aşırı yüklenme k faktörü ile belirlenir.

k faktörü;

$$k = \frac{I_A}{I_D} \quad (7.2)$$

ile tanımlanır. Burada;

I_A (A) Motorun yol alma akımı

I_D (A) Motor sürekli akımı'dır.

Kollektörlü motorlarda kollektörün ömrünün uzun olabilmesi için, I_A/I_D aşırı yüklenme derecesi, alternatif akım kollektörlü seri motorlarda 1.9 değerinin, doğru akım motorlarında ise 2.2 değerinin üstünde olmamalıdır. Bu oran verilen değerden büyük olursa motor sürekli akımı ve dolayısıyla motor gücü, istenilen oran elde edilecek şekilde küçültülürler.

Taşıtın gücü bulunurken 1.9 ve 2.2 değerlerinin üzerine çıkılırsa, güç değeri k faktörü ile çarpılmalıdır. Bu da taşıta yerleştirilecek motor gücü için gereklidir. Güç hesabında kolaylık oluşturması için taşıtların aşırı yüklenme derecelerini gösteren tablolar yapılır. Bu tablolarda çizilmiş olan $k=f(I_A/I_D)$ eğrilerinden, aşırı yüklenme derecelerine göre ulaşımda gerekli olan sürekli güç bulunur.

Motor gücünün belirlenmesine etki eden faktörleri dikkate almak gerekir.

Bunlar;

- * Seyr programı (yakın mesafe + uzak mesafe)
- * Taşıtın kütlesi
- * Taşıtın hızı ve ivmesi

- * Motor cinsi (kendinden havalandırmalı, dışarıdan havalandırmalı)
- * Ayar şekli (gerilim ayarlı, alan ayarlı)
- * Frenleme cinsi (elektriksel frenlemeli, faydalı frenlemeli, akımsız frenlemeli)

Tahrik motorunun gücünün hesaplanmasında kullanılan (7.1) formülündeki parametrelerin değiştirilerek güç hesabını irdelleyen program ve sonuç eğriler Ek'te sunulmuştur.

BÖLÜM 8

8. KARŞILAŞTIRMA VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

8.1. ELEKTRİKLİ ULAŞIM SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TAHRİK MOTORLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Elektrikli ulaşım sistemlerinde elektrikli tahrik motoru olarak bugüne kadar doğru akım seri motor, doğru akım serbest uyarmalı motor, bir fazlı kollektörlü seri motor, üç fazlı asenkron motor ve anahtarlı relüktans motoru kullanılmıştır. Bunlardan son üçünün kullanım alanları yenidir.

Doğru akım seri motor elektrikli ulaşım sistemlerinde ilk kullanılan motor tipidir. Klasik sistemlerin vazgeçilmez tahrik motorudur.

Devir sayısı moment karakteristiğinin sağladığı büyük avantajlar bu motoru elektrikli ulaşım sistemlerinde en aranan ve en kullanılan motor tipi yapmıştır. Bugün bu tip motorla dünya üzerinde milyar kilometrelere varan güzergahlar katedilmiştir. Bu büyük kullanım süreci, doğru akım seri motoru bazı dezavantajlarına rağmen deneyimlerin verdiği sonuçlar nedeniyle yine de en kullanılır motor tiplerinden biri yapmıştır.

Doğru akım serbest uyarmalı motor uzun yıllar pek kullanılmamıştır. Daha sonra güç elektronığının geliştirilmesi sonucunda ayrı bir güç kaynağından beslenen uyarma devresine daha etkin ve daha kolay etki edilebilmesi nedeniyle bazı kullanıcılarca tercih edilir olmuştur. Fakat deneyimler bu tip motorlarda komütasyon olayının kollektörlerde daha olumsuz sonuçlar

doğurduğunu göstermiştir. Sonuç olarak bu tip motorlar uyarma devresine kolay etki edebilme avantajı yanında daha çabuk yıpranma niteliği göstermektedirler.

Bir fazlı kollektörlü seri motor 1950'li yılların tercih edilen motoru olmuştur. Fakat endüksiyon elektromotor kuvvetinin besleme geriliminin frekansının bir fonksiyonu bulunması nedeniyle bu tip motorlarla donatılan elektrikli ulaşım sistemlerinin beslendiği seyr iletkenlerindeki gerilimin frekansının 50 Hz'den, $16 \frac{2}{3}$ Hz'e düşürülmesi zorunlu olmuştur. Daha sonra bu sakınca ortadan kalkmış ise de bu frekanslı gerilim üreten santrallerin varlığı nedeniyle sistem optimal düzeyde çalışmamaktadır.

Bugün artık yeni projelendirilen ve yapılan elektrikli ulaşım sistemlerinde bu tip motorlu tahrik düzeni kullanılmamaktadır. Fakat bu motorlu düzenleri içeren sistemler teknik ömürlerini tamamlayana kadar kullanılacaklardır.

