

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GERGİNLİK KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Fatih AĞCA

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ayhan ÖZDEMİR

Eylül 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERGİNLİK KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Fatih AĞCA

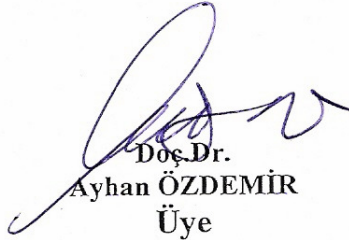
Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

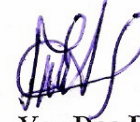
Bu tez 09 / 09 /2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof.Dr.
Etem KÖKLÜKAYA
Jüri Başkanı



Doç.Dr.
Ayhan ÖZDEMİR
Üye



Yar.Doç.Dr.
Fahri VATANSEVER
Üye

ÖNSÖZ

Kontrol sistemleri bugün hayatımızın ve sanayinin her alanında gelişerek uygulanmaktadır. Kontrol sistemlerinin ne olduğu sorusunu cevaplandırmak için günlük hayatımızda başarmamız gereken çok sayıdaki amacı göz önünde bulundurabiliriz. Örneğin yaşadığımız ortamlarda konforlu bir yaşam sürdürebilmemiz için binaların sıcaklık ve nemini ayarlamamız gerekmektedir. Ulaşımında bir noktadan başka noktaya gidebilmek için otomobil ve uçakları kontrol etmek zorundayız. Endüstrideki üretim süreçlerinde, ürünlerin doğru imal edilmeleri ve maliyetleri yönünden, çeşitli amaçlar güdülebilir.

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi ve ilerlemesi ile birlikte kontrol sistemlerinin önemi gittikçe artmaya başlamıştır. Kontrol sistemlerinin alanı genişlemiştir. Bugün her alanda kontrol sistem uygulamasını görmek mümkündür. Yapılan çalışmanın konusu olan gerginlik kontrolü de endüstrinin bir çok alanında uygulanmaktadır. Kağıt sanayi, demir-çelik sanayi, tekstil sanayi, kauçuk sanayi.. vb gerginlik kontrolü uygulamalarını sık görüldüğü sektörler olarak örnek gösterilebilir.

Bu çalışmada desteklerini ve bilgisini esirgemeyen değerli tez hocam Doç.Dr.Ayhan ÖZDEMİR'e ve teknik konuda yardım aldığım Yar.Doç.Dr.İrfan YAZICI'ya teşekkür ederim.

Elektrik-Elektronik Mühendisi
Fatih AĞCA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GERGİNLİK KONTROL SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ	3
2.1. Gerginlik Kontrol Sistemlerinde Kullanılan Geribesleme Ölçüm Yöntemleri.....	3
2.1.1. Giriş.....	3
2.1.2. Loadcell ile gerginlik ölçümü.....	3
2.1.3. Ultrasonic sensor ile ölçüm yöntemleri.....	5
2.1.4. Pivot point sensor ile ölçüm yöntemleri.....	6
2.2. Literatürde Yapılan Bir Uygulama Örneği.....	7
BÖLÜM 3.	
KONTROL SİSTEMLERİ.....	9
3.1. Giriş.....	9
3.2. Kontrol Sistem Elemanları.....	10
3.3. Fiziksel Sistemlerin Matematiksel Modeli	12
3.3.1. Giriş.....	12
3.3.2. Birinci dereceden sistemler	13

3.3.3. İkinci dereceden sistemler	15
3.4. Dijital Kontrol Sistemleri.....	17
3.4.1. Giriş.....	17
3.4.2. Kontrol sistemlerinin ayrık modeli.....	18
3.4.2.1. Z-dönüşümü.....	18
3.4.2.2. Örnekleyici ve sıfıncı mertebeden tutucu.....	19
3.4.3. Dijital PID kontrolör.....	20
3.4.4. Dijital PID kontrolör tasarımı.....	23
3.4.4.1. Tasarım kriterleri.....	23
3.4.4.2. Nichols-Ziegler yöntemi ile PID parametrelerinin bulunması.....	24
3.4.4.3. Amaç kriterleri ve karakteristik denklemden PID parametreleri belirleme.....	27
BÖLÜM 4.	
GERGİNLİK KONTROLÜ.....	32
4.1. Giriş.....	32
4.2. Sistemin Yapısı ve Çalışma Prensibi.....	32
4.2.1. Sistemde kullanılan elemanlar.....	32
4.2.2. MODBUS haberleşme.....	35
4.2.3. Sistemin çalışma prensibi.....	36
4.3. Sistemin Matematiksel Denklemleri.....	40
4.3.1. Giriş.....	40
4.3.2. Gerginlik kontrolü için eşitlikler.....	40
4.3.3. Sistemin ayrıklaştırılması.....	44
4.3.4. Düzgünlük kontrolü için eşitlikler	46
BÖLÜM 5.	
BENZETİM VE GERÇEK ZAMAN UYGULAMA.....	49
5.1. Giriş.....	49
5.2. Hidrolik Hortum Sarma Sistemi İçin PID Parametreleri Hesabı.....	49
5.2.1. Nichols-Ziegler yöntemi ile hidrolik hortum sarma sistemi için PID parametreleri hesabı.....	50

5.2.2. Amaç kriterleri ile hidrolik hortum sarma sistemi için PID parametreleri hesabı.....	51
5.3. Benzetim (Simülasyon) Çalışmaları.....	54
5.4. Gerçek Zaman Uygulama.....	58
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	61

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.a.	Hidrolik hortum sarma makarası.....	2
Şekil 1.1.b.	Sistemin kontrol paneli.....	2
Şekil 2.1.a.	Tipik bir yük hücresi dış görünümü.....	4
Şekil 2.1.b.	Yük hücresi üzerinde Stain Gage yerleşimi.....	4
Şekil 2.2.	Sistemde kullanılan yük hücresinin yerleşim resmi.....	4
Şekil 2.3.	Loadcell sensörlü kağıt rulo sarım kontrol sistemi.....	5
Şekil 2.4.	Ultrasonic sensör ile ölçüm yöntemleri.....	6
Şekil 2.5.a.	Pivot point sensör ile ölçüm yöntemleri.....	6
Şekil 2.5.b.	Pivot point sensörün açısal konum değişimi.....	6
Şekil 2.6.	Tel gerginlik kontrol sistemi donanım yapısı.....	7
Şekil 2.7.	Tel gerginlik kontrol sistemi kontrol blok diyagramı.....	8
Şekil 2.8.a.	PID kontrolörlü sistem çıkışı.....	8
Şekil 2.8.b.	PID ve Fuzzy CMAC ağı kontrolü ile sistem çıkışı.....	8
Şekil 3.1.	Basit bir kontrol sisteminin blok diyagramı.....	10
Şekil 3.2.	Hata fonksiyonu.....	11
Şekil 3.3.	Seri RC devresi.....	14
Şekil 3.4.	İkinci dereceden sistemin blok diyagramının basitleştirilmiş hali.....	16
Şekil 3.5.	İkinci dereceden bir sistemin transfer fonksiyonunun blok gösterimi.....	16
Şekil 3.6.	İkinci dereceden bir sistemin ζ 'ye bağlı olarak çıkışı.....	16
Şekil 3.7.	Analog-Dijital çevirici blok şeması.....	20
Şekil 3.8.	Dijital-Analog çevirici blok şeması.....	20
Şekil 3.9.	PID kontrolörün s domenindeki diyagramı.....	21
Şekil 3.10.	Z-domeninde PID kontrolörün transfer gösterimi.....	22
Şekil 3.11.	Dijital PID kontrolörün blok diyagramı.....	23
Şekil 3.12.	Basamak girişi uygulanmış açık çevrim sistemi.....	25

Şekil 3.13.	Birinci dereceden sistemin birim basamak cevabı.....	25
Şekil 3.14.	Kontrol kutbunun karmaşık s-düzleminde gösterimi.....	28
Şekil 3.15.	Kontrol kutbunun karmaşık z-düzleminde gösterimi.....	29
Şekil 3.16.	Birim geribeslemeli kapalı - çevrim dijital kontrol sistemi.....	30
Şekil 3.17.	İkinci dereceden sistemin genel blok gösterimi.....	31
Şekil 4.1.	Hidrolik hortum sarma makara sisteminin yapısal gösterimi.....	32
Şekil 4.2.	Redüktörlü asenkron motorun şekli.....	33
Şekil 4.3.	Encoderin (Darbe Üretici) dış görünümü.....	34
Şekil 4.4.	Proximity sensör görünümü.....	34
Şekil 4.5.	Sistemde kullanılan kontrolör (PLC) görünümü.....	35
Şekil 4.6.	MODBUS haberleşme yapısı.....	36
Şekil 4.7.	Hidrolik hortum sarım sistemi ön görünüş.....	37
Şekil 4.8.	Hidrolik hortum sarım sistemi yan görünüş.....	38
Şekil 4.9.	Sistemin kontrol panel resmi.....	38
Şekil 4.10.	Makara sistemi resimleri.....	39
Şekil 4.11.	Sistemdeki yük hücresinin resmi.....	39
Şekil 4.12.	Endüstriyel sürücünün hız karakteristiği.....	42
Şekil 4.13.	Sistemin sürekli-zaman gerginlik kontrol blok diyagramı.....	43
Şekil 4.14.	Sistemin ayırık-zaman kontrol blok diyagramı.....	45
Şekil 4.15.	Sistemin ayırık-zaman simülasyon blok diyagramı.....	46
Şekil 4.16.	Düzensizlik kontrolü için çalışma profile.....	47
Şekil 5.1.	Sistemin ayırık-zaman kontrol blok diyagramı.....	49
Şekil 5.2.	Açık çevrim sistem kutuplarının karmaşık z-düzleminde gösterimi.....	52
Şekil 5.3.	Sistemin kapalı-çevrim kontrol blok diyagramı.....	54
Şekil 5.4.	Sistemin ayırık-zaman simülasyon blok diyagramı.....	55
Şekil 5.5.	Sistemin Matlab Simulink simülasyon modeli.....	55
Şekil 5.6.a.	Deneysel yolla hesaplanan PID ile bozucusuz sistemin aşım gösterimi.....	56
Şekil 5.6.b	Deneysel yolla hesaplanan PID ile bozucusuz sistemin kat değişiminde gerginlik değişimi.....	56
Şekil 5.7.a.	Deneysel yolla hesaplanan PID ile bozuculu sistemin aşım gösterimi.....	56

Şekil 5.7.b.	Deneysel yolla hesaplanan PID ile bozuculu sistemin kat değişiminde gerginlik değişimi.....	56
Şekil 5.8.a.	Analitik yolla hesaplanan PID ile bozucusuz sistemin aşım gösterimi.....	57
Şekil 5.8.b.	Analitik yolla hesaplanan PID ile bozucusuz sistemin kat değişiminde gerginlik değişimi.....	57
Şekil 5.9.a.	Analitik yolla hesaplanan PID ile bozuculu sistemin aşım gösterimi.....	58
Şekil 5.9.b.	Analitik yolla hesaplanan PID ile bozuculu sistemin kat değişiminde gerginlik değişimi.....	58
Şekil 5.10.	Sistemin gerçek-zaman gerginlik çıkış eğrisi.....	59

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1.	Nichols-Ziegler yöntemi ile PID kontrolör parametreleri.....	26
------------	--	----

ÖZET

Anahtar kelimeler: Gerginlik, kontrol, modelleme, tasarım, kontrolör, PID, PLC

Kontrol sistemleri bugün hayatımızın ve sanayinin her alanında gelişerek uygulanmaktadır. Kontrol sistemlerinin bir uygulaması olan gerginlik kontrolü tekstil sanayinde ürün transfer, sarım, çözüm millerinin adaptasyonun sağlanması, demir-çelik sanayinde ise üretilen tellerin makaralara sarılması gibi sistemlerde uygulanmaktadır.

Bu çalışmada hidrolik hortum üretiminde gerginlik kontrolüne ait gerçek zaman çalışma yapılmıştır. Üretim hattında üretilen hidrolik hortumun makaraya gereken gerginlikte sarılmasının kontrolü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca düzgün sarım da sağlanmıştır. Sistemde makarayı döndüren motor asenkron motordur. Bu motor bir frekans konvertörü üzerinden sürülmektedir. Frekans konvertörüne hız bilgisini kontrolcü göndermektedir. Gerginliğin istenen referans değerinden farklı olması durumunda makara motoru hızlanmakta veya yavaşlamaktadır. Bu şekilde kontrolcü gerginliği istediğimiz değerde kararlı şekilde tutmaktadır. Gerginlik kararlılığını sağlayan kontrol algoritması olarak PID (Oransal-Integral-Türevsel) kontrol kullanılmıştır. PID kontrol sistem cevabında, istenen dinamik davranışı sağlayacak ve sürekli hal hatasını sıfır yapacak kontrol sinyali üretecek şekilde tasarlanmaktadır. Yani ölçülen gerginliği istenen gerginliğe eşit yapmaya çalışır. Sistemin çalışmasında istediğimiz amaç kriterlerini elde edebilmemiz için PID kontrolör parametrelerinin buna bağlı hesaplanması gerekir. PID parametreleri deneysel ve analitik olmak üzere iki yolla elde edilmiştir. Bu iki yolla elde edilen PID parametreleri ile benzetim çalışmaları yapıp karşılaştırılmıştır. Analitik yöntem ile elde edilen parametreler ile gerçek-zaman çalışması yapılmıştır. Gerçek-zaman çalışmasının yapılabilmesi için PID kontrol algoritması sayısal bir kontrolcüde programlanması ve koşturulması gerekmektedir. Sistemde kontrol algoritmasını çalıştıran kontrolcü olarak mikrokontrolör tabanlı PLC (Programlanabilir Lojik Denetleyici) kullanılmıştır. Çalışma, hidrolik hortum gerginlik kontrol sisteminin genel olarak tanıtılması, matematiksel modellenmesi, örnekleme zamanına göre ayrıklaştırılması, belirlenen geçici ve sürekli hal parametrelerine göre ayrık-zamanda PID kontrolör parametrelerinin bulunması, simülasyon çalışması ve gerçek zaman uygulamasından oluşmaktadır.

TENSION CONTROL

SUMMARY

Key Words: Tension,control,modelling,design,controller,PID,PLC

Today, control systems are implemented in a growing manner of all areas of our lives. As an application of the control systems, the tension control is used in the textile industry to synchronise the transfer, winding and unwinding mills. In the steel industry it is used to wind the product to reels, etc.

In this thesis , the real time control of tension control of hydraulic hose manufacturing has been studied. The tension control of hydraulic hose which is required while winding the product in the production line is performed. Also the regular winding is implemented. In the system , the motor , rotating the reel is a asynchronous motor. This motor is driven by a frequency converter. The controller sends the speed reference to the frequency converter. In case the tension is different than the reference value,the motor driving the reel is getting faster or slower. By this way the controller keeps the tension stable as is required. Tension stability is achieved by using the PID (Proportional Integral Derivative) control algorithm. In the system response the PID control is designed so that it generates a control signal that gives the required dynamic behaviour and the zero continuous state error. It tries to equal the measured and the required tensions. In order to get the proper response the PID control parameters should be calculated accordingly. The PID parameters are generated in two ways as experimental and analytical. With the generated PID parameters by the two ways, the simulation study has been performed and compared. With the parameters generated by analytical way, the real time study has been performed. The real time study requires the PID control algorithm, to be programmed and run in a digital controller. In the system , microcontroller based PLC (Programmable Logic Controller) is used as the controller that runs the control algorithm. The study is consist of general introduction of the hydraulic hose tension control, mathematical modelling, according to sample time, finding the PID parameters for the transient and continuous time parameters, simulation study and the real time application.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kontrol sistemleri bugün hayatımızın ve sanayinin her alanında gelişerek uygulanmaktadır. Kontrol sistemlerinin ne olduğu sorusunu cevaplandırmak için günlük hayatta başarılması gereken çok sayıdaki amacı göz önünde bulundurulabilir. Gerginlik kontrolü açısından bakıldığında örneğin; tekstil sanayinde ürün transfer, sarım, çözüm millerinin adaptasyonunun sağlanması ve ürünün kopmadan, hasar görmeden makaralara sarılması veya çözülmesi, büyük makaralardan küçük makaralara tel sarımının istenen gerginlikte yapılması, gerçekleştirilmesi gereken amaçlardandır.

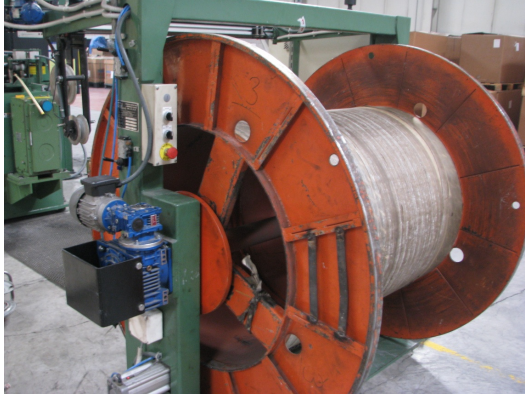
Kontrol sistemlerinin önemli bir dalı olan gerginlik kontrol sistemleri tekstil, kağıt, lastik vb. sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Endüstride gerginlik kontrolünün sık uygulandığı sistemlerden bazılarını şu şekilde özetleyebiliriz.

1. Üretilen kağıdın transfer millerinden geçip makaraya sarılmasında sarım gerginlik karalılığının sağlanması.
2. Tekstil sektöründe ürünün makaralara sarılmasındaki örme gerginliklerinin sağlanması ve karalı tutulması vb.
3. Lastik ve kauçuk sektöründe ince şekil almış hamurların makaralara sarılması,
4. Demir-çelik sanayinde üretilen tellerin makaralara sabit gerginlikte sarılması
5. Yukarıda ifade edilen sektörler ve diğerlerinde kullanılan tüm sarım ve transfer millerinde gerginlik kontrol sistem uygulamaları görülmektedir.

Yapılan bu çalışmada üretilen hidrolik hortumun makine çıkışında sabit gerginlikte ve düzgün olarak makaraya sarılmasının kontrolü gerçekleştirilmiştir. Hidrolik hortumun kontrolsüz sarılması durumunda aşırı gerilmeler olabilmektedir.

Bunun için belli hız ile üretimden çıkan hortumun makaraya gereken gerginlikte sarılması gerekmektedir. Sistemde gerginlik kararlılığının sağlanabilmesi için üç terimli PID (Oransal-Integral-Türevsel) kontrolör kullanılmıştır. Şekil 1.1 'de gerçekleştirilen sistemin resmi gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1.1.a. Hidrolik hortum sarma makarası
b. Sistemin kontrol paneli

Bölüm 2'de gerginlik kontrol sistemlerinin donanımsal incelenmesi yapılmıştır. Gerginlik kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan ölçme yöntemleri incelenmiştir. Ayrıca gerginlik kontrolü ile ilgili literatürde yapılmış olan benzer çalışma örnek olarak verilmiştir.

Bölüm 3'de, sistem modellemesi ve PID kontrolör tasarımı için gerekli olan sürekli ve ayırık zaman kontrol teorileri anlatılmıştır.

Bölüm 4'te genel olarak kontrol edilen hidrolik hortum sistemi, sürme ve ölçme elemanları hakkında bilgi verilmiştir. Kontrol edilen sistemin açık çevrim transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Gerginlik kontrolünde etki eden bozucu ile ilgili analitik ifadeler verilmiştir. Tüm sisteme ait kapalı çevrim kontrol blok diyagramı sürekli ve ayırık zaman olmak üzere elde edilmiştir.

Bölüm 5'te tasarım çalışmaları, benzetim ve gerçek zaman uygulaması ve uygulama sonuçları gösterilmiştir.

