

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETHERCAT İLE BİR SÜREÇ OTOMASYONU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İsmail GÜLER**

Anabilim Dalı : Kontrol Mühendisliği

Programı : Kontrol ve Otomasyon Programı

HAZİRAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETHERCAT İLE BİR SÜREÇ OTOMASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İsmail GÜLER
(504081115)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Haziran 2010

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Salman KURTULAN(İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Metin GÖKAŞAN(İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Levent OVACIK(İTÜ)

HAZİRAN 2010

ÖNSÖZ

Öncelikle İ.T.Ü lisans ve yüksek lisans eğitimi boyunca bizden yardımını esirgemeyen tüm öğretim üyelerine, bu projeyi öneren ve karşılaşılan sorunların aşılmasına yardımcı olan, hiçbir desteği esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Salman Kurtulan'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bitirme çalışmasını en iyi şekilde bitirmem için maddi, manevi desteğini her zaman hissettiğim aileme en içten dileklerle teşekkür ederim.

Haziran 2010

İsmail GÜLER
(Kontrol Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL AĞ YAPILARI.....	3
2.1 Ethernet	3
2.1.1 Ethernet ağ topolojisi ve yapısı	3
2.1.2 Temel Ethernet data yapısı.....	5
2.1.3 Tam çift yönlü iletim.....	6
2.1.4 I/O seviyesinde Ethernet	6
2.2 EtherCAT	7
2.2.1 EtherCAT gelişim süreci.....	7
2.2.2 Kontrol otomasyon teknolojileri için Ethernet.....	8
2.2.3 Çalışma prensibi.....	8
2.2.4 EtherCAT performansı.....	9
2.2.5 PCI yerine EtherCAT	10
2.2.6 Dağıtılmış saat.....	11
2.2.7 Topoloji	12
2.2.8 Açıklık.....	12
3. KULLANILAN DONANIMLAR	13
3.1 Bilgisayar	13
3.1.1 Bilgisayar mimarisi	13
3.1.2 Endüstriyel bilgisayar	14
3.2 Servo Sürücü	15
3.2.1 Yüksek hız kontrol algoritması	15
3.2.2 Yüksek hızlı EtherCAT haberleşme sistemi	15
3.2.3 İki kanallı servo sürücü	16
3.3 Servo Motorlar	16
3.3.1 Motorların tasarımı.....	16
3.3.2 Terimlerin açıklaması.....	17
3.3.2.1 Kalkış momenti M_0 [Nm]	17
3.3.2.2 Anma momenti M_n [Nm]	17
3.3.2.3 Kalkış akımı I_0 rms [A]	17
3.3.2.4 Tepe akımı (darbe akımı) I_0 max [A]	17
3.3.2.5 Moment sabiti K_{Trms} [Nm/At]	17

3.3.2.6 Gerilim sabiti KERms [mV/min-1]	17
3.3.2.7 Rotor eylemsizlik momenti J [kgcm ²]	17
3.3.2.8 Termal zaman sabiti tth [min]	18
4. KULLANILAN YAZILIMLAR	19
4.1 Twincat.....	19
4.2 Gerçek Zamanda İşletim	19
4.2.1 Kernel	19
4.2.2 Tik	20
4.2.3 Zaman gecikmesi.....	21
4.3 Twincat Sistem Manager ile Donanım Konfigüre Etme	21
4.3.1 Donanım ekleme	23
4.3.2 Sürücü konfigürasyonu	25
4.3.3 Twincat NC PTP'nin yapısı:	26
4.3.4 AX5000 sürücü durum geçişleri	28
4.3.5 Sürücüyü bulup konfigüre etmek	28
4.3.6 Motor data belirlenmesi	31
4.3.7 Sürücü işletim modları	35
4.3.8 Pozisyon ayar değeri belirlenmesi.....	37
4.3.9 Hız ayar değeri belirlenmesi	37
4.3.10 Motor parametre ayarlama	38
5. PROGRAMDA KULLANILAN HAZIR FONKSİYON BLOKLARI.....	43
5.1 Kullanılan Elemanlar Genel Görünüm.....	43
5.2 Uçan Testere.....	45
5.2.1 Uçan testere paketi	46
5.2.2 Senkronizasyon işlem sırası	47
5.2.3 Pozisyona senkronizasyon.....	47
5.2.4 Parametrelendirebilir sınır koşulları.....	48
5.2.5 Senkronizasyon koşulları	48
5.2.6 Programda kullanılan uçan testere	49
5.3 Mekanik CAM Genel Özellikleri	52
5.3.1 CAM profil tipleri	53
5.3.1.1 Sabit hız CAM profili	54
5.3.1.2 Sabit ivme CAM profili	54
5.3.1.3 Harmonik CAM profili	55
5.3.1.4 Dairesel CAM profili	55
5.3.2 Kübik dişli konsepti	56
5.4 Elektronik CAM Dizaynı	57
5.4.1 CAM ile daha karmaşık bir uygulama 'döner bıçak uygulaması'	57
5.4.1.1 Elektronik CAM'dan önce tasarım	58
5.4.1.2 Elektronik CAM kullanarak tasarım	59
5.5 CAM İşlemleri.....	60
5.5.1 CAM tablosuna göre eksen bağlama.....	61
5.5.1.1 Lineer CAM tablosu	61
5.5.2 Yapılan uygulama	62
5.6 Superİmposed Fonksiyon Bloğu	68
5.7 Yapılan Fonksiyon Blokları	79
5.8 PID fonksiyon Bloğu.....	83
5.8.1 TermoKuple	83
5.8.2 İşlemin prensibi	83

5.8.3 Gerilim – sıcaklık ilişkisi	84
5.8.4 Tipleri	84
5.8.5 Kullanıldıkları yerler	84
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

KISALTMALAR

CAM	: Computer-Aided Manufacturing
DA	: Destination Address
EMF	: Electromagnetic Field
EtherCAT	: Ethernet For Control Automation Technology
FBD	: Function Block Diagram
FCS	: Frame Check Sequence
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP	: Internet Protocol
IPC	: Industrial Personal Computer
MAC	: Media Access Control
MBPS	: Megabytes Per Second
MF	: Motion Function
NC	: Numeric Control
NC-PTP	: Numeric Control – Point To Point
PC	: Personal Computer
PID	: Proportional Integration Derivative
PLC	: Programmable Logic Controller
RAM	: Read Access Memory
ROM	: Read Only Memory
PRE	: Preamble
PTP	: Point To Point
SA	: Source Addresses
SEC	: Set ExeCution task
SOF	: Start-Of-Frame Delimiter
SPP	: Set PreParation task
ST	: Structural Text
VAD	: Virtual Arbitration Domain

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1 : NC ile I/O arası haberleşme değişkenleri.....	28
Çizelge 4.2 : Sürücü geçiş sırası.....	28
Çizelge 4.3 : S-0-0032 Byte olarak anlamı.....	36

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Noktadan noktaya bağlantı şekli.	4
Şekil 2.2	: Eş eksenli haberleşme topolojisi örneği.	4
Şekil 2.3	: Yıldız topoloji örneği.	5
Şekil 2.4	: Temel bilgi yapı formatı.	6
Şekil 2.5	: EtherCAT master-slave haberleşmesi.	9
Şekil 4.1	: Gerçek zaman ayarı.	20
Şekil 4.2	: System manager genel görünümü.	21
Şekil 4.3	: Yeni arabirim ekleme penceresi.	22
Şekil 4.4	: TCP/IP özellikleri.	24
Şekil 4.5	: Haberleşme sınaması ping atmak.	24
Şekil 4.6	: Çalışılacak PC seçimi.	25
Şekil 4.7	: Konfigürasyon moduna geçiş.	25
Şekil 4.8	: NC ile PLC arasındaki haberleşme.	26
Şekil 4.9	: NC ile I/O arasında haberleşme.	27
Şekil 4.10	: NC'ye eklenen eksenler.	29
Şekil 4.11	: Sürücü konfigürasyonu.	29
Şekil 4.12	: Sürücü kanalları.	30
Şekil 4.13	: Motor yapılandırılması.	30
Şekil 4.14	: Yeni motor tanımlanması.	32
Şekil 4.15	: Yeni motor tanımlama parametreleri.	33
Şekil 4.16	: Sürücü başlangıç listesi.	34
Şekil 4.17	: Enkoder ölçek oranı.	35
Şekil 4.18	: Eksenle ilgili parametreler.	35
Şekil 4.19	: Sürücü kontrol çevrim katları.	36
Şekil 4.20	: Limit anahtarları ayarı.	38
Şekil 4.21	: Parametrelerin izlenmesi.	39
Şekil 4.22	: Hız kontrolörü parametreleri.	40
Şekil 4.23	: Akım kontrolörü parametreleri.	41
Şekil 5.1	: Sürücü ve I/O genel görünüm.	43
Şekil 5.2	: Uçan testere genel.	46
Şekil 5.3	: CAM ile hareket ettirilen taşıyıcı.	52
Şekil 5.4	: CAM profiline göre taşıyıcı hareketi.	53
Şekil 5.5	: Sabit hız CAM profili.	54
Şekil 5.6	: Sabit ivme CAM profili.	54
Şekil 5.7	: Harmonik CAM profili.	55
Şekil 5.8	: Dairesel CAM profili.	56
Şekil 5.9	: Boy uzunluğuna göre bıçak pozisyonu.	59
Şekil 5.10	: Lineer CAM tablosu.	62
Şekil 5.11	: Panç hareketi tek bıçaklı CAM noktaları.	64
Şekil 5.12	: Tek bıçaklı CAM pozisyon eğrisi.	64

Şekil 5.13 : Tek bıçaklı CAM hız eğrisi.	65
Şekil 5.14 : Tek bıçaklı CAM ivme eğrisi.	65
Şekil 5.15 : Panç hareketi çift bıçaklı CAM noktaları.	65
Şekil 5.16 : Panç hareketi çift bıçaklı CAM noktaları.	65
Şekil 5.17 : Çift bıçaklı CAM hız eğrisi.	65
Şekil 5.18 : Çift bıçaklı CAM ivme eğrisi.	66
Şekil 5.19 : Lineer eksen pozisyon grafiği.	67
Şekil 5.20 : Lineer eksen hız grafiği.	67
Şekil 5.21 : Lineer eksen ivme grafiği.	67
Şekil 5.22 : Offset vermek için kullanılan fonksiyon bloğu.	68
Şekil 5.23 : Konveyör örneği.	69
Şekil 5.24 : Elektronik dişli bloğu.	70
Şekil 5.25 : Sürücü sensör girişine göre pozisyon kaydeden blok.	72
Şekil 5.26 : Çene lineer pozisyon eğrisi.	78
Şekil 5.27 : Çene lineer hız eğrisi.	78
Şekil 5.28 : Yeni 2 nokta eklenen pozisyon eğrisi.	78
Şekil 5.29 : Yeni 2 nokta eklenen hız eğrisi.	79
Şekil 5.30 : Oluşturulan fonksiyon bloğu.	81
Şekil 5.31 : Sanal ve gerçek eksenlerin birbirleriyle ilişkisi.	82
Şekil 5.32 : PID fonksiyon bloğu.	85
Şekil 5.33 : PID kontrol iç yapısı.	86

ETHERCAT İLE BİR SÜREÇ OTOMASYONU

ÖZET

Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi işlem hacmini bir hayli artırmıştır. Bilgisayarları I/O seviyesinde gerçek zamanlı olarak kullanarak endüstrideki birçok uygulama yapılabilir hale gelmiştir. Bilgisayarların yüksek işlem hacmi genellikle haberleşme sistemleri ile sınırlanmaktadır. Ethernet tabanlı bir protokol olan EtherCAT kullanılması haberleşme sistemlerini kısıtlayıcı etken olmaktan çıkarmaktadır; çünkü EtherCAT sağladığı performansı ile I/O seviyesinde gerçek zamanlı erişim sağlamaktadır. Ethernet için sadece yıldız topoloji imkanı sunulmaktayken, EtherCAT yıldız topolojinin yanında hat ve ağaç topoloji de destekleyerek geniş bir topoloji sunmaktadır. Ayrıca dağıtılmış giriş/çıkışların bulunduğu sistemler için de kontrolü mümkün kılmaktadır.

Bilgisayar üzerinde Twincat adı verilen yazılım ile bilgisayar I/O seviyesinde bir kontrolör haline dönmektedir. Bu yazılım aynı zamanda servo kontrolünü yapmaktadır. Servo sistemler endüstride farklı birçok alanda uygulama yeri bulmaktadır. Servo sistemler özellikle endüstriyel otomasyonda; hız, moment, konumlandırma, bilgisayar destekli üretim gibi alanlarında kullanılmaktadır. Servo sistemler ayrıca kullanılan uygulamada yüksek duyarlılık ve kontrol edilebilirlik sağlamaktadır. Fakat bu sistemler, klasik kontrol sistemlerine göre daha karmaşık ve maliyetli olabilir.

Yapılan uygulamada 8 servo motor eksenini Twincat ile kontrol edilmiştir. Senkronizasyonu sağlamak için elektronik CAM ve elektronik dişli fonksiyonları kullanılmıştır. Uygulamada senkronizasyonu sağlamak için sanal eksenler tanımlanmıştır. Gerçek eksenler ya doğrudan ya da ikinci bir sanal eksenle tanımlanan ana sanal eksene bağlanmıştır. Gerçek eksenlerden konveyör bantlar, çekici, disk eksenleri elektronik dişli ile ana eksene bağlanmıştır. Konveyör bantlar sırasıyla birbirine bağlanmıştır ve birinci konveyör de tanımlanan sanal eksene bağlanmıştır. Disk ve çekici eksenler ise doğrudan sanal eksene elektronik dişli ile bağlıdır. Panç servosu delik açmak için kullanılmış olup CAM tablosuna göre tanımlanan hareketi gerçekleştirmektedir. Çene lineer ve çene yapıştırma motorları paketleri kesmek ve yapıştırmak için kullanılmış olup, tanımlanan CAM tablosuna göre kontrol edilmektedir. CAM tablosuna göre hareket ettirilen eksenlerin bağlı oldukları sanal eksenler tanımlanmıştır. Bu eksenler de elektronik dişli bağlama ile merkezdeki sanal eksene bağlanmıştır. Bu şekilde bütün eksenlerin kontrolü hızlı ve doğru bir şekilde yapılmaktadır. Elektronik dişli oranları PLC çevriminde değiştirilerek dinamik bir kontrol yapısı kurulmuştur. Elektronik CAM optimizasyonu hız ve pozisyon eğrileri detaylı olarak anlatılmıştır. Ayrıca sistemde bulunan ısıtıcıların kontrolü için PID ve öğrenme yapıları kullanılmış ve bunlar hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

PROCESS AUTOMATION WITH ETHERCAT

SUMMARY

In recent years, developing computer technology increased transaction volume. Using computers on the I/O level with real time give teeth to most of applications in the industry. High rate trading volume of computers is generally bounded to communication systems. Usage of EtherCAT which is an Ethernet based protocol demounted communication systems from being a restrictive factor; because EtherCAT provides real time access on the I/O level with its performance. While Ethernet provides only the star topology opportunity, EtherCAT provides tree topology and route topology opportunities as well as star topology opportunity. Furthermore, EtherCAT enables control of systems including distributed input/outputs.

Computer is transformed into a controller on the I/O level with the help of software called as “Twincat”. This software also makes servo controlling at the same time. Servo systems are reduced a range of application to practice in the industry. Servo systems are in use especially in industrial automation; in the areas of speed, torque, positioning, computer-aided manufacturing etc. Servo systems also provide high level sensitivity and controllability; however these systems could be more complex and expensive than classical control systems.

In the application 8 servo motor axis is controlled with twincat. CAM and electronic gear functions are used to provide synchronisation. For synchronization, virtual axis are generated. Real axis are directly connected to virtual axis or by using another virtual axis connected to the central virtual axis. Conveyor axis are connected consecutively and the first one is connected to a virtual master. Disc and puller axes are directly connected to the virtual master axis with electronic gear function. Punch servo axes is controlled with CAM table function and is used for holing on the material. Linear and pasting servo axis are used for cutting and joining the rest material that are also controlled with CAM table functions. The real axis that are controlled with CAM table are connected to virtual master axes. And this virtual axis are connected to virtual master axis with electronic gear. By using this method all axis are controlled in a high speed with accurate results. Electronic gear ratios are converted in the PLC cycle and a dynamic control structure is established. Electronic CAM optimization, speed and position curves are explicated in detail. Moreover, PID and learning structures are used for the control of heaters in the system and detailed information is given about these.

1. GİRİŞ

Gelişen bilgisayar teknoloji ile birlikte endüstride birçok uygulamada bilgisayar kullanımı yaygınlaşmıştır. Bilgisayar teknolojisinin yardımıyla en karmaşık uygulamalar başarı ile kolayca gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada bu tür bir uygulama, özel bir yazılım ve kontrol algoritmalarını içinde barındıran geniş kütüphane kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar tabanlı hareket kontrolünde veri haberleşmesinin hızı kontrol sisteminin başarımını doğrudan etkilemektedir. Haberleşme hızının düşük olması işlem sayısını kısıtlamaktadır. Yeni bir haberleşme protokolü olan Ethernet tabanlı EtherCAT kullanılarak bu sorunlar en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Günümüzde eskiden tercih edilen mekanik CAM'ler yerine elektronik CAM'lar kullanılmaktadır. Mekanik CAM'lerin avantajları bulunurken, gelişen teknoloji ile önemini yitirmiştir. Örneğin, yapılan hesaplamalara göre mekanik biçimlerin çıkarıldığı ve hesapta bir yanlışlık yapılması ile istenen hareketleri elde etmenin mümkün olmadığı gözlemlenmiştir. Aynı yapıyı gelişen hareket kontrol sistemleriyle oluşturmak mümkündür, Mekanikte kullanılan CAM diski yerine servo motor kullanılarak uygulamalar hızlı bir şekilde yapılmaktadır.

Servo motora doğrudan bağlanan mekanizmalar üzerinde istenilen hareketleri bir tablo ile yaptırmak mümkündür. Çok fazla hesaplamanın bulunmadığı bu tablolarda, aralarında belirli matematiksel fonksiyonlarla ilişkilendirilmiş bir kaç nokta tanımlanarak istenilen hareketleri elde etmek çok kolaydır. Bu noktalar arasındaki pozisyonlar kullanılan bilgisayar sayesinde hızlı bir şekilde hesaplanıp, gene aynı şekilde haberleşme üzerinden sürücülere gönderilerek hareket kontrolü gerçekleştirilmektedir. Kullanılan haberleşme protokolü olan EtherCAT ile eksen sayıları artınca bile düşük çevrim süreleri yakalanmaktadır. Ağda bulunan 8 gerçek servo motor ekseninin haricinde 6 tane sanal eksen tanımlanmış ve gerçek eksenlerin kontrolü amaçlanmıştır. Ağda servo sürücüler dışında analog, dijital giriş ve çıkışlar da bulunmaktadır. Eksen kontrolünde genel olarak elektronik dişli ve CAM fonksiyonları kullanılarak senkronizasyon sağlanması amaçlanmıştır.

2. GENEL AĞ YAPILARI

2.1 Ethernet

Ağ teknolojisi olan Ethernetin 30 yıllık bir geçmişi vardır. İlk olarak, yerel ağdaki bilgisayarların birbirleriyle haberleşmesini sağlamak amacıyla 1973 yılında Bob Metcalfe tarafından geliştirilmiştir. Xerox, Dec ve Intel firmalarının oluşturduğu ortak bir yapı tarafından 1976 yılında, Ethernet'in açık bir protokol olması için proje başlatılmış ve 1982 yılında 10 Mbps'lik Ethernet protokolü geliştirilmiştir. Daha sonra uluslararası alanda kabul görmesi için farklı firmaların bulunduğu ortak bir çalışma içerisine girilmiş ve bu çalışmaya IEEE 802.3 adı verilmiş, daha sonra 1983 yılında bu isim Ethernet standardı olmuştur[1]. Fiber optik kablo ile ya da çift sarılmış kablo ile işlem yapılan Ethernet yapısında üç ana transfer hızı bulunmaktadır:

1. 10 Mbps – 10 Base-T Ethernet
2. 100 Mbps – Hızlı Ethernet
3. 1000 Mbps – Gigabit Ethernet

Ethernete alternatif yapılar üzerinde durulmuş fakat Ethernetin avantajı sayesinde yerel bilgisayar ağlarının bulunduğu yaklaşık %85'lik kısımda Ethernet tercih edilmiştir. Bu avantajları sıralamak gerekirse, anlaşılabilirlik, geliştirmek, yönetmek ve devamlılığını sağlamak çok kolaydır. Düşük maliyetli ağ geliştirmelerine imkan sunar. Ağ yüklemesinde genişleme gerektiğinde esnek topoloji sunmaktadır. Üreticiden bağımsız olarak, cihazlar arası bağlantı ve işletimi başarılı bir şekilde garanti etmektedir.

2.1.1 Ethernet ağ topolojisi ve yapısı

Yerel erişim ağları, ağın büyüklüğünden ve karmaşık yapısından bağımsız olarak, çok farklı topolojiler şeklinde olabilir; fakat bütün topolojilerde ortak olan bağlantı çeşitleri üç başlık altında toplanır[2]. En basit, bağlantı noktadan noktaya olarak adlandırılan yapıdır (Şekil 2.1).

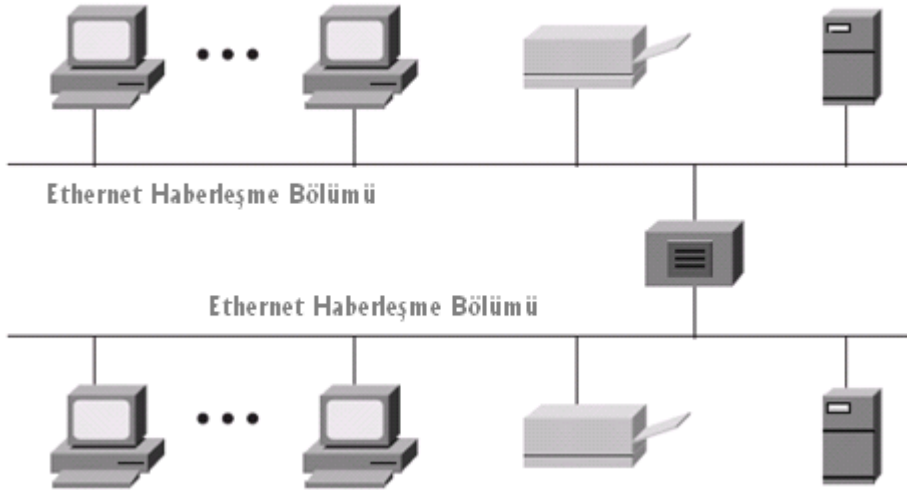
Bu yapıda sadece iki ağ bileşeni bulunur, bu iki cihaz arasındaki bağlantı kablosuna ağ bağlantısı adı verilir. Bu kablonun maksimum uzunluğu kullanılan kablo ve taşıma metoduna göre değişim gösterir.



Şekil 2.1 : Noktadan noktaya bağlantı şekli.

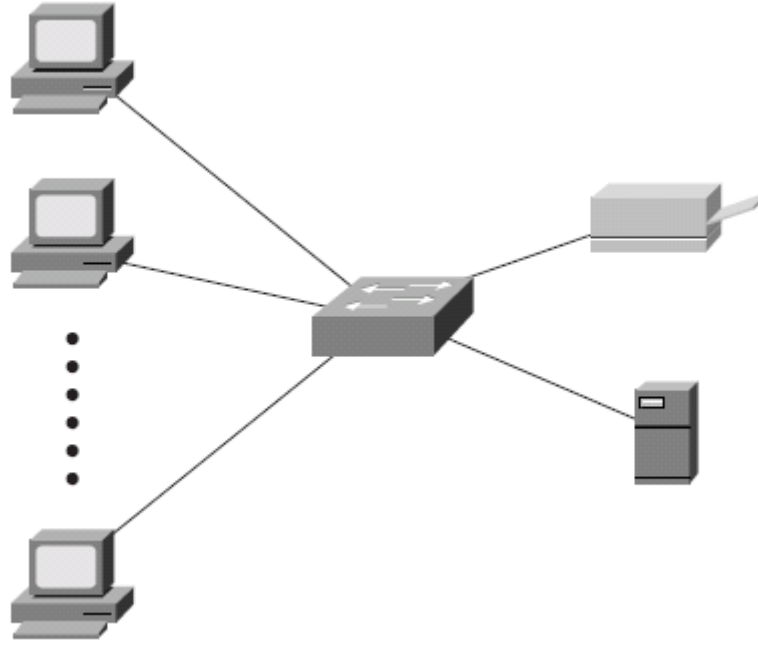
Orijinal Ethernet ağı eş eksenli haberleşme yapısında geliştirilmiştir (Şekil 2.2). Her bir bölümün uzunluğu beş yüz metre ile sınırlandırılmış ve tek bir segmente yüz istasyon bağlanması mümkün kılınmıştır. Tekrarlayıcılar aracılığıyla ayrı bölümler eklenebilir. İki ağ bileşeni arasında farklı iki yol oluşturmak mümkün değildir ve böyle bir ağdaki bağlantı sayısı bin yirmi dört ile sınırlandırılmıştır.

Yeni ağ bağlantıları yapmak maksimum sınıra ulaşmış sistemlerde mümkün değildir, fakat eski veri yolu haberleşmesinin olduğu ağlar hala mevcuttur ve hala kullanışlıdır.



Şekil 2.2 : Eş eksenli haberleşme topolojisi örneği.

1990'lı yıllardan sonra ağ konfigürasyonlarında bağlantı şeklinde yıldız topoloji kullanılmıştır(Şekil 2.3). Merkezdeki haberleşme ünitesi ya bir tekrarlayıcı ya da bir ağ anahtarıdır. Yıldız topolojide bulunan bütün cihazlar birbirlerine fiber optik ya da çift burulmuş kablo ile noktadan noktaya bağlıdır.



Şekil 2.3 : Yıldız topoloji örneği.

2.1.2 Temel Ethernet data yapısı

IEEE 802.3 standartında adrese bağlı bütün geliştirmelerde yapısı belirli bir data vardır, bazı durumlarda bu standart yapıya eklenebilen seçenekler olabilir. Temel bilgi yapı formatını oluşturan yedi katman Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

Giriş (PRE) – 7 byte'dan oluşur. Giriş, bir ve sıfırların arka arkaya değişmesi o istasyona bilgi girişi olacağını ifade eder ve gelen bit akımına kendisini ayarlaması için senkronizasyon sağlamak gerekir.

Çerçeve Sınırlayıcı (SOF) – 1 byte'dan oluşur. Arka arkaya birler ve sıfırlardan oluşur, son iki biti 1 ile biterek bir sonraki bitin hedef adres byte'nin sol bitini işaret eder.

Hedef Adres (DA) – 6 byte'dan oluşur. Bu kısımda hangi istasyonların bilgi alması gerektiği bilgisi yer alır. En soldaki bitin 0 olması tek bir istasyon adresi olduğunu bir olması ise bir gruba ait olduğunu işaret eder. Soldan ikinci bit ise adresin global mi yoksa yerel mi olduğunu hakkında bilgi taşır. Geri kalan kırk altı bit alıcı adres hakkında bilgi taşır.

Kaynak Adres (SA) – 6 byte'dan oluşur. Bu alan bilgi gönderici istasyon hakkında bilgi taşır, bu adres her zaman bir tane olur ve en soldaki biti her zaman sıfırdır.

Uzunluk/tip – 2 byte'dan oluşur. İlgili adrese gönderilecek bilginin data sayısını içerir. Datanın değeri 1500'e eşit ve küçükse, data alanındaki byte sayısı uzunluk

alanındaki değere eşittir. Eğer 1536 ‘dan büyükse, özel bir çerçeve olur ve burdaki değer özel çerçeve hakkında bilgi taşır.

Data – n tane bilgi dizisidir, n değeri 1500’eşit v e küçüktür. Data uzunluğu 46’dan azsa, datayı en az 46 yapacak şekilde bir filtre eklenir.

Bilgi Hesap Dizisi (FCS) – 4 byte’tan oluşur. Dizi 32 bit çevrimsel kontrol değeri içerir, MAC’a gönderilir ve geri alınıp dizinin bozulup bozulmadığı kontrol edilir.

8B	6B	6B	2B	46-1500B	4B	12B
Pre	Destination Address (DA)	Source Address (SA)	Ether Type (ET)	Ethernet Payload	FCS	IFG

Şekil 2.4 : Temel bilgi yapı formatı.

2.1.3 Tam çift yönlü iletim

Tam çift yönlü iletim işletimi, noktadan noktaya iki yönlü iletimin yapıldığı opsiyonel bir iletimdir. Tam çift yönlü iletim fonksiyonellik bakımından yarım çift yönlü iletme göre daha basittir; çünkü iletilen bilgide data içeriği, zamana bağlı iletimler ya da kısa datalarda genişleme bitine ihtiyaç yoktur. Bunun sonucu sadece iletim için daha fazla zaman sağlamanın yanında bant genişliğini etkili bir şekilde ikiye katlayarak tam iki yönlü iletimi sağlar.

İletim gönderilecek bilgi hazır olduğunda başlar, tek dezavantaj başarılı iletimler arasında olması gereken minimum boşluklara ihtiyaç duyulur ve her ileti standart Ethernet yapısına uymak zorundadır.

2.1.4 I/O seviyesinde Ethernet

Var olan mevcut haberleşme sistemleriyle karşılaştırıldığında, Ethernetin hiçbir avantajı yoktur. Etherneti, endüstriyel otomasyon uygulamaları için daha az uygun hale getiren özellikleri dikkatli bir şekilde düşünülmeli ve eğer mümkünse uygulanmamalıdır. Etherneti otomasyon teknolojisine uyarlama konusunda yaklaşımlar arasındaki başlıca farkları oluşturan Ethernet özellikleri şu şekildedir[3]:

1. Ağda bulunan sayısız cihazın küçük data boyutlarında yüksek sıklıkta alış verişi yapması gerekir.
2. Klasik haberleşme yöntemlerine göre her bir cihaz bağlantısı için yüksek maliyet getirmektedir.
3. Gerçek zamanı gerçekleyememe, buna neden olan ise düşük çalışma zamanlarına neden başarılı olur.

4. Topoloji olarak sınırlıdır, genellikle yıldız topoloji kullanılır. Kaskat bir yapı olduğu zaman kablolama için gereğinden fazla çabaya ihtiyaç duyulur.

2.2 EtherCAT

EtherCAT, Ethernet altyapısı üzerine kurulmuş bir protokoldür. Şu anda EtherCAT, en etkili haberleşme çözümü sunan endüstriyel Ethernettir[4]. EtherCAT master-slave haberleşmeye dayalıdır, bir master cihaz birçok slave cihaza bilgi göndererek kontrol eder. Ethernet ile aynı frame yapısı kullanılır; fakat bu frame'in boyutları endüstriyel ortamda kullanmak için geliştirilmiş ve değiştirilmiştir. Normal Ethernet, ev ve ofis ortamında büyük boyutlu dosyaların taşınması, internete bağlanma gibi yerlerde kullanılır.

EtherCAT ise I/O seviyesinde gerçek zamanlı haberleşme amacıyla geliştirilmiştir. Bunu gerçeklerken başka alt sistemlere gerek duymaz, ağ geçidinde gecikme oluşturmaz, dijital, analog giriş ve çıkışları hiçbir şey ayırt etmeksizin hepsini tek bir protokol altında kontrol etmek mümkündür. Bunu yapabilmek için taşınma hızı 2x100 Mbaud (tam çift yönlü iletim hızı) hızına çıkmaktadır. Bu hızdan anlaşılması gereken çok hızlı olduğudur. Bu hızı endüstriyel olarak örneklersek 256 dijital giriş/çıkış ile 11 μ s'de haberleşme, ayrıştırılmış 100 merkeze dağıtılmış 1000 dijital giriş/çıkış ile 30 μ s'de, 16 bit çözünürlüklü 20 KHz örnekleme 200 analog giriş/çıkış ile 50 μ s'de haberleşir.

2.2.1 EtherCAT gelişim süreci

PC kullanılmasıyla artan işlem performansı beraberinde tek bir merkezden ve daha hassas ölçümlerin yapıldığı hiyerarşik bir kontrol algoritmasını doğurmuştur. Ağda bulunan bütün cihazlar durumları hakkında bilgiyi bir merkeze gönderir ve birbirleriyle haberleşirler. Yapının merkezci olması konfigürasyonu kolaylaştırmasının yanında, daha akıllı kontrol algoritmalarının gerçekleştirilebilirliğini de artırmaktadır. EtherCAT gelişimi şu hedefler üzerinde odaklanmıştır:

1. Genel yayın uygulamaları, Ethernet portunun var olduğu herhangi bir PC'yi EtherCAT ana ünite olarak kullanmak mümkündür.
2. Ethernet standartlarına tamamen uymaktadır. EtherCAT, aynı ağda bulunan diğer Ethernet cihazlarıyla ve protokolleriyle bir arada bulunabilir.

3. Her türlü topolojik seçenek mümkündür. Karışık bir yapıdan 2 bitlik I/O'nun olduğu basit konfigürasyonlarda EtherCAT ekonomik çözümler sunabilir.
4. Maksimum verimlilik. Bilgi alışverişinde Ethernette kullanılabilen maksimum bant genişliği kullanılabilir.
5. Düşük çevrim zamanları. 100 μ s'nin altında çevrim zamanları yeni uygulama alanlarını beraberinde getirecektir, bu çevrim zamanları sürücü teknoloji control çevrimi için idealdir.