Üç fazlı asenkron motorlar ise uzun yıllar yapısının basitliği ve ekonomikliği nedenleri ile kullanılmak istenmiş ise de seyr dinamiğinin gerektirdiği motor karakteristik eğrilerine optimum bir şekilde erişilemediğinden uzun süre kullanılmamıştır. Fakat özellikle 1970'lerden sonra güç elektronığının gelişmesi, büyük aşamalar göstermesi, bu motor tipinin karakteristik eğrilerinin elektrikle ulaşım seyr dinamiğinin istediği şekle sokulabilmesini sağlamıştır. Böylece yeni bir güç elektrikli üç fazlı asenkron motor tahrik sistemi doğmuştur. Bugün bu sistem, gerek ve özellikle yakın mesafe, gerekse uzak mesafe ulaşım sistemlerinde kullanılmaktadır. Bazı bilimsel ve teknik kişilerce bu motor tipi 2000'li yılların elektrikli ulaşım tahrik motoru olarak değerlendirilmektedir.

Lineer motor ise yüksek hızlı elektrikli ulaşım

sistemlerinde bu hızlara erişmek amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Saatte 500 km'lik hızlara ulaşması planlanan (örneğin; Transrapid gibi) konvansiyonel olmayan sistemlerde asenkron tipli lineer motor kullanılmaktadır. Bu motor yarının büyük hızlı elektrikli ulaşım sistemlerinin kaçınılmaz motor tipi olacaktır. İki bölümden (stator, rotor) oluşan bir elektrik motorunun bir bölümünün yol boyunca yerleştirilmiş bulunması taşıt kütlelerinin küçülmesine neden olmaktadır. Bu ise güç seçiminde önemli bir faktördür. Ayrıca süper iletken teknolojisinin daha büyük aşamalar göstermesi bu motorun geleceği için çok önemlidir.

Lineer senkron motor ise sürekli mıknatıslı motorların kullanımına bir örnektir. Kısa mesafeli yatay trafikte, diğer adıyla yatay asansörlerde kullanılan elektrikli ulaşım sistemlerinde bu motor cinsi tercih edilmektedir.

Anahtarlı relüktans motoru ise özellikle son yıllarda veriminin, maliyetinin ve tüm işletme karakteristiklerinin verdiği performansın yüksek oluşu nedeniyle elektrikli ulaşım sistemlerinin tahrik düzenlerinde tahrik motoru olarak düşünülmüş ve fakat bugün ancak 50 kW'lık güçlere kadar kullanılmıştır.

Sonuç olarak şunu söyleyebiliriz. Doğru akım seri motor özellikle bugün kıyıcı devreli düzenlerle yinede en vazgeçilmez motor tipidir.

Üç fazlı asenkron motor ise özellikle güç elektroniğindeki büyük gelişmeler nedeniyle tam istenildiği gibi kumanda edilebilen ekonomik yapıdaki bir motor tipi olduğundan bugünden çok yarının elektrikli ulaşım sistemlerinin tahrik motoru olacaktır.

Lineer asenkron ve senkron motorlarda kısaca belirtilen kullanım alanları nedeniyle 2000'li yılların tahrik sistemleri

olacaklardır.

8.2. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tahrik tekniği bakımından yaptığımız bir araştırma karşılaştırmasında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Doğru Akım Seri Motor - Önemli tahrik nitelikleri nedeniyle diğer tip motorlardan üstündür.

a) $n=f(M)$ karakteristiğinin ulaşım tahrik sistemine en uygun olması,

b) $\frac{M}{M_a} \approx 2$ olması, bu motorun gerektiğinde kısa sürelerde aşırı yüklenebilir olması gibi çok önemli bir niteliğinin bulunduğunu kanıtlamıştır.

c) $M \neq f(V)$ 'dir. Motorun milinde ürettiği moment, beslendiği gerilimin bir fonksiyonu değildir, çünkü bu motorda $M = k_1 \cdot \phi \cdot I$ şeklindedir. Bu ise, çok önemli bir özelliktir. Çünkü elektrikli ulaşım sistemlerinde seyriletkenindeki gerilimin, $\pm \% 20$ 'ye kadar değişmesine müsaade edilebilmektedir.

d) Bu motor, en büyük kullanım alanına sahip olduğu için, çok iyi tanınmakta, kontrol edilebilmekte ve onarılabilir.

e) Güç elektroniği devreleri ile [Kıyıcı (Chopper) devreli sistemler] çok iyi bir biçimde hassas devir ayarı yapılabileceğini göstermiştir.

f) Bazı durumlarda faydalı frenlemede yapabilmektedir.

- Üç Fazlı Asenkron Motor - yapısının basitliği kullanımının kolaylığı, ekonomikliği nedeniyle endüstride en çok kullanılan ve en çok tercih edilen bir motor olmasına rağmen, elektrikli ulaşım sistemlerinde doğru akım seri motorun gösterdiği önemli teknik üstünlüklere sahip değildir. Bu motorda;

a) $n=f(M)$ karakteristiği, doğal olarak bir seri $n=f(M)$ karakteristiği gibi değildir. Ancak güç elektroniğinin bugünkü teknolojik düzeye erişmesiyle $n=f(M)$ karakteristiği gerilimin genliğinin ve frekansının değiştirilebilir olabilmeleriyle seri karakteristik gösterebilmiştir. Bu da işin maliyetini bugün için çok artırmıştır.

b) $\frac{M}{M_b}$ oranı bu tip motorlarda da yüksektir. Ama bu niteliğini kanıtlayan uzak mesafeli elektrikli ulaşım sistemleri henüz yeni uygulama alanındadır.

c) $M=f(U)$ 'dur. $M \approx k \cdot U^2$ 'dir.

