

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

84 910

**PSPİCE PROGRAMI KULLANILARAK MODERN
YAKIN MESAFE ELEKTRİKLİ ULAŞIM
SİSTEMLERİNDE TAHRİK DÜZENLERİNİN
İNCELENMESİ VE PERFORMANSLARININ
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Elek.Yük.Müh. Engin AKIN

**F.B.E. Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 25/Mayıs/1999
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Asım KASAPOĞLU (Y.T.Ü)
Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Burhaneddin CAN (M.Ü)
: Doç. Dr. Ramazan TAŞALTAN (İ.T.Ü)

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 1999

İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGE LİSTESİ.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. DEĞİŞKEN HIZLI TAHRİK SİSTEMLERİ.....	1
1.1 Bir Tahrik Sisteminin Elemanları.....	1
1.2 Mekanik Sistem.....	1
1.2.1 Sabit Güç Tahriği.....	7
1.2.2 Taşıma Tahriği.....	8
2. HAFİF METRO SİSTEMİNİN TASARIM DEĞERLERİ VE BESLEME İSTASYONLARI HAKKINDA GENEL BİLGİ.....	18
2.1 Hafif Metro Sisteminin Tarihi Gelişimi.....	18
2.2 Araçların Ana Boyutları ve Elektriki Değerleri.....	19
2.3 Besleme İstasyonları Hakkında Genel Bilgi.....	21
2.4 Doğrultucu Ünitesi.....	22
2.5 Katener Hattı.....	25
3. TAHRİK SİSTEMİNİN ANA DETAYLARI.....	27
3.1 Genel Kapsamı.....	27
3.2 Pantograf.....	28
3.3 Ana İzolatör Sivici.....	28
3.4 Ana Devre Kesicisi.....	29
3.5 Hat Filtresi.....	29
3.6 DC Tahrik Motorları.....	30
3.7 DC Tahrik Motorunun Armatür Devresinin Kıyıcı Ünitesi.....	31
3.8 DC Tahrik Motorunun Uyarma Alan Çevirici Ünitesi.....	32
3.9 Motor Modül Kontakları ve Motor Kontakları.....	32
3.10 Faz Endüktansı.....	33
3.11 Frenleme Direnci.....	33
3.12 Aşırı Akım Koruyucu Ünitesi.....	34
3.13 Aşırı Gerilime Karşı Koruyucu Ünitesi.....	34
4. YARDIMCI GÜÇ SİSTEMİ.....	35
4.1 Yardımcı Güç Sisteminin Genel Devresi.....	35
4.2 Evirici Ünitesi.....	37
4.3 Üç Fazlı Transformatör Ünitesi 3x380V, 50 Hz ve Filtre Devresi.....	38

4.4	Batarya Şarj Ünitesi.....	39
5.	TAHRİK DONANIM DEVRESİ.....	40
5.1	Genel Kapsamı.....	40
5.2	Bilgisayar Kontrol Ünitesi.....	41
5.3	Hata Gösterme Ünitesi.....	42
5.4	DC Motorlarının Çalışması.....	43
5.5	Frenleme Modu.....	44
5.6	Frenlemede Yeniden Üretilen Enerji.....	45
6.	TAHRİK SİSTEMİNİN İÇERİĞİ.....	46
6.1	Serbest Uyarmalı DC Motorun Teorik Olarak İncelenmesi.....	47
6.1.1	Sistem Modeli.....	49
6.1.2	Hız Kontrolü.....	51
6.1.3	Motorun Nominal Değerleri.....	55
6.1.4	Motor Mekanizması Dinamiği.....	57
6.2	DC Motorun Armatür Kıyıcılarının incelenmesi.....	61
6.2.1	DC Motorun Armatür Devresini Besleyen Kıyıcıların Kontrol Prensipleri.....	66
6.2.1.1	Aracın İvmelendirme Konumundaki Kıyıcı Ünitesinin Çalışma Prensipleri.....	66
6.2.1.2	Frenleme Durumundaki Kıyıcıların Çalışma Prensipleri.....	70
6.3	Motor Kıyıcı Devresinin Çalışma Durumundayken Hattan Gelen ve Hattın Geri Dönen Akımları	75
6.3.1	Doğru Akımlar	75
6.3.2	Alternatif Akımlar	76
6.3.3	Motor Kıyıcılarının Yüklerindeki Akım Dalgalandırmaları	77
6.4	Armatür Kıyıcısının, Akım ve Gerilim Ölçüm Devreleri ve Bobinleri	78
6.4.1	Frenleme Devresinin İçeriği	80
6.5	Yüksek Gerilim Kıyıcısı	82
6.6	Uyarma Alan Çeviricisi	84
6.7	Doğru Akımlı Ulaşım Sistemlerinde Doğru Akım Kıyıcı Kullanılmasıyla Sağlanan Üstünlükler.....	86
7.	KONTROL VE DENETLEME PRENSİPLERİ.....	88
7.1	Kontrol Prensipleri.....	88
7.1.1	İvmelendirme Kontrolü.....	89
7.1.2	Yavaşlatma İvme Kontrolü.....	90
7.1.3	Armatür Akım Kontrolü.....	91
7.1.4	DC Motor Gerilimi Kontrolü - Uyarma Alanı Kontrolü.....	92
7.1.4.1	İvmelendirme ve Frenleme Durumunda	92
7.1.5	Uyarma Alan Akımının Kontrolü.....	93
8.	BİLGİSAYAR DONANIMI.....	94
8.1	Bilgisayarın İşlev Gruplarına Göre Açıklanması.....	94
8.1.1	Güç Besleme Kartları.....	94

8.1.2	İşlemci Kartları.....	94
8.1.3	Giriş/Çıkış Kartları.....	95
8.1.4	İletişim Kartları.....	95
8.1.5	Hata Gösterme Kartları.....	96
8.1.6	Filtre Kartları.....	96
8.1.7	Faz Lojiği Kartları.....	96
8.1.8	DTMB 101. A-T Kartının Tanıtımı.....	96
9.	ARACIN TAHRİK DEĞERLERİNİN HESAPLANMASI.....	98
9.1	Sistemin Nominal Çalışma Durumunda İşletme Büyüklüklerinin Belirlenmesi.....	98
9.2	İvmelendirme Durumundaki Hesaplamalar.....	108
9.3	Dinamik Frenleme Durumundaki Hesaplamalar.....	116
9.4	Frenleme Durumundaki Hesaplamalar.....	121
10.	İSTANBUL LRT TAŞITININ PSPİCE PROGRAMI İLE ANALİZİ.....	125
10.1	Giriş.....	125
10.2	Moment İfadesinin Elektriki Eşdeğerinin Elde Edilmesi.....	125
10.3	Eşdeğer Devrenin Elde Edilmesi.....	126
10.4	Analiz için Gerekli Değerlerin Hesaplanması.....	127
10.5	Boşta Çalışmada Taşıtın Aldığı Yolun Hesaplanması.....	131
10.6	Elde Edilen Elektriki Eşdeğer Devrenin PSpice Programıyla Analizi.....	133
11.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	152
	KAYNAKLAR.....	155
	EKLER.....	158
	Ek1.....	158
	Ek2.....	166
	ÖZGEÇMİŞ.....	174

SİMGE LİSTESİ

A	Armatür
AW	Armatür sargısı
B	Viskoz sürtünme katsayısı
BD	Frenleme diyodu
BR	Frenleme direnci
C	Kontaktör
CC	Seviye kaydırıcı kondansatör
CF	Şarj ünitesi koruma sigortaları
CR	Şarj rezistörü
CS	Sınabbır kondansatörü
D	Diyot
DC	Seviye kaydırıcı diyot
DS	Sınabbır diyodu
DU	Tetikleme ünitesi
e_a	Zıt elektromotor kuvveti
ED	Topraklama ünitesi
FC	Uyarma alanı çevirici ünitesi
FD	Serbest geçiş diyodu
FW	Tahrik motorlarının alan sargıları
G	GTO
J_w	Bir tekerleğin atalet momenti
I_A	Armatür akımı
I_{BR}	Frenleme akımı
I_F	Alan Akımı
I_M	Ortalama hat akımı
i_D	Serbest geçiş diyodu akımı
J	Motorun ve mekanik yükün toplam atalet momenti
k	Motorun fiziksel özelliklerine bağlı bir sabit
L	Bobin
L_a	Armatür endüktansı
LA	Yıldırıma karşı koruyucu
LC	Hat kapasitörü
L_f	Uyarma alan sargısı endüktansı
LI	Hat endüktansı
Ld/dt	Akım sınırlayıcı indüksiyon bobini
m	kg olarak trenin kütlesi
M_1	Tahrik motoru I
M_2	Tahrik motoru II
M_3	Tahrik motoru III
M_4	Tahrik motoru IV
MC	Motor modül kontaktörü
MC_1, MC_2	Modül kontakları
MCB	Ana devre kesicisi
MCH_1	MM_1 'in armatür devresini besleyen kıyıcı ünitesi
MCH_2	MM_2 'nin armatür devresini besleyen kıyıcı ünitesi
MIFC	Alan akım ölçeri
MIM	Motor akımını ölçen ünite

MIS	Ana izolatör anahtarı
MM ₁	Motor modül I
MM ₂	Motor modül II
MP	Motoru koruyan ünite (akım kesimine ve dağılımına karşı)
n	N ₁ /N ₂ dişli çevirme
n ₁	tahrik motorlarının sayısı
n ₂	trendeki dingil sayısı
N ₁	motor dişli çarkındaki diş
N ₂	dingil dişli çarkındaki diş
OCH	Yüksek gerilim kısıyıcısı
OCH ₁	Yüksek gerilim kısıyıcı I. ünitesi
OCH ₂	Yüksek gerilim kısıyıcı II. ünitesi
OCH ₁ , OCH ₂	Yüksek gerilim kısıyıcısı fazları
OPT	Yüksek gerilime karşı koruyucu tristör
OVP	Yüksek gerilim koruyucusu
P	Pantograf
PC	Motor kontaktörü
PC ₁ , PC ₂	Motor kontakları
PC ₁ , PC ₂	Motor kontakları
PCH	Yüksek gerilim koruyucu kısıyıcısı
PR	Yüksek gerilime karşı koruyucu direnç
r	Tahrik tekerleğinin yarıçapı
R _a	Armatür direnci
RC	Seviye kaydırıcı direnç
R _f	Uyarma alan sargısı direnci
RFI	Radyo filtre endüktansı
T	Tristör
T _A	Endüviyi ivmelendirebilmek için gereken moment
TCH	Ana kısıyıcı
T _G	Taşıtın yokuşu çıkmasına veya inmesine bağlı olarak negatif veya pozitif olan motor momenti
T _L	Motor çıkış moment
T _M	Taşıtın kütlelerinin yatay hızlandırılması için gereken moment
TM	Tahrik motoru
TMI	Tahrik motor endüktansı
TM ₁	Tahrik motoru 1
TM ₂	Tahrik motoru 2
T _R	Tren direncini yenmek için gereken moment
T _W	Tekerlekleri ivmelendirmek için gerekli moment
U _D	Serbest geçiş diyodu uçlarındaki gerilim
U _L	Hat gerilimi
U _{LC}	Hat kapasitesinin geçiş gerilimi
v _a	Armatür gerilimi
v _f	Uyarma alanı gerilimi
θ	Radyan olarak açısal yer değiştirme
ω	Dönme açısal frekansı
Φ _f	Alan akısı

TEŞEKKÜR

Başta çalışmamı yönlendiren ve her konuda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Asım Kasapoğlu olmak üzere 5 yıl boyunca birlikte görev yaptığım öğretim üyesi arkadaş ve hocalarıma, ayrıca tez çalışmalarım ile ilgili verileri elde etmemde hiçbir fedakarlıktan kaçınmayan İstanbul Ulaşım A.Ş. personeline teşekkürü bir borç bilirim.

Engin AKIN

ÖZET

Ulaşım sistemleri; belirli bir kütleyi belirli bir mesafeye istenilen nitelik ve program dahilinde taşıma amacını gerçekleştiren elemanlar topluluğudur. Şehir içi trafiğinin tek çözümü toplu taşımacılıktan geçmektedir. Taşıma işlevini gerçekleştiren birçok vasıta arasından elektrikle çalışan raylı ulaşım sistemi tercih edilmiştir.

Bilgisayarlar, fiziksel sistemlerin modellenmesi ve tasarımı, özellikle karmaşık sistemlerin simüle edilebilmesi için giderek daha önemli hale gelmektedir. Son yıllarda kişisel bilgisayarların hızlı gelişimi sistem tasarımını ve analizini daha kolay, sürekli ve ekonomik kılmıştır. Sistemin uygun bir şekilde modellenmesi bu tür çalışmaların önemli bir aşamasını oluşturduğu özellikle belirtilmelidir. Kurulacak modelin karmaşıklığı çıkış değişkenlerinde istenilen hassasiyete ve çözümde kullanılacak araçlara bağlıdır. Bu tezde kullanılan Pspice Tekniğinin elektrik ve elektronik devrelerin analizinde ve performanslarının incelenmesinde kullanıldığı ve çok iyi neticeler verdiği gözlemlenmiştir.

Tezde bölüm sayısını taşıtı daha iyi tanıtılabilmek amacıyla çok tutmama rağmen genel olarak iki ana başlıkta toplayabiliriz:

- 1- Kısa mesafe elektrikli ulaşım ile ilgili tüm detaylar,
- 2- Seçilen bir taşıtın analizi

Birinci başlıkta: Hafif metro sisteminin tarihi gelişme durumu ve araçlara ait tasarım değerleri, besleme istasyonları hakkında bilgi, aracın tahrik sisteminin ana detayları, aracın yardımcı güç sistemi, aracın tahrik donanım devresi, tahrik sisteminin içeriği, tahrik sisteminin kontrol ve denetleme prensipleri anlatılmıştır.

İkinci başlıkta: İstanbul hafif metrosunda kullanılan bir elektrikli ulaşım taşıtı seçilmiştir. Bu sistemi: (1) elektrik motorlarının endüvileri, (2) dişli kutusu, (3) tekerlek ve dingiller, (4) taşıt kütlesi, (5) yol durumu, (6) tren direncinden meydana gelen alt gruplara ayırarak her birinin ayrı ayrı motor başına tekabül eden momentleri hesaplanmıştır. Sonra uygun birleştirmeler yapılarak sistemin bir bütün halinde matematik modeli çıkartılmıştır. Fiziksel bakımdan birbirinden farklı elemanları aynı cinsten ifade edebilmek için benzeşlik (anology) ve eş (dual) olma özelliklerinden yararlanılarak elektro-mekanik bir sistem olan taşıt sistemi elektrik devresi haline getirilmiştir.

Oluşturduğum devreye Pspice Tekniğinin “Schematics” editörü Bayrampaşa-Sağmalcılar arasındaki bölge için uygulanmış ve elde edilen neticeler sistemin ilk kurulması sırasında alınan test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

Traction system is a group of elements that realizes the aim of transporting a certain mass in a certain manner for a certain distance. It seems that urban traffic problems can only be solved by public transportation. Electric railway traction system have been preferred among several systems which had been making same job.

Modeling and designing of physical systems by using computers, are becoming more important, especially, for the simulating complex systems in recent years, the rapid spread of personal computers made system design and analysis more convenient and time saving and economical. It should be noted that modeling is an important stage of that kind of studies. The complexity of the considered model to be constructed depends on the required sensitivity of output variables and solution tools. Pspice Technique which was used in this thesis is quite suitable for analyzing electrical and electronic circuit and examining their performances and it was observed that gave good solutions.

In spite of chapter number is a lot for explaining the İstanbul LRT (light rapid traction) system, it can be collected two main topics:

1st topics is all detail of İstanbul LRT system,

2nd topics is analyzing of vehicle which was chosen.

In 1st topics: Historical development of LRT system and project values of vehicle, information about power station, details of vehicle's traction systems, auxiliary power system circuit of traction equipment, content of traction system, controlling principle of traction system.

In 2nd topics: An electrical traction vehicle which was used in İstanbul LRT system have been chosen. By dividing this system into those sub-systems: (1) electric motor's armatures, (2) train of gears, (3) wheel and axle, (4) mass of vehicle, (5) grade power, (6) train resistance have been calculated individually in the manner of motor torque. Then by combining these values in a random, a mathematical model of whole system can be derived. An electro-mechanic system that has electrical and mechanical elements can be transformed into an electric circuit by using Analogy and Duality.

Schematics Editor of Pspice Technique have been applied to İstanbul LRT System between Bayrampaşa and Sağmalcılar Stations and obtained graphic results have been discussed and compared with test results which were obtained during start up.

BÖLÜM 1

DEĞİŞKEN HIZLI TAHİRİK SİSTEMLERİ

1.1 Bir Tahrik Sisteminin Elemanları

Şekil 1.1 'deki blok diyagram, bir elektrik tahrik sistemindeki ana elemanları göstermektedir (Ural ve Kayral, 1985). Önce 4 ve 5 nolu elemanların yapısı incelenecektir. 1, 2 ve 3 numaralılar bir elektronik mühendisi tarafından seçilmeli ve dizayn edilmelidir. Bunu gerçekleştirebilmek için mekanik sistem açıkça belirlenmelidir. Uygun bir tahrik sisteminin ön projesi tamamlandığında, mevcut elektrik güç kaynağının yetersiz olması gibi bir durumla karşılaşılabilir. Bu yüzden kontrolör ve motorun yapısına bakılmaksızın mekanik sistem çeşitlerinin anlatılması ile başlamak doğru olacaktır.

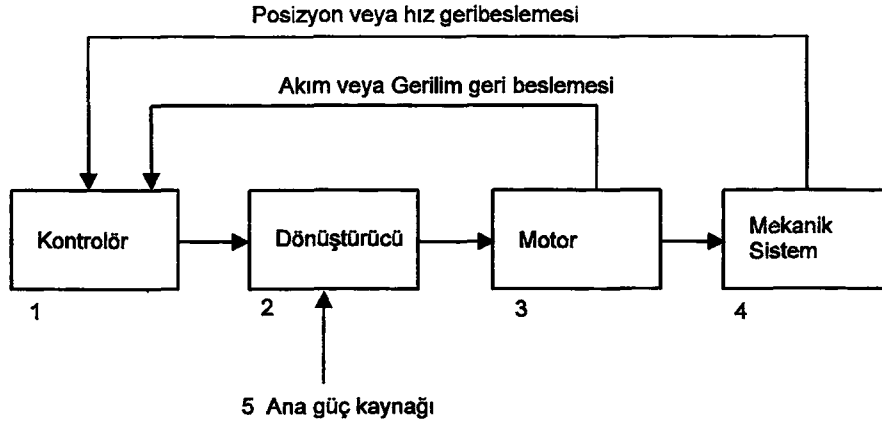
1.2 MEKANİK SİSTEM

Mekanik sisteme motor nezdinde, motor kavraması ile bir mile uygulanması gereken bir moment olarak bakılır. Bu yük momenti ile motor hızı arasındaki ilişki tanımlanmalıdır. Sürekli rejim çalışma için bu tanım, dört bölgede yapılmaktadır. Şekil 1.2 'deki diyagramda ω , motor veya tahrik edilen milin dönüş hızı; T_L ise, motor tarafından oluşturulan kavrama momenti veya mekanik sistemin mili tarafından sunulan yüküdür.

Şekil 1.2 'deki ilk bölge normal düzgün tahriğe aittir. İkinci bölgede, mekanik sistem, frenleme sağlamak için negatif moment gerektirir. Bu frenleme momenti aşağıdaki yollardan üretilir.

1. Bir mekanik frenin motor miliyle birleştirildiği ve sistemin kinetik enerjisinin sürtünmeden dolayı ısı şeklinde harcandığı sürtünme frenlemesi .
2. Özel imal edilmiş bir elektrik makinasında, sistemin kinetik enerjisinin genellikle endüksiyon akımı kayıpları, kısmen de direnç kayıpları şeklinde harcandığı fuko akımlı frenleme.
3. Tahrik motorunun jeneratör gibi çalıştığı ve üretilen enerjinin, bu iş için konulan dirençlerde ısı şeklinde harcandığı dinamik frenleme.

4. Tahrik motorunun jeneratör gibi çalıştığı ve enerjinin elektrik kaynak sistemine geri verildiği faydalı frenleme.



Şekil 1.1 Tahrik sistemi elemanları



Şekil 1.2 Dört bölge hız-moment diyagramı

Üçüncü bölgede motor momenti ve dönüş yönü terstir. Çalışma şartları birinci bölgedekinin benzeridir.

Dördüncü bölge mevcut iki şarttan birini gösterir. Eğer elektriksel şartlar birinci bölgedeki tahrikle aynı ise mekanik sistem motoru tahrik eder. Burada motorun dönüş

yönü kendisinin oluşturduğu momentten doğması gereken yönün tersidir. Bu başka bir frenleme tipidir ve karşı akımla frenleme adını alır.

Yük momenti aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

1. Sürtünme: İlave mekanik iş yapmaksızın mekanik sistemi tahrik etmek için kullanılan moment.
2. Hava sürtünmesi momenti: Mekanizmanın hareketli parçalarını saran havayı pompalamak, tahrik etmek için kullanılan moment.
3. İvme momenti (pozitif veya negatif olabilir): Geçici şartlar altında oluşturulan ve mekanizmanın mekanik ataletini yenmek için kullanılan moment.
4. Mekanik iş momenti: Eğer mekanik sistem malzeme parçalarına seri şekilde bağlı ise, örneğin ray üzerindeki bir metro treni gibi, o zaman 1 'den 3 'e tüm yük momentleri oluşur.

Mekanik sistemde sürtünme momenti ile tahrik motorunun hızı arasındaki bağıntı Şekil 1.3 a 'da gösterildiği gibi basitleştirilebilir. Sürtünme momenti yük momenti yanında genellikle küçüktür ve kullanışlı bir sistem analizi yapmak için yaklaşım yapılabilir. Şekil 1.3 b 'de genel bir yaklaşım gösterilmiştir. Burada;

$$T_F = T_B + T_C + T_S \quad \text{N.m} \quad (1.1)$$

Hızla direk orantılı olan T_B bileşeni “viskoz sürtünme” olarak adlandırılır ve

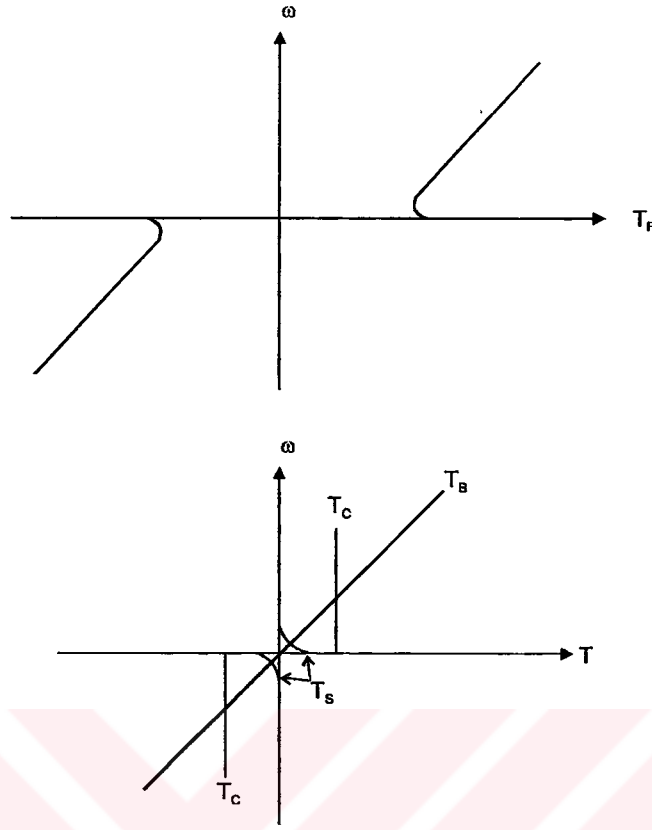
$$T_B = B \cdot \omega = B \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad \text{N.m} \quad (1.2)$$

ile tanımlanır. Burada:

B =Sistem için sabit

θ =radyan olarak açısal yer değiştirme

ω =rad/s olarak açısal hız



Şekil 1.3 Sürtünme momentinin bileşenleri

Hız ile değişmeyen T_c bileşeni “coulomb sürtünmesi” olarak isimlendirilir. Tüm hızlarda harekete karşı koyar bu nedenle düzgün ve ters tahriklerde bir yük teşkil eder. Küçük T_s bileşeni statik sürtünme yüzündendir. Sistemin lineer modeline dahil edilmez, genelde ihmal edilir.

Yük momenti bileşenlerinden biri olan dönen mekanizmaların sürtünmesi yaklaşık olarak dönüş hızının karesiyle orantılıdır.

Sistemin hareketli parçalarını ivmelendirmek için gerekli moment aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$T_j = J \frac{d^2\theta}{dt^2} = J \frac{d\omega}{dt} \quad \text{N.m} \quad (1.3)$$

Burada J , kg.m^2 olarak sistemin döner ataletidir.

Mekanik işte kullanılan moment, yüke mahsus olarak ω 'nın bir fonksiyonudur ve aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$T_w = T(\omega) = T\left(\frac{d\theta}{dt}\right) \quad \text{N.m} \quad (1.4)$$

Böylece motorun çıkış momentini:

$$T_L = J \frac{d\omega}{dt} + B.\omega + T_w \quad \text{N.m} \quad (1.5)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Mekanik sistemin bazı parçalarında elastikiyetin bulunması yeni bileşenlerin oluşmasına neden olur. Örneğin, yükü motora bağlayan mil kavramasında burulma elastikiyeti varsa, yeni bir moment bileşeni meydana gelecektir. Bu bileşen;

$$T_K = K.\theta_K \quad \text{N.m} \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada K, Nm/rad olarak dönüş sertliği (rotational stiffness) ve θ_K , kavramanın burulma açısıdır.

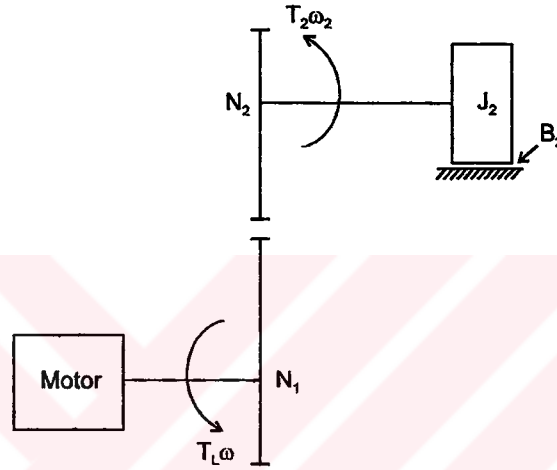
T_J sistemde kinetik enerji, T_K da potansiyel enerji depolar. Bu iki enerji stoğunun sonucu, T_B küçükse osilasyon olabilir. Bir mekanizma modellenirken, genellikle millerin tam sert dolayısıyla T_K 'nın ihmal edilebileceği varsayılır. T_K 'nın varlığı mekanik gürültüye veya titreşime neden olabileceği ve milin, sistem çalışmaya başladığında kırılabilceği anlamına gelmektedir

Elektrik makine analizlerinde oluşturulan moment ifadesi genellikle motorun dahili veya hava aralığı momentini olan T 'yi verir.

$$T = J \frac{d\omega}{dt} + B.\omega + T_w \quad (1.7)$$

Şimdiye kadar, motor kavraması ile mekanik yük arasındaki direkt tahrikin olduğu düşünüldü. Bundan başka, bir motorun bir aracı tahrik ettiği gibi, döner hareketten taşıma veya düzgün harekete çevrim gerekebilir.

İdeal dişliler için atalet ve sürtünme ihmal edilebilir. Bu haliyle ideal bir transformatöre benzer (Ündil, 1984). Bunun için, Şekil 1.4 'deki N_1 ve N_2 dişliler üzerindeki diş sayıları ise;



Şekil 1.4 Dişli tahriği

$$\omega = \frac{N_2}{N_1} \omega_2 \quad \text{rad/s.}, \quad T_L = \frac{N_1}{N_2} T_2 \quad \text{N.m} \quad (1.8)$$

Fakat,

$$T_2 = J_2 \frac{d\omega_2}{dt} + B_2 \cdot \omega_2 = J_2 \frac{N_1}{N_2} \frac{d\omega}{dt} + B_2 \frac{N_1}{N_2} \omega = \frac{N_2}{N_1} T_L \quad \text{N.m} \quad (1.9)$$

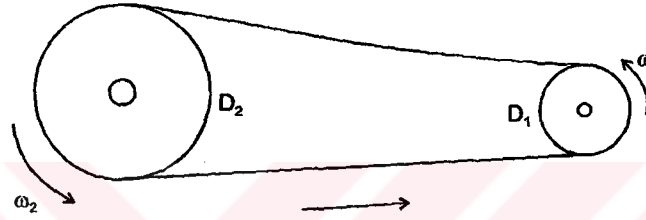
$$T_L = J_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \frac{d\omega}{dt} + B_2 \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 \omega = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega \quad (1.10)$$

Burada, J =Motor miline indirgenmiş J_2 'nin eşdeğeri

B =Motor miline indirgenmiş B_2 'nin eşdeğeri

Dişlilere alternatif olarak Şekil 1.5 'de kayış tahriği gösterilmiştir. D_1 , tahrik makarasının; D_2 , tahrik edilen makaranın çaplarıdır. Eğer kayma ihmal edilir veya dişli kayış kullanılırsa, (1.8), (1.9) ve (1.10) eşitlikleri, N_1 ve N_2 yerine D_1 ve D_2 konularak makara tahriğine uygulanabilir. Dişli tahriğine karşılık kayış tahriğinin dezavantajları: Kayma ve Kayışın elastikiyetinden dolayı osilasyon olma ihtimalinin bulunmasıdır.

Genellikle motorda, yük momenti T_L 'nin en önemli bileşeni, (1.4) ile tanımlanan, mekanik işte kullanılan T_w 'dir. Her bir tahrik tipi özel bir durumu vardır. Bu yüzden Şekil 1.2 'deki hız-moment diyagramı ile ilgili birkaç örneği incelemek uygun olacaktır.



Şekil 1.5 Kayışla tahrik

1.2.1 Sabit Güç Tahriği

Sabit hızda çalışan bir vantilatör doğal olarak sabit güç çekecektir. Bir hız alanı üzerinde sabit güç oluşturmanın uygun olduğu belirli durumlar vardır. Örnek olarak, demir-çelik şerit, plastik veya kağıt fabrikalarındaki Şekil 1.6 'de gösterilen "verici merdane" ler gösterilebilir.

Eğer uygun bir merdane oluşturulmuşsa, şerit gerginliği sabit olmalıdır ve şerit, merdaneye teğet bir f kuvveti ile ifade edilebilir. Bu yüzden :

$$T_w = f.r \quad \text{N.m} \quad (1.11)$$

Burada r merdanenin yarıçapıdır. Şerit merdaneden v m/s sabit hızıyla çıkar. Bu yüzden merdanenin bir turu $2\pi r/v$ saniye sürer ve dönüş hızı;

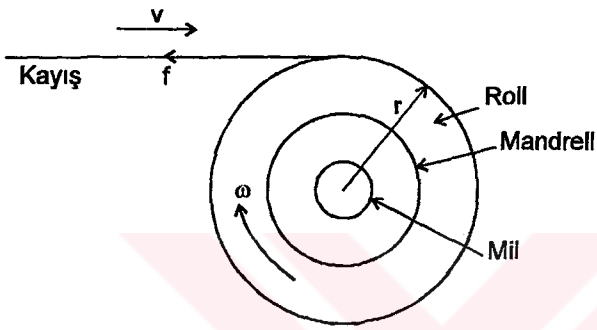
$$\omega = \frac{v}{r} \quad \text{rad/s} \quad \text{'dir.} \quad (1.12)$$

Tahrik ile çekilen güç:

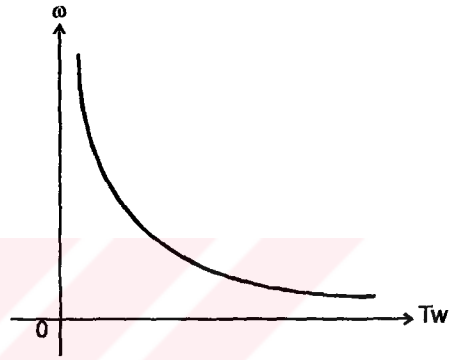
$$P = f \cdot v = T_w \cdot \omega \quad W \quad \text{'dır.} \quad (1.13)$$

f ve v sabit olduğundan güç de sabittir.

r artarken, T_w arttığından ω 'nin düşmesi gerekir. ω - T_w eğrisi bir hiperboldür (Şekil 1.7). Eğer şerit esnek ise merdanenin ataletinden dolayı osilasyon olması ihtimali vardır.



Şekil 1.6 Verici merdane



Şekil 1.7 Sabit güç eğrisi

1.2.2 Taşıma Tahriği

Dizel-Elektrik lokomotifleri ile çekilen bir yük treninden, küçük ticari dağıtım araçlarına kadar bir sıralama yapılırsa, taşıma tahriklerinin geniş bir alan işgal ettiği görülür. Bu alandan bazı örnekler :

- (a) Metro trenleri
 - (b) Tramvaylar
 - (c) Trolleybüsler
- dir.

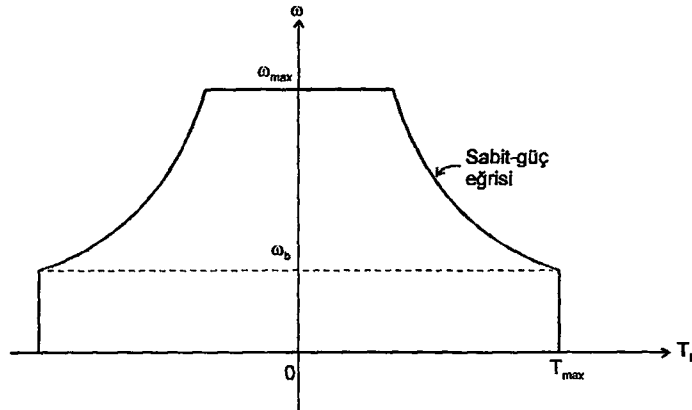
Bazı durumlarda tahrik için bir motor yeterlidir. Fakat genelde benzer motorlar yükü paylaşarak, aynı mil momenti ve hız şartları altında uyum içinde çalışırlar. Aşağıdaki inceleme, bir tek motor veya çok motorlu bir tahrik sistemindeki motorlardan biri gibi düşünülerek yapılmıştır.

Bir aracın yön değiştirmesi için durmaksızın ters yönde çalışmaya geçmesi asla düşünülemez. Ters yönde tahrik ve frenleme ileri yöndeki çalışmadan farklı bir şey değildir. Bir taşıma tahriğinin en önemli özelliği mekanik sistemin yüksek ataletidir. Bu atalet motor miline indirildiğinde motorunkinin 10 katı kadar büyük olabilir. Burada řu da belirtilmelidir ki: Bir endüstriyel tahrik mekanik sistemine tashih edilen atalet, motorlardakiyle aynı büyüklük mertebesindedir.

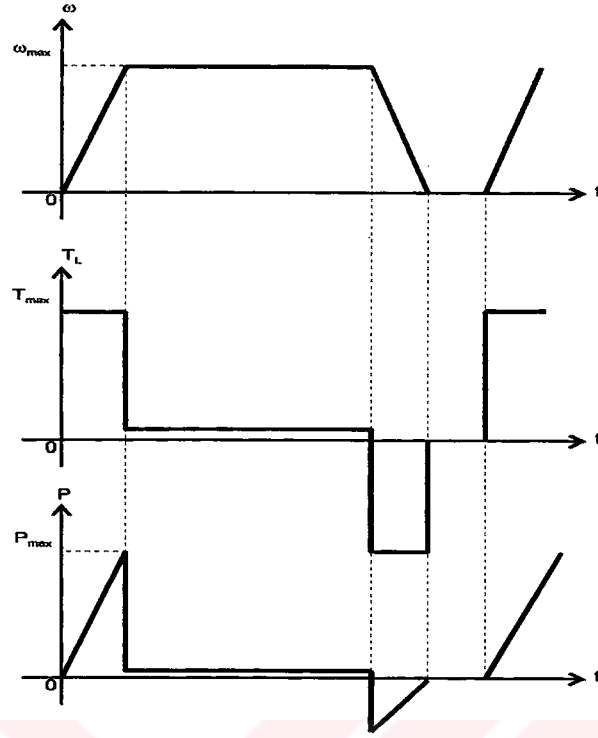
Eğer istasyondan istasyona süre minimum yapılırsa, sabit hız ile birlikte, maksimum pozitif ve negatif ivme gereklidir. Yolcu konforu için ivmenin mümkün olan büyüklüğü, sarsıntının boyutu veya ivmenin değişme hızı belirlenmelidir. İdeal bir taşıma tahriği için faydalı frenlemenin kullanıldığı ve sarsıntının ihmal edildiği durum göz önüne alınarak, motor hızı, yük momenti ve motor güç eğrileri Şekil 1.9 'de gösterilmiştir.

Şekil 1.8 'deki hız-moment sınır eğrisi, kaynak, çevirici ve motor sisteminin sınırlarını gösterir. Çünkü işin en önemli kısmı, hızlandırılacak olan bir araç için, gerekli hızlandırma momenti T_{max} 'ı oluşturabilecek bir motorun seçilmesidir. Temel hız ω_b , kaynak ve çeviricilerin motor girişlerine verebilecek olduğu maksimum güçteki bir sınır ile belirlenir. Motorun maksimum hızı aracın da maksimum hızını vermektedir (Oldenkamp ve Peak, 1985).

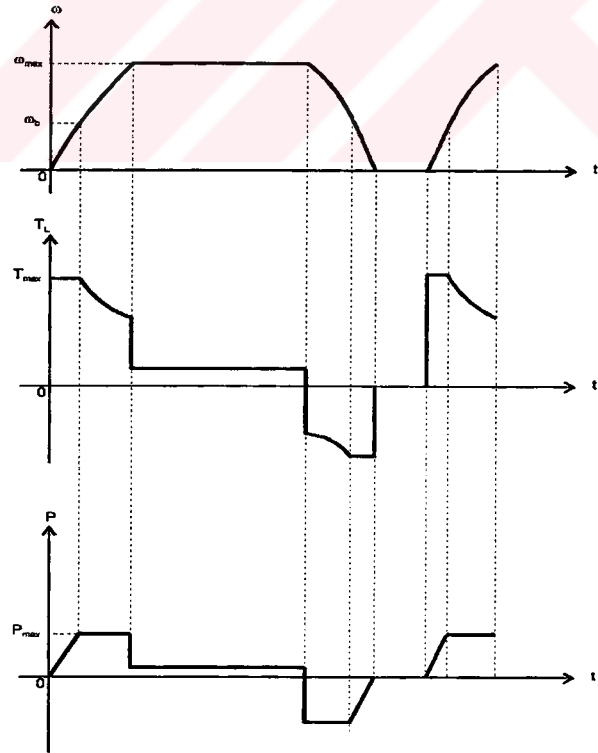
Çalışma periyodu üzerinde motora sağlanabilecek güç sınırlamasının etkisi Şekil 1.10 'da gösterilmiştir. Şekil 1.9 ile bir karşılaştırma yapılırsa, istasyonlar arası sürede çok küçük bir artış değerinde daha düşük maksimum kaynak gücünün kullanılabileceği görülür.



Şekil 1.8 Hız moment karakteristiklerinin sınır eğrileri



Şekil1.9 İdeal taşıma tahriği



Şekil 1.10 Sınırlı motor gücüyle taşıma tahriği

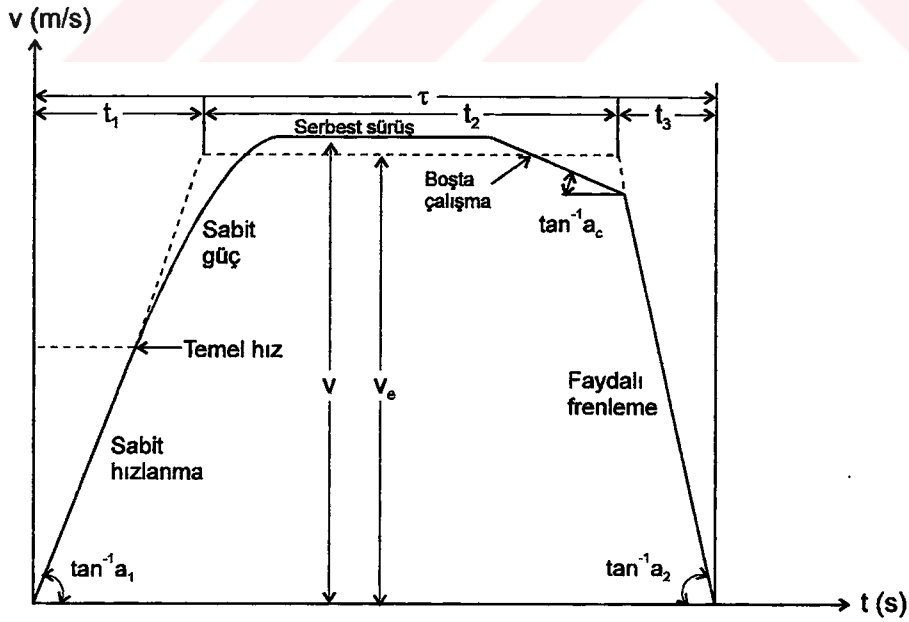
Şekil 1.11 'de modern bir hızlı taşıma sistemi için tipik bir hız-zaman eğrisi verilmiştir. Kısa istasyonlar arası çalışmalarda serbest çalışma meydana gelmez. Boşta çalışma periyodu istasyonlar arası zamanını (τ) ayarlamak için gereklidir. Fakat çok kısa çalışmalar için bu da olmayabilir. Çünkü tahrik sistemi hızlanma durumundan faydalı frenlemeye doğrudan geçebilecek şekilde düşünülmektedir. Hız-zaman eğrisi altındaki alan, alınan mesafeyi vermektedir (Garg, 1997).

Bazı yaklaşımlar yapılarak hız-zaman eğrisi altındaki alan kolayca bulunabilir ve verilen bir D mesafesi için ortalama hız,

$$v = \frac{D}{\tau} \quad \text{m/s} \quad (1.14)$$

dir. Trapez eğri için:

$$D = v_e \left(\frac{1}{2} t_1 + t_2 + \frac{1}{2} t_3 \right) = v_e \cdot \tau - \frac{1}{2} (v_e)^2 \left(\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right) \quad \text{m} \quad (1.15)$$



Şekil 1.11 Şehir metro treninin hız-zaman eğrisi

Eğer a_1 , a_2 ve v_e biliniyorsa, istasyonlar arası τ zamanı, her istasyon aralığı D için hesaplanabilir.

Bir tren için gerekli maksimum güç 10 MW kadar olabilir. Besleyicilerin, tali istasyonların ve güç istasyonlarının ekonomik olarak dizayn edilebilmesi için çalışma durumunda gerekli enerjinin doğru olarak tespit edilmesi gerekir.

Trenin işlemesi için sağlanan toplam enerji aşağıdaki şekillerde harcanır:

- a) trenin yatay olarak hızlandırılması
- b) döner parçaların hızlandırılması
- c) bir yokuşta, yerçekimine karşı bir iş yapmak (negatif olabilir.)
- d) hareket direncine karşı yapılan iş
- e) motorlardaki ve güç çeviricilerindeki kayıpların karşılanması.

Yüksek ortalama hızlarda yatay ray üzerinde kısa mesafe çalışma için, ivmelendirme için gerekli enerji, işletmede büyük pay teşkil eder. Bu ivmelendirme enerjisi büyük ölçüde kinetik enerjiye çevrilir ve faydalı frenleme esnasında kısmen geriye alınabilir.

Tren kütlesinin a (m/s^2) 'de ivmelenmesini sağlamak için gerekli olan motor kavramasındaki T_M momenti,

$$T_M = \frac{r.m.a.n}{n_1} \quad N.m \quad (1.16)$$

dir. Burada,

- r = tahrik tekerleğinin yarıçapı
 - m = kg olarak trenin kütlesi
 - n_1 = tahrik motorlarının sayısı
 - n = N_1/N_2 = dişli oranı
 - N_1 = motor dişli çarkındaki diş
 - N_2 = dingil mil dişli çarkındaki diş
- (n bir transformatörün sarım oranına benzer)

Tren hızlandırılırken tekerlekler, dingiller ve dişliler açısal bir ivme kazanırlar. Kendi payına düşen tekerlekleri ivmelendirmek için, gerekli olan motor kavramasındaki moment:

$$T_w = \frac{2 \cdot n_2 \cdot a \cdot n \cdot J_w}{n_1 \cdot r} \quad \text{N.m} \quad (1.17)$$

dir. Burada

n_2 = trendeki dingil sayısı

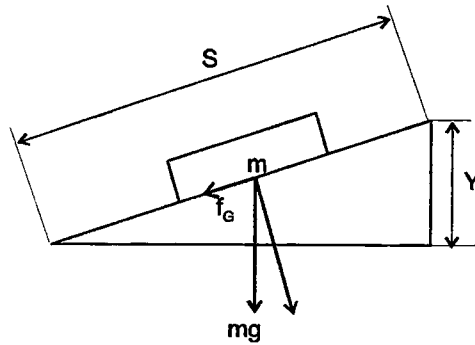
J_w = bir tekerleğin atalet momenti

Tren ve tekerleklerin kütleleri için bir karşılaştırma yapılırsa, dişliler ve dingillerin ivmelendirilmesi için gerekli olan moment ihmal edilebilir.

Eğer tren bir yokuş üzerinde ise eğim kuvveti, trenin yokuşu çıkması ve inmesine bağlı olarak pozitif veya negatif olabilen, motor kavrama momentinin başka bir bileşenini oluşturur. Şekil 1.12 'de eğim kuvvetinin ifade edilmesine ait yöntem gösterilmiştir. Eğer G eğimi:

$$G = \frac{Y}{S} \quad (1.18)$$

oranı ile ifade edilirse eğim kuvveti aşağıdaki gibi olacaktır:



Şekil 1.12 Eğim kuvvetinin belirlenmesi

$$f_G = G \cdot m \cdot g \quad \text{N} \quad (1.19)$$

ve her motor kavramasında buna karşılık gelen moment:

$$T_G = \frac{G.m.g.r}{n_1} \quad \text{N.m} \quad (1.20)$$

dir. G 'nin değeri ana-hat demiryolları için 0.01 ve tramvaylar için 0.06 kadar olabilir.

Tren direnci, yatay ve düzgün bir ray üzerinde sabit hızda çalışan trenin hareketine karşı koyan kuvvetlere denir. Motorlara sağlanan enerjinin bir kısmı dönen kısmın iç sürtünmesine, bir kısmı da tekerleklerle raylar arasındaki sürtünmeye harcanır. Geri kalan da hava direncine karşı harcanır.

Tren direnci karmaşık bir kuvvettir ve hızlandırma periyodu için tren kütesinin yaklaşık 20 N/ton tahmini değerinde olduğu kabul edilir. Çünkü bu periyot esnasında tren direncine karşı harcanan enerji, trenin hızlandırılması sırasındaki harcanan enerji ile karşılaştırılırsa küçük olacağı görülecektir (Dewan vd., 1984).

Motor kavramasına bir moment gibi etkiyen 20 N/ton 'un kuvveti:

$$T_R = \frac{20.r.m.n}{10^3.n_1} \quad \text{N.m} \quad (1.21)$$

dir. Bu yüzden, treni hızlandırmak için gerekli olan her bir motorun kavrama momenti.

$$T_L = T_M + T_W + T_R + T_G \quad \text{N.m} \quad (1.22)$$

dir.

Harekete karşı mekanik direnci ifade eden birçok ampirik (deneysel) formül literatürde mevcuttur ve eğer tüm çalışmalardaki hesaplamalar gerekli ise biri kullanılmalıdır. Bu formül özetlenecek olursa:

$$f_R = (a + bv).m + cv^2 \quad \text{N} \quad (1.23)$$

(1.23) eşitliğinin sağ tarafındaki ilk terim, tüm sürtünme çeşitlerini hesaplar, ikincisi de hava direncini ifade eder. Her bir motor için karşılık gelen kavrama momenti:

$$T_R = \frac{f_R . r . n}{n_1} \quad \text{N.m} \quad (1.24)$$

Motor tarafından oluşturulan iç moment, tren, tekerlekler ve dişlilerin yanı sıra motor endüvisini de ivmelendirir. Bir endüviyi ivmelendirmek için gerekli moment:

$$T_A = \frac{a \cdot J_A}{n \cdot r} \quad \text{N.m} \quad (1.25)$$

Bu yüzden hızlandırma veya yavaşlatma için motorun dahili veya hava aralığı moment, moment,

$$T = T_L + T_A \quad \text{N.m} \quad (1.26)$$

Burada motorun rüzgar ve iç sürtünme etkisinin treninkiyile karşılaştırıldığında ihmal edilebilir olduğu farzedilmiştir.

Motor endüvisindeki kinetik enerji stoğu, herhangi bir boşta çalışma periyodu esnasında treni tahrik etmek için elverişli de olabilir.

Hız-zaman eğrilerinin hesabı için, tüm döner kütlelerin etkisini ifade etmek gerekecektir. Bunlar, trenin gerçek kütlesi ile birleştirilirse hızlandırma kütlesi olarak bilinen hayali bir kütle elde edilir. Bu kütle:

$$m_{acc} = m + \left(\frac{2 \cdot n_2}{r^2} J_w + \frac{n_1 \cdot J_A}{n^2 \cdot r^2} \right) \quad \text{kg} \quad (1.27)$$

ile ifade edilebilir.

Herhangi bir anda motorlardaki toplam güç çıkışı:

$$P = n_1 \cdot T_L \cdot \omega_m \quad \text{W} \quad (1.28)$$

dır. Verilen bir periyot için motorların çıkış enerjisi, bu periyot için güç-zaman eğrisi altında kalan alandan bulunur.

Yaklaşık trapez hız-zaman eğrisine bağlı olarak yatay ray üzerinde bir çalışma için, sabit ivmeli periyotta; tüm motorların toplam çıkış enerjisi:

$$W_{a1} = n_1 \frac{T_{La1} \cdot \omega_{me} \cdot t_1}{2} \quad J \quad (1.29)$$

Burada ω_{me} çekme hızının yerini tutan motor hızıdır.

$$\omega_{me} = \frac{v_e}{n \cdot r} \quad \text{rad/s} \quad (1.30)$$

ve (1.15) eşitliğinden bulunur. (1.21) 'in türetildiği sabit-tren direnci kuvveti 20 N/ton 'u kullanarak, T_L momenti iyi bir yaklaşımla ifade edilebilir. Böylece;

$$T_{La1} = T_M + \frac{2 \cdot n_2}{n_1} T_W + \frac{20 \cdot r \cdot m \cdot n}{n_1} \quad \text{N.m} \quad (1.31)$$

Sabit hız periyodu için enerji çıkışı:

$$W_R = f_R \cdot v_e \cdot t_2 \quad J \quad (1.32)$$

Sabit yavaşlama periyodu için tüm motorlara toplam geri verilen enerji girişi:

$$W_{a2} = n_2 \frac{T_{La2} \cdot \omega_{me} \cdot t_3}{2} \quad J \quad (1.33)$$

dir. Burada;

$$T_{La2} = T_M + \frac{2 \cdot n_2}{n_1} T_W - \frac{20 \cdot r \cdot m \cdot n}{n_1} \quad \text{N.m} \quad (1.34)$$

dir. Tüm bu çalışmalar için tahrik sisteminin net enerji çıkışı:

$$W_{RUN} = W_{a1} + W_R - W_{a2} \quad J \quad (1.35)$$

Her ton-kilometre başına enerjideki çıkışın ifadesi:

$$\text{Spesifik enerji çıkışı} = \frac{W_{\text{RUN}}}{D_M} \quad \text{J/m.kg} \quad (1.36)$$

Bu büyüklük, farklı tarifelerde çalışan trenlerin dinamik performansları arasındaki karşılaştırmanın yapılabilmesinde temel teşkil eder.

Motorlara net enerji girişi, trenin enerji ihtiyacı olarak adlandırılır. Motor ve dönüştürücülerin verimleri de hesaba katılmalıdır. Eğer motor dönme kayıpları tren direncinin yanında ihmal edilebilirse; endüvinin hızlandırılmasında harcanan enerji, yavaşlama periyodu sırasında tekrar kazanılabilir ve enerji hesaplarına dahil edilmesi gerekmez.

BÖLÜM 2

HAFİF METRO SİSTEMİNİN TASARIM DEĞERLERİ VE BESLEME İSTASYONLARI HAKKINDA GENEL BİLGİ

2.1 Hafif Metro Sisteminin Tarihi Gelişimi

1986 yılında imzalanan sözleşmeden sonra, Asea Brown Boveri Consortium'u (İsveç) - Yapı Merkezi (Türkiye) tarafından, sistemin yapımına başlanmıştır. Metronun 1989'da, işletmeye giren Aksaray-Ferhatpaşa etabı 8.5 km uzunluğundadır (Gunnarsson ve Wahiberg, 1989).

Bu kısım, 7 istasyondan oluşmuştur. Bu istasyonlardan üçü yer altında tüneller içindedir. Asea Brown Boveri; metronun elektrifikasyon, sinyalizasyon, radyo, iletişim, uzaktan kumanda sistemlerini ve metro araçlarını yapmıştır. Yapı Merkezi ise tüm inşaat işlerini ve sistemin altyapısını üstlenmiştir.

Ferhatpaşa 'daki 60.000 m² alan üzerine kurulmuş olan atölye, araçların her türlü bakım ve onarımını yapacak ekipmanla donanmıştır. Bu alanın yanındaki açık garaj alanı 105 araç kapasitelidir. Metroda kullanılacak toplam araç sayısı 105 olup, bunların 70 'i MD vagonu dediğimiz sürücü kabini olan araçlardan, 35 'i de M vagonu dediğimiz sürücü kabini olmayan, araçlardan oluşmuştur. Araçlar, ikişerli MD-MD vagonlarının birbirine kuplajla bağlanmasıyla ya da MD-M-MD kombinasyonları şeklinde kullanılabilir.

Vagonlarda A ve B bölmeleri vardır. MD araçlarında sürücü kabini A kısmındadır. B kısmında da, kabinsiz sürücü ünitesi mevcuttur. M araçlarında, A-B kısımlarında da sürme ünitesi bulunmaktadır. Vagonlar her iki bölümden de sürülme imkanına sahiptir. Bir vagona üç bogi bulunur. Her bir bogi, iki akstan oluşmuştur. Birinci ve üçüncü bogiler, ikişerli ikişerli DC motorlarla tahrik edilir. Orta bogi dediğimiz, ikinci bogi motor içermez. Altı aksın herbirinin üzerinde, disk freni monte edilmiştir ve pinomatik olarak kontrol edilir (Kurtulan, 1992).

Bir vagona, 4 adet serbest uyarmalı DC motor bulunmaktadır. Armatür devresi; GTO

kıyıcı ünitesiyle, uyarma alanı ise, AC / DC doğrultucu ünitesiyle kontrol edilir.

Araçtaki sistemler, beslenmesini 750V 'luk DC katener geriliminden sağlar. Bu gerilim yardımcı güç ünitesi dediğimiz statik evirici ünitesiyle, 3x300V AC, 50Hz 'lik, besleme gerilimine çevrilerek, gerekli ünitelere besleme kaynağı sağlar.

2.2 Araçların Ana Boyutları ve Elektriki Değerleri

Araç Boyutları

Aracın boyu	23.5 m
Aracın genişliği	2.65 m
Aracın ray hizasından tavanına olan yüksekliği	3.36 m
Aracın ray hizasından düşük pantoğraf seviyesine olan yüksekliği	3.74 m
Yolcu zemininden tekerlek hizasına kadar olan mesafesi	920 mm
Aracın yolcu zemininden tavanına kadar olan mesafesi	2.10 m
Aracın kapı yüksekliği	2.0 m
Aracın kapı genişliği	1.4 m
Vagon başına kapı sayısı	2x4(8 adet)
Vagon başına pencere sayısı	2x6(12adet)
Öngörülen araç ömrü	30 yıl
Aracın ağırlığı	29 ton
Yüklü durumdaki araç ağırlığı	40.6 ton
Maksimum yükte araç ağırlığı	49.2 ton

Bogi Boyutları :

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

Yolcu Kapasitesi :

Oturan yolcu sayısı	48 kişi
Ayaktaki yolcu sayısı (yüklü/maksimum yüklü)	4/8 kişi/m ²
MD-araçlarında yüklü/maksimum yüklü yolcu sayısı	124/248 kişi
M-araçlarında yüklü/maksimum yüklü yolcu sayısı	132/264 kişi
Toplam oturan ve ayakta duran yolcu sayısı :	
MD-aracında	296 kişi
M-aracında	312 kişi

Katener enerjisi :

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

Tahrik Motoru verileri :

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

Aracın Ulaştığı Değerler :

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
--------------------------------	-----------------------

Ray seviyesinde harcanan enerji :

İvmelendirmede	3.86 kWh
Dinamik frenlemede	2.41 kWh

Kıyıcıdaki Enerji :

İvmelendirmedeki giriş enerjisi	4.78 kWh
Dinamik frenlemedeki çıkış enerjisi	1.96 kWh

Pantograftaki Enerji :

Harcanan enerji	5.21 kWh
Geri verilen enerji	1.71 kWh
Geri verilen enerji yüzdesi	% 32.78
İvmelendirme süresi	63.2 saniye
Frenleme süresi	19.9 saniye
Boşta çalışma süresi	20.0 saniye
Toplam süre	103.2 saniye
İvmelendirme mesafesi .	947 metre
Boşta çalışma mesafesi	439 metre
Frenleme mesafesi	222 metre
Toplam mesafe	1608 metre

2.3 Besleme Trafo İstasyonları Hakkında Genel Bilgi

Beş adet trafo merkezi, 34,5 kV 'luk besleme girişlerinden köprülenerek birbirine bağlanmıştır. Yani 34.5 kV 'luk enerjiyi, kesiciler vasıtasıyla, diğer istasyonlara aktarmak mümkündür (Power, 1989).

Trafo merkezlerinden dört adedi, katener enerjisini ve istasyon aydınlatması için gerekli

enerjiyi sağlar. Beşinci trafo merkezi, sadece workshop alanının aydınlatma ve yardımcı servislerinin elektrik enerjisini sağlamada kullanılır (380/220V).

Herbir trafo merkezinde, ikişer adet kuru tipli güç trafosu mevcuttur. Bu trafoların kullanımından sağlanan en büyük fayda, yangın tehlikesinin bulunduğu bölgelerde diğer trafolarla nazaran daha güvenilir olması, nem ve değişken çevre şartlarına karşı dayanımının oldukça yüksek olmasıdır.

Trafo merkezlerinin yerleri ve değerleri

AKSARAY	trafo merkezi :	34.5/2x0.6 kV	S=2.4 MVA
ULUBATLI	trafo merkezi :	34.5/2x0.6 kV	S=2.4 MVA
SAĞMALCILAR	trafo merkezi :	34.5/2x0.6 kV	S=2.4 MVA
OTOGAR	trafo merkezi :	34.5/2x0.6 kV	S=2.4 MVA
FERHATPAŞA	(merkez) :	34.5/0.4 kV	S=1250 kVA

Bunlara ilave olarak Ferhatpaşa trafo merkezi hariç, diğerlerinde birer adet yağlı tip yardımcı servis trafoları bulunmaktadır. Bu trafolar istasyonların, enerji sistemini beslemekte kullanılır. İstasyondaki yardımcı servis trafolarının değerleri :

AKSARAY trafo merkezindeki	:	500 kVA	34.5 / 0.4 kV
ULUBATLI trafo merkezindeki	:	315 kVA	34.5 / 0.4 kV
SAĞMALCILAR trafo merkezindeki	:	100 kVA	34.5 / 0.4 kV
OTOGAR trafo merkezindeki	:	315 kVA	34.5 / 0.4 kV

Bütün trafo merkezleri, TEK' ten enerji alabilecek şekilde düzenlenmiştir. Fakat yalnızca Ulubatlı ve Sağmalcılar istasyonları TEK'ten direk beslenirler.

2.4 Doğrultucu ünitesi

Burada kullanılan doğrultucu 12 darbeli paralel diyot doğrultucusudur ve üç kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlardan ikisi 6 şar darbeli diyot köprüsü içermektedir.

Merkezdeki kısım ise bir faz arası reaktör içermektedir. Bu reaktörün amacı 6 darbeli doğrultucunun çıkışındaki ani gerilim değişmelerine mani olmaktır. Bu kısımda aynı zamanda sigorta korunumuna sahip bir şönt ve doğru gerilim ve akım ölçen bir analog ölçü cihazı bulunmaktadır.

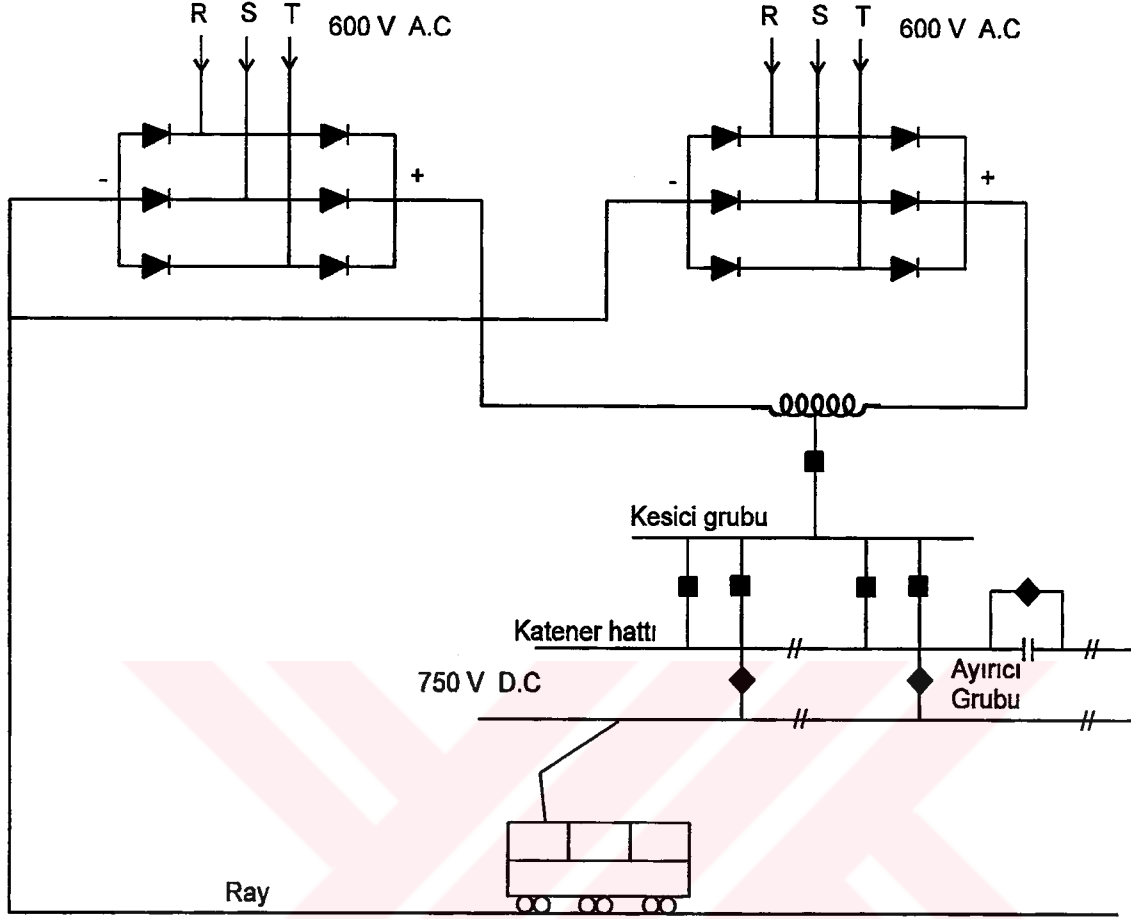
Doğrultucu, 6 darbeli köprü koruyucu sigortalara ihtiyacı olmayan DC baralardan meydana gelecek kısa devrelerden etkilenmeyecek şekilde dizayn edilmiştir .

Veriler:

Nominal doğru gerilim	750 V
Nominal doğru akım	2500 A
Kısa süre yükü	4200 A; 2 saat, 5600 A; 1 dakika
Standart	IEC Publ. 146
Diyot sayısı	12, YSD 45
Soğutma	Kendi kendine
Maksimum ortam sıcaklığı	+40 °C
Yalıtım	3.5 kV, 50 Hz, 1 dakika
Kısa devre	$I_{rms} = 20 \text{ kA}$, 0.2 s
Güç kaybı	7.4 kW, % 100 akımda
Ağırlık	1500 kg

Doğrultucunun anma değerleri, 2.4 MVA, 2x0.58 kV AC, 0.75 kV D.C 'dir. Bu doğrultucu ünitesinden, her trafo merkezinde, iki adet bulunmaktadır. Doğrultucu trafosu 6 darbeli doğrultuculara bağlı olan biri Y, diğeri Δ sekonder sarımlardan oluşur. Bu doğrultucunun dizaynı, sigorta ve DC ayırıcıların doğrultucu diyotlarını koruması için kullanıldığı sıradan sistemlerden daha üstündür ve daha az bakım gerektirir. Bu ünitelerin her biri 45 cm² 'lik diyotlardan oluşmuştur. Trafo istasyonlarındaki doğrultucu ünitesinin devresi Şekil 2.1 'de gösterilmiştir.

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



Şekil 2.1 Trafo istasyonlarındaki doğrultucu ünitesi

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

İstanbul ulaşım A.Ş tarafından kullanılan ayırıcılar ve kesiciler birbirlerine elektrik ve pinomatik olarak kilitlidirler, böylece ancak kesici açıldıktan sonra ayırıcıya açma veya kapama kumandası iletilebilmektedir.

Kesici olarak ta az yağlı kesiciler kullanılmaktadır. Bunların şalterlemeye hazır

olduklarını yağ gösterme düzeyinden anlamak mümkündür. Her kesmede yağın çok azda olsa bir kısmı ayrışmadan dolayı azaldığından, yağ düzeyinden kesicinin daha kaç şalterleme yapabileceğini anlamak mümkündür. Az yağlı kesicilerin olumsuz başka bir yanı da çok sayıda kısa devre arızası olan fiderlerde sık bakıma ihtiyaç göstermeleridir.

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

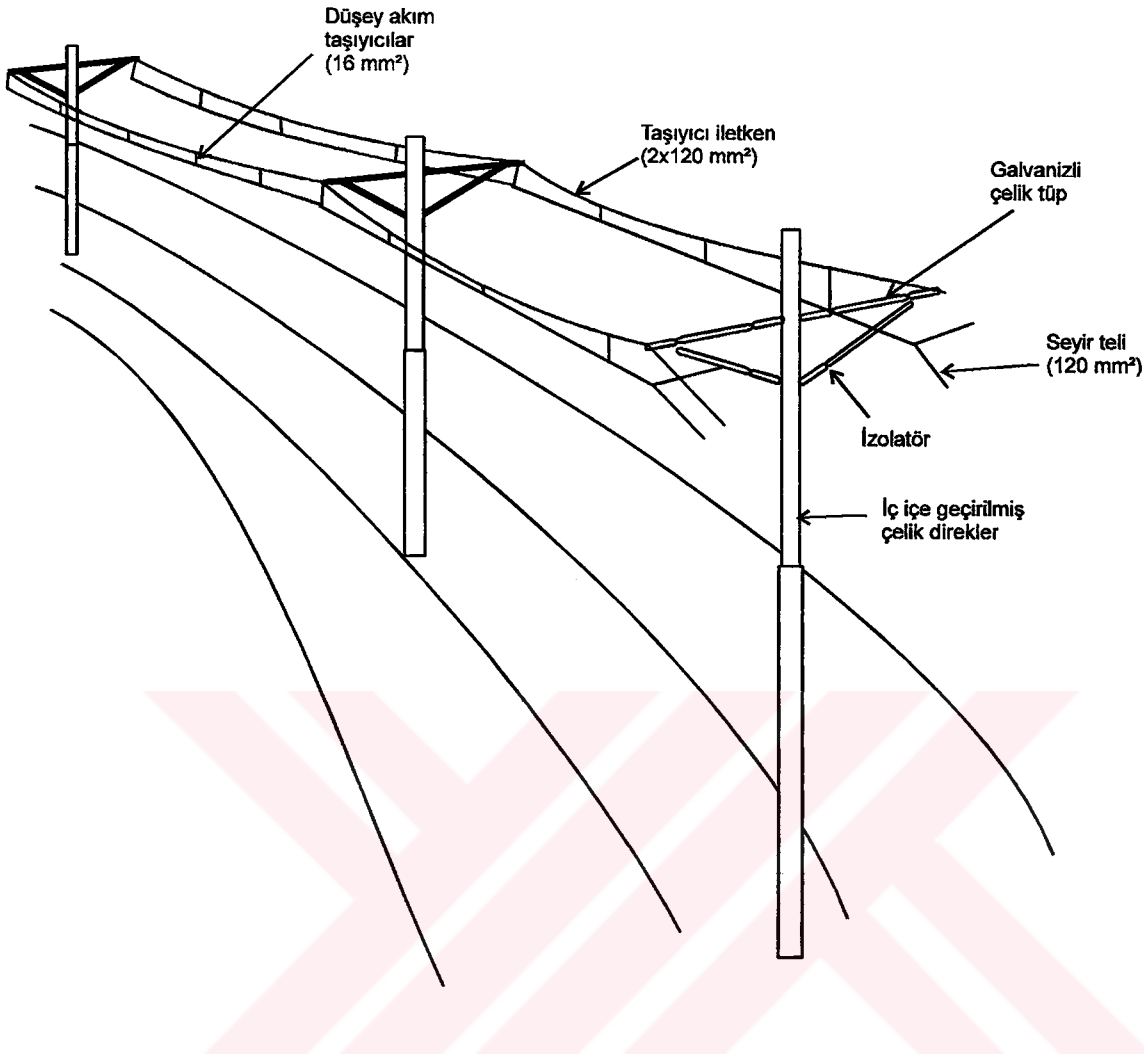
2.5 Katener

Elektrikleme için kullanılan bir sistemdir ve demiryolu üzerine asılmış bulunan bir temas hattı yol eksenini üzerinde hassas bir şekilde yatay olarak tutulan bir taşıyıcı kablo sisteminden teşekkül eder. Sistemde genelde şu kısımlar mevcuttur :

- a) Konsollar veya pandüller ihtiva eden, direkler vasıtasıyla taşınan esas taşıyıcı kablo olup, çelik-alüminyumdan yapılmıştır.
- b) Yardımcı taşıyıcı kablo denen bir kablo olup sabit düşey çubuklar vasıtası ile (pandüller) esas taşıyıcı kabloya asılmıştır ve alüminyum-çelikten yapılmıştır.
- c) Yardımcı kabloya asılan temas hattı, kompund katenerlerde, bilhassa büyük hızlarda, lokomotif ve otomotrislerin pantoğrafları ile iyi bir temas temin etmek ve ısınma tesirini yok etmek için çift yapılmıştır (Şenol, 1992).

Katener hattının genel boyutları:

3x120 mm² kesitli bakır iletkenlerden oluşan, iki taşıyıcı ve bir iletkenlerden oluşmuştur. Şekil 2.2 'de gösterilmiştir (Overhead, 1989). Yaklaşık her 1000-1200 m aralıkta, katener hattına dengeleme balans üniteleri yerleştirilmiştir. Bu üniteler vasıtasıyla, temas telinin gergi düzeni ayarlanmaktadır.



Şekil 2.2 Katener hattından bir kesit

Döşenen Katener Sistemi boyutları :

Taşıyıcı iletken bakır teli uzunluğu	40 km
Seyir teli uzunluğu	26 km
Kenar tip katener direği	220 adet (sadece tek hattı besler)
Orta tip katener direği	52 adet (iki hattı da besler)
Workshop alanındaki katener direkleri	191 adet

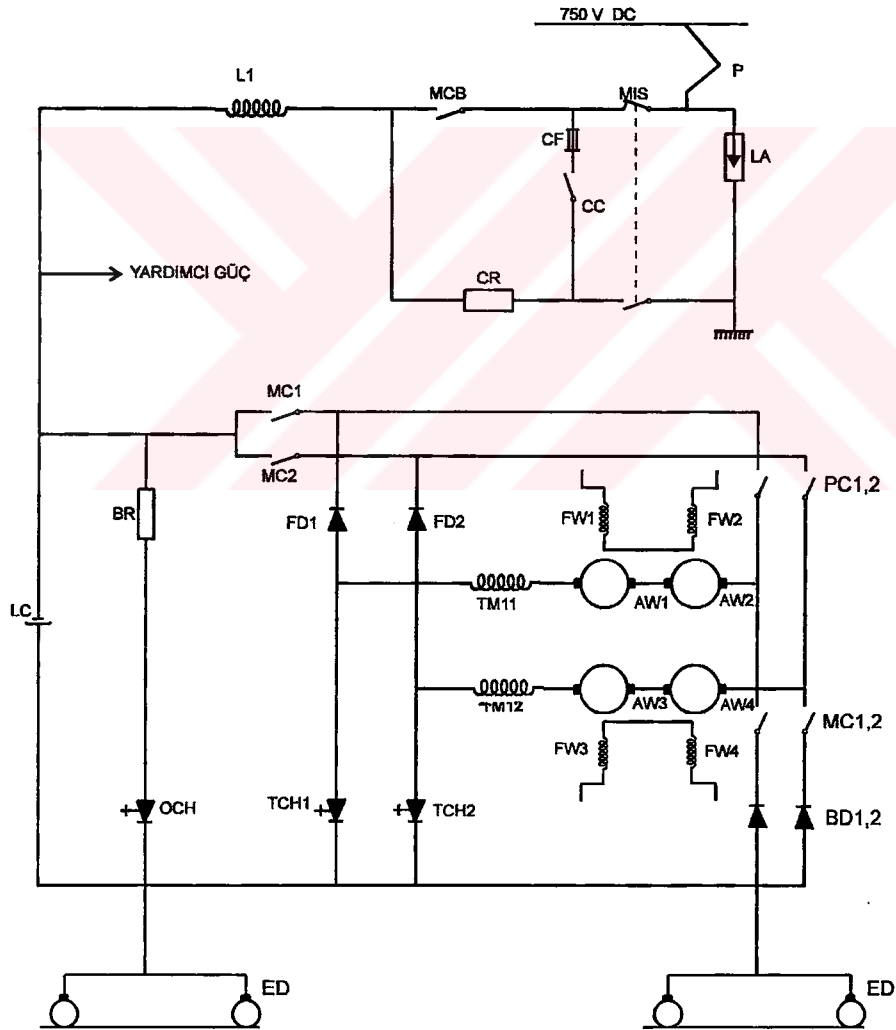
Tünel içinde boru tipli katener direkleri kullanılmıştır.

BÖLÜM 3

TAHRİK SİSTEMİNİN ANA DETAYLARI

3.1 Genel Kapsamı

Şekil 3.1 'de dört adet serbest uyarımalı DC motorun, kıyıcı üniteleriyle birlikte çalışma düzeni gösterilmiştir. İkişer adet, seri DC motordan oluşmuş, motor modüllerinin, nasıl düzenlendiğini ve pantoğrafla hat filtresinin devre ile bağlantısının nasıl sağlandığı gösterilmiştir (Friden, 1986).



Şekil 3.1 Ana devre şeması

Burada,

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

dır.

3.2 Pantograf

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

Verileri:

Nominal gerilim	:	750 V
Kontrol akımı	:	400 A
Maksimum akım	:	900 A
Maksimum hız	:	80 km/h
Nominal katenere yaptığı basınç	:	80 N
Ağırlığı	:	120 kg.

3.3 Ana İzolatör Sivici

Araç aktif hale alınmak istendiğinde, ana izolatör sivici, güç pozisyonuna getirilerek,

pantografla ana devre kesicisinin birbirine bağlanmasını sağlar.

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

3.4 Ana Devre Kesicisi

Ana devre kesicisi, araçtaki güç devresinin en önemli koruma düzenidir. Kesicinin en önemli özelliği, aşırı yüklenmelerde veya kısa devre sonucu oluşan aşırı akımlarda aracın güç sistemini besleme kaynağından ayırmasını mümkün kılmasıdır. Temel olarak siviç bir DC kontaktörden oluşmuştur. Arıza sebebiyle 5-9 ms mertebesinde açılma emrini alır. Açılma emri, akım seviyesinin belli bir seviyeye gelmesinden sonra verilir. Yeniden kesici kapanmadan, sürücü tarafından resetlenerek kesicinin kapanabilmesi sağlanır. Reset sinyali ana devre kesicisindeki bir reset bobini ile sağlanır.

Verileri :

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

3.5 Hat Filtresi

Kıyıcı ünitesi çalışmaya başladığı zaman, hat akımı DC akımdır. Fakat, değişik frekanslardaki alternatif akımlar, yani harmonikler, DC bileşen üzerine binerler. Bu harmonikler, kıyıcılar tarafından oluşturulmakla birlikte, katener gerilimi AC harmoniklerinden de etkilenirler. Bu AC harmoniklerin mümkün olduğu kadar azaltılması gerekir ve bu da hat endüktansını kullanmakla gerçekleştirilir. Eğer harmonikler, yeterince büyük olursa, haberleşme işaretlerinde parazitler meydana getirebilir .

Hat filtresi, bir endüktans bobini ile bir hat kapasitesinden oluşmaktadır. Hem ivmelendirme hem de elektrodinamik frenleme modunda aktif duruma getirilmektedir.

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

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

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

Veriler:

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

3.6 D.C Tahrik Motorları

Sistemdeki tahrik motorları, serbest uyarmalı DC motorlardan oluşmuştur Her bir araçta, dört adet DC motor bulunmaktadır. Bu dört adet DC 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. Bunların uyarma sargıları da seri olup, bir doğrultucu ünitesiyle uyarılır. İki motor modülü birbirinden bağımsız olup, bilgisayarla kontrol edilir.

DC Motorun değerleri :

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

3.7 DC Tahrik Motorunun Armatür Devresinin Kıyıcı Ünitesi

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

Kıyıcı hat gerilimi değişik periyotlarda kıyarak, motorun armatür devresine uygular. Bu darbeler motora uygulanmadan önce filtre edilir. Ana devre diyagramında, aracın iki kıyıcı ünitesiyle, dört adet DC tahrik motorunun nasıl beslendiği gösterilmiş (Şekil 3.1). Herbir kıyıcı ünite, bir GTO tristörü ve bir serbest geçiş diyodundan oluşmuştur.

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

Veriler:

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

3.8 D.C Motorunun Uyarma Alan Çevirici Ünitesi

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

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

Veriler:

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

3.9 Motor Modül Kontakları ve Motor Kontakları

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

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

Motor çalışma kontakları verileri :

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

Motor modül kontakları verileri :

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

3.10 Faz Endüktansı

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

Veriler:

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

3.11 Frenleme Direnci

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

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

Veriler:

Frenleme direnci	:	2x1,9 Ω
Ağırlığı	:	90 kg

3.12 Aşırı Akım Koruyucu Ünitesi

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

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

3. 13 Aşırı Gerilime Karşı Koruyucu Ünitesi

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

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

BÖLÜM 4

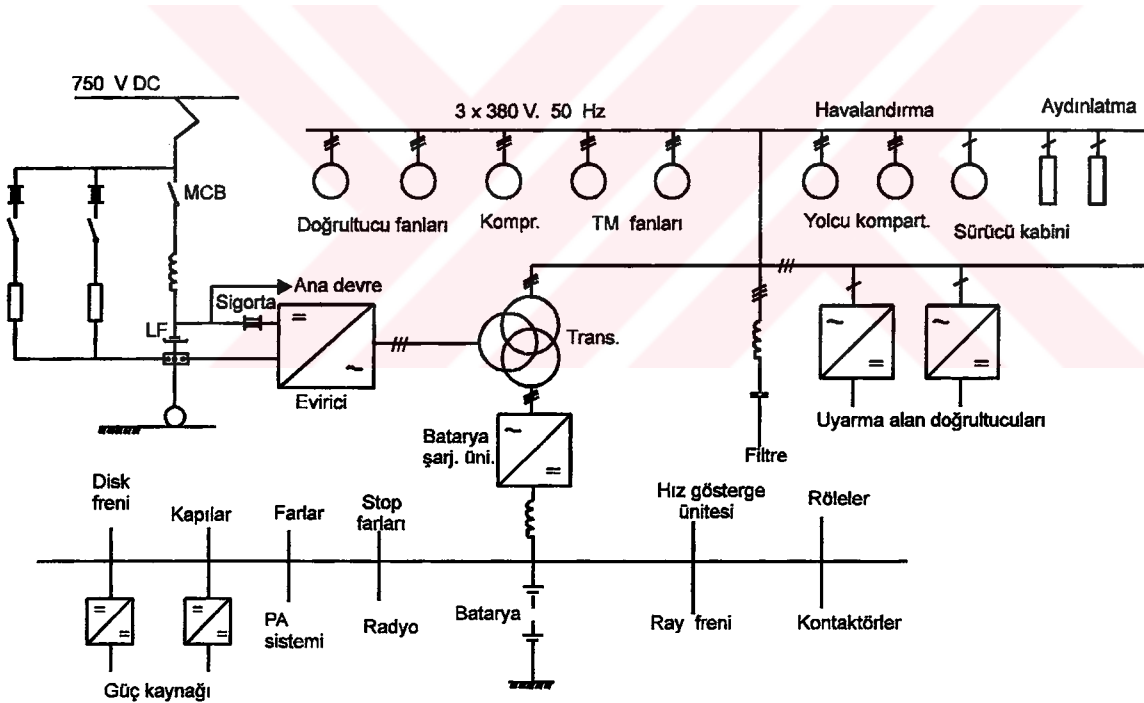
YARDIMCI GÜÇ SİSTEMİ

4.1 Yardımcı Güç Sisteminin Genel Devresi

Yardımcı güç sisteminin devresi Şekil 4.1 'de verilmiştir. Bu sistemin amacı, araçtaki güç ünitelerine besleme kaynağı sağlamaktır.

Bu kaynaklar:

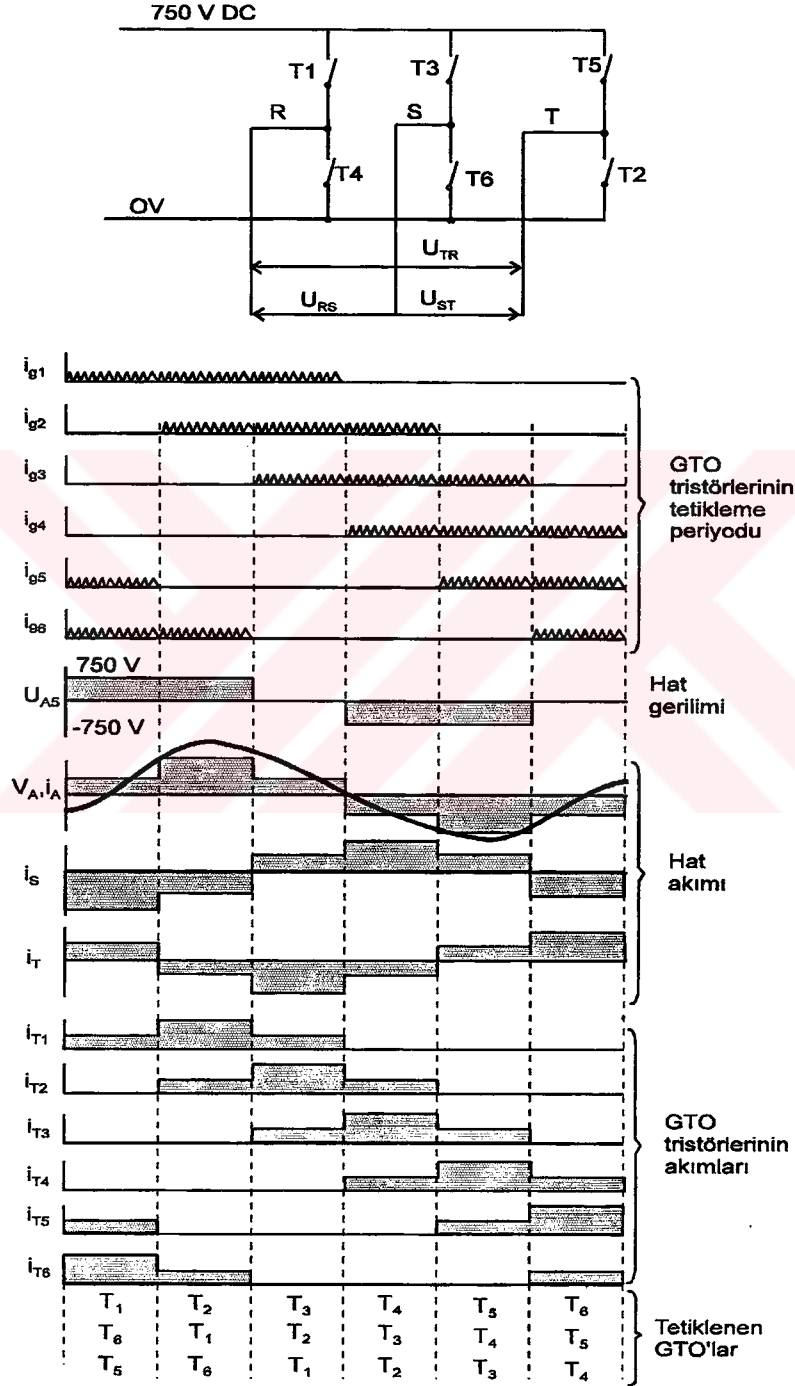
- 750 V DC
 - 3x380 V, 50 Hz AC
 - 24 V DC
- dir.



Şekil 4.1 Yardımcı güç sistemi devresi

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

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



Şekil 4.2 Üç fazlı evirici köprü devresi. 180°'lik tetikleme açılı

T₁, T₂ ve T₃ tristörlerine ait gerilim akım diyagramları.

Şekil 4.3 'te gösterildiği gibi eviricinin her fazında iki GTO tristörü vardır ve diyotlar bunlara paralel bağlanmıştır. Bu diyotlar, gücü hatta geri vermek için kullanılır. GTO 'ları geçici gerilim yükselmelerinden korumak için, sınıbbır devresi (kapasitör, diyot CS, DC) bağlanmıştır ve aynı zamanda sınıbbır devresi, gerilim seviye belirleyici olarak ta kullanılır (Bassett ve Chamund, 1989).

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

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

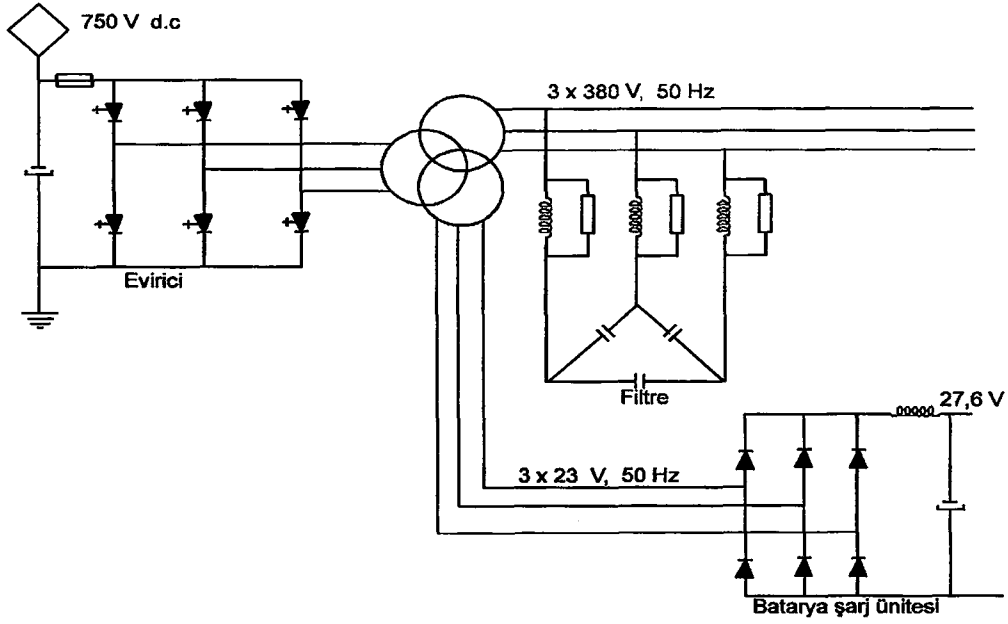
Burada,

RC	: Seviye kaydırıcı direnç	DS	: Sınıbbır diyodu
CC	: Seviye kaydırıcı kondansatör	CS	: Sınıbbır kondansatörü
DC	: Seviye kaydırıcı diyot	G	: GTO
D	: Diyot	DU	: Tetikleme ünitesi
OPT	: Yüksek gerilime karşı koruyucu tristör	L	: Bobin

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

Statik eviriciden alınan çıkış gerilimi 3x380V AC, 50 Hz 'dir. Bu üç fazlı AC gerilimi, yüke direk uygulanmaz. İlk önce, üç fazlı transformatörle dönüştürülür. Transformatörün iki sekonder sargısı vardır, bunlardan birinin çıkış gerilimi 3x380V, diğerinin gerilimi 3x23V 'dur.

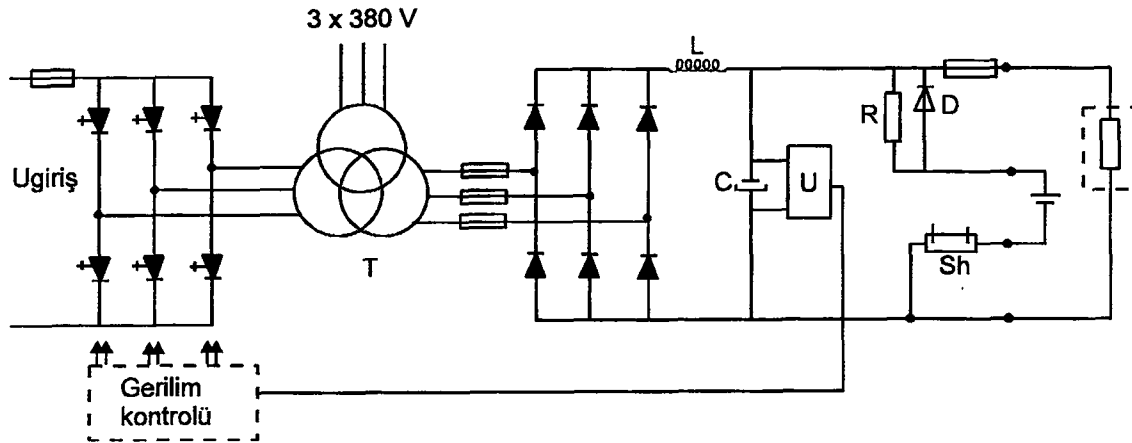
3x380 V 'luk çıkış terminalinde, bir tane çift kombineli filtre vardır. Birinci filtre eviriciden gelen yüksek frekanslı harmonikleri filtre etmek için kullanılır. İkincisi reaktif güç üretmek için kullanılır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 . Yardımcı güç sisteminin açık devresi

4.4 Batarya Şarj Ünitesi

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



Şekil 4.5 Batarya şarj ünitesi

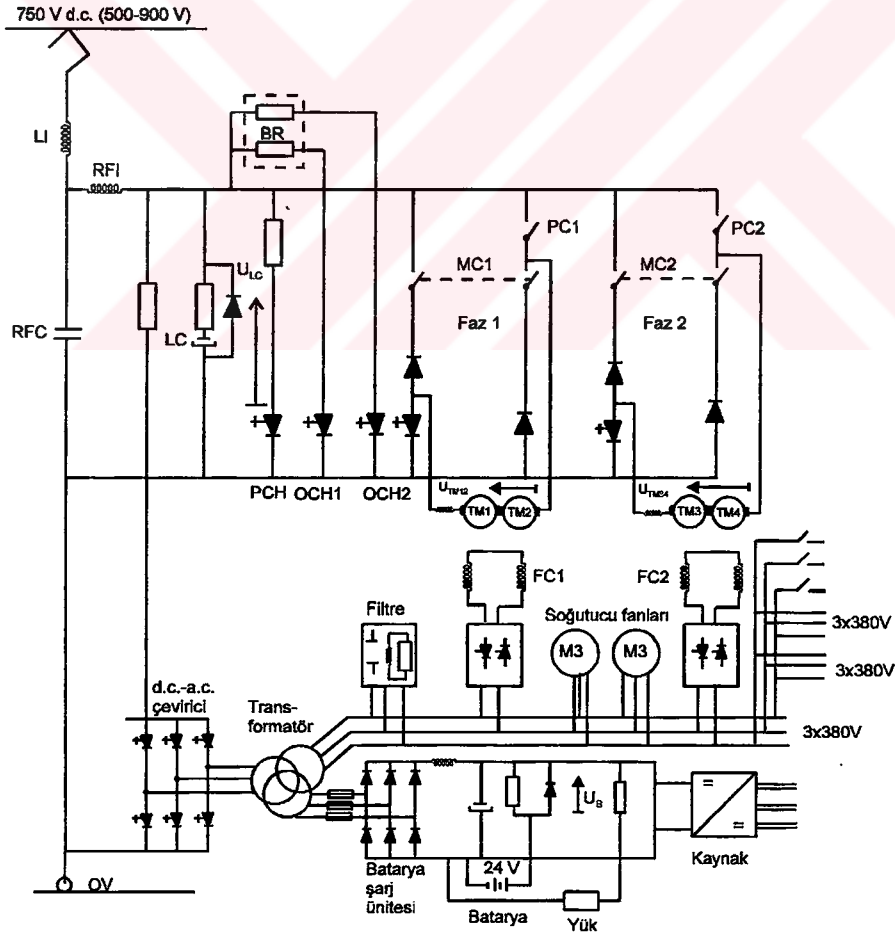
BÖLÜM 5

TAHRİK DONANIM DEVRESİ

5.1 Genel Kapsam

Aracın tahrik donanımı genel olarak aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır:

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



Şekil 5.1 Tahrik donanım devresi

Bu tahrik sisteminin ana kapsamı, dört adet birbirinden tam olarak bağımsız olan serbest uyarımalı DC motorlardan ve onlar için güç sağlayan ünitelerden oluşmuş olmasıdır. Şekil 5.1 'de gösterilmiştir.

Burada;

LI	: Hat endüktansı
RFI	: Radyo filtre endüktansı
LC	: Hat kapasitesi
BR	: Frenleme direnci
PCH	: Yüksek gerilim koruyucu kıyıcısı
OCH ₁ , OCH ₂	: Yüksek gerilim kıyıcısı
MC ₁ , MC ₂	: Modül kontakları
PC ₁ , PC ₂	: Motor kontakları
TM ₁ , TM ₂ , TM ₃ , TM ₄	: Tahrik motorları
FC ₁ , FC ₂	: Uyarma alanı doğrultucusu

dır.

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

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

5.2 Bilgisayar Kontrol Ünitesi

Araçlardaki bütün tahrik sistemi, frenleme sistemi güç sistemi mikro bilgisayar ünitesi tarafından kontrol edilmektedir. Sürücü, aracın ivmelendirilmesini ve frenlemesini, sürücü koluyla kontrol ederek, istediği ivmelendirmeyi yaptırabilir. İvmelendirme isteği elektriki sinyal olarak bilgisayara aktarılarak oradan, motor kontaktörlerine, kıyıcılara,

alan çeviricilerine ve mekanik frenlere iletilir. Durdurmayı sağlayacak sinyaller ise bilgisayardan gelen uyarılarla gerçekleştirilir.

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

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

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

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

Bilgisayarın yaptığı en önemli kontrol fonksiyonları şunlardır :

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

5.3 Hata Gösterme Sistemi

Bu sistemin amacı, araçta meydana gelen hataları bozuklukları sürücüye haber vermektir. Sistemin mikro bilgisayarı içinde entegre edilmiştir ve sürücü, kontrol paneline yerleştirilmiş bir gösterge yoluyla uyarılmaktadır.

Hata gösterme ekranı, MD ve M vagonlarının A bölümünde yer almaktadır.

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

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

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

5. 4 DC Motorların Çalışması

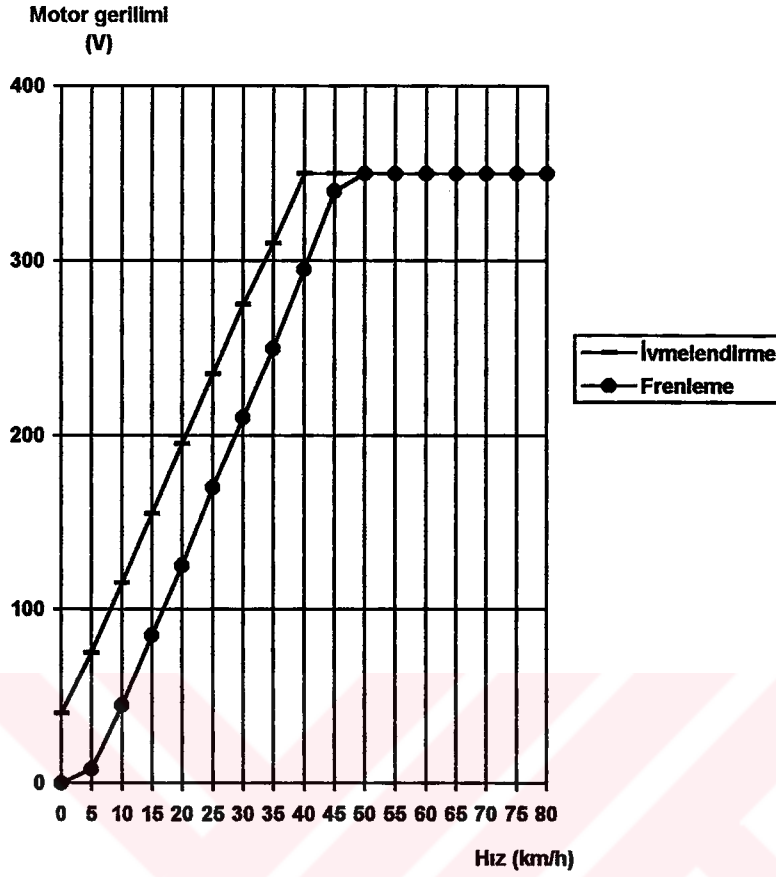
Motorun uyarma alan devreleri, sürücünün arzu ettiği hız seviyesine göre, bilgisayardan kontrol edilerek, istenilen maksimum akımla beslenir.

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

Hız arttığı zaman, motordaki gerilim hızla birlikte artar (Şekil 5.2). 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, hızın 80 km/h 'e erişmesi için magnetik alan akımı adım adım düzenli bir şekilde azaltılmaktadır.

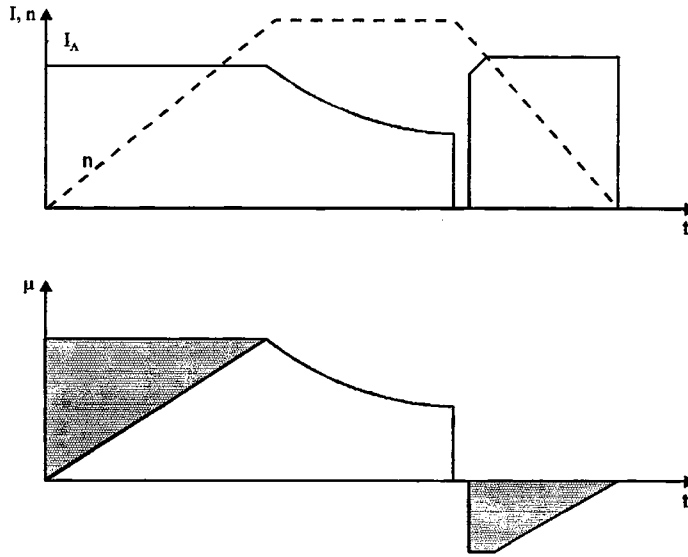


Şekil 5.2 Motor geriliminin ivmelendirme ve frenlemedeki hıza bağlı grafiği

5.5 Frenleme Modu

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 otomatikman devreye sokulur. Frenleme ünitesi, normal olarak, aracın durma konumuna erişinceye kadar devrede kalır. Dinamik frenleme, otomatik olarak bilgisayar tarafından uygulanır. 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 5.3).

Dinamik frenleme, aracın hızının 5- 10 km/h olması durumuna kadar etkili olur. Disk frenleri, bilgisayardaki disk fren kontrol ünitesi vasıtasıyla kontrol edilir. Disk fren



Şekil 5.3 Bir DA kıyıcısının, hızlanma-yavaşlama çevrimi boyunca olan güç kazancı (taralı alan).

kontrol ünitesi, elektropinomatik devreden oluşmaktadır. Bu devreler, fren silindirleri için kontrollü hava basıncı oluştururlar. Ancak bu olay elektriki sinyallerin magnetik valflere uygulanması ile oluşur.

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

5.6 Frenlemede Yeniden Üretilen Enerji

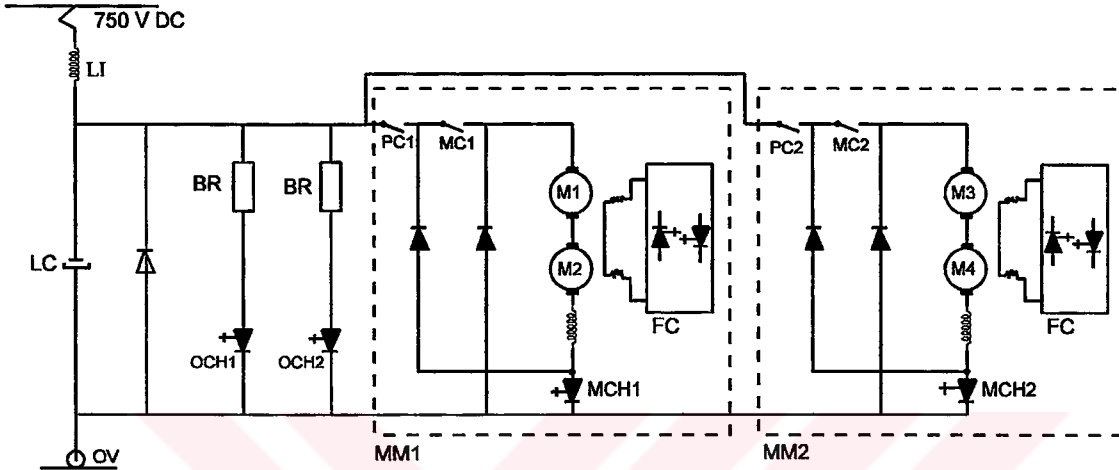
Elektrodinamik fren süresince, aracın kinetik enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür ve eğer hat enerjisi alabilecek kapasitedeyse hatta verilir. Eğer hat gerilimi alacak kapasitede değilse aşırı güç frenleme rezistörlerinde harcanır.

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

BÖLÜM 6

TAHRİK SİSTEMİNİN İÇERİĞİ

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



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

Burada;

MM ₁	: Motor modül I
MM ₂	: Motor modül II
OCH ₁	: Yüksek gerilim kıyıcı I. ünitesi
OCH ₂	: Yüksek gerilim kıyıcı II. ünitesi
MCH ₁	: MM ₁ 'in armatür devresini besleyen kıyıcı ünitesi
MCH ₂	: MM ₂ 'nin armatür devresini besleyen kıyıcı ünitesi
PC ₁ , PC ₂	: Motor kontakları
MC ₁ , MC ₂	: Modül kontakları
M ₁	: Tahrik motoru I
M ₂	: Tahrik motoru II
M ₃	: Tahrik motoru III
M ₄	: Tahrik motoru IV
FC	: Uyarma alanı çevirici ünitesi

BR : Fren rezistörleri
 LI : Hat endüktansı
 LC : Hat kapasitörü
 dir.

Tahrik sisteminin içerdği kısımlar:

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

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

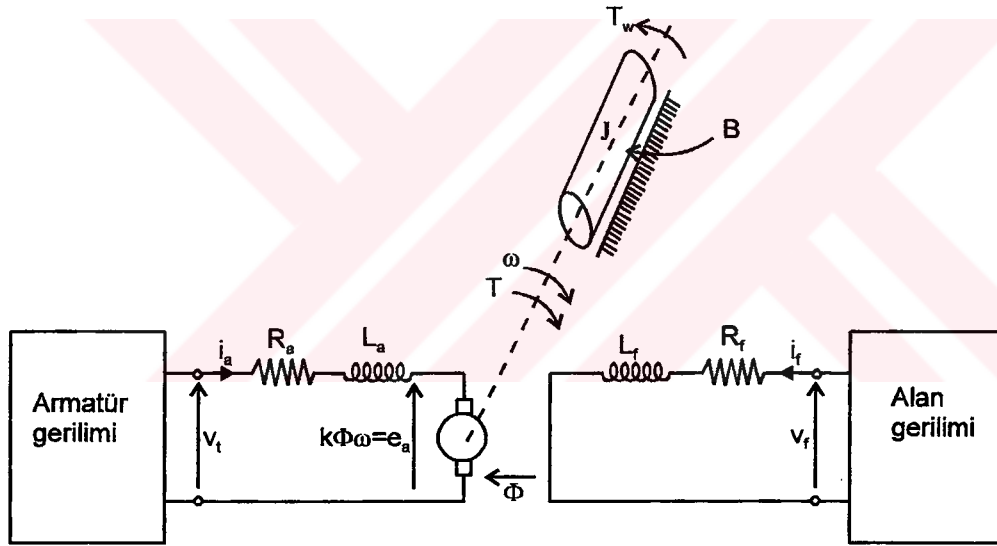
Elektriksel frenleme süresince motorlar, generatör olarak çalışarak hattı beslerler. Ancak hattın gerilim seviyesi yüksekse, yüksek gerilim kıyıcıları devreye girerek bu enerjiyi fren rezistörlerinde harcar.

6.1 Serbest Uyarımlı D.C Tahrik Motorlarının İncelenmesi

Bir sanayi kuruluşunda normal güç kaynağı 60 Hz (veya 50 Hz) alternatif akımdır. Asenkron ve senkron motorlar, aslında sabit-hız tahriği sağlayan klasik kontrol malzemelerinden oluşan bir kaynaktan beslenebilirler. Değişken hız tahriği elde etmenin bir yolu da AC gücünü DC 'ye çevirmektir. Böylece DC makinanın kolay kontrol edilebilme avantajı kullanılmış olacaktır. Eğer uygun potansiyel farkındaki bir DC güç kaynağı daha önceden mevcut ise DC motor bir DC 'den DC 'ye çevirici veya kıyıcı ile kontrol edilebilir ve bu yolla tahrik edilen bir DC makinadan değişken hız tahriği sağlanabilir. Elektrik taşıma sistemlerinde DC 'nin yaygın olmasından dolayı kıyıcılar bu alanda geniş bir uygulama alanı bulmuşlardır (Kasapoğlu, 1989).

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

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



Şekil 6.2 Serbest uyarmalı motor ve mekanik sistem modeli

Burada;

v_a :	Armatür gerilimi	J :	Motorun ve mekanik yükün toplam atalet momenti
i_a :	Armatür akımı	ω :	Dönme açısal frekansı
R_a :	Armatür direnci	T_w :	Mekanik moment
L_a :	Armatür endüktansı	T_L :	Elektrik moment
e_a :	Zıt elektromotor kuvveti		

v_f :	Uyarma alanı gerilimi	n :	Motorun devir sayısı
i_f :	Uyarma alan akımı	B :	Sürtünme katsayısı
Φ_f :	Alan akısı	R_f :	Uyarma alan sargısı direnci
k :	Motorun fiziksel özelliklerine bağlı bir sabit	L_f :	Uyarma alan sargısı endüktansı

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

6.1.1 Sistem Modeli

Şekil 6.2 Serbest uyarmalı motorun eşdeğer devresini ve genel bir mekanik sistemin modelini göstermektedir. Bu mekanik sistem, motorun ve ona bağlı mekanizmanın mekanik parametrelerini içermektedir.

Sistem analizi için lineer modeller daha uygun olmaktadır. Fakat DC makinanın modelinde, endüktans değerlerini de etkileyen lineer olmayan bir bağıntı vardır. Bu bağıntı alan akımı (i_f) ile kutup akısı (Φ) arasındadır (6.1).

$$e_a = k \cdot \Phi \cdot \omega = f(i_f) \Big|_{\omega=\Omega_{sc}} \quad V \quad (6.1)$$

Burada k bir sabittir. e_a endüvi sargılarında endüklenen e.m.k 'dır. (6.1) eşitliği, belirli Ω_{sc} hızları için $e_a=f(i_f)$ şeklinde ifade edilen makinanın doyma eğrisi genellikle motor imalatçısı tarafından verilir (Şekil 6.3). Burada histeresiz etkisi ihmal edilmiştir. Düşey eksen Φ değerleri olacak şekilde seçilir ve alan kaçak akısı ihmal edilirse, alan kutuplarındaki bilinen sarım sayısından alan akımının her bir amperi için dağılımından i_f 'in herhangi bir değeri için alan devre endüktansı (L_f) bulunabilir. Doyma eğrisinin

doğrusal kısmı için bu endüktans sabittir. Doğrusal kısım üzerinde bulunmayan bir nokta için endüktans eğrinin eğimi ile orantılıdır. Endüvi devresi endüktansı L_a , bir bakıma magnetik sistemin doyma derecesine de bağlıdır. Bu yüzden lineer bir motor modeli için alan akımının belirli bir değeri için her iki endüktans belirlenmelidir (Şanal, 1992).

Sistemin mekanik modelindeki parametreler ve çalışma momenti T_w , motor kavramasına uygulanmaktadır. Şekil 6.2 'deki tahrik edilen mekanizmasının ve motorun viskoz sürtünmesi için B 'nin, ataleti için J 'nin hesaplanması gerekir. Genellikle coulomb sürtünmesinin etkisi ihmal edilir veya gerekirse T_w 'ye dahil edilebilir.



Şekil 6.3 Motor doyma eğrisi

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

$$v_f = R_f \cdot i_f + L_f \frac{di_f}{dt} \quad V \quad (6.2)$$

$$v_t = k \cdot \Phi \cdot \omega + L_a \frac{di_a}{dt} + R_a \cdot i_a \quad V \quad (6.3)$$

$$T = k \cdot \Phi \cdot i_a = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_w \quad N.m \quad (6.4)$$

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

$$v_f = R_f i_f \quad V \quad (6.5)$$

$$v_t = k \Phi \omega + R_a i_a \quad V \quad (6.6)$$

$$T = k \Phi i_a = B \omega + T_w \quad \text{N.m} \quad (6.7)$$

6.1.2 Hız Kontrolü

Sürekli rejim çalışma için, (6.6) ve (6.7) eşitliklerinden,

$$\omega = \frac{v_t}{k \Phi} - \frac{R_a T}{(k \Phi)^2} = \frac{k \Phi v_t - R_a T_w}{(k \Phi)^2 + R_a B} \quad \text{rad/s} \quad (6.8)$$

$T_w = 0$ için, yüksüz durumdaki hız, Φ ve v_t değişkenlerinin değerleri yardımıyla bulunur. Eğer bu ikisi sabit ve T_w sıfırdan büyük bir değerde ise ω azalır. Bu yüzden sistem hız regülasyonuna sahiptir. Endüvi devresi direnci R_a küçüldükçe hız yük momentinden bağımsız hale gelmektedir.

(6.8) eşitliğinden, endüvi uçlarına uygulanan gerilim kontrol edilerek sürekli rejim hızının kontrol edilebileceği görülebilir. Φ , büyük olacak şekilde dizayn edilen makinalar için, eğer alan akımı maksimum değerine ayarlı ise, v_t 'nin sabit bir değeri için hız-moment arasındaki ilişkinin hız eksenini üzerinde küçük bir negatif eğime sahip olan bir doğru parçası şeklinde gösterilebileceği (6.8) eşitliğinden görülmektedir. Bu doğru parçası Şekil 6.4 'te v_{t1} ile işaretlenerek gösterilmiştir.

Motor ve mekanik sistemdeki sürtünme, rüzgar ve nüve kayıplarını karşılamak için gerekli olan momenti T_{loss} ile ifade edersek motorun iç momenti:

$$T = T_{\text{loss}} + T_w \quad \text{N.m} \quad (6.9)$$

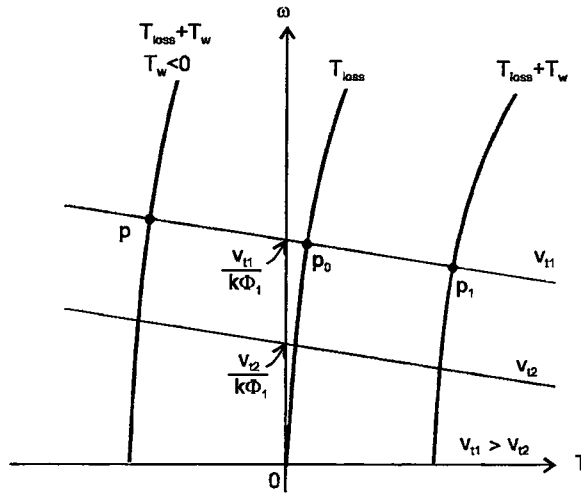
olur. Bu durumda T momenti ile hız arasındaki ilişki Şekil 6.4 'te $T_{\text{loss}} + T_w$ ile işaretlenmiş eğri yardımıyla gösterilebilir. Endüvi uç gerilimi v_{t1} değerinde iken sistem p_1

noktasında çalışır. Diğer yandan T_w kaldırılırsa, yüksüz çalışma noktası p_0 noktası elde edilir.

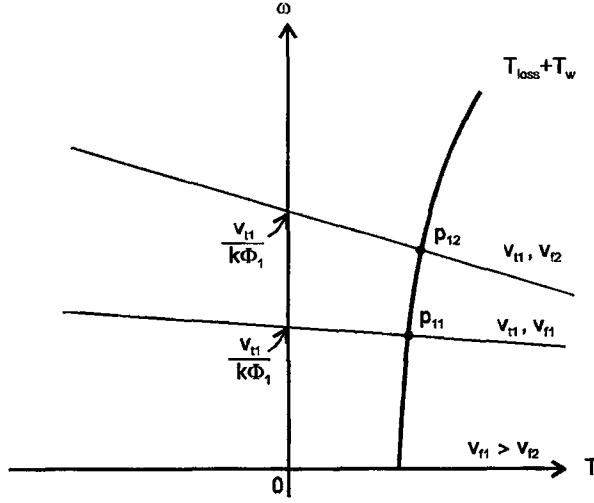
Eğer endüvi, kontrol edilebilir doğru gerilimli bir kaynaktan besleniyorsa hız, sıfırdan belirli bir değere kadar kontrol edilebilir. Bu değer, v_t 'nin motorun dizayn edilen maksimum gerilim değerine ulaştığındaki hız değeridir. v_t 'nin v_{t2} gibi sabit bir değeri için elde edilen karakteristik v_{t1} için elde edilene paralel olur.

Faydalı çalışma bir aracın yokuş inmesi esnasında elde edilir ve bu durum tahrik motorunun hızını artırıcı bir rol oynar. Bu durumda ω , doğrusal karakteristik boyunca artar ve (6.8) 'deki T_w negatif olur. Motor Şekil 6.4 'teki gibi p_2 noktasında çalışır. Motor çalışmadan faydalı fren çalışmaya geçiş esnasında, alan ve endüvi gerilimlerinin polariteleri değişir, aynı zamanda alan akımının yönü de değişir. Endüvi gerilimi ve buna bağlı olarak ta enerji akışı ters yöndedir.

v_t ve i_f nominal veya etiket değerlerine ayarlandığında motor yüklü ve nominal gücü üretiyorken, ω_r nominal hızında çalışmaktadır. Diğer taraftan v_t nominal değerlerine, i_f akımı da alan sargılarının taşıyabileceği maksimum değerine ayarlı iken motor ω_r 'nin biraz altında olan ω_b temel hızında çalışır.



Şekil 6.4 v_t 'nin değişimi ile hız kontrolü



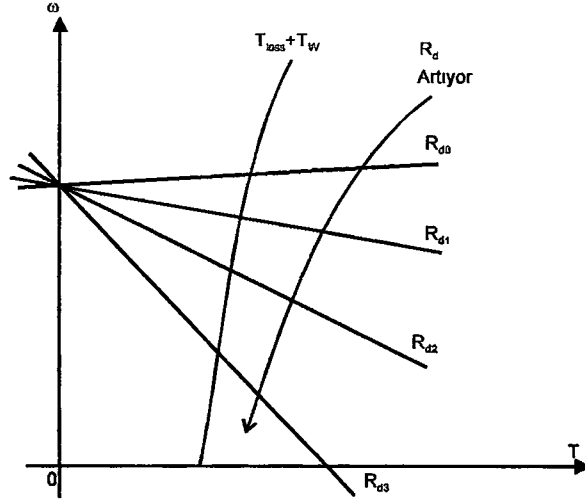
Şekil 6.5 Alan zayıflamasıyla hız kontrolü

Bu değerin üzerindeki hız artışı için alan zayıflatması yöntemi kullanılır. Bu, i_f dolayısıyla Φ 'nin nominal değerlerinin altına düşmesi anlamına gelir. Sonuçta nominal hızın üzerindeki hızlara ulaşılmış olur. Şekil 6.5 'de alan zayıflamasından sonuçlanan karakteristiğin ω ekseninde değeri yükseltilmiş bir kesişme noktasına ve artırılmış negatif eğime sahip olduğu gösterilmiştir.

Maksimum hız, motorun mekanik dizaynı ve zayıf alanda motorun stabil olmayan çalışmaya eğilimli olması ile sınırlanır. Hız kontrolü gereken yerlerde motorlar dizayn edilirken maksimum hız temel hızın 2-6 katı arasında olmasına dikkat edilmelidir.

Hız kontrolünün mümkün olan üçüncü bir metodu ise; sadece yüklü motor için geçerli olmak üzere, R_a endüvi devresi direncine R_d seri direnç ilave etmektir. Bu yöntem hız-moment bağıntısını değiştirir ve motora geniş bir alanda hız ayarı sağlar. Şekil 6.6 'da seri direncin etkisi gösterilmiştir. Fakat yöntem enerji israfı sebebiyle normalde serbest uyarmalı motorlarda kullanılmazlar. Hız kontrolünün motor durana kadar gerekli olmadığı başlama motorlarının normal metodudur ve sadece hız kontrolünün gerektiği sistemlerde kullanılabilir (Kurtulan, 1997).

v_t 'nin sıfırdan nominal değerine kadar kontrol edilebildiği bir sistemi göz önüne alalım: Eğer i_f izin verilen maksimum değerine ayarlanır ve R_a 'nın etkisi ihmal edilirse motor hızının kontrolü ω_b temel hızına kadar mümkündür. $0 < \omega < \omega_b$ hız kademesinin üzerinde



Şekil 6.6 Endüvi devresi direncinin değişimiyle hız kontrolü

endüvi akımı normalde nominal değerle sınırlandırılmalıdır. Bu yüzden oluşan momentte sınırlanır. Çünkü:

$$T = k \cdot \Phi \cdot i_a \quad \text{N.m} \quad (6.10)$$

Hava aralığı gücü aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$P = T \cdot \omega \quad \text{W} \quad (6.11)$$

Sabit momentte güç, $T = T_{\max}$ ve $\omega = \omega_b$ için maksimum bir değer ile birlikte ω 'nın lineer bir fonksiyonudur. Daha fazla hız artışı için alan zayıflatmasına ihtiyaç vardır. R_a 'nın etkisi ihmal edilirse sabit v_t için (6.8) eşitliğinden:

$$\omega \propto \frac{1}{\Phi} \quad \text{rad/s} \quad (6.12)$$

olduğu görülür. Alan zayıflatması yapılırken oluşan moment:

$$T = k \cdot \Phi \cdot i_a \propto \frac{1}{\omega} \quad \text{N.m} \quad (6.13)$$

$$P = T \cdot \omega = \text{sabit} \quad W \quad (6.14)$$

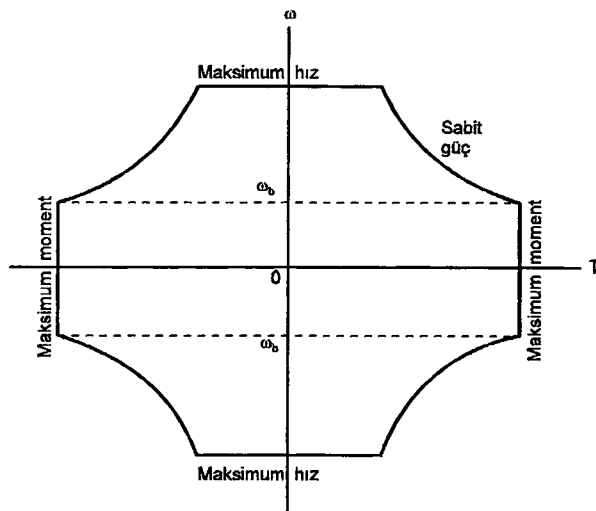
Serbest uyarmalı bir motorun dört-bölge çalışması için nominal akımda izin verilebilen hız-moment bağıntılarının sınır eğrisi Şekil 6.7 'da gösterilmiştir. Bu sınır eğrisi motor kayıpları ihmal edilmiş olduğundan idealdir. Pratik olarak sınırlar bu diyagramda gösterildiği gibi olmalıdır.

6.1.3 Motorun Nominal Değerleri

Motor, Şekil 6.7 'da dört bölgeyle sınırlandırılmış alan içindeki herhangi bir noktada sürekli olarak çalışabilir. Kısa süreler için bu sınırların dışında çalışması da mümkündür (Akkaya, 1988).

Maksimum hızla belirlenen sınır, endüvi reaksiyonundan dolayı dengesizlik ihtimali veya motorun mekanik dizaynı tarafından zorlanır. Eğer bu hız aşılsa, mekanik arıza veya motorun ambale olma tehlikesi vardır. Bu yüzden bu sınırın aşılması gerekir.

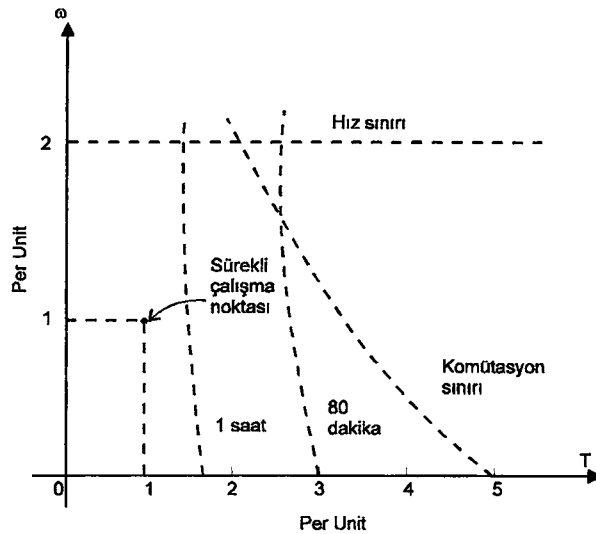
Moment sınırı, maksimum moment olarak işaretlenen düşey çizgiyle belirlenir ve sabit güç eğrisi, motorun izin verilebilen sürekli rejim akımı yardımıyla saptanır. Bu sınır kısa periyotlar için aşılabılır. Fakat bu durumda endüvi akımı nominal değerinden daha yüksek değerler alır. Bazı durumlar için bu tehlikeli olabilir.



Şekil 6.7 Sürekli moment ve hız sınırları

Yüksek endüvi akımı, yüksek direnç kayıpları ve yüksek değerde ısınmaya neden olur. Eğer yüksek akımlar devam ederse iletkenlerin sıcaklığı artar ve izolasyonlar, imal edildikleri sıcaklık değeri aşıldığı için bozulurlar. Büyük endüvi akımı kompanzasyon sargıları bulunmayan makinalarda, hava boşluğundaki akı yoğunluğu dağılımında ciddi distorsiyonlara neden olabilir ve magnetik sistemin belirli yerlerindeki yüksek akı yoğunlukları, motorun aşırı derecede ısınmasına neden olan ek nüve kayıplarına neden olur. Isısal sınırlamalar nedeniyle, aşırı momentte bir motorun ne kadar çalışabileceğinin veya motor için kısa sürede yükleme değerinin test edilmesi sık sık yapılan bir uygulamadır.

Kısa zamanlı etiketli bir motor, eğer devamlı çalışması gerekli ise daha büyük makinayı gerektirir. Örneğin yarım saat zamanlı makina daha önce aynı periyot için durmuş veya yüksüz çalıştırılmamış olma şartıyla nominal değerde yarım saat çalışabilir. Kısa zamanlı bir makina asla sürekli çalışma sıcaklığına erişemez. Birde makinada kollektörden dolayı akımın da sınırlandırılması gerekir. Komütasyon olayı oldukça karmaşıktır. Aşırı akımın önemli etkilerinden biri de kollektör üzerinde ki lameller arasında yüksek gerilim oluşturmastır. Bu ise akı yoğunluğu dağılımı distorsiyonuna ve endüvi akımının yüksek oranda değişimine neden olur. Her iki etkide hıza bağlıdır, öyle ki makina düşük hızlarda daha büyük akımları yön değiştirebilir. Şekil 6.8 'de yukarıda tanımlanan faktörlerden dolayı motorun çalışma sınırlarının nasıl değişeceği gösterilmiştir.



Şekil 6.8 Motor nominal değerleri

6.1.4 Motor Mekanizması Dinamiği

Eğer serbest uyarmalı bir motor sabit alan akımında çalıştırılırsa, motor ve tahrik edilen mekanizma lineer bir sistem gibi düşünülebilir. Bu durumda sistem denklemleri:

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} \quad A \quad (6.15)$$

$$\Phi = f(I_f) = \text{sabit} \quad \text{Wb} \quad (6.16)$$

$$v_t = k \cdot \Phi \cdot \omega + L_a \frac{di_a}{dt} + R_a \cdot i_a \quad V \quad (6.17)$$

$$T = k \cdot \Phi \cdot i_a = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_w \quad \text{N.m} \quad (6.18)$$

olur. Sistemin sürekli rejim çalışması ile, v_t ve T_w ikazlarından birindeki küçük bir değişimin neden olduğu geçici çalışmayı birleştirmek için süperpozisyon metodu kullanılabilir.

Geçici davranışlar, sistem denklemlerinde ilk şartları sıfır kabul ederek analiz edilebilir.

Böylece (6.17) ve (6.18) 'den v_t ve T 'nin Laplace transformları:

$$V_t(s) = k \cdot \Phi \cdot \Omega(s) + s \cdot L_a \cdot I_a(s) + R_a \cdot I_a(s) \quad (6.19)$$

$$T(s) = k \cdot \Phi \cdot I_a(s) = s \cdot J \cdot \Omega(s) + B \cdot \Omega(s) + T_w(s) \quad (6.20)$$

(6.19) eşitliğinden:

$$I_a(s) = \frac{V_t(s) - k \cdot \Phi \cdot \Omega(s)}{s \cdot L_a + R_a} = [V_t(s) - k \cdot \Phi \cdot \Omega(s)] \cdot \frac{1}{R_a(s \cdot \tau_a + 1)} \quad (6.21)$$

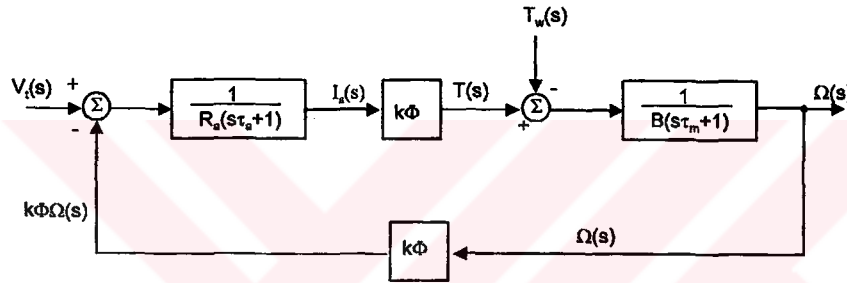
$$\text{Burada endüvi devresi zaman sabiti:} \quad \tau_a = \frac{L_a}{R_a} s \quad (6.22)$$

'dir. (6.20) 'den:

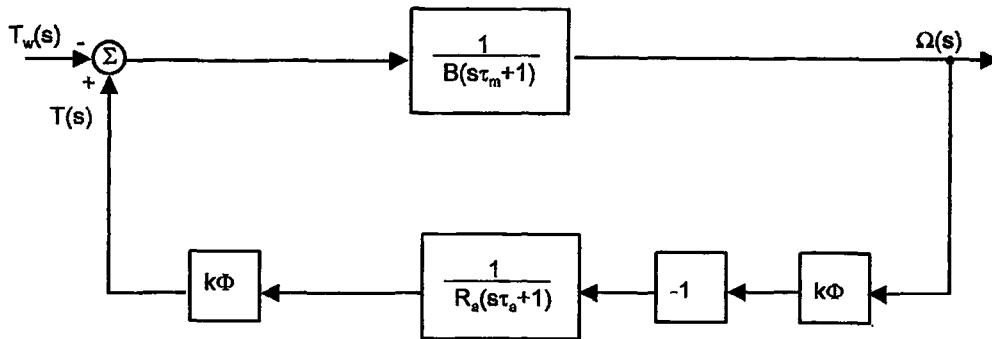
$$\Omega(s) = \frac{T(s) - T_w(s)}{sJ + B} = [T(s) - T_w(s)] \cdot \frac{1}{B(s\tau_m + 1)} \quad (6.23)$$

Burada motor ve mekanizmanın mekanik zaman sabiti: $\tau_m = \frac{J}{B}s$ (6.24)

dir. Şekil 6.9 'daki blok diyagramı (6.21) ve (6.23) 'den çizilebilir. Bu şeklin gösterdiği sistemin $V_t(s)$ ve $T_w(s)$ gibi iki ikazı vardır. Bu iki ikaza ayrı cevaplar bulunabilir ve süperpozisyon yardımıyla verilen sürekli rejim çalışma şartları ile birleştirilebilir.



Şekil 6.9 Motor mekanizması blok diyagramı



Şekil 6.10 $T_w(s)$ 'in değişimine cevap

T_w momentindeki bir değişme cevap, V_t yerine sıfır konarak bulunabilir. Bu durumda Şekil 6.10 'daki blok diyagram Şekil 6.9 'dan çizilebilir. Şekil 6.10 'dan:

$$\frac{\Omega(s)}{-T_w(s)} = \frac{(1/B) \cdot (s\tau_s + 1)}{(s\tau_s + 1) \cdot (s\tau_m + 1) + \frac{(k \cdot \Phi)^2}{R_s \cdot B}} = \frac{K \cdot (s\tau_s + 1)}{(s\tau_1 + 1) \cdot (s\tau_2 + 1)} \quad (6.25)$$

(6.25) eşitliğinde K D.C kazançtır. τ_1 ve τ_2 gerçel veya kompleks konjuge büyüklükler olabilir. Kompleks-konjuge olması durumunda T_w 'daki değişikliğe cevap salınımlı olur.

V_t 'deki değişikliğe cevap T_w yerine sıfır konarak bulunur. Şekil 6.9 'dan:

$$\frac{\Omega(s)}{V_t(s)} = \frac{k \cdot \Phi / R_s \cdot B}{s^2(\tau_s \cdot \tau_m) + s(\tau_s + \tau_m) + 1 + \frac{(k \cdot \Phi)^2}{R_s \cdot B}} \quad (6.26)$$

$$\text{Genellikle } \frac{(k \cdot \Phi)^2}{R_s \cdot B} \gg 1 \quad (6.27)$$

$$\frac{\Omega(s)}{V_t(s)} = \frac{1}{(k \cdot \Phi) \cdot (s\tau_1 + 1)(s\tau_2 + 1)} \quad (6.28)$$

Burada da τ_1 ve τ_2 kompleks konjuge olabilir ve (6.28) eşitliği aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$\frac{\Omega(s)}{V_t(s)} = \frac{1/k \cdot \Phi}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2 \cdot \xi \cdot s}{(\omega_n + 1)}} \quad (6.29)$$

(6.29) eşitliğinde, (6.27) eşitsizliğinin geçerli olduğu farzedilirse:

$$\omega_n^2 = \frac{(k.\Phi)^2}{\tau_a.\tau_m.R_a.B} = \frac{(k.\Phi)^2}{L_a.J} \quad (6.30)$$

$$\xi = \frac{(\tau_a + \tau_m) \cdot R_a \cdot B \cdot \omega_n}{2 \cdot (k.\Phi)^2} = \frac{L_a \cdot B + J \cdot R_a}{2 \cdot k \cdot \Phi \cdot \sqrt{L_a \cdot J}} \quad (6.31)$$

Birçok motor için $\tau_a \ll \tau_m$ 'dır. Bu durumda daha önce belirtilen analizler $L_a=0$ tahmininden bulunabilir ve

$$v_t = k.\Phi.\omega + R_a.I_a \quad (6.32)$$

Bu yaklaşım bir transfer fonksiyonu verir:

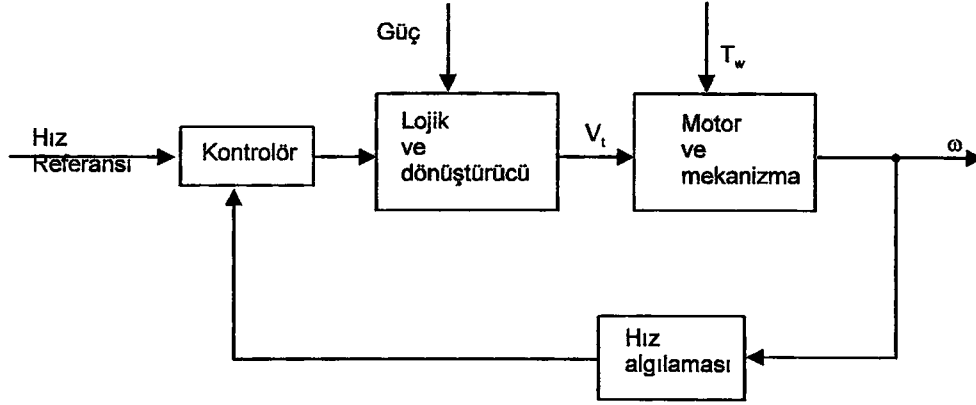
$$\frac{\Omega(s)}{V_t(s)} = \frac{1}{k.\Phi.(s\tau + 1)} \quad (6.33)$$

Burada;

$$T = \frac{R_a \cdot J}{(k.\Phi)^2} s \quad (6.34)$$

Tam bir hız kontrol sistemi için motor ve mekanizmanın transfer fonksiyonu blok diyagramı şeklinde ifade edilebilir (Şekil 6.11).

Bu analiz alan akımı değişiminin sonucu ile ilgili değildir. Φ ve i_f arasındaki ilişkinin lineer olmayışından dolayı adapte edilebilir bir kontrolör ile düzeltilmesi gereken lineer olmayan bir sistem meydana getirir .



Şekil 6.11 Komple tahrik sistemi için blok diyagramı

6.2 Motor Kıyıcılarının İncelenmesi

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

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

Eğer yükümüz saf endüktif L ise, Şekil 6.12a 'da devre şeması, b ve c 'de gerilim, akım diyagramları hıza bağlı olarak verilmiştir.

Burada;

$$\text{Periyot} : T = T_1 + T_2 \quad (6.35)$$

$$\text{Frekans} : f = \frac{1}{T} \quad (6.36)$$

Kontağın kapalı olduğu süre : T_1

Kontağın açık olduğu süre : T_2

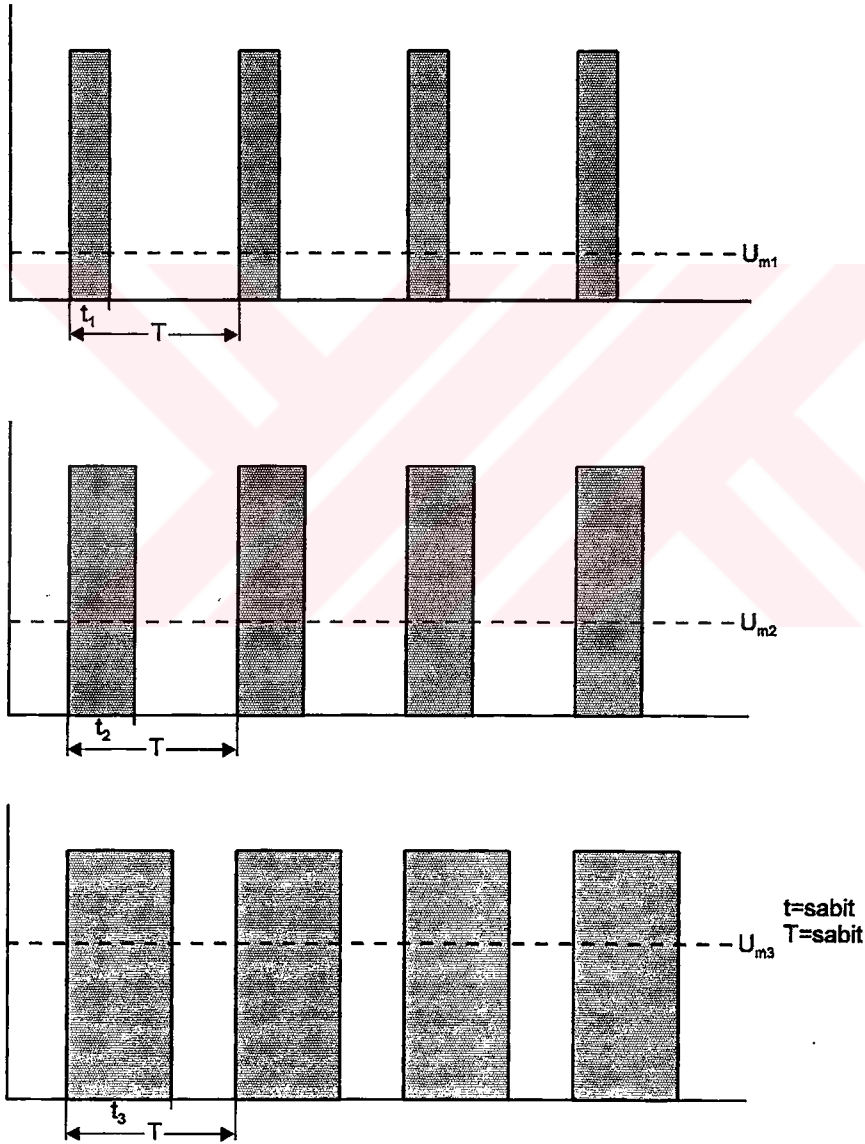
dir.

Frekansı veya T_1 (darbe süresini) değiştirerek ortalama gerilim ayarlanır.

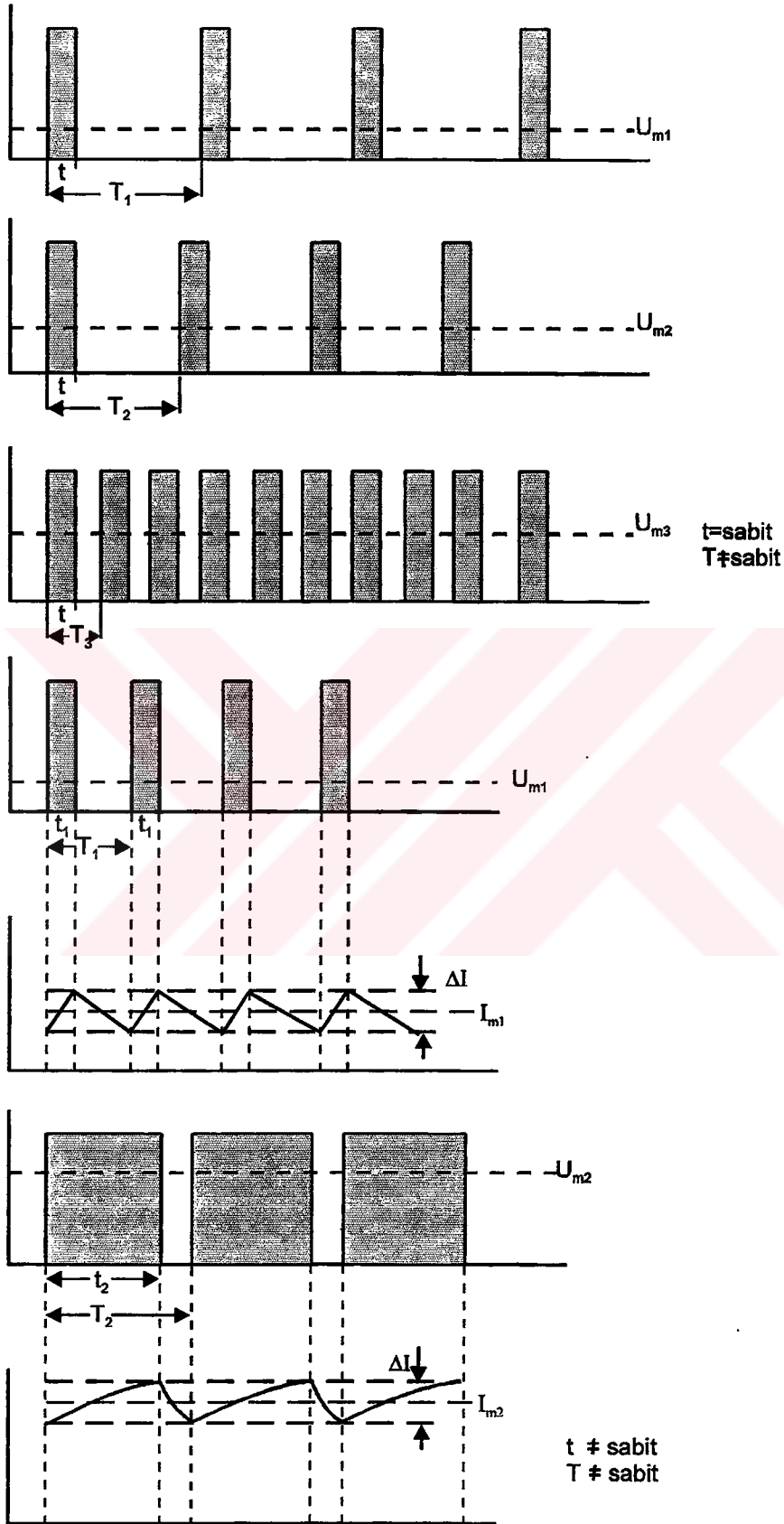
Gerilimin ortalama değeri şu üç yöntemden biriyle ayarlanabilir:

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

Bu üç duruma ait akım gerilim değişimleri Şekil 6.13a, b ve c 'de verilmiştir.



Şekil 6.13a GTO 'nun devreye girme süresi değişiyor, $f_p = \text{sabit}$



Şekil 6.13b,c Sırasıyla önce $t = Sbt$, f_p değişken; sonra $t \neq Sbt$, $f_p \neq Sbt$

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

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

$$P = U_L \cdot I_M = E_A \cdot I_A \quad (6.37)$$

$$I_M = \frac{E_A}{U_L} I_A = \frac{T_1}{T_2} I_A = f \cdot T_1 \cdot I_A \quad (6.38)$$

$$I_A = \frac{I_M}{f \cdot T_1} \quad (6.39)$$

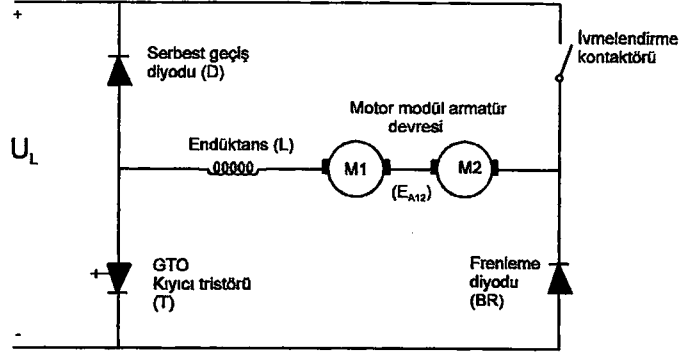
$$E_A = U_L \frac{T_1}{T_2} = f \cdot T_1 \cdot U_L \quad (6.40)$$

$$P = f \cdot T_1 \cdot U_L \cdot I_A \quad (6.41)$$

dir.

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

Araçtaki bir motor modülüne ait devre seması Şekil 6. 14 'de verilmiştir.



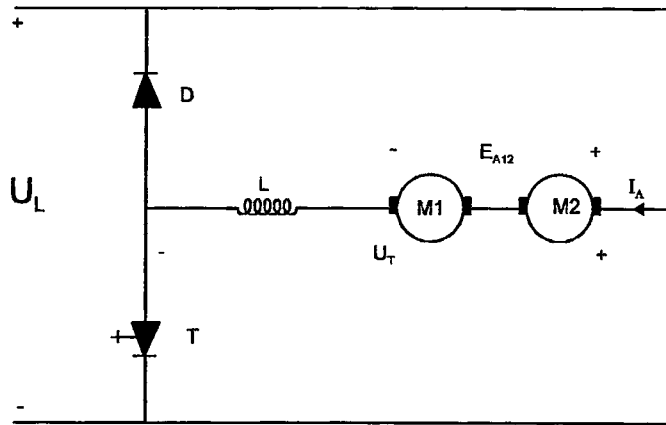
Şekil 6.14 Motor modülünün ivmelendirme ve frenleme devresine ait şeması

6.2.1 DC Motorun Armatür Devresini Besleyen Kıyıcıların Kontrol Prensibi

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

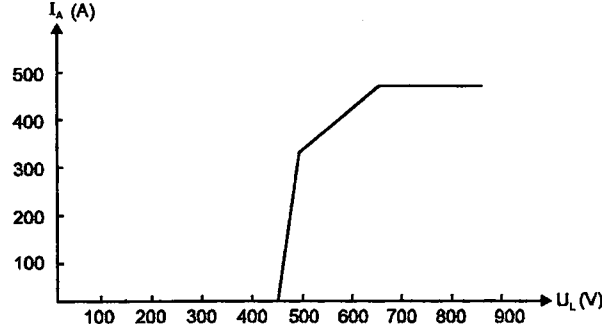
6.2.1.1 Aracın ivmelendirme konumundaki kıyıcı ünitesinin çalışma prensibi

Güç modu için basit bir kıyıcı devresi Şekil 6.15 'de gösterilmektedir.



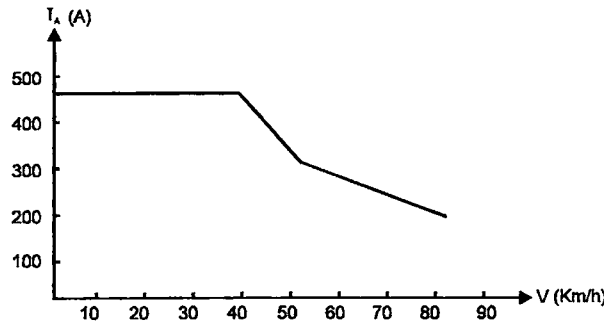
Şekil 6.15 İvmelendirme konumundaki basit kıyıcı ünitesi

U_L hat gerilimi olup, ünitenin giriş tarafına uygulanan gerilimdir. Kıyıcının çıkış gerilimi U_T gerilimidir. U_T gerilimi, motorda bir DC bileşeni ve L bobininden dolayı bir AC bileşen gerilimi mevcuttur. Şekil 6.16 'da armatür akımı ile hat gerilimi arasındaki grafik gösterilmiştir.



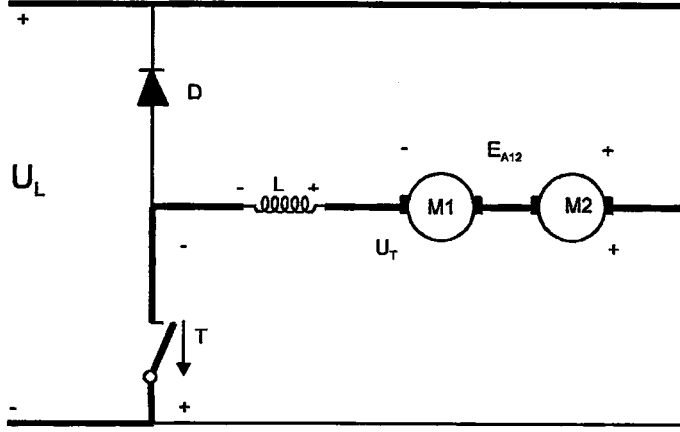
Şekil 6.16 Güç durumunda armatür akımıyla hat gerilimi arasındaki grafik.

Motorun armatür devresine, kıyıcı tarafından oluşturulan sert darbeleri filtre etmek için, bir L bobini seri bağlanmıştır. Kıyıcı ünitesi, GTO tristörü T 'nin iletim ve tıkama durumlarının, ortalama saniyede birkaç yüz devirle değişmelerine izin vererek çalışır. Motor durduğu zaman, sıfır hızda endüklenmiş E_A gerilimi sıfırdır. Bu sebepten dolayı kıyıcı, motoru sadece $(R \cdot I_A)$ gerilim düşümünü karşılayabilecek kadar küçük bir gerilimle beslemelidir. Motordaki armatür akımı ve magnetik akı tarafından oluşturulan moment, aracın ivmelenmesini sağlayacaktır (Şekil 6.17). Bu nedenle motorun hızı (n) ve E_A gerilimi artacaktır.



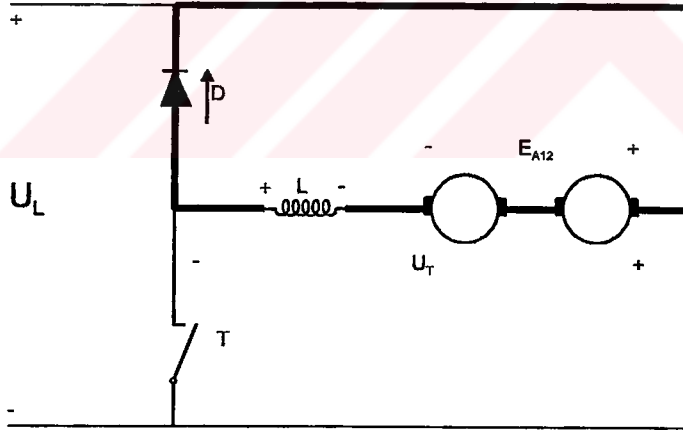
Şekil 6.17 Güç durumundaki armatür akımı ile hız arasındaki grafik

Şekil 6.18 'de, kıyıcı devresinin ivmelendirme durumunu göstermektedir. Kalın çizgiler GTO tristörü iletime geçtiği andaki akım yolunu gösterir.



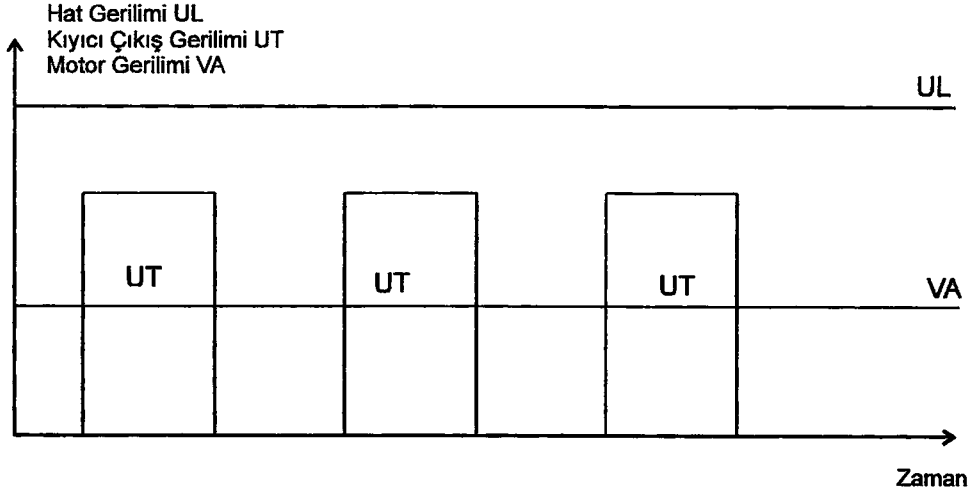
Şekil 6.18 İvmelendirme durumundaki akım yolu

GTO, iletime çok kısa süre için geçirilir ve sonra yeniden tıkamaya sokulur. GTO tıkamaya girdiğinde, Şekil 6.19 'daki akım yolunu izler.



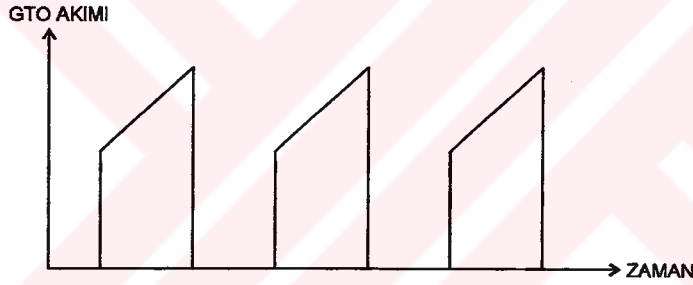
Şekil 6.19 Frenleme durumundaki akım yolu

GTO tıkamaya girdiği zaman, akım, yolunu serbest geçiş diyodu üzerinden tamamlar. Akım, GTO tıkamaya girdiği zaman hemen sıfırlanmaz, çünkü büyük miktarda enerji bobinde depolanmıştır. Bu nedenle, akım, yolunu serbest geçiş diyodu üzerinden tamamlar. Bu bir nevi armatür akımının filtre edilmesidir. İvmelenme modundaki önemli gerilim grafikleri Şekil 6.20 'de gösterilmiştir.



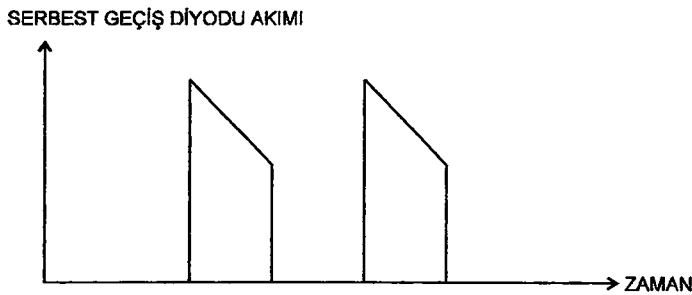
Şekil 6.20 Kırıyıcı çıkış gerilimi, hat gerilimi, motor geriliminin zamanla değişimi

GTO iletme geçirildiği zaman, motor armatür devresindeki akım yükselecek ve GTO' daki akım Şekil 6.21 'deki gibi olacaktır.



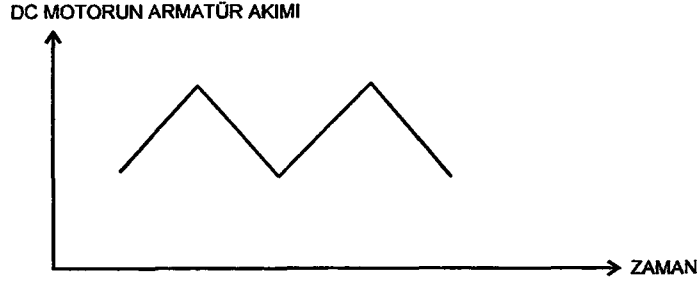
Şekil 6.21 GTO 'dan geçen akımın zamanla olan değişimi

GTO tıkamaya sokulduğu zaman, motor armatür devresindeki akım düşecek ve serbest geçiş diyodundaki akım Şekil 6.22 'deki gibi olacaktır.



Şekil 6.22 Serbest geçiş diyodundan geçen akımın zamanla olan değişimi

Motor armatür devresindeki akım, GTO 'dan geçen akımla serbest geçiş diyodundan geçen akımın toplamına eşit olup, Şekil 6.23 'te gösterilmiştir.

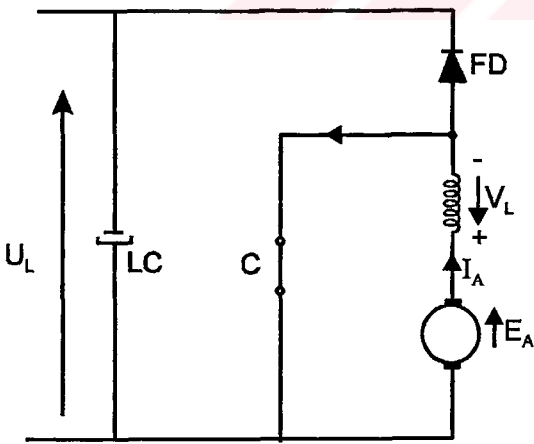


Şekil 6.23 Tahrik motorunun armatür akımının zamanla değişim grafiği

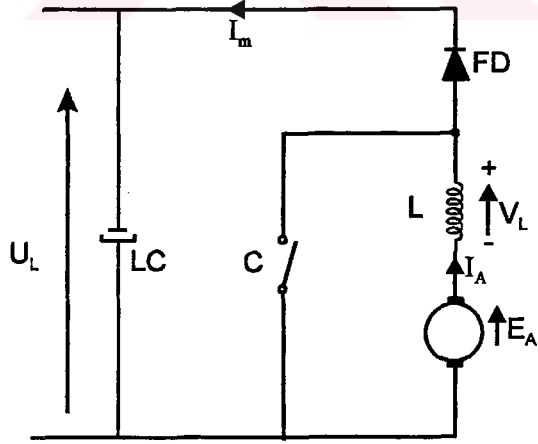
6.2.1.2 Frenleme Durumundaki Kıyıcıların Çalışma Prensibi

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

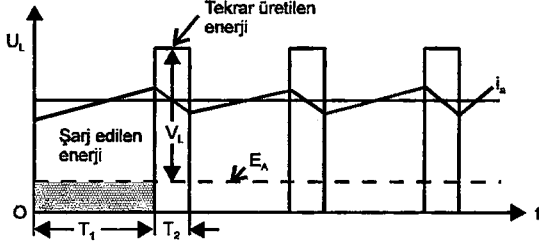
Şekil 6.24a, b, c ve d 'de frenleme devresi ve gerilim, akımın zamana bağlı olarak değişim grafikleri verilmiştir.



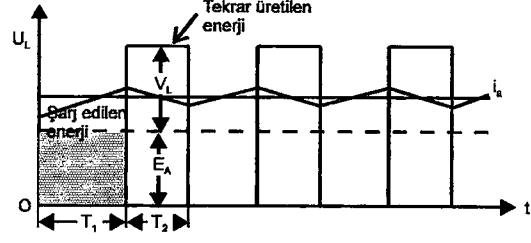
(a) C kontağı kapalıyken I_A şarj akımı



(b) C kontağı açıkken I_m rejeneratif akım



(c) Düşük hızda dalga grafiği



(d) Yüksek hızda dalga grafiği

Şekil 6.24a, b, c, d Frenleme süresince DC/DC kıyıcının çalışma düzeni ve akım gerilim grafiği

Buradaki büyüklükler;

I_M	: Ortalama hat akımı
V_L	: Endüktansın gerilimi
T_1	: Şarj süresi
T_2	: Rejeneratif süresi
T	: Periyot
f	: Frekans
P_L	: Kaynak gücü
dır.	

Buradan çıkarılacak eşitlikler;

$$I_M = \frac{T_2}{T_1 + T_2} I_A = (1 - f T_1) I_A \quad (6.42)$$

$$E_A = \frac{T_2}{T_1 + T_2} U_L = (1 - f T_1) U_L \quad (6.43)$$

$$P_L = U_L \cdot I_L = E_A \cdot I_A \quad (6.44)$$

$$\frac{T_2}{T_1 - T_2} = \frac{T_2}{T} = \frac{T - T_1}{T} = 1 - f.T_1 \quad (6.45)$$

dır.

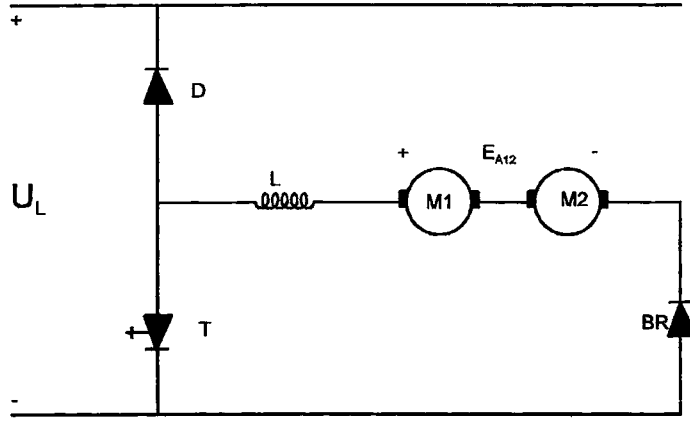
C kontağı kapalı olduğu zaman, motorun endüktansında (L), enerji depolanır. C kontağı açıldığı zaman, bu enerji hatta geri verilir. Endüktans, C kontağının durumuna bağlı kalarak, polaritesini değiştirir ve üzerinden akım her zaman aynı yönde akar. C kontağı kapandığı zaman, gerilim frenleme diyodundan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

Yukarıdaki eşitliklerde motor akımı ve hat akımı arasındaki oran (6.42) ve motor gerilimiyle hat gerilimi arasındaki oran (6.43) ifade edilmiştir. Motorun giriş gücü ile kaynak gücü arasındaki bağıntısı (6.44) eşitliğinde verilmiştir. Frenleme periyodu süresince motor gerilimi hız ile azalır. Bu ($f.T_1$) modülasyon seviyesini artırmakla dengelendirilir. Bu seviyenin değeri %0 ve %95 değerleri arasında değişebilir. Bu seviye değeri, dinamik frenin, düşük motor gerilimlerinde yani düşük hızlarda bile etkili olmasını sağlar. Fren modunda kıyıcı devresi Şekil 6.25 'deki gibi olur.

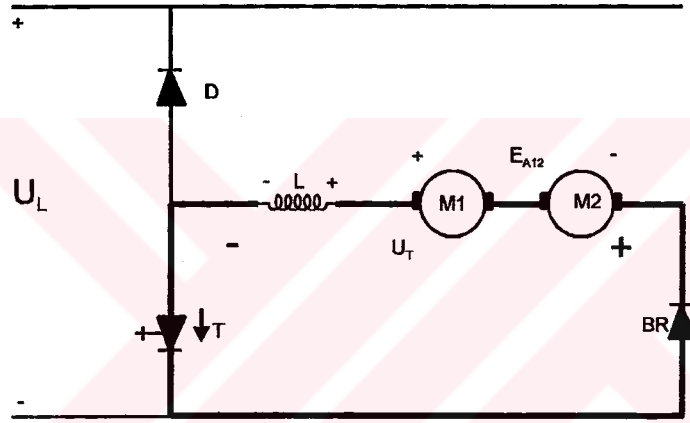
Elektrodinamik frenlemedeki kıyıcı devresinin çalışma prensibi, ivmelendirme modundakiyle aynıdır. Frenleme modunun ivmelendirme modundan farkı, motor geriliminin polaritesinin ters olmasıdır.

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

GTO iletime geçtiği an, armatür akımı ivmelendirme durumundaki gibi artacaktır. Şekil 6.26 'da, frenleme konumunda armatür akımının izlediği yol, kalın çizgilerle ifade edilmiştir.



Şekil 6.25 Fren modundaki kıyıcı devresi

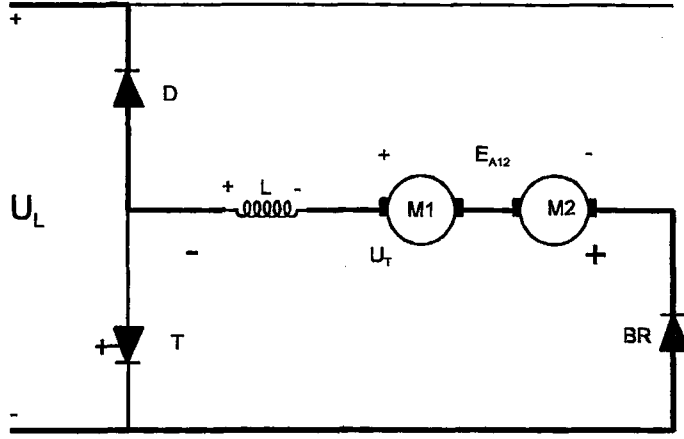


Şekil 6.26 Kıyıcının frenlemede izlediği akım yolu

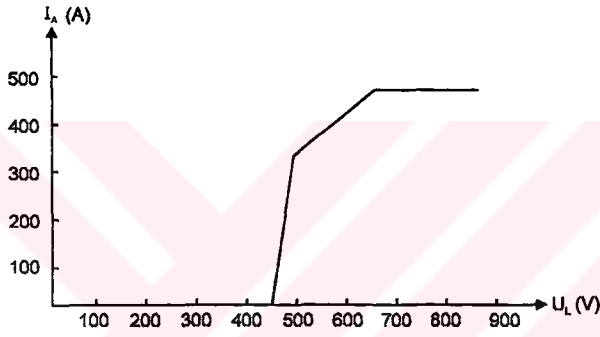
GTO tıkamaya girdiğinde, armatür akımı belirli bir oranda düşecek ve yolunu aşağıda Şekil 6.27 'de gösterildiği gibi devresini tamamlayacaktır. Şekil 6.28 'de frenleme durumunda, armatür akımıyla hat gerilimi arasındaki grafik gösterilmiştir.

Akım yolunu, serbest geçiş diyodu üzerinden tamamlar. Bunun sebebi de endüktif bobinde, ivme durumunda iken, büyük miktarda enerji depolanmış olmasıdır. Endüktif bobinde, endüklenen bu gerilim, geri besleme gerilimi olarak hatta geri verilir (Şekil 6.28).

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

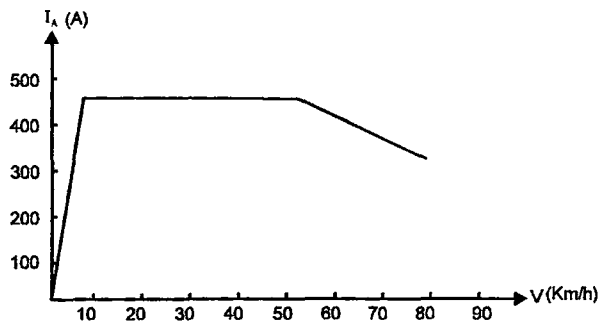


Şekil 6.27 GTO tıkamaya girdiğinde akım yolu



Şekil 6.28 Frenlemede armatür akımıyla hat gerilimi arasındaki grafik

Frenlemede, aracın hızıyla birlikte motor gerilimi de düşecektir. İstenilen motor akımını devam ettirebilmek için, kıyıcı darbe genişliği, motor E_A gerilimi sıfır olana kadar artırılır. Pratik durumda, armatür akımı, saatte 2-5 km hızlarda, sıfıra düşer ve elektrodinamik fren mekanik sürtünme freniyle yer değiştirir (Şekil 6.29).



Şekil 6.29 Frenlemede armatür akımıyla hız arasındaki grafik

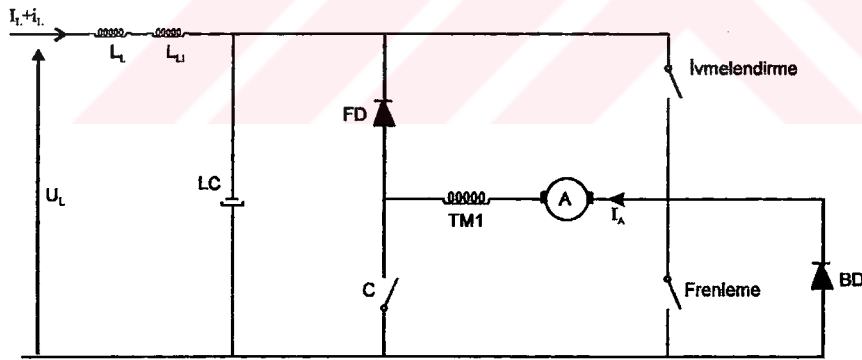
Veriler:

Sağlanan nominal gerilim	: 750 V D.C
Sağlanan maksimum gerilim	: 825 V D.C
Sağlanan minimum gerilim	: 500 V D.C
Kıyıcı fazı	: 2
Maksimum faz akımı	: 460 A
Frekans	: 69/207 Hz
Maksimum çıkış gerilimi	: 825 V

6.3 Motor Kıyıcı Devresinin Çalışma Durumundayken Hattan Gelen ve Hattı Geri Dönen Akımlar

6.3.1 Doğru Akımlar

Motorun ivmelendirme ve frenleme sırasındaki, besleme hattına verdiği ve hattan çektiği güç, armatür devresindeki güce eşittir. Bu durumu Şekil 6.30 'daki devrede görelim;



Şekil 6.30 Hat akımı ile ivmelendirme ve frenleme modları

Burada,

LI	: Hat bobini	FD	: Serbest geçiş diyodu
IC	: Hat kapasitörü	TM1	: Tahrik motor endüktansı
C	: Kontak	A	: Armatür
BD	: Frenleme diyodu		

dır.

Buradan çıkartılacak eşitlikler,

$$P = U_L \cdot I_L = V_A \cdot I_A \quad (6.46)$$

$$E_A = k \cdot \Phi \cdot n \quad (6.47)$$

$$I_L = k \cdot \Phi_f \cdot \frac{n \cdot I_A}{U_L} \quad (6.48)$$

dır. k 'nın sabit olduğu yerde, hat akımı, devir sayısının (n), armatür akımının (I_A) ve gerilimin (U_L) bir fonksiyonudur. Nominal hızda, ($\Phi_f \cdot n$) sabit tutularak uyarma alanı akımı azaltılır. Hat akımı sadece armatür akımıyla hat gerilimine bağlı olarak değişir.

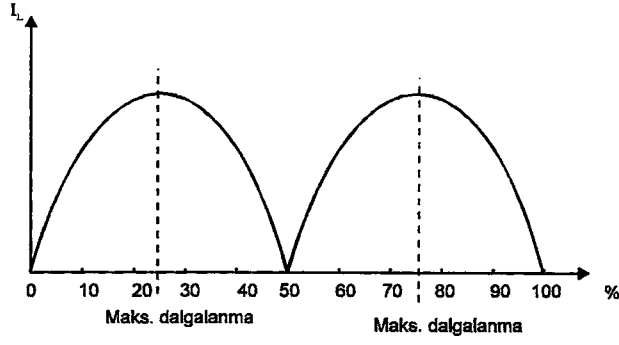
6.3.2 Alternatif Akımlar

İvmelendirme durumunda hattın, motor kıyıcısına darbeler halinde akım çekilir. Hat kapasitesi alternatif akımı absorbe eder, bu esnada kapasite geriliminin değişmesine neden olur. Böylece hattın DC gerilimi üzerine, alternatif gerilimi biner. Hat filtresinin rezonans frekansı f_L , hat bobini L_{LI} ile besleme hattı bobini L_L 'nin endüktanslarına bağlıdır.

$$f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_{LC} \cdot (L_L - L_{LI})}} \quad (6.49)$$

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

$$i_{Leff} < \frac{I_A}{43} \cdot \frac{1}{C_{LC} \cdot (L_L - L_{LI})} \cdot \frac{1}{f^2 \cdot p^3} \quad (6.50)$$

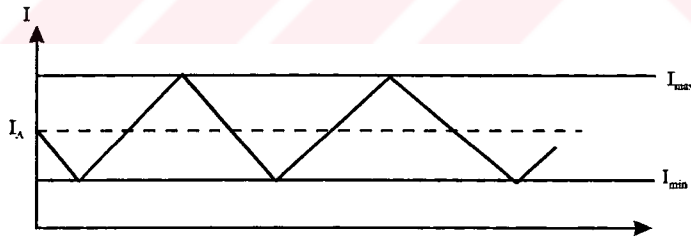


Şekil 6.31 İki motor kıyıcısı ile elde edilen dalgali akım

Bu AC komponentin genliği, aynı zamanda hat kapasitesine bağlı olan motor kıyıcısı sayısına ve modülasyon seviyesine bağlıdır. İki motor kıyıcısı ile elde edilen dalgali akım Şekil 6.31 'de gösterilmiştir. Maksimum dalgalanma %25 ile %75 arasındaki modülasyonlarda elde edilmektedir.

6.3.3 Motor Kıyıcılarının Yüklerindeki Akım Dalgalanması

Tahrik motorları kısmında yüke, dalgali bir akım verildiği belirtilmiştir. Dalgali akımın bir dalgalılık faktörü (K) ile ifade edilmektedir. Şekil 6.32 'de dalgalılık faktörünün tanımı yapılmıştır.



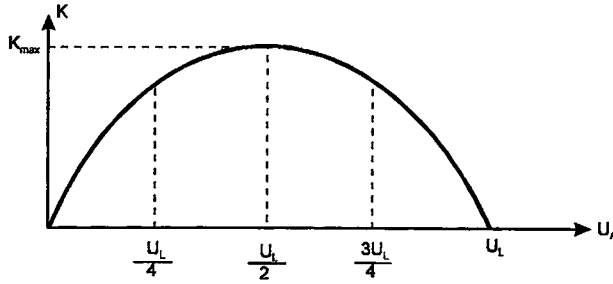
Şekil 6.32 Dalgalılık faktörünün tanımı

$$K = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad \text{dalgalanma faktörüdür.} \quad (6.51)$$

DC / DC kıyıcısının dalgalanma faktörü;

$$K = \frac{U_L \cdot T_1 \cdot (1 - f \cdot T_1)}{2 \cdot L_A \cdot I_A} \quad (6.52)$$

İndüksiyon bobinleri, dalgalandırmayı sınırlandırmak için kullanılır. Şekil 6.33 'de dalgalılık faktörünün E_A ve U_L gerilimleriyle olan bağıntısı şekilde gösterilmiştir.



Şekil 6.33 Dalgalılık faktörünün E_A ve U_L gerilimleriyle olan bağıntısı

Dalgalanma faktörünün ölçümleri :

Maksimum K değeri $E_A = \frac{U_L}{2}$ olduğu zaman maksimum değerini alır ve maksimum akımda;

$$I_{\max} = I.(1+K) \text{ olur.} \quad (6.53)$$

6.4 Armatür Kıyıcısının, Akım ve Gerilim Ölçüm Devreleri ve Bobinleri

DC / DC kıyıcı ünitesi, yarı iletken devreler dışında, kontaktörler, akım ve gerilim ölçümleri için devreler ve indüksiyon bobinlerini içermektedir. Devresi Şekil 6. 34 'de verilmiştir.

İvmelendirme boyunca, motor kontaktörü PC ile modül kontaktörü MC kapalıdır. GTO tristörü G, iletme geçince hattan güç çekilir. TM_1 ve TM_2 motorlarının akımları, G tıkanana kadar artar. Tıkanmadan sonra, akım azalarak serbest geçiş diyodundan akar. Motor akımı, GTO 'nun iletme geçme sürelerinin değiştirilmesiyle kontrol edilmektedir. Akımın iyi kontrol edilebilmesi için ölçülmesi gerekmektedir. Bu ise, şekildeki MIM devresi ile gerçekleştirilmektedir. Buna L.E.M. devresi denilmektedir. Bu devrenin çıkış işareti, ana devre ile arasında galvanik yalıtım yapılarak sağlanmıştır. I_{TM12} değeri tahrik bilgisayarına verilmektedir.

yaklaşık 470 A 'e düşmesine kadar sürmektedir. Bu seviyede, yine GTO 'nun iletime geçmesine izin verilmektedir. Bloke etme ve hata göstermenin başlamasına kadar, bu olay en fazla yedi kez tekrarlanabilir. Bununla beraber, daha yüksek bir seviye vardır ki yaklaşık 730 A 'lık bu seviyenin üzerinde, bloke etme ve hata gösterme derhal başlamaktadır.

Her araçta aynı iki eş DC / DC kıyıcı ünitesi kullanılmaktadır. Bunlar kaynak kısmından bağımsızdır, fakat kontrol devreleri 180° 'lık faz farkıyla senkronize çalışırlar. Ek bir motor koruyucu olarak, şönt alan rölesi olan MS kullanılır. Bu 900 A olan aşırı akımda devreye girer ve MCB ana devre kesicisini açar. Eğer motorların birinde, bir topraklama arızası olursa, MIM bunu ölçerek bildirir. Koruma düzeni ve arıza göstergesi, motor akım ölçerinin, I_{TM2} yüksek akım seviyesini farketmeden bunu farkedebilir. Frenleme süresince, motor kontaktörü PC açıktır. Motorun E_A 'sının yönü değiştirilerek (alan akım yönü değiştirilerek), ivmelendirme durumuyla karşılaştırılır.

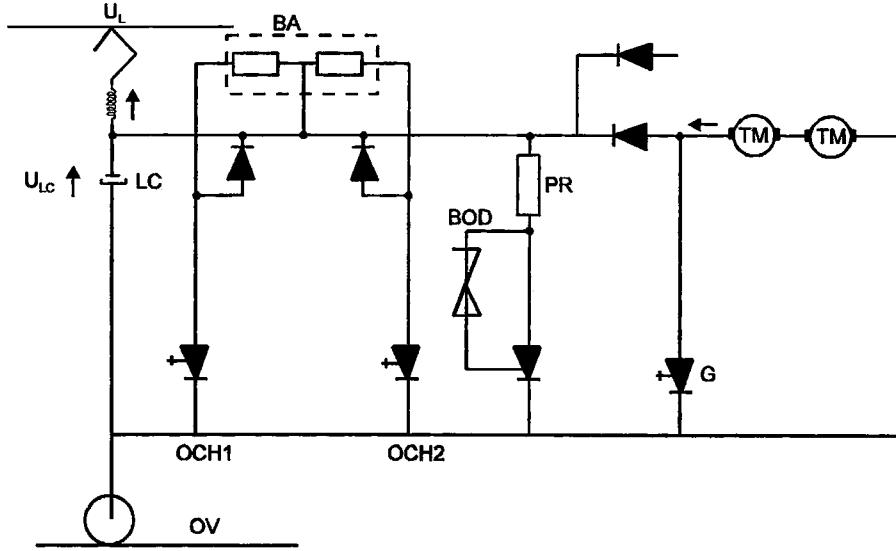
Motorlar generatör olarak çalışırlar ve bunların güçleri GTO tristörü tarafından kontrol edilir. GTO tristörü çalışmaya başladığı zaman, akım artar ve güç serbest geçiş diyodundan geçerek, hattı besler.

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

6.4.1 Frenleme Devresinin İçeriği

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

Eğer iade edilecek olan tüm frenleme gücü, o anda kullanılmazsa hat kapasitesi gerilimi (U_{LC}) yükselir. Bunun üzerine bilgisayar içindeki gerilim regülatörü yüksek gerilim kıyıcısını aktive eder ki bu da akımın BR frenleme dirençleri devresi üzerinden akarak gücün ısıya dönüşmesini sağlar (Şekil 6.35).



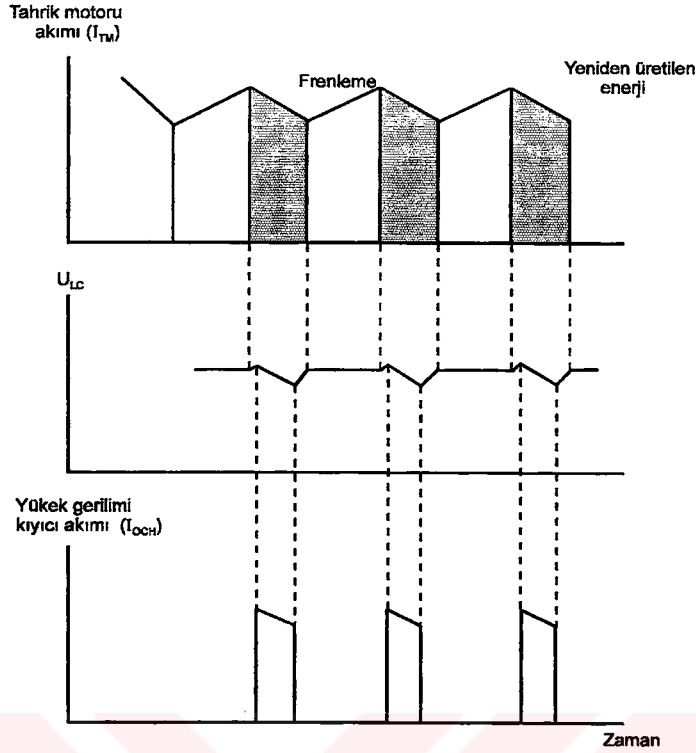
Şekil 6. 35 Frenleme esnasında hat kapasitesinin geriliminin yükselmesi üzerine aktif hale getirilen yüksek gerilim kısıyıcısı.

Burada;

- | | |
|--|--|
| LC : Hat kapasitesi | BOD : Frenleme diyodu |
| U_{LC} : Hat kapasitesinin geçiş gerilimi | PR : Yüksek gerilime karşı koruyucu direnç |
| U_L : Hat gerilimi | G : GTO |
| BR : Frenleme direnci | TM : Tahrik motoru |
| OCH_1, OCH_2 : Yüksek gerilim kısıyıcısı fazları | |

Yüksek gerilim kısıyıcısı, herbiri frenleme direncinin yarısını kullanan iki ayrı fazdan ($OCH_1 - OCH_2$) oluşmaktadır. Bu iki motor kısıyıcı fazı, motor kısıyıcıları ile senkronize edilir. Öyle ki GTO ilgili motor kısıyıcısının tıkanmasından kısa bir süre sonra ilettime geçer. Bu şekilde hat kapasitesi geriliminde minimum dalgalanma olur (Şekil 6.36).

Yüksek gerilim kısıyıcısının gereksiz yere aktive edilmesini önlemek amacıyla çekme durumunda (ivmelendirmede) aktive etme seviyesi frenlemeye göre daha yüksek tutulmuştur. Bu seviye aynı zamanda hat akımının yönüne de bağlıdır. Araç katenerden güç çektiği zaman yüksek seviye, güç verdiği zaman ise alçak seviye pozisyonuna göre ayarlanmıştır. Sonuç olarak her araç kendi iade edilemeyen gücü ile ilgilenmektedir.



Şekil 6. 36 Yüksek gerilim kıyıcılarının akım ve gerilimleri

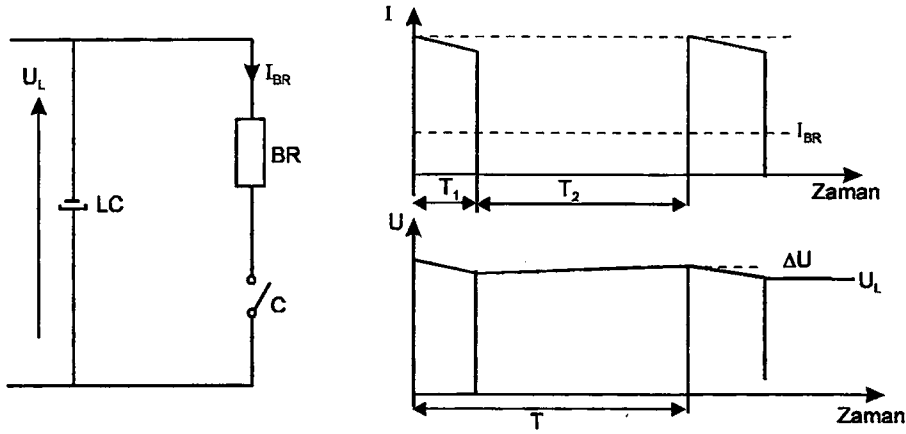
Ek koruyucu olarak, yüksek gerilim koruyucu direnci kullanılır. Direnç BOD elemanı ile iletme geçirilen normal bir tristöre seri bağlıdır. Bu devre çalıştırıldığı zaman, aynı anda bilgisayara MCB' yi (ana devre kesicisinin) açma ve kıyıcıları bloke etmek için sinyal verilir.

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

6.5 Yüksek Gerilim Kıyıcısı

Bir yüksek gerilim kıyıcısı, yük olarak, bir dirençle birlikte çalışır. Bu ünite hat kapasitesi ile paralel bağlanmıştır ve gerilim çok yükseldiğinde kapasiteyi boşaltır (Şekil 6.37).

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.



Şekil 6.37 Yüksek gerilim kıyıcısının çalışma prensibi, aktif ve pasif olduğu durumlardaki akım-gerilim grafikleri .

Burada,

I_{BR} : Frenleme akımı BR : Frenleme direnci
 LC : Hat kapasitesi C : Kontaktör
 dır.

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

C kontaktörünün aktif durumu için gösterilen seviye, ivmelendirme ve frenleme durumu için, farklı durumlarda düzenlenmiştir. Frenleme direncinin geçiş gerilimi seri olarak bir endüktans kullanılmadığı sürece akım akıtır.

Frenleme direncinde harcanan güç, normal olarak motorların iade ettiği güce eşit veya daha küçüktür (6.53). Bu güç, yüksek gerilim kıyıcıları tarafından kontrol edilir. Bu nedenle hat kapasitörünün geçiş gerilimi, düzenlenen seviyenin aşağısında tutulur. Frenleme periyodunun başlangıcında, rezistördeki güç büyüktür.

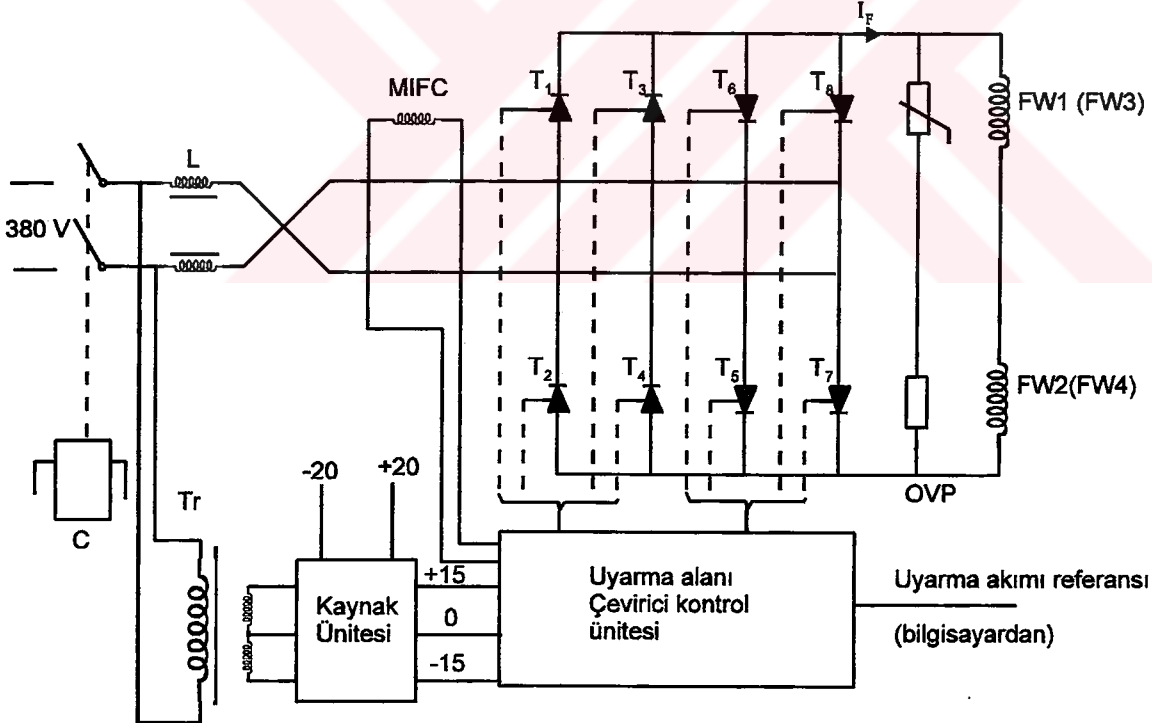
$$P_{TM} = E_A \cdot I_A \cdot \frac{U_L^2}{R_{BR}} \cdot f \cdot T_1 \quad (6.54)$$

6.6 Uyarma Alanı Çeviricisi

Her bir motor modülü için birer adet olmak üzere toplam bir araçta iki adet alan çeviri ünitesi vardır. Çevirici ünitesinde sekiz adet tristör yarı iletkeninden bulunmaktadır ve bunlar dörder gruplar halinde birbirine ters bağlanmıştır (Şekil 6.38).

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

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



Şekil 6.38 Alan çevirici ünitesi

Burada,

FW	: Tahrik motorlarının alan sargıları	IF	: Alan Akımı
T	: Tristör	T _r	: Transformatör
L	: Endüktans	OVP	: Yüksek gerilim koruyucusu
MIFC	: Alan akım ölçeri	C	: Alan doğrultucu kontaktörü

dır.

Verileri :

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

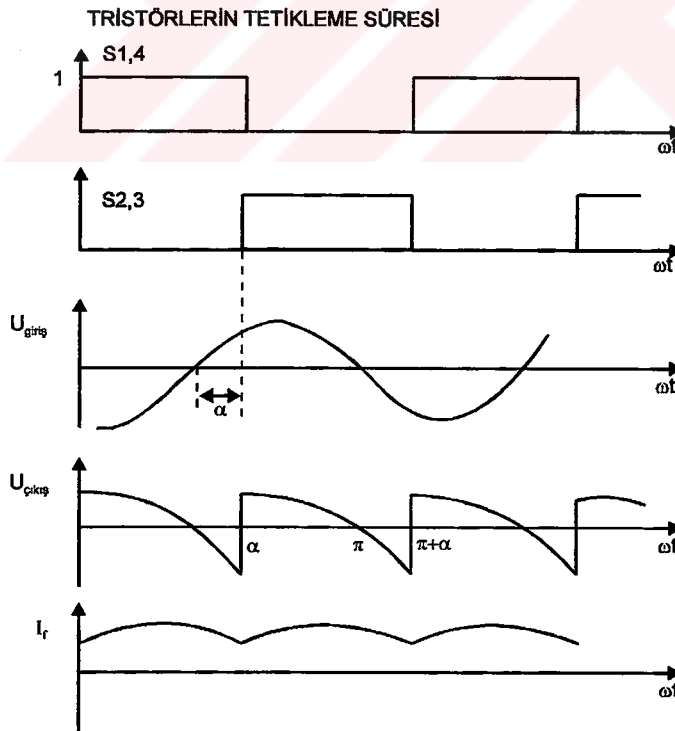
Yedek güç gerilimi : ± 24 V

Çıkış gerilimi maksimum : ± 340 V

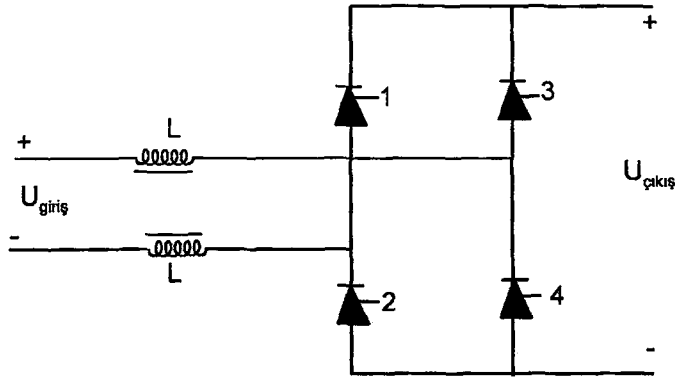
Çıkış kontrol akımı : ± 20 A

Çıkış akımı maksimum : ± 22 A

Akım ve gerilim dalga şekilleri ile uyarma akımı kontrol devresi Şekil 6.39 ve Şekil 6.40 'ta verilmiştir.



Şekil 6.39 Uyarma akımının kontrol grafiği



Şekil 6.40 Uyarma akımının kontrol devresi

Burada,

- U_g : Sinüs dalga giriş gerilimidir.
 $U_ç$: Doğrultulduktan sonraki çıkış gerilimi
 I_f : Uyarma akımı
 α : Tetikleme açısı

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

Ortalama çıkış gerilimi:

$$U_{\phi o} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\alpha+\pi} \sqrt{2} \cdot U_g \cdot \sin \omega \sin \omega t = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot U_g \cdot \cos \alpha \quad (6.55)$$

6.7 Doğru Akımlı Ulaşım Sistemlerinde Doğru Akım Kıyıcısı Kullanılmasıyla Sağlanan Üstünlükler

- Cer motorlarına özgü endüvi gerilimlerinin değeri hemen hemen, sıfır ile besleme gerilimi arasında sürekli olarak ayarlanabilir.
- Gerilim kontrolü için seri dirençlere gereksinme olmadığından seri dirençlere kaybolan enerjiden ekonomi sağlanır. Faydalı frenleme yapılamıyorsa, direnimle frenleme için genelde bir direnç gereklidir.

- Hat ve motor arasında güç transformasyonu, yol alma süresince, doğru akımlı taşıtların hattan daha az akım çekmesine neden olur. Yol almadaki akım yükselmeleri, güç istasyonlarının hesabında önemli bir faktördür ve doğru akım kısıyıcı kullanılması güç istasyonlarının kapasitelerini daha uzun bir süre için yeterli kılabilir.
- Isınma sınırını aşmamak şartı ile motorlar, karakteristik eğrileri üstünde herhangi bir noktada çalıştırılabilirler.
- Kademeli ayar yerine sürekli ayar yapılabilirdiği için hareket süresince sarsıntı hissedilmez.
- Hızlanma ve yavaşlamanın kesintisiz olması ve elektriksel büyüklükleri kontrol eden elektronik kontrol sisteminin cevap hızının büyük olması nedeniyle motorlarda ve transmisyonda aşınma ve eskime daha az olur (Kasapoğlu, 1984).

BÖLÜM 7

KONTROL VE DENETLEME PRENSİPLERİ

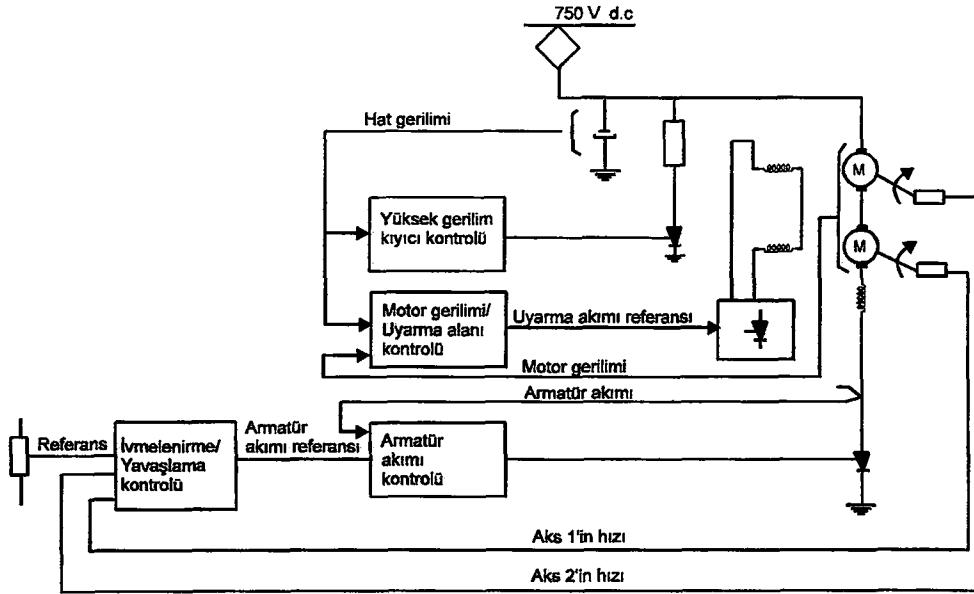
Burada M ve MD araçlarının tahrik sisteminin, kontrol prensipleri anlatılmaktadır.

7.1 Kontrol Prensip1eri

Sürücü kabinindeki sürücü koluyla, istenilen hızlanma ve yavaşlama ivmesi, bilgisayar tarafından kontrol edilmektedir. Hızlanma-yavaşlama durumundaki ivme referansları, armatür akım referansına dönüştürölür. Yavaşlama ivmesinde, mekanik frenleme referansı hesaplanır ve armatür akım referansıyla, armatür akım kontrolü beslenir (Aström, 1988).

Tahrik motorlarında; moment, armatür akımı ile uyarma akımına bağılıdır. Düşük hızlarda uyarma alan akımı (akı), sabit tutulur ve moment, armatür akımı vasıtayla değiştirilir. Akının sabit tutulmasıyla, motor gerilimi hızla artarak, hat gerilimi değerine ulaşacaktır. Aslında motor geriliminin (temel hız bazında) hat gerilim seviyesine erişmesine izin verilmez, her iki büyüklüğün arasında küçük bir fark her zaman için bırakılır. Motor gerilimi, hat gerilimi seviyesine ulaştığında, kıyıcı çıkış gerilimi maksimum değerine ulaşır ve hız artırılmaz. Bunun nedeni ise, motor geriliminin hızla artmasıdır. Aracın hızının, temel hız bazının üstüne çıkarılabilmesi için, uyarma alan akımı (akı), temel hız seviyesinin üstünde azaltılır. Bu durumda motor gerilim değeri düşmeye başlar. Frenleme modunda, mekanik frenleme kontrol altına alınır. Elektriki frenleme (elektrodinamik frenleme) maksimum seviyede uygulanır, yetersiz olduğunda buna mekanik frenleme de eklenir.

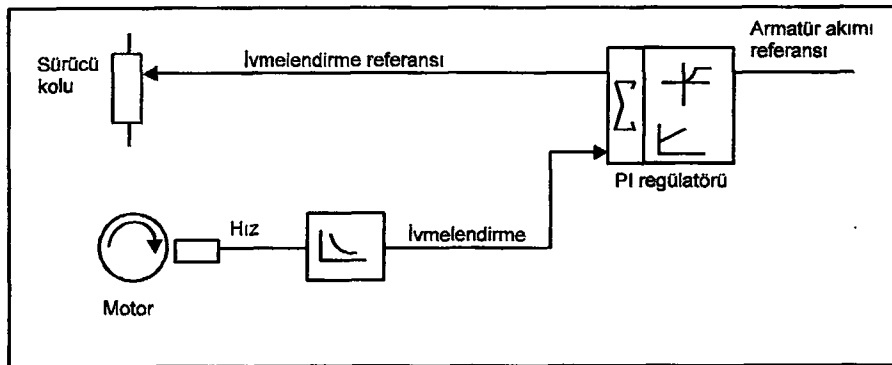
Elektriki frenleme süresince, motordan hatta geri verilen enerji nedeniyle, hattın gerilimi yükselir. Hattın geriliminin fazla yükselmesini engellemek için, yüksek gerilim kıyıcısı ünitesi bulunmaktadır. Bu ünite bir yüksek gerilim kıyıcı kontrol ünitesiyle kontrol edilir. Şekil 7.1 'de, tahrik kontrol sistemi gösterilmektedir. Şekil sadece bir motor modölü içindir.



Şekil 7.1 Tahrik sisteminin kontrol devresi

7.1.1 İvmelendirme Kontrolü

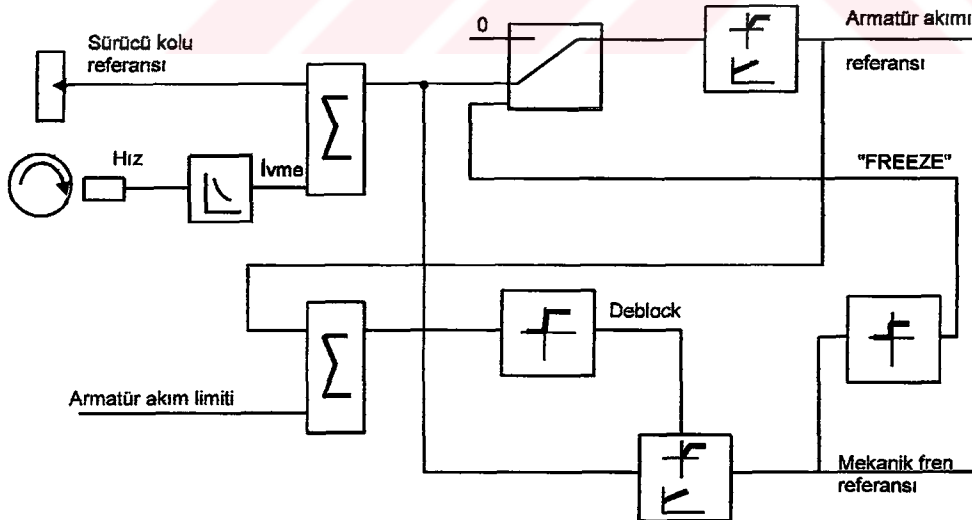
İvmelendirme konumunda ivme, PI regülatörü ile kontrol edilir (Şekil 7.2). Sürücünden gelen referansa göre, hızın türeviyle karşılaştırılarak, PI regülatörüne gönderilir. İvmelendirme modunda, regülatörün çıkışından alınan armatür akımı referansı armatür akım kontrol ünitesine gönderilir. İvme kontrolü için kullanılan hız, 3. ve 4. aksların maksimum hızlarıdır. Bunun sebebi bilindiği gibi, 3. ve 4. aksların motor içermemesi ve kaymaya sebebiyet vermemesidir. İvmelendirme kontrolü, bilgisayardaki ivmelendirme kontrol lojigiyle oluşturulmuş programla kontrol edilir.



Şekil 7.2 İvmelendirme kontrolü

7.1.2 Yavaşlatma İvme Kontrolü

Fren modunda, yavaşlatma ivmesi, PI regülatörü tarafından kontrol edilir. Sürücünden gelen referans (sürücü kolu vasıtasıyla), hızın türevi ile karşılaştırılmakta ve PI regülatörüne gönderilmektedir. Frenleme sırasında, regülatörün çıkış seviyesi, armatür akımını belirler ve bu akımla armatür akım kontrolünü (frenlemede) besler. İzin verilen maksimum akıma ulaşıldığında, sürücünün arzu ettiği daha fazla yavaşlama ivmesi isteğine karşılık, mekanik frenleme de devreye sokulur. “DEBLOC” sinyali gerçekleşerek, mekanik fren kontrolü serbest bırakılır. Mekanik fren referansı, sıfırı (0) geçer geçmez “FREEZE” sinyali gerçekleşir. Bu sinyal, armatür akım referansını sabit tutarak, mekanik frenleme referansının tekrar sıfır olmasına kadar sürer. Bunun bu şekilde olmasının nedeni, yavaşlamayı kontrol edecek iki regülatörün aynı anda birlikte çalışmasının mümkün olmamasındandır. Bu nedenle, elektrikli fren etkili olduğu sürece uygulanılır ve ihtiyaç olduğunda, mekanik fren devreye sokulur. Mekanik fren devreye girdiğinde, armatür akımı sabit tutulur. Yavaşlama ivmesinin kontrolü için kullanılan hız, bütün aksların maksimum hızıdır. Bunun sebebi kullanılan hızın kayan bir akstan gelmesini önlemektir. Yavaşlatma ivmesinin kontrolü bilgisayardaki yavaşlatma lojigi programıyla kontrol edilir (Şekil 7.3).

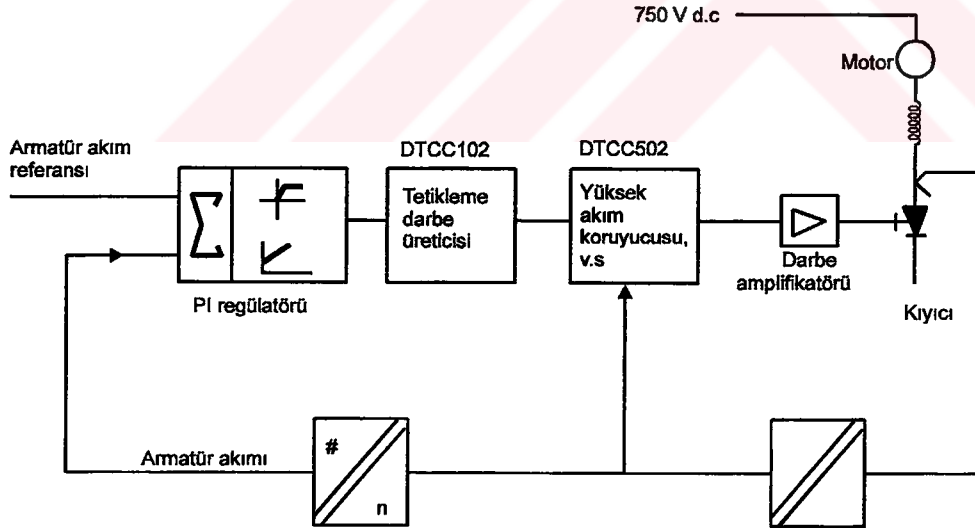


Şekil 7.3 Yavaşlatma ivmesi kontrolü

7.1.3 Armatür Akım Kontrolü

Şekil 7.4 'te görüldüğü gibi, hızlanma ve yavaşlama ivmelerinin kontrolündeki armatür akım referansı, armatür akım kontrolüne gönderilir ve ölçülen armatür akımıyla karşılaştırılır. Elde edilen sonuç, PI regülatörüne gönderilir. PI regülatöründen gelen çıkış, kıyıcıdaki GTO 'nun iletme girme süresiyle orantılı olmalıdır. Tetikleme zamanı, armatür akım kontrolü ünitesinden gelir ve bu sinyal, DTCC 102 A bilgisayar bordundan üretilir. Bu bordtan GTO için tetikleme pulsları üretilir. Bu tetikleme pulsları, DTCC 502 A borduna gider ve bu bord aynı zamanda aşırı akıma karşı korunmayı sağlar. DTCC 502 A kartından alınan pulslar, kıyıcıdaki GTO 'ya bağlanmış olan bir puls amplifikatörüne gönderilir. Armatür akım kontrolü bilgisayar tarafından aşağıdaki düzende oluşturulur;

- IA12P : Güç konumunda motor modül 1 'de armatür akım kontrolü
- IA34P : Güç konumunda motor modül 1 'de armatür akım kontrolü
- IA12B : Frenleme konumunda motor modül armatür akım kontrolü
- IA34B : Frenleme konumunda motor modül armatür akım kontrolü



Şekil 7.4 Armatür Akım Kontrolü

7.1.4 Motor Gerilimi Kontrolü-Uyarma Alanı Kontrolü

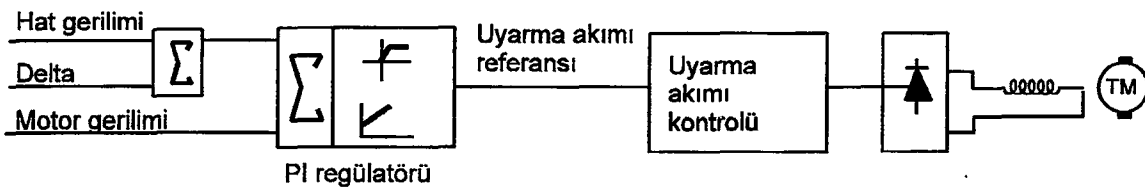
Daha önceki bölümde de belirtildiği üzere, tahrik motorunun gerilimi motor hızı ve akısıyla orantılıdır. Akı veya uyarma alanı akımı sabit tutularak, motor geriliminin hızla birlikte artması sağlanır.

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

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

7.1.4.1 İvmelendirme ve Frenleme Durumunda

İvmelendirme ve frenleme konumunda, motor gerilimi hattın gerilimiyle karşılaştırılır ve elde edilen karşılaştırma değeri, PI regülatörüne gönderilir. Eğer motor gerilimi hat gerilimi değerini aşarsa, Δ kadar bir azalma sinyali gönderilerek PI çıkışındaki uyarma akımı referansı azaltılır ve buna bağlı olarak da motor gerilimi azaltılır (Şekil 7.5). PI çıkışındaki uyarma akımı referansı, uyarma alanı akım kontrolünü besler. Motor geriliminin, ivmelendirme ve frenleme konumundaki kontrolü, bilgisayar tarafından aşağıdaki sırayla kontrol edilir:

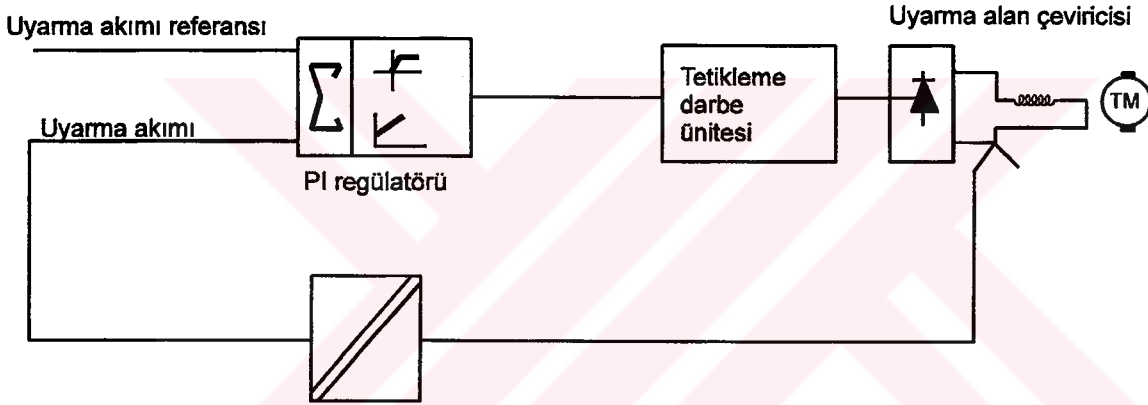


Şekil 7.5 Uyarma alanının, güç ve frenleme modundaki kontrol blok şeması

- VC12P : Motor modülü 1 'in motor gerilim kontrolü ivmelendirilme durumunda
VC34P : Motor modülü 2 'nin motor gerilim kontrolü ivmelendirilme durumunda
VC12B : Motor modülü 1 'in motor gerilim kontrolü frenleme durumunda
VC34B : Motor modülü 2 'nin motor gerilim kontrolü frenleme durumunda

7.1.5 Uyarma Alan Akımının Kontrolü

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



Şekil 7.6 Uyarma alanı akım kontrolü

BÖLÜM 8

BİLGİSAYAR DONANIMI

Bilgisayar donanımı, iki ayrı ünite halinde araca yerleştirilmiştir. Bunlardan birinci ünite bilgisayar donanımını içerirken, diğeri filtre kartlarını, geçici hal koruması kartlarını, kuvvetlendirici kartlarını vb. gibi kartları içerir

Sistemde ana işlemci kartı olan “DTPC 153 A.T” ve iki uydu işlemci kartları olan “DTCC 102 A.T, DTCC 103B.T” bulunmaktadır. Bu kartlardan bir kısmı bazı özel görevleri yerine getiren giriş/çıkış işlemcisinden ibarettir.

Kartlar arasındaki her türlü iletişim “DTPC 153 A.T” kartı ile sağlanır. Kartlar, elemanlarının $-40 - +70$ °C sıcaklıkları arasında işlem yapabilme özelliklerinden dolayı, kötü ortam koşullarında çalışabilme özelliğine sahiptirler.

8.1 Bilgisayarın İşlev Gruplarına Göre Açıklanması

Bilgisayar donanımı, birkaç işlev grubuna ayrılır (Aström,1988). Bu grupları sırasıyla şöyle açıklayabiliriz:

8.1.1 Güç Besleme Kartları

Bu kartlar akü gerilimini (24 V), 5 V ‘ta ve ± 15 V ‘a dönüştürür. Bilgisayar donanımı 5 V ile çalışmaktadır. ± 15 V ise bazı arabirim kartlarında kullanılır. Güç sağlayan kartlar:

DTSR 116 A-T : 24 V..... ± 5 V

DTSR 501 A-T : 24 V.... ± 15 V

8.1.2 İşlemci Kartları

İşlemci kartları, bir mikroişlemci ünitesini içeren, uygulamaya bağlı olarak bir programı yürüten kartlardır. Bu kartlar aşağıda belirtilmiştir:

DTPC 153 A-T : Ana işlemci kartıdır. Uygulama programının %35 'i bu kartta yürütülür. Denetleyici / ana işlemci kartı olarak bilinir. Bunun anlamı, kartlar arasındaki veri iletişiminin, bu kartın denetimi altında yapılmasıdır.

DTCC 102 A-T : DTPC 153 A-T kartına bağlı olarak çalışır. Diğer kartlardan bu karta gelen bütün bilgiler DTPC 153 A-T ana işlemciden geçmelidir. Bu kart DTPC 153 A-T 'den gelen referanslara göre, kıyıcı ünitesindeki GTO tristörlerine tetikleme darbeleri üretir. Aynı zamanda yüksek gerilim kıyıcısının GTO tristörlerinin kontrolünü ve tetikleme darbelerinin üretilmesi işini gerçekleştirir.

DTCC 103 B-T : Bu kart da, ana işlemci kartı olan DTPC 153 A-T 'ye bağlıdır. Yardımcı evirici ünitesinin kontrolünü ve bu üniteye 6 adet GTO tristörüne tetikleme darbelerinin üretilmesini sağlar.

8.1.3 Giriş/Çıkış Kartları:

Bu kartlar dıştaki olaylarla, program dili arasındaki geçişi sağlar. Bu kartlar:

DTAI 101 A-T : 12 kanallı analog giriş kartıdır. Hat akımını, motor gerilimini vb. gibi büyüklükleri ölçer.

DTAO 101 A-T : 4 kanallı analog çıkış kartıdır. Bilgisayarla alan çeviricisi arasındaki bağlantıyı sağlayan arabirimdir.

DTDI 102 A-T : 24 kanallı dijital giriş kartıdır

DTDO 102 A-T : 16 kanallı dijital giriş kartıdır.

DTDP 101 A-T : 6 dingildeki hızı ölçen karttır.

8.1.4 İletişim Kartları

Birden fazla ünitenin kullanıldığı durumlarda bilgisayarlar arası iletişimi sağlamak amacıyla bir iletişim bağlantısı bulunur. Bu bağlantı ile referanslar ve hata mesajları gönderilir. Bu kartlar:

DTCA 102 A-T : İletişim kartıdır.

DTCA 506 A-T : ± 40 V 'luk modem kartıdır.

8.1.5 Hata Gösterme Kartları

DTPC 153 A-T 'de yürütülen programda tespit edilen hataları, yıl, tarih ve zaman bilgisi altında hafızasında saklar. Aynı zamanda sürücü panelindeki hata göstergesi ile haberleşmeyi sağlar. Bu kartlar:

DTCA 101 A-T : Hata gösterme kartı.

DTCA 501 A-T : 12 V 'luk modem kartı

8.1.6 Filtre Kartları:

Süzme işleminde kullanılan filtre kartları, geçici hal koruması, yüksek gerilim koruması, kuvvetlendirici vb. gibi birimleri içerir. Filtre kartları:

DTAO 501 A-T : Analog çıkış filtre kartıdır. Dört analog çıkış kanalı için koruma devreleri içerir.

DTDI 502 A-T : Dijital giriş filtre kartıdır. Dijital giriş kanalları için, filtreler ve yüksek gerilim korumasına ve 24 kanala sahiptir.

DTDO 500 A-T : Dijital çıkış filtre kartıdır. 16 adet dijital çıkış kanalı için, kısa devreye karşı koruma sigortalarına ve 8 dijital çıkış kanalı için, kuvvetlendiricilere sahiptir.

8.1.7 Faz lojiği Kartları:

Bu kart, ana kart DTPC 153 A-T ile, ona bağlı olan DTCC 102 A-T, DTCC 103 B-T kartları arasında arabirim kartıdır. Bu kartlar, kuvvetlendirici, aşırı akım koruması vb. gibi şeyleri içerir. Bu kartlar:

DTCC 502 A-T : Kıyıcılar ve yüksek gerilim kıyıcısı için faz lojiğini gerçekleştirir.

DTCC 503 A-T : Yardımcı evirici için faz lojiğini gerçekleştirir.

8.1.8 DTMB 101 A-T Bellek Kartının Tanıtımı

Bu kart, mikroişlemci bazlı tahrik kontrol sisteminin bir parçasıdır. Bellek kartı, sistem

programları, parametreler ve değişkenler için kullanılır. Besleme gerilimi +4.5 V - +5.5 V 'dur. Eprom programlaması için +24 V kullanılır. Kartın iki bellek bölümü vardır.

1. Bellekte

192 Kbyte Eprom (6x32 Kbit)

64 Kbyte Eprom (8x8 Kbit)

64 Kbyte Eprom (8x8 Kbit)

64 Kbyte Eprom (8x8 Kbit)

2. Bellekte

64 Kbyte Eprom (8x8 Kbit)

16 Kbyte Eprom (8x2 Kbit)

64 Kbyte Eprom (8x8 Kbit)

16 Kbyte Eprom (8x2 Kbit)

64 Kbyte Eprom (8x8 Kbit)

16 Kbyte Eprom (8x2 Kbit)

BÖLÜM 9

ARACIN TAHRİK DEĞERLERİNİN BİLGİSAYAR YOLUYLA HESAPLANMASI

Burada ivmelendirme ve frenleme durumunda, sistem dinamiğinin nasıl hesaplanacağı açıklanacaktır (Friden, 1989). Bilindiği gibi incelediğimiz sistem lineer olmadığından, sistemin büyüklüklerini adım adım lineer kabul ederek hesaplayabiliriz. Hesaplamaları dört bölümde inceleyebiliriz:

1. Sistemin nominal çalışma değerleri,
2. İvmelendirme durumundaki değerleri,
3. Dinamik frenleme durumundaki değerleri,
4. Frenleme durumundaki değerleri.

Sistemin nominal çalışma değerlerinin hesaplanmasının amacı, aracın dinamik çekme kuvvetinin bulunmasıdır. İvmelendirme durumundaki hesaplamaların amacı, aracın ağırlığı, aracın sürtünme kuvveti, ivmelenme oranı, zaman, mesafe ve harcanan enerji hakkında bilgi verilmesidir.

Dinamik frenleme durumundaki hesaplamalarda da, dinamik frenleme değerlerinin elde edilmesidir.

9.1 Sistemin Nominal Çalışma Durumunda İşletme Büyüklüklerinin Belirlenmesi

Sistemin çalışma durumundaki ana değeri, motorun dönme sayısıdır.

$$v = \frac{n \cdot D \cdot \pi \cdot 3,6}{60} \quad \text{km/h} \quad (9.1)$$

Bu eşitlikte;

v (km/h) : araç hızı

D (metre) : tekerlek çapı

n (d/dk) : motorun devir sayısı

G (sabit) : dişli katsayısı

dır. (9.1) eşitliğinden, motor hızına bağlı olarak, tekerlek çapını sabit kabul ettiğimiz zaman, uygun dişli katsayısını bulmak mümkündür. Aracın 80 km/h hızında, 640 mm tekerlek çapında, motorun eriştiği hız 4600 d/dk dır. Bu büyüklükleri (9.1) eşitliğine koyduğumuzda dişli katsayısı 6,92 bulunur. Hız eşitliğindeki 60 değeri, motor hızının d/dk değerini saniyedeki devir sayısına çevirmek içindir. Dişli katsayısı bulunduktan sonra, (9.1) eşitliğinden, motorun devir sayısı (n), araç hızına bağlı olarak adım adım bulunur. Motorun elektriksel büyüklüklerini inceleyelim:

Motorun armatüründe endüklenen zıt elektromotor kuvveti (E_A):

$$E_A = k \cdot \Phi_f \cdot n \quad V \quad (9.2)$$

olarak verilir.

Burada,

k : 0.0748 motorun uyarma gerilim akısı ve akıyı centiweber (cWb) olarak kullanmayı sağlayan katsayıdır.

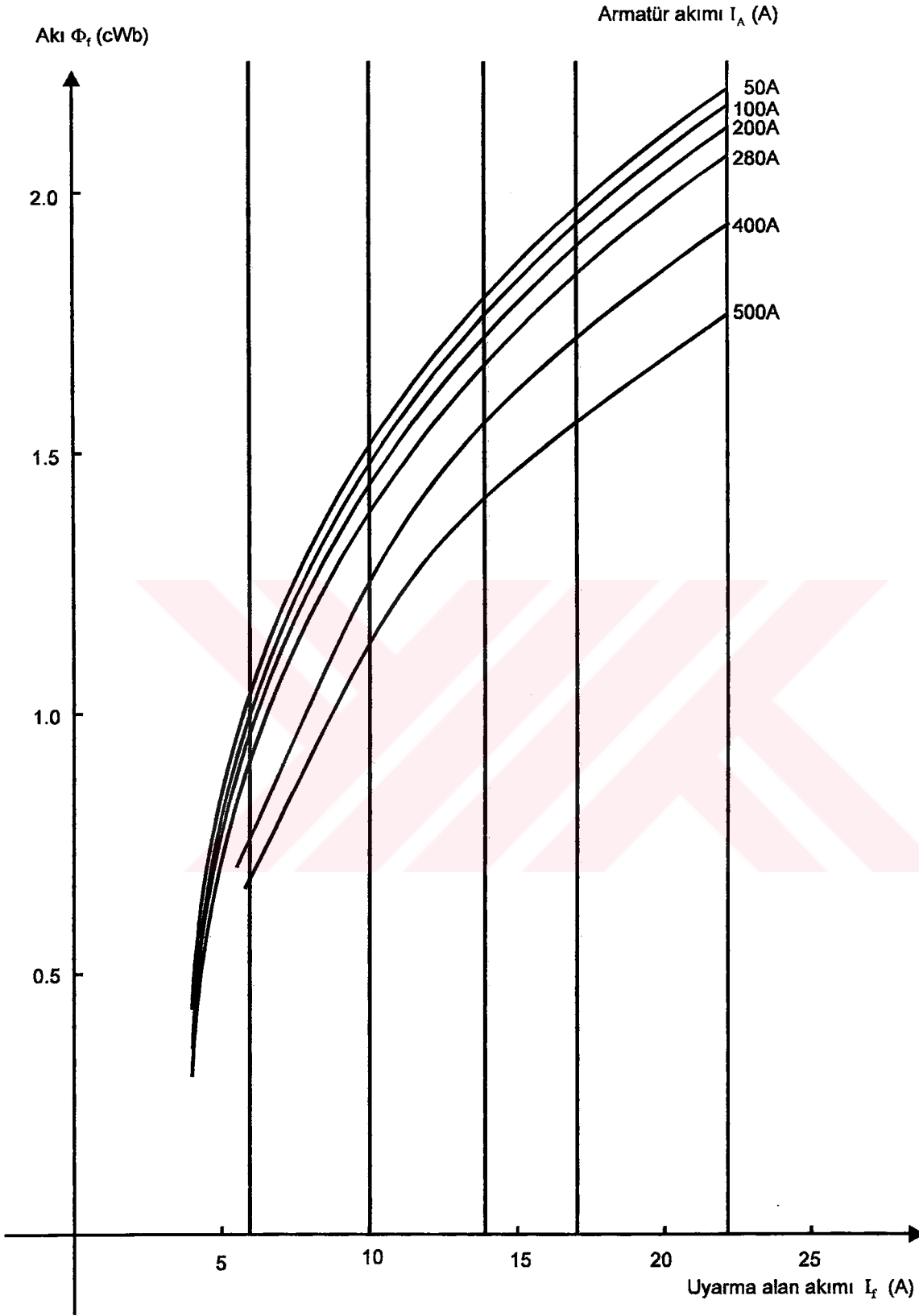
Φ_f : Motorun uyarma gerilim akısı (cWb)

n : Motorun dönme sayısı (d/dk)

dır.

Magnetik akı motorun mıknatıslanma eğrisinden alınır (Şekil 9.1).

Motorun uyarma gerilim akısı (Φ_f), düşük hızlarda ($v < 35$ km/h) motor için olan mıknatıslanma eğrisi Şekil 9.1 'den kolayca bulunur. Bu eğriden, akımın değeri tam uyarma alanı akımında ve armatür akımının 300 A olması durumunda, 1,85 cWb olduğu görülmektedir. Motorun armatür akımı arttıkça, motorun uyarma akısı azalır. Motor temel hızına eriştiği zaman, motor gerilimi maksimum 315 V olduğunda, uyarma akımını veya akıyı arttırarak hızı azaltabiliriz. Motordaki akıyı, motorun uyarma akımını azaltarak düşürebiliriz. Sistemin nominal çalışma durumunda, her bir motor gerilimini maksimum 315 V olacağını kabul ederek, daha farklı gerilim düşümlerinde ve farklı hızlarda bu maksimum gerilime ulaşması durumunda uyarma gerilim akısı (Φ_f)



Şekil 9.1 Akının, uyarma ve armatür akımına bağlı olarak değişim grafiği

hesaplanılır. Armatürde endüklenen zıt elektromotor kuvveti bilindiğinde armatür akımı I_A hesaplanmadan tanımlanır. Armatür akımı hesaplanamaz. Ancak motorun gerekli çekim kuvveti verilerek seçilir. Armatürdeki ve komütasyon sargılarındaki omik dirençler $56,4 \text{ m}\Omega$ olup bu sargılar birbirine seridir. Motorun armatür devresinde aynı zamanda faz endüktansı vardır. Bu endüktansın hesaplamalarda göz önüne alınması zorunludur ($R_L=32,8 \text{ m}\Omega$). Bir motor modülündeki, iki motorun çıkışı için bir faz endüktansı vardır. Bu hesaplamalarda, motor fırçaları üzerine düşen gerilim de hesaba katılır. Hesaplamalar, motorun dinamik denklemlerindeki türevler sıfır kabul edilerek yapılmıştır.

Bir motor modülündeki gerilim değeri armatür endüktansı ihmal edilerek hesaplanır:

$$V_{\text{Amödü}} = 2.E_A + I_A(2.R_A + R_L) + 6 \quad \text{V} \quad (9.3)$$

Bir motor üzerindeki gerilim:

$$V_A = E_A + I_A.R_A + 3 \quad \text{V} \quad (9.4)$$

Böylece;

$$V_{\text{Amödü}} = 2.V_A + R_L.I_A \quad \text{V} \quad (9.5)$$

olur.

Bu eşitlikteki büyüklükler:

V_A : bir motordan geçen gerilim

R_A : motorun armatür direnci

R_L : faz endüktansı direnci

dir.

6 V değeri, fırçalara düşen gerilim değeridir. Her bir motordaki fırça gerilimi 3 V 'dur.

Gerilim düşümü :

$$\Delta U = I_A \cdot (R_A + \frac{R_L}{2}) + 3 \quad V \quad (9.6)$$

dır.

Motor üzerindeki gerilimi hesapladıktan sonra, motorda ve dişlide meydana gelen toplam güç kaybı bulunur. Dört adet kayıp gücü vardır, bunlar:

-Demir kayıpları P_{fe}

-Sürtünme kayıpları P_{fr}

-Kıyııcılardan dolayı meydana gelen kayıplar P_t

-Dişliden dolayı meydana gelen kayıplar P_{vx}

Tüm kayıpların toplamı (P_f) olup:

$$P_f = P_{fe} + P_{fr} + P_t + P_{vx} \quad (9.7)$$

dir.

Motorun hava aralığı gücü:

$$P_\delta = E_A \cdot I_A \quad kW \quad (9.8)$$

dir.

Elde edilen net güç:

$$P_N = P_\delta - P_f \quad kW \quad (9.9)$$

dir. Bulunan bu güç tekerlek dingiline iletilir.

Bir aracın toplam motor çekme kuvveti:

$$F_M = \frac{4 \cdot P_N}{v} \quad kN \quad (9.10)$$

dir.

Toplam motor çekme kuvvetini hesaplarken başlangıçta aracın hızının 5 km/h olduğu kabul edilmiştir.

Bir araçtaki motorların toplam giriş gücü:

$$P_{\text{giriş}} = 4 \cdot V_A \cdot I_A \quad \text{kW} \quad (9.11)$$

dir.

Armatür akımının dalgalanma seviyesini kontrol edebilmek için, kıyıcının giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki oranı kontrol etmek gereklidir. Bu dalgalanma sırasında faz endüktansının ve kıyıcı frekansının etkisi büyüktür. Bu iki değer artmasıyla akım dalgalanması azaltılır. Akım dalgalanmasının kontrolü gerilim oranı alfa ile yapılır (9.12). Yüksek hızlardaki akım dalgalanması, motorun komütatörüne zarar verecektir. Bu nedenle akım dalgalanmasını bir limitte tutmak gereklidir.

Kıyıcının çıkış gerilimi U_{ch} olup, bu gerilim değeri bir motor modülünden geçen gerilim değerine eşittir. Kıyıcının giriş gerilimi, hat gerilimine eşit olarak alınır.

Gerilim oranı “ α ”:

$$\alpha = \frac{U_{ch}}{U_L} \quad (9.12)$$

dir.

Sistemin nominal çalışma durumundaki, adım adım yapılan hesaplama değerleri bilgisayardan alınıp Tablo 9.1(a), (b), (c), (d) ‘de verilmiştir.

Motor hızı n(d/dk)	Tekerlek Çapı D(m)	Dişli katsayısı G	Aracın hızı v(km/h)	Motor sabiti (k)	Magnetik akı $\Phi_r(cwb)$	Armatürde endüklenen Zıt emk $E_A(V)$
0	0.64	6.92	0.0	0.0748	1.85	0
287	0.64	6.92	5.0	0.0748	1.85	40
574	0.64	6.92	10.0	0.0748	1.85	79
861	0.64	6.92	15.0	0.0748	1.85	119
1148	0.64	6.92	20.0	0.0748	1.85	159
1435	0.64	6.92	25.0	0.0748	1.85	199
1722	0.64	6.92	30.0	0.0748	1.85	238
2009	0.64	6.92	35.0	0.0748	1.85	278
2296	0.64	6.92	40.0	0.0748	1.690	290
2583	0.64	6.92	45.0	0.0748	1.502	290
2870	0.64	6.92	50.0	0.0748	1.369	294
3157	0.64	6.92	55.0	0.0748	1.247	295
3444	0.64	6.92	60.0	0.0748	1.146	295
3731	0.64	6.92	65.0	0.0748	1.059	296
4018	0.64	6.92	70.0	0.0748	0.986	296
4305	0.64	6.92	75.0	0.0748	0.921	297
4592	0.64	6.92	80.0	0.0748	0.866	297

Tablo 9.1a Sistemin Nominal Çalışma Durumundaki İşletme Değerleri

Armatür akımı $I_A(A)$	Armatür direnci $R_A(\Omega)$	Faz endüktans direnci $R_L(\Omega)$	Motor gerilimi $V_A(V)$	Demir kayıpları $P_e(kW)$	Sürtünme kayıpları $P_r(kW)$
300	0.0564	0.0328	24.8	0	0
300	0.0564	0.0328	64.6	0.1500	0.1044
300	0.0564	0.0328	104.3	0.3263	0.2096
300	0.0564	0.0328	144.0	0.5288	0.3160
300	0.0564	0.0328	188.7	0.7575	0.4245
300	0.0564	0.0328	223.4	1.0124	0.5356
300	0.0564	0.0328	263.1	1.2936	0.6501
300	0.0564	0.0328	302.8	1.6009	0.7686
300	0.0564	0.0328	315.0	1.6134	0.8917
300	0.0564	0.0328	315.0	1.5118	1.0201
300	0.0564	0.0328	315.0	1.4667	1.1546
300	0.0564	0.0328	315.0	1.4055	1.2957
300	0.0564	0.0328	315.0	1.3551	1.4441
300	0.0564	0.0328	315.0	1.3098	1.6006
300	0.0564	0.0328	315.0	1.2744	1.7656
300	0.0564	0.0328	315.0	1.2411	1.9401
300	0.0564	0.0328	315.0	1.2152	2.1245

Tablo 9.1b

Kıyıcıdan dolayı Kayıplar P_t (kW)	Dişliden dolayı Kayıplar P_{vx} (kW)	Toplam motor Kayıpları P_t (kW)	Motor hava Aralığı gücü P_8 (kW)	Tekerlektek i net güç P_N (kW)	Motorun çekme kuvveti F_M (kN)	Giriş gücü P_{im} (kW)
0	0	0	0	0	32.7	30
0.1254	0.1956	0.6	11.9	11.3	32.7	77
0.3548	0.3913	1.3	23.8	22.5	32.5	125
0.6519	0.5870	2.1	35.7	33.7	32.3	173
1.0037	0.7827	3.0	47.7	44.7	32.2	220
1.4027	0.9784	3.9	59.6	55.6	32.0	268
1.8439	1.1740	5.0	71.5	66.5	31.9	316
2.3236	1.3697	6.1	83.4	77.3	31.8	363
2.8388	1.5654	6.9	87.0	80.1	28.8	378
2.3874	1.7611	7.7	87.0	79.4	25.4	378
2.7551	1.9568	7.8	73.4	66.1	19.0	315
2.9294	2.1525	7.8	70.7	62.9	16.5	302
3.0654	2.3481	8.2	67.9	59.7	14.3	290
3.3078	2.5438	8.8	66.5	57.8	12.8	284
3.3755	2.7395	9.2	63.7	54.6	11.2	271
3.5714	2.9352	9.7	62.3	52.6	10.1	265
3.5687	3.1309	10.0	59.5	49.4	8.9	252

Tablo 9.1c

Gerilim düşümü $\Delta U(V)$	Gerilim oranı Alfa
24.84	0.0710
24.84	0.1844
24.84	0.2979
24.84	0.4114
24.84	0.5249
24.84	0.6383
24.84	0.7518
24.84	0.8653
24.84	0.9000
24.84	0.9000
21.2	0.9000
20.472	0.9000
19.744	0.9000
19.38	0.9000
18.652	0.9000
18.288	0.9000
17.56	0.9000

Tablo 9.1d

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

9.2 İvmelendirme Durumundaki Hesaplamalar

İvmelendirme hesaplamalarında, temel olarak aracın hızı alınır. Aracın hızı (km/h) değerinden (m/s) değerine çevrilir. Aracın kendi ağırlığı (29 ton) ve normal yolcu ağırlığı (11,6 ton) olup hesaplamalarda bu değerlerde gözönüne alındı. Tren direnci kuvvetini hesaplariken dingil sayısı kullanılır.

Tren direnci kuvveti Davis Formülünden bulunur (F_R):

$$F_R = k_0 + k_1 \cdot v + k_2 \cdot v^2 \quad \text{kN} \quad (9.13)$$

Burada k_0 , k_1 , k_2 sabitler olup, v araç hızıdır.

Tahrik motorundaki armatürün hareketli kütlesi, dingiller ve tekerlekler 3.15 ton bulunmuştur (tekerlekler yarı tornalanmıştır). Dinamik kütle; aracın ağırlığı, yolcu ağırlığı ve hareketli kütlenin toplamına eşittir. Bu kütle, aracın ivmelendirilmesinde etkilidir. Tren direnci kuvveti, aracın hızına bağlı olarak hesaplanır (9.13).

Net çekme kuvveti F :

$$F = F_M - F_R \quad (\text{kN}) \quad (9.14)$$

'den hesaplanır. Net çekme kuvveti ve dinamik kütle aracın ivme değerini verir.

Gerçeğe uygun bir yol boyunca net çekme kuvvetini 0'dan 80 km/h hız aralığına kadar, adım adım aracın ivmelendirmesi için gerekli zaman hesaplanır. Her 5 km/h 'teki ivmelendirme zamanı, hesaplanarak bulunur (10-15 km/h, 15-20 km/h aralıkları gibi). Bulunan adım adım " Δt " zamanları toplanarak, ivmelendirme için gerekli olan toplam süre bulunur.

Her hız aralığındaki ivmelendirme süresi:

$$\Delta t = W_{\text{dyn}} \cdot \frac{(v_2 - v_1)}{(F_2 - F_1)} \cdot \ln\left(\frac{F_2}{F_1}\right) \quad \text{sn} \quad (9.15)$$

Burada,

- Δt : her 5 km/h 'teki ivmelendirme süresi
 W_{dyn} : dinamik kütle (kgs)
 v_1 : düşük limitteki hız (m/s)
 v_2 : yüksek limitteki hız (m/s)
 F_1 : düşük limitteki net çekme kuvveti (N)
 F_2 : yüksek limitteki net çekme kuvveti (N)

İvmelendirme için alınan yol, ivmelendirme zaman aralıkları hesabında gidilen yöntemle adım adım bulunur (9.16).

İvmelendirme mesafesi:

$$\Delta s = W_{\text{dyn}} \cdot \frac{v_2 - v_1}{T_2 - T_1} \cdot \left[(v_2 - v_1) - \frac{(v_2 \cdot F_1 - v_1 \cdot F_2)}{F_2 - F_1} \right] \cdot \ln\left(\frac{F_2}{F_1}\right) \quad \text{m} \quad (9.16)$$

dır.

Toplam ivmelendirme mesafesi her 5 km/h için hesaplanan Δ mesafelerinin toplanmasıyla bulunur.

İvmelendirme (9.17) 'deki gibi hesaplanır:

$$a = \frac{F}{W} \quad \text{m/s}^2 \quad (9.17)$$

dir.

Burada,

- a : ivme (m/s^2)
 F : net çekim kuvveti (kN)
 W : dinamik kütle (ton)

Her 5 km/h 'deki ray hızındaki mekanik enerji sarfiyatı, kısıyıcı ünitesi için yapılan enerji değeri hesaplama yöntemiyle bulunur. Burada kullanılan güç mekanik güçtür.

Motorun momenti, motorun çekme kuvvetine ve tekerlek yarıçapına bağlı olarak bulunur (9.20).

$$T_M = \frac{F_M \cdot R}{4 \cdot G} \quad \text{Nm} \quad (9.20)$$

Burada,

F_M : motorların net çekme kuvveti (N)

R : tekerlek yarıçapı (m)

G : dişli katsayısıdır.

İvmelendirme durumundaki hesaplama sonuçları Tablo 9.2(a), (b),(c), (d) 'de verilmiştir.

Aracın hızı v(km/h)	Aracın hızı n(m/s)	Aracın ağırlığı (ton)	Yolcu ağırlığı (ton)	Motorun çekme kuvveti F _M (kN)	Eğim yüzde değeri
0.0	0.0	29	11.6	32.7	1
5.0	1.4	29	11.6	32.7	1
10.0	2.8	29	11.6	32.5	1
15.0	4.2	29	11.6	32.3	1
20.0	5.6	29	11.6	32.2	1
25.0	6.9	29	11.6	32.0	1
30.0	8.3	29	11.6	31.9	1
35.0	9.7	29	11.6	31.8	1
40.0	11.1	29	11.6	28.8	1
45.0	12.5	29	11.6	25.4	1
50.0	13.9	29	11.6	19.0	1
55.0	15.3	29	11.6	16.5	1
60.0	16.7	29	11.6	14.3	1
65.0	18.1	29	11.6	12.8	1
70.0	19.4	29	11.6	11.2	1
75.0	20.8	29	11.6	10.1	1
80.0	22.2	29	11.6	8.9	1

Tablo 9.2a İvmelendirme Durumundaki Hesaplama Değerleri

Tren direnci kuvveti sabitleri			Armatürün hareketli kütlesi (ton)	Dinamik kütlesi (ton)	Tren direnci kuvveti F_R (kN)	Net çekme kuvveti F (kN)
k_0 sabiti	k_1 sabiti	k_2 sabiti				
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	1.43	31.2166
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	1.46	31.1887
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	1.51	30.9537
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	1.57	30.7342
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	1.66	30.5134
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	1.76	30.2847
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	1.88	30.0448
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	2.02	29.7918
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	2.18	26.6638
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	2.36	23.0343
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	2.56	16.4829
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	2.77	13.6958
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	3.00	11.3200
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	3.26	9.5350
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	3.53	7.6933
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	3.82	6.2831
2.6007389	0.00931	0.0009399	3.15	43.75	4.13	4.7720

Tablo 9.2b

İvmelendirme $\Delta t(s)$ Süresi	İvmelendirme toplam süresi $t(s)$	İvmelendirme $\Delta s(m)$ Süresi	İvmelendirme toplam mesafesi $s(m)$	İvme (m/s^2)	Mekanik güç $P_m(kW)$	Mekanik $\Delta W_{mek. enerjisi}$ (kWh)
0.0	0.0	0.0	0.0	0.71	0.0	0.0
1.9476	1.9	1.3529	1	0.71	45.0936	0.0121
1.9559	3.9	4.0772	5	0.71	90.1872	0.0367
1.9703	5.9	6.8441	12	0.70	134.6385	0.0615
1.9845	7.9	9.6500	22	0.70	178.7580	0.0863
1.9991	9.9	12.4988	34	0.69	222.5731	0.1114
2.0147	11.9	15.3944	50	0.69	266.1013	0.1367
2.0313	13.9	18.3430	68	0.68	309.3547	0.1623
2.1551	16.1	22.4807	91	0.61	320.5539	0.1885
2.4500	18.1	28.9701	120	0.53	317.4691	0.2171
3.1044	21.6	41.0876	161	0.38	264.4663	0.2509
4.0390	25.7	58.9983	220	0.31	251.6139	0.2895
4.8734	30.5	77.9589	298	0.26	238.7834	0.3319
5.8424	36.4	101.5622	399	0.22	231.0091	0.3812
7.0820	43.5	132.9843	532	0.18	218.2386	0.4418
8.7261	52.2	175.9664	708	0.14	210.4863	0.5196
11.0637	63.2	238.5672	947	0.11	197.7946	0.6273

Tablo 9.2c

Toplam mekanik energi W_{mek} (kWh)	Elektrik energi W_d (kWh)	Motordaki elektrik energi W_d (kWh)	Motor momenti T (Nm)
0.0	0.0	0.0	377.4656
0.0121	0.0309	0.0309	377.4656
0.0489	0.0570	0.0879	375.2883
0.1104	0.0835	0.1714	373.5061
0.1968	0.1103	0.2818	371.9249
0.3082	0.1376	0.4195	370.4694
0.4450	0.1654	0.5849	369.1012
0.5073	0.1937	0.7786	367.7972
0.7959	0.2241	1.0028	333.4730
1.0130	0.2597	1.2626	293.5680
1.2639	0.3019	1.5645	220.1000
1.5534	0.3490	1.9135	190.3670
1.8854	0.4024	2.3160	165.6047
2.2666	0.4671	2.7832	147.8888
2.7084	0.5476	3.3308	129.7338
3.2280	0.6518	3.9826	116.7837
3.8554	0.7973	4.7799	102.8831

Tablo 9.2d

9.3 Dinamik Frenleme Durumundaki Hesaplamalar

Dinamik frenlemedeki çekme kuvveti, sistemin nominal çalışma durumundaki gibi hesaplanır. Dinamik frenleme durumundaki güç kayıpları frenleme durumunda avantaj olarak kullanılır.

Dinamik frenlemedeki akı, sistemin nominal çalışma durumundaki akı eğrisinden bulunur. Dinamik frenlemedeki akı değeri, motor gerilim değerlerinin aynı hızlarda değişmesinden dolayı farklı bulunur.

İstenilen dinamik frenleme kuvvetini elde etmek için gereken armatür akım değerleri seçilir.

Motor gerilimi bağıntısı:

$$V_A = E_A - I_A \cdot R_A - 3 \quad V \quad (9.21)$$

dir.

Dinamik frenlemede (9.21) eşitliğinden görüldüğü gibi, E_A gerilim değeri motor gerilim (V_A) değerinden büyüktür.

Motor modülü gerilimi:

$$V_{A\text{modül}} = 2 \cdot E_A - I_A \cdot (2 \cdot R_A + R_L) - 6 \quad V \quad (9.22)$$

dır.

Dinamik frenlemedeki maksimum motor gerilimi 360 V 'dur. Motordaki toplam güç kaybı, sistemin nominal çalışma durumundaki gibi bulunur. Mekanik gücü bulmak için, motorun hava aralığı gücüne motordaki güç kayıpları eklenir (9.23).

$$P_{mek} = 4 \cdot (P_f + P_\delta) \quad kW \quad (9.23)$$

dır.

Dinamik frenleme kuvveti:

$$F_M = \frac{P_{mek}}{v} \quad \text{kN} \quad (9.24)$$

dır.

Dinamik frenlemede, sıfır hızında frenleme kuvveti de sıfırdır.

Armatür akımındaki dalgalanma seviyesi, sistemin nominal çalışma durumundaki gibi hesaplanır.

Dinamik frenleme durumundaki hesaplama sonuçları Tablo 9.3 (a), (b) ve (c) 'de verilmiştir.

Magnetik akı $\Phi_f(\text{cWb})$	Armatür akımı $I_A(\text{A})$	Armatür direnci $R_A(\Omega)$	Faz endüktans direnci $R_L(\Omega)$	Gerilim düşümü $\Delta U(\text{V})$	Armatürde endüklenen zıt emk $E_A(\text{V})$	Motor gerilimi $V_A(\text{V})$
1.12	300	0.0564	0.0328	24.840	385	360
1.20	321	0.0564	0.0328	26.368	386	360
1.29	345	0.0564	0.0328	28.116	388	360
1.40	367	0.0564	0.0328	29.717	390	360
1.52	380	0.0564	0.0328	30.664	391	360
1.65	380	0.0564	0.0328	30.664	391	360
1.82	380	0.0564	0.0328	30.664	391	360
1.9	380	0.0564	0.0328	30.664	367	336.4
1.9	380	0.0564	0.0328	30.664	326	295.9
1.9	380	0.0564	0.0328	30.664	286	254.9
1.9	380	0.0564	0.0328	30.664	245	214.1
1.9	380	0.0564	0.0328	30.664	204	173.3
1.9	380	0.0564	0.0328	30.664	163	132.5
1.9	380	0.0564	0.0328	30.664	122	91.7
1.9	380	0.0564	0.0328	30.664	82	50.9
1.9	380	0.0564	0.0328	30.664	41	10.1
0	0	0.0564	0.0328	3.0	0	0

Tablo 9.3a Dinamik Frenleme Durumundaki Değerler

Demir kayıpları P_{fe} (kW)	Sürtünme kayıpları P_R (kW)	Kıyıcıdan dolayı kayıpları P_i (kW)	Dişliden dolayı kayıpları P_v (kW)	Toplam kayıp P_f (kW)	Motor hava aralığı gücü P_8 (kW)
2.0342	2.1245	8.0296	3.1309	15.3193	115.4520
2.1045	1.9401	8.3448	2.9352	15.3246	124.0243
2.1858	1.7656	8.6916	2.7395	15.3827	133.9000
2.2764	1.6006	8.8007	2.5438	15.2216	143.0263
2.3724	1.4441	8.3677	2.3481	14.5326	148.4523
2.4828	1.2957	7.3439	2.1525	13.2650	148.4523
2.5933	1.1546	6.3655	1.9568	12.0704	148.4523
2.4199	1.0201	5.4350	1.7611	10.6362	139.4964
2.0404	0.8917	4.5548	1.5654	9.0525	123.9968
1.6886	0.7686	3.7280	1.3697	7.5551	108.4972
1.3644	0.6501	2.9584	1.1740	6.1471	92.9976
1.0679	0.5356	2.2505	0.9784	4.8326	77.4980
0.7990	0.4245	1.6103	0.7827	3.6167	61.9984
0.5578	0.3160	1.0459	0.5870	2.5069	46.4988
0.3442	0.2096	0.5693	0.3913	1.1514	30.9992
0.1583	0.1044	0.2012	0.1956	0.6597	15.4996
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tablo 9.3b

Motorun mekanik gücü P_{mek} (kW)	Dinamik frenleme kuvveti F_M (kN)	Elektrik çıkış gücü P_0 (kW)	Gerilim oranı (α)	Motor momenti T (Nm)
523.0852	23.5	432	0.18	272.0835
547.3963	26.8	462	0.18	309.2591
597.1311	30.7	497	0.18	354.9698
632.9919	35.1	528	0.18	405.2327
651.9397	39.1	547	0.18	452.1431
646.8694	42.3	547	0.18	489.4109
642.0909	46.2	547	0.18	534.3751
600.5310	48.0	511	0.24	555.3191
532.1974	47.9	449	0.33	553.6465
464.2095	47.7	387	0.42	551.9068
396.5793	47.6	325	0.51	550.0834
329.3227	47.4	263	0.61	548.1524
262.4607	47.2	201	0.71	546.0771
196.0230	47.0	139	0.79	543.7956
130.0552	46.8	77	0.88	541.1871
64.6374	46.5	15	0.98	537.9402
0.0	0.0	0.0	1.00	0.0

Tablo 9.3c

9.4 Frenleme Durumundaki Hesaplamalar

Frenleme durumundaki hesaplamalar, ivmelendirme durumundaki gibi hesaplanır. Frenleme durumunda başlangıç hız olarak, 80 km/h alınır.

Üç çeşit frenleme durumu vardır. Bunlar: ray freni, disk freni ve dinamik frendir. Burada, herbir frenleme kuvveti değeri verilmiştir. Disk ile frenlemede yavaşlama ivme değeri, 1.1 m/s^2 olur. Frenlemede, tren direnci kuvveti (F_R), frenleme için avantaj olarak kullanılır. Fakat F_R değeri küçüktür. Yavaşlama ivmesi = $\frac{\text{net frenleme kuvveti}}{\text{dinamik kütle}}$ (9.17) 'den bulunur.

Net frenleme kuvveti (F):

$$F = F_{\text{top}} + F_R \quad \text{kN} \quad (9.26)$$

$$F_{\text{top}} = F_{\text{disk}} + F_M + F_{\text{eğim}} \quad \text{kN} \quad (9.27)$$

dir. Burada,

- F : Net frenleme kuvveti (kN)
- F_{top} : Toplam frenleme kuvveti (kN)
- F_{disk} : Disk frenleme kuvveti (kN)
- F_M : Motorun çekme kuvveti (kN)
- $F_{\text{eğim}}$: Yolun eğimine göre olan kuvvet (kN)

Frenleme süresi, mesafesi ve enerjisi, ivmelendirme durumundaki yöntemle hesaplanır.

Frenlemeye ait hesaplama sonuçları Tablo 9.4. (a), (b) ve (c) 'de verilmiştir.

Aracın hızı v(km/h)	Aracın hızı v(m/s)	Ray freni kuvveti (kN)	Disk freni kuvveti (kN)	Dinamik frenleme kuvveti F _M (kN)	Eğim yüzdesi (Her mildeki)	Toplam frenleme kuvveti (kN)	Tren direnci kuvveti T _R (kN)
80.0	22.2256	0	21	23.5	1	44.1	4.1273
75.0	20.8365	0	18	26.8	1	44.4	3.8186
70.0	19.4474	0	15	30.7	1	45.3	3.5286
65.0	18.0583	0	11	35.1	1	45.7	3.2572
60.0	16.6692	0	7	39.1	1	45.7	3.0047
55.0	15.2801	0	3	42.3	1	44.9	2.7708
50.0	13.8910	0	0	46.2	1	45.8	2.5557
45.0	12.5019	0	0	48.0	1	47.6	2.3593
40.0	11.1128	0	0	47.9	1	47.5	2.1816
35.0	9.7237	0	0	47.7	1	47.3	2.0226
30.0	8.3346	0	0	47.6	1	47.2	1.8882
25.0	6.9455	0	0	47.4	1	47.0	1.7608
20.0	5.5564	0	0	47.2	1	46.8	1.6580
15.0	4.1673	0	0	47.0	1	46.6	1.5740
10.0	2.7782	0	0	46.8	1	46.4	1.5086
5.0	1.3891	0	0	46.5	1	46.1	1.4620
0.0	0.0	0	51.5	0.0	1	51.1	1.4341

Tablo 9.4a

Net Frenle. kuvveti F(kN)	Yavaşlama ivmesi a (m/s ²)	Frenlem e Δt süresi	Frenleme toplam süresi t(s)	Frenleme Δs mesafesi (m)	Frenleme toplam mesafesi s(m)	Ray freni gücü (kW)	Disk freni gücü (kW)
48.2843	1.10	0.0	0.0	0.0	0	0	466.7383
48.1712	1.10	1.2603	1.3	27.1372	27	0	375.0575
48.8352	1.12	1.2529	2.5	25.2397	52	0	291.7114
48.9116	1.12	1.2434	3.8	23.3190	76	0	198.6416
48.7168	1.11	1.2449	5.0	21.6171	97	0	116.6845
47.7066	1.09	1.2605	6.3	20.1345	117	0	45.8403
48.3808	1.11	1.2649	7.5	18.4524	136	0	0.0
49.9961	1.14	1.2356	8.8	16.3106	152	0	0.0
49.6737	1.14	1.2194	10.0	14.3981	167	0	0.0
49.3642	1.13	1.2272	11.2	12.7851	179	0	0.0
49.0663	1.12	1.2348	12.4	11.1487	191	0	0.0
48.7777	1.11	1.2422	13.7	9.4900	200	0	0.0
48.4954	1.11	1.2495	14.9	7.8099	208	0	0.0
48.2140	1.10	1.2568	16.2	6.1096	214	0	0.0
47.9230	1.10	1.2643	17.5	4.3897	218	0	0.0
47.5955	1.09	1.2724	18.7	2.6504	221	0	0.0
52.5358	1.20	1.2148	19.9	0.8576	222	0	0.0

Tablo9.4b

Dinamik frenleme gücü (kW)	Mekanik enerji ΔW_{mek} (kWh)	Toplam mekanik enerji W_{mek} (kWh)	Elektrik enerji ΔW_{el} (kWh)	Toplam elektrik enerjisi W_{el} (kWh)	Kıyıcıdaki ΔW_{el} enerjisi (kWh)	K. 'daki Toplam W_{el} enerjisi (kWh)
523.0852	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
557.3963	0.1473	0.1473	0.1891	0.1891	0.1554	0.1554
597.1311	0.1160	0.2633	0.2009	0.3900	0.1657	0.3211
632.9919	0.0846	0.3480	0.2124	0.6025	0.1758	0.4970
651.9397	0.0545	0.4026	0.2221	0.8246	0.1847	0.6818
646.8694	0.0284	0.4310	0.2227	1.0520	0.1903	0.8721
642.0909	0.0080	0.4391	0.2264	1.2785	0.1909	1.0631
600.5310	0.0	0.4391	0.2132	1.4918	0.1804	1.2435
532.1974	0.0	0.4391	0.1918	1.6836	0.1615	1.4051
464.2095	0.0	0.4391	0.1698	1.8535	0.1414	1.5465
396.5793	0.0	0.4391	0.1476	2.0011	0.1211	1.6677
329.3227	0.0	0.4391	0.1252	2.1263	0.1005	1.7682
262.4607	0.0	0.4391	0.1027	2.2290	0.0795	1.8478
196.0230	0.0	0.4391	0.0800	2.3091	0.0584	1.9062
130.0552	0.0	0.4391	0.0572	2.3663	0.0370	1.9433
64.6374	0.0	0.4391	0.0344	2.4007	0.0154	1.9587
0.0	0.0	0.4391	0.0109	2.4116	0.0019	1.9606

Tablo9.4c

BÖLÜM 10

İSTANBUL ULAŞIM A.Ş 'DE KULLANILAN BİR LRT (LIGHT RAPID VEHICLE) TAŞITININ PSPICE PROGRAMI İLE ANALİZİ

10.1 GİRİŞ

Burada önceki bölümde detayları ile verilen bir ulaşım taşıtına ait değerler kullanılarak taşıtın hareket edebilmesi için gereken bütün momentler (1. Bölümde verilen) hesaplanarak, her bir motorun üretmesi gereken moment değerleri hesaplanacaktır. .

T_M , T_R , T_G , T_W ve T_A moment ifadelerindeki “ n_1 =motor sayısı” böleninin bulunması motor başına düşen moment değerinin bulunmak istenmesindendir. Bütün bu moment değerleri bulunarak $T_L = T_M + T_R + T_G + T_W + T_A$ şeklinde bir ifade elde edilecektir. Bu moment eşitliğinden hareketle tüm sistemin Pspice modeli kurulacaktır.

10.2 Moment İfadesinin Elektriki Eşdeğerinin Elde Edilmesi

Moment eşitliğindeki T_M , T_W ve T_A doğrudan ivmeyle orantılı, T_R hızın karesine, hıza ve ivmeye ve hıza bağlı olmayan üç bileşen içermekte (1.23 ve 1.24), T_G ise hıza bağlı olmayan bir büyüklüktür (1.20).

$$T_L = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_W (-T_G + T_R)$$

idi (1.5). Buradan $T_M = \frac{r \cdot m \cdot a \cdot n}{n_1}$ formülünde (1.16) ivme yerine $\frac{dv}{dt}$ yazılarak ve geri

kalan $\frac{r \cdot m \cdot n}{n_1}$ ifadesine K_{m1} denilerek $K_{m1} \frac{dv}{dt} = J_1 \frac{d\omega}{dt}$ yazılır. $v = \omega \cdot r$ olduğundan,

$$K_{m1} \cdot r = J_1 \text{ olur.}$$

Aynı şekilde T_W ve T_A ifadesinde de ivme yerine $\frac{dv}{dt}$ yazılarak J_2 ve J_3 bulunur.

Sonuç olarak; $T_L = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_W$ ifadesindeki atalet momenti $J = J_1 + J_2 + J_3$ olarak hesaplanmış olur.

B katsayısı ise $F_R = k_0 + k_1.v + k_2.v^2$ ifadesinde görüldüğü gibi hıza bağlı büyüklük içermektedir. Motor ile ilgili olan k_0 , k_1 ve k_2 katsayıları önceki bölümde tabloda verilmiştir.

$T_R = \frac{F_R \cdot r \cdot n}{n_1}$ ifadesinde F_R yerine konularak ve v yerine $\omega \cdot r$ yazılarak $k_1.v$

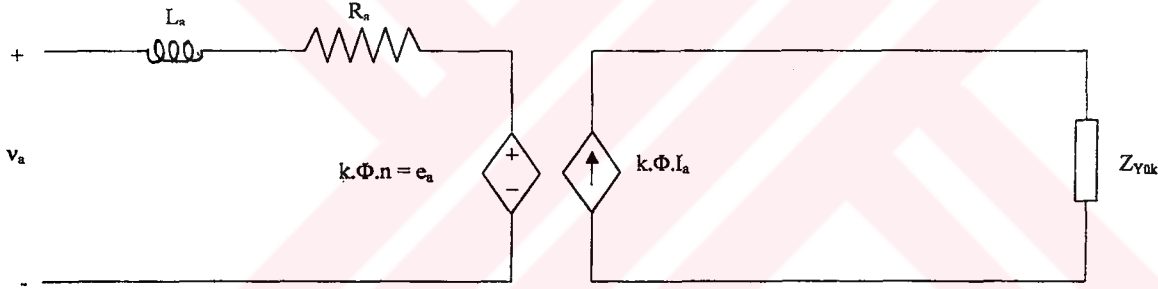
'den dolayı gelen bir $B \cdot \omega$ ifadesi elde edilecektir. T_R ifadesinde ayrıca ω^2 'ye bağlı olan bir büyüklük vardır ki bunun yorumu sonra yapılacaktır. T_w ifadesi ise ne ivmeye nede

hıza bağlıdır. $T_G = \frac{G \cdot m \cdot g \cdot r}{n_1}$ ve T_R 'nin k_0 teriminden gelen iki bileşen T_w 'yı teşkil

etmektedir.

10.3 Eşdeğer Devrenin Elde Edilmesi

Burada DC motorun eşdeğer devresini göz önüne alalım;



Şekil 10.1 DC Motorun Eşdeğer Devresi

$T_L = k \cdot \Phi \cdot I_a$ idi (6.4). Yani T_L momenti eşdeğer devrede Φ ve I_a 'ya bağlı olan bağımlı

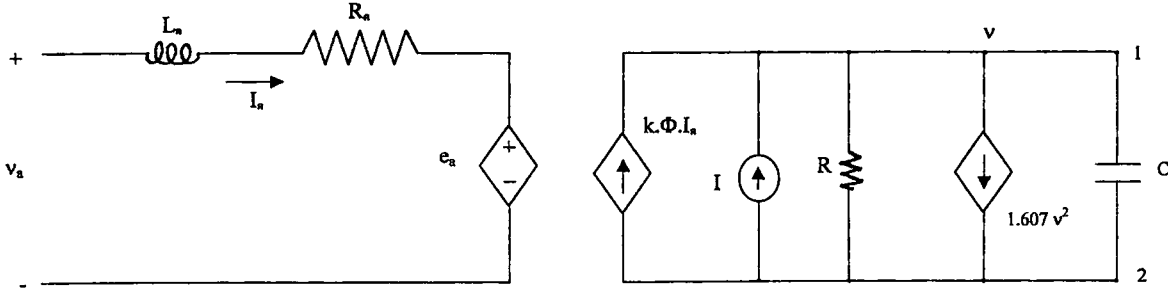
akım kaynağı olarak düşünülmüş oldu. Bu düşünceden; $I_L = C \frac{dV}{dt} + \frac{1}{R} \cdot V + I_w$ yazarak

ve $T_L = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_w$ ifadesiyle bire bir eşleme yaparak: $J=C$, $B=\frac{1}{R}$, $T_w = I_w$

elde edilmiş olur. $Z_{yük}$ yerine C , R , Sabit akım kaynağı I ve T_L ifadesinde yer alan ω^2 'li terimi de gerilim bağımlı akım kaynağı gibi (I_{VB}) düşünüp ilave ederek bir elektriki eşdeğer devre elde edilmiş olur.

Buradan anlaşılacağı gibi artık kondansatör uçlarından gerilim değeri volt olarak değil de ω olarak okunacaktır ve bu değeri $60/2\pi$ 'ye bölmek suretiyle DC motorun herhangi bir andaki devir sayısı kolaylıkla görülebilecektir.

Böylece eşdeğer devre;



Şekil 10.2 İstanbul LRT Taşıtının DC Motor Eşdeğer Devresi

olarak elde edilmiştir.

10.4 Analiz İçin Gerekli Değerlerin Hesaplanması

Taşıtın yüklü durumdaki ağırlığı 40.6 ton gelmektedir. Taşıtta üç adet bogi bulunmaktadır. Her bir bogi dört adet tekerlek içermektedir. 1. ve 3. bogi ikişer adet olmak üzere toplam dört adet DC motorla donatılmıştır. Her bir motor, tahrik dingiline dişli oranı $n=1/6.92$ olan tek redüksiyonlu dişli kutusu üzerinden bağlanmıştır. Tüm tekerlekler 640 mm çapındadır ve her bir tekerleğin ağırlığı 220 kg 'dır.

Taşıtı 0.71 m/s^2 ile hızlandırabilmek için her bir motorun üretmesi gereken momentler aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

T_M 'in hesabı:

(1.16) 'dan taşıtın kütlesinin yatay hızlandırılması için gereken moment:

$$T_M = \frac{r \cdot m \cdot a \cdot n}{n_1} = \frac{0.32 \times 40.6 \times 10^3 \times 0.71 \times (1/6.92)^2}{4} = 48.157 \quad \text{N.m}$$

$$T_M = K_{m1} \cdot a = K_{m1} \cdot \frac{dv}{dt} = J_1 \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$K_{m1} \cdot r = J_1$$

Gerekli işlemler yapılırsa:

$$J_1 = 21.7 \quad \text{kg.m}^2 \quad \text{bulunur.}$$

T_w'nin hesabı:

Her bir tekerleğin 640 mm çapında tam silindir olduğu kabul edilirse:

$$J_w = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 = \frac{1}{2} \times 220 \times (0.32)^2 = 11.264 \quad \text{kg.m}^2$$

Bu biraz değerinin altında bir tekerlek ataletidir. Çünkü jant (rim) kalınlığı nüveninkinden daha fazladır.

Her bir vagon toplamı 6 dingil yapan üç bojiye sahiptir. (1.17) 'den tekerlekleri ivmelendirmek için gerekli moment:

$$T_w = \frac{2 \cdot n_2 \cdot a \cdot n \cdot J_w}{n_1 \cdot r} = \frac{2 \times 6 \times 0.71 \times (1/6.92)^2 \times 11.264}{4 \times 0.32} = 1.565 \quad \text{N.m}$$

$$T_w = K_{m2} \cdot a = K_{m2} \cdot \frac{dv}{dt} = J_2 \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$K_{m2} \cdot r = J_2$$

Gerekli işlemler yapılırsa:

$$J_2 = 0.705 \quad \text{kg.m}^2 \quad \text{bulunur.}$$

T_A 'nın hesabı:

Eğer her bir endüvinin $m_e=105$ kg kütleli tam silindir olduğunu ve çapının $2r_e=240$ mm

olduğu düşünülürse, her bir endüvinin atalet momenti $J_A = \frac{1}{2} \cdot m_e \cdot r_e^2$ ifadesinden

$$J_A = \frac{105}{2} \cdot (0.12)^2 = 0.756 \quad \text{kg.m}^2$$

bulunur. (1.25) ifadesinden her bir endüviyi ivmelendirebilmek için gereken moment

$$T_A = \frac{a \cdot J_A}{r} = \frac{0.71 \times 0.756}{0.32} = 1.677 \quad \text{Nm}$$

bulunur. Böylece;

$$T_A = K_{m3} \cdot a = K_{m3} \cdot \frac{dv}{dt} = J_3 \cdot \frac{d\omega}{dt}$$

$$K_{m3} \cdot r = J_3$$

Gerekli işlemler yapılırsa:

$$J_3 = 0.755 \quad \text{kg.m}^2 \quad \text{bulunur.}$$

Bu endüvi ataleti bir dereceye kadar değerinden fazla hesaplanır. Çünkü komütatör çapı endüvininkinden daha azdır.

T_R 'nin hesabı:

(9.13) eşitliğine 9. Bölümde 9.2b Tablosunda verilen k_0, k_1, k_2 tren direnci kuvveti sabitleri yerine konularak:

$$F_R = k_0 + k_1 \cdot v + k_2 \cdot v^2 = 2.6007389 + 0.00931 \times v + 0.0009399 \times v^2 \quad \text{kN}$$

bulunur. Tren direncini yenmek için gereken moment (1.21) ifadesinden:

$$T_R = \frac{F_R \cdot r \cdot n}{n_1} \text{ N.m}$$

$$T_R = \left(2600.7389 + 2.9792 \cdot \omega + 0.09624576 \cdot \omega^2 \right) \times \left[\frac{0.32 \times (1/6.92)^2}{4} \right]$$

$$= \underbrace{4.34484}_{\text{Sabit akım kay.}} + \underbrace{4.977 \times 10^{-3}}_{1/R} \times \omega + \underbrace{1.6079 \times 10^{-4}}_{\text{Geril. bağ. akım kay.}} \times \omega^2 \text{ N.m}$$

T_G 'nin hesabı:

(1.20) 'den taşıtın yokuşu çıkmasına veya inmesine bağlı olarak negatif veya pozitif olan motor momenti:

$$T_G = \frac{G \cdot m \cdot g \cdot r}{n_1} = \frac{0.01 \times 40.6 \times 10^3 \times 9.81 \times 0.32 \times (1/6.92)^2}{4} = 6.6538 \text{ N.m}$$

Sonuç olarak:

$$T_L = J \cdot \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T_W (-T_G + T_R)$$

$$= (21.7 + 0.705 + 0.755) \cdot \frac{d\omega}{dt} + 4.977 \times 10^{-3} \times \omega + (-6.6538 + 4.3448 + 1.6079 \times 10^{-4} \times \omega^2)$$

$$= 23.16 \cdot \frac{d\omega}{dt} + 4.977 \times 10^{-3} \times \omega + 1.6079 \times 10^{-4} \times \omega^2 - 2.309$$

Buradan;

$$C = 23.16 \quad F$$

$$R = 200.924 \quad \Omega$$

$$I = -2.309 \quad A$$

$$I_{VB} = 1.6079 \times 10^{-4} \times \omega^2 \quad A$$

bulunur.

10.5 Boşta Çalışma Esnasında Taşıtın Aldığı Yolun Hesaplanması

Burada İstanbul LRT taşıtının maksimum hıza ulaştıktan sonra, frenleme periyoduna kadar, serbest bırakılma durumundaki çalışması incelenecektir. Tahmin edileceği gibi aracı durmaya zorlayan kuvvet tren direnci dediğimiz rüzgar direnci (T_R) dir.

Herbir motorun endüvi kütlesi 105 kg ve endüvinin çapı 220 mm 'dir. Her bir vagonun L uzunluğu 23.5 m ve her bir vagonun enine kesit alanı 8.9 m^2 'dir. Taşıt direnci aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$f_R = m \times (4.1 + 0.123 \times v) \times 10^{-3} + A \times v^2 (151 \times k + 2.16 \times n_c \times L) \times 10^{-3} \quad \text{N}$$

Burada n_c vagonların sayısı ve k en öndeki vagonun ön tarafının biçimine bağlı olan bir faktördür ve burada $k=1$ 'dir. Taşıt 22.22 m/s hızına kadar hızlandırılmış ve sonra yatay bir ray üzerinde 20 sn boşta harekete (coasting) bırakılmıştır. Boşta çalışma periyodu esnasında alınan yol şöyle hesaplanır:

20 sn 'lik boşta çalışma periyodu birkaç tali periyoda ayrılarak yaklaşık bir mesafe bulunabilir. f_R 'nin başlangıç değerinde sabit kaldığı kabul edilerek alınan mesafe hesaplanır ve daha sonra tali periyodun sonunda tren hızı hesaplanır. Aşağıdaki çözümde 20 sn periyodu dört tane 5 sn 'lik tali periyoda ayrılmıştır.

Coasting 'in başlangıcında $t = 0$ alınır. Bu başlangıçta yavaşlatma kuvveti:

$$\begin{aligned} f_{R0} &= 40.6 \times (4.1 + 0.123 \times v_0) \times 10^{-3} + 8.9 \times v_0^2 (151 + 2.16 \times 1 \times 23.5) \times 10^{-3} \\ &= 166.46 + 4.99 v_0 + 1.795 v_0^2 \end{aligned}$$

$$v=22.22 \text{ m/s için} \Rightarrow f_{R0} = 1163.76 \text{ N}$$

Buradan görülür ki hava direncinden doğan kuvvet hakimdir.

$$J_w = 11.264 \text{ kg.m}^2 \quad \text{idi.}$$

(1.27) eşitliğinden:

$$m_{acc} = m + \left(\frac{2.n_2}{r^2} J_w + \frac{n_1.J_A}{n^2.r^2} \right)$$

$$\begin{aligned} m_{ac} &= 40.6 \times 10^3 + \left[\frac{2 \times 6}{(0.32)^2} \times 11.264 + \frac{4 \times 0.756}{(1/6.92)^2 \times (0.32)^2} \right] \\ &= 43.334 \times 10^3 \text{ g} \end{aligned}$$

Buradan endüvilerin döner kütlelerinin etkisinin sistemdeki diğer döner kütlelerin etkisiyle karşılaştırılabileceği görülebilir. İlk tali periyot esnasındaki yavaşlama ivmesi,

$$a_{c0} = \frac{f_{R0}}{m_{acc}} = \frac{-1163.76}{43.334 \times 10^3} = -26.85 \times 10^{-3} \text{ m/sn}^2$$

İlk tali periyot esnasında alınan yol:

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a_{c0} \cdot t^2 = 22.2 \times 5 - \frac{1}{2} \times 26.81 \times 10^{-3} \times 5^2 = 110.77 \text{ m}$$

İlk tali periyot sonundaki v_s hızı:

$$v_s = v_0 - a_{c0} \cdot t = 22.2 - 26.81 \times 10^{-3} \times 5 = 22.087 \text{ m/s}$$

Şimdi yeni taşıt direnci hesaplanabilir. Geri kalan 3 tali periyot için yapılan işlemler tekrarlanarak Tablo 10.1 'deki değerler elde edilir. Yavaşlama ivmesinin ilk değerinde sabit kaldığı farzedilirse toplam mesafe 437.73 m olarak bulunurdu. Bu kabulden doğan hata ihmal edilebilir. Boşta çalışmada yavaşlamanın olmadığı kabul edilirse alınan mesafe

444.44 m olurdu. Bu küçük hata Şekil 1.11 'deki trapez hız-zaman eğrisinin kullanılmasının uygun olacağını göstermektedir.

t	v	f_R	a_{c0}	s
5	22.087	1163.768	-26.85×10^{-3}	110.775
10	21.954	1152.418	-26.59×10^{-3}	110.107
15	21.823	1141.242	-26.33×10^{-3}	109.445
20	21.692	1130.238	-26.08×10^{-3}	108.790

Toplam Mesafe=439.117m

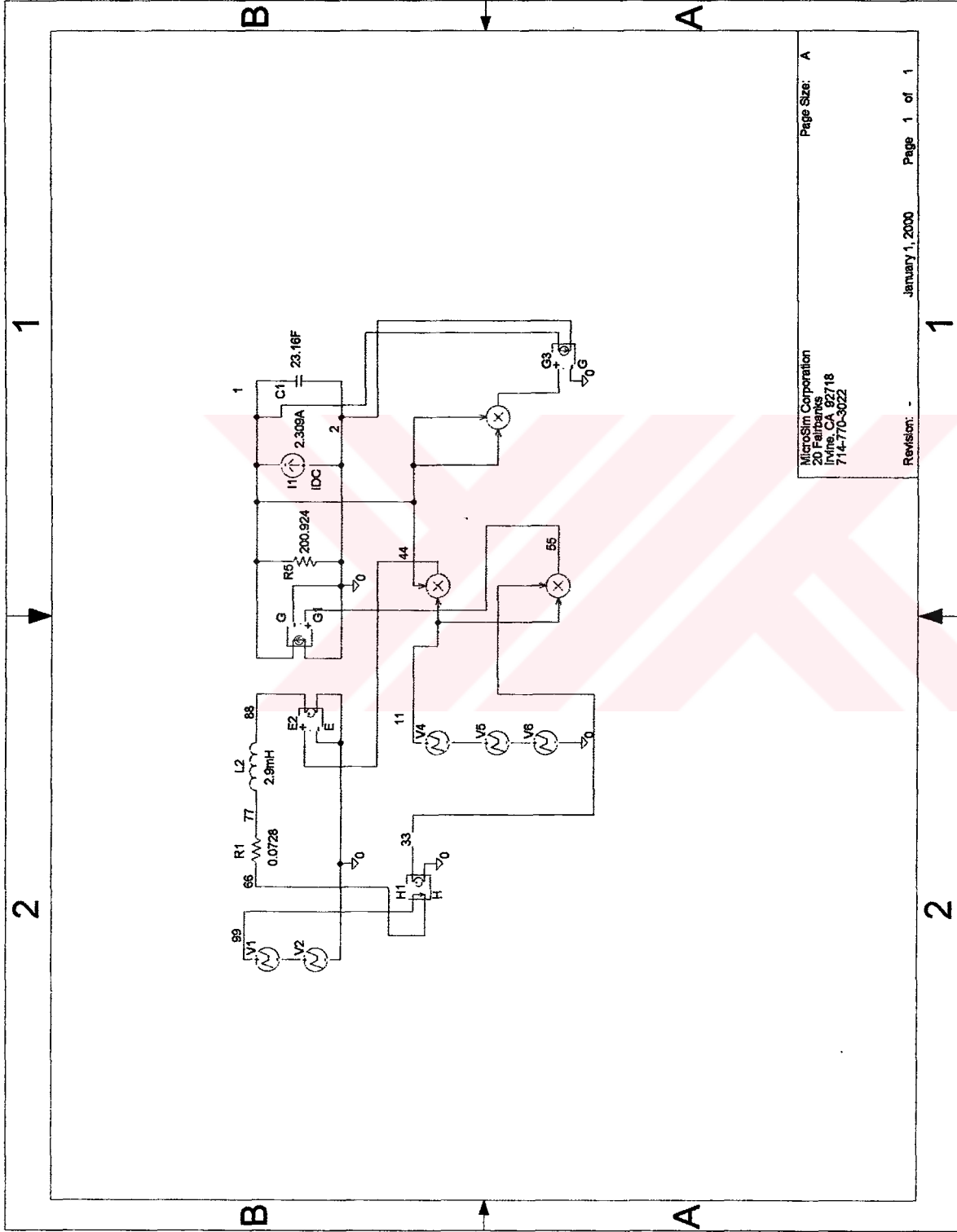
Tablo 10.1

10.6 Elde Edilen Elektriki Eşdeğer Devrenin Pspice Programıyla Analizi

Pspice programını kullanarak eşdeğer devreyi analiz edebilmek için önce devre tarif edilmiştir (Şekil 10.3). Bunun için sırasıyla 99-0 düğümleri arasında iki adet V_1 ve V_2 DC kaynağı kullanıldı. V_1 motora uygulanan DC gerilimin pozitif kısmını, V_2 ise negatif kısmını ifade etmektedir. V_1 kaynağını ifade edebilmek için Schematic editöründe iken Library 'den V pulse kaynağını seçerek $V_{10}, t_0 ; V_{11}, t_1 ; \dots V_{19}, t_9$ şeklinde, 9. Bölümde verilen, hangi anda kaynak gerilimi kaç volt ise tarif edildi. V_2 'yi de aynı şekilde tarif ettikten sonra bu iki kaynak seri olarak yerleştirilerek toplandı. Böylece bir periyotta motora uygulanan gerilim yaklaşık olarak tarif edilmiş oldu.

66-67 düğümleri arasında $R_1=R_a$, 77-88 düğümleri arasındaki $L_2=L_a$ 'yı ifade etmektedir.

88-0 düğümleri arasında bağımlı gerilim kaynağı $k \cdot \Phi \cdot n = e_a$ 'yı temsil etmektedir. Bu elemanın E_2 ucu neye bağlı olduğunu gösteriyor. Dikkat edilirse 11-0 ile 1-2 düğümleri arasındaki değerlerin çarpımına bağlı olduğu görülecektir. 11-0 düğümünde uyarma akısı tarif edilmiş, 1-2 düğümleri arasında ise n devir sayısı tarif edilmiştir. Bu iki değer bir çarpıcıdan geçirilerek ve E_2-E gerilim bağımlı gerilim kaynağında sabit bir kazanç yani k ile çarpılarak $k \cdot \Phi \cdot n$ elde edilmiştir.



Şekil 10.3 İstanbul LRT Taşıtının PSpice 'a Uygulanmış DC Motor Eşdeğer Devresi

Sağ tarafta ise motor moment ifadesi ve bir momentin kullanıldığı yerler gözükmemektedir. 1-0 düğümleri arasında gerilim bağımlı akım kaynağı kullanılmıştır. Burada $k.\Phi.I_a$ tarif edilmek istenmektedir. Φ daha öncede söylendiği gibi 11-0 düğümleri arasında tarif edilmiş, I_a ise H ile gösterilen akım bağımlı akım kaynağı kullanılmak suretiyle elde edilmiştir. 99-66 düğüm noktaları orasına konulan bu akım bağımlı akım kaynağında kazanç “1” verilmek suretiyle eşdeğer devrenin sol tarafının akımı olan I_a akımı sağ taraftaki T_L ifadesinin içindeki bulunan I_a akımı olacak şekilde taşınmış olmaktadır. Bir noktadaki akımın değeri başka bir noktada da kullanılacaksa bu işlem en uygun yoldur.

R_5 , sayfa 130 ‘da hesapladığımız ve $R = \frac{1}{B} = 200.924 \Omega$ değeridir ve aracın hızına direkt bağlı olan ve rüzgar sürtünmesi olarak bilinen momenti temsil etmektedir. I_1 sabit akım kaynağı hıza ve ivmeye bağlı olmayan momentleri ifade etmektedir ve sayfa 130 ‘da bulunan “I” değeridir. Yine sayfa 130 ‘da ω^2 ‘ye bağlı bir büyüklük vardır. Bu her hangi bir eleman ile ifade edilemediği için gerilim bağımlı akım kaynağı olarak kullanılmıştır, bunda hiçbir mahsur yoktur. Zira ifadenin tamamı $1,6079.10^{-4}.\omega^2$ ‘dır ve T_L ‘nin içinde bulunan diğer büyüklükler gibi bu da aslında bir akım kaynağıdır fakat ω^2 ‘ye bağlıdır. 1-2 düğümleri arasındaki gerilimleri değeri gerçekte ω olduğundan bu değeri bir çarpıcı üzerinden iki kere çarparak elde edilen ω^2 ‘yi gerilim gibi bağımlı akım kaynağına (G3-G ile gösterilen eleman) vererek ve kazancını $1,6079.10^{-4}$ girerek bağımlı akım kaynağının değeri $1.6079.10^{-4}.\omega^2$ olarak tarif edilmiştir.

C_1 ise sayfa 130 ‘da hesaplanan $C=23.16$ F değeridir ve atalet momentini temsil etmektedir.

Devrede 3 adet çarpıcı kullanılmıştır. Birincisi, ω^2 ‘yi elde etmek amacıyla kullanılmıştır ve çıkışı G_3 ‘gitmektedir. İkincisi, $k.\Phi.n$ ifadesini elde etmek için Φ ile n ‘i çarparak 44 no’lu çıkışı vermektedir. Üçüncüsü $k.\Phi.I_a$ ifadesini elde etmek için Φ ile I_a ‘yı çarparak 55 no’lu çıkışı vermektedir.

11-0 düğümleri arasında 3 adet kaynak kullanılmıştır. Bu kaynakların toplamı uyarma akısı Φ ‘yi temsil etmektedir. Φ ‘nin pozitif ve negatif alternanstaki değerini hassas olarak

verebilmek için 3 parçaya ayrılmıştır. Her bir parça örneğin $V_4 = V_{40}, t_{40} ; V_{41}, t_{41} ; \dots$ V_{49}, t_{49} gibi 10 adet değerden oluşmaktadır.

Böylece PSpice programında eşdeğer devre tarif edildikten sonra 0-103.1 saniye arasında transient analiz yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, karşılaştırabilmek amacıyla 9. Bölümde verilen tablolardan çizilen grafikler ile arka arkaya verilmiştir.

Şekil 10.4.a , 10.5.a , 10.6.a , 10.7.a , 10.8.a , 10.9.a ve 10.10 dokuzuncu bölümde verilen tablolardan çizilmiştir. Şekil 10.4.b , 10.5.b , 10.6.b , 10.7.b , 10.8.b , 10.9.b ise oluşturulan eşdeğer devrenin Pspice devre analiz programıyla analiz edilmesi sonucu elde edilen neticelerdir.

Burada kısaca grafikleri yorumlayacak olursak:

Hız – Zaman Grafiği :

Tablodan çizilen ile Pspice ‘dan alınan değerler hemen hemen aynıdır. Yalnız PSpice ‘da devir sayısı elde etmek için eşdeğer devreden alınan 1-2 nolu düğümler arasındaki gerilim (v), bilindiği gibi ω ‘ya tekabül etmektedir, bu değeri $60/2\pi$ ‘ye bölünerek devir sayısı görülebilir. Böylece grafik üzerinde gerilim (Volt) olarak oluşan her değer, o andaki motorun devir sayısını vermektedir.

Akı – Zaman Grafiği :

Tablodan çizilen ile Pspice ‘dan elde edilen grafikler hemen hemen aynıdır. Pspice ‘da daha öncede ifade edildiği gibi uyarma akısı Φ , 3 adet gerilim kaynağı gibi düşünülerek Pspice ‘a tanıtılmıştı. Bu kaynaklar eşdeğer devrede 11-0 düğümleri arasında görülebilir. Şekil 10.5.b ‘de gerilim (Volt) olarak görülen uyarma akımının birimi cWb ‘dir. Yani $1V=1cwb$ olacak şekilde uygulanmıştır. Burada karşılaştığım problem, frenleme periyodunun başlangıcındaki Φ değeri eksponansiyel olarak azalmasına rağmen (Ek1 ‘deki Uyarma akısı grafiklerine bakınız) PSpice ‘da bu durumun ifade edilememesidir. Bu da PSpice analiz programının bir eksikliği olarak ortaya çıkmıştır. Bu nedenle Φ akısı

diğer kaynaklarda olduğu gibi nokta nokta girilmiş bu da istenilen eğrinin tam olarak elde edilememesine neden olacak ve ileride anlatacağım hatalara sebep olacaktır.

Endüvi Akımı - Zaman Grafiği :

Tabloda çizilen ile eşdeğer devreden elde ettiğimiz grafiğin tek farkı frenleme periyodu başlangıcındaki pik akımlarıdır. Bu akımların tek sebebi yukarıda bahsettiğim PSpice programının eksikliği dolayısıyla bu periyottaki uyarma akısının tam olarak tarif edilememesindendir.

Zıt Elektromotor Kuvveti – Zaman Grafiği:

Tablodan çizilen ile PSpice ‘dan elde edilen grafikler tamamen aynıdır. Tek fark frenleme periyodundaki çok küçük farktır. Bunun sebebi yukarıda anlattığım durum ile aynıdır.

Alınan ve Geri Verilen Güç – Zaman Grafiği :

Şekil 10.8.a ve Şekil 10.8.b birbirine oldukça yakındır. Şekil 10.8.b ‘de frenleme durumundaki pik değerleri yine aynı sebepten oluşmuştur.

İvme – Zaman Grafiği :

PSpice ‘den ivme değerinin elde edilmesi biraz formülasyon gerektirmektedir.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{I_c}{C}$$

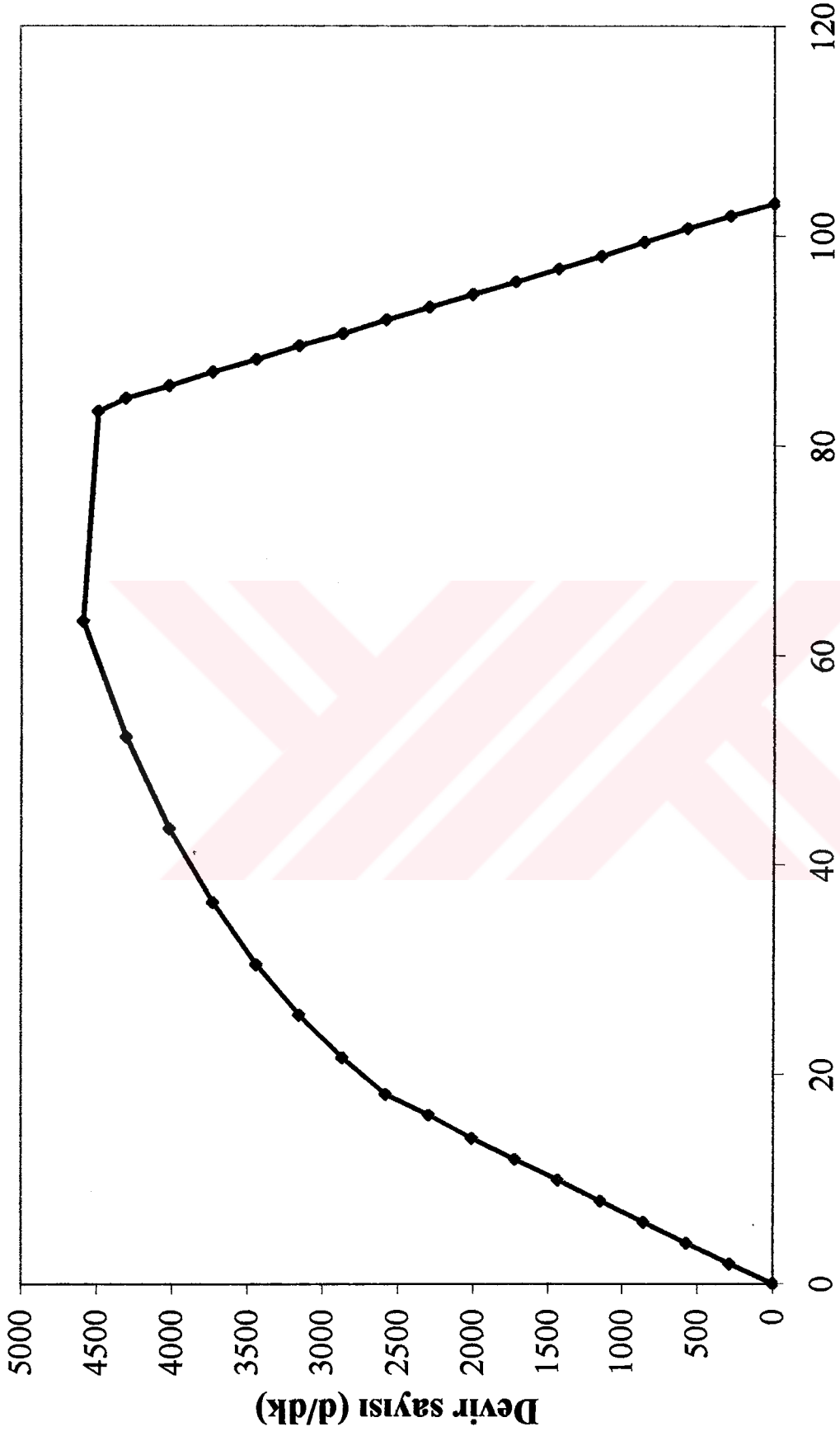
$$r \cdot \frac{I_c}{C} = r \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{dv}{dt} = a$$

Bu ivme motor miline aittir. Aracın ivmesi ise bu değer in çevirme oranına bölünmesiyle bulunacaktır.

Yani aracın ivmesi $a = I_c \cdot 0,32 / (23.16 \cdot 6.92)$ olacaktır.

Bu ifade I_c akımına bağılı olduğu için PSpice sonucu akım olarak vermektedir. Bu grafikten değer okuması yapmak için $1A = 1 m/s^2$ ölçeği kullanılmalıdır. Bir motor başına çekilen ve geri verilen güç grafiğinin alanı hesaplanarak çekilen ve geri verilen enerji miktarı da kolaylıkla bulunabilir. Bu grafik Şekil 10.10 'da verilmiştir. Burada 1194.975 Wh bir motorun çektiği enerji, 490,15 Wh ise sisteme verdiği enerji miktarıdır.



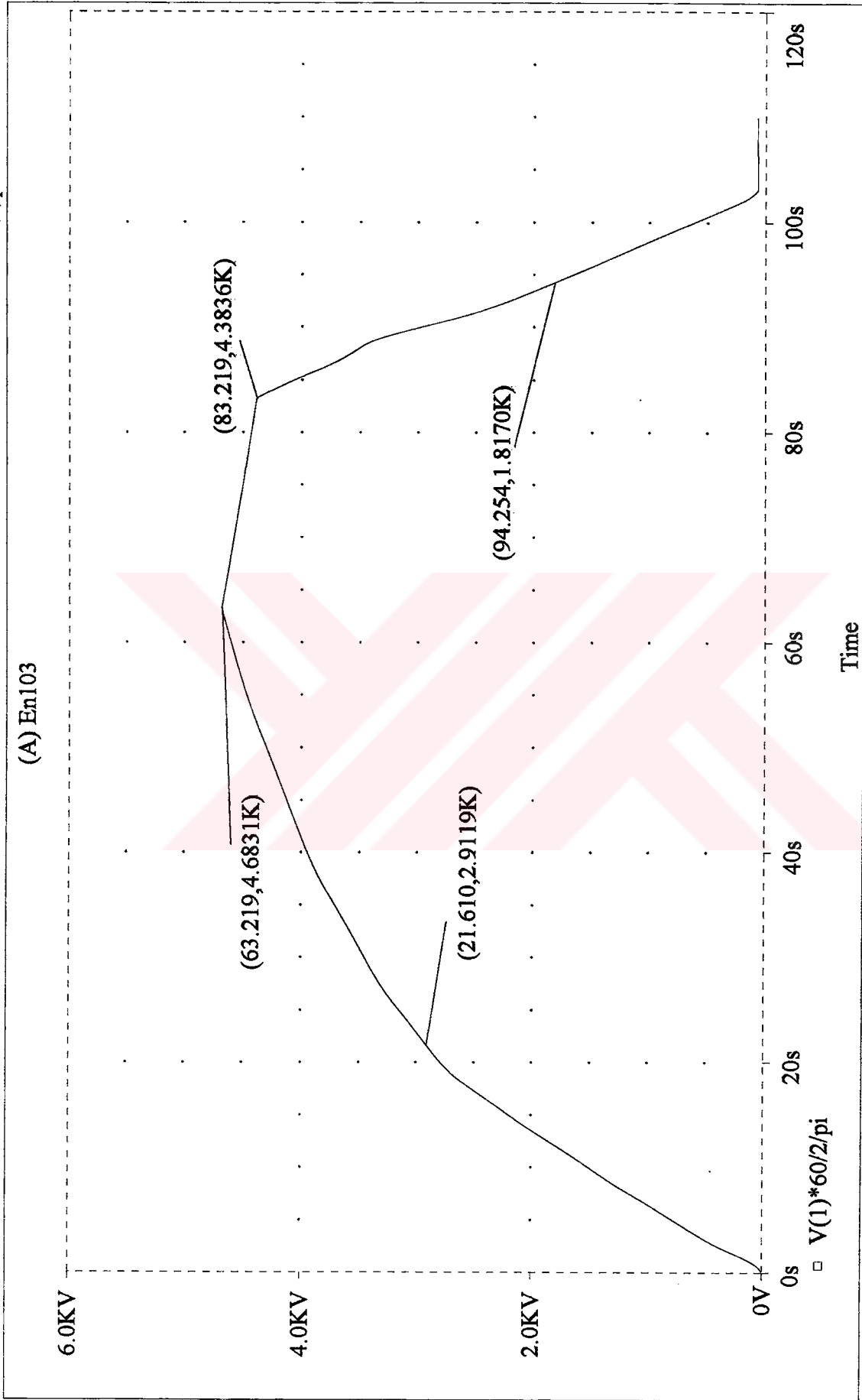


Şekil 10.4.a Tablodan Çizilen DC Motorun Devir Sayısı-Zaman Grafiği

1V=1d/dk

Devir sayısı-Zaman grafiği

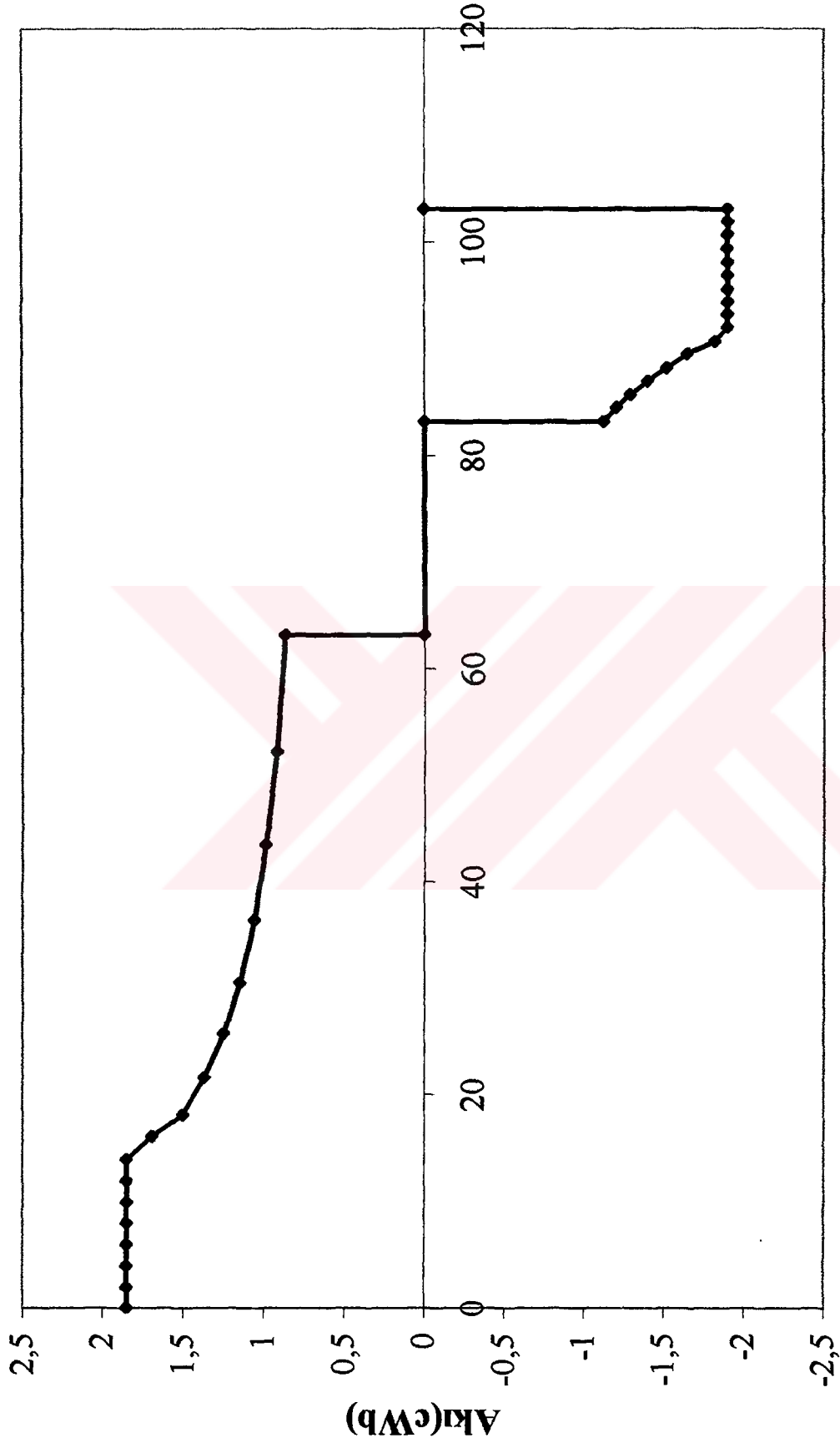
Temperature: 27.0



Date: January 17, 1999

Şekil 10.4.b PSpice 'dan Alınan DC Motorun Devir Sayısı-Zaman Grafiği

Time: 18:54:00



Zaman(s)

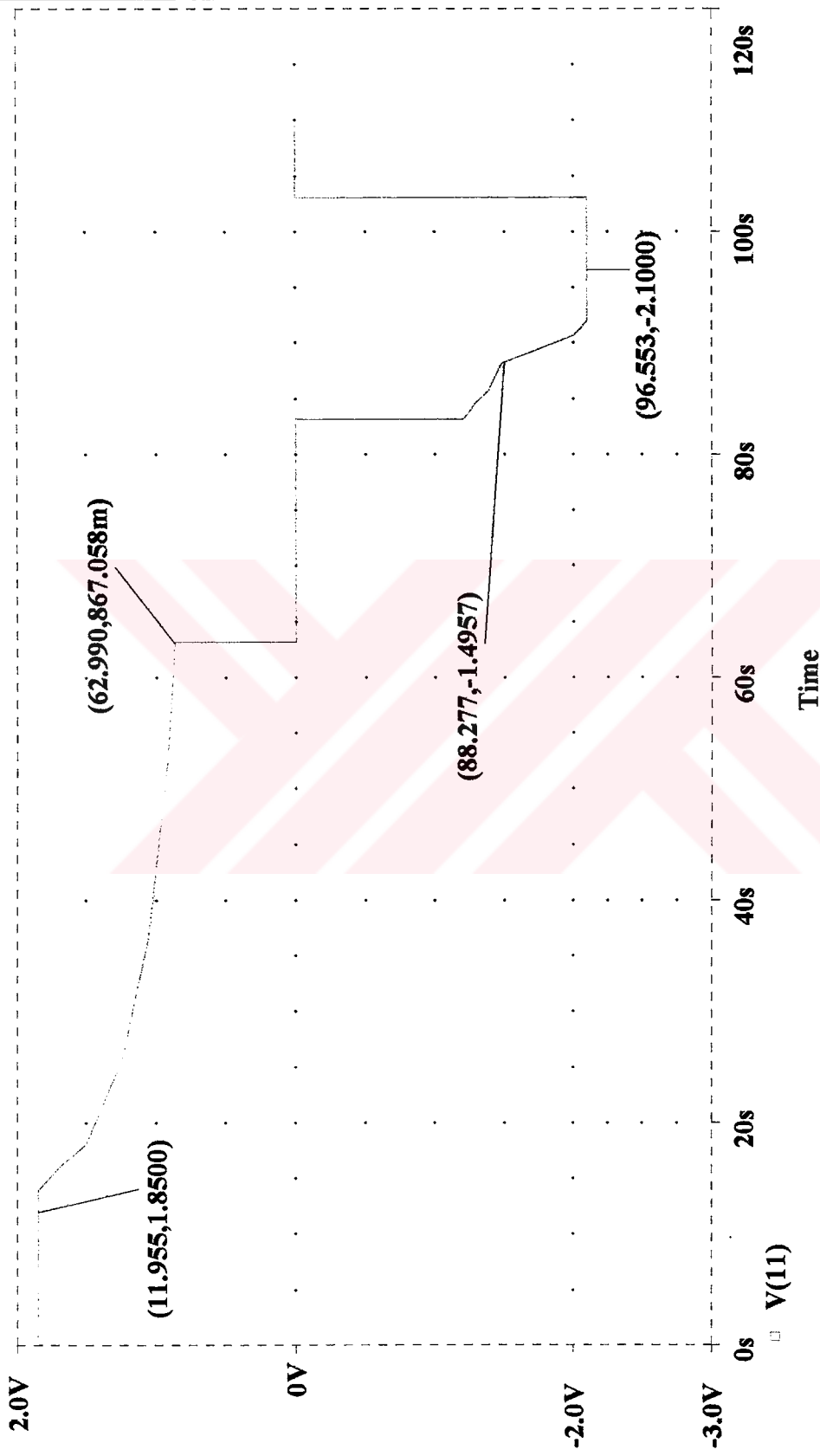
Şekil 10.5.a Tablodan Çizilen DC Motorun Akı-Zaman Grafiği

1V=1cWb

Motor Akisi - Zaman grafiði

Temperature: 27.0

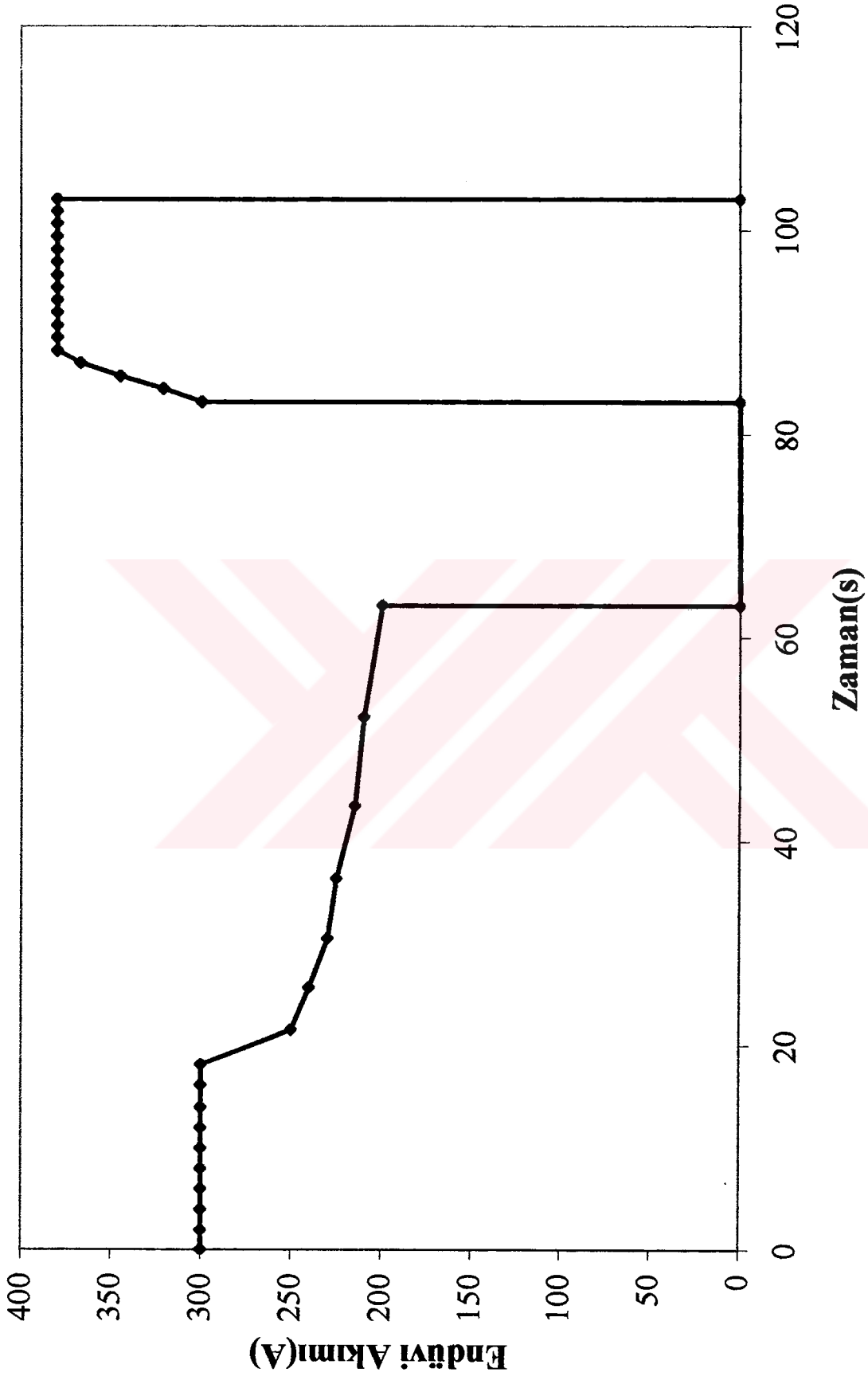
(B) En103



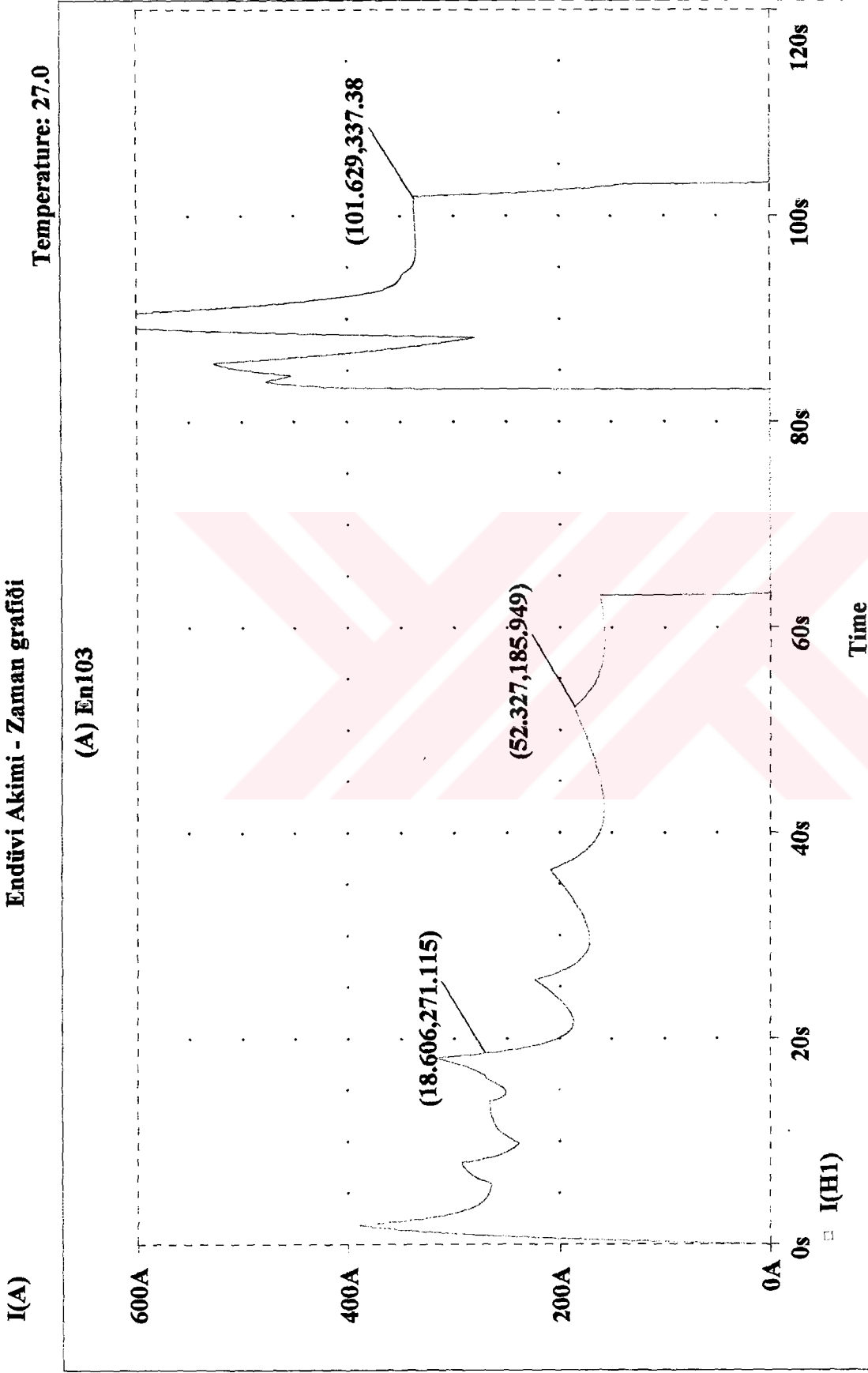
Date: December 11, 1998

Şekil 10.5.b PSpice 'a Tarıf Edilen DC Motorun Akı-Zaman Grafiði

Time: 00:54:28

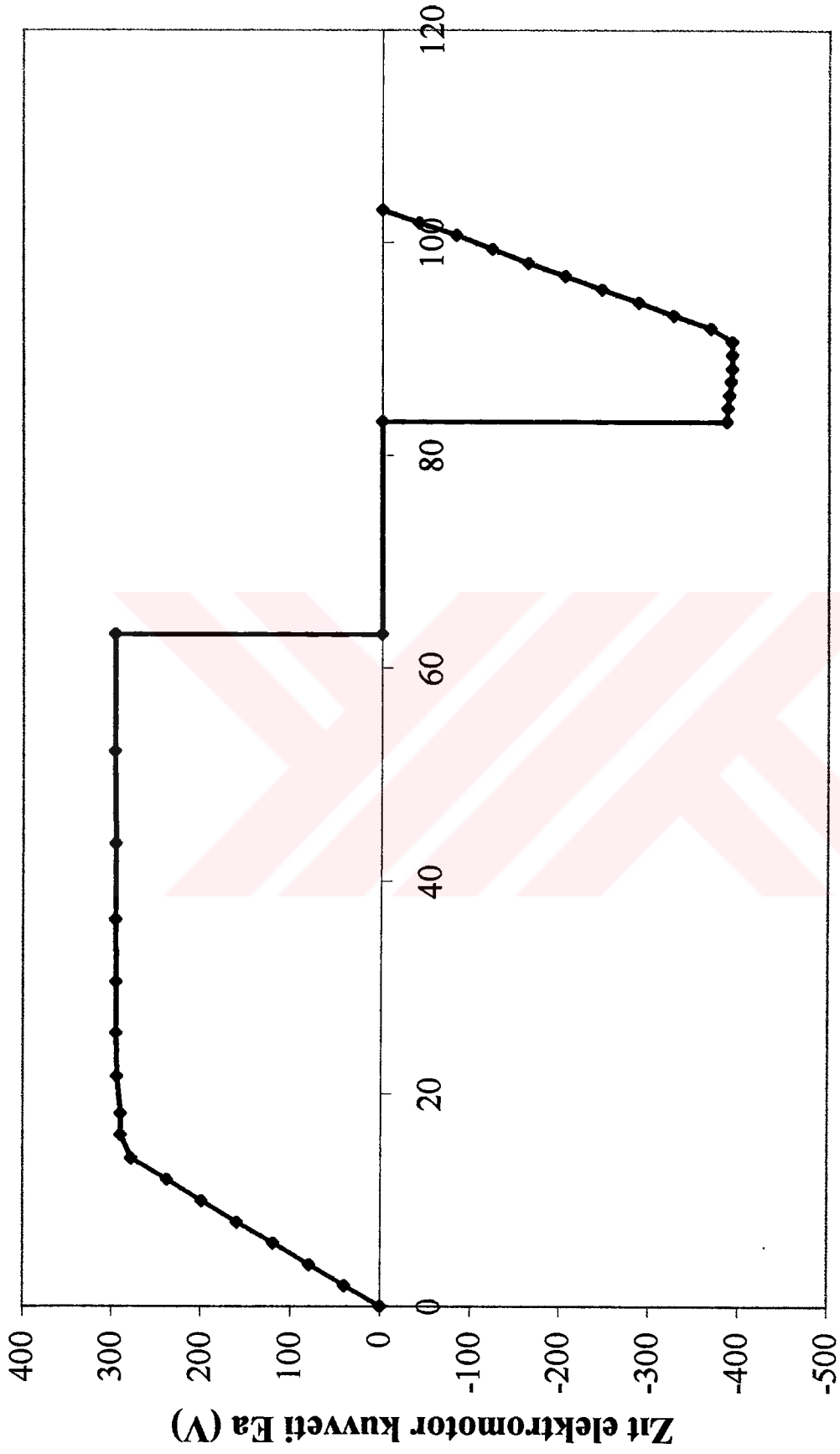


Şekil 10.6.a Tablodan Çizilen DC Motorun Endüvi Akımı-Zaman Grafiği



Date: December 11, 1998

Şekil 10.6.b PSpice 'dan Alınan DC Motorun Endüvi Akımı-Zaman Grafiği Time: 00:29:32



Zaman(s)

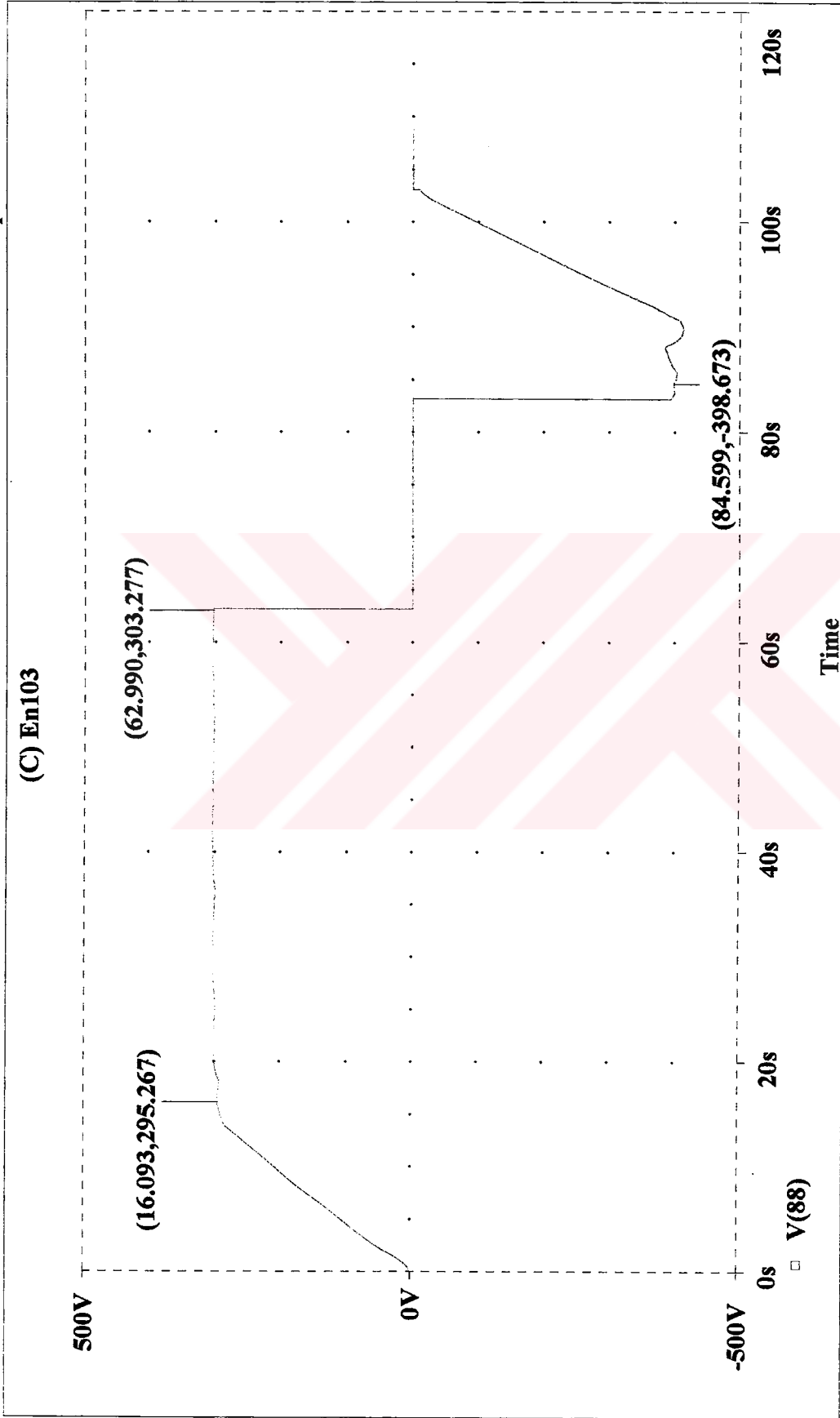
Şekil 10.7.a Tablodan Çizilen DC Motorun Zıt Elektromotor Kuvveti-Zaman Grafiği

Zıt Elektromotor Kuvveti - Zaman grafiði

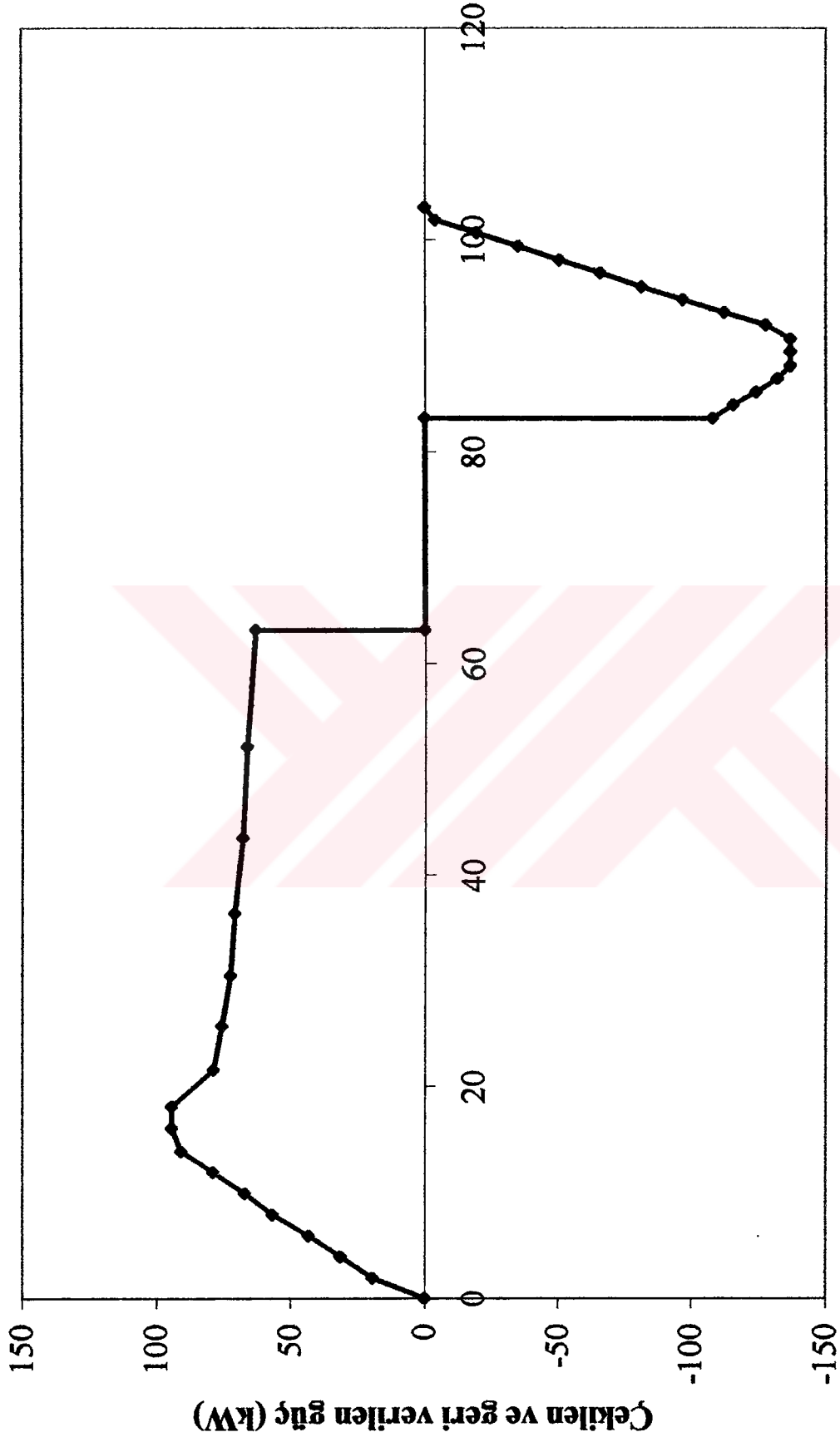
E(V)

Temperature: 27.0

(C) En103



Date: December 11, 199 Şekil 10.7.b PSpice 'dan Alınan DC Motorun Zıt Elektromotor Kuvveti-Zaman Grafiği Time: 01:15:51



Zaman(s)

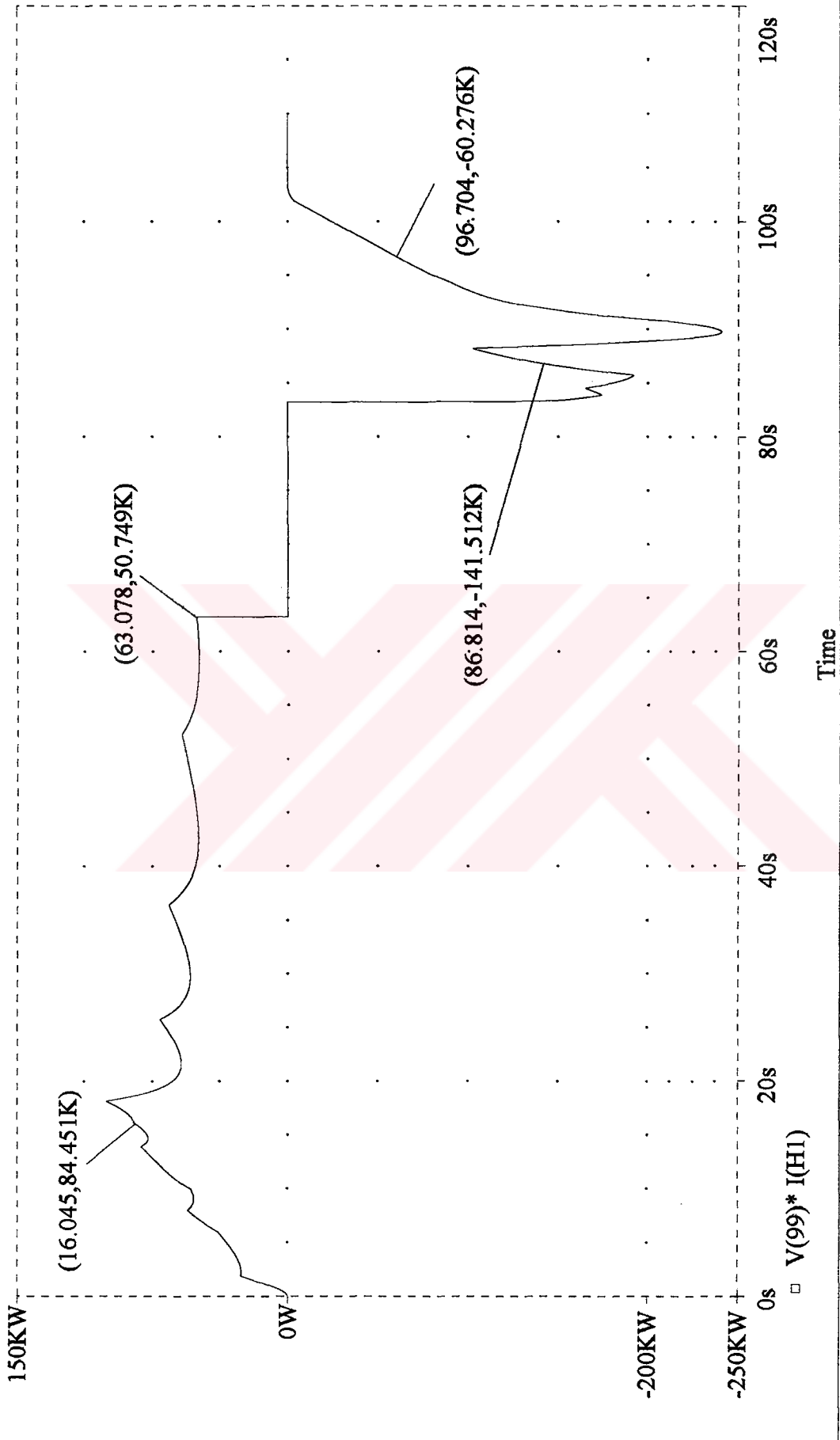
Şekil 10.8.a Tablodan Çizilen DC Motorun Geri Verdiği ve Çektiği Güç-Zaman Grafiği

P(KW)

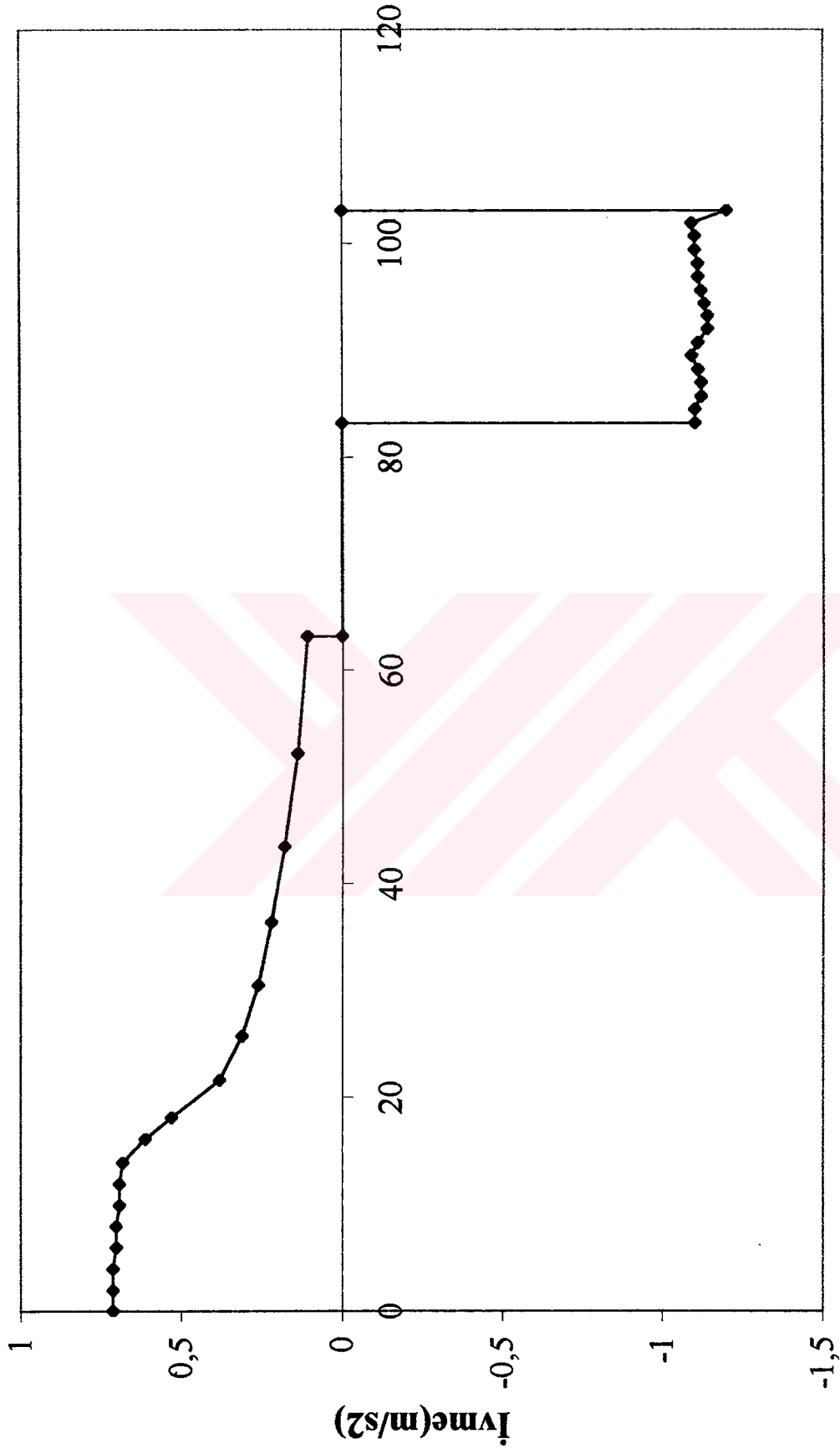
Çekilen ve Geri Verilen Güç-Zaman grafiği

Temperature: 27.0

(A) En103



Date: January 17, 1999 Şekil 10.8.b PSpice 'dan Alınan DC Motorun Geri Verdiği ve Çektiği Güç-Zaman Grafiği Time: 19:48:48



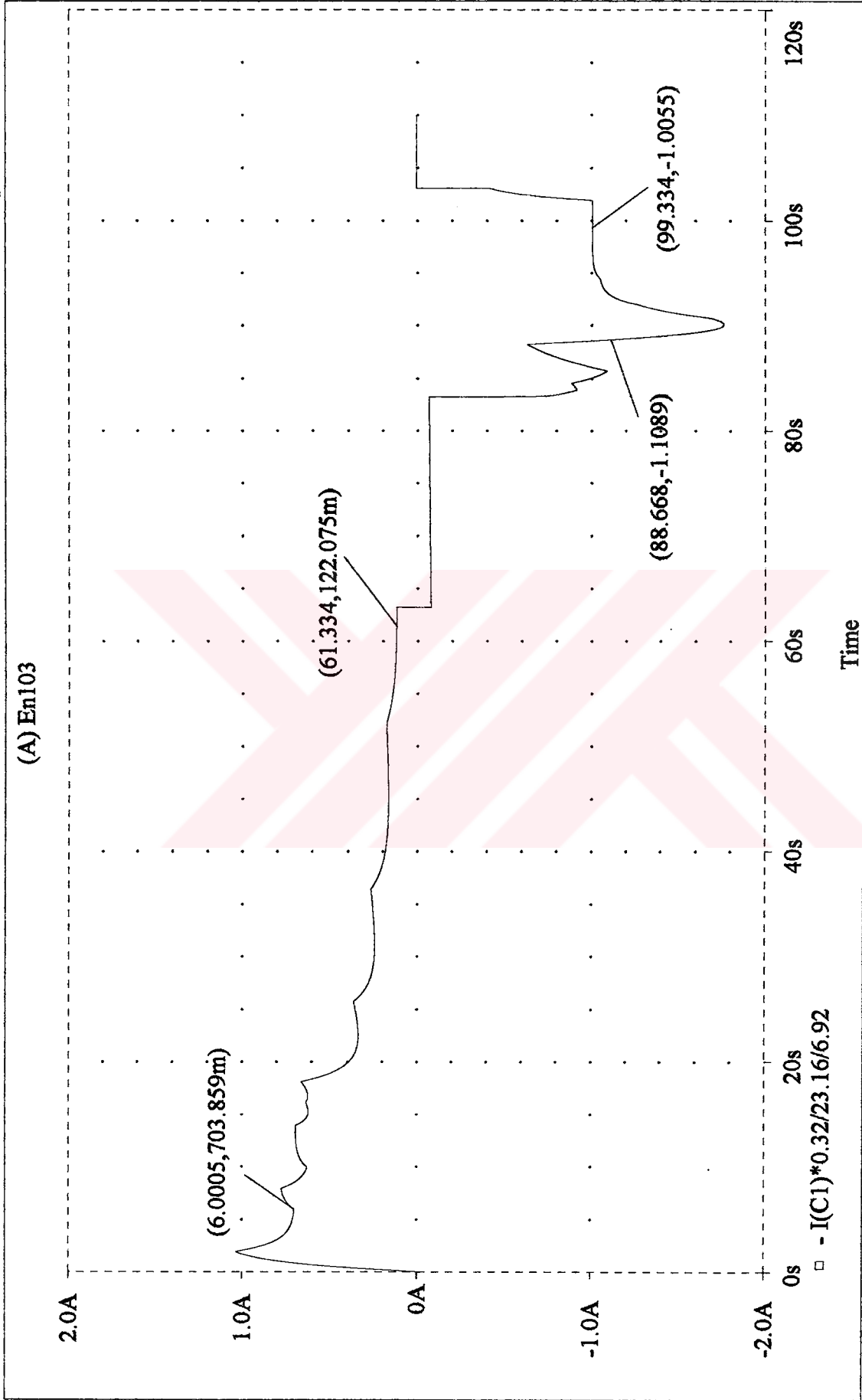
Zaman(s)

Şekil 10.9.a Tablodan Çizilen Taştın İvmelenme-Zaman Grafiği

1A=1m/s²

Yvme-Zaman grafiği

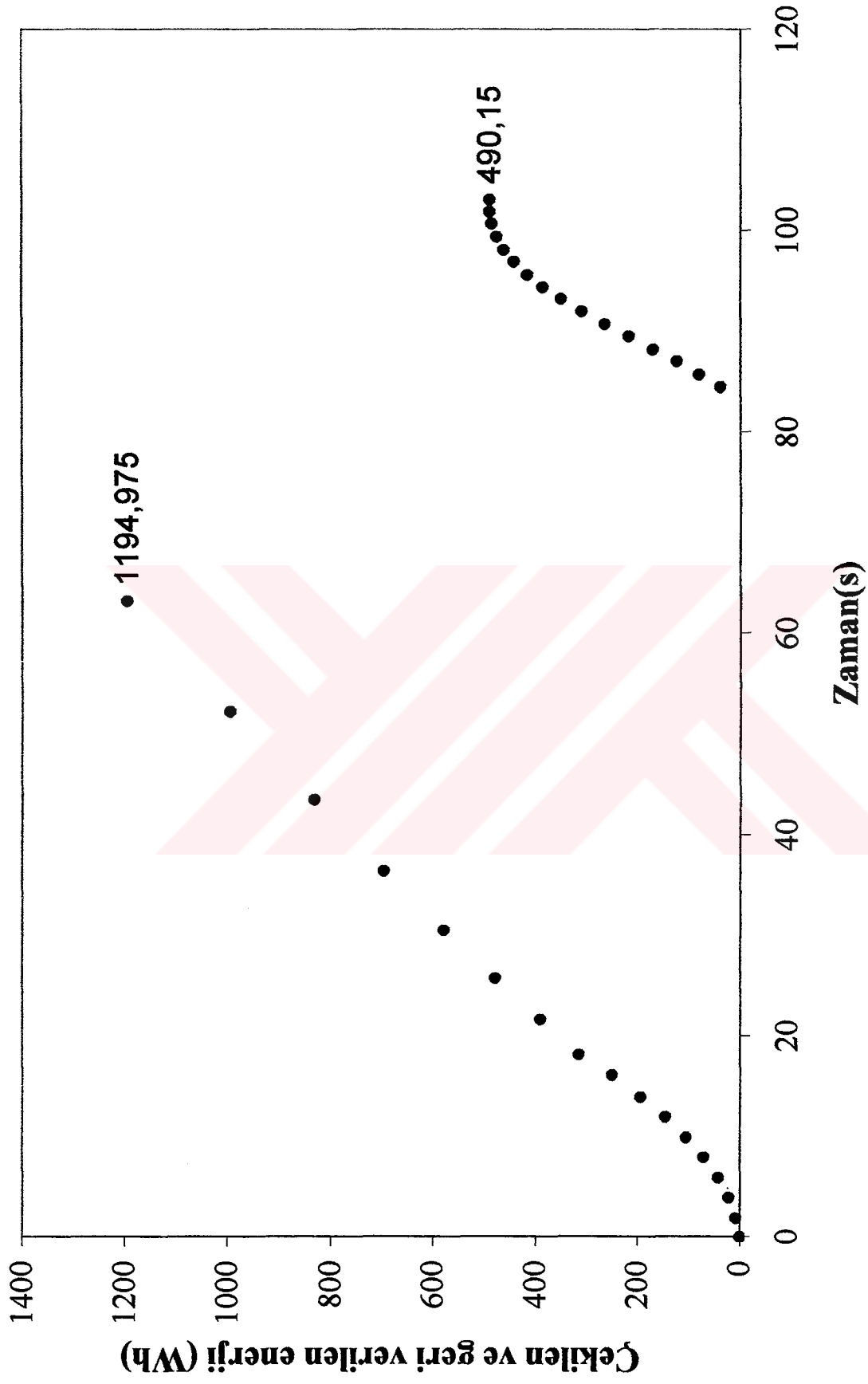
Temperature: 27.0



Date: January 17, 1999

Şekil 10.9.b PSpice 'dan Alınan Taşıtın İvmelenme-Zaman Grafiği

Time: 19:56:11



Şekil 10.10 Tablodan Çizilen DC Motorun Çektiği ve Geri Verdiği Enerji -Zaman Grafiği

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günden güne artan ulaşım sorunlarının çözülmesinde büyük bir kolaylık sağlayacak olan hafif metro sistemlerinin Türkiye çapında geliştirilip uygulanması gerekmektedir. Bu çalışmada, böyle bir sistemin oluşturulması için göz önüne alınacak tasarım ve hesaplamalar irdelenerek böyle bir projenin gerçekleşmesinde dikkate alınması gereken hususlar incelenmiştir. Bu sistemlerin uygulanmasında oldukça önemli bir yere sahip olan yarı iletken malzemelerin oluşturduğu güç elektroniği devrelerinin getirdikleri yenilikler anlatılarak tahrik yöntemlerinin güç elektroniğindeki gelişmeler sayesinde ne kadar büyük ilerleme kaydettiği gözler önüne serilmiştir.

Elektrikli ulaşım sistemleri gibi büyük ve karmaşık fiziksel sistemlerin analiz ve tasarımında bilgisayar kullanımı büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Bilgisayar yardımıyla yapılan analiz ve tasarımda iyi neticeler alabilmek için yüksek kapasiteli simülasyon programlarına ihtiyaç vardır. İşte Pspice Devre analiz paket programı bunlardan biridir. Bu program ile elektriki ve elektronik devrelerin ekranda çizilip analiz sonucunda devrenin gerilim, akım ve grup gecikmesi büyüklüklerini hesaplamak ve devrenin davranışını incelemek mümkün olmaktadır. Devrenin herhangi bir elemanı değiştirildiğinde devrenin performansının nasıl değiştiğini kolayca görmemizi sağlayan ve laboratuarda hakiki bir devre üzerinde yapılabilecek bütün ölçümlerden daha fazlasını geniş kapsamlı bir şekilde yapma kapasitesine sahip olan bread-board 'a benzeyen bir paket programdır.

Büyük ve karmaşık sistemlerin tasarımında daha hızlı ve doğru çözümlere varabilmek için bu sistemlere özgü fiziksel kısıtlamaları da içeren bir matematik eşdeğer modelin elde edilmesi gerekir. Kullanılan Pspice Devre Analiz Programı yalnız elektriki devreleri tanıdığı için elde edilen bu matematik modeli benzeşlik teoremi kullanılarak elektriki elemanlar olarak ifade edilmiştir.

İstanbul Light Rapid Train (LRT) sisteminde kullanılan motorlar serbest uyarmalı DC motorlardır. İlk önce bu motor için kullanılan eşdeğer modeller incelenerek en çok kullanılan model seçilmiştir. Daha sonra bu motoru etkileyen momentler olan tren kütlelerini hareket ettirmek için gerekli moment (T_M), tekerleklerin döndürülmesi için gereken moment (T_W), armatürün döndürülmesi için gereken moment (T_A), yol eğimi

durumuna göre aynı veya ters yönde olan (T_G), taşıtın ön alanı ile alakalı olan rüzgar direnci (T_R) hesaplanarak $T = J \frac{d\omega}{dt} + B \cdot \omega + T$ şeklinde bir yük elde edilmiştir. Tahmin edileceği gibi bu yük taşıt tarafındadır ve motor tarafına indirgenmelidir. Dişli çevirme oranının karesine bölerek elde edilen ifade benzeşlik yoluyla $I = C \frac{dV}{dt} + \frac{1}{R} \cdot V + I$ şekline dönüştürülmüş ve motor eşdeğer devresine elektriki bir yük olarak konulmuştur.

Taşıt Ulubatlı-Bayrampaşa arasındaki 103.1 sn boyunca uygulanan gerilim V_A (V) ve Φ akısı (cWb) kontrol edilerek motora uygulanmış ve devre Pspice Devre Analiz Programıyla analiz edilmiştir. Yaptığımız analiz sonucunda elde ettiğimiz hız, endüvi akımı, geri verilen ve çekilen güç, ivme ve zıt elektromotor kuvvetleri 'nin zamana göre değişimleri sistemin kurulması sırasındaki test sonuçları ile karşılaştırıldığında sonuçların birbirine ne kadar yakın olduğu görülmüştür.

Bir Elektrikli Ulaşım Sistemi tasarlanırken hesaplar içinden çıkılmaz bir hale gelmekte ve elde edilen hesap sonuçlarının doğruluğu ancak sistemin kurulmasından sonra test çalışmaları sırasında görülebilmekteydi. Bu yüzden hesap işleriyle uğraşan bütün mühendisler sistemin test sonuçlarının alındığı ana kadar tedirginlik içindeydiler. Zira seçilen motor doğru mu?, taşıtın teknik özellikleri yeterli mi?, yol eğiminin aracın performansına etkisi ne?, seçilen koruyucu elemanların değerleri doğru mu?, trafo istasyonları ne kadar kapasiteyle yüklenecek?, çekilen ve geri verilen enerji miktarı ne olacak? gibi sistem çalışana kadar sürekli problem teşkil ediyordu. Kurulan model bütün bu problemlerin rahatlıkla çözülmesini sağlamaktadır.

Ayrıca model üzerindeki elemanların değiştirilmesiyle sistemin performansının nasıl etkileneceği anında görülebilmektedir. Bu yönüyle taşıtın performansının iyileşmeye açık tarafları model üzerine uygulanarak ne kadar başarı elde edileceği önceden görülebilmektedir. Mesela DC serbest uyarmalı motor yerine başka bir motor kullanılsaydı performansta ne gibi değişiklik olurdu sorusuna cevap, kullanılacak motorun eşdeğer devresinin serbest uyarmalı DC motor eşdeğer devresi yerine konulması kadar kolaydır. Bundan başka dış şartların etkisi de kolayca görülebilmektedir. Mesela yol eğiminin değişmesi performansı nasıl etkiliyor sorusunun cevabı, eğime karşılık gelen

akım kaynağının hesaplanarak yerine konulmasından ibarettir.

Model, sistemin kurulması ve çalışmaya başladıktan sonra zamanla ortaya çıkacak problemlerin giderilmesinde canlı bir taşıt görevi yapacaktır. Böylece zaman ve işgücü tasarrufu, dolayısıyla da maddi kazanç elde edilmiş olacaktır.

Bundan sonra özellikle İstanbul olmak üzere trafik problemi yaşayan tüm illerimizde hızla kullanımına başlanan LRT taşıtında bulunan serbest uyarmalı DC motorların bazı dezavantajlarından dolayı yukarıda izlediğimiz yolun aynısı izlenerek asenkron motorların kullanılıp kullanılmayacağı sorusuna cevap aranabilir. 750 V DC gerilimin bazı dezavantajlarından dolayı bazı ülkelerde uygulanan 1500V DC gerilimin özellikle yeni yapılacak hatlar için uygulanabilirliği araştırması yapılabilir. Yine bu sistemler Fuzzy Logic kontrollü yapılarak performanslarının iyileşip iyileşmediği araştırılabilir. Aynı sistem yapay sinir ağları (YSA) ile de incelenebilir.

KAYNAKLAR

Abut N., (1988), Türkiye’de Kentsel Elektrikli Ulaşımın ÜYET’in Uygulanabilirlik Araştırması, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul

Akkaya R., (1988), Kıyıcılarla DC Motorlarda Hız Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü, İstanbul

Alperöz N., (1987), Elektrik Enerji Dağıtımı, İ.T.Ü, İstanbul

Aström P., (1988), The Traction Control System, Asea Traction Document, December 1988.

Bassett J.R., Chamund J.D., (1989), “Optimized Diodes Reduce GTO Stress”, Railway Technology International.

Bello V.G., (1991a), “Electrical Models of Mechanical Units Widen Simulator’s scope”, EDN Designers’ Guide, March 1991.

Bello V.G., (1991b) “Servo Analysis Gets a Boost from Parametric Models”, EDN Designers’ Guide, April 1991.

Brockman J. J., King J. H., Kusko A., (1980), “Rapid Transit Experience with Chopper Controlled DC Motor Propulsion”, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-21 N0 3, May 1980.

Çermi L., (1990), İstanbul Hafif Metrosunda Tahrik Sistemlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, İstanbul.

Demir İ., (1990), “Elektrikli Ulaşım Sistemlerinin Tahrik Donanımında Enerji Naklinin Geçici Rejim Analizi”, Doktora Tezi, M.Ü, İstanbul .

Dewan S.B., Slemon G.R., Straughen A., (1984), Power Semiconductor Drives, A Wiley-Interscience Publication, The University of Toronto

Dover A.T., (1963), Electric Traction, Pitman Press, Great Britain.

Friden L., (1986a), “Traction Equipment”, Asea Tidning, May 1986.

Friden L., (1986b), “Articulated tram for Gothenburg”, Asea Journal, May 1986.

Friden L., (1989), “Performans Calculations of Traction and Braking”, ABB Traction, June 1989.

Garg G.C., (1997), Utilization of Electric Power and Electric Traction, Khanha Publishers, Delhi.

Giacolatto L.J., (1989), “Simple SCR and TRIAC Pspice Computer Models”, IEEE

Transactions on Industry Applications, Vol.36 No 3, August 1989

Gunnarsson L., Wahiberg K., (1989), "İstanbul 's New Metro Line", ABB Review, March 1989.

Gülgün R., (1995), Güç Elektroniği, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul.

Kasapoğlu A., (1984), Modern Yakın Mesafe Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Elektrikle Tahrik Düzenlerinin incelenmesi, Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi Doktora Tezi, Y.T.Ü, İstanbul.

Kasapoğlu A., (1989), Güç Elektroniği, Y.T.Ü, İstanbul.

Kasapoğlu A., (1993a), "Doğru Akım Makinası Üç Fazlı Dönüştürücülerin Pspice Kullanılarak İncelenmesi", Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, Trabzon.

Kasapoğlu A., (1993b), "Doğru Akım Makinası Yüklü Tek Fazlı Tam Dalga Dönüştürücülerin Pspice Kullanarak İncelenmesi", Elektrik Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, Trabzon.

Kasapoğlu A., (1994), "Analysis and Simulation of Full-Wave Converter Loaded with DC Machine Using Pspice", AMSE, Malta.

Keown J., (1991), Pspice and Circuit Analysis.

Kurtulan S., (1992), Bir Elektrikli Ulaşım Sisteminin Modellenmesi ve Simülasyonu, Doktora Tezi, İ.T.Ü, İstanbul.

Kurtulan S., (1997), Elektrikli Sürücü Düzenleri, Alternatif yayın, İstanbul.

Kusko A., (1969), "Solid-State DC Motor Drivers", The Massachusetts Institute of Technology.

Lander W. C., (1989), Power Electronics, Mc Graw Hill Book Company.

Liong Y.C., Gosbell V.J, (1990), "Modeling DC Motors with Spice", Machine Design, July 1990.

Metro Vehicle,(1989), Design and Installation Documents F00.100, ABB Traction.

Overhead Catenary System, (1989), Design and Installation Document G40.100, ABB Consortium.

Oldenkamp J.L., Peak S.C., (1985), "A Study of System Losses in a Transistorized Inverter Induction Motor Drive System", IEEE Transactions on Industry Applications Vol IA-21 No 1, January 1985.

Power Supply Substations, (1989), Design and Installation Documents G40.112, ABB Consortium.

Rashid H., (1988), Power Electronics, Prentice-Hall International, New-Jersey

Rashid H., (1993), Pspice for Power Electronics and Electric Power, Prentice-Hall International, New-Jersey

Sarioğlu K. M., (1975), Doğru Akım Makinalarının Geçici Rejimleri.

Sarioğlu K. M., (1981), Dynamics of Electrical Machines, University of Illinois Urban.

Şanal M., (1992), Elektrikli Ulaşım Sistemlerinin Tahrik Donanımında Kullanılan Elektrik Motorlarının Karşılaştırılması ve Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Y.T.Ü, İstanbul.

Şenol İ., (1992), Elektrikli Ulaşım Sistemlerinde Enerji Düzenlerinin Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Y.T.Ü, İstanbul.

Kitaoka T., Ohno E., Ashiya M., Katsuki K., Katta T., (1977), "Automatic Variable Field Chopper Control System for Electric Railcars", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-13 No1, January 1977

Tuinenga P.W., (1992), SPICE: A Guide to Circuit Simulation and Analysis Using Pspice.

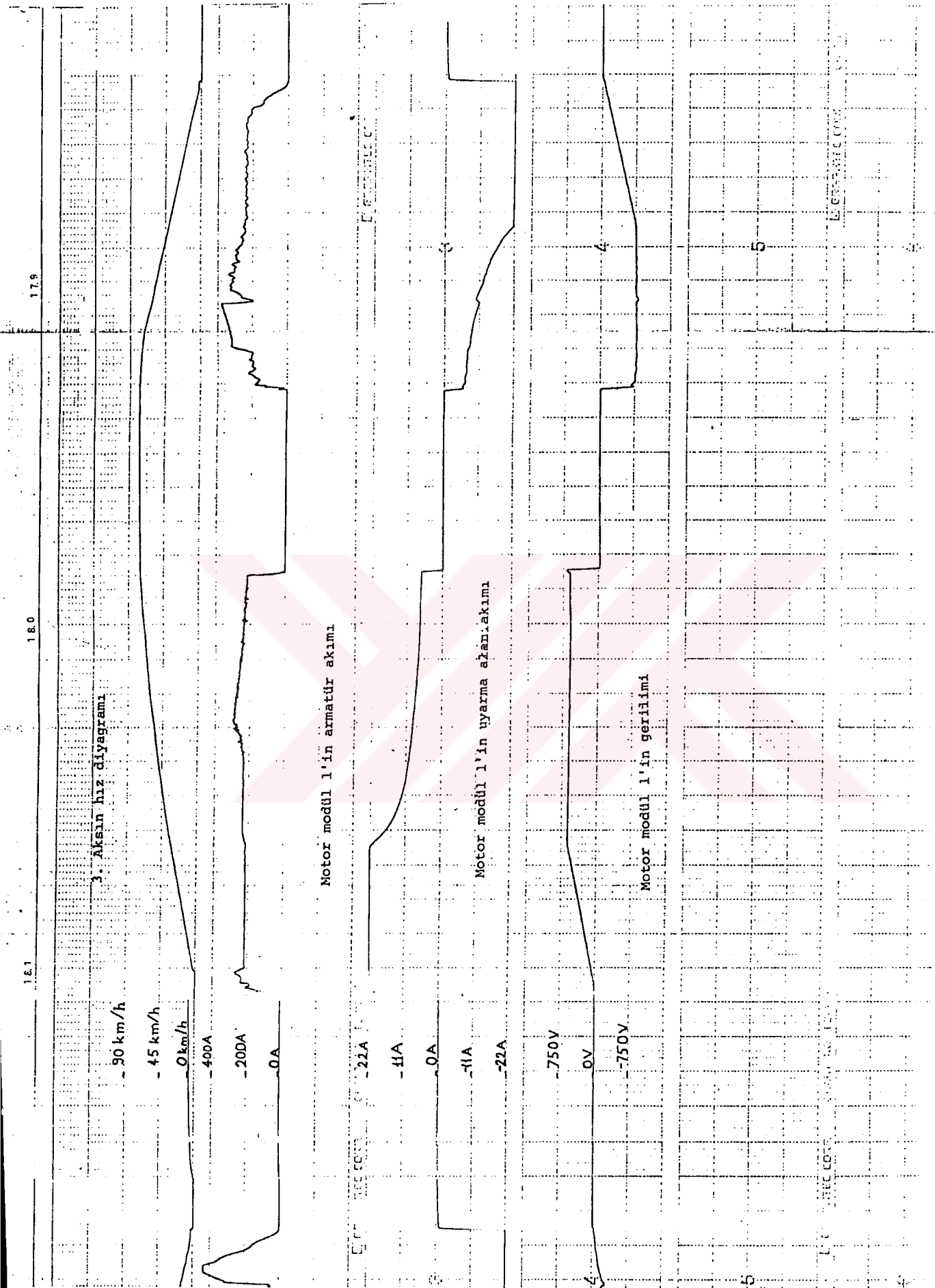
Ural A., Kayral M., (1985), Elektrik Motoru İle Tahrik, YTÜ Yayınları, İstanbul.

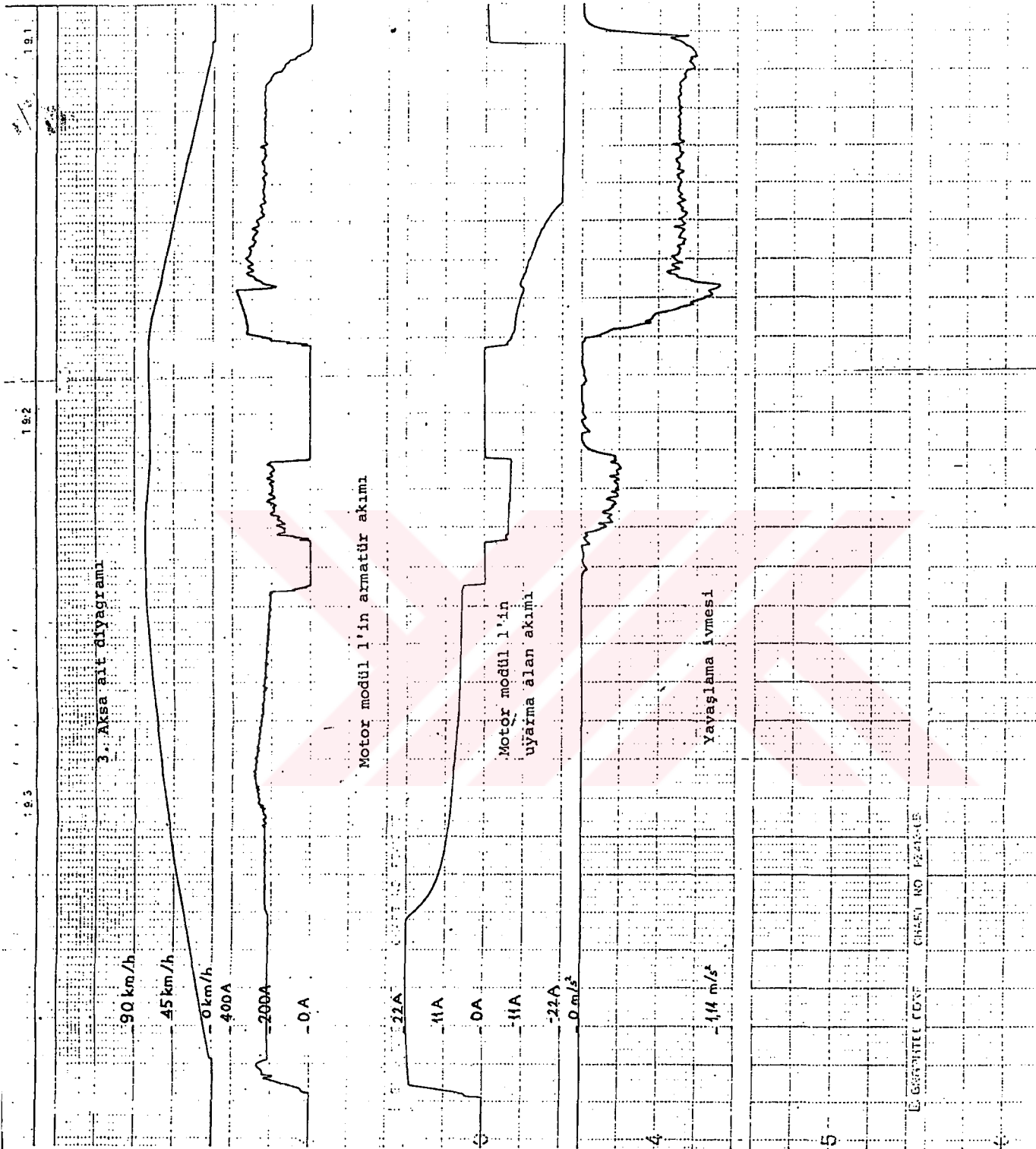
Ural A., (1991), Modern Elektrikli Ulaşım Sistemleri, Kocaeli Üniv., Kocaeli.

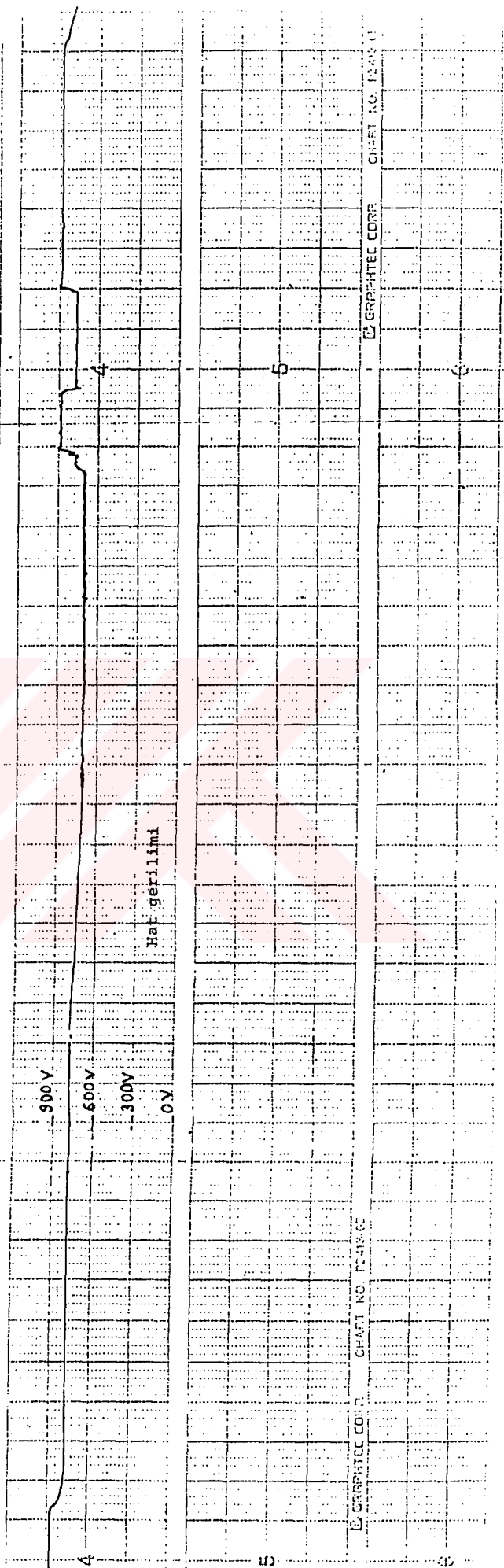
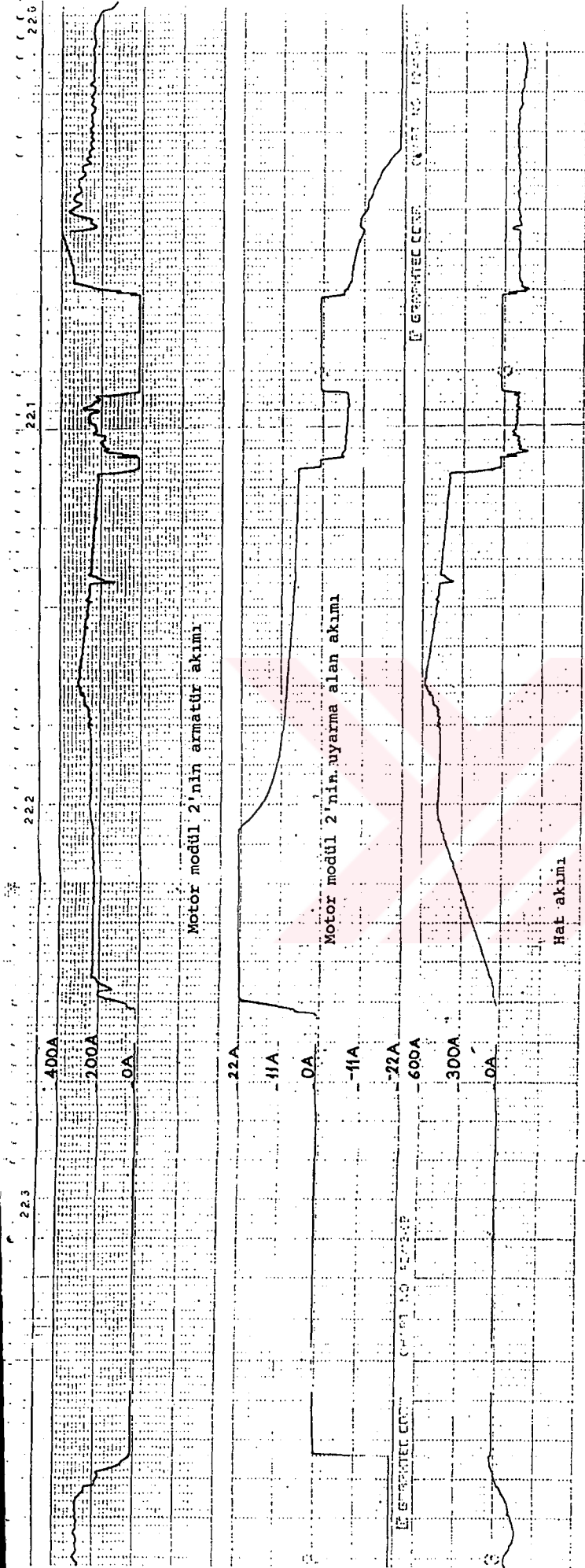
Ündil S.H., (1994), Bir Elektrikli Ulaşım Taşıtının Bond Graf Metodu İle Simülasyonu ve Geçici Rejim Analizi, Doktora Tezi, Y.T.Ü, İstanbul.

Ek 1 Aracın Bilgisayarından Alınan Grafikler

Bu grafiklerden hiçbirisi 9. Bölümde verilen değerlere ait değildir. Fakat bize taşıtın nasıl çalıştığı hakkında bir fikir vermesi bakımından test çalışmaları sırasında birçok deneme yapılarak aracın bilgisayarından alınan grafikler arka arkaya verme ihtiyacı duyulmuştur. Burada her bir grafik ayrı bir çalışmayı ifade etmektedir. Motor modülüne uygulanan gerilim ve uyarma akımı kontrol edilerek hız-zaman eğrisinin nasıl elde edildiği açıkça görülmekte ve PSpice sonuçlarının yorumlanmasında kolaylık sağlamaktadır. Özellikle ivmelenme ve frenleme başlangıcında pik akım değerlerinin oluşması ve PSpice analizinde de benzer piklerin görülmesi elde edilen sonucun ne kadar tatmin edici olduğunu göstermektedir.







3. Aksa ait hız diyagramı

90km/h

45km/h

0km/h

400A

200A

0A

Motor modül 2'nin armatür akımı

22A

11A

0A

11A

22A

Motor modül 2'nin uyarma alan akımı

750V

0V

750V

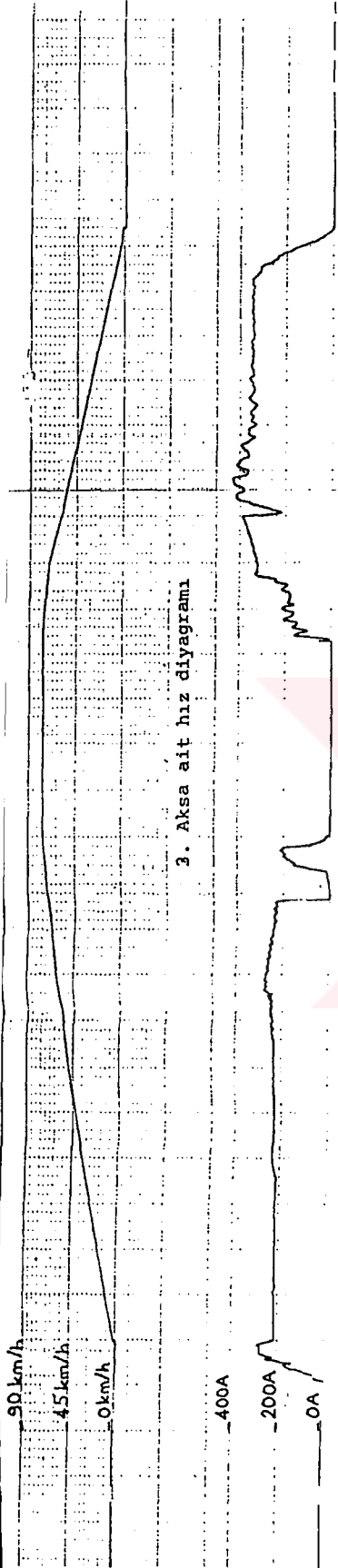
Motor modül 2'nin gerilimi

P243-CE

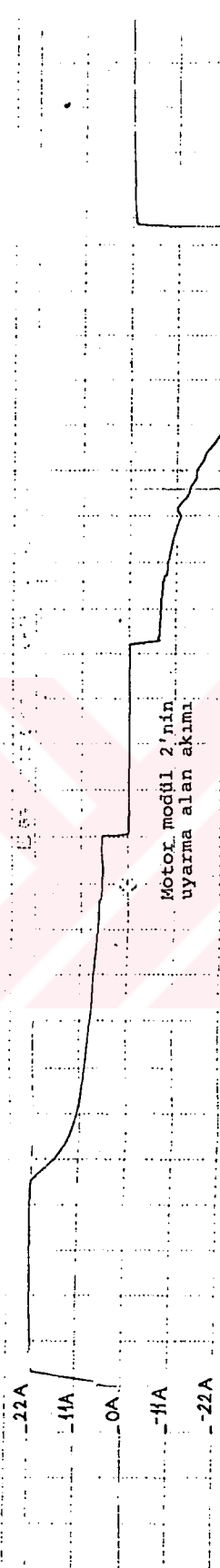
1.6.2008 10:00

Çağrı 1. 1. 2008

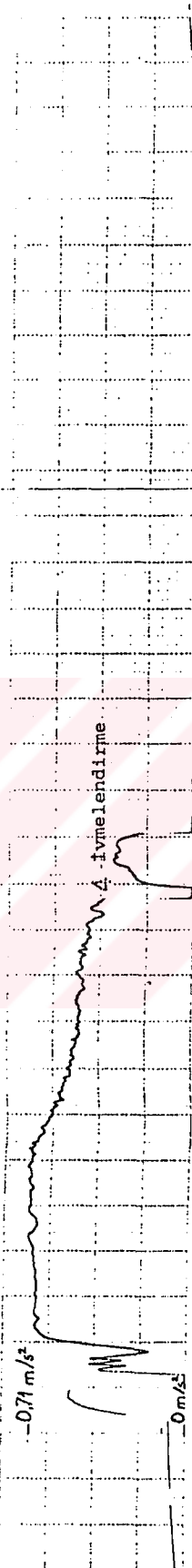
3. Akşa ait hız diyagramı



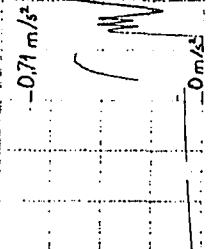
Motor modül 2'nin armatür akımı



Motor modül 2'nin uyarma alan akımı



4. İvmelendirme



3. Akşa ait hız grafiği

-90 km/h
-45 km/h
-0 km/h
-400 A
-200 A
-0 A

Motor modül 2'nin armatür akımı

-22 A
-11 A
-0 A
-11 A
-22 A
-0 m/s²

Motor modül 2'nin uyarma alan akımı

-1,14 m/s²

Yavaşlama ivmesi

4

5

1. Saniye
2. Saniye
3. Saniye
4. Saniye
5. Saniye

Ek 2

P Spice Eşdeğer Devresinde Kullanılan Elemanların Adları, Düğüm Noktaları ve Değerleri

```

E_MULT2      55 0 VALUE {V(33)*V(11)}
L_L2         77 88 2.9m IC=0
C_C1         0 1 23.16 IC=0
R_R5         0 1 200.924
E_MULT1      44 0 VALUE {V(1)*V(11)}
E_MULT4      $N_0001 0 VALUE {V(1)*V(1)}
I_I1         0 1 DC 2.309A
R_R1         66 77 0.0728
E_E2         88 0 44 0 0.714
G_G1         0 1 55 0 0.714
G_G3         1 0 $N_0001 0 0.00016079
V_V4         11 $N_0002
+PWL 0 1.85 1.9 1.85 13.9 1.85 16.1 1.69 18.1 1.502 25.7 1.247 36.4 1.059 52.2
+ 0.921 63.2 0.866 63.20001 0
V_V5         $N_0002 $N_0003
+PWL 83.2 0 83.20001 -1.2 83.85 -1.25 84.5 -1.28 85.1 -1.33 85.7 -1.38 86.95
+ -1.43 88.2 -1.48 88.85 -1.615 88.850001 0
V_V6         $N_0003 0
+PWL 88.85 0 88.850001 -1.615 89.5 -1.75 90.1 -1.875 90.7 -2 91.35 -2.05 92
+ -2.1 103.1 -2.1 103.10001 0
V_V1         99 $N_0004
+PWL 0 0 1.9 64.6 5.9 144.0 7.9 188.7 9.9 223.4 11.9 263.1 13.9 302.8 16.1 315
+ 63.2 315 63.20001 0
H_H1         33 0 VH_H1 1
VH_H1        99 66 0V
V_V2         $N_0004 0
+PWL 83.2 0 83.20001 -365 90.7 -365 92 -336.4 93.2 -295.6 94.4 -254.9 96.9
+ -173.3 99.4 -91.7 101.9 -10.1 103.10001 0

```

**** 12/06/98 15:03:24 ***** NT Evaluation PSpice (July 1997) *****

* C:\MSimEv_8\Projects\En103.sch

**** CIRCUIT DESCRIPTION

* Schematics Version 8.0 - July 1997

* Sun Dec 06 15:03:20 1998

** Analysis setup **

.tran/OP 1ms 110s 0 1ms

.OPTIONS ACCT

.OPTIONS EXPAND

.OPTIONS LIBRARY

.OPTIONS LIST

.OPTIONS OPTS

.OPTIONS NOBIAS

.OPTIONS NODE

.OPTIONS NOECHO

**** ELEMENT NODE TABLE

0	C_C1	E_E2	G_G1	G_G3	H_H1
	I_I1	R_R5	V_V2	V_V6	E_MULT1
	E_MULT2	E_MULT4			
1	C_C1	G_G1	G_G3	I_I1	R_R5
11	V_V4				
33	H_H1				
44	E_MULT1				
55	E_MULT2				
66	R_R1	VH_H1			
77	L_L2	R_R1			
88	E_E2	L_L2			
99	V_V1	VH_H1			
\$N_0001	E_MULT4				
\$N_0002	V_V4	V_V5			
\$N_0003	V_V5	V_V6			

**** CIRCUIT ELEMENT SUMMARY

**** RESISTORS

NAME	NODES	MODEL	VALUE	TC1	TC2	TCE
R_R5	0 1		2.01E+02			
R_R1	66 77		7.28E-02			

**** CAPACITORS

NAME	NODES	MODEL	VALUE	In. Cond.	TC1	TC2
C_C1	0 1		2.32E+01	0.00E+00		

**** VOLTAGE-CONTROLLED VOLTAGE SOURCES

NAME	+	-	FUNCTION	GAIN	CONTROLLING NODES
E_MULT2	55	0	VALUE		(33, 11)
E_MULT1	44	0	VALUE		(1, 11)
E_MULT4	\$N_0001	0	VALUE		(1)
E_E2	88	0	LINEAR	7.14E-01	(44, 0)

**** VOLTAGE-CONTROLLED CURRENT SOURCES

NAME	+	-	FUNCTION	GAIN	CONTROLLING NODES
G_G1	0	1	LINEAR	7.14E-01	(55, 0)
G_G3	1	0	LINEAR	1.61E-04	(\$N_0001, 0)

**** CURRENT-CONTROLLED CURRENT SOURCES

NAME	+	-	FUNCTION	GAIN	CONTROLLING SOURCES
H_H1	33	0	LINEAR	1.00E+00	VH_H1

**** INDUCTORS

NAME	NODES	MODEL	VALUE	In. Cond.	TC1	TC2
L_L2	77 88		2.90E-03	0.00E+00		

**** INDEPENDENT SOURCES

NAME	NODES	DC VALUE	AC VALUE	AC PHASE
V_V4	11 \$N_0002	1.85E+00	0.00E+00	0.00E+00 degrees
TRANSIENT: PWL				
Corner Time	0.00E+00			
Corner Value	1.85E+00			
Corner Time	1.90E+00			
Corner Value	1.85E+00			
Corner Time	1.39E+01			
Corner Value	1.85E+00			
Corner Time	1.61E+01			
Corner Value	1.69E+00			
Corner Time	1.81E+01			

Corner Value 1.50E+00
 Corner Time 2.57E+01
 Corner Value 1.25E+00
 Corner Time 3.64E+01
 Corner Value 1.06E+00
 Corner Time 5.22E+01
 Corner Value 9.21E-01
 Corner Time 6.32E+01
 Corner Value 8.66E-01
 Corner Time 6.32E+01
 Corner Value 0.00E+00

V_V5 \$N_0002 \$N_0003 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 degrees

TRANSIENT: PWL
 Corner Time 8.32E+01
 Corner Value 0.00E+00
 Corner Time 8.32E+01
 Corner Value -1.20E+00
 Corner Time 8.39E+01
 Corner Value -1.25E+00
 Corner Time 8.45E+01
 Corner Value -1.28E+00
 Corner Time 8.51E+01
 Corner Value -1.33E+00
 Corner Time 8.57E+01
 Corner Value -1.38E+00
 Corner Time 8.70E+01
 Corner Value -1.43E+00
 Corner Time 8.82E+01
 Corner Value -1.48E+00
 Corner Time 8.89E+01
 Corner Value -1.62E+00
 Corner Time 8.89E+01
 Corner Value 0.00E+00

V_V6 \$N_0003 0 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 degrees

TRANSIENT: PWL
 Corner Time 8.89E+01
 Corner Value 0.00E+00
 Corner Time 8.89E+01
 Corner Value -1.62E+00
 Corner Time 8.95E+01
 Corner Value -1.75E+00
 Corner Time 9.01E+01
 Corner Value -1.88E+00
 Corner Time 9.07E+01
 Corner Value -2.00E+00
 Corner Time 9.14E+01
 Corner Value -2.05E+00
 Corner Time 9.20E+01
 Corner Value -2.10E+00
 Corner Time 1.03E+02
 Corner Value -2.10E+00
 Corner Time 1.03E+02
 Corner Value 0.00E+00

V_V1 99 \$N_0004 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 degrees

TRANSIENT: PWL
 Corner Time 0.00E+00
 Corner Value 0.00E+00

Corner Time 1.90E+00
 Corner Value 6.46E+01
 Corner Time 5.90E+00
 Corner Value 1.44E+02
 Corner Time 7.90E+00
 Corner Value 1.89E+02
 Corner Time 9.90E+00
 Corner Value 2.23E+02
 Corner Time 1.19E+01
 Corner Value 2.63E+02
 Corner Time 1.39E+01
 Corner Value 3.03E+02
 Corner Time 1.61E+01
 Corner Value 3.15E+02
 Corner Time 6.32E+01
 Corner Value 3.15E+02
 Corner Time 6.32E+01
 Corner Value 0.00E+00

VH_H1 99 66 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 degrees

V_V2 \$N_0004 0 0.00E+00 0.00E+00 0.00E+00 degrees

TRANSIENT: PWL
 Corner Time 8.32E+01
 Corner Value 0.00E+00
 Corner Time 8.32E+01
 Corner Value -3.65E+02
 Corner Time 9.07E+01
 Corner Value -3.65E+02
 Corner Time 9.20E+01
 Corner Value -3.36E+02
 Corner Time 9.32E+01
 Corner Value -2.96E+02
 Corner Time 9.44E+01
 Corner Value -2.55E+02
 Corner Time 9.69E+01
 Corner Value -1.73E+02
 Corner Time 9.94E+01
 Corner Value -9.17E+01
 Corner Time 1.02E+02
 Corner Value -1.01E+01
 Corner Time 1.03E+02
 Corner Value 0.00E+00

I_I1 0 1 2.31E+00 0.00E+00 0.00E+00 degrees

**** OPTION SUMMARY

NOPAGE NOECHO NODE NOMOD LIST OPTS ACCT NOBIAS NOREUSE NOOUTMSG
 NOPRMSG NOICTRANSLATE STEPGBIN

DC ANALYSIS -

ITL1 = 150
 ITL2 = 20

RELTOL= 1.0000E-03
 ABSTOL= 1.0000E-12
 VNTOL = 1.0000E-06
 GMIN = 1.0000E-12

TRANSIENT ANALYSIS -

ITL4 = 10
 CHGTOL = 10.0000E-15

MISCELLANEOUS -

NUMDGT= 4
 WIDTH = 80
 DEFL = 100.0000E-06
 DEFW = 100.0000E-06
 DEFAD = 0
 DEFAS = 0
 TNOM = 27

DIGITAL -

DIGMNTYMX = 2
 DIGIOLVL = 1
 DIGINITSTATE = 2
 DIGERRLIMIT = 0
 DIGERRDEFAULT= 20
 DIGFREQ = 10.0000E+09
 DIGDRVF = 2
 DIGDRVZ = 20.0000E+03
 DIGOVRDRV = 2.5
 DIGMNTYSCALE = .4
 DIGTYMXSCALE = 1.6

**** OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

**** VOLTAGE-CONTROLLED CURRENT SOURCES

NAME	G_G1	G_G3
I-SOURCE	-2.309E+00	1.492E-06

**** VOLTAGE-CONTROLLED VOLTAGE SOURCES

NAME	E_MULT2	E_MULT1	E_MULT4	E_E2
V-SOURCE	-3.233E+00	1.782E-01	9.278E-03	1.272E-01
I-SOURCE	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	-1.748E+00

**** CURRENT-CONTROLLED VOLTAGE SOURCES

NAME H_H1
V-SOURCE -1.748E+00
I-SOURCE 0.000E+00

**** OPERATING POINT INFORMATION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

**** VOLTAGE-CONTROLLED CURRENT SOURCES

NAME G_G1 G_G3
I-SOURCE -2.309E+00 1.492E-06

**** VOLTAGE-CONTROLLED VOLTAGE SOURCES

NAME E_MULT2 E_MULT1 E_MULT4 E_E2
V-SOURCE -3.233E+00 1.782E-01 9.278E-03 1.272E-01
I-SOURCE 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 -1.748E+00

**** CURRENT-CONTROLLED VOLTAGE SOURCES

NAME H_H1
V-SOURCE -1.748E+00
I-SOURCE 0.000E+00

JOB CONCLUDED

**** JOB STATISTICS SUMMARY

NUNODS	NCNODS	NUMNOD	NUMEL	DIODES	BJTS	JFETS	MFETS	GASFETS	IGBTS
14	14	14	18	0	0	0	0	0	0
NDIGITAL	NSTOP	NTTAR	NTTBR	NTTOV	IFILL	IOPS	PERSPA		
0	26	49	54	7	5	79	92.012		
NUMTTP	NUMRTP	NUMNIT	DIGTP	DIG EVT	DIG EVL	MEMUSE			
113225	3078	339953	0	0	0	66227			
			SECONDS	ITERATIONS					
MATRIX SOLUTION			11.27		4				
MATRIX LOAD			21.23						

READIN	.27	
SETUP	.01	
DC SWEEP	0.00	0
BIAS POINT	.09	16
AC and NOISE	0.00	0
TRANSIENT ANALYSIS	148.93	339953
OUTPUT	0.00	
OVERHEAD	.01	
TOTAL JOB TIME	149.31	

TC YERLEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı Engin AKIN

Doğum tarihi 01.06.1972

Doğum yeri Görele

Lise 1985-1988 Görele Lisesi

Lisans 1988-1992 Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Elektrik Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1992-1995 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Müh. Anabilim Dalı, Elektrik Müh. Programı

Doktora 1995-1999 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Müh. Anabilim Dalı, Elektrik Müh. Programı

Çalıştığı Kurumlar

1993-1998 YTÜ Elektrik Müh. Bölümü Elektrik Makinaları Anabilim Dalı Araştırma Görevlisi

1998-Devam Ereğli Demir Çelik Fabrikaları T.A.Ş