

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAĞIT ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN BOBİN KESME
MAKİNESİNİN İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ**

Elektrik Müh. Cahit AKPINAR

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Selahattin DİNLER (YTÜ)

İSTANBUL, 2011

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMALAR	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAĞIT BOBİNİ KESME MAKİNESİ	4
2.1 Yüzeyden Sarmalı Kağıt Bobini Kesme Makinesi	4
2.2 Merkezden Sarmalı Kağıt Bobini Kesme Makinesi	6
2.3 Merkez ve Yüzeyden Sarmalı Kağıt Bobini Kesme Makinesi	7
3. İKİ TAMBURLU KAĞIT BOBİNİ KESME MAKİNESİ BLOKLARI.....	8
3.1. Sarılan Rulo	9
3.1.1 Gergi	9
3.1.2 Baskı kuvveti	11
3.1.3 Tork.....	13
3.2 Tamburlar	14
3.2.1 Arka tambur	16
3.2.2 Ön tambur	16
3.3 Baskı Silindiri	16
3.4 Kesiciler	19
3.5 Çapak Fanı	20
3.6 Öncü Silindir.....	20
3.7. Kesici Öncesi ve Kesici Sonrası Germe Silindiri	21
3.8. Açılan Rulo	21
4. ÖLÇÜMLER	24
4.1 Gergi Ölçümü	24
4.1.1 Yük Hücreleri	24
4.1.2 Oynar Silindir	26
4.2 Sıklık Ölçümü.....	27
4.2.1 Rhometre.....	28
4.2.2 Parotester	28
5. RULO SARIM HATALARI	30
5.1 Zayıf Başlangıçlı Rulo Sarımları	30
5.2 Çekirdek Hataları.....	31

5.3	Yırtık ve Kırışiklıklar	32
5.4	Rulo Kenar Bozuklukları	33
5.5	Teleskopik Rulo	33
5.6	Rulo apakları	34
5.7	Yıldız Rulo	34
5.8	Bıçak Halkaları	35
6.	İKİ TAMBURLU KAĞIT BOBİNİ KESME MAKİNESİ MATEMATİKSEL MODELİ	36
6.1	İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Motor ve Sürücülerini	38
6.1.1	DA Motorları	41
6.1.2	DA Motor Sürücülerini	45
6.1.3	AA Motorları	47
6.1.4	AA Motor Sürücülerini	50
6.2	İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli	54
6.2.1	DA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli	57
6.2.2	AA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli	63
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	69
	KAYNAKLAR	71
	EKLER	73
Ek 1	AA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli	74
Ek 2	AA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Resimleri	80
Ek 3	DA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli	82
Ek 4	DA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Resimleri	88
	ÖZGEÇMİŞ	89

SİMGE LİSTESİ

b	Vizkos sürtünme katsayısı
d_k	Kağıt yoğunluğu
E_a	Zıt elektro motor kuvvet
E_k	Elastiklik katsayısı
F_{bs}	Baskı silindiri kuvveti
F_g	Gergi kuvveti
f_r	Rotor frekansı
f_s	Stator frekansı
H_g	Kağıt hattı genişliği
i	Çevirme oranı
I_a	Armatür akımı
I_f	Uyarma akımı
$J_{aç}$	Açılan rulo ataleti
J_m	Motor ataleti
J_{mil}	Mil ataleti
J_{sr}	Sarılan rulo ataleti
J_{tbr}	Tambur ataleti
J_{tpn}	Tampon ataleti
k_l	Sabit
k_f	Tork sabiti
k_k	Kağıt kalınlığı
k_{seri}	Seri motor sabiti
$k_{şönt}$	Şönt motor sabiti
L_a	Armatür endüktansı
L_f	Uyarma endüktansı
L_r	Rotor endüktansı
L_s	Stator endüktansı
n	Devir sayısı
N	Asenkron motor eşdeğer devresi dönüştürme oranı
$N_ç$	Çıkış devir sayısı
N_g	Giriş devir sayısı
n_r	Rotor devir sayısı
n_s	Stator devir sayısı
p	Motor çift kutup sayısı
P	Güç
R_a	Armatür direnci
$r_{aç}$	Açılan rulo yarıçapı
r_{bs}	Baskı silindiri yarıçapı
R_f	Uyarma direnci
r_{mil}	Mil yarıçapı
R_r	Rotor direnci
r_{rlm}	Rulman yarıçapı
R_s	Stator direnci
r_{sr}	Sarılan rulo yarıçapı
r_{tbr}	Tambur yarıçapı
r_{tpn}	Tampon yarıçapı
s	Dalga sayısı
$T_{aç,atalet}$	Açılan rulo atalet torku
$T_{aç,elektrik}$	Açılan rulo elektrik torku
$T_{aç,sürtünme}$	Açılan rulo sürtünme torku

T_{bs}	Baskı silindiri torku
T_{coul}	Coulomb sürtünme torku
T_g	Gergi torku
$T_{m,atalet}$	Motor atalet torku
$T_{m,sürtünme}$	Motor rulo sürtünme torku
$T_{sr,atalet}$	Sarılan rulo atalet torku
$T_{sr,elektrik}$	Sarılan rulo elektrik torku
$T_{sr,sürtünme}$	Sarılan rulo sürtünme torku
V_a	Armatür gerilimi
$V_{d\alpha}$	Doğrultucu çıkış gerilimi
$V_{d\lambda}$	Doğrultucu akım kısıyıcısı çıkış gerilimi
V_f	Uyarma gerilimi
v_{hh}	Kağıt hat hızı
V_m	Stator sargılarının gerilimi
V_r	Rotor sargılarının gerilimi
V_s	Stator sargılarına uygulanan gerilim
V_t	Giriş gerilimi
$w_{aç}$	Açılan rulo açısai hızı
w_r	Rotor açısai hızı
w_s	Stator açısai hızı
X	Reaktans
Q	Rulmana uygulanan kuvvet
μ	Sürtünme kat sayısı
τ	Asenkron motor sürtünme katsayısı
γ	Rulman sürtünme katsayısı
α	Tetikleme açısı
λ	Bağıl iletim süresi
q	Faz sayısı
π	Pi sayısı
η	Verim
Φ	Faydalı alan akısı
\emptyset	Stator manyetik akısı

KISALTMALAR

AA	Alternatif akım
Emk	Elektro motor kuvvet
DA	Doğru akım
PLC	Programlanabilir lojik kontrolcü

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Kağıt üretim şeması	1
Şekil 2.1	Tek tamburlu yüzeyden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi.....	4
Şekil 2.2	İki tamburlu yüzeyden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi temel kısımları	5
Şekil 2.3	Arka ve ön tambur yük paylaşımı grafiği	5
Şekil 2.4	Merkezden sarmalı kağıt bobini kesme makineleri	7
Şekil 2.5	Merkez ve yüzeyden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi	7
Şekil 3.1	İki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi tipleri	8
Şekil 3.2	İki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi kağıt hattı tipleri.....	9
Şekil 3.3	Kağıt türü gerginlik değerleri	10
Şekil 3.4	Sarılan rulo yoğunluk grafiği.....	11
Şekil 3.5	“J Hattı” kayması.....	12
Şekil 3.6	Baskı kuvveti değişimi	13
Şekil 3.7	Kağıt sarım yönleri	14
Şekil 3.8	Arka ve ön tambur tork farkı	15
Şekil 3.9	Baskı silindiri.....	17
Şekil 3.10	Baskı silindiri kuvveti.....	17
Şekil 3.11	İki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi bıçakları	20
Şekil 3.12	Germe silindirleri.....	21
Şekil 3.13	DA motoru çalışma bölgeleri	23
Şekil 3.14	AA motoru çalışma bölgeleri	23
Şekil 4.1	Yük hücresi.....	25
Şekil 4.2	Oynar silindir	27
Şekil 4.3	Rhometre - RhoHammer.....	28
Şekil 4.4	Parotester	29
Şekil 5.1	Çekirdek hataları.....	31
Şekil 5.2	Rulo kenar bozuklukları	33
Şekil 5.3	Teleskopik rulo	34
Şekil 5.4	Yıldız rulo.....	35
Şekil 6.1	Matematiksel model akış diyagramı	36
Şekil 6.2	Motor mekanik sistemi	41
Şekil 6.3	Şönt sarımlı DA motoru	42
Şekil 6.4	DA motor modeli.....	44
Şekil 6.5	AA motoru eşdeğer devresi,	49
Şekil 6.6	İki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi AA sürücü konfigürasyonu	52
Şekil 6.7	Asenkron motor tork karakteristiği.....	53
Şekil 6.8	İki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi hat hızı – zaman grafiği	55
Şekil 6.9	DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi blok diyagramı.....	59
Şekil 6.10	DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi elektriksel tork blok diyagramı	61
Şekil 6.11	DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu grafikleri.....	62
Şekil 6.12	AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi blok diyagramı.....	64
Şekil 6.13	AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi elektriksel tork blok diyagramı	66
Şekil 6.14	AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu grafikleri.....	67

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1	Arka ve ön tambur yük paylaşımı.....	15
Çizelge 6.1	DA motoru komutatör hız değişimi... ..	45
Çizelge 6.2	Üretim hattı verileri.....	58
Çizelge 6.3	DA motorlu iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi teknik verileri.....	58
Çizelge 6.4	Üretim hattı verileri.....	63
Çizelge 6.5	AA motorlu iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi teknik verileri.....	63

ÖNSÖZ

Bu çalışmada kağıt endüstrisinde kullanılan bobin kesme makinalarının yapıları, uygulama alanları ve matematiksel modeli verilmiştir. Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak oluşturulan modelle birlikte kağıt gerginliğinin tahmini simülasyonu yapılmıştır.

Ayrıca çalışmalarımda beni yönlendiren ve yardımını esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Selahattin DİNLER'e teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak tezin oluşumu sırasında bana destek olan Ürün Tasarımcısı İrem ÇELİK ve aileme sabırları, güvenleri ve desteklerinden dolayı sonsuz teşekkür ederim.

Yapılan bu tezin kağıt endüstrisi makineleri üzerine yapılacak çalışmalara kaynak olması dileğiyle

ÖZET

Bu çalışma, ülkemiz kağıt sektörünün mevcut halini geliştirmek ve teknoloji üretme yeteneğini yükseltmek amacıyla kağıt üretim hattının önemli bir parçası olan kağıt kesim süreci üzerinedir. Bu bağlamda kağıt endüstrisinde kullanılan iki tamburlu bobin kesme makinelerinin yapıları incelenmiş ve gergi değerini elde etmek için matematiksel modeli çıkartılmıştır.

Bu araştırmada, sürekli hareket ve dar toleranslar içinde gerçekleştirilen, kağıt kesim işleminin sorunları üzerinde durularak, kaliteyi arttırmak amaçlanmaktadır. Ayrıca analog işlemlerle beraber matematiksel hesapların yoğun olarak kullanıldığı kağıt kesim süreci otomasyon ve kontrol açısından geliştirilmiştir.

Model kurulurken kağıt rulolarının açılması ile sarılması esnasındaki değişkenlerden faydalanılarak iki farklı gerginlik değeri tahmini yapılmış ve teorik veriler daha sonra pratik uygulamada elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

Gerginlik tahmininin simülasyonunda Matlab/Simulink yazılımından faydalanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kağıt kesme makinası, İki tamburlu bobin kesme makina modeli, Gerginlik kontrolü

ABSTRACT

This study focuses on examining the paper cutting process which is regarded as a crucial part in the paper cutting production line is analyzed in order to improve the current situation of paper industry and increase the ability of creating new technologies. In this context, the structure of two drum winding machines used in paper industry was investigated and mathematical modeling was created to obtain the tension value.

In this research, it is aimed to develop operational quality by focussing the problems of paper cutting process that is occurred within permanent motion and minimum tolerance.

Furthermore, paper cutting process in which analog operations and mathematical calculations are used intensely is developed in terms of control and automation.

While the model is being created, two different tension values is estimated with the help of variables that were acquired during the the winding and unwinding processes. Finally' theoretical datas were compared with applied datas which were obtained from real application.

In this study, in the estimation of the value of the tension, Matlab Simulink software was used.

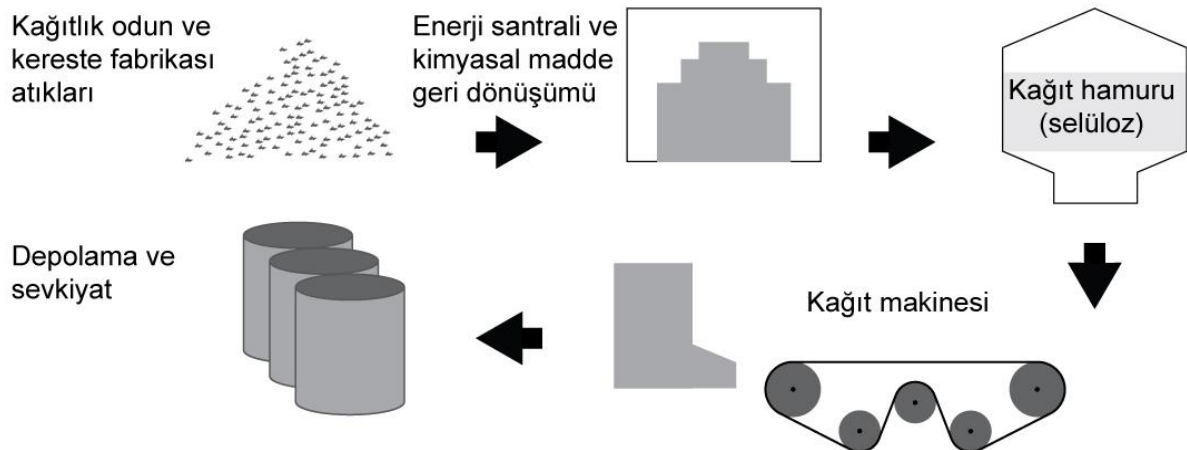
Keywords: Paper cutting machine, Two drum winder machine modelling, Tension Control

1.GİRİŞ

Kağıt, kültürel ve sosyal alandaki yeri ile yıllar boyunca insanlığın en önemli ihtiyaç maddelerinden biri olmuştur. İlk yazılar taşlar üzerine yazılırdı. Daha sonra insanlığın gelişimiyle ağaç kabukları, kurutulmuş hayvan derileri, mum kaplanmış tahta parçaları kullanıldı. M.Ö 2500–2000 yılları arasında, Nil nehri kenarında büyüyen uzun saz ağaçlarından, papirüs adı verilen kağıt yapılmaya başlandı. Bugün kullanılan hali ile kağıdın kimin tarafından bulunduğu kesin olarak bilinmemekle birlikte, binlerce yıl önce Çin’de Ts’ai Lun adındaki bir memurun ağaç kabuğu, kenevir ve kumaş parçalarını ezip presleyip daha sonra kurutarak kağıdı icat ettiği varsayılmaktadır. Zamanla kağıt daha yeni metotlarla üretilmiş ve 18.yy.’ da Fransız Nicholas-Louis Robert ilk kağıt makinesini yapmıştır. Bu makine geniş bir kayışın dönerek fiçidaki hammadde lapasını aldığı ve ince bir kağıt haline getirdiği, her dönüşte sadece bir kağıt üretebilen basit bir makinedir. Silindirli makine ise 1809 yılında John Dickinson tarafından bulunmuştur.

Dünya üzerindeki gelişmelere paralellik göstererek Türkiye’de kağıt sanayisi sürekli bir gelişme göstermiştir. Bazı kaynaklara göre İstanbul’da Bizans’tan kalma bir kağıt fabrikasının bugünkü Kağıthane semtinde bulunduğu ve orada belli aralıklarla kağıt üretiminin yapıldığı varsayılmaktadır. Fakat Türkiye’de varlığı kesin olarak belgelenebilen ilk kağıt fabrikası, İbrahim Müteferrika tarafından ilk Türk matbaasının kurulmasıyla artan kağıt ihtiyacını temin etmek için 1744 yılında Yalova’da kurulmuştur. Burada birçok cins kağıt imal edilmiştir. Fakat Avrupa kağıtlarıyla rekabet edemediğinden, Yalova kağıt fabrikası bir süre sonra kapanmıştır.

Kağıt-karton üretimi, kağıt hamurunun hazırlanması, hazırlanan hamurun kağıt makinesi öncesi işlemleri ve kağıt makinesi bölümlerini kapsamaktadır.(Şekil 1.1)



Şekil 1.1 Kağıt üretim şeması

Kağıt makinesi olarak adlandırılan üretim bölümü günümüzde tamamen insansız, robotik bir süreç olarak gerçekleştirilmektedir. Böylece üretim hatlarında tasarım, ergonomi ve güvenlik kriterleri en üst seviyede tutulmaktadır. Ayrıca yeni nesil makineler çok daha hızlı ve yüksek kapasiteli olduğundan, ürün kalitesi ve sürekliliği açısından da diğer teknolojilere göre üstündürler.

Kağıt makinesi bölümünde yer alan en kritik makinelerden birisi de kağıt bobin kesme makineleridir. Üretim hattının sonunda yer alan bu makineler sayesinde büyük boyutlu kağıt bobinlerinden daha küçük boyutlarda kağıt ruloları sağlanır.

Bu tez çalışmasında bobin kesme makinelerinin türevi olan iki tamburlu makine araştırma konusu olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmada bobin kesme makinesi ve yapıları genel olarak tanıtıldıktan sonra iki farklı motor kullanımı kontrol yöntemleriyle açıklanmış ve bobin kesme işlemi sırasında elde edilen veriler kullanılarak matematiksel model kurulmuştur. Sonuç bölümünde de oluşturulan matematiksel model ile gerçek gerginlik değerleri karşılaştırılmıştır. Böylece bobin kesme makinesinin gerginlik kontrolü sağlanarak, yük hücrelerinin sebep olacağı ölçüm problemlerinin önüne geçilmiştir.

İki tamburlu kağıt bobini kesme makineleri üzerine son yıllarda yapılmış öne çıkan makale, tez ve patent örnekleri tarih sırasıyla aşağıda özetlenmiştir.

Burgeson ve Crowford (1973), iki tamburlu kağıt bobini kesme makinelerinin tork kontrolü tekniklerini incelemiştir.

Ebler (1993), kağıt bobini kesme makinelerindeki kağıt hattı gergisinin ölçülmesini sağlayan sensörleri araştıran çalışmalar yapmıştır.

Fransen (1996), AA motorlarına sahip makinelerin sürücü ve doğrultucu sistemlerinin modernizasyonları hakkında bilgi vermiştir.

Knittel vd. (2001), sarım makineler için iki serbestlik dereceli H_∞ kontrolör tasarlayarak gergi kontrolünü gerçekleştiren uygulamalar yapmışlardır.

Koç vd.(2002), elastik malzemeli hatlara sahip sarım sistemlerinin matematiksel modelini kurarak kontrolünü geliştirmişlerdir.

Wei ve Wu (2004), laboratuvar ortamında geliştirdikleri sarım makinesi kontrolcüsünü simülasyon ortamında yenilemişlerdir.

Bettendorf (2005), sarım makinelerinin kontrol sistemi yazılımlarını test etmek amacıyla gerçek zamanlı simülasyonunu gerçekleştirmiştir.

Paanasalo (2005), yüzey kağıt bobini kesme makinelerinin kontrolü sağlanması için model kurulması ile ilgili tez çalışmasında bulunmuştur.

Äärinen (2006), iki tamburlu makineleri meydana getiren kısımları günümüze uygun hale getirerek, sarılan rulo kalitesini son kullanıcı için optimize etmiştir.

Carrasco ve Valenzuela (2006), iki tamburlu kağıt bobini kesme makinelerindeki kağıt hattı gergisini kontrol etmişlerdir.

2. KAĞIT BOBİNİ KESME MAKİNESİ

Kağıt fabrikalarında önemli yere sahip olan bobin kesme makineleri, belirlenen kalite planına göre üretilen ve gerekli kontrollerden geçen büyük kağıt rulolarını müşteri isteği doğrultusunda daha küçük ve çeşitli ebatlarda bobinler haline dönüştürür.

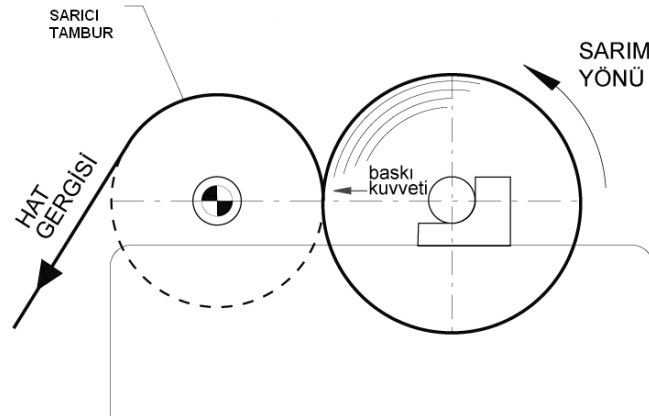
Bobin kesme makinesi sık başlatma durdurma hareketlerinde kontrol edilebilir olmalı ve devamlılık açısından kağıt üretim makinesinden yaklaşık 2 – 2,5 kat daha hızlı çalışmalıdır. Bundan dolayı yüksek devirli bobin kesme makinelerinde motor sürücülerini çok önemli rol oynamaktadır. Bobin kesme makinesinin sarma işlemine göre türleri aşağıda verilmiştir.

- Yüzeiden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi
- Merkezden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi
- Merkez ve yüzeiden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi

2.1 Yüzeiden Sarmalı Kağıt Bobini Kesme Makinesi

Yüzeiden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi, sarma işlemini rulo yüzeylerinden faydalanarak gerçekleştiren tek veya iki tamburlu makinelerdir. Bu tip makinelerde motorlar tamburlarda bulunur. Sarılan rulo için herhangi bir motor söz konusu değildir.

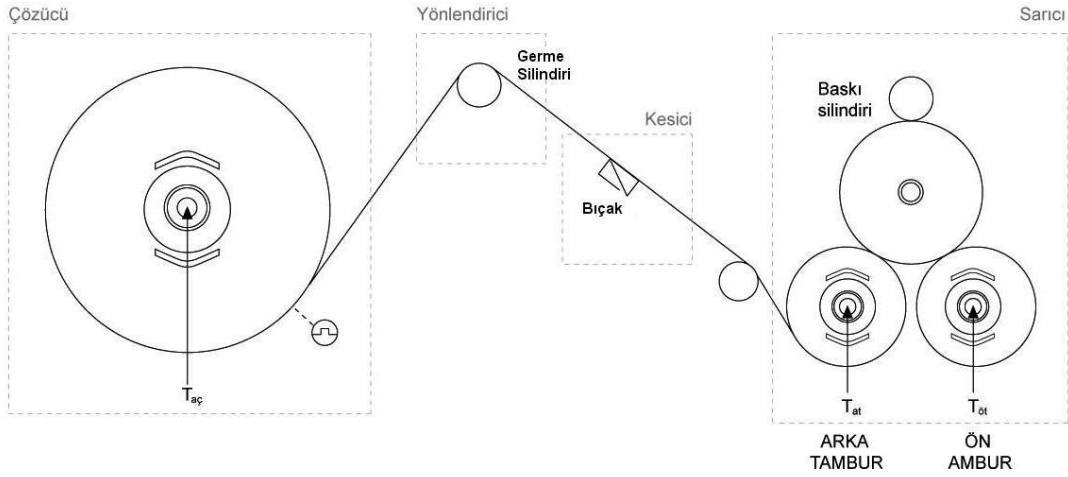
Tek tamburlu kağıt bobini kesme makineleri diğer türler ile karşılaştırıldığında en ucuz ve basit makinelerdir. Kontrol değişkenleri, kağıt hattı gergisi ve sarılan rulo üzerine uygulanan baskı kuvvetidir. Lakin gerginin katkısı göz ardı edilebilecek düzeydedir. Sarılan rulo konumu yatay olduğundan rulo ağırlığının sarma esnasında oluşan sarıcı tambur ve sarılan rulo arasındaki baskı kuvvetine etkisi yoktur. Merkezden sarmalı kağıt bobini kesme makinelerine göre daha az güce ihtiyaç duyar.



Şekil 2.1 Tek tamburlu yüzeiden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi

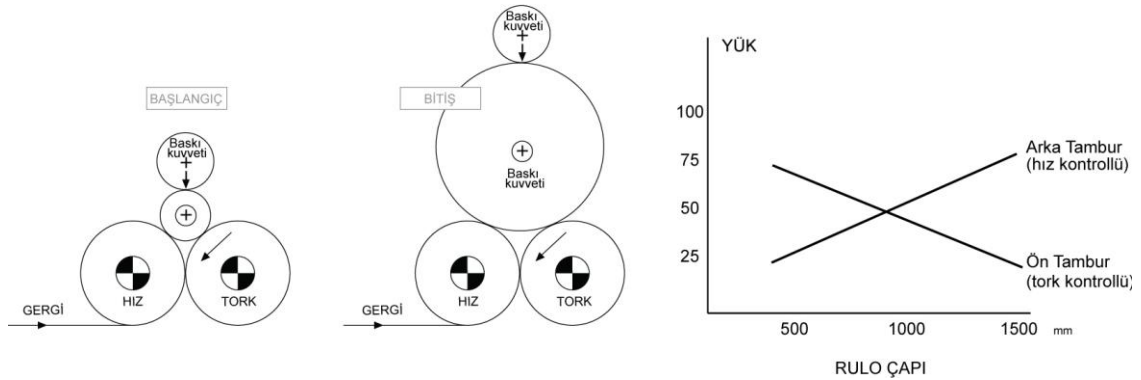
İki tamburlu yüzeyden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi tez boyunca üzerinde durulacak olan makinedir. Kontrol değişkenlerinin sayısı tek tamburlu makineden fazladır. Bunlar; gergi, baskı kuvveti ve motor torkudur. Büyük çaplı rulo sarım işleminde de kullanılan iki tamburlu makineler sarılan rulo sıklığı bakımından diğer makinelerden üstündür.

İki tamburlu makine sistemi temelde sarıcı, çözücü, kesici ve yönlendirici olmak üzere dört kısımdan oluşur. Makinenin çalışması esnasında, çözücü kısmında yer alan kağıt bobini sarıcı tarafından çekilerek istenen ebatlarda yeni kağıt ruloları sarılabilmektedir.



Şekil 2.2 İki tamburlu yüzeyden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi temel kısımları

Sarıcı bölüm, her biri ayrı sürücüye sahip olan iki adet tambur ve baskı silindirinden meydana gelir. Tamburlar, kağıdın geliş yönüne göre ön ve arka tambur olmak üzere adlandırılır. Kağıdın geldiği yönde bulunan arka tambur, hız modunda çalışarak makinenin hızını belirler. Ön tambur ise tork modundadır. Bu iki tamburun çalışma esası yük paylaşımına dayanır. Ön ve arka tamburda yük paylaşımı (Şekil 2.3), farklı ve eşit olabildiği gibi genel uygulamada ön tambur başlangıçta yükün 3/4' ünü, bitiş esnasında ise 1/4' ünü üzerine alır. Arka tambur ise yük paylaşımında tam tersi bir işleyiştir. Tamburlar istenen hızda dinamik dengeyi bozmayacak şekilde dengelidirler.



Şekil 2.3 Arka ve ön tambur yük paylaşımı grafiği

Sarıcı bölümde iki tamburun üst kısmında sarılan rulo çapına göre uyguladığı kuvveti ayarlayan baskı silindiri yer almaktadır. Baskı silindirinin, pnömatik, hidrolik ve servo motorlu tipleri vardır. Günümüz kağıt bobin sarma makinelerinin çoğunda servo motor kullanılmaktadır. İncelenen makinelerde ise hidrolik kontrollü baskı silindiri kullanılmıştır.

Çözücü, kesilecek kağıt bobininin yerleştirildiği bölümdür. Kağıt rulolarının çözümü sürücü ile kontrolü sağlanan fren jeneratörü ile yapılır. Tork modunda çalışan fren jeneratörü, çekme işlemi esnasında ters yönde frenleme yaparak istenen gergiyi sağlar.

Bobin kesme makinelerinin üzerinde, kesilecek kağıdın özelliğine göre jilet ve daire tipi bıçaklar yer almaktadır. Bu bıçaklar istenen genişliği sağlayacak şekilde konumlandırılabilir. Bıçakların konum sabitlemesini sağlamak için pnömatik kilitler bulunur.

Kağıdın makine içinde kolayca ve kopmadan ilerlemesini sağlayan yönlendirici kısımdır. Bu kısım, öncü silindir, çapak fanı, yük hücreleri, bıçak öncesi ve sonrası germe silindirlerini kapsar.

İki tamburlu kağıt bobini kesme makinelerinin kontrolü günümüzde genellikle PLC ile yapılmakta ve dokunmatik ekranlı operatör panoları daha hızlı ve daha kolay kontrol imkanı sağlamaktadır.

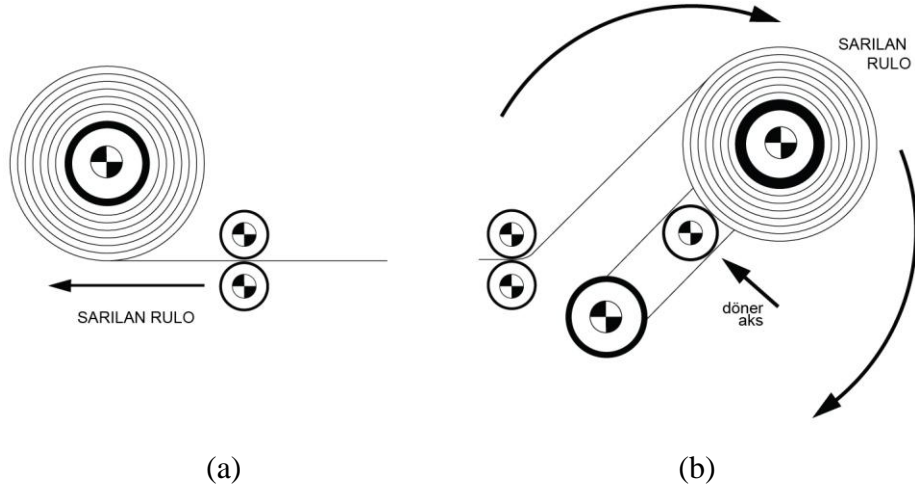
2.2 Merkezden Sarmalı Kağıt Bobini Kesme Makinesi

Merkezden sarmalı bobin kesme makinelerinde, kağıt motor tarafından çevrilen mil etrafında sarılır. Merkezden sarmalı makinelerde kullanılan kağıt yumuşak ve hafiftir. Dolayısıyla sarılan ruloyu kontrol eden güçlü motor ile sağlanan gergi de kağıda paralel olarak düşük değere sahiptir. Baskı silindirine sahip olmaları durumunda kontrol değişkeni olarak gergi ile beraber baskı kuvveti kullanılır.

Bu tip makineler sarılan rulo içine giren havayı kontrol ederek sarımlar arasındaki boşluk esnekliğini ayarlarlar. Bu sayede sarımlar arasına giren hava azaltılarak ince kağıtlar için motor hızı artırılır. Büyük çaplı ruloların sarımı için uygun olmayan bu makinede üretilen ruloların çapları küçüktür.

Merkezden sarmalı kağıt bobini kesme makinelerinin hem sabit, hem de konum değiştiren türleri vardır. Hareketli türe örnek döner makinelerdir. Döner kağıt bobini kesme makineleri bir mil etrafında sarılan rulonun sarım işlemini devam ettirirken diğer mili hazırda bekleten döner aks üzerindeki iki veya daha fazla merkez sarıcıdan oluşur. (Şekil 2.4) İstenen çaptaki

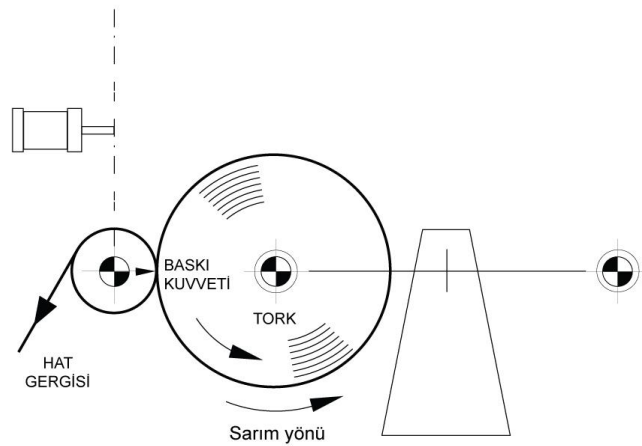
sarılan ruloya ulaşılmasıyla kağıt hattı bıçak tarafından kesilir ve kağıt boş mile tutturularak yeni sarma işlemine geçilir.