Bu demektir ki, bir asenkron motorda milinde üretilen moment, seyr iletkenindeki gerilimin karesinin bir fonksiyonu'dur. Dolayısıyla seyr iletkenindeki gerilim düşümü motor momentine etki etmektedir. Doğru akım seri motorda belirtilen e-f maddeleri kısmen bu motor için de geçerlidir.

Güç elektroniğinin büyük teknolojik aşamalar yapması, sistem komponentlerinin birim fiyatlarında veya devre fiyatlarında daha düşük değerlere erişilmesi bu tip motorları daha da tercih edilir duruma getirecektir. Bu arada güç elektroniği düzenlerinin şebekede yaratabileceği olumsuzluklarında, (örneğin harmonik üretilmesi reaktif güç eklenmesi gibi), giderilmesi gerekecektir.

- Lineer Asenkron Motor - Yarının yüksek hızlı elektrikli ulaşım sistemlerinde, kentlerarası, ülkelerarası yolcu taşımacılığında çok büyük boyutlara erişecektir.

Lineer motorlu elektrikli uzak mesafe ulaşım sistemlerinde kaldırma ve itme kuvvetlerinin en ekonomik şekilde üretilmesi, sargı iletkenlerinin süperiletken olarak tasarlanıp pratiğe dönüştürülmesi, bu süperiletkenlerin ortam sıcaklıklarında kullanılabilir olması çalışmaları bu tip motorun geleceğini belirleyecektir.

Bugün bu konularda büyük çalışmalar vardır. Fransa'da, Almanya'da ortalama 300-350 km/h'lik hızlara erişen elektrikli ulaşım sistemleri henüz klasik elektrikli motor düzenindedir. Ama yarının Avrupa kentlerini birleştirecek hızlı elektrikli trenlerin motorları "Lineer motorlar" olacaktır.

- Lineer Senkron Motor - Sürekli mıknatıslı kutuplu elektrik motorlarının en son uygulama örneklerinden biridir.

Sonuç olarak; Bir elektrikli ulaşım sisteminde hız'ın V, kütlenin G, duraklararası mesafenin H'nin bir fonksiyonu olan 1 km başına bir yolda tüketilen elektrik enerji miktarının optimum kullanımı en büyük oranda en iyi teknik karakteristiklere ve verilere sahip elektrik motoruyla olacaktır. Aynı şekilde özgül elektrik enerji miktarı da,

$$A \left[\frac{W.h}{t \cdot k_n} \right] \quad \text{motor tipinin performansına} \\ \text{bağılıdır.}$$

Bu çalışmada sözkonusu motorlar bu alandaki uygulamalarıyla verilmiş ve en iyilerinin hangileri olacağına ilişkin araştırma çalışmalarının sonuçları irdelenmeye çalışılmıştır.

D : Endüi çapı [m]
 ω : Açısal hız [rad/s]
 P_D : Döner alan gücü [W]
 τ_p : Kutup adımı [m]
 $\cos \varphi$: Güç faktörü []
 f_s : Statora uygulanan gerilimin frekansı [Hz]
 n_s : Senkron devir [d/d]
 ω_s : Stator açısal frekansı [rad/s]
 ω_r : Açısal frekans olarak rotor elektriksel hızı [rad/s]
 θ_r : Rotor güç faktörü açısı []
 ω_{sl} : Kayma açısal frekansı [rad/s]
 B_p : Hava aralığı akı yoğunluğu tepe değeri [Wb/m²]
 F_p : Rotor magnetomotor kuvvet tepe değeri [A.sarım]
 $|\overline{\mathcal{F}_m}|$: Kutup başına hava aralığı toplam akısının tepe değeri [Wb/sarım]
 $|\overline{I_r}|$: Rotor akımı tepe değeri [A]
 m : Faz sayısı
 V_n : Zıt elektromotor kuvvet [V]
 n_d : Stator ve rotor sarım sayıları oranı []
 V_r' : Statora indirgenmiş rotor gerilimi [V]
 I_b : Boşta çalışma akımı [A]
 I_c : Boşta çalışma akımının demir kayıplarına karşı gelen değeri [A]
 I_n : Stator akımının mıknatıslama bileşeni [A]
 R_n : Uyarma kayıpları eşdeğer direnci [Ω]
 I_r' : Statora indirgenmiş rotor akımı [A]
 L_n : Mıknatıslama endüstandısı [H]
 I_s : Stator faz akımı [A]

