



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK FAKÜLTESİ
ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ
IV.PROJE YARIŞMASI**

VİNÇ SARKAÇ KONTROLÜ

Proje Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Şeref Naci ENGİN

Hilmi Artun OYMAN

Türker YİĞİTBAŞI

İstanbul, 2008

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

GİRİŞ.....	1
1.MEKANİK ve ELEKTRİKSEL KISIM.....	2
1.1 Parçalar.....	2
1.1.1 Vidalı mil - Somun (ABBA – SFUR1610).....	2
1.1.2 Kızak – Araba (HSK - AL24).....	3
1.1.3 Yataklar (UCP201).....	5
1.1.4 Kaplin (ABBA – SRJ40C).....	6
1.1.5 Enkoder (THALHEIM – ITD01B14).....	7
1.1.6 DC Servo motor (Maxon – EC40).....	8
1.1.7 Motor Sürücüsü (Maxon - 4-Q-EC DEC 70/10)	9
1.2 Vinç Sarkaç Sistemi.....	10
2. MODELLEME ve SİMÜLASYON.....	11
2.1 Araba - Sarkaç Sisteminin Matematiksel Modeli.....	11
2.1.1 Lagrange Yöntemi.....	11
2.1.2 Newton Yöntemi.....	18
2.2 DC Servo Motorun Matematiksel Modeli.....	23
2.3 Sistemin Simülasyonu.....	25
2.3.1 Kontrolsüz Sistem.....	25

2.3.2 PD Kontrollü Sistem.....	31
3. UYGULAMA.....	33
3.1 PLC Hakkında Temel Bilgi.....	33
3.2 PLC'nin Tanıtılması.....	34
3.3 PLC'nin Programlanması.....	35
3.4 Bağlantılar.....	36
SONUÇ.....	38
KAYNAKLAR.....	43
ÖZGEÇMİŞ.....	44

ÖNSÖZ

Dört senelik lisans eğitimimiz sonucunda öğrendiklerimizi bir uygulama ile pekiştirmemize yardımcı dokunan herkese, bugünlere gelmemizde emeği geçen bütün hocalarımıza, özellikle her daim yanımızda olan ve bizi destekleyen proje danışmanımız Yrd. Doç. Dr. Şeref Naci ENGİN 'e, uygulamamızı laboratuvarında yapmamıza izin veren değerli hocamız Yrd. Doç. Dr. Vasfi Emre ÖMÜRLÜ ' ye, sorularımızı cevapsız bırakmayan bize her zaman yardımcı olan Arş. Gör. Akın DELİBAŞI ' na, projemize maddi destek vererek hayata geçirmemizi sağlayan Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi ' ne, projemize teknik malzeme desteği sağlayan Elsim Elektroteknik Sistemler A.Ş. ' ye ve bu zor ama bir o kadar da eğitici projemizi gerçekleştirmemiz sırasında hep bizi destekleyen ailelerimize teşekkürlerimizi sunarız.

Hilmi Artun OYMAN

20/06/08

Türker YİĞİTBAŞI

ÖZET

Vinç sarkaç kontrolü konulu projede, asıl amaç sistem kontrolsüz haldeyken, dışarıdan gelen bir bozucu etki sonucu, kendi kendine uzun süre sallanarak durabilen sarkacı, algoritmik yöntemler kullanarak çok daha kısa sürede durdurabilmektir.

Vinç modeli şu şekilde oluşturulmuştur ;

- DC servo motor, kaplin vasıtası ile vidalı mile akuple edilmiştir.
- Vidalı mil sağ ve sol taraftan yataklanmıştır.
- Somun, vidalı mile geçirilmiş ve kızak üzerinde yatay hareket edecek olan arabaya bağlanmıştır.
- Sarkacın açılış bilgilerinin elde edilmesine yarayan enkoder somun üzerine monte edilmiştir.
- Parçaların birbirine monte edilmesi sırasında sac malzemedeki destek parçaları ve ayaklar kullanılmıştır.

Sistemin kontrolü için programlanabilir lojik kontrolcü (PLC) seçilmiştir. Phoenix Contact PLC' nin PC Worx isimli bilgisayar programında ladder diyagramları kullanılarak istenilen doğrultuda cevaplar verebilecek mantıksal bir döngü oluşturulmuştur. PLC' den gelen analog çıkış sürücü vasıtasıyla motora uygulanarak kızak üzerinde hareket eden sarkacın açılış kontrol edilir ve kısa sürede sönüm gerçekleşir.

GİRİŞ

Vinçler başta inşaat ve ticaret sektöründe olmak üzere çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Gelişen teknolojinin beraberinde getirdiği zorluklar nedeniyle vinç sistemlerinin de değişik modifikasyonlara ihtiyaçları açığa çıkmıştır. Bu doğrultuda vinç sarkaç kontrolü, popüler bir kontrol senaryosu olmuştur.



Şekil 1: Seyyar vinç

Bu projede asıl amaç yüke dışarıdan uygulanacak herhangi bir harici kuvvete karşı yükün salınımının minimum seviyede tutulmasıdır. Yükü taşıyan sarkaç sistemi bir arabaya bağlıdır ve bu araba lineer kızak üzerinde yatay olarak hareket etmek suretiyle sarkacın kızak ile yaptığı açığı dik açı olarak tutmaya çalışmaktadır. Bunun için öncelikle sistemin matematiksel modeli çıkartılır ve simülasyon yapılır.



Şekil 2: Sarkaç mekanizması

1. MEKANİK ve ELEKTRİKSEL KISIM

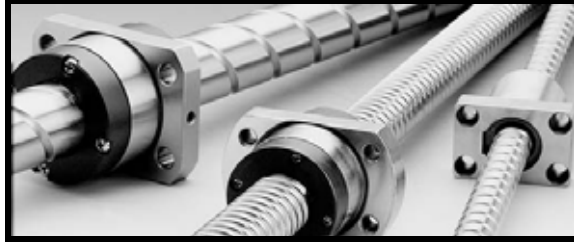
Bu bölümde vinç sarkaç modelinin yapımında kullanılan parçalar tanıtılmış ve sistem içindeki görevleri anlatılmıştır.

1.1 PARÇALAR

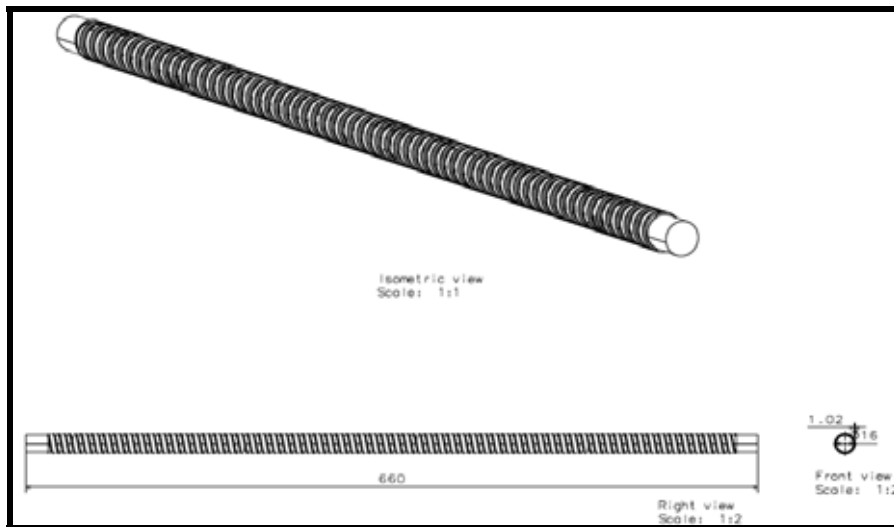
Mekanik kısmı oluşturan her parça resimleri ve teknik çizimleriyle gösterilmiş ve gerekli açıklamalar yapılmıştır.

1.1.1 Vidalı mil - Somun (ABBA – SFUR1610)

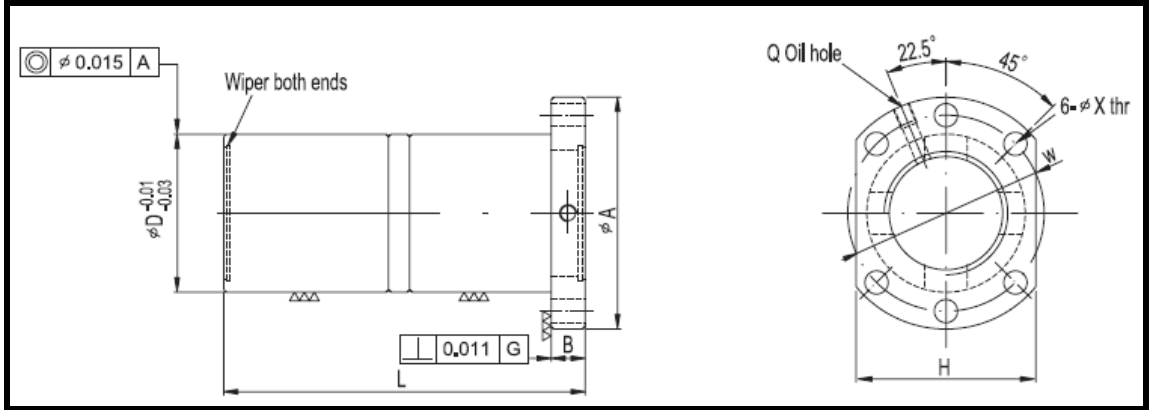
Döndürme hareketini düzlemsel harekete çeviren mekanizmadır. Bu projede motordan aldığı döndürme kuvvetini somun vasıtası ile sarkaç sisteminin düzlemsel hareketini sağlar.



