

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Elekt. Tahr. Geçici Rejim Olay.

Yüksek Lisans Tezi

Süleyman Adak

1988

R 152
97

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİKLE TAHİRİTE
GEÇİCİ REJİM OLAYLARI

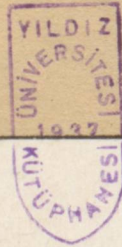
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELKT. MÜH. SÜLEYMAN ADAK

İSTANBUL 1983

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
GENEL KİTAPLIĞI

R 152

Kot :
Alındığı Yer :
Tarih : 13/05/1991
Fatura :
Fiatı : 50.000 TL
Ayniyat No : 1/3
Kayıt No : 47647
UDC : 621.3 378.242
Ek :



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

D.B. No 45374

ELEKTRİKLE TAHRIKTE
GEÇİCİ REJİM OLAYLARI



YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELKT. MÜH. SÜLEYMAN ADAK

İSTANBUL 1988

İÇİNDEKİLER

1- BÖLÜM

1-1 Giriş

Sayfa

1

2- BÖLÜM

ELEKTRİK MOTORLARI VE İŞ MAKİNELERİNİN İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ

2-1 Giriş

2

2-2 Elektrik makinalarının işletme karakteristikleri

2-4

2-2-1 Şönt karakteristikli motorlar

4-5

2-2-2 Seri karakteristikli motorlar

5

2-3 İş makinelerinin işletme karakteris- tikleri

5-6

2-3-1 Momentin devir sayısına bağlı olmadığı durum.

6

2-3-2 Momentin devir sayısı ile orantılı ol- duğu durum.

6-7

2-3-3 Momentin devir sayısının karesi ile orantılı olduğu durum.

7-8

2-3-4 Momentin devir sayısının tersiyle orantılı olduğu durum.

8-9

2-4 Sonuç

9

3- BÖLÜM

ELEKTRİK MOTORLARINDA GEÇİCİ REJİM OLAYLARI

3-1 Giriş

100

3-2 Doğru akım makinelerinde geçici rejim olayları.

10

3-2-1 Doğru akım şönt motoruna yolverme

11-21

3-2-2 Doğru akım şönt motorunun direnimle frenlenmesi

21-25

3-2-3 Doğru akım şönt motorunun ters akım bağlantısı ile frenlenmesi ve dönüş yönünün değiştirilmesi

25-28

3-2-4 Doğru akım motorlarının kapanması

28-35

3-3 Leonard bağlı bir tahrike yolverme

36-44

3-4 Leonard bağlı bir tahrikin frenlenmesi 44
ve dönüş yönünün değiştirilmesi

3-5 Alternatif akım makinelerinde geçici rejim olayları 51

3-5-1 Bilezikli asenkron motorlara yol verme 51-54

3-5-2 Asenkron motorların ters akım bağlantısı ile frenlenmesi ve dönüş yönünün değiştirilmesi. 54-55

4- BÖLÜM

TAHRİK SİSTEMİNDE GEÇİCİ REJİM OLAYLARI (MOTOR+İŞ MAKİNESİ)

4-1 Giriş 56

4-2 Serbest uyarmalı motorun transfer fonksiyonları ve geçici rejimleri 56

4-2-1 Motorun endüisine zamana göre değişken gerilim tatbik edilmesi(i_{fl} -sbt.) 57-65

4-2-2 Serbest ikazlı motorun uçlarına uygulanan gerilimin sabit ikaz akımının değişken olması. 65-70

4-2-3 Motorun miline uygulanan momentin değişken olması. 70-73

4-3 Motorlara ilişkin uygulama 73-78

4-4 Sonuç 78-79

ÖZET

Bu tez genel olarak 4 ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş mahiyetinde olup bu bölümde elektrikle tahrik sistemi incelenmiştir. İkinci bölümde elektrik motorları ile iş makinelerinin işletme karakteristiklerinin incelenmesine yer verilmiştir. Bu bölümde önemli olan, çalışma esnasında iş makinesinin gösterdiği davranışlara elektrik motorunun uygun karşılığı göstermesidir. Elektrik motoru çalışma esnasında raslanacak en büyük karşıt momenti verebilecek güçte olmalıdır. Kararlı çalışma şartı olarak motor ve iş makinesinin işletme karakteristiklerinin uygunluk göstermeleri gerekmektedir. Üçüncü bölümde genel olarak elektrik motorlarındaki geçici rejim olayları incelenmiştir. Bu bölümde geçici rejim, çalışmaya neden olan yol verme, frenleme, dönüş yönünün değiştirilmesi ve bir devir sayısından diğer bir devir sayısına geçiş anındaki geçici rejim olaylarının matematiksel ve fiziksel incelenmesi yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise tahrik sistemindeki geçici rejim olayları (Motor-İş makinesi) incelenmiştir. Bu bölümde geçici rejim çalışmasının incelenmesinde eşdeğer devre metodu kullanılmıştır. İncelemede transfer fonksiyonları ve blok diyagramlarından faydalanılmıştır.

Tezde özellikle fiziksel problemleri matematiksel kalıba sokan sistemli yöntemler üzerinde durulmuştur. Tezde konulara basit ve kısa yoldan yaklaşılmaya gayret edilmiştir.

Tez çalışmamın tamamlanmasında bana gösterdiği yardım ve katkılardan ötürü Sayın Hocam Prof. Kemal HALICI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 1988

Süleyman ADAK

SUMMARY

This thesis, in general, consists of four main parts. The first part is an introduction and the system of electrical movement is studied. In the second part, it has given a place for electrical motors and the studying of the work-characteristics of the work-machineries. The importance of this part is the appropriate reaction of electrical motor to the action of the work-machineries in the working duration. The electrical motors must be powerfull as gives the largest counter-moment. As a stable condition, the motor and work-machinery's management characteristics must be appropriate. Generally, unstable conditions of electrical motors are studied in the third part. In this part, events like unstable regim, giving way to working, stopping, changing of return way and unstable event of regim at the time of transmission from a revolving number to another one was studied mathematically and physically. In the fourth part, conditions of unstable regim in moment system (motor +working machines) are studied. In this study, equivalent cycle method is used in studying unstable transfer functions and block diagrams were benefited in this study.

In this thesis, the emphasis was on the systematical methods which especially gave way for physical problems to enter into mathematical form. In the thesis, we tried to take the matters in a short and simple ways.

I should thank to my master Prof. Kemal Halıcı for his valuable help and contribution in completing this study of thesis.

January, 1988

Süleyman ADAK

1. BÖLÜM

1.1. GİRİŞ

Tahrik sistemleri 3 temel kısımdan oluşurlar. Tahrik makinası, transmisyon mekanizması ve iş makinesinden meydana gelirler. Tahrik makinesi ile transmisyon mekanizmasının görevi, hareketi iş makinesine iletmektir.

Elektrik motorlarının diğer motorlara olan üstünlükleri ile elektrik enerjisinin dağıtım kolaylığından ötürü iş makinelerinin tahrikinde önemli bir yer tutarlar.

Başlangıçta iş makineleri bir transmisyon mili üzrinden tek bir motorla tahrik edilmekteydiler. Bu tür tahrik sisteminde tahrik motoru ile iş makinesi arasındaki bağlantıyı kayış kasnak düzeni sağlamaktaydı. Bu tür tahrik sisteminde iş makinelerinin devir sayılarının ayarı tek, tek yapılamaz motor veya iş makinasındaki bir arızadan tüm sistem etkilenirdi. Bu sakıncalardan dolayı günümüzde her bir iş makinasının bir elektrik motoru ile tahrik edildiği sistemler kullanılmaktadır. Bu tür tahrik sistemlerinde uygun devir sayısı ile çalışma, süratli yol alma ve dönüş yönü değiştirilebilir.

Tahrik edilen iş makinasının davranışına ve gösterdiği özelliklere uygun bir elektrik motoru ve koruma elmanları seçmek lazımdır. Bunun için iş makinasının işletme karakteristiğinin iyi bilinmesi gerekir.

İşletmedeki elektrikle tahrik sorunları ile uğraşan bir teknik elemanın görevi en teknik ve en ekonomik çözümü bulabilmektir.

2.BÖLÜM

ELEKTRİK MOTORLARI VE İŞ MAKİNELERİNİN İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ

2.1.GİRİŞ

Bir elektrikle tahrik sisteminin stabil çalışması için motor işletme karakteristiğinin iş makinesinin işletme karakteristiğine uyması gerekir.Böylebir uygunluk neticesinde de yük momentinin değişiminde,motorun devir sayısı ve momenti otomatik olarak değişir.Tahrik sistemi yeni bir devir sayısıyla stabil çalışmaya devam eder.Yol verme,frenleme ve devir sayısı değişimindeki geçişi rejim olayları,motor momentinin değişimi ile iş makinesinin momentine bağlıdır,Stabil çalışmada iş makinesinin yük momenti ile tahrik motorunun döndürme momentiaarasında bir denge vardır.Tahrik sisteminin etüdünde bazen motor ve iş makinesinin karakteristiklerinin cebirsel toplamından oluşan bileşke karakteristik kullanılır.

2.2.ELEKTRİK MOTORLARININ İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ

Doğru ve alternatif akımla çalışan yapı,çalışma tarzı ve kullunma alanları farklı pek çok çeşit elektrik motoru vardır.Fakat bütün bu elektrik motorlarını işletme karakteristiklerine göre:

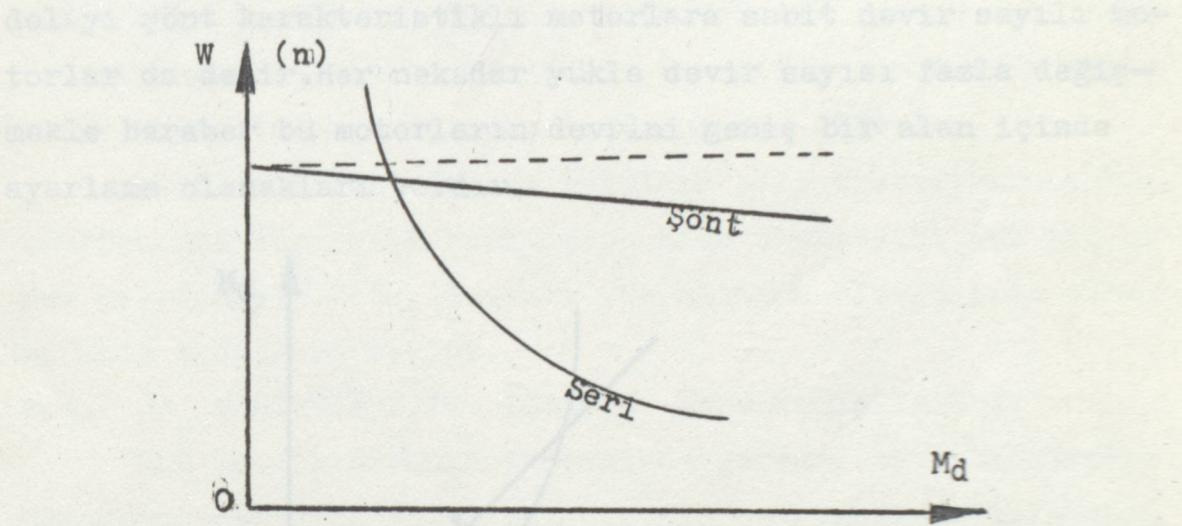
1-Şönt karakteristikli motorlar

2-Seri karakteristikli motorlar

olarak iki ana gruba ayırıp tobluça etüd etmek mümkündür.Şekil(2-1) de şönt ve seri karakteristikli motorların hız-moment (mekanik) karakteristikleri gösterilmiştir.Bu karakteristiklerin tahrik edilen makine karakteristiklerinin çoğunda olan farklı bir yanı devir sayısının yük momentine göre düşen bir özelliğe,yani negatif eğime sahip oluşları-

dır. Seri ve şönt karakteristikli arasındaki başlıca farklılık yükte devir sayısı değişim hızlarının farklı oluşudur. Şönt karakteristikli motorlarda değişim hızı çok düşük ve yaklaşık olarak sabit iken seri karakteristikli motorlarda yükte birlikte geniş oranda değişir.

Hız-moment karakteristiğinin herhangi bir noktasındaki teğeti o yükte devir sayısının değişim hızına eşit olup teğetin eğimi karakteristiğin o noktasındaki dikliği olarak tanımlanır.



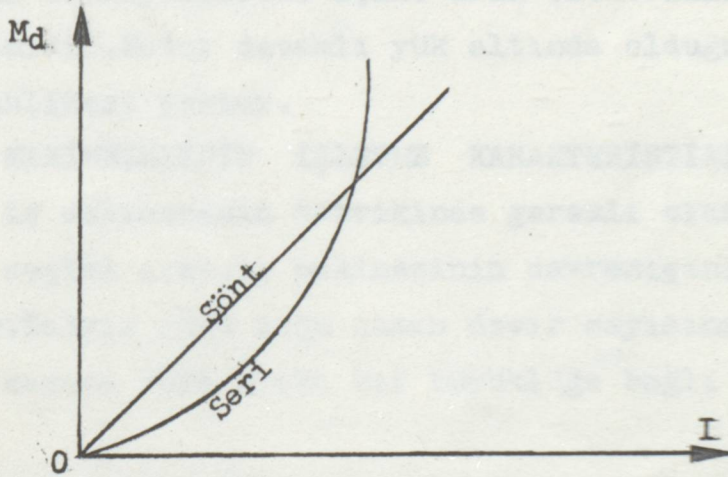
Şekil (2-1) seri ve şönt karakteristikli motorların hız-moment karakteristikleri.

Şönt ve seri karakteristikli motorlar için diğer önemli bir işletme karakteristiği de moment akım karakteristiğidir. Şekil (2-2)de hem iki motor grubuna ait moment-akım karakteristikleri gösterilmiştir.

Manyetik doymadan uzak ve komutasyon sınırına kadar uzanan normal çalışma alanı içinde şönt karakteristikli motorlarda döndürme momenti yük akımı ile seri karakteristikli motorlarda yük akımının karesi ile orantılı değişir. Şönt motorlarda karakteristik orjinden geçen bir doğru seri motorlarda ise ikinci dereceden bir parabolüdür.

2.2.1. ŞÖNT KARAKTERİSTİK Lİ MOTORLAR

Doğru akım şönt motoru, üç fazlı asekron ve senkron motorlar stator veya rotorundan beslenen üç fazlı kollektörlü şönt motorlar tek fazlı asenkron motor, tek fazlı alternatif akım kollektörlü şönt motoru v.s. şönt karakteristiğe sahiptirler. Bu motorlarda normal kararlı çalışma bölgesi içinde mekanik karakteristik yaklaşık olarak bir doğru olup yük ile devir sayısı fazla değişmez. Senkron motorlarda ise karakteristik tamamen yatay ve devir sayısı sabittir. Bundan dolayı şönt karakteristikli motorlara sabit devir sayılı motorlar da denir. Her ne kadar yük ile devir sayısı fazla değişmekle beraber bu motorların devrini geniş bir alan içinde ayarlama olanakları vardır.



Şekil (2-2) Seri ve şönt karakteristikli motorların moment-akım karakteristikleri.

Şönt karakteristikli motorlarda magnetik alan veya döner alan fluksu pratik olarak yük ile değişmez, yükten bağımsızdır.

Şönt motorun başlıca uygulama alanı çeşitli tezgah ve iş makineleri örneğin her nevi hadde tesisleri, matbaa makineleri ve asansörlerin tahrikinde daima şönt motorlar kullanılır.

2.2.2. SERİ KARAKTERİSTİKLİ MOTORLAR

Doğru akım seri motoru, tek fazlı alternatif akım kollektörlü seri motoru, üç fazlı alternatif akım kollektörlü seri motoru üniversal motor v.s. seri karakteristiktirler. Bu motorlar şönt motorlara göre çok daha fazla düşen bir işletme karakteristiğine (mekanik karakteristiğe) sahiptirler. Devir sayısı geniş ölçüde yüke bağlıdır, Değişim hızında aynı kalmayıp yük ile birlikte değişir. Artan yük halinde değişim hızında bir azalma olur. Yük momenti artarken devir sayısının önemli miktarda düştüğü için mekanik güç ve dolayısıyla şebekeden çekilen güçte fazla bir artış olmaz. Bu motorlarda magnetik alan da yüke bağlı olarak değişir.

Seri motorun başlıca uygulama alanı tranvay-trolleybüs banliyö, ana demiryollarını içine alan elektrikli cer ile kerem işletimidir. Motor devamlı yük altında olduğu için ambele olma tehlikesi yoktur.

2.3. İŞ MAKİNELERİNİN İŞLETME KARAKTERİSTİKLERİ:

Bir iş makinesinin tahrikinde gerekli olan elektrik motorunun seçimi için, iş makinesinin davranışının bilinmesi zorunludur. Tahrik gücü çoğu zaman devir sayısına dönüş açısına yola zamana veya başka bir büyüklüğe bağlı olarak değişir. M

Momenti devir sayısına bağlı olarak değişen iş makinelere karakteristiği bir amperik bağıntı ile verilebilir.

$$M_L = M_0 + (M_{LN} - M_0) \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 \quad (2-1)$$

Burada,

- | | |
|----------|--|
| M_L | n devir sayısında iş makinesinin yük momenti |
| M_0 | iş makinesinin hareketli bölümlerinin sürtünme momenti |
| M_{LN} | n_N nominal devir sayısındaki yük momenti |

n dönme sayısı

z devir sayısının değişiminde yük momentinin değeri
mini göz önüne alan üstel katsayı

2.3.1 . MOMENTİN DEVİR SAYISINA BAĞLI OLMADIĞI DURUM

Bu tip iş makinelerinde yük momenti sabittir. Genel ifade (2-1) bağıntısında $z=0$ konarak bulunur. $M_0=0$ alınır.

$$M_L = M_{LN} \quad (2-2)$$

olur. Diğer taraftan

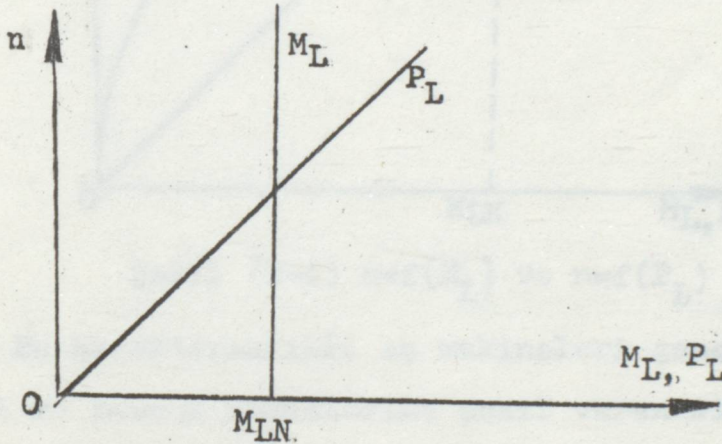
$$P_L = W \cdot M_L \quad (2-3)$$

$$P_L = \frac{2 \cdot x \cdot n}{60} \cdot M_L \quad (2-4)$$

olduğundan

$$P_L = k \cdot n \quad (2-5)$$

olur.



Şekil (2-3) $n=f(M_L)$, $n=f(P_L)$ karakteristikleri.

Bu karakteristikli iş makineleri genel olarak kaldırma işi yapan asansörler,viçler,çıkırıklar sürtünme ve şekil değiştirme işi yapan makineler değirmenler,yürüyen bantlar tornalar,planya tezgahları bu sınıfa girerler.

2.2.2. MOMENTİN DEVİR SAYISIYLA ORANTILI OLDUĞU DURUM

Bu tip iş makinelerinin karakteristiğini belirlemek için gene l bağıntıda (2-1) $z=1$ konur. Ve $M_0=0$ alındığı durum

$$M_L = M_{LN} \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right) \quad (2-6)$$

$$k = \frac{M_{LN}}{n_N} \quad (2-7)$$

$$M_L = k \cdot n \quad (2-8)$$

ölür. Diğer taraftan

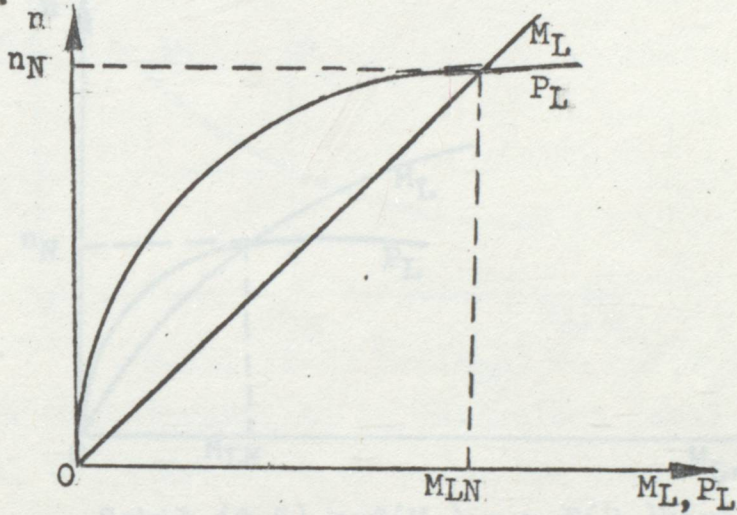
$$P_L = M_L \cdot W = M_L \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (2-9)$$

olduğundan

M_L yerine (2-6) daki karşılığını koyarsak

$$P_L = k \cdot n^2 \quad (2-10)$$

bulunur.



Şekil (2-4) $n=f(M_L)$ ve $n=f(P_L)$ karakteristikleri

Bu karakteristikli iş makineleri genel olarak kagıt, tekstil ve kauçuk maddelerine şekil veren silindir, girdap akımlı fren makineleri sabit direnç üzerinden yüklenmiş sabit uyarmalı doğru akım generetörleridir.

2.3.3. MOMENTİN DEVİR SAYISININ KARESİYLE ORANTILI OLDUĞU DURUM

Bu tip iş makinelerinin karakteristiğini belirtmek için (2-1) bağıntısında $z=2$ konur ve $M_0=0$ alınırsa

$$M_L = M_0 + (M_{LN} - M_0) \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 \quad (2-11)$$

$$M_L = M_{LN} \cdot \left(\frac{n}{n_N} \right)^2 \quad (2-12)$$

$$M_L = k \cdot n^2 \quad (2-13)$$

bulunur. Güç bağıntısı ise

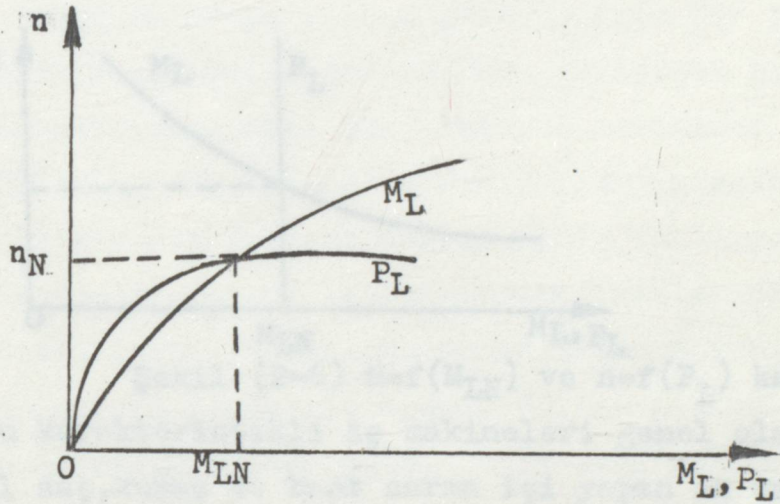
$$P_L = W \cdot M_L \quad (2-14)$$

$$P_L = \frac{2 \cdot x \cdot n}{60} \cdot M_L \quad (2-15)$$

M_L yerine (2-12) deki değeri konursa

$$P_L = k \cdot n^3 \quad (2-16)$$

bulunur.



Şekil (2-5) $n=f(M_L)$ ve $n=f(P_L)$ karakteristikleri

Bu karakteristikli iş makineleri genelolarak her çeşit sıt hava ve sıvı dirençlerini yenen iş makineleridir. Örneğin vantilatörler, aspiratörler, pervaneler, santrifuj pompaları santrifuj karıştırıcılar, döner kompresörler.

2.3.4. MOMENTİN DEVİR SAYISININ TERSİYLE ORANTILI OLDUĞU DURUM

Bu tip iş makineleri için (2-1) bağıntısında $z=-1$ konur. $M_0=0$ alındığı takdirde

$$M_L = M_0 + (M_{LN} - M_0) \left(\frac{n}{n_N} \right)^{-1} \quad (2-17)$$

$$M_L = M_{LN} \left(\frac{n_N}{n} \right) \quad (2-18)$$

bulunur. Güç bağıntısı ise

$$P_L = W \cdot M_L \quad (2-19)$$

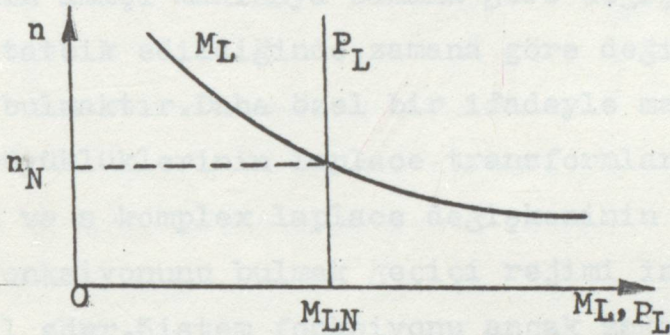
$$P_L = \frac{2 \cdot x \cdot n}{60} \cdot M_L \quad (2-20)$$

M_L yerine (2-18) deki değeri konursa

$$P_L = \frac{2 \cdot x \cdot M_{LN} \cdot n}{60} \quad (2-21)$$

$$P_L = \text{sabit} \quad (2-22)$$

olur.