Şekil 2.4 (a) Merkezden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi,
(b) Döner kağıt bobini kesme makinesi

2.3 Merkez ve YüzeYden Sarmalı Kağıt Bobini Kesme Makinesi

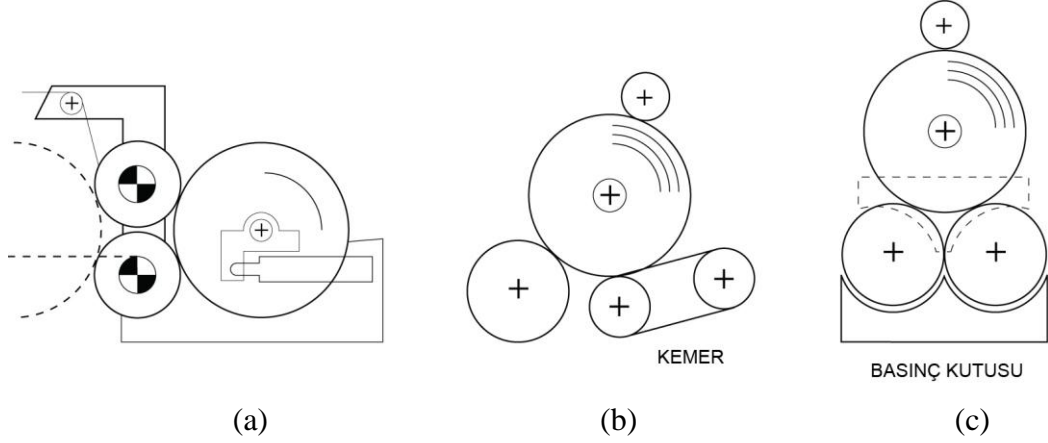
Sadece sarılan ruloda motora sahip makineler merkez, sadece tamburda motora sahip makineler ise yüzey sarıcılarıdır. Merkez ve yüzeyden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi ise hem sarılan rulonun hem de tamburun ayrı motorlarla kontrol edilebildiği makinelerdir. Bu makineler pahalı oldukları için nadir olarak kağıt üretiminde kullanılırlar ve büyük gergi değerine ihtiyaç duyan kağıt hatları için uygundurlar. Sarılan rulo sıklığı için temel kontrol değişkeni olarak gergi, tork ve baskı kuvvetini kullanırlar.



Şekil 2.5 Merkez ve yüzeyden sarmalı kağıt bobini kesme makinesi

3. İKİ TAMBURLU KAĞIT BOBİNİ KESME MAKİNESİ BLOKLARI

Endüstride, kullanılan kağıt türüne göre değişen, çeşitli üretim proseslerinde, farklı sarıcı ve çözücü teçhizatlarına sahip kağıt bobini kesme makineleri kullanılır. Bu çalışmada, yüzey sarıcıları olarak adlandırılan yatay iki tamburlu tip makine irdelenecektir. Mevcut diğer iki tamburlu bobin kesme makinelerine örnek olarak; dikey iki tamburlu, kemerli ve hava enjeksiyonlu modeller verilebilir.



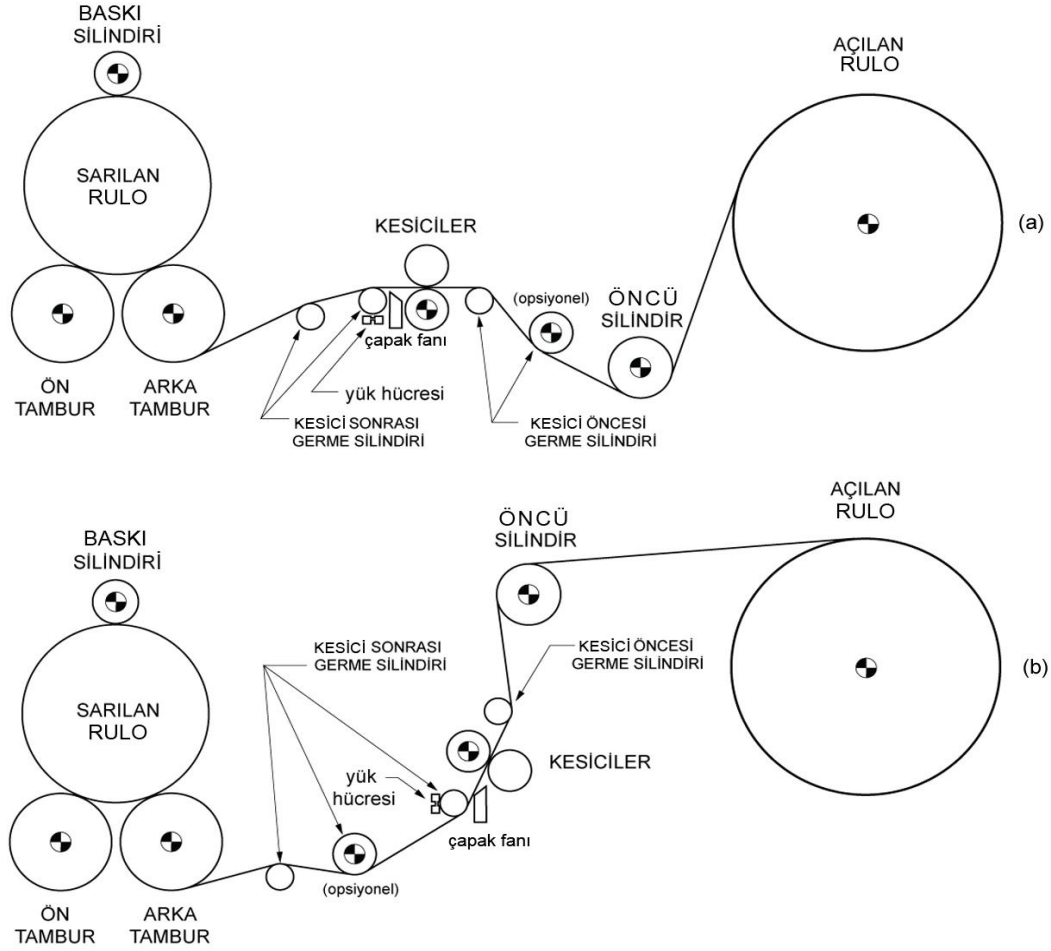
Şekil 3.1 (a) Dikey iki tamburlu makine, (b) Kemerli makine, (c) Hava enjeksiyonlu makine

Hava enjeksiyonlu makineleri kısaca özetlersek, alt kısmında bulunan basınç kutusu sayesinde basınçlı havayı çalışma süresi boyunca sarılan ruloya doğru uygularlar. Bunun sonucunda, sarılan rulo ağırlığına karşı kuvvet uygulayan bir tampon bölge oluşur. Oluşan bölgenin kapsadığı alan sarılan rulo çapıyla artış gösterir.

Kemerli kağıt bobini kesme makineleri tambur ve kemer yatağından meydana gelir. Bu makinelerde sarılan rulo çapının belli bir değeri aşmasının ardından, baskı kuvvetini azaltmak için rulo ağırlığı kemer yatağına doğru aktarılır.

Asıl konumuz olan iki tamburlu bobin kesme makinelerine dokuma, tekstil ve dayanıklı metal sanayinde sıkça rastlanır ama asıl olarak kağıt sarım işleminde kullanılır. Bu tip makineler sabit hat hızında çalışır ve kağıdın takip yönüne göre yatay ve dikey olmak üzere iki yapısı bulunur. (Şekil 3.2) Hat hızı, kağıdın kesim işlemi süresince ilerleme hızı olup birimi m/dakika'dır.

İki tamburlu bobin kesme makine kullanımının sağladığı avantajlar; yüksek verimlilik, üretkenlik, çok yönlülük, bir adet makine operatörüne ihtiyaç duyulması, minimum parça içermesinden dolayı bakım maliyetinin düşük olması ve bakım kolaylığı şeklinde sıralanabilir.



Şekil 3.2 (a) iki tamburlu yatay tip bobin kesme makinesi,
(b) iki tamburlu dikey tip bobin kesme makinesi

3.1. Sarılan Rulo

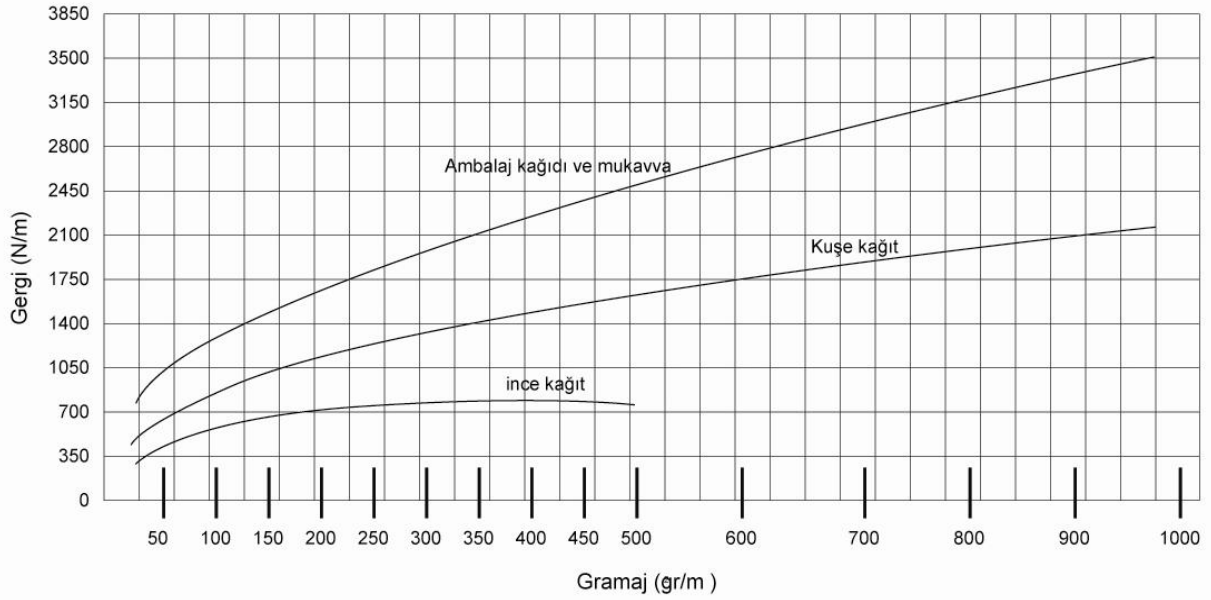
Kağıt bobini kesme makinelerinin kontrol algoritmasındaki ana etkenler sarılan rulo yapısı bileşenleridir. Aşağıda sırasıyla belirtilen bileşenlerin, iyi sarılmış bir rulo yapısının elde edilebilmesi için devamlı kontrol edilmesi gerekir.

- Geri
- Baskı kuvveti
- Tork

3.1.1 Geri

Geri, kağıdın gerilim dayanımı ve elastiklik katsayısına bağlı olarak bobin kesim işlemi devam ederken sabit değerde olmalıdır. Boylamasına bir kuvvet olan gerginin sisteme uygulanmasındaki amaç; kağıt hareketini tek yönde sağlamak, gevşek bölgelerin oluşmasını

önlemek, kırıksıklıklardan kaçınmak ve kesim esnasında ayırma sağlayarak düzgün sarılmış bir rulo elde etmektir. Her kağıt farklı miktarda gergi istemektedir ve yaklaşık olarak yırtılma ve esneme özelliğinin % 10 – 30'u arasında bir gerginliğe dayanabilir.



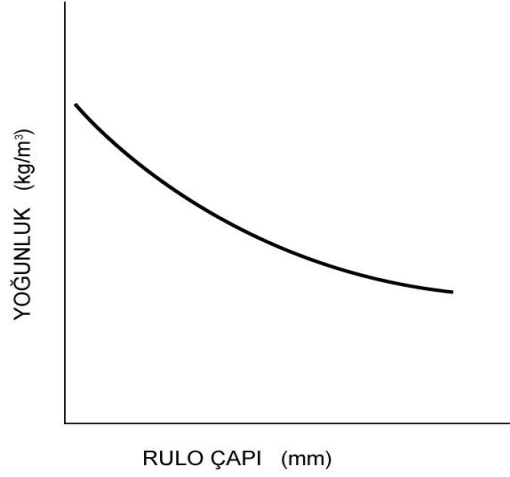
Şekil 3.3 Kağıt türü gerginlik değerleri

Gergi, ölçüm araçlarından gelen veriler doğrultusunda çözücü kısımda bulunan fren jeneratörü vasıtasıyla ayarlanır. Ölçüm aracı olarak genellikle yük hücresi kullanılmakla beraber ultrasonik pozisyon sensörleri ve oynar silindirden de faydalanılır. Günümüz kağıt endüstrisi uygulamalarında hassas gerginlik kontrolü ve hızlı cevap verme zamanına doğan ihtiyaçtan dolayı fren jeneratörü sürücü ile kontrol edilir.

Gerginin ölçü birimi olarak genelde Newton kullanılır. Newton birimi üretimdeki değişik tip ve genişlikteki kağıtlar için kolay hesaplama imkanı sağlar.

İki tamburlu makinelerde, tamburlar gerginin sarılan ruloya etkisini azaltır. Sadece gergi değerinin % 25'i civarında bir kısmı ruloya uygulanır. (Dapcevic vd., 1998) Az miktarda da olsa, gergi sarılan rulonun sıklığında rol oynar ancak, sadece gergide meydana gelebilecek büyük değişimler, rulo kalitesini yani sıklığını yeterince etkileyebilir.

Rulo merkez noktası etrafında sarma işlemi yüksek baskı kuvveti ile yapılır. Sarılan rulo çapındaki artışla orantılı olarak kağıt yoğunluğu da giderek azalır, rulo merkezinden dışa doğru her sarım katmanında dengeli dağılmış sıklık sağlanır. (Şekil 3.4)



Şekil 3.4 Sarılan rulo yoğunluk grafiği

3.1.2 Baskı kuvveti

Kağıt makinelerinde baskı kuvveti sarılan rulonun, tambur gibi diğer yüzeye uyguladığı karşı kuvvet olarak izah edilir. Baskı kuvveti, yerçekimi kuvvetinin ihmal edilemediği her durumda sarma işleminde mevcuttur.

İki tamburlu kağıt bobini kesme makinelerinde kontrol edilen, tamburlar ile sarılan rulo arasında oluşabilecek kaymayı önlemek için baskı kuvvetine ihtiyaç duyulur. Ayrıca baskı kuvveti, sarılan rulonun yüzeyinde gergi veya torkun sistemde meydana getirebileceğinden daha fazla gergi sağlar. Bu durum, sıkı sarılmış rulo elde edilmesine katkı sağlar. Kuvvetin diğer bir kullanım amacı ise sarılan rulo içine hava girmesini önlemektir.

Kuvvetin elde edilmesini sağlayan ana yapı baskı silindiridir. Baskı silindiri, çapa bağlı olarak rulo yüzeyine uyguladığı kuvveti kontrol eder ve standart uygulamalarda tamburlarla beraber sarıcı kısımda yer alır. Tamburlar ve sarılan rulo ile birlikte sarıcı kısmın bir parçasıdır.

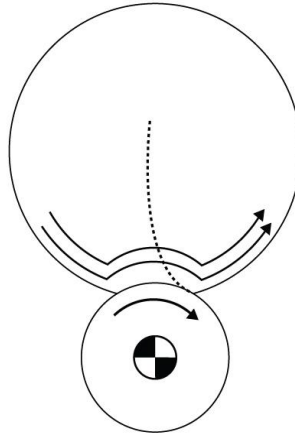
Baskı kuvveti düzensiz olarak uygulanır ve doğru olarak yönlendirilmezse, hız uyumsuzluğu ve silindir yüzeyindeki pürüzlerle birlikte sarılan ruloda buruşma, kırışma, kopma vb. hataların oluşma olasılığını yükseltir. Bu olasılık gergi ve torkun düzensiz uygulanmasına bağlı oluşabilecek hatalar için düşüktür. Baskı kuvvetinin düzensizliğinden dolayı meydana gelen hatalar aşağıda verilmiştir.

- Sarılan rulonun dış çevresinde yırtıklar
- Sarılan rulonun merkezinde yırtıklar
- Kırışıklıklar
- Buruşukluklar

- Titreşim
- Çukurlaşma
- Sıkı olmayan sarımlar
- J hattı kayması

En çok rastlanan kayma türü “J Hattı” olarak adlandırılan, sarma işlemi devam ederken sarılan tabakaların radyal yönde hareketidir. “J Hattı” kaymasına, sürtünme katsayısının 0,5 değerinden az olduğu kağıt türlerinde rastlanır. Bu kayma sarılan rulo üzerinde ne kadar büyük gergi ve yer değiştirme oluştuğunu gösterir.

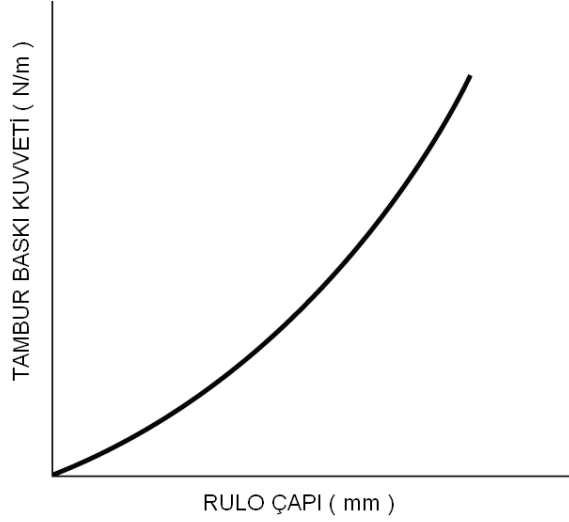
Açılan ve sarılan rulodaki iç sarım kaymalarını temsil eden “J Hattı” kayması basit bir testle belirlenebilir. Test, bir süre çalışan iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesinin durdurulup, rulo yüzeyine merkezden dışa doğru düz bir çizgi çizildikten sonra tekrar çalıştırılıp durdurulması şeklindedir. Durdurma işleminin ikinci kez gerçekleştirilmesinden sonra rulo yüzeyindeki çizgi kontrol edilir. Eğer düz çizilen çizgide “J” harfine benzeyen bir değişiklik gözlenmiş ise ruloya etki eden baskı kuvvetinde dengesizlik olduğu kanısına varılır. Buradan yola çıkılarak kuvvette yapılacak değişiklik miktarı ayarlanabilir. Açılan rulolarda “J Hattı” kaymasına merkeze yakın noktalarda rastlanır.



Şekil 3.5 “J Hattı” kayması

Sarılan rulo yüzeyinde meydana gelen gergi değerinin artışı tambur çapları ve baskı kuvveti ile orantılıdır. Örneğin, baskı kuvveti iki katına çıkarıldığında yüzey gergisi 1,59 kat artar. Baskı kuvvetinin sabit kabul edildiği durumlarda ise tambur çapı arttığında, yüzey gergisi de asimptotik olarak azalır. Yani küçük çaplı bir tambur kullanılarak sarılan rulonun sıklık kalitesi iyileştirilebilir. (Gronewold, 1998)

Tambur baskı kuvveti, sarılan rulo ve baskı silindirinin toplam ağırlığıdır. İki tamburlu bobin kesme makinelerinde, ön tambur arka tambura göre daha fazla baskı kuvveti uygular. Bu konu tamburlar başlığı altında daha detaylı incelenecektir.



Şekil 3.6 Baskı kuvveti değişimi

3.1.3 Tork

Tork, birimi Newton - metre olan döndürme kuvvetidir. Gücün hıza bölünmesiyle elde edildiğinden dolayı, yüksek devirli motorların torku az, düşük devirli motorların torku fazladır.

İki tamburlu kağıt bobini kesme makineleri, kağıdın çekildiği tipik döndürme kuvveti uygulamalarıdır. Bu makinelerde gergi değerini sabit tutmak ve kağıt tabakalarının ağırlıkları nedeniyle oluşan eylemsizlik momentlerini yenmek için belirli bir aralıkta tork değişimine gereksinim duyulur. Tork değişimi, motor sürücülerinin torku rulo merkezine ya da en dış tabakaya uygulamasıyla gerçekleşir. Kullanılacak sürücüler tork reguleli olmalı ve sabit hat hızlarında şebekeden çektikleri gücün değişimi sınırlandırılmalıdır.

Bobin sarma makinesinin çalışması sırasında açılan rulonun çapı azalır, dolayısıyla da açılma hızı artar, böylece tork ihtiyacında da azalma olur. Sarılan rulo içinse tam tersi bir durum söz konusudur. Yani sarılan rulonun çapının büyümesiyle açılma hızı azalır ve kağıt tabakalarının toplamından oluşan ataletle beraber tork da artar. Bu demektir ki, tork gereksinimleri direkt olarak silindir çapının artışı ile doğru orantılıdır. Ama torkun kontrolünde gergi temel etkeni de unutulmamalıdır.

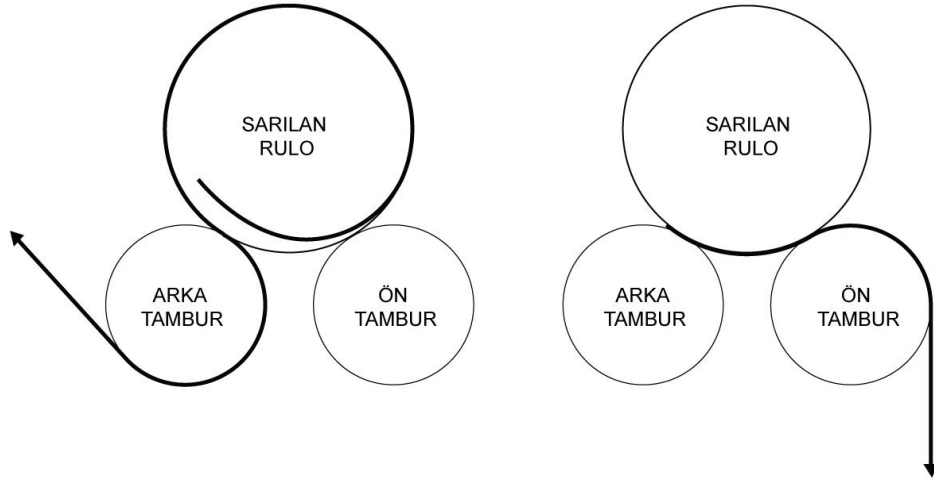
Tork, gergi ile rulo çapının çarpımından kaynaklanır. Dolayısıyla pürüzsüz sarılan ruloda çapın fazla artması durumunda tork artışı kesilmelidir. Bu sayede sarılan rulo dış tabaka sarımları iç tabaka sarımlarına göre daha az sıkı olur ve çukurlaşma olasılığının önüne geçilir.

Yine de bu yöntem kağıdın sürtünme katsayısına bağlı olup, kağıt sürtünme katsayısı düşük ise geçerlidir.

3.2 Tamburlar

Sistemde kağıt bobininin açılması için gerekli olan çekme kuvvetini sağlayan ön ve arka olmak üzere iki tambur mevcuttur. Tamburlar motorlara redüktörler ile bağlıdır. Sarım işlemi esnasındaki tork ve hız kontrolleri bahsedilen iki yapı üzerinden gerçekleşir.

Kağıt iki farklı şekilde sarılabilir. Bunlar arka ve ön tambur sarım metodudur. Arka tambur sarım metodu, ön tambur sarım metoduna göre avantajlıdır. Arka tambur modelinde, ön tambur torku arka tamburdan gelen kağıdı çeker ve uyguladığı kuvvetle sarım sıklığını sağlar. Çünkü uygulanan kuvvet, baskı kuvvetine eklenir. Ön tambur metodunda ise iki tambur da kağıdın aynı tabakasına temas eder ve baskı kuvvetine katkı sağlamaz. Tez çalışmasında ki makinelerde kağıt kesiminde yaygın olarak kullanılan, kağıdın sarıma arka tambur ile başladığı metot kullanılmıştır.

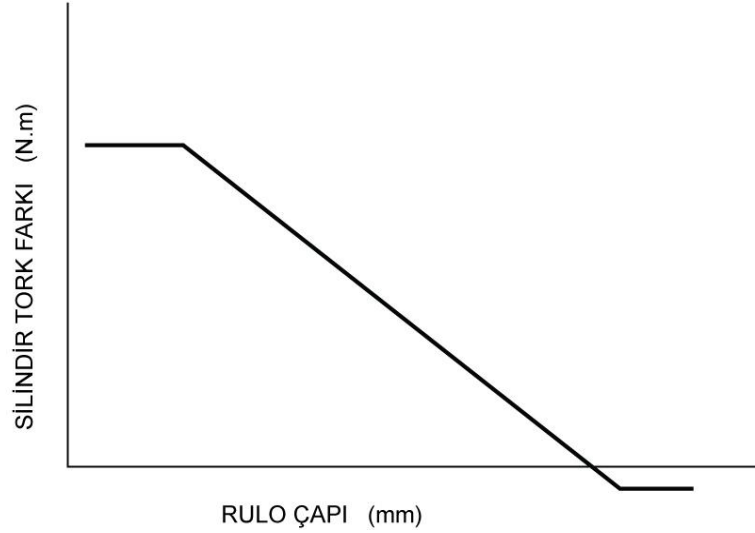


Şekil 3.7 Kağıt sarım yönleri

Arka tambur sarma düzeneğinde meydana gelen baskı kuvveti, ön tambur kuvveti ile sarma rulosu ağırlığı ve baskı silindir ağırlığının toplamından meydana gelir. Bu yüzden ön tambur torku, özellikle başlangıçta baskı silindir kuvvetinin yeterli olmadığı anlarda baskı kuvvetinin eksikliğini gidererek etkin rol oynar. Sarılan rulo merkezindeki sıkça görülen hataların nedeni ön tambur torkunun yetersiz olmasıdır.

Kağıt bobini kesme makinesi ilk çalışmaya başladığında, ön tambur torku, arka tambur torkundan daha fazladır. Rulo çapının küçük değerlerde olduğu anlarda önemli olan bu farka yük

paylaşımı denir. Ön ve arka tambur arasında oluşan tork farkı, sarılan rulonun merkezi etrafında sıkı sarımın elde edilmesini sağlar. Daha sonra ise sarılan rulo çapının büyümesiyle birlikte, kağıt ağırlığının artmasıyla oluşan baskı kuvvetinden dolayı arka tambur torku artar ve aradaki fark erir.(Şekil 3.8) Böylece merkezden dışa doğru orantılı ve düzgün dağılmış bir sıkılık oluşur. Arka tambur torkundaki artış gergi değerini artırır. Açıklanan yük paylaşımına gazete ve hafif kuşe kağıt kesiminin yapıldığı endüstriyel işlemler örnek verilebilir.



Şekil 3.8 Arka ve ön tambur tork farkı

Yük paylaşımı dağılımı oranları uygulamalara göre değişiklik gösterir. Aşağıdaki çizelgede yük paylaşımı örnekleri verilmiştir.

Çizelge 3.1 Arka ve ön tambur yük paylaşımı

Başlangıç		Duruş	
Arka Tambur	Ön Tambur	Arka Tambur	Ön Tambur
1/3	2/3	2/3	1/3
% 20	% 80	% 50	% 50
% 25	% 75	% 75	% 25

İstenen sıkılığın sağlanmasında göz önünde bulundurulması gereken diğer bir faktör de tambur çaplarıdır. Büyük çaplı tamburlar aynı zamanda büyük iz düşümlerine sahip olduklarından, sarılan rulo daha az baskı kuvveti etki eder. Sonuç olarak da iç sarımlarda kaymalar artar.

3.2.1 Arka tambur

İki tamburlu bobin sarma makinesinde, arka tambura bağı motor sürücüsü asıl sürücü olarak seçilmelidir. (Carrasco ve Valenzuela, 2006) Çünkü ivmelenme ve yavaşlama gibi hız kontrolü arka tambur üzerinden yürütülür. Makine operatörü tarafından dokunmatik ekrandan girilen ana hız referansına bağı olarak belirlenen hat hızı, arka tamburun dönüş hızından hassas olarak ölçülür.

Sarılan rulo çapı değişik şekillerde ölçülerek veya hesaplanarak elde edilebilir. Sarılan rulo çapının hesaplanmasında arka tambur hızı ile birlikte tambur çapı, sarım sayısı ve kağıt uzunluğu değerlerinden faydalanılır. Belirtilen değerlere ek olarak kağıt ağırlığı da bilinirse sarılan rulo yoğunluğu da bulunur.

3.2.2 Ön tambur

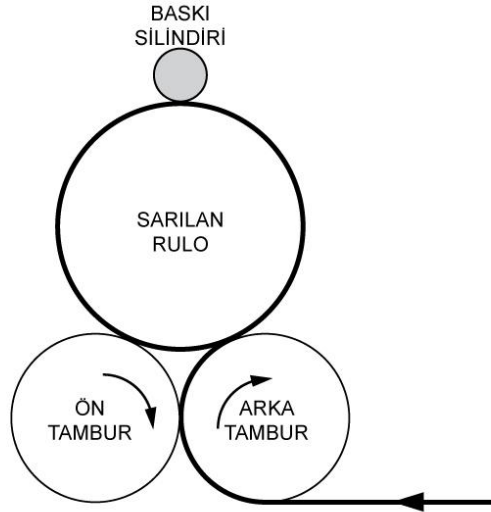
Ön tambur yük paylaşımı yapılandırılmasını gerçekleştirdiğinden tork kontrolü açısından etkindir. Arka tamburdaki yonteme benzer, sarılan rulo çapı ve yoğunluğu hesabı ön tambur için de geçerlidir. Ön tambur sisteminde, tambur hızı ve sarım sayısının bilinmesi gerekir.

Ön tambur üzerinde bulunan sürücü, arka tambur sürücüsünü takip eder.

3.3 Baskı Silindiri

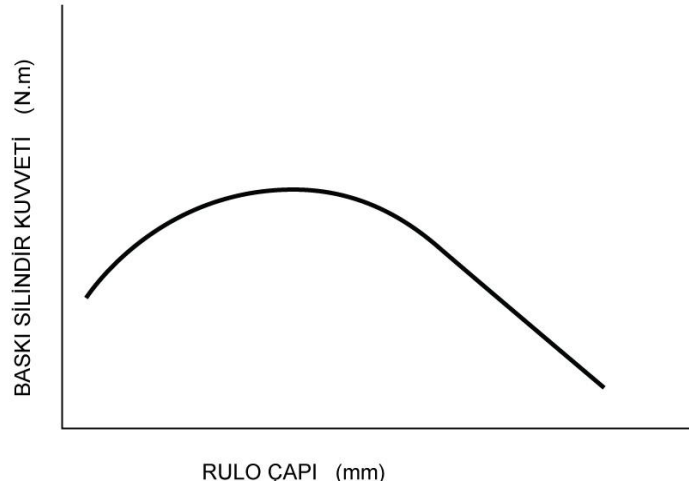
Sarılan rulonun zamanla çapı, dolayısıyla da ağırlığı artar, fakat değişim hızı sıkı bir rulo için yeterli değildir. Bundan dolayı ihtiyaç duyulan baskı kuvvetinin çoğunu kağıt endüstrisindeki ilk makinelerden beri kullanılan baskı silindiri sağlar.