M_e	: Endüklenen moment [Nm]
V_s	: Stator faz gerilimi [V]
P_{acu}	: Stator bakır kaybı [W]
R_s	: Stator faz direnci [Ω]
P_{Fe}	: Demir kayıpları [W]
P_g	: Hava aralığı gücü [W]
R_r'	: Statora indirgenmiş rotor direnci [Ω]
P_{rcu}	: Rotor bakır kayıpları [W]
P_m	: Mekanik güç [W]
P_{mil}	: Milden alınan güç [W]
$P_{s,v}$	: Sürtünme vantilasyon kayıpları [W]
η	: Verim
M_{ey}	: Kalkış momenti [Nm]
S_k	: Devrilme kayması
M_{en}	: Devrilme momenti [Nm]
ω_{slm}	: Maksimum momentteki kayma frekansı [rad/s]
V_s	: Senkron hız [m/s]
V_2	: İletken levhanın hızı [m/s]
I_1	: Primer akımı [A]
R_1	: Primer sargı direnci [Ω]
X_1	: Primer sargı kaçak akı reaktansı [Ω]
X_m	: Miknatıslama reaktansı [Ω]
I_2'	: Primere indirgenmiş sekonder akımı [A]
X_2'	: Primere indirgenmiş sekonder kaçak akı reaktansı [Ω]
R_2'	: Primere indirgenmiş sekonder direnci [Ω]
F	: Öteleme kuvveti [N]
η_1	: Primerin verimi
η_2	: Sekonderin verimi
α	: Adım açısı
N_r	: Rotor tek kutup sayısı

SEMBOLLER

F_i	: Döndürme kuvveti [N]
B	: Magnetik endüksiyon [T]
I	: Akım [A]
l	: Uzunluk [m]
M	: Moment [Nm]
K_s	: Moment sabiti
I_a	: Endüi akımı [A]
ϕ_s	: Akı [Wb]
z	: Endüideki toplam iletken sayısı
p	: Çift kutup sayısı
a	: Endüi sargısındaki paralel kol sayısı
E_s	: Endüide endüklenen e.m.k. [V]
K_a	: Endüklenen hareket gerilimi sabiti
n	: Devir sayısı [d/d]
V_s	: Motora uygulanan gerilim [V]
R_s	: Endüi direnci [Ω]
P	: Motorun şebekeden çektiği güç [W] (elektriksel güç)
I_{kd}	: Kısa devre akımı [A]
I_{max}	: Maksimum akım [A]
R_{yv}	: Yolverme direnci [Ω]
ΣR_s	: Toplam endüi direnci [Ω]
R_{kritik}	: Kritik direnç [Ω]
R_i	: Endüi devresi kademe direnci [Ω]
I_f	: Uyarma akımı [A]
M_c	: Döndürme momenti [Nm]
a	: Özgöl-Amper iletken sayısı [A/m]

N : Bir fazdaki sarım sayısı
 R : Relüktans [Ω]
 L : Endüktans [H]
 P_{cu} : Bakır kayıpları [W]
 G : Taşıt kütlesi [M_p]
 V_{max} : Maksimum hız [km/h]
 V_t : Seyahat hızı [km/h]
 L : Ortalama duraklararası mesafe [m]
 b_t : Seyahat ivmesi'dir. [m/s^2]



REFERANSLAR

- [1] URAL, A.: Modern Elektrikli Ulaşım Sistemleri, Kocaeli Mühendislik Fakültesi, Kocaeli, 1991.
- [2] YAMAMURA, S.: Theory of Linear Induction Motors, John Wiley & Sons, Tokyo, 1972.
- [3] LAITHWAITE, E.R.: Linear Electric Motors, Mills & Boon Ltd., London, 1971.
- [4] MILLER, L.: Darstellung des Magnetschnellbannsystems Transrapid, Statusseminar Schnellbahnen, Nürnberg, 1985.
- [5] TUNCAY, N.: Lineer Asenkron Motorların Tasarım ve Analizi, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü., İstanbul, 1982.
- [6] BODUROĞLU, T.: Elektrik Makinaları Deneyleri, İ.T.Ü., İstanbul, 1983.
- [7] HALICI, K.: Elektrğin Sanayiye Uygulanması (1. Kısım), İ.D.M.M.A. Basımevi, İstanbul, 1982.
- [8] HEINRICH, K., KRETZSCHMAR, R.: Magnetbahn Transrapid, Hestra-Verlag, Darmstadt, 1989.
- [9] BOSE, B.K. : Power Electronics and Ac Drivers, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.
- [10] FITZGERALD, A.E., KINGSLEY, JR.C., KUSKO, A.: Electric Machinery, Mc Graw-Hill, Tokyo, 1971.
- [11] BODUROĞLU, T.: Döner Alternatif Akım Makinalarına Giriş, İ.T.Ü., İstanbul, 1980.
- [12] ERTAN, B., TOHUMCU, M.: Anahtarlı Relüktans Motorlu Tahrik Sistemlerinin Yapıları ve Temel Özellikleri, 2. Ulusal Elektrik Müh. Kongresi, Ankara, 1987.
- [13] SHEPHERD, W., HULLEY, L.N.: Power Electronics and Motor Control, Cambridge University Press, 1987.