Şekil (2-6) $n=f(M_{LN})$ ve $n=f(P_L)$ karakteristiği

Bu karakteristikli iş makineleri genel olarak kağıt tel, metal saç, kumaş ve bant sarma işi yapan iş makineleridir. Bu tür iş makinelerinde tornalarda kesme kuvveti ve kesme hızı sarma makinelerinde çekme kuvveti ve taşıma hızı sabittir.

2.4. SONUÇ

Bir iş makinesinin tahrikinde gerekli elektrik motorunun seçimi için iş makinesinin davranışının bilinmesi zorundur. Sağlıklı bir proje ile işletmeden ekonomik bir şekilde faydalanmak için motor ve iş makinesinin karakteristiklerinin detaylı olarak etüdüne ihtiyaç vardır.

Yol verme, ferenleme ve devir sayısı değişiminde geçişi rejim çalışması, döndürme momentinin değişim tarjına ve tahrik edilen makinenin yük momenti ile devir sayısı arasındaki bağıntıya bağlıdır.

Bir iş makinesinin tahrik için kullanılacak elektrik motorunun işletme karakteristiği iş makinesinininkine uygun olmalıdır.

3.BÖLÜM

ELEKTRİK MOTORLARINDA GEÇİCİ REJİM OLAYLARI

3.1. GİRİŞ

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye veya mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren elektrik motorlarının geçici rejimlerini incelemek için değişik yollar mevcuttur. Şu veya bu yol seçilsin elde edilen neticeler aynıdır. İncelemenin amacı makineye zamana göre değişen bir giriş büyüklüğü tatbik edildiğinde, zamana göre değişecek çıkış büyüklüğünü bulmaktır. Daha özel bir ifadeyle makinenin giriş ve çıkış büyüklüklerinin Laplace transformları arasındaki oranı veren ve s kompleks laplace değişkeninin fonksiyonu olan sistem fonksiyonunu bulmak geçici rejimi incelemede esas konuyu teşkil eder. Sistem fonksiyonu ancak zaman domeninde lineer bir diferansiyel denklemle temsil edilen lineer bir sistem için tanımlanır. O halde geçici rejim etüdünde makinelerin sistem fonksiyonlarını tarif için makineleri lineer fiziksel bir sistem olarak kabul etmek gerekir,

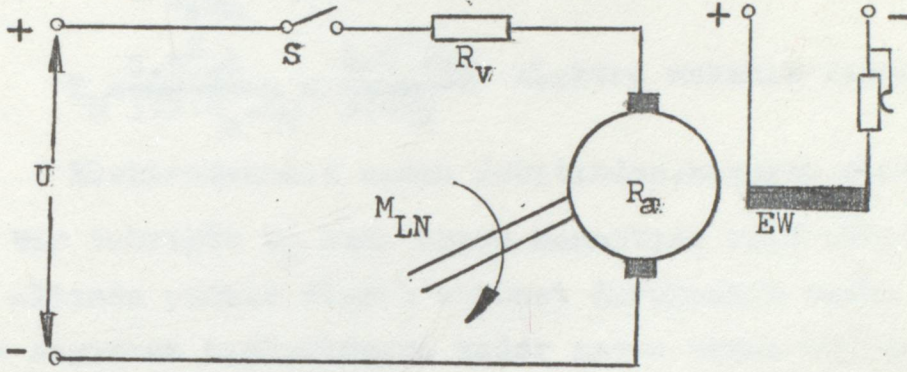
3.2. DOĞRU AKIM MAKİNELERİNDE GEÇİCİ REJİM OLAYLARI

Doğru akım makinelerinde geçici rejim olaylarının devam süresini devresinde bulunan direnç ve selfi belirler. Buna mu bil mekaniki geçici rejim süresini atalet momenti ile dönme momenti tayin eder. Bu makinalarda devemli bir selfin bulunmasından ötürü akım nihai değerine belirli bir zaman zarfında ulaşır. Alternatif akımla beslenen makinalara nazaran bu makinalarda açma kapama işlemide zordur.

Doğru akım makinalarında geçici rejim olayları genel olarak, yol vermede, frenlemede, dönüş yönünün değiştirilmesinde bir devir sayısından diğer bir devir sayısına geçişte raslanır.

3.2.1. DOĞRU AKIM ŞÖNT MOTORUNA YOL VERME

Bir doğru akım şönt motoruna ,endüvisi bir S anahtarı ile doğru akım şebekesine bağlanarak yol verilir.



Şekil (3-1) Bir doğru akım şönt motoruna yol verme için prensip bağlantı şeması.

Gösterilen bağlantıda devamlı olarak bağlı bir R_v ek direnci bulunmaktadır. Endüvi devresinin toplam direnci $R = R_a + R_v$ dir.

Yolalma olayının etüdünde motorun Φ magnetik fluksu ve U şebeke gerilimi ve M_L yük momentinin sabit kaldığı farzedilir, Bundan başka endüvi devresinin endüktansı $L_a = 0$ kabul edilir.

Yolalma olayının etüdünde tahrikin elektrik ve mekanik denge denklemlerinden kılınır.

$$U = C_e \cdot n + I \cdot R \quad (3-1)$$

$$M = C_m \cdot I = \frac{G \cdot D^2}{375} \frac{dn}{dt} + M_L \quad (3-2)$$

I endüvi akımının (3-2) den tayin edilen değeri (3-1) denkleminde yerine konursa uygun yer koyma işleminden sonra

$$\frac{U}{C_e} = n + \frac{GD^2}{375 C_e C_m} \frac{dn}{dt} + \frac{M_L \cdot R}{C_e \cdot C_m} \quad ($$

yahut $n_0 = n + T_M \cdot \frac{dn}{dt} + \Delta n_L \quad (3-3)$

elde edilir.

Bu bağıntılarda

$n_0 = \frac{U}{C_e}$ motorun boşta ideal devir sayısı

$n_L = \frac{M_L R}{C_e C_m}$ M_L yükünde devir sayısı Şekil (3-2) ve

$T_M = \frac{G \cdot D^2 \cdot R}{375 \cdot C_e \cdot C_m} = \frac{G \cdot D^2 \cdot n_0}{375 M_K}$ elektro mekanik zaman sabiti

Elektromekanik zaman sabitinden, savurma momenti GD^2

olan bir tahrikte M_K kısa devre momentine eşit sabit bir moment altında yüksüz olarak sükunet durumundan boşta ideal n_0 devir sayısına hızlanıncaya kadar geçen zaman anlaşılır. Demekki zaman sabitinin değeri M_K kısa devre momentine bağlıdır. Endüvi devresinin dirençinin arttırılması halinde M_K momenti küçülür ve bununla birlikte zaman sabiti büyür.

(3-3) denklemi aşağıdaki şekildedeki yazılabilir.

$$\frac{dn}{dt} + \frac{n}{T_M} = \frac{n_0 - n_L}{T_M}$$

Bu denklemin çözümü

$$n = n_0 - n_L + k e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-4)$$

dir. Burada k integrasyon sabitidir. Geçici rejim olayının başlangıç şartlarından tayin edilir.

$t=0$ devir sayısının başlangıç değeri $n=n_a$ olsun

Bu halde

$$k = n - (n_0 - n_L) = n_a - n_L$$

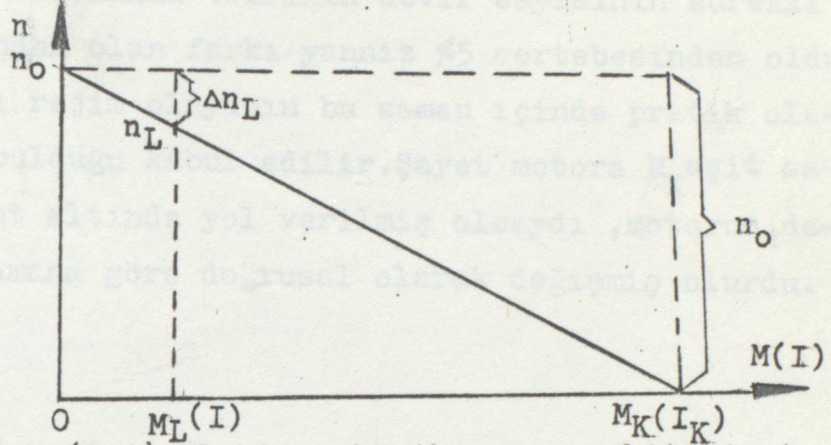
bulunur.

Bu şartlar altında yolalma esnasında motorun devir sayısı için genel denklem kolayca elde edilir.

$$n = n_L + (n_a - n_L) \cdot e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-5)$$

Bu bağıntıda n_L, M_L gibi bir yük altında motorun devir

sayısıdır(sürekli rejim) Şekil (3-2)



Şekil (3-2) Elektromekanik zaman sabitinin tesbitine ait diyagram.

Ekseriya motorun sukunet durumundan kalkarak yol aldığı haller için

$$n = n_L(1 - e^{-\frac{t}{T_M}}) \quad (3-6)$$

elde edilir.

n_0 sürekli rejim devir sayısına kadar boşta yol almada

$$n = n_0(1 - e^{-\frac{t}{T_M}}) \quad (3-7)$$

bulunur.

Şekil (3-3) de bir doğru akım şönt motoruna yük altında (1 eğrisi) ve boşta kalkışta (2 eğrisi) $n=f(t)$ yol alma eğrileri gösterilmiştir. (3-6) ve (3-7) denklemlerine göre yol alma olayı teorik olarak sonsuz zaman devam eder. Fakat yol almanın pratik bakımdan $t_a = 3T_M$ ile $4T_M$ nihayet bulunduğu kabul edilir. Bu taktirde devir sayısı sürekli rejim değerinden ancak %5 ile %2 kadar farklı bir değere haizdir.

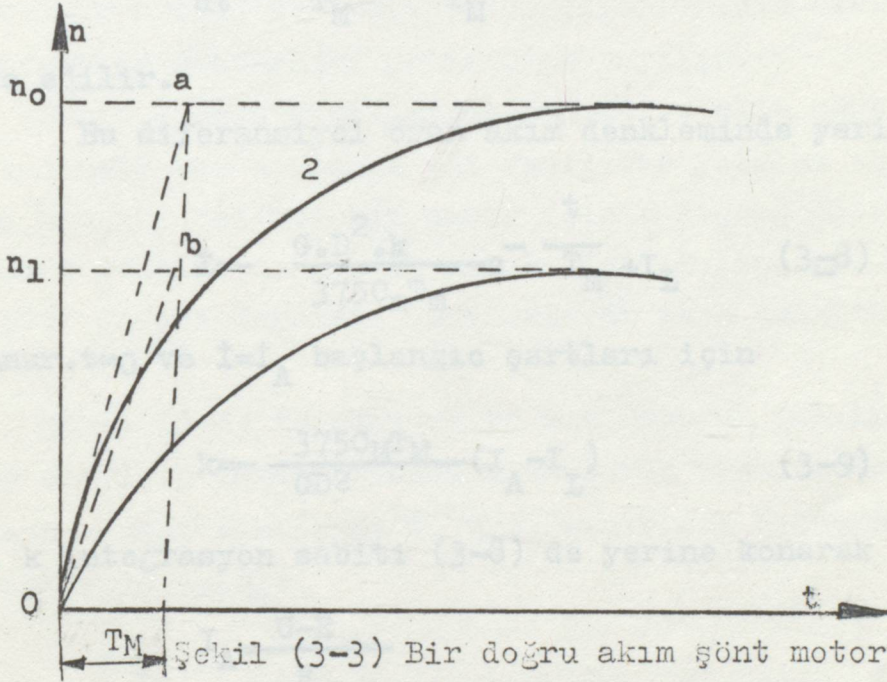
(3-6) denkleminde aşağıdaki neticeler bulunur:

$$t = \infty \text{ için } e^{-\frac{t}{T_M}} = 0, \quad n = n_L$$

$$t = 3T_M \text{ için } e^{-3} = 0.05, \quad n = 0.95n_L$$

$$t = 4T_M \text{ için } e^{-4} = 0.002, \quad n = 0.98n_L$$

$t=3T_M$ zamanında tahrikin devir sayısının sürekli rejim değerinden olan farkı yalnız %5 mertebesinde olduğundan geçici rejim olayının bu zaman içinde pratik olarak nihayet bulunduğu kabul edilir. Şayet motora M_K eşit sabit bir moment altında yol verilmiş olsaydı, motorun devir sayısı zamana göre doğrusal olarak değişmiş olurdu. Şekil (3-3)



Şekil (3-3) Bir doğru akım şönt motorun yol almasında $n=f(t)$ eğrileri.

Keza 2 eğrisine koordinat başlangıç noktasında bir teğet çizilirse, n_0 dan geçen yatay doğru üzerinden teğetle kesişme noktasına kadar olan n_0a doğru parçası zaman ölçeği ile $t=T_m$ yi verir.

Benzer şekilde 1 eğrisine teğet çizilirse keza n_1b doğru parçası T_m ye eşittir.

Bunun elektromagnetik zaman sabiti değerinin elektrikle tahrikin yüküne bağlı olmadığı sonucuna varılır.

Motorun yolalması esnasında endüvi akımının zamana

göre değişimi (3-2) denkleminde bulunur.

$$\dot{i} = -\frac{G \cdot D^2}{375 C_m} \cdot \frac{dn}{dt} + I_L \quad (3-11)$$

Burada $I_L = \frac{M_L}{C_m}$ yük akımıdır.

(3-4) denkleminde

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{k}{T_M} e^{-\frac{t}{T_M}}$$

elde edilir.

Bu diferansiyel oran akım denkleminde yerine konur

sa

$$\dot{i} = -\frac{G \cdot D^2 \cdot k}{375 C_m T_M} e^{-\frac{t}{T_M}} + I_L \quad (3-8)$$

bulunur. $t=0$ ve $\dot{i}=\dot{i}_A$ başlangıç şartları için

$$k = -\frac{375 C_m T_M}{G D^2} (\dot{i}_A - I_L) \quad (3-9)$$

dir. k integrasyon sabiti (3-8) de yerine konarak

$$I_A = \frac{U-E}{R}$$

denkleminde tayin edilir.

Ekseriya yolalmaya durgun halden geçilir. Bu taktir

de E.M.K sıfıra eşittir. ve $I = I_k = \frac{U}{R}$ dir.

Yol almada endüvi akımı

$$\dot{i} = (I_k - I_L) e^{-\frac{t}{T_M}} + I_L \quad (3-10)$$

fonksiyonu ile ifade olunur.

Keza boşta çalışmada, $I_L = 0$ konursa

$$\dot{i} = I_k e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-11)$$

olur.

Keza boŖta çalışmada, $I_L=0$ konursa

$$\dot{I}=I_k e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-11)$$

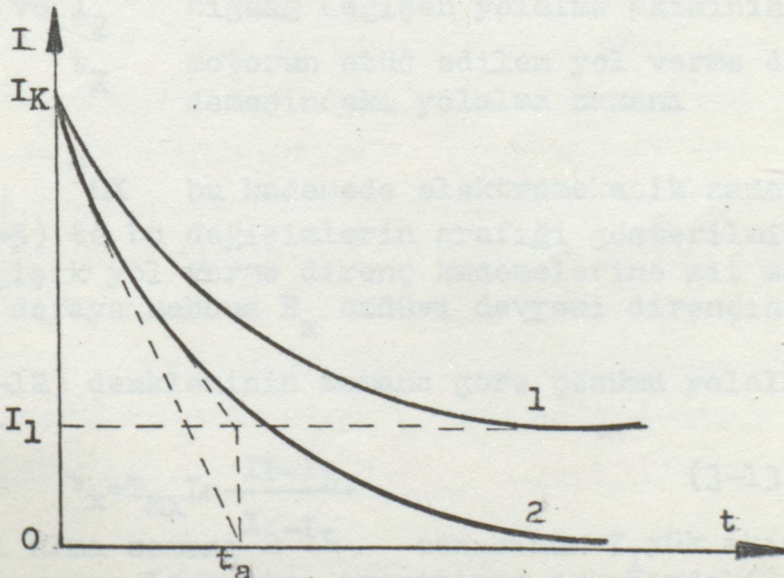
olur.

şekil (3-4) de gösterilen $\dot{I}=f(t)$ eğrileri (3-10) ve (3-11) denklemlerine göre çizilmiştir.

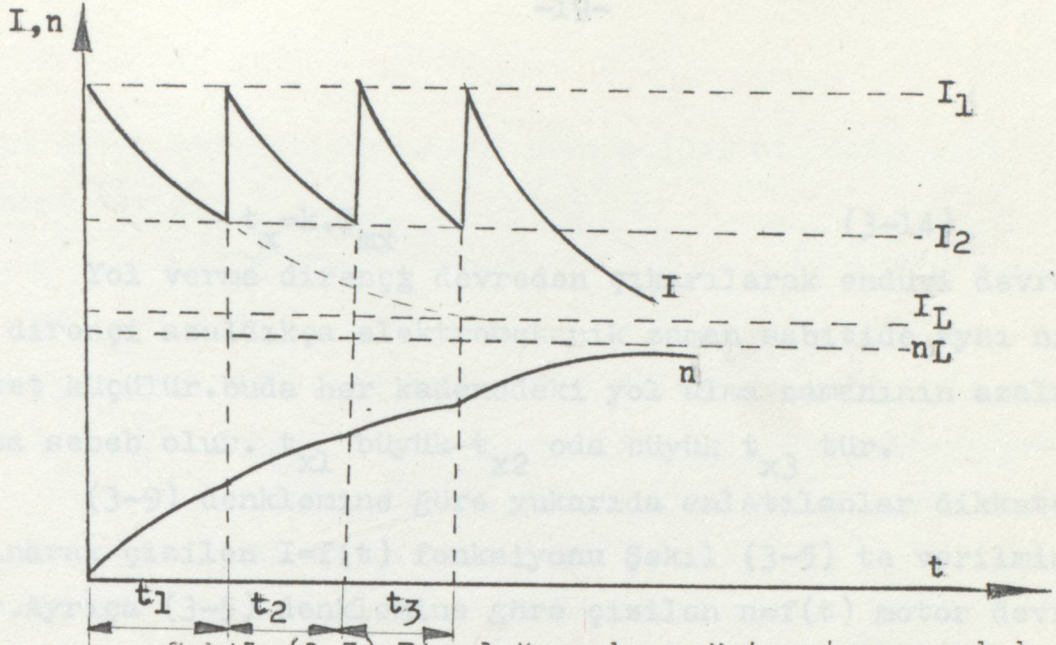
(3-3), (3-4), (3-2) şekillerinin etüdünden, motor döndürme momentinin doğrusal olarak değişimi halinde ve sabit yük momentinde $n=f(t)$ ve $\dot{I}=F_1(t)$ fonksiyonlarının basit üstel f fonksiyonlar gösterdiği neticesine varılır.

Sabit şebeke geriliminde bir doğru akım gnt motoruna cok kademeli bir dirençle yol verilirse yolalma akımı ve yolalma momenti belirli bir sınır içinde zığzağ olarak değişir. Bu halde yolalma zamanının hesabı için kalkış denklemi olarak devir sayısı denklemi değil, bizzat akım denklemi kullanılır.

şekil (3-5) te gösterilen bir motorun çok kademeli yol verme olayının diğerlerinden olan bariz farkı motor akımının yolalma zamanı esnasında I_1 ve I_2 sınırları arasında zığzag olarak değişmesidir.



şekil (3-4) Bir doğru akım gnt motorun tek tek kademeli yol almasında $\dot{I}=f(t)$ eğrileri.



Şekil (3-5) Bir doğru akım gönt motorun çok kademeli yol alma diyagramı.

Yol vermenin başında $I_a = I_1$ dir. Motor hızlandıkça EMK side aynı oranda yükselir. Bu sebepten endüvi devresindeki akım ve bunun neticesi motor momentide azalmaya başlar. Akım I_2 gibi bir değere düştüğü zaman yol verme direncinin bir kısmı devreden çıkarılmak sureti ile motor akımı tekrar I_1 değerine erişir. Motor akımının I_1 değerinden I_2 ye düşmesi esnasındaki zamanı araştıralım. Bu maksatla (3-9) denklemini kullanılır. Bu denklemi aşağıdaki şekilde yazalım.

$$I_2 = I_L + (I_1 - I_L) e^{-\frac{t}{T_{MX}}} \quad (3-12)$$

Bu bağıntıda

I_1 ve I_2 zigzag değişen yol alma akımının sınırları
 t_X motorun etüd edilen yol verme direnci kademesindeki yol alma zamanı

T_{MX} bu kademede elektromekanik zaman sabitidir.

Şekil (3-5) te bu değişimlerin grafiği gösterilmiştir.

Değişik yol verme direnç kademelerine ait zaman sabitleri her defaya mahsus R_x endüvi devresi direncine tekabül eder.

(3-12) denkleminin zamana göre çözümü yol alma suresi ni verir.

$$t_X = T_{MX} \ln \frac{I_1 - I_L}{I_2 - I_L} \quad (3-13)$$

Yol alma zamanı $I_2 - I_L$ esnasında I_1 yük akımının değeri değişmezse logaritma işaretinin arkasındaki oranın değeri sabit kalır. Ve bu sebepten

$$t_x = k \cdot T_{mx} \quad (3-14)$$

Yol verme direnç devreden çıkarılarak endüvi devresi dirençi azaldıkça elektromekanik zaman sabitide aynı nisbetet küçülür.buda her kademedeki yol alma zamanının azalmasına sebep olur. t_{x1} büyük t_{x2} oda büyük t_{x3} tür.

(3-9) denklemine göre yukarıda anlatılanlar dikkate alınarak çizilen $I=f(t)$ fonksiyonu Şekil (3-5) te verilmiştir.Ayrıca (3-5) denklemine göre çizilen $n=f(t)$ motor devir sayısı eğrisinde gösterilmiştir.Sonunçu kademe $I=I_L$ ve $n=n_L$ değerinde geçici rejim olayının süresi sonsuza eşitir. Pratik bakımdan bu kademe için daha önce olduğu gibi $t_x=3T_{mx}$ ile $4T_{mx}$ kabul edilir.

Elektromagnetik geçici rejim olayının devam süresi mekanik geçici rejim olayının devam süresi ile karşılaştırılırsa ,şimdiye kadar endüvi devresinin ihmal edilen elektromagnetik ataletide dikkate alınabilir.

Şekil (3-6) da motorun sabit şebeke geriliminde ve endüvi selfi dikkate alınarak tek kademeli yol vermeye ait endüvi akımı ve devir sayısının zamana göre değişimleri gösterilmiştir.Şekilde görüleceği gibi motorun yol alması iki kısımdan meydana gelmiştir.

Birinci kısım :Endüvi akımı kafi büyüklükte yol alma momenti meydana getirmek için gerekli değere sahip olmadiği için,halen durgun durumdadır.Bu kısımda motor akımının artışı elektromagnetik geçici rejim olayının,endüvi devresinin sinüsait gerilim denkleminde tayin edilen cevap verme hızına bağlıdır.

$$U = I \cdot R + L_a \frac{di}{dt} \quad (3-15)$$

Endüvi selfinin L_a =sabit değerinde (3-15) denkleminin

çözümü motor sukunet durumunda iken endüvi akımının değişim konumunu verir.

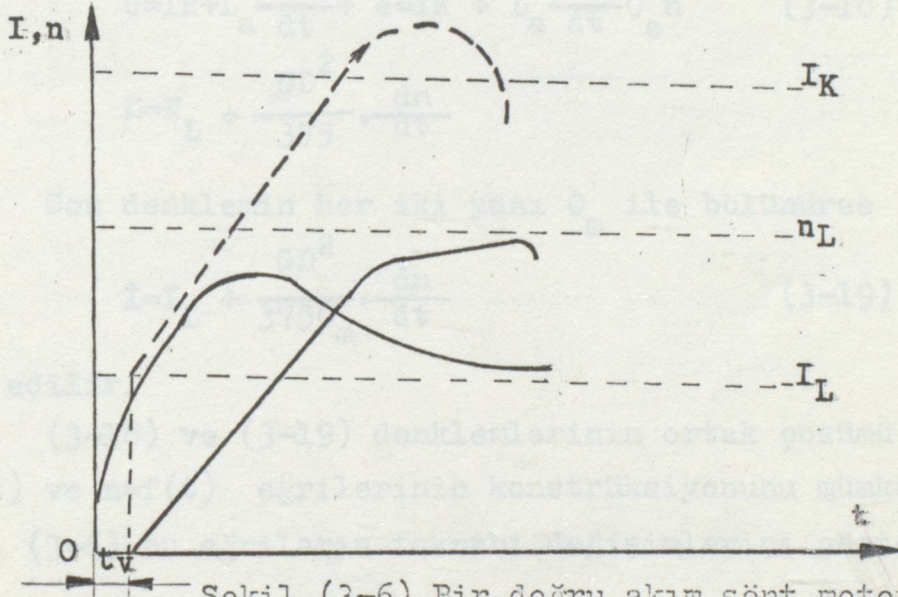
$$i = \frac{U}{R} (1 - e^{-\frac{t}{T_e}}) = I_k (1 - e^{-\frac{t}{T_e}}) \quad (3-16)$$

Bu bağıntıda

$$I_k = \frac{U}{R} \quad \text{motorun kısa devre akımı}$$

$$T_e = \frac{L_e}{R} \quad \text{endüvi devresinin devresinin elektromagnetik geçişi rejim olayının cevap verme hızını tayin eder.}$$

(3-16) denkleminde göre çizilen akım eğrisi Şekil (3-16) da t_v zamanı içindedolu çizgi ile bu zamanın dışında kesik çizgiyle gösterilmiştir.



Şekil (3-6) Bir doğru akım şönt motorun

yolalması esnasında endüvinin elektromagnetik ataleti dikkate alındığı taktirde $n=f(t)$ ve $i=f(t)$ eğrileri.

akım için $i=I_L$ konarak (3-16) denkleminde elde edilen t_v zamanına gecikme zamanı denir .

Bu taktirde:

$$t_v = T_e \ln \frac{I_k}{I_k - I_L} \quad (3-17)$$

bulunur.

Şu hususuda belittelimki,geçikme zamanı gercekte

(3-6) denkleminde hesaplanandan daha büyüktür. Bu ek yol alma gecikmesinin sebebi motorun demir kısmında fuko akımlarının fren etkisidir.

t_v zamanı sonunda motor dönmeye başlar. Motorun devir sayısı yükselir. Ve endüvide meydana gelen EMK motor akımına tesir eder. Bundan sonra Bundan sonra her iki elektromekanik ve elektromagnetik olaylar birlikte cereyan eder. motorun yol alma olayı müsterek tanımlanır. Φ magnetik fluksun sabit tutulması hâlinde endüvi akımı ve motor devir sayısının hesabında aşağıdaki denklemlerden hareket edilir:

$$U = I_a R + L_a \frac{di}{dt} + e = I_a R + L_a \frac{di}{dt} C_e n \quad (3-18)$$

$$M = M_L + \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}$$

Son denklemin her iki yanı C_m ile bölünürse

$$\dot{I} = I_L + \frac{GD^2}{375 C_m} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (3-19)$$

elde edilir.

(3-18) ve (3-19) denklemlerinin ortak çözümü aranan $\dot{I} = f(t)$ ve $n = f(t)$ eğrilerinin konstrüksiyonunu mümkün kılar. Şekil (3-6) bu eğrilerin takribi değişimlerini göstermektedir.

3.2.2. DOĞRU AKIM ŞÖNT MOTORUN DİRENİMİLE FRENLENMESİ

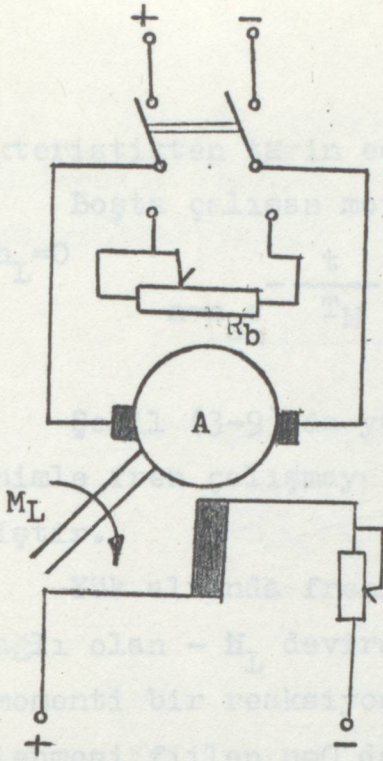
Dönen bir motorun endüvisi şebekeden ayırt edilip bir direnç üzerine bağlanırsa Şekil (3-7), motor generetör işletme durumuna geçer. Ve kuvvetli olarak frenlenir Şekil (3-8).

Fren çalışması esnasında ikaz sargısı doğru akım şebekesi ile bağlı kalır.

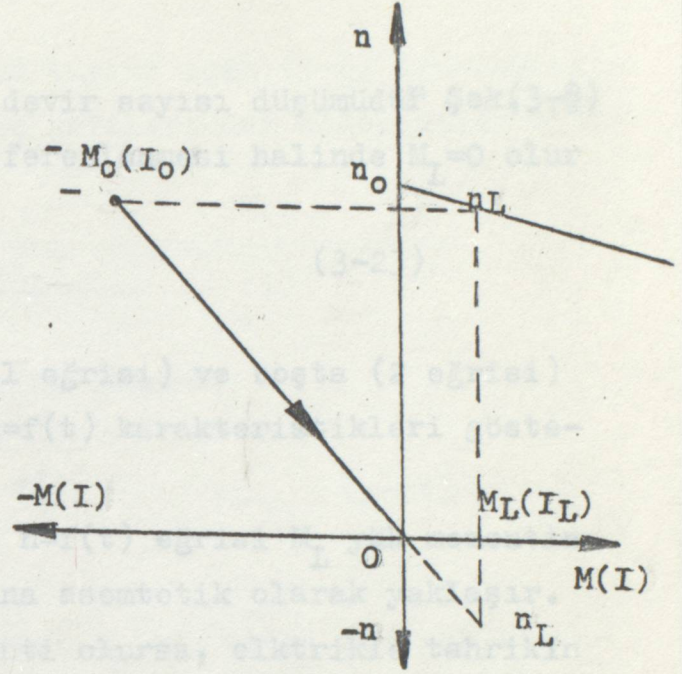
Direnimle frenleme ile ilgili esas denklemler

$$C_e n + I_a R = 0$$

$$(3-20)$$



Şekil (3-7) Direnimle frenlemede prensip bağlantı şeması



Şekil (3-8) Motor işletme durumundan direnimle fren geçişine geçişte $n=f(M)$ Motor karakteristikleri

$$C_m \dot{I} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} + M_L \quad (3-21)$$

olup, burada,

$$R = R_b + R_a$$

dır.

(3-20) ve (3-2) denklemlerinin n ne göre çözümü

$$n = -n_L + k e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-22)$$

bağıntısına verir k integrasyon sabiti başlangıç şartlarından tayin edilir.

$$t=0 \text{ için } n=n_a=n_L \text{ ve}$$

$$k=n_a+n_L \text{ bulunur,.}$$

Burada $n_a=n_L$ motor çalışma durumundan fren işletmeye

geçiş anında motorun devir sayısı ve

$$n_L = \frac{M_L R}{C_e C_m}, \text{ direnimle frenlemede } M_L \text{ yük momenti için}$$

karakteristikten tayin edilen devir sayısı düşümüdür Şek(3-8)

Boşta çalışan motorun frenlenmesi halinde $M_L=0$ olur ve $n_L=0$

$$n=n_a e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-23)$$

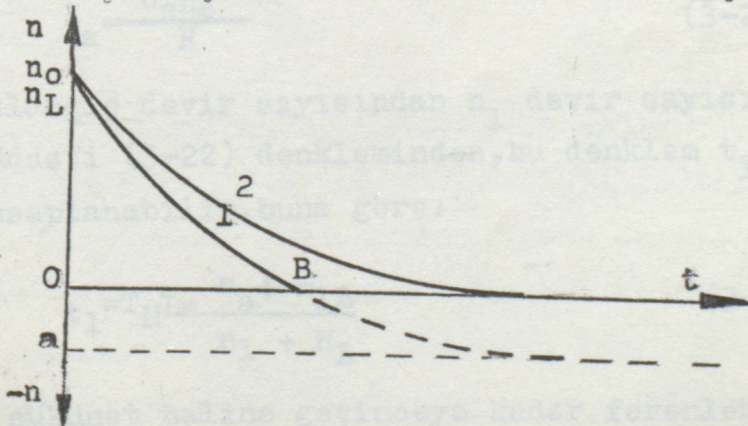
dir.

Şekil (3-9) da yüklü (1 eğrisi) ve boşta (2 eğrisi) direnimle fren çalışmaya ait $n=f(t)$ karakteristikleri gösterilmiştir.

Yük altında frenlemede $n=f(t)$ eğrisi M_L yük momentine bağlı olan $-n_L$ devirsayısına asimtotik olarak yaklaşır. Yük momenti bir reaksiyon momenti olursa, elektrikle tahrikin frenlenmesi fiilen $n=0$ devir sayısında sona erer. Şekil (3-9) da B noktası. Bununla birlikte tahrikin dönüş yönünün değişmesi esnasında yük momenti kaldırma makinalarında yükün inişi esnasında olduğu gibi, döndürme momenti olarak tesir ederse bu halde frenlemeden sonra motorun hızı ters yönde artmaya başlar. Ve motor $-n_L$ hızında çalışır. Şekil(3-9) daki diyagramda karakteristiğin ters yönde çalışmasına ait kısmı kesik çizgi ile gösterilmiştir.

$Oa=-n_L$ dir.

Boşta frenleme halinde $n=f(t)$ eğrisi absis eksenine asimtotik olarak yaklaşır. Bu halde frenlemenin başındaki hız $n_a=n_0$ dir.



Şekil (3-9) Bir doğru akım şönt motorunun direnimle fren çalışmada $n=f(t)$ eğrileri.

$\dot{i}=f_1(t)$ fonksiyonunun tayini için (3-8) denkleminde faydalanılır Verilen başlangıç şartlarından elde edilen k integrasyon sabiti:

$$k = -\frac{375 C_m T_m (\dot{i}_a + I_L)}{GD^2}$$

(3-8) denkleminde yerine konarak

$$\dot{i} = -(I_a + I_L) e^{-\frac{t}{T_M}} + I_L \quad (3-24)$$

bulunur.

Şekil (3-10) da 1 eğrisi I_L yük akımı ile yük altında direnimle frenlemede endüvi akımının değişimini gösterir. Yük momenti şayet bir reaksiyon momanti ise, bu taktirde frenleme endüvi akımının sıfır değerinde son bulur. Şekil (3-10)

2 eğrisi $M_L=0$ için direnimle frenleme olayını göstermektedir. Bu halde endüvi akımı,

$$\dot{i} = -I_a e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-25)$$

denklemleri ile hesaplanır.

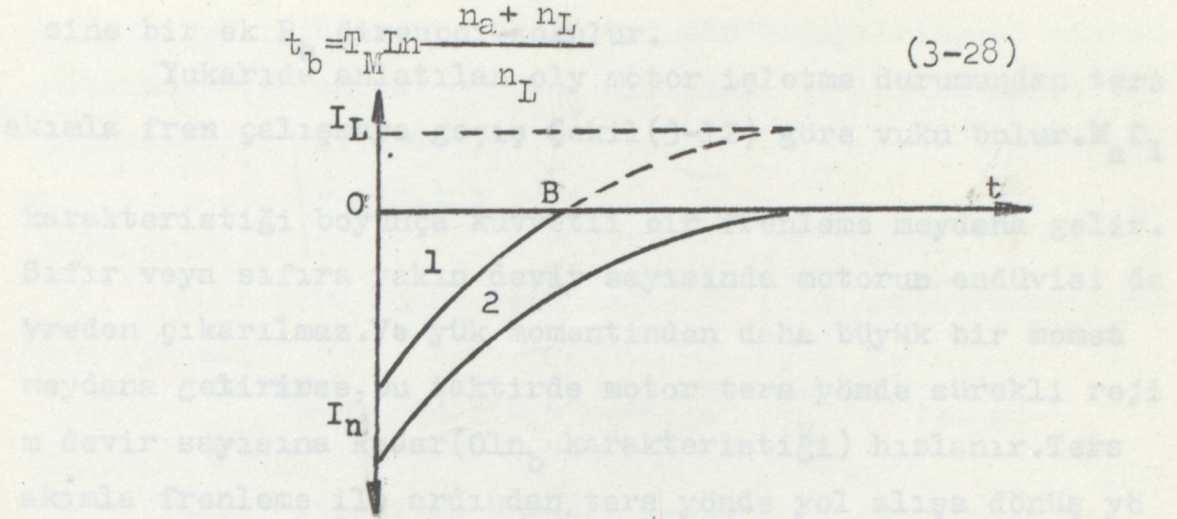
Motor işletme durumundan direnimle frenlemeye geçiş anında akımın mutlak değeri

$$I_a = \frac{C_{ena}}{R} \quad (3-26)$$

dir. n_a başlangıç devir sayısından n_1 devir sayısına kadar frenleme müddeti (3-22) denkleminde, bu denklem t_1 re göre çözümlenerek hesaplanabilir, buna göre:

$$t_1 = T_M \ln \frac{n_a + n_1 L}{n_1 + n_L} \quad (3-27)$$

ve tamamen sükunet haline geçinceye kadar frenlemede



Şekil (3-10) Doğru akım şönt motorunun diren-
nimle fren çalışmasında $i=f_1(t)$ eğrileri
 $I_L=0$ yük akımında $n_L=0$ ve teorik frenleme müddeti $t_b=\infty$
dir. Pratik bakımdan frenleme olayı $t_b=4T_M$ zamanı sonra bit-
tiği varsayılır.

Bir kere daha hatırlanaçağı gibi diren-
nimle frenlemede zaman sabiti motorun toplam endüvi dirençinden hesaplanır.

Frenleme müddetide (3-24) denklemi t ye göre çözümlenerek
hesaplanabilir. Bu surette, tamamen durunçaya kadar frenlemede
 $i \neq 0$ için frenleme müddeti

$$t_b = T_M \ln \frac{I_a - I_L}{I_L} \quad (3-29)$$

bulunur.

3.2.3. DOĞRU AKIM ŞÖNT MOTORUN TERS AKIM BAĞLANTISI İLE FRENLENMESİ VE DÖNÜŞ YÖNÜNÜN DEĞİŞTİRİLMESİ

Çalışan bir motorda ikaz akımını yönü değiştirilmeden
endüvi uçları ani olarak kesilirse ters akımla frenlemeye ge-
çilir. Motor çalışmadan bu fren çalışmaya geçiş Şekil(3-11)
bağlantı şemasındaki kolla, U yön değiştirme anhtarı ile yapı-
lır. Bu arada şebeke akımını sınırlandırmak için endüvi devre-

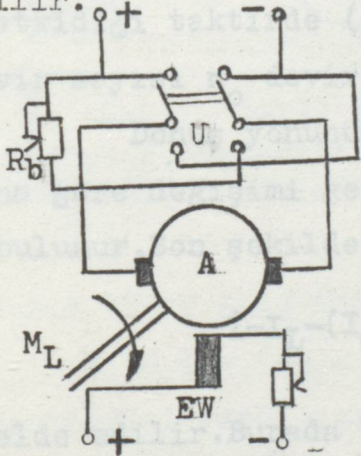
sine bir ek R_b dirençci sokulur.

Yukarıda anlatılan oly motor işletme durumundan ters akımla fren çalışmaya geçiş Şekil(3-12) göre vuku bulur. $M_a O_L$

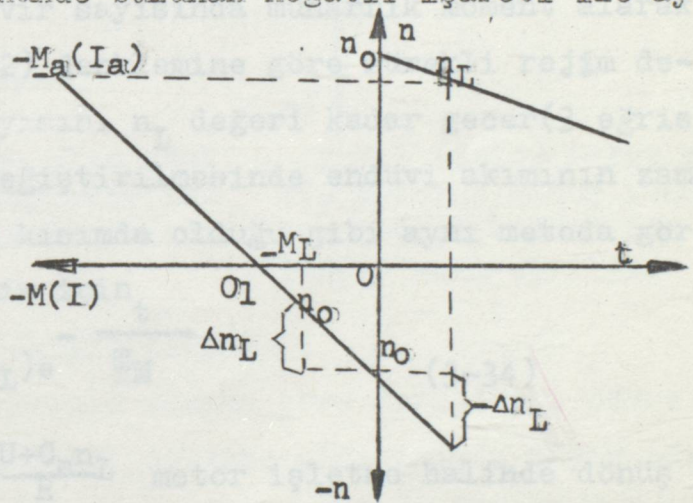
karakteristiği boyunca kuvvetli bir frenleme meydana gelir. Sıfır veya sıfıra yakın devir sayısında motorun endüvisi devreden çıkarılmaz. Ve yük momentinden daha büyük bir moment meydana getirirse, bu taktirde motor ters yönde sürekli rejim devir sayısına kadar ($0 \text{ } n_b$ karakteristiği) hızlanır. Ters akımla frenleme ile ardından ters yönde yol alışı dönüş yönünün değişimide denir. Ters akımla frenleme için endüvi devresinde gerilim denkleminin ifadesi

$$-U = C_e + I R \quad (3-30)$$

olur. Bu denklem motorun yol almasına ait benzer (3-1) denkleminde sadece U nun önünde bulunan negatif işareti ile ayrılır.



Şekil (3-11) Bir doğru akım şönt motorun ters akım bağlantısı ile frenlenmesi ve dönüş yönünün değişimi için prensip bağlantı şeması



Şekil (3-12) Motor işletme durumundan ters akımla frenlemeye geçişte moment karakteristiği.

Bu sebepten aynı devir sayısı denklemi (3-4) kullanılabilir.

fakat $+n_0$, $-n_0$ olarak değiştirilməsi için :

$$n = -n_0 - n_L + k_e \frac{T_M}{T_M} \quad (3-31)$$

bulunur.

$t=0$ için, endüvi bağlantısının değiştirilmesi anında motorun devir sayısı $n=n_a=n_L$ dir. Şekil (3-12) bu halde integrasyon sayısı (sabit)

$$k=n_o+n_L+n$$

bulunur.

Buna göre dönüş yönü değişimi için $n=f(t)$ fonksiyonunun ifadesi

$$n=-n_o-n_L+(n_o+n_L+n_L)e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-32)$$

bulunur.

Şekil (3-13) de motorun dönüş yönü değişimine ait yüklü (1 eğrisi) ve boşta çalışmada (2 eğrisi) $n=f(t)$ eğrileri gösterilmiştir.

Dönüş yönünün fonksiyon momenti ile değişiminde motor n_o devir sayısına kadar hızlanır. Şekil (3-13) 1 eğrisi Yük momenti negatif devir sayısında muharrik moment olarak etkidiği taktirde (3-32) denkleminde göre sürekli rejim devir sayısı n_o devir sayısını n_L değeri kadar gecer (3 eğrisi)

Dönüş yönünün değiştirilmesinde endüvi akımının zama göre değişimi geçen kısımda olduğu gibi aynı metoda göre bulunur. Son şekilde akım için

$$i=I_L-(I_a+I_L)e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-34)$$

elde edilir. Burada $I_a=\frac{U+C_e n_L}{R}$ motor işletme halinde dönüş yönünün değiştirilmesine geçiş anındaki akımın mutlak değeri ve

$R=R_a+R_b$ endüvi devresinin toplam direncidir.

Boşta dönüş yönü değişimi için

$$i=-I_a e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-35)$$

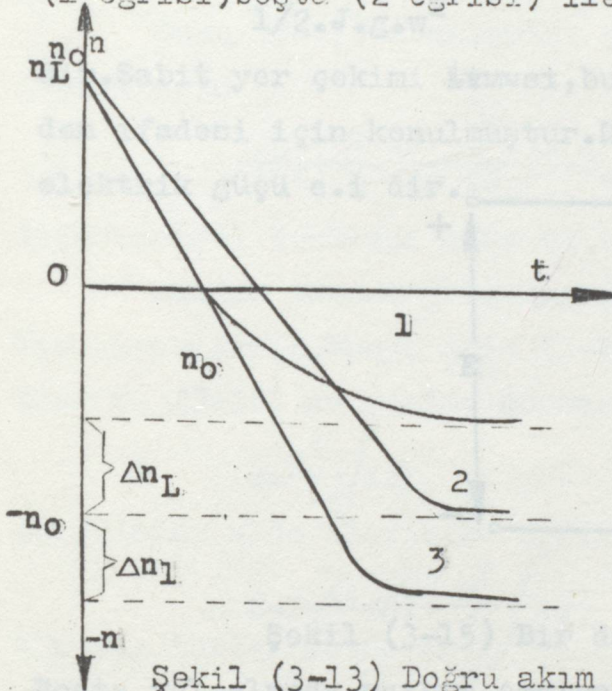
bulunur. Bu halde $n_L=n_o$ olduğundan $I_a=\frac{2U}{R}=2I_k$

ve bu sebepten

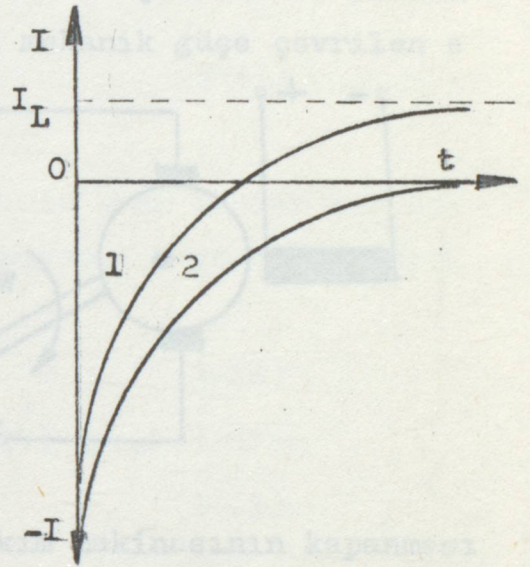
$$\dot{I} = -2I_k e^{-\frac{t}{T_M}} \quad (3-36)$$

olur.

Şekil (3-14) $\dot{I} = f_1(t)$ fonksiyonları, $M_L \neq 0$ yük altında (1 eğrisi) boşta (2 eğrisi) ile gösterilmiştir.



Şekil (3-13) Doğru akım şönt motorun dönüş yönünün değiştirilmesinde $n=f(t)$ devir sayısı eğrileri.



Şekil (3-14) Doğru akım motorun dönüş yönünün değiştirilmesinde $\dot{I} = f_1(t)$ akım eğrileri

3.2.4 DOĞRU AKIM MOTORLARININ KAPANMASI

Akım ile devir sayısının zamana göre değişimini çevre denklemini yazdığımızda selfi dikkate aldığımızda tayin edebiliriz. Şekil (3-15) bağlama şemasını göstermektedir. Yolalma esnasında sabit E şebeke gerilimi, self endüksiyon gerilimi, omik gerilim düşümü ve dönen endüvinin e karşı elektromotor kuvveti ile dengededir. Buna göre,

$$E = L \frac{di}{dt} + Ri + e \quad (3-37)$$

yazılır. Sabit alan şiddetinde endüvi gerilimi w açısal hızı ile orantılı olup,

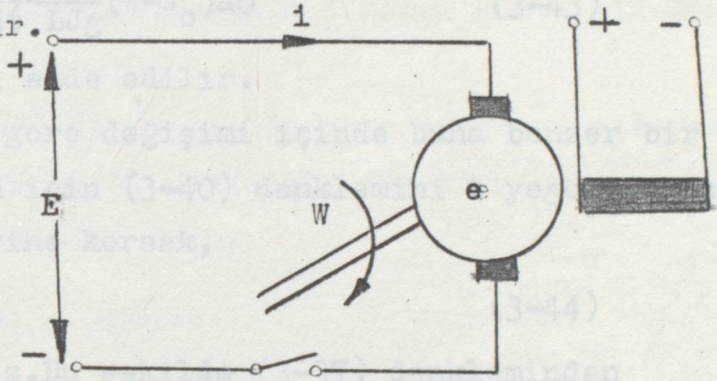
$$e = k \cdot w \quad (3-38)$$

Şeklinde yazılır. Burada k her bir makine için bilinen orantı faktörüdür.

J atalet momentine haiz, döner kitlelerde toplanan kinetik enerji

$$1/2 \cdot J \cdot \omega^2$$

dir. Sabit yer çekimi ivmesi, bu kinetik enerjinin watt cinsinden ifadesi için konulmuştur. Motorda mekanik güce çevrilen elektrik gücü e.i dir.



Şekil (3-15) Bir doğru akım makinasının kapanması Boşta yol almada motoru çeviren elektrik gücü yalnız atalet kitlelerinin ivmelenmesinde kullanılır. Bu bakımdan enerjinin sakınımı prensibine göre,

$$ei = \frac{d}{dt} (1/2 \cdot J \cdot \omega^2) + J \omega \frac{d\omega}{dt} \quad (3-39)$$

şeklinde ifade edilir.

Bu ilişkinin (3-38) denklemi ile bölünürse

$$i = \frac{J \omega}{k} \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (3-40)$$

bulunur. Burada akımın endüvinin ivmesi ile doğru orantılı yani moment ile doğru orantılı olduğu görülür. Bu (3-40) ifadesinin önceki bulunan denklemlerde yerine konursa,

$$E = \frac{L J \omega}{k} \cdot \frac{d^2 \omega}{dt^2} + \frac{R J \omega}{k} \cdot \frac{d\omega}{dt} + k \omega \quad (3-41)$$

bulunur.

Motortam W₀ hızına ulaştığında artık hiç bir ivme mev-

çut değildir. Akım bu bakımdan sıfırdır. Bu taktirde e endüvi gerilimi E şebeke gerilimi ile eşit haldedir. ve (3-41) denklemi

$$E = k v_0 \quad (3-42)$$

şeklini alır.

Bunu (3-41) denklemine koyarsakızın zamana göre değişimi için

$$\frac{d^2 w}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dw}{dt} + \frac{k^2}{L J_g} (w - w_0) = 0 \quad (3-43)$$

diferansiyel denklemi elde edilir.

Akımın zamana göre değişimi içinde buna benzer bir denklem kurabiliriz, Bunun için (3-40) denklemini t yegöre entegre eder ve (3-38) de yerine korsak,

$$e = \frac{k^2}{J_g} \int i dt \quad (3-44)$$

ilişkisini elde ederiz. Bu şekilde (3-37) denkleminde

$$E = L \frac{di}{dt} + R i + \frac{k^2}{J_g} \int i dt \quad (3-45)$$

burunda türevi alınarak

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{k^2}{L J_g} i = 0 \quad (3-46)$$

bulunur.

(3-43) ve (3-46) diferansiyel denklemlerinde bulunan sabit katsayıları billikte göstereyim. Akım davresinin elektromagnetik zaman sabiti için,

$$\frac{L}{R} = T \quad (3-47)$$

koyuyoruz. Üçüncü terimin katsayısının tersini

$$\frac{L J_g}{k^2} = T T_k \quad (3-48)$$

ile gösterir ve (3-42) denklemi ile verirmiş bulunan k yı katarsak doğru akım motorunun elektromekanik yollalma zaman sabiti

$$T_k = \frac{L J_g}{k^2 T} = \frac{R J_g w_0^2}{E^2} \quad (3-49)$$

bulunur. Endüvinin sürekli olarak bloke edilmesi ile meydana gelen kısa devre gücü

$$W_k = \frac{E^2}{R} \quad (3-50)$$

ile gösterirsek (3-49) denklemine GD^2 savurma momenti ve n_0 boştaki devir sayısını katarsak,

$$T_k = (x/60)^2 \frac{n_0^2 GD^2}{W_k} \quad (3-51)$$

Şeklinde yazılabilir. Akım devresinin direnci küçük olduğundan T_k zaman sabitide küçüktür.

(3-47) ve (3-48) ile verilmiş olan zaman sabitlerinin (3-43) ve (3-46) diferansiyel denklemlerine koyarsak hız ve akımın zamana göre değişimi için,

$$\begin{aligned} \frac{d^2 w}{dt^2} + \frac{1}{T} \frac{dw}{dt} + \frac{w-w_0}{TT_k} &= 0 \\ \frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{1}{T} \frac{di}{dt} + \frac{i}{TT_k} &= 0 \end{aligned} \quad (3-52)$$

ilişkileri elde edilir. Bu denklemleri

$$\begin{aligned} w - w_0 &= k e^{xt} \\ i &= k' e^{xt} \end{aligned} \quad (3-53)$$

dönüşümlerini kullanarak çözebiliriz. Burada k ve k' sınır şartları ile tayin edilecek integrasyon sabitleridir. Bu taktirde (3-53) denklemleri burada dikkate alınan problemin geçici akım ve hızlarını gösterir. Bu ifadenin türevleri alınarak,

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dt} &= x k e^{xt}, \quad \frac{di}{dt} = x k' e^{xt} \\ \frac{d^2 w}{dt^2} &= x^2 k e^{xt}, \quad \frac{d^2 i}{dt^2} = x^2 k' e^{xt} \end{aligned} \quad (3-54)$$

bulunur. Bu değerler (3-52) denklemlerine konur ve aynı çinsten olan terimler yok edilse (3-53) teki sistemin bir çözümünün olması için x büyüklüğünün incelenmesi gerekir. Gerek denlemi alınarak

$$x^2 + \frac{x}{T} + \frac{1}{TT_k} = 0 \quad (3-55)$$

ifadesi elde edilir.

$$x_{1,2} = -\frac{1}{2T} (1 \pm \sqrt{1 - 4T/T_k}) \quad (3-56)$$

bulunur. Elektromekanik yolalma sabitinin 4 katı mekanik yolalma sabitinden küçük olduğu müddetçe ,karakök içi reel kalır. Motorlarda genellikle görülen bu hali etüd etmek gerekir.

(3-56) denklemine göre x üstel sayı içiniki değer mümkündür. Bu bakımdan gözümde geçici hız ve akımın her biri iki sabiti içerir.

$$\begin{aligned} w - w_0 &= k_1 e^{x_1 t} + k_2 e^{x_2 t} \\ i &= k'_1 e^{x_1 t} + k'_2 e^{x_2 t} \end{aligned} \quad (3-57)$$

Bunlar $t=0$ zamanına karşılık gelen bağlama anındaki sınır şartları ile tayin edilir. Burada motor dönmediğinden ve akım çekilmediğinden

$$w=0 \text{ hemde } i=0 \quad (3-58)$$

dir. Bundan başka (3-41) denklemine göre ivme ilkin sıfır olduğundan ve akım artışı (3-37) denkleminin son iki teriminin sıfır olması ile verildiğinden,

$$\frac{dw}{dt}=0 \text{ ve } \frac{di}{dt} = \frac{E}{L} \quad (3-59)$$

dir.

(3-58) ve (3-59) ile verilmiş olan 4 şartın (3-57) denklemlerine tatbiki ile 4 sabitin tayin edileceği 4 şart denklemi elde edilir. Bunlar devir sayısı için

$$\begin{aligned} k_1 + k_2 &= -w_0 \\ x k_1 + x_2 k_2 &= 0 \end{aligned} \quad (3-60)$$

ve akım için,

$$\begin{aligned} k'_1 + x_2 k'_2 &= 0 \\ x_1 k'_1 + x_2 k'_2 &= \frac{E}{L} \end{aligned} \quad (3-61)$$

dir.

$$\begin{aligned} k_1 &= \frac{x_2 \cdot w_0}{x_1 - x_2} , & k_1' &= \frac{E}{L(x_1 - x_2)} \\ k_2 &= -\frac{x_1 \cdot w_0}{x_1 - x_2} , & k_2' &= -\frac{E}{L(x_1 - x_2)} \end{aligned} \quad (3-62)$$

Buradan sabitlerin çözülmesi ile,

$$w - w_0 = \frac{w_0}{x_1 - x_2} (x_1 e^{x_1 t} - x_2 e^{x_2 t}) \quad (3-62)$$

İfadeleri elde edilir. Bu şekilde (3-56) denklemi ile verilmiş bulunan x değerinin dikkate alınması ile devir sayısı için

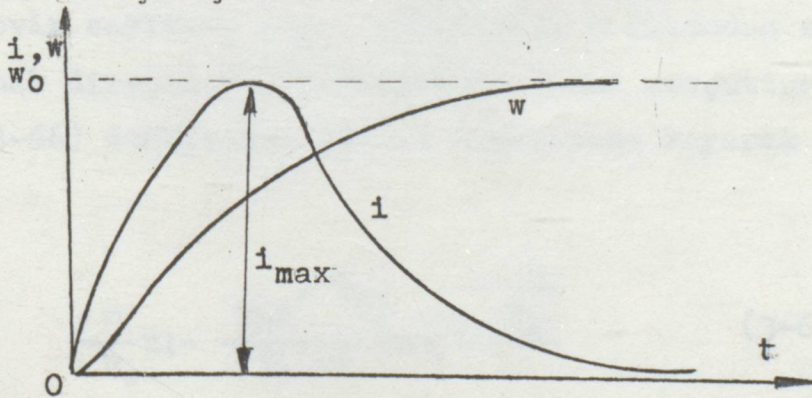
$$w = w_0 \cdot 2 \sqrt{1 - \frac{4T}{T_k}} \left[(1 + \sqrt{1 - \frac{4T}{T_k}}) \cdot e^{x_2 t} - (1 - \sqrt{1 - \frac{4T}{T_k}}) \cdot e^{x_1 t} \right] \quad (3-63)$$

ifadesi elde edilir. Aynı şekilde akımın ifadesi olarak

$$i = \frac{E}{L(x_1 - x_2)} (e^{x_1 t} - e^{x_2 t}) = \frac{E}{R \sqrt{1 - \frac{4T}{T_k}}} (e^{x_2 t} - e^{x_1 t}) \quad (3-64)$$

ifadesi elde edilir.

x sin her iki değerinde negatif olduğundan zamanın artması ile üstel fonksiyonlar sönerler. Bu bakımdan devir sayısı w_0 değerine yaklaşır akım başlangıçta bir maksimuma kadar artar ve bundan sonra motorun boşa çalışma durumuna karşılık gelecek şekilde sifıra kadar azalır.



Şekil (3-16) Akım ve hızın zamana göre değişimi.

Akımın başlangıçta hızlı bir şekilde artmasına rağmen hiç bir zaman kısa devre akımının E/R maksimum değerini erişmez. Bu duruma hareketsiz durumda bulunan veya selfsiz olan endüvide erişilir. VE motor için tahrip edici olur. (3-64) denkleminin türevi alınarak maksimum akım

$$i_{\max} = \frac{E}{-x_2 L} (x_2/x_1) x_1/x_1 - x_2 \quad (3-65)$$

şeklinde bulunur. Bunun üzerinde selfin büyüklüğünün büyük tesiri olduğu görülür. Uygun bir self bobini endüviye seri olarak bağlanması ile yol verme arzu edildiği kadar yumuşak hale getirilebilir.

Endüvi demirinin T magnetik zaman sabiti seri olarak bağlanan direncin tesiri ile T_k mekanik zaman sabitine nazaran çok küçük bir hale getirilmiş bulunuyorsa (3-56) denklemindeki karakök seri halinde açılıp bu şekilde yaklaşık olarak

$$x_1 = -\frac{1}{T}, \quad x_2 = -\frac{1}{T_k} \quad (3-66)$$

değerleri elde edilir. Bu taktirde elektrik ve mekanik geçici olaylar birbirinden bağımsız bir hale gelir. Elektrik geçici olayı büyük olan x_1 veya küçük olan T zaman sabiti ile, motor daha harekete geçmeden (tamamen) küçük x_2 veya büyük olan T_k zaman sabiti ile geri olarak boştaki ştaki devir sayısına doğru yaklaşmağa başlamadan evvel söner. Bu hal direçli yol vericilerde daima mevcuttur. Bundan sonra (3-66) denklemini (3-62) denklemine koyarak devir sayısını

$$\frac{w}{w_0} = 1 - \frac{T_k e^{-\frac{t}{T_k}} - T e^{-\frac{t}{T}}}{T_k - T} \quad (3-67)$$

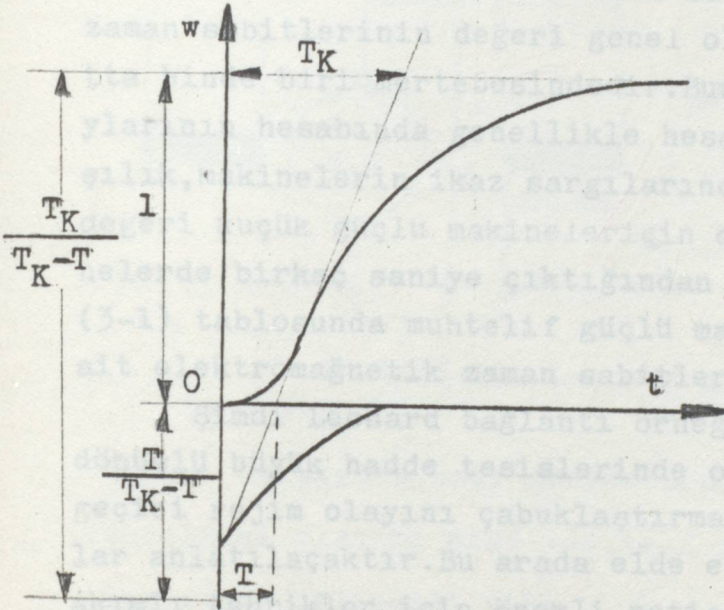
şeklinde ve aynen (3-66) denklemini (3-64) denklemine koyarak akım için,

3.3. LEONARD BAĞLI BİR TAHRIKE YOL VERME

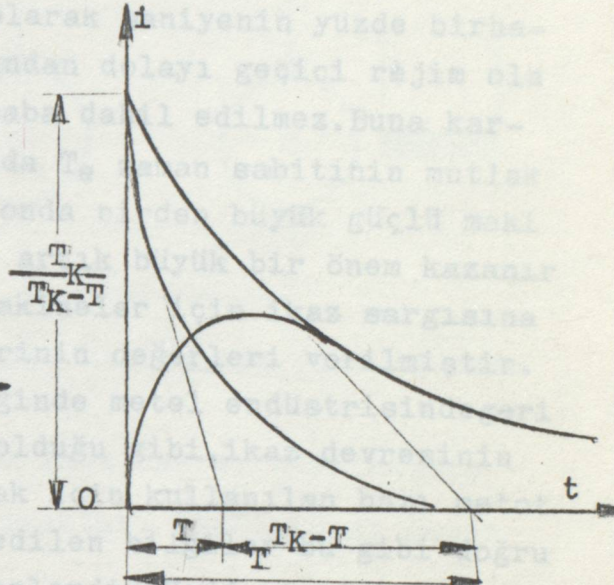
Leonard bağlı bir tahrike yol vermenin, frenlemenin, hızın

$$\frac{i}{E/R} = T_k \frac{e^{-\frac{t}{T_k}} - e^{-\frac{t}{T}}}{T_k - T} \quad (3-68)$$

İfadesi bulunur. Şekil (3-15a ve 3-15b) hız ve akıma ait iki eğrinin zaman sabitlerinden faydalanarak basit bir şekilde grafik olarak nasıl çizileceğini göstermektedir.



Şekil (3-15a) Hızın zamana bağlı olarak değişimi.



Şekil (3-15b) Akımın zamana bağlı değişimi.

(3-65) denklemi ile verilmiş bulunan akımın maksimum değeri

$$\frac{i_{\max}}{E/R} = \left(\frac{T}{T_k}\right) \frac{T/T_k}{1 - T/T_k}$$

oranı ile tayin edilir. Genellikle 1 den az küçüktür.

Makinenin güç kw	Akım makinesinin zaman sabiti sn
1,5	0,2
15	0,8
75	1,2
3000 ve yukarı	2 ile 4

3.3. LEONARD BAĞLI BİR TAHRIKE YOL VERME

Leonard bağlı bir tahrike yolverme, frenleme, dönüş yönünün değiştirilmesi ve aynı zamanda hızının ayarı generetörün ikaz devresi bağlantısında yapılan uygun değişikliklerle elde edilir.

İkaz sargısının endüktansı nisbeten büyük olduğundan elektromagnetik zaman sabiti büyüktür ve makinenin ikaz devresindeki geçici rejim olayı rölatif olarak daha yavaş olur. Elektrik makineleri endüvi sargılarının elektromagnetik zaman sabitlerinin değeri genel olarak saniyenin yüzde birhatta binde biri mertebesinde dir. Bundan dolayı geçici rejim olaylarının hesabında genellikle hesaba dahil edilmez. Buna karşılık, makinelerin ikaz sargılarında T_e zaman sabitinin mutlak değeri küçük güçlü makinelerin için onda birden büyük güçlü makinelerde birkaç saniye çıktığından artık büyük bir önem kazanır (3-1) tablosunda muhtelif güçlü makineler için ikaz sargısına ait elektromagnetik zaman sabitlerinin değerleri verilmiştir.

Şimdi Leonard bağlantı örneğinde metel endüstrisinde geri dönüşlü büyük hadde tesislerinde olduğu gibi, ikaz devresinin geçici rejim olayını çabuklaştırmak için kullanılan bazı metotlar anlatılacaktır. Bu arada elde edilen bilgiler bu gibi doğru akımlı tahrikler için önemli neticelerdir. Hadde tesislerinde teknolojik şartlara göre bir dakika içinde tesisin dönüş yönü 15 ile 20 defa değiştirilmesi icab eder. Aşağıdaki tablodan anlaşılacağı üzere, generetörün ikaz sargılarının T_e elektromagnetik zaman sabiti bazı hallerde 2 ile 4 saniyelik değerlere çıkarkı bu gibi tesislerde hiç bir tetbir alınmadığı taktirde bir dakikalık müddet içinde dönüş yönü yalnız üç veya dört defa değiştirilebilir.

Tablo(3-1)

Makinenin gücü kw	İkaz makinesinin zaman sabiti sn.
1,5	0,2
15	0,8
75	1,2
3000 ve yukarı	2 ile 4

Bu halde $t_{0,95} = 3T_2$ dir. İkaz makinesinin endüvisi ve bağlantı tellerinin endüktansı, direnci ihmal edilir ve generetör ikaz sargısının zaman sabiti endüktans ve direnci T_G L_G , R_G ise bu durumda.

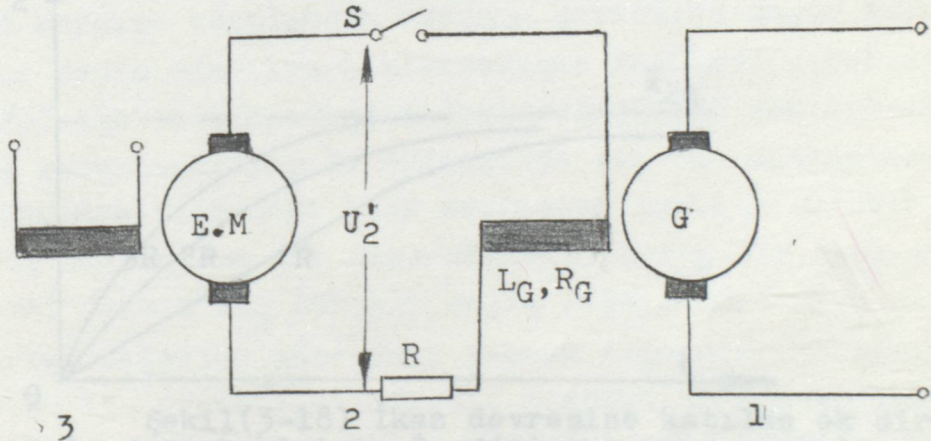
$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{L_G}{R_G} = T_G$$

elde edilir.

Bundan adı geçen bağlantıda elektromagnetik ikaz olayının hızı, generetör ikaz sargısı zaman sabitinin değeri ne bağlı olduğu neticesine varılır.

Bu elektromagnetik olayı hızlandırmak için kullanılan metotlar yol verme esnasında generetör ikaz sargısına yük seltilen bir gerilim tatbik edilmesi esasına dayanır. Sürekli rejim akımını I_{2n} nominal değerinde sınırlandırmak için ikaz devresine bir direnç bağlanır veya sürekli rejim durumunda gerilimi sınırlandırmak için diğer tetbirlere baş vurulur.

Şekil (3-17) de devamlı bağlı R direncine haiz bir bağlantı gösterilmiştir. Bu esnada sürekli rejim akımının değeri muhafaza edilmek istendiğinde gerilim



Şekil(3-17) Devamlı olarak bağlı ek dirence haiz ikaz devresinin bağlantı şeması.

aşağıdaki sabitler yardımı ile hesaplanan bir U_2 değerine çıkarılmalıdır?

$$X = \frac{U_2'}{U_2} = \frac{R_G - R}{R_G} = 1 + \frac{R}{R_G} \quad (3-71)$$

Bu halde nominal ikaz akımı

$$I_{2n} = \frac{U_2}{R_G} = \frac{U_2'}{R_G + R}$$

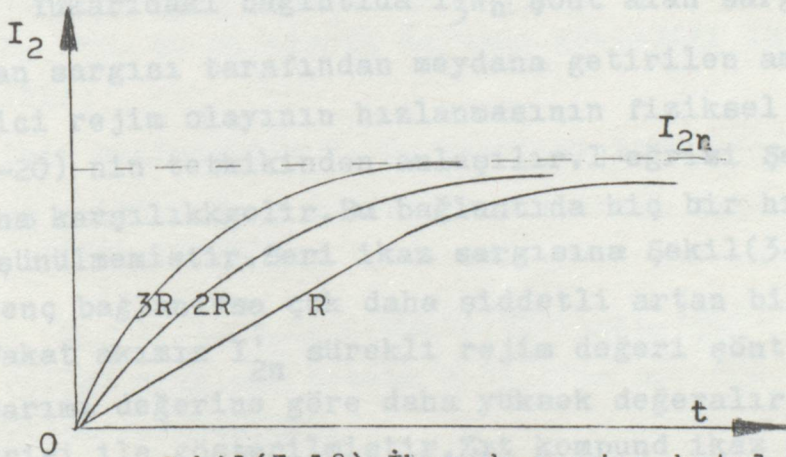
dir.

X değerine hızlandırma sabitesi denir. Geçici rejim olayının devam süresi X defa kısalır. Bu durumda aşağıdaki sonuca varılır.

$$\frac{T_2}{T_G} = \frac{R_G}{R_2} = \frac{R_G}{R_G - R} = \frac{1}{X}$$

netice olarak $t = 3T_2 = 3 \frac{T_G}{X}$

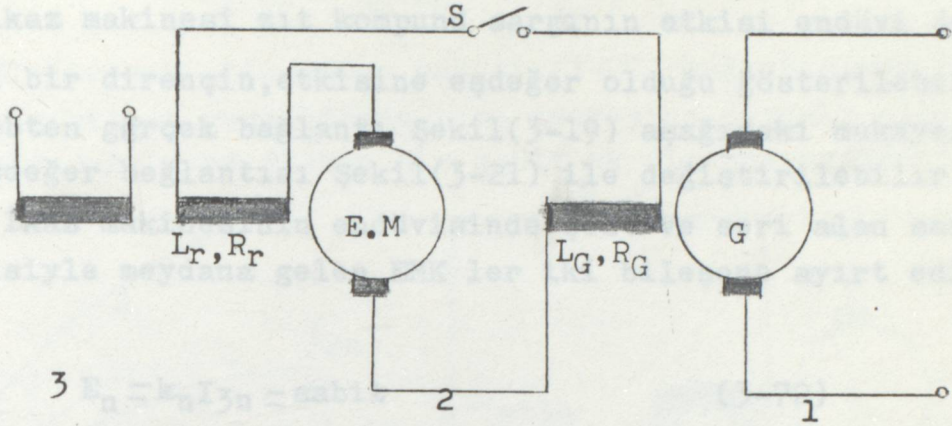
Bu bağıntı için ikaz akımını değişimi Şekil(3-18)de gösterilmiştir. Bu diyagramda ek dirençin değişik değerlerine ait yükselen t_2 akımı için eğriler çizilmiştir. Bu eğriler geçici rejim olayı devam süresinin istenilen değere düşürülebileceği anlaşılır. Buna karşılık ikaz devresine katılan dış direnç arttırıldığında ikaz makinesinin gerilimi ve ek dirençlerdeki enerji kayıpları da yükselir.



Şekil(3-18) İkaz devresine katılan ek dirençlerin çeşitli değerleri için $I_2=f(t)$ ikaz akımı eğrileri.

Şayet generetör ikaz sargısı zıt kompund bağlı bir ikaz sargısına haiz özel bir ikaz makinesi tarafından beslenirse enerji kayıpları önemli derecede azaltılabilir. Bu bağlantıda yol alma esnasında generetör ikaz sargısına artan akıma göre nispeten daha küçük bir gerilim tatbik edilir. Fiilen artan akım-

la birlikte ikaz makinesi seri alan sargısının alanı zayıflattığı tesiri artar, buda gerilim düşmesine yolaçar.



Şekil(3-19)Zıt kompund bağlı ikaz makinesine haiz bağlantı.

Mağnetik devresi doymamış bir makine için

$$I_{2n} = C(I_3 W_n - I_2 W_r)$$

bağıntısı bulunduğundan sabit bir I_{2n} sürekli rejim ikaz akımı değeri elde etmek için, ikaz makinesinin şönt alan sargısı amper sarımlarını yüksek tutulması içabeder.

Yukarıdaki bağıntıda $I_3 W_n$ şönt alan sargısı ve $I_{2n} W_r$ seri alan sargısı tarafından meydana getirilen amper sarımlar dır. Geçici rejim olayının hızlanmasının fiziksel sebepleri Şekil(3-20) nin tetkikinden anlaşılır. 1 eğrisi Şekil(3-16) bağlantısına karşılık gelir. Bu bağlantıda hiç bir hızlandırıcı çare düşünülmemiştir. Seri ikaz sargısına Şekil(3-19) bir paralel direnç bağlanırsa çok daha şiddetli artan bir akım elde olunur. Fakat akımın I'_{2n} sürekli rejim değeri şönt alan sargısı amper sarımı değerine göre daha yüksek değer alır. Bu Şekil(3-20) de 2 eğrisi ile gösterilmiştir. Zıt kompund ikaz makinesine haiz bağlantıda hakiki ikaz akımı eğrisi 1 ve 2 eğrileri arasında bulunur. Yol almanın başında akım küçük ve seri ikaz sargısının tesiri önemli olmadığı için, bu eğri takriben 2 eğrisi ile birlikte değişir. Daha sonra akım arttığı zaman bu etki nispeten. büyüdüğü için 3 eğrisi Şekil(3-20) de gösterilen şekli alır.

İkaz makinesinin doyması ile seri ve şönt sargı arasındaki karşıt endüktans ihmal edildiği taktirde analitik olarak ikaz makinesi zıt kompund sargının etkisi endüvi devresindeki bir dirençin, etkisine eşdeğer olduğu gösterilebilir. Bu sebepten gerçek bağlantı Şekil(3-19) aşağıdaki mukayeseye göre eşdeğer bağlantısı Şekil(3-21) ile değiştirilebilir.

İkaz makinesinin endüvisinde şönt ve seri alan sargısı etkisiyle meydana gelen EMK ler iki bileşene ayırt edilebilir.

$$E_n = k_n I_{3n} = \text{sabit} \quad (3-72)$$

ve

$$E_r = k_r I_2 \quad (3-73)$$

Bu denklemlerdeki sabitler sürekli rejim halindeki uygun değerlerden bulunur.

$$k_n = \frac{E_n}{I_{3n}} \text{ ve } k_r = \frac{E_r}{I_{2n}}$$

Bu bağıntılarda

I_{3n} ve I_{2n} sürekli rejimde 3 ve 2 akım devresindeki Şekil(3-19) nominal akımlar ve

E_n ve E_r bu akımların meydana getirdiği ikaz makinesi EMK leridir.

İkaz makinesinin U_2 uç gerilimi takriben bu EMK lerin toplamına eşittir. Keza 2 nolu akım devresi için aşağıdaki gerilim denklemi yazılır.

$$C_e = k_n I_{3n} - k_r I_2 = (R_G + R_r) I_2 + (L_G + L_r) \frac{di_2}{dt} \quad (3-74)$$

(3-72) denklemi hesaba katılırsa sonuçlu denklem aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$E_n = k_n I = (R_2 + k_r) I_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \quad (3-75)$$

Burada R_2 R_G R_r vve L_2 L_G L_r dir.

(3-75) denkleminin i_2 akımına göre çözümü

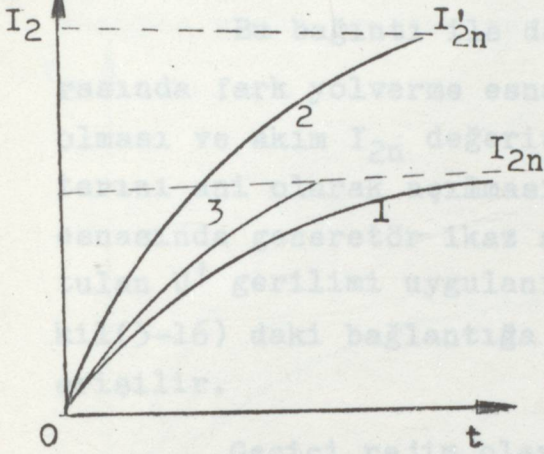
$$i_2 = \frac{E_n}{R_2 + k_r} (1 - e^{-\frac{t}{T_2}}) = I_{2n} (1 - e^{-\frac{t}{T_2}}) \quad (3-76)$$

bulunur. Bu bağıntıda

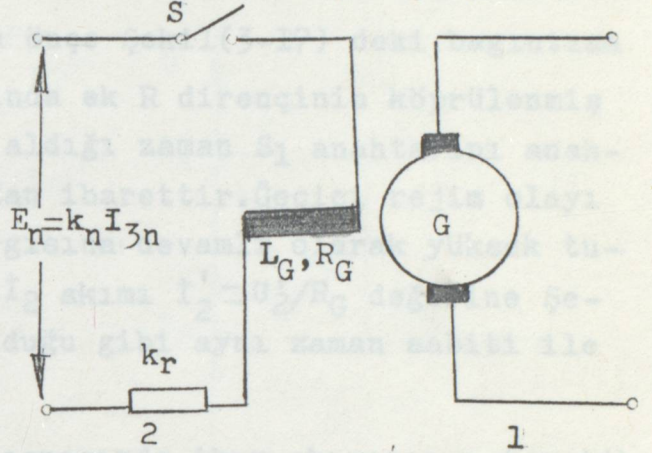
$$T_2 = \frac{L_2}{R_2 + k_r} \approx \frac{L_G}{R_G + k_r} \quad (3-77)$$

dir.

Elektromagnetik zaman sabiti (3-77) bağıntısında bulunan k_r sabitesi generetörün ikaz devresine devamlı olarak bağlı bulunduğu farz olunan bir sabit ek dirence eşdeğerdir.



Şekil(3-20) Zıt kompund ikaz makinesi ile bağlantıda $I_2=f_1(t)$ ikaz akımı

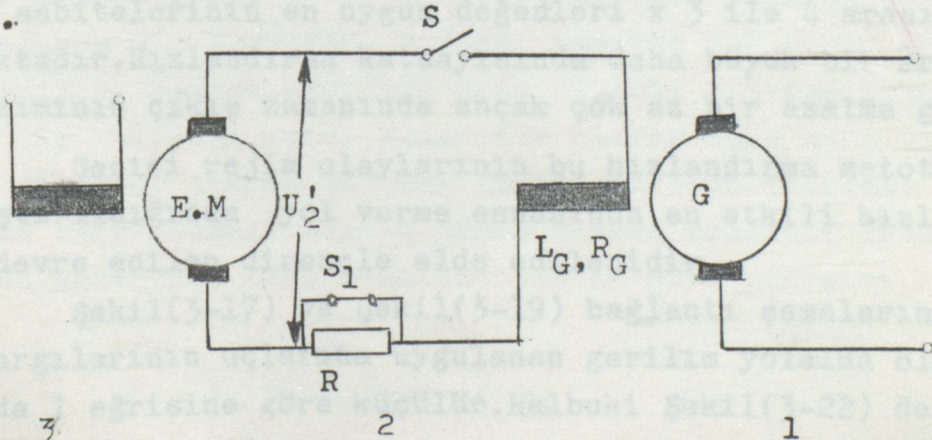


Şekil(3-21) Zıt kompund ikaz makinesine haiz ikaz devresinin eşdeğer bağlantı şeması.

Bu halde ivmelendirme sabitesi

$$X = L + \frac{R_G}{k_r} \quad (3-78)$$

dir. Leonard-ayarında ikaz olayının geçici rejim süresini kısaltmak için çok defa Şekil(3-22) deki bağlantı kullanılır. Yolverme esnasında devredeki R direnci S_1 anahtarı ile köprülenir.



Şekil (3-22) Yolverme esnasında köprülenen dirence haiz bağlantı.

Bu bağlantı için daha yüksek bir U_2 gerilimine haiz bir ikaz makinesi seçilir. Bu esnada generetörün ikaz akımı nominal değerini aşmaz. Hızlandırma sabitesi bundan evvel olduğu gibi

Buraya kadar anlatılan bütün bağlantılarda geçici rejim olaylarının sebebi, yolalma esnasında bağıntısından bulunur.

Bu bağıntı ile daha önce Şekil(3-17) deki bağıntı arasında fark yolverme esnasında ek R dirençnin köprülenmiş olması ve akım I_{2n} değerini aldığı zaman S_1 anahtarını anah-tarını ani olarak açılmasından ibarettir. Geçici rejim olayı esnasında generetör ikaz sargısına devamlı olarak yüksek tutulan U' gerilimi uygulanır. I_2 akımı $I_2' = U_2'/R_G$ değerine Şekil(3-16) daki bağlantıya olduğu gibi aynı zaman sabiti ile erişilir.

Geçici rejim olayı esnasında ikaz akımının matematik ifadesi aşağıdaki şekli alır.

$$I_2 = x I_{2n} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_G}} \right) \quad (3-79)$$

Bu denklemin t ye göre çözümü akımın nominal değerine erişinceye kadar olan zamanı verir.

$$t = T_G \ln \frac{x}{x-1} \quad (3-80)$$

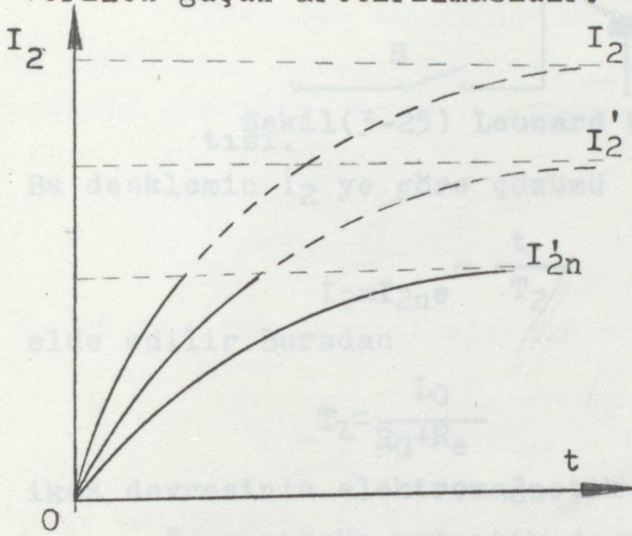
Şekil(3-23) te, muhtelif hızlandırma sabitleri için ikaz akımının değişmesine ait eğriler gösterilmiştir. Hızlandırma sabitelerinin en uygun değerleri x 3 ile 4 arasında bulunmaktadır. Hızlandırma katsayısında daha büyük bir artış ikaz akımının çıkış zamanında ancak çok az bir azalma gösterir

Geçici rejim olaylarının bu hızlandırma metotları karşılaştırıldığında yol verme esnasında en etkili hızlanmanın kısa devre edilen dirençle elde edilenidir.

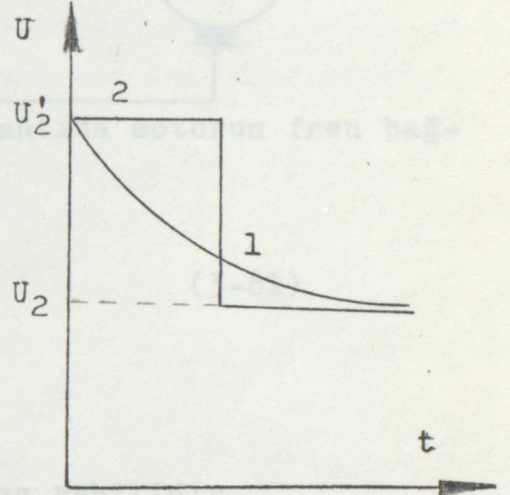
Şekil(3-17) ve Şekil(3-19) bağlantı şemalarındaki ikaz sargılarının uçlarına uygulanan gerilim yolalma olayı esnasında 1 eğrisine göre küçülür. Halbuki Şekil(3-22) deki bağlantıda ise Şekil(3-24) te 2 eğrisinde gösterildiği gibi sabit kalır. Bu surette aynı U_2' geriliminde Şekil(3-22) bağlan-

tısı daha hızlı yükselen bir ikaz akımı ve çok daha hızlı yükselen bir ikaz akımı ve çok daha hızlı bir geçici rejim olayı temin eder.

Buraya kadar anlatılan bütün bağlantılarda geçici rejim olaylarının hızlanmasının asıl sebebi, yolalma esnasında generetörün ikaz devresindeki gerilimi yükseltmek süreti ile verilen gücün arttırılmasıdır.



Şekil(3-23) Köprülenen dirençe haiz bağlantıda I_2 $f(t)$ ikaz akımı eğrileri.



Şekil(3-24) Farklı ikaz devresi bağlantıları için yolalma esnasında da gerilimin değişimi.

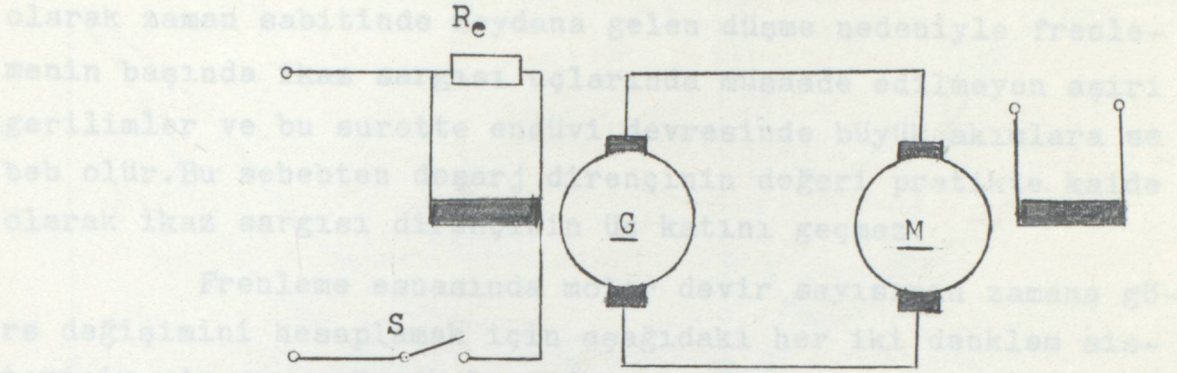
ikaz olayının hızlanması tahrik motoru içindeki geçici rejim olayının devam süresini kısaltır.

3.4. LEONARD BAĞLI BİR TAHRİKİN FRENLENMESİ VE DÖNÜŞ YÖNÜNÜN DEĞİŞTİRİLMESİ

M motoru Şekil(2-25) generetörün ikaz sargısı Şebekeden çıkarılarak bir R_e deşarj dirençi üzerine bağlanmak suretiyle frenlenir. Bu esnada üzerinde depo edilmiş bulunan kinetik enerjii ile beslenen motor, generetör olarak buna karşılık generetör de motor olarak çalışır. Burada motorun frenleme temposu ikaz sargısındaki akımın düşme hızına bağlıdır. Frenleme esnasında generetör ikaz akımının zamana göre değişimi

$$I_2(R_G + R_e) + L_G \frac{dI_2}{dt} = 0$$

denkleminde elde edilir.



Sekil(3-25) Leonard bağlantıda motorun fren bağ-
tışması.

Bu denklemin I_2 ye göre çözümü

$$I_2 = I_{2n} e^{-\frac{t}{T_2}} \quad (3-81)$$

elde edilir. Buradan

$$T_2 = \frac{L_G}{R_G + R_e}$$

ikaz devresinin elektromagnetik zaman sabitidir.

Generetörün magnetik doymadan uzak bulunduğu kabul e-
dilirse, frenleme esnasında generetör EMK nin değişimi için

$$e_G = E_n e^{-\frac{t}{T_2}} \quad (3-82)$$

denklemini elde edilir.

Yukarıdaki denklemden anlaşılacağı üzere, zaman sabi-
tindeki bir azalma frenleme olayında bir hızlanmaya yol açar.
Bu neticede sonuca deşarj dirençini arttırarak erişilebilir.
Fakat bu taktirde deşarj direnç ve dolayısıyla ikaz sargısı
uçlarındaki gerilim aşağıdaki bağıntıya bağlı olduğunada dik
kat etmek lazımdır.

$$U_2 = U_{2n} \frac{R_e}{R_G} e^{-\frac{t}{T_2}} \quad (3-83)$$

Keza $t=0$ anında

$$U = U \frac{R_e}{R_G}$$

dir.

Deşarj dirençinde büyük ölçüde bir artış bunabağlı olarak zaman sabitinde meydana gelen düşme nedeniyle frenlemenin başında ikaz sargısı uçlarında müsaade edilmeyen aşırı gerilimler ve bu surette endüvi devresinde büyük akımlara sebep olur. Bu sebepten deşarj dirençinin değeri pratikte kaide olarak ikaz sargısı dirençinin üç katını geçmez.

Frenleme esnasında motor devir sayısının zamana göre değişimini hesaplamak için aşağıdaki her iki denklem sisteminin n'e göre çözmek lazımdır.

$$\begin{aligned} E_{ne} &= \frac{t}{T_2} = \frac{G}{GD^2} \frac{dn}{dt} + iR_a \\ -C_m \dot{i} &= \frac{1}{375} \cdot \frac{dn}{dt} + M_L \end{aligned}$$

Gerekli matematik işlemlerden sonra

$$n = \frac{n_0}{T_2 - T_m} \left(T_2 e^{\frac{t}{T_2}} - T_m e^{\frac{t}{T_m}} \right) - \Delta n_L \quad (3-84)$$

elde edilir.

Makinelerin endüvi devresindeki akım aşağıdaki denklemlere göre hesaplanır.

$$i = \frac{2}{375 C_m (T_2 - T_m)} \left(e^{\frac{t}{T_2}} - e^{\frac{t}{T_m}} \right) + I_L \quad (3-85)$$

yahut

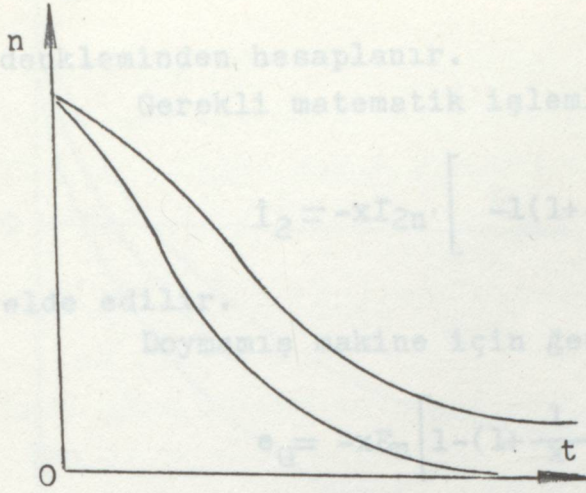
$$i = I_k \frac{T_m}{T_2 - T_m} \left(e^{\frac{-t}{T_m}} - e^{\frac{-t}{T_2}} \right) + I_L \quad (3-86)$$

$M_L = 0$ için

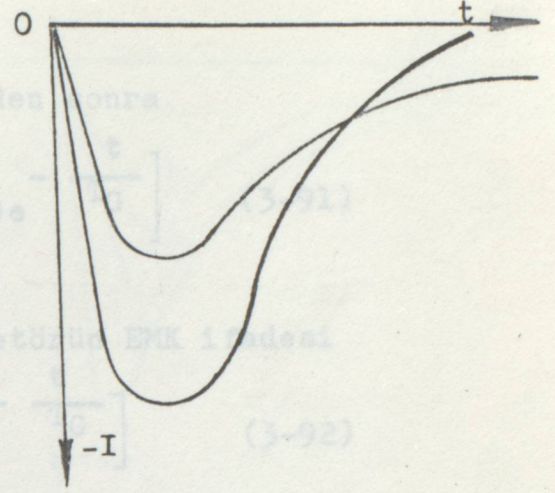
$$i = I_k \frac{T_m}{T_2 - T_m} \left(e^{\frac{t}{T_m}} - e^{\frac{t}{T_2}} \right) \quad (3-87)$$

olur.

$M_L = 0$ boş çalışmada bu denklemlere ait $n=f(t)$ ve $i=f_1(t)$ eğrileri Şekil(3-26) ve Şekil(3-27) de gösterilmiştir.



Şekil(3-16) Frenlemede motorun devir sayısı eğrileri



Şekil(3-17) Frenlemede endüvi akımı eğrileri.

Her iki şekilde 1 nolu eğriler T_2 zaman sabitesinin daha büyük değerlerine ve 2 nolu eğriler zaman sabitinin daha küçük değerlerine aittir.

Frenleme akımının maksimum değeri (3-86) denkleminde akımın zamana göre türevi alınıp sıfıra eşit kılınarak bulunur. Bu durumda akımın maksimum değeri

$$I_{bmax} = -I_k \left(\frac{T_m}{T_2} \right)^{\frac{T_2}{T_2 - T_m}} + I_L \quad (3-88)$$

elde edilir.

Böşta frenleme yapılırsa ($I_L = 0$) bu taktirde

$$I_{bmax} = -I_k \left(\frac{T_m}{T_2} \right)^{\frac{T_2}{T_2 - T_m}} \quad (3-89)$$

olur.

Leonard bağlantıda motorun dönüş yönü ikaz sargısına tatbik edilen gerilimin kutupları aksedilerek değiştirilebilir. Bu esnada ikaz akımında önce hızlı bir düşme ona mütakip zıt yönde bir yükselme olur.

Dönüş yönünün değiştirilmesinde ikaz olayını çabuklaştırmak için yolvermede olduğu gibi tamamen aynı yoldan hareket edilir.

İkaz akımının zamana göre değişimi

$$-U_2' = I_2 R_G + L_G \frac{dI_2}{dt} \quad (3-90)$$

denkleminde hesaplanır.

Gerekli matematik işlemlerden sonra

$$i_2 = -xI_{2n} \left[-1 \left(1 + \frac{1}{x} \right) e^{-\frac{t}{T_G}} \right] \quad (3-91)$$

elde edilir.

Doymamış makine için generatörün EMK ifadesi

$$e_G = -xE_n \left[1 - \left(1 + \frac{1}{x} \right) e^{-\frac{t}{T_G}} \right] \quad (3-92)$$

dir.

Endüi devresi EMK ine ait gerilim denkleminde ve hareket reket olayının diferansiyel denkleminde ibaret olan denklem sistemi n e göre çözülürse bu durumda

$$n = -(x n_0 + \Delta n_L) \frac{(1+x)n_0}{T_G - T_M} \left(T_G e^{-\frac{t}{T_M}} - T_M e^{-\frac{t}{T_M}} \right) \quad (3-93)$$

elde olunur.

Dönüş yönü boşa değiştirilse ($M_L = 0$ ve $\Delta n_L = 0$) bu durumda

$$n = -x n_0 + \frac{(1+x)n_0}{T_G - T_M} \left(T_G e^{-\frac{t}{T_G}} - T_M e^{-\frac{t}{T_M}} \right) \quad (3-94)$$

ölür.

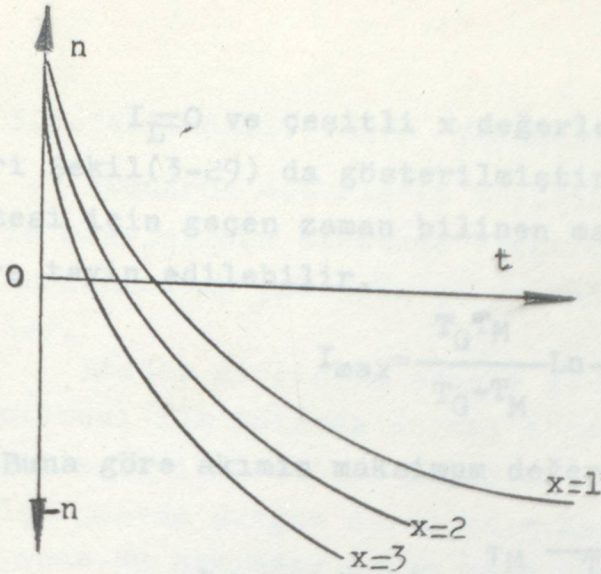
Şekil(3-28) Çeşitli hızlandırma sabitleri için motor dönüş yönünün değiştirilmesi esnasında devir sayısı eğrilerini göstermektedir.

Dönüş yönü değiştirme zamanı yani yüksüz halde motorun devir sayısının n_0 dan $-n_0$ ra değişmesinde geçen zaman (3-94) denkleminde $n = -n_0$ koymaksuruti ile hesaplanır.

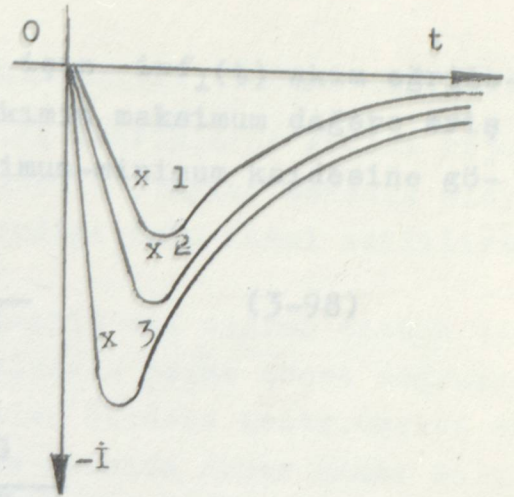
Büyük güçlü elektrikle tahriklerde T_M değeri T_G den den nispeten küçük olduğundan ihmal edilir.

Buhalde dönüş yönü değiştirme zamanı için aşağıdaki basit denklem elde edilir.

$$I_r = T_G \ln \frac{1+x}{x-1} \quad (3-95)$$



Şekil(3-28) Çeşitli hızlandırma sabitleri için motorun dönüş yönünün değiştirilmesinde devir sayısı eğrileri



Şekil(3-29) Çeşitli hızlandırma sabitleri için yüksüz olan motorun dönüş yönünün değiştirilmesinde akım eğrileri.

(3-95) denkleminde dönüş yönünü değiştirme zamanının yalnız ikaz devresi zaman sabitesi ile hızlandırma sabitesine bağlı olduğunu ifade etmektedir.

(3-94) denklemindeki devir sayısının zamana göre türevi alınır:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{(1+x)n_0}{T_G - T_M} \left(e^{-\frac{t}{T_M}} - e^{-\frac{t}{T_G}} \right)$$

ve bu ifade

$$i = \frac{GD^2}{375C_M} \cdot \frac{dn}{dt} + I_L$$

akım denkleminde yerine konursa gerekli matematik işlemlerden sonra

$$i = \frac{(1+x)I_k T_M}{T_G - T_M} \left(e^{-\frac{t}{T_M}} - e^{-\frac{t}{T_G}} \right) + I_L \quad (3-96)$$

elde edilir. $I_L = 0$ için

$$i = \frac{(1+x)I_k T_M}{T_G - T_M} \left(e^{-\frac{t}{T_M}} - e^{-\frac{t}{T_G}} \right) \quad (3-97)$$

olur.

3.5. $I_L=0$ ve çeşitli x değerleri için $i=f_1(t)$ akım eğrileri Şekil(3-29) da gösterilmiştir. Akımın maksimum değere erişmesi için geçen zaman bilinen maksimum-minimum kaidesine göre tayin edilebilir.

$$I_{max} = \frac{T_G T_M}{T_G - T_M} \ln \frac{T_G}{T_M} \quad (3-98)$$

Buna göre akımın maksimum değeri

$$I_{rmax} = -(1+x) I_k \left(\frac{T_M}{T_G} \right)^{\frac{T_G}{T_M - T_G}} + I_L \quad (3-99)$$

dir. $I_L=0$ değerinde

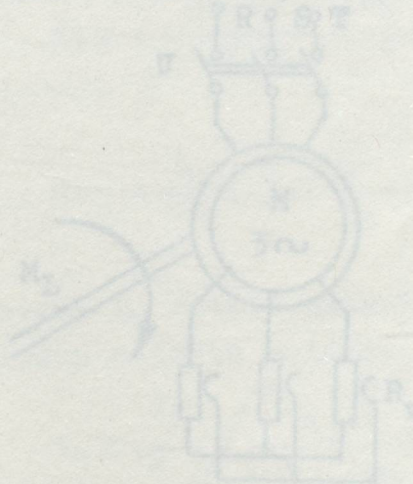
$$I_{rmax} = -(1+x) I_k \left(\frac{T_M}{T_G} \right)^{\frac{T_G}{T_G - T_M}} \quad (3-100)$$

olur.