BÖLÜM 2. GERGİNLİK KONTROL SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

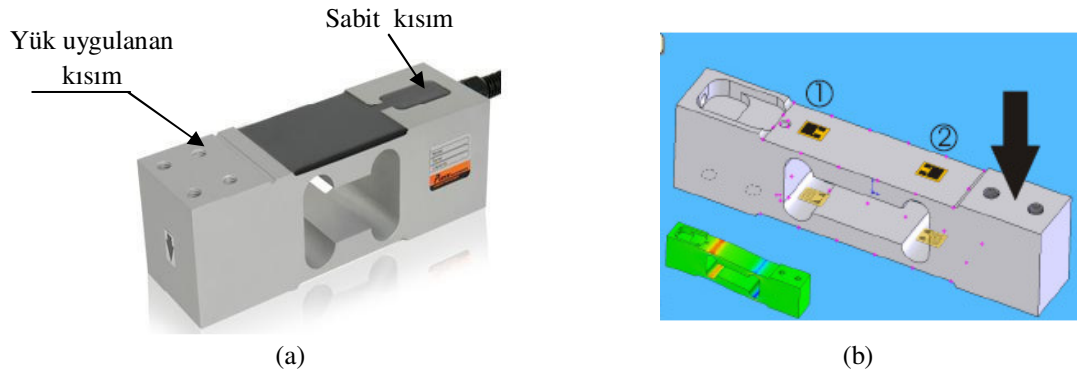
2.1. Gerginlik Kontrol Sistemlerinde Kullanılan Geribesleme Ölçüm Yöntemleri

2.1.1. Giriş

Tüm kapalı – çevrim kontrol sistemlerinde olduğu gibi Gerginlik kontrol sistemlerinde de ölçme büyük önem arz etmektedir. Ölçmenin doğru yapılması kontrol sisteminin çalışma kalitesini artırmakta ve sistemde ölçmeden kaynaklanan tutarsızlıklarını ortadan kaldırmaktadır. Diğer kontrol sistemlerinde olduğu gibi gerginlik kontrol sistemlerinde de ölçmenin düzgün yapılabilmesi için kontrol edilecek sisteme en uygun sensörün seçilmesi ve bu sensörün sistemde en uygun noktaya monte edilmesi gerekir. Bu iki bileşenin sağlandığı ölçüm sisteminden maksimum performans alınabilir. Bu bölümde gerginlik kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan sensörler (load cell, eksen konum sensörü, ultrasonic sensör) ve bu sensörlerin kullanım şekilleri ve ölçtüğü büyüklükler incelenmiştir.

2.1.2. Yük hücresi (Load cell) ile gerginlik ölçümü

Yük hücresi fiziki kuvveti, ölçülebilir elektriksel çıkışa dönüştürür. Yük hücreleri üzerine uygulanan basınç miktarına göre mV mertebesinde gerilim sinyali üretirler. Şekil 2.1’de tipik bir Yük hücresinin resmi görülmektedir. Yük hücreli gerginlik kontrol sistemlerinde ölçülmek istenen gerginlik noktasında yük hücresine lineer baskı yükü uygulayacak şekilde yerleştirilir. Yük hücresinden alınan mV mertebesindeki analog sinyaller dönüştürücü yardımı ile uygun sinyallere dönüştürülüp kontrol devresine girilmektedir.



Şekil 2.1. a. Tipik bir yük hücresinin dış görünümü
b. Yük hücresi üzerinde Stain Gage yerleşimi

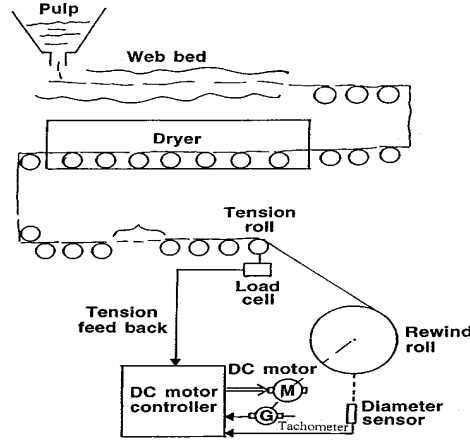
En basit çalışma şekli olarak yük hücresi, yapı yay elemanı olarak adlandırılan, özel olarak seçilmiş ve şekil verilmiş metal şase ile stain gage'lerle (gerilim ölçer) (şekil 2.1a) kurulmuş bir Wheatstone (özel bir direnç köprüsü) köprüsünden oluşur. Yay elemanı üzerine bir fiziksel kuvvet uygulandığında bu bir deformasyona sebep olur ve yay elemanında meydana gelen bu deformasyon Wheatstone köprüsü üzerinden bir elektrik sinyali olarak elde edilir. Elde edilen bu sinyal mikroişlemci tabanlı bir göstergede işlenerek, kuvvet ya da ağırlık bilgisi olarak değerlendirilir.

Stain Gage üzerine yapıştırıldığı yerdeki gerilimi ölçmek için kullanılır. Şekil 2.1b'de bir loadcell üzerine yapıştırılmış strain gageler görülmektedir. Şekildeki gibi yük hücresine bir kuvvet uygulandığında 1 nolu strain gage değişime uğrar, Boyu ΔL , direnci ise ΔR kadar değişir. Şekil 2.2'de gerçekleştirilen hidrolik hortum sarım sisteminde kullanılan yük hücresinin yerleşim resmi görülmektedir.



Şekil 2.2. Sistemde kullanılan yük hücresinin yerleşim resmi

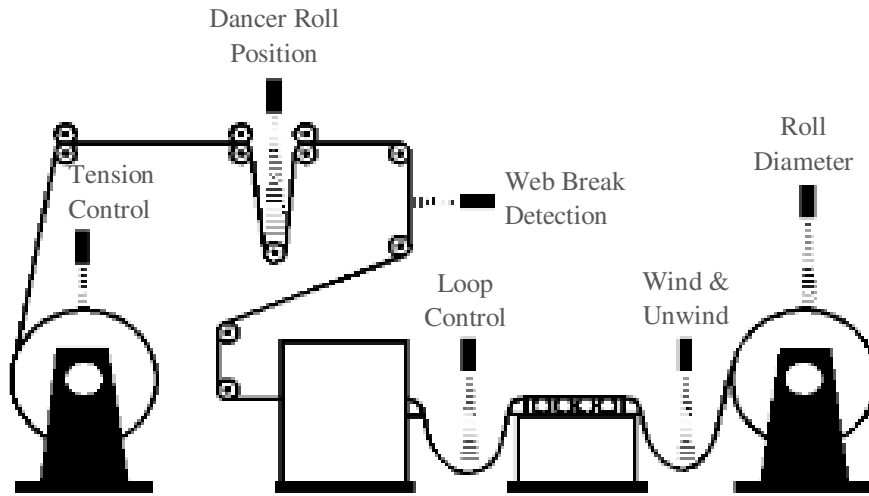
Şekil 2.2.'de kağıt makinesinde sarma rulusunun hız kontrolü için yük hücresi kullanılmıştır. Gerginlik rulusuna etki eden yük, yük hücresine iletilerek gerginlik bilgisi geri besleme olarak kontrolöre girilmiştir[1].



Şekil 2.3 Load Cell sensörlü kağıt rulo sarım kontrol sistemi[1]

2.1.3 Ultrasonic sensor ile ölçüm yöntemleri

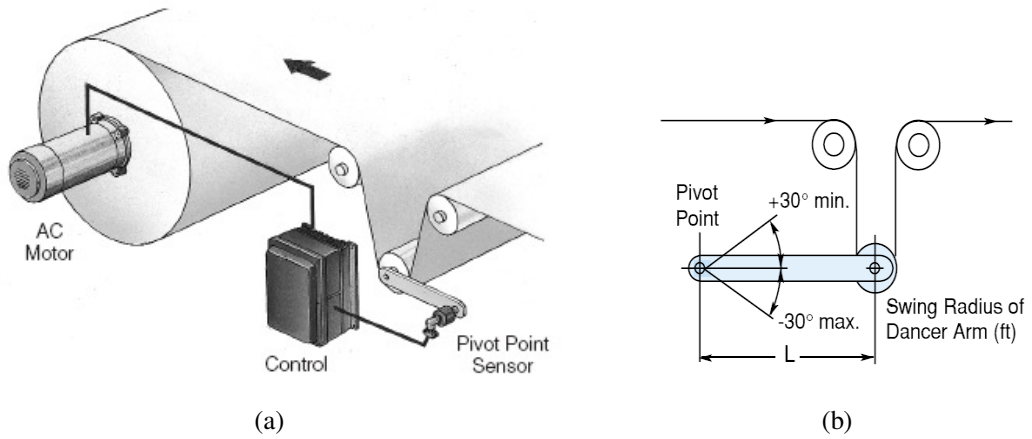
Ultrasonic sensörler yüksek frekanslı ses sinyalleri üretirler ve cisimden yansıyan sinyali değerlendirirler. Ultrasonic sensör gönderilen sinyal ile gelen sinyal arasındaki süreye göre malzemenin ne kadar uzakta olduğunu belirler. Ultrasonic sensor daha çok hat hızının sabit olduğu sarım sistemlerindeki gerginliğin sabit tutulmasında kullanılır. Ultrasonic sensor yardımı ile sarım veya çözüm yapılan makaranın veya rulonun çapı izlenmek suretiyle rulonun hızı ayarlanmaktadır. Haliyle çap arttıkça rulonun dönme hızının azalması gerekecektir. Ultrasonic sensörle birlikte ayrıca hız ölçümü sistemden alınırsa değişken hat hızlarında da kontrol sağlamak mümkün olacaktır. Şekil 2.4'de ultrasonic sensör ile yapılan ölçüm örnekleri görülmektedir.



Şekil 2.4. Ultrasonic sensör ile ölçüm yöntemleri

2.1.4 Pivot point sensor ile ölçüm yöntemleri

Pivot Point Sensör bir potansiyometre yapısındadır. Şekil 2.3’de de görüldüğü gibi hareketli serbest bir rulonun sarkma miktarına göre pivot point sensörün mili dönerek sarkma miktarı hesaplanır. Loop kontrol sistemlerinde pivot point sensör kullanılabilir.

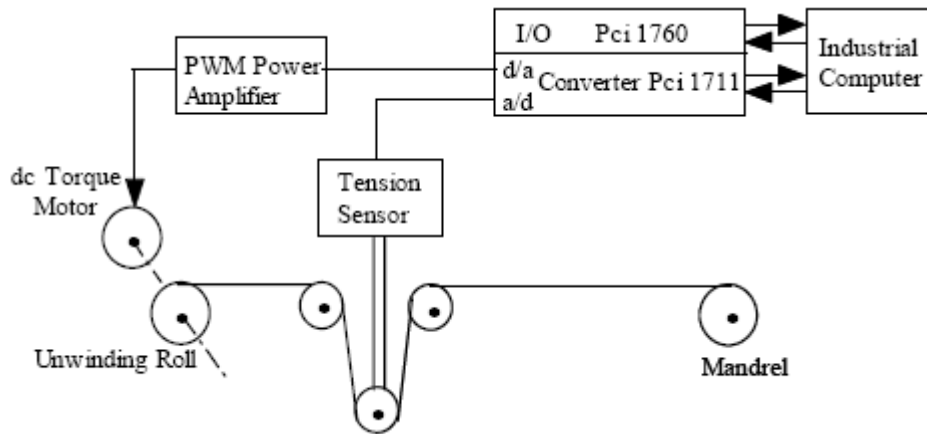


Şekil 2.5.a. Pivot point sensör ile ölçüm yöntemleri
b. Pivot point sensörün açılal konum değışimi

2.2. Literatürde Yapılan Bir Uygulama Örneği

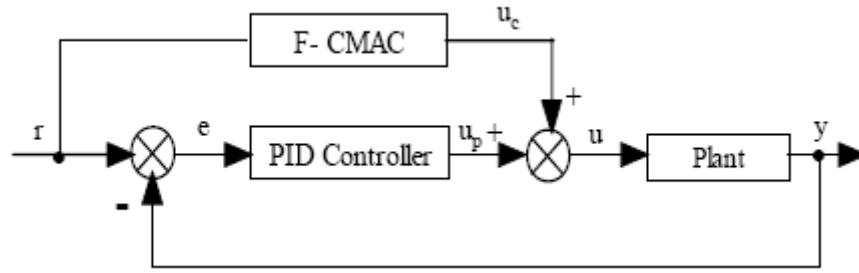
Gang Wang ve Wenjun Ning'in yapmış oldukları çalışmada tel gerginlik kontrolünde Fuzzy CMAC uygulaması gerçekleştirilmiştir. mandrel etrafına sarılan telin gerginliği dc tork motoru ile sağlanmaktadır[2].

Şekil 2.6 tel gerginlik kontrol donanım yapısını gösterir. Tel gerginliği bir gerginlik sensörü ile ölçülür ve bu sinyal bilgisayar işlemcisinde işlenmek için dijitale çevrilir. Referans gerginlik ile ölçülen gerginlik arasındaki fark PID kontrol için giriş bilgisidir. PID kontrolör aradaki hatayı azaltmayı sağlar. Fuzzy CMAC hesabı bilgisayarda icra edilir ve çoğunlukla kontrol sinyali için katkıda bulunur. Kontrol sinyali dijital analog dönüştürücü ve güç kuvvetlendirici vasıtasıyla bir tabi mıknatıslı DC tork motorunu sürmek için kullanılır[2].



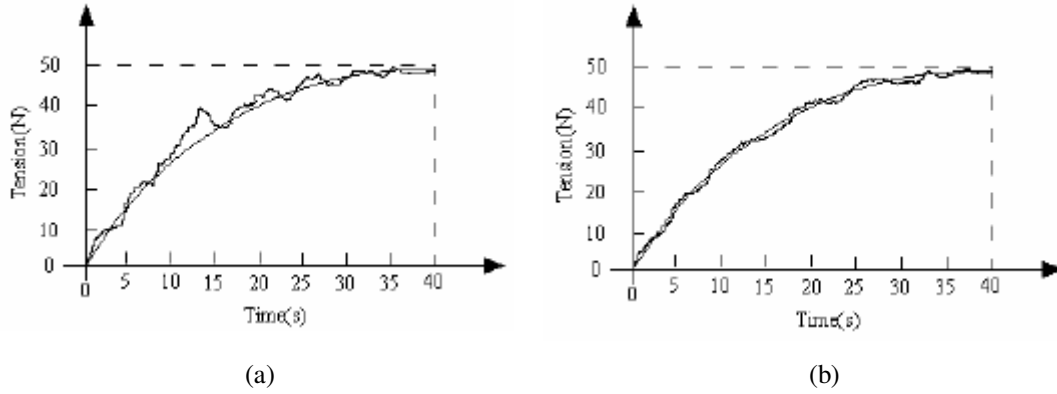
Şekil 2.6. Tel gerginlik kontrol sistemi donanım yapısı[2]

Şekil 2.7'de tel gerginlik kontrol sistem mimarisi görülmektedir. Kontrol sistemi içerisinde Fuzzy CMAC ağı ve PID kontrolör kombine şekilde paralel olarak çalışmaktadır. Sisteme uygulanan toplam kontrol sinyali, Fuzzy CMAC ağı ve PID kontrol çıkışlarının toplam işlemidir. İlk başta kontrol işlemi PID kontrol ile yürütülür. Daha sonra Fuzzy CMAC ağı yavaş yavaş sistemin dinamik davranışını öğrenir ve kontrol işlemi PID kontrolden Fuzzy CMAC ağına geçer ve kesin gerginlik kontrolü sağlanır[2].



Şekil 2.7. Tel gerginlik kontrol sistemi kontrol blok diyagramı[2]

Sistemin sadece PID kontrolörlü ve hem PID hem de Fuzzy CMAC ağı ile kontrolüne ilişkin çıkış eğrileri şekil 2.8a ve b’de görülmektedir.



Şekil 2.8.a. PID kontrolü sistem çıkışı[2]

b. PID ve Fuzzy CMAC ağı kontrolü ile sistem çıkışı[2]

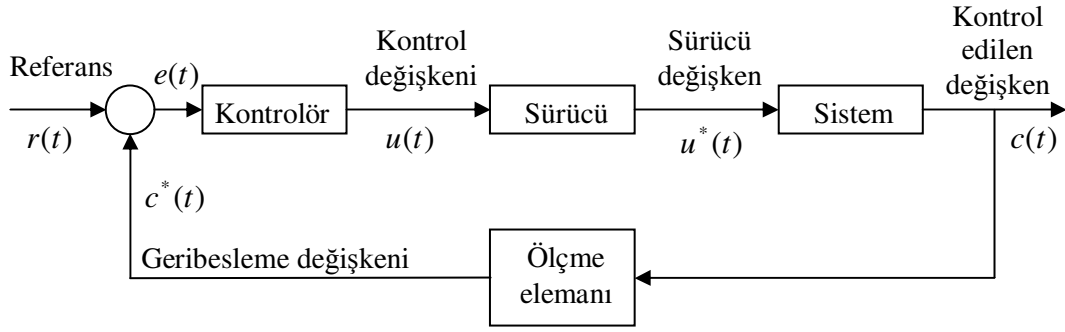
BÖLÜM 3.KONTROL SİSTEMLERİ

3.1. Giriş

Otomatik kontrolün amacı sistemin değişken büyüklüklerini arzu edilen değerlerde tutarak kararlı bir çalışma ortamı oluşturmaktır. Bir otomatik kontrol sisteminde giriş büyüklükleri değiştikçe çıkış büyüklüklerinin de mümkün olduğu kadar kısa bir surede ayar değerlerine ulaşması ve bozucu büyüklükler tarafından meydana gelen değişimlerin sistem tarafından kendi kendine giderilmesi arzu edilir. Eğer kurulu bir düzende bu özellikler sağlanmıyorsa, sisteme kontrol cihazı eklenerek arzu edilen koşulların gerçekleşmesine çalışılır. Bir kontrol sisteminin başarısı şu üç özelliği gerçekleştirme oranı ile ölçülür;

1. Sistemde meydana gelen herhangi bir bozucu büyüklükten sonra normal çalışma şartlarından minimum sapma,
2. Bozulan çalışma şartlarını en kısa zamanda normale dönüştürmek,
3. Çalışma şartlarında meydana gelen değişmelerden ötürü sistemde minimum kalıcı hatanın oluşması.

Basit bir kontrol sisteminin blok diyagramı Şekil 3.1' görülmektedir. Kontrol edilen sistem, devamlı olarak bir bozucu büyüklüğün veya sistemin dışında meydana gelen bazı etkenlerin tesiri altındadır. Söz konusu büyüklüğe karşı düzeltme yapabilmek için çıkış büyüklüğünün yani kontrol edilen değişkenin ölçülmesi gerekir. Bu ise ölçme elemanı tarafından yapılır. Kontrol cihazı, ölçme elemanı yardımı ile kontrol edilen değişkeni ölçer, referans ile karşılaştırır ve hatayı sıfır yapacak şekilde kontrol işareti üretir.



Şekil 3.1. Basit bir kontrol sisteminin blok diyagramı

3.2. Kontrol Sistem Elemanları

Sistem: Belirli bir amacı sağlayan bir bütün oluşturacak biçimde fonksiyonel bağlantıları bulunan etkileşimli ya da ilişkili elemanlar kümesidir.

Proses: Sistem içinde elemanlar topluluğu tarafından yerine getirilen işlemlerin tümüdür.

Giriş: Kontrol sisteminden belli bir cevap alabilmek için harici olarak uygulanan ve diğer değişkenlerden bağımsız olarak değişebilen işarete denir.