Baskı silindiri, kendi ağırlığı, kuvvet kontrol yapısı, atalet momentini yenen sürücü sistem ve dikey kuvveti sağlayan parçalardan meydana gelir. Konumu ise sarılan rulonun tepe noktasıdır. (Şekil 3.9) Baskı silindirinin yukarı ve aşağı doğrultudaki hareketi bir potansiyometre ya da enkoder yardımıyla ölçülebilir.



Şekil 3.9 Baskı silindiri

Baskı silindiri, sarma işleminin başlangıç aşamasında istenen baskı kuvvetinin sağlanmasında ön tamburla birlikte çalışır. Özellikle sarılan rulo kalınlığının ilk 20 – 40mm değerleri arasında baskı silindirinin kuvveti artırılır. Sonraki aşamalarda ise rulo ağırlığındaki artış, baskı kuvvetinde artma sağlayacağından, baskı silindirinin kuvvetinin azaltılması gerekir. (Şekil 3.10) Aksi takdirde kuvvet rulo sıkılığını aşırı yükselterek kağıda zarar verir.



Şekil 3.10 Baskı silindiri kuvveti

Baskı silindir kuvveti, baskı silindirini meydana getiren gövde, mil yatağı vb. parçaların ağırlıklarının toplamıdır. Kuvvetin kontrolü, pnömatik, hidrolik veya servo motor sayesinde rulo çapının fonksiyonu olarak Şekil 3.10'da olduğu gibi sağlanır.

Servo sistemler, hızlanma ve durdurma sırasında makine parçalarında oluşabilecek aşırı stresi önler. Bu yüzden katkısı fazladır.

Hidrolik kuvvet kontrol sistemleri ise neden oldukları ekstra sürtünme ve titreşim sebebiyle makinenin kullanım ömrünü azaltır. Baskı silindirinin daha uzun süre kullanılması için yapılması gerekenler aşağıda verilmiştir.

- Titreşimler belirlenip devre dışı bırakılmalı
- Periyodik olarak doğruluğu test edilen baskı kuvveti kontrolü yöntemi uygulanmalı
- Farklı özellikteki kağıtlar için farklı kuvvet eğrileri seçilmeli.

Baskı silindirinin pozisyon kontrolü için gerekli kuvvet ölçümü, silindir bloğuna yerleştirilen yük hücresinden sağlanır. Ölçüm sırasında baskı kuvvetinin takibinin doğru yapılabilmesi için yük hücresinden alınan anlık değerlerin maksimum baskı kuvveti değerinden çıkartılması gerekir. Böylece yük hücresi tam yüklenmiş iken sıfır baskı kuvveti oluşur. Yük hücresinden okunabilecek maksimum değer, baskı silindirinin yükselebileceği en yüksek noktada elde edilir. (Dapcevic vd., 1998) Makine operatörü bu parametreleri dinamik olarak PLC veya PC gibi cihazların aracılığıyla kumanda panosundan görebilmelidir.

Bazı baskı silindirleri kontrol edilebilirliği değişen iki veya daha fazla bölüme sahip olabilir. Bu bölümler DA veya AA motorlarından oluşur ve motor sürücüleri vasıtasıyla silindirin aşağı ya da yukarı yönde hareketinde kumanda edilir.

Kontrol edilebilen baskı silindirlerinin motorları için iki ya da tek motor sürücüsü kullanılabilir. Eğer iki bağımsız sürücü kullanılırsa, standart mil voltajına sahip DA motorlu baskı silindiri uygulamasının dışındaki her bir uygulama için motorlara iki adet güç kaynağı gerekir. İki sürücülü sistemlerde, baskı silindirinin bölünmüş veya ortak olması önem arz etmediği gibi, arıza halinde bir sürücü devre dışı kalsa dahi diğeri yedek olarak çalışır. Ama maliyet ve kullanılan parça açısından iki sürücülü yöntem ek külfet getirir.

Baskı silindiri motor sürücülerinin seçiminde temel olarak hangi tip motorun ve baskı silindir milinin nasıl (ortak veya bölünmüş) kullanılacağına dikkat edilir. Bunun yanı sıra sürücünün sistem hızında silindiri kontrol edebilmesi, hızlı durmalara cevap vermesi, hızlanma ile yavaşlamadaki ataletleri yenmesi ve tork değerinin sınırlandırılması gerekir. Ayrıca baskı silindir motor sürücülerinde rejeneratif özellik bulunmalıdır. Çünkü sürücü durma anında ters yönde tam oranda tork sağlayarak motoru kısa sürede durdurmalıdır.

DA sürücülerde rejeneratiflik niteliği gereği bulunurken AA sürücülerde rejeneratif özellik, komplekslik ve maliyet katar. AA sürücülerde rejeneratif işlem için dört bölgeli DA barası oluşturulur. Sürücüler bu DA barasından beslenir ve frenleme esnasında DA bara gerilimi yükseleceğinden dört bölgeli DA kontrol ünitesi şebekeye frenleme enerjisini aktararak DA

bara gerilimini sabit tutar. DA sistemde ise her bir motor için dört bölge DA sürücü kullanıldığından rejenaratif frenlemeyi her sürücü kendi içinde gerçekleştirir.

Baskı silindirin torku (3.1) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir.

$$T_{bs} = \mu \cdot r_{bs} \cdot F_{bs} \cdot H_g \quad (3.1)$$

Eşitlik (3.1)' de μ sürtünme kat sayısını, r_{bs} baskı silindiri yarıçapını, F_{bs} baskı silindiri kuvvetini, H_g kağıt hattı genişliğini ifade eder.

3.4 Kesiciler

Kesici ile büyük kağıt bobinleri makine içinde sabit boyutlarda rulolar haline getirilir. Kesici, birbirinden bağımsız bıçak grubundan oluşur. Optimum kesim işlemi için bıçakların konumlandırıldığı nokta, sarılan ruloya yakın seçilmelidir.

İstenen rulo ebatlarına göre yerleştirilen, sıra halindeki bıçakların mesafe aralıkları yatay doğrultuda değiştirilebilir. Konumlandırma manuel veya otomatik olarak gerçekleşir. Otomatik konumlandırma prensibi dijital darbe kodlarının okunmasına dayanır. Böylece her zaman kesin sonuç alınır. Bıçaklar çalışırken pozisyonunu muhafaza etmek için kilit düzeneği bulunur.

İki tamburlu bobin kesme makinelerinde en çok kullanılan teknik bıçaklarla yapılan tanjantsal kesmedir. Bu yöntemde kağıt, alt ve üst kısımda bulunan dairesel bıçakların arasından geçerek yol alır. Bıçakların çap değerleri birbirine eşit ve çok küçük seçilmemelidir. Aksi halde kağıt hattı sık zaman aralıklarında kopar. Alt bıçak çapı üst bıçak çapından daha büyük olmalıdır. Üst bıçağın alt bıçağı uyguladığı kuvvet 20 – 45 Newton aralığında değişir. (Holik, 2006)

Kesim işleminin kalite ölçütü, kağıt tabakalarının birbirinden ayrılma oranıdır. Bu ölçütte bıçakların keskinliği de etkin faktördür.

Kağıt bobini kesme makinelerindeki bıçaklar, kağıt türüne göre 0,5 ile 2,5 mm arasında derinliğe temas eder.

Bıçakların motorları genellikle değişken frekansla bir adet sürücü ile kontrol edilen AA motorlardır. Sadece alt kısımda bulunan dairesel bıçaklar sürülür. (Şekil 3.11) Kontrol ise açık döngüdür. Bıçak motorlarının hızları, hat hızının %5–10 kadar fazlasıdır. Hat ve bıçak hızı arasındaki fark daima sabit kalacak şekilde korunur.



Şekil 3.11 İki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi bıçakları

Talep edilen rulo boyutuna ulaşmak için bıçakların dışında su jeti ve lazer gibi çeşitli kesim tekniklerinden de faydalanılsa da bu yöntemler pek tercih edilmez.

3.5 Çapak Fanı

Kesiciler çalışırken toz ve çapak meydana getirir. Örnek olarak, üst bıçakların uzun süre kağıt hattına temas etmelerinin neden olduğu tozlanma verilebilir. Bu sebepten dolayı kağıt yüzeyinin her iki tarafındaki çapak ve tozların temizlenmesi amacıyla çapak fanı gibi bir emme aracına ihtiyaç duyulur.

Çapak fanı hava akış hızı, kağıt bobini kesme makinesinin hat hızından fazla olmalıdır. Aksi takdirde sarılan ruloda çapaklardan dolayı istenmeyen hatalar oluşur.

AA motorlu çapak fanı hızı, sürücü ile kağıt hat hızı referans alınarak kontrol edilebilir.

Çapak fanı sistemlerindeki gelişmelerle, vakum deliklerinin yanı sıra statik elektrik yoluyla da yabancı maddeler tahliye edilebilmektedir.

3.6 Öncü Silindir

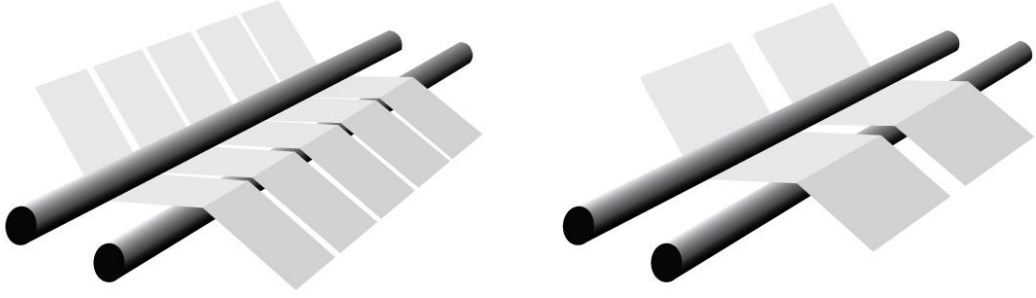
Kağıt hattının sarıcı bölüme doğru yönlendirilmesini düşük atalet momentli öncü silindirler sağlar. Açılan ruloya göre diyagonal yerleştirilen öncü silindirler, kağıdın hatta giriş yaptığı yerde gergi değerini sabit tutar. Öncü silindirlerin kullanımı opsiyoneldir ve germe silindirlerine sahip sistemlerde nadir olarak kullanılır.

Öncü silindirinin hizası ayarlanarak, hat hızının hızlanma ve yavaşlama anlarındaki ivmelenme problemleri nedeniyle oluşan kağıt hattı yanal hareketleri ortadan kaldırılabilir.

Ağır kağıttan oluşan bobinlerin kesildiği makinelerde öncü silindir motoru için sürücü gerekmez. Yalnız hafif kağıt kesim işlemlerinde silindir motorunu sürücü kontrol eder. Öncü silindir motoru, hat hızı ile senkronizedir. Böylece gergi üzerindeki etki minimize edilir.

3.7. Kesici Öncesi ve Kesici Sonrası Germe Silindiri

Kesicilerden önce ve sonra kağıt hattının gerdirilmesi gerekir. Bu amaçla konumlarına göre adlandırılan germe silindirleri kullanılır. (Şekil 3.12)



Şekil 3.12 Germe silindirleri

Kesici öncesi silindir, bıçaklardan önce kağıttaki kırışıkları giderir. Kesici sonrası silindirler ise kesilen kağıt bloklarını ayırır. Ayırma mesafesi 0,2 ile 0,5 mm boyutlarındadır. Ayrıca birbirine paralel olarak yerleştirilen germe silindirleri kağıt çekme gücünü kontrol eder.

Bu ayırma sistemleri toz oluşumunu artırır. Kontrol algoritmaları öncü silindir ile aynıdır.

3.8. Açılan Rulo

Açılan rulo, kağıt üretim bandının bitiş noktasından bir vinç yardımıyla kesme makinesinin çözücü kısmına getirilen ağır kütleli kağıt bobinidir. Bahsedilen ağırlık bazı uygulamalarda 100 tonun üzerinde olabilir. Rulo çapı 2 ile 4 metre, rulo genişliği ise 2 ile 10 metre arasında değişkenlik gösterir. Çap ve genişlik değerleri verilen yüksek atalet momentine sahip açılan rulo, döner hareketini etrafına sarıldığı çıkırıgın uç noktalarında yapar. Bu döner hareketten ötürü rulo çıkırığı ile taşıyıcı sehpanın temas noktalarında oluşan titreşim değişik kağıt kalınlığından kaynaklanan problemleri azaltır. (Äärinen, 2006)

İki tamburlu kağıt bobini kesme makinelerinde, açılan ruloyu frenleyerek istenen gergiyi sağlayan elektrik motoruna fren jeneratörü denilir. Fren jeneratörü çözücü kısmın ana parçasıdır. Geçmişte fren sistemi olarak tamamen mekanik yöntemlerden faydalanılırken, modern iki tamburlu bobin kesme makinelerinde elektrikselle yöntemler etkindir. İhtiyaç duyulan iyi bir gergi değerini, dolayısıyla da optimum sarılan rulo yapısını fren sistemi sağlar.

Fren jeneratörünün boyutunun ne olacağına kesim işlemi yapılan kağıdın gereksinim duyduğu gergi miktarı ve hat hızı üzerinden karar verilir. Buna ilaveten büyük ve ağır açılan ruloların hızlanma ve yavaşlama anlarındaki aşırı yüklenme enerjisi göz ardı edilmemelidir. Çünkü açılan rulo ağırlığına bağlı olarak depolanan toplam enerji, fren jeneratörü torku ile dengelenir. Böylece rulo ataleti kompanze edilmiş olur. Bu yüzden gerekli görüldüğü takdirde fren jeneratörlerinin güçleri arttırılmalıdır.

Çözücü kısım motor boyutunun belirleyicisi olan tork aşağıdaki parametrelerin birleşimidir.

- Gergi
- Sürtünme kayıpları
- Açılan rulo, çıkıık ve motor atalet momenti

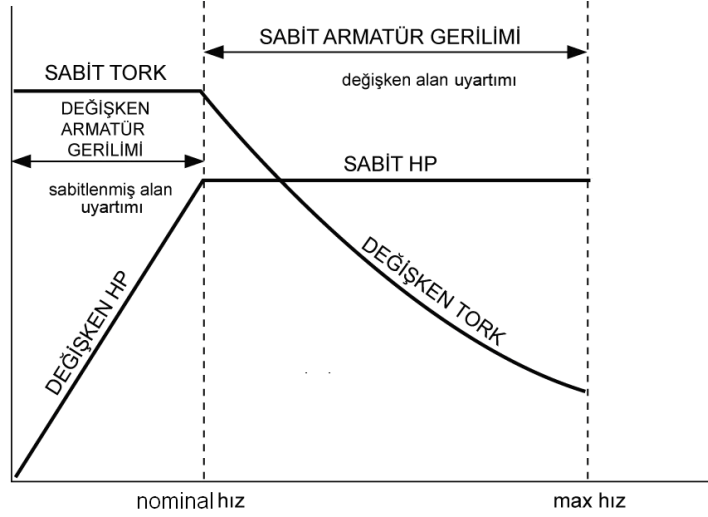
Motor torku, redüktör denen dişli kutusu vasıtasıyla sisteme aktarılır. Bununla birlikte tork değeri artarken açılan rulo açılmal hızı azalır.

Sürücüler yardımıyla fren jeneratörünün bağılı olduğu açılan rulo çıkııkı kontrol edilebilir. Çözücü kısım motor sürücüsü, kağıt hattının gergisini istenen değerde sabit tutarken açılan rulunun hızlanma ve yavaşlamasını sağlar. DA ve AA olmak üzere iki tür motor sürülerek tork kontrolü gerçekleştirir. Kapalı döngü gergi kontrolü, yük hücreleri ile elde edilen verilerin geri beslenmesiyle yapılır.

DA fren jeneratörlü açılan ruloda sürücü motoru hem endüvi, hem de alan kontrolü ile yönetir. İki tamburlu kağıt bobini makinesi sabit güç bölgesinde çalıştırıldığında sarıcı kısımdaki motorlar tarafından belirlenen referans hat hızını korumak için rulo çapı azaltılırken, açılmal hız arttırılır. Bu durum (3.2) eşitliğinden kolayca anlaşılabilir. Aynı şekilde sabit gerginin sağlanması için de motor torku, açılan rulo çapı ile orantılı olmalıdır. Hat hızı, açılan rulo için kontrol edilen değışkenlerden değildir.

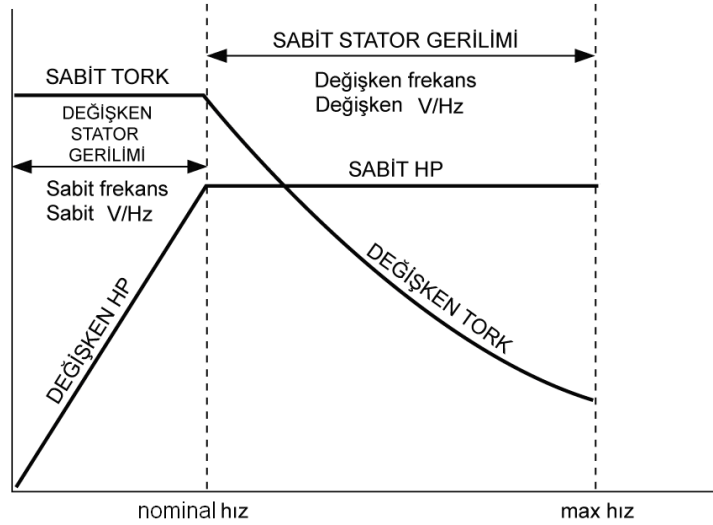
$$V_{hh} = W_{aç} \cdot r_{aç} \quad (3.2)$$

Açılan rulo için motor mil hızına göre DA motoru tork ve güç değışimi Şekil 3.13'de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 DA motoru çalışma bölgeleri

Açılan rulo için AA motor seçildiği takdirde vektör kontrolü özelliği bulunan sürücüler ile sıfır hız noktasına kadar mükemmel bir gergi kontrolü yapılabilir. Açılan ruloda AA motor kullanılması durumu için tork ve güç grafikleri motor hız değişimine bağlı olarak Şekil 3.14’de verilmiştir. İleriki bölümlerde hem DA, hem de AA motorları için gerilim, akı, akım, frekans ile oluşturulan kontrol algoritmaları ayrıntılı olarak açıklanacaktır.



Şekil 3.14 AA motoru çalışma bölgeleri

Üretim açısından hem zaman kaybına, hem de açılan rulonun israf edilmesine neden olan kağıt hattının kopma anları gibi acil durumlarda açılan rulo motorunun hızlı bir şekilde durması gerekir. İki tamburlu bobin kesme makinelerinde acil durum durma süresi tambur çapına bağlı olarak seçilir.

4. ÖLÇÜMLER

İki tamburlu kağıt bobini kesme makinelerinin işleyiş bakımından değerlendirilmesi gergi kontrollünün ne kadar iyi yapıldığına bağlıdır. Makine çalışması boyunca gergi, kontrol algoritmasının geri besleme sinyalli olduğu için sık zaman aralıklarında doğru olarak ölçülmelidir. Kağıt hattının elastiklik katsayısı (E_k) gerginin en etkin parametresidir. Kağıt kalınlığı (k_k) ve hat hızı (V_h) bilindiği takdirde eşitlik (4.2) ile gergi kuvvetinin (F_g) hesabı yapılabilir.

$$k = E_k \cdot k_k \quad (4.1)$$

$$F_g = k \cdot V_{hh} \quad (4.2)$$

Endüstrideki uygulamaların çoğunda olduğu gibi kağıt sektöründe faaliyet gösteren firmalarda müşteri odaklı çalışır. Bu nedenle son kullanıcıya gönderilecek ürünler en mükemmel düzeyde olmalıdır. Ürün kalitesini belirleyen unsur sarılan rulo sıklığıdır. Firmalar, kimi zaman ürün iadesine kadar uzanan sıklık problemleriyle karşılaşmamak istedikleri için rulo sıklık ölçümlerine önem vermektedirler. Bu amaçla bünyelerinde kalite kontrol departmanları bulundurlar. Rulo sıklığı, gerginin aksine makine çalışır durumda iken değil üretim sonunda kontrol edilir.

4.1 Gergi Ölçümü

Tüm kağıt bobini kesme makinelerinin kontrol prensibi temelde kağıt hattında herhangi bir kopmaya neden olmadan gergi referansının sabit tutulmasına dayanır. Gergi ölçümü, yük hücresi ile gerçekleştirilen direkt veya oynar silindire gerçekleştirilen indirekt olmak üzere iki yöntemle sağlanır. Ayrıca kapalı döngü kontrollerde daha çok yük hücresi, açık döngü kontrollerde ise oynar silindir tercih edilir.

Kullanılacak yöntemin belirlenmesinde çeşitli unsurlar göz önünde bulundurulduğu gibi bölgesel alışkanlıklarda önemli rol oynar. Amerika Birleşik Devletlerinde oynar silindir yaygın iken Avrupa kıtasında daha çok yük hücresinden faydalanır. (Ebler, 1993)

4.1.1 Yük Hücreleri

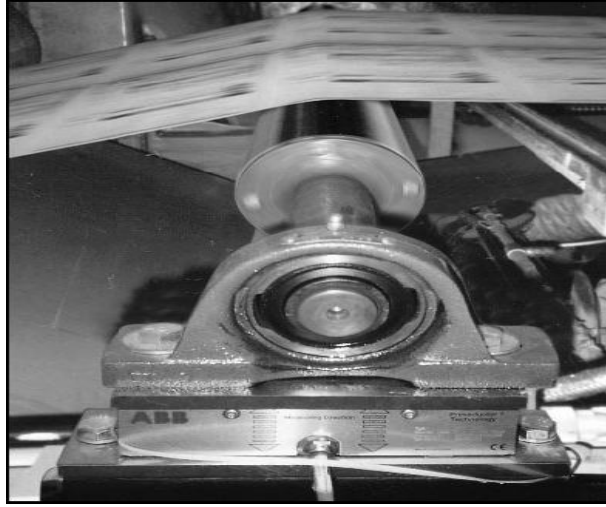
Yük hücrelerinin ilk imal edilen tipleri, kuvvetin boyda yarattığı uzamayı, referans boyu ile karşılaştırarak sinyal üreten çalışma prensibine sahiptir. Bu tiplerin hassasiyetleri kötü olmakla beraber kullanımları da zordur. Günümüzde ise yük hücreleri, kuvvet ya da ağırlığı algılayarak kullanıcıya bilgi veren yüksek hassasiyete sahip dönüştürücülerdir. Fakat endüstride sıkça kullanılmalarına rağmen yük hücreleri oldukça korumasız ve kırılındırlar.

Yük hücresinin çıkış sinyali eğer ortamda mekanik dengesizlik, aşırı yüklenme, akım darbeleri, nem, titreşim vb. fiziksel faktörler mevcut değil ise hat gerginliğine yakın olacaktır. Eğer söz konusu elverişsiz koşullar mevcut ise, çıkış sinyali sistemin dinamik cevabını olumsuz yönde etkilediğinden mutlaka sinyal filtre edilmelidir. Bu gibi durumlarda kullanılan büyük filtrelerden dolayı cevap sürelerinin uzun olması yük hücrelerinin handikaplarıdır.

Pratikteki zorluklarına karşın filtre yerine “ Dinamik Kompanzasyon ” tercih edilebilir. Bahsedilen metot, bozucu etkilerinin benzeri bir sinyalin ters yönde sisteme verilmesi şeklindedir. Fakat endüstriye pek uygun değildir.

Hat gergisini ölçmek amacıyla yük hücresi, motor sürücüsüne sahip olmayan bir silindir altına yerleştirilir. Ancak silindir ağırlığı da ölçüm sonucunu etkilediğinden toplam kuvvetten silindirin konumuna göre ağırlığı çıkartılır ya da aynı miktarda zıt kuvvet uygulanır.

Yaygın olarak kağıt bobini kesme makinelerinde değişken geçirgenlikli veya çapraz bobin olmak üzere iki değişik yük hücresi türü mevcuttur. Yük hücreleri ömürlerinin uzatılmasının yanı sıra performanslı çalışmaları için de kullanılacakları çevreye uygun seçilmelidir.



Şekil 4.1 Yük hücresi

Değişken geçirgenlikli yük hücreleri, üzerine uygulanan kuvvetle geçirgenliği değişen ferromanyetik malzemeden meydana gelir. Çalışma prensibi uygulanan kuvvet ile iki adet bobin üzerinde sırayla enerji endüklenmesi şeklindedir.

Çapraz bobin yük hücresinde ise aralarında 90° yer değiştirme açısı olan iki adet bobin bulunur. Yük hücresi, üzerine bir baskı uygulanmadığında çıkış sinyali vermez ama kuvvet ile birlikte yer değiştirme açısı 90° 'den farklı olur. Sonuç olarak ikinci bobin enerjilenir ve yük hücresi çıkış sinyali verir.

4.1.2 Oynar Silindir

Oynar silindir, referans gergiyi sabit tutmak için fiziksel limitini aşmadan dikey doğrultuda hareket ederek kuvvet dengesini sağlar. Hareketin başlamasıyla birlikte ters yönde bir kuvvet oynar silindir üzerine baskı yapar. Bu baskı kuvvetiyle elde edilen kağıt üzerindeki gergi, referans değerle karşılaştırılır ve fark sinyali elde edilir. Bu sinyalden geri besleme alınarak uygulanacak zıt kuvvet belirlenir. Durma ve sürekli hal koşulunda silindir üzerine etki eden kuvvet toplamı sıfırdır.

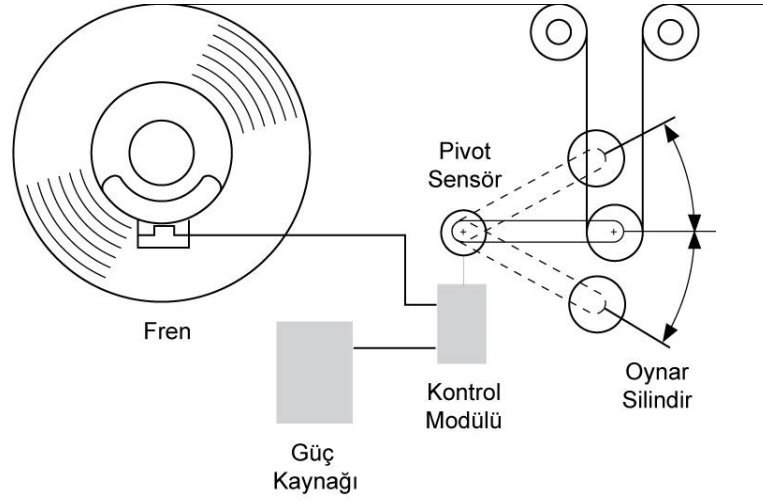
Aslında sabit gergi, silindir konumuyla değil hızlanmasıyla orantılıdır. Örnek olarak; iki nokta arasında yerleştirilen oynar silindir, hız farkından dolayı hızı olan tarafa doğru yönelir.

İki adet oynar silindir türü mevcuttur. Bunlar kuvvet değişiminde hızın belirleyici olmadığı “izobarik sistem” ve aksi yönde çalışma prensibine sahip “adyabatik sistem”dir. Bugünkü oynar silindir karakteristik özellikleri her iki prensibi de bünyesinde taşır.

Kağıt türüne, genişliğine ve hat hızına göre cihazların kullandıkları yöntemler değişir. Örneğin, kuvvet dengeleme işlemi kağıt bobini kesim makinelerinde daha çok pnömatik yollarla gerçekleşirken, ağır malzeme sarılan yavaş hat hızına sahip makinelerde karşı ağırlıkla yapılır. Ancak bunlar daha çok geçmişte kullanılan basit oynar silindir sistemlerinin çalışma prensibidir. Dar genişliğe sahip kağıt hatlarında oynar silindirden faydalanma yüzdesi artar.

Günümüz endüstriyel uygulamalarında ise gergiyi sağlamak amacıyla oynar silindir, yük hücrelerinde olduğu gibi gergi değeri bilgisinin okunması işlemini gerçekleştirir ve okunan değer geri besleme sinyali olarak kontrol modülüne gönderilir. Bu sayede açılan rulo fren jeneratörü sürülerek gergi referans değerinde tutulur. Yük hücresi ile oynar silindir sisteminin cevap süresi karşılaştırıldığında büyük bir farkın olmadığı görülür.

Modern gergi kontrol sistemlerinde oynar silindirin yanı sıra güç kaynağı, kontrol modülü, pivot sensor bulunur. (Şekil 4.2) Kontrol modülünün elektriksiz beslemesi mutlaka sabit çıkış gerilimine sahip güç kaynağından yapılmalıdır. Aksi takdirde gerilimde meydana gelecek ani yükselme, çöküntü ve dalgalanmalar gergi kontrolünü olumsuz etkiler.



Şekil 4.2 Oynar silindir

Tüm pratik uygulamalardaki gergi kontrolünde, oynar silindir ya da yük hücrelerinin kullanımıyla alakalı ciddi farklar yoktur ama aşağıda belirtilen özellikler yük hücrelerini daha avantajlı kılmaktadır.

- Montaj kolaylığı
- Maliyet
- Hassas çalışma
- Bakım kolaylığı

4.2 Sıklık Ölçümü

Üretim sonunda elde edilen sarılan rulonun sorunsuz olduğuna karar vermek amacıyla kağıt endüstrisinde eskiden beri sıklık ölçümü yapılır. Sıklığın şekillenmesindeki belirleyici faktör gergi değeridir. Ruloda oluşabilecek problemlerin önlenmesi için sıklık ne fazla, ne de az olmalıdır. Çünkü her iki durumda da iç içe geçme (teleskop etkisi), yırtık, çukurlaşma vb. sorunlara sebebiyet verir.

Sıklık ölçümü seri üretimin devam edebilmesi için önemli bir işlemdir. Kağıt özellikleri aynı olan rulo yüzeylerinde yapılan ölçümler, çapa bağlı olarak değişkenlik gösterir. Büyük çapa sahip rulolarda ölçü aletlerinden okunan sıklık düşük değerdedir. Bu durum rulo merkezinden dış yüzeye doğru sarım tabakalarının meydana getirdikleri iç kuvvetin azalmasından kaynaklanır.

Ölçüm işlemi için pratiklik ve taşınabilirlikleri sebebiyle kullanılması tavsiye edilen cihazlar; rhometre ve parotesterdir. Her iki cihazda etki bazlı cihazlardır.

4.2.1 Rhometre

Rhometre, sarılan rulonun dış yüzeyine darbe uygulayan küçük bir darbe kuvvetinin geri yansımaları vasıtasıyla ölçüm yapar. Rulo dış yüzeyine cihazın yaptığı darbeler cihaz ekranından rho değeri olarak görünür. Rho değeri yaklaşık olarak 3 g (yer çekimi ivmesi) kuvvetine denk gelir. Rhometre ile dış tabakadan 25 mm içerdeki sarım tabakalarının sıklık değeri okunur. Bahsedilen ölçüm cihazı yumuşak yapıdaki malzemeler için kullanıldıklarında verimli sonuç vermez.



(a)

(b)

Şekil 4.3 (a) Rhometre, (b) RhoHammer

Cihaz basit ve ucuz olmasının yanı sıra, sabit rulo yüzeyine kusursuzca yerleştirilerek bir kişi tarafından kolayca kullanılabilir. Rulo genişliği boyunca bulunan kırışıklık, dengesizlik v.b. hatalar ölçüm sonucuna olumsuz etki eder. Son yıllarda rhometrenin yerine dijital ölçü aleti olan ve veri kayıt imkanına sahip rhoHammer cihazı tercih edilmektedir.

4.2.2 Parotester

Parotester, düşük enerjili darbe kuvvetli ve yüksek hassasiyetli ölçüm yapabilen portatif bir cihazdır. Çalışma prensibi rulo yüzeyine uygulanan darbe kuvvetinin yansıma hızından sıklık değerinin hesaplanmasına dayanır. Ölçülen değer, rhometreye göre farklı bir skalada değerlendirilir ve cihazın kurulduğu yüzey ile minimum 5cm, maksimum ise 10cm arasındaki sıklığı gösterir. Parotester yardımıyla, rhometrede olduğu gibi rulo hataları belirlenebilir.