Şekil 1.1: Vidalı mil ve somun



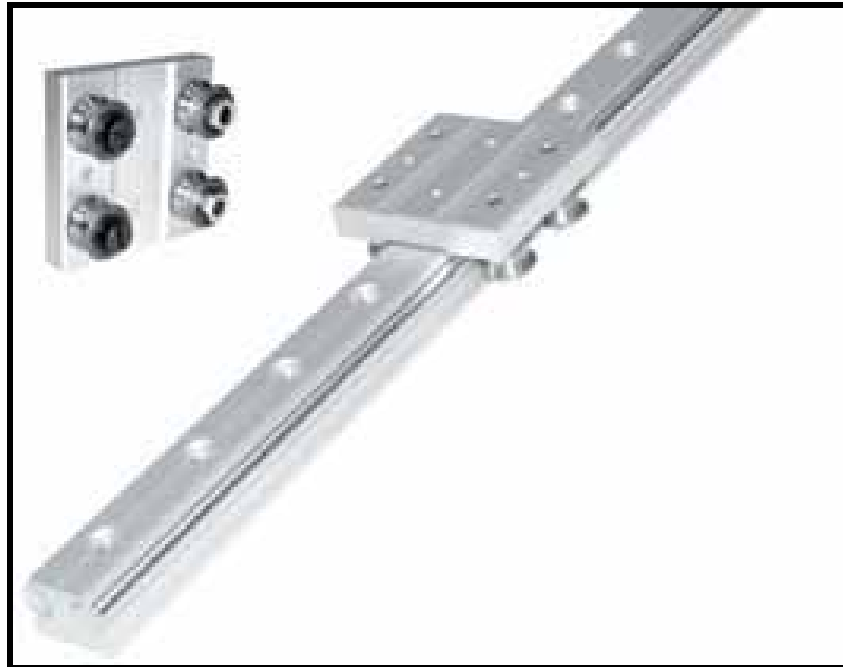
Şekil 1.2: Vidalı milin teknik çizimi



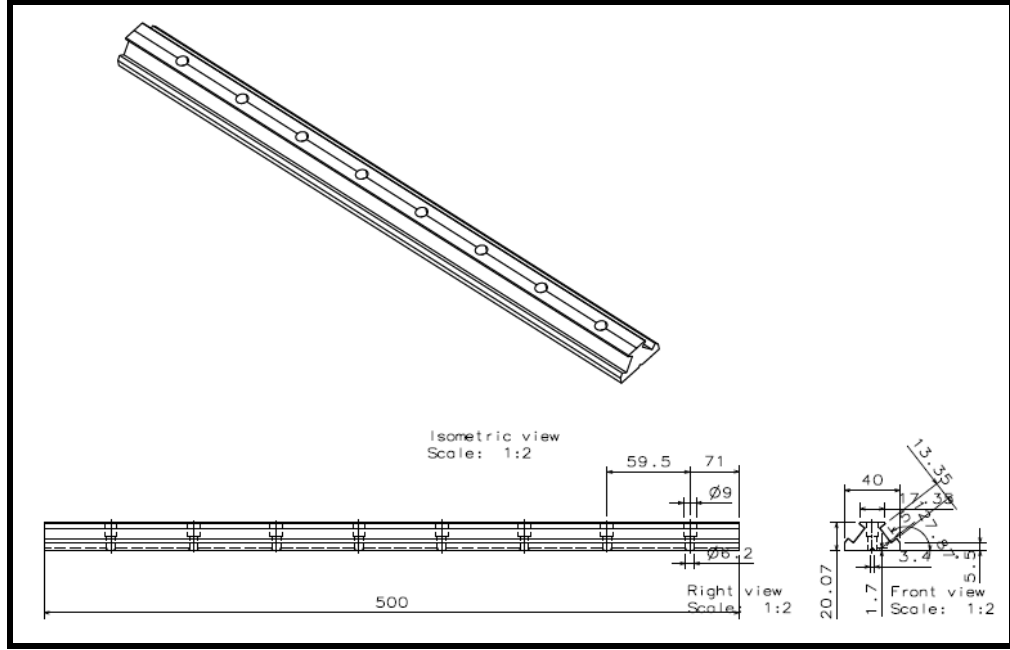
Şekil 1.3: Somunun teknik çizimi

1.1.2 Kızak – Araba (HSK - AL24)

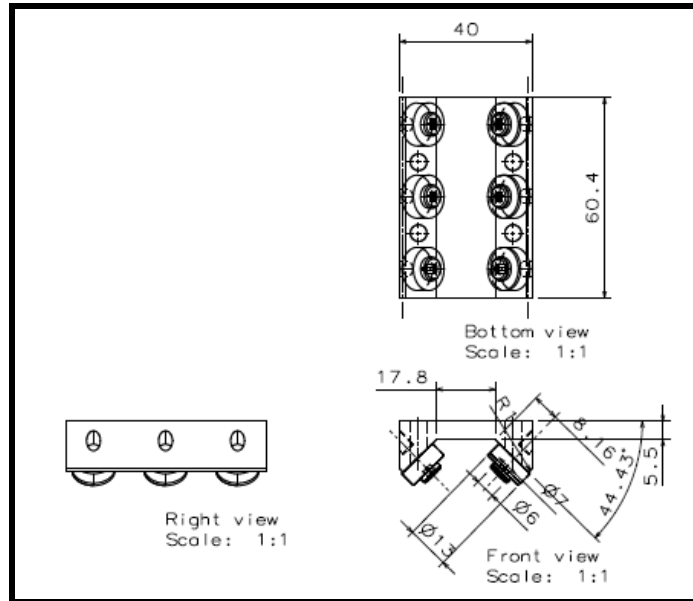
Somuna bağlı olan araba sarkaç sistemini lineer kızak üzerinde hareket ettirir.



Şekil 1.4: Kızak ve araba



Şekil 1.5: Kızağın teknik çizimi



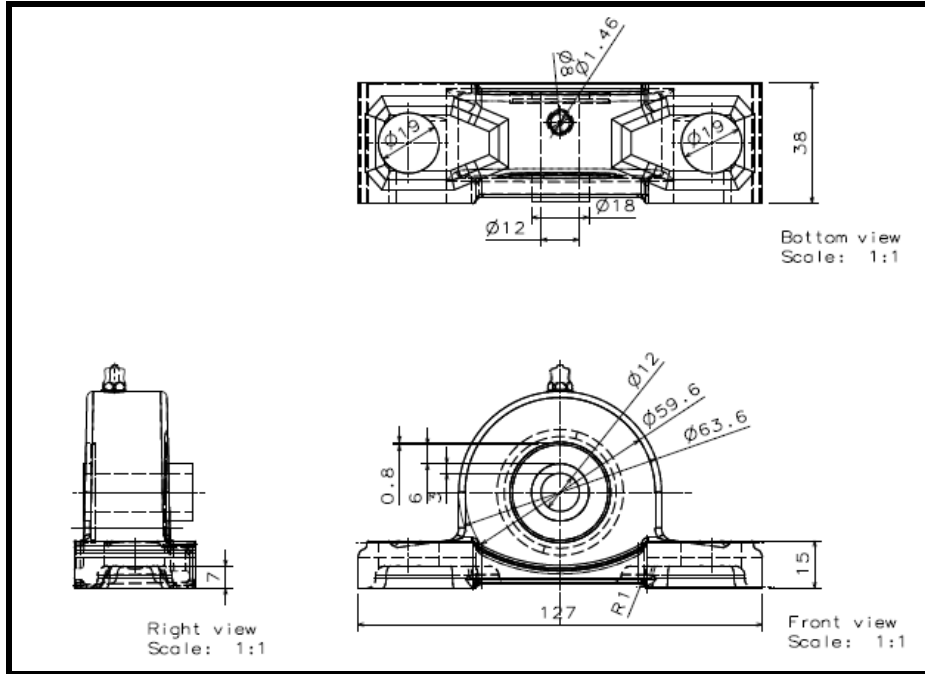
Şekil 1.6: Arabanın teknik çizimi

1.1.3 Yataklar (UCP201)

İki parça arasındaki, genellikle döner ya da düzlemsel hareketi sınırlandıran elemandır. Bu projede vidalı milin yataklanmasında iki adet UCP201 kullanılmıştır.



Şekil 1.7: UCP201



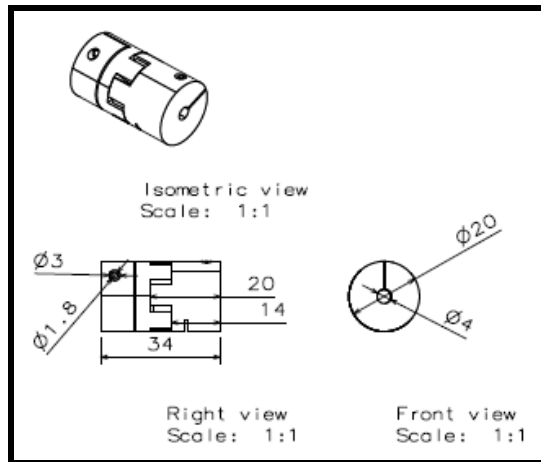
Şekil 1.8: UCP201 teknik çizim

1.1.4 Kaplin (ABBA – SRJ40C)

Kaplin bir hareketi diğerk bir ekipmana iletmek için kullanılır. Bu hareketi iletme esnasında mekanik titreşimleri ortadan kaldırmak için kaplin lastiğı denilen absorban bir malzeme kullanılmak zorundadır. Kullanılmadığı taktirde otaya çıkacak mekanik titreşimler makinaya zarar verebilir ve kulağı hoş gelmeyen sesler üretebilir. Kaplinler iki parçalı veya üç parçalı üreten firmaya göre çok parçalı da olabilirler. Bu projede motor milinin, vidalı mile akuple edilmesinde kullanılan parçadır.



Şekil 1.9: Kaplin



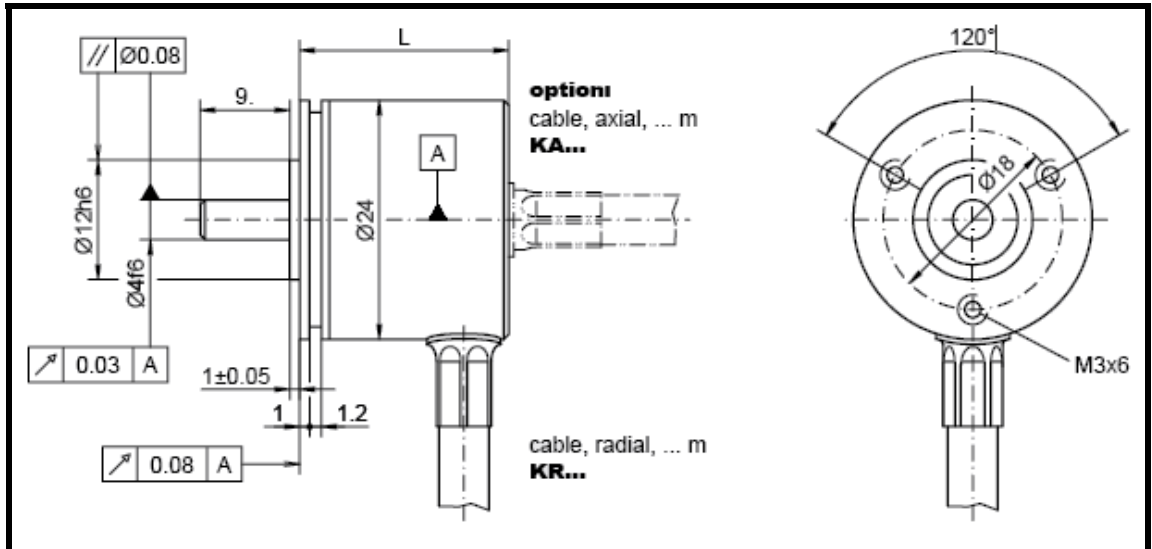
Şekil 1.10: Kaplinin teknik çizimi

1.1.5 Enkoder (THALHEIM – ITD01B14)

Enkoder, şaftın her farklı açısı için ayrı bir dijital kod üreten cihazdır. Bu kod depolanabilir, iletilebilir, şifrelenebilir veya farklı bir koda çevrilebilir. Bu projede enkoderin, hareket halinde olan sarkaçtan etkilenmemesi ve hassasiyetinin bozulmaması için enkodere sac malzemedен bir sistem entegre edilmiştir.



Şekil 1.11: Enkoder



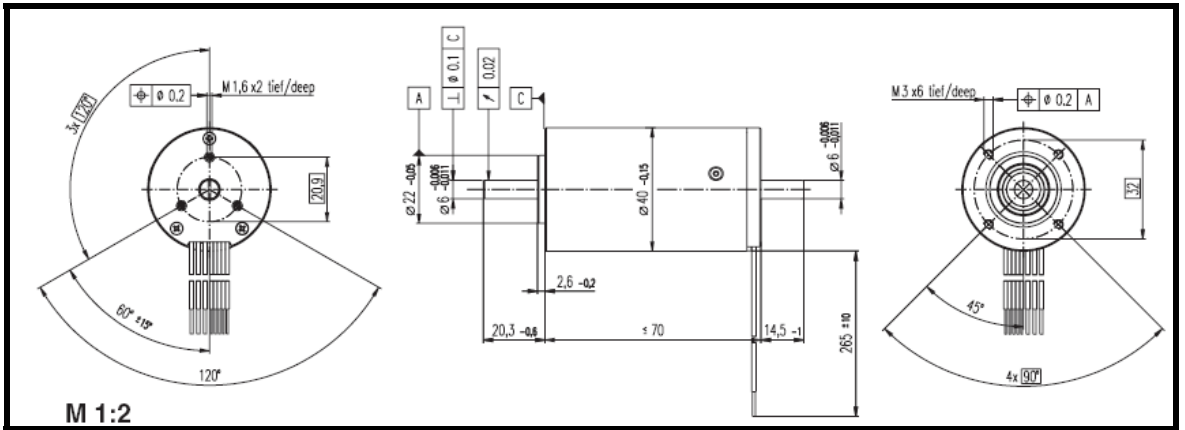
Şekil 1.12: Enkoderin teknik çizimi

1.1.6 DC Servo motor (Maxon – EC40)

Servo motorlar üzerindeki encoder yada resolver sayesinde yaptığı tüm hareketleri en ufak adımına kadar sisteme bildirir, yani kendini kontrol eder. Bu yüzden hassasiyetin yanında yüksek hız ve tork gerektiren işlerde çok avantajlıdırlar. 6000 d / dk ' ya kadar çıkan modelleri vardır. Servo motorlarda yüksek hızlarda ısınma sorunu olmaz, hız yükseldikçe tork değeri hafif bir eğimle düşer, fakat bu düşüş çok azdır ve sistem çok hassas çalışmayı gerektirmiyorsa dikkate alınmaz.