Çıkış: Uygulanan giriş işaretine karşılık sistemin ürettiği cevaptır.

Bozucu: Sistem girişleri arasında kontrol edilemeyen ve sistemin davranışını olumsuz yönde etkileyen sinyallerdir.

Referans: Sistemin çıkışında istenen değerlerdir.

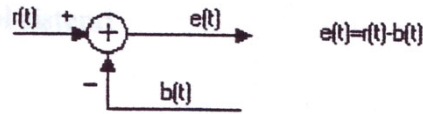
Otomatik Kontrol: Kontrol işlemlerinin, kontrol edilmek istenen olay etrafında bir karar mekanizması tarafından, doğrudan insan girişimi olmaksızın gerçekleştirilebilmesidir.

Kontrol Sistemi: Kontrol sistemleri bir fiziksel büyüklüğü kontrol etmek ve onu istenilen seyrinde tutmayı sağlamak için kullanılan sistemlerdir.

Kontrol sistemleri üretilen ürünlerin kalite kontrolünde, otomatik montaj hatlarında, makine ve aletlerin kontrolünde, uzay teknolojilerinde silah sistemlerinde, bilgisayarlı kontrol sistemlerinde, ulaşım ve güç sistemlerinde, robotik ve benzeri endüstri sektörlerinde çok yaygındır. Nihayet stok kontrolünde, hatta sosyal ve ekonomik sistemlerin kontrolünde bile, bugün otomatik kontrol kuramı uygulanmaktadır.

Geribesleme: Geribesleme sistemin çıkışının ölçülüp kontrol algoritmasına katılmasıdır. Geribesleme, sistemin girişi ile çıkışı arasındaki hataları azaltmak amacı ile kullanılır. Kontrol sistemlerinde geribesleme kullanmanın anlamı çok daha karışık olabilir. Sistem hatasının azaltılması işi geribeslemenin bir sistem üzerinde önemli etkilerinden sadece bir tanesidir. Geribesleme; kararlılık, toplam kazanç, bozucu ve duyarlılık gibi sistem davranış karakteristiklerine de etki eder.

Hata: Çıkış büyüklüğünün herhangi bir anda istenen değere göre farkıdır.



Şekil 3.2. Hata fonksiyonu

Transfer fonksiyonu: Doğrusal zamanla değişmeyen bir sistemin transfer fonksiyonu, başlangıç koşullarının sıfır alınması halinde, sisteme uygulanan impuls yanıtının laplace dönüşümü olarak tanımlanır. Tek giriş ve tek çıkışlı bir sistemde $u(t)$ giriş, $y(t)$ çıkış ve $g(t)$ impuls yanıtı olmak üzere, $G(s)$ sistemin transfer fonksiyonunu ifade etsin. Bu durumda $G(s)$;

$$G(s) = L[g(t)]$$

olarak tanımlanır. $G(s)$ transfer fonksiyonu, sırası ile $u(t)$ giriş ve $y(t)$ çıkış işaretinin Laplace dönüşümü $U(s)$ ve $Y(s)$ ve de tüm başlangıç koşulları sıfır olmak üzere 3.1 ilişkisini sağlar.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} \quad (3.1)$$

En genel durumda n. dereceden bir-giriş bir-çıkışlı dinamik bir sistem için $G(s)$ transfer fonksiyonu denklem 3.2 ile ifade edilebilir.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (3.2)$$

Transfer fonksiyonunun özellikleri şu şekilde özetlenebilir.

1. Transfer fonksiyonu sadece doğrusal, zamanla değişmeyen sistemler için tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan sistemler için tanımlanmamıştır.
2. Bir sistemin giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki transfer fonksiyonu impuls yanıtının Laplace dönüşümü olarak tanımlanır. Transfer fonksiyonunun diğer bir tanımı, çıkış değişkeni Laplace dönüşümünün, giriş değişkeni Laplace dönüşümüne oranı şeklindedir.
3. Sistemin tüm başlangıç koşulları sıfıra eşittir.
4. Transfer fonksiyonu sistemin giriş fonksiyonundan bağımsızdır.
5. Sürekli sistemlerde transfer fonksiyonu sadece s karmaşık değişkenin bir fonksiyonudur. Gerçek bir değişkenin, zamanın ya da herhangi bağımsız bir değişkenin fonksiyonu değildir. Fark denklemleriyle modellenen ayrık verili sistemlerde ise, z - dönüşümü kullanılması halinde, z 'in bir fonksiyonudur.

3.3. Fiziksel Sistemlerin Matematiksel Modeli

3.3.1. Giriş

Kontrol edilen prosesin matematiksel modellenmesi kontrol edilen sistemin analiz ve sentezinde önemli bir adım oluşturur. Kontrol edilen bir sistem verildiğinde ilkin prosesin dinamik özelliklerini belirleyen bir değişken takımını tanımlamak gerekir. Örnek olarak kontrol amacı ile kullanılacak bir motor göz önünde bulundurulabilir.

Stator sargılarına uygulanan gerilim, sargılardan akan akım, motor milinde oluşacak moment, rotor açısal konumunu ve hızı sistem değişkeni olarak seçebilir. Bu değişkenler, motorun dinamiğini ifade eden matematiksel denklemleri tanımlayan fiziksel kurallarla, ilişkilidir. Motorun çalışma koşullarına ve modellerin ayrıntısına bağlı olarak, türetilen sistem denklemleri doğrusal ya da doğrusal olmayan, zamanla değişen ya da değişmeyen türdendir.

Sistemin çalışma prensibini açıklayan fiziksel kurallar gerçek ortamda çok karmaşık olabileceği gibi sistemi belirleyen doğrusal olmayan ve veya zamanla değişen denklemlerin çözümü de çok zor olabilir. Doğrusal sistemler için geçerli bir dizi analiz ve sentez yöntemini kontrol sistemlerine uygulayabilmek amacı ile , fiziksel sistemlerde mümkün olduğu sürece bir takım kabuller yapmak gerekir. Doğrusal sistem yaklaşımını gerekli kılan iki neden vardır. İlki sistem temelde doğrusaldır ya da sistem doğrusallığın geçerli olduğu bir bölgede çalıştırılmaktadır. İkincisi sistem temelde doğrusal değildir ya da doğrusal olmadığı bir bölgede çalıştırılmaktadır, ancak doğrusal analiz ve tasarım yöntemlerini uygulayabilmek amacı ile sistem bir nominal çalışma noktası civarında doğrusallaştırılmıştır. Bu durumda analiz sadece doğrusallaştırmanın geçerli olduğu değişkenlere uygulanabileceğini hatırlamak gerekir. Şu halde doğrusal kontrol sistemlerinin analiz ve sentezinde anahtar kelimeler: kabuller, belirleme, doğrusallaştırma ve modelleme'dir.

3.3.2. Birinci dereceden sistemler

Birinci dereceden sistemlerin genel matematiksel modeli;

$$\frac{C(s)}{R(s)} = K \frac{1}{\tau s + 1} e^{-T_d \cdot s} \quad (3.3)$$

şeklindedir.

K : Kazanç

τ : Zaman sabiti

T_d : Ölü zaman

Birinci dereceden sistemler bazen ölü zamanlı olabilir (örneğin sıcaklık kontrol sistemleri) . Ölü zaman; sistemin girişine uygulana bir değişikliğin çıkış büyüklüğüne geç yansması, gecikmesidir. Eğer sistemde ölü zaman yok ise

$$\frac{C(s)}{R(s)} = K \frac{1}{\tau s + 1} \quad (3.4)$$

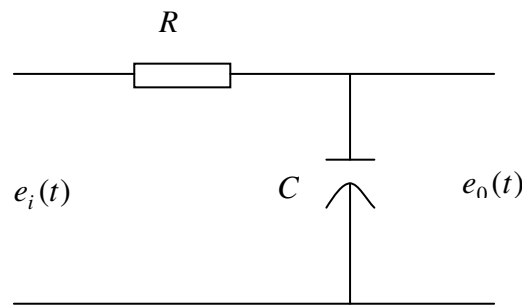
şeklinde olur.

Birinci dereceden sistemlerin matematiksel modeli, dinamik denklemleri yazılarak elde edilir. Gerekli kabul ve ihmaller yapılarak matematiksel model denklem 3.3 veya denklem 3.4 şekline getirilir.

Örneğin şekil 3.3'teki gibi bir RC devresini göz önüne alınırsa önce zaman domeninde diferansiyel denklemler yazılır;

$$i(t) = \frac{e_i(t) - e_o(t)}{R}$$

$$e_o(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i(t).dt$$



Şekil 3.3. Seri RC devresi

İlk koşullar sıfır alınarak, $i(t)$ ve $e_o(t)$ ın Laplace dönüşümü alınır ise,

$$I(s) = \frac{1}{R} \left[E_i(s) - \frac{I(s)}{sC} \right]$$

$$E_o(s) = \frac{I(s)}{sC}$$

$$E_i(s) = I(s) \left[\frac{1 + sRC}{sC} \right]$$

$$\frac{E_o(s)}{E_i(s)} = \frac{1}{1 + sRC} \quad \text{transfer fonksiyonu elde edilir.}$$

Birinci dereceden bir sisteme dinamik kontrolör ilave edildiğinde sistem derecesi artar.

3.3.3. İkinci dereceden sistemler

İkinci dereceden sistemlerin genel matematiksel modeli 3.5'teki gibidir.

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3.5)$$

ω_n = doğal frekans

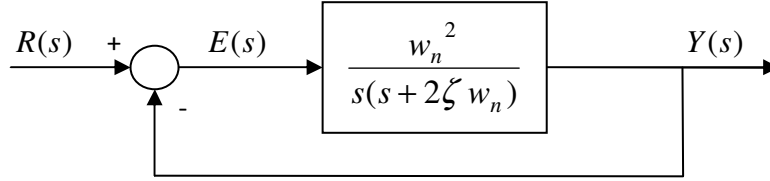
ζ = sönüm oranı

Bir sistemin ikinci dereceden olmasının iki karşılığı vardır.

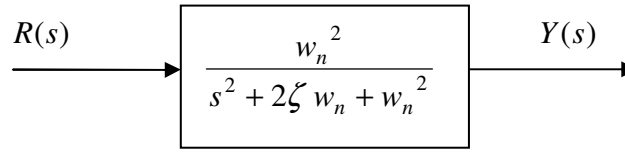
1. Sistem normalde birinci derecedendir fakat sisteme kontrolör bağlanınca (sistemin derecesini artıracak bir kontrolör; örneğin: integratör) , sistemin derecesi artmış ve kontrolörlü sistem çıkışı ikinci dereceden sistem davranışını gösterir.
2. Sistem kontrolörsüz olarak incelendiğinde ikinci derecedendir. Sistemin derecesini artıran bir kontrolör bağlandığında daha yüksek dereceden bir sistem haline dönüşür.

Kontrol sistemlerinde sistem birinci dereceden bir sisteme indirgenmeye çalışılır. Çünkü sisteme bir kontrolör ilave edildiğinde sistemin derecesi artacaktır. Kontrolörlü sistemin derecesi ikinci dereceden fazla olunca kontrolör tasarımı zorlaşacaktır. Bu nedenle sistemin matematiksel modeli elde edilirken yapılabiliyorsa

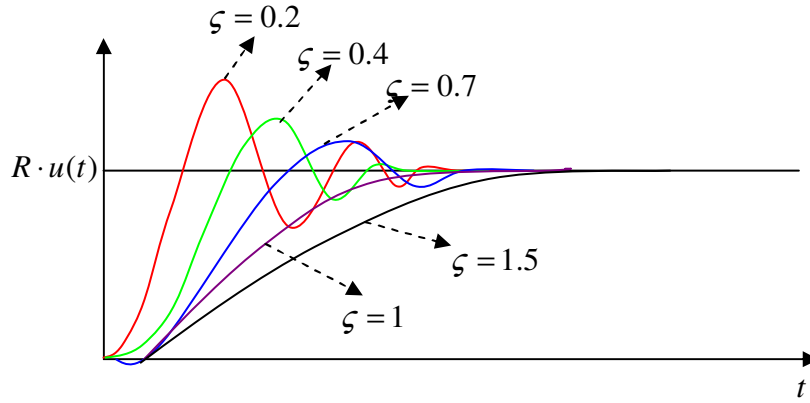
gerekli ihmaller ve kabuller yapıлып sistem saf halde birinci dereceden bir sistem olarak modellenmeye çalışılır.



Şekil 3.4. İkinci dereceden sistemin blok diyagramının basitleştirilmiş hali



Şekil 3.5. İkinci dereceden bir sistemin transfer fonksiyonunun blok gösterimi



Şekil 3.6. İkinci dereceden bir sistemin ζ 'ye bağlı olarak çıkışı

Kontrol sistemlerinin dijital bir kontrolörle kontrol edilmesi için tasarımın dijitale çevrilmesi gerekir. Çünkü gerçek zamanda tüm dijital kontrolörler belli bir örnekleme zamanına göre çalıştıkları için tasarımın, dijital kontrol sistemine göre yapılması gerekir.

3.4. Dijital Kontrol Sistemleri

3.4.1. Giriş

Dijital Kontrol Sistemleri, kullandıkları işaretler bakımından normal ya da alışlagelmiş kontrol sistemlerinden farklılıklar gösterir. Alışlagelmiş kontrol sistemleri, kontrol sistemin tümünde sürekli (analog) işaretler kullanır. Dijital kontrol sistemlerinde, kontrol düzeninin bir kısmında ya da tümünde zamanda süreksiz işaretler (discrete-in-time signals), darbe (puls) şeklinde işaretler vardır. Pratikte kullanılan dijital kontrol sistemlerindeki işaretler, sürekli işaretler, örneklenmiş işaretler (sample data) ile bilgisayar ya da mikroişlemciler ve dijital transdüktörlerin ürettiği dijital işaretlerden oluşur. Örneklenmiş işaretler (sample data), kontrol sisteminde kullanılan sürekli işaretlerin darbe dizisi (pulse-train or impulse-train) ile modüle edilmesi sonucu elde edilen ve diğer örnekleme anlarında sürekli işarete eşit olan, darbe dizisi şeklinde süreksiz işaretlerdir[3].

Bilindiği gibi kontrol sistemlerinde en az bir geribesleme devresi vardır. Sistemde, kontrol edilen büyüklük, kontrol edilen büyüklüğün izlediği bir referans büyüklük ve bu iki büyüklük arasındaki farktan oluşan bir hata büyüklüğü vardır. Çoğunlukla çıkış adı verilen kontrol edilen büyüklük, hataya bağımlı olarak sistem tarafından kontrol edilir ve değiştirilir. Kontrol sistemi tasarımında, hatanın sürekli hal değeri, sistemin geçici hal davranışı, sistemin parametre değişmelerine göre az duyar olması ve bozucu iç ve dış işaretlerden etkilenmemesi vb. kriterle göz önüne alınır. Bu kriterleri göz önüne alarak kontrol problemini çözme ise;

1. Sistemin matematiksel modelinin kurulması
2. Tasarım kriterlerini gerçekleştirecek biçimde, algılayıcı (sensör), kontrolör ve karşılaştırma elemanlarının belirlenmesi ve sonuç olarak kontrol edilen sistemin sürülmesidir.

Açıklanan bu kriterler ve tasarım yöntemleri göz önüne alındığında, dijital kontrol sistemlerinin alışılmış (normal) kontrol sistemleri üzerinde aşağıda belirtilen özelliklerde büyük üstünlük sağladığı görülür:

1. Dijital kontrol sistemleri daha güvenilirdir.
2. Kontrol edilen çıkış büyüklüğü giriş büyüklüğünü daha büyük duyarlılıkla (daha küçük hata ile) izler.
3. Sistem parametre değişimlerine daha az duyarlıdır.
4. Dış ve iç bozucu etkilerden daha az etkilenir.
5. Mikroelektronik ve mikrobilgisayarlarda meydana gelen son teknolojik değişimler nedeni ile dijital kontrol sistemlerindeki kontrol ediciler daha hafif, küçük ve ucuzdur.

3.4.2. Kontrol sistemlerinin ayırık modeli

3.4.2.1. Z-dönüşümü

Sistemin davranışını anlayabilmek için sistemin matematiksel modelinin elde edilmesi gerekir. Matematiksel model sistemin değişkenleri arasındaki bağıntıları verir. Dijital kontrol sistemlerinin matematiksel modellerinin elde edilmesinde fark denklemleri kullanılır. Sürekli işaretli çalışan kontrol sistemlerinde s düzlemi kullanılırken dijital kontrol sistemlerinin matematiksel modeli z domeni ve z dönüşümü transfer fonksiyonuyla verilir.

Örneklenmiş işaretin laplace dönüşümü alınır ve örneklenmiş işaretinde, sürekli işaret ile impuls dizisinin çarpımı olduğunu göz önünde bulundurulursa;

$$F(s)^* = \int_0^{\infty} f(t)^* \cdot e^{-st} dt \quad , \quad f(t)^* = f(t) \cdot \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT) \quad (3.6)$$

$$F(s)^* = \int_0^{\infty} \left\{ f(t) \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \delta(t - kT) \right\} e^{-st} dt \quad k \geq 0$$

$$\int_0^{\infty} f(t) \cdot \delta(t - kT) dt = f(kT) \quad (3.7)$$

$$F(s)^* = \sum_{k=0}^{\infty} f(kT) \cdot e^{-skT} \quad (3.8)$$

Notasyon kolaylığı için $F(s)^*$ yerine $F(z)$ yazılırsa ve tanım olarak, T örnekleme zamanı olmak üzere, $z = e^{sT}$ 'dir. e^{sT} yerine denklem 3.8 de z yazılırsa 3.9 ifadesi elde edilir.

$$F(z) = \sum_{k=0}^{\infty} f(kT) \cdot z^{-k} \quad (3.9)$$

$F(z)$: Örneklenmiş işaretin z -dönüşümü

Eğer verilen fonksiyonun laplace dönüşümü biliniyor ise “Rezidü Teoremi”nden z dönüşümü elde edilebilir. Rezidü teoreminin ifadesi 3.10 ve 3.11’de verilmiştir.

$$X(z) = \sum_{i=1}^n \left\{ X(s) \text{'in kutuplarına ilişkin rezidüler} \cdot \frac{X(s) \cdot z}{z - e^{sT}} \right\} \quad (3.10)$$

$$X(z) = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{(m-1)!} \cdot \frac{d^{m-1}}{ds^{m-1}} \left[(s - s_i)^m x(s) \frac{z}{z - e^{sT}} \right] \right\}_{s=s_i} \quad (3.11)$$

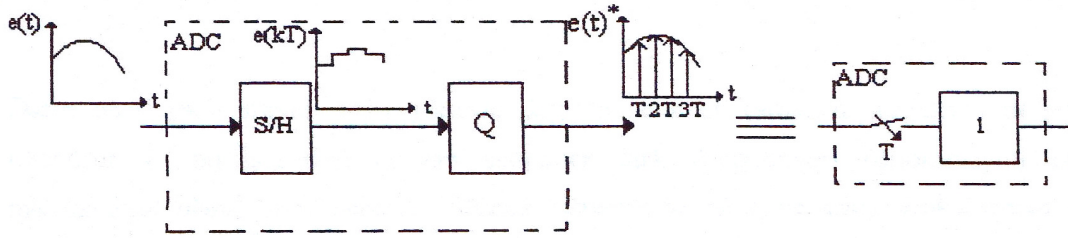
m : i . Kutbun katlılık derecesi

3.4.2.2. Örnekleme ve sıfırcı mertebeden tutucu

Mikroişlemciler, PLC ve bilgisayar tabanlı kontrolörler sadece sayısal bilgilerle işlem yaptıklarından, giriş işaretinin de sayısala çevrilmesi gerekir. Bu işlem ADC (Analog – Dijital Çevirici) kullanılarak yapılır.