- [14] URAL, A., URAL, B.: Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Tahrik Donanımında Alternatif Akım Tekniğinin Uygulanması, 4. Ulusal Elk. Müh. Kongresi, İzmir, 1991.
- [15] BBC BROWN BOVERI, AEG-TELEFUNKEN, KRAUSS MAFFEI, KRUPP, THYSSEN HENSCHEL, 120 Elektrische Lokomotive mit Drehstromantriebstechnik für die DB, Oldenbourg, 1984.
- [16] RASCHBICHLER, H.G., MILLER, L., KNÖLL, H., MEINS, J. und WACKERS, M.: Magnetbahn als Modernes Schnellverkehrssystem, Thyssen Tech., Ber., 1985.
- [17] REMMELE, G.: Die Antriebsleistung von Elektrischen nahverkehrstriebfahrzeugen, München, 1961.
- [18] GUNNARSSON, L., WAHIBERG, K.: Istanbul's New Metro Line, ABB Review, 1983.
- [19] BAYRAM, M.: Elektrik Makinalarının Muayenesi II, İ.T.Ü., İstanbul, 1976.
- [20] URAL, A., KAYRAL, M.: Doğru Akım Motoruyla Tahrik, Yıldız Üniversitesi Yayını, İstanbul, 1985.
- [21] LOEU, E.A.: Direct and Alternating Current Motors and Their Characteristics.
- [22] GATHMANN, H., HARPRECHT, W., WEIGEL, W.D., Sonderdruck aus Elektrische Bahnen, Siemens, 1988.
- [23] FITZGERALD, A.E., KINGSLEY, C., UMANS, S.D., Electric Machinery, Mc Graw Hill, 1990.
- [24] ERTAN, B., TOHUMCU, M.: Anahtarlı Relüktans Motorlarının Moment-Hız Eğrilerinin Denetimi Elk. Müh. 2. Ulusal Kongresi, Ankara, 1987.
- [25] ABB TRACTION, Metro Vehicle Design and Installation Documents F00.100, 1989.
- [26] SARIOĞLU, K.M.: Doğru Akım Makinalarının Geçici Rejimleri, İ.T.Ü., 1975.

- [27] MULLER, G.: Elektrische Maschinen-Grundlagen, Aufbau und Wirkungsweise, Veb Verlag Technik, Berlin, 1973.
- [28] MULLER, G.: Elektrische Maschinen-Theorie Rotierender Elektrischer Maschinen, Veb Verlag Technik, Berlin, 1973.
- [29] SONE, S.: Proposal of a Train Scheduling Pattern for Maglev Trains and its Application to Shinkansen-Japan Study Committee on Transportation and Electric Railways, (IEEJ) TER 90-38, 1990.
- [30] SLEMON, G.R., STRAUGHEN, A.: Electric machines, Addison-Wesley Publishing Company, Toronto, 1980.
- [31] KARUSE, P.C.: Analysis of Electric Machinery, Mc Graw-Hill Book Company, Singapore, 1987.
- [32] NAUNIN, D. und 8 Mitautoren: Elektrische Strassenfahrzeuge, Expert Verlag, Berlin, 1989.
- [33] NASAR, S.A., BOLDEA, I.: Certain Applications of Lem's, Kentucky, 1976.
- [34] SAY, M.G., TAYLOR, E.O.: Direct Current Machines, Pitman Books Ltd., London, 1985.
- [35] TOHUMCU, M., ERTAN, B.: Anahtarlı Relüktans Motorlarının Performansının Tasarım Amacıyla Hesaplanması, Elk. Müh. II. Ulusal Kongresi, Ankara, 1987.
- [36] TUNÇAY, R.N.: Çelik Sekonderli lineer Asenkron Motorların Küçük Hızlarda Deneysel Olarak İncelenmesi, İ.T.Ü. Bülteni, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1981.
- [37] VICTORRI, M.: Lineare Induktionsmotoren. ETZ-B Bd.21, 1969.
- [38] WEH, H.: linearmotoren-VDE-Fachberichte, Bd-26, VDE-Verlag, Berlin, 1970.
- [39] HUHNS, T., KRATZ, G.: Der asynchrone Linearmotor als Antriebselement und seine Besonderheiten, Elektr. Bahnen Bd. 42, Berlin, 1971.

- [40] YAMAMURA, S., ITO, H., ISHIKAWA, Y.: Theories of the Linear Induction Motor and Compensated linear Induction Motor, IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 1972.
- [41] OOI, B.T.: A Generalized Machine Theory of the Linear Induction motor, IEEE Trans. Paper, 1973.
- [42] LAITHWAITE, E.R., BARWELL, F.T.: Application of Linear Induction Motors to High Speed Ground Transport Systems, Proc. IEEE, Vol. 116, 1969.
- [43] ELLISON, A.J., BAHMANYAR, H.: Surface-guided Transport Systems of the Future, IEEE Proceedings, vol. 121, 1974.
- [44] ALGER, P.L.: Induction Machines, Their Behavior and Uses, Gordon and Breach, 1970.
- [45] SAY, M.G.: Introduction to the Unified Theory of Electromagnetic Machines, Pitman, 1971.
- [46] SAY, M.G.: Alternating Current Machines, Pitmann, 1976.
- [47] PLATE, M. and 6 Mitautoren: Recommendations for Light Rail Vehicles-Tech. Publication of Association of Urban Mass Transit Authorities, Verband Öffentlicher Verkehrsbetriebe, Hannover, 1977.
- [48] SCHACKET, S.R.: The Complete Book of Electric Vehicles, Domus Books, Chicago, 1979.
- [49] SKUDELNY, H. CHR.: Untersuchungen an Drehstromantrieben für Elektrospeicherfahrzeuge, Veröffentlichungen des Institus für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe, RWTH, Aachen, 1983.
- [50] Tagungsband EVS 7.: 7. Internationales Symposium für Elektrische Strassenfahrzeuge, Versailles, 1984.

```

5 REM ELEKTRIKLI ULASIM TASITLARINDA
6 REM GEREKLI TAHRIK GUCU ND'NIN HESAPLANMASI
7 REM -----
10 REM G DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI
20 VM=80
30 BR=1.1
40 L=1500
50 VR=50
60 A=1/27
70 B=(VR/L)^(3/4)
80 C=BR^(1/4)
90 D=VM^(7/4)
100 ND1=A*B*C*D
110 PRINT "G DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI"
120 PRINT"-----"
130 PRINT"A=";A, "C=";C
140 PRINT "B=";B, "D=";D
150 PRINT"L=";L, "BR=";BR
160 PRINT"VR=";VR
170 PRINT"G(MP)", "ND(KW)"
180 PRINT"-----", "-----"
190 FOR G=50 TO 300 STEP 10
200 ND=ND1*G
210 PRINT G,ND
220 NEXT G
230 REM VM DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI
240 G=52
250 ND2=(G*A)*B*C
260 PRINT"VM DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI"
270 PRINT"-----"
280 PRINT"G=";G
290 PRINT"VM(KM/H)", "ND(KW)"
300 PRINT"-----", "-----"
310 FOR VM=50 TO 200 STEP 10
320 ND=ND2*(VM^(7/4))
330 PRINT VM,ND
340 NEXT VM
350 REM BR DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI
360 G=30
370 L=600
380 ND3=(G*A)*((VR/L)^(3/4))*D
390 PRINT "BR DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI"
400 PRINT "-----"
410 PRINT "G=";G, "L=";L
420 PRINT "BR(M/S2)", "ND(KW)"
430 PRINT "-----", "-----"
440 FOR BR=.15 TO 1.75 STEP .05
450 ND=ND3*(BR^(1/4))
460 PRINT BR,ND
470 NEXT BR
480 REM L DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI
490 G=46
500 BR=1.5
510 VM=70
520 ND4=(G*A)*(VR^(3/4))*(BR^(1/4))*(VM^(7/4))
530 PRINT "L DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI"
540 PRINT "-----"
550 PRINT "G=";G, "BR=";BR, "VM=";VM
560 PRINT "L(M)", "ND(KW)"
570 PRINT "-----", "-----"
580 FOR L=500 TO 4000 STEP 250
590 ND=ND4*(1/L)^(3/4)

```

```

600 PRINT L,ND
610 NEXT L
620 REM VR DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI
630 G=100
640 L=2000
650 VM=120
660 BR=.6
670 ND5=(G*A)*((1/L)^(3/4))*(BR^(1/4))*(VM^(7/4))
680 PRINT "VR DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI"
690 PRINT "-----"
700 PRINT "G=";G,"L=",L
710 PRINT "VM=";VM,"BR=";BR
720 PRINT "VR(KM/H)","ND(KW)"
730 PRINT "-----","-----"
740 FOR VR=20 TO 100 STEP 10
750 ND=ND5*(VR^(3/4))
760 PRINT VR,ND
770 NEXT VR
780 END

```

G DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI

A= 3.703704E-02 C= 1.024114
B= 7.801158E-02 D= 2139.968

L= 1500 BR= 1.1

VR= 50

G(MP) ND(KW)

50	316.6072
60	379.9286
70	443.2501
80	506.5715
90	569.8929
100	633.2144
110	696.5358
120	759.8572
130	823.1786
140	886.5001
150	949.8215
160	1013.143
170	1076.464
180	1139.786
190	1203.107
200	1266.429
210	1329.75
220	1393.072
230	1456.393
240	1519.714
250	1583.036
260	1646.357
270	1709.679
280	1773
290	1836.322
300	1899.643

VM DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI

G= 52

VM(KM/H) ND(KW)

50	144.6585
60	199.0266
70	260.6564
80	329.2715
90	404.6419
100	486.5716
110	574.889
120	669.444
130	770.1005
140	876.7399
150	989.251
160	1107.534
170	1231.494
180	1361.049
190	1496.117
200	1636.625

BR DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI

G= 30 L= 600
BR(M/S2) ND(KW)