Şekil 1.13: DC servo motor



Şekil 1.14: DC servo motorun teknik çizimi

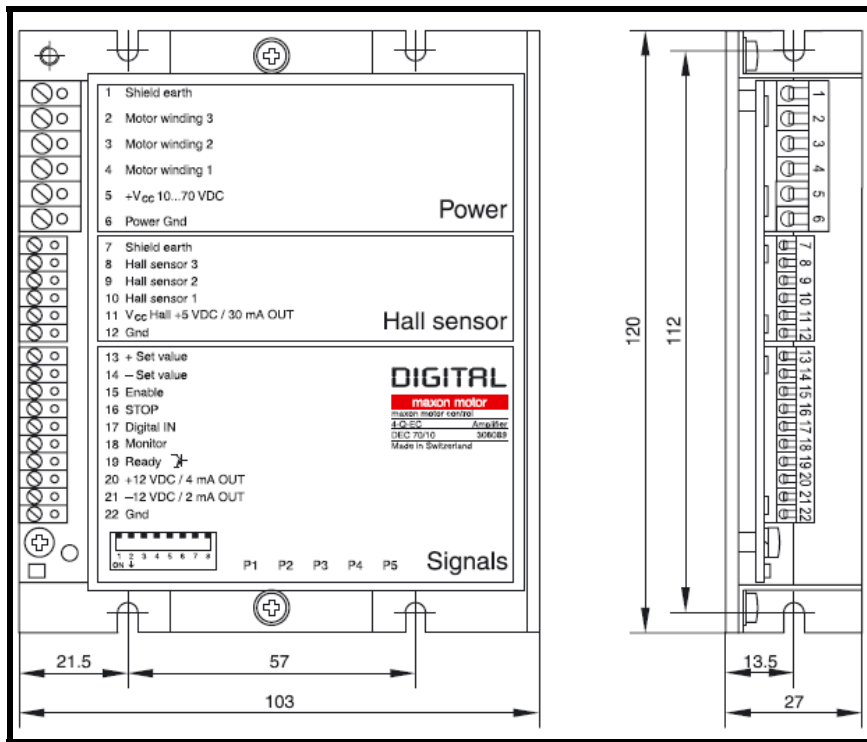
1.1.7 Motor Sürücüsü (Maxon - 4-Q-EC DEC 70/10)

PLC'den gelen emirler doğrultusunda motorun istenilen işlemleri gerçekleştirebilmesi için Maxon 4-Q-EC DEC 70/10 sürücü kullanılmıştır.



Şekil 1.15: Maxon 4-Q-EC DEC 70/10 sürücü

DEC (Dijital EC Kontrolör) 700 W'a kadar olan fırçasız EC motorların kontrolünde kullanılan küçük ve 4 bölgede çalışabilen, yüksek verimli dijital kontrolördür.

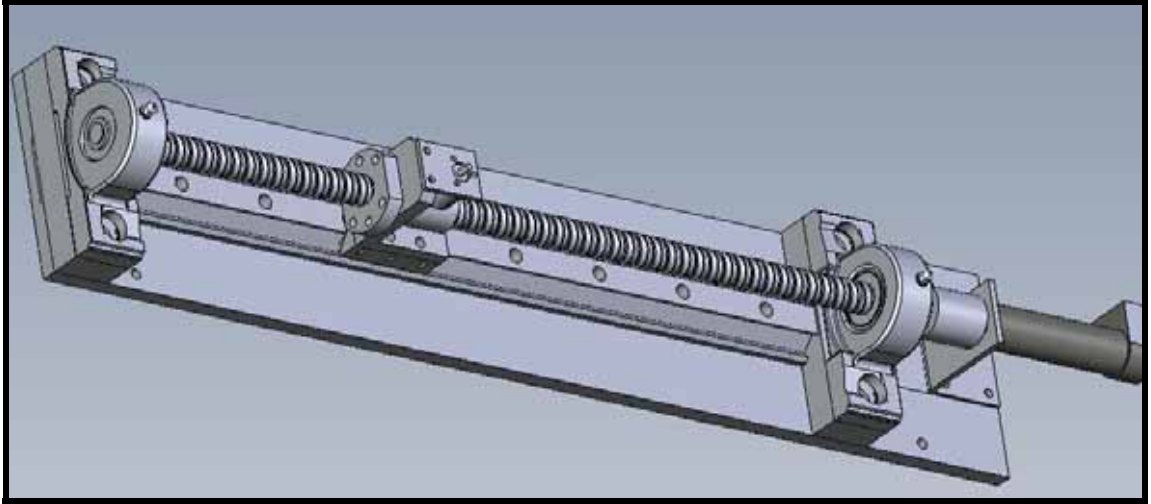


Şekil 1.16: : Maxon 4-Q-EC DEC 70/10 sürücüsünün teknik çizimi

1.2 VİNÇ SARKAÇ SİSTEMİ

Daha önce bahsedilen parçalar şu şekilde birleştirilmiştir;

- DC servo motor, kaplin vasıtası ile vidalı mile akuple edilmiştir.
- Vidalı mil sağ ve sol taraftan UCP201'ler ile yataklanmıştır.
- Somun, vidalı mile geçirilmiş ve kızak üzerinde yatay hareket edecek olan arabaya bağlanmıştır.
- Sarkacın açı bilgilerinin elde edilmesine yarayan enkoder somun üzerine monte edilmiştir.
- Parçaların birbirine monte edilmesi sırasında sac malzemedan destek parçalar kullanılmıştır.



Şekil 1.17: Vinç sarkaç sistemi

2. MODELLEME ve SİMÜLASYON

Bu bölümde araba-sarkaç sisteminin ve servo motorun matematiksel modeli detaylı olarak anlatılmıştır. Buna bağlı olarak tüm sistemin MATLAB Simulink içinde simülasyonu ve kontrolü yapılmıştır.

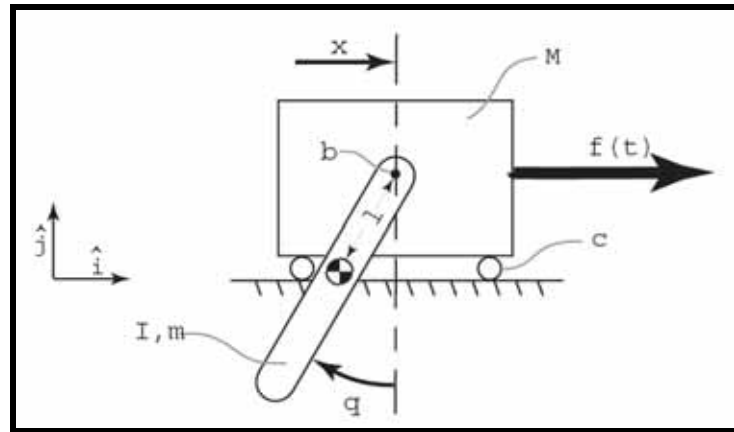
2.1 ARABA – SARKAÇ SİSTEMİNİN MATEMATİKSEL MODELİ

Araba ve sarkaçtan oluşan sistemin matematiksel modeli iki farklı yöntemle çıkartılabilir.

2.1.1 Lagrange Yöntemi

Çubuklu arabanın teorik modeli Lagrange Dinamikleri kullanılarak çıkartılabilir. İlk olarak genelleştirilmiş koordinat seçimi yapılır, daha sonra genelleştirilmiş kuvvetler, enerji fonksiyonları ve Lagrangian için tanımlar türetilir. Son olarak hareket eşitliğini elde etmek için Lagrange Eşitliği kullanılır.

Şekilde sistemin şematiği görülmektedir. Bu model ve koordinat sistemi analizlerde kullanılacaktır. Bu türetim sarkacın ağırlık merkezinde bir atalet (I) içerir. Noktasal yük olması durumunda bu terim sıfır olacaktır.



Şekil 2.1: Araba – Sarkaç modeli. Modelde, arabanın ağırlığı (M), sarkaç ağırlığı (m) ve sarkacın birleşme noktasına 1 birim uzaklıkta, ağırlık merkezinde atalet (I) bulunur. Ayrıca dönen hareket viskoz sürtünme katsayısı (b) ve düzlemsel sürtünme katsayısı (c) hesaba katılmıştır.

Genelleştirilmiş Koordinat Sistemi

Sarkaç arabası sisteminin serbestlik derecesi ikidir ve bu yüzden iki genelleştirilmiş koordinatla ifade edilebilir. Bu analizde genelleştirilmiş koordinatlar, arabanın yatay deplasmanı için, x , ve sarkacın döner deplasmanı için, θ , olmak üzere :

$$\zeta_j: x, \theta \quad (2.1)$$

x 'in pozitif yönü sağa θ 'nın pozitif yönü aşağı konumdan bakıldığında saat yönündedir. Pozitif θ Saat yönünde yönde seçildiyse, bundan dolayı x ve θ sarkacın ters konumunda olduğu zaman sağa doğru ölçülür. İlgili kabul edilebilir değişimler, tam ve bağımsız olarak şu şekilde verilmiştir

$$\zeta_j: \delta x, \delta \theta \quad (2.2)$$

o halde sistem holonomiktir.

Genelleştirilmiş Kuvvetler

Genelleştirilmiş kuvvetlerin ifadesi, Ξ_j , korunumsuz işten şu şekilde türetilebilir

$$\delta W^{nc} = \sum_{i=1}^N \mathbf{f}^{nc} \cdot \delta \mathbf{R}_i = \sum_{j=1}^n \Xi_j \delta \zeta_j \quad (2.3)$$

burada \mathbf{R}_i , i . Korunumsuz kuvvet etkidiği durumda pozisyon vektörüdür. Bu durumda korunumsuz kuvvetler, giriş kuvveti ve sistem sönümünün sonucudur,

$$(2.4)$$

$$\delta W^{nc} = f(t)\delta x - c\dot{x}\delta x - b\dot{\theta}\delta \theta$$

Bu iki eşitlik karşılaştırıldığında genelleştirilmiş kuvvetler için ifadeyi verir:

(2.5)

$$\begin{aligned}\Xi_x &= f(t) - c\dot{x} \\ \Xi_\theta &= -b\dot{\theta}\end{aligned}$$

Kinetik ve Potansiyel Enerji Fonksiyonları

Arabanın ağırlığı için kinetik enerji fonksiyonu basit olarak

$$T_M^* = \frac{1}{2} M \dot{x}^2 \quad (2.6)$$

Sarkaç için koenerji fonksiyonu bu denklemden çıkartılır,

$$T_m^* = \frac{1}{2} m \mathbf{v}_c \bullet \mathbf{v}_c + \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (2.7)$$

burada I sarkacın ağırlık merkezindeki atalet momentini, \mathbf{v}_c ise sarkacın ağırlık merkezinin hızını simgeler. Bu hız sarkacın ağırlık merkezinin konumu ile şu şekilde bağıntılandırılabilir,

$$\mathbf{r}_c = (x - l \sin \theta) \hat{\mathbf{i}} - l \cos \theta \hat{\mathbf{j}} \quad (2.8)$$

$$\mathbf{v}_c = \frac{d\mathbf{r}_c}{dt} = (\dot{x} - l \cos \theta \dot{\theta}) \hat{\mathbf{i}} + l \sin \theta \dot{\theta} \hat{\mathbf{j}} \quad (2.9)$$

Sarkacın açısal hızı basitçe,

$$\omega = \dot{\theta} \quad (2.10)$$

$$\omega = \dot{\theta}$$

Eşitlik 2.9 ve 2.10 'u 2.7 'nin içine koyarsak;

$$T_m^* = \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 - 2\dot{x}l\cos\theta\dot{\theta} + l^2\cos^2\theta\dot{\theta}^2 + l^2\sin^2\theta\dot{\theta}^2) + \frac{1}{2}I\dot{\theta}^2 \quad (2.11)$$

ve sadeleştirirsek, şu hali alır

$$T_m^* = \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 - 2\dot{x}l\cos\theta\dot{\theta} + l^2\dot{\theta}^2) + \frac{1}{2}I\dot{\theta}^2 \quad (2.12)$$

Bu durumda toplam kinetik enerji şu şekilde olur

$$T^* = T_M^* + T_m^* = \frac{1}{2}M\dot{x}^2 + \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 - 2\dot{x}l\cos\theta\dot{\theta} + l^2\dot{\theta}^2) + \frac{1}{2}I\dot{\theta}^2 \quad (2.13)$$

Araba sadece yatay düzlemde hareket ettiği için, sistemin potansiyel enerjisi tamamı ile sarkacın açısına göre belirlenir.

$$V = -mgl\cos\theta \quad (2.14)$$

Lagrangian

Kinetik ve potansiyel enerji bağıntılarından Lagrangian şu şekilde elde edilir,

$$L = T^* - V \quad (2.15)$$

2.13 ve 2.14 eşitliklerinden Lagrangian şu şekilde yazılabilir

$$L = \frac{1}{2}M\dot{x}^2 + \frac{1}{2}m(\dot{x}^2 - 2\dot{x}l\cos\theta\dot{\theta} + l^2\dot{\theta}^2) + \frac{1}{2}I\dot{\theta}^2 + mgl\cos\theta \quad (2.16)$$

Lagrange Eşitliği

Durum eşitlikleri Lagrange Eşitliği'nden türetilebilir:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\xi}_j} \right) - \frac{\partial L}{\partial \xi_j} = \Xi_j \quad (2.17)$$

x için eşitlik şu şekildedir

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial L}{\partial x} = \Xi_x \quad (2.18)$$