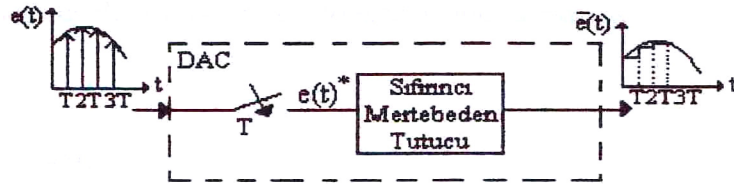
Bilgisayar veya mikroişlemci çıkışındaki sayısal işaret çok yüksek frekanslı olduğundan alçak geçiren filtre kullanarak yüksek frekanslar süzülür, bu devre, tutma devresi olarak adlandırılır.

Örnekleme sürekli hata işaretini $T, 2T, 3T, \dots$ anlarındaki değerini ölçer, tutucu ise örneklenen bu işareti bir sonraki örnekleme anına kadar sabit tutar. T örnekleme periyodudur.



Şekil 3.7. Analog-Dijital çevirici blok şeması

Tutucunun tutma devreleri, kontrol sisteminin duyarlılığına bağlı olarak sıfırıncı, birinci,..... n. mertebeden tutma devreleri diye sınıflandırılır. ADC' de sayısal değerlendirme ve kodlama transfer fonksiyonu idealde 1'dir ve sabittir.



Şekil 3.8. Dijital-Analog çevirici blok şeması

T örnekleme periyodu olmak koşuluyla sıfırıncı mertebeden bir tutucunun ZOH (Zero-Order-Hold) transfer fonksiyonu denklem 3.12'deki gibidir.

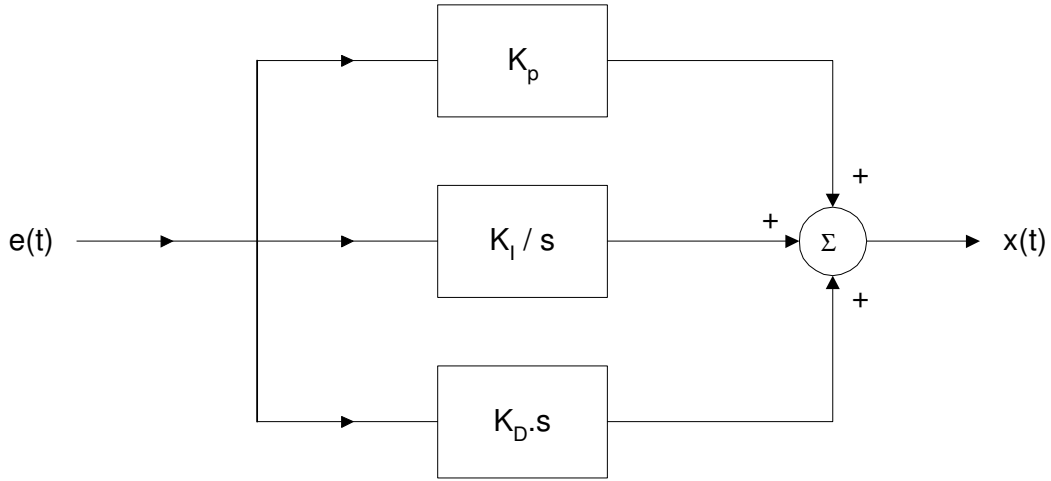
$$G_{ho} = \frac{1 - e^{-sT}}{s} \quad (3.12)$$

3.4.3. Dijital PID kontrolör

Sürekli işaretle çalışan kontrol sistemlerinde PID kontrolörünün giriş-çıkış bağıntısı, $x(t)$ kontrolör çıkışı ve $e(t)$ de kontrolör girişi olduğuna göre 3.13 ifadesi yazılabilir.

$$x(t) = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) \cdot dt + K_p \cdot T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.13)$$

Burada; K_p oranlı kazanç katsayısı, T_i integrasyon zamanı ve T_d de türev zamanını ifade etmektedir.



Şekil 3.9. PID kontrolörün s domenindeki diyagramı

Z-bölgesinde PID kontrolörünün giriş-çıkış bağıntısını ve darbe transfer fonksiyonunu bulmak amacı ile integral ve türev terimleri göz önüne alınır. İntegral ve türev terimleri 3.14'deki gibidir.

$$\frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t).dt \quad \text{ve} \quad K_p.T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.14)$$

İntegral ifadesini, yamuk toplamı ve türev terimini de iki değer farkı cinsinden ifade edilebilir.

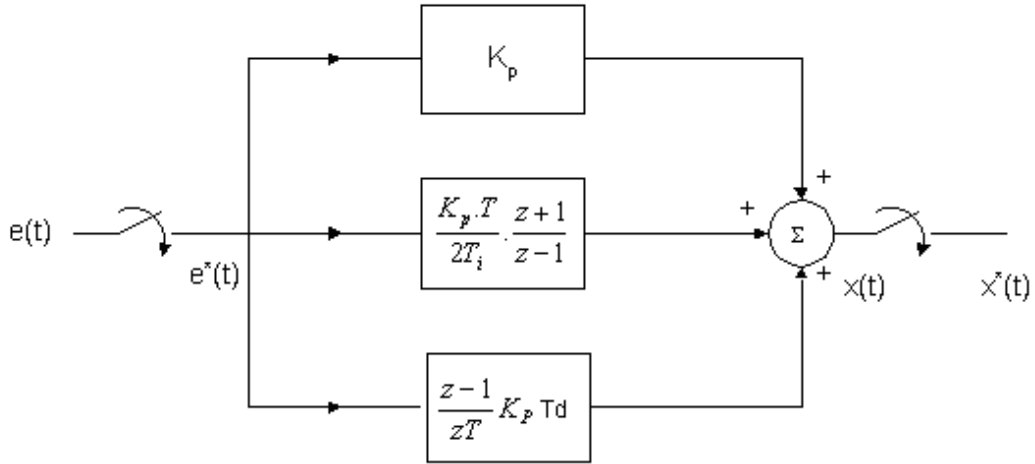
$$\frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t).dt = \frac{K_p}{T_i} \left[\frac{e(0) + e(T)}{2} T + \frac{e(T) + e(2T)}{2} T + \dots + \frac{e[(k-1)T] + e(kT)}{2} T \right] \quad (3.15)$$

$$Z \left\{ \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t).dt \right\} = \frac{K_p.T}{2T_i} \cdot \frac{z+1}{z-1} \quad (3.16)$$

$$K_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \Big|_{t=kT} \cong \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T} K_D \quad (3.17)$$

$$\mathcal{Z} \left\{ K_p \cdot \frac{de(t)}{dt} \right\} = \frac{E(z) - z^{-1}E(z)}{T} K_p \cong \frac{1 - z^{-1}}{T} E(z) T_d = \frac{z-1}{zT} K_p T_d \quad (3.18)$$

İntegralin ve türevin z-domenindeki ifadeleri (3.16) ve (3.18) nolu denklemlerdir. Bu ifadeler şekil 3.9'da yerine koyulur ise ayırık-zaman PID kontrolör şekil 3.10'da verildiği gibi elde edilir.



Şekil 3.10. Z-domeninde PID kontrolörün transfer gösterimi

PID kontrolörünün darbe transfer fonksiyonu olarak 3.19'deki ifade yazılabilir.

$$G_{PID} = \frac{X(z)}{E(z)} = K_p + \frac{K_p \cdot T}{2T_i} \cdot \frac{z+1}{z-1} + \frac{K_p \cdot T_d}{T} \cdot \frac{z-1}{z} \quad (3.19)$$

Buradan yola çıkarak aşağıdaki ifadeleri de yerine yazarsak 3.23'deki ifade elde edilir.

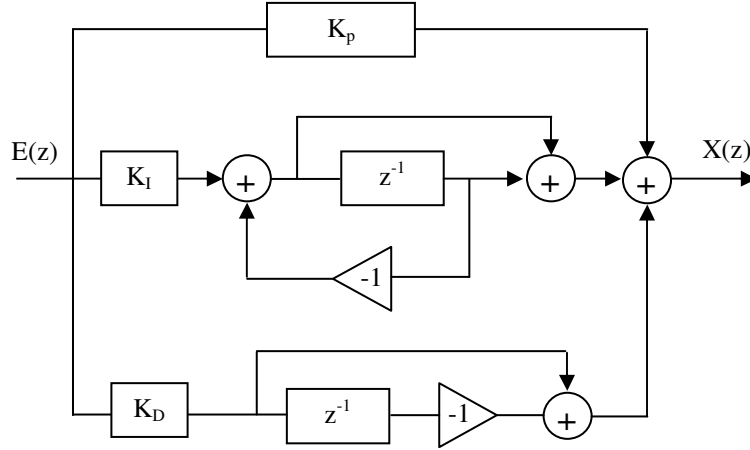
$$K_p = K_p \quad (3.20)$$

$$K_I = \frac{K_p \cdot T}{2T_i} \quad (3.21)$$

$$K_D = \frac{K_p \cdot T_d}{T} \quad (3.22)$$

$$G_{PID}(z) = K_p + K_I \frac{z+1}{z-1} + K_D \frac{z-1}{z} \quad (3.23)$$

$G_{PID}(z)$ ifadesinden faydalanarak doğrudan programlama yöntemi yardımı ile ayrık-zaman PID kontrolöre ait programlama diyagramı şekil 3.11 de verildiği gibi elde edilir.



Şekil 3.11. Dijital PID kontrolörün blok diyagramı

3.4.4. Dijital PID kontrolör tasarımı

Hidrolik hortum sisteminde, gerginliğin olması gereken değerinde sabit tutulması gerekir. Bunu sağlamak için kullanılan PID kontrolör parametrelerinin uygun çalışma koşullarını ve kriterlerini karşılayacak şekilde tasarlanması gerekir.

Sistemi kontrol edecek olan PID kontrolörün parametrelerinin elde edilebilmesi için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bunlardan birincisi deneysel yöntem olarak da ifade edilen Nichols-Ziegler yöntemidir. Diğer bir yöntem de amaç kriterlerinden faydalanarak analitik hesap ile kontrolör parametrelerinin hesaplanmasıdır.

3.4.4.1. Tasarım kriterleri

Kontrol edilen sistemin nasıl davranması gerektiği önceden belirlenmelidir. Sistemin davranışı ile ilgili bu kriterlere amaç kriterleri denir. Amaç kriterleri sözlü ifadeler olmayıp matematiksel değerlerdir.

Tasarımcı gerekirse sistemin davranışı ile ilgili sözlü ifadeleri matematiksel değerlere dönüştürmelidir.

Amaç kriterleri kontrol edilen büyüklüğün davranışını ifade eder. Genel olarak kullanılan amaç kriterlerinden bazıları şunlardır:

Aşım: Kontrol edilen büyüklüğün istenen referans değerinin maksimum ne kadar üstüne çıkabileceğinin ölçüsüdür. % olarak ifade edilir.

Yerleşme Zamanı: Kontrol edilen büyüklüğün ne kadar sürede tolerans bandının içine gireceğini gösterir. Yani çıkışın ne kadar sürede; istenen referansa eşit kabul edilen bant aralığına gireceğidir.

Amaç kriterleri olarak gösterilen birkaç değer daha olmasına rağmen kontrol yapılacak sisteme göre en çok bu iki parametre kullanılır ve kontrolör bu iki kritere göre tasarlanır. Belirlenen tasarım kriterini sağlayacak kontrolör seçilmelidir. Bir kontrol sistem tasarımında birçok çözüm bulunabilir. Pratikte tasarım özelliklerini sağlayan en basit kontrolör seçilir. Kontrolör ne kadar kompleks olursa, o kadar pahalı, az güvenilir ve tasarımı daha zor olur. Belli bir uygulama için belli bir kontrolör seçmek geçmişteki deneyimlere göre bazen de sezgisel olarak mümkün olabilir. Çeşitli kontrol tipleri kullanılabilir. Bunlardan en başlıcaları oransal, integral, türev veya bunların birleşiminden oluşan PI, PD, PID kontrolörlerdir.

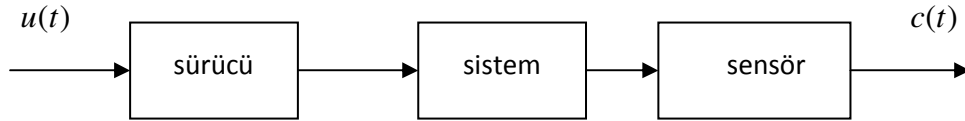
3.4.4.2. Nichols-Ziegler yöntemi ile PID parametrelerinin bulunması

Nichols-Ziegler ile PID parametre ayarında iki yöntem vardır. Birinci yöntemin uygulanabilmesi için, sistem modelinde integratör ve/veya baskın kompleks-eşlenik kutuplar bulunmamalıdır. Sistem basamak-cevabı S-şeklinde olmalıdır. S-şeklindeki eğri ise gecikme zamanı T_d ve zaman sabiti τ ile karakterize edilebilir.

Ziegler ve Nichols tarafından ileri sürülen bu yöntemde denetlenen sistem (süreç) denklem 3.24' deki gibi bir transfer fonksiyonuna sahip olduğu kabul edilir.

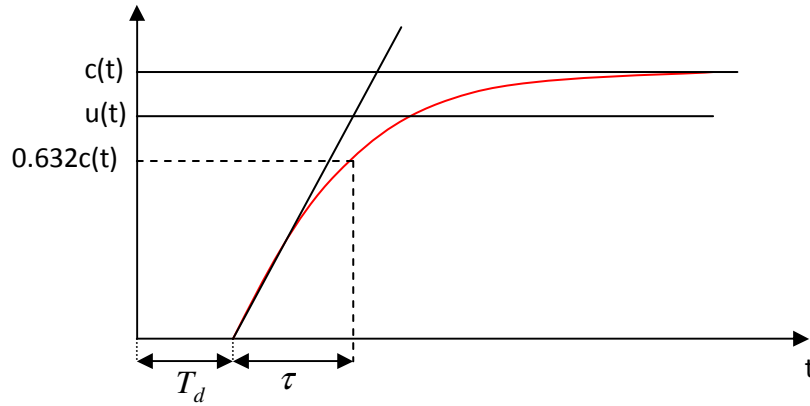
$$G_s(s) = \frac{Ke^{-sT_d}}{Ts+1} \quad (3.24)$$

Bu yöntemin esası açık-döngülü sistemin basamak giriş cevabını incelemekten ibarettir. Basamak girişi uygulanmış açık-çevrim sistemin blok diyagramı Şekil 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.12. Basamak girişi uygulanmış açık çevrim sistemi

Şekil 3.13’deki egride T_d (ölü zaman); sistem çıkışı eğrisinin maksimum eğim noktasından çizilen teğetin zaman eksenini kestiği değerdir. τ ise sistem çıkışının son değerinin 0.632 katına çıktığı sürenin T_d ‘den çıkarılmış halidir.



Şekil 3.13 Birinci dereceden sistemin birim basamak cevabı

Denetim organı elle ayar durumuna getirilir ve sisteme bir basamak giriş uygulanarak şekil 3.13’deki gibi bir cevap eğrisi elde edilir. Eğrinin doğrusal bölgesindeki eğimi E ve ölü zaman gecikmesi T_d ye bağlı olarak denetim organının en uygun ayar değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$K : \text{Sistem kazancı} = \frac{c(\infty)}{u(\infty)} \quad (c(\infty) : \text{açık-çevrim çıkışın son ulaştığı, oturduğu değer})$$

$$M : \frac{T}{T_d} \quad (T : \text{örnekleme zamanı})$$

$$K_i : K_p \frac{T}{2T_i} \quad (T_i : \text{integral zamanı})$$

$$K_D : K_p \frac{T_d}{T} \quad (T_d : \text{türev zamanı})$$

Tablo 3.1 Nichols – Ziegler yöntemi ile PID kontrolör parametreleri

Kontrolör Tipi	K_p	T_i	T_d
P	M/K	-	-
PI	$0.9(M/K)$	$3.3T_d$	-
PID	$1.2(M/K)$	$2T_d$	$0.5T_d$

Nichols – Ziegler yöntemi sadece en uygun denetim organı ayarlarına yakın değerler verir. Farklı sistemler için farklı en uygun ayar değerleri elde edilir. Öngörülen değerler, yalnızca başlangıç değerleri olarak ele alınmalı ve daha uygun çalışma şartlarının bulunması için deneylere devam edilmelidir.

Denetlenen sistem hakkında herhangi bir ön bilgi gerektirmeyen Nichols – Ziegler 2. yöntemi ise, titreşim yöntemi ile PID parametre ayarındır.

1. Orantı kazancı (K_p) sıfıra, integral zaman sabiti (T_i) en yüksek değerine ve türev zaman sabiti (T_d) sıfıra ayarlanır.
2. Sistem cevap eğrisinde sürekli salınımlar ortaya çıkana kadar orantı kazancı (K_p) artırılır. Eğer sistem K_p 'nin hiçbir değeri için osilasyon yapmıyor ise bu yöntem uygulanamaz.

3. İntegral zaman sabiti (T_i) oranı etkiden ortaya çıkan kalıcı durum hataları ortadan kalkana ve ayar değeri etrafında düşük frekans ve düşük genlikli salınımlar ortaya çıkana kadar yavaş yavaş artırılır.
4. Daha sonra tüm titreşimler ortadan kalkana kadar türev zaman sabiti adım adım artırılır. T_d 'nin büyük tutulması oranı kazancı K_p 'nin büyük tutulmasına olanak verir. Birkaç sınamadan sonra denetim organı parametreleri en uygun değerine ayarlanmış olur.

3.4.4.3. Amaç kriterleri ve karakteristik denklemden PID parametreleri belirleme

Kök yer eğrisi ile kontrolör parametreleri hesabı daha gerçek sonuçlar vermektedir. Bu yöntem ile tasarım, sistemin davranışını birebir yansıttığından gerçekçi sonuçlar verir. Gerekirse çok küçük ayarlar ile parametreler verimli şekilde bulunmuş olur.

Genel olarak, kapalı- çevrim kontrol sisteminin transfer fonksiyonu 3.25'deki gibi verilebilir.

$$T(z) = \frac{C(z)}{R(z)} = \frac{G(z)}{1 + G(z)H(z)} \quad (3.25)$$

Sistemin karakteristik denklemi de 3.26'daki gibidir.

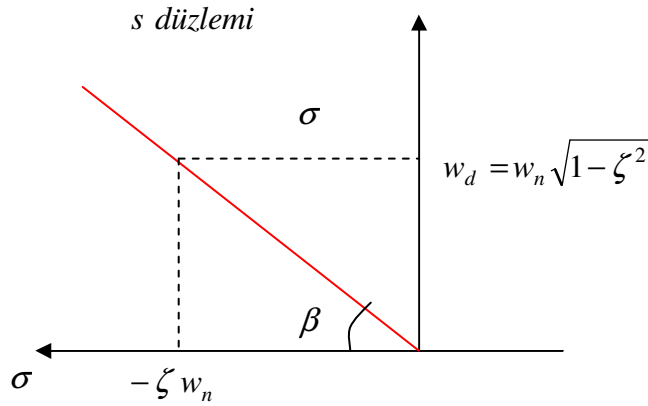
$$1 + G(z)H(z) = 0 \quad (3.26)$$

$G(z)H(z)$ açık çevrim transfer fonksiyonudur ve bu fonksiyon içinde kontrol sisteminin kazancı, parametreleri ve açık çevrim transfer fonksiyonunun sıfır ve kutupları bulunmaktadır. Amaç kapalı çevrim kontrol sisteminin karakteristik denkleminin köklerinin istenen yere yerleştirilmesidir. Olması istenen baskın kontrol kutupları amaç kriterlerinden belirlenir.

Amaç kriterlerini sağlayan baskın kontrol kutbu karakteristik denklemde yerine yazılarak PID parametreleri bulmak için karakteristik denklemden iki bilinmeyenli iki denklem elde edilir. Diğer bir denklemden sistemin rampa giriş için sürekli hal hatasından Integral katsayısı K_I elde edilir.

İkinci dereceden bir sistemin karakteristik denkleminin genel gösterimi 3.27' deki gibidir.

$$\Delta(s) = s^2 + 2\zeta w_n s + w_n^2 = 0 \quad : \text{karakteristik denklem} \quad (3.27)$$



Şekil 3.14. Kontrol kutbunun karmaşık s-düzleminde gösterimi

Komplex-eşlenik köklerden biri Şekil 3.14'de görülmektedir. Bu kökün yeri amaç kriterlerinden bulunur. Amaç kriterleri formülleri aşağıdadır.

$$\text{Aşım}(\%M_p) = e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (3.28)$$

$$\text{Yerleşme zamanı}(t_s) = \frac{3}{\zeta w_n} = 3\tau \quad ; \quad \%5 \text{ kriterine göre} \quad (3.29)$$

$$(t_s) = \frac{4}{\zeta w_n} = 4\tau \quad ; \quad \%2 \text{ kriterine göre} \quad (3.30)$$

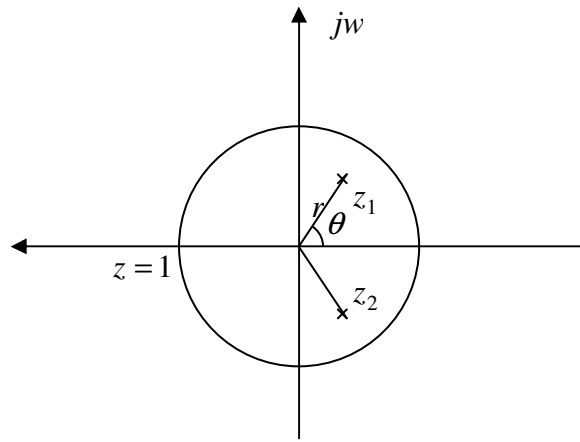
Bu ifadelerden baskın kontrol kutup yerleri s-kompleks düzleminde bulunur sonra karmaşık z –düzleminde ifadeleri yazılırsa;

$$s = \sigma + j\omega_d$$

$$\omega_d = \omega \cdot T \quad (T : \text{örnekleme zamanı})$$

$$z = e^{sT} = e^{\sigma T} \cdot e^{j\omega T} = r \cdot e^{j\theta}$$

Kutupları karmaşık z düzlemindeki yeri Şekil 3.15’de görülmektedir.



Şekil 3.15. Kontrol kutbunun karmaşık z – düzleminde gösterimi

r : kutbun orijine uzaklığı

θ : kutbun orijin ile yaptığı açı

$$r = e^{-\sigma T}$$

$$\ln(r) = -\sigma T \Rightarrow \sigma = -\frac{\ln(r)}{T}$$

$$t_s = -\frac{3T}{\ln(r)} ; \quad \%5 \text{ kriterine göre yerleşme zamanı} \quad (3.31)$$

$$t_s = -\frac{4T}{\ln(r)} ; \quad \%2 \text{ kriterine göre yerleşme zamanı} \quad (3.32)$$

Amaç kriterlerinden t_s belirlenir ve örnekleme zamanı da seçildiği için r bulunur.

$$\theta = w \cdot T \Rightarrow w = \frac{\theta}{T}$$

Şekil 3.14'e bakılarak aşağıdaki denklem yazılabilir.

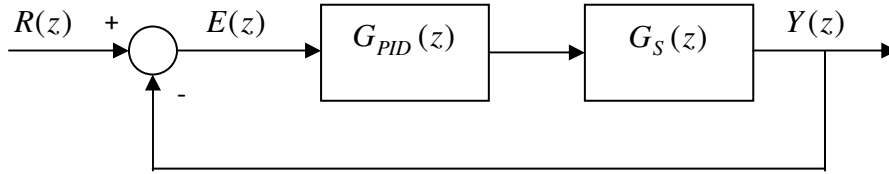
$$m = \tan \beta = \frac{w_n \sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta w_n} = -\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{\zeta} = -\frac{w}{\sigma}$$

$$m = -\frac{w}{\sigma} = \frac{\theta}{T} \cdot \frac{-T}{\ln(r)} \Rightarrow \ln(r) = \frac{\theta}{m} = \frac{\theta}{-\frac{\theta}{\sqrt{1-\zeta^2}}}$$

$$\theta = m \cdot \ln(r) = \tan \beta \cdot \ln(r) \quad (3.33)$$

$$z = r(\cos \theta + j \sin \theta) \quad (3.34)$$

3.34 ifadesinden karmaşık z düzlemindeki köklerin yeri bulunur. Daha sonra bu kökler 3.36 ifadesindeki karakteristik denklemde yazılırsa PID parametreleri bulunmuş olur. Bir bilinen daha gerekirse sistemin rampa girişi için sürekli hal hatası kullanılır.



Şekil 3.16. Birim geribeslemeli kapalı - çevrim dijital kontrol sistemi

Şekil 3.16' daki sistemin kapalı çevrim transfer fonksiyonu 3.35'deki gibidir.

$$G(z) = G_{PID}(z) \cdot G_S(z)$$

$$T(z) = \frac{G(z)}{1 + G(z) \cdot H(z)} \quad (3.35)$$

Karakteristik denklem ise 3.36 ifadesi ile gösterilmiştir.

$$1 + G(z) \cdot H(z) = 1 + G_{PID}(z) \cdot G_s(z) \cdot H(z) = 0 \quad (3.36)$$

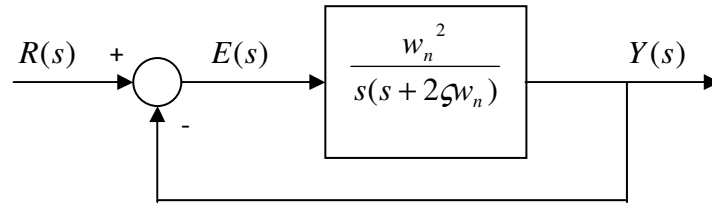
Birinci dereceden sistemin rampa girişi için sürekli hal hatası 3.37'de verilmiştir.

$$e_{ss}(\infty) = \frac{1}{K_v} = \frac{1}{sbt} \quad (3.37)$$

$$K_v = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)G(z)H(z) \quad (3.38)$$

Burada sistemin rampa girişi için sürekli hal hatası ikinci dereceden sistemin genel ifadesinden elde edilir. Şekil 3.17'de ikinci dereceden sistemin genel blok şeması verilmiştir.

$$e_{ss}(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot E(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{1}{1 + G(s)H(s)} \cdot \frac{R}{s^2} \quad (3.39)$$



Şekil 3.17. İkinci dereceden sistemin genel blok gösterimi

İkinci dereceden sistemin genel yapısı göz önüne alınarak rampa girişi için sürekli hal hatası 3.40'daki gibi yazılabilir. Bu değer amaç kriterlerinden elde edilen ζ ve w_n için hesaplanabilir. Bundan sonra 3.38 ifadesinden K_I değeri elde edilir.

$$e_{ss}(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{w_n^2}{s(s + 2\zeta w_n)}} = \frac{2\zeta}{w_n} \quad (3.40)$$

BÖLÜM 4. GERGİNLİK KONTROLÜ

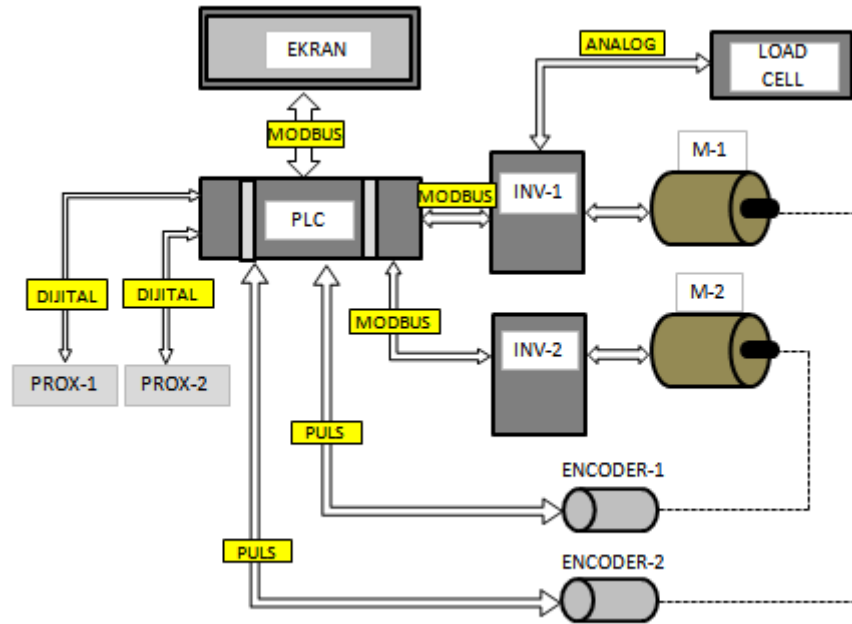
4.1. Giriş

Yapılan bu çalışmada üretilen hidrolik hortumun, makine çıkışında hat hızına bağlı olarak sabit gerginlikte ve düzgün olarak makaraya sarılmasının kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kontrolcü olarak PLC (Programlanabilir Lojik Denetleyici) kullanılmıştır. PID kontrol teorisi uygulanmıştır.

4.2. Sistemin Yapısı ve Çalışma Prensibi

4.2.1. Sistemde kullanılan elemanlar

Sistemde kullanılan elemanlar Şekil 4.1’ de şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.1. Hidrolik hortum sarma makara sisteminin yapısal gösterimi

Load Cell (Gerginliği Ölçen Sensör): Load celin fonksiyonu ve çalışma ilkesi bölüm 2.1.2’de açıklanmıştır.

Asenkron Motor: Sistemde iki adet asenkron motor kullanılmıştır. Bu motorları invertör (frekans dönüştürücü) çalıştırmaktadır. M-1 motoru hidrolik hortumun sarıldığı makarayı döndüren motordur.(Bkz. Şekil 4.6) M-2 motoru ise düzgün sarım kılavuzunu sağa-sola hareket ettiren motordur.(Bkz. Şekil 4.6) Şekil 4.2’de redüktörlü bir asenkron motor görülmektedir. Redüktör; bağlı olduğu milin devir sayısını düşürüp momenti artıran mekanik dişli sistemidir. Örneğin; motor mili çıkışı 1500 *devir / dak* olup 100/1 oranında bir redüktör bağlandığında, redüktör çıkışındaki devir sayısı 15 *devir / dak* olur. Sistemde kullanılan motorlar redüktörlü motorlardır. Redüktör kullanmaktaki amaç hem motor çıkışındaki yüksek devri daha düşük bir devire indirmek hem de motor çıkışındaki momenti artırıp yüksek momentli mekanik yükü tahrik etmektir.



Şekil 4.2. Redüktörlü asenkron motorun şekli

İnvertör (Frekans Dönüştürücü): Asenkron motorları değişken hızlarda çalıştırmak için kullanılan endüstriyel güç elektroniği elemanlarıdır. Gerilimin frekansını değiştirerek asenkron motorun hızını değiştirirler.

Encoder (Darbe Üretici): Bağlı olduğu milin dönme miktarına göre darbe şeklinde sinyal üreten cihazlardır.

Gelen darbe sayısına göre bağı olarak milin devir sayısı elde edilir. Encoderler 250 puls/devir , 500 puls/devir , 1000 puls/devir ...vb şekilde üretilmektedir. Şekil 4.3'te encoderin şekli görülmektedir.



Şekil 4.3. Encoderin (Darbe Üretici) dış görünümü

Proximity Sensör (Metal algılayan sensör): Bu sensörler belli mesafede önlerine gelen metal cismi algılayarak sinyal verirler.(Şekil 4.4)



Şekil 4.4. Proximity sensör görünümü

PLC (Programlanabilir Lojik Denetleyici): Değişik tip proses veya makineleri analog veya sayısal giriş/çıkış cihazları üzerinden kontrol etmek amacıyla lojik, sıralama, zamanlama, sayma ve aritmetik işlemler gibi özel fonksiyonların kullanıldığı, endüstriyel koşullarda güvenli bir biçimde kullanım için tasarlanmış sayısal kontrol cihazlarıdır.[3] Sistemin çalışmasına ilişkin lojik devrelerin ve sistem algoritmasının çalıştırılmasını sağlayan programlanabilir kontrolördür. PLC'ler endüstriyel şartlara uygun olarak tasarlanıp ve elektriksel gürültü ve ortam şartlarından en az etkilenmesi bakımından tercih edilen programlanabilir kontrolörlerdir. Sitemde kullanılan PLC Schneider Electric firmasının Twido model bir ürünüdür. (Şekil 4.5) Bu PLC aynı firmanın ürettiği TwidoSoft programı ile programlanmaktadır.



Şekil 4.5. Sistemde kullanılan kontrolör (PLC) görünümü

Operatör Ekran: Sistem ile ilgili çeşitli kontrol parametrelerinin kullanıcı tarafından kontrolcüye girilmesi veya sistemle ilgili değişkenlerin ve durumların izlenebilmesi için kullanılan dijital arayüz panellerdir. Örneğin; kullanıcı kontrol edilen değişkene ait set değerini dijital bir ekran üzerinden kontrolcüye girebilmektedir.

4.2.2. MODBUS haberleşme

Sistemde PLC ile ekran ve sürücüler endüstriyel bir haberleşme protokolü olan Modbus haberleşme protokolü ile haberleşmektedir.(Şekil 4.1) PLC, haberleşme yapısında master (ana- istemci) konumdadır.

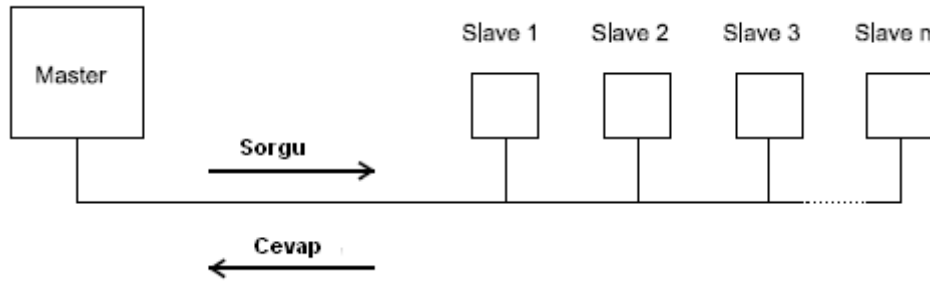
Modbus, endüstriyel alandaki iletişim ihtiyacını karşılayan en eski seri iletişim protokollerinden biridir. PLC (Programmable Logic Controller) sektörünün ilk ve en güçlü imalatçılarından olan Modicon firması tarafından kendi ürünleri arasındaki iletişimi sağlamak üzere 1978 yılında geliştirilmiş. Zamanla PLC sistemler arasında veri transferi ve bilgi alışverişini sağlayan standart bir iletişim protokolü olarak bilfiil sektörde yerini almıştır. Modicon'a rakip pek çok endüstriyel kontrol cihazı imalatçısı kendi iletişim protokollerinin yanı sıra Modbus iletişim desteğini de vermektedirler.

Bir süre sonra Gould-Modicon, sonra AEG-Modicon adını alan Modicon firması, 1979 yılında Schneider Grup tarafından satın alınmıştır. Bir sonraki önemli gelişme olarak Schneider Electric's'in protokol üzerindeki isim hakkını, 2002 yılında endüstriyel iletişim teknolojisini geliştirmek üzere kurulan ve kar amacı taşımayan

MODBUS-IDA adlı bir organizasyona aktarması, MODBUS iletişim protokolünün gelişimini ve yaygınlığını olumlu yönde etkilemiştir.

Teknolojik olarak bir kaç adım öndeki diğer standart iletişim protokollerinin yanında MODBUS bugün hala herhangi bir PC veya küçük bir mikroişlemci ile birlikte kullanılabilen ve sağlam geçmişi ve basit altyapısıyla artan sayıda imalatçı tarafından desteklenmekte ve mevcut pek çok endüstriyel sistemle iletişim kurabilmektedir.[7]

MODBUS, bir istek cevap protokolüdür. Master / Slave (İstemci/ Verici) haberleşme yapısındadır. Yapısal olarak seri haberleşmedir. Master cihazın sorgularına Slave cihazın verdiği cevaplardan oluşmaktadır. Bu istekler ve cevaplar fonksiyon kodları üzerinden yapılmaktadır.



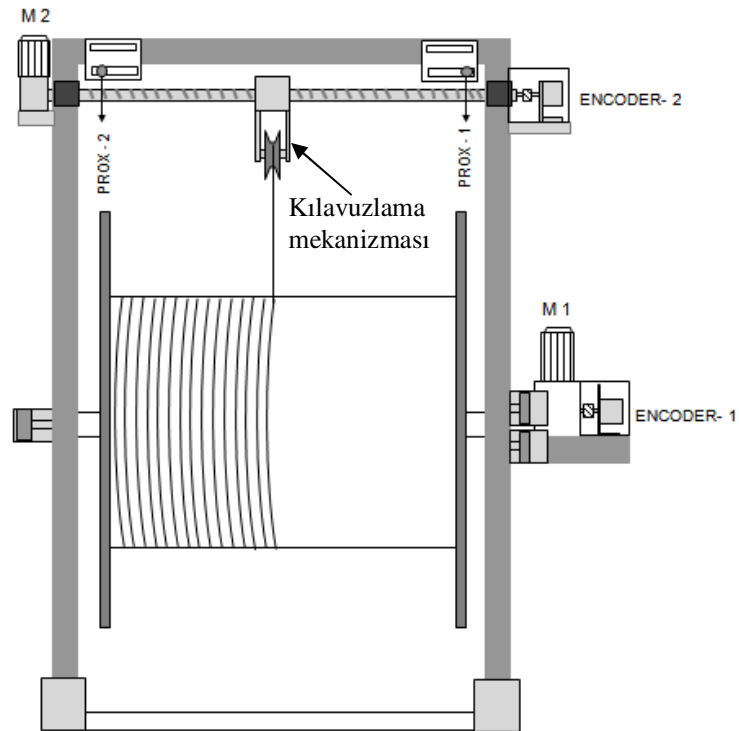
Şekil 4.6. MODBUS haberleşme yapısı[7]

4.2.3. Sistemin Çalışma Prensipleri

Şekil 4.1’de hidrolik hortum sarma sistemi yapısal olarak görülmektedir. Sistemde kontrol algoritmasını işleten cihaz olarak PLC görülmektedir ve tüm diğer ekipmanlar PLC ile doğrudan veya dolaylı olarak bilgi alışverişini içerisindedir. Sistem ile ilgili parametreler dijital ekran üzerinden girilmektedir.

Sistemde iki tane kontrol gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi Şekil 4.7’de görüldüğü gibi makaraya sarılan hortumun birbiri üzerine gelmeyecek şekilde sıra ile düzgün olarak sarılmasının sağlanmasıdır.

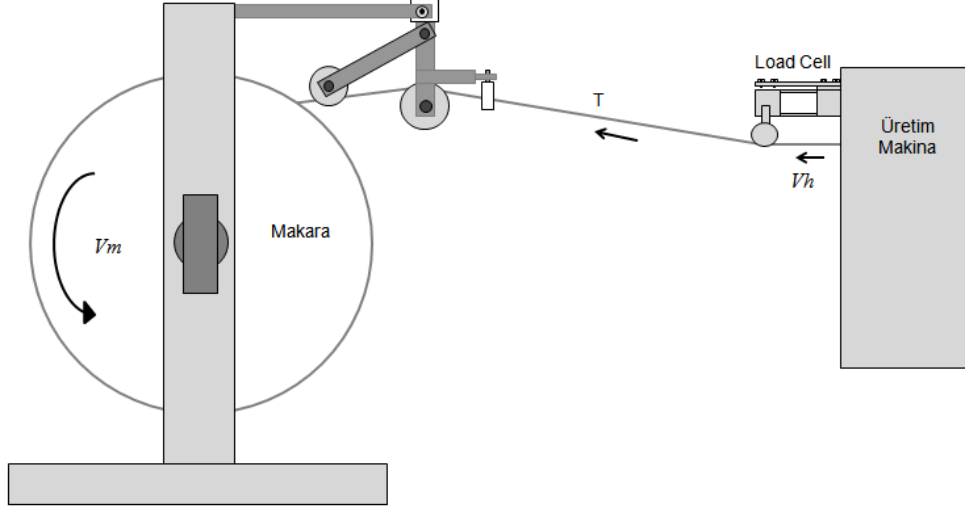
Bu kontrolde M-2 motoru, miline bağı olan sonsuz vidayı çevirerek, vida üzerinde konumlandırılmış olan hortum kılavuzlama mekanizmasının bir yöne hareketini sağlayarak sarımın sıra ile düzgün olmasını sağlar. Bu kontrolün nasıl gerçekleştirildiği ile ilgili algoritmalar ve eşitlikler bölüm 4.3.4’de verilmiştir. Prox-1 ve Prox-2 diye adlandırılan metale duyarlı sensörler sınır noktalarda kılavuz mekanizmasının yön değiştirmesini (M-2 motorunun ters yönde dönmeye başlamasını) sağlar.



Şekil 4.7. Hidrolik hortum sarım sistemi ön görünüş

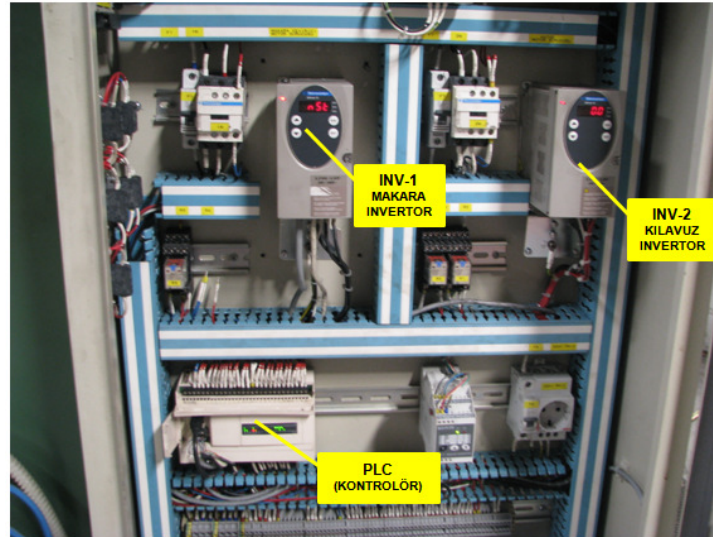
Sistemdeki ikinci kontrol hidrolik hortumun makaraya istenen gerginlikte sarılmasıdır. Bu kontrolde PID kontrol teorisi kullanılmıştır. PID ile ilgili algoritmalar ve eşitlikler bölüm 4.3.2’de ve bölüm 4.4’de verilmiştir. Gerginlik geri beslemesi Şekil 4.8’de görülen Load cellden alınmıştır. Gerginlik için set değeri ekran üzerinden girilmektedir. PLC (Kontrolör) istenen gerginlik değerine göre makara motorunun hızını ayarlayan invertöre komut verip motorun hızını yavaşlatıp hızlandırmaktadır. Sistem ile ilgili parametreler dijital ekran üzerinden girilmektedir.

Dijital ekran üzerinden gerginlik referansı, hidrolik hortum çapı girilmektedir. Şekil 4.1’de sisteme girilen fiziksel büyüklükler görülmektedir.



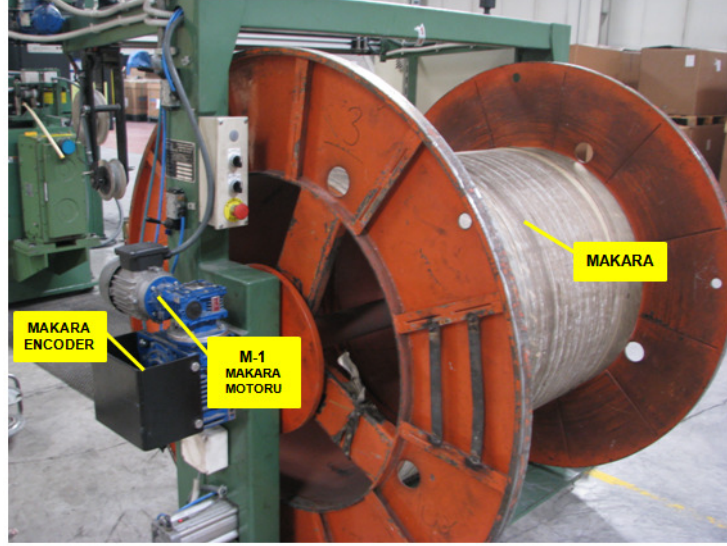
Şekil 4.8. Hidrolik hortum sarım sistemi yan görünüş

Şekil 4.9’da sistemin kontrol panel resmi görülmektedir. Makara motoruna (M-1) ait invertör (sürücü), Kılavuzlama (düzgün sarma) mekanizmasını hareket ettiren motora (M-2) ait invertör ve sistemi kontrol eden PLC şekilde görülmektedir.



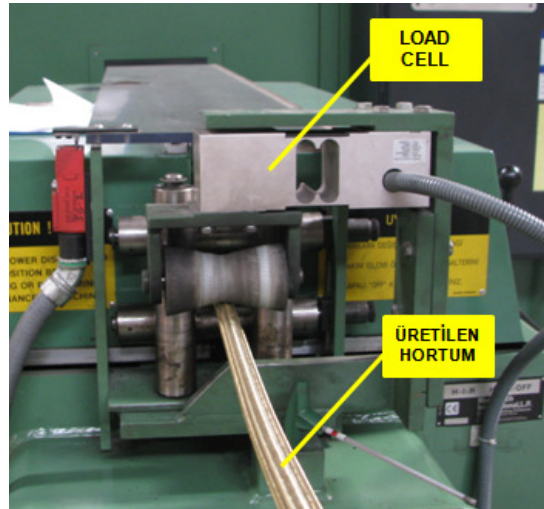
Şekil 4.9. Sistemin kontrol panel resmi

Şekil 4.10'da makara sistemi görülmektedir. Şekilde makara motoru (M-1), makara miline bağlı encoder (darbe sayıcı) ve makara kasnağı belirtilmiştir.



Şekil 4.10. Makara sistemi resimleri

Şekil 4.11'da sistemden gerginlik referansı alınan nokta ve gerginlik bilgisini ölçen loadcell sensörü görülmektedir. Gerginlik referansı Şekil 4.8'de de gösterildiği gibi üretim makinesinin hemen çıkışından alınmaktadır.



Şekil 4.11. Sistemdeki yük hücresinin resmi

4.3. Sistemin Matematiksel Denklemleri

4.3.1. Giriş

Kontrol sistemlerinde, sistemin matematiksel modeli ve eşitlikleri kontrolör tasarımının önemli parçasıdır. Sistemin matematiksel modeli elde edilemezse kontrolör tasarımı ve parametreleri hesap edilememektedir. Matematiksel modeli elde edilemeyen sistemlerde kontrolör parametreleri sezgisel-deneysel yolla tespit edilebilir. Bu yöntem ile kontrolör parametreleri belli bir düzen ile değiştirilerek optimum parametreler deneysel yolla tespit edilir. Bu yöntem endüstrideki bir çok uygulamada pratikliği ve fazla işlem gerektirmemesi bakımından tercih edilmektedir.

Sistemde hat hızı v_h her ürün çeşidi için sabittir. Sistemde sarım arttıkça makaranın çapı ve ağırlığı artmaktadır. Bu yüzden sistem zamanla değişen bir sistemdir. Makara çapı arttıkça ona bağlı olarak makara hızının düşmesi gerekecektir. Bu nedenle makara çapının da sistem işlemleri içerisine girmesi gerekecektir.

4.3.2. Gerginlik kontrolü için eşitlikler

Hat hızı (çizgisel) : $v_h \text{ cm/sn}$

Makaranın çizgisel hızı : $v_m \text{ cm/sn}$

Boş makara yarıçapı : $r_0 \text{ cm}$

Makara yarıçapı : $r \text{ cm}$

Makaradaki sarım sayısı : k

Hidrolik hortum çapı : R

Gerginlik kontrolü için sistemde bulunması gereken giriş bilgileri aşağıda verilmiştir.

1. Hat hızı
2. Boş makara çapı
3. Gerginlik referansı
4. Hidrolik hortum çapı
5. Gerginlik geribesleme (yük hücresinden gelen)

Sistemden kontrol çıkışı olarak da makara motoru invertörü'ne uygulanan hız referansı çıkmaktadır.

Sistemin gerginlikten bağımsız açısal hızı 4.1'deki gibi ifade edilebilir.

$$w_m = v_m / r \quad (4.1)$$

Anlık makara yarıçapı 4.2'deki gibi hesaplanabilir. Yani boş makara yarıçapına (r_0) makaradaki sarım sayısı kadar hortum çapı ilave ederek hesaplanır. Sistemde sarım sayısı hortum kılavuzlama mekanizmasının ileri-geri hareketleri ile sayılmaktadır.

$$r = r_0 + kR \quad (4.2)$$

Gerginlik 4.3'teki gibi modellenilebilir. Burada çizgisel hız farkı gerginlikte toplamalı olarak etki göstereceğinden hız farkının integrali şeklinde ifade edilmiştir.

$$T = c \int (v_m - v_h) dt \quad (4.3)$$

Burada c katsayıcı sistemdeki hız değişimi farkının gerginliğe yansımalarını ifade eden katsayıdır. 4.1 deki eşitlik 4.3 de yerine yazılırsa ifade 4.4 şeklini alır.

$$T = c \int (w_m r - v_h) \quad (4.4)$$

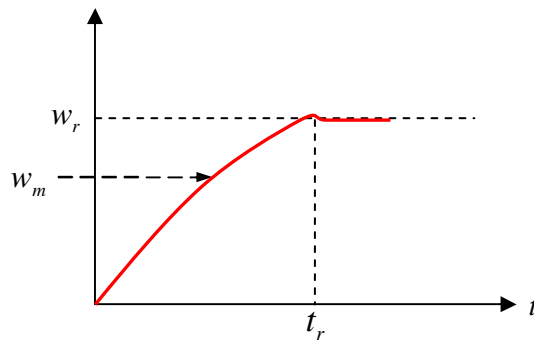
Burada w_m makaranın açısal hızını ifade etmektedir. Burada hat hızı (v_h) sabittir. Denklem 4.4'deki ifade ile makara sisteminin açısal hızı ile gerginlik arasındaki ilişki elde edilmiş olur. Bu ifade simülasyon için kullanılacak ve gerginlik geri beslemesi bu şekilde hesaplanacaktır.

Makara sisteminde sisteme (invertöre- motor sürücüsüne) uygulanan açısal hız referansı (w_r) ile makara sisteminin gerginlik değeri (T_m) arasındaki birinci dereceden bir sistem olarak modellenilebilir. (eşitlik 4.5)

$$\frac{T_m(s)}{W_r(s)} = G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (4.5)$$

Buna göre sistem girişine uygulanan w_r referansı, sistem çıkışında w_m olarak elde edilecektir.

Endüstriyel motor sürücülerinde (invertör) hızlanma (rampa) zamanı (t_r) diye adlandırılan, motoru verilen referansa çıkarmak için geçen süre vardır. Şekil 4.12’de endüstriyel sürücünün hız karakteristiği görülmektedir. Şekle bakıldığında sürücünün hız çıkışı doğruya yakın bir izlenim izler. Endüstriyel sürücülerde hızın ulaştığı son değer referans değere eşit olduğundan $K = 1$ alınabilir.



Şekil 4.12. Endüstriyel sürücünün hız karakteristiği

Makara sisteminin açısal hızı (w_m) ile hidrolik hortum gerginliği arasındaki ilişki işlem kolaylığı olması için lineer kabul edilebilir. Buna bağlı olarak şekil 4.12’teki açısal hız eğrisi gerginlik için de kullanılabilir.

τ değeri, w_m ‘nin $0.632 \cdot w_r$ olduğu değerdir. $t_r = 3$ sn olarak sürücüden ayarlanırsa τ değeri yaklaşık olarak 1.9 bulunur.

$$\frac{T_m(s)}{W_r(s)} = G(s) = \frac{1}{(1.9s + 1)} \quad (4.6)$$

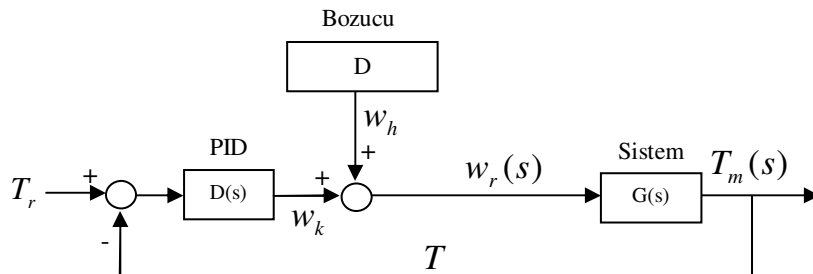
Bu durumda transfer fonksiyonu 4.6'daki şeklini alır. Yukarıdaki ifade sisteme uygulanan açısal hız referansı ile sistem çıkışındaki gerginlik arasındaki ifadeyi verir. Gerçekleştirilen sistemde uygulanacak hız referansı hesaplanması gerekir. Çünkü bu hız referansı sisteme sabit olarak girilen bir değer değildir. Sisteme referans olarak gerginlik girmektedir ve kontrol edilmesi gereken büyüklük gerginliktir. Kontrolör, istenen gerginlik değerine karşılık gelen hız referansını hesaplayıp sisteme uygulayacaktır. Bu durumda gerginlik bilgisinin de hesaplanan hız referansına etki etmesi gerekir.

$$w_h = \frac{v_h}{r} \quad (4.7)$$

Burada w_h , makara sisteminin hat hızına ve makara yarıçapına göre olması gereken açısal hız referansıdır. Kontrolör, gerginlik referansı ve ölçülen gerginlik arasındaki farka göre kontrol çıkışı üretip, bu çıkışın 4.7'de ifade edilen açısal hız referansına ilave edilmesi gerekir. Kontrolörün elde ettiği açısal hız referansı düzelme değerine w_k denirse, sistemin açısal hız referansı için aşağıdaki ifade elde edilir.

$$w_r = w_h + w_k \quad (4.8)$$

Bu durumda sistemin kontrolör ile beraber sürekli zaman blok diyagramı şekil 4.13'deki gibidir.



Şekil 4.13. Sistemin sürekli-zaman gerginlik kontrol blok diyagramı

Şekil 4.13'de ifade edilen bozucu (D) 4.9'deki ifadeyi temsil etmektedir.

$$D = w_h = \frac{v_h}{r} = \frac{v_h}{r_0 + kR} \quad (4.9)$$

r_0 : boş makara yarıçapı

k : makaradaki sarım sayısı

R : üretilen hidrolik hortumun çapı

v_h : üretim makinesinin hat hızı

Bozucunun analitik ifadesinin de kontrolcü tarafından ayrıca hesaplanması gerekir.

Kontrol sistemlerinde kontrol algoritmasının sayasal bir kontrolörde programlanacak şekilde kontrolör tasarımı yapmak için, sistemin ayrıklaştırılması (dijitale çevrilmesi) gerekir.

4.3.3. Sistemin ayrıklaştırılması

Sürekli zamanda ifade edilen bir kontrol sistemin dijitale çevirmek için öncelikle sistem girişine tutucu devre ilave edilir. Eşitlik 4.10'da sıfıncı mertebeden tutucunun (ZOH) transfer fonksiyonu görülmektedir.

$$G_{ZOH}(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s} \quad (4.10)$$

Sistemin tutucu ilave edilmiş haldeki transfer fonksiyonu $G_1(s)$ şeklinde yazılırsa edilirse 4.11'deki ifade elde edilir.

$$G_1(s) = G_{ZOH}(s).G(s) \quad (4.11)$$

Burada $G_1(s)$ i ayrıklaştırmamız yani z-dönüşümünü almamız gerekir.

$$G_1(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s} \frac{K}{\tau s + 1} \quad (4.12)$$

Sürekli zaman sistemleri ayrıklaştırmak için (z-dönüşümü) kullanılan yöntemlerden biri Rezüdü teoremidir. Eşitlik 4.12’de elde edilen sistem üzerinde rezüdü teoremini uygulanırsa, sistem ayrıklaştırılmış olur. (eşitlik 4.13)

$$G_1(s) = \frac{K.(1 - e^{-sT})}{\tau} \cdot \frac{1}{s(s + \frac{1}{\tau})} \quad \text{ve} \quad m=1, \quad s_1=0 \quad s_2 = -1/\tau$$

$$G_1(z) = \frac{K.(1 - z^{-1})}{\tau} \cdot \left[(s-0) \cdot \frac{1}{s.(s + 1/\tau)} \cdot \frac{z}{z - e^{sT}} + (s - (-\frac{1}{\tau})) \cdot \frac{1}{s.(s + \frac{1}{\tau})} \cdot \frac{z}{z - e^{sT}} \right]$$

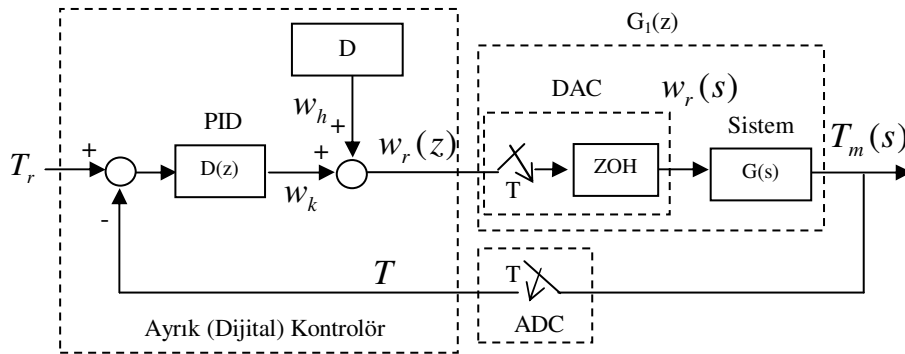
Gerekli düzenlemeler yapıldığında 4.12’deki ifade elde edilir.

$$G_1(z) = \frac{K.(1 - e^{-T/\tau})}{(z - e^{-T/\tau})} \quad (4.13)$$

Sistem parametreleri $K = 1$ ve $\tau = 1.9$ olarak belirlenmişti. (Bkz. Bölüm 4.3.2) Örnekleme zamanı (T) da 0.3 olarak seçilip bu değerle 4.13’deki ifadede yerine konulursa sistemin ayrık-zaman transfer fonksiyonu 4.14’teki gibi olur.

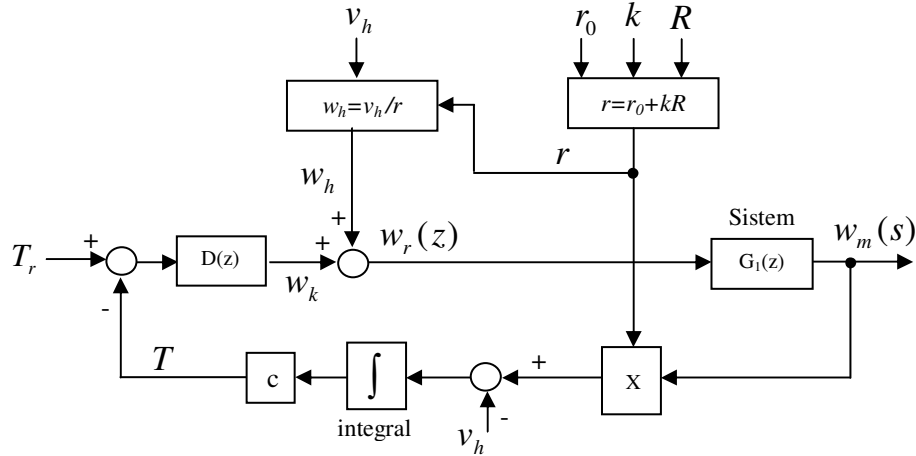
$$G_1(z) = \frac{0.146}{(z - 0.854)} \quad (4.14)$$

Sistemin ayrık-zaman (dijital) blok diyagramı Şekil 4.14’te görülmektedir.



Şekil 4.14. Sistemin ayrık-zaman kontrol blok diyagramı

Şekil 4.14'de blok olarak gösterilen sistemin simülasyonun yapılabilmesi için T_m gerginlik değerinin hesaplanması gerekir. Eşitlik 4.4'deki ifade kullanırsa sistemin simülasyon için blok diyagramı şekil 4.15'deki gibi olur. Simülasyonda sistemde makara sarım sayısı (k) değeri basamak basamak artırılarak simülasyon yapılır.



Şekil 4.15. Sistemin ayrık-zaman simülasyon blok diyagramı

4.3.4. Düzgünlük kontrolü için eşitlikler

Hidrolik hortumun düzgünlük kontrolü makarada ve kılavuzlama milinde bulunan encoderler (darbe sayıcı) ile sağlanmaktadır. Makaranın dönme miktarına bağlı olarak kılavuzlama mekanizması hareket ettirilerek sarımların birbiri üstüne gelmeyecek şekilde, düzgün bir şekilde sarılması sağlanmaktadır. Makaranın bir tam tur dönmesi neticesinde kılavuzlama mekanizmasının bir hortum çapı kadar sarım yönüne hareket etmesi gerekir.(Bkz. Şekil 4.7)

Düzgünlük kontrolü için sistemde bulunması gereken giriş bilgileri aşağıda verilmiştir.

1. Makara dönme miktarı (makara encoder'inden (darbe sayıcı) gelen darbe sayısı)
2. Kılavuzlama mekanizması ilerleme miktarı (kılavuzlama mili encoder'inden gelen darbe sayısı)
3. Hortum çapı

Düzgünlük kontrolündeki kontrol çıkışı kılavuzlama motoru dönme miktarıdır.

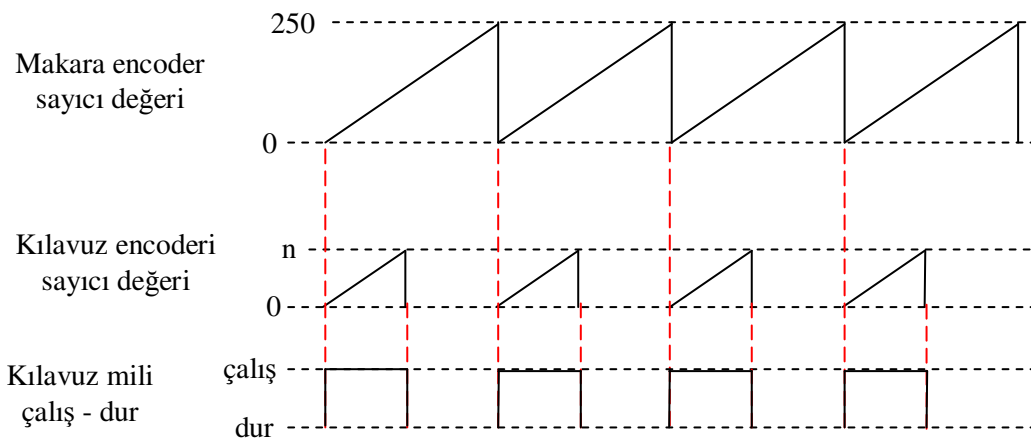
Makara encoder oranı: 1000 *puls / devir*

Kılavuzlama mili encoder oranı: 1000 *puls / devir*

Kılavuzlama mekanizması milinin bir tur dönmesi neticesinde, mekanizma 4 mm hareket etmektedir. Bu durumda kılavuzlama encoder'inden gelen darbe (puls) miktarı 4 mm'de 1000 *puls*, yani 250 *puls / mm*'dir. Hortum çapı R mm olduğuna göre, makaranın her turunda kılavuz mekanizmasının hortum çapı kadar ilerlemesi gerekiyor. Makaranın bir tam turunu dört parçaya böldüğümüzde, yani makara encoder'inden 250 *puls* geldiğinde, kılavuz mekanizması ilerleme miktarına karşılık gelen darbe (puls) miktarı (n) aşağıdaki gibi olmalıdır.

$$n = \frac{R}{4} \cdot 250 \text{ puls}$$

Yani makara bir tur döndüğünde, kılavuzlama mekanizması hortum çapı kadar ilerleyecek ve sonraki turun önceki turun üzerine sarılması engellenecektir. Düzgünlük kontrolü ile ilgili profil şekil 4.16'de görülmektedir.



Şekil 4.16. Düzgünlük kontrolü için çalışma profili

Buradaki bozucu etken, dur komutu geldiğinde kılavuz mekanizması ataleti ile ilerlemesi gereken darbe (puls) miktarından daha fazla ilerlemesi ve bunun zamanla toplanarak sarım aralarının açık olmasına sebep olmasıdır. Bunun için kılavuz mekanizmasının her periyotta ilerlemesi gereken miktar ile ilerlediği miktar arasındaki fark gözetilip bir sonraki periyotta bu fark işleme katılması gerekir.

Kılavuz sisteminin bir periyotta ilerlemesi gereken miktar n_0 *puls* ve kılavuz sisteminin ilerlediği gerçek miktar n_g *puls* olarak ifade edilsin. Sistemin durma ataletinden dolayı $n_g > n_0$ olmaktadır. Bu durumda bir sonraki periyotta ilerlenmesi gereken düzeltilmiş darbe (puls) miktarı 4.15'deki gibi verilebilir.

$$n = n_0 - (n_g - n_0) \quad (4.15)$$

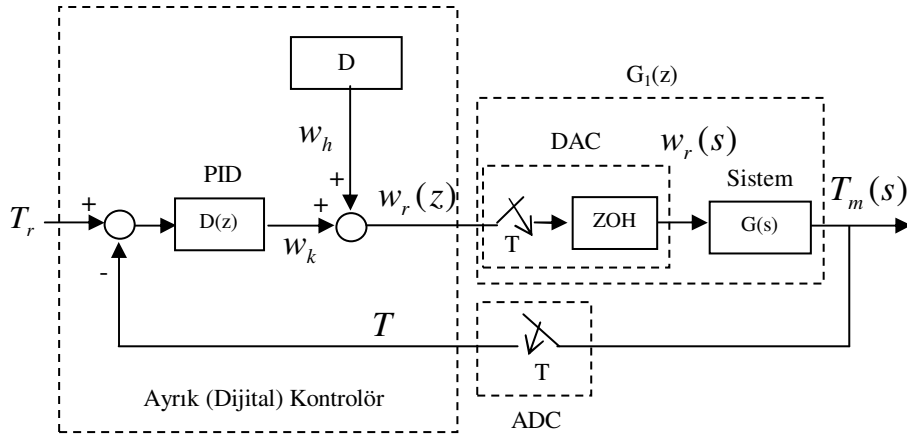
BÖLÜM 5. BENZETİM VE GERÇEK ZAMAN UYGULAMA

5.1. Giriş

Matematiksel modeli elde edilen sistemin, istenen dinamik davranışı sağlayabilmesi ve sürekli hal hatasının sıfır olabilmesi için kontrolör tasarlanması gerekmektedir. Bölüm 4'te sistemin matematiksel modeli ve sisteme ait kontrol blok diyagramı elde edilmişti. Bu bölümde ise, sistemin elde edilen matematiksel modelinden istifade edilerek PID kontrolör parametreleri hesaplanacak ve bu parametreler ile sistemin benzetim ve gerçek zaman uygulama çalışmaları yapılacaktır.

5.2. Hidrolik Hortum Sarma Sistemi İçin PID Parametreleri Hesabı

Sistem çıkışının istenen dinamik davranışı göstermesi ve sürekli hal hatasının sıfırlanabilmesi için PID kontrol uygulanacaktır. Sistemin ayrık-zaman kontrol blok diyagramı şekil 5.1' de görülmektedir.



Şekil 5.1. Sistemin ayrık-zaman kontrol blok diyagramı

Uygulanacak olan PID kontrolörün parametrelerinin hesabı için iki yöntem kullanılmıştır.

Bunlardan birincisi deneysel ayar da diyebileceğimiz Nichols-Ziegler titreşim metodudur. Bu metot PID parametreleri için bir ön değer elde etmemizi sağlar. Bundan sonra küçük ayar işlemleri ile PID parametreleri deneysel yolla tespit edilmiş olur. İkinci yöntem ise analitik hesap ile tasarım kriterlerine göre sistemin olması gereken davranışını sağlayacak PID parametrelerinin hesaplanması şeklindedir.

5.2.1. Nichols- Ziegler yöntemi ile hidrolik hortum sarma sistemi için PID parametreleri hesabı

PID kontrol algoritmasına ilişkin ayrık-zaman (dijital) transfer fonksiyonu 5.18'de görülmektedir.

$$G_{PID}(z) = K_p + K_I \frac{z+1}{z-1} + K_D \frac{z-1}{z} \quad (5.18)$$

$$K_I : K_p \frac{T}{2T_i} \quad (T_i : \text{integral zamanı})$$

$$K_D : K_p \frac{T_d}{T} \quad (T_d : \text{türev zamanı})$$

1. Orantı kazancı (K_p) sifira, integral zaman sabiti (T_i) en yüksek değerine ve türev zaman sabiti (T_d) sifira ayarlanır.
2. Sistem cevap eğrisinde sürekli salınımlar ortaya çıkana kadar orantı kazancı (K_p) artırılır.
3. İntegral zaman sabiti (T_i) orantı etkiden ortaya çıkan kalıcı durum hataları ortadan kalkana ve ayar değeri etrafında düşük frekans ve düşük genlikli salınımlar ortaya çıkana kadar yavaş yavaş azaltılır.
4. Daha sonra tüm titreşimler ortadan kalkana kadar türev zaman sabiti adım adım artırılır. T_d 'nin büyük tutulması orantı kazancı K_p 'nin büyük tutulmasına olanak verir. Birkaç sınımadan sonra denetim organı parametreleri en uygun değerine ayarlanmış olur.

Yapılan deneyler sonucu $K_p = 1.4$, $K_I = 0.1$, $K_D = 3.4$ olarak uygun değerler elde edilmiştir.

5.2.2. Amaç kriterleri ile hidrolik hortum sarma sistemi için PID parametreleri hesabı

Sistemin transfer fonksiyonu ($G_1(z)$) bölüm 4'te 5.19a'deki gibi ifade edilmişti.

$$G_1(z) = \frac{0.146}{(z - 0.854)} \quad (5.19.a)$$

$$G_{PID}(z) = K_p + K_I \frac{z+1}{z-1} + K_D \frac{z-1}{z} \quad (5.19.b)$$

Ayrık-zaman PID transfer fonksiyonu 5.19.b gibi olmak üzere sistemin ileri yol transfer fonksiyonu 5.20'deki gibi olmaktadır.

$$G(z) = G_{PID}(z) \cdot G_1(z) = \left[K_p + K_I \frac{z+1}{z-1} + K_D \frac{z-1}{z} \right] \cdot \frac{0.146}{(z - 0.854)} \quad (5.20)$$

Sistemin karakteristik denklemi 5.21'deki gibidir.

$$1 + G(z)H(z) = 0$$

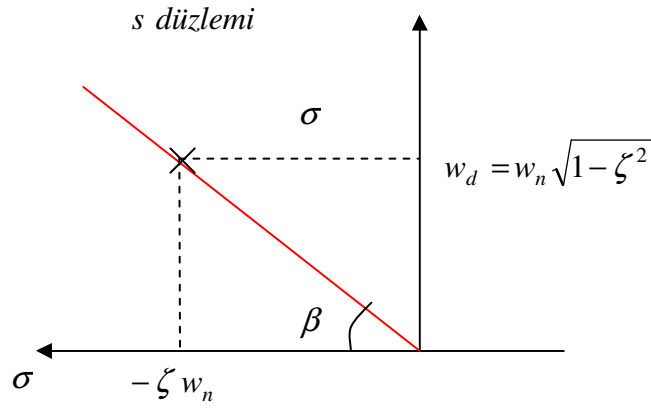
$$1 + \left[K_p + K_I \frac{z+1}{z-1} + K_D \frac{z-1}{z} \right] \cdot \frac{0.146}{(z - 0.854)} \quad (H(z) = 1) \quad (5.21)$$

Tasarımda istenen kriterler aşağıda belirtilmiştir.

$$\text{Aşım } (\%M_p) = \%15 = 0.15$$

$$\text{Yerleşme zamanı } (t_s) = 15 \text{ sn}$$

Şekil 5.2' de istenen baskın kontrol kutuplarının karmaşık s düzlemindeki karşılığı görülmektedir.



Şekil 5.2. Açık çevrim sistem kutuplarının karmaşık z-düzleminde gösterimi

Bu şekildeki parametreler aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

ω_n =doğal frekans

ζ =sönüm oranı

$\sigma = -\zeta \omega_n$: sönüm faktörü

$w_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$: sönümlü frekans

İkinci dereceden sistemin aşım ifadesi 5.22'deki gibidir. Ayrıca β açısı da 5.23'deki gibi ifade edilir.

$$\text{Aşım } (\%M_p) = e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (5.22)$$

$$\zeta = \frac{-\text{Ln}(M_p)}{\sqrt{\pi^2 + (\text{Ln}(M_p))^2}} = \frac{-\text{Ln}(0.15)}{\sqrt{\pi^2 + (\text{Ln}0.15)^2}} = 0.517$$

$$\beta = \cos^{-1} \zeta = \cos^{-1}(0.517) = 58.8^\circ \quad (5.23)$$

Yerleşme zamanı olarak da %2 kriterine göre 5.24'deki ifadeden açık çevrim sistemin karmaşık z düzleminde orijine olan uzaklığı (r) elde edilir.

$$\ln(r) = -\frac{4T}{t_s} \quad T = 0.3: \text{örnekleme zamanı} \quad (5.24)$$

$$r = e^{-\frac{4T}{t_s}} = e^{-\frac{4 \cdot 0.3}{15}} = 0.92$$

Ayrıca yerleşme zamanınının 5.25'deki ifadesi kullanılarak ω_n elde edilebilir.

$$\%2 \text{ kriterine göre yerleşme zamanı} = \frac{4}{\zeta \omega_n} = 15 \text{ sn} \quad (5.25)$$

$$\omega_n = 0.52$$

Karmaşık z düzleminde kontrol kutbunun orijin ile yaptığı açı 5.26'daki gibidir.

$$\theta = -\tan(\beta) \ln(r) = -\tan(58.8) \ln(0.92) = 0.22 \text{ rad} = 12.64^\circ \quad (5.26)$$

$$z = r(\cos \theta + j \sin \theta) = 0.92(\cos 12.64 + j \sin 12.64)$$

$$z = 0.89 + j0.201 \quad (5.27)$$

Kapalı çevrim kontrol sisteminin karmaşık z düzleminde olması gereken kutbu 5.27'deki gibi elde edilmiştir. Elde edilen kutup karakteristik denklemin olması gereken baskın kutbudur. Karakteristik denklemde yerine yazılırsa parametrelerin hesabı için iki denklem elde edilmiş olur.

$$1 + [K_p + K_I \frac{z+1}{z-1} + K_D \frac{z-1}{z}] \cdot \frac{0.146}{(z-0.854)} = 0$$

Yukarıdaki ifadede z yerine $z = 0.89 + j0.201$ yazılırsa aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$-0.138K_p + 1.64K_I - 0.028K_D = 0.036 \quad (5.28)$$

$$0.157K_p + 0.559K_I - 0.044K_D = 0.022 \quad (5.29)$$

Rampa girişi için sürekli hal hatasından (5.30) ilgili değerler yerine konulduğunda K_I hesaplanabilir.

$$e_{ss}(\infty) = \frac{2\zeta}{w_n} = \frac{1}{K_v} = \frac{2 \cdot 0.517}{0.52} \quad (5.30)$$

$$K_v = 0.503$$

$$K_v = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)G(z)H(z) = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} (z-1) \left[K_p + K_I \frac{z+1}{z-1} + K_D \frac{z-1}{z} \right] \frac{0.146}{z-0.854}$$

$$K_v = \frac{1}{0.3} \cdot 2K_I$$

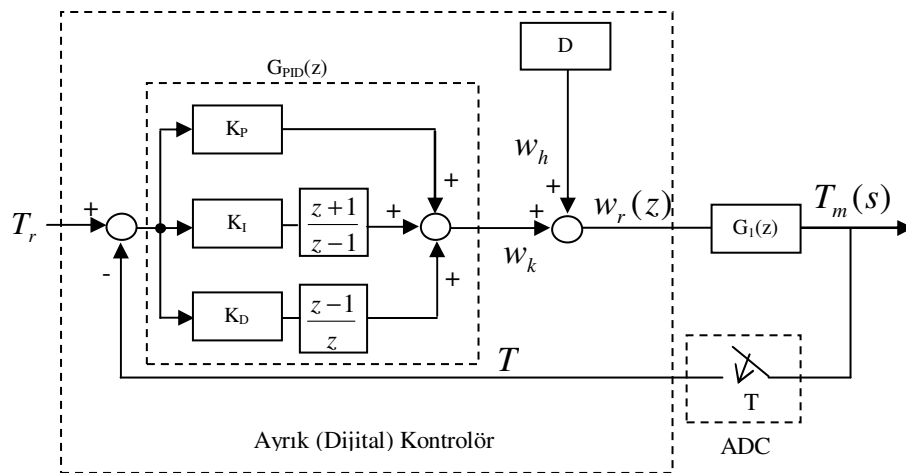
$$K_I = 0.075$$

Elde edilen K_I değeri 5.28 ve 5.29'de yerine yazılırsa diğer PID parametreleri aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$K_p = 0.9 \quad , \quad K_D = 2.12$$

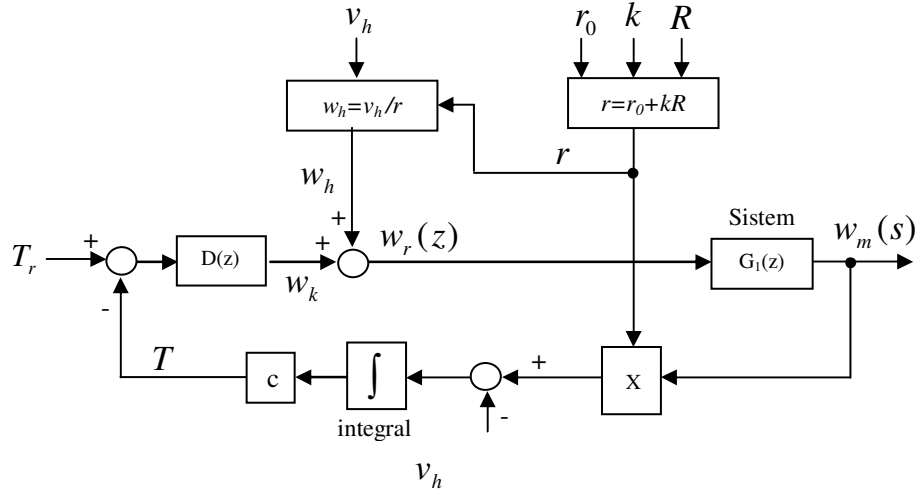
5.3. Benzetim (Simülasyon) Çalışmaları

Şekil 5.3' de sistemin PID kontrolörlü ayırık zaman kapalı-çevrim kontrol blok diyagramı görülmektedir.



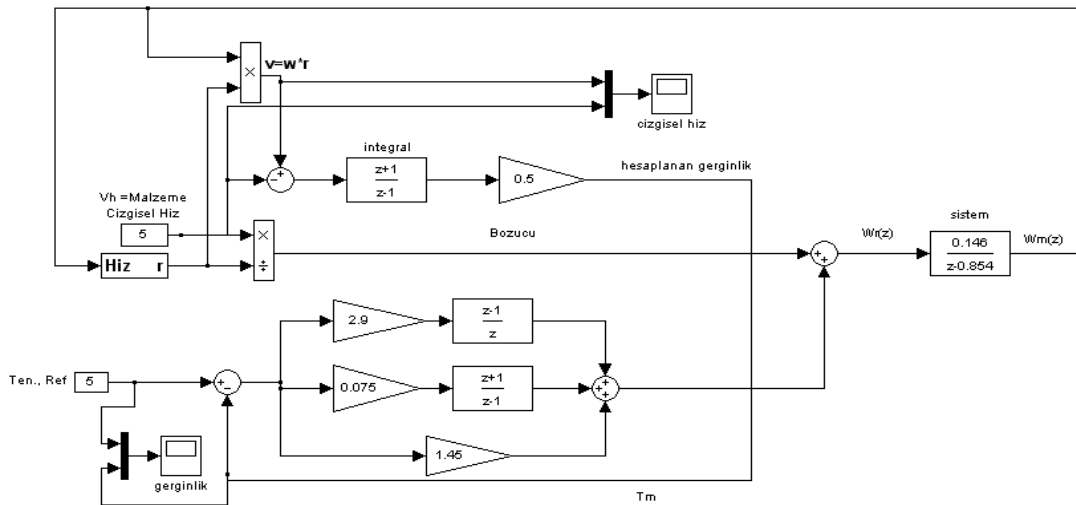
Şekil 5.3. Sistemin kapalı-çevrim kontrol blok diyagramı

Sistemin benzetim çalışmaları için Matlab Simulink programı kullanılmıştır. Simulinkte sistem modeline göre devre kurulmuştur. Kurulan devre kullanılarak, elde edilen PID kontrolör parametrelerinin benzetim çalışması yapılacaktır. Sistemin simülasyon modeli şekil 5.4' de görülmektedir.



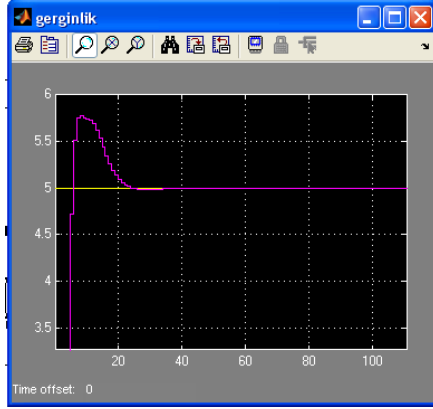
Şekil 5.4. Sistemin Ayrık-Zaman Simülasyon Blok Diyagramı

Sistemin Simulink modeli şekil 5.5' de görülmektedir. Bu modelde sisteme ilişkin bozucu da mevcuttur. Hesaplanan kontrolör parametrelerine göre sistem çıkışının davranışı incelenecektir. Gerekirse sistem çıkışını, amaç kriterleri bakımından daha iyi noktaya getirmek için PID parametreleri el ile ince ayarlar yapılacaktır.

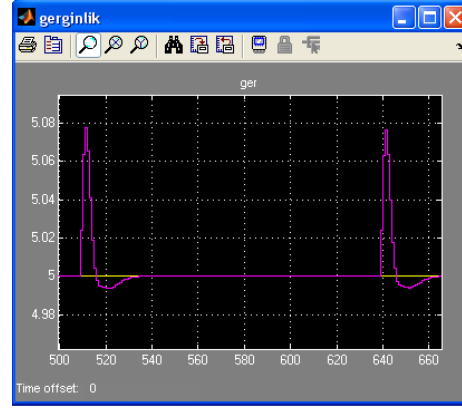


Şekil 5.5. Sistemin Matlab Simulink Simülasyon Modeli

Nichols-Ziegler yöntemi ile deneysel olarak $K_p = 1.4$, $K_I = 0.1$, $K_D = 3.4$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak sistemin bozucudan bağımsız gerginlik çıkışı simülasyon sonucu şekil 5.6' da görülmektedir.



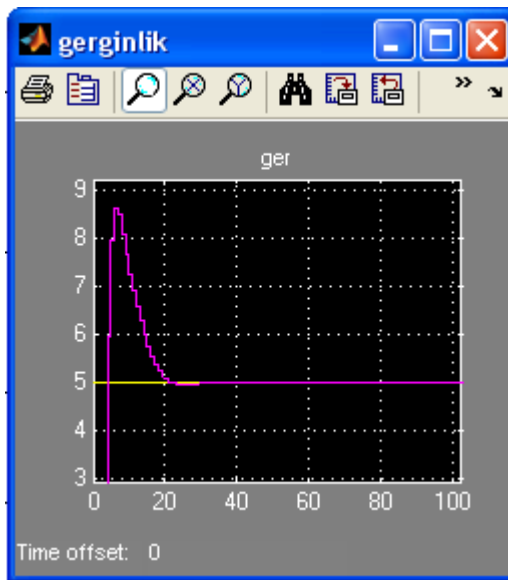
(a)



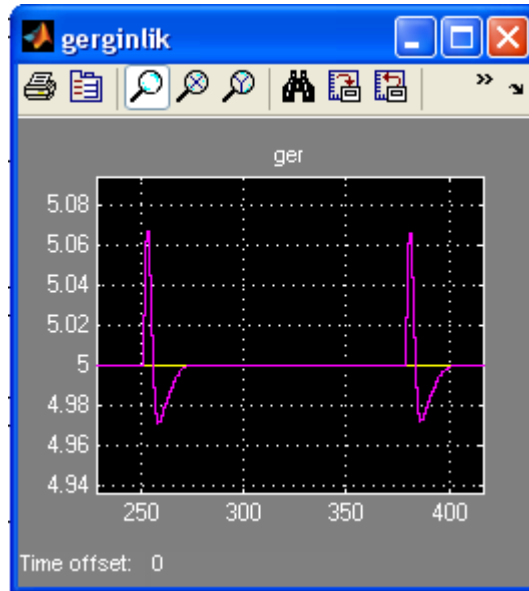
(b)

Şekil 5.6.a. Deneysel yolla hesaplanan PID ile bozucusuz sistemin ilk aşım gösterimi
b. Deneysel yolla hesaplanan PID ile bozucusuz sistemin kat değişiminde gerginlik değişimi

Aynı değerler kullanılarak sisteme bozucuyu ilave ettiğimizde simülasyon çıkışı şekil 5.7' deki gibi olmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi bozucu sistemin ilk aşımını artırmaktadır.



(a)

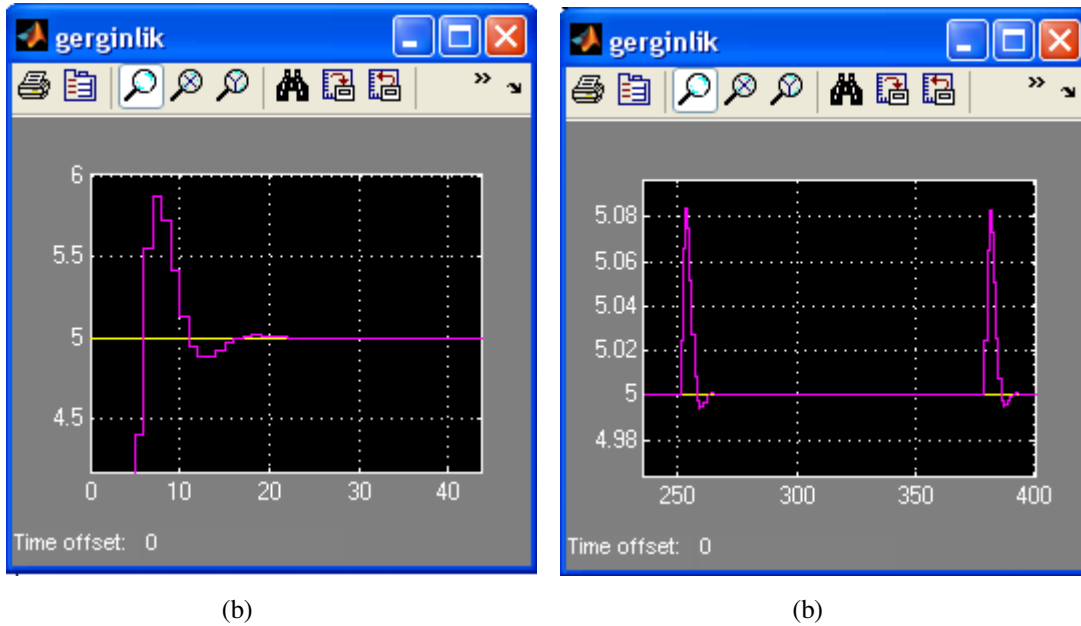


(b)

Şekil 5.7.a. Deneysel yolla hesaplanan PID ile bozuculu sistemin ilk aşım gösterimi
b. Deneysel yolla hesaplanan PID ile bozuculu sistemin kat değişiminde gerginlik değişimi

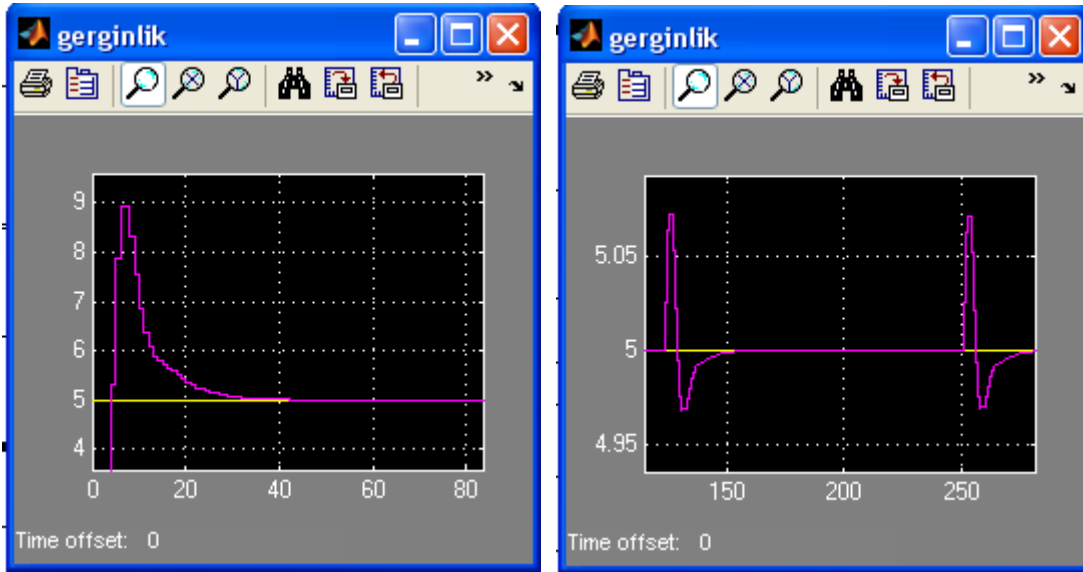
Analitik hesap ile amaç kriterlerinden ve karakteristik denklemden faydalanarak PID parametreleri $K_p = 0.9$, $K_I = 0.075$, $K_D = 2.12$ şeklinde hesaplanmıştı. Bu değerler kullanılarak simülasyon yapıldığında aşımın ve yerleşme zamanının istenen kriterlerin üzerine çıktığı görüldü. Bu nedenle hesaplanan bu PID parametrelerinde ayar yapılarak $K_p = 1.45$, $K_I = 0.075$, $K_D = 2.9$ şeklinde düzenlendi. Bu parametrelere göre sistemin bozucudan bağımsız gerginlik çıkış simülasyonu şekil 5.8' de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi aşım oranı Nichols-Ziegler deneysel metodu ile aynıdır. Yerleşme zamanı ise Nichols-Ziegler deneysel metodundan daha iyi bir sonuç vermiştir.

Hesaplanan aynı değerler kullanılarak ($K_p = 1.45$, $K_I = 0.075$, $K_D = 2.9$) sisteme bozucuyu ilave ettiğimizde gerginlik çıkışı 5.9'daki gibi olmaktadır.



Şekil 5.8.a. Analitik yolla hesaplanan PID ile bozucusuz sistemin ilk aşım gösterimi
b. Analitik yolla hesaplanan PID ile bozucusuz sistemin kat değişiminde gerginlik değişimi

Şekillerden görüldüğü gibi sistemde bozucu aşımı artırmaktadır. Şekil 5.8.a ve şekil 5.9.a' ya bakılırsa bozucu bir miktar yerleşme zamanını da artırmaktadır.



(c)

(b)

Şekil 5.9.a. Analitik yolla hesaplanan PID ile bozuculu sistemin ilk aşım gösterimi

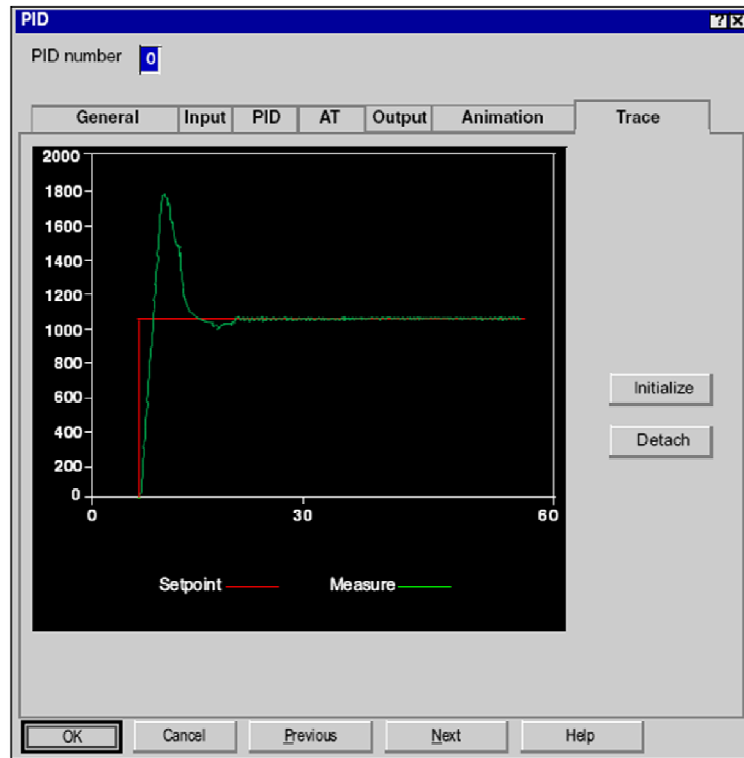
b. Analitik yolla hesaplanan PID ile bozuculu sistemin kat değişiminde gerginlik değişimi

5.4. Gerçek Zaman Uygulama

Kontrol sistemlerinde hedef hesaplanan parametrelerin gerçek sistem üzerinde istenen kriterleri sağlamasıdır. Simülasyondan elde edilen sonuçların gerçek sistem çıkışlarına yakın olması, sistemin uygun modellenip tasarımın iyi yapıldığının göstergesidir.

Sistemde PID algoritmasını koşturan dijital kontrolcü olarak PLC (Programlanabilir Lojik Denetleyici) kullanılmıştır. Kontrolcü ayrıca sistem ile ilgili lojik işlemleri ve kontrolleri de içermektedir.

Amaç kriterlerinden ve karakteristik denklemden elde edilen kontrolör parametrelerine göre ($K_p = 1.45$, $K_I = 0.075$, $K_D = 2.9$) şekil 5.3'de kontrol blok diyagramı verilen sistemin kontrolcüde programlanıp sistemin çalıştırılması sonucu PLC online PID animasyon grafik ekranında gerginlik çıkışı şekil 5.10'daki gibi oluşmuştur.



Şekil 5.10. Sistemin Gerçek-Zaman Gerginlik Çıkış Eğrisi

Sistemde bozucu olması durumunda simülasyon olarak şekil 5.9.a'ya bakıldığında aşım bozucu ile beraber %80 civarında olmaktadır. Yerleşme zamanı da 35sn civarındadır. Gerçek –zaman sistem çıkışına bakıldığında aşım %63 civarındadır. Yerleşme zamanı ise 25 sn olarak alınabilir. Simülasyon ve gerçek zaman arasındaki bu farklar sistemin modelleme hassasiyetinden ve simülasyon için gerginlik geri besleme hesabı yönteminden kaynaklanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] LUO, F., YE, H., DSP-Based Tension Control and Data Acquisition for Paper Machine Rewind Roll Drive, IEEE Transactions on industry applications, 36, 48, pp. 1018-1024, 2000.
- [2] WANG, G., NING, W., Application of Fuzzy CMAC to Filament Tension Control, IEEE Transactions on industry applications, 2007.
- [3] SARIOĞLU, K., Dijital Kontrol Sistemleri, Birsen Yayınevi, sf. 9-18, İstanbul, 1998.
- [4] VERNON, J., Programmable Logic Controllers, Elsevier Newnes, pp. 1-10, Oxford, 2006.
- [5] ARIFOĞLU, U., Matlab Simulink Uygulamaları, Alfa Yayınları, sf. 600-800, Sakarya, 2001.
- [6] BİR, A., Otomatik Kontrol Sistemleri, Literatür Ders Kitapları, sf. 10-200, İstanbul, 2008.
- [7] GÖRMEMİŞ, M., Dağıtım Şebekelerinde Enerji Kalitesi Ölçümlerinde Haberleşme Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, KSİU Fen Bilimleri Enstitüsü, sf. 24-30, 2006.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih AĞCA, 24.11.1986 da Ordu' da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Akkuş Cumhuriyet İlköğretim okulunda tamamladı. 2000 yılında Lise öğrenimine İstanbul Beşiktaş Yeni Levent Lisesinde başladı. 2003 yılında bu liseden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğini kazandı. 2007 yılında buradan mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesinde Yüksek Lisans eğitimine başladı. Aynı zamanda 2007 yılında ETA Elektroteknik firmasında otomasyon projesi alanında çalışmaya başladı. Otomasyon projelerinin tasarlanması, projelendirilmesi ve gerçekleşmesi konularında çalışmalar yaptı. Halen aynı firmada proje mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.