.15	229.5101
.2	246.6246
.25	260.7738
.3	272.935
.35	283.6586
.4	293.2877
.4500001	302.0522
.5000001	310.114
.5500001	317.592
.6000001	324.5762
.6500001	331.1366
.7000001	337.3288
.7500001	343.1976
.8000001	348.7799
.8500001	354.1062
.9000001	359.2026
.9500002	364.0909
1	368.7898
1.05	373.3157
1.1	377.6826
1.15	381.9032
1.2	385.9884
1.25	389.9477
1.3	393.79
1.35	397.5231
1.4	401.1538
1.45	404.6885
1.5	408.1329
1.55	411.4924
1.6	414.7714
1.65	417.9745
1.7	421.1056
1.749999	424.1684

L DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI

G= 46 BR= 1.5 VM= 70
L(M) ND(KW)

500	567.9868
750	419.0539
1000	337.7272
1250	285.6824
1500	249.171
1750	221.9665
2000	200.8137
2250	183.8354
2500	169.8678
2750	158.149
3000	148.1579
3250	139.5254

3500	131.9822
3750	125.3264
4000	119.4046

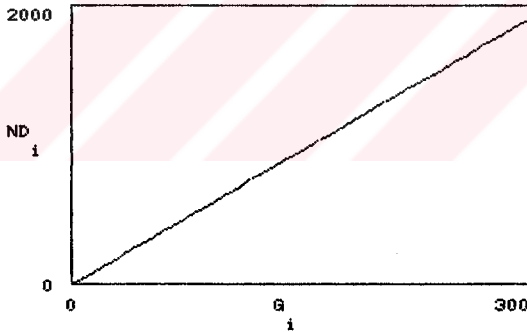
VR DEGERINI DEGISTIREREK ND'NIN BULUNMASI

G= 100	L= 2000
VM= 120	BR= .6
VR(KM/H)	ND(KW)
20	448.4781
30	607.8685
40	754.2475
50	891.6538
60	1022.309
70	1147.605
80	1268.488
90	1385.64
100	1499.577

ND'NIN G İLE DEĞİŞİMİ

i := 0 .. 30 Vm := 80 Vr := 50 L := 1500 Br := 1.1 G := i · 10

$$ND_i = G \cdot \frac{Vm}{27} \cdot \left[\left[Vm \cdot \frac{Vr}{L} \right]^3 \cdot Br \right]^{\frac{1}{4}}$$



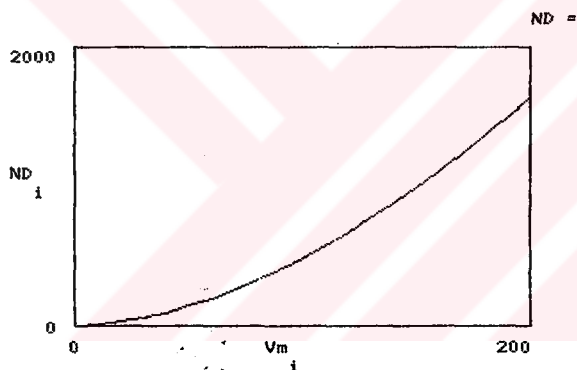
ND =

63.321463428268	0
126.642926856536	
189.964390284804	
253.285853713072	
316.60731714134	
379.928780569608	
443.250243997876	
506.571707426144	
569.893170854412	
633.2146342826801	
696.5360977109481	
759.857561139216	
823.179024567484	
886.500487995752	
949.82195142402	
1.013143414852288 · 10	3
1.076464878280556 · 10	3
1.139786341708824 · 10	3
1.203107805137092 · 10	3
1.26642926856536 · 10	3
1.329750731993628 · 10	3
1.393072195421896 · 10	3
1.456393658850164 · 10	3
1.519715122278432 · 10	3
1.5830365857067 · 10	3
1.646358049134968 · 10	3
1.709679512563236 · 10	3
1.773000975991504 · 10	3

ND'NIN Vm ILE DEGİSİMİ

i := 0 .. 20 G := 52 Vr := 50 L := 1500 Br := 1.1 Vm := 1 · 10¹⁰

$$ND_i = G \cdot \frac{V_m}{27} \cdot \left[\left[\frac{V_m}{V_r} \cdot \frac{V_r}{L} \right]^3 \cdot Br \right]^{\frac{1}{4}}$$



8.652603635885585	0
29.10377352010978	
59.17101314710128	
97.89303529366518	
144.6586198575556	
199.0267713693115	
260.6563921687492	
329.2716098269937	
404.6422261079438	
486.5716594950733	
574.8890130698096	
669.4435943358986	
770.1009803638208	
876.7401031506703	
989.2510344439095	
1.107533265393355 · 10 ³	3
1.231494345653301 · 10 ³	3
1.361048789577812 · 10 ³	3
1.496117184815301 · 10 ³	3
1.636625456933832 · 10 ³	3