2.16 eşitliği ve kısmi türevlerin hesaplanmasıyla oluşan denklem;

$$\frac{d}{dt} (M\dot{x} + m\dot{x} - ml \cos\theta \dot{\theta}) - 0 = f(t) - c\dot{x} \quad (2.19)$$

Sadeleştirilirse

$$(M + m)\ddot{x} - ml \cos\theta \ddot{\theta} + ml \sin\theta \dot{\theta}^2 = f(t) - c\dot{x} \quad (2.20)$$

θ için eşitlik şu şekilde olur

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta} = \Xi_\theta \quad (2.21)$$

2.16 eşitliği ve kısmi türevlerin hesaplanmasıyla oluşan denklem;

$$\frac{d}{dt} (-m\dot{x} \cos\theta + ml^2 \dot{\theta} + I\dot{\theta}) - (m\dot{x} \sin\theta \dot{\theta} - mgl \sin\theta) = -b\dot{\theta} \quad (2.22)$$

Sadeleştirilirse

$$(ml^2 + I)\ddot{\theta} - m\dot{x}\cos\theta + m\dot{x}\sin\theta\dot{\theta} - m\dot{x}\sin\theta\dot{\theta} - mgl\sin\theta = -b\dot{\theta} \quad (2.23)$$

Son olarak sistemin durum eşitlikleri şunlardır

$$\begin{cases} (M + m)\ddot{x} + c\dot{x} - ml\cos\theta\ddot{\theta} + ml\sin\theta\dot{\theta}^2 = f(t) \\ -m\dot{x}\cos\theta + (ml^2 + I)\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + mgl\sin\theta = 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

Lineerleştirme

Bir sonraki aşamaya geçilmesi için, durum eşitlikleri lineerleştirilmelidir. İki denge noktası bulunur: $\theta=0$ (sarkaç aşağı pozisyonda ve kararlı) ve $\theta=\pi$ (sarkaç yukarı pozisyonda ve kararsız). θ_0 noktasındaki küçük bir değişim olması durumunda:

$$\begin{aligned} \theta &= \theta_0 + \varepsilon \\ \dot{\theta} &= \dot{\varepsilon} \end{aligned} \quad (2.25)$$

Taylor serisi açılımından herhangi bir θ fonksiyonuna birinci derece yaklaşım şu şekildedir,

$$f(\theta) \approx f(\theta_0) + \varepsilon \left. \frac{df}{d\theta} \right|_{\theta_0} \quad (2.26)$$

Ayrıca yüksek dereceli terimler ihmal edilir,

$$\dot{\varepsilon}^2 \approx 0 \quad (2.27)$$

$\theta=0$ için (2.26) eşitliği şu denklemleri sağlar

$$\begin{aligned} \cos\theta &\approx \cos(0) + \theta[-\sin(0)] = 1 \\ \sin\theta &\approx \sin(0) + \theta[\cos(0)] = \theta \end{aligned} \quad (2.28)$$

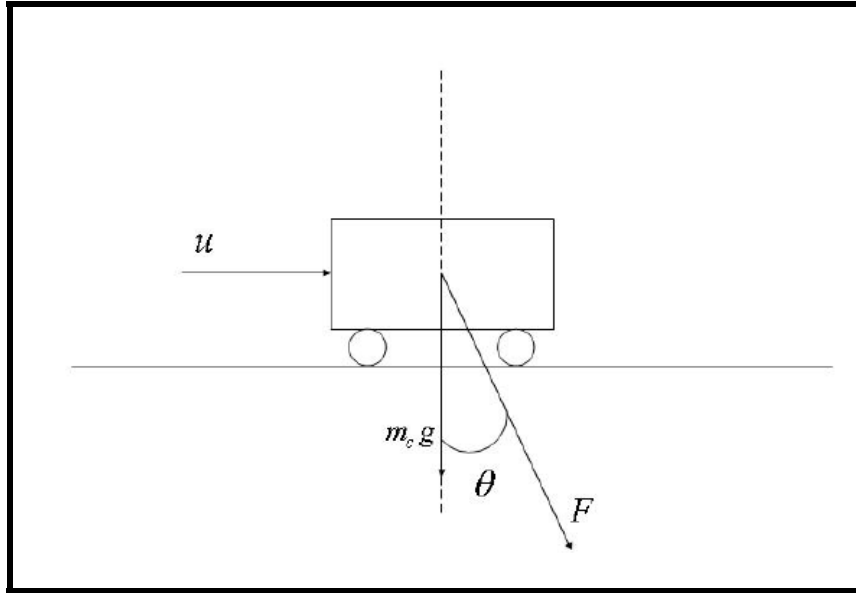
Bu denklemler durum uzayı eşitliklerinde yerlerine koyulursa ve yüksek dereceli terimler ihmal edilirse durum uzayı denklemleri aşağıdaki gibi olur

$$\begin{cases} (M+m)\ddot{x} + c\dot{x} - m\ddot{\theta} = f(t) \\ -m\dot{x} + (ml^2 + I)\ddot{\theta} + b\dot{\theta} + mg\theta = 0 \end{cases} \quad (2.29)$$

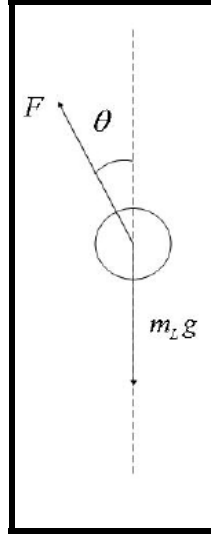
2.1.2 Newton Yöntemi

Bu yöntemde modelleme Newton'un İkinci Kanunu uygulanarak yapılmıştır. Seyyar vinç modellemesine göre, sistem dinamikleri göz önüne alınırsa matematiksel denklemler elde edilebilir. Kinematik ve kinetik karakteristikleri analiz edilerek sistem dinamikleri çıkartılabilir. Kinematik hareketin geometrik yapısıyla ilgilenen kısımken , kinetik harekete neden olan kuvvetleri analiz etmektedir. Bu karakteristikler kullanılarak matematiksel denklem iki şekilde elde edilir.

Bu yöntemde matematiksel eşitlikleri bulabilmek için kinetik karakteristik seçilmiştir. 2.2 ve 2.3 şekillerine bakacak olursak ;



Şekil 2.2: Arabanın serbest cisim diagramı



Şekil 2.3: Yükün serbest cisim diagramı

F çubuğu uygulanan boyuna kuvvettir. Çubuk ince ve ağırlıksız kabul edilmiştir. Bu rijit yapıyı etkileyebilecek yerçekimi ve atalet momenti etkileri ihmal edilmiştir. Kinetik karakteristikler kullanılarak kuvvet ve ivme arasındaki şu eşitlikler çıkartılır,

i. Araba, yatay :

$$\begin{array}{l} - \\ + \end{array} \quad m_c \frac{d^2 x_1}{dt^2} = u + F \sin \theta \quad (2.30)$$

ii. Araba, dikey :

$$\downarrow + \quad F \cos \theta + m_c g = 0 \quad (2.31)$$

iii. Yük, yatay :

$$\begin{array}{l} - \\ + \end{array} \quad m_L \frac{d^2 (x_1 + l \sin \theta)}{dt^2} = -F \sin \theta \quad (2.32)$$

iv. Yk, dikey :

$$\downarrow + \quad m_L \frac{d^2(l \cos \theta)}{dt^2} = -F \cos \theta + m_L g \quad (2.33)$$

2.30 ve 2.32 eŖitliklerinden,

$$m_c \frac{d^2 x_1}{dt^2} = u - m_L \frac{d^2(x_1 + l \sin \theta)}{dt^2}$$

$$m_c \frac{d^2 x_1}{dt^2} + m_L \frac{d^2(x_1 + l \sin \theta)}{dt^2} = u \quad (2.34)$$

2.32 ve 2.33 eŖitliklerinden,

$$m_L \frac{d^2(l \cos \theta)}{dt^2} = \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \cdot m_L \frac{d^2(x_1 + l \sin \theta)}{dt^2} + m_L g$$

$$m_L \frac{d^2(l \cos \theta)}{dt^2} \cdot \sin \theta - m_L \frac{d^2(x_1 + l \sin \theta)}{dt^2} \cos \theta = m_L g \sin \theta \quad (2.35)$$

Ara iŖlemlere bakılırsa,

$$\frac{d^2(x_1 + l \sin \theta)}{dt^2} = \ddot{x}_1 + l\ddot{\theta} \cos \theta - l\dot{\theta}^2 \sin \theta \quad (2.36)$$

$$\frac{d^2(l \cos \theta)}{dt^2} = -l\ddot{\theta} \sin \theta - l\dot{\theta}^2 \cos \theta \quad (2.37)$$

(2.34) , (2.35) , (2.36) , (2.37) eşitlikleri sadeleştirilirse,

$$(m_L + m_c) \ddot{x}_1 + m_L l (\ddot{\theta} \cos \theta - \dot{\theta}^2 \sin \theta) = u \quad (2.38)$$

$$m_L \ddot{x}_1 \cos \theta + m_L l \ddot{\theta} = -m_L g \sin \theta \quad (2.39)$$

$$\ddot{x}_1 \cos \theta + l \ddot{\theta} = -g \sin \theta \quad (2.40)$$

(2.33) ve (2.34) eşitliklerinden durum uzayı formu elde edilir:

$$\begin{bmatrix} m_L + m_c & m_L l \cos \theta \\ m_L \cos \theta & m_L l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_L l \dot{\theta}^2 \sin \theta + u \\ -m_L g \sin \theta \end{bmatrix}$$

Bir önceki eşitlik çözüldüğünde şu denklem elde edilir:

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{u + m_L \sin \theta (l \dot{\theta}^2 + g \cos \theta)}{m_c + m_L \sin^2 \theta} \\ -\frac{u \cos \theta + m_L \sin \theta (g + l \dot{\theta}^2 \cos \theta) + g m_c \sin \theta}{l (m_c + m_L \sin^2 \theta)} \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

Lineerleştirme

Yukarıdaki eşitlik non-lineer olduğundan, dizayn ve diğer kısımların analizinde kullanımı kolay değildir. Lineerleştirme ile model basit bir hale indirgenir. Lineer modeli elde etmek için yukarıdaki modele lineerleştirme uygulanır. Bunun için θ 'nın ve açısal hızın çok küçük olduğu varsayılır. Diğer bir deyişle aşağıdaki eşitliklerden bunu sağlarız:

$$\cos \theta \approx 1; \sin \theta \approx \theta; \sin^2 \theta \approx 0; \dot{\theta}^2 \approx 0. \quad (2.42)$$

Bu sayede,(2.42) eşitlikleri (2.41) denklemine uygulandığında şu hale gelir,

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{u + m_L g \theta}{m_c} \\ -\frac{u + m_L \theta g + g m_c \theta}{l m_c} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{m_L g \theta}{m_c} \\ -\frac{m_L \theta g + g m_c \theta}{l m_c} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{u}{m_c} \\ -\frac{u}{l m_c} \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} 0 & \frac{m_L}{m_c} g \\ 0 & -\frac{m_L + m_c}{l m_c} g \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{m_c} \\ -\frac{1}{l m_c} \end{bmatrix} u
 \end{aligned} \tag{2.43}$$

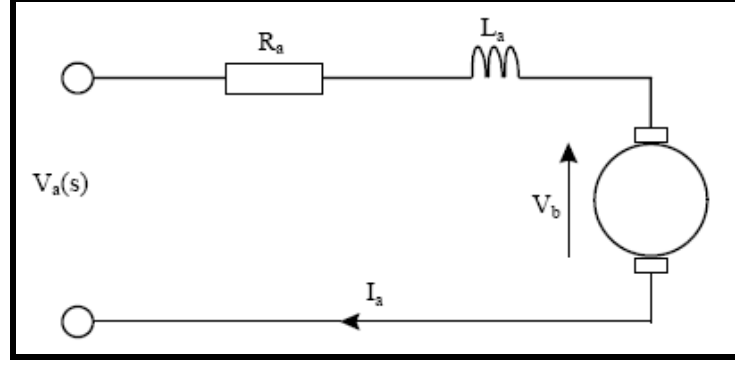
Sadeleştirme işlemleri sonucu durum uzayı matrisi son halini alır;

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \\ \dot{x}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \ddot{x}_1 \\ \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{m_L}{m_c} g & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{m_L + m_c}{l m_c} g & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{m_c} \\ 0 \\ -\frac{1}{l m_c} \end{bmatrix} u \tag{2.44}$$

Sonuç olarak bu projede, daha gerçekçi bir model olması açısından sürtünmeleri de hesaba katan Lagrange Yöntemi tercih edilmiştir.