Mağnetik doymanın hesaba katılması icabeden hallerde, örnek olarak motor alanında bir zayıflama neticesi meydana gelen geçici rejim olaylarında grafo analitik çözüm metotlarına baş vurulur.

3.5.1. BİLEZİKLI ASENKRON MOTORLARA YOL VERME

Bilezikli motorlara rotor devresinde sokulan R_r dış devre direnciyle yol verilir. Yol verme kademe sayısı ve bu kademe dirençlerinin değerleri tahrikin yol verme şartlarında bulunur.



Şekil(3-30) Bilezikli bir asenkron motora yol verme için prensip bağlantı şeması.

3.5. ALTERNATİF AKIM MAKİNALARINDA GEÇİCİ REJİM OLAYLARI

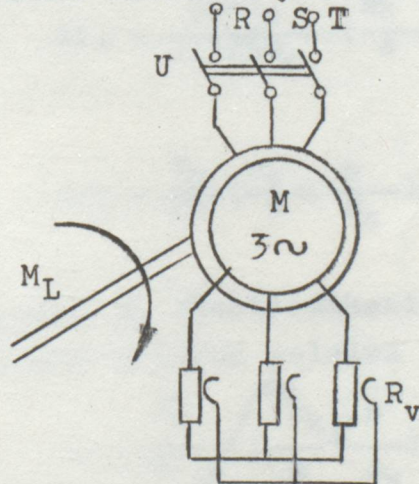
Asenkron motorların kullanıldığı tahriklerde geçici rejim olaylarının etüdünde elektromagnetik olaylar mekanik olaylara nazaran çok daha çabuk sona erdiği için ihmal edililirlirler.

Stator sargısına şebeke geriliminin ani olarak tatbik edilmesi ile motorda normal döner alandan başka sönen doğruakımlarla ikaz edilen magnetik alanlar meydana gelir. Geçici alan uzayda durgun durumdadır. Kapama anında döner alanı sıfır yapan. Bu bakımdan bunun yönü döner alanın başlangıçtaki yönünün zıttıdır. Bu sönen geçici alan tahrik ettiği bir moment üretmez Faydalı momen daha çok kapamadan kısa bir zaman sonra motorun magnetik devresinde yalnız başına kalan ve bu devrede dönen ,stasyoner döner alanla elde edilir.

Ufak ve orta güçlü kısa devre rotorlu asenkron motorlara kaide olarak tam gerilim altında yol verilir. Kısa devre rotorlu motorların yolalma akımı veya momentini düşürmek için bazen stator devresine direnç veya endüktans bobini sokarak düşük gerilimle de yol verilir.

3.5.1. BİLEZİKLİ ASENKRON MOTORLARA YOL VERME

Bilezikli motorlara rotor devresine sokulan R_v dış devre direnciyle yol verilir. Yolverme kademe sayısı ve bu kademe dirençlerinin değerleri tahrikin yolverme şartlarından bulunur.



Şekil(3-30) Bilezikli bir asenkron motora yolverme için prensip bağlantı şeması.

Etüdü kolaylaştırmak için motora boşta tek kademeli yolverici ile yol verildiği ve motorun meydana getirdiği momentin

olur.

$$M = \frac{2M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}}$$

olduğu dikkate alınır, tahrikin hareket olayının denklemi

$$\frac{2M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}} = \frac{GD^2 \cdot dn}{375 \cdot dt} \quad (3-101)$$

olur.

Daha evelden bilinen n $n_0(1-s)$ bağıntısının türevi

$$\frac{dn}{dt} = n_0 \frac{ds}{dt}$$

ukarıdaki denklemde yerine konursa

$$\frac{2M_k}{\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k}} = - \frac{GD^2 n_0}{375} \frac{ds}{dt}$$

elde edilir.

Diferansiyellere göre çözülürse

$$dt = - \frac{GD^2 n_0}{2 \cdot 375 M_k} \left(\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k} \right) ds$$

yahut

$$dt = - \frac{T_M}{22} \left(\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k} \right) ds \quad (3-102)$$

bulunur. Bu bağıntıda T_M elektromekanik zaman sabitidir.

(3-102) denkleminden motorun yolalma zamanı

$$t_a = \frac{T_M}{2} \int_{s_e}^{s_a} \left(\frac{s_k}{s} + \frac{s}{s_k} \right) ds \quad (3-103)$$

Motora $s_a=1$ sükunet durumundan başlayarak yol vermede

Bilindiği üzere bu ortalama moment Şekil(3-32) de $M f(s)$

$$t_a = \frac{T_M}{2} \left(\frac{1-s^2}{2s_k} + s_k \ln \frac{1}{s} \right) \quad (3-104)$$

olur.

Kaymanın $s=0$ değeri için $t_a = \infty$ elde edilir. Fakat kayma eğrisi sürekli rejim değerinin takriben 0,095 civarına düştüğü zaman, pratik bakımdan yolalmanın sona erdiği kabul edilebilir. Şu halde boşta yolalma süresi

$$t_a = \frac{T_M}{2} \left(\frac{1-0,05^2}{2s_k} + s_k \ln \frac{1}{0,05} \right)$$

bulunur. Birinci terimde $0,05^2$ değeri 1 in yanında ihmal edilirse, yolalma zamanının rölatif değeri

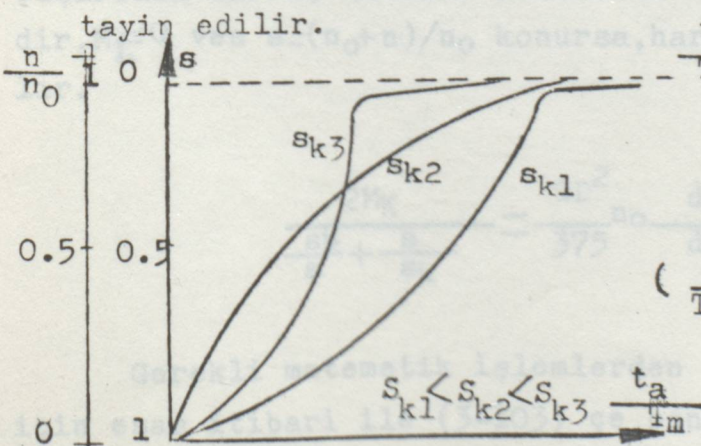
$$\frac{t_a}{T_M} = \frac{1}{4s_k} + 1,5s_k \quad (3-105)$$

elde edilir.

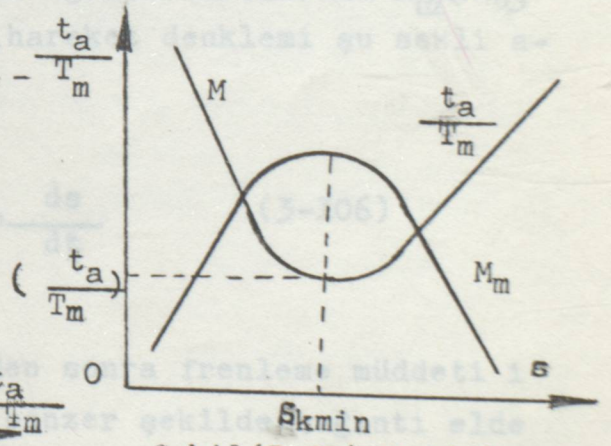
Yolalma zamanının rölatif değeri s_k devrilme kaymasına da bağlıdır. Şekil(3-30) Diğer taraftan s_k rotor devresi direnci ile orantılıdır. (3-105) denkleminde s_{kmin} 0,007 değerinde yolalma zamanının minimum olduğu çıkarılır.

$$\left(\frac{t_a}{T_M} \right)_{min} = 1,22$$

Aynı şartlarda en küçük yolalma zamanı yolalma periyodu esnasında ortalama döndürme momentinin maksimum değerinden tayin edilir.

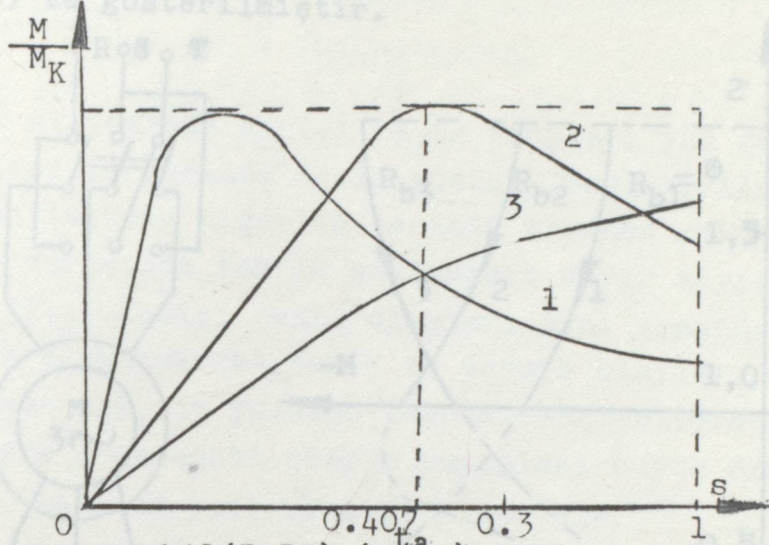


Şekil(3-30) Asenkron motorun yol almasında $s f(---)$ eğri-leri.



Şekil(3-31) $M f(s)$ ve $t_a/T_M f1(s)$ fonksiyonları

Bilindiği üzere bu ortalama moment Şekil(3-32) de $M f(s)$ eğrisi tarafından sınırlanan en büyük alana tekabül eder.



Şekil(3-32) $(\frac{T}{M})$ nin tayini için kullanılan eğriler. Ortalama momentin maksimum değeri motorun en küçük yolalma zamanına karşılıktır.

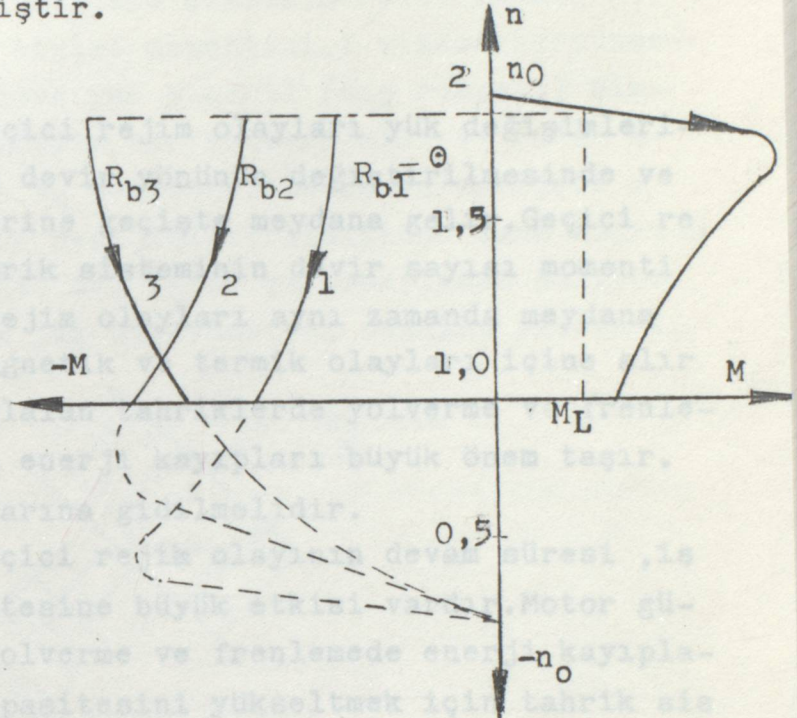
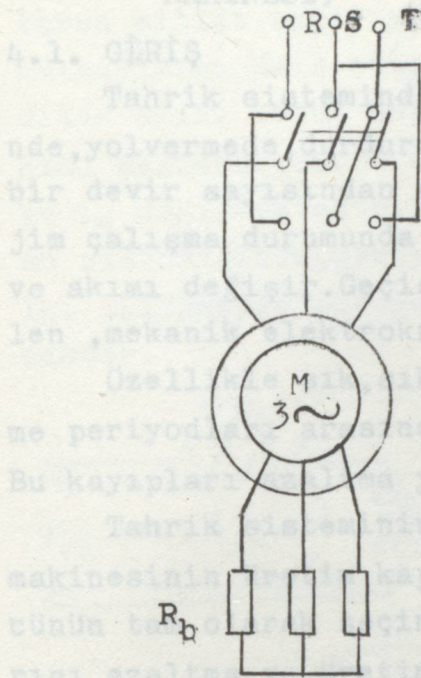
3.5.2. ASENKRON MOTORUN TERS AKIM BAĞLANTISI İLE FRENLENMESİ VE DÖNÜŞ YÖNÜNÜN DEĞİŞTİRİLMESİ

Asenkron motorun frenlenmesive dönüş yönünün değiştirilmesi, şebeke uçlarından ikisinin değiştirilmesi ile olur. Şekil(3-33) Ters akım bağlantısı ile motor çalışmadan fren işletmeye geçişi anlatan $n f(M)$ karakteristikleri Şekil(3-34) te gösterilmiştir. Bu karakteristiklerden 1 nolu eğri rotorun kısa devre durumundaki 2 ve 3 nolu eğriler rotor devresine dışarıdan direnç katılma halindeki eğrilerdir. Burada $R_{b2} \ll R_{b3}$ dir. $M_L = 0$ ves $s = (n_0 + n)/n_0$ konursa, hareket denklemi şu şekli alır.

$$\frac{2M_K}{\frac{s_K}{s} + \frac{s}{s_K}} = -\frac{GD^2 n_0}{375} \frac{ds}{dt} \quad (3-106)$$

Gerekli matematik işlemlerden sonra frenleme müddeti i için esas itibari ile (3-103) çe benzer şekilde bağıntı elde edilir.

Bilezikli bir asenkron motorundönüş yönünün değiştirilmesi ile ters akımla fren işletmeye ait şemalar Şekil(3-33) ve Şekil(3-34) te gösterilmiştir.



Şekil(3-33) Bilezikli bir asenkron motorun dönüş yönünün değiştirilmesine ait prensip bağlantı şeması

Şekil(3-34) Motor iş
lekme durumundan tars a-
kımla fren işletmeye ge-
çişte n f(M) karakteris-
tikleri.

4.BÖLÜM

TAHRİK SİSTEMİNDE GEÇİCİ REJİM OLAYLARI(MOTOR+İŞ MAKİNESİ)

4.1. GİRİŞ

Tahrik sisteminde geçici rejim olayları yük değişimlerinde,yolvermede,durdurmada devir yönünün değiştirilmesinde ve bir devir sayısından diğerine geçişte meydana gelir.Geçici rejim çalışma durumunda tahrik sisteminin devir sayısı momenti ve akımı değişir.Geçici rejim olayları aynı zamanda meydana gelen ,mekanik elektrokromagnetik ve termik olayları içine alır

Özellikle sık,sık yolalan tahriklerde yolverme ve frenleme periyodları arasındaki enerji kayıpları büyük önem taşır. Bu kayıpları azaltma yollarına gidilmelidir.

Tahrik sisteminin geçici rejim olayının devam süresi ,iş makinesinin üretim kapasitesine büyük etkisi vardır.Motor gücünün tam olarak seçimi,yolverme ve frenlemede enerji kayıplarını azaltma ve üretim kapasitesini yükseltmek için tahrik sisteminin geçici rejim olayının etüdü gerekir.

4.2. SERBEST UYARMALI MOTORUN TRANSFER FONKSİYONLARI VE GEÇİCİ REJİMLERİ

Serbest ikazlı motorun geçici rejim fonksiyonları aşağıda tanımlanan 3 hal için incelenecektir.

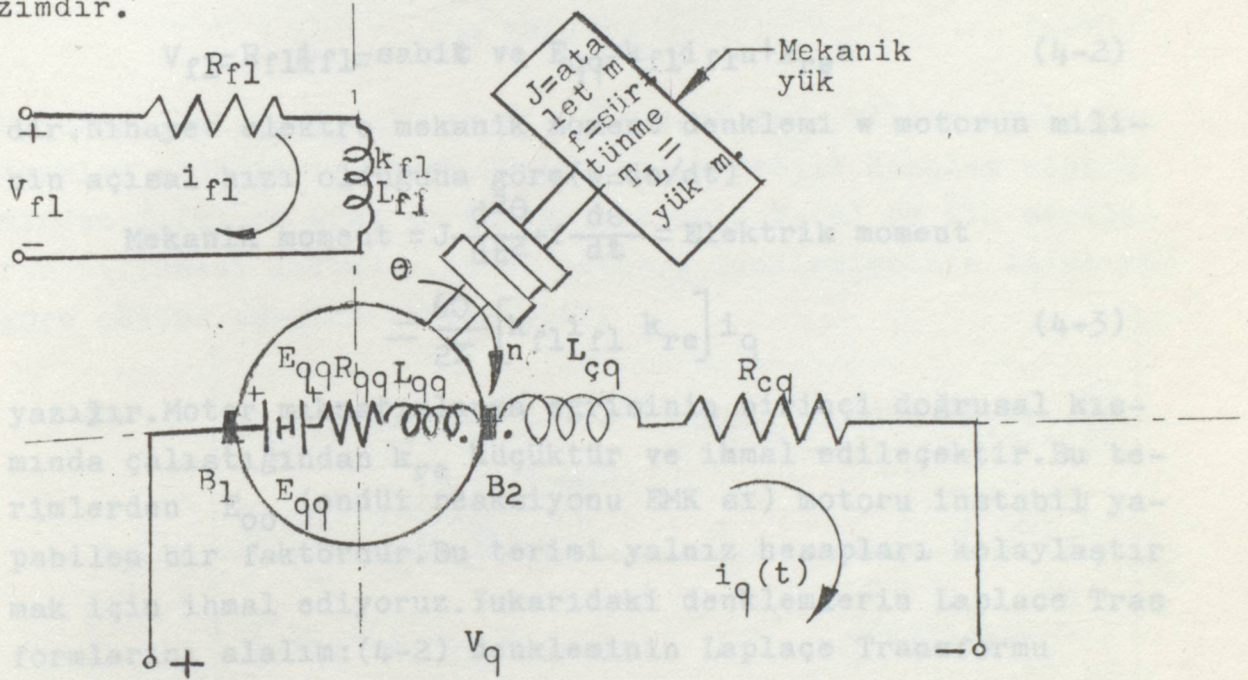
1- Motorun endüi devresine zamana göre değişken gerilim tatbik edilmesi (Kontrol akımı i_{fl} =sabit)

2-Kontrol sargısı gerilimi V_{fl} zamanla değişken ve makinenin kutuplarına tatbik edilen V_q gerilimi sabit.Yazılacak diferansiyel denklemlerin çözümünde ayrıca endüinin sabit bir akım kaynağından beslendiğini kabul edeceğiz.

3- Motorun miline tatbik edilen dış moment değişken V_q ve i_{fl} =sabit

4.2.1. MOTORUN ENDÜİ DEVRESİNE ZAMANA GÖRE DEĞİŞKEN GERİLİM TATBİK EDİLMESİ($i_{f1} = \text{sabit}$)

Şekil(4-1) ri nazarı itibara alalım. Serbest ikazlı motorun miline bağlı yük, J atalet momentini, f vizkoz sürtünme katsayısına haiz olsun. İlave yük momenti (dış momenti) şimdilik sıfır kabul edelim. Böyle bir motorun hızı v ve endüi akımı değişecektir. O halde V_q değiştirilmekte ve neticede n ve i_q değişmektedir. V_q nün değişimi verildiğinde daha doğrusu su bilindiğinde, geriye $n(t)$ ve $i_q(t)$ yi hesaplamak kalıyor. İki bilinmeyen olduğundan iki diferansiyel denklem yazmak lazımdır.



Şekil(4-1) Bir kontrol sargısı bulunan (serbest ikazlı) bir doğru akım motorunun eşdeğer şeması. $E_{qq} = k_f i_{f1}$ doyma yoksa $E_{qq} = 0$ dır.

Bu denklemlerden dü devresi için yazılacak ve diğeri ise mekanik yük için yazılacak moment denklemi olacaktır. Doğru akım serbest ikazlı motorları pratikte bu şekilde çok tatbik yeri bulurlar. Ve bilhassa büyük motorlar bu şekilde kullanılırlar. Ward-Leonard sisteminin motoru serbest ikaz akımı sabit ve endüisine tatbik edilen V_q gerilimi değişken bir motordur. Geçici rejimde bu motorun endüi akımı $i_q(t)$ ve dönme sayısı $n(t)$ değişir. Şimdi biraz evvel bahsettiğimiz diferansiyel denklemleri yazalım.

Motorun birinçi doğrusal bölgede çalıştığını ve $\Delta E_{qq} = 0$ olduğunu babul edelim. Endüi devresi için Kirchhoff gerilim denklemi

$$V_q(t) = (\sum R_{qq}) i_q(t) + (\sum L_{qq}) \frac{di_q}{dt} + E_{qq} \quad (4-1)$$

dir. Burada

$$\sum R_{qq} = R_{qq} + R_{eq}, \quad \sum L_{qq} = L_{qq} + L_{eq} - 2M_{qq}$$

dir. Kontrol sargısı için aynı denklem

$$V_{f1} = R_{f1} i_{f1} = \text{sabik} \quad \text{ve} \quad E_{qq} = k_{f1} i_{f1} n + k_{re} n \quad (4-2)$$

dir. Nihayet elektro mekanik moment denklemi w motorun milinin açısal hızı olduğuna göre ($w = d\theta/dt$)

$$\text{Mekanik moment} = J \frac{d^2\theta}{dt^2} + f \frac{d\theta}{dt} = \text{Elektrik moment}$$

$$= \frac{60}{2\pi} [k_{f1} i_{f1} k_{re}] i_q \quad (4-3)$$

yazılır. Motor mıknatıslanma eğrisinin birinçi doğrusal kısmında çalıştığından k_{re} küçüktür ve ihmal edilecektir. Bu terimlerden E_{00} (endüi reaksiyonu EMK sı) motoru instabil yapabilen bir faktördür. Bu terimi yalnız hesapları kolaylaştırmak için ihmal ediyoruz. Yukarıdaki denklemlerin Laplace Trans formlarını alalım: (4-2) denkleminin Laplace Transformu

$$V_q(s) = (\sum R_{qq}) I_q(s) + (\sum L_{qq}) s I_q(s) + k_{f1} i_{f1} N(s) - (\sum L_{qq}) i_q(0^+)$$

$$n = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{d\theta}{dt} \rightarrow N(s) = \frac{60}{2\pi} [s\theta(s) - \theta(0^+)] \quad (4-4)$$

ve (4-3) denkleminin Laplace Transformu

$$J s^2 \theta(s) - J s \theta(0^+) - J \frac{d\theta}{dt} \bigg|_{t=0} + s f \theta(s) - f \theta(0^+) = \frac{60}{2\pi} k_{f1} i_{f1} I_q(s) \quad (4-5)$$

olarak bulunur. Bu denklemleri $I_q(s)$ ve $\theta(s)$ e göre düzenleyecek olursak

$$\left[(\sum R_{qq}) (\sum L_{qq}) s \right] I_q(s) + (k_{fl} i_{fl} \frac{60}{2X} - s) \theta(s) = V_q(s) + k_{fl} i_{fl} \frac{60}{2X} \theta(0^+) + (\sum L_{qq}) i_q(0^+) \quad (4-6)$$

$$-\left(\frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl} \right) I_q(s) + [Js^2 + fs] \theta(s) = Js \theta(0^+) + \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{t=0^+} + f \theta(0^+) \quad (4-7)$$

bulunur. Böylece $I_q(s)$ ve $\theta(s)$ e göre ikik bilinmeyenli iki denklem elde etmiş olduk. Bu iki bilinmeyenli denklem sisteminden $I_q(s)$ ve $\theta(s)$ yi çözebilmek için $V_q(s)$ ve ilk şartların bilinmesi lazımdır. (4-6) ve (4-7) denklemlerinin $I_q(s)$ ye göre çözümü aşağıda verilmiştir.

$$I_q(s) = \frac{\begin{array}{l} V_q(s) + k_{fl} i_{fl} \frac{60}{2X} \theta(0^+) + (\sum L_{qq}) i_q(0^+) \\ Js \theta(0^+) + \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{t=0^+} + f \theta(0^+) \end{array}}{\begin{array}{l} \sum R_{qq} + (\sum L_{qq}) s \\ (\frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl}) \end{array}} \quad \frac{\begin{array}{l} k_{fl} i_{fl} \frac{60}{2X} \\ Js^2 + f.s \end{array}}{\begin{array}{l} s(k_{fl} i_{fl} \frac{60}{2X}) \\ (Js^2 + fs) \end{array}} \quad (4-8)$$

Denklemlerindeki ilk şartlar $t=0^+$ için ya verilir veya $t=0^-$ anı için yani geçici rejim başlamadan evvelki an için bilinen şartlardan hesaplanırlar. İlk şartların hesaplanmasında kapalı çevreler boyunca öz endüklemlerin toplam akısının ve kapasitelerin toplam yüklerinin değişmiyeceği prensibi kullanılır. Ay-

riça mekanik yükler için ise, ilk şartların hesaplanmasında atalati olan bir yükün hızının ani olarak değişmeyeceği prensibi kullanılır. Ayrıca mekanik yükler için ise, ilk şartların hesaplanmasında ataleti olan yükün hızının ani olarak değişmeyeceği prensibi kullanılır. Şimdi motorun ilk önce sükunette olduğunu kabul edelim. Motorun milinde J olan bir yükün ve endü devresinde de özendüklemeler vardır. $t=0$ anında $i_q(0^-)$, $\left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{t=0^-}$ sıfır. Olduğundan $t=0$ anında da $i_q(0^+)$, $\left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{t=0^+}$ sıfır olmalıdır. (4-8) denklemi bu şartlarda

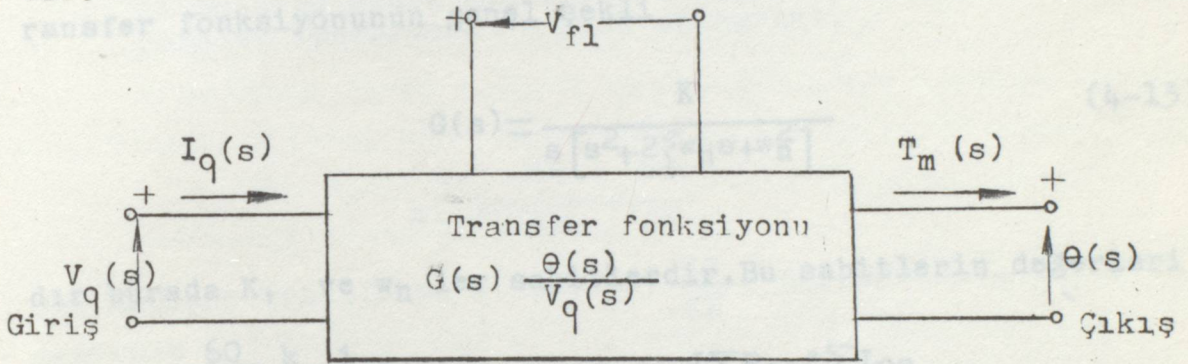
$$I_q(s) = \frac{\begin{vmatrix} V_q(s) & \frac{60}{2X} - k_{fl} i_{fl} \\ 0 & Js^2 + fs \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (\sum R_{qq}) + (\sum L_{qq})s & s(\frac{60}{2X} - k_{fl} i_{fl}) \\ -(\frac{60}{2X} - k_{fl} i_{fl}) & Js^2 + fs \end{vmatrix}} \quad (4-9)$$

olarak yazılır.

$$O(s) = \frac{\begin{vmatrix} (\sum R_{qq}) (\sum L_{qq})s & V_q(s) \\ -(\frac{60}{2X} - k_{fl} i_{fl}) & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} (\sum R_{qq}) (\sum L_{qq})s & s(k_{fl} i_{fl} - \frac{60}{2X}) \\ \frac{60}{2X} - k_{fl} i_{fl} & Js^2 + fs \end{vmatrix}} \quad (4-10)$$

bulunur.

$i_q(t)$ ve $\theta(t)$ yi bulmak için (4-9) ve (4-10) denklemlerinin ters transformu nu almak lazımdır. Bu denklemlerden $V_q(s)$ sin verilmesi lazımdır. Eğer $V_q(t)$ ani olarak motorun endüisine tatbik edilen bir basamak fonksiyonu ise bu taktir de $V_q(s) = V_q \left(\frac{1}{s} \right)$ olarak yazılır. Şimdi motorun endüisine tatbik edilen $V_o(t)$ gerilimin Laplace Transformu ile milin dönme açısının Laplace Transformu arasındaki Transfer Fonksiyonunun verelim. Giriş büyüklüğü $V_q(t)$ çıkış büyüklüğünde $\theta(t)$ olduğuna göre motorun blok diyagramı Şekil(4-2) de gösterilmiştir.



Şekil(4-2) Bir kontrol sargısı olan ve serbest olarak ikaz edilen bir doğru akım motorunun blok diyagramı $V_{fl} = \text{sabit}$

Transfer fonksiyonu $G(s) = \frac{\theta(s)}{V_q(s)}$ olarak tanımlandığına göre (4-10) denkleminde bu oran teşkil edilir. (4-10) denkleminde bütün ilk şartlar sıfıralanmıştır. Transfer fonksiyonunun tanımından bilindiği gibi ilk şartların sıfır alınması lazımdır. O halde (4-10) denkleminde transfer fonksiyonu için

$$\theta(s) = \frac{V_q(s) \left[\frac{60}{2X} - k_{fl} i_{fl} \right]}{\left[(\sum R_{qq}) + (\sum L_{qq})s \right] \left[JS^2 + fs \right] + \left(\frac{60}{2X} - k_{fl} i_{fl} \right)^2 s} \quad (4-11)$$

bulunur. Transfer fonksiyonunu yazacak olursak,

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{V_o(s)} = \frac{\frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl}}{[(\sum R_{qq}) + (\sum L_{qq})s] [Js^2 + fs] + (\frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl})^2 s} \quad (4-12)$$

bulunur. (4-12) denkleminde $V_q(s)$ verildiğinde $\theta(s)$ sin ifadesi dolayısı ile $\theta(t)$ bulunur. Burada bütün ilk şartların sıfır olduğunu kabul ettiğimizi unutmamalıyız. Elde edilen bu Transfer fonksiyonunun genel şekli

$$G(s) = \frac{K}{s[s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2]} \quad (4-13)$$

dır burada K, ve w_n ler sabitlerdir. Bu sabitlerin değerleri

$$K = \frac{\frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl}}{J \sum L_{qq}} \quad 2\zeta w_n = \frac{J \sum R_{qq} f \sum L_{qq}}{J \sum L_{qq}} \quad (4-13a)$$

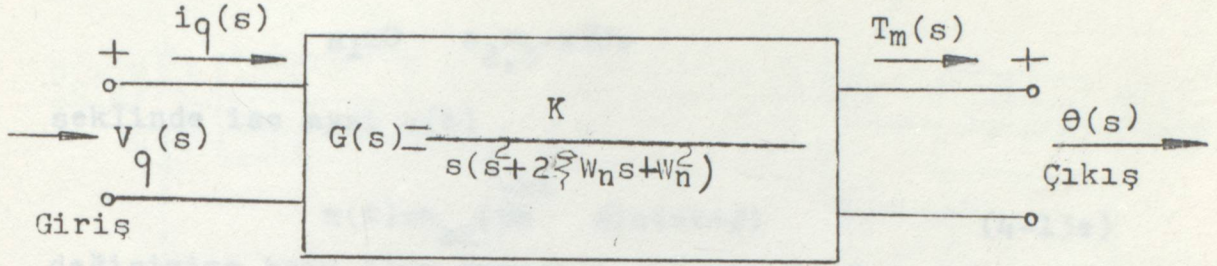
$$w_n^2 = \frac{(\frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl})^2 + f \sum R_{qq}}{J \sum L_{qq}}$$

dır. Şekil(4-3) te motorun transfer fonksiyonunu ve blok diyagramı verilmiştir. Burada kontrol sargısı-akımının sabit olduğu gösterilmiştir.

Şimdi $V_o(t)$ in V_o değerinde bir basamak fonksiyonu olduğunu farz edelim. Bu taktirde motor sükunetten harekete geçtiğine göre

$$n(t) = \frac{d\theta}{dt} = \frac{60}{2X}$$

nin değişim ifadesini bulalım: İlk şartlar sıfır olduğundan



Şekil(4-3) Kontrol akımı sabit bir serbest ikazlı motorun endü geriliminin değiştirilmesi halinde transfer fonksiyonu ve blok diyagramı.

$$n(t) = \frac{d\theta}{dt} \cdot \frac{60}{2\pi}$$

sin Laplace Transformu $N(s) = s\theta(s) \frac{60}{2\pi}$ dir. Ohalde(4-13) ifadesinden

$$\theta(s) = \left(\frac{V_q}{s}\right) G(s) = \frac{V_q}{s} \cdot \frac{K}{s(s + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (4-13b)$$

bulunur, böylece

$$N(s) = s\theta(s) = \frac{V_q K}{s(s + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2)} \quad (4-13c)$$

olur(4-13c) ifadesinin paydasının kökleri

$$s_1 = 0 \quad s_2 = -X_1 \quad s_3 = -X_2$$

olduğu kabul edilirse dönme sayısı

$$n(t) = n_{sü} + C_1 e^{-X_1 t} + C_2 e^{-X_2 t} \quad (4-13d)$$

ve eğer

$$s_1=0 \quad s_{2,3}=-x \pm jw$$

şeklinde ise aynı $n(t)$

$$n(t)=n_{sü} e^{-xt} \sin(wt+\phi) \quad (4-13e)$$

değişimine haiz olur. Burada $n_{sü}, x_1, x_2, C_1, C_2, x$ ve w hesaplanan sabitlerdir. Sistem stabil olduğundan paydanın köklerinin reel kısmı negatif olmalıdır. Ayrıca sistem fiziki bir sistem olduğundan karakteristik denklemin kökleri ancak reel veya ikiyeşer, ikiyeşer kompleks eşlenik olabilir.

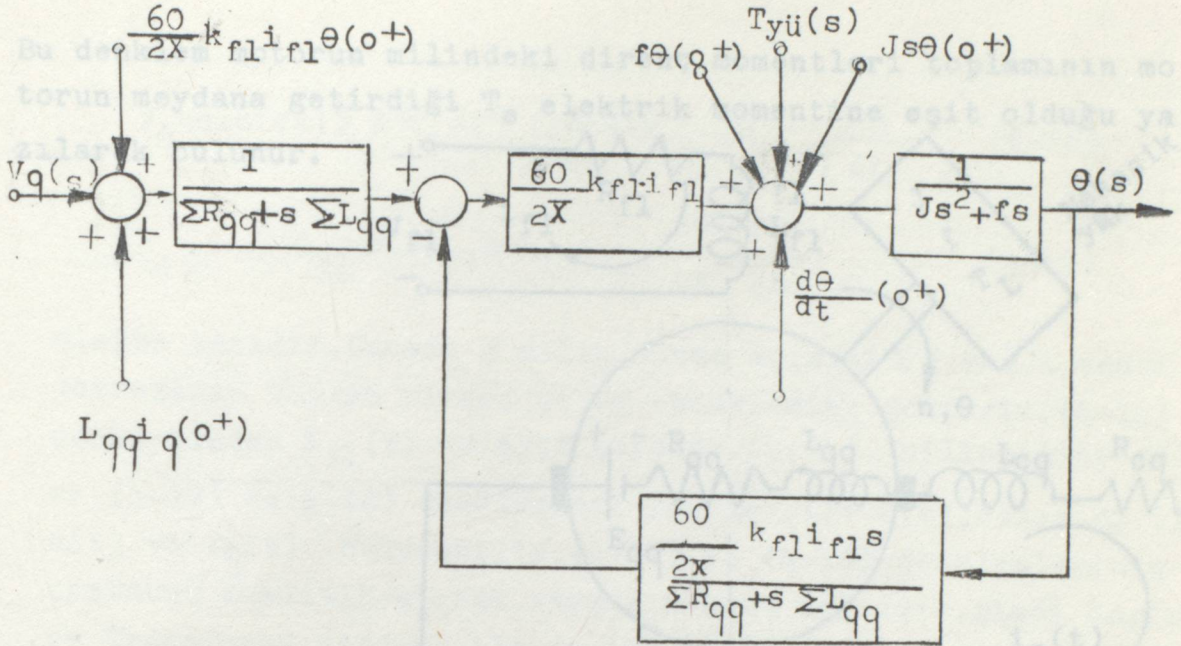
Bu kısımda (4-6) ve (4-7) denklemleri ile verilen serbest uyarmalı motorun blok diyagramını verelim. $V_q(s)$ rotor geriliminin Laplace dönüşümü ile yük momenti $T_{yük}(s)$ giriş ve çıkış büyüklüğü alınarak, bu denklemler

$$I_q(s) = \frac{V_q(s) + \frac{60}{2\pi} k_{fl} i_{fl} \theta(0+) + (\sum L_{qq}) i_q(0+) - \frac{60}{2\pi} k_{fl} i_{fl} s \theta(s)}{\sum R_{qq} + s \sum L_{qq}} \quad (\sum R_{qq} + s \sum L_{qq})$$

$$\theta(s) = \frac{(\frac{60}{2\pi} k_{fl} i_{fl}) I_q(s) + Js \theta(0+) + \frac{d\theta}{dt}(0+) + f \theta(0+) + T_{yük}(s)}{Js^2 + fs}$$

biçiminde yazılırsa, Şekil(4-3a) da gösterilen blok diyagramı elde olunur.

Rotor gerilimi değişken uyarma akımının sabit olması halinde serbest uyarmalı bir doğru akım motorunun blok diyagramı Şekil(4-3a) da gösterilmiştir.



Şekil(4-3a) Rotor gerilimi $V_q(t)$ değişken uyarıma sabit olması halinde serbest uyarmalı motorun blok diyagramı.

4.2.2. SERBEST İKAZLI BİR MOTORUN UÇLARINA UYGULANAN GERİLİMİN SABİT İKAZ AKIMININ DEĞİŞKEN OLMASI

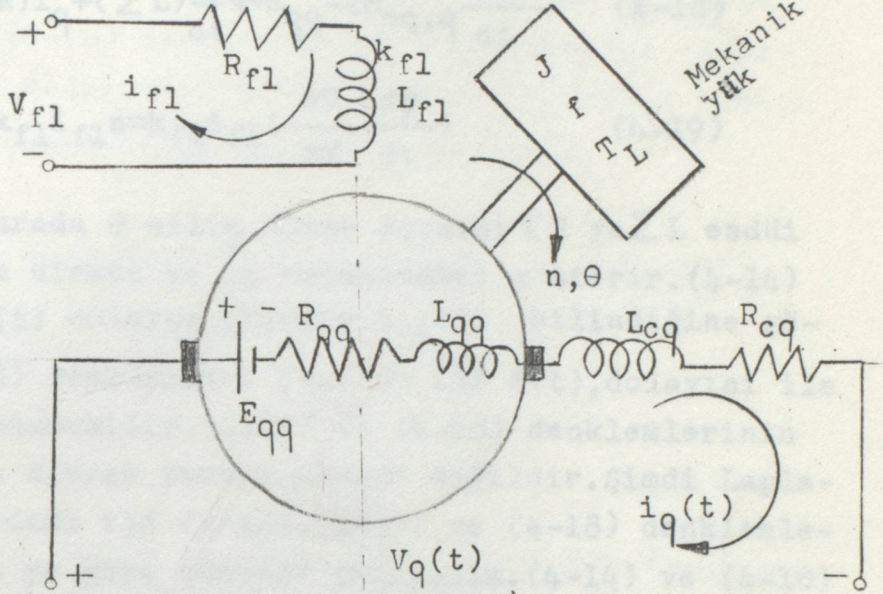
Şekil(4-4) te motorun eşdeğer şemada V_{fl} değişken olarak alınacak. Ve $V_q(t)$ nin sabit olması kabulü ile diferansiyel denklemler yazılacak. Bulunması arzu edilen büyüklük, motorun hızının zamana göre değişimidir. Buradada motorun birinci doğrusal bölgede çalıştığını kabul edeceğiz. Edüi reaksiyonu EMK sı E_{qq} ve kalıcı mıknatısiyet gerilim katsayısı k_{re} sı alınacaktır.

Motorun eşdeğer devresini kullanarak geçici rejime ilişkin diferansiyel denklemlerini yazalım:

$$V_{fl}(t) = R_{fl} i_{fl}(t) + L_{fl} \frac{di_{fl}(t)}{dt} \quad (4-14)$$

dur. Bundan sonra elektromekanik moment denklemini yazalım.

Bu denklem motorun milindeki direnç momentleri toplamının motorun meydana getirdiği T_e elektrik momentine eşit olduğu yazılarak bulunur.



Şekil(4-4) Kontrol sargısının $V_{f1}(t)$ gerilimi değiştirilerek hız ayarı yapılan motorun eşdeğer devresi, $V_q(t)$ =sabit ve differansiyel denklemlerin çözümü için motorun endüisine sabit bir akım kaynağı ile beslendiği kabul ediliyor.

Motorun milindeki mekanik direnç momentleri

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + f \frac{d\theta}{dt} + T_L(t) = \sum T_M \quad (4-15)$$

dir. Motorun meydana getirdiği T_e elektrik momenti :

$$T_e = \frac{60}{2\pi} (k_{f1} i_{f1} + k_{re}) i_q(t) \quad (4-16)$$

dir. (4-15) ve (4-16) ifadelerinin eşit yazılması ve $k_{re} = 0$ alınması ile

$$\frac{60}{2\pi} k_{f1} i_{f1} = J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + f \frac{d\theta}{dt} + T_L(t) \quad (4-17)$$

bulunur. Endüi devresi için Kirchhof gerilim denklemi

$$V_q = \text{sabit} = (\sum R)i_q + (\sum L)\frac{di_q}{dt} + E_{qq} - 2M_{cq,q}\frac{di_q}{dt} \quad (4-18)$$

$$E_{qq} = k_{f1}i_{f1}n = k_{f1}i_{f1}\left(\frac{60}{2\pi}\frac{d\theta}{dt}\right) \quad (4-19)$$

olarak yazılır. Burada θ milin dönme açısını $\sum R$ ve $\sum L$ endüi devresinin toplam direnç ve öz endüklemini gösterir. (4-14) denkleminde $i_{f1}(t)$ kolayca çözülür. $i_{f1}(t)$ bilindiğine göre (4-17) ve (4-18) denklemleri yardımı ile $\theta(t)$, dolayısı ile $n(t)$ ve $i_q(t)$ bulunabilir. (4-17) ve (4-18) denklemlerinin çözümünü analitik olarak vermek mümkün değildir. Şimdi Laplace Transformu yardımı ile (4-14), (4-17) ve (4-18) denklemleri i_{f1} , i_q ve $\theta(t)$ ye göre çözmeye çalışalım. (4-14) ve (4-18) denklemlerinin sol tarafların Laplace Transformu kolayca alınabilir. (4-17) denkleminin sol tarafının Laplace Transformu da

$$\frac{60}{2\pi}k_{f1}\mathcal{L}[i_{f1}(t).i_q(t)]$$

şeklindeki bir terimin Laplace Transformunu almak icabeder ki, bu ancak konvolusyon integrali ile, $I_{f1}(s)$ ve $I_q(s)$ bilindiğinde bulunabilir. Şöyle ki:

$$\frac{60}{2\pi}k_{f1}\mathcal{L}[i_{f1}(t).i_q(t)] = \frac{60}{2\pi}k_{f1}\frac{1}{s} \int_{-\infty}^{+\infty} I_{f1}(\tau)I_q(s-\tau)d\tau$$

dir. Burada s entegrasyon parametresidir. Görülüyorki $I_{f1}(\tau)$ ve $I_q(\tau)$ Laplace Transformlarının bilinmesi lazımdır. Halbuki diferansiyel denklem sisteminin çözümünden maksat $I_{f1}(s)$, $I_q(s)$ ve $\theta(s)$ si bulmaktır. Bu nedenle problemin çözümünü, çözüm esnasında biliniyormuş gibi kullanmak icabetmektedir. Bu bizi çelişkiye götürür. Demek oluyor ki doğru akım motorunun devresi lineer olmasına rağmen $i_{f1}(t)$, $i_q(t)$ çarpım terimi dolayısı ile $\theta(t)$, $i_{f1}(t)$ ve $i_q(t)$ çözülememektedir. Ve istenilen transfer fonksiyonu verilmektedir. Çarpım teriminden kurtulmak içindir ki endüi akımının sabit bir akım kaynağı ile temin edildiği

kabul edilecek Sabit akım kaynağı o çisten bir kaynaktır ki kaynağa ne değerde bir yük tatbik edilirse edilsin sabit akım verir. (4-17) ve (4-18) denklemlerinde $I_q = \text{sabit} = i_{q0}$ koyalım. Motor sükunette olduğundan $\theta(0^+) = 0$, $\frac{d\theta}{dt}\bigg|_{t=0} = 0$ kabul edelim. Bu taktirde (4-17) denkleminin Laplace Transformatu,

$$Js^2\theta(s) + f_s\theta(s) + T_L(s) = -\frac{60}{2X} k_{fl} i_{q0} I_{fl}(s) \quad (4-20)$$

olur. (4-14) denkleminin Laplace Transformatında

$$V_{fl}(s) = (R_{fl} + sL_{fl}) I_{fl}(s) - L_{fl} \dot{I}_{fl}(0^+) \quad (4-21)$$

olarak bulunur. $i_q = i_{q0}$ sabit akım kaynağı yardımı ile temin edildiğinden, bu özel halde (4-18) denklemi anlamını kaybeder, Çünkü sabit akım kaynakları teorik olarak iç empdansları veya dirençleri sonsuz olan kaynaklardır. Dış devreye ne değerde empedans veya ENK bağlanırsa bağlansın kaynak sabit akım verir ve bu akımı sabit akım kaynağının kendi parametreleri tayin eder. Metadin Transformatörler pratikte kullanılan sabit akım kaynaklarıdır. (4-20) ve (4-21) denklemleri yardımı ile $\theta(s)$

$$\theta(s) = \frac{60}{2X} k_{fl} i_{q0} \left[\frac{1}{Js + f_s} \right] \left[\frac{V_{fl}(s) + L_{fl} \dot{I}_{fl}(0^+)}{R_{fl} + sL_{fl}} \right] - \frac{T_L(s)}{Js^2 + sf}$$

(4-22)

olarak bulunur. Bunun t ye göre ters Laplace Transformatu olarak $\theta(t)$ ve onun türevi alınarak $n(t)$ bulunur. Bu hesaplarda yük momentinin $T_L(s)$ sin verilmiş olması lazımdır.

Şimdi transfer fonksiyonunu elde etmek üzere yük momentini $T_L(t)$ nin ve $i_{fl}(0^+) = 0$ olduğunu kabul edelim. Bu durumda (4-22)

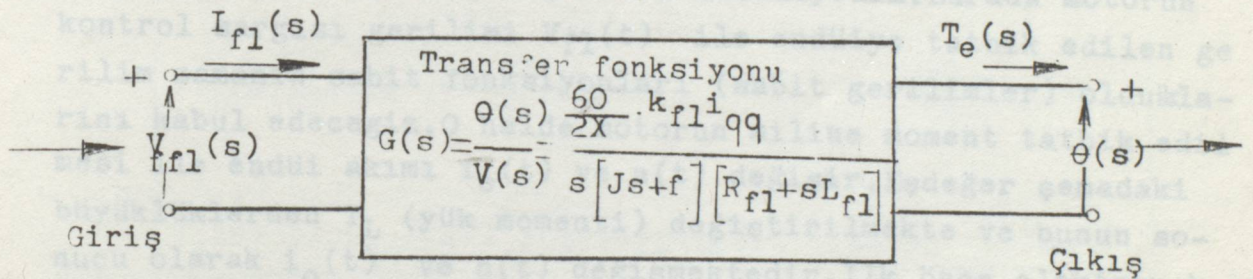
denkleminde

$$\theta(s) = \frac{\frac{60}{2X} k_{fl} i_{q0} V_{fl}(s)}{[Js^2 + fs][R_{fl} + sL_{fl}]} \quad (4-23)$$

elde edilir. Endüi akımı $i_q(t) = i_{qq}$ sabit değerinde tutulan ve devir sayısı, kontrol sargısına tatbik edilen $V_{fl}(t)$ gerilimi ile kontrol edilen serbest ikazlı motorun transfer fonksiyonu $G(s) = \theta(s)/V_{fl}(s)$ şeklinde tanımlanır. Bu halde (4-23) denklemi yardımı ile bu transfer fonksiyonu için

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{V_{fl}(s)} = \frac{60}{2X} k_{fl} i_{qq} \frac{1}{s[Js + f][R_{fl} + sL_{fl}]} \quad (4-24)$$

bulunur. Böyle bir motorun blok diyagramı Şekil(4-5) te gösterilmiştir.



Şekil(4-5) Endüisi sabit akım kaynağı ile beslenen bir kontrol sargılı ve hızı, kontrol sargısının akımı ile kontrol edilen bir doğru akım motorunun blok diyagramı ve transfer fonksiyonu.

Yukarıda elde edilen transfer fonksiyonunun genel şekli

$$G(s) = \frac{\theta(s)}{V_{fl}(s)} = \frac{K}{s(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

olarak yazılabilir. Burada τ_1 , τ_2 ve K lar sabitlerdir.

$V_{f1}(t)=V_{f1}=\text{sabit}$. Olduğundan motorun $n(t)$ hızının transfer fonksiyonu kullanılarak bulunabilir. İlk şartlar sıfır alınırsa

$$s\theta(s)=N(s)\frac{2X}{60}$$

yazılır.

$$\frac{2X}{60}N(s)=s\theta(s)=s\frac{KV_{f1}}{s^2(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)} \quad (4-24a)$$

ve bunun ters transformu

$$n(t)=n_{sü} \left[C_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + C_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right] \quad (4-24c)$$

olur. Burada $n_{sü}$, C_1 , C_2 , τ_1 ve τ_2 sabitlerdir.

4.2.3. MOTORUN MİLİNE UYGULANAN MOMENTİN DEĞİŞKEN OLMASI

Motorun miline değişken bir moment uygulanması halinde meydana gelecek geçici rejimleri inceleyelim. Burada motorun kontrol sargısı gerilimi $V_{f1}(t)$ ile endüye tatbik edilen gerilim zamanın sabit fonksiyonları (sabit gerilimler) olduklarını kabul edeceğiz. O halde motorun miline moment tatbik edilmesi ile endüi akımı $i_o(t)$ ve $n(t)$ değişir. Eşdeğer şemadaki büyüklüklerden T_L (yük momenti) değiştirilmekte ve bunun sonucu olarak $i_o(t)$ ve $n(t)$ değişmektedir. İlk önce elektromekanik moment denklemini yazalım:

$$J\frac{d^2\theta}{dt^2} + f\frac{d\theta}{dt} + T_L(t) = \frac{60}{2X} k_{f1} i_{f1} i_q(t) \quad k_{re}=0 \quad (4-25)$$

Endüi devresine Kirchhoff gerilim denklemlerini tatbik ederek

$$V_q(t) = (\sum R_{qq}) i_q(t) + (\sum L_{qq}) \frac{di_q}{dt} + (k_{f1} i_{f1}) \frac{60}{2X} \frac{d\theta}{dt} - \Delta E_{qq} \quad (4-26)$$

yazılır Laplace Transformu (4-25) ve (4-26) denklemlerinde

kullanılarak

$$(Js^2 + fs)\theta(s) + T_L(s) - Js\theta(0^+) - J \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{t=0^+} - f\theta(0^+) - \frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl} I_q(s)$$

$$V_q(s) = \left[(\sum R_{qq}) + (\sum L_{qq})s \right] I_q(s) - (\sum L_{qq}) i_q(0^+) + \frac{60}{2X} s\theta(s) - k_{fl} i_{fl} \left(-k_{fl} i_{fl} \frac{60}{2X} \right) \theta(0^+) \quad (4-27)$$

bulunur. Buradan denklemler $I_q(s)$ ve $\theta(s)$ bilinmeyenlerine göre düzenlenerek

$$(Js + fs)\theta(s) - \left(\frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl} \right) I_q(s) = -T_L(s) + Js\theta(0^+) + J \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{t=0^+} + f\theta(0^+) - k_{fl} i_{fl} \frac{60}{2X} s\theta(s) + \left[(\sum R_{qq}) + (\sum L_{qq})s \right] I_q(s) = V_q(s) + \sum L_{qq} i_q(0^+) + \frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl} \theta(0^+)$$

$$k_{fl} i_{fl} \frac{60}{2X} s\theta(s) + \left[(\sum R_{qq}) + (\sum L_{qq})s \right] I_q(s) = V_q(s) + \sum L_{qq} i_q(0^+) + \frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl} \theta(0^+)$$

olur. Yukarıdaki denklemlerden $I_q(s)$ ve $\theta(s)$ çözülebilir.

$$\theta(s) = \frac{\begin{vmatrix} -T_L(s) + Js\theta(0^+) + J \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{t=0^+} + f\theta(0^+) & -\frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl} \\ V_q(s) - (\sum L_{qq}) i_q(0^+) - \frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl} \theta(0^+) & \sum R_{qq} + (\sum L_{qq})s \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} Js^2 + fs & -\frac{60}{2X} k_{fl} i_{fl} \\ \frac{60}{2X} s k_{fl} i_{fl} & (\sum R_{qq}) + s(\sum L_{qq}) \end{vmatrix}}$$

(4-28)

$I_q(s)$ ifadesini yazarsak,

$$I_q(s) = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} Js^2 + fs & -T_L(s) + Js\theta(0^+) + J \left. \frac{d\theta}{dt} \right|_{t=0^+} + f\theta(0^+) \\ \frac{60}{2X} \cdot sk_{f1}i_{f1} & V_q(s) + (\sum L_{qq})i_q(0^+) - \frac{60k_{f1}i_{f1}}{2X}\theta(0^+) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} Js^2 + fs & -\frac{60}{2X}k_{f1}i_{f1} \\ \frac{60}{2X}sk_{f1}i_{f1} & (\sum R_{qq}) + s(\sum L_{qq}) \end{vmatrix}}$$

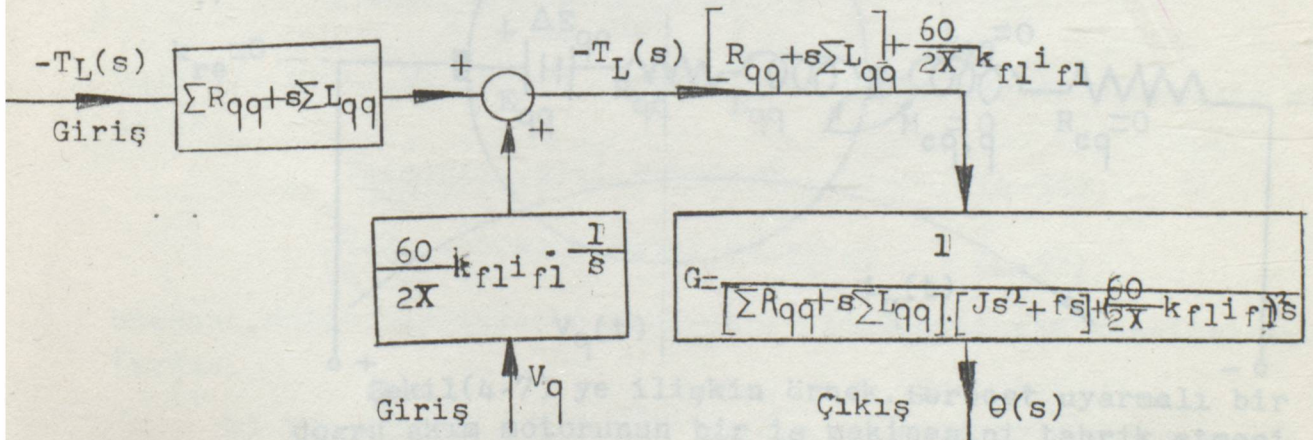
(4-29)

$V_q(t)$ = sabit olarak alındığından bunun Laplace Transformu V_q/s dir. Nihayet (4-28) ifadesinde bütün ilk şartlar sıfır alındığı takdirde

$$\theta(s) = \frac{-T_L(s) [\sum R_{qq} + s \sum L_{qq}] + \frac{60}{2X} k_{f1} i_{f1} \frac{V_q}{s}}{[\sum R_{qq} + s \sum L_{qq}] [Js + fs] + \left(\frac{60}{2X} k_{f1} i_{f1} \right)^2}$$

(4-30)

bulunur. Bunu blok diyagramı ile Şekil(4-29) daki gibi gösterebiliriz. (4-28) ve (4-29) zün ters transformu alınarak $i_q(t)$ ve $\theta(t)$ ifadeleri bulunur.



Şekil(4-6) Sabit bir gerilimle beslenen ve miline değişken bir gerilim uygulanan serbest ikazlı motorun blok diyagramı.

4.3 MOTORLARA İLİŞKİN UYGULAMA

Örnek: Şekil(4-7) de verilen şemada $R_{qq}=2$ ohm ve $L_{qq}+L_{cq}=0$ dır. T_L motorun miline tatbik edilen yük momentidir. θ acısal dönmeyi, J ataleti, $V_q(t)$ motora tatbik edilen momenti göstermektedir.

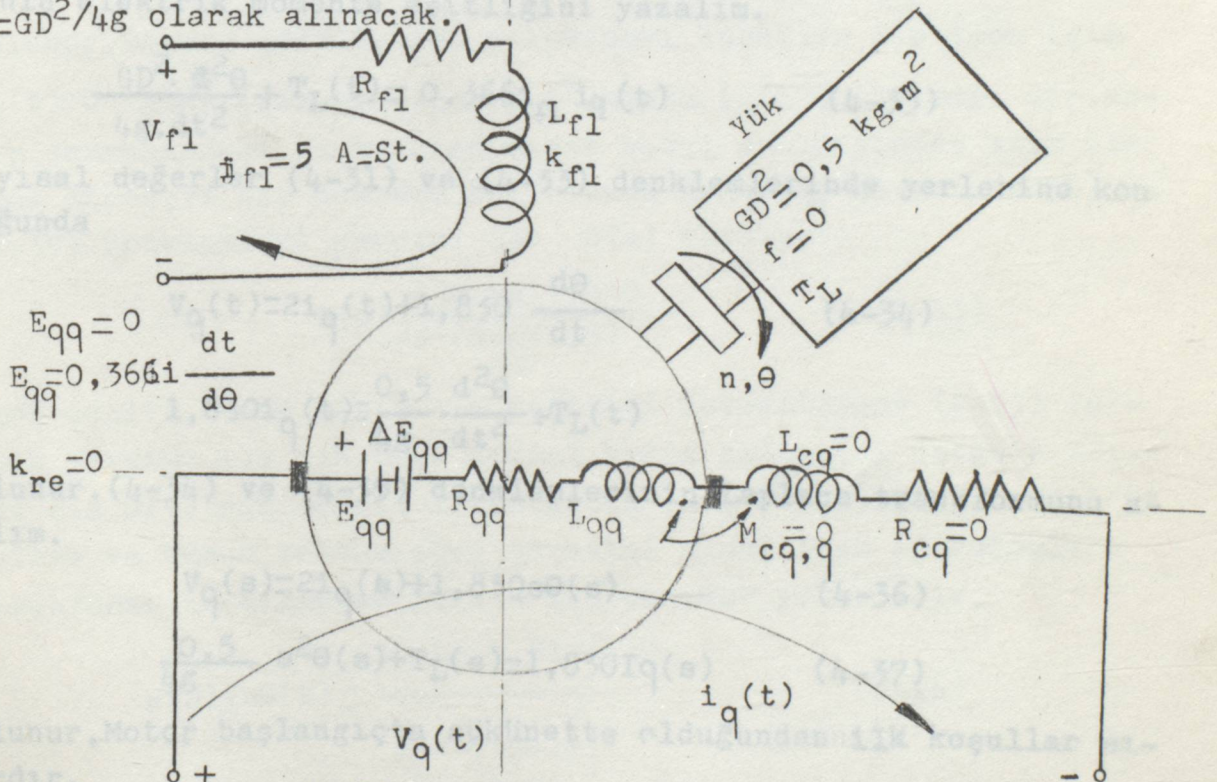
a) Sistemin denge denklemlerini $V_q(t)$ ve $T_L(t)$ nin zamanın bir fonksiyonu olması kabulü ile yapınız.

b) $T_L(t)=0$ kabul ederek $V_q(t)=230V$ =Sabit hali için makinanın hızının ve endüi akımının bulunuz.

c) $V_q=0$ ve $T_L=50$ Joule olduğuna göre (motor generetör olarak tersine dönüyor.) endüi akımı i_q yı ve $n(t)$ yi bulunuz.

d) $V_q=230V$ ve $T_L=50+50\cos\omega t$ olduğunda $d\theta/dt=W$ ve $i_q(t)$ yi bulunuz. Burada $\omega=1$ alınacak.

Bu örnekte motorun birinçi doğrusal bölgede çalıştığı, endüi reaksiyonunun doyma EMK sı ΔE_{qq} ve kalıcı mıknatısiyet gerilim katsayısı k_{re} nin sıfır olduğu kabul edilecektir. Ayrıca GD^2 , $kg.kütle.m^2$ yerine $kg.kuvvet.m^2$ olarak verildiğinden $J=GD^2/4g$ olarak alınacak.



Şekil(4-7) ye ilişkin örnek. Serbest uyarmalı bir doğru akım motorunun bir iş makinesini tahrik etmesi ne ilişkin şema.

a) Bu kısımda motorun miline genel olarak değişken $T_L(t)$ moment ve endüisine değişken bir $V_q(t)$ gerilimi tatbik edildiğinden sistemin dinamik denge denklemleri istenmektedir. Motorun endüi enine eksen devresinde Kirchhoff gerilim denklemini tatbik edelim.

$$\begin{aligned} V_q(t) &= R_{qq} i_q(t) - E_{qq} \\ &= R_{qq} i_q(t) + 0,366 i_{f1} \frac{d\theta}{dt} \end{aligned} \quad L_{cq} + L_{qq} = 0 \quad (4-31)$$

olur. Elektromekanik moment denklemlerini yazmak üzere ilk önce verilen problem için moment ifadesini bulalım. Örneğimizde endüi reaksiyonunun doyma etkisi ΔE_{qq} EMK sı ihmal edildiğinden dolayı

$$T_e = E_{qq} \frac{i_q}{d\theta/dt} = 0,366 i_{f1} \frac{d\theta}{dt} \cdot \frac{i_q}{d\theta/dt} \quad (4-32)$$

bulunur. Şimdi dinamik denge için, direnç momentlerinin toplamının elektrik momente eşitliğini yazalım.

$$\frac{GD^2}{4g} \frac{d^2\theta}{dt^2} + T_L(t) = 0,366 i_{f1} i_q(t) \quad (4-33)$$

sayısal değerler (4-31) ve (4-33) denklemlerinde yerlerine konduğunda

$$V_q(t) = 2i_q(t) + 1,830 \frac{d\theta}{dt} \quad (4-34)$$

$$1,830 i_q(t) = \frac{0,5}{4g} \frac{d^2\theta}{dt^2} + T_L(t)$$

bulunur. (4-34) ve (4-35) denklemlerinin Laplace transformunu alalım.

$$V_q(s) = 2i_q(s) + 1,830 s\theta(s) \quad (4-36)$$

$$\frac{0,5}{4g} s^2\theta(s) + T_L(s) = 1,830 I i_q(s) \quad (4-37)$$

bulunur, Motor başlangıçta sükunette olduğundan ilk koşullar sıfırdır.

b) Yük moment $T(t) = 0$ alınıp $V_q(t) = 230$ V = Sabit tutulduğunda (4-36) ve (4-37) denklemlerinden

$$230/s = 2I_q(s) + 1,830s\theta(s) \quad (4-38)$$

$$0,5/4g \ddot{\theta}(s) = 1,830I_q(s) \quad (4-39)$$

elde olunur. (4-39) denklemlerinden $\theta(s)$ çözülür ve (4-38) de yerine konursa $I_q(s)$ için

$$230/s = 2I_q(s) + 1,830s \frac{4g1,830I_q(s)}{0,5s^2} \quad (4-40)$$

bulunur, Basitleştirmeler yapar ve (4-40) denklemini $I_q(s)$ için çözersek

$$I_q(s) = \frac{1/s}{s + 131,9} \quad (4-41)$$

olur. (4-41) ifadesinin ters Laplace transformunu alırsak

$$i_q(t) = 115 \cdot e^{-131,9t} \quad (4-42)$$

bulunur. Burada görülüyorki yukarıdaki kabuller ile $t \rightarrow \infty$ için $i_q(t) = 0$ dir. Diğer taraftan $t = 0^+$ anında $i_q(0^+) = 115$ Amp. dir. Motor devresindeki özendüklem sıfır kabul edildiğinden akım ilk anda dirençli bir devrede ani olarak değişmiş oluyor. (4-38) ve (4-39) denklemleri yardımı ile $\theta(s)$ çözülürse

$$\theta(s) = \frac{230 \cdot 4g \cdot 1,830}{s^2(s + 131,9)} \quad (4-43)$$

elde edilir. Dönme sayısının değişimi istendiğinde (4-43) formülü yardımı ile ilk önce acısal hızın bulunması istenir. Acısal hız $\omega(t)$ nin türevi alındığında (4-43) ifadesinden $\omega(t)$ yi bulmak ve bunun zamana göre türevini almak içab eder. Laplace transformu kurallarına göre s ile çarpmak yeterlidir.

$$w(s) = s\theta(s) = \frac{230 \cdot 4g \cdot 1,830}{s(s + 131,9)} \quad (4-44)$$

elde edilir. (4-44) ifadesinin ters Laplace transformu

$$w(t) = 125,6 - 125,6e^{-131,9t} \text{ radyan/s} \quad (4-45)$$

olarak bulunur. Ve motorun devir sayısı değişimide

$$n(t) = 60/2\pi(125,6 - 125,6e^{-131,9t}) \quad (4-46)$$

$$n(t) \cong 1200 - 1200e^{-131,9t} \quad (4-47)$$

Yukarıdaki kullanılan 4g terimi moment biriminin Jole olarak alınmasından kaynaklanmaktadır. O halde mekanik momentinde Joule cinsinden verilmesi lazımdır. Bunun için (J) atalet momentinin biriminin Joule.san² olarak verilmesi lazımdır, $g=9,81$ m.san⁻² ve GD^2 ninki kgm^2 (kg kuvvet m^2) olduğundan $GD^2/4g$ nin birimi Joule.san² olmuş olur. GD^2 kg(kütle).m² olarak verildiği zaman J sadece $GD^2/4$ dir.

c) Bu kısımda motorun miline dışardan bir tahrik momenti tatbik edildiğinden ve motorun uçları kısa devre edildiğinden bir generetör gibi çalışır. Endüi akımının yönü aksedilmiş olur Bu durumda $V_q(t)$ nin sıfır alınması lazımdır. Generetör miline tatbik edilen moment = Elektrik moment + atalet momentinin momenti

$$50 = 1,830i_q(t) + \frac{0,5}{4g} \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} \quad \text{Joule} \quad (4-48)$$

$$E_{qq} = 1,830 \frac{d\theta}{dt} = R_{qq}i_q(t) = 2i_q(t) \quad \text{Volt} \quad (4-49)$$

bulunur. (4-48) ve (4-49) denklemlerinin Laplace transformu (ilk lk şartları sıfır alarak)

$$50/s = 1,830I_q(s) + \frac{0,5}{4g} s\theta(s) \quad (4-50)$$

dir. $I_q(s)$ yi çözersek

$$I_q(s) = \frac{50 \cdot 4g \cdot 1,830}{s(s+131,9)} \quad (4-51)$$

olur. Bunun ters transformunun alırsak

$$i_q(t) = 27,3 - 27,3e^{-131,9t} \quad (4-52)$$

olarak bulunur. Aynı denklemden $\theta(s)$

$$\theta(s) = \frac{2 \cdot 50}{1,83} \cdot \frac{4g \cdot 1,83}{s + 4g(1,83)^2} \cdot \frac{1}{s^2} \quad (4-53)$$

olur. (4-53) formülü yardımı ile acisal hızın ters Laplace Trans

formunu bulabiliriz. Bu ifadeyi s ile carparsak

$$w(s) = s\theta(s) = \frac{2.50.4g}{s(s+131,9)} \quad (4-54)$$

$$w(t) = 29,9 - 29,9e^{-131,9t} \text{ radyan/saniye}$$

olur. Acısal hızın ifadesini kullanarak dönme sayısının zamana göre değişimi

$$n(t) = \frac{60}{2\pi} w(t) = \frac{60}{2\pi} (29,9 - 29,9e^{-131,9t}) \text{ d/dak}$$

d) Bu kısım için (4-36) ve (4-37) denklemlerini dikkate alalım. $T_L(t)$ momentinin Laplace transformu

$$T_L(s) = \frac{50}{s} + \frac{50s}{s^2 + \Omega^2} \quad (4-55)$$

dir. (4-55) ifadesini (4-37) denkleminde yerine koyarsak

$$\frac{0,5}{4g} s^2 \theta(s) + \frac{50}{s} + 50 \frac{s}{s^2 + \Omega^2} = 1,830 I_q(s) \quad (4-56)$$

ve (4-36) denkleminde $V_q(s) = 230/s$ koyarak

$$230/s = 2I_q(s) + 1,830s\theta(s) \quad (4-57)$$

denklemini elde edilir. (4-56) ve (4-57) denklem sisteminin determinantı

$$\Delta(s) = \begin{vmatrix} \frac{0,5}{4g} s^2 & -1,830 \\ 1,830s & 2 \end{vmatrix}$$

$$\Delta(s) = \left[\frac{1}{4g} s + (1,83)^2 \right] \cdot s$$

dir. $\theta(s)$ ve $I_q(s)$ için

$$\Theta(s) = \frac{(1,83 \cdot 230 - 100)(s^2 + \Omega^2) - 100s^2}{s[s/4g + (1,831)^2] s(s^2 + \Omega^2)}$$

$$H(s) = \frac{\left(\frac{0,5}{4g} s^2 \cdot 230 - 50\right)(s^2 + \Omega^2) + 50 \cdot 1,830s^3}{s[s/4g + (1,83)^2] s(s^2 + \Omega^2)}$$

bulunur. $4g = 4 \cdot 9,81$ ve $\Omega = 1$ koyarak $s\Theta(s) = w(s)$ nin ters trasfor mu $w(t)$ ile $i_q(t)$ bulunur.

4.5 SONUÇ

Bir dinamik sistemin davranışını belirten değişkenler zamanla değişmiyor yada zamanın bir periyodik fonksiyonu iseler dinamik sistem sürekli haldedir denir. Eğer dinamik sistem sürekli halde değilse, geçici haldedir.

Sürekli rejimi meydana getiren E.M.K ler devreye sokulduğunda sürekli rejime belirli bir zaman zarfında ulaşılır. Sürekli rejime varılmadan önce geçici rejim meydana gelir.

Geçici rejim olayları elektrik motorlarının faydalarını çoğu kez önemli ölçülerde sınırlarlar. Motorun harekete geçmesi geçici hal için bir örnektir. Mekaniki bakımdan hareketsiz olan rotor sürekli hareketli hale geçer. Bu süre zarfında motor elektriksel olarak geçici haldedir.

Elektrikle tahrikte geçici rejim olaylarının etüdü büyük bir önem taşır. Etüdün sağlıklı olması durumunda iş makinasına uygun bir elektrik motoru seçilir. Uygun elektrik motoru işletme anında aşağıdaki özellikleri arzeder.

1- Motor momenti çalışma esnasında raslanacak en büyük mukavim momenti verebilecek büyüklükte olmalıdır.

2- Motorun gücü o büyüklükte olmalıdır ki motor yüklendiği zaman müsaade edilen sıcaklığa erişsin, fakat bu sıcaklığı hiç bir zaman aşmasın. Aştığı taktirde motor küçük seçilmiş demektir. Bu şekilde çalışma motorun yanmasına sebep olur. Şayet mo-

tor müsaade edilen sıcaklığa erişmiyorsa büyük seçilmiştir. Bu durumda lüzumundan büyük motor alındığı için maliyet pahalı olur. Sonra kısmi yüklerde özellikle bilezikli asenkron motorlarda fena bir verim ve düşük bir $\cos \phi$ elde edilir.

Dinamik sistemlerde geçici rejim olaylarının kontrolü ve devam süresinin minimuma indirilmesi için, bu olayların etüdünü detaylı bir şekilde yapmak gerekir. Geçici olayların incelenmesi mühendislik bakımından önemli bir konu olup, bunların hesabı çok kere uzun uğraş ve deneyimleri gerektirmektedir.

KAYNAKLAR

ELEKTRİKLE TAHRİK DERS NOTLARI
ELEKTRİK MOTORU İLE TAHRİK
ÇEVİREN
DOĞRU AKIM MAKİNALARININ
GEÇİCİ REJİMLERİ
ELEKTRİĞİN SANAYİE UYGULANMASI
ELEKTRİKTE GEÇİCİ OLAYLAR
ÇEVİREN
ELEKTRİKLE TAHRİK
LİNEER SİSTEMLERDE GEÇİCİ
OLAYLAR
ÇEVİREN
GENELEELEKTROTEKNİK DERSLERİ
ÇEVİREN
DOĞRU AKIM MAKİNALARININ
STABİLİTESİ VE GEÇİCİ REJİM
LERİNİN ETÜDÜ(Doktora Tezi)
ELEKTRISCHE MASCHINEN BAND I
SPRINGER VERLAG

Prof.Dr.Atif URAL
M.G.TSCHILIKIN
Prof.Y.Müh.Kemal HALICI
Prof.Dr.M.Kemal SARIOĞLU
Prof. Kemal HALICI
Reinhold RÜDENBERG
Prof. M.Münir ÜLGÜN
Prof.Y.Müh.Emin ÜNALAN
Murray F. GARDNER
John L. BARNES
Prof. Hasan ÖNAL
J. FALLAU
Prof. Osman İKİZLİ
M. Kemal SARIOĞLU
R. RICHTER

ÖZGEÇMİŞİM

1960 yılında Mardin'de doğdum. İlk, Orta ve Lise tahsilimi bu ilde yaptım. Üniversite öğrenimine Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesine bağlı İnşaat Mühendisliği bölümünde başladım. Bu mesleğe tam olarak ilgi duymama ve çeşitli nedenlerden dolayı tekrardan Üniversite sınavlarına girip İ.T.Ü' sine bağlı Elektrik Fakültesine girdim. 23/10/1985 tarihinde bu Fakülteden Elektrik Mühendisi olarak mezun oldum.

Yüksek Lisans öğrenimi için Yıldız Üniversitesine bağlı Fen Bilimleri Enstitüsünün Elektrik Mühendisliği kısmına girdim. Yüksek Lisans Derslerini seçerken, özel ilgi duyduğum Elektrikle tahriki ilgilendiren dersleri seçip yüksek bir başarı notu ile bu dersleri verdim. İş hayatına T.E.K Keban İşletme Grup Müdürlüğü bünyesinde başladım. Halen bu görev ile birlikte tez çalışmamı devam ettirmekteyim.

Ocak 1988

Süleyman ADAK