ND'NIN BR İLE DEĞİSİMİ

i := 0 ..35

Vm := 80

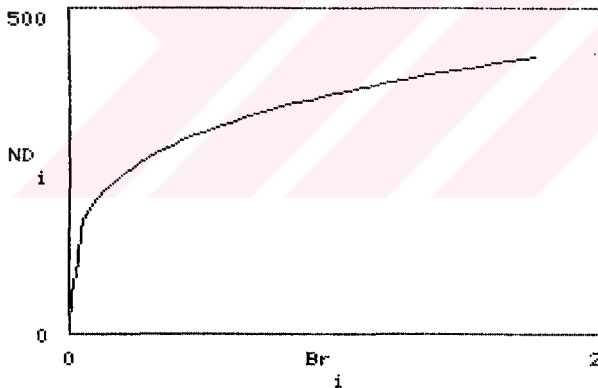
Vr := 50

L := 600

Br := $\frac{i}{20}$

G := 30

$$ND_i := G \cdot \frac{Vm}{27} \cdot \left[\left[\frac{Vm}{Vm} \cdot \frac{Vr}{L} \right]^3 \cdot Br_i \right]^{\frac{1}{4}}$$



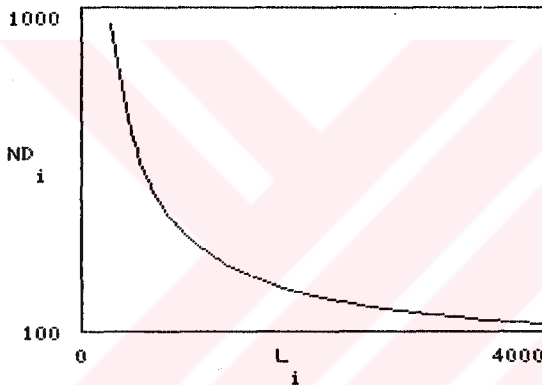
ND =

	0
	174.389982600457
	207.3858080936642
	229.5101242196988
	246.6246785355744
	260.7738479387833
	272.9350726872241
	283.6586582927881
	293.2878224497639
	302.052310195044
	310.1141153754387
	317.5921107342998
	324.5763303734318
	331.1367426890437
	337.3288946739092
	343.1976845298576
	348.779965200914
	354.1063906787694
	359.2027563869553
	364.0909923567409
	368.7899124672464
	373.3157887281094
	377.6827977539614
	381.903372328777
	385.9884814415589
	389.9478556896274
	393.790170444636
	397.5231959999627
	401.1539216422163
	404.6886589361238
	408.1331282953659
	411.492532006015
	414.7716161873284
	417.9747236561423
	421.1058392631259
	424.1686289609673

ND'NIN L İLE DEĞİŞİMİ

i := 1 .. 16 Vm := 70 Vr := 50 L_i := i · 250 Br := 1.5 G := 46

$$ND_i := G \cdot \frac{Vm}{27} \cdot \left[\left[Vm \cdot Vr \cdot \left[\frac{L_i}{Vr} \right]^{-1} \right]^3 \cdot Br \right]^{\frac{1}{4}}$$

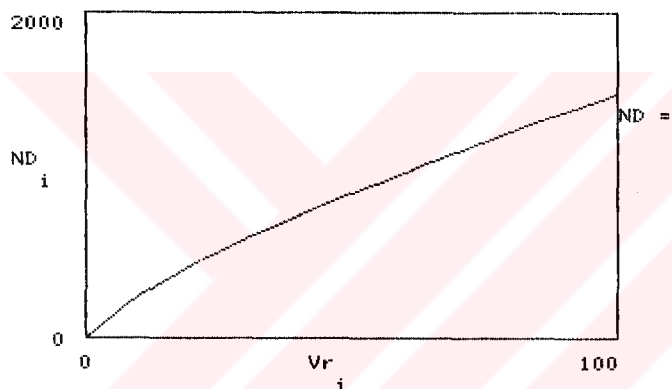


ND =	0
955.2365888098037	
567.9870739617736	
419.0540169179894	
337.727134792459	
285.6823737709313	
249.1710092446718	
221.9664923191674	
200.8137558123376	
183.8353672297067	
169.8677557596291	
158.1489945522629	
148.1579685230863	
139.5254509458022	
131.9820659790754	
125.3263826928345	
119.4045736012255	

ND'NIN Vr ILE DEĞİŞİMİ

i := 0 ..10 L := 2000 Br := 0.6 G := 100 Vm := 120 Vr := i·10

$$ND_i := G \cdot \frac{Vm}{27} \cdot \left[\frac{\left[\frac{Vm \cdot Vr_i}{L} \right]^3}{Br} \right]^{\frac{1}{4}}$$



0
266.6666666666667
448.4780881353144
607.8685485212741
754.2472332656507
891.6537399685627
3
1.022308966794036 · 10
3
1.147604552175693 · 10
3
1.268487589336236 · 10
3
1.385640646055102 · 10
3
1.499576867174264 · 10

ÖZGEÇMİŞ

Mebrure Şanal 1955'te Manastır'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İstanbul'da yaptı.

1980 yılında İ.D.M.M.A. Işık Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl mezun olduğu okulda Uzman olarak göreve başladı. 1985 yılında Yıldız Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamladı. Halen aynı bölümde Uzman olarak görevine devam etmektedir.

**İ.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**