2.2 DC SERVO MOTORUN MATEMATİKSEL MODELİ

Sarkaç sistemine hareketi sağlamak için 36 V fırçasız DC servo motor kullanılmıştır. Şekilde DC servo motorun devre modeli verilmiştir.



Şekil 2.4: DC servo motorun elektriksel devresi

R_a toplam armatür direncini vermektedir. L_a armatür endüktansdır. Rotor manyetik bir DC alan içerisinde döndüğünde, V_b ters emk'dır ve rotorun açısal hızıyla doğru orantılıdır.

$$V_b = \omega(t)K_e \quad (2.45)$$

Şekildeki devreye çevre akımları yöntemi uygulandığında;

$$V_a = R_a I_a + L_a \dot{I}_a + \omega(t)K_e \quad (2.46)$$

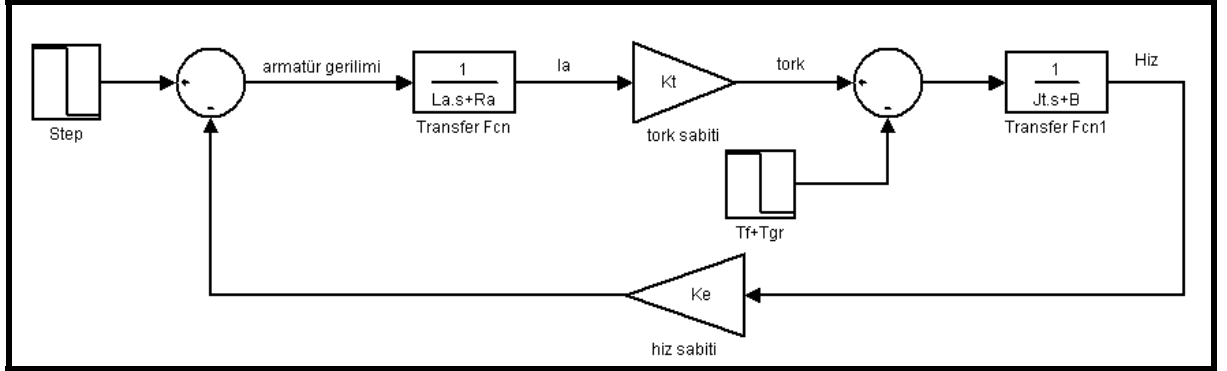
I_a ve \dot{I}_a armatür akımını ve bu akımın zamana göre türevini verir. Motorun torku armatür akımıyla doğru orantılıdır.

$$T_g = K_t I_a \quad (2.47)$$

Burada K_t tork sabitidir. Üretilen tork; ataleti, armatürün hareketinden doğan viskoz sürtünmeyi ve yük torkunu karşılayabilmek için kullanılır.

$$T_g = J_t \dot{\omega}(t) + B\omega(t) + T_f + T_{gr} \quad (2.48)$$

Bu eşitlikte J_t toplam ataleti, B rotor viskoz sürtünme katsayısını, T_f motor ve yükün (şaft, dişli, vs.) ters yönde etki eden sürtünme torkunu ve T_{gr} yerçekimine bağlı yük torkunu temsil eder.



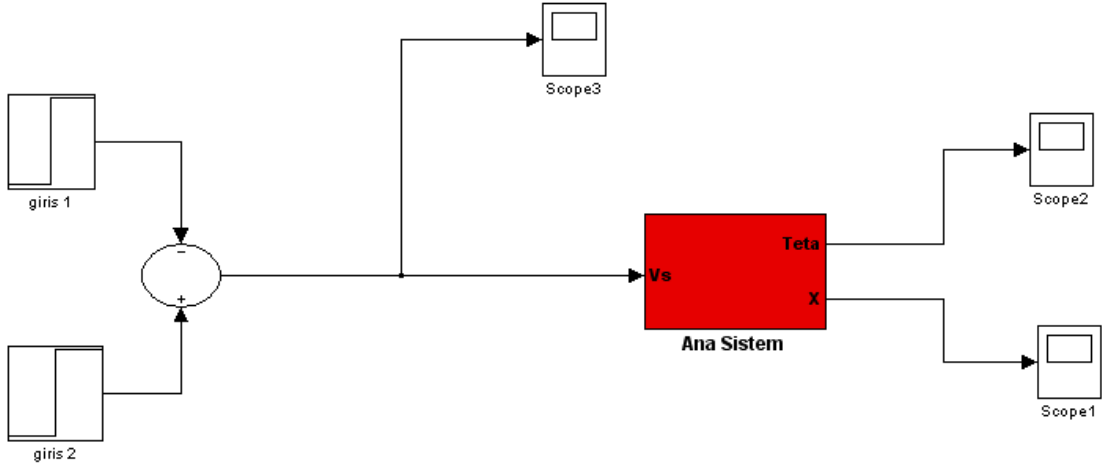
Şekil 2.5: DC servo motorun Simulink blok diyagramı

2.3 SİSTEMİN SİMÜLASYONU

Bu bölümde matematiksel modellemeleri yapılmış olan, araba-sarkaç ve dc servo motor, Simulink ortamında birleştirilerek, tüm sistemin uygulanan kontrolden önce ve sonra verdiği sonuçlar incelenecektir.

2.3.1 Kontrolsüz Sistem

Sisteme kontrol uygulanmadan önce, en dıştan bakıldığında giriş V_s gerilimi, çıkışlar ise sarkacın dikey eksenle yapmış olduğu açı (teta) ve arabanın aldığı yol (X) şeklinde olur.



Şekil 2.6: Sistemin ana blok diyagramı

Bütün sistem değişkenleri şekilde gösterildiği gibi seçilir.

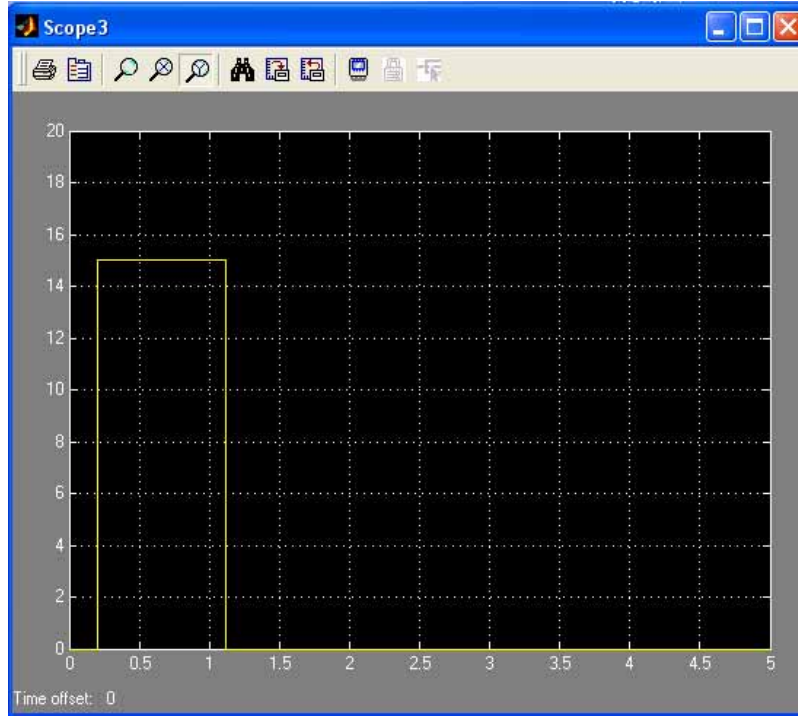
The image shows a software dialog box titled "Block Parameters: Ana Sistem". It contains a list of parameters with corresponding input fields. The parameters and their values are as follows:

Parameter	Value
Subsystem (mask)	
Araba ağırlığı (Mc)	0.25
Yük ağırlığı (m)	0.5
yerçekimi ivmesi (g)	9.81
viskoz sürünme (b)	0.001
sürünme (c)	10
çubuk uzunluğu (l)	0.2
Armatur direnci (Ra)	1.04
Armatur enduktansı (La)	$0.263 \cdot 10^{-3}$
Tork sabiti (Kt)	0.0347
Hız sabiti (Ke)	3.636
Toplam atalet momenti (Jt)	$85 \cdot 10^{-6}$
Motor viskoz sürünme (By)	0.001

At the bottom of the dialog box, there are four buttons: OK, Cancel, Help, and Apply.

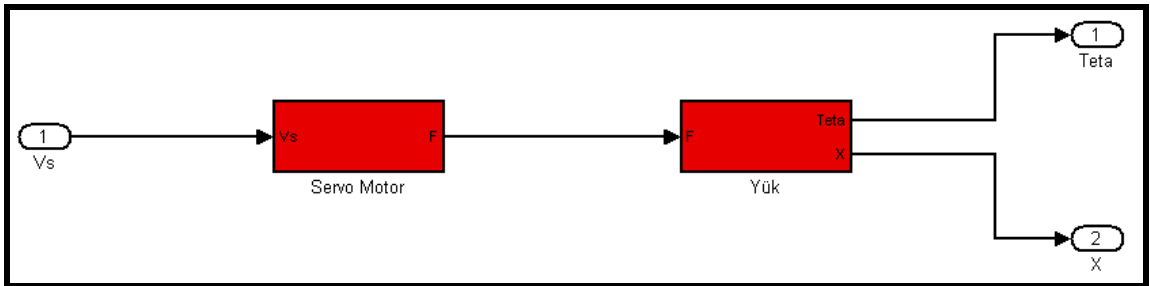
Şekil 2.7: Sistem parametreleri

Giriş gerilimi iki adet step bloğu yardımıyla elde edilmiştir. Motorun 1sn'lik bir F kuvvetine karşılık üreteceği gerilim yaklaşık 15V olduğu varsayılmıştır.



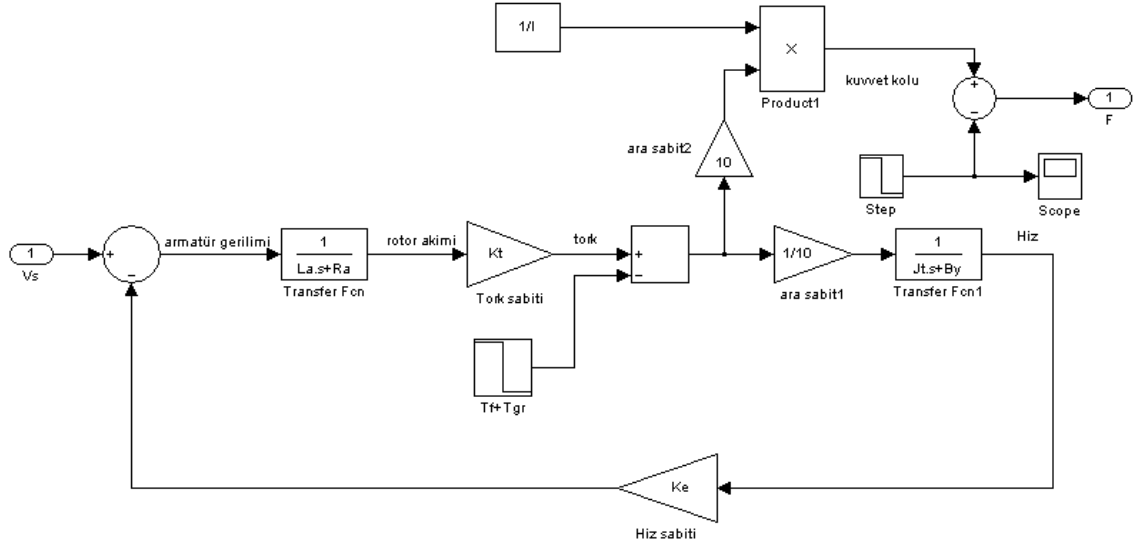
Şekil 2.8: Giriş geriliminin değişim grafiği

Ana sistemin içine bakıldığında servo motor ve yük aşağıdaki gibidir.



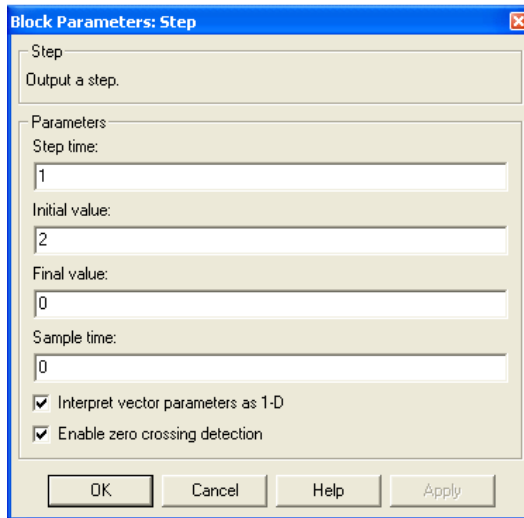
Şekil 2.9: Sistemin alt blok diagramı

Servo motora uygulanan V_s gerilimine karşı F kuvvetinin nasıl elde edildiği şekildeki blok diyagramla gösterilmiştir.