2.2.2 Kontrol otomasyon teknolojileri için Ethernet

EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) kolay kullanımı ve olağanüstü performansı ile öne çıkan, endüstriyel otomasyon için geliştirilmiş Ethernet çözümdür. EtherCAT, Ethernet protokolü standart bağlantı şekli olan yıldız topolojisini basit bir hat yapısına dönüştürebilir. EtherCAT protokolü istenildiğinde ağ anahtarı kullanılarak, diğer Ethernet cihazlarını bağlamak için klasik kablolamaya da imkan verir. Master olarak tabir edilen ana cihaz, özel bir karta ihtiyaç duymaz, çok basit bir arabirimle mevcut Ethernet denetleyicileri EtherCAT cihazı olarak kullanılabilir. Bu nedenle EtherCAT küçük ve orta büyüklükteki kontrol platformları için de uygundur ve kolay yapılandırılabilen yapısı ile dağıtılmış I/O'lar için yepyeni uygulama alanları oluşturacaktır.

EtherCAT teknolojisinin sunduğu performans o kadar yüksektir ki, klasik fieldbus yapılarıyla gerçekleştirilemeyen sistemlerin denetim ve düzenlenmesine olanak sağlar. EtherCAT, bilgisayarlar üzerinde koştuğu için ve her gün gelişen bilgisayarların yüksek hesaplama gücünü en uygun iletişim teknolojisi ile birleştirir.

2.2.3 Çalışma prensibi

Orta erişim mekanizmasına dayanan EtherCAT bütün çerveyi içinde barındıran daha önceki fieldbus sistemi olan INTERBUS'a benzer[5]. Genel olarak, bütün slave cihazlarla ilgili bilgi tek bir gönderide toplanır ve her nokta dolaşılır[6]. Ethernet ile kıyaslama yapıldığında EtherCAT, standart Ethernet paketlerini alıp gönderen bağımsız, büyük bir Ethernet cihazıdır. Bu cihazda mikroişlemcili tek bir Ethernet denetleyicisi değil çok sayıda EtherCAT ileticisi bulunur. Ağ topolojisi ring olmasına rağmen, Ethernet 100 BASE-tx standardı olan çift burulmuş kablo ile görüntüde hat

topolojiyi andırır, bir uçta ana cihaz, en sondaki slave cihaz çevrimi başa döndürmektedir[7]. Bu iletiler paket geçişleri sırasında giren paketlerin kendilerine ayrılmış alanlarını alarak işler ve gerekiyorsa ekleme yaparak sonraki EtherCAT ileticisine iletir. Son EtherCAT ileticisi tamamen işlenmiş olan paketi geri gönderir, böylece ilk iletim bir cevap paketiymiş gibi denetime geri gönderilir. Paketler bu işlem sırasında yalnızca birkaç nanosaniye gecikirler. Özel dizayn edilmiş EtherCAT slave yardımcı cihazlar kullanılarak Ethernet gönderilerini uçuş esnasında işlerler[8].

“Çapraz” bir Ethernet kablosuyla ağ anahtarı olmaksızın tüm diğer Ethernet cihazlarında olduğu gibi doğrudan iletişim oluşturulabilir ve bu işlem ile saf bir EtherCAT sistemi oluşur. Paketler geçiş sırasında işlenir ve yalnızca çok kısa bir süre geciktirilerek iletmeye devam edilirken iletiler sadece kendisine yönelik komutları tanır ve bunları uygun bir biçimde işleyerek uygular.



Şekil 2.5 : EtherCAT master-slave haberleşmesi.

2.2.4 EtherCAT performansı

EtherCAT gönderisi Ethernet gönderisine ek olarak EtherCAT başlangıcı ve diğer datalarla birlikte gönderi başına 52 byte boyutundadır. Genel gönderinin iletim zamanı T_f (2.1) de verilmiştir.

$$T_f = 4.16\mu s + s_{VAD} \cdot 80ns \quad (2.1)$$

Burada s_{VAD} görünür çözüm bölgelerine gönderilen data boyutunun byte olarak değeridir. Bir Ethernet gönderisi 64 byte ile 1518 byte arasında olduğu için T_f zamanı 6.72 μs ile 123.04 μs arasındadır. Ağ genelinde eklenen yardımcı cihazlara eklenmesi ile oluşan yayılma gecikme süresi T_p E-BUS üzerinde 60 ns ve Ethernet üzerinde 1 μs 'dir[9] ve kablo boyuna bağlı olarak (2.2) verilmiştir.

$$T_p = n_{EBUS} 60ns + n_{ETH} \cdot 1000ns + L_{max} 10ns / 10m \quad (2.2)$$

n_{EBUS} ve n_{ETH} ağda bulunan uzak ve yerel noktaların sayısını, L_{max} toplam kablo uzunluğunu belirtmektedir. EtherCAT iletimi çevrimsel bir döngüdür, çevrimsel döngü süresi (2.3)'de verilmiştir.

$$T_c = T_p + \max(T_p, T_f) + T_f \quad (2.3)$$

EtherCAT ağ performansına yeni bir boyut kazandırmaktadır. Ağdaki karar vermeyen sadece iletilen noktalara ulaşmada ve karar veren ana noktalara ulaşma konusunda, protokol işletimi sadece donanıma bağlı olarak yapılır ve bu da protokol çalışmasından bağımsız bir şekilde gerçekleşir. 1000 dağıtılmış I/O'nun yenilenme zamanı sadece 30 μ s'dir. Tek bir Ethernet gönderisiyle(frame ile)1486 byte'lık data transferi yapılabilir bu da 1200 dijital giriş/çıkışın bulunduğu iletilenye karşılık gelmektedir. Bu boyuttaki bir ağda bütün iletim noktalarını kapsayan data transferi sadece 300 μ s sürmektedir.

100 servo eksenini ile haberleşme sadece 100 μ s sürmektedir. Bu zaman süresince bütün eksenlere ayar değerleri ve kontrol dataları gönderilmekte ve eksenlerden pozisyon ve durum bilgisi gelmektedir, bu şekilde her yenilenme zamanı içinde 4 byte giriş ve 4 byte çıkış elde edilmektedir. Dağıtılmış saat tekniği ile 1 mikrosaniyenin altında servo eksenlerinin senkronizasyonu sağlanabilmektedir.

EtherCAT'ın sağladığı yüksek performans sayesinde klasik haberleşme sistemleri ile gerçekleştirilmesi mümkün olmayan kontrol teknikleri uygulanabilir hale gelmektedir. Örnek vermek gerekirse, EtherCAT sistemi sadece hız kontrolünü değil bunun yanında dağıtılmış sürücülerin akım kontrolünü de sağlayabilmektedir. Eksenlerin durum bilgisi her bir çevrimde çok büyük olan bantgenişliği ile taşınmaktadır. EtherCAT sayesinde I/O haberleşmesi modern endüstriyel bilgisayarların sahip olduğu üst düzey işlem hacmini karşılayacak düzeylere gelebilmektedir. Haberleşme yapısı bu avantajı ile kontrol yapısını sınırlandırıcı olmaktan çıkmaktadır. Dağıtılmış I/O'ların kayıt hızı varolan yerel I/O arayüzlerinden daha hızlı gelebilmektedir.

2.2.5 PCI yerine EtherCAT

Merkezdeki ana bilgisayar ek bir donanıma gerek duymadan daha küçük ve ucuz hale gelebilmektedir; çünkü arabirimler için bütünleşik Ethernet portları kullanılabilir. PC'yi oluşturan parçaların küçülmesiyle PC boyutlarında

belirleyici kısım ana üniteler yerine ihtiyaç duyulan yuvalar şeklinde olmaktadır. Hızlı Ethernetin bant genişliği ile EtherCAT haberleşmesinin data genişliği donanıma yeni boyutlar kazandırmaktadır : IPC’de yerleşik olarak bulunan arabirimler EtherCAT’te bulunan akıllı arabirim terminallerine transfer edilmektedir. Merkezden bağımsız giriş/çıkışlar, eksen ve kontrol birimlerinin haricinde; karmaşık yapıdaki haberleşme ana üniteleri, hızlı seri haberleşme, ağ geçidi ve diğer haberleşme arabirimlerinin adreslenmesine imkan vermektedir. Yapılandırması gerekli olmayan Ethernet cihazları protokol değişkenlerine ayrıştırılmış “ağ terminalleri” ile bağlanabilmektedir. Merkezdeki ana bilgisayar boyutlarının küçülüp tek bir Ethernet yuvasına sahip olması gerekli bütün ağ ile haberleşebilmesini beraberinde getirdiği için, fiyat avantajı kazandırmaktadır[10].

2.2.6 Dağıtılmış saat

Eşzamanlı işlerin yapılması gerektiği, dağıtılmış işlemlerin bulunduğu bir ağda, doğru yapılan senkronizasyonun önemi çok büyüktür. Örnek olarak, birden fazla servo ekseninin bulunduğu bir ağda eş zamanlı hareketlerin yer aldığı uygulamalar gösterilebilir. Senkronizasyonun en güçlü özelliği dağıtılmış halde bulunan saatleri baz alarak yapılan senkronlama işlemidir. Tam senkron haberleşmenin zıttına, senkronizasyon kalitesi haberleşme hatasından hemen etkilenirken, dağıtılmış saate göre ayarlanan haberleşmede oluşabilecek hata ve gecikmeye karşı yüksek bir tolerans vardır.

EtherCAT’de bilgi akışı donanımda bulunan merkezdeki ana saate ve bağlı bulunan saatlere dayanmaktadır. Her bir saat diğer saatlerin çalışma zamanı offsetini doğru bir şekilde anlayabilir; çünkü haberleşme mantıksal ve çevrimsel çift katmanlı yapıda Ethernete dayanmaktadır. Dağıtılmış saatler bu değer baz alınarak ayarlanır, bunun anlamı 1 μ s’nin düşük bir titreşimi baz alan zamanı, bütün bir ağ boyunca mümkün kılmaktadır.

Yüksek çözünürlüklü dağıtılmış saatlerin senkronizasyon için kullanılmalarının yanında, bilginin taşındığı yerin yerel zamanı hakkında da doğru bilgi taşınmaktadır. Örneğin, sıralı bir şekilde ölçülen pozisyonlardaki hızların hesaplanması kontrolünde kullanılmaktadır. Çok düşük örnekleme zamanlarında, küçük bir konum hatası olması, hızda büyük basamak şeklinde hataların oluşmasına neden olur. Bu

yapı sayesinde pozisyonlardaki hız hesaplamasının doğruluğu bundan böyle haberleşmedeki titreşime bağlı olmaktan çıkar.

2.2.7 Topoloji

Ethernet protokolünün desteklediği tek topoloji olan yıldız topolojisine ek olarak hat veya ağaç topolojiyi de destekleyen EtherCAT neredeyse bütün topoloji tiplerini destekler. Saha haberleşme standartlarından bilenen hat yapısını bu haliyle Ethernet için de kullanılabilir hale getirilir. Sistem kabloları için hat ve kollardan oluşan bir yapı oldukça pratiktir. Gerekli olan arabirimler birleştiricilerde mevcuttur, ilave ağ anahtarlarına ihtiyaç yoktur. Elbette klasik ağ anahtarı tabanlı Ethernet yıldız topolojisi de kullanılabilir. Kablolamadaki esneklik çeşitli kablo seçenekleriyle tamamlanır. Esnek ve oldukça uygun fiyatlı standart Ethernet kabloları, seçime bağlı olarak Ethernet (100Base-TX) veya E-bus sinyali şeklinde aktarım yaparlar[10].

Hızlı Ethernet standardı iki cihaz arasında 100 m'lik bir hat uzunluğuna izin verirken E-bus hattı maksimum 10 m'lik mesafeler için öngörülmüştür. Her hat mesafesi için sinyal tipi tek tek seçilebilir. Maksimum 65.535 katılımcı bağlanabildiğinden ağ kapsamı teorik olarak sınırsızdır.

2.2.8 Açıklık

EtherCAT teknolojisi Ethernete uyumlu olmasının yanı sıra tasarımsal olarak açıklık özelliği taşımaktadır: Protokol aynı fiziksel ağ üzerindeki diğer Ethernet tabanlı hizmetler ve protokollere uyumludur. Sayısız Ethernet cihazı çevrim süresini en az seviyede etkileyerek EtherCAT bölümü içinde bir ağ bağlantı noktası terminali üzerinden bağlanabilir. Saha haberleşme arabirimine sahip cihazlar EtherCAT master sahayolu I/O terminalleri üzerinden entegre edilir[10].

3. KULLANILAN DONANIMLAR

3.1 Bilgisayar

Bilgisayar tanımlanmış komutlara göre işlem yapan ve veri depolayan makinadır[11]. Bilgisayarlar ilk çıktıkları 20. Yüzyılın ortalarında bir oda büyüklüğünde ve günümüz bilgisayarlarından yüzlerce kat enerji harcamaktaydı. Günümüzde ise bilgisayarlar kol saati boyutlarına kadar inerken bir pille çalışacak kadar az enerji tüketir hale geldi.

İlk bilgisayar 1950 yılında yapılmıştır[11]. İlk kurulduklarında sadece bir hesaplama nesnelere olarak kullanılmaktadır. Başlangıçta bilgisayar sözcüğü hesaplama sürecini kolaylaştıran nesnelere verilen bir ad konumundaydı. İlk örnek olarak sayı boncuğu abaküs bilgisayar örnekleri arasına girmektedir. 1837 yılında Charles Babbage çözümlemeli veya analitik makine adını koyduğu, ilk tam yazılımlanabilir makinesel bilgisayarı tasarlamıştır. 1890 yılında muhasebe işlemlerinde kullanılmak üzere tasarlanan hesap makinesi gibi kullanılan delikli kartlar, Herman Hollerith tarafından kullanılmıştır. Günümüz bilgisayarlarıyla karşılaştırıldıklarında yazılımlanabilir veya programlanabilir olmamaları nedeniyle bu cihazların günümüz bilgisayar tanımına uymamaktadır.

1960 lı yıllardan sonra hızlı ve ucuz olan transistör tabanlı bilgisayarlar yaygınlık kazandı. Bunun sonucu olarak ilk defa seri üretime geçilmiştir. 1970'li yıllarda tümleşik devre uygulamaları ve intel tabanlı mikroişlemcilerin geliştirilmesi ile hem maliyet düşüşü sağlandı, hem de bilgisayarlara olan güven artışı sağlandı. Daha sonraki yıllarda günlük hayatta yerini almıştır. 1990 yıllarda İnternetin de gelişimi ile televizyon gibi alışılmış birer aygıt haline gelmiştir.

3.1.1 Bilgisayar mimarisi

Bilgisayar mimarisi 4 ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi aritmetik mantık birimidir. Aritmetik Mantık Birimi (AMB) aritmetik ve mantık işlemlerini

gerçekleştiren bir dijital devredir. AMB en basit işlemi gerçekleştiren mikro denetleyiciden, en karmaşık mikroişlemciye sahip bir bilgisayara kadar tüm işlemcilerin yapıtaşıdır. Bir diğer ana bileşende Denetim birimidir, ki bu birim işlemci içindeki yer alan kısımların doğru çalışmaları için yönlendirilmeleri ile yükümlüdür. Ana görevi, işlemci içinde kullanılmak üzere yazılımın her komutunu çözmek ve anlaşılacak bir sinyale çevirmektir. Ayrıca yazılımın hangi komut satırında kaldığını da aklında tutmakla görevli yazılım sayaçlarını içerir. Üçüncü bileşen bellektir. Her hücreye yazı yazılabilecek ve okunabilecek sayılar içeren bir bütün olarak düşünülebilir. Her hücrenin özel bir adresi olmakla birlikte, içerikleri sayı, komut, harf gibi herhangi bir şey olabilir. Günümüz bilgisayarları veri kaydetmek için ikili sayıları kullanır ve her hücre 8 bit içerir. Bilgisayarda üç tip bellek bulunur. İşlemcinin çok yavaş olan ana belleğe ulaşmak için kullanılan son derece hızlı ama sınırlı boyutlu yazmaçlar bulunmaktadır. Ana bellek ise rastgele erişimli bellek (RAM) ve salt okunur bellek (ROM) olmak üzere ikiye ayrılırlar. RAM'a istenildiği gibi yazılıp okunabilirken, ROM sadece önceden yazılmış verileri okumak için kullanılır. Son bir bellek türü de önbellektir. İşlemci içerisinde yer alır ve yazmaçlardan büyük sığaya sahip olmanın yanı sıra ana bellekten de hızlıdır. Son bileşen de bilgisayar ağlarıdır. İlk önce ordu için bilgisayarları birbirine bağlamak için geliştirilen bilgisayar ağı oluşturuldu. İlerleyen zaman içinde sınırları genişleyerek küresel ağ ile herkese açıldı ve Ethernet gibi ucuz donanımlar ile bilgisayar ağları yaygınlık kazandı.

3.1.2 Endüstriyel bilgisayar

Kullanım alanı bakımından farklılaşan endüstriyel bilgisayarlar kullanıldıkları ortam bakımından çeşitli özellikleri taşıması gerekir. Bu bilgisayarlarda öncelikle aranan özellik 24 saat hiç durmadan çalışabilmeleridir. Bu yüzden kuvvetli soğutucuların bulunması gerekir. Toza, neme karşı dayanıklı olmaları da ayrıca istenen bir özelliktir. Dayanıklı bir yapıda olması da kullanıldıkları yere bağlı olarak gerekebilir. Bu bilgisayarlar üzerinde kullanılan bütün komponentler yukarıdaki özellikleri taşıdığından kişisel bilgisayarlara göre daha maliyetlidirler. Bu yüzden işlemci, hafıza seçimi gibi özelliklerin seçimi daha da önem kazanmaktadır. Ayrıca bazı durumlarda veri kaybı yaşanmaması için dönel eleman kullanımı da istenmeyebilir. Bunun için katı hal disk ya da hafıza kartları daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca,

kullanılan işletim sisteminin her seferinde aynı dosyadan açılması da mümkündür, bu sayede virüslere karşı da önlem alınmış olur.

Tercih edilen sistem yukarıda bahsedilen koşullardan dolayı, Windows CE tabanlı seçilmiştir. Ayrıca veri kaybı yaşanmaması için hafıza kartı kullanılmıştır. İşlemci olarak Celeron 1 GHz frekanslı tek çekirdekli bir işlemci kullanılarak bütün sistem kontrol edilmiştir.

3.2 Servo Sürücü

3.2.1 Yüksek hız kontrol algoritması

AX5000 Servo Sürücüleri hızlı ve yüksek dinamik yapıya uygun pozisyonlama için dizayn edilmiştir.

- Akım kontrolünde çevrim zamanı 31.25 μ s ye kadar inerek lineer motorların ve düşük endüksiyon motorlarının yüksek dinamik ayarlanmasında idealdir.
- Hız kontrolü 125 μ s çevrim zamanı almaktadır.
- Pozisyon kontrolü 125 μ s çevrim zamanı almaktadır.

3.2.2 Yüksek hızlı EtherCAT haberleşme sistemi

AX5000 gerçek zamanlı Ethernet olan EtherCAT için özel olarak geliştirilmiştir. EtherCAT'ın göze çarpıcı özellikleri aynı zamanda sürücü teknolojisinin gelişimi için de yararlıdır:

- I/O terminallerine ve sürücülere Ethernet ile ulaşabilme imkanı sunar.
- Hassasiyeti yüksek sistemlerin dağıtılmış saat ile kolaylıkla senkronize olabilmesine olanak sağlar.
- Zaman damgası ile yüksek-hızda yakalama, örnek baskı işaret kontrolünü mümkün kılar.
- Ekstra yüksek hızlı haberleşme yenileme zamanları ile,100 eksenle 100 μ s'de1,000 dağıtılmış I/Os ile 30 μ s'de haberleşebilir.
- Esnek dallanma ile şeffaf hat topolojisi
- Endüstriyel Ethernet kablosu ile basit kablolama

3.2.3 İki kanallı servo sürücü

AX5000 servo sürücünün göze çarpan en önemli özellikleri arasında aynı ya da farklı güçteki iki motoru aynı anda devreye alınabilmesidir. Örnek olarak, 3 amper gücündeki senkron servo motor ile 9 amper gücündeki lineer motor aynı anda 2x6 A'lık sürücü ile sürmek mümkündür. Burada önemli olan toplam akımın büyüklük değeridir. İki kanallı sürücü için her bir kanal 1 amper ile 9 amper arasında ayarlanabilir. Aktif akım tanıma ile otomatik veya opsiyonel olarak bağlı olan motor akımına adapte olabilir.

3.3 Servo Motorlar

3.3.1 Motorların tasarımı

AM3000 serisi fırçasız senkron servo motorları, servo uygulamalarına başarılı bir şekilde cevap verebilmektedir. Dijital servo sürücüleri ile birleştirildiklerinde endüstriyel robotlarda, transfer hatlarında, makina otomasyonunda pozisyonlama görevlerine uygun hale gelmektedirler. Bu gibi işlerde dinamikliğin ve stabilitenin yüksek gereksinimlerini karşılayacak güçtedir.

Servo motorlar rotorda sabit mıknatıslara sahiptir. Mıknatıslanma özelliğini sağlayan maddenin neodyum – demir – bor maddelerinden oluşması sayesinde yüksek dinamik yapı mümkün olabilmektedir. Statora entegre üç faz sargıya sahip yapı, servo sürücü ile sürülmektedir. Motorda akım düzenleme servo sürücü tarafından elektronik olarak yapıldığı için motorlar fırçasızdır.

Sargı sıcaklığını ölçmek için stator sargılarında sıcaklık sensörü bulunmaktadır, elektriksel izoleli termistör ile sıcaklık bilgisi taşınır. Standart geribesleme elemanı olarak resolver bulunmaktadır. AX5000 serisinden önceki seri olan AX2000 servo sürücülerinde resolver pozisyonu değerlendirip, motora sinuzoidal akım sağlanmaktadır. Resolvera alternatif geribesleme elemanları motor boyunda farklılık yaratabilir ve resolver bulunan bir motor yerine enkoderli takılması istenirse aynı yere tekrar oturması mümkün olmayabilir. Motorlar frenli veya frensiz olabilir, kullanıldıkları yere göre seçilmelidir.

3.3.2 Terimlerin açıklaması

3.3.2.1 Kalkış momenti M_0 [Nm]

Durma momentu $n < 100$ 1/min olmak üzere, belirsiz bir hızdaki ve nominal ortam koşullarında ölçülen momenttir.

3.3.2.2 Anma momenti M_n [Nm]

Nominal moment motor nominal hızında ve akımında olduğu zaman üretilen momenttir. Sürekli operasyonda motor nominal hızında nominal moment üretilir.

3.3.2.3 Kalkış akımı I_0 rms [A]

Motorun $n < 100$ devir olduğu hızda durağan momentu oluşturmak için gerekli olan efektif sinuzoidal akımdır.

3.3.2.4 Tepe akımı (darbe akımı) I_0 max [A]

Tepe akımı nominal akımın yaklaşık olarak dört katına eşittir. Anlık değer kullanılan servo sürücüsü ile belirlenir.

3.3.2.5 Moment sabiti K_{Trms} [Nm/At]

Moment sabiti motor 1 A akımında iken Nm cinsinden üretilen momentu belirler. Bağını şu şekildedir: $M = I \times K_T$

3.3.2.6 Gerilim sabiti K_{Erms} [mV/min-1]

Gerilim sabiti, endüklenen motor EMF'sini , her 1000 devirde ve iki terminal arasında efektif değeri belirler.

3.3.2.7 Rotor eylemsizlik momenti J [kgcm²]

J sabiti motorun ivmelenme kapasitesine bağlı bir sabittir. Buna göre, durağan halden 3000 devire hızlanan motorun eylemsizlik momenti (3.1)'de hesaplanır.

$$t_b [s] = \frac{3000 \times 2\pi}{M_c \times 60s} \times \frac{m^2}{10^4 \times cm^2} \times J \quad (3.1)$$

3.3.2.8 Termal zaman sabiti t_{th} [min]

Termal zaman sabiti, motoru sabit bir yükün altındayken soğuk halden üst sıcaklık olan 0.63×105 kelvine kadar ısınmasını belirleyen sabittir. Motor nominal akımındaysa çok daha hızlı bir şekilde ısınabilir.

4. KULLANILAN YAZILIMLAR

4.1 Twincat

Twincat, Windows'u gerçek zamanlı bir işletim sistemi haline getirir. Otomasyon denilince hassas zamanlamanın öneminin bir hayli yüksek olduğunu unutmamak gerekir. Otomasyonda neredeyse her uygulamada bir güvenlik açığı bulunabilir, bunu en aza indirmek gerekir; aksi takdirde büyük hatalarla sonuçlanabilir.

Kontrolü, gidişatının nasıl olacağını bilmediğiniz bir Windows işletim sistemine bırakmak çok doğru değildir, oysa Twincat Windows'u gerçek zamanlı bir işletim sistemi haline getirerek bu olasılığı ortadan kaldırmaktadır.

4.2 Gerçek Zamanda İşletim

Gerçek zamanlı işletimin anlamı, istenilen bir işleme verilen tepkinin ölü zamansız olarak verilmesi şeklinde değerlendirilebilir. Normalde, PC ne zaman cevap vermek için zaman ayırırsa o zaman tepki verir. Fakat gerçek zamanlı bir PC'de cevap, isteğin yapıldığı zaman içerisinde verilmek zorundadır.

Burada alakalı olan belirleyici işletim de aklımıza gelmektedir. Bunun anlamı verilen aynı girişe karşılık aynı çıkışın beklenmesidir.

Bunun olabilmesi için, sistemin başlangıç koşulunun tahmin edilebilir olması ilk şarttır. Daha sonra bilgisayar sisteminin gerçek zamanda bu işletimi yapabilmesi için ne gerektiğinin cevabını ve Twincatın buradaki rolü anlatılmaktadır.

4.2.1 Kernel

Kernel bilgisayar sisteminde donanım ile yazılım arasındaki bağlantıyı yapan işletim sisteminin bir parçasıdır. Bilgisayarda ne zaman bir işlem yapmak istenilirse, hangi program olursa olsun en minimumunda bile RAM ve işlemciye ulaşılır, kernel burada ulaşımı sağlar. Twincat bilgisayara yüklendiğinde Microsoft kernelinin idaresi Twincat'e geçer. Bunun nedeni Microsoft kernelinin maksimum uyumluluk içinde olmasıdır; fakat gerçek zamanı yakalamak için twincat'in mükemmel zamanlamasını kullanmak gerekmektedir. Twincat her tick'e göre sistem hafızasının

nasıl yerleşmesi gerektiğine karar verir. Bu davranış bilgisayarın belirleyici, gerçek zamanlı çalışmasını sağlar. Beckhoff Twincat kernel'inin gerçek zamanlı olma yolunda patenti vardır, ki windows'un takılması ya da mavi ekran gelmesi durumunda bile işlemine devam edebilir.

4.2.2 Tik

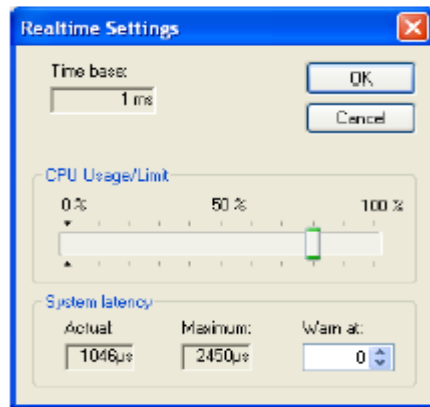
Bilgisayarda en küçük saat darbesine tik adı verilir, bazen runtime olarak adlandırılır. Tik'in uzunluğunu işlemci hızı, ram ve diğer değişkenler belirler, genellikle milisaniyeler mertebesindedir.

Normalde Windows işletim sistemi her bir tick içinde ne yapması gerektiğine karar verir. Twincat kurulduğu andan itibaren işletim sistemi üzerinde kontrolü ele alır, ve bu şekilde Twincat işlemlerine yer açmak için windows'un önceliğini alır. Normalde Twincat her bir tick içinde %80'ini tutar ve geri kalanında windows işini yapar, bu oran anlık olarak %90' a kadar çıkabilir.

Twincat ile birlikte dört farklı runtime oluşturulabilir ve her bir runtime içerisinde de birbirinden farklı zamanlarda çağırılabilen dört görev verilebilir. Her proje genelinde işlemcinin belirlediği şekilde alfabetik olarak çağırılır.

Twincat genellikle işi bittikten sonraki kısmı Windows'a vererek onun da işlerini yapmasına izin verir. Eğer işletim bir tick içinde bitmemişse bir sonraki tickin başladığı yerde twincat işini yapmaya tickin bittiği yerden devam eder. Ama birden fazla run-time olduğu zaman, eğer bir run-time bitmemiş ya da hiç başlamamışsa, bir sonraki tickin başladığı yerden itibaren işini yapar.

Gerçek zaman ayarını değiştirmek için sistemin çalışıyor olması gerekir ve Şekil 4.1'de görüldüğü gibi bu ayarı değiştirmek mümkündür.



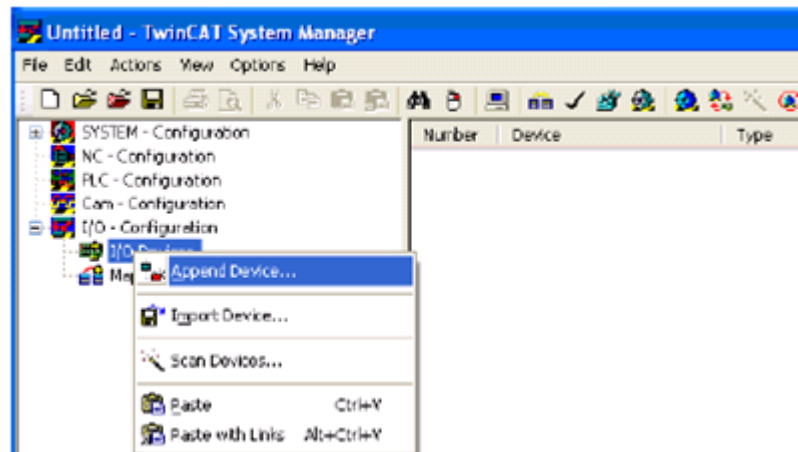
Şekil 4.1 : Gerçek zaman ayarı.

4.2.3 Zaman gecikmesi

Zaman gecikmesi kelime anlamından da anlaşılacağı gibi, sistemden bir istek yapılması ile cevap verilmesi arasındaki geçen süreyi ifade etmektedir. Her deneme sistem davranışını test etmek içindir, bazen gecikmenin önlenmesi mümkün değildir. Sistem gecikmesi anlık olarak sistem manager programında gösterilir. Buradaki gecikme aslında işlemcinin hızını da ifade edebilir.

4.3 Twincat Sistem Manager ile Donanım Konfigüre Etme

Bilgisayara bağlı olan bir donanımı tanıtmak için iki işlem vardır, bunlardan biri otomatik buldurmak için yapılan arama ve diğeri de atama yapmaktır, bu terimleri bilgisayar dünyasında sıkça duymaktayız. Bunlardan atama yapmak donanım takılı değilken kullanılır, otomatik bulma işlemi ise donanımın takılı olduğu durumda konfigürasyonu buldurmak için kullanılır. Sistem manager programında soldaki pencere I/O, NC, PLC gibi seçenekler bulunmaktadır, bunlardan IO konfigürasyonu sadece donanımla alakalıdır ,I/O konfigürasyonu üzerinde kalan bütün seçenekler yazılımla alakalıdır. Sistem manager kullanılan işlemciye bağlı olan fiziksel giriş/çıkışları tanıtmak ve yazılımsal değişkenlerle bu büyüklükler arasında bağlantı kurmak için kullanılan programdır. Değişik seçenekler buradaki pencereye yüklenmesi sonucunda gelebilir fakat en genel haliyle görünüm Şekil 4.2'deki gibidir:



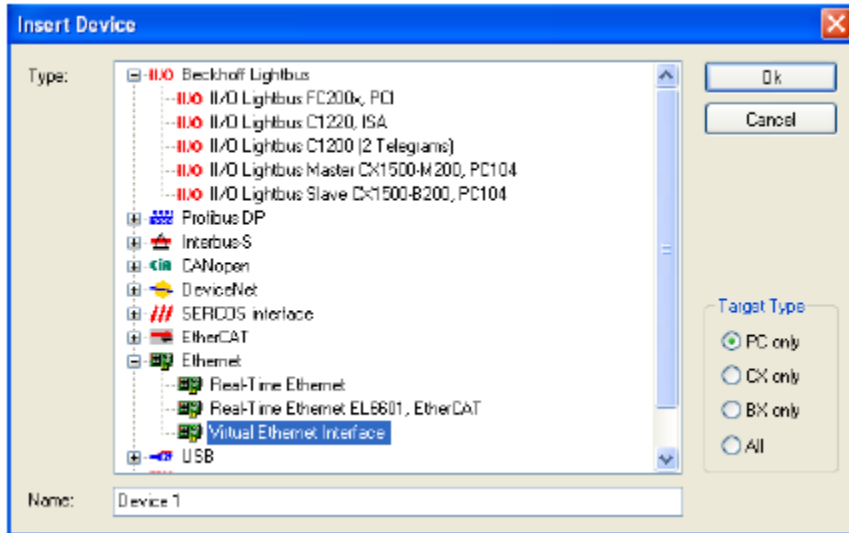
Şekil 4.2 : System manager genel görünümü.

Burada Sistem Konfigurasyon sistemin nasıl çalışacağını ya da hangi işlemci, üzerinde çalışacağını belirten seçenektir. Bu işlemci windows XP kurulu bir dizüstü bilgisayar olabileceği gibi windows CE kurulu gömülü bir bilgisayar da olabilir.

PLC – konfigürasyonu, hangi PLC programının çalışacağını ve nasıl çalışacağını belirten seçenektir, burada PLC değişkenlerini görebiliriz ve bunlara ilgili IO veya başka görevlerle ilişkilendirmek mümkündür. Çağırılan PLC programındaki girişler çıkışlar, çevrim süresi gibi bilgilere de bu kısımdan ulaşılır.

I/O – konfigürasyonu, burada da donanımın nasıl yapılandırıldığı, hangi sırada olduğu bilgileri bulunmaktadır. Hangi haberleşme protokollerinin bulunduğunu burada görmek mümkündür. Dizilim ilk önce protokol olarak başlar, ilgili protokol altındaki cihazları, bu cihazlara bağlı I/O terminalleri ve terminal altındaki kanalları içeren şekilde devam eder.

Sisteme yeni bir I/O eklemek için sistemin çalışmıyor olması aranan bir şarttır; çünkü sistem çalışması bu donanıma göre belirlenmektedir. Bu yüzden yeni bir tarama ya da ekleme yapılacağı zaman sistemin konfig modunda olması gerekmektedir. Sisteme ekleme yapılacağı zaman bir listeye göre çıkan protokoller bulunmaktadır. Bu protokollere ilişkin donanımları da artırmak veya yenilerini eklemek mümkündür. Cihazlar tiplerine göre gruplara ayrılmıştır, bilgisayarın sahip olduğu birden fazla arabirim olabilir fakat aynı zamanda sadece bir tanesini seçmek mümkündür, yani birden fazla seçeneği aynı anda seçmek mümkün değildir.



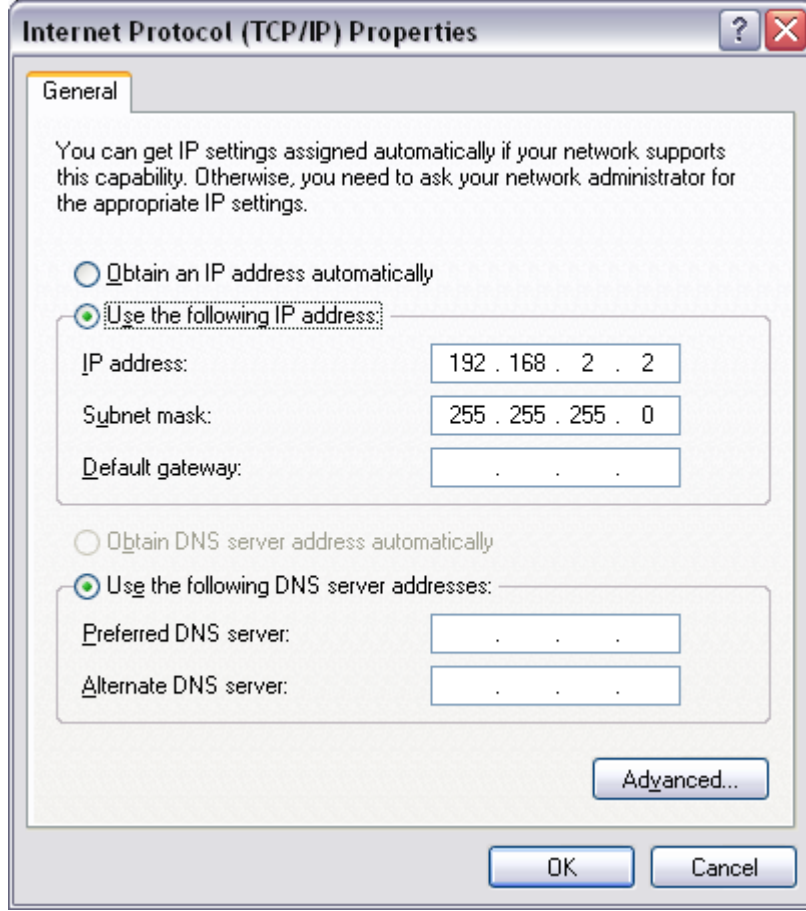
Şekil 4.3 : Yeni arabirim ekleme penceresi.

Eğer bir arabirim sistem konfigürasyonuna eklenmişse yeni bir terminal eklendiği zaman tarama yaptırmak gerekir, eğer donanım gerçekte de eklenmişse yeni eklenen cihazlar liste halinde konfigürasyonda verilir. Listede seçilen donanımlar var olan konfigürasyona eklenir. Takılı olan donanımlar bütünleşik olabildiği gibi, uzak noktalarda bulunan haberleşme ya da çevirici modüller şeklinde de olabilir. Şekil 4.3'te cihaza bağlı olan Ethernet portunun aktif edilmesi gösterilmiştir. Bu port aktif edildikten sonra bağlı olan cihazları buldurmak gerekmektedir.

4.3.1 Donanım ekleme

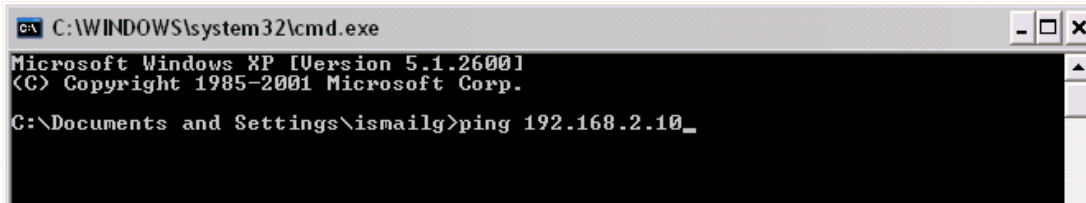
Sistem simgesinde bulunan twincat ikonuna ters tıklanıldığında açılan pencerede system manager programı görülür, bu program donanım konfigürasyonunun yapıldığı programdır.

Daha sonra açılan system manager programında ilk önce hangi işletim sistemi üzerinde çalışılacağına karar verilir. Çalışılacak bilgisayar uzak bir bilgisayar olabilirken, o an kullanılan yerel bilgisayar da olabilir. Eğer uzak bilgisayar üzerinde çalışılacaksa ve bu bilgisayar Windows CE işletim sistemliyse programın ve konfirüasyonun yerel bilgisayardan yapıp CE'li bilgisayara gönderilmesi gerekir. İki bilgisayar arasında direkt olarak bağlantı kurulabilmesi için aradaki ağ kablosunun çapraz olması gerekmektedir. Ya da bir ağ anahtarı üzerinden normal Ethernet kablosu ile de bağlanmak mümkündür. Uzak bir bilgisayarla bağlantı kurmak için ya iki tarafın IP'sinin de otomatik olması gerekir ya da belirli statik bir IP adresi vermek gerekir.



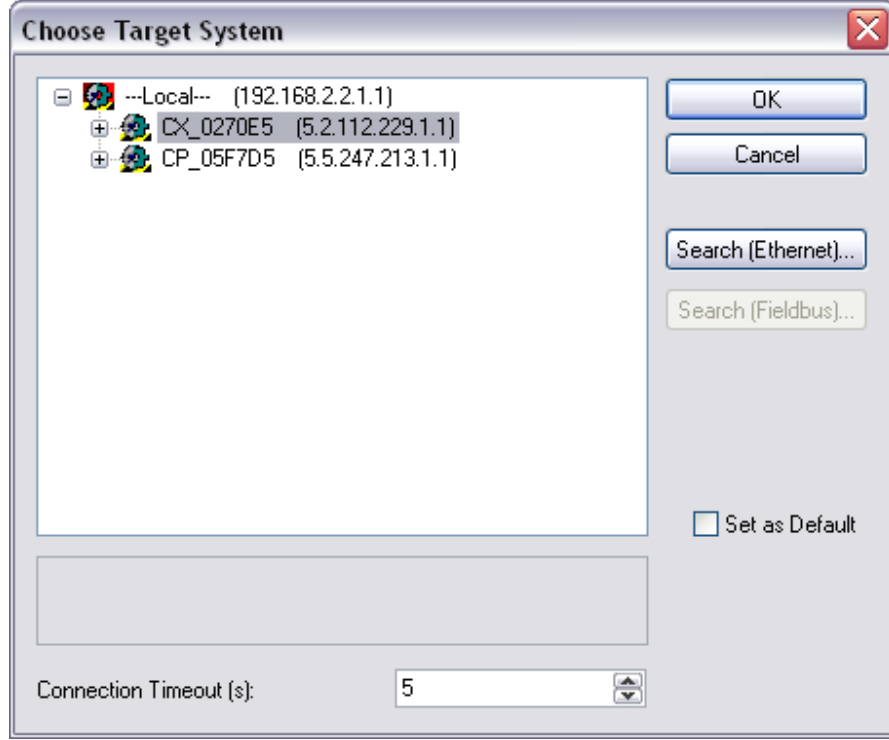
Şekil 4.4 : TCP/IP özellikleri.

İpleri aynı aralığa getirdikten sonra komut satırında ping atıp arada bağlantının varlığı test edilebilir. Eğer cevap veriyorsa uzak bilgisayara bağlanmak mümkündür.



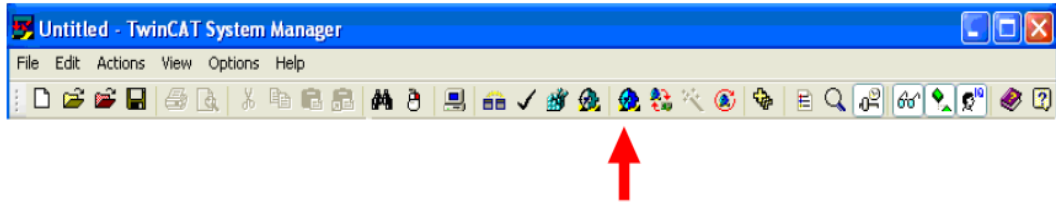
Şekil 4.5 : Haberleşme sınaması ping atmak.

Cihazın bağlı olduğu ağ içerisindeki bütün işletim sistemleri aratılır ve IP numarasına göre kök dizine eklenir, ve buradan seçilerek çalışılacak sistemin işletim sistemi belirlenir.



Şekil 4.6 : Çalışılacak PC seçimi.

Cihaza takılı donanımları buldurmak için işletim sisteminin konfigürasyon moduna almak gerekmektedir.



Şekil 4.7 : Konfigürasyon moduna geçiş.

Bu moda geçildiğinde I/O konfigürasyonun üzerine gelip cihazlar taratılır. Bu sayede bağlı olan donanımlar bulunur veya mevcut donanım eklenir. Eğer otomatik bulma olmazsa atama yapılır ya da arabirim değiştirilir. Eklenen donanımların işletim sistemine tanıttık sonra bu yapılan konfigürasyonu aktive etmek gerekir.

4.3.2 Sürücü konfigürasyonu

AX5000 serisine rotasyonel ve lineer servo motorları bağlamak mümkündür, bu servo sürücünün iki kanallı ve tek kanallı olan tipleri mevcuttur. Tek kanallı tipine bir motor bağlamak mümkündür, bu motor senkron servo motor olabileceği gibi,

asenكرون motor da olabilir; fakat asenكرون motoru sürmek için maliyetin de yüksek olduğunu düşünmek gerekir.

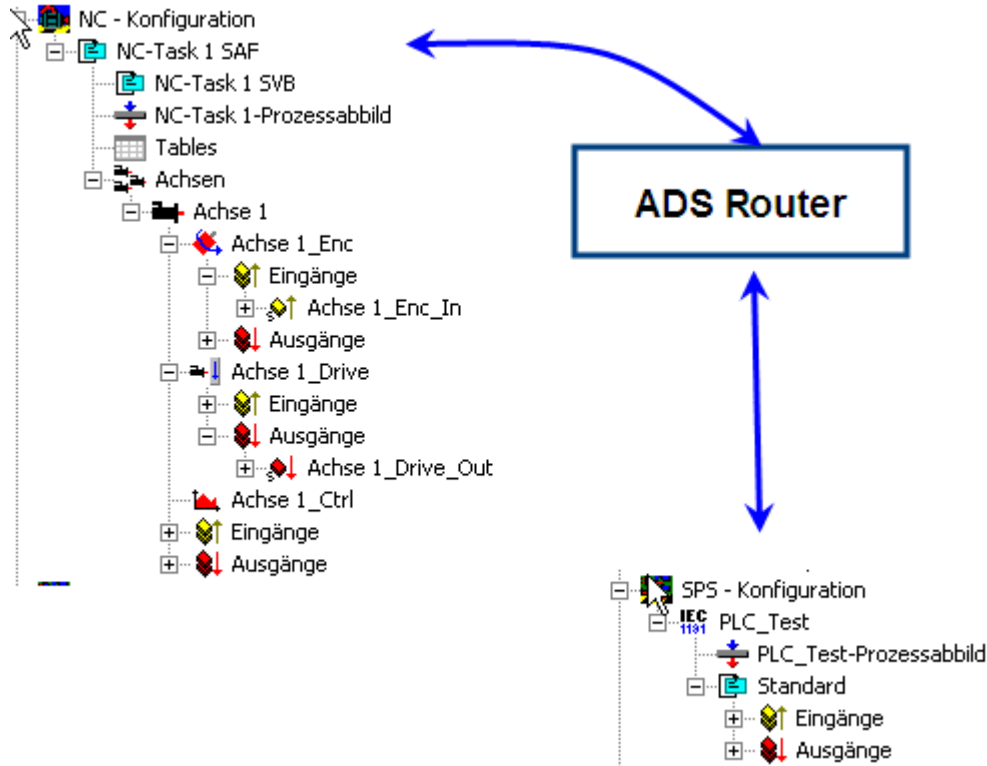
AX5000 veya diğer sürücülerle hareket kontrolü yapılmak istenildiği zaman iki twincat yazılım modülü gerekmektedir: bunlar Twincat PLC ve Twincat NC PTP'dir. Twincat NC kapalı bir yazılım olup, kullanıcı buradaki değişken parametreleri PLC üzerinden fonksiyon blokları ile değiştirebilir. Ayrıca System manager programı ile elle değiştirmek de mümkündür. Twincat PLC paketi, kullanıcının PLC control programında oluşturduğu PLC programının bir yorumlayıcısı olmaktadır.

4.3.3 Twincat NC PTP'nin yapısı:

Burada iki tane görev bulunmaktadır:

1. NC task 1 SPP (ön hazırlık görevi)
2. NC task 1 SEC (çalıştırma görevi)

SPP görevi aksel yapılmak istenen görevleri ayarlamakla yükümlüdür. SEC görevi ise bu verilen yolu sağlamakla yükümlüdür. Aksel yapılmak istenen görevler PLC'den ADS ile NC SPP görevcisine taşınır, bu yapıyı aşağıdaki Şekil 4.8'de görmek mümkündür.

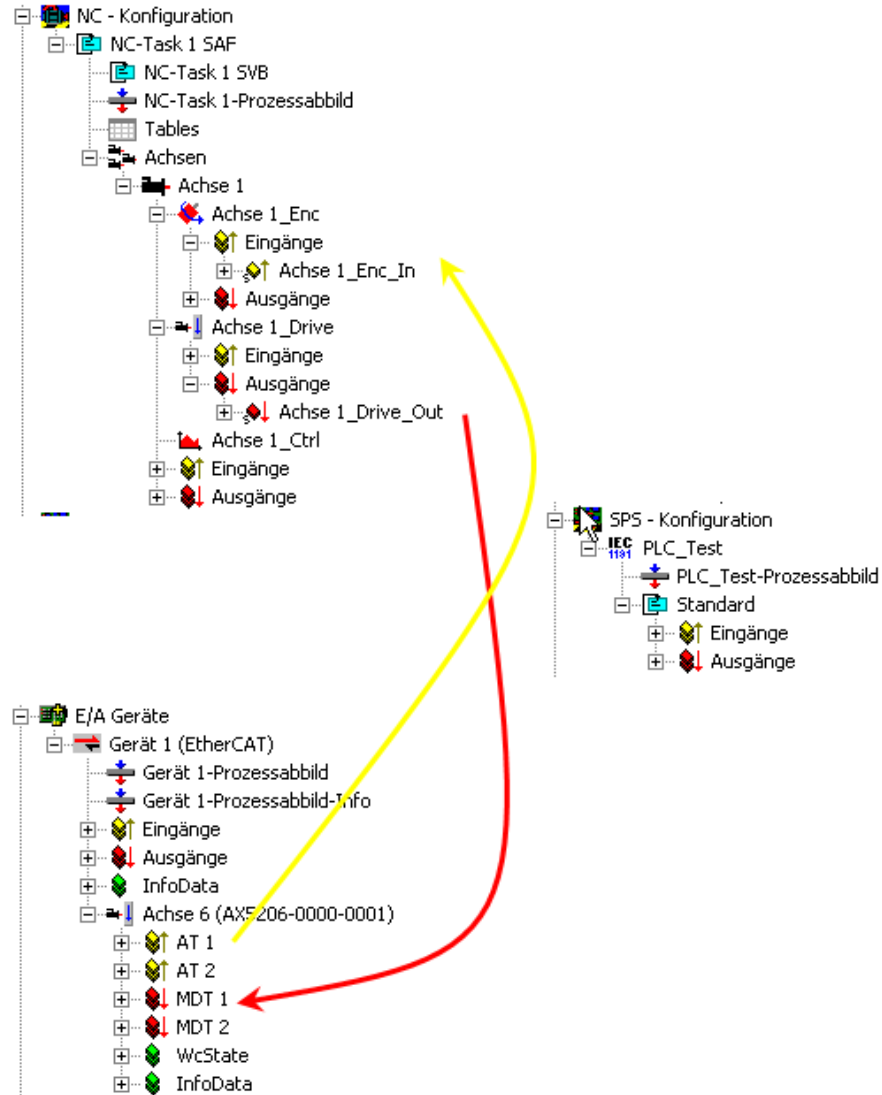


Şekil 4.8 : NC ile PLC arasındaki haberleşme.

NC verilen görevlere göre kabul eder ya da reddeder. Kabul etse de reddedse de PLC' ye aynı ADS yoluyla cevap verir, bu bilgilerle mesajlar bir kütüphane olan TCMC.lib kütüphanesindedir. Eğer NC verilen görevi kabul ettiyse, verileri hesaplayarak gidilmesi gereken hız, pozisyon, ivme değerlerini; minimum ve maksimum değerler ile karşılaştır eğer limitler arasındaysa işlemeye çalışır. Eğer verilen değerler daha önceden belirtilen sınırların içindeyse, örnekleme zamanına göre görev NC SEC görevcisine işletilmek üzere aktarılır.

Eğer çözüm yoksa, verilen maksimum sınırlar kullanılarak hareket görevi işletilir.

Anlık değerler ve ayar değerleri NC görevcisinde enkoder ve sürücü tarafından takip edilir, bunlar fiziksel olan sürücü ile bağlantılı yazılım elemanlarıdır. Sürücü ile bağlantısını Şekil 4.9'dan görmek mümkündür :



Şekil 4.9 : NC ile I/O arasında haberleşme.

Çizelge 4.1 : NC ile I/O arası haberleşme değişkenleri.

NC ayar değerleri	AX5000 ayar değerleri	NC anlık değerler	AX5000 anlık değerler
Eksen sürücü çıkış /n_outdata1	MDT1-2 /pozisyon ayar değeri	Eksen Enkoder giriş /n_indata1	AT1-2 / anlık değer sensor 1
Eksen Sürücü çıkış /n_outdata 2	MDT 1-2 / hız ayar değeri		
Eksen sürücü çıkış /ctrl1	MDT 1-2/ana kontrol frame	Eksen sürücü giriş /durum 1 ve 2 Eksen sürücü giriş /durum 4	AT 1-2 /sürücü durum frame cihaz durum /cihaz durum

4.3.4 AX5000 sürücü durum geçişleri

AX5000 EtherCAT sürücü sistem fazlarından sırasıyla şu durumlara geçiş yapar:
Init, Pre-op, Safe-op, and Op.

Çizelge 4.2 : Sürücü geçiş sırası.

Init: Hazırlanma Durumu
Pre- Op : İşletimden önceki durum
Safe – Op:Güvenlik işletimi
Op : İşletimsel

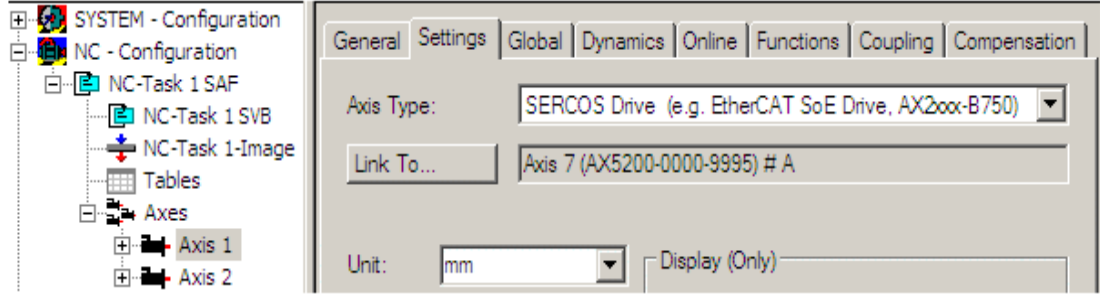
Sürücüye enerji verildikten sonra sırasına uygun bir şekilde son olarka Op durumuna gelmişse, sürücü doğru yapılandırılmış ve haberleşmenin düzgün bir şekilde çevrimsel olarak gerçekleşmektedir.

4.3.5 Sürücüyü bulup konfigüre etmek

AX5000 tipi sürücü EtherCAT protokolünde haberleştiği için otomatik arama denildiğinde sadece EtherCAT'i seçmek yeterli olacaktır. Daha önceden de belirtildiği gibi sistem üzerine herhangi bir donanım eklendiği zaman twincat'ın konfigürasyon modunda olması gereken bir şarttır.

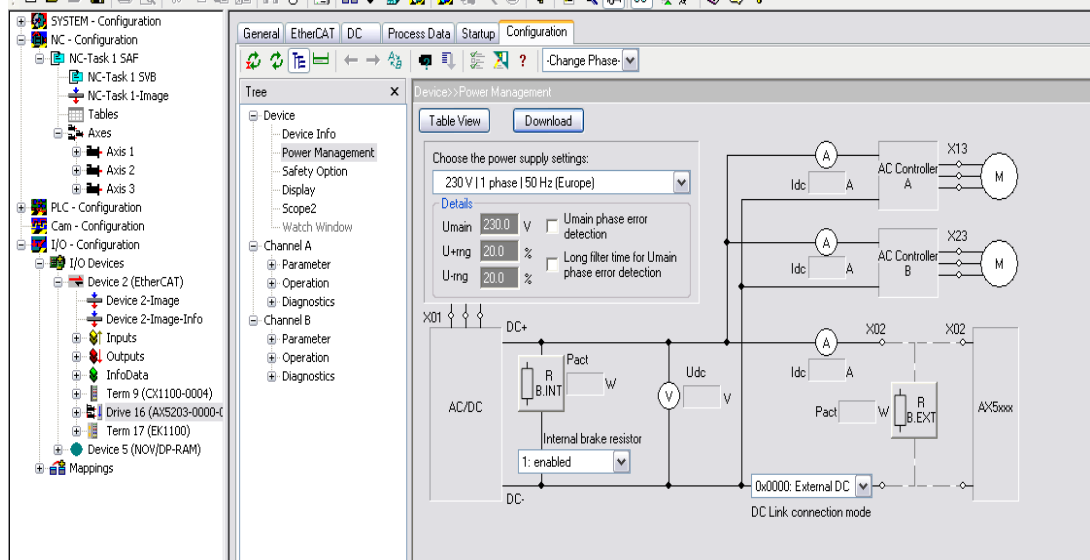
EtherCAT ağında sürücü bulunduğunda, otomatik aramada çıkınca sürücü bulunduğu ilişkin bilgi verir, eklediği sürücünün tipine göre 1 veya 2 kanal eksen de NC görevcisinde otomatik olarak ekler.

Eklediği sürücü iki kanallı olursa her bir kanalı birer eksene bağlamak gerekmektedir. Bu Şekil 4.10 üzerinde görülebilir:



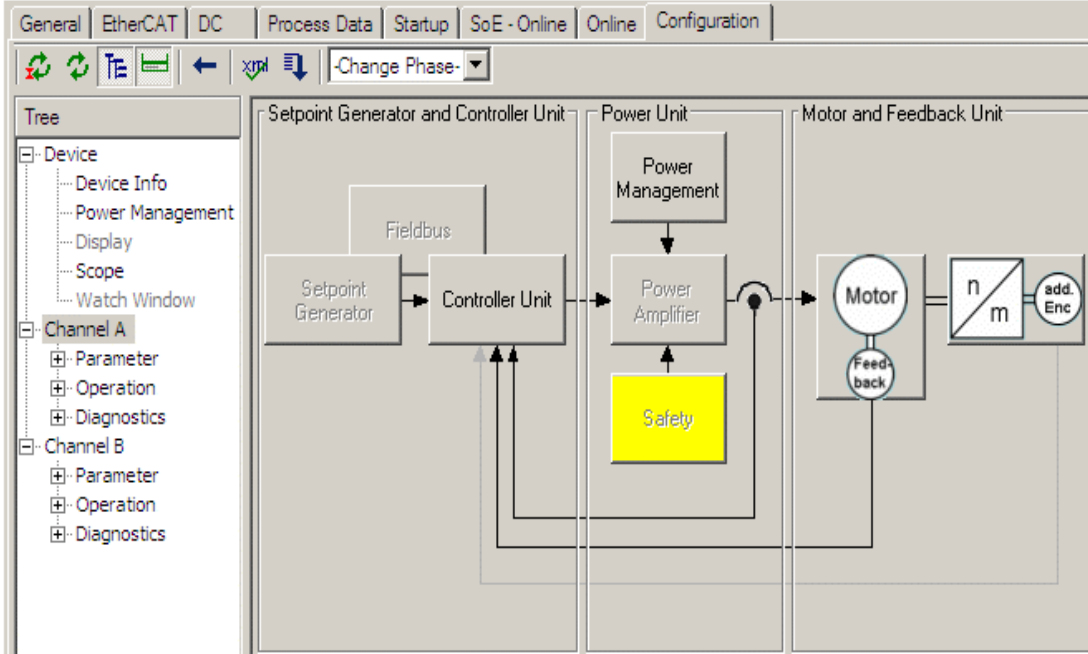
Şekil 4.10 : NC'ye eklenen eksenler.

Eksenle ilgili ayrıntılı bilgiler I/O konfigürasyonunda bulunan AX5000 sürücü üzerinden yapılır. İlgili eksenin üzerine tıklanıp konfigürasyon sekmesi açıldığında sürücü ile ilgili ayarları yapmak mümkün olur. Burada sürücü yönetiminde sürücü tipine göre kayıtlı bilgiler yer almaktadır. Buradaki bilgiler ağaç yapısında görülmektedir. Cihazla ilgili güç özelliklerinin bulunduğu bir seçenek bulunmaktadır. Güç yönetimi adı verilen ayar kısmında sürücüyü tek faz ya da üç faz besleme vermek mümkündür, ayrıca Amerika'da sürebilmek için 110 V ya da 480 V sürebilmek için de seçenekler bulunmaktadır. Güç yönetiminin haricinde cihazın seri numarası fabrika ayar versiyonu, kapasitesi gibi özellikleri de burada bulmak mümkündür. Eğer iki kanallı bir sürücü ise her bir motor kanal A-B şeklinde ayrılmıştır.



Şekil 4.11 : Sürücü konfigürasyonu.

Kanalları ayarlamak için ağaç yapısında kanal –A’ya basıldığında bu kanala ilişkin parametreleri, motor ve enkoder değerlerini ayarlama yapmak ve bütün parametreleri görmek mümkündür.



Şekil 4.12 : Sürücü kanalları.

Offline	AxisState	Error Id	Umain OK	DcLink OK	Ampl. T.e...	Actual op...	v <= v_0	Positive c...	Negative ...	Periph. Vo...
Channel A		R1	●	●			●	●	●	
Channel B		R1	●	●			●	●	●	

Şekil 4.13 : Motor yapılandırılması.

Burada motor ve geribesleme ikonuna tıklanınca motor ile ilgili bilgiler değiştirilebilir. Eğer motor enkoderli ve Beckhoff Automation GmbH'a ait bir motorsa otomatik tanıma yapılabilir, fakat resolverli bir motor ya da farklı bir üreticiye ait bir motorsa da bu sefer onu listeden seçmek gerekmektedir. Eğer bağlanılan motor listede yoksa, bu motoru plaka değerlerine göre .xml dosyası yapılarak listeye eklemek gerekmektedir.

4.3.6 Motor data belirlenmesi

Yeni bir motor bilgisi girilmesi veya seçilmesi için aşağıdaki menüye girmek gerekir. Girilen motor dönel ya da lineer olabildiği gibi senkron ya da asenkron da olabilir. İlk olarak motor üreticisi belirtilir, listede var olan bir üretici olabildiği gibi yeni bir üretici de tanımlanabilir. Bilinen motor datasına göre motor nominal hızı girilerek motor bilgisi oluşturulur. Motor tipini de ilgili bölümler girildikten sonra tanımlanan değerler tekrar kontrol edilerek bir sonraki adıma geçilir.

Motor datası üç ana başlığa ayrılmıştır.

1. Temel Ayarlar,
2. Sıcaklık ayarları,
3. Fren ayarları.

Bağlantı tipi olarak yıldız ya da delta bağlantı seçilebilir. Yapılan bu bağlantıya göre motorun çekeceği akım ve gerilim değerleri göz önüne alınması gerekmektedir ve unutulmaması gereken bir özellik de AX5000 maksimum 480 V gerilim verebilmesidir.

İkinci özellik motor akımı ile sürücü akımının yüzdesel oranını belirtmektedir. Bu oran uygulamaya göre değişim gösterebilir.

Motor nominal akımı ile aşırı yüklenme akımı arasındaki oran fabrika ayarlarına göre 1.5 katı olarak belirlenmiştir, bu oran motor üreticilerinin verilerine göre değişiklik gösterebilir.

Motor nominal akımı motor bağlantısına göre ve motor plakasında ya da dökümanlarında belirtilen akım verisine göre dikkatli bir şekilde girilmelidir.

Motor maksimum hızı mekanik özelliklerle ve AX5000'in maksimum döner alan frekansı ile bağlantılıdır. Motor dökümanlarında yer alan alana bağlı zayıflama eğilimine ve M/f eğrilerine bakarak bu değer ayarlanmalıdır.

Akımda olduğu gibi motor maksimum gerilimi de mekanik özelliklere ve motor plaka değerlerine göre ayarlanmalıdır.

Nominal hız motor kutup sayısı ve maksimum frekansına bağlıdır ve girilirken motor plaka değerlerine göre girilmesi gerekir.

Nominal frekans normal şartlar altında 50 Hz olarak ayarlanmıştır, motor plakasına göre ayarlanması gerekir.

Güç faktörü standart olarak 0.8 ayarlanmıştır, motor plakasına göre bu değer de kontrol edilmelidir.

Sıcaklıkla ilgili ayarlarda, motor sıcaklık izleme ile ilgili ayarlar seçilir, motor uyarı sıcaklığı, kapanma sıcaklığı belirlenir ve motor sıcaklığının hangi konnektörden alınacağı belirlenir.

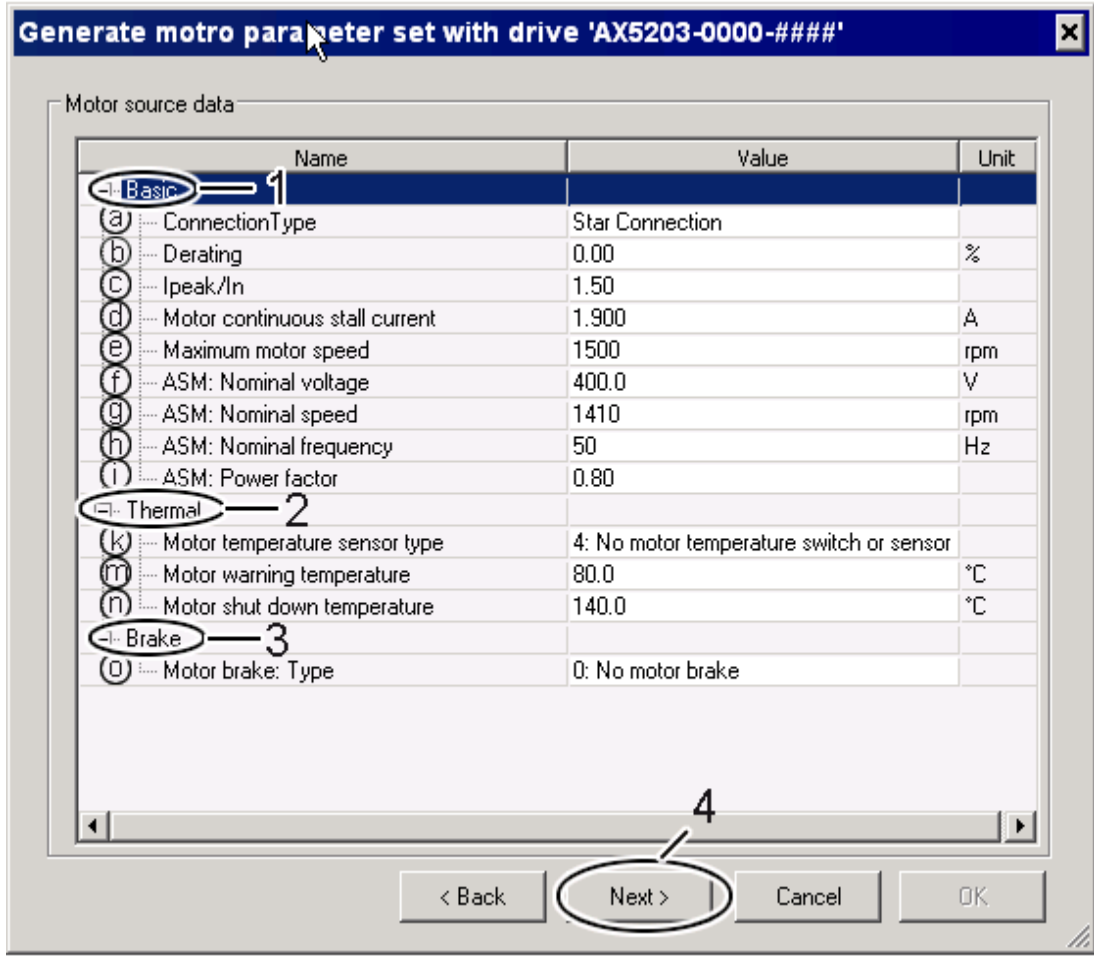
Motor freni ile ilgili kısmın seçilmesi biraz daha zordur, bu kısım da motor parametresine göre belirlenir. Fren direnci, motor tutma momentine göre seçilmelidir.

The screenshot shows a software dialog box titled "Generate motor parameter set with drive 'AX5203-0000-####'". The dialog is divided into several sections:

- Motor data:** Vendor: Mototec, Motor group: 3000 rpm, Motor type: 17K456FGH.
- Construction:** Rotary (selected), Linear (unselected).
- Functional principle:** Synchronous (unselected), Asynchronous (selected), Expert (unselected).

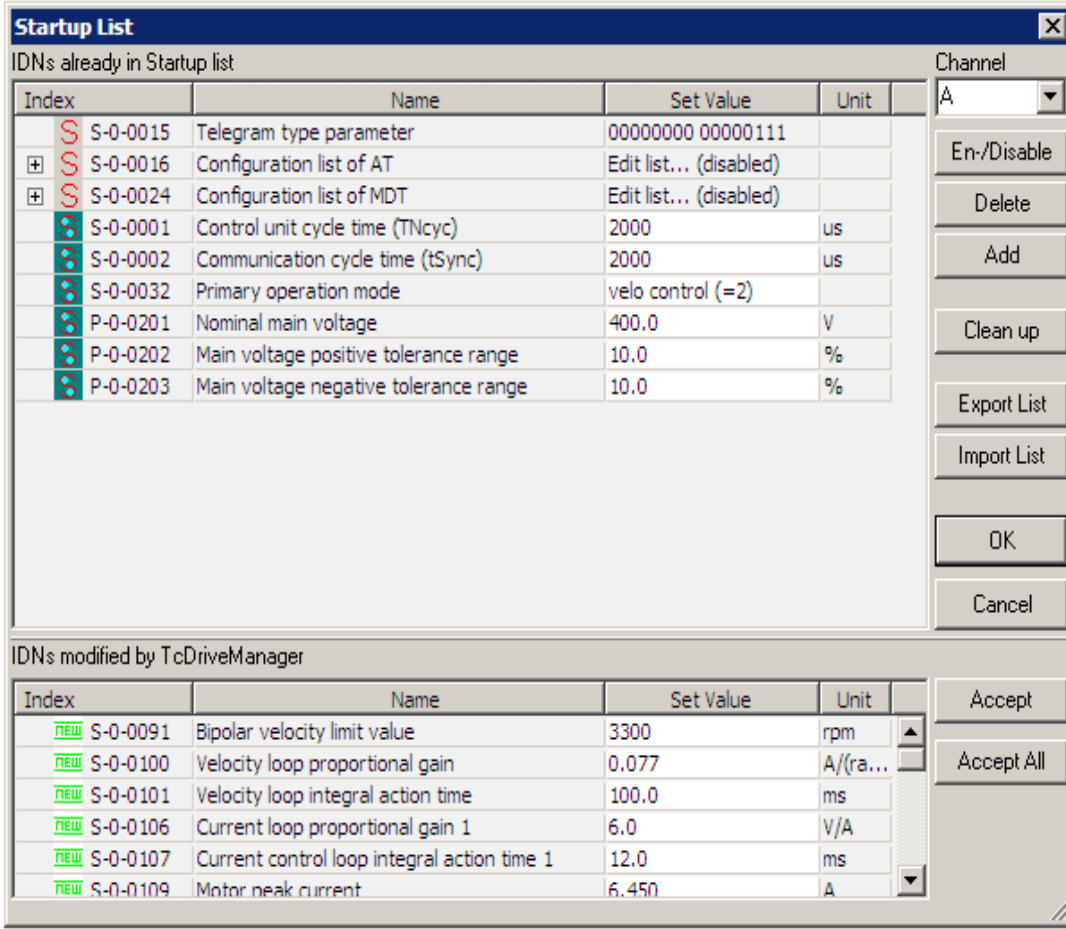
At the bottom of the dialog, there are four buttons: "< Back", "Next >", "Cancel", and "OK". The "Next >" button is circled and labeled with the number 10. Other numbers (5, 4, 9, 6, 7, 8) are placed near various fields and options.

Şekil 4.14 : Yeni motor tanımlanması.



Şekil 4.15 : Yeni motor tanımlama parametreleri.

Sürücüde yapılan değişikliklerin kalıcı olması için bu değişikliklerin başlangıç listesine yazılmış olması gerekmektedir, aksi takdirde yapılan değişiklikler kapanıp açıldıktan sonra geçersiz olur. Sürücü başlangıç listesi güncellemek için yapılan değişikliklerin hepsini kabul edip listeyi güncellemek gerekir. Bu güncellemeyi her kanal ve her sürücü için yapmak gerekmektedir.

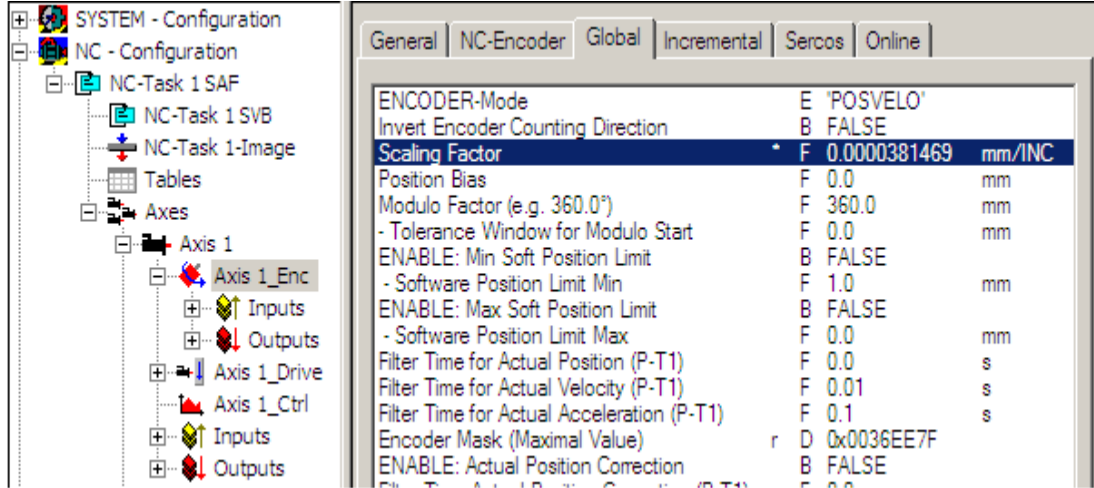


Şekil 4.16 : Sürücü başlangıç listesi.

Başlangıç listesi güncellendikten sonra I/O konfigürasyonun doğru yapıldığı bilinenek, NC konfigürasyonda hesaplamalar yapılır.

NC konfigürasyonunda ilk önce ölçeklendirme oranı girilmektedir. Bu oran nasıl hesaplanır: bir motorun lineerde bir turunun 40 mm'ye karşılık geldiğini ve enkoderin de bir turda çözünürlüğü 2^{20} olduğu bilinmektedir. Buna göre ölçeklendirme oranı :

$$\frac{40}{2^{20}} = 0.0000381469 \text{ mm/INC girilir.} \quad (4.2)$$

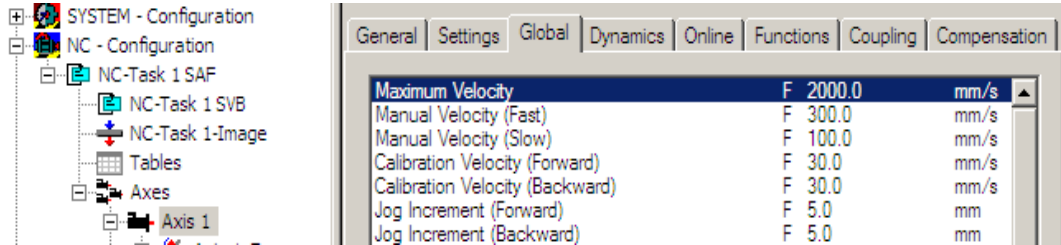


Şekil 4.17 : Enkoder ölçek oranı.

AX5000'de eğer hız arayüzüne göre ayarlanırsa enkoder taşıması ayarlanmak zorundadır, buradaki oran hesaplanır ve sürücüye yüklenir. Bu verilen bir tur hesaplamasına göre bir sonraki adım izin verilen maksimum hız değerinin eksene girilmesi işlemidir. Bu hesaplama şu şekildedir:

$$40 \text{ mm besleme} \times 3000 \text{ rpm} / 60 = 2000 \text{ mm/s}$$

Bu hız değeri referans hız olarak kaydedilir. Eksenle ilgili limit değerleri Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18 : Eksenle ilgili parametreler.

4.3.7 Sürücü işletim modları

Servo motor kontrolünde 3 kat kontrol bulunmaktadır:

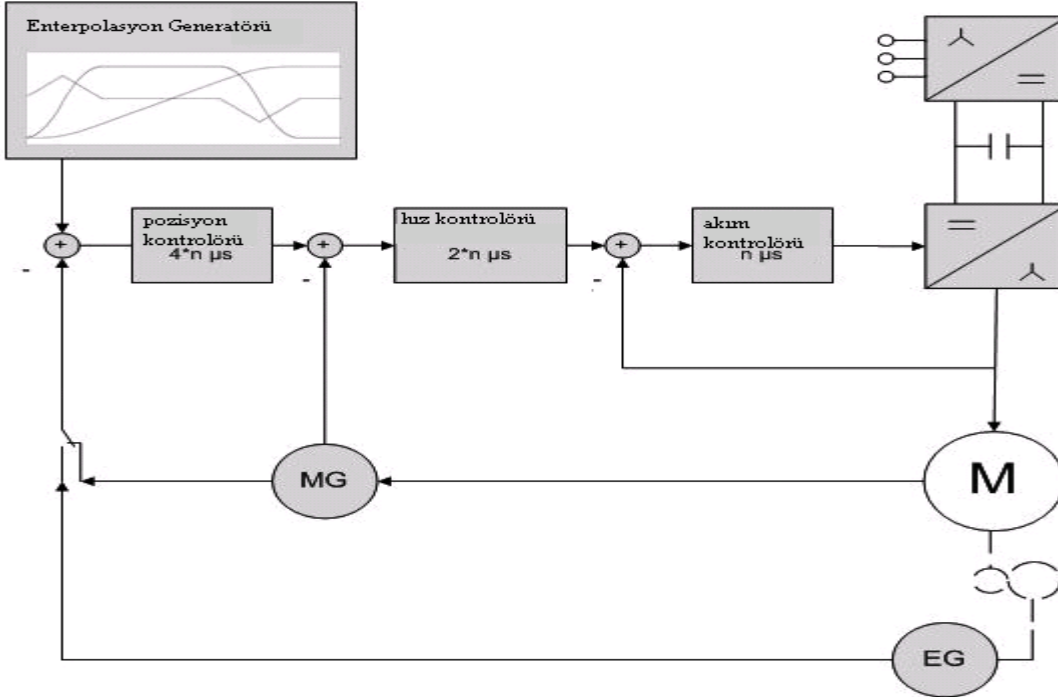
- Akım Kontrolü (moment kontrolü)
- Hız Kontrolü
- Pozisyon Kontrolü

Kontrol çevrimini sürücüye belirtmek için S-0-0032 parametresini ayarlamak gerekir. Bu modun byte anlamı Çizelge 4.3'te görülebilir:

Çizelge 4.3 : S-0-0032 Byte olarak anlamı.

Bits 0-8	İşlem Şekli	Bit 3
0 0000 0000	Hiç bir mod seçili değil	
0 0000 0001	Moment (akım)kontrolü	
0 0000 0010	Hız kontrolü	
0 0000 x011	Pozisyon kontrolü, motor enkoderi ile kontrol	0 izleme hatası ile / 1 izleme hata hariç
0 0000 x100	Pozisyon kontrolü, harici enkoder ile kontrol	0 izleme hatası ile / 1 izleme hata hariç
0 0000 x101	Pozisyon kontrolü, motor enkoderi ve harici enkoder ile kontrol	0 izleme hatası ile / 1 izleme hata hariç

Servo motorun tipik kontrol yapısını yüksek seviye pozisyonlama kontrolü ve daha alt katmanlar olan hız ve akım kontrol katları ile aşağıdaki şekilde görülmektedir. Akım, hız ve pozisyon kontrolörlerinin bulunduğu kaskad yapı dinamiği yüksek ve doğru pozisyonlama yapmak için ideal bir yapıdır. Aşağıdaki şekillerde kontrol yapılarının zaman katsayılarını görmek mümkündür. Eğer pozisyon kontrolü yapılacaksa, hız ayar değeri belirlenmesi ya da pozisyon ayar değeri belirlenmesi yapılır.



Şekil 4.19 : Sürücü kontrol çevrim katları.

4.3.8 Pozisyon ayar değeri belirlenmesi

Şekil 4.19'da ayrıca pozisyon generatörünü de görmek mümkündür. Bu generatöre dışardan verilen bir form uygulanabilir. Pozisyon generatörü eksene verilen hareket komutunu küçük adımlara bölerek verir. Bu küçük adımların çözünürlüğü enterpolasyon çevrim süresinde belirli frekansa göre değişebilir. İç pozisyon kontrolüne ek olarak hız ön kontrolünü de aktif etmek mümkündür, eğer hız ön kontrolü aktif edilmemişse, eksene verilen pozisyon ayar değerini sadece pozisyon kazanç değeri ve kontrol geribeslemesi belirler.

Ön kontrol kullanılması genellikle tavsiye edilir. Uygulamaya bağlı olarak bu parametrenin ağırlık oranı %0 ile %100 arasında atanabilir. Ön kontrolü yapmanın iki seçeneği bulunmaktadır, bunlardan birincisi ön kontrolü sürücüde hesaplamaktır. Burada basit bir yöntem kullanılır, n. saniye zamanında verilen ayar değerinden ön çevrim ayar değeri çıkarılır ve çevrim süresine bölünerek bulunur. Diğer seçenek ise enterpolasyon üreticinin ayar hız değerini kullanmaktır. Eğer pozisyonlamada ön kontrol kullanılırsa, takip hatası oranı sıfıra çok yakın bir değer olarak küçülür.

4.3.9 Hız ayar değeri belirlenmesi

Eğer servo sürücü üzerinde pozisyon kontrolü yoksa ya da hız ayar değeri ek bileşenlerden etkilenerek oluşturulması gerekiyorsa, pozisyon kontrolörü enterpolasyon üreticisine aktarılır. Bu modda sadece pozisyon küçük adımlara ayrılmaz; bunun yanında hız da küçük adımlara ayrılarak verilir. Enterpolasyon üretici tarafından oluşturulan hız ayar değeri Twincat NC-PTP tarafından oluşturulan pozisyon set değeri ile arasında takip hatası ile birlikte tamamlanır. Pozisyon belirlenmesi için, hız ayar değeri için enterpolasyon noktalarının geçici çözünürlüğü, enterpolasyon çevriminden daha büyüktür.

Sürücü üzerinde bulunan dijital giriş/çıkış kartında 7 giriş ve 1 çıkış tanımlanabilir. Bunlar limit anahtarları ve referans anahtarları olarak tanımlanabilir. Genellikle sonsuz düzlem üzerinde bir hareket olmayacağı için limit anahtarına ihtiyaç duyulmaktadır. Eğer bir limit anahtarı aktif olursa, servo kontrolör sürücüyü acil durum yavaşlamasıyla durma hızına yavaşlatır. Limit anahtarına ilişkin bilgi P-0-0041 parametresinden ayarlanır, burada pozitif ve negatif limitler belirtilir.

Parameter ID	Parameter Name	Value
P-0-0400	Hardware enable configuration	
P-0-0401	Position limit switch configuration	
	Positive limit switch (BitSize 16, Offset 0)	
	Configuration (BitSize 3, Offset 0)	Normally closed (=1)
	Limit switch reaction (BitSize 3, Offset 3)	Axis halt with a C2D warning...
	rsvd (BitSize 2, Offset 6)	0
	Input number (BitSize 8, Offset 8)	Digital input 0 (=0)
	Negative limit switch (BitSize 16, Offset 16)	
	Configuration (BitSize 3, Offset 0)	Normally closed (=1)
	Limit switch reaction (BitSize 3, Offset 3)	Axis halt with a C2D warning...
	rsvd (BitSize 2, Offset 6)	0
	Input number (BitSize 8, Offset 8)	Digital input 1 (=1)

Şekil 4.20 : Limit anahtarları ayarı.

Kurulmuş bir düzenek üzerinde limit anahtarı ile hareketin son noktası arasındaki hesaplamalar şu şekilde yapılmalıdır:

S-0-0091 Maksimum Hız, bipolar : 6000 rpm

S-0-0079 Bir turdaki çözünürlük: $2^{20} = 1048576$

Mekanik data Bir turdaki hareket miktarı (linear) : 20 mm

S-0-0372 Acil durum rampası: 6283.18 rad/s^2

S-0-0429 Durma rampası: 6283.18 rad/s^2

Bu değerlere göre durma mesafesi şu şekilde hesaplanır:

$$\omega = \frac{6000U / \text{min}}{60s / \text{min}} = 100U / s * 2 * \pi = 628.3rad / s$$

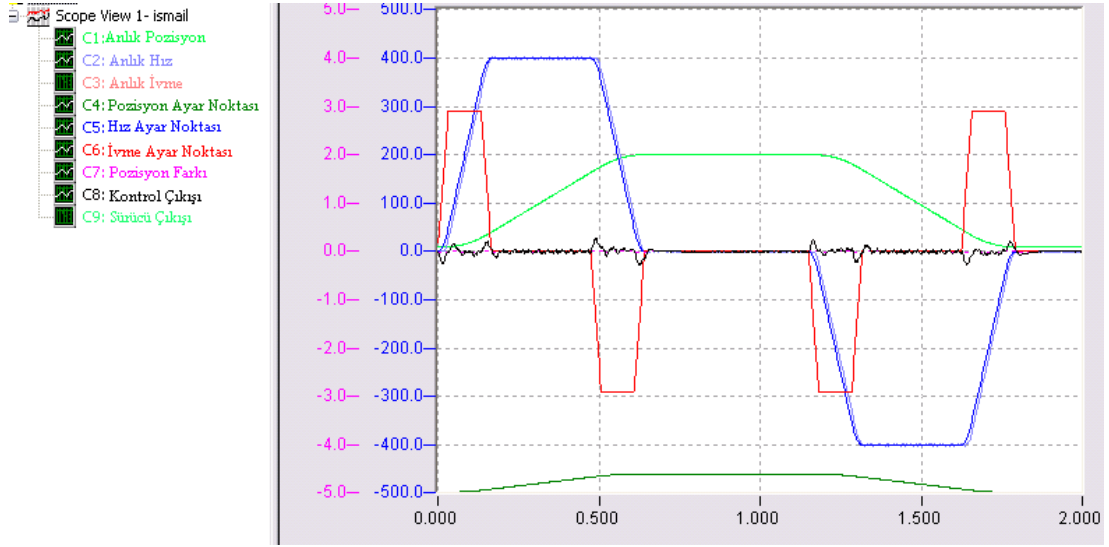
$$t = \frac{628.3rad / s}{6283.18rad / s^2} = 0.1s$$

$$v = \frac{\omega * t}{2} = \frac{628.3rad / s * 0.1s}{2} = 31.4rad \quad (4.3)$$

$$s = \frac{31.4rad}{2 * \pi} = 5U * 20mm / U = 100mm$$

4.3.10 Motor parametre ayarlama

Hız kontrol çevriminin kullanıldığı bir motorun hız kontrolör katsayılarını ayarlamak için önce motora sistem manager programından döngüsel bir hareket verilir. Verilen bu hareketi izlemek için bir osiloskop programı olan scope view programından gerekli parametreler seçilir. Burada hız, pozisyon ve ivme ile ilgili ayar noktaları ve anlık değerleri gözlemek için parametrelerle ilişkili kanallar eklenir. Hız kontrol çevriminde olduğu için takip hatası da gözlemlenebilir.



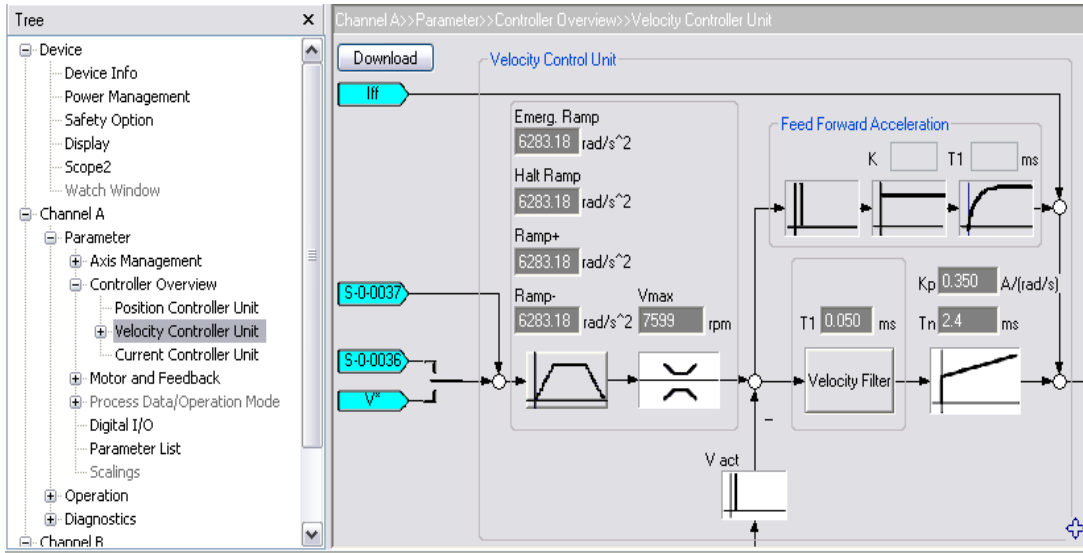
Şekil 4.21 : Parametrelerin izlenmesi.

Şekil 4.21'deki parametreler yardımıyla hız kontrolörünün katsayıları belirlenir. Şekil 4.21'de harekete verilen ivme profilinden anlık hıza, pozisyon ve konum gibi bilgiler alınmaktadır. Hız kontrolörü belirlenirken anlık ve ayar noktası hız değerlerine göre yapılır. Ayar noktası ivme değerine göre hep sabit kalmaktadır, anlık değerler ise kontrolör katsayısına göre belirlenmektedir. Anlık hız değerinde görülen salınım, hareketin sarsıntılı olduğunu gösterir ve bu genelde istenmeyen bir durumdur. Genellikle aşım yapılması da istenmez, kritik sönümlü bir cevap vermesi amaçlanır. İlk önce filtre süresi olan T_1 ve integral katsayısı olan T_n 'ye 0 değerleri verilir. Sistem sadece $K=0.05$ değeri için ele alınmış ve integral etkisi kaldırılmıştır ve bu şekilde sistem cevabı elde edildikten sonra grafikten elde edilen aşım ve yükselme zamanları gözlemlenerek matematiksel işlemler sonucu sistem fonksiyonu bulunmuştur. Buna göre sistemin sönüm oranı $\xi=0.687$ ve $\omega_n=1030.22$ olarak bulunmuştur. Referans 1500 devir olarak verilmiş ve sistem 1428.6'ya oturmuştur. Dolayısıyla sistem kazancı (4.4)'de elde edilir.

$$\frac{dy}{du} = 1428.6/1500 = 0.9524 \quad (4.4)$$

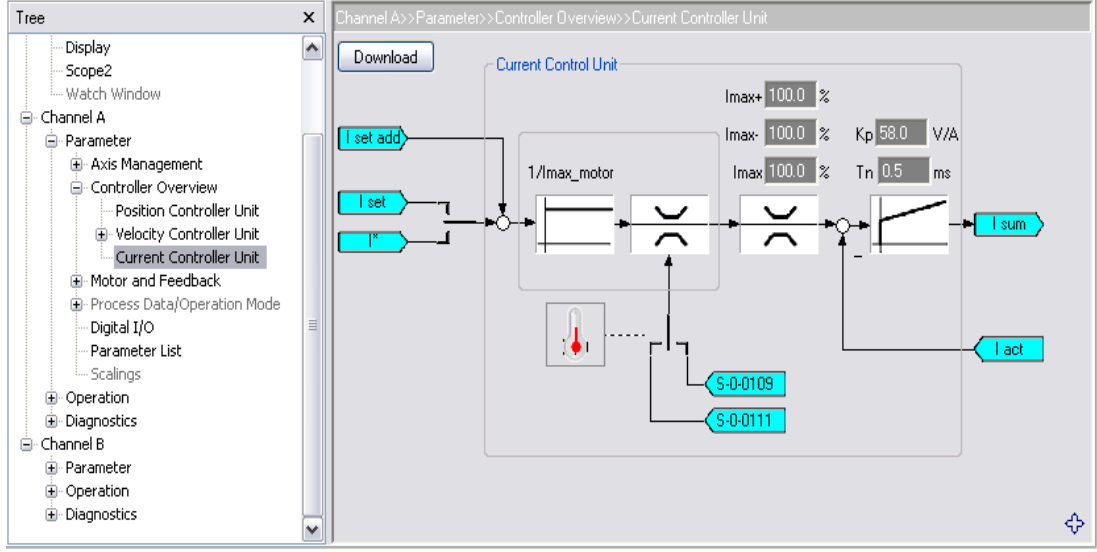
$$T_f = \frac{1.95136 \times 10^7}{s^2 + 1391.98s + 48763.6} \quad (4.5)$$

Sistemin transfer fonksiyonu (4.5) şeklinde elde edilir. Bu sistemin kutupları $s_1 = -1356.02$ ve $s_2 = -35.9608$ de bulunur. Sistemin sifira biri yakın diğeri çok uzak olan iki kutbu bulunmaktadır. Bu sistemi PI kontrolörle kontrol etmek istendiğinden kontrolörün kutbu 0'da olacaktır ve kutup sıfır götürme yapılırsa, s_2 de kutbun yerine de bir sıfır atarak sistem aşısız bir cevap verebilecek duruma gelecektir, sistem kazancıyla oynayarak daha hızlı bir cevap vermesi sağlanır. Son olarak motor sesi varsa bunu azaltmak için T1 filtre süresi eklenerek hız kontrolörü bulunur.



Şekil 4.22 : Hız kontrolörü parametreleri.

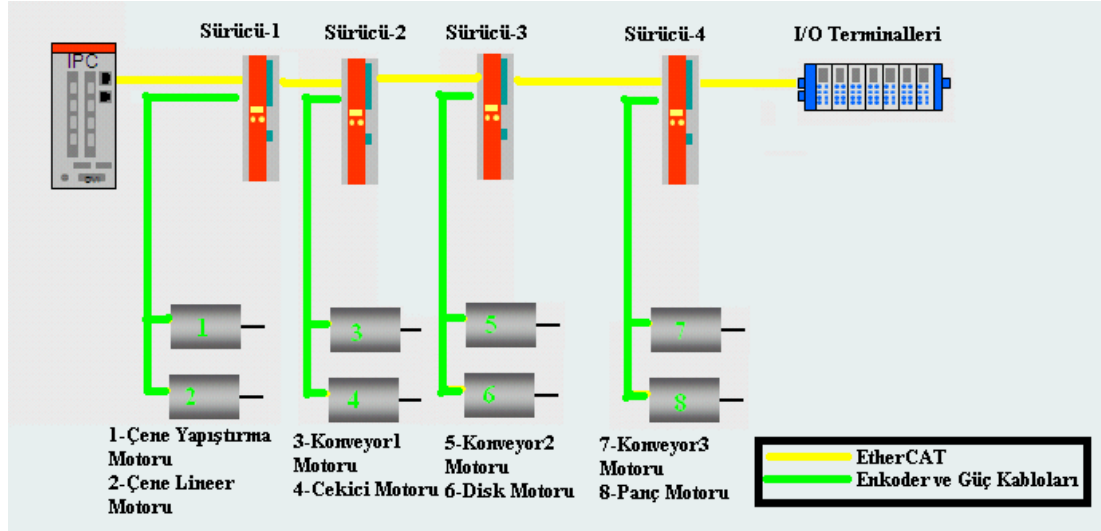
Hız kontrolörünün bir alt katı olan akım katını da ayarlamak gerekebilir, çevirici ayarları buradadır, tutma momentini ayarlamak için ve motordan gelen sesleri düzenlemek için moment kontrolörü ayarlanır. Moment kontrolörünü sürücü ile ilgili parametrelerin yer aldığı I/O konfigürasyonunda kontrolör özelliklerinden yapmak gerekmektedir. Bu ayarlamaların kalıcı olması için değiştirilen parametre ayarları başlangıç listesinde kabul edilmelidir; aksi takdirde sistemin kapanıp tekrar açıldığında yapılan değişiklikler anlamsız olacaktır.



Şekil 4.23 : Akım kontrolörü parametreleri.

5. PROGRAMDA KULLANILAN HAZIR FONKSİYON BLOKLARI

5.1 Kullanılan Elemanlar Genel Görünüm



Şekil 5.1 : Sürücü ve I/O genel görünüm.

Kullanılan herbir servo motor kendi içinde farklı bir algoritma ile kontrol edilmiştir, sürücü konfigürasyonu aynı olmakla birlikte, değişiklikler PLC tarafında yapılmıştır. Uygulamada her bir motor birbirine senkron hareket etmek zorundadır, aksi takdirde malzemede bozulmalar meydana gelmektedir. Bütün motorların hareketini tek bir merkezden kontrol etmek amacıyla bütün motorların elektronik dişli ile bağlı olduğu bir sanal eksen oluşturulmuştur. Harekete başlamadan önce bütün eksenler bu sanal eksene bağlanır ve bu eksen bir yöne hareket ettirildiğinde bütün eksenler aynı anda harekete başlamaktadır. Bu eksenlerin hareketi tanımlanan elektronik dişli fonksiyonlarına ve CAM tablolarında belirlenen eğrilere göre gerçekleşmektedir. CAM ile bağlı olan gerçek eksenlerin hareketini kolaylaştırmak ve istenildiğinde durdurmak amacıyla bu eksenler için sanal eksen tanımlanmıştır. Tanımlanan sanal eksenler CAM eksenleri için ana eksen olurken başta tanımlanan sanal eksene elektronik dişli ile bağlı durumdadır.

Sanal olarak tanımlanmış ana eksene cekici servo motor elektronik dişli olarak bağlanmıştır ve dişli oranı da 1'dir, yani bir diğer dişle cekici servo bu sistemin

ana eksenidir. Bu servo motor rulo halindeki malzemeyi açmak için kullanılmaktadır. Disk servosu da çekici servosu gibi elektronik dişli ile sanal eksene bağlanmıştır, yalnız bu eksenin dişli oranı sabit değildir, istenilen gerginlik oranına göre değişmektedir. Malzemenin gerginlik oranı çekici servo ile disk servosu arasındaki dişli oranı farkıyla sağlanmaktadır. Bu eksenler malzemenin bir tarafının yapıştırılması için kullanılmıştır.

Konveyör bantları da dişli ile sanal eksene bağlıdır. Bantların bağlı bulunduğu sanal eksen de ana sanal eksene dişli oranı sabit 1 olmak üzere bağlıdır, bantların devreden çıkarılması için bu dişli oranına 0 değeri verilir. Konveyörler sırasıyla arka arkaya dişli oranı ile birbirlerine bağlanmıştır. Konveyörler üzerindeki sensörlere göre yapılan ekstra hareketler bu sayede senkronizasyonu bozmamıştır. Asenkron motorlar da hareket eksenini tanımlanmıştır ve bu sayede PLC'den kontrol edilirken servo motorlar ile aynı mantık ile programlanmıştır. Konveyörlerin üzerindeki malzemelerin birbirine girmesini engellemek için dişli oranları PLC çevriminde değiştirilmektedir.

Panç servosu tanımlanan CAM tablosuna göre hareket ettirilmektedir. Bu eksene offset verilmek istendiğinde ekstra hareket bloğu çağırılmıştır. Panç servosu CAM tablosu ile hareket ederken bu eksen için tanımlanmış sanal eksen de merkezde tanımlanan sanal eksene elektronik dişli ile bağlanmıştır. İstenildiğinde bu dişli oranı 0 yapılarak Panç servosu da devreden çıkarılmaktadır. Ekstra hareketler de tanımlanan sanal eksene verilmektedir. Panç servosu rulodan açılan malzeme üzerine delik açmak için kullanılmıştır ve bir tam turu çevresi kadar kalibre edilmiştir, yani çevresi olan 470 mm kadar hareket verildiğinde mekanizma tam bir tur atmaktadır. Bu mekanizma üzerine takılan bıçak sayısı birken sistem daha yüksek hızlara çıkmaktadır, dolayısıyla daha çok zorlanmaktadır. Hareketi rahatlatmak için 180 derece farkla iki bıçak konularak mekanizmanın hızı yarıya indirilmiştir. Burada önemli olan tam kesim anında altından akan malzeme ile senkron hızda olmak ve bir sonraki kesim yerine gelmek için yüksek hızlara çıkmaktadır.

Çene lineer ve çene yapıştırma servoları da Panç servosu gibi tanımlanan CAM tablolarına göre çalışmaktadır. Bu eksenlerin de kendileri için oluşturulmuş sanal eksenleri bulunmaktadır. Çene lineer servosu adından da anlaşılacağı gibi lineer hareket etmektedir. Kesim ve ısıtıcıların bulunduğu sistem çene lineer servosuna bağlı eksen ile hareket ettirilmektedir. Bu mekanizmanın kesim esnasında senkron

hızda olması gerekmektedir ve bir sonraki kesime yetişmesi gerekmektedir. Üzerinden akan malzemenin boyuna göre ölçeklendirecek olunursa, malzemenin %45'inde kesim işleminin bitmiş olması gerekmektedir. %10'una kadar bu eksen durağan kalden senkron hıza çıkmaktadır. %10 ile %38 arasında kesim işlemi yapmak için senkron hızda devam etmektedir. %38 ile %45 arasın senkron hızdan çıkıp bir sonraki çevrime yetişmek için geri dönmektedir. Bu yüzdeler bütün malzemeler için sabittir; fakat tablo sabit olduğu için değişen malzeme boyu için ölçeklendirilmektedir. Çene yapıştırma servosu, hem malzemeyi kesmek için hem de ısıtmak için kullanılmaktadır. Isıtıcılar malzeme üzerine belli bir süre durduktan sonra malzemeyi eritmektedir. Bu yüzden bu sürenin ayarlanabilir olması gerekmektedir. Bu süreyi ayarlamak için CAM tablosunda bulunan noktaların senkron hıza, malzeme boyuna ve istenilen süreye göre ayarlanması gerekmektedir.

Böyle bir sistemin kontrolünde hızlı cevaplar elde edilmesi gerekmektedir, aksi takdirde fire sayısı artmaktadır. En az fire verilmesi için sürücülerin hızlı tepki vermesi gerekmektedir. Sürücülerden alınan bilgilerin hızlı bir şekilde PLC tarafına alınıp, bilginin işletilmesi ve uygun davranışın yapılması gerekmektedir. Hızlı bir haberleşme bu sistem için gereklidir ve bu da etherCAT teknolojisi ile sağlanmıştır. İşlemlerin hızlı bir şekilde yapılması için de endüstriyel bilgisayar kullanılmıştır. Bütün sistemin kontrolü PC üzerinde çalışan Twincat programı ile uyumlu bir şekilde programlanmıştır. Böylece komple sistem gerçek zamanlı olarak kontrol edilmiştir.

5.2 Uçan Testere

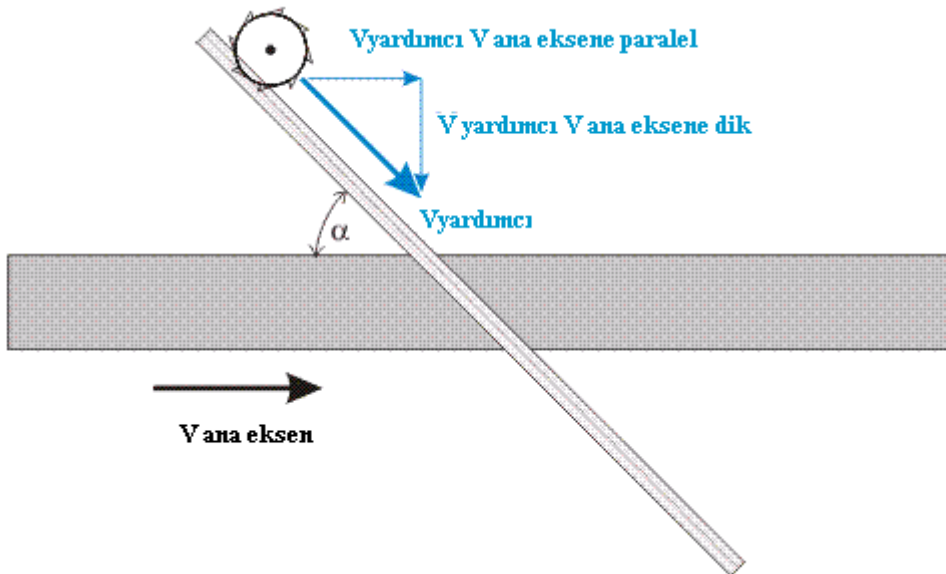
Uçan testere prensip olarak bir eksenin ikinci bir eksene senkronize olma işlemidir. Birinci ve ikinci eksen birbirleriyle aynı hızda hareket ederken, bir kesme işlemi ya da herhangi başka bir işlem yapılabilir. Kesme işlemi bir kere bittikten sonra testere bir sonraki harekete hazır olmak için başlangıç pozisyonuna gider. Kontrolör tarafından, senkron olması istenilen eksenin uzunluğu ve hızına bağlı olarak başlama anı hesaplanır ve optimize edilir.

Eğer bir sonraki pozisyona kadar yardımcı eksen hazır olamıyorsa buna sebep olan 2 etmen olabilir; bunlardan birincisi ana eksenin çok hızlı olmasıdır, ikincisi ise çok kısa mesafede bir senkronizasyon istenmesidir. Bu durumda ikinci eksen ana eksene yetişemediği için kesim kaybı olarak çıkış verilir.

Malzemeye göre yardımcı eksen konfigüre edildikten sonra kontrolör tarafından ayarlanır. Senkronizasyon için eksen her çevrimde pozisyona göre hesaplanan değer ile beslenir. Bir sonraki başlangıç noktası için ulaşma zamanı ayarlanır.

5.2.1 Uçan testere paketi

Uçan testere hareket eden bir eksene senkron olan yardımcı eksenin bağlanma işlemidir. Yardımcı eksen ana eksene operasyonel bir işlemi gerçekleştirmek için senkron olur. Bu şekilde bir ana eksene senkron olma işlemi, bir makina iletim halindeyken o işlemin yapılabileceği anlamına gelmektedir. İki farklı uçan testere vardır, universal uçan testere ve normal uçan testere arasındaki fark yardımcı eksenin senkron olmasındaki ilk durumların farklı olabilmesidir. Universal uçan testere, normal uçan testerenin aksine, yardımcı eksen harekete başladıktan sonra da senkronizasyonu sağlayabilir ki bu yüzden eksenin durağan olması zorunlu değildir. Universal uçan testere, geliştirilen ayar değer profillerini hesaplayabilir, bu koşulların kullanıcı tarafından geniş sınırlar içinde değiştirilebilme imkanı vardır. Ana eksen ile yardımcı eksen arasındaki senkron durum için hız oranı kuplör faktörü parametresi ile belirtilir. Kuplör oranının 1 olduğu durumda yardımcı eksen ana eksene senkron hareket ederken paralel bir şekilde aynı yönde ve aynı hızda eşlik eder.



Şekil 5.2 : Uçan testere genel.

Universal uçan testere uygulaması en genel şekilde iki tip senkronizasyonu destekler. Hıza senkronizasyon uygulamasında yardımcı eksen ana eksene mümkün olan en hızlı şekilde senkron olur. Buna göre ana eksen ile yardımcı eksenin senkron olacağı pozisyon eksen dinamiklerinin izin verdiği sınırlar içinde en hızlı şekilde hedef olarak belirlenir. Tam tersinde ise, ana eksen ile yardımcı eksenin senkron olma pozisyonu kullanıcı tarafından senkronizasyon pozisyonu parametresinden ayarlanabilir. Bu durumda ana ve yardımcı eksen hareketleri son pozisyonlarından senkron olma pozisyonu doğrultusunda olur. Bütün senkronizasyon yöntemlerinde, senkronizasyon fazını belirleyici sınır koşullarında izin verir.

Hıza Senkronizasyonda hız oranı aşağıdaki gibidir:

$$V_{yardimci} = F_{kuplöroram} \times V_{ana} \quad (5.1)$$

5.2.2 Senkronizasyon işlem sırası

Ana Eksene, yardımcı eksenin senkronizasyon işlemi aşağıdaki sırayla gerçekleşmektedir:

1. İlk olarak universal uçan testere başlatılır. Bu lojik olarak yardımcı eksenin ana eksene bağlanma işlemidir. Yükselen kenar tetikleme başlatma için yeterlidir. Bu zaman bağlama zamanı olarak geçmektedir.
2. Senkronizasyon fazı: Yardımcı eksenin ilk koşullarında belirlenen sınır koşullarına göre hızlanmaya başladığı durumdur. Senkronizasyon fazından senkron faza geçiş süresine senkronizasyon zamanı denir.
3. Senkron faz: Yardımcı eksen ana eksenle senkron hareket eder.
4. Universal uçan testereden ayrılma durumu. Ana eksene bağlanmış yardımcı eksen senkron durumdan ayrılır ve bağımsız bir ana eksen olurken hızında bir değişiklik olmadan devam eder.
5. Yardımcı eksen ya durur ya da işleme yeniden başlar.

5.2.3 Pozisyona senkronizasyon

Bu modda yardımcı eksenin ana eksene kullanıcı tarafından belirlenen pozisyonda senkron olma işlemidir. Bunun anlamı verilen senkronizasyon pozisyonunda ana eksenle yardımcı eksen aynı hızda olur ve bundan sonra ana eksene senkron devam eder. Bu modda da senkronizasyon prosedürü aynı adımları izler.

5.2.4 Parametrelendirebilir sınır koşulları

Prensipte, ana eksen ile yardımcı eksenin birbirine senkronizasyonu için herhangi bir başlangıç kosulu için uygulanabilir yapıdadır. Yardımcı eksenin ilk koşulundan senkron hale geçişi kullanıcı tarafından tanımlanabilen sınır koşulları ile belirlenir ve daha sonra hep bu şekilde bir geçiş sürekli hale getirilir. Sınır koşullarının uygulanmasındaki amaç ise yardımcı eksenin maksimum hızını sınırlamak ya da pozisyonda aşım yapmasını engellemektir.

Sınırlar koşullarının parametrelendirilebilir olması senkronizasyon fazı için karakteristik değerlerin belirlenmesinde önemli rol oynar. Karakteristik değerlerin belirlenmesinde, ideal çıkarım ana eksenin senkronize olma zamanından sonra ivmesiz bir şekilde yani sabit hızda ilerlediği durumdur. Tam hesaplama ve kontrolün yapılması için bu durumun oluşması gerekmektedir. Ana eksenin senkrona girme zamanından sonrası için yapılan başka bir çıkarım içinde olması mümkün değildir.

Ana eksenin hızlanma eğilimde olması durumunda bu yardımcı eksen de etkileyecektir ve bu da senkronizasyona doğrudan etki etmektedir. Ana ekseninde meydana gelebilecek ivmelenme, ivmelenmenin şiddetine göre bazı durumlarda hesaplamalarda değişikliğe neden olur ki bu da bazen aşım bazen düşüm şeklinde meydana gelir.

5.2.5 Senkronizasyon koşulları

Uçan testere için eksen senkronizasyonu en genel şekilde yardımcı eksenin ivme parametresine bağlıdır. Senkronizasyon koşulları aşağıdaki eksen değişkenlerine bağlıdır:

1. Yardımcı eksen senkronizasyon pozisyonu,
2. Yardımcı eksen temel pozisyonu, lojik olarak bağlanma pozisyonu,
3. Ana eksenin senkronizasyon pozisyonu,
4. Lojik olarak ana eksenin bağlanma pozisyonu (ana ve yardımcı eksenin bağlanma pozisyonu),
5. Dinamik ana eksen bağlanma pozisyonu (yardımcı eksenin dinamik başlamasına bağlı ana eksen pozisyonu)

Yardımcı eksen durağan halden senkron hale gelebilmesi için belli bir zaman geçmesi gerekir. Bu zaman süresince ana eksen dinamik bağlanma pozisyonundan

senkron pozisyonuna kadar olan yolu alır. Bunun anlamı yardımcı eksen senkronizasyon pozisyonu, yardımcı eksen bağlanma pozisyonu, ana eksen senkronizasyon pozisyonu, dinamik ana eksen bağlanma pozisyonundan 3'ü birbirinden bağımsızdır dinamik ana eksen bağlanma pozisyonu buradan çıkarılır. Bu pozisyonlar arasındaki temel ifade aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} &| \text{Dinamik ana eksen bağlanma pozisyonu} - \text{Ana eksenin} \\ &\text{senkronizasyon pozisyonu} | = \\ &2 \times | \text{Yardımcı eksen bağlanma pozisyonu} - \text{Yardımcı eksen} \\ &\text{senkronizasyon pozisyonu} | \end{aligned} \quad (5.2)$$

Bu denklemden de anlaşılacağı üzere dinamik ana eksen bağlanma pozisyonu ile senkronizasyon pozisyonu arasındaki mesafe, yardımcı eksen bağlanma pozisyonu ile senkronizasyon pozisyonu arasındaki mesafenin 2 katından fazla olması gerekmektedir. Başlangıçta, iki eksenin de senkronizasyon pozisyonu ile yardımcı eksenin bağlanma pozisyonu bilindiği için ana eksen dinamik bağlanma pozisyonu bu değerlerden hesaplanabilir. Eğer ana eksen, bağlanma pozisyonuna yardımcı eksen yetişemeyecek kadar yaklaştığı için senkronizasyon gerçekleşmez ise, bağlanma bir hata mesajı ile iptal edilir.

5.2.6 Programda kullanılan uçan testere

Uygulaması yapılan uçan testerede paketinde bir eksenden devamlı akan bir malzeme bulunmaktadır. Uçan testere fonksiyon blokları ile ana eksene bağlanacak yardımcı eksen ise bu akan malzemeyi istenilen yerlerde kesmek için optimize edilmiştir. Ürün boyu PLC çevriminde anlık olarak değişebilmektedir ve değişen ürün boyu senkronizasyon pozisyonunu değiştirmektedir. Ürün boyuna göre senkron hareket eden eksen senkron dan çıktıktan sonra geri dönüp tekrar başlangıç noktasına dönmesi gerekir; aksi takdirde bir sonraki kesim için yetişmek mümkün değildir. Eğer senkron olması istenen motorun dinamik performansı uygulama için yeteri kadar iyi değilse belli bir hızdan sonra istenen zamanda senkron hıza ulaşamadığı için senkron olması mümkün olmamaktadır.

Uçan testere bağlanma fonksiyon bloğuna giren büyüklüklere bakacak olursak; dişli oranı ana eksen ve yardımcı eksen senkronizasyon pozisyonlarıdır. Diğer büyüklükler hız, ivme gibi değişkenler olup genellikle sabit olmaktadır. Her çevrim değişmesi gereken büyüklükler ana ve yardımcı eksenin senkron pozisyonlarıdır, bu

büyüklikler hesaplanıp bir sonraki çevrimde senkronizasyon pozisyonunu belirler. Kullanılan diğer blok ise bağlı olan eksen ana eksen den ayırma bloğudur. Eksen bağlandıktan sonra bu blok çağırılıncaya kadar yardımcı eksen ana eksene senkron bir şekilde hareket eder, yani senkronizasyonun uzunluğunu bu blok belirler. Senkronizasyondan çıktıktan sonra eksen hareket edebilir, hareket etmemesi için durdurma komutu ya da yeni bir pozisyona gönderme bloklarını kullanılabilir. Yapılan uygulamada dönel hareket lineer bir harekete dönüştürüldüğü için senkronizasyondan sonra eksen ilk pozisyonuna götürmek gerekmektedir. Senkronizasyondan çıktıktan sonra eksen başlangıç pozisyonuna gönderilmelidir. Hesaplanıp ilk pozisyona göndermek için birden fazla blok seçmek mümkündür, mutlak ya da relatif pozisyonlama blokları kullanılabilir. Genellikle mutlak pozisyonlama kullanmak daha doğrudur; bir diğer yöntemde hesaplanan senkronizasyon pozisyonun tam tersi yönde aynı miktarda relatif hareket vermek de eksen i aynı yere, yani başlangıç pozisyonuna getirecektir. Anlatılmak istenen bir hareketi sadece bir şekilde yapılması gerekmez, farklı fonksiyon blokları ile aynı sonuçları oluşturmak mümkündür. Uygulamada senkronizasyondan sonra ilk konuma gelmek için kullanılan fonksiyon bloğu mutlak pozisyonlama bloğudur. Uçan testereye ilişkin yapılan hesaplamalar aşağıda verilmiştir:

```
Mpos := NcToPlcMaster.fPosIst;  
iMpos := LREAL_TO_DINT(Mpos / 1000.0);  
Mpos := iMpos * 1000;  
CouplePos := Mpos + 1000;  
SyncPosMaster := CouplePos + 500;  
SyncPosSlave := 200.0;  
StopPosMaster := SyncPosMaster + 1000;
```

Mpos ile yazılan kısımda NC'den alınan ana eksenin anlık pozisyonu iç bir değişkene atılmaktadır, iMpos değişkenine bu değer 1000'e bölünüp ondalık bir sayıdan tam sayı değere çevrililmektedir ve tekrar 1000 ile çarpılmaktadır, bunu yapmaktaki amaç bir sonraki senkronizasyonun pozisyonu belirlerken ondalık sayılar yerine tam sayılarla uğraşarak işlemi kolaylaştırmak içindir. Uçan testere prensbine uygun olarak sürekli artan ana eksen değeri vardır ve yardımcı eksen belirli

pozisyonlar arasında hareket etmektedir. Ana eksenin sabit hızda devam ettiği için hesaplamalar daha kolay olmaktadır, eğer ana eksen ivmeli hareketler yapsaydı daha karışık hesaplamalar yapılması gerekecektir. CouplePos değişkeni burada uçan testereyi aktif etmek için eksen pozisyonu ile karşılaştırma yapmak ve tetik vermek için kullanılmıştır. SyncPosMaster ve SyncPosSlave değişkenleri ise ana ve yardımcı eksenlerin senkronizasyona girme pozisyonlarını ifade eder, tetik verildiğinde eğer eksenler bu pozisyonları geçmişse senkronizasyon işlemi başarısız olur, bu sebepten tetiğin daha önce verilmesi gerekir. StopPosMaster değişken ise eksenlerin beraber senkron hareket edeceği mesafeyi belirlemektedir, bu değere göre ana eksen senkrona girdikten sonra 1000 mm ileriye gitmektedir, yani iki eksen beraber 1000 mm hareket edecek şekilde düzenlenmiştir. Uygulamada 1000 mm yerine iç bir değişken tanımlanarak ürünboyu girilerek değişen ürün boyu için adapte edilmiştir. Senkrondan çıktıktan sonra ilk pozisyonuna gönderilmiştir.

Uygulamada rulo halinde bir paket folyosu açılarak konveyör ile sürülmektedir daha sonra belirlenen paket boylarına göre kesilmeleri gerekmektedir. Yalnız buradaki sorun paket boylarının çok değişken olmasıdır, küçük boylardan büyük boylara kadar çıkabilmektedir. Daha büyük paket boyları için senkrondan çıktıktan sonra yardımcı eksenin diğer pakete senkron olabilmesi için bekleyecek yeterli zamanı bulunmaktadır; fakat paket boyu küçüldüğü zaman yardımcı eksen senkrondan çıkar çıkmaz bir sonraki senkronizasyon için yeniden senkrona girmesi gerekir. Burada senkrona girme tetiğinin pozisyon değerinden daha önce verilmesi gerekmektedir, yavaş hızlar için bu mümkün olabilmekteyken yüksek hızlara ulaşıldığında senkronizasyonun kaybolduğu gözlemlenmiştir.

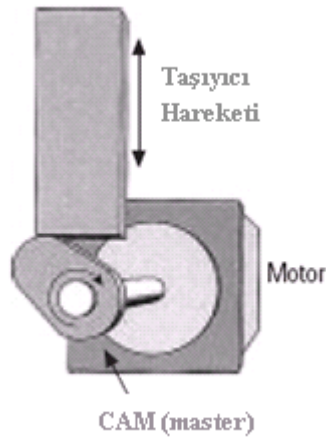
Uçan testere prensibine bakıldığında genellikle daha uzun pozisyonlarda senkronizasyonun istendiği yerlere uygun olduğu anlaşılır. Bir sonraki senkron olma pozisyonunun eksenin bu noktayı geçmeden hesaplanıp verilmiş olması gerekir. Bu uygulamalarda genellikle yardımcı eksen belli bir süre ana eksene senkron olup beraber hareket eder sonra senkrondan çıkıp ilk pozisyonuna döner ve bir sonraki tetik için bekler. Fakat sürekli bir hareket genellikle beklenmez.

Eksen dinamiklerini yani hızlanma ve yavaşlama profillerini artırmak yüksek hızlara çıkıp senkron olmak için yeterli olmuştur fakat bu tarz çalışmada çok ani hareketlerle karşılaşmış ve mekanik sistemin bu zorlanmalara fazla dayanamacağını da göz önüne alarak başka bir çözüm aranmıştır.

Amaçlanan yardımcı eksenin hiç durmadan daha yumuşak hareketler yapmasını sağlamaktır, aslında bu da bir kere senkron olup daha sonra belirlenen profile göre hareketi vermektir. Yani yardımcı eksenini bir fonksiyona bağlayarak, eksenin anlık değerleri bu fonksiyon ile belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda uçan testere yerine CAM tablosu kullanılmıştır.

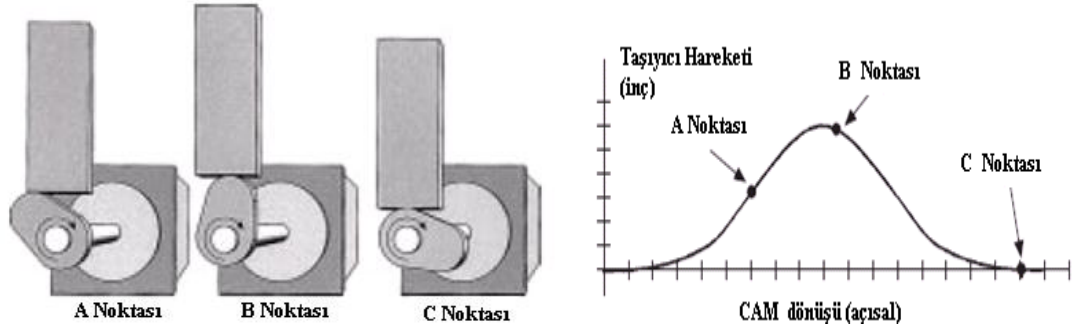
5.3 Mekanik CAM Genel Özellikleri

CAM sistemleri otomasyonda yüzyıllardır kullanılmaktadır. Leonarda Da Vinci CAM ile başarılı olacak potansiyel hareketleri yapacak bir birçok CAM mekanizması çizmiştir[12]. Şekil 5.2’de mekanik CAM ile taşıyıcı örneği verilmiştir. CAM sabit hızda dönen bir motor miline bağlanmıştır. CAM tam bir daire olmadığı için taşıyıcıya CAM profiline bağlı olarak lineer bir hareket verilmektedir. İstenilen harekete bağlı olarak CAM’ın şeklinin değişmesi gerekmektedir. CAM kullanmanın bir avantajı sürekli tekrar edilebilir ve geçici ara verilebilen bir hareket elde edilmesidir.



Şekil 5.3 : CAM ile hareket ettirilen taşıyıcı.

Makina üreticileri CAM üretme konusunda çok iyi adapte oldular ve standart haline gelen CAM’lar geliştirilmiştir. CAM profilleri ana eksen ile takip edici eksen (taşıyıcı) arasındaki pozisyonel ilişkiyi meydana getirmektedir bunu Şekil 5.3 resmetmektedir. CAM sistemlerinin vazgeçilmez özelliği ana ve yardımcı eksen arasındaki ilişkinin devamlı tekrar etmesidir. Ana ve yardımcı eksen pozisyonları senkron olduktan sonra CAM noktasının her yerinde bu ilişki devam eder[12].



Şekil 5.4 : CAM profiline göre taşıyıcı hareketi.

CAM'lar mekanik cihazlarda istenilen hareketi istenilen bir yüzeye göre şekillendirme olup, çok yaygın kullanılmaktadır. En çok kullanılan CAM profili dairesel ark CAM tipidir, bu şekilde adlandırılmasındaki neden dairesel arkların bir birleşimi olmasındandır. Bu tipte CAM'lerin üretimi kolaydır ve ölçeklendirmek de kolay olduğu için küçük olması gereken yerlerde de tercih edilir. Üretim olarak da basit bir yapısı vardır ve ekonomik şekilde imal edilebilir[13].

Literatürde dairesel ark CAM dizayni ve sentezi için sistematik metod eksikliği bulunmaktadır. Metodu dört adımda anlatılmıştır:

1. CAM profiline uyan geometrik model inşa edilir.
2. Homojen koordinatlar geçişi ile CAM profili denkleminin türevleri elde edilir.
3. Dizayn edilen CAM'ın kinematik karakteristiği analiz edilir.
4. CAM profilinin karakteristik çözümlmelerine bağlı olarak makinaya işlemesi için NC bilgisi elde edilir.

Bu metodoloji kullanılarak elde edilen CAM'ları mekanik cihazlarda kullanmak mümkündür; fakat çok zahmetli bir işlem olmakla beraber hesap hatalarından doğacak yanlışlıklar, yanlış hareket profili ve mekanik sonuçlar getireceğinden yapım aşamasında dikkatli olunması gerekmektedir.

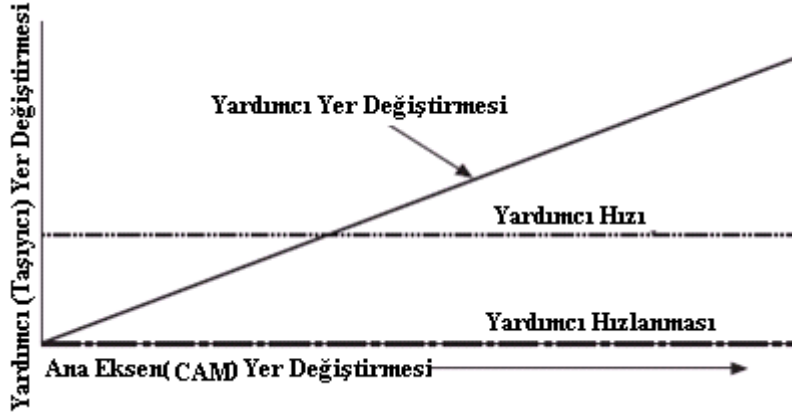
Bunun yerine günümüzde elektronik CAM'ların kullanımı yayılmaktadır. Elektronik CAM'larda değişiklik PLC çevriminde bile yapılabilmektedir. CAM profilini tanımlayan noktalar tanımlanır ve bu noktalar arasında matematiksel bir bağıntı tanımlanarak bu bağıntıya göre yardımcı eksen hesaplanan noktalara hareket eder.

5.3.1 CAM profil tipleri

Ortak amaç için kullanılabilen birçok CAM profili vardır. Ana ve yardımcı eksen arasındaki matematiksel ilişkiye dayanan bu profiller hakkında kısa bilgi verilecektir.

5.3.1.1 Sabit hız CAM profili

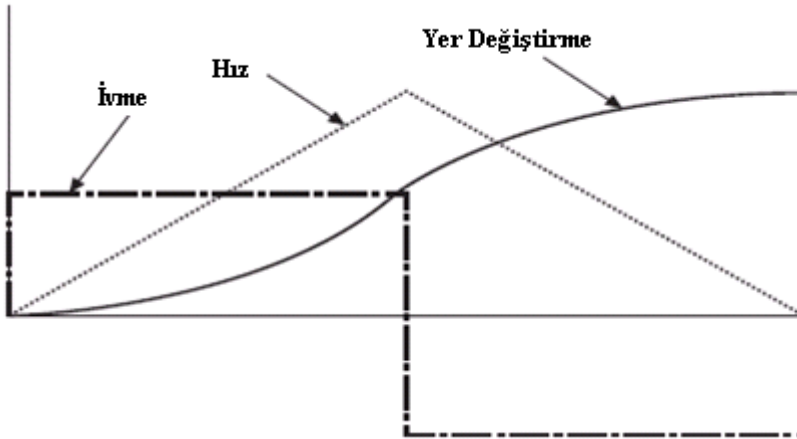
Anlaşılması en basit olan CAM'dır. Sabit Hız CAM'ları dişli kutularına benzemektedir tek farkı hareketi analog olarak vermeleridir. Dişli kutularında ana ve yardımcı eksen arasında sabit bir dişli oranı bulunmaktadır. Şekil 5.4'te yardımcı eksen hızı sabit verilmiştir, pozisyonu linner olarak artmaktadır ve ivme değeri her zaman sıfırdır.



Şekil 5.5 : Sabit hız CAM profili.

5.3.1.2 Sabit ivme CAM profili

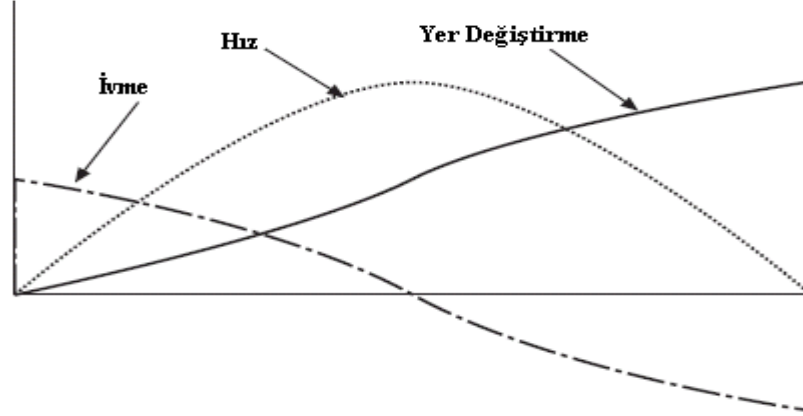
Bu CAM profili yardımcı eksene sabit ve lineer ivme üretirmek için yapılır. Bu profilde pozisyon nonlineer olarak artarken, hız da lineer olarak artar ve azalır, ivme sabit bir şekilde değişim gösterir ve profilin ortasından sonra ters yönde sabit bir değere gelir. Bu tipteki profil hareket sistemlerinde çokça karşılaştığımız üçgenel hareket profilini tasfir eder.



Şekil 5.6 : Sabit ivme CAM profili.

5.3.1.3 Harmonik CAM profili:

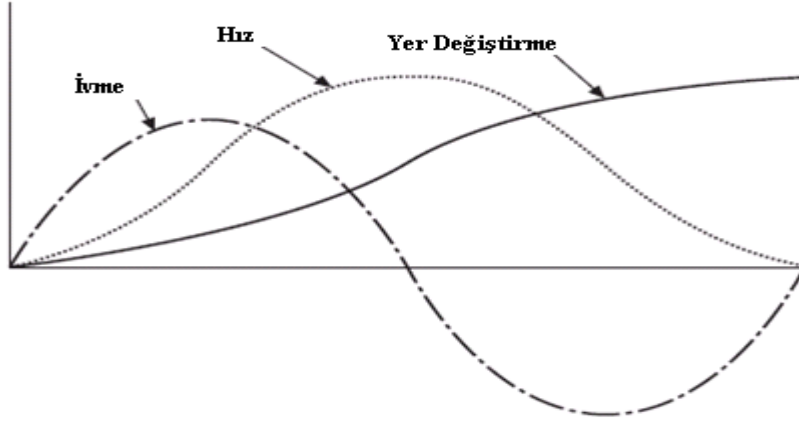
Harmonik CAM profili de CAM sistemlerinde sıkça kullanılan bir profildir. Şekil 5.6'da ana eksen ile yardımcı eksen arasındaki ilişkiyi görmek mümkündür. Pozisyon değişim eğrisi sabit ivme profiline benzemektedir, fakat bu profilde hız da parabolik değişmektedir. Bu profilde ayrıca, sabit ivme profilinin orta noktasındaki anlık hız değişimi de elimine edilmiş olur. Bu sayede yardımcı eksen daha yumuşak hareketler yapabilmektedir. Fakat başlangıç ve bitiş noktalarında anlık hız değişimleri görülmeye devam edilir. Şekil 5.4 ve 5.5'te görülen grafiklerde anlık hız değişimlerine neden olan dikey eğriler hızlanma eğrileridir, bu noktalar mekanik sistemin ani hareketler yapmasına neden olan yerlerdir ve genellikle kaçınılması gerekir.



Şekil 5.7 : Harmonik CAM profili.

5.3.1.4 Dairesel CAM profili

Son olarak dairesel CAM profili üzerinde durulabilir. Şekil 5.7' de bu profili görmek mümkündür. Birçok uygulamada, dairesel CAM profili tercih edilmesinin nedeni harmonik ve sabit ivmeli profillerde karşılaşılan ani hız değişimlerinin elimine edilebilmesidir. Hızlanma değişimi için sinus kullanılarak hız geçiş noktalarını yumuşatmaktadır, bu sayede uygulanması kullanışlıdır.



Şekil 5.8 : Dairesel CAM profili.

CAM tipleri genel olarak ikiye ayrılır, karşılıklı ve çevrimsel. Şekil 5.2' de gösterilen taşıyıcı sistem karşılıklı CAM için güzel bir örnektir. Karşılıklı CAM'larda taşıyıcı hep ilk noktasına dönmektedir. Çevrimsel CAM'larda tekrarlı hareketler meydana getirir; fakat dönüş noktası ilk başladığı yer değil toplayarak başka noktaya gider. CAM ile sürülen dizinleme konveyörü çevrimsel CAM'a güzel bir örnektir. Dizinleme konveyörü verilen bir noktaya gider, durur ve sonra tekrar ileri gider. Bunu yaparken Konveyör uzaklığı sürekli artar.

5.3.2 Kübik dişli konsepti

Elektronik CAM anlatmak için kübik dişli konseptine de değinmek gerekmektedir. Kübik dişli konsepti iki nokta arasındaki en uygunluğu veren matematiksel ifadedir. Kübik dişli CAM uygulamalarında çok yardımcı olur; çünkü biten bir CAM bölümünün arkasından başlayan yeni bölüm aynı dişli oranıyla başlamayabilir, kübik dişli bu yapıya olanak sağlar. Bu yapı yüksek ivme, anlık hız değişimlerine de engel olur. Kübik dişli yapısı denklemi aşağıdaki gibidir:

$$y = Ax^3 + Bx^2 + Cx + D \quad (5.3)$$

(5.3) nolu denklemde y yardımcı eksen anlık pozisyonunu x ise ana eksen anlık pozisyonunu ifade eder. A,B,C,D katsayıları eğrinin şeklini belirler, yani olması istenen jerk, ivme, hız pozisyonu belirler.

Hareket kontrolü sistemlerinde daha karmaşık CAM eğrileri kullanılabilir ve bu eğriler kullanıcı için hesaplanıp oluşturulur. Farklı dişli oranlarının bulunduğu CAM bölümleri kolaylıkla birleştirilir. Fakat emin olmak için CAM eğrisinde bölüm

geçileri arasında bazen yüksek hız değişimleri oluşabilir, bu yüzden pozisyona göre çizilen CAM eğrilerinin yanında hız eğrilerini de incelemek önemlidir.

5.4 Elektronik CAM Dizaynı

Hareket kontrol sistemleri arttıkça, mekanik sistemlerin fonksiyonlarını kopyalanması mümkün hale gelmiştir. Mekanik CAM'daki temel eksiklik kullanılacak CAM işlendikten sonra eğer değiştirilmek istenirse yeniden yapılması gerekmesidir. Bu protitip yapılacak makinalar için önemli bir sorun teşkil etmektedir; çünkü hareket profilleri deneysel olarak bulunur. Mekanik CAM yerine PLC kullanıldığında değişmesi gereken eğriler kolay bir şekilde hızlıca modifiye edilebilir. Elektronik CAM servo motor ve diğer ekipmanlara dayalı mekanik CAM'ın yaptığını simule eden elektronik bir ekipmandır[14]. Ayrıca hafızada bulunan profil tiplerine göre optimize edilerek değiştirilebilir. Dahası mühendisler, daha önceden yapılamayan makinaları elektronik CAM ile aşına olduklarında yapılabilir hale getirebilir. İlk başta verilen taşıyıcı örneğini elektronik CAM ile yapılmasını göz önüne alınacak olursa:

Elektronik bir sistem aracılığı ile motorun dönmesi enkoder ile algılanır. Mekanik olarak dizayn edilen parça yerine hareket kontrolöründe bu şekle karşılık eğriler saklanır. Hareket kontrolörü orijinal motor hareketine bağlı olarak servo motora gitmesi gereken yeri hesaplayarak belirler. Hareket kontrolörü birçok hareket profilini hafızasında bulundurduğu için, CAM-taşıyıcı arasındaki bağıntı bu profilin değişmesiyle kolaylıkla yeni şeklini alır. Bu uygulama için elektronik CAM kullanmak daha hızlı çevrim süreleri elde etmeye olanak sağlar.

5.4.1 CAM ile daha karmaşık bir uygulama 'döner bıçak uygulaması'

Döner bıçak uygulaması dönüştürme ve baskı endüstrilerinde sıkça kullanılmaktadır. Döner bıçak mekanizması, bir eksene bağlanmış bıçak ağzından oluşmaktadır. Silindir döndükçe bıçak altından geçen malzemeyi kesmektedir[12]. Bıçağın tanjant hızı altından geçen malzemeye eşit olduğunda, kesilen malzeme boyu bıçak çevresine eşit olur. Eğer tanjant hızı akan malzemedan daha büyük olursa daha kısa boyutlu kesimler elde edilir.

En iyi kalitede ve malzemeye zarar vermeden kesebilmesi için, kesim esnasında altından geçen malzeme ile bıçağın lineer hızı eşit olmalıdır. Eğer kesilmesi gereken

boyut bıçak çevresinden kısa olması isteniyorsa, bıçak kesme esnası dışında daha hızlı hareket eder ve daha sonra yavaşlayarak bir sonraki kesime yetişebilmesi gerekir. Tam tersi durumu da geçerlidir, daha uzun kesim boyu için bıçak kesim dışında daha yavaş gider ve keserken gene aynı hıza ulaşması gerekir.

Birçok elektronik hareket kontrol sistemi bu yapıya kolayca adapte olurken elektronik dişli ve dişli üzerine eklemeli hareket potansiyeli kullanır. Fakat döner bıçak uygulamasında bu denemeyi yaparken zorlukla karşılaşılır çünkü bıçak bütün bir hareket boyunca direkt olarak dişli oranı ile çalışmaz. Bu uygulama için elektronik CAM en ideal seçimdir.

5.4.1.1 Elektronik CAM'dan önce tasarım

Elektronik CAM'in özelliklerini daha iyi anlamak için, CAM olmayan bir hareket kontrolörü kullanıldığında dönel bıçağın kontrolü için nasıl bir yöntem izlendiğine bakmak gerekir:

1. İlk önce elektronik dişli oranı tanımlanır ve aktif edilir (bıçağın altından akan malzemeye senkron hızda dönmesi sağlanır).
2. Ana enkoderden kesiciye gelecek olan ürün boyuna göre hızlanma ya da yavaşlama talimatı beklenir.
3. Kesim noktasından senkron hız üzerinde ekstra bir hareket yaparak kesim boyuna ulaşılır.
4. Ekstra hareket yapıldıktan sonra kesicinin bir sonraki hızlanma yavaşlanma noktası hesaplanır.
5. 2.adıma dönülüp ana enkoderden gelecek olan talimata göre davranılır.

Bu yöntem aslında çok basit durmaktadır, fakat bazı ince noktaları da bulunmaktadır. Hızlanma ve yavaşlama yerlerini iyi analiz etmek gerekir ve sistem dinamiklerini göz önünde bulundurmamak lazımdır. Pozisyon düzeltmek için hız değişim noktalarında ani ivme değişimleriyle karşılaşılabilir. Bunun nedeni de zaten yüksek hızda olan bir motora hızlanma veya yavaşlama yapıldığında motor maksimum hızına ulaşmadan izin verilen değerler içinde kalacak şekilde ulaşılması gereken hıza gelme ihtiyacından doğmaktadır. Bu özellik daha düşük hat hızlarını için daha tolere edilebilir; fakat en kötü seneryo düşünülerek yüksek hızlar için hızlanma profili belirlenmelidir. Bazen yavaşlama yapılması istenildiğinde hat hızının da altına

inilerek ters yönde bir hareket görmek mümkündür ki, bu en kötü senaryodur çünkü kesici kesme yüzeyi ile tekrar buluşabilir ve kesme yönünün tersindeyken temas eder. Bu operasyon malzemenin ya da kesicinin hasar alması ile sonuçlanır, bu yüzden eskiden böyle durumları da göz önüne alarak tasarım yapılması gerekmektedir.

5.4.1.2 Elektronik CAM kullanarak tasarım

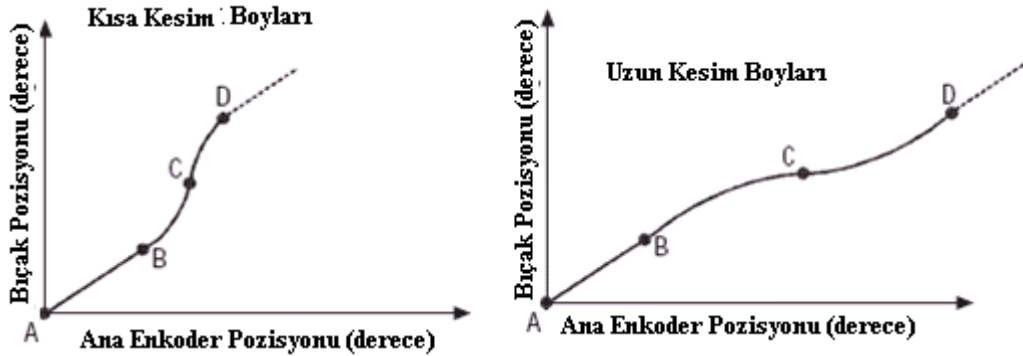
Aynı uygulama için Elektronik CAM kullanmak oluşabilecek hataları düzelttiği gibi hareket programını da basitleştirmektedir. Hareket yapısı şu şekildedir:

1. Referans aldırılan kesici kesmesi gereken noktaya gelir ve CAM ile ana eksene bağlanır.
2. Elektronik CAM'a göre hareket edilir.

Bu yöntemle göre kesici belirlenen hız ve ivme profillerine göre hareket eder, ani hız değişimlerinden öte istenen şekilde yumuşatılmış hareketler görmek mümkündür. Yöntemin ters gitmeyi engelleyici bir artışı bulunmaktadır. Ayrıca değişen kesim boylarında yapılması tek gereken oluşturulan tabloyu ölçeklendirmektir.

CAM profili şu bölümlerden oluşmaktadır:

1. Sabit hız bölümü (kesim anındaki hız)
2. Hızlanma bölümü
3. Yavaşlama bölümü



Şekil 5.9 : Boy uzunluğuna göre bıçak pozisyonu.

Yardımcı eksen hareketi hesaplanan pozisyonlara göre davranır. Bu hesaplama kübik B-eğrilerine göre interpolate edilip, optimizasyon algoritmasının birleşimi ile elde edilir. Optimizasyon hız, ivme, ivmenin türevi gibi değişkenlerin limitlerine göre en iyi sonucu verme şeklindedir. B-eğrileri CAM eğrilerine göre ana pozisyonlara en iyi uyan eğriyle hesaplanır. Bu hesaplama için lagrange interpolasyonu kullanılarak

lagrange eğrisi üretilir. Bu yöntem ile ölçüm hatası, tahmin edilen yörünge gürültüleri gibi büyüklükler ortaya çıkmaktadır. Ana eksenin hızı yük ve dış etmenlerin eklenmesi sonucu değişebilir. Sonuç olarak ana eksen her zaman sabit hızda devam etmez ve ortaya harmonikler çıkar. Hız tahmini metoduyla harmonikler ne kadar azaltılsa da, hızda değişimler görmek mümkündür. N.dereceden polinom uydurma yöntemi kullanarak ana eksen hızı zamana göre şu şekilde ifade edilir[15].

$$\omega = \sum_{i=0}^N c_i t^i \quad (5.4)$$

Bu denklemdeki sabit C katsayılarını bulmak için iki prosedür vardır. Birinci prosedürde, $t = kT, 1 \leq k \leq N + 1, k - 1$ inci dereceden polinom ekstrapolasyon yapılır. k gerçek zamanlı sayıcının sembolüdür. T de PC-tabanlı programın örnekleme zamanıdır, kT geçen zamanı ifade etmektedir.

Ana prosedürde $t = kT, 1 \leq k \leq N + 1$ sabit N.dereceden ekstrapolasyondur:

$$\sum_{i=0}^N c_i (j.T)^i = w_l, l = (k - N - 1) \text{ to } (k - 1), \quad (5.5)$$

$$j = l - (k - N - 1)$$

5.5 CAM İşlemleri

Birçok uygulamada iki veya daha fazla eksenin senkronizasyonu gerekli olabilir. Bir ana eksenin kontrolü aktif olarak yapılır, ona bağlı eksenlerin pozisyonları NC tarafından hesaplanıp eksenler kontrol edilir.

En basit eksen bağlama tipi sabit bir dişli oranı ile lineer bağlamadır. Fakat bazı uygulamalar o kadar basit değildir, bazen ana eksen ile yardımcı eksen basit bir matematiksel formül ile ifade edilmeyebilir, böyle durumlarda yardımcı eksenin pozisyonu ana eksenin her pozisyonuna göre oluşturulup bir tablodan alınır.

Twincat NC-PTP kullanıldığında yardımcı eksen ile ana eksen arasında bir hareket fonksiyonu tanımlanması işleminde bir kaç referans nokta tanımlanır ve yardımcı eksenin pozisyon ve hızı bu noktaların oluşturduğu fonksiyon ile interpolate edilir.

Genellikle, ana eksen ile yardımcı eksen arasında elektriksel olarak non-lineer bağlanma cam disk olarak adlandırılmaktadır. Twincatte bu tarz eksene bağlanma için çeşitli opsiyonlar bulunmaktadır. İlk seçenek klasik pozisyon tablolarıdır, burada

bir eğri birçok nokta ile ifade edilir ve bu eğriye göre yardımcı eksen ana eksene bağlanır. Tanımlanan bu noktalar arasında interpolasyon yapılıyor. Bu tarzda yapılan cam bağlama işleri daha eskiden denenmiş ve çeşitli testler yapılmıştır, bu yöntemde çalışma zamanı içinde sabit bir eğri olması bunun değişmesinin zor olması gibi dezavantajlarla karşılaşmıştır.

Bu testler doğrultusunda yapılan geliştirmeler cam bağlanma işlemini farklı bir yola getirerek hareket fonksiyonlarını doğurmuştur. Bir hareket fonksiyonun tanımlamak için eskiden olduğu gibi çok nokta yerine daha az referans nokta tanımlamak yetmektedir, bu noktalar arasındaki bağıntıyı matematiksel bir denklem ile tanımlamak mümkündür. Yardımcı eksenin pozisyonları çalışma zamanı içinde cam'ın tanımına göre hesaplanarak verilir. Hareket fonksiyonlarında referans noktalarını değiştirerek çok kolay bir şekilde hareket fonksiyonun değiştirmek mümkündür.

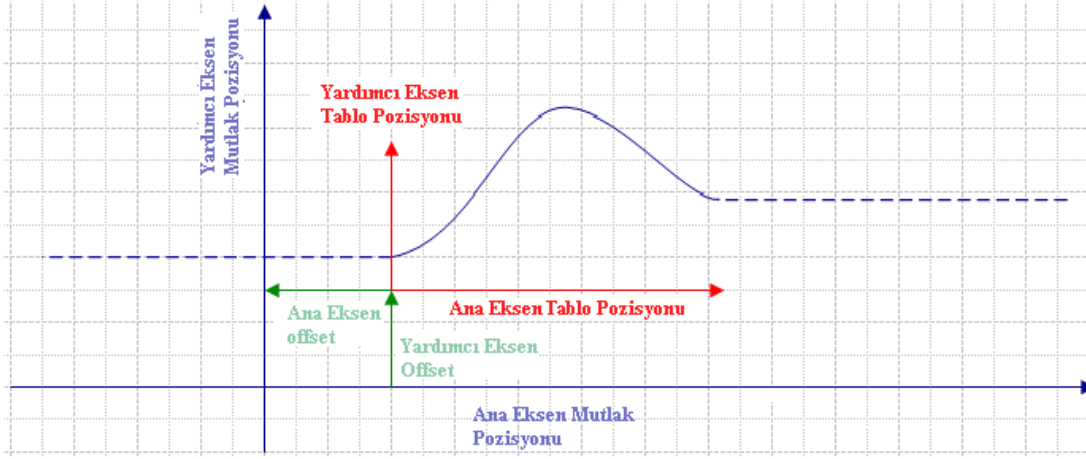
Bir hareket fonksiyonu (MF) matematiksel fonksiyonları ile bir cam disk anlatılmaktadır. Hareket fonksiyonu her biri farklı bir matematiksel ifadeyi içeren alt bölümlere ayrılabilir.

5.5.1 CAM tablosuna göre eksen bağlama

MC_CamIn fonksiyon bloğu bir ana eksenle yardımcı eksen arasında bir fonksiyona bağlı olarak ilişki kurar. Yardımcı eksenin bağlanmadan önce belli bir pozisyonda olması gerekmektedir. Bağlanma işlemi gerçekleşip ana eksen harekete başladıktan sonra, yardımcı eksenin hareketi belirlenen cam tablosunda hesaplanarak verilir. Yardımcı eksen yavaşça senkron olmaz, eğer tabloda belirlenen yerden uzakta bir yerlerdeyse atlama hareketi yapabilir. Pratikte yardımcı eksenin bağlanmadan önce hangi pozisyonda olması gerektiği ve bu yerin nasıl hesaplandığı Şekil 5.9'da anlatılacaktır.

5.5.1.1 Lineer CAM tablosu

Lineer CAM tablosu ana eksen pozisyonunun sınırlı olduğu durumlarda ifade edilebilir. Bu sınırların dışında, yardımcı eksenin pozisyonu tablonun ilk veya son değerine göre belirlenir.



Şekil 5.10 : Lineer CAM tablosu.

5.5.2 Yapılan uygulama

Yapılan uygulamada CAM tablosu kullanılan birden fazla yer bulunmaktadır. Bunlardan birincisi malzeme üzerine delik açma uygulamasıdır. Ana eksendeki servo malzemenin akışını sağlamaktadır. Panç adını verdikleri diğer servo motor dönel bir eksene bağlanmış ve üzerinde oval formda bir bıçak kesme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu bıçağın malzeme ile teması halinde form oluşturulup kesim yeri açmak amaçlanmıştır. Mekanizma üzerinde sabit bir bıçak bulunmaktadır, bıçak kesim anında ana eksene birebir senkron olması gerekmektedir. Aksi takdirde malzemeye hasar vermektedir. Bıçak boyu sabit ve ürün boyu değişken olduğu için burada oluşturulan CAM tablosunun ürün boyuna göre değişebilir olması gerekir. Bu sebepten CAM tablosu tanımlanırken hareket fonksiyonu olarak belirtilmiştir. Hareket fonksiyonu ile sabit tablo arasında farklara daha önce de değinildiği gibi, sabit tablodaki noktaların yeri değiştirilemez, hareket fonksiyonunda bu noktalar modifiye edilebilir özelliktedir.

Bu eğrilerde ayrıca hız ve ivme değerleri de görünmektedir. Hareketi yumuşatmak için fonksiyon tipi seçilerek bölümler arasındaki geçişleri hız ve ivme grafiklerinden görmek mümkündür. Bu sayede hareket profili belirlenmiş olur ve hareket grafikleri ile tanımlanan formda gerçekleşir. Yardımcı eksen her nokta için ana eksenine kendisine baz alarak bütün hareketi tamamlar.

Hareket fonksiyonundaki bütün noktaları bir anda okumak ve yazmak mümkündür. Bu noktalara ilişkin ana eksen ve yardımcı eksen pozisyonları, hızları, ivmeleri ve

ivme türevleri değiştirilebildiği gibi iki nokta arasında fonksiyon tipini de değiştirmek mümkündür.

Noktaları değiştirmek için yapılması gereken prosedür, bütün noktaları uygun data yapısında bir diziye kaydetmek, değiştirilmesi istenen noktaların ilgili parametrelerinde modifikasyonlar yapmak ve sonra tekrar bütün noktaları yazmaktır.

```
MotionFunction[2].MasterPos:=80/masterscale;  
MotionFunction[2].SlavePos:=MotionFunction[2].MasterPos*masterscale;  
MotionFunction[3].SlavePos:=470;  
MotionFunction[1].SlaveVelo:=masterscale;  
MotionFunction[2].SlaveVelo:=masterscale;  
MotionFunction[3].SlaveVelo:=masterscale;
```

Programda Panç servosunda CAM tablosunda değiştirilen değerler yukarıda verilmiştir. Panç servosunun bir tam turunda çevresi olan 470 mm hareket etmektedir. Panç eksenini dönel bir silindir olmak üzere üzerinde seçime bağlı olarak bir ya da iki adet kesici bulunmaktadır. İki bıçak olması bulunduğu mekanik sistemi rahatlatmak içindir. Program yapılırken önce tek bıçak için dizayn edilmiş CAM tabloları oluşturulmuştur; fakat tek bıçak olduğu zaman Şekil 5.12’de hız grafiğinde panç servosunun senkronizasyonda ana eksenle aynı hızda olduğunu, bunun dışında bir sonraki kesime yetişebilmek için yaklaşık 15 kat hızlandığını görmekteyiz. Tek bıçaklı mekanizma için bıçak boyu yaklaşık 80 mm’dir. CAM tablosunda 100 mm’lik bir hareketin 50 mm’si yani toplam hareketin yüzde %50 si senkron olmak için ayrılmıştır. Senkron olunan bölgede kesim ya da form verme işlemi gerçekleşmektedir. Ana eksen hareketinin %50’ sini kesim işlemine ayrılmasında yatan başka bir sebep daha bulunmaktadır, mekanizma üzerindeki bıçak boyu değiştirilebilir ya da mıknatıs ile tutturulan bıçakta oluşacak kaymaya karşı bir kompanzasyon sağlanır. Bıçak belli sınırlar içinde kaysa bile malzeme düzgün form vermeye devam etmesi bu şekilde sağlanmıştır, fakat bunun da getirdiği kötü sonuç, mekanizmanın senkronizasyonu ikinci sefer yakalaması için çok hızlı olabilmesi gerektiğidir. Değişen ürün boylarına göre ana eksen ile yardımcı eksen arasında senkron gidilmesi gereken mesafe de değişmektedir, oransal olarak bu mesafa sabit

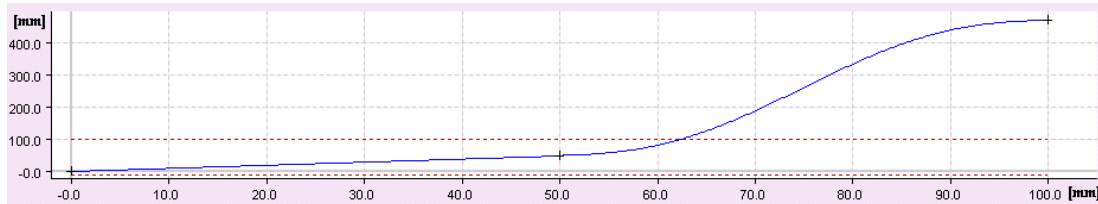
kaldığından ürün boyuna göre bir ölçekleme yapılmıştır. 100 mm baz alınarak oluşturulan CAM tablosu örnek olarak 160 mm'lik ürün boyu için $160/100 = 1.6$ olarak belirlenmiştir. Bu oran parametrelendirilerek iç değişken olan urunboyu kullanılarak, $urunboyu/100 = \text{ölçeklendirme oranı(master scale)}$ şeklinde bir hesaplama ile bulunur. Ürün boyu değiştiği zaman ölçeklendirme oranını güncellemek için ayrı bir fonksiyon kullanılmıştır. Bu fonksiyon da kütüphanede bulunan hazır bir bloktur. Bu bloğu çalıştırırken dikkatli olmak gerekir, aksi takdirde ani hareketler görülebilir ya da istenmeyen bir yerde yapılırsa, altından geçen malzemeyi bozabilir ya da kesici bu işlemde zarar görebilir.

Ölçek oranının değişmesine bağlı olarak CAM tablosunda senkron mesafeyi belirleyen noktalar da değiştirilmiştir. Bu noktalar değiştirildiğinde iki nokta arasında bazen hızda anlık atlamalar gerçekleşmiştir, bunun nedeni hız farklarının oluşması ve iki hız noktası arasında hızlı bir dinamik ile hareket edilmek istenmesidir. Bu hareketi engellemek için her bölümün hızının aynı ve ana eksen ile orantılı olması için yardımcı eksenin hız değerleri de değiştirilmiştir ve yardımcı eksen senkron olmadan önce bu tablo değiştirilmiştir. Eğer tablo başarı ile değiştirilirse yardımcı eksen ana eksene CAM tablosuna göre bağlanır, aksi takdirde bir hata mesajı alınmaktadır.

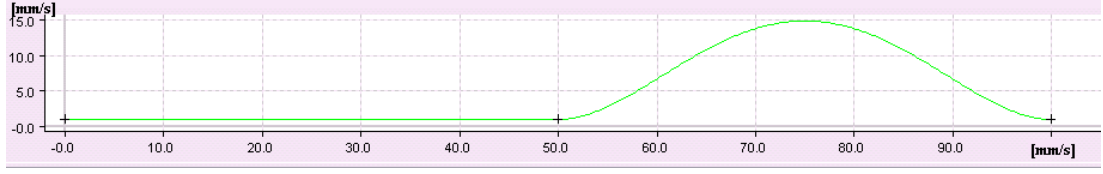
Bütün koşulları göz önüne alarak yapılan değişikliği bir sonraki çevrimde ve güvenli bir yerde bu fonksiyon çağırılmıştır. Offset değerleri otomatik olarak ayarlanarak ayrıca bir optimizasyon çalışılmasına gerek duyulmamıştır.

	Function	X start	Y start	Y' start	Y'' start	Y''' start	X end	Y end	Y' end	Y'' end	Y''' end	Symmetry
1	Synchron	0.000000	0.000000	1.000000	0.000000	0.000000	50.000000	50.000000	1.000000	0.000000	0.000000	0.000001
2	Automatic	50.000000	50.000000	1.000000	0.000000	0.000000	100.000000	470.000...	1.000000	0.000000	0.000000	0.000001

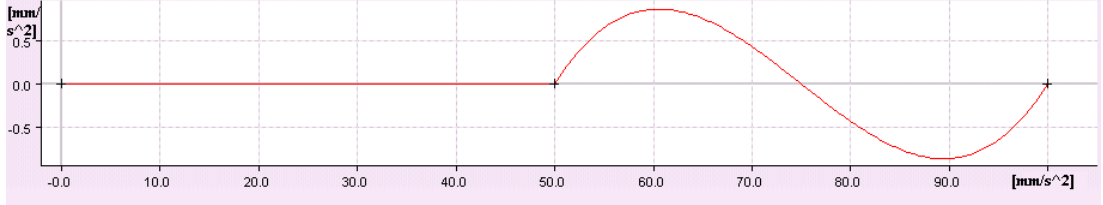
Şekil 5.11 : Panç hareketi tek bıçaklı CAM noktaları.



Şekil 5.12 : Tek bıçaklı CAM pozisyon eğrisi.



Şekil 5.13 : Tek bıçaklı CAM hız eğrisi.

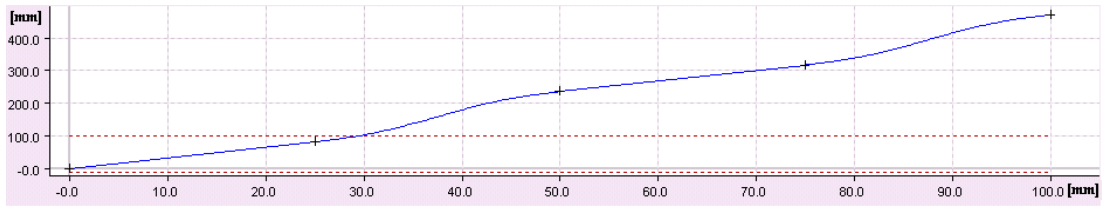


Şekil 5.14 : Tek bıçaklı CAM ivme eğrisi.

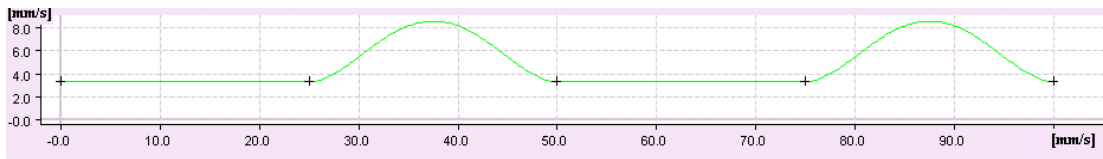
Bu hareketi bir de iki bıçaklı olarak düşünelim, mekanizma üzerinde 15 kata yaklaşan hız değerlerini azaltmak için faz farkı 180 derece olan iki bıçak kullanılmıştır. Bu şekilde bir turda iki form verme işlemi yapılarak hızı ve dolayısıyla ivme değerini düşürmek sağlanmıştır. Bir bıçakta yapıldığı gibi noktaların değiştirilmesi işlemi de yapılmıştır. İki bıçak için CAM eğrilerine bakıldığında bir bıçak için yapılan eğrilerin iki periyodu tek bir periyod altına alındığı görülür.

	Function	X start	Y start	Y' start	Y'' start	Y''' start	X end	Y end	Y' end	Y'' end	Y''' end	Symmetry
1	Synchron	0.000000	0.000000	3.300000	0.000000	0.000000	25.000000	82.500000	3.300000	0.000000	0.000000	0.500000
2	Automatic	25.000000	82.500000	3.300000	0.000000	0.000000	50.000000	235.000000	3.300000	0.000000	0.000000	0.500000
3	Synchron	50.000000	235.000000	3.300000	0.000000	0.000000	75.000000	317.500000	3.300000	0.000000	0.000000	0.500000
4	Automatic	75.000000	317.500000	3.300000	0.000000	0.000000	100.000000	470.000000	3.300000	0.000000	0.000000	0.500000

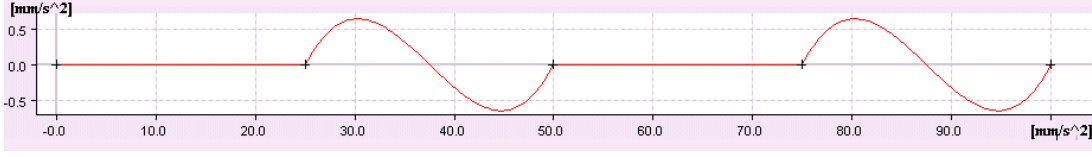
Şekil 5.15 : Panç hareketi çift bıçaklı CAM noktaları.



Şekil 5.16 : Panç hareketi çift bıçaklı CAM noktaları.



Şekil 5.17 : Çift bıçaklı CAM hız eğrisi.



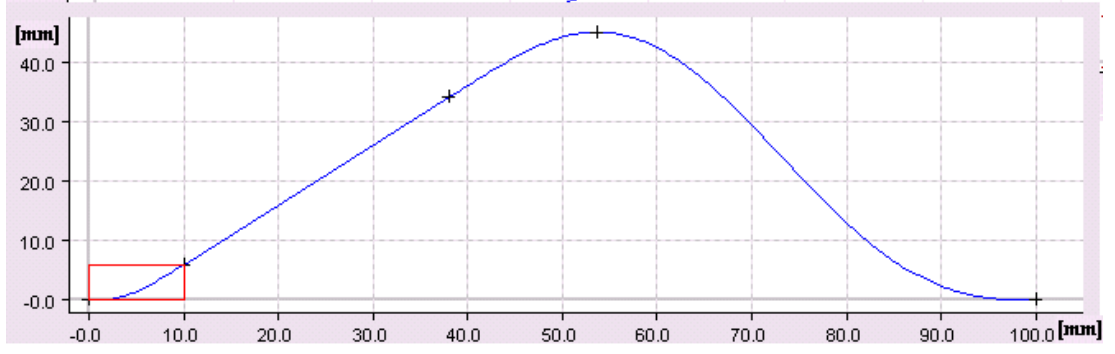
Şekil 5.18 : Çift bıçaklı CAM ivme eğrisi.

Bu CAM tablosu için nokta sayısı artırılmıştır. 5 nokta bu hareket profilini tanımlamak için yeterlidir. İlk kesim noktasına kadar senkron sonrasında otomatik hareket ardından tekrar senkron hareket ve yeniden otomatik hareket ile iki kesim tanımlanmıştır. Bir tur attığında iki kesim yapılmaktadır.

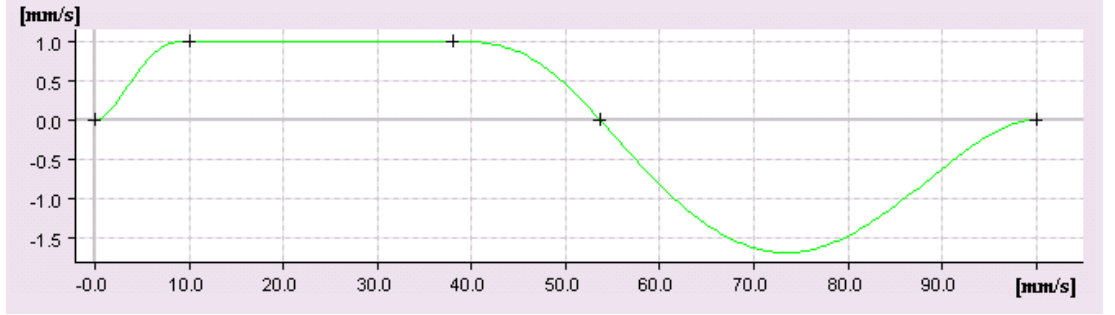
Bu tablodaki noktalar da PLC çevriminde değiştirilmektedir. Bir bıçakta kullanılan CAM fonksiyonu okuma ve yazma fonksiyonları kullanılmış ve aynı diziye doldurulmuştur. Değiştirilmesi istenen değerler için ürün boyuna göre matematiksel bir fonksiyon oluşturulmuştur. Tek bıçak ve çift bıçak için matematiksel fonksiyonlar birbirlerine benzemekle beraber birebir aynı değildir, bu yüzden seçilen CAM tablosuna göre formülasyon da değişmektedir. Ekrandan yapılan tek ya da çift bıçak seçeneği ile CAM tablosu numarası belirlenmektedir, ve seçilen CAM tablosuna göre ilgili formülasyon çağırılmaktadır.

Yapılan uygulamada elektronik CAM'ın kullanıldığı iki yer daha bulunmaktadır. Bunlardan birincisi daha önce anlatılan uçan testere fonksiyon bloğunun kullanıldığı yerdir. Hareketin kısa ve sürekli yapıldığı için uçan testere mantığına tam uymadığından CAM hareket fonksiyonu tanımlanarak eksen hareketi tanımlanmıştır. CAM fonksiyonu kullanılarak hareketli eksen ana eksene senkron hale gelmektedir ve ürün boyunun %45'inde kesme işlemi için aynı hıza ulaşmaktadır. Kesme işlemi bittikten sonra bir sonraki kesim için başlangıç noktasına dönmektedir. Bu hareket PANÇ servosuna göre daha basittir, noktaların yerinin değişmesine gerek duyulmamıştır. Her ürün boyuna göre %10 luk kısımda hareketsiz halden ana eksen hızına kadar hızlanmaktadır, %10 ile %38 arasında ana eksenle aynı hızda devam etmektedir, %53' e kadar yavaşlayarak durmaktadır ve ürün bittiğinde başlangıç noktasına dönerek bir sonraki kesim için baştan yapılmaktadır.

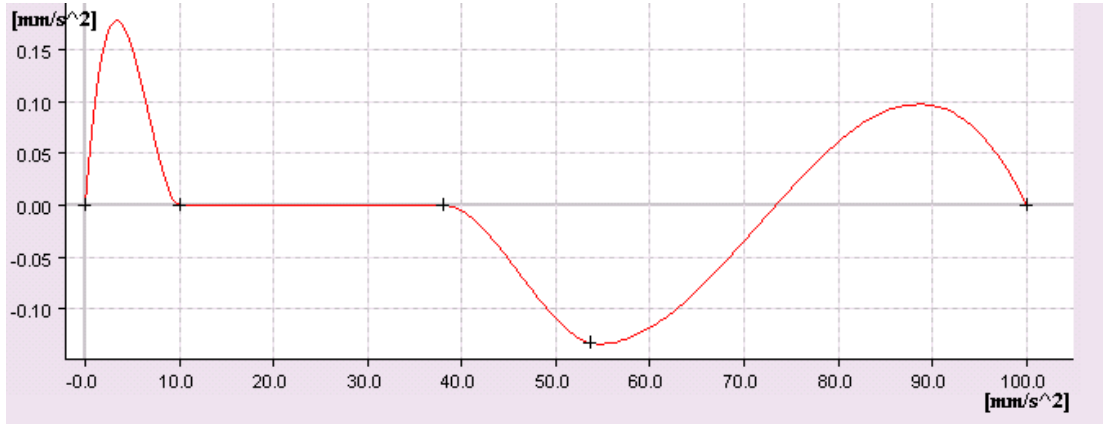
Kullanılan blok PANÇ için yapılan bloğa benzemektedir; tek farkı noktalar sabittir, değişen ürün boyuna göre ölçekleme yapılarak adaptasyon yapılmıştır. Aşağıda CAM fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 5.19 : Linear eksen pozisyon grafiği.

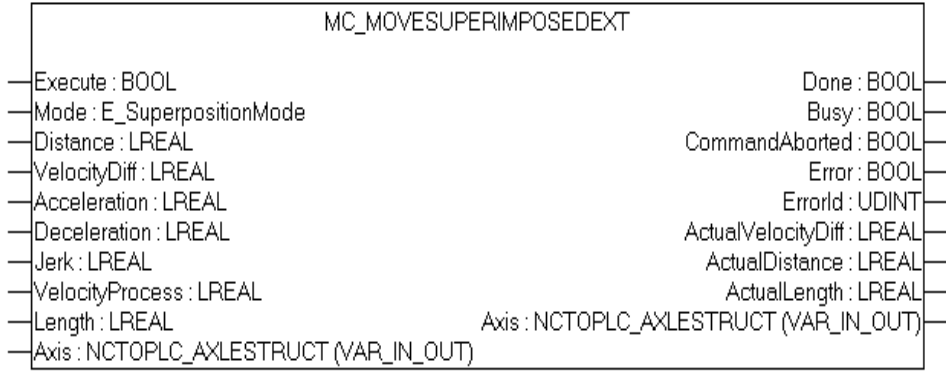


Şekil 5.20 : Linear eksen hız grafiği.



Şekil 5.21 : Linear eksen ivme grafiği.

Sistem bir kere ana eksene bağlandıktan sonra offset vermek mümkündür, yalnız offset verilirken eğride hızlanma anında olmamaya özen göstermek gerekir yoksa pozisyon yakalamak için sarsıntılı hareketler gözlemlenebilir. Doğru yeri bulmak çok kolay olmadığı için CAM offsetten vazgeçilmiştir, onun yerine ekstra hareket kullanımı ile ilgili fonksiyon bloğu tercih edilmiştir.



Şekil 5.22 : Offset vermek için kullanılan fonksiyon bloğu.

5.6 Superİmposed Fonksiyon Bloğu

Bu fonksiyon bloğu hareket halinde olan bir eksene bir üst hareket vermek için kullanılır. Dişli oranı ile bağlı olan bir eksene super pozisyon yaptırmak mümkündür. kullanılan yerlerden birisi konveyör sistemleridir. Uzun konveyörler normalde herbiri sürücü ile sürülen birden fazla bölüme ayrılırlar. Konveyörler bir ürün taşınırken, ürünler arası mesafe düzeltilmeleri gerekir. Bu sebepten biten bir bölümün arkasından başlayan diğer bölümün hızı ilk tarafa göre farklı olabilir ya da hızlanma yavaşlamalar gerçekleşebilir. İki bölümden oluşan bir konveyor sistemini ele alalım: şekilde verilen sistemde iki ürün arasında hesaplanan uzaklığın 1800 mm olduğu ve bu uzaklığın 1500 mm'ye düşürülmekte olduğu görülmektedir. 1 numaralı konveyor mesafeyi düşürmek için hızlanması gerekmektedir. Hızlanma işleminin ürün 2 numaralı konveyöre geldiğinde bitmesi gerekir ve eski hızına dönerek ürün konveyorlerin birinden diğerine geçerken sarsılma engellenir.

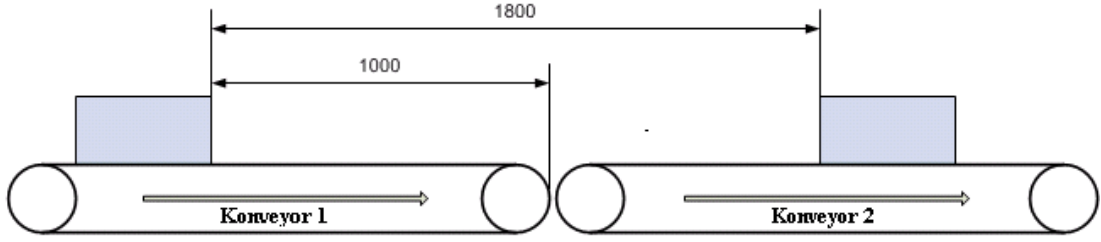
Bu işlemde 1 numaralı konveyörün hızlanması 500 mm/s ile sınırlandırılmıştır. Bu hız değişimi kullanıcı tarafından belirlenir. Fonksiyon bloğu parametreleri şu şekilde girilir:

Mesafe (Distance) = 1800 – 1500 = 300 mm (düzeltilen mesafe)

Length = 1000 mm (1 numaralı konveyörde hızlanma yapılan yol)

VeloDiff = 500 mm/s

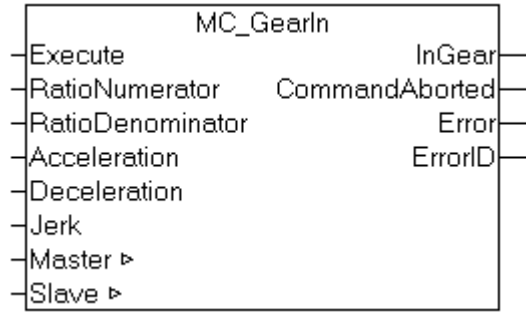
Seçilen moda göre 1000 mm'lik yolun sonuna kadar maksimum 500 mm/s'lik hız farkı oluşturarak 300 mm'lik pozisyon düzeltmesi yapılır. Hareketin maksimum hızı hesaptan bulunur ve bu hızın üst limit değişimini 500 mm/s olarak ayarlanır.



Şekil 5.23 : Konveyör örneği.

Bu blok normalde elektronik CAM kullanılmadan önceki zamanlarda elektronik dişli oranı ile bağlı eksenlerde hız değişimi vermek için kullanılmaktadır. Fakat bu uygulama için aynı blok offset değeri vermek için kullanılmıştır. Ekstra hareket renk fotoselinden okunan değer ile ekranda girilen değer farkı kadar yapılarak her turda bir düzeltme yapılır. Yalnız eksenin ters yönde bir hareket yapmasını engellemek için bu fonksiyon bloğu girişlerinden 'hız farkı' girişi ana eksen hızının yarısı kadar girişmiştir, bu sayede eksenin döndüğü yönün ters yönüne dönmesinin önüne geçilmiştir ayrıca ani hız değişimlerinden de kaçınılmıştır. Tek sorun büyük bir pozisyon farkı oluştuğunda bu farkı daha küçük miktarlarda birden fazla turda kapatmaktır. Kullanılan bu fonksiyon bloğunda farklı bir modda çalışılmıştır. Bu modda en kısa mesafe içinde maksimum hız kullanılmaktadır. Yani hız farkı girilen maksimum düzeyde kullanılır, farkı kapatılan yol da minimize edilir. Bloğa giren fark eğer girilen hız farkı değeri için maksimum düzeyde kullanılsa bile kapatılamayacak ise blok bir uyarı vermektedir. Bu uyarıyı verdiğinde ya bilerek fonksiyon bloğu çalıştırılır ya da bu blok iptal edilebilir. İptal etmek için farklı bir blok kullanılmaktadır. İptal etme bloğunun çalıştığı durumlarda fark kapatılmamaktadır. Bunun normalde daha kötü sonuçlar doğuracağı düşünülse de tam tersidir. Genellikle fark değeri renk fotoselinden alınmaktadır, ve bu giriş servo sürücü üzerinde bulunan bir giriş ile alındığından burada çok küçük bir gecikme olmaktadır, yani normal şartlar altında renk fotoselinde okunan pozisyon değerleri birbirine çok yakın değerler şeklinde alınır. Farklı bir değer geldiğinde ya malzeme kaymış olabilir ki bu durumda fotosel birinciyi değil bir sonraki beneği okumuştur, ya da bir gürültü kaparak yanlış bir değer gelmiştir. Yanlış bir değere göre hızlı veya sarsıntılı hareketler yapacağına hiçbir düzeltme yapmaması bu bakımdan daha faydalı hale gelmektedir.

Kullanılan elektronik dişli fonksiyon bloğu Şekil 5.23’de verilmiştir. Elektronik dişli bloğunun özelliği ana eksen harekete geçmeden önce dişli bağlanması gerekmektedir. Hareket halindeki bir eksene başka bir eksen bağlanması bu blok ile mümkün değildir. Kullanılan bloğun bir diğer özelliği de dinamik olarak değiştirilebilen dişli oranıdır. Bloğun aktif etme girişine bağlı büyüklüğün lojik aktif olduğu sürece dişli oranı her PLC çevriminde değişebilir. Dişli oranı ile bağlanan eksenin bağı koparmak için de başka bir fonksiyon bloğu kullanılmaktadır. Bir hata olması durumunda sırası ile önce dişli oranından çıkarılır, dişli oranından çıkınca eksenin durup durmadığına bakılır eğer durmuyorsa durdurulur. Eksen durduktan sonra eksen de bir hata varsa bu hata resetlenir, eğer sürücüde bir hata varsa sürücü de resetlenir.



Şekil 5.24 : Elektronik dişli bloğu.

Eksenlerin birbirleriyle uyumlu hareketler yapabilmeleri için, elektronik dişli ve CAM kullanılmıştır. Elektronik dişli kullanılırken genellikle bire bir oranı ile bağlanmışlardır. Gerginlik gereken yerlerde farklı dişli oranları kullanılmıştır. Elektronik dişlinin kullanıldığı bir diğer yer de CAM tablolarının kullanıldığı eksenlerdir. Bu eksenlere offset vermek için ekstra hareket (super pozisyon) bloğu kullanılmıştır. Eksenlerin birbirine bağlantıları şekilde gösterilmiştir. Buna göre ana bir sanal bulunmaktadır. Bu ana eksene dişli oranı ile bağlı eksenler bulunmaktadır. CAM tablosuna göre hareket etmesi istenen eksenler de sanal eksenlere bağlanmıştır. Offset verme işlemi bu sanal eksenlere ekstra hareket verilerek gerçekleştirilmiştir. Böylece CAM tablosu üzerinde hiçbir değişiklik yapmadan gerçek eksenlere offset verilmiştir. Super pozisyon hareketinin yeri güvenli yerlerde yapılmıştır. Genellikle senkron olunmayan yerler seçilerek malzeme kesilirken ya da form verilirken bu hareketler yapılmayarak malzemenin zarar görmesinin de önüne geçilmiş olur. Her bir CAM ekseninin üzerinde sanal bir eksen tanımlanmasının bir artısı daha

bulunmaktadır. CAM tablosu ile bağılyken gerçek eksenleri durdurmada, sanal eksenlerin dişli oranları sıfır yapılarak gerçek eksenlerin durdurulması sağlanmıştır. Bu sayede senkronizasyondan hiçbir kayıp verilmeden diğer eksenlerin hareketine devam edilmiştir.

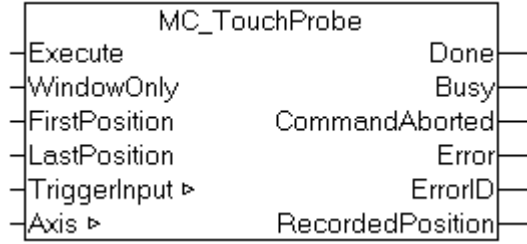
Sistemde konveyolar bulunaktadır, konveyolar bölümlere ayrılmıştır.  tane senkron servo motor ve iki tane asenkron motor bulunaktadır. Asenkron motorlar hız kontrolörü ile sürülmektedir. 4-20 mA analog çıkış ile bu hız kontrolörü, kontrol edilmektedir. Bu analog çıkışların oluşturduğu eksenler tanımlanmıştır ve enkoderleri sanal enkoder olarak tanımlanmıştır. Bu tanımlamalardan sonra normal bir servo eksenini gibi davranılarak bütün hareket fonksiyonları gerçekleştirilmiştir. Bu eksenler NC görevcisinde tanımlanmıştır ve PLC ile NC arasında yapılar tanımlanır ve her iki grevci arasında bilgi alışverişi yapılarak senkronizasyon sağlanır. PLC hareket fonksiyonlarının hepsi bu şekilde tanımlanan asenkron sürücü için de kullanılmış olur. Asenkron motorların bir tanesi bu şekilde kontrol edilirken diğer asenkron motorun harekete senkron olmasına gerek duyulmamıştır. Bu yüzden diğer asenkron motor sürücü, PLC içindeki bir değişken ile ilişkilendirilerek hız kontrolörü yapılmıştır. Tam sayı olan bu PLC değişkenini için 32767 verildiğinde 20 mA vermektedir, 4 mA için 6553,4 verilmiştir. Yüzde cinsinden bir potansiyometre tanımlanarak sürücüye verilerek hız kontrolörü yapılmıştır:

$$\text{Analog Cıkis} := 6553,4 + \text{potansiyometre} * 262,136;$$

Bu şekilde 4-20 mA çıkış ile asenkron sürücü kontrol edilmiştir.

Sistemdeki senkron servo motorların kontrolünün çok hassas olması gerekmektedir. Burada tanımlanan  servo motor ve bir asenkron motor çıkan ürünleri birleştirmektedir ve en son her ürün arası sabit bir aralık olacak şekilde ürün taşması gerçekleştirilmiştir. Buradaki konveyörlerin üzerinden geçen ürünlerin mesafesini ölçmek için optik sensörler bulunaktadır. İlk önce bu optik sensörler aradaki mesafeyi ölçmek için kullanılmıştır. Mesafe lm yapmanın birden fazla yöntemi bulunaktadır, ilk yol hızı bilinen konveyor üzerinde sensore gelen iki sinyal arasındaki zaman farkına göre çarpılarak yol hesaplanabilir. Zaman ölçmek için gecikme zamanlayıcı fonksiyon bloğu kullanılabilereği gibi, çevrim süresi bilindiği için çevrim sayısı sayılarak çevrim süresi ile çarpılarak geçen süre hesaplanabilir. NC grevcisinden PLC'ye her çevrim alınan yapılar da eksenini pozisyonu bulunaktadır. Sensörden gelen iki işaret arasında eksen pozisyonunun farkı

bulunarak, altından geçen ürünler arasındaki fark hesaplanabilir. Burada altından geçen ürünleri tanımak için sensörler sürücüye girilmiştir. Sürücüye bu girişler geldiğinde PLC çevriminden bağımsız bir şekilde yükselen kenar anlaşılır ve eksenin o anki pozisyonu kaydedilir, bir sonraki işaretle de eksen pozisyonu kaydedilir ve iki pozisyon arasındaki fark bulunarak ürünler arası mesafe en doğru şekilde bulunur. Bunun için kullanılan fonksiyon bloğu aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.25 : Sürücü sensör girişine göre pozisyon kaydeden blok.

Bu bloğun kullanımında bir pencere tanımlanabilir ve bu sayede pozisyonu yaklaşık olarak bilinen bir yere işaret edilebilir. Örnek olarak 300 mm ile 500 mm arasında gelmesi gereken bir işaret için windowonly girişine lojik bir verilir, ilk pozisyona 300, son pozisyona 500 girilir ve execute girişine lojik bir verilir. TriggerInput'a ilgili eksenin bağlı olan enkoder numarası girilir ve daha önceden konfigüre edilen servo sürücünün girişine gelen dijital işarete göre eksen pozisyonu kaydedilir.

Ürünler arasındaki fark ne olursa olsun hepsi ilk önce art arda birleştirilmiştir. Daha sonra aralıklar sabit bir değere getirilerek ürünlerin paketlerin tam ortasına girmesi sağlanmış olur. İlk önce hesaplanan bu farka göre ekstra hareket bloğu çalıştırılarak burdaki fark kapatılmaya çalışılmıştır. Bu blok daha önce CAM tablosunda offset vermek için kullanılırken burada tam uygulama yerine uygun bir şekilde kullanılmıştır. Yalnız bu bloğu kullanırken daha önceden de yapıldığı gibi eğer fark kapatılmayacak kadar büyükse fark kapatma işlemi durdurulmaktadır. Bu işlem yapıldığında fark kapatılmamaktadır.

Bir asenkron motor ve ilk servo motor ürünler arasındaki farkı kapatmak için kullanılmıştır. İkinci servo motor sabit hızda hareket etmektedir, en sondaki servo motor da ikinci servo motor arasında sabit bir dişli oranı ile çalışarak hız farkı oluşturulmuştur. Bu sayede ürünler arasında oluşturulmak istenen fark meydana getirilmiş olur. Ürünler arası farkı oluşturmak işleyişin en kolay tarafıdır; çünkü ürün boyu ve paket boyu kullanıcı tarafından girilmektedir, bunların oranı iki servo motor

arasındaki dişli oranını belirlemektedir ve hep bu şekilde çalışarak ürünler arası sabit farkı oluşturur. İşin zor kısmı ürünleri dip dibe yerleştirmektir. Dip dibe yerleştirirken ne çok fazla sıkıştırıp ürünlerin sıkışmamasını sağlamak ne de az sıkıştırarak ürünlerin arasının istenenden fazla açık kalmaması gerekir. Bu sebepleri göz önüne alarak iyi bir kontrol yapılması gerekir. Sensörler ile ürünler arasındaki farkı ölçmek mümkündür, bu farkı servo motor ve asenkron motora ilgili fonksiyon bloğu kullanarak kapatmak mümkündür. Yalnız dikkat edilmesi gereken başka bir husus vardır. Ürün farkı okunduktan sonra sensörlerin altından başka ürünler geçebilmektedir, bu yüzden ölçülen büyüklüğün sırasıyla doğru bir şekilde kapatılması gerekir. Ölçüm sırasında yapılan bir hata sıranın karışmasına neden olup, bütün bir diziyi bozmaktadır. Burada o yüzden bir dizi tanımlanmıştır, fark ölçen sensör ile bu dizi doldurulmakta ve işi yapması için sinyal veren diğer sensör bu diziden farkı alıp diziyi boşaltmaktadır. Bu sensörlerde oluşan bir gürültü diziyi bozmaktadır, sensörlerin gürültülerini engellemek için TOF zamanlama fonksiyon bloğu filtrelemek amacıyla kullanılmıştır. Bunu kullanmak oluşabilecek gürültüleri işleme almayarak burada sorunu çözmüştür. Konveyör üzerinden bir ürün test için alınabilir veya tekrar konulabilir; bu da bütün dizinin bozulmasına neden olur. Bu yüzden daha değişik bir algoritma yazılması gerekmektedir.

Birinci konveyör ana konveyör olarak tanımlanmıştır, ona bir dişli oranı ile ikinci konveyör bağlanmıştır. Birinci konveyör ikinci konveyörden paket boyu / ürün boyu oranı ile hızlı hareket etmektedir. Bu sayede fark oluşmaktadır. Üçüncü servo motor da ikinci motorla bire bir oranı ile dönmektedir. Yani konveyör üzerindeki ürünler birinden diğerine geçerken aynı hızda geçerek bozulma sarsılma gibi hareketler engellenmiştir. Yalnız aradaki farkı kapatmak için dinamik dişli ile bağlanan üçüncü servo motorun dişli oranı oradaki sensöre göre değiştirilmektedir. Sensör tam olarak üçüncü servo ile ikinci servo motor arasına konumlandırılmıştır. Sensor eğer ürünü görüyorsa dişli oranı bir yapılmaktadır, eğer ürün görmüyorsa bu oran 5 kat artırılarak üçüncü konveyörün hızlanması sağlanmıştır. Bu şekilde kontrol edilince bir dizi tutmaya gerek kalmamıştır. Önceki karmaşık yapıdan vazgeçilmiş ve dinamik olarak dişli oranı değiştirilerek ürünlerin art arda dizilmesi sağlanmıştır. Ayrıca üçüncü servodan sonra gelen asenkron motor da bu servo motora elektronik dişli ile bağlanmıştır. Buradaki dişli oranı da aynı servo motorda yapılan gibi sensörde ürün varsa 1 yapılmakta, eğer ürün yoksa 5 kat artırılarak aradaki fark

kapatılmaktadır. Ön taraftan başlanarak 4 motor birbirine elektronik dişli ile bağlantılıdır. En öndeki hızlandığı zaman diğerleri de aynı oranda hızlanmaktadır. Eğer bütün sensorler ürün görüyorsa bütün eksenler aynı hızda hareket ederler ve ürünün zarar görmesi engellenir. Ürün yoksa arkadaki eksen hızlanarak bir an önce ürünleri kendisinden sonraki konveyöre aktarabilmektedir. Bu algoritma ile ürünlerin arası kapanmıştır; fakat ürünler arası uzaklığı belli bir mesafeden sonra kapatmak mümkün olmamaktadır. Bunu çözmek için sensör bilgileri alınarak eğer ürün gelmiyorsa makinanın ön tarafı durdurulmaktadır. Ama arka taraf hızlı bir şekilde ürün getirmeye çalışmaktadır. Bu yapılan eklemelerle mekanizma doğru bir şekilde çalışmaktadır. Sorunu çözen aslında sadece dinamik elektronik dişli bloğudur. Öndeki eksenleri durdurmak için de dişli oranı sıfır girilmiştir. Ürün gelince dişli oranı tekrar bir yapılarak hareket kaldığı yerden devam eder.

Birinci konveyörde ürünlerin arası istenilen aralıkta açılmaktadır. İstenilen aralığı belirleyen özellik paket boyu ile ürün boyu arasındaki ilişkidir. Bu ilişki ikisinin farkı kadardır. Ürün paketi tam ortalayacak şekilde yerleştirilmelidir. Tabi burada tolerans bulunmaktadır, belli mesafe içinde kalması yeterlidir ama bu tolerans mesagesi aşıldığında kesim esnasında ürün sıkışmaktadır. Bu hem malzemenin bozulup fire anlamına gelmekte, hem de mevcut makinanın zorlanması anlamına geldiği için bu durum en çok önüne geçilmesi gereken durumdur. Son konveyör üzerinde bir sensor bulunmaktadır. Bu sensor ile ürün geldiği anlaşılmaktadır. Ürün geldiğinde, paketin neresinde olduğunu anlamak için renk fotoseli kullanılmıştır. Renk fotoseline göre paketin geçisi ve aynı zamanda konveyör fotoseli gördüğünde paket ne kadar geçmiş diye bakarak paket yeri hakkında yorum yapabilmektedir. Ölçülen bu paket yerine göre olması istenen offset arasında hesaplama yapılarak son konveyörün hareket karakteristiği çıkmaktadır. Eğer olması gerekenden uzak bir yerde ise bunu kapatmaya yönelik, eğer daha yakın bir yerde ise mesafenin açılması için yavaşlama eğiliminde bulunması gerekmektedir. Kapatılması gereken mesafe bazı durumlarda bir yapılması imkansız hale getirmektedir, bu durumlarda makinayı durdurup tekrar hareket ettirerek mekanizmayı zorlamaktansa, arada bir fire verilmesi daha uygun görülmüştür. Bu mesafe kapatılması ya da açılması işleminde daha önce CAM tablosunda offset vermek için kullanılan, konveyörlerde mesafe algılayarak kapatma işleminde kullanılan ama sonra vazgeçilen blok SuperImposed fonksiyon buloğu kullanılmıştır. PLC tarafından hesaplanan mesafe şu şekilde bulunmuştur:

Hızlı Task ile Alınan Eksen değerleri:

```
TOF2(in:=surucu3.0, pt:=t#50ms);
r_trig(clk:=tof2.Q);
IF r_trig.q THEN
    pos_cekici:=LMOD(NCtoplc_VmasterClineer.fPosIst, paket_boyu);
END_IF
TOF1(in:=surucu2.0, pt:=t#50ms);
r_trig2(clk:=tof1.q);
IF r_trig2.Q THEN
    pos_bant1:=LMOD(NCtoplc_VmasterClineer.fPosIst, paket_boyu);
    bant1_superimp:=TRUE;
END_IF
```

Normal Taskta blok fark değerinin belirlenmesi ve yorumlanması:

```
IF surucu2.0 THEN
    fark_bant1:=(pos_bant1) - ((pos_cekici)+bant1_offset);
    IF fark_bant1<-paket_boyu/2 THEN
        fark_bant1:=paket_boyu+fark_bant1;
    END_IF
END_IF
```

Bu kodlardan anlaşılması gereken hızlı task ile iki sensör işareti geldiği zaman Clineer Ekseninin anlık pozisyonları birer ara değişkene atılmaktadır. Daha sonra bu değişkenler normal taskta bir de istenen değer olması açısından bant1_offset değeri ile ortak bir denkleme alınırlar ve hesaplanan değer ilgili fonksiyon bloğuna verilerek mekanizmanın çalışması sağlanır. İlgili değerler hesaplanırken gürültü kapmaması için TOF kullanılmıştır, TOF gecikmeli zamanlayıcı fonksiyon bloğudur. Kullanılan blok ile 50 ms'nin altında bir giriş geldiğinde bu işaret gürültü olarak değerlendirilmekte ve kontrol algoritmasına alınmamaktadır. R_trig ise TOF fonksiyon bloğunun çıkışına yerleştirilerek yükselen kenar tetiklemesi anlamına gelmektedir. Bu bloğun çıkışı da anlık olarak verilmektedir, bu anlık çıkış süresinde de pos_cekici ya da pos_bant1 gibi ara değişkenlere eksen pozisyonu aktarılmaktadır. Bu şekilde kullanılmasındaki neden anlık değerlere ulaşılma istenmesidir. Paket üzerinde her paket boyu mesafesinde renk fotoselinin

anlayabileceği benekler bulunmaktadır. Paket üzerindeki benekler ardi arkasına gelirken bazen bir yanlışlıkla renk fotoseli, bant konveyör sensoründen önce beneği yakalamaktadır. Aslında bu kendisinden sonraki değil önceki beneği gördüğü için fark – çıkmaktadır. Eğer fark ileri yönde değil de ters yönde algılanmışsa hiçbir şey yapılmadığı zaman eksen bir turdan fazla miktarda tur kapatmaya çalışmakta ve dolayısıyla yüksek ivmeli hareketler gözlenebilmektedir. Bunun önüne geçmek için eğer hesaplanan fark yarı paket boyunun ters işaretinden küçükse yeni bir formülasyon yani paket boyu kadar eklenerek yeni fark değeri oluşturulmaktadır. Bu sayede iki yönlü bir kontrol yapılmış olur. Ürünler bu formülasyonların ve fonksiyon bloklarının doğru kullanılması sonucunda paketlerin ortasına konulmuştur.

Artık doğru konumlanan paketleri ısıtıcılar vasıtası ile birleştirmek ve belirli yerlerinden kesme işlemlerine geçilebilir. Sistem üzerinde ön ısıtıcılar, disk tipinde ısıtıcılar ve kesme için konumlanmış ısıtıcılar bulunmaktadır. Isıtıcıların kontrolü ileride anlatılacaktır. Yalnız ısıtıcıların doğru kontrol edilmeleri gerekmektedir, hareketin hızlanmasına bağlı olarak sıcaklıkta düşme olabilir bu düşmenin hızlı bir şekilde kompanze edilmesi gerekir; aksi halde istenilen sıcaklığın altında paketlerin kapanmama gibi bir riski bulunmaktadır. Paketlerin açık kalması fire anlamına gelmektedir.

Paket malzemesinin gergin durması gerekmektedir aksi halde arada oluşabilecek potluklar ölçüm hatalarına neden olabilmektedir. Referans olarak alınan renk fotosel bilgisi gerginliği değişen malzeme üzerinde yanlış bilgiler üretebilir ki bu en istenmeyen durumdur. Bütün hareketin referansı bu sensördür ve burada oluşacak bir hata bütün hesaplara dolayısıyla üretime yansımaktadır. Bu yüzden sistem üzerinde bir çekici servo bir de disk servosu bulunmaktadır. Çekici servo malzemeyi çekmektedir, disk servosu ise çekici servosundan çıkan ürünü almaktadır. Çekici servo ile disk servo aynı ana eksene bağlıdır ve aralarında sabit bir dişli oranı bulunmaktadır. Bu dişli oranı sayesinde malzemenin gerginliği ayarlanabilmektedir. Dişli oranı daha önceden anlatılan elektronik dişli bloğu ile yapılmaktadır ve gerektiğinde durdurmak için ya da gerginliği değiştirmek için PLC çevriminde bu oran değiştirilmektedir.

Disk servosundan sonra ürünün kesildiği hareketli mekanizma bulunmaktadır. Bu mekanizmanın özelliği üzerinde ısıtıcı ve kesici bıçak bulunmasıdır. Isıtıcılar paket üzerine basmakta ve paket üzerine istenilen form oluşturulmaktadır, ısıtıcılar bastığı

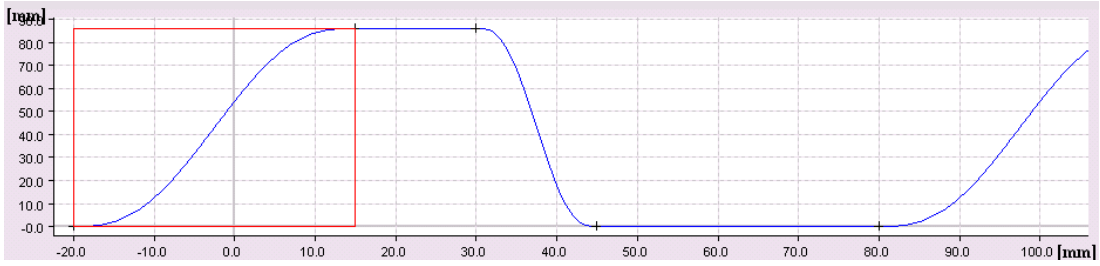
sırada valfle kontrol edilen kesici bıçak kesme işlemini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Isıtıcılar hareketli bir şekilde iki yüzeyde de bulunmaktadır. Bu iki yüzey mekanik bir dişli ile birbirine bağlıdır. Bu mekanizma üzerinde bir referans anahtarı bir de limit anahtarı yer almaktadır.

Eksende kullanılan enkoder diğer motorlarda olduğu gibi resolverdir, mutlak enkoder olmadığı için eksen ilk açıldığında referans almak gerekmektedir. Referans alındıktan sonra CAM tablosuna göre bağlanmaktadır. Bağlanılacak eksen gerçekte kendisi gibi hareketli olan lineer hareket eden servo motordur; fakat bu eksen paket boyuna göre ileri geri hareket etmektedir. CAM tablosunda bir eksen ana bir eksene bağlanırken, ana eksenin sabit bir hareket yapması daha doğru olmaktadır, aksi halde eksenin her pozisyon değerine göre çok çeşitli bir CAM hareket fonksiyonu ortaya çıkabilmektedir. Bu eksen hareketli olduğu için sanal bir eksen tanımlanarak dişli oranı ile ana eksene bağlanmıştır. Fakat bu eksen ile lineer eksenin yaptığı hareketlerin birbiriyle senkronize olması gerekmektedir, kesme işleminin lineer eksenin ana eksene senkron olduğu yerde yapması gerekir. Eğer geri dönerken ya da senkron hıza ulaşmadan kesim işlemi yapılırsa malzemede bükülmeler bozulmalar tam kapanmadan kesilmeler meydana gelmektedir. Bu yüzden kesim yeri ayrı bir önem kazanmaktadır. Lineer eksenin de bağlandığı bir sanal eksen bulunmaktadır ve bu sanal eksen, gerçek eksendeki kaymaları önlemek amacıyla kullanılan ekstra fonksiyon bloğu ile her çevrim düzeltilmektedir. Diğer eksenin de düzeltilmesi bir yöntem olarak seçilebilirken, buradaki uygulamada iki gerçek eksen de aynı sanal eksene bağlanmıştır. Yapılan bu değişiklik keserken gerçekleşen davranışı hiçbir zaman bozmamakla beraber, sadece kesim yeri belli tolerans mesafeleri içinde gezmektedir.

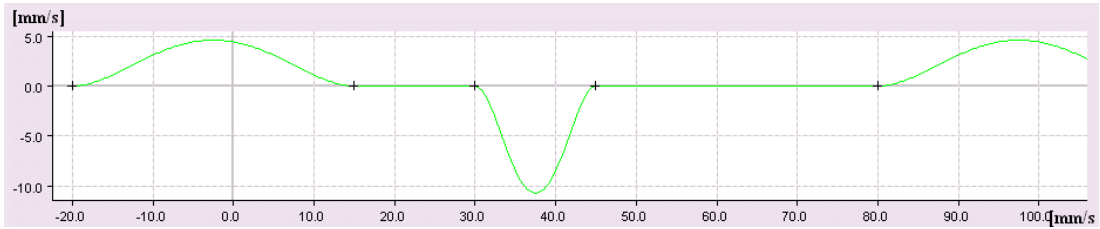
Yapıştırıcı servo olarak adlandırılan bu eksen CAM hareket fonksiyonu ile lineer eksen servosunu da kontrol eden ana eksene bağlanmıştır. Bu hareketli eksen maksimum değerine geldiğinde eksenler kapanmaktadır ve ısınmış olan yüzeyler paket üzerine düşmektedir. Eğer eksen üzerinde çok dururlarsa paketin erimesine neden olmaktadır. Bu yüzden hareketin hızına göre yüzeylerin pakete basma süresinin ayarlanması gerekmektedir. Hareketin minimum yeri genellikle referans pozisyonu ya da bu pozisyona yakın bir yer olarak belirlenmektedir. Hareketin maksimum yeri ise iki yüzeyin birbirine değdiği yerdir, bu değme noktası referans yapıldıktan sonra öğretilmektedir ve kaydedilen bu pozisyon hareket fonksiyonuna

yazılmaktadır. Eğer değme noktasından az ya da çok bir pozisyon değeri girilirse istenilen form oluşmamaktadır. Bu yüzden makina ilk açılıp referans yapıldığında öğretim işlemi de bir kere yapılmaktadır.

Değme noktasında eksenlerin belli bir süreden fazla kalmaması istenmektedir. İlk önce yapılan eğriye göre tanımlandığında istenilen süre tam olarak tutmamaktadır; çünkü eksenin hızlanması ve yavaşlaması bu süreler içinde kalmaktaydı. Yapılan hareket fonksiyonu tablosu Şekil 5.25'te verilmiştir.

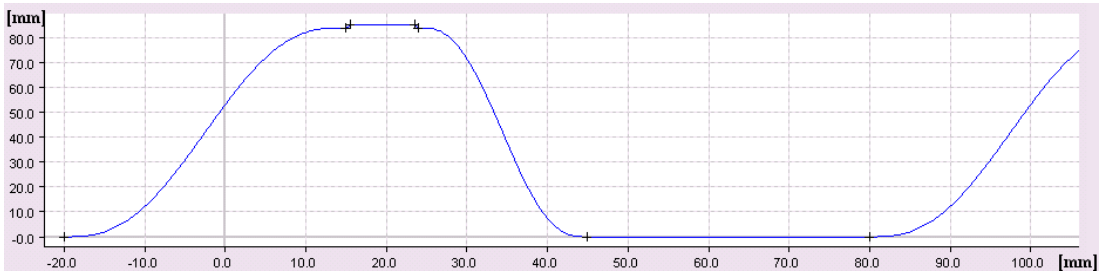


Şekil 5.26 : Çene linear pozisyon eğrisi.

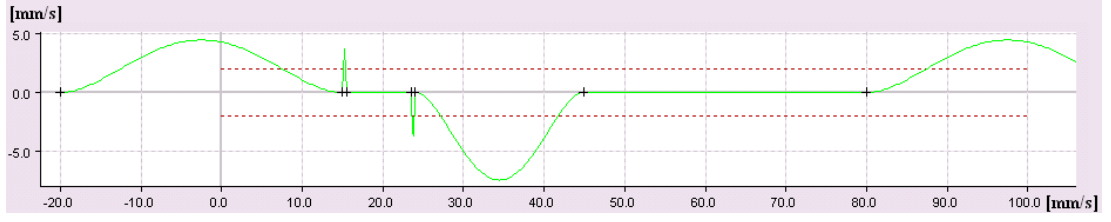


Şekil 5.27 : Çene linear hız eğrisi.

Şekil 5.25'ten görüldüğü gibi eksenin durduğu yerler pakete basma süresini belirtmektedir, fakat hareketlerin daha yumuşak olması gerektiğinden bu süreyi kısaltmak tam mümkün olmamaktadır. Eğer bu pozisyonlar çok kısaltılırsa paket yapıştırılmadan işlem bitirilmiş olmaktadır. Bu işlemin istenilen şekilde bitmesi için doğru pozisyonda yeteri kadar kalmak gerekmektedir. bu yüzden hareket fonksiyonu biraz daha değiştirilerek Şekil 5.27'deki halini almıştır.



Şekil 5.28 : Yeni 2 nokta eklenen pozisyon eğrisi.



Şekil 5.29 : Yeni 2 nokta eklenen hız eğrisi.

CAM tablosunda fazladan tanımlanan noktalar sayesinde eksenler birbirlerine hızlı bir şekilde yaklaştırılmakta ve sadece bu iki nokta arasındayken iki yüzey birbirine değmektedir. Değme noktaları haricinde eksenler birbirlerine güvenli mesafeye kadar hızlı bir şekilde yaklaşmaktadır. Bu yaklaşma noktaları ve değme noktaları makina ilk açıldığında bir kere öğretildikten sonra doldurulmaktadır. Lineer eksen toplam hareketin %45'ine kadar lineer hareket etmekte ve sonrasında geri dönmektedir. Geri dönme işlemi başlamadan önce kesme işleminin de bitmesi gerekmektedir. Senkronizasyon işleminden sonra kesme işlemi başlayacak ve geri dönene kadar bu işlemin bitmesi şeklinde hareket fonksiyonu tanımlanmıştır. Ana eksene göre faz kaydırılmıştır, %20 kaydırılan eksen hareketin daha yumuşak olmasını sağlamıştır.

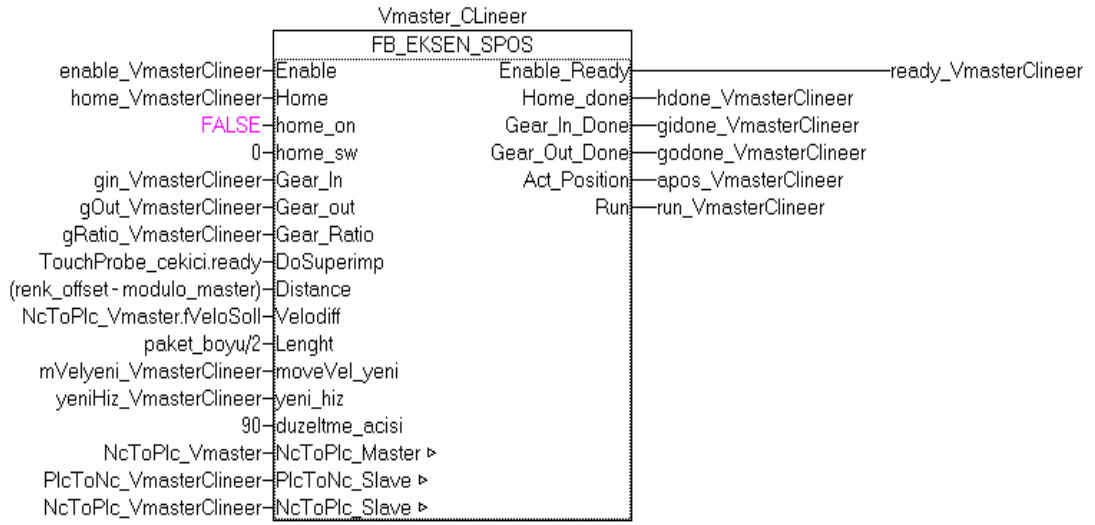
5.7 Yapılan Fonksiyon Blokları

Aynı işleve sahip birden fazla işlem bulunuyorsa, fonksiyon bloğu yapmak yapılan işi kolaylaştırmaktadır. Şekilde gösterilen fonksiyon bloğu en genel hareket fonksiyonu bloklarını içinde barındırmaktadır. Bloğun içi ST adı verilen bir dille oluşturulmuştur. Bloğun çağırıldığı yer ise FBD ile yazılmış olup bir blok yapısındadır. Blok için sadece ulaşılması istenen değişkenler giriş veya çıkış olarak tanımlanmış, diğer değişkenler iç değişken olarak belirtilmiştir. Örnek vermek gerekirse; Enable girişi FB_EKSEN_SPOS fonksiyon bloğunun girişi olarak tanımlanmıştır. Bu giriş fonksiyon bloğu içinde kullanılan kütüphane fonksiyon bloğu olan MC_POWER'in girişidir. Yani enable girişi lojik 1 yapıldığında aslında fonksiyon bloğu içindeki MC_POWER girişi aktif edilmektedir. Bu blok CAM fonksiyonunun kullanıldığı eksenlerden önce oluşturulan sanal eksenler için kullanılmıştır. Blok girişlerinde bu eksenin bağlanacağı ana eksen, kendi ekseni, bloğun aktif olma girişi, referans girişi, referans sensör girişi, dişli bağlanma, dişli kopma, dişli oranı, superpozisyon fonksiyon bloğu için kullanılan girişler

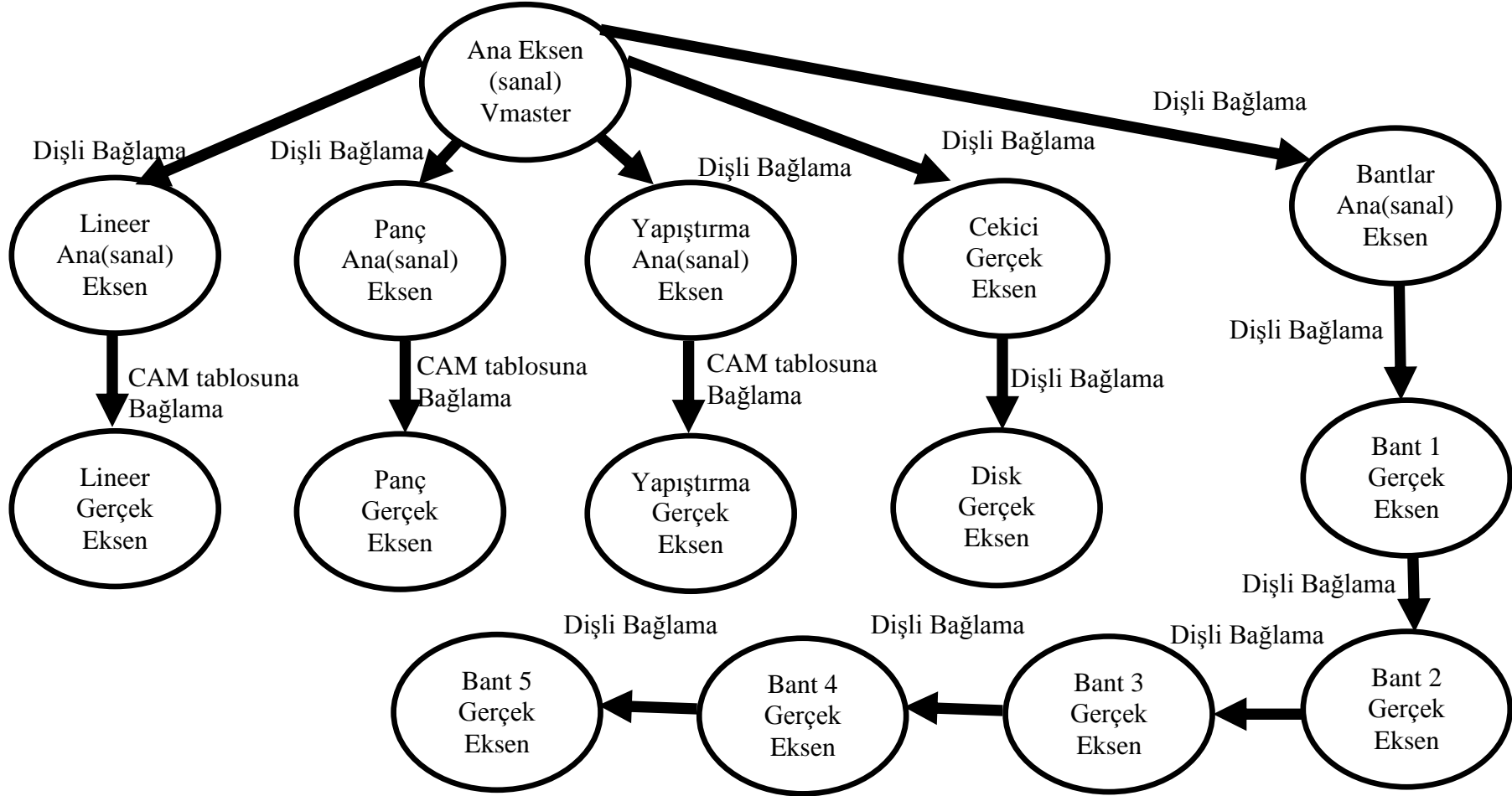
kullanılmıştır. Çıkış olarak ise eksen anlık pozisyonu, referans alma, dişli giriş ve kopma fonksiyon bloklarının çıkışları verilmiştir.

Fonksiyon bloğu iç yapısında ST dilinde yaygın olarak kullanılan bir yapı olan CASE kullanılmıştır. Sıralı işlem yapıldığında bu yapı işleyişi çok kolaylaştırmaktadır. En basit CASE kullanımı tamsayı bir değişkenin içeriğine göre yapılmaktadır. Bu değişken ilk başlangıçta hiçbir değer atılmamışsa 0 değerini almaktadır. Bu değer için istenilen diğer değişkenlere ilk değerler atılabilir. Bu ilk değerden başka bir değere atlatmak programın akışına göre yapılır. Kullanılan programda birçok hazır kütüphane bulunmaktadır. Bu kütüphanelerde yer alan fonksiyon blokları hep aynı düzen içinde yazılmıştır ve bu düzende hep geri besleme bitleri, hata durumları yer almaktadır. Eğer bu bloklar doğru anlaşılırsa, adım geçişleri blokların çıkışlarına göre kolaylıkla yapılabilmektedir. Örnek verecek olursak yapılan fonksiyon bloğunun girişi olan 'enable' girişi MC_POWER fonksiyon bloğunun girişidir ve bu giriş aktif edildiğinde eğer eksen sürücüsünde ya da eksende bir hata yoksa bu blok çıkışı aktif olarak bir sonraki adıma geçilmektedir. Sonrasında verilen home girişi ile referans alma işlemine başlanılır, aynı şekilde referans da sorunsuz bir şekilde alınırsa bir sonraki adım için hazır duruma gelinir. Referans işleminden sonraki işlem bütün eksenler durağan haldeyken elektronik dişli ile bağlama işlemi yapılabilir. Daha önceden de anlatıldığı gibi bir eksen başka bir eksene dişli oranı ile bağlanacaksa bağlanacak eksenin durağan halde olması gerekmektedir, aksi durumunda blok hata durumu verir ve akış bozulur. Bu yüzden referans işleminden sonra eksen durağan haldeyken ana eksene verilen dişli oranı ile bağlanma komutu verilir. Daha sonra eğer sorunsuz bir şekilde bağlanmışsa eksen hazır durumdadır. Bundan sonra dişli oranı ile bağlı eksen, ana eksen ne yapıyorsa o şekilde hareket eder. Bu hazır olunan durumda superpozisyon blokları çalıştırılabilir. İlgili mesafe, hız farkı ve aktif etme girişleri verildiğinde eksen yapılması istenen kompanzasyonu yapar. Kompanzasyon yapıldıktan sonra blok içinde aynı durumda beklenilir. Eğer bir durma komutu verilmişse sırası ile önce elektronik dişliden çıkarılır, elektronik dişliden çıktıktan sonra eksenin hareket edebileceği özelliği göz önünde bulundurularak eksen durdurma bloğu çağırılır. Eksen durduktan sonra bir sonraki çalıştırmadan önce resetleme işlemi yapılmalıdır.

Bazen sürücü resetlemek de gerekmektedir, bu yüzden NC resetlemenin yanında IO'larda bulunan sürücü de resetlenmelidir.



Şekil 5.30 : Oluşturulan fonksiyon bloğu.



Şekil 5.31 : Sanal ve gerçek eksenlerin birbirleriyle ilişkisi.

5.8 PID fonksiyon Bloğu

Sistem üzerinde naylonu yapıştırmak için ısıtıcılar kullanılmaktadır. Bu ısıtıcıları on-off kontrol yöntemi ile rölelerle ile kontrol edilmektedir. Isıtıcıların sıcaklığı ise J-tipi termokuple ile ölçülmüş ve PLC ye termokuple girişı ile alınmıştır.

5.8.1 TermoKuple

Termokuple yapısında farklı iki metalin birleştirilmesi ile oluşan sıcaklık farkından gerilim üretmektedir. Kullanıldıkları yerler sıcaklık sensörlerinde ölçüm ve kontrol ederek ısı enerjisini elektriksel büyüklüğe çevirmektedir. Bu aygıtlar pahalı değildir ve birbirlerinin yerine kullanılabilirler, ölçüm aralıkları oldukça geniştir. Tek kısıtlama sağladıkları doğruluktur, 1 kelvin altında bir doğrulukta ölçüm yapmak çok zordur.

Birbirine benzemeyen metallerin bir araya gelmesi ile oluşan yapıda sıcaklık farkı elektriksel potansiyel oluşturur. Bu yüzden alaşımların kullanılması ile tahmin edilebilen ve sıcaklık ile gerilim arasındaki bağıntı tekrarlanabilen yapıda olanlar pratik çözümler için kullanılır. Termokuple seçerken korozyona dayanıklılık önemli bir özelliktir. Termokupleler genellikle referans 0 derece santigrad ile standardize edilir. Termokupleler endüstri ve fen alanında geniş bir kullanım alanı bulur, genellikle gaz türbinleri ekzostunda, dizel motorlarda sıcaklık ölçüm uygulamalarında tercih edilir.

5.8.2 İşlemin prensibi

1821 yılında Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck herhangi bir iletken malzemenin termal eğime maruz kaldığında gerilim ürettiğini bulmuştur. Bu etkinin termoelektrik etki ya da Seebeck etkisi denir. Buradaki gerilimi ölçmek için başka bir iletken malzeme bağlamak gereklidir. Eklenen iletken sıcaklığa bağlı olarak gerilecek, orjinale ters olarak kendisi de bir gerilim üretecektir. Bu etkinin büyüklüğü kullanılan malzemeye göre farklılık gösterebilir. Çok farklı malzeme kullanılırsa bir birinden farklı iki gerilim elde edilir, bu yüzden birbirine benzeyen metaller kullanıldığında yakın gerilim değerleri elde edilir.

5.8.3 Gerilim – sıcaklık ilişkisi

Sıcaklık farkı ile termokuple çıkış gerilimi arasındaki nonlinear bağıntı (5.6) fonksiyon ile tanımlanabilir[16]:

$$\Delta T = \sum_{n=0}^N a_n v^n \quad (5.6)$$

A indisi kullanılan metale göre 0 ile 5-13 arasında bir değerdir. Bazı durumlarda doğruluk ek terimlerle daha iyi hale gelir.

Termokuple iki nokta arasındaki mutlak sıcaklığı değil, sıcaklık farkını ölçer. Bir sıcaklık değeri ölçmek için sıcaklığı bilinen malzeme referans kabul edilir diğer malzeme ise algılanan sıcaklığı verir. Bir tarafın bilinen sıcaklığına göre ölçüm laboratuvar kalibrasyonları için kullanışlı iken, birçok ölçüm ve kontrol uygulamalarında yeterince güvenilir değildir. Bunun yerine, termal diyod termistör gibi sıcaklığa duyarlı yapay soğuk birleşim yaparak, giriş sıcaklığı ölçülebilir, bu işlem yapılırken her sıcaklık eğrisi için dikkatli bir şekilde yapılır. Soğuk birleşim simule edilebilir ve gerekli düzeltmeler yapılabilir, bu tip birleşmeye soğuk kompanzasyon denir.

5.8.4 Tipleri

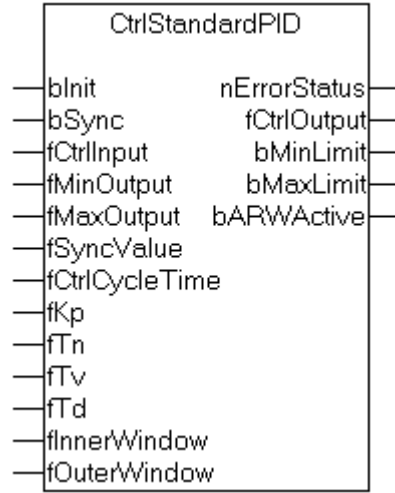
Belirli alaşımların kombinasyonu endüstride tercih edilir. Tercih edilen alaşımlar fiyat, bulunabilirlik, doğruluk, erime noktası, kimyasal özellikler, stabilite ve çıkış özelliklerine göre seçilirler. Farklı uygulamalar için farklı kombinasyonlar tercih edilir. Genellikle sıcaklık aralığına ve duyarlılığına göre seçilirler. Düşük duyarlı olan tipler B, R ve S tiplerin daha az çözünürlüğü vardır.

J-tipi termokuple demir-konstanta alaşımından oluşmaktadır ve sıcaklık ölçüm aralığı -40°C 'den 750°C 'ye kadardır. Derece başına $55 \mu\text{V}$ gerilim vermektedir. Demirin erime noktası olan 770°C maddenin kimyasının bozulmasına neden olur bu yüzden , üst limiti bu değer belirler.

5.8.5 Kullanıldıkları yerler

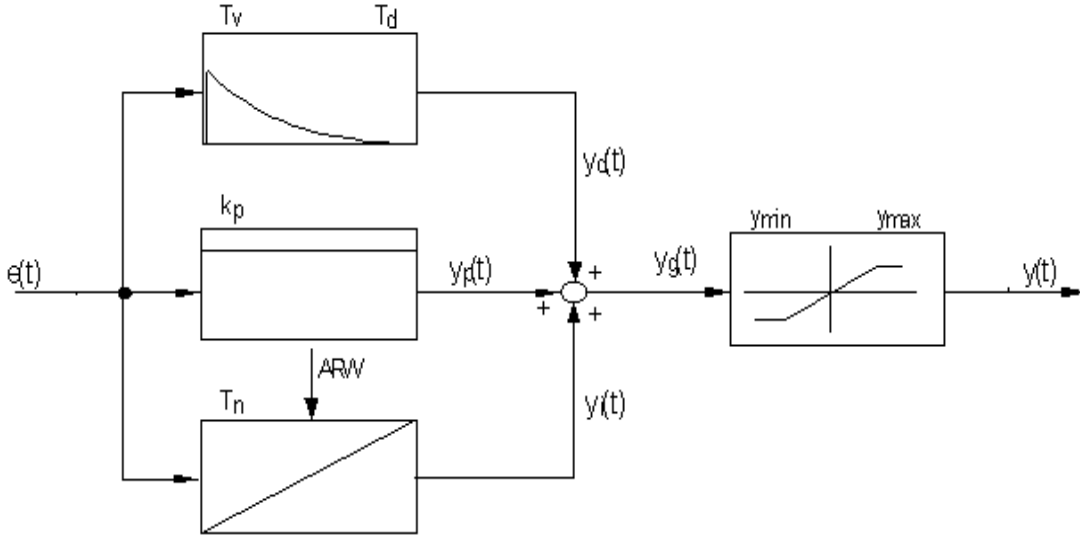
Termokuple yapıları gereği yüksek sıcaklıkta çalışabilen yapıdadır, 2300°C 'ye kadar kullanılabilirler. Daha az sıcaklık farkının bulunduğu ama daha doğru sonuçlar istendiğinde kullanılabilirlikleri azalır. Bu gibi uygulamalarda termistor ya da rezistif sıcaklık algılayıcılar tercih edilir.

Bizim uygulamada sıcaklık değerine göre transformatörlere enerji verilmekte ve dolayısıyla ısıtıcılar aktif olmaktadır. Isıtıcılara ekrandan belirlenen ayar noktası verilmekte ve geri besleme değeri J-tip termokuple ile alınmaktadır. Transformatörler solid state röleler ile kontrol edilmektedir. PLC'den on-off kontrol ile bu röleler enerjilendirilmektedir. On-off kontrolü yapabilmek için de geri besleme değerine ihtiyaç vardır. PLC'den kontrolün yapıldığı fonksiyon bloğu aşağıda verilmiştir. Bu blok akıllı bir PID bloğu olup ilk önce sistemi öğretim modunda %80'ine kadar ısıtılıp kontrol işaretinin nasıl verilmesi gerektiği hesaplanır.



Şekil 5.32 : PID fonksiyon bloğu.

Blokta bInit girişine PLC ilk çevriminde lojik 1 verildiğinde PID öğrenme moduna geçer ve çalışma şekli bu öğrenme modundan sonraki karaktere göre değişir. %80 kontrol işareti verilip minimum değerden maksimum değere kadar çıkış gözlemlenir ve daha sonra verilen kontrol işaretine göre sıcaklık değişimine göre bir karakteristik analiz yapılmış olur. Bu karakteristiğe göre daha sonra bir ayar noktası verildiğinde hep aynı şekilde çıkış verilerek aşısız bir kontrol yapılması amaçlanır. J-tipi termokuple çözünürlüğü 0.1° C olması ve çıkış değerinin birebir ham değerinin de bulunduğu sıcaklığa karşılık gelmesi kalibrasyon yaptırmaya gerek duyulmadan kontrol edebilmeyi sağlar.



Şekil 5.33 : PID kontrol iç yapısı.

Bu bloktan transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi bulunur(5.7):

$$K_p \neq 0$$

$$G(s) = \begin{cases} K_p \left(1 + \frac{1}{T_n s} + \frac{T_v s}{1 + T_d s}\right) : T_n > 0, T_v > 0, T_d > 0, \\ K_p \left(1 + \frac{T_v s}{1 + T_d s}\right) : T_n = 0, T_v > 0, T_d > 0 \\ K_p \left(1 + \frac{1}{T_n s}\right) : T_n > 0, T_v = 0, T_d = 0, \end{cases}$$

(5.7)

$$K_p = 0$$

$$G(s) = \begin{cases} \frac{1}{T_n s} + \frac{T_v s}{1 + T_d s} : T_n > 0, T_v > 0, T_d > 0, \\ \frac{1}{T_n s} : T_n > 0, T_v = 0, T_d = 0 \\ \frac{T_v s}{1 + T_d s} : T_n = 0, T_v > 0, T_d > 0, \end{cases}$$

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Ethernet tabanlı bir protokol olan EtherCAT teknolojisi ile bir ağ kurulmuş ve ağda bulunan servo sürücüler ile giriş çıkış modülleri tek bir merkezden kontrol edilmiştir. Endüstriyel şartlara uygun olması nedeniyle merkezi kontrol birimi olarak endüstriyel bilgisayar, işletim sistemi olarak da Windows CE kullanılmıştır. Gerçek zamanlı çalışmayı sağlayan Twincat yazılımı Windows CE işletim sistemi üzerine kurulmuştur. Kontrolör olarak bir bilgisayar kullanmanın getirdiği geniş olanaklar ile üretim hattının kontrolü gerçekleştirilmiştir.

Bus yapısı olarak tercih edilen EtherCAT geniş bir topoloji sunmaktadır. Kullanılan haberleşme protokolünün olanakları kullanılarak, I/O'lar ve sürücüler dağıtılmış biçimde yapılandırılmıştır. Bu sayede sadece haberleşme kablosu dağıtılarak giriş çıkışlara en kısa yoldan ulaşma imkanı bulunmuştur. Ayrıca servo sürücüler de aynı mantıkla dağıtılmış ve daha maliyetli kablolar olan enkoder ve motor güç kablolarında tasarruf yapılması sağlanmıştır.

Sadece topoloji olarak kazandırdıklarının yanında, hız bakımından da EtherCAT kullanmanın getirisi olduğu görülmüştür. Çok kısa çevrim süreleri elde edilerek servo motor hareketlerinde dinamik hareketler elde edilmiştir. Ağda bulunan bütün I/O'ların çevrim süresi ile PLC çevrim süresi birbirine yakın olduğundan bir gecikme söz konusu olmamıştır.

Bir bilgisayarın gerçek zamanlı çalışmasını sağlayan Twincat yazılımı donanım ve yazılım arasında bir köprü oluşturmuştur. Bu köprü üzerinde en hızlı haberleşme protokolü EtherCAT kullanılarak yapılması zor olan uygulamalar yapılabilir hale gelmiştir. Basit bir kontrolör yerine güçlü bilgisayarların kullanımına olanak sağlayan Twincat ile normalde çok karmaşık gibi görünen uygulamalar, çok kısa süre içinde yapılabilmektedir. Tanımlanan birden çok sanal eksen ile elektronik dişli ve elektronik CAM fonksiyonları başarı ile kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Özcelik, İ.**, 2004 : Farklı uygulama ve kapsama alanları için Ethernet teknolojileri.
- [2] **Cisco System**, 2003 : *Internetworking Technologies Handbook*, chapter 7 – Ethernet Technologies, Indianapolis, IN 46240 USA.
- [3] **Url-1** <http://www.ethercat.org/pdf/ethercat_e.pdf>, alındığı tarih 07.11.2009
- [4] **IEC 61158-3/4-12 (Ed.1.0).**, 2007 : Industrial communication networks – Fieldbus specifications – Part 3-4: Data-link layer service definition *International Electrotechnical Commission*.
- [5] **CENELEC, EN50254**, 1998 : High Efficiency Communication Subsystem for Small Data Packages, Part 2.
- [6] **Cena, G., Bertolotti, I. C., Valenzano, A., Zunino C.**, 2009 : A High-Performance CAN-like Arbitration Scheme for EtherCAT, *IEEE.*, 978-1-4244-2728-4/09.
- [7] **IEEE 802.3**, 2006 : Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications.
- [8] **Url-2** <<http://www.beckhoff.com/english.asp?download/EtherCAT.htm>>, alındığı tarih 12.02.2010.
- [9] **Url-3** <http://www.ilb2b.it/mc4_2006/atti/BECKHOFF.pdf>, alındığı tarih 09.11.2009.
- [10] **Url-4** <<http://www.EtherCAT.org/en/EtherCAT.html>>, alındığı tarih 10.02.2010.
- [11] **Url-5** <<http://tr.wikipedia.org/wiki/Bilgisayar>>, alındığı tarih 20.03.2010.
- [12] **Woelfel, M.**, 1999 : Introduction to electronic cam, *Assembly Automation.*, Vol. **19**, No. 1, 17-24.
- [13] **Hsieh, J. F.**, 2009 : Design and analysis of cams with three circular-arc profiles, *Mechanism and Machine Theory.*, **45** , 955–965.
- [14] **Jiazhong, X., Lei, Z., and Ming, Q.**, 2009 : Research on Electronic Cam Based on Nurbs Interpolation Algorithm. *The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments*.
- [15] **Liao C. S., Jeng, S. L. and Chieng, W. H.**, 2003 : Electronic cam motion generation with special reference to constrained velocity, acceleration, and jerk, *ISA Transactions.*, **43** , 427–443.
- [16] **Url-6** <<http://en.wikipedia.org/wiki/Thermocouple>>, alındığı tarih 02.03.2010.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: İsmail Güler

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 31.05.1986

Adres: KayaSultan Sok. No: 18/9 Kozyatağı/İstanbul

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi, Kontrol Mühendisliği