Cihaz iki kısımdan meydana gelir. İlk kısım rulo yüzeyine kuvvet uygulayan yapı, ikinci kısım ise ölçülen verilerin okunduğu geniş LCD ekrandır. Elde edilen veriler RS – 232 bağlantısıyla yazıcı veya bilgisayara aktarılabilir.

Parotester kullanımının getirdiği yararlar, kolay kalibre edilme, uzun bakım aralıkları, kağıt sertliğine bağlı olmama ve düşük maliyet olarak sıralanabilir.



Şekil 4.4 Parotester

5. RULO SARIM HATALARI

Kağıt üretim prosesinin sürekliliğini ve kontrol karakteristiğini elde edilecek ürünün özellikleri belirler. Sarılan rulodaki hataların firmalara doğurabilecekleri zararlar, genellikle maddi ve zaman kaybı şeklinde olur. Bu nedenle hataların türleri ve meydana gelme sebepleri bilinerek hızla müdahale edilmelidir.

Kağıt endüstrisinde, bobin kesme makinelerinde üretilen rulolarda yüzden fazla hata türü bulunur ve genel olarak sıkı sarım, gevşek sarım, sıkılıktan bağımsız sarım bozuklukları ve rulo yapısal bozuklukları olmak üzere dört ana gruba ayrılır. (Good ve Roisum, 2008)

Rulolarda karşılaşılan hataların büyük bölümü gergi, baskı kuvveti ve tork kaynaklıdır. Fakat gerginin etkinliği tork ve baskı kuvvetinden fazladır. Rastlanma oranı düşük olmasına rağmen kağıt türüne, özelliklerine ya da kullanılan makinenin mekanik yapısına bağlı hatalar da mevcuttur. Aslında meydana gelen hataların önlenmesinde makine mekanik yapısının değiştirilmesi en son çözüm yolu olmasına karşın, işletmeler sarım işleminin tekniği hakkında eksik bilgiye sahip olduklarından dolayı ilk aşamada makine tasarımının yenilenmesine gitmektedir. İzlenen bu yöntem yüzünden kaliteli bir rulo elde etmek amacıyla yapılan çalışmaların çoğu hayal kırıklığıyla sonuçlanır.

Sarılan ruloda aynı anda birden fazla sorunla karşılaşılabılır. Bu gibi durumlarda oluşan hataların öncelik sırasına göre irdelenmesiyle ortak faktörler belirlenmeli ve her iki olumsuzluğu ortadan kaldıracak en ekonomik yol izlenmelidir.

Sorunlara paralel olarak, çözüm de tek bir kritere bağlı olmayabilir. Bu açıdan yapılan en yaygın yanlış; sadece gergi değerinin değiştirilerek rulo üzerindeki pürüz, kırışıklık, çöküntü vb. istenmeyen durumların engellenmeye çalışılmasıdır. Oysa tork ve baskı kuvveti de sarılan rulo hatalarının minimuma indirilmesinde gergi kadar belirleyicidir.

İyi sarılmış rulo için kaçınılması gereken şekilsel bozukluklar, nedenleri ile beraber ileriki bölümde sırasıyla anlatılacaktır.

5.1 Zayıf Başlangıçlı Rulo Sarımları

Zayıf başlangıçlı rulo sarımları, rulo merkezi ile geri kalanı arasındaki görüntüsel fark olarak açıklanır.

Zayıf sarımlar hakkında ilk akla gelen başlangıçtaki baskı kuvvetinin yetersizliği olsa da kağıt bobini kesme makinelerinde, sarılan rulo merkezine yerleştirilen çekirdek malzeme kalitesinin etkileri de göz ardı edilemez.

Sarılan rulolardaki çekirdek malzemesinin kalite kıstası nemden etkilenmez. Buna rağmen çoğu uygulamada neme karşı hassas çekirdekler kullanılır. Özellikle fabrika depolama alanları gibi rutubetli yerlerde bekletilen neme dayanıksız çekirdekler, daha sonra sarma işlemlerinde kullanıldıklarında sarımlar baskı kuvvetinin etkisiyle esner. Böylece merkez çevresindeki sarımlar gevşeyerek sıkılığını kaybeder. Oysaki plastikten imal edilen çekirdekler neme dolayısıyla da baskıya daha mukavemettir.

Zayıf başlangıçlı sarımların engellenmesi için kesim işleminden önce hattın gerdirilmesi, kaliteli çekirdek kullanılması ve uygun gergi, tork veya baskı kuvvetlerinin uygulanması gerekir.

5.2 Çekirdek Hataları

Sarım işleminin tamamında ya da ilk birkaç sarımında çekirdek yapısını bozan birbirinden bağımsız üç ayrı durum vardır. (Şekil 5.1) Bunlar; sarımların baskı kuvveti, dış etkiler ve çekirdek hizasıdır.



Şekil 5.1 Çekirdek hataları

Sarımların baskı kuvveti bir iç basıncıdır. Bu basıncın neden olduğu çekirdek bozuklukları çoğunlukla düşük elastiklik katsayısına sahip kağıtların sarılmasında görülür. Bahse konu olan hata uygulanan gergi, tork veya silindir baskı kuvveti ile alakalıdır. Bu yüzden, özellikle başlangıç sarımlarında bahsedilen değişkenlerin değerleri gereksiz oranda fazla tutulmamalıdır.

İkinci durum olarak belirtilen dış etkiler çeşitlidir. Örnek olarak, sarılan rulonun taşınması sırasındaki düşme, depolama esnasındaki darbe ve baskılar verilebilir. Dış etkiye bağlı çekirdek bozukluklarının oluşmaması için çekirdek malzemesinin dinamik dayanıklılığı yüksek olmalıdır. Sıkı sarılmış rulolarda, çekirdek baskılara karşın korunduğu için hata

meydana gelme oranı düşüktür. Ayrıca, kağıt bobini kesme makinelerinin yüksek hızda çalışmasının neden olduğu titreşimler de dış etkiler içinde sayılır.

Çekirdek hizası hataları ise sık görülmez. Çekirdekler, kesim hattı boyunca düzgün hizalanmalı ve rulo merkezi etrafında açılmal hız yüksek olmamalıdır aksi takdirde sarılan rulo boyutunun dışına taşar.

5.3 Yırtık ve Kırışıklıklar

Yırtıklar; kağıt hattındaki kopmalardan veya kesim işlemi esnasında kağıdın yapısal bozukluklarından kaynaklanır. İyi sarılmış bir rulo için kağıt hattı kopma problemleri doğru olarak belirlenmelidir. Çünkü yırtık sayısının fazla olması rulo kalitesini olumsuz etkiler. Sarılan rulo merkezi etrafında olmamak şartıyla rulo yüzeyinde en fazla üç adet yırtığa tolerans verilebilir ve yırtıkların görüldüğü yerler mutlaka işaretlenmelidir.

Kırışıklıklar, kağıt bobini kesme makinelerinde görülme yüzdesi yüksek bir sorundur. Kağıt hattına ya da makineye bağlı olarak ortaya çıkar. Hatanın önüne geçilmesindeki ana görevi germe silindirleri ve baskı kuvveti üstlenir.

Baskı silindirlerinin ölçsüzlüğü ve eğriliği yüzünden ters v harfi şeklindeki kırışıklıklarla karşılaşılır. Benzer şekilde rulo kenarındaki kırışıklar da yine baskı silindirleri yapısından kaynaklanır. Baskı silindirinin uyguladığı kuvvetin kağıt hattı yönünü saptırmasından oluşan kırışıklıklara, sarılan rulonun sıklığı arttırmak veya azaltmak çare olabilir.

Diğer ele alınması gereken yapı ise germe silindirleridir. Düşük elastiklik katsayısına sahip kağıtlar için çeşitli germe silindiri tipleri bulunur. Kalın kağıt hatlarında ise seçim imkanı sınırlıdır. Kullanılan germe silindirlerinden biri de yay görünümüne sahip kambur silindiridir. Kambur silindir, tek tamburlu tip kağıt kesme makinelerine nazaran iki tamburlu kağıt kesme makinelerinde daha verimli çalışır ve kauçuk kaplamalı çelik veya alüminyumdan imal edilir. Bu silindir in kamburluk özelliğinden dolayı açılmal hız kenar noktalara doğru artar. Bu sayede germe silindiri yüzeyini kullanarak kırışıklıklar merkezden dışa doğru uzaklaştırır.

Kambur silindir in açılmal hızı sabit olmadığından kağıt geçişi esnasında hatta değişken gergi uygulanır. Bu gergi değişimi en büyük handikapıdır. Buna ilaveten silindir lineer yapıda olmadığından kimi zaman kağıt hattı kenarlarında uzama olur.

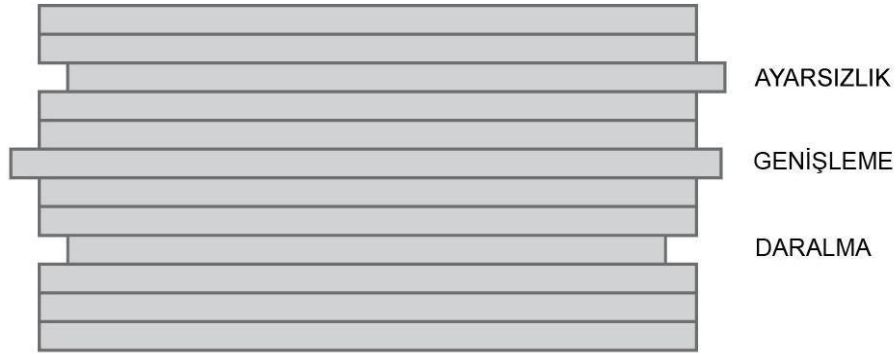
Başka bir germe silindiri türü de kağıt hattını kenar noktalardan çekerek geren kenar silindirleridir. Küçük çap ve yüzey alanlarına sahip bu silindirler kağıt hattının her iki kenarına yerleştirilir ve konumlandırılma açıları kırışıklıkları en iyi şekilde önleyecek şekilde

ayarlanabilir. Ayrıca kenar tipi germe silindirleri kağıt hattına diğerlerine göre daha fazla kuvvet uygularlar.

Faydalı bir germe işlemi için silindirler ile kağıt hattı arasında sürtünme değeri yüksek olmalıdır.

5.4 Rulo Kenar Bozuklukları

Sarılan ruloların kenarlarının pürüzsüz olmasına dikkat edilir. Ama bazen kağıt hattı beklenmedik hareketler ile konumunu değiştirir. Bu olay iki tamburlu bobin kesme makinesinin üretimi olan ruloda rahatça fark edilen hatalara sebebiyet verir. Bunlar daralma, genişleme ve ayarsızlık olup, aralarındaki temel fark meydana geldikleri yeni sarım halkası yüzeyinde kaynaklanır. Daralma ve genişleme her iki yanal yüzeyde, ayarsızlık ise tek bir yanal yüzeyde görülür.



Şekil 5.2 Rulo kenar bozuklukları

Ruloların kenarlarının ayarsızlığının temel nedeni sürtünme ya da baskı kuvveti değerinin yüksek olmasıdır. Ayrıca hız değişim periyotlarında gerginin değişmesi de kağıt hattı ayarsızlığına neden olur. (Good ve Roisum, 2008)

Genişleme ve daralmalar ise eğer kağıt hattında sarkmalar yoksa kesici kısımdaki ani gergi oynamalarına ve bıçakların kesim esnasındaki yer değişimine bağlı meydana gelir.

5.5 Teleskopik Rulo

Teleskopik hatalar kağıt endüstrisinde sık olarak karşılaşılan hata türüdür ve meydana geldikleri bölge, sarılan rulo çapıyla değişkenlik gösterir. Bu hatanın kontrol işlemi; sarılan rulo merkezi ile en son sarım arasında maksimum mesafenin ölçülmesidir.

Hem sarılan, hem de açılan ruloda teleskopik yapısal bozukluklarla karşılaşılabılır. Sarım işlemi sırasında rulo yüzeyi içbükey veya dışbükey şekil alır.

Teleskopik rulunun birden fazla oluşum nedeni vardır. Rulo merkezi etrafında kağıdın dayanabileceğinden az tork uygulanması bunlardan biridir. Diğer belli başlı nedenler ise aşağıda belirtilmiştir.

- Hareketli sarılan rulo çıkırığı
- İlk sarım baskı kuvveti yetersizliği
- Kağıt hattı hizasızlığı

Bahsedilen teleskopik hata ile aynı ismi taşıyan ama tamamen farklı bir bozukluk daha vardır. Bu sebepten dolayı iki hatanın karıştırılmamasına dikkat edilmelidir. Aralarındaki en belirgin fark, ikinci hatanın yapışkan kaplamalı hatlarda görülmesidir.



Şekil 5.3 Teleskopik rulo

5.6 Rulo Çapakları

Rulo çapakları, daha çok vakum deliklerindeki yetersiz hız ve çapak fanı hava türbülansları gibi temizleme sistemiyle alakalıdır. Çapak temizleme sisteminin yetersizliğinden dolayı oluşan bu hatalarda kağıt genişliği ölçüsünün de göz ardı edilmemesi gerekir.

5.7 Yıldız Rulo

Yıldız rulo ismi, sarılan rulo yüzeyinde merkezden dış tabakaya doğru uzanan yıldız motifinden gelir. (Şekil 5.4) Tabakalara dikkatle bakılacak olursa, yıldız rulo motifinin yanı sıra mevcut dalgalanmalar da fark edilebilir. Dalgalanmalar her ne kadar yıldız rulodan farklı bir bozukluğu benzese de her iki koşulu oluşturan şartlar aynıdır.



Şekil 5.4 Yıldız rulo

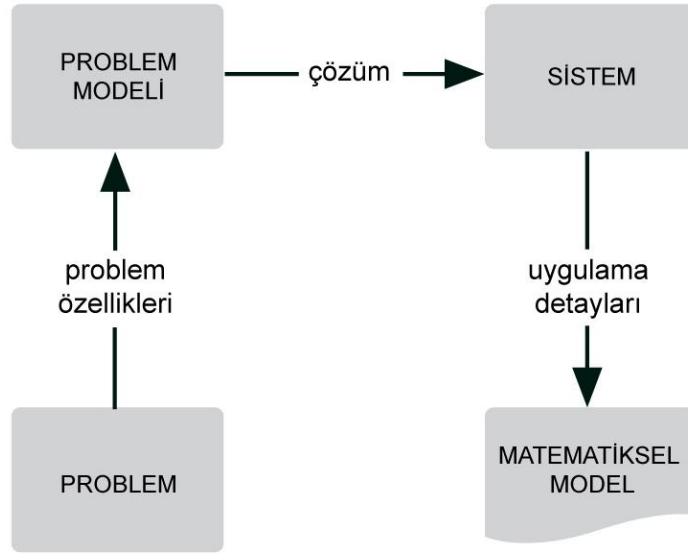
Üretimde istenmeyen bu hatanın meydana gelmemesi için, rulo sıklığı çapla orantılı olarak değiştirilmeli, kağıt kalınlığı değişimi minimumda tutulmalı ve rulo yüzeyine sert darbelerden kaçınılmalıdır.

5.8 Bıçak Halkaları

Rulo üzerindeki bıçak halkaları, merdane şeklinde yerleştirilmiş alt bıçakların bıraktıkları izlerdir. Bıçakların titreşimlerinin önlenmesi, hızlarının hat hızından aşırı değerde olmadığı ve konumlarının uygun ayarlandığı durumlarda bıçak izleri yok edilir.

6. İKİ TAMBURLU KAĞIT BOBİNİ KESME MAKİNESİ MATEMATİKSEL MODELİ

Fiziki sistemlerde karşılaşılan problemlerin çözümleri ya da önceden sonucunun nasıl olacağı bilinmeyen durumlar hakkında fikir edinmek için matematiksel model kurmaya ihtiyaç duyulur. Otomasyonun vazgeçilmez unsuru olan modelleri şekillendirirken ele alınan sistemin sürekli ve geçici rejim anlarındaki cevapları irdelenerek kontrol değişkenlerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Mantıklı bir model sistemin fiziksel sınırların dışına çıkmamalıdır.



Şekil 6.1 Matematiksel model akış diyagramı

Çoğu zaman bilgisayarla çeşitli veriler etrafında yapılan modelleme çalışmaları, üzerinde durulan konularla ilgili büyük gelişmelere vesile olmuştur. Cihaz, makine, otomotiv üretim sektörlerindeki modele dayalı ar-ge çalışmaları bunların sadece birkaçıdır. Ayrıca bu kapsamlı araştırmaların modele dayalı yapılması harcanan bedellerde de düşüşe neden olmuştur. Aşağıda sırasıyla matematiksel model türleri verilmiştir.

- Ayrık ve sürekli model
- Statik ve dinamik model
- Açık ve kapalı döngülü model
- Stokastik ve deterministik model

Ayrık model, zamanın tek bir noktasında oluşurken, sürekli model, zamana bağlı olarak devam eder. Diferansiyel denklemlerle izah edilen sürekli modele örnek olarak deniz suyu

sıcaklığının gün içinde değişmesi gösterilebilir. Herhangi bir döngüyü bitiren anlık hareket ise ayrıık modele örnektir.

Statik ile dinamik model arasındaki fark ise zamanın etkisinden ileri gelir. Statik model zamandan bağımsızdır yani herhangi bir süre söz konusu değildir.

Diğer model türü olan açık döngü sistemler, içinde geri besleme sinyali bulundurmaz. Çok karmaşık olmayan bu döngüde, uygulanan giriş sinyali göre çıkış sinyali değişir. Kapalı döngü sistemini açık döngü sisteminden ayırt eden özelliği geri besleme sinyalidir. Geri beslemenin kullanıldığı sistemlerde, işlemlerin sonuçları kendisinden sonra gelecek işlemin değişikliği için modele giriş sinyali olarak verilir. Başka bir deyişle kapalı döngü giriş sinyalinin çıkış sinyalinden etkilendiği döngüdür.

Son olarak açıklanacak stokastik ve deterministik modeller de öncekiler gibi birbirine taban tabana zıttır. Stokastik model bir ya da birden fazla rasgele değişkene dayanır. Bundan dolayı sistemin davranışını sadece tahmini olarak belirlemekten öteye gitmez. Stokastik modeli deterministik modelden ayıran fark sonuçların sabit olmamasıdır. Deterministik modelin girdi değişkenleri ise rasgele değildir. Sistemin davranışı her zaman aynıdır ve her zaman aynı çıkışları üretir. Yani modelden elde edilen sonuçlar istikrarlıdır. (İnan, 2006)

Bu çalışmada ise kağıt endüstrisinde popülaritesi artan iki tamburlu kağıt bobini kesme makinelerinin model tipi, yapılan fizibilite çalışmaları ışığında belirlenerek matematiksel modeli kurulmuştur. Simülasyon işlemleri ise Matlab / Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

Son yıllarda akademik ve endüstriyel ortamlarda yaygınlaşan Simulink, dinamik sistemlerin modellenmesi, simülasyonu ve analizi için kullanılan bir yazılım paketidir. Bu yazılım ortamında, fren sistemleri, durum uzayları, kontrol sistemleri birçok elektrik, mekanik ve dinamik sistem simule edilebilir.

Matlab / Simulink programında oluşturulan iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi modelinde, makinenin iki farklı işleminden faydalanılmıştır. Bunlar, farklı matematiksel ifadeler içeren kağıt rulusunun açılması ve yeniden sarılması sürecidir. Bununla birlikte sanayide kullanılan hem AA, hem de DA motorları simülasyonlarda ayrı olarak yerlerini almıştır.

Kağıt kesme makinesinin matematiksel modelinde kullanılan çıkış verisi kağıt hattı gergisidir. Gerginin elde edilmesinde faydalanılan kontrol değişkenleri ise tork, açısal hız ve çap

değerleridir. Bu değişkenlerin yanı sıra çeşitli başlangıç değerleri de ilk anda simülasyona manuel girilmektedir.

Oluşturulan modelle, kağıt hattındaki gergi değeri ve bu değere hangi faktörün ne ölçüde etkisi olduğu belirlenebilecektir. Modelin diğer bir artısı da kağıt kesim makinelerinin tanımlanmasını kolaylaştırmasıdır. Bu ana başlık altında kullanılan motor tiplerinin bilgileri verildikten sonra modellemeden bahsedilecektir.

6.1 İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Motor ve Sürücüler

Modern kağıt bobini kesme makinelerinin sürekli rejimlerdeki hat hızları 2000 m/dk değerine kadar ulaşır. Bu kadar yüksek hızlarda talep edilen ürünü elde etmek için kimi zaman birkaç yüz kilowatt güce sahip AA ya da DA ana motor, yardımcı motor ve motor sürücü sistemleri gerekir.

1990'lı yıllara kadar kağıt bobini kesme makinelerinde DA motorları tercih ediliyordu. Ancak yapılan araştırmalar ile günümüzde AA motor parametrelerinin kontrol olanakları iyileştirilmiştir. Dolayısıyla kağıt endüstrisinde kaliteli rulolar üretmek için AA motor kullanım oranı artmaktadır. Hatta çift sarımlı, 3 fazlı AA motor konfigürasyonları gibi standart olmayan türlerine de rastlanmaktadır. AA motorların sağladığı bir diğer avantaj da tesislerin olumsuz üretim ortam koşullarına uygun olmasıdır.

Kağıt kesim makinesi tek tür motor içermeyebilir. Örneğin, Kanada da faaliyet gösteren Norske Canada adlı firma kendi tesislerindeki makinede DA yardımcı motorları AA motorlara çevirmiştir. Böylece hem AA ve DA teknolojilerinin karışık kullanarak bir ilke imza atmış, hem de hattın ilerlemesini ve kesim sürecini geliştirmiştir.

İki tamburlu kağıt bobini kesme makinelerinde, hem tamburların, hem de açılan rulonun motora sahip olduğu üç motorlu uygulamalar geniş yer kapsar. Bu makinelerde her bir motor aralarındaki tork farkını istenen boyutlara getirmek amacıyla birbirinden bağımsız sürücüler ile kontrol edilir. Açılan rulonun bağımsız sürücü ile kontrolü sistemdeki sürtünme kayıplarını minimuma indirir ve gergi tam olarak istenen seviyede tutulur. Açılan rulo fren jeneratörü sürücülerinin yapısı kendilerine has bazı özelliklerden ötürü diğer sürücülerden karmaşıktır.

Motor seçimi yapılırken aşırı yüklenme oranlarının göz önünde bulundurulması gerekir. Çünkü hızlanma ve yavaşlama anlarında motorlar ekstra tork uygulayarak sarılan ve açılan ruloların ataletlerini yenmelidir. Buna ek olarak hangi tip olursa olsun her bir motor hız geri beslemesini gerçekleştirmek için tam doğruluğa sahip, sıcaklıktan etkilenmeyen tako jeneratör veya dijital enkodera sahip olmalıdır.

Kağıt bobini kesme makinelerinde belirli hız aralıklarında düzgün ve tam döndürme momenti uygun motor sürücülerini ile sağlanır. AA ya da DA güç dönüştürücülerini olarak da adlandırılan sürücüler kontrol sisteminin dominant elemanlarıdır. Dominant özellik, iyi performansına sahip sürücü uygulamalarında geniş kapsamlı hız kontrolünün yapılabildiği hız anlarında seri tork cevapları alınmasından kaynaklıdır. Sürücüler ihtiyaç duydukları elektrik enerjisini dönüştürülmüş 3 fazlı AA busbardan sağlar. Müstakil kabini içindeki her sürücü, operatör ara yüzüne sahiptir.

Sürücü sistemlerinin belirlenmesinde kağıt makinesinin kağıt hattı gergisi değişimi, yüksek hat hızı, kağıt özellikleri, ön ve arka tambur yük paylaşımı göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca sürücü kontrol mantığının sadece hız kontrolünden ibaret olmadığı iyi benimsenmelidir. Çünkü büyük ataletle sahip kağıt rulolarının yüksek hat hızında açık döngü olarak kontrol edilmesine imkan veren tork kontrolünün kağıt kesim makinesi otomasyonundaki payı büyüktür.

Sürücülerin görevleri kağıt hattını sarılan ruloya çekme, kağıt hattını açılan ruloda frenlenme, gergi kontrolü, motor hızlarını senkronize etme, hızlanma, yavaşlama ve acil stop fonksiyonlarının gerçekleştirilmesidir. Eğer motor hızları senkronize edilmediğinden dolayı makineyi meydana getiren kısımlar arasında hız gecikmesi oluşursa, kağıt hat hızı ve motor tork değerlerinde osilasyonlar görülür. Sürücü görevleri arasında sayılan yavaşlama ve durma fonksiyonlarının sürelerinin kabul edilebilir düzeyde olması için motor torkları sınırlandırılmalıdır.

Sürücüler bir defaya mahsus ait oldukları motorların tork, akım, direnç vb. değer bilgilerine ulaşmak için asıl kesim işleminin öncesinde makine düşük hızlarda çalıştırılmalıdır. Kağıt makinelerinde bu açık döngü gergi kontrol süreci, gerekli gergi ve hızlanmadan yapılan hesaplama motor tork değişiminin öğrenilmesi şeklindedir.

Motorları, tambur ve açılan rulolar ile irtibatlandırmak için de ara elemanlar kullanılır. Bu elemanlardan bahsedilirken ilk akla gelen mekanik araç redüktördür. Redüktör, elektrik motorlarının yüksek devirlerini gerekli olan devirlere düşürmek için tasarlanan kapalı dişli kutularıdır. Bu dişli yapısı devir ayarının yanında güç iletimini de gerçekleştirdiğinden motor torkunda değişikliğe sebebiyet verir. Motor devri düşerken uygulamaya etki eden torkun artma yönündeki eğilimi eşitlik (6.1)' den görülebilir. Zaten redüktör kullanımındaki amaçlardan biri de makineden düşük devirlerde daha fazla torka ulaşmaktır.

$$P = T.w \quad (6.1)$$

Redüktörün diş sayısı çevrim oranını belirler. Dişli düzeneklerinin hepsinde olduğu gibi redüktörlerden de çeşitli dönme yönleri elde edilir. Dönme yönü çevirme oranında mutlaka belirtilmelidir. Döndüren ve dönen yapılar aynı yönde ise “ + ” , ters yönde ise “ - ” işareti ile gösterilir.

Dişli kutusunun giriş milindeki motor devir sayısı N_g , çıkış milindeki devir sayısı $N_ç$ ile gösterilirse çevrim oranı eşitlik (6.2) deki gibidir. Ayrıca birden fazla redüktör kullanıldığı takdirdeki çevrim oranı ve verim sırasıyla eşitlik (6.3) ile (6.4)'te verilmiştir.

$$i = \frac{N_g}{N_ç} \quad (6.2)$$

$$i_{top} = \frac{N_{g1}}{N_{ç1}} \times \frac{N_{g2}}{N_{ç2}} \quad (6.3)$$

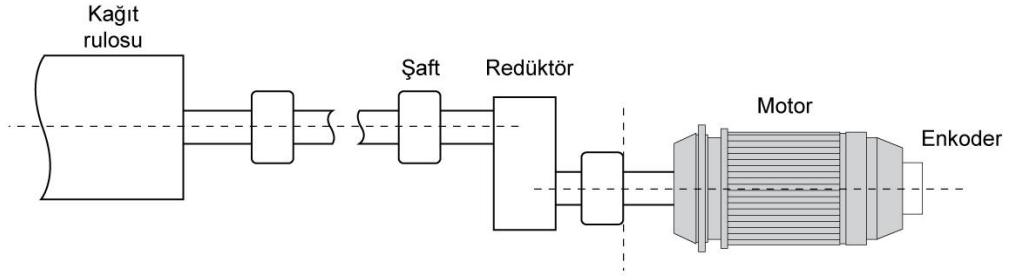
$$\eta_{top} = \eta_1 \times \eta_2 \quad (6.4)$$

Redüktör seçimi yapılırken 7 gün - 24 saatlik çetin çalışma koşulları göz önüne alınarak; verim, çevirme oranı, ağırlık, kademe sayısı, boyut ve kullanılan dişli sayısına dikkat edilmelidir. Aşağıda mevcut redüktör tipleri verilmiştir.

- Sonsuz dişli
- Helisel
- Ayna – Mahruti
- Paralel dişli
- Planet

Transmisyon için genellikle ekstra burkulma elastikliği özelliği içeren helisel tip redüktör tercih edilir. Kağıt endüstrisindeki makinelerin elastik özellikte ve uzunlukları 2,5 – 3,5m arasında değişen millerinde, ani hız ya da yük değişimlerinde burulma problemleri görülür. İlk üretim sistemlerinde yoğun olarak rastlanan burulma sorunu için günümüzde çeşitli çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar; 100 rad/s'dan yüksek titreşim frekanslı servo sürücüler, içi boş geniş tip miller, üst aşımaya sahip olmayan rampa referans sinyalleri, filtreler şeklinde sayılabilir. (Valenzuela vd., 2005)

Genel bir motor mekanik sistem düzeni; elektrik motoru, redüktör, mil ve rulo olarak sıralanır. (Şekil 6.2)



Şekil 6.2 Motor mekanik sistemi

Redüktör kullanımının yanı sıra, motor ile kağıt makinesinin bölümleri arasındaki mekanik parçaların azaltılması amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda, kağıt hat hızını sürücüler vasıtasıyla önceden bilinen aralıkta ayarlamak için hiçbir dişli kutusuna gereksinim duymaksızın motoru doğrudan makineye irtibatlandıran “direkt sürme yaklaşımı” isminde bir metot geliştirilmiştir. Bu metot AA ve DA sürücü sistemlerinin hat hızına yakın devire sahip motorlarla birlikte kullanılması şeklindedir.

AA ya da DA direkt sürücü sistemlerinin faydaları; dişli kutusu geri tepmesinin, dişli kutusu sesinin, mil sorunlarının ortadan kalkması ve daha az parça içermesinden dolayı bakım maliyetlerinin düşük olmasıdır.

6.1.1 DA Motorları

Endüstriyel güç aktarım sistemlerinde yeri tartışılmayacak kadar önemli olan DA motorları elektrik ve mekanik enerjiler arasında çevrimi sağlayan cihazlardır.

Dijital teknolojiye haberleşme ara yüzü ve kontrol performansı ilerlemeleri, DA motorları tarafından yapılan kesim prosesinin kalite ve üretkenliğini yükseltmiştir. Ayrıca hızlı anahtarlamalı modern güç dönüştürücüleri sayesinde kağıt bobini kesme makinelerinin büyük güce sahip DA motorlarının faydaları ve kontrol açısından güvenilirlikleri artmaktadır. Fakat DA motorlarının açıklanan avantajlarına ve yaygınlığına rağmen, kağıt kesim proseslerinde eğilim her geçen gün AA motorlara doğru kaymaktadır.

DA motorlarının kağıt üretim sürecinde sağladıkları katkıların nedenlerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Hız karakteristikleri
- Düşük hızlardaki yüksek tork özellikleri
- Başlangıç anındaki yüksek makine ataletini kolay yenmeleri

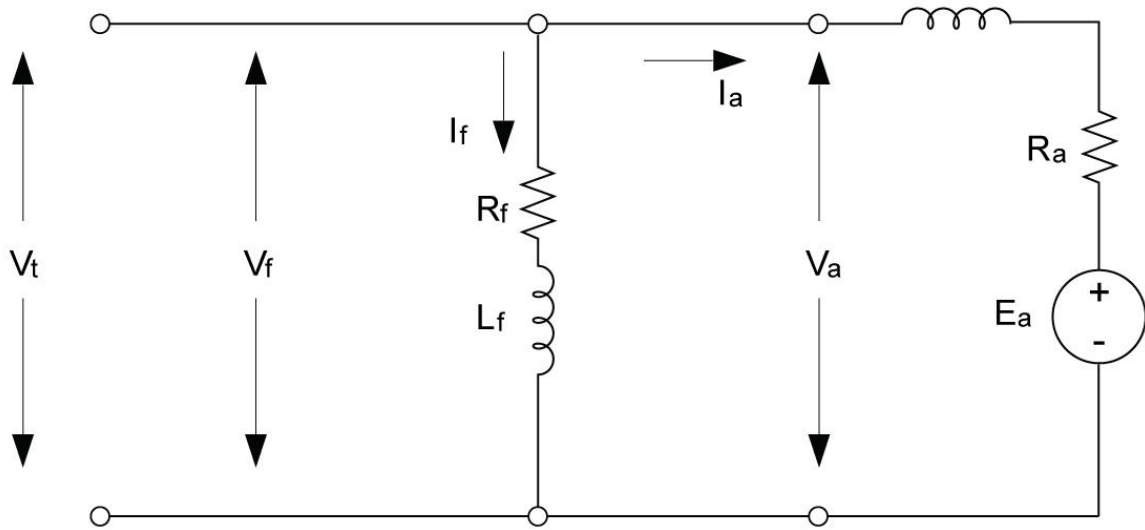
- Güvenilirlikleri

Uyarma sargısının besleme şekline göre doğru akım motorları serbest ve kendinden uyarımlı olarak sınıflandırılır. Serbest uyarımlı motorlarda uyarma gerilimi, çoğu zaman basit olarak köprü doğrultucu içeren doğru akım güç kaynaklarıyla AA gerilimden elde edilir. Kendinden uyarımlı motorlarda ise uyarma sargıları armatür devresinden beslenir. Sargıların bağlantı şekillerine göre kendinden uyarımlı DA motorları aşağıda belirtilmiştir.

- Seri
- Şönt
- Kompunt

Uyarma sargısı şönt motorlarda armatür sargısına paralel, seri motorlarda seri, kompunt motorlarda ise hem seri, hem paralel olarak bağlanır.

Kağıt kesim makinelerinde, devir sayıları yük ile değişmeyen büyük DA şönt motorlarının kullanımı yaygındır. Şekil 6.3' de şönt motorun armatür ve uyarma sarımlarının paralel bağlantısı görülmektedir.



Şekil 6.3 Şönt sarımlı DA motoru

Giriş gerilimi V_t , armatür direnci R_a , armatür besleme gerilimi V_a , giriş gerilimi ve armatür besleme gerilimine eşit uyarma gerilimi ise V_f olarak sembolize edilmiştir. E_a armatürün dönmesiyle besleme gerilimine zıt yönde armatür devresinde endüklenen emk, R_f uyarma sargı direncidir.

Eşitlik (6.5) endüklenen zıt emk (E_a), değerini armatür hızı (n) ve toplam faydalı alan akısına (Φ) bağlı tanımlar. k_1 endüvideki iletken sayısı, kutup sayısı gibi motor parametreleriyle alakalı sabittir. Şönt motor alan akısı az miktarda armatür akımından etkilenebilir.

$$E_a = n \cdot k_1 \cdot \Phi = w \cdot k_f \cdot I_f \quad (6.5)$$

Armatür akımı I_a olmak üzere şönt motor besleme gerilimi eşitlik (6.6)'daki gibidir.

$$V_f = V_t = V_a = E_a + R_a \cdot I_a \quad (6.6)$$

Şönt uyarmalı DA motor torku, k_f tork sabiti, I_f uyarma akımı ve I_a armatür akımı parametrelerine göre eşitlik (6.7) ile ifade edilir.

$$T = k_f \cdot I_f \cdot I_a \quad (6.7)$$

Eşitlik (6.7)'de görüldüğü gibi motor çıkış torku, motor hava boşluklarındaki akı ve iletkenler üzerindeki akımla bağıntılıdır. Doğru akım motorları, uyarma ve armatür akımının bağımsız olarak düzenlenmesine imkan verir. Bu kontrol, standart sürücülü AA motorlarında ise yapılamaz.

Serbest ve şönt uyarmalı doğru akım motor tork ve zıt emk (E_a) formülleri aynıdır. Fakat seri uyarmalı motorlar için armatür akımı (I_a) ve uyarma akımı (I_f) aynı olduğundan dolayı tork formülü eşitlik (6.8) halini alır.

$$T = k_f \cdot I_a^2 \quad (6.8)$$

Kompunt motor tarafından üretilen zıt emk ve moment için sırasıyla (6.9) ve (6.10) eşitlikleri kullanılır.

$$E_a = k_1 (k_{\text{şönt}} \cdot I_f \mp k_{\text{seri}} \cdot I_a) w \quad (6.9)$$

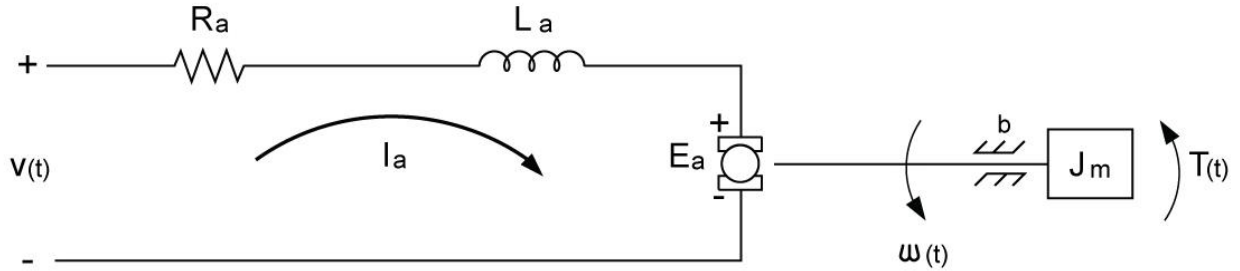
$$T = k_1 (k_{\text{şönt}} \cdot I_f \mp k_{\text{seri}} \cdot I_a) I_a \quad (6.10)$$

DA motorlu makinelerde kağıt hat gergisi ve hızının kağıt kesim işlemi süresince sabit değerde kalması için yukarıdaki eşitlikler yardımıyla motor tork ve devri değiştirilmelidir. Motor devri, eşitlik (6.5)'den anlaşıldığı üzere zıt emk (E_a)'nın sabit kalması koşuluyla alan akısı (Φ)'nın düşmesi halinde artar. Aynı koşulların devamı olarak armatür akımı (I_a) da sabit kaldığı takdirde tork azaldığı eşitlik (6.7)'de açıktır. Bahsedilen parametre değişimi açılan rulo sabit güç bölgesi çalışmasını ifade eder. (Şekil 3.13)

DA motorlu iki tamburlu kağıt makinesinin diğer karakteristiği de sabit tork bölgesidir. (Şekil 3.13) Bu bölgede çıkış momentinin, motorun sıfır ile taban hızı aralığında sabit tutulması istenir. Motor hızı, armatür gerilimi (V_a) ve anma alan akımı (I_f) tarafından belirlenir ve bu aralık boyunca alan akımı (I_f) ve armatür akımı (I_a) sabittir.

Söz konusu karakteristiklerin dışında, özellikle sabit hat gergisi için armatür akımı değiştirilmeden kağıt rulo çapı ile birlikte uyartım alan akımı azaltılarak torkun rulo çapıyla lineer olarak değişmesi gerçekleştirilebilir. Benzer durum rulo çapının arttığı anlar içinde geçerlidir. Fakat tork ile akım arasındaki lineer değişimi bozacak armatür reaksiyonu, kaçak akı, tristör iletkenliği arızalarıyla karşılaşılabilir.

İki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonunda kullanılan DA motor modeli Şekil 6.4' verilmiştir.



Şekil 6.4 DA motor modeli

Zaman domeninde gösterimi verilen Şekil 6.4' teki matematiksel modele laplace dönüşümü uygulandığı takdirde motorun açısal hızıyla ($w(s)$) giriş gerilimini ($V(s)$) ilişkilendiren transfer fonksiyonu eşitlik (6.11)' deki gibidir.

$$G_s = \frac{w(s)}{V(s)} = \frac{k_f I_f}{\left[R_a + L_a s \quad J_m s + b + k_f^2 I_f^2 \right]} \quad (6.11)$$

J_m motor ataletini, b rotor viskoz sürtünme katsayısını, T motor ve yükün ters yönde etki eden sürtünme torkunu ve k_f tork sabitini verir.

Doğru akım motorları makineye dişli kutusuna gereksinim duymadan direkt olarak bağlanabilirler. Direkt bağlantı uygulamasında motor, komütatör ve fırça ömürlerinin uzaması avantajlarına sahip olmaktadır. Çünkü yüksek devirli motorlarda dişli kutusu kullanıldığında, motorun sabit güçte hızı düşerken torku yükselir ama armatür akımı (I_a) değişmez. Oysa düşük devirli motorların hıza paralel olarak armatürde endüklenen zıt emk gerilimi (E_a) ve komutasyon hızları düşüktür. Böylece fırçanın üzerindeki akım, sıcaklık vb. ömür kısaltıcı

olumsuz etkenler daha az sorun teşkil eder. (Stoicovy, 1986) Aşağıdaki çizelgede motor devri ile komütatör hızı arasındaki ilişki belirtilmiştir.

Çizelge 6.1 DA motoru komütatör hız değişimi

Motor Devri(dev/dak)	Redüksiyon Oranı	Komutasyon Hızı (m/dk)
2051	2.76	822
743	-	335
1831	5.6	975
327	-	243
1307	4.57	1371
286	-	350

Direkt sürme sistemlerinin üzerinde durulması gereken diğer bir husus, verimdir. Dişli kutusuna sahip sistemlerin mekanik parçalarının kayıpları olmasına rağmen, toplamda düşük devirli motorlar ile aralarında fazla verim farkı bulunmamaktadır. Yani verim neredeyse her iki sistem içinde aynıdır. Öte yandan dişli kutusu kullanılmadığı takdirde ihtiyaç duyulan düşük devirli motorlar kimi zaman özel tasarım olarak üretilir ve bunların maliyetleri fazladır. Örnek olarak çift bobin sarımlı motorlar gösterilebilir.

6.1.2 DA Motor Sürücüleri

DA motorlarının kontrolü, çıkışlarındaki doğru akım geriliminin seviyesini ayarlayan standart sürücüler ile yapılır. Bu sürücüler motor çıkış torkunu değiştirerek motor hızını belirlerler.

DA motorlarının kontrolü için gerekli olan armatür gerilimi şebeke denetimli dönüştürücülerden “ α ” faz kontrol açısına bağlı olarak eşitlik (6.12)’den sağlanabilir. Faz kontrol açılarıyla ayarlanan gerilimden elde edilen armatür akımı (I_a) DA motoru için gerekli gücü sağladığı gibi kağıt bobini kesme makinesi kontrol yazılımı ile güç ünitesi arasında ara yüz görevini de üstlenir. (Dapcevic vd., 1998)

$$V_{da} = s \frac{q}{\pi} \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin \frac{\pi}{q} \cdot \cos \alpha \quad (6.12)$$

V faz-nötr gerilimini, s dalga sayısını, (yarım dalga doğrultucu için 1 tam dalga doğrultucu için 2 değerindedir.) q faz sayısını simgeler.

Armatür gerilimi DA kıyıcıları vasıtasıyla da elde edilebilir. DA kıyıcılı sistem doğrultucu ve DA kıyıcısından oluşur. Doğrultucudan sağlanan gerilim (v_{da}), DA kıyıcısı tarafında “ λ ” bağlı iletim süresi ile ayarlanabilir ve armatür çıkış gerilimine ($v_{d\lambda}$) eşitlik (6.13)’ den dönüştürülür.

$$V_{d\lambda} = \lambda \cdot V_{da} \quad (6.13)$$

Günümüzde orta ve büyük boyuttaki serbest uyarmalı doğru akım motoru için standart sürücülerin aksine, uyartım akısını oluşturan büyük zaman sabitli alan sarımlarıyla torku oluşturan küçük zaman sabitli armatür sarımlarını ayrı kontrol eden yeni sürücüler tercih edilir. Bu tip sürücülerde motor hız kontrolüne gereksinim duyulmadan tork tek başına ayarlanabilir.

Hat gergisi için açılan rulo jeneratörü fren torkunun gerekliliği önceki bölümlerde açıklamıştı. Bu torkun DA motorlarında sağlanması için sürücüler aracılığıyla üç temel yöntemden faydalanılır. Bu yöntemlerden birincisi aşamalı kapamadır. Aşamalı kapama, normal frenleme sürelerinde ters yönde torka ihtiyaç duyuldukça sürücü tarafından sıfır tork üretilmesidir.

İkinci yöntem, frenlemede depolanan enerjinin, DA motorunun armatürüne bağlı dirençler üzerinden harcandığı dinamik frendir. Dinamik frenin ters tork büyüklüğü kontrol edilemediği için iki tamburlu kağıt kesim makinelerinde tercih edilmez. Fakat acil frenleme açısından uygundur.

Son yöntem ise rejeneratif tork kontrolüdür. Rejeneratif tork kontrolü ile ters ve ileri yöndeki tork, sürecin o andaki ihtiyacına göre armatür akımı, armatür voltajı vb. parametreler ayarlanarak belirlenir. Rejeneratif frenleme sıfır hız anında tam tork imkanı gibi özelliklere sahip olduğundan yavaşlama süresini göz ardı edilemeyecek oranda hızlandırır.

DA sürücüleri AA sürücüleri ile kıyaslandığında revizyon, bakım vb. işletim gereksinimlerine çok sık ihtiyaç duymalarına rağmen basit ve ucuzdur. Bununla birlikte kağıt makinesi doğru akım sürücüleri kısa süreli enerji kesintilerinde gerilim kaybını fark edip, tetikleme sinyalini gerilim eski haline dönene kadar 2 – 12 döngü arasında devam ettirme imkanı sağlarlar. DA motorları 200 kW altı güçlerde eş değer güçteki AA motorlarından daha pahalıdır. Ayrıca, DA motorları içeren makineler kapalı alanlarda konumlandırıldıklarında dışarıdan temiz hava ile havalandırılmalıdır.

6.1.3 AA Motorları

AA motorları kağıt bobini kesme makinelerinde ilk olarak bıçak ve ayırıcı silindir motorları için kullanılmıştır. Daha sonra AA motor kontrolünün kolaylaşmasına istinaden, torkun

gerçek değerinin önem arz ettiği açılan rulo ve tamburlardaki yerlerini almışlardır. Rejeneratif AA sürücü sistemleri ise kağıt bobini kesme makinelerinde 1994 yılında Kanada'da kullanılmaya başlanmıştır. (Fransen, 1996)

Temel ilkesi metalden yapılmış bir kütlelin döner manyetik alan tarafından sürüklenmesi olan AA motorları, stator ve rotor diye tabir edilen aralarında hava boşluğu bulunan ana yapılardan meydana gelir. Stator motorun duran, rotor motorun döner kısmıdır.

AA motorları iki gruba ayrılır. Bunlar senkron ve asenkron motorlardır. Senkron motorda rotorunun dakikada yapmış olduğu devir sayısı, stator sargısı döner alanının dakikada yaptığı devir sayısı ile aynıdır. Özellikle soğutmayı iyileştiren IP 23 koruma sınıflı büyük güçte sabit hız gerektiren yerlerde ve jeneratör teknolojisinde kullanılır. Asenkron motorda ise rotorun devir sayısı, stator sargısı döner alan devir sayısından küçük ya da büyüktür. Asenkron motor kağıt üretim süreçlerini de kapsayan standart uygulamalarda tercih edilir.

Senkron motor, devrini arttırarak yükünü senkron hızda döndürür ve hızını yükteki her türlü geçici rejime rağmen koruma yeteneğine sahiptir. Ayrıca motor olarak çalıştırıldığında dinamik kapasite gibi davranarak şebeke güç faktörünü düzeltir. Aşırı yük durumunda senkron motorların durmasına neden olan devrilme momenti, nominal momentin iki katına yakındır. Rotor devrelerinin yapılarına göre aşağıda belirtilen iki çeşit senkron motor vardır.

- Silindirik rotorlu
- Çıkık rotorlu

Senkron motor stator sargılarındaki manyetik alan, rotor sargılarına doğru akım uygulanmasıyla oluşur. Bu uyarma akımına mile entegre bir dinamodan veya serbest uyarma şeklinde başka kaynaktan ulaşılır. Üç fazlı rotor sargılarından sadece bir sargı DA uyarma akımının tamamını taşır. Diğer iki sargı paralel ve seri bağlantılarla uyarma akımının yarısını taşır. (Drury, 2001) Senkron motor stator sargılarının manyetik alan dönme, hızı rotor sargılarının manyetik alan dönme hızıyla aynı değerde beraber hareket eder. Senkron hız (n_s) ifadesi eşitlik (6.14) gibi yazılır. Bu eşitlikte p motor çift kutup sayısı, f sabit şebeke frekansıdır.

$$n_s = \frac{60.f}{p} \quad (6.14)$$

Eşitlik (6.14)' ten anlaşıldığı üzere kutup sayısı ile senkron hız arasında ters bir bağıntı vardır. Stator sargılarında endüklenen gerilim frekansı (f_s) şebeke frekansına (f) eşittir.

Senkron motor stator dizaynı standart sincap kafesli alternatif akım asenkron motora benzer olarak çoğunlukla iki ya da dört kutupludur. Ayrıca, motor boyunun engel teşkil etmediği durumlarda dört kutuplu motor daha uygundur. Rotor dizaynı da senkron motor performansında etkindir.

Bizim daha çok üzerinde duracağımız AA motor türü kağıt makinelerinde sıkça rastlanan asenkron motordur. Bu motorun rotor sargılarına dış kaynaktan gerilim uygulanmaz. Asenkron motor rotor sargılarının yapılışına göre iki gruba ayrılır.

- Rotoru sincap kafesli (kısa devreli rotorlu)
- Rotoru bilezikli (sargılı rotorlu)

Her iki tür asenkron motorun stator sargıları büyük ölçüde aynı özelliği taşır. Sincap kafesli tip rotor çevresine yerleştirilmiş birbirinden izole edilmiş çubuklardan oluşur. Bu çubuklar her iki taraftan kısa devre edilmiştir. Bilezikli tipte ise rotorda yalıtılmış yıldız bağlı sargılar uçlarından bilezik – fırça sistemi ile dışarıya alınmıştır.

Uygulamalarda en çok kullanılan sincap kafesli motorların stator sargılarından geçen alternatif akım dönen N ve S kutuplarını meydana getirir. Dönen N ve S kutupları kısa devreli rotorun çubuklarını kesip çubuklar üzerinden akım geçirerek emk endükler. Sonuçta rotorda oluşan N ve S kutupları dönen stator kutuplarından etkilenerek rotorun saat ibresi yönünde dönmesine neden olur.

Döner alanın devir sayısı n_s ile rotor devir sayısı n_r arasındaki farka kayma denir. Eşitlik (6.15)'te kayma ifadesi verilmiştir.

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} = \frac{w_s - w_r}{w_s} \quad (6.15)$$

Asenkron motorda döner alanın stator (V_m) ve rotor (V_r') sargılarında meydana getirdiği gerilim değerlerine eşitlik (6.16) ve eşitlik (6.17)' den ulaşılabilir.

$$V_m = c \cdot k_s \cdot N_s \cdot f_s \cdot \phi \quad (6.16)$$

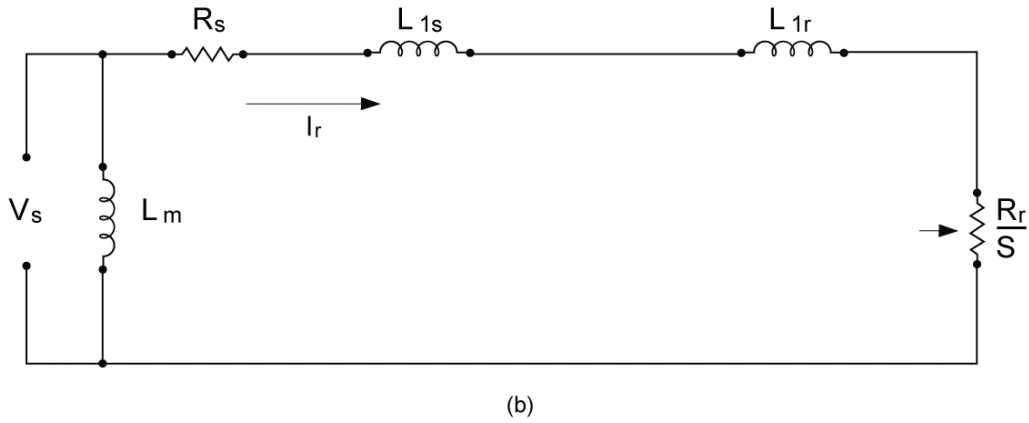
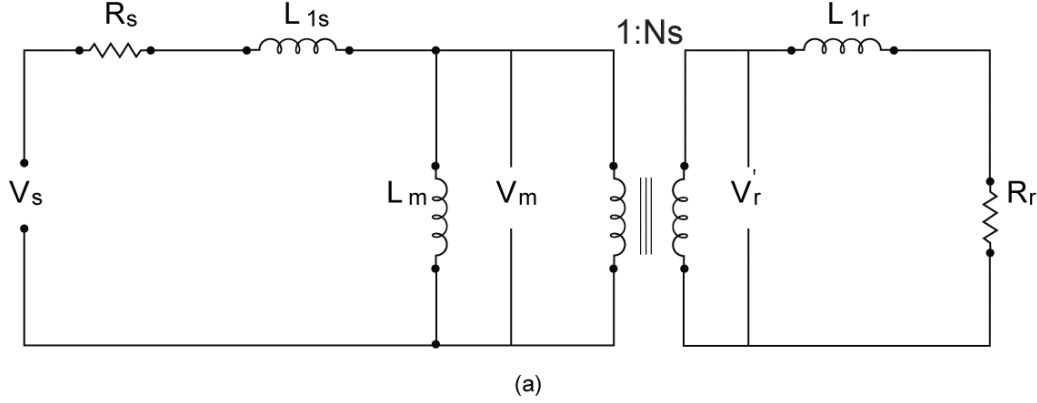
$$V_r' = c \cdot k_r \cdot N_r \cdot f_r \cdot \phi \quad (6.17)$$

Yukarıdaki eşitliklerde f_s ve f_r stator ile rotor frekansını, k_s ve k_r stator ile rotor sargı faktörlerini, c sabit değerini, ϕ akı değerini, N_s ve N_r stator ile rotor sarım sayısını ifade eder.

Eşitlik (6.16) ve (6.17) oranlanırsa rotorda endüklenen gerilim (V_r') S kayması ve N dönüştürme oranı cinsinden eşitlik (6.18)' deki gibi elde edilir.

$$V_r' = s.N.V_m \quad (6.18)$$

Asenkron motor eşdeğer devresi tanımlanırken motor ilk başta 3 fazlı bir transformatör gibi düşünülür. Daha sonra ise sadeleştirilir. (Şekil 6.5)



Şekil 6.5 (a) AA motoru transformatör eşdeğer devresi,
(b) AA motoru basitleştirilmiş eşdeğer devresi

Eşdeğer devrelerden çıkartılan moment ifadesi eşitlik (6.19)' deki gibidir. “ V_s ” statora uygulanan gerilim, “ R_s ” stator direnç, “ R_r ” rotor direnç ve X_1 toplam reaktans değeridir.

$$T = 3.p. \frac{R_r}{s.w_s} \cdot \frac{V_s^2}{\left(R_s + \frac{R_r}{s}\right)^2 + X_1^2} \quad (6.19)$$

AA motorları DA motorları gibi sabit güç ve sabit tork bölgelerinde çalışırlar. (Şekil 3.14) Eğer makine hızının nominal hızdan düşük olduğu sabit tork bölgesinde çalışıyorsa, stator gerilimi frekans ile aynı oranda artırılıp azaltılarak aralarındaki oran sabit tutulmalıdır. Sabit güç bölgesindeki alternatif akım motorunun ise stator gerilimi sabit tutulurken kaynak frekansı yükseltilir. Bu durumda motor hava boşluklarıyla beraber tork değerinde azalma olur.

İki tamburlu kağıt bobini kesme makinelerinin hat hızları genellikle 4 veya 6 kutuplu asenkron motor hızlarına yakın olduklarından dişli kutusuna gerek duyulmayabilir. Ancak

asenكرون motorların dişli kutusuz olarak sürülmesi sabit tork bölgesinde sistem veriminin düşmesi gibi negatif bir etkene sahiptir. Eldeki benzer verilerin değerlendirilmesi sonucunda da asenkron motorların redüktörsüz sürülmesinin iyi bir alternatif olmadığına karar verilmiştir.

6.1.4 AA Motor Sürücüleri

Uyguladıkları gerilimin frekansı değiştirilebilen ve istenen hızda akıyı sabit tutarak belirli tork değerine ulaşmayı sağlayan cihazlara AA sürücüleri denir. AA sürücüler gerilimin form dönüşümünü sağlayan doğrultucu, inverter için sabit gerilim kaynağı olan DA hat ve tekrar gerilim form dönüşümünü gerçekleştiren inverter bölümlerinden meydana gelir. Sürücülerdeki DA hat gerilim seviyesi cihaz tipine göre + %10 – 15 ya da - %10 –15 arasında dalgalanabilmektedir.

AA sürücüler istenen gerilim ve frekans ayarını çeşitli metotlarla sağlarken kontrol metodu olarak hem skalar, hem de vektörel formları bünyesinde bulundurur. Sürücülerde frekans değiştirme için kullanılan çeviriciler ve yöntemler aşağıda gruplandırılmıştır.

- Akım kaynaklı frekans çevirici
 - Değişken akım değişken frekans (VCVF)
 - Darbe genişlik modülasyonu (PWM)
- Gerilim kaynaklı frekans çevirici
 - Değişken gerilim değişken frekans (VVVF)
 - Darbe genişlik modülasyonu (PWM)

Akım kaynaklı frekans çevirici, genlik miktarı kontrollü doğrultucu ile ayarlanan akımı büyük değerli bir endüktans üzerinden geçirerek inverter kısmında frekansını değiştirir. Akım kaynaklı frekans çeviricili sürücüler şebekeden yüksek harmonikler çektikleri için doğrudan akımı kontrol etmelerine rağmen gerilim kaynaklı çeviricilerden daha az tercih edilir.

Gerilim kaynaklı frekans çevirici sistemlerinde gerilimin frekans ayarı inverter kısmında yapılırken, genlik ayarı kontrollü doğrultucuda veya yine inverter kısmında frekans ayarıyla aynı anda yapılabilir. Genlik ve frekansın birlikte gerçekleştirilen ayarı sinüs şekline yakın sinyal üreten PWM yöntemiyle sağlanır. PWM yönteminden sinyal üretme Sinüs – Üçgen dalgalarının karşılaştırılması şeklindedir. Karşılaştırma işlemiyle, yani yüksek frekanslı üçgen dalga ile referans sinüs dalgasının üst üste çakıştırılması sonucunda iki sinyalin kesiştiği noktalarda yarı iletken güç elemanları tetiklenir. Üçgen dalga frekansı büyük seçilirse inverter

çıkışındaki sinyal sinüs formuna daha yakın olur ama yarı iletken güç elemanlarının tetiklenmesi artacağından kayıplar fazladır. Genlik ayarı inverter kısmında değil de ayrı kontrollü doğrultucuda yapılan frekans çevriminde düşük devirlerde verim azdır.

Sürücülerden istenilen hızda maksimum tork elde eden kontrol yöntemlerinin en temeli skalar kontroldür. Skalar hız kontrolünde momentin değişmemesi için stator manyetik akısının (ϕ) sabit kalması gerekir. Bu da eşitlik (6.20)' de ifade edildiği gibi stator geriliminin (V_s) ve kaynak frekansının (f) aynı oranda değiştirilmesi ile yapılabilir. Skalar kontrol yönteminin dinamik cevabı ani yük değişimlerinde yavaştır ve düşük hızlardaki verimi kötüdür. Daha çok tek kontrol sinyali ile birden fazla motorun sürüldüğü uygulamalarda tercih edilir.

$$\frac{V_s}{f} = \phi = sbt \quad (6.20)$$

Skalar kontrol yönteminde motor devrinin düşük olduğu anlarda motora nominal yük uygulanırsa, makineye uygulanan gerilimin oldukça büyük değerde olan $R_s \cdot I_s$ gerilim düşümünü de karşılaması gerekmektedir. Bu nedenle düşük hız anlarında uygulanan gerilimin değeri gerilim / frekans oranının belirlediği değerden yüksek olmalıdır.

Başka bir kontrol yöntemi de DA motorların geniş kapsamda kontrol edilme özelliklerini AA motorlarına aktaran vektör kontroldür. Vektör kontrol yöntemi, alternatif akım motorunun akım, manyetik akı vb. sinüzoidal parametrelerini uzay vektör olarak açıklar. Asenkron motor stator akımı birbirine dik doğrultudaki moment ve akı üreten bileşenleri kapsar. Vektör kontrol ile stator akımının akı ve moment oluşturan bileşenlerini ayırarak bağımsız kontrol etmek amaçlanır. Stator akımı akı ve tork üreten bileşenleri d ve q koordinatlarında düzlemlere bölünür. Bu yöntem sayesinde enkoder geri beslemesi olmayan motorlarda dahi iyi hız ve tork performansına erişilir. Öte yandan vektör kontrolünün neden olduğu ek ısınma problemlerinin önüne geçmek için soğutucu sistemlerden faydalanılmalıdır.

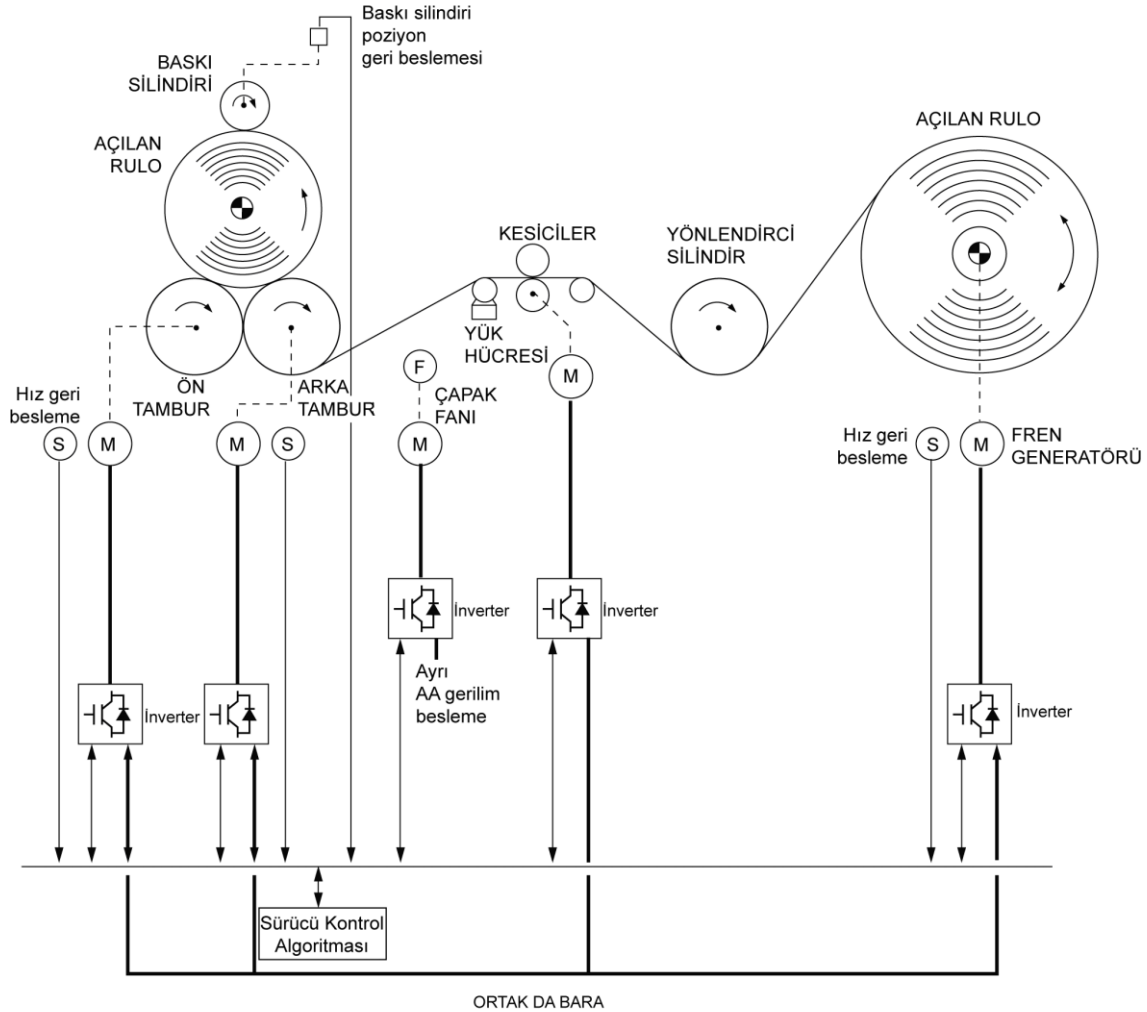
Alternatif akım motorlarında vektör kontrol referans eksenlerinin seçimine göre üç farklı şekilde yapılır.

- Rotor alan yönlendirmeli kontrol
- Stator alan yönlendirmeli kontrol
- Mıknatıslama alan yönlendirmeli kontrol

Sürücülerdeki inverterleri besleyen sabit doğru akım gerilimine güç kaynaklarından ulaşılabilir. Böylece AA kağıt makinesi sürücü sisteminin şebekeden izolasyonu gerçekleşmiş olur. Ayrıca bıçak, açılan rulo ve tambur motor inverterleri için kısa süreli şebeke kesintileri

dahil olmak üzere sürekli temiz gerilim elde edilir. Aksi takdirde gerilim dalgalanmaları kağıt hattında kopmaya sebebiyet verebilir. Altı tane yüksek hızlı, kolayca kapama yaparak hata akımını önleyen IGBT anahtarlama elemanına sahip tam dalga güç kaynağı, motor ve rejeneratif kullarımdaki hatalar için sorunsuz koruma sağlar.

Alternatif akım tamburu ve açılan rulo motorlarına sahip olan iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesini kontrol eden sürücüler ortak DA barasına bağlıdır. (Şekil 6.6)

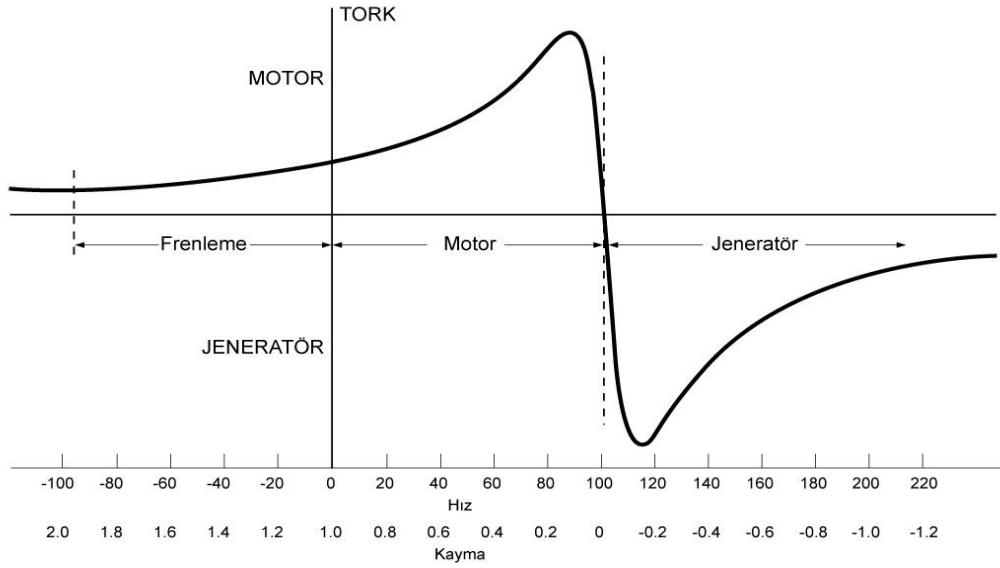


Şekil 6.6 İki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi AA sürücü konfigürasyonu

Çözücü kısımdaki alternatif akım motoru, gergiyi sabit tutmak için kağıt hattına ters yönde çekme kuvveti uygular. Bu işlem motor sürücüsü tarafından yapılan frenleme ile sağlanır. Ayrıca frenlemeye benzer şekilde, yüksek ataletli açılan rulonun durdurulması için yavaşlama sürecinin ilk birkaç saniyesinde motora tepe tork değeri uygulanır.

İdeal bir frenlenme için açılan rulo sürücüsünün frekansın düşürülmesini sağlayan rejeneratif özelliğe sahip olması büyük avantaj sağlar. Çünkü frenleme anlarında büyük ataletli açılan rulonun durdurulması için sürücü frekansı ve motor senkron hızı düşer. Böylece kayma değeri

sıfırın altında kaldığından asenkron motor jeneratör olarak çalışır ve enerjiyi sürücüden doğru akım barası yönünde aktarır. (Şekil 6.7)



Şekil 6.7 Asenkron motor tork karakteristiği

Rejeneratif özellikten dolayı motordan sürücü sistemine doğru olan enerji akışında gerilim kritik seviyeye ulaştığında cihaza zarar verebilir. Bu yüzden DA barasına dönecek enerji miktarının her sürücüde sınırlandırılması frenleme dirençleri veya frenleme transistörü vasıtasıyla fazla gerilimin ısı yoluyla atılması şeklinde gerçekleşir. Rejeneratif enerji, frenleme dirençlerinde yakılarak havaya atılmak yerine şebekeye geri kazandırılarak ya da diğer kullanıcılara aktarılarak hatırı sayılır oranda enerji tasarrufu yapılabilir. Standart AA sürücülerine göre üstünlüklere sahip rejeneratif sürücüler ekonomiklik olarak ele alındığında ise pahalı cihazlardır.

Alternatif akım sistemlerinin bobin kesim makinesindeki katkılarından bahsedecek olursak; AA sürücüler birim güç faktörünün yakınında çalışır, verimleri yüksektir ve dinamik cevapları hızlıdır. Bununla birlikte AA motorlarında, DA motorlarındaki yavaşlama gergisini uzun süre sabit tutmak için komütatörlerde (kolektörlerde) oluşan ısınma sorunu görülmez. Ayrıca, AA sürücülerin vektör kontrolü sayesinde, rulo çapı vb parametrelere bağlı olarak gergi kontrolü DA sürücülere göre daha kolay yapılmaktadır. Sonuç olarak maliyetlerinin giderek ucuzlamasıyla beraber, AA sürücülerini kağıt bobini kesme makinelerinin işletilmesine önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Özellikle yeni nesil sürücüler geniş kontrol ve koruma imkanı sunmaktadır ve bu pozitif yöndeki gelişmeler ile AA sürücü kullanımı kağıt endüstrisinde gittikçe yaygınlaşmaktadır.

6.2 İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli

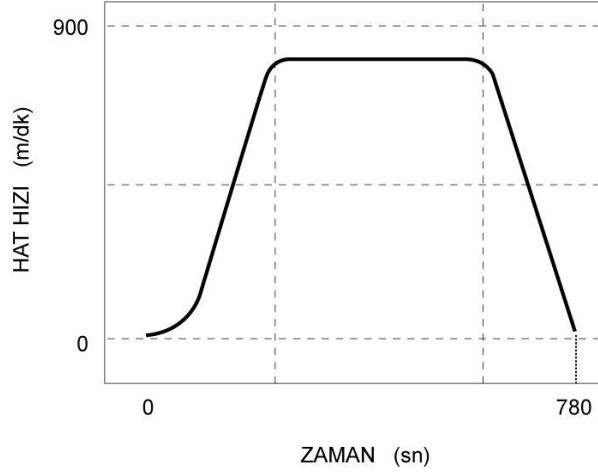
Bu bölümde, şimdiye kadar verilen teknik bilgi ve ifadelerden yararlanılarak iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesinin Matlab / Simulink ortamında matematiksel modeli gerçekleştirilmiştir.

Model, işlevine göre tork ya da hız modunda kontrol edilen doğru akım motoru ve alternatif akım asenkron motoru için ayrı ayrı ele alınmıştır. Simülasyonda iki motor arasındaki temel ayırım da sürülme teknikleridir.

Sistemin matematiksel modeli elde edilirken ilk olarak makinenin çalışması izlenerek tanımı belirlenmiştir. Buradan makinenin çalışmasının, kısa süreli hızlanma ve yavaşlama geçici rejimleri ile uzun süreli sürekli rejimi kapsadığı görülmüştür.

Rejimler belirlenirken makinenin ilk çalıştırıldığında kağıdın makine içinde gezdirilerek sarıcı tamponun üzerine yerleştirildiği jog süresi ihmal edilmiştir.

Kısa süreli hızlanma rejiminde, makine hızı sıfır noktasından başlayarak rampa fonksiyonu şeklinde önceden belirlenen hat hızına kadar ulaşır. Sürekli rejim ise hızlanma ve yavaşlama arasında hat hızının sabit olduğu durumdur. Sürekli rejimin süresi diğerlerinden uzundur ve kağıt kesim işlevinin büyük bölümü bu rejimde gerçekleşir. Kısa süreli yavaşlama rejimi hızlanmanın tersi olan bir rampa fonksiyonudur. Yavaşlama rejimi sarılan rulonun önceden belirlenen çap değerine ulaşmasından itibaren başlayarak hat hızı sıfır oluncaya kadar devam eder. Her üç durumdaki kağıt hat hızı değişiminin oluşturduğu yamuk Şekil 6.8' de görülebilir. Gergi değişimi, rejim geçişlerinde uzun sürmeyen dalgalanmalar haricinde yamuk şeklindeki hız grafiğine benzerlik gösterir. Aralarındaki belirleyici fark gergi grafiğinde rampa sürelerinin daha kısa olmasıdır. Makine neredeyse tüm işlem süresince gergi değerini korur.



Şekil 6.8 İki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi hat hızı – zaman grafiği

İkinci adımda ise sistem alt bölümlere ayrılmış ve kağıt bobinini kesme makinesinin benzer algoritmaya sahip iki temel işlevi üzerinde durulması gerektiği anlaşılmıştır. Bunlar birbirini izleyen birer operasyon olan, kağıt üretim bandından makineye gelen rulonun açılması ve belli ebatlarda kesildikten sonra tekrar sarılmasıdır. Böylece sistem matematiksel ifadelerinin rulonun açılması ve sarılması anlarındaki parametreler olduğu sonucuna varılmıştır. Simülasyonun omurgası olan bu parametreler açılan ve sarılan rulo için aşağıdaki gibidir.

- Sarılan rulo çap değişimi
- Açılan rulo çap değişimi
- Tamburların çap değeri
- Açılan rulo ataleti
- Sarılan rulo ataleti
- Redüksiyon oranları
- Kağıt hattı hızı

Yukarıdaki maddeler arasında sayılmamış olmasına karşın sistemin giriş referansı olan kritik diğer parametreler de makine bünyesindeki motorların tork ve hız değerleridir. Bunlarla birlikte iki tamburlu kağıt makinesinin sürtünme, motor atalet vb. dinamiklerinin modele eklenmesiyle tam doğruluğu sahip sistem yapısına ulaşılmaya çalışılmıştır.

Matematiksel modelde kullanılan denklemler torkların eşitliği prensibine dayanır. Tork eşitliğinin bir tarafında gergi kuvveti ile yarıçap, diğer tarafında ise atalet, elektrik ve sürtünme tork değeri yer alır. Motor alt bölümleri olan sarma ve açma işlemleri için iki farklı tork eşitliği kurulabilir. Bunun sebebi iki kısmında kendine ait elektrik motorlarına, rulo

ataletine ve sürtünmelere sahip olmasıdır. Açma ve sarma sırasında oluşan tork dengesini eşitlik (6.21) ve (6.22) açıklar.

$$T_g = F_g \cdot r_{aç} = T_{aç,elektrik} + T_{aç,atalet} + T_{aç,sürtünme} \quad (6.21)$$

$$T_g = F_g \cdot r_{tbr} = T_{sr,elektrik} - T_{sr,atalet} - T_{sr,sürtünme} \quad (6.22)$$

İki tamburlu kağıt bobini kesme makinelerinde gerginin hesaplanarak makine kontrolünün sağlanması için rulo çaplarının bilgisine gereksinim duyulur. Sarılan ve açılan rulo çapları başlangıç değerlerinden son değerlerine doğru üstel bir şekilde artar ya da azalır. Açılan rulo yarıçapının ($r_{aç}$) hesaplanması için eşitlik (6.23), sarılan rulo yarıçapı (r_{sr}) hesaplanması içinse eşitlik (6.24) kullanılır.

$$r_{aç} = r_{aç,0} - \frac{k_k}{2\pi} \int w_{aç} dt \quad (6.23)$$

$$r_{sr} = r_{sr,0} + \frac{k_k}{2\pi} \int w_{sr} dt \quad (6.24)$$

Eşitlik (6.23) ve (6.24)'de k_k kağıt kalınlığı, $r_{aç,0}$ ile $r_{sr,0}$ rulo başlangıç yarı çapları ve $w_{aç}$ ile w_{sr} rulo açılmal hızlarıdır.

Yarı çaplar kağıdın sarım kalınlığına ve açılmal hızlara bağlıdır. Açılmal hızlar, kağıt hat hızının rulo çaplarıyla olan bağıntısını açıklayan eşitlik (3.2)'den bulunur.

Gerginin değeri elde edilirken kullanılan tork eşitliği denklemlerinin bir bileşeni de atalet torkudur. Rulolar ve tamburlar kendi rotasyon hareketlerindeki değişime karşı bir direnç gösterirler. Duran bir cismin ataleti kendi kütlesi iken dönen bir cismin ataleti tork olduğu için bu direnç atalet torku olarak adlandırılır. Eşitlik (6.25) ve (6.26)'den görüldüğü üzere açma işleminde sadece açılan rulonun döner hareketinin neden olduğu atalet torku hesaplanır ancak sarım işleminde sarılan rulo ile birlikte tamburlarda döndüğünden atalet torku bu iki yapının torkunun toplamıdır.

$$T_{aç,atalet} = \frac{d}{dt} (j_{aç} \cdot w_{aç}) \quad (6.25)$$

$$T_{sr,atalet} = \left[\frac{d}{dt} (j_{sr} \cdot w_{sr}) \right] + \left[2 \cdot \left(j_{tbr} \frac{dw_{tbr}}{dt} \right) \right] \quad (6.26)$$

Atalet torku eşitliklerinde w_{tbr} tambur açılmal hızı, $j_{aç}$, j_{sr} ve j_{tbr} ise sırasıyla açılan, sarılan rulo ve tambur ataletidir.

Bahsedilen ataletleri cismin yapısı ve döndürüldüğü eksen belirler. Kağıt bobini kesme makinelerinde iki adet geometrik cismin ataleti hesaplanır. Bu cisimler içi dolu silindir olan tambur ile ortası belli yarıçap değerinde çıkartılmış silindir olan kağıt rulolarıdır. Eşitlik (6.27), (6.28) ortası boş silindirin ataletini, eşitlik (6.29) ise içi dolu silindirin ataletini verir.

$$j_{aç} = j_{mil} + \frac{d_k \cdot \pi \cdot H_g}{2} (r_{aç}^4 - r_{mil}^4) \quad (6.27)$$

$$j_{sr} = j_{tpn} + \frac{d_k \cdot \pi \cdot H_g}{2} (r_{sr}^4 - r_{tpn}^4) \quad (6.28)$$

$$j_{tbr} = \frac{m_{tbr} \cdot r_{tbr}^2}{2} \quad (6.29)$$

d_k kağıt yoğunluğu ve H_g kağıt hattı genişliğidir. j_{mil} ise kağıt üretim makinesinde elde edilen büyük rulonun kağıt bobini kesim makinesine yerleştirilip taşınmasını sağlayan milin ataletidir. Genellikle mili üreten firma tarafından bu atalet değeri verilir. Ayrıca bu değere tambur ataletine benzer şekilde ağırlık (m) ve yarıçaptan (r_{tbr}) ulaşılabilir.

Tork eşitliğinin diğer parametreleri olan motorun elektrik, atalet ve sürtünme torkları ilgili motor modeli alt başlığında ayrıntılı anlatılacaktır.

Sistem modeli kurulurken tüm işlerin $t = 0$ anında hazır bulunduğu, kağıt hat hızının önceden bilindiği, süreç boyunca yeni işin sisteme gelmediği, işlem sırası ile zamanının belli olduğu ve sarılan rulo ile tambur yüzeyleri arasında kayma olmadığı varsayımlarında bulunulmuştur.

Tez çalışmasında önceden bilinen prosedüre göre belirlenmiş değerlerin kullanıldığı açık çevrim model ile asıl amaçlanan, makinenin değişen hız ve tork referanslarına nasıl cevaplar verdiğinin görülmesi ve özellikle ana kontrol elemanı gerginin takibidir. Bu sayede kontrol stratejilerini gerçek uygulamaya gerek kalmadan dinamik simülasyon üzerinden deneme imkanı verilmiştir. Eğer makine matematiksel olarak ifade edilmeseydi, kontrol elemanlarının tüm sistemi uzun süren bir testten geçirerek tanınması gerekecekti ki, bu da hem zaman, hem de üretimdeki aksama nedeniyle maddi kayıp demektir.

6.2.1 DA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli

DA motorlu iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi olarak Samsun Vezirköprü'de kurulmuş olan Turanlar Group'a ait Pelipaper firmasındaki makine ele alınmıştır. Günlük

üretim kapasitesi 8,6 ton kağıt olan fabrikada kağıt bobini kesme makinesi demlik çay poşeti üretiminde kullanılır.

Matematiksel olarak ifade edilecek DA motorlu kağıt bobini kesme makinesinin ve sistemin teknik verileri aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.

Çizelge 6.2 Üretim hattı verileri

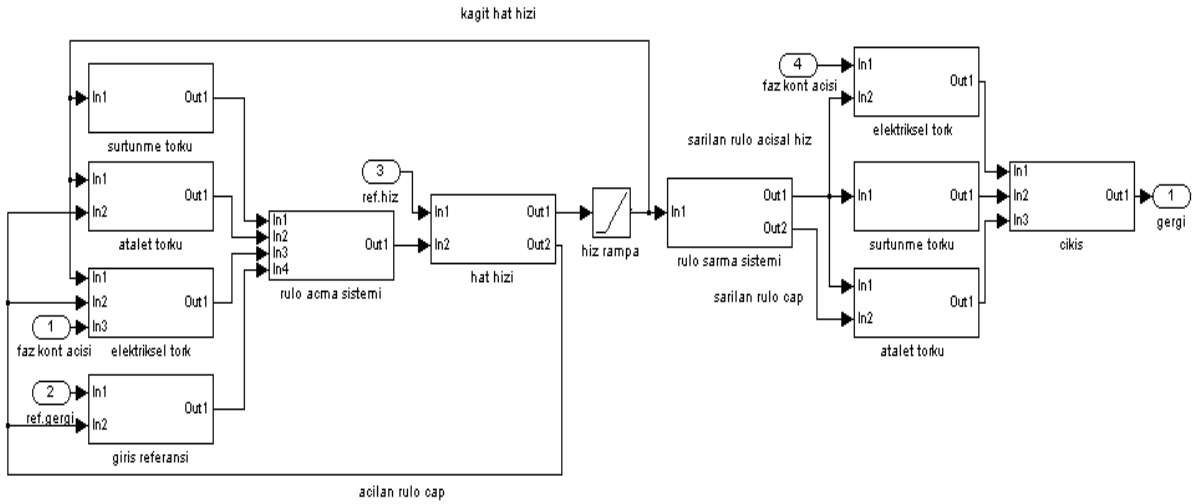
Kağıt Hattı Genişliği (m)	Kağıt Yoğunluğu (gr / m ²)	Kağıt Kalınlığı (µm)	Hat Hızı (m/dakika)	Hat Gergisi (N)
2.5	12,9	45	600	500

Çizelge 6.3 DA motorlu iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi teknik verileri

	Motor Gücü (kW)	Motor Gerilimi (V)	Motor Akımı (A)	Motor Torku (Nm)	Motor Devir (dev/dk)	Redüksiyon Oranı
Fren Jeneratörü	30	400	110	355	1020	4.4
Ön Tambur	22,8	460	56	115	1900	2.8
Arka Tambur	22,8	460	56	115	1900	2.8

Makinedeki DA motorları serbest uyarımlıdır. Uyarım için açılan rulo fren jeneratörü 67 V gerilim, 2,78A akıma, ön ve arka tambur 220 V gerilim, 3,83A akıma ihtiyaç duyar.

Makine modelinde gergi değerini belirlemek için üzerinde çalışılan algoritmanın temellendirildiği bir blok diyagramı takip edilir. (Şekil 6.9)



Şekil 6.9 DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi blok diyagramı

Blok diyagramında kağıt açma, sarma bölümlerini meydana getiren torklar ve ne tür işlemlerin gerçekleştirildiği kolayca fark edilebilmektedir. DA motorlu simülasyon süresince izlenen işlemler, açma bölümünde önceden sisteme girilen faz kontrol açısı ve referans gerji değerinden bulunan torklardan faydalanılarak açılan rulo çapı ($r_{aç}$) ile açılan rulo açısal hızı ($w_{aç}$) hesaplanmasıyla başlar. Özellikle kağıt hat hızını ve açılan rulo çapının belirleyici unsuru olan açılan rulo açısal hızını bünyesinde hesapladığı için kağıt bobinlerinin açıldığı bölüm simülasyonun ana sitemidir. Hat hızının tam doğrulukta olması hızlanma ve yavaşlama rampalarına sahip olmasını gerektirir. Bunu sağlamak amacıyla elde edilen hat hızına geçici rejim süresince 0–1 aralığında yükselen ya da alçalan rampa fonksiyonları uygulanır.

Kağıt hat hızının belirlenmesinden itibaren simülasyonun sarma bölümüne geçilir. Sarma bölümünde hat hızının fonksiyonu olan sarılan rulo çapı (r_{sr}), sarılan rulo açısal hızı (w_{sr}) ve yine önceden sisteme girilen tambur motorlarının faz kontrol açısı yardımıyla elde edilen torklardan gerji sağlanır. Gerekli torkların yük tarafına indirgenmesinde redüksiyon oranı göz ardı edilmemiştir.

DA motorlu kağıt bobini kesme makinesinin de gerji değerini elde etmemizi sağlayan tork ifadelerinden biri de atalet torkudur. Ağır kağıt kütlelerinden kaynaklanan atalet torku, yük tarafında meydana geldiğinden redüksiyonla arasında bir ilişki bulunmaz. Makine tarafından yenilmesi gereken atalet torku ihtiyaç duyulan parametrelerin eşitlik (6.27) ile eşitlik (6.28) yerine konulmasıyla sağlanır. Bu denklemlerde yer alan j_{mil} , j_{tbr} , j_{sr} ve $j_{aç}$ ataletleri için gerekli rulo başlangıç çapları, mil çapı, tampon çapı, kağıt hat genişliği ve kağıt yoğunluğu yapılacak ölçümlerle bulunabilir. Normalde rulo çapı ait olduğu rulonun açısal hızı ve kağıt kalınlığına göre ifade edilerek sürekli değişim grafiği çizdirilir. Ancak başlangıç değerleri program

koşutulmadan ilk anda giriş değeri olarak verilmelidir. Geriye denklemlerde tek bilinmeyen değer olarak kalan açısal hızlar model içinde hesaplatılarak atalet torku simüle edilir.

Atalet torkunun yanında hızla orantılı olduğu kabul edilen sürtünme torklarına da modelde yer verilmiştir. Sürtünme torklarının türü ve ifadeleri kullanılan motora göre değişkenlik gösterir. DA motorlarındaki mevcut sürtünme coulomb ve viskoz, atalet ise mil ataletidir. Buradaki iki sürtünmeyi kısaca açıklamak gerekirse, 1779 yılında Charles Augustin de Coulomb tarafından başlatılan araştırmalarla bugün de geçerliliğini korumakta olan coulomb sürtünmesi motor bilye ve rulman yataklarında her zaman meydana gelen mekanik aşınmadır. Coulomb sürtünme kanununu eşitlik (6.30)' da rulman yarıçapı (r_{rlm}), rulmana uygulanan kuvvet (Q) ve rulman sürtünme katsayısı (γ) ile ortaya koyulmuştur.

$$T_{coul} = \gamma \cdot Q \cdot r_{rlm} \quad (6.30)$$

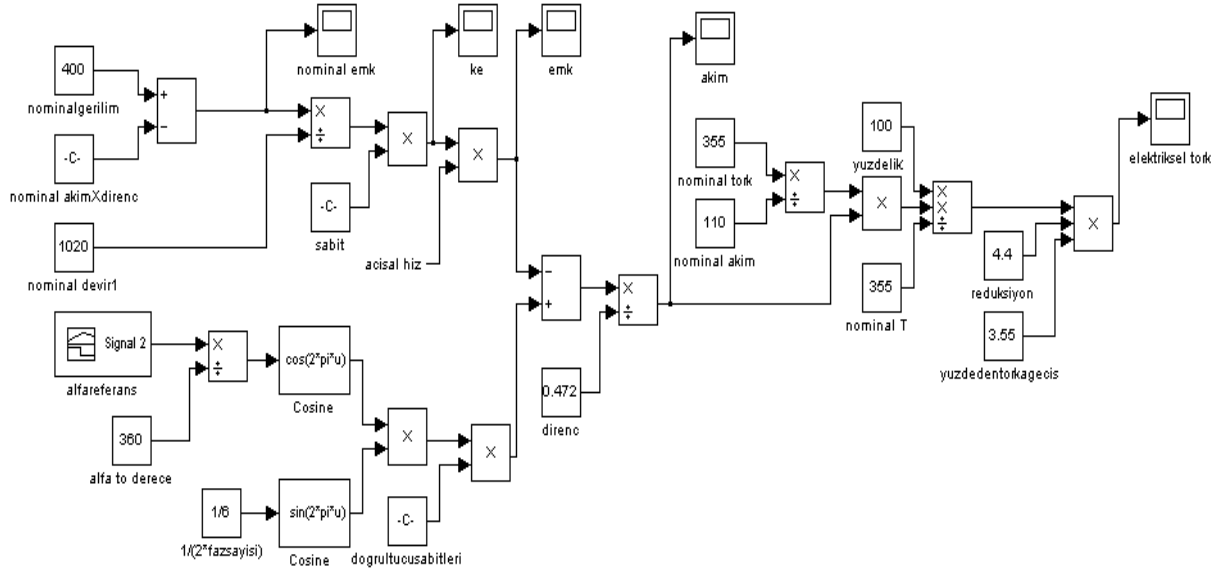
Diğer sürtünme olan viskoz sürtünme ise doğru akım motorlarında stator ve rotor arasındaki küçük bölgede kalan havanın akışkanlığı sebebiyle oluşur. Bu sürtünmenin değeri eşitlik (6.31)' den doğru akım motorlarının viskoz sürtünme katsayısı (b) sayesinde bulunabilir. Motor mil ataleti torku ise daha önce anlatılan döner ataletlerle aynı özellik ve denkleme sahiptir.(Eşitlik 6.32)

$$T_{vkz} = b \cdot \omega \quad (6.31)$$

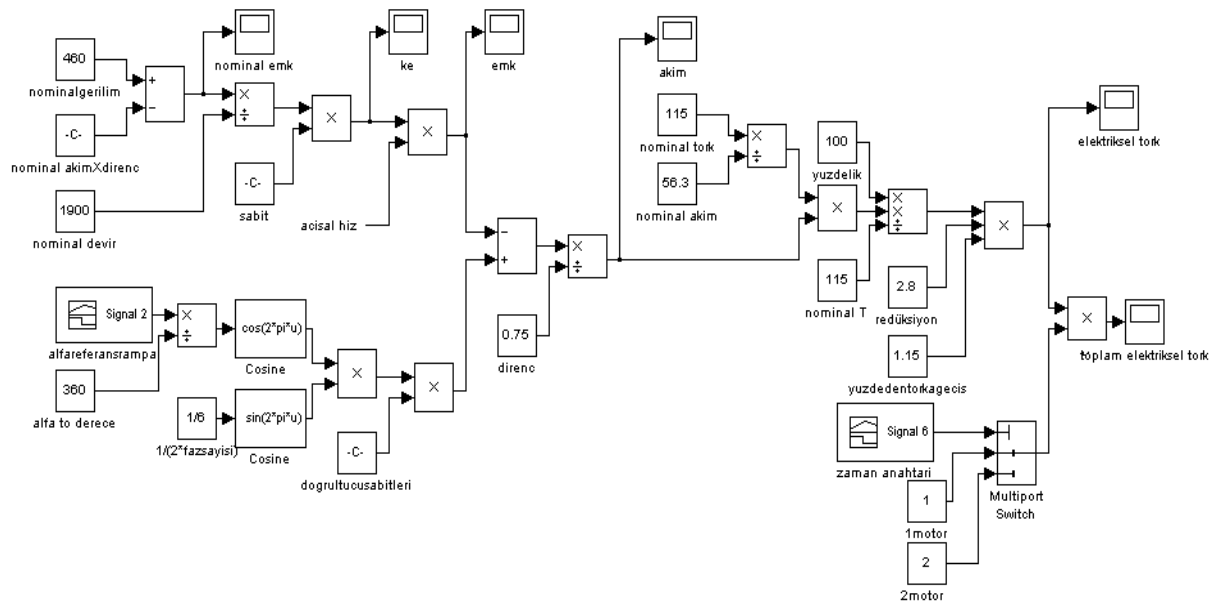
$$T_{m,atalet} = j_m \cdot \dot{\omega} \quad (6.32)$$

Modelin temel denklemleri olan tork eşitliğindeki son bileşen ise DA motoru elektrik torkudur. Bu tork armatür besleme gerilimi (V_a) ile dolaylı olarak ayarlanır. Çünkü armatür besleme geriliminin değiştirilmesiyle asıl amaçlanan eşitlik (6.7)' deki tork ifadesinde armatür akımının (I_a) istenen değere gelmesidir. Bahsedilen durumun oluşması için makinenin serbest uyarımlı doğru akım motorlarının uyarma akımının (I_f) sabit olduğu kabul edilmiş ve zıt emk (E_a) motor devrine (n) bağlı olarak değiştirilmiştir.

Armatür besleme gerilimi eşitlik (6.12)' de tanımlanan “ α ” kontrol açısı tarafından belirlenir. Simulink uygulamasında kontrol açıları gerçek elektriksel tork değerlerini verecek şekilde önceden sisteme girilmiş ve katsayı ile çarpılarak dereceye çevrilmiştir. Daha sonra dönüştürücü çıkışındaki doğru gerilim motor sabiti ile motor devrinin çarpılmasıyla bulunan zıt emk' dan çıkartılıp armatür direncine (R_a) bölünerek armatür akımı (I_a) elde edilmiştir. Elektriksel tork değerine ise nominal değerlerin oranıyla ilk önce armatür akımı daha sonra ise redüksiyon oranının çarpılmasıyla ulaşılmıştır.



(a)

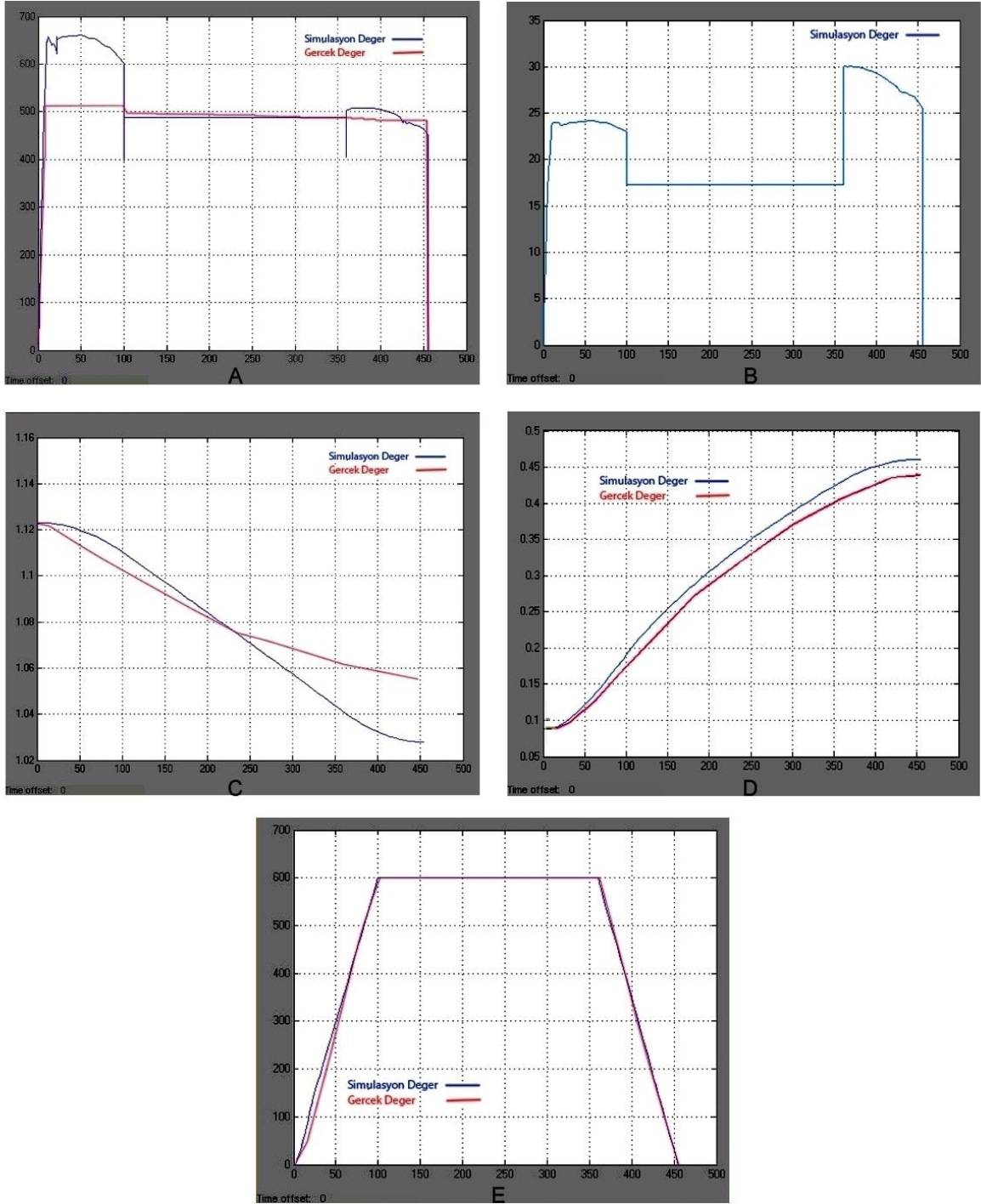


(b)

Şekil 6.10 (a) DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi açılan rulo elektriksel tork blok diyagramı,

(b) DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi sarılan rulo elektriksel tork blok diyagramı

DA motorlu kağıt bobini kesme makinesinin simülasyonunda ulaşılan grafikler ve sistemin gerçek grafikleri aşağıda karşılaştırmalı şekilde verilmiştir.



Şekil 6.11 (a) DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu gergi grafiği,
 (b) DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu tambur motoru elektriksel tork grafiği,
 (c) DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu açılan rulo grafiği,
 (d) DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu sarılan rulo grafiği,
 (e) DA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu hat hızı grafiği

Grafikler incelendiğinde gergi değişiminin, ön tambur motoru elektriksel tork değişimine büyük ölçüde benzediği görülmüştür. Bu benzerlik, aynı değişime sahip olan arka tambur elektriksel torqu içinde geçerlidir. Diğer simülasyon sonuçlarının da zamanla değişim formları gerçek değişime çok yakındır. Bu sonuçlar sayısal olarak ifade edilirse, açılan rulo çap

değişimi gerçek değere göre en fazla 2,8cm hata verirken, sarılan rulo için bu değer 2,5cm'dir. Gergi için hata oranı ise kağıt hat hızının sabit olduğu sürekli rejim boyunca maksimum % 2,6 değerindedir.

6.2.2 AA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli

İncelenecek kağıt bobini kesme makinesi Halkalı Kağıt, Karton Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi tesislerinde oluklu mukavva üretmek için kullanılan fluting tipi kağıtların elde edilmesinde kullanılmaktadır. 1987 model, Jargenberg Vari Step TR 43 bobin sarma makinesinin tüm elektrik - elektronik devreleri, elektrik motorları ve redüktörleri 2004 yılında revize edilmiştir.

Modelin belirlenebilmesi için gerekli AA asenkron motorlu kağıt bobini sarma makinesi teknik özellikleri ve üretim hattı verileri aşağıdaki iki tabloda sırasıyla verilmiştir.

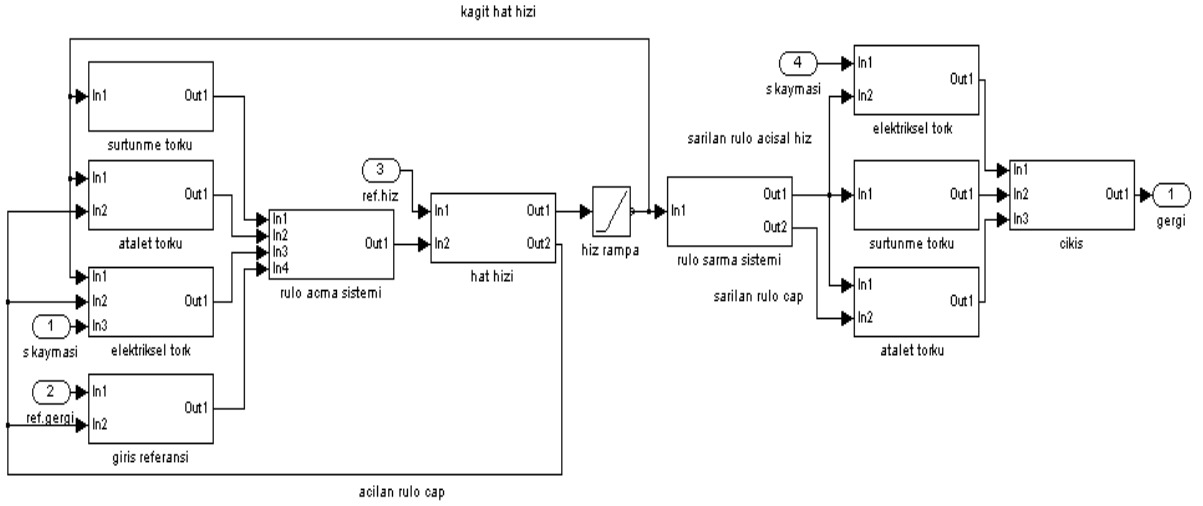
Çizelge 6.4 Üretim hattı verileri

Kağıt Hattı Genişliği (m)	Kağıt Yoğunluğu (gr / m ²)	Kağıt Kalınlığı (µm)	Hat Hızı (m/dakika)	Hat Gergisi (Kg)
3.6	95	165	900	3000

Çizelge 6.5 AA motorlu iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi teknik verileri

	Motor Gücü (kW)	Kutup Sayısı (2p)	Motor Torku (Nm)	Motor Devir (dev/dk)	Redüksiyon Oranı
Fren Jeneratörü	312	6	3300	1000	2.3
Ön Tambur	110	4	840	1500	1.7
Arka Tambur	110	4	840	1500	1.7

AA motorlu iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi matematik modeli DA motorlu modelin izlediği algoritma özelliklerini birebir taşır. Algoritma olarak her iki modelde aynıdır, fakat kullanılan motor türünün farklılığı nedeniyle motorla alakalı elektriksel tork ve sürtünme parametreleri farklılık gösterir. (Şekil 6.12)



Şekil 6.12 AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi blok diyagramı

AA motor simülasyonunda da DA modelinde olduğu gibi açma bölümünde çıkış olarak açılan rulo çapı ve açılan rulo açsal hızına ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu işlem için sistem girişinde önceden bilinen asenkron motor elektriksel torkunu sağlayan S kayması ve referans gergi kullanılmıştır. Daha sonraki adımda ise referans hıza göre hesaplanan kağıt hat hızı, geçici rejim anlarında ilgili hızlanma ve yavaşlama rampa fonksiyonlarından geçirilerek sarma bölümüne aktarılmıştır.

Sarma bölümünde elde edilen sarılan rulo çapı, sarılan rulo açsal hızı ile önceden bilinen S kaymasından sağlanan tork değerleri redüktör oranlarıyla çarpılarak gergiyi elde etmek üzere gerekli işlemlere sokulmuştur.

Bu torklar arasında yer alan ve ideal şartlarda sıfır kabul edilen asenkron motorlarının sürtünme torku mil yatağındaki mekanik aşınmalardan kaynaklanır. Eşitlik (6.33)'ten rahatlıkla fark edilebileceği gibi mekanik aşınmaların kat sayısı (τ) biliniyorsa, asenkron motor toplam sürtünme torkunun belirleyici parametresi motor milinin açsal hızıdır. Mekanik aşınmaların kat sayısı (τ) bir nevi birleştirilmiş viskoz sürtünme katsayısıdır. AA asenkron motor mil atalet torku bütün motorlardaki ortak formülle ifade edilir.

$$T_{m,sürtünme} = \tau \cdot \omega \quad (6.33)$$

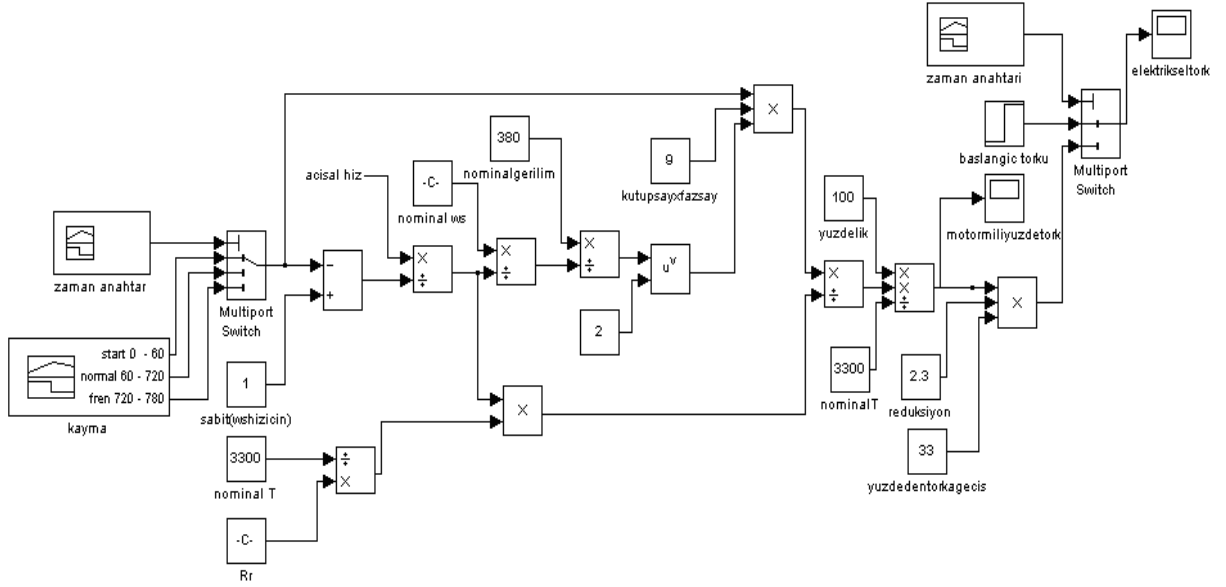
$$T_{m,atalet} = J_m \cdot \omega \quad (6.34)$$

AA model, DA modelinde benimsenen torkların eşitliği prensibine dayanır. Fakat AA motorunda elektriksel torkun elde edilme yöntemleri DA motorlarından farklıdır. Gerçek uygulamada fren jeneratörü ve tambur motorları vektör kontrollü rejeneratif sürücü tarafından kontrol edilmektedir. Ancak vektör kontrolünün gerçekleştirilmesi başlı başına bir araştırma konusu olmasından dolayı simülasyon daha kolay bir yöntem olan V / f skalar kontrolü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Açık çevrim kontrollü iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesi için skalar kontrol yeterli bir çözümdür.

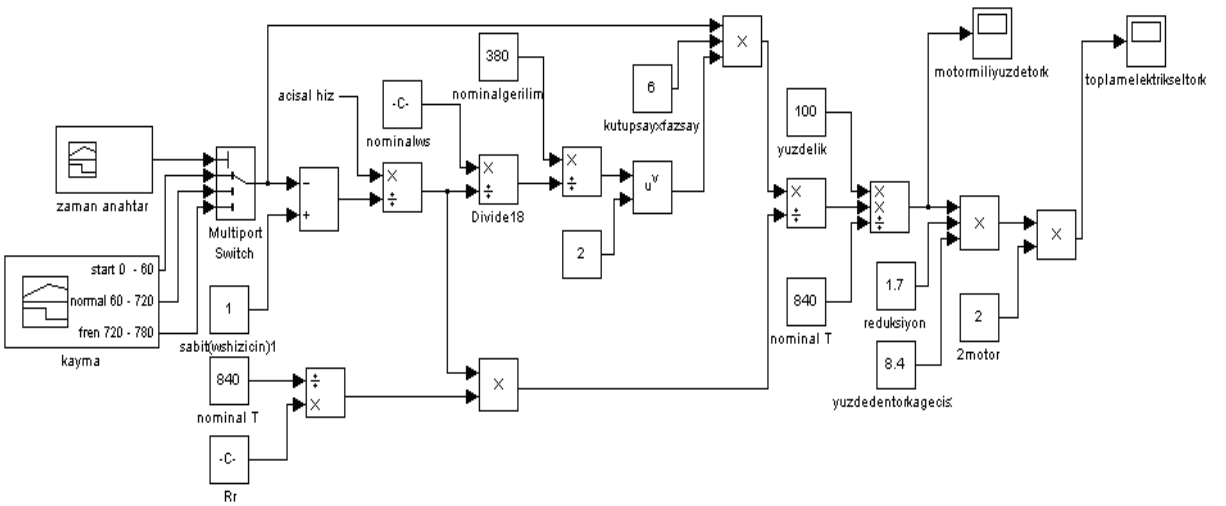
Alternatif akım motorlarının tork ifadesi eşitlik (6.19) üzerinde bazı sadeleştirmeler yapılarak simülasyona uyarlanmıştır. Yapılan sadeleştirmeler küçük değerli reaktans ve S kayma değeri ile çarpma işlemine girdiğinde değeri çok düşük olan stator direncinin ihmal edilmesini kapsar. Modeldeki fren jeneratörü için S kayma değerleri, asenkron motorun sükuneti durumunda 1, tam yük altında çalışmada yani sarım işlemi süresince 0,04 – 0,08 arasında alınmıştır. Bu değerler asenkron motorun çalışma karakteristiği ile örtüşmektedir.(Sarul, 2007)

Gerekli sadeleştirmelerin yapılmasının ardından AA motorlarının elektriksel torkları daha önce eşitlik (6.16)'da açıklanan stator şebeke frekansı ile birlikte motora uygulanan gerilimin de aynı oranda değiştirildiği skalar kontrol olarak adlandırılan yöntemle sağlanmıştır. Fakat yöntemin simülasyona uyarlanmasında S kayma değerleri önceden sisteme tanıtılmıştır.

Elektriksel torkun elde edilmesi tanıtılmış kayma değerleri vasıtasıyla motorun rotor açısal hızından (w_r) stator döner alanının açısal hızı (w_s) dolayısıyla da gerilim frekansının bulunmasıyla başlar. Bulunan gerilim frekansı daha sonra nominal şebeke frekansı 50 Hz değerine bölünerek aralarındaki kat sayı belirlenmiş ve statora uygulanan gerilim de aynı oranda azaltılmış veya arttırılmıştır. Son aşamada ise elde edilen değerler redüksiyon oran da dahil olmak üzere eşitlik (6.19)'da yerine konularak AA motoru elektriksel torkuna ulaşılmıştır.



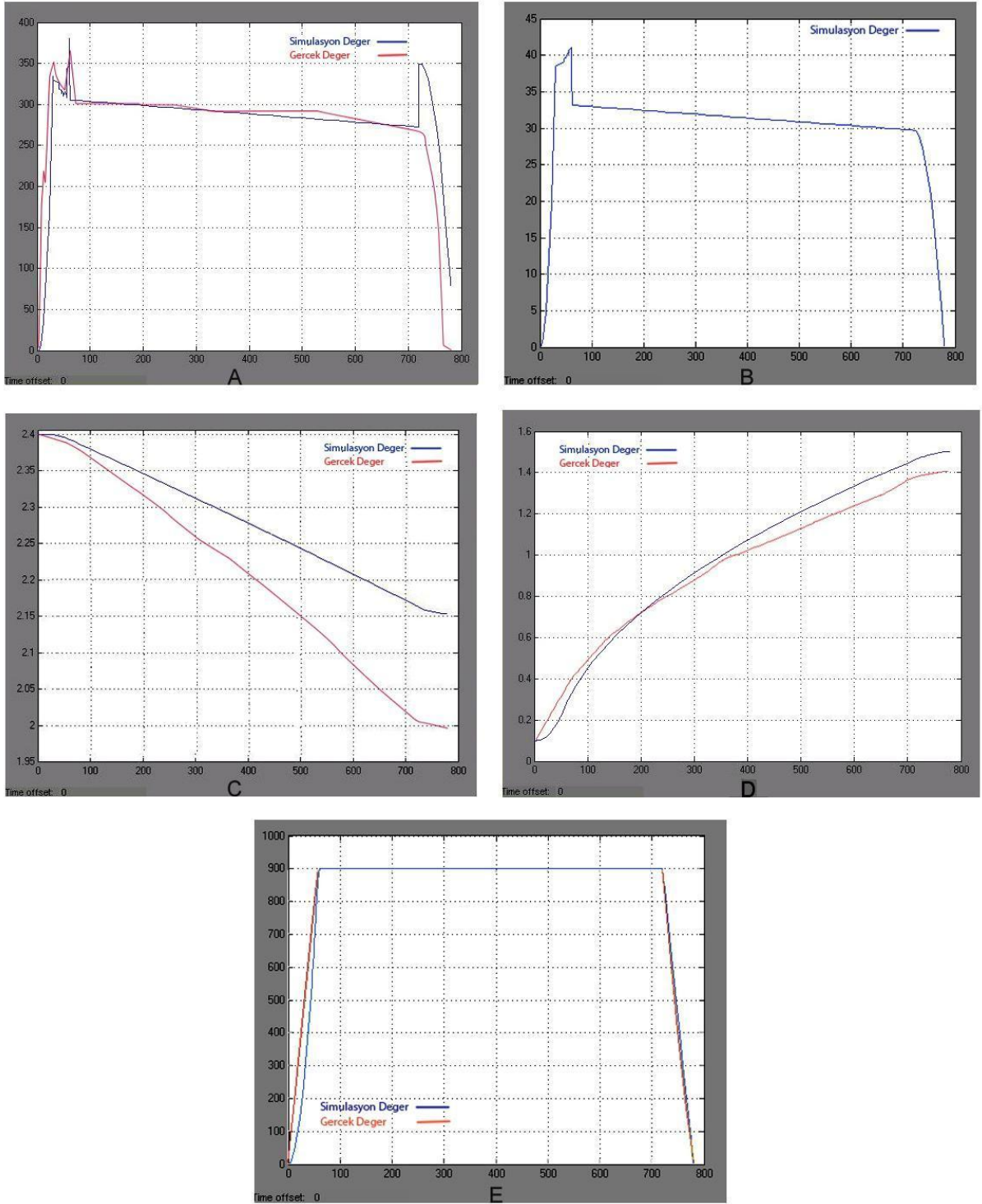
(a)



(b)

Şekil 6.13 (a) AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi açılan rulo elektriksel tork blok diyagramı,
 (b) AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi sarılan rulo elektriksel tork blok diyagramı

Aşağıdaki şekillerdeki grafiklerde üzerinde çalışılan iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesinden alınan gerçek değerler ve simülasyon sonuçları görülmektedir.



Şekil 6.14 (a) AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu gergi grafiği,
 (b) AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu tambur motoru elektriksel tork grafiği,
 (c) AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu açılan rulo grafiği,
 (d) AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu sarılan rulo grafiği,
 (e) AA motorlu kağıt bobini kesme makinesi simülasyonu hat hızı grafiği

Kurulan matematik modelden elde edilen değerlerin zamanla değişimi DA makinesi modelinde olduğu gibi geręek uygulamaya çok yakındır. Ayrıca buradan bir kez daha görülmektedir ki tambur motorlarından elde edilen elektriksel tork, gergi değişimine yön vermektedir. AA motor modelinde sürekli rejim hat gergisinin hata oranı % 1,6 ile % 2,6 arasında değişkenlik gösterir. Ayrıca, açılan rulo çapı geręek değerden maksimum 15cm, sarılan rulo çapı ise maksimum 9,6cm uzaklaşmıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İki tamburlu kağıt bobini kesme makinesinin deneysel olarak tanımlanarak modellenmesini ve hat gergi değerinin Matlab / Simulink programında simülasyonunu konu alan bu çalışmada gerçek bir sistemden veri toplanması ve toplanan verilerden sistemin modelinin elde edilmesi irdelenmektedir. Sistemi temsil edecek verilerin kaydedilmesi kurulacak modelin gerçeği ne ölçüde yansıttığının göstergesi olduğundan bu aşamaya büyük önem verilmiştir. Bu doğrultuda sistemi temsil edecek modelin el verdiğince az girişli olması hedeflenmiş ve çıkışında tam doğrulukta gerginin elde edilmesi için gayret sarf edilmiştir.

Modelin matematiksel ifadesi için kullanılan tork dengesine dayalı eşitliklerde motorların ve döner cisimlerin dinamik denklemlerinden yararlanılmıştır. Gerginin hesaplanmasındaki eşitliklerde yer verilen torklardan en belirleyici olanı elektriksel torktur. Kağıt rulo kütlelerinin ataletinden dolayı meydana gelen torklar ise referans hıza ulaşma ve referans hızdan durma anına kadar gergiyi tayin eder. Öte yandan redüktör kullanımı sayesinde üretilen torklar aktarılırken yükseltilerek sisteme uygulanır ve motor maliyeti bakımından avantaj sağlar.

Yapılan simülasyon ve uygulama sonuçlarının dalga formu olarak birbiriyle örtüştüğü gözlenmiştir. Bununla birlikte hat hızının sabit değerinde olduğu sürekli rejimlerde yük hücresinden gönderilen gergi verileri simülasyondakiler ile karşılaştırıldığında maksimum hata oranı % 2,6'dır. Şu haliyle simülasyon, farklı çalışma koşullarına ilişkin iki tamburlu kağıt bobini kesme makinesinin hat gergisinin tahminini özellikle sürekli rejimlerde gerçeğe yakın yapabilmektedir.

Ayrıca kağıt bobini kesme makinelerinin işlemlerini yerine getirebilmesinde kağıt hattı gergi bilgisi gereklidir. Bu bilgi yük hücreleri veya oynar silindir gibi gergi sensorlarından sağlanır. Fakat sensorlarda oluşan gürültü ve işaret bozulmaları üretimin devamlılığını olumsuz etkilemektedir. Bahsedilen sorunlar gerçekleştirilen simülasyonun sensörsüz olarak gergi bilgisini vermesinden dolayı çözüme kavuşturulmuştur. Bununla birlikte sensörlerden gelen gergi değeri doğruluğunun sağlanması simülasyonda bulunan gergi değeri vasıtasıyla yapılabilmektedir.

Bu çalışmadaki makineye uygulanan algoritma, özellikleri bilinen kağıdın kesimindeki gergi değerine sahip olmamızı sağlar. Fakat bazı analiz ve modifikasyonlar ileride kağıt makineleri alanında çalışacak araştırmacıların yapacakları gergi kontrolü çalışmalarına yardımcı olması açısından gereklidir. Bu analiz ve modifikasyonlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Baskı silindirinin hat gergisine olan etkisi
- Sarılan rulonun ayrı bir motor ile kontrol edilmesinin hat gergisine olan etkisi ve kontrolde sağladığı avantaj ile dezavantajların analizi
- Standart motorların yanı sıra özel elektrik motor uygulamalarının hat gergisine olan etkisi ve kontrolde sağladığı avantaj ile dezavantajların analizi
- AA ve DA elektrik motorlarının beraber kullanılmasının hat gergisine olan etkisi ve kontrolde sağladığı avantaj ile dezavantajların analizi

KAYNAKLAR

Aarinen, K., (2006), "Optimisation of Customer Roll Quality in Winding", Master Thesis, Tampere Polytechnic University. of Applied Sciences, Tampere

Bettendorf, R., (2005), "Winder Software Testing With Real Time Dynamic Simulation", IEEE Trans. on Ind. Electr., 52(2):489-498, April 2005

Burgeson, R. E. ve Crawford, M. E., (1973), "Modern Methods of Torque Control on Two-Drum Winders", IEEE Trans. on Ind. Appl., IA-9(2):172-179, March /April 1973

Dapcevic, D., Bortwick K. ve Fransen P., (1998), "Structuring of Winder Drive Software – Review of Basic Building Blocks", IEEE Trans. on Ind. Appl., 35(3):713-724, May. / Jun. 1998

Drury, B., (2001), The Control Techniques Drives and Controls Handbook, The Institution of Electrical Engineers, London

Ebler, N.A., Arnanso, R., Michaelis, G. ve D'Sa N.D., (1993), "Tension control: Dancer Rolls or Load Cells", IEEE Trans. on Ind. Appl., 29(4):727 -739, Jul./Aug. 1993

Fransen, P., (1996), "Upgrade of Paper Machine Winders with AC Drives and The Synchronous Rectifier", Pulp and Paper Ind. Tech. Conf., 10 –14 jun 1996, Birmingham

Good, K. ve Roisum, R., (2008), Winding Machines: Mechanics and Measurements, Tappi Press

Gronewold, J., (1998), Winders: The Complete Guide for Paper Mills and Converters, Tappi Pres

Holik, H., (2006), Handbook of Paper and Board, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co., Weinheim

İnan, A., Simulink Temel Seviye Semineri, YTÜ, 2006

Jones, M., Dujic, D., Levi, E., Bebic, M. ve Jefenic, B., (2007), "A Two Motor Centre Driven Winder Drive Fed by A Five Leg Voltage Source Inverter", Power Elect. and Appl. Euro. Conf., 1-10, 2-5 Sept. 2007, Aalborg

Koc, H., Knittel, D., Mathelin, M. ve De, Abba, G., (2002), "Modelling and Robust Control of Winding Systems for Elasticwebs" Appl., IEEE Trans. on Cont. Sys. Tech., 10(2):197-208, March 2002

Knittel, D., Laroche, D. ve Koç, H., (2003), "Tension Control for Winding Systems with Two Degrees of Freedom H_{∞} Controller", IEEE Trans. on Ind. Appl., 39(1):113-120, Jan / Feb 2003

Michael, C. A. ve Safacas, A. N., (2007), "Dynamic and Vibration Analysis of A Multimotor DC Drive System with Elastic Shafts Driving A Tissue Paper Machine", IEEE Trans. on Ind. Electr., 54(4):2033-2046, August 2007

Okano, S., Takehira, O. ve Hayama, Y., (2003), "A Numerical Method Predicting Paper Velocity at The Roller Transfer Unit in An Electrophotographic System", *Env. Cons. Des. and Inv. Manufac.*, 754–756, 8-11 Dec. 2003

Paanasalo, P., (2005), *Modelling and Control of Printing Paper Surface Winding*, Helsinki University of Technology, Aug. 2005, Espoo

Sarul,H., *Modern Kontrol Yöntemleri Yüksek Lisans Ders Notları*, YTÜ

Stoicovy, S.C., (1988), "Geared Versus Gearless Adjustable Speed Drive Systems in The Pulp and Paper Industry", *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, 24(4), July / August 1988

Thiffault, C., Sicard, P. ve Bouscayrol, A., (2005), "Desensitization to Voltage Sags of A Rewinder by Using Active Dancer Roll for Tension Control", *IEEE Elec. Mac. and Dri. Int. Conf.*, 466-473, 15 May 2005, San Antonio

Valenzuela, M. A. ve Lorenz, R. D., (2001), " Electronic Line-Shafting Control for Paper Machine Drives", *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, 37(1):158-164, Jan. / Feb. 2001

Valenzuela, M. A., Bentley, J. M., Lorenz R. D. , (2003), "Sensorless Tension Control in Paper Machines," *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, 39(2):294-304, Mar./Apr. 2003

Valenzuela, M.A., Bentley, J.M. ve Lorenz, R.D., (2005), "Evaluation of Torsional Oscillations in Paper Machine Sections", *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, 41(2):493-501, March / April 2005

Valenzuela, M. A. ve Carrasco, R., (2006), "Tension Control of A Two-Drum Winder Using Paper Tension Estimation", *IEEE Trans. on Ind. Appl.*, 42(2):618 – 628, March / April 2006

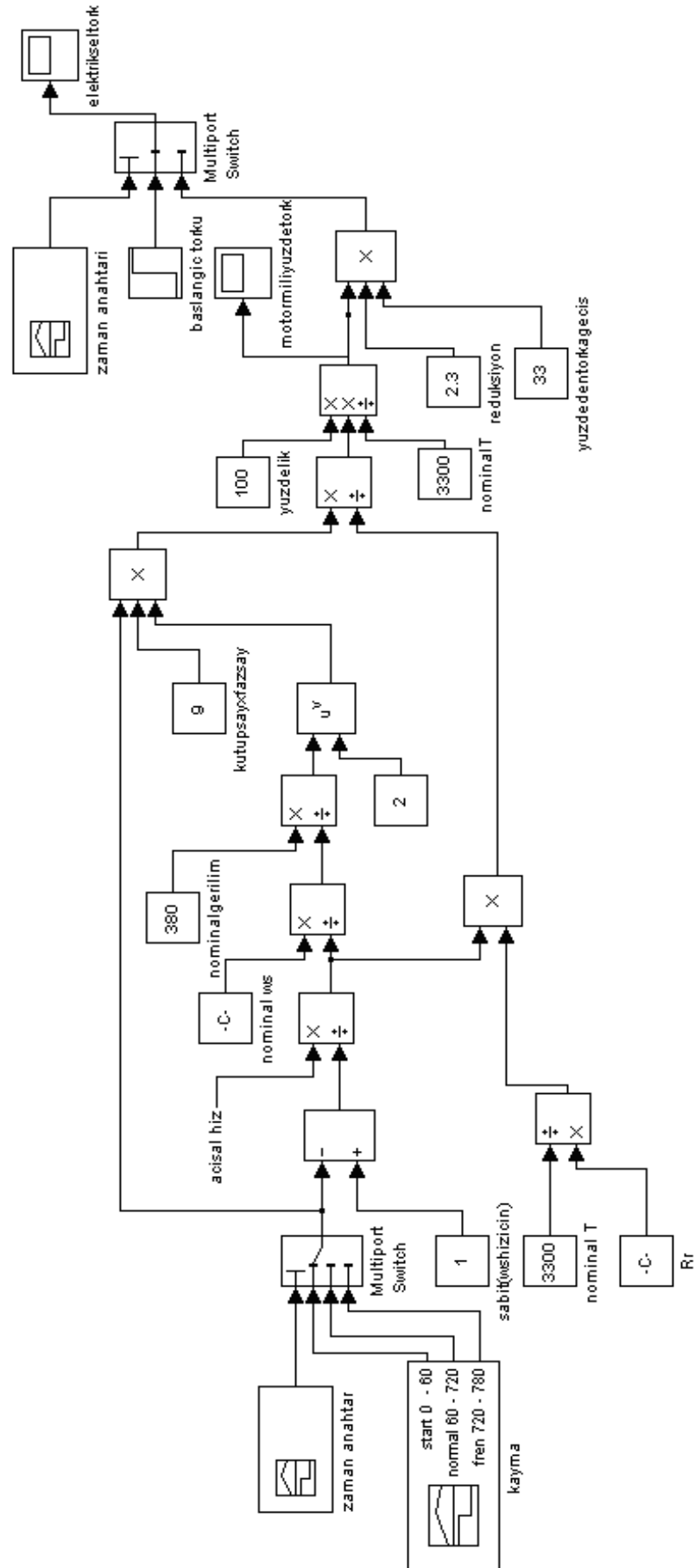
Wei, C. ve Wu, C., (2004), " A Simulator of Winding Machine Controller Using Lab View Enviroment", *Cont. Auto. Rob. and Vis. Conf.*, 3:2105 – 2110, 6-9 Dec. 2004

Wolferrmann, W.,(1997), "Sensorless Tension Control of Webs", *4th Int. Conf. on Web Hand.*, 318-319, 1997, Oklohoma

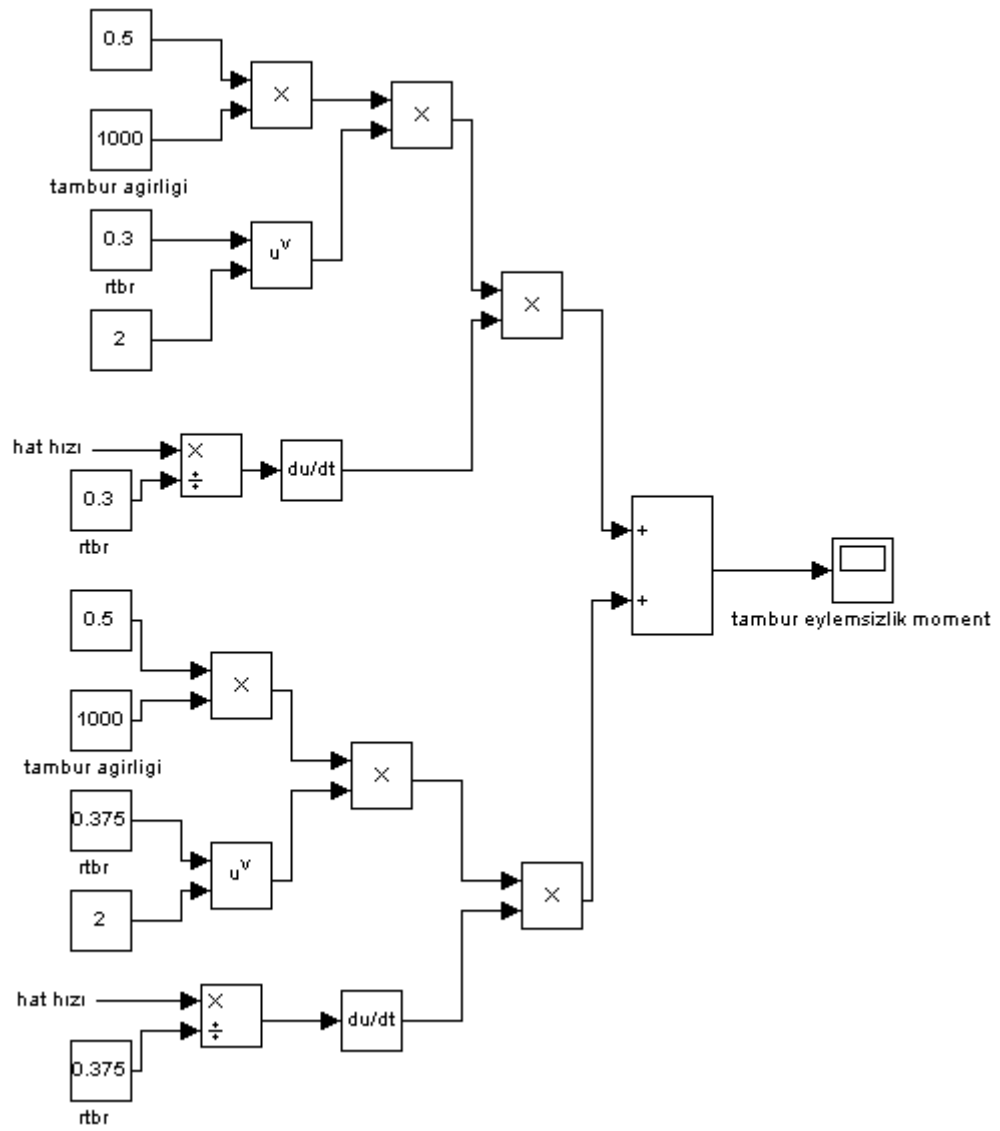
EKLER

Ek 1	AA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli.....	74
Ek 2	AA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Resimleri.....	80
Ek 3	DA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli.....	82
Ek 4	DA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Resimleri.....	88

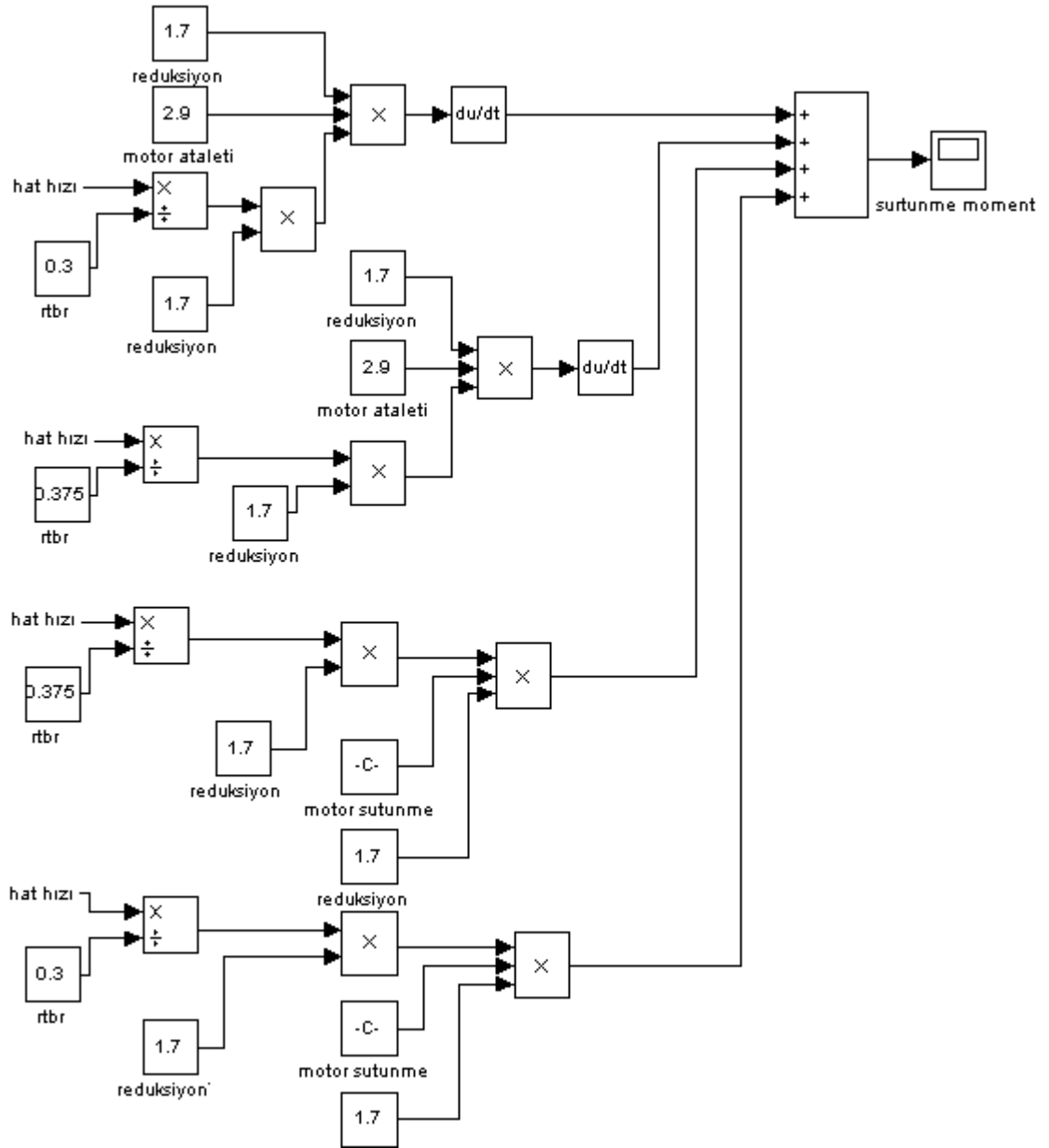
- Açma Bölümü Elektriksel Torku



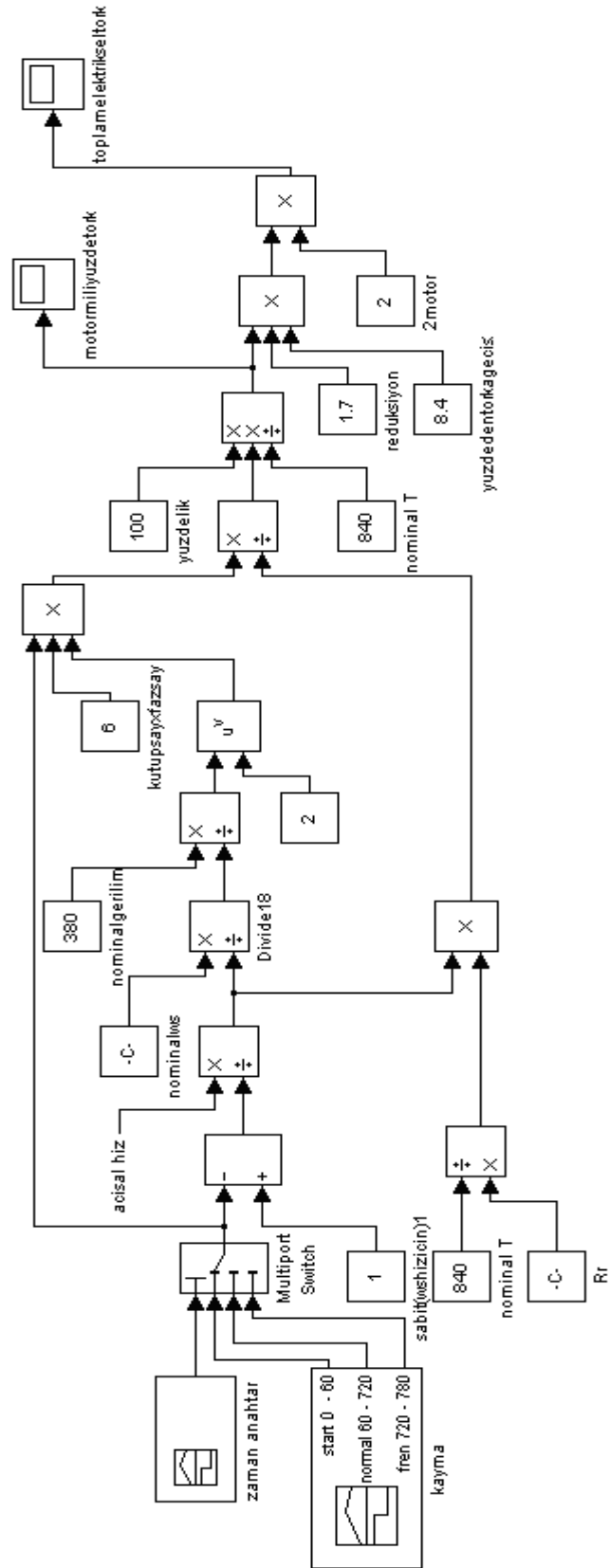
- Sarma Bölümü Tambur Atalet Torkları



- Sarma Bölümü Tambur Sürtünme Torkları



- Sarma Bölümü Elektriksel Torkları

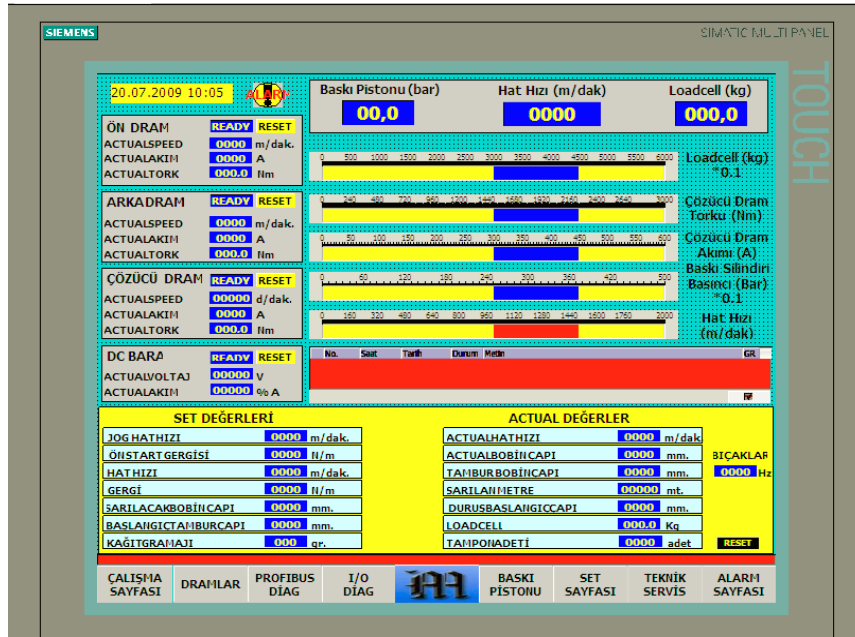


Ek 2 AA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Resimleri

- Makine Görünümleri

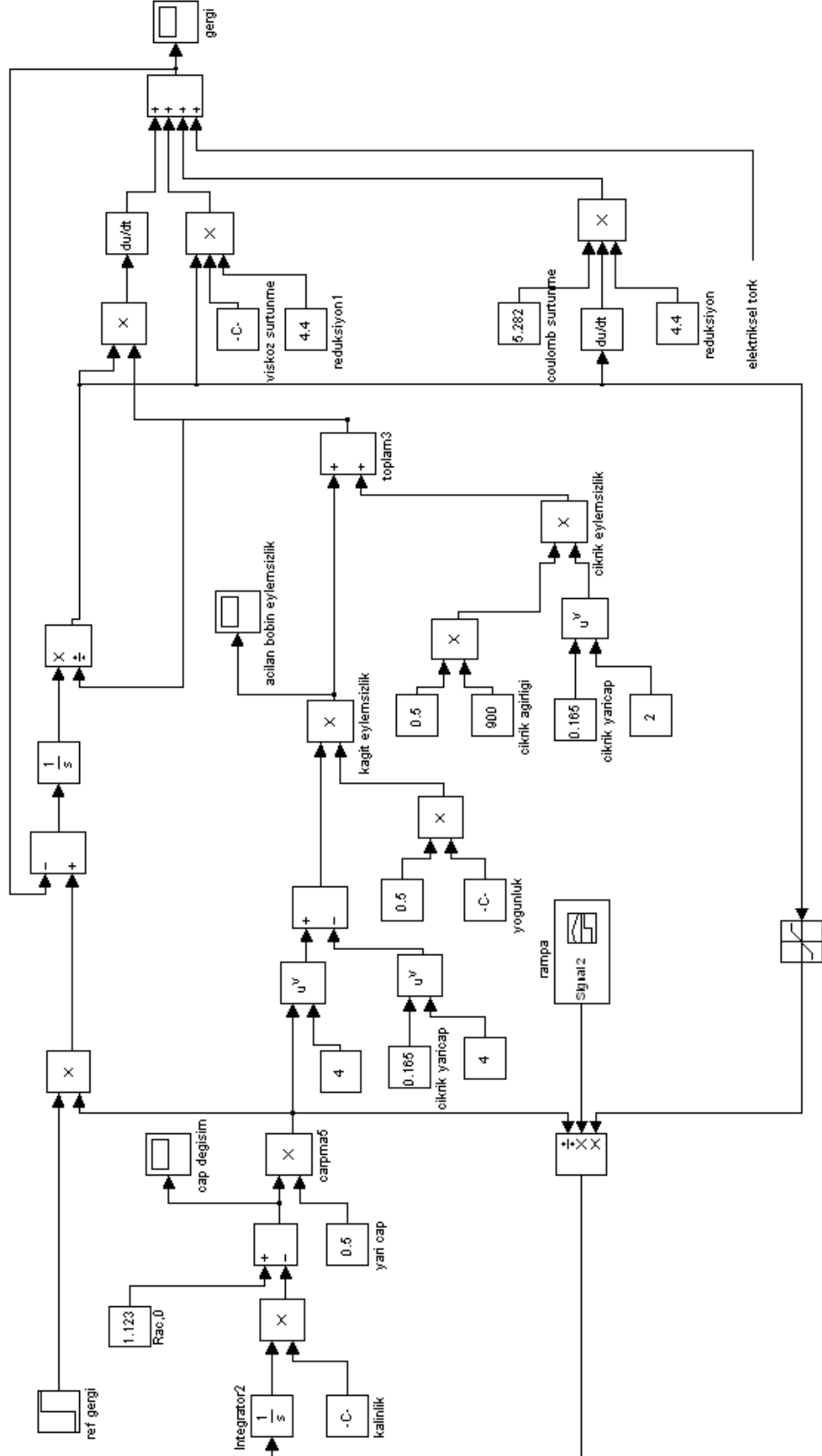


- Makine Operatör Ekranı

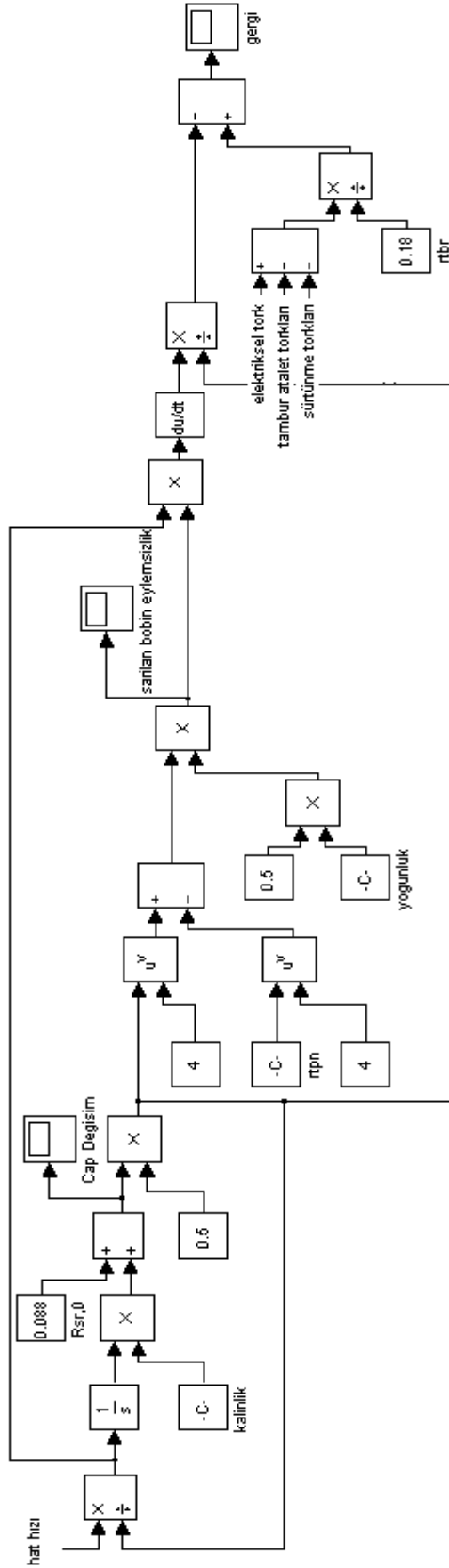


Ek 3 DA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Matlab / Simulink Modeli

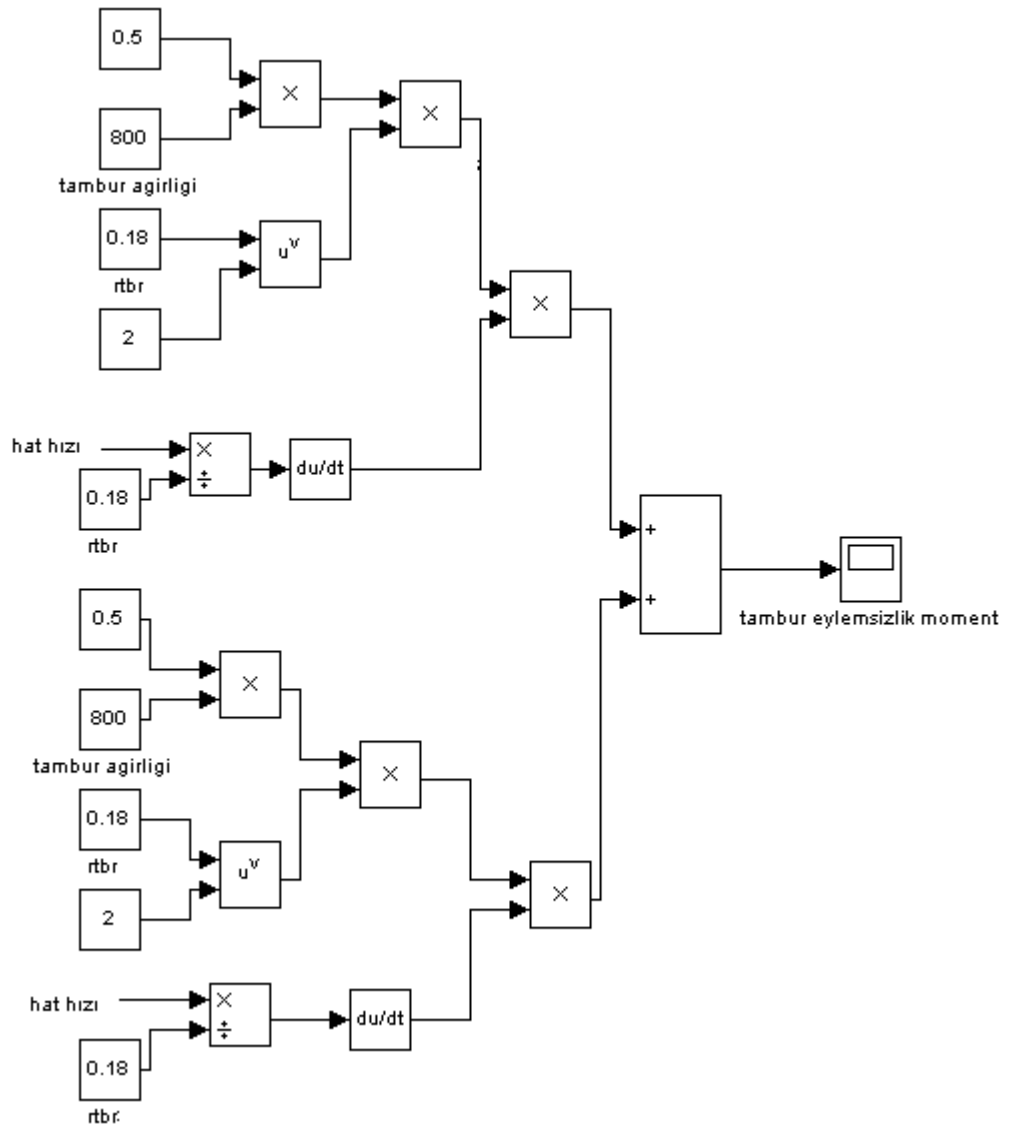
- Açma Bölümü Atalet ve Sürtünme Torkları



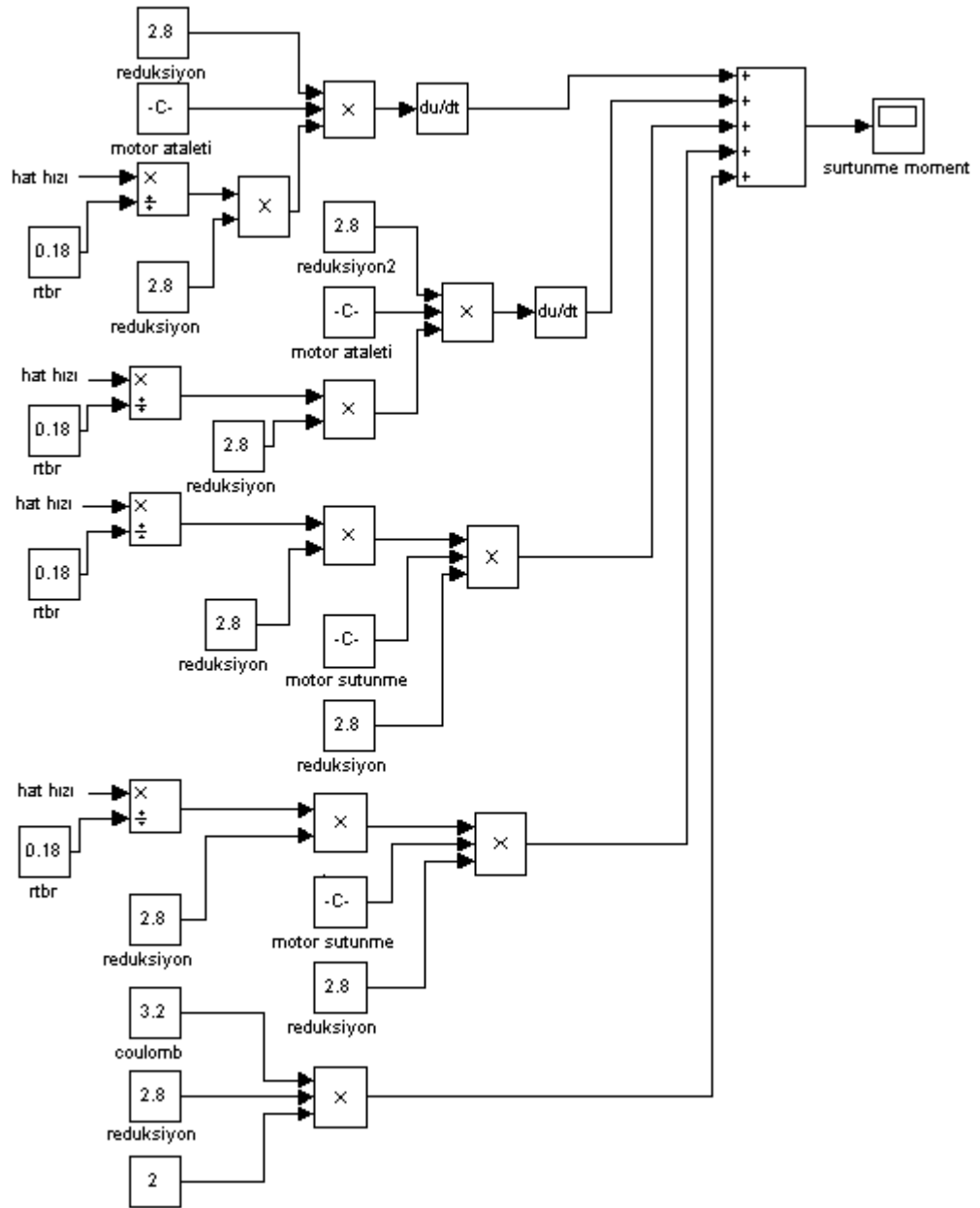
- Sarma Bölümü Sarılan Rulo Atalet Torku



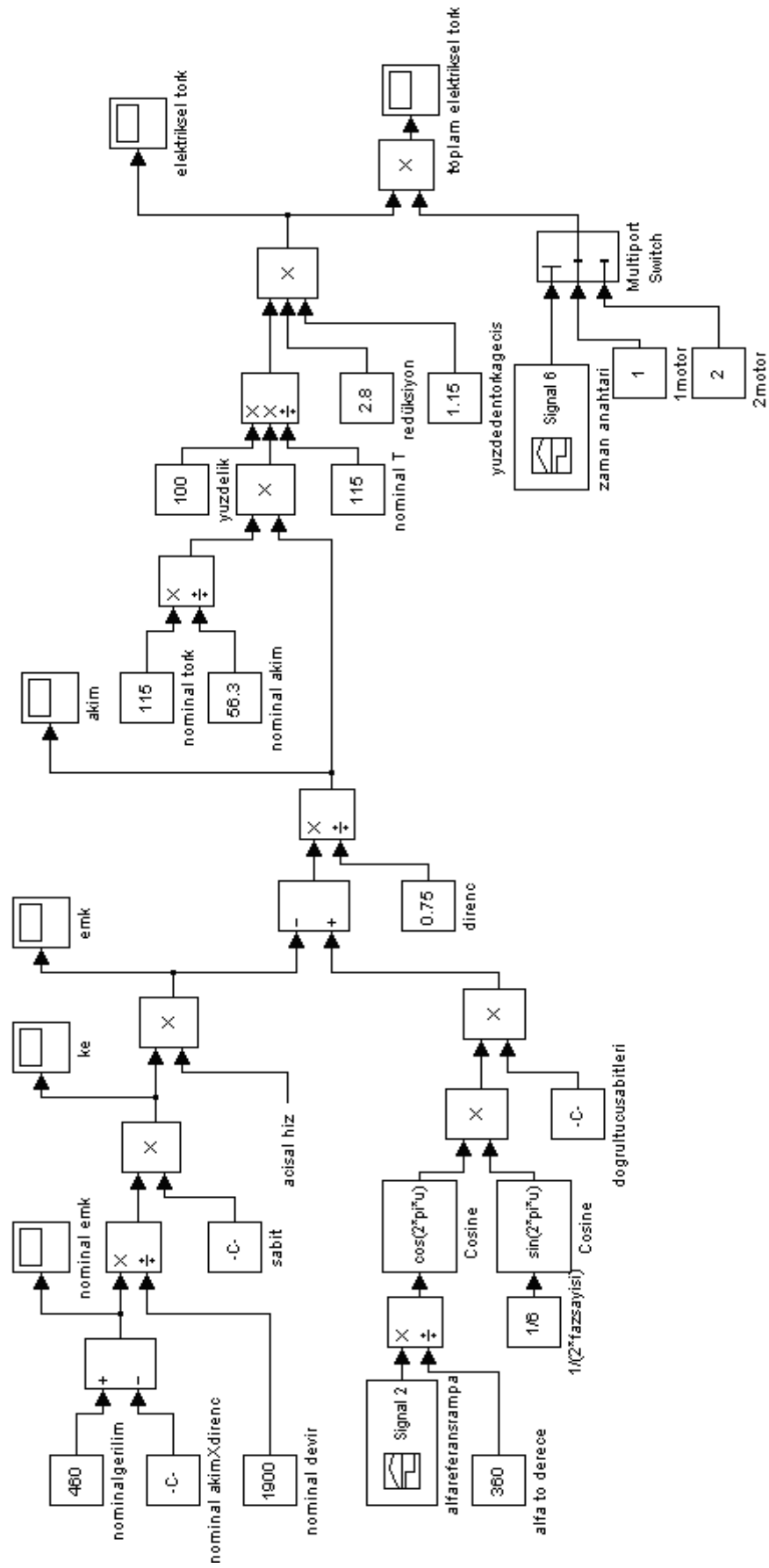
- Sarma Bölümü Tambur Atalet Torkları



- Sarma Bölümü Tambur Sürtünme Torkları



- Sarma Bölümü Elektriksel Torkları



Ek 4 DA Motorlu İki Tamburlu Kağıt Bobini Kesme Makinesi Resimleri

- Makine Görünümleri



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	22.07.1985	
Doğum yeri	Bakırköy	
Lise	2000-2003	Fahrettin Kerim Gökay Anadolu Lisesi
Lisans	2003-2008	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fak. Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2008-2011	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Müh. Anabilim Dalı Kontrol ve Otomasyon Programı

Çalıştığı Kurumlar

2008-2009	Birleşik Mühendislik
2009-	İstanbul Büyükşehir Belediyesi Mesken Müdürlüğü