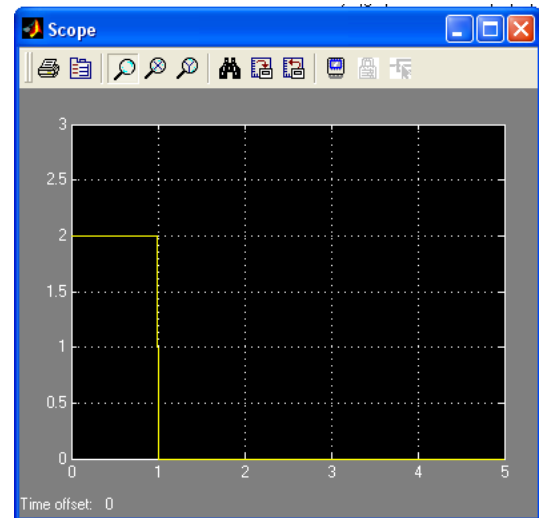


Şekil 2.10: Servo motor Simulink diyagramı

Şekildeki negatif step girişi sarkaca dışarıdan uygulanan bozucu kuvveti temsil eder.

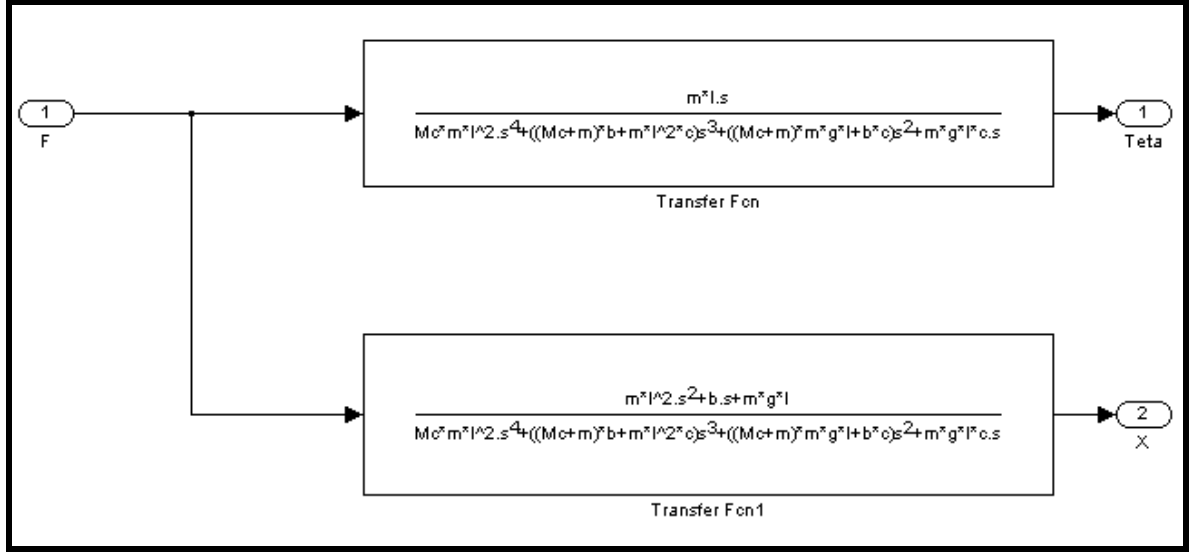


Şekil 2.11: F kuvveti ayar ekranı



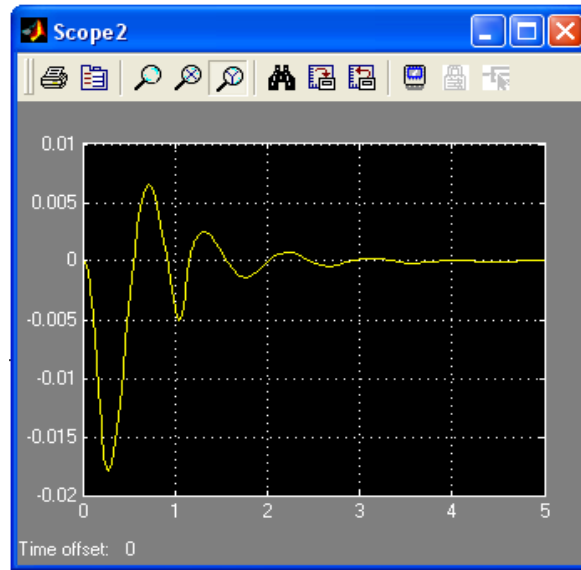
Şekil 2.12: F kuvvetinin değişim grafiği

Yük alt sisteminin içindeki transfer fonksiyonları şekildeki gibidir.



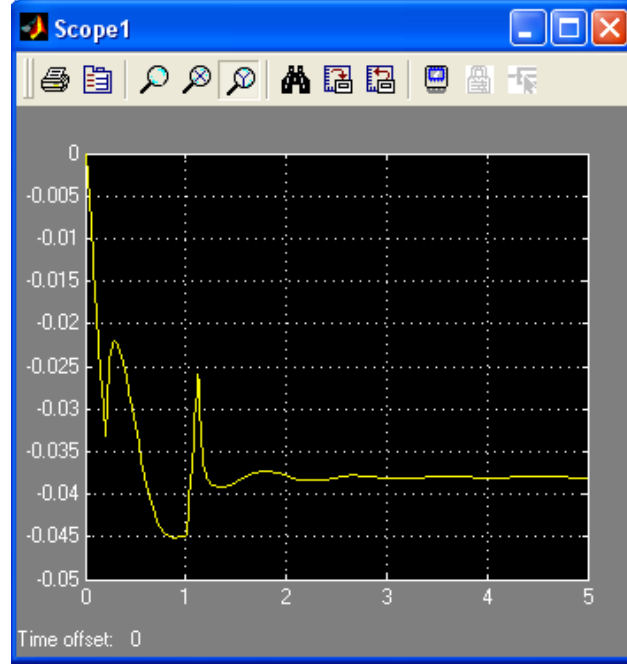
Şekil 2.13: Sarkaç sisteminin F girişine karşılık sırası ile θ açısı ve X mesafesini veren transfer fonksiyonları

Bu sistem çalıştırıldığında sarkaç açısı ve arabanın konumu grafiklerdeki gibi olur. Sarkaç en fazla 0.018 radyana tekabül eden 1.05 derecelik bir açıyla salınım yaparak yaklaşık 5sn içerisinde ilk konumu olan dikey eksenle sıfır derece yapan pozisyona oturur.



Şekil 2.14: θ açısının zamanla değişim grafiği

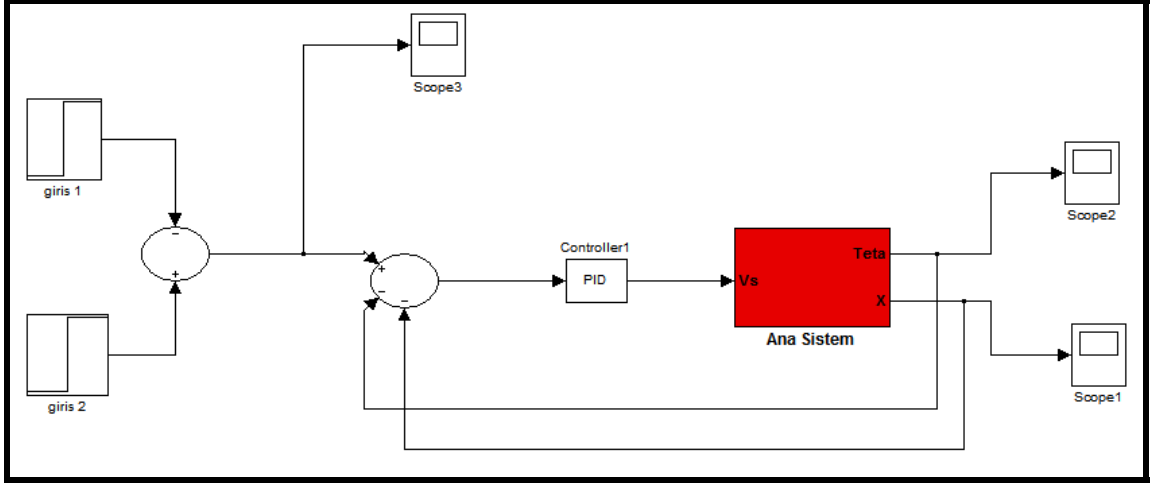
Araba ise ileri geri ufak hareketler yaparak referans noktadan negatif yönde $0.038\text{m} = 3.8\text{cm}$ 'lik mesafede 5sn içinde durmuştur.



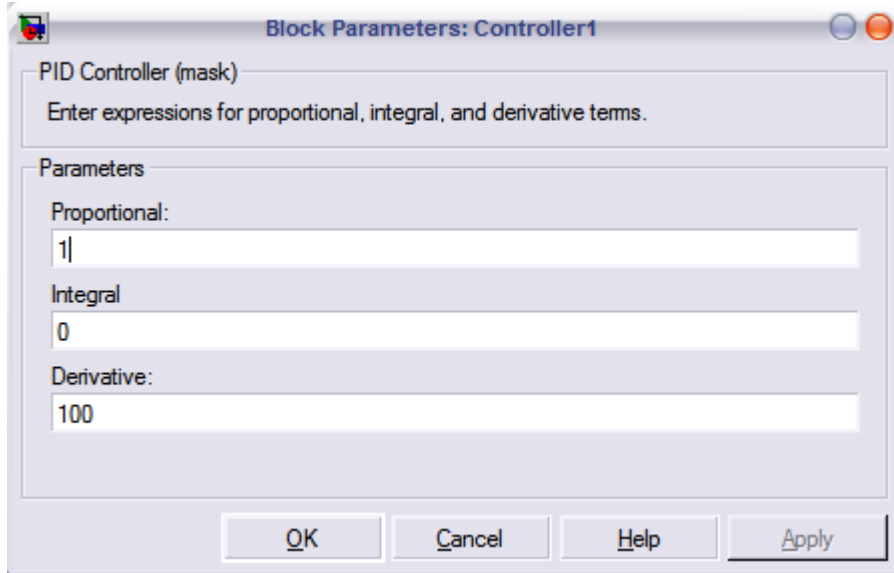
Şekil 2.15: X mesafesinin zamanla değişim grafiği

2.3.2 PD Kontrollü Sistem

Kontrolsüz sistemde kararlı hal hatası olmadığı için PD (Oransal Türev) kontrolü uygulanır.

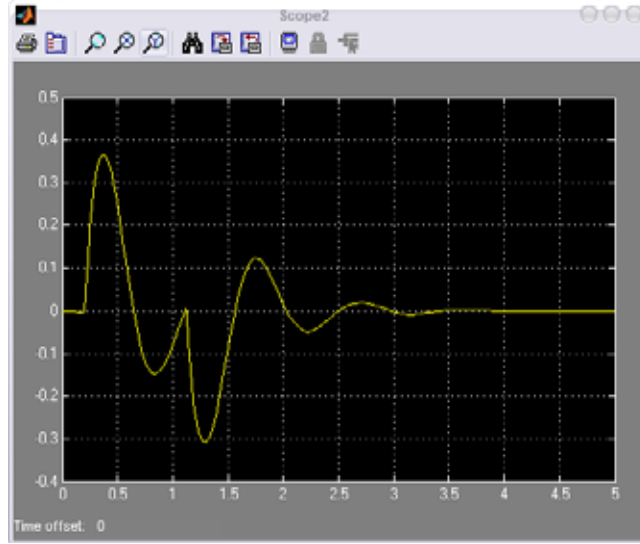


Şekil 2.16: PD kontrollü sistemin blok diyagramı



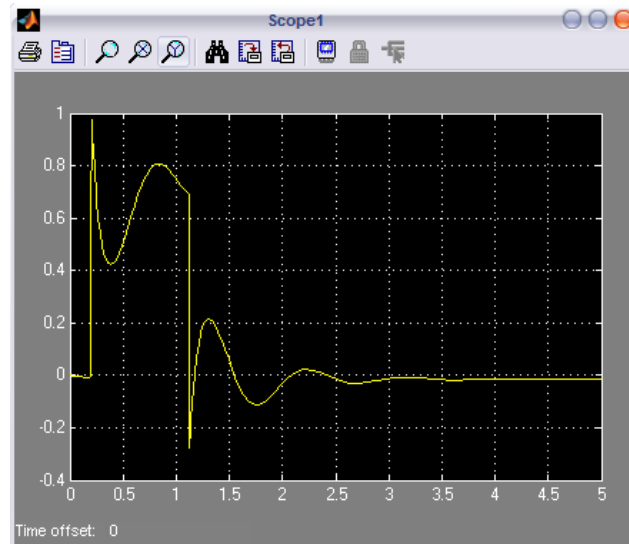
Şekil 2.17: PD kontrolörün katsayıları

PD kontrolnden sonra sistemin oturma zamanı 5 sn'den 3 sn'ye düşmüştür. Bu sırada salınım açısının maksimum değeri 0.35 radyana tekabül eden yaklaşık 20 dereceye çıkmıştır.



Şekil 2.18: PD kontrolnden sonra θ açısının zamanla değişim grafiği

Araba ise PD kontrolnden sonra ileri geri hareketler yaparak başlangıç noktasına oturmuştur.



Şekil 2.19: PD kontrolnden sonra X mesafesinin zamanla değişim grafiği

3. UYGULAMA

Bu bölümde daha önce simülasyonu yapılan sistem PLC kullanılarak gerçekleştirilecektir.

3.1 PLC Hakkında Temel Bilgi

Programlanabilen mantık denetleyicisi, (bundan sonra PLC olarak ifade edilecek) içerisinde mikrobilgisayar bulunan ve ardışık kontrol devrelerinde kullanılan elektronik bir kontrol elemanıdır.

PLC, başlangıçta röle ile kontrole alternatif olarak geliştirilmiştir. Fakat sonradan, sadece röle yerine kullanılmamış ve PLC'nin yeni fonksiyonları geliştirilmiştir. PLC'nin röleli kontrolden en önemli farkı, kontrol elemanlarını kontrol etme yöntemidir. Röleli kontrolde, her bir röle ve diğer ekipmanlar birbirlerine kablolama ile bağlanır. PLC'de ise bu işlemlerin tamamı bilgisayarda yada programlama konsolunda yazılan programın PLC'ye yüklenmesi ile yapılır ve kablolama işlemi sadece giriş sinyalleri ve çıkış elemanları için yapılır. Günümüzde, MITSUBISHI, OMRON, SIEMENS, PHOENIX CONTACT gibi pek çok firma PLC üretimi yapmaktadır. Her firma, ürettiği PLC için, kendine özel programlama programlarını da üretmektedir. Fakat tüm PLC'ler için program yapma mantığı ve düşünce şekli neredeyse aynıdır, sadece bazı özel fonksiyonlar ve programlama dili farklılığı olabilir.

3.2 PLC'nin Tanıtılması

Bu projede Phoenix Contact firmasının "ILC 150 ETH" PLC setleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Phoenix Contact ILC 150 ETH PLC

ILC 150 ETH kontrolör Ethernet entegre edilmiş kompakt PLC' dir. Bu inline kontrolör elemanı, PC WorX yazılımı ile ayarlanır ve programlanır. PC WorX ile 5 standart dilde programlama yapmak mümkündür.

Entegre edilmiş iki portlu switch ile Ethernet ve TCP/IP tabanlı iletişim sağlanmıştır. TCP/IP fonksiyon blokları ile Ethernet destekli tüm Inline serisi kontrolörler ile veri alış verişi yapılabilir. AX OPC Server kullanılarak her türlü Scada programları ile Ethernet üzerinden hızlı ve kolay bağlantı yapmak mümkündür.

Üzerine entegre 8DI ve 4DO yanı sıra 63 modüle kadar genişleyebilen ILC 150 ETH ile dağıtılmış kontrol noktaları oluşturulabilir. 128 kbyte programlama hafızası ve 2.1ms den daha az bir sürede 1 K komutu işleme kapasitesine sahip olan ILC 150 ETH kendi sınıfında en düşük fiyat performans oranına sahiptir.

Bu inline kontrolör elemanı ile her türlü makine kontrolü yapabilir, Ethernet üzerinden operatör panellerine ulaşılabilir ve dağıtılmış düşük maliyetli kontrol noktaları oluşturulabilir.

3.3 PLC'nin Programlanması

PC WorX ' de hazırlanan program artımsal enkoderden ve reed rölelerden aldığı bilgiye göre motoru ve elektromıktanısı kontrol eder. Bunun için PLC üzerinde bulunan ilgili dijital ve analog giriş-çıkışlar kullanılmıştır. Sistemin işleyişi özetle şu şekildedir :

Start butonuna basılarak sistem enerjilenir ve ucunda elektromıktanısı bulunan sarkaç mekanizması herhangi bir konumdan yükün alınacağı tarafa doğru hareket eder. Yükün olduğu yere ulaştığında röleden sinyal gelir ve motor 4sn süre ile durur. Bu sırada elektromıknatis enerjilenir ve yükü yerden alır. Sonrasında motor yükün bırakılacağı yere doğru hareket etmeye başlar. Ayrıca motorun yüklü veya yüksüz hareketi esnasında dışarıdan rüzgar gibi sarkaçın belirli sınırlar dışında sallanmasına neden olacak bir bozucu kuvvet gelmesi halinde, motor normal çalışması dışına çıkar ve sarkaçın sallanmasını ileri geri dengeliyici hareketler yaparak durdurur. Sarkaçın sallanmasının belirlenen sınırlar içine girdikten 2sn sonra tekrardan kaldığı konumdan gitmesi gereken yöne doğru hareket eder. Son olarak yükle beraber hareket eden sarkaç mekanizması yükün gideceği yere ulaşması halinde orda bulunan 2. rölenin enerjilenmesi ile durur ve elektromıknatisin enerjisi kesilerek yükün bırakılması işlemi gerçekleştirilir. Aynı şekilde 4sn sonra yükünü bırakmış olan sarkaç mekanizması tekrar yük almak için aksi yönde hareketine devam eder. Sistemin çalışma döngüsü stop butonuna basılarak durdurulur.

Girişler

- 1 - Artımsal enkoder bilgisi (Analog Giriş)
- 2 - Yükün olduğu yerdeki reed röle (Dijital Giriş)
- 3 - Yükün gideceği yerdeki reed röle (Dijital Giriş)

Çıkışlar

- 1 - Sürücüye giden referans gerilim (Analog Çıkış)
- 2 - Elektromıknatısa giden sinyal (Dijital Çıkış)

3.4 Bağlantılar

Bağlatılar PLC'ye gönderilen ve PLC'den alınan bilgilere göre yapılmıştır. Bilgi akışına göre şu şekilde sıralanır ;

Enkoder – PLC , Röle - PLC , PLC – Elektromıknatıs ve PLC – Sürücü – Motor.

Enkoder – PLC Bağlantısı

Enkoder , PLC üzerinde bulunan artımsal enkoder modülüne bağlanmıştır. Bu modül üzerinden 5V'luk gerilim alınırken 3 adet kabloyla asimetrik enkoder bilgisi PLC'ye iletilmiştir. Bu sayede sarkaçın konumu en hassas şekilde PLC'de görülebilir.

Reed Röle – PLC Bağlantısı

24V'luk güç kaynağından alınan gerilim board üzerindeki potansiyometre ile 13V'a indirilerek rölenin bir bacağına uygulanır. Rölenin diğer bacağı PLC'nin dijital girişine bağlanır. Rölenin, sarkaç mekanizmasının üzerinde bulunan mıknatısı görmesi ile içindeki teller kısa devre olur ve PLC'ye 13V'luk gerilim gider.

PLC – Sürücü – Motor Bağlantıları

PLC'den sürücüye 0-10V aralığında değişen referans gerilim için +10 ve toprak bağlantıları yapılmıştır.Ayrıca sürücü motorun nominal gerilimi olan 24V ile beslenmektedir.Sürücü ile motor arasında hall sensör ve sargı bağlantıları yapılmıştır.Motorun çalışması için sürücünün enable girişine 24V gerilim verilmiştir. Motorun çalışma yönünü değiştirmek için de Digital-In girişı kullanılır.

SONUÇ

Yapılan deneylere bağlı olarak, vinç sarkaç sisteminin başta açıklanan amaçlar doğrultusunda tatmin edici sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Sonuçların daha anlaşılır olması için PC WorX programının Logic Analyzer özelliği kullanılarak, sistem dört farklı senaryoda denenmiş ve çıkış olarak sarkaç açısının zamana göre değişim grafikleri elde edilmiştir.

Senaryo – 1

Sarkaç herhangi bir kontrol olmaksızın dikey eksenden 50° lik bir açıyla bırakıldığında, kendi sürtünmesiyle yaklaşık 100 sn'de hareketsiz konuma gelmektedir. (Bkz: Şekil - a)

Senaryo – 2

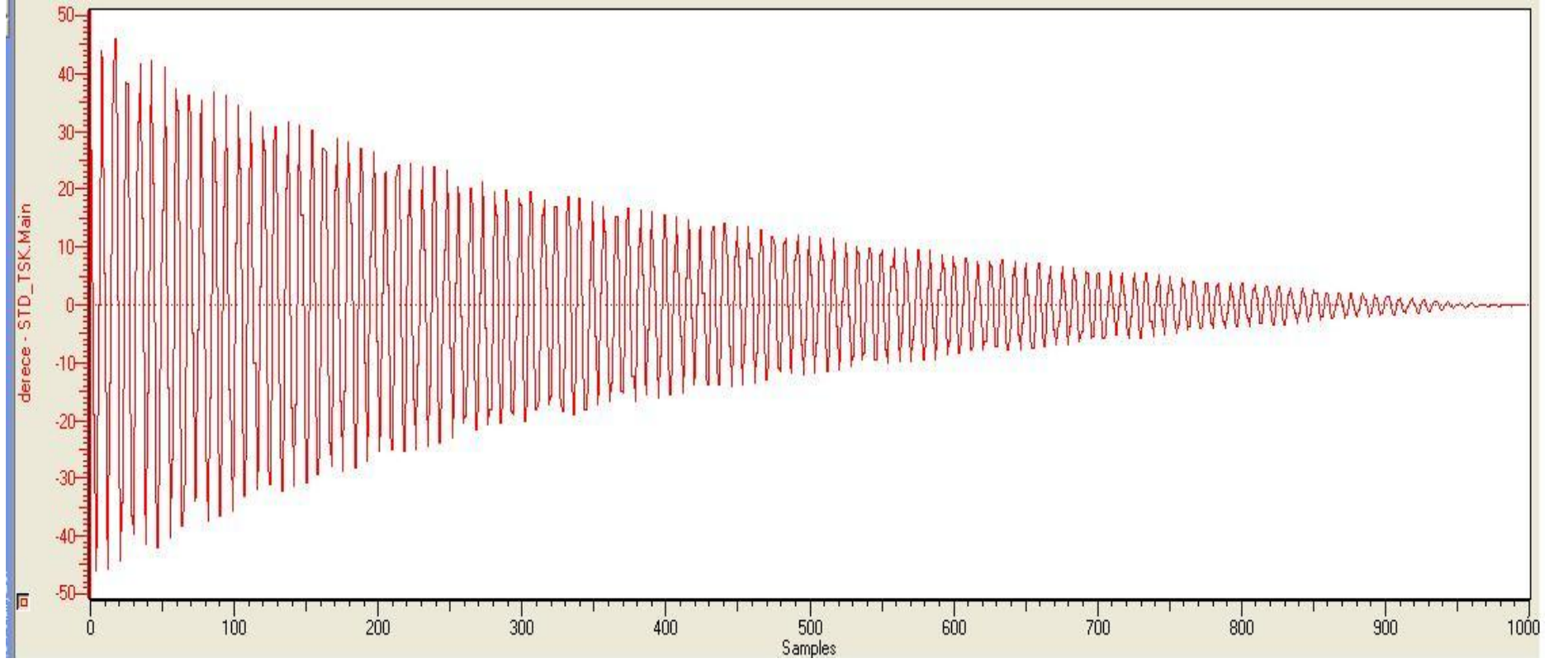
Sarkacın, PLC'de yazılan program ile kontrol edilirken, dikey eksenden 50° lik bir açıyla bırakıldığında, yaklaşık 8 sn'de durduğu gözlenmiştir. (Bkz: Şekil - b)

Senaryo – 3

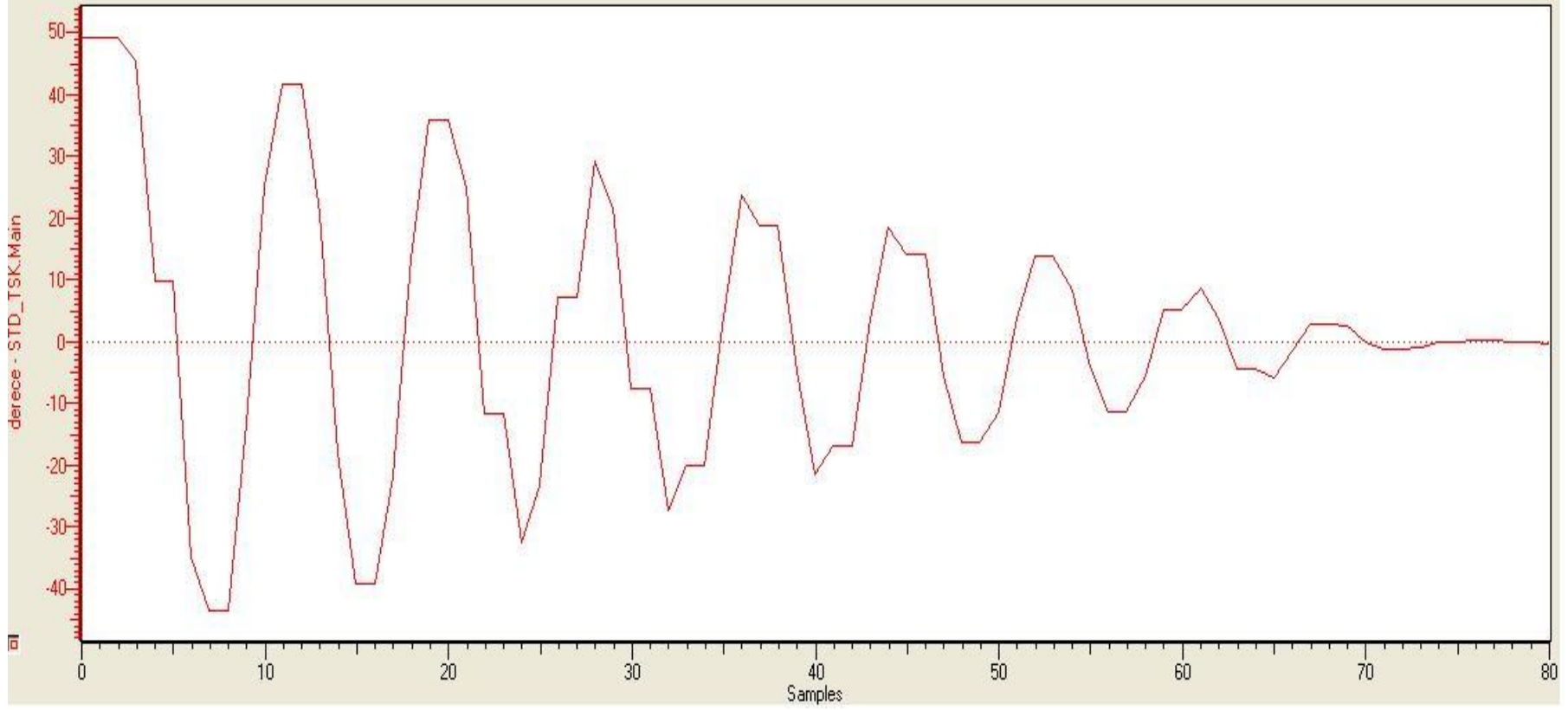
Sistem vinç modunda çalışırken, sarkaca dışarıdan herhangi bir bozucu etki (rüzgar,darbe,vb.) gelmemesi durumundaki çalışmadır. Normal çalışma esnasında 7. , 24. ve 41. sn'lerde vidalı milin sağ ve sol uçlarına gelmesi sonucu ani duruştan ötürü yaklaşık 1° lik salınım yapmaktadır. (Bkz: Şekil - c)

Senaryo – 4

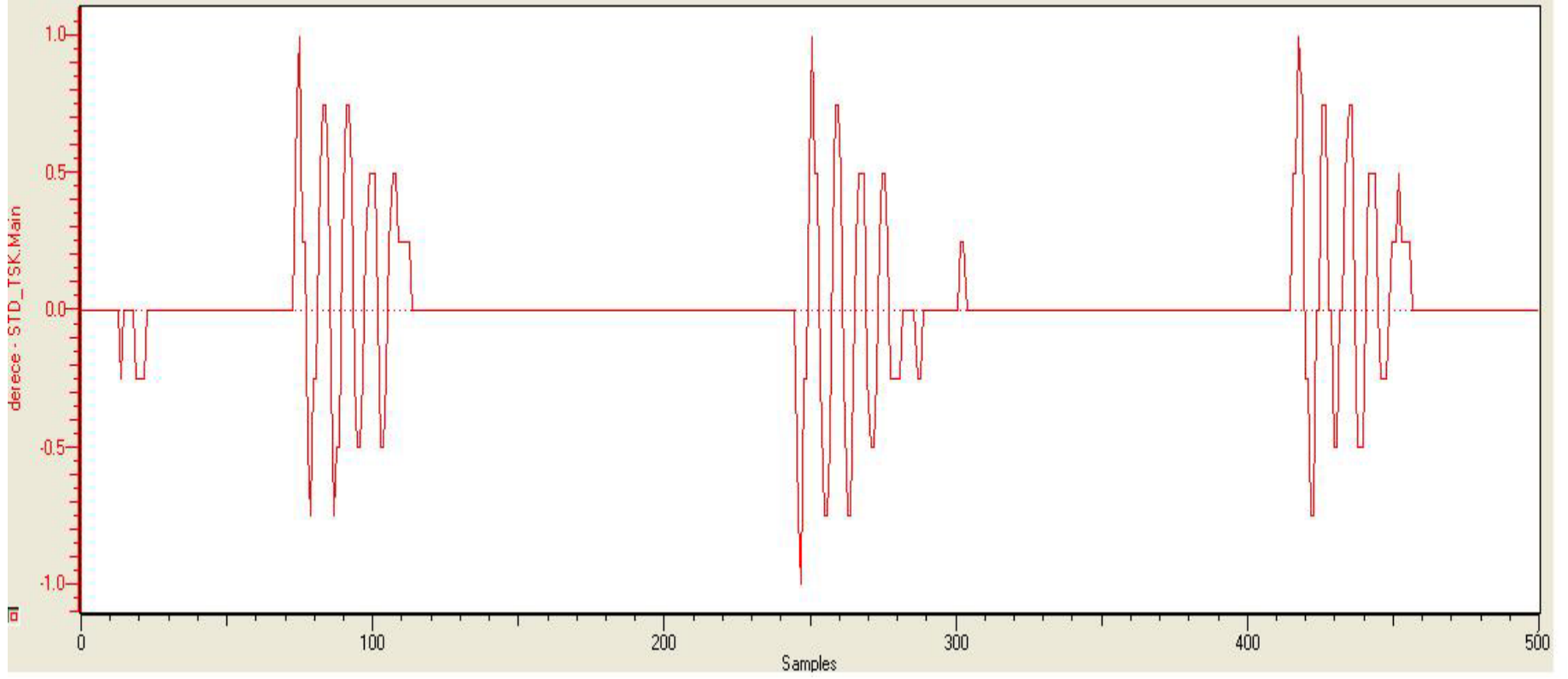
Sistem vinç modunda çalışırken, sarkaca dışarıdan , 14. sn'de 25° lik , 24. sn'de 10° lik ve 45. sn'de ise 45° lik bozucu etkiler verilmiştir. Ayrıca bu çalışma esnasında 6. , 33. ve 61. sn'lerde vidalı milin sağ ve sol uçlarına gelmesi sonucu ani duruştan ötürü yaklaşık 1° lik salınım yapmaktadır. (Bkz: Şekil - d)



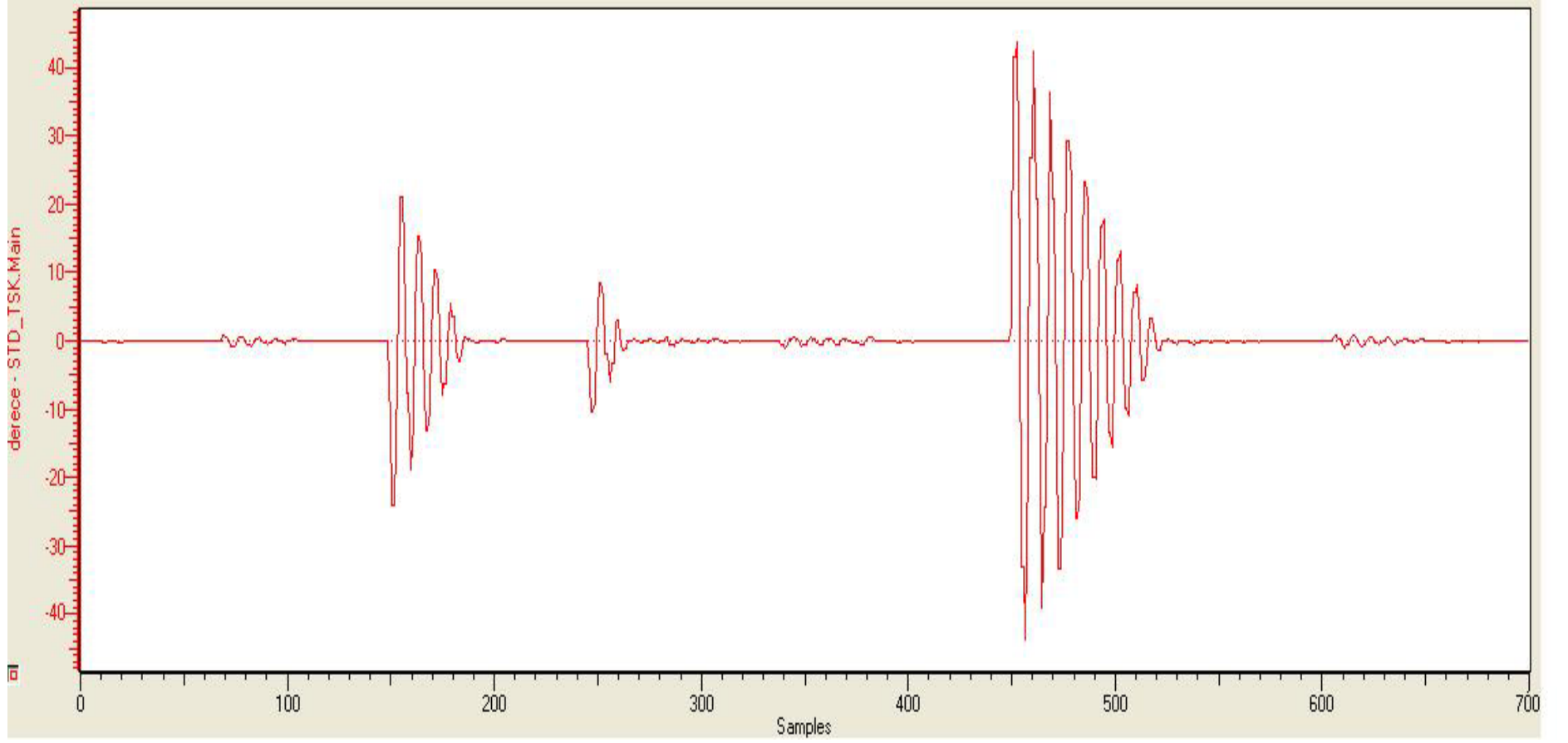
Şekil – a : Kontrolsüz durumda sarkacın 50° den bırakıldığındaki sönüm grafiği



Şekil – b : Kontrollü durumda sarkacın 50° den bırakıldığındaki sönüm grafiği



Şekil – c : Bozucu etki olmadan vinç sisteminin normal çalışma grafiği



Şekil - d : Bozucu etki olması durumunda vinç sisteminin çalışma grafiği

KAYNAKLAR

- Robotic Engineering an Integrated Approach - Richard D. Klafter, Thomas A. Chmielewski , Michael Negin
- Control System Engineering - Norman S. Nise
- www.ieee.com
- www.mathworks.com

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Hilmi Artun Oyman

Doğum Tarihi : 19.05.1985

Doğum yeri : İstanbul

Lise : 1999 - 2003 Kabataş Erkek Lisesi

Staj Yaptığı Yerler : Silenerji ve Üretim Ltd. Şti., Tekirdağ (30 iş günü), Elsim Elektroteknik Sistemler A.Ş., İstanbul (30 iş günü).

Ad Soyad : Türker Yiğitbaşı

Doğum Tarihi : 29.08.1985

Doğum yeri : İstanbul

Lise : 2000 – 2003 Özel Şişli Terakki Lisesi

Staj Yaptığı Yerler : Beyoğlu BEDAŞ, İstanbul (30 iş günü), Enisolar Enerji Çözümleri, İstanbul (30 iş günü).