



DİJİTAL HİDROLİK EKSEN KONTROLÖRLERİ VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

Bülent GİRAY

ÖZET

Günümüz endüstriyel uygulamalarının artan talepleri, hidrolik ve kontrolü teknolojisinin ivme kazanmasına sebep olmuştur. Bu ivme ile arza sunulan yeni ürünler, oransal ve servo valf teknolojileri ve bunların kontrolleri sahada geniş kullanım alanı bulmaya başlamışlardır. Hassas pozisyon ve kuvvet kontrolü ihtiyacı sonucu önceleri analog kontrolörler uygulamalarımızın baş tacı olmuştur. Daha sonraları gelişen yarıiletken teknolojisine ve uygulamalarda ortaya çıkan sistem karakteristiklerinin ve kontrol tip ve sabitlerinin kolayca değiştirilebilme ihtiyacına bağlı olarak analog sistemler yerlerini dijital sistemlere bırakmaya başlamışlardır. Dijital sistemler ile birlikte artık hidrolik eksenler bir bütünün kolayca haberleşilebilen bir parçası olmuş, sadece kontrol sinyali değil, kontrol tipi, kazançları ve parametreleri ile hız, pozisyon ve basınç değerleri PLC veya CNC gibi bir üst seviye kontrolör tarafından denetlenebilir olmuştur. Denetlenecek parametre sayısı arttıkça hidrolik eksen kontrolörlerinin haberleşme yetilerinin de artma ihtiyacı doğmuş, daha önceleri dijital ve analog sinyaller ile gerçekleştirilen iletişim, yerini bus sistemlerine bırakmıştır. Bu şekilde artan haberleşme ihtiyacı kablo sayısı artmadan gerçekleştirilebilir olmuştur. Artık günümüzde CNC gibi üst seviye sistem kontrolleri, gelişen hidrolik eksen kontrolörleri sayesinde hidrolik eksenleri bağımsız olarak kontrol etmenin yanında, diğer hidrolik veya elektro-mekanik eksenlerle interpolate bir şekilde sürme imkanlarına sahiptir.

Bu çalışmada öncelikli olarak hidrolik eksen kavramı ve temel kontrol yöntemlerine yer verilecek, dijital kontrolörlerin yapısı, geribesleme ve haberleşme imkanları incelenecek, son olarak endüstrideki kullanım alanları sunulacaktır.

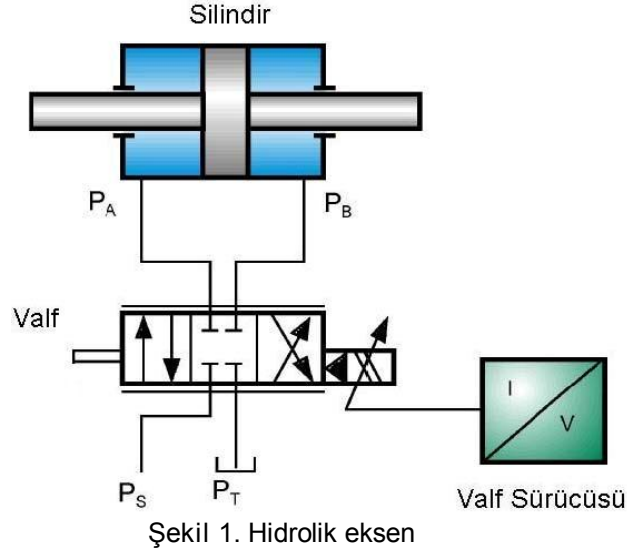
ABSTRACT

The increasing demands of nowadays' industrial applications, caused to accelerate the hydraulic and its control technology. The new products submitted with this acceleration, the proportional and servo valve technologies and their controls have found wide usage on the field. For the need of precise position and force control, in the beginning analog controllers were pioneer of our applications. Afterwards the digital controllers begin to replace the analog systems due to the improving semiconductor technology and the need for easy change of system characteristics, control type and constants. The hydraulic axes together with digital controllers have become an easily communicated part of a whole, not only the control signal but all control types, gains, parameters together with position, velocity and pressure values can be controlled by a higher level control like PLC or CNC. As the number of parameters to be controlled increased, the need for higher communication capabilities arose and bus systems replaced the communication done previously by digital and analog signals. Thanks to bus systems, the increasing communication could be realized by avoiding the increase of number of cables used. Today hydraulic axes with well developed axis controllers can be independently controlled, or even can be interpolated with other hydraulic or electro mechanic axes by a higher level control like CNC.

In this article, first hydraulic axis concept and main control methods will take place, the structure of digital controllers, feedback and communication possibilities will be studied, and finally industrial applications will be presented.

1. GİRİŞ

Bir yükü bir noktadan, belli bir başka noktaya taşımak, belli bir hızda hareket ettirmek veya belli bir pozisyonda belli bir kuvvet ile sabit tutmak amacıyla kullanılan bir hidrolik silindir, valf ve valf sürücüsünden oluşan sisteme hidrolik eksen diyoruz.



Yukarıdaki tanımdan da anlaşılacağı gibi bir hidrolik eksenden beklentilerimiz, pozisyon, hız, ivme ve basınç kontrolleridir. Bunlar için temel olarak iki farklı kontrol yöntemi vardır. Bunlar açık ve kapalıçevrim kontrolleridir.

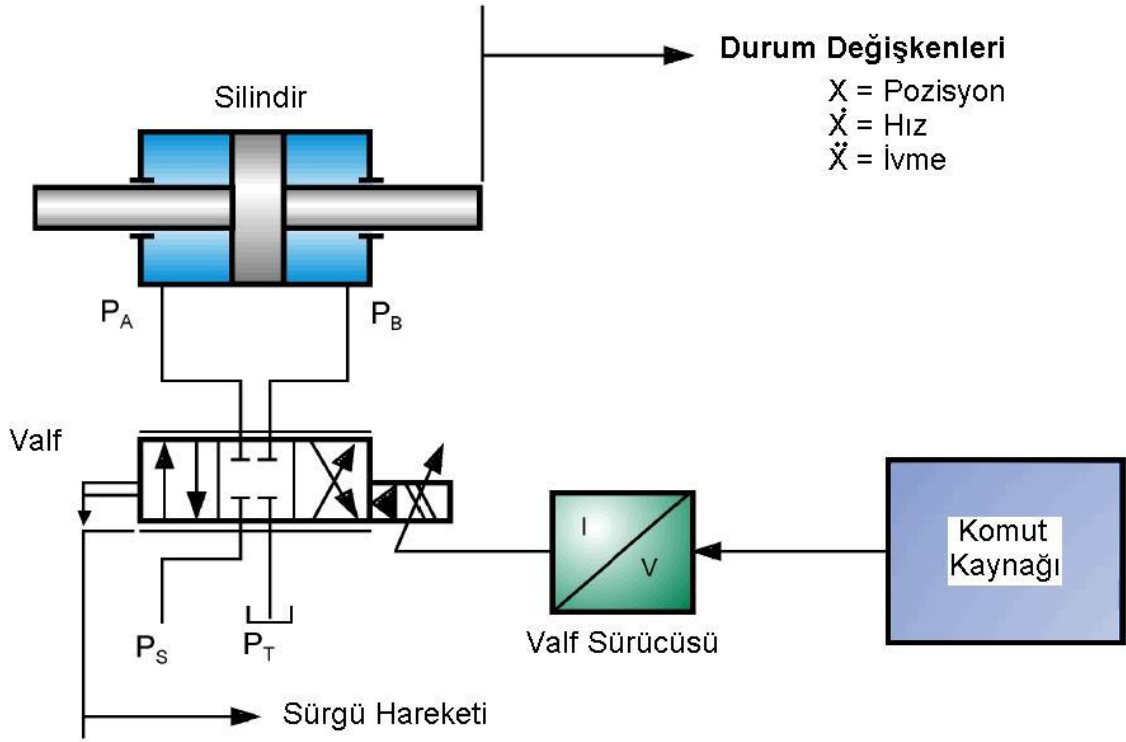
Bir hidrolik silindirin miline sabit bir F kuvveti uygulandığında, hidrolik silindirin hareketi için kullanılan akışkanın sıkıştırılabilir olmasından dolayı silindir mevcut pozisyonunu koruyamaz. Bu esneklik probleminin iki çözümü mevcuttur; ya mekanik tahditler ile pozisyon sabit tutulabilir, ya da kapalıçevrim kontrol kullanılmalıdır.

2. KONTROL YÖNTEMLERİ

a) Açık Çevrim Kontrol

Denetlenmek istenen son noktadan herhangi bir geribesleme almadan gerçekleştirilen kontrol yöntemine açık çevrim kontrol adı verilir. Bu kontrolün yapısı Şekil-2'de gösterilmiştir. Bir hidrolik eksen sisteminden bahsettiğimizde burada denetlenmek istenen son nokta hidrolik silindirdir. Denetlemek istediğimiz durumun (bu pozisyon veya hız olabilir) komutunu sabit olarak kontrolörden valf sürücüsüne gönderir, ve silindirin bu komuta ne kadar uyup uyamadığını bilemez ve uyumsuzluk olduğu durumda bir düzeltme sinyali gönderemeyiz. Bu noktada sıklıkla karıştırılan bir durumdan bahsetmek isterim. Hidrolik eksen sistemimizde geribeslemeli bir valf kullanmamız bizim kapalı çevrim kontrol yaptığımızı göstermez. Burada geribesleme olarak alınan bilgi valf sürgüsünün pozisyon bilgisidir ve kontrolümüzün son noktası değildir. Kullandığımız valfin geribeslemeli olması ancak valf karakteristiklerinin daha başarılı olmasını ve valfin cevap süresinde iyileşme sağlar. Hidrolik eksen sistemimizin hassasiyeti üzerinde etkili değildir.

Açık çevrim kontrol yapısında değişen çevre şartları aynı komut için farklı sistem cevapları oluşacaktır. Örneğin bir silindirde hız kontrolü amacıyla sabit bir komut için belli bir debi geçiren valf, yağsıcaklığının artması durumunda aynı komut için daha yüksek bir debi geçirecektir. Veya pozisyonunu kontrol etmek istediğimiz bir silindirin miline uygulanan kuvvet değiştiğinde, aynı komut değerleri için farklı pozisyonlamalar gerçekleşecektir.



Şekil 2. Açık çevrim kontrol yapısı

b) Kapalı Çevrim Kontrol

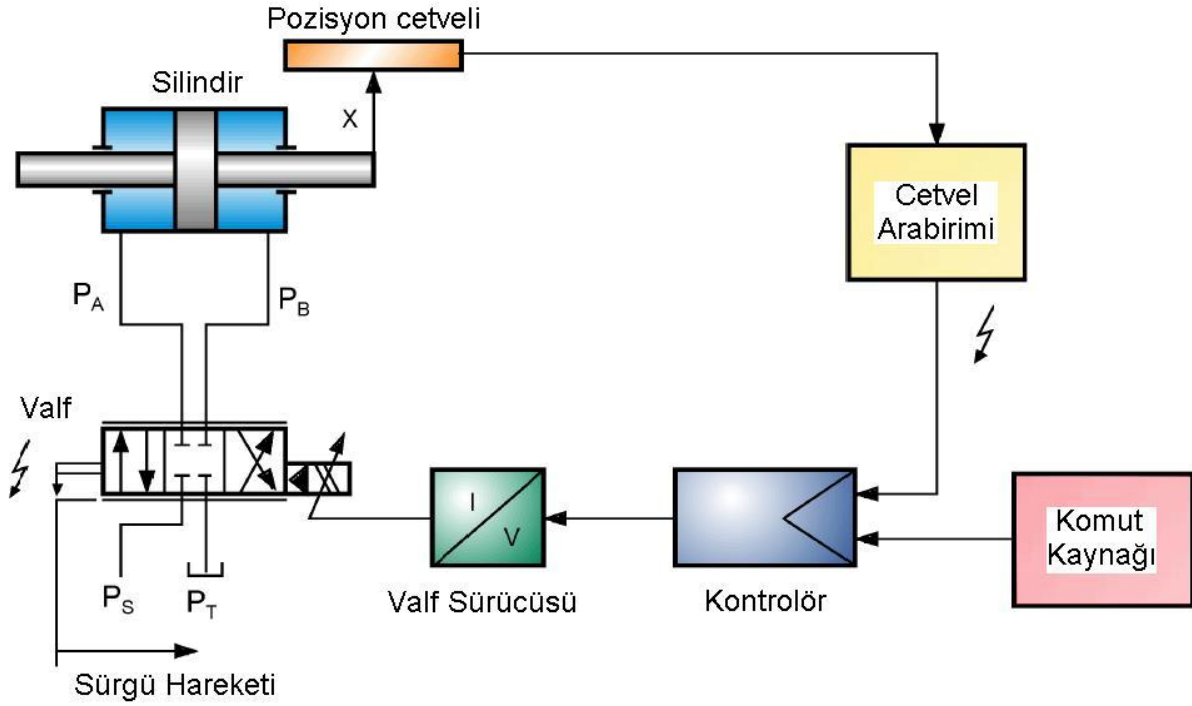
Denetlemek istediğimiz durumun bilgisini son noktadan geribesleme olarak kontrol sistemimize alarak, aktüel veri ile istenen veri arasındaki hata miktarını çeşitli yöntemlerle sürekli olarak komut bilgisini güncellemekte kullanan kontrol sistemi yapısına kapalı çevrim kontrol adı verilir. Her çevrimdeki hata miktarını sabit bir katsayı ile çarpılarak komut bilgisinin güncellenmesine oransal kontrol (P kontrol), oluşan hataların toplamının bir sabit katsayı ile çarpılarak komut bilgisinin güncellenmesine integral kontrol (I kontrol), hatanın türevinin bir sabit katsayı ile çarpılarak komut bilgisinin güncellenmesine ise derivative kontrol (D kontrol) adı verilir. Bu yöntemler günümüzde en sık kullanılan kontrolör yapısı olan PID kontrolörü oluşturur. Bir PID kontrolör için transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir;

$$F(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad (1)$$

Bu ifadede K_p oransal kazanç, K_i integral kazanç, K_D ise türevsel kazancı göstermektedir. Buna göre komut işaretinin R , istenen çıkış durumunun Y , hatanın e ve kontrol işaretinin u ile tanımlandığı bir PID kontrolöründe kontrol işareti u aşağıdaki gibi oluşturulur;

$$e = Y - R \quad (2)$$

$$u = K_p e + K_i \int e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (3)$$



Şekil 3. Kapalı çevrim kontrol yapısı

Hidrolik eksenler temelde bir yay-kütle sistemleridir. Kapalı çevrim kontrol sistemlerinde amaç yüksek hassasiyet ve en hızlı cevap sürelerine ulaşmak için mümkün olan en yüksek oransal kazancın gerçekleştirilmesidir. Ulaşabileceğimiz maksimum kazancı sınırlayan en önemli faktör sistemimizin doğal frekansdır. Doğal frekans (f_0) birim zamanda sağlayabileceğimiz maksimum osilasyon sayıları olarak ifade edilebilir. Bir sistemin doğal frekansı ne kadar yüksek ise dinamik karakteristikleri o kadar iyidir. Yani komut edilen hareketler yüksek kazançlar ile gecikmesiz olarak gerçekleştirilebilir. Bir hidrolik eksenin yay-kütle sistemi olduğundan yola çıkarak, doğal frekans için aşağıdaki ifadeyi verebiliriz;

$$f_0 = \frac{\sqrt{\frac{C}{M}}}{2\pi} \quad (4)$$

Yukarıdaki ifadede C eksenin yay sabitini, M ise tahrik edilen kütleyi göstermektedir. Bu ifadeden doğal frekansı artırabilmek için yay sabitini artırmak, kütleyi ise azaltmak gerekmektedir. Yapılacak iş belli olduğuna göre bir hidrolik tasarımcının yapabileceği yay sabitini artırmaktır. Bunun için yay sabitini açalım;

$$C = \frac{E A^2}{V_0} \quad (5)$$

Bu ifadede A silindir alanı, V_0 toplam sıkıştırılan hacim ve E kullanılan akışkana bağlı sabit bir katsayıdır. Dolayısıyla bu ifadeden anlaşılacağı gibi tasarımcının doğal frekansı iyileştirebilmesi ancak silindir alanını artırması ve silindir ile valf arasındaki borulamayı en aza indirmesi ile mümkündür. Arzu edilen doğal frekans için A alanını belirleyecek formül, S strok olmak üzere ve silindirin ortada konumlandığı varsayımı ile aşağıdaki gibi olacaktır;



$$A = \frac{f_0^2 \times \pi^2 \times S \times M}{E} \quad (6)$$

Doğal frekans için aşağıdaki tecrübe edilmiş yönlendirmeler yapılabilir;

$f_0 < 4$ Hz İyi statik performans, zayıf dinamik

$f_0 \approx 15$ Hz Genel makina dizaynı için yeterli frekans

$f_0 \approx 30$ Hz Yüksek dinamik ihtiyaçlı makinalar için gerekli

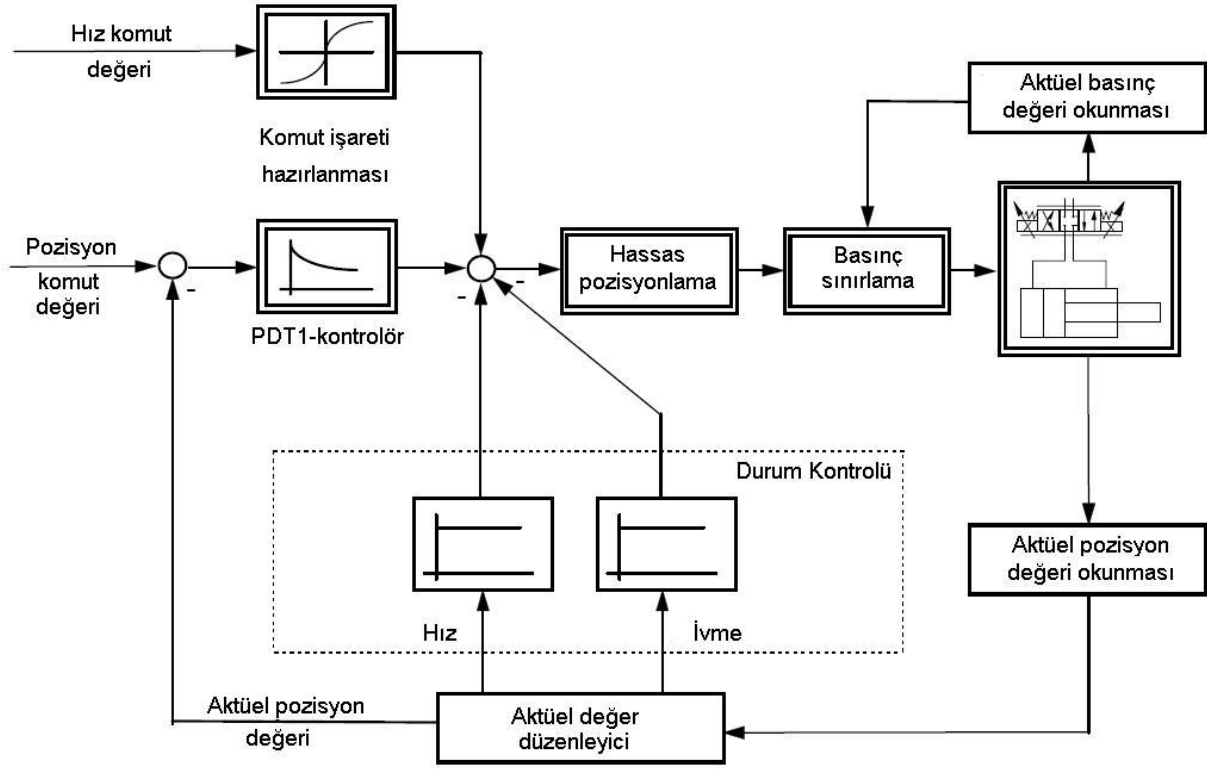
3. NC KABİLİYETLİ KONTROLÖR

Günümüzde bir çok hidrolik eksen kontrolörü, ister analog ister dijital olsun, yukarıda değinilen PID kontrol algoritmasını kullanır. Analog sistemlerde kazanç katsayıları kart üzerindeki potansiyometreler yardımı ile ayarlanabilir. Bu durum, eksen kontrolörü için bir üst seviye kontrol konumunda bulunan PLC veya CNC ünitelerinden, kazanç katsayılarının değiştirilmesi imkanını ortadan kaldırır, analog sistemlerde bu katsayılar ancak manuel olarak ayarlanabilirler. Oysa dijital sistemlerde bu katsayılar artık mevcut hafıza içerisinde birer parametre olup değişen çevre koşulları durumunda istenildiği zaman bir üst seviye kontrolör tarafından yeni değerler atanabilirler. Bu durum dijital sistemler için bir diğer avantajı da ortaya çıkarmaktadır. Eğer tüm sistem içerisinde arızalanan bir kart yenisi ile değiştirilmek istenirse, analog sistemlerde tüm kazanç ayarlarının yeniden manuel olarak yapılması şarttır. Dijital bir sistemi değiştirdiğimizde ise devreye alma işlemi daha önceden saklamış olduğumuz parametreleri yeni karta yüklemekten ibarettir. Ayrıca analog sistemler için diagnostik, hata arama ve bulma imkanları, dijital sistemler ile kıyaslandığında neredeyse sıfırdır. Bir diğer sorun ise ömür problemidir. Dijital sistemlerdeki ömrü teorik olarak sonsuz olan tümdevrelerin yanında, analog sistemlerin bipolar tranzistörlerinin, kapasite ve direnç elemanlarının ömrü daha kısadır.

Dijital sistemlerin konumuzu daha çok ilgilendiren bir başka önemli avantajı daha mevcuttur. Dijital sistemler, içerisine hareket kontrol fonksiyonlarını yürütebilecek nümerik kontrol yapılarının entegre edilmesine müsaittir. Yani günümüz dijital eksen kontrolörleri, standart G kodları ile yazılmış bir hareket programını yürütebilecek işlemcilerle sahiptirler. Bu şekilde NC kabiliyetli kontrolörler sayesinde hidrolik eksenlerde standart ve kolay bir programlama ile hassas ve hızlı pozisyon veya basınç kontrol imkanı mevcuttur.

Şekil 4'de tipik bir pozisyon kontrolörü yapısını bulabilirsiniz. Görüldüğü gibi son noktadan alınan pozisyon ve basınç geribesleme bilgileri komut işaretinin hazırlanılmasında kullanılmaktadır, dolayısıyla bir kapalı çevrim kontrol mevcuttur. Hız ve pozisyon komut değerleri NC kabiliyetli bir kontrolörde yazılan bir NC programına göre kontrolör tarafından sürekli güncellenir. Bu komut değerleri tercihe veya uygulamaya bağlı olarak bir üst seviye kontrolörden de (PLC veya CNC gibi), bu kontrolörlerin çevrim süresine bağlı olarak sürekli güncellenebilir.

Bir hidrolik eksen sisteminde toplam hassasiyet ve cevap süresi, hidrolik eksen kontrolörüne bağlı olduğu kadar, bu sistemde kullanılan her bir elemanın ayrı ayrı hassasiyet ve doğal frekanslarına da bağlıdır. Örneğin doğal frekansı çok düşük bir silindiri, cevap süresi çok hızlı bir valf ile sürerek daha dinamik bir sistem elde etmek mümkün değildir. Veya çok hassas bir pozisyonlama yapabileceğimiz bir kontrolör ile okuma hassasiyeti düşük veya gecikmesi yüksek bir pozisyon cetveli kullanırsak, kontrolörümüz ne kadar iyi olursa olsun erişebileceğimiz hassasiyet, okuyabildiğimiz ile sınırlı kalacaktır. Bir hidrolik eksende kullanılan elemanları şekil 5'de vererek, hassasiyet için çok önemli olan geribesleme imkanlarına geçelim.



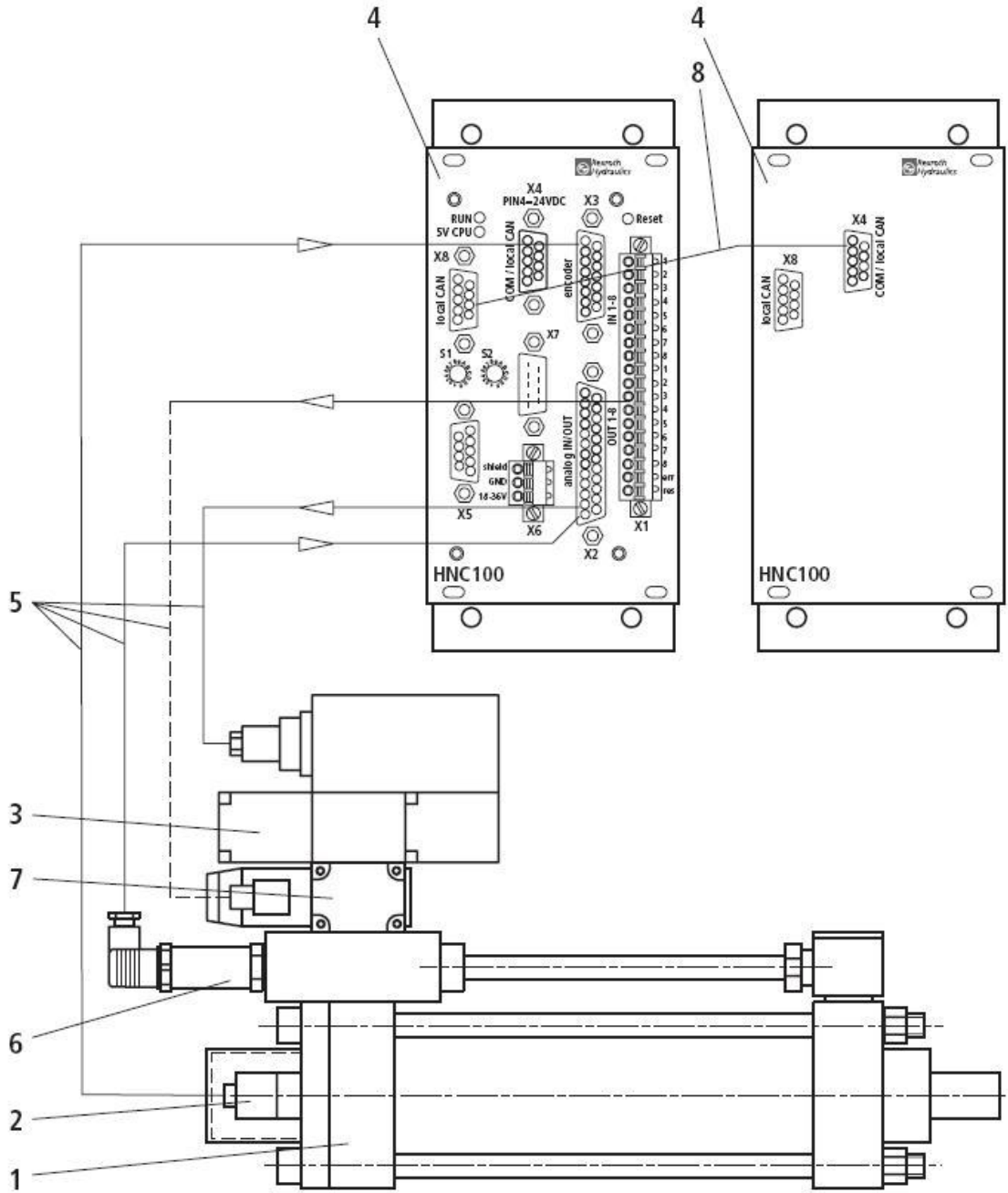
Şekil 4. Pozisyon kontrolörü yapısı

4. GERİBESLEME İMKANLARI

Kapalı çevrim kontrol edilmek istenen bir hidrolik ekseninde kuvvet kontrolü yapılmak isteniyorsa basıncın okunması, pozisyon veya hız kontrolü yapılmak isteniyorsa pozisyon cetveli ile pozisyonun okunması şarttır. Basınç okumak için 0 – 10 V veya 4 – 20 mA analog çıkış işaretli basınç transduserleri, hidrolik sistemlerde kullanılan maksimum devre basıncının 300 bar civarlarında olmasıyla bir çok uygulama için yeterli olacaktır. Maksimum basıncın 300 bar olduğu bir sistemde, 11 bit çözünürlüğe sahip bir analog/dijital dönüştürücü ile basınç okuma hassasiyetimiz aşağıdaki formüle göre 0,1 bar mertebesinde olacaktır.

$$P_{step} = \frac{300}{2^{11}} \cong 0.146 \text{ bar} \quad (7)$$

Pozisyon bilgisinin okunmasında da +/- 10 V veya 4 – 20 mA analog çıkış işaretli manyetik (LVDT) veya ultrasonik pozisyon cetvellerinin kullanılması mümkündür. Fakat ölçüm stroğunun artması ile ölçüm hassasiyetinin önemli bir düşüş göstereceği açıktır. Örneğin 40 mm stroklu bir silindir için yine 11 bit analog/dijital dönüştürücü ile 0,02 mm hassasiyetinde bir ölçüm yapabilirken, silindir stroğunun 4 metre olması durumunda ölçüm hassasiyetimiz 100 kat düşerek 2 mm olacaktır. Dolayısı ile yüksek stroklarda arzulanan ölçüm hassasiyeti, 1VPP veya TTL çıkış işaretli artımlılineer enkoderler veya pozisyonu seri haberleşme kullanarak (SSI) kontrolöre iletebilen mutlak değerli lineer enkoderler ile sağlanır. Bu şekilde stroktan bağımsız olarak 0,5 – 1 µm (micrometre) civarında hassasiyet ile ölçüm yapmak mümkündür.



1	Silindir	5	Bağlantı kabloları
2	Entegre pozisyon cetveli	6	Basınç transduseri
3	Entegre kuvvetlendiricisi ile oransal veya servo valf HNC 100	7	İzolator valf
4	HNC 100	8	Lokal CAN Bus

Şekil 5. Hidrolik eksen elemanları

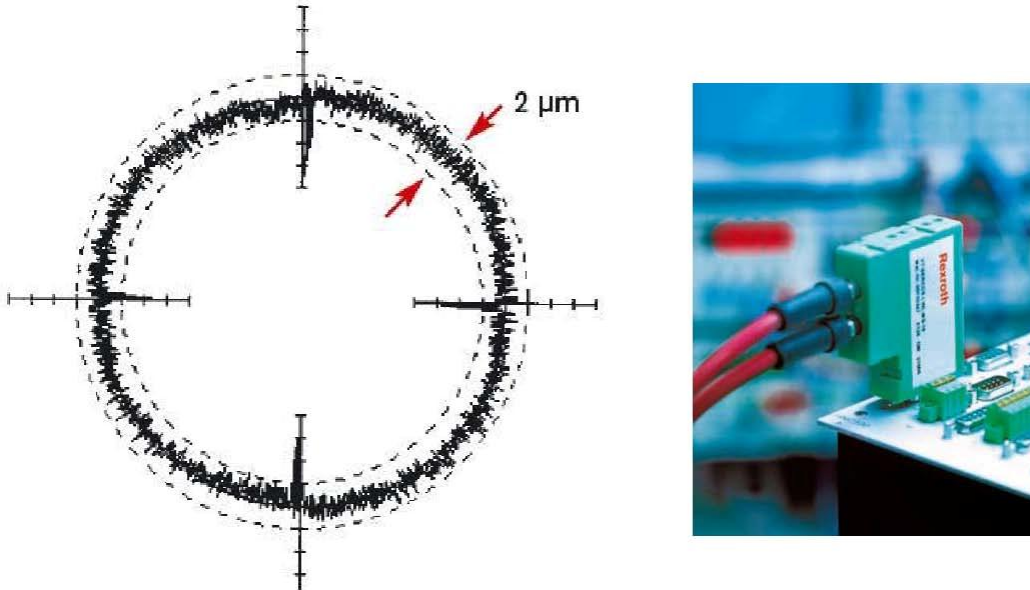
5. HABERLEŞME İMKANLARI

Dijital eksen kontrolörleri ile birlikte sadece kontrol edilmek istenen durumun (pozisyon, hız gibi...) değil, kontrolörün kazanç değerleri veya çalışma modu gibi tüm parametrelerinin de kolayca değiştirilebileceğine 3. bölümde değinmiştik. Bunu, kontrol edilmek istenen değerlerin, dijital sistemin mevcut hafızasında birer parametre olarak saklanmasına borçluyuz. Fakat kontrol altına alınmak istenen parametre sayısı arttıkça bir üst seviye kontrolörden, eksen kontrolörümüze yapılması gereken kablo bağlantı sayısı da artmıştır. Kablajın ve kontrol edilmek istenen analog büyüklüklerin sayısının artması gürültü problemlerini doğurmuştur. Günümüz makina teknolojisinin ihtiyaçlarının 1'den çok daha fazla eksen sürmek olduğu da düşünülürse, karmaşık kablolaj ve gürültü içinden çıkılmaz bir problem haline almıştır.

Gelişen haberleşme teknolojisi bu problemleri bus sistemleri ile çözmüştür. Seri haberleşme protokollerini temel alan bus sistemleri, içeriği önceden tanımlanmış olan veri paketlerini ağ üzerinde dolaştırırlar. Bir bus sistemi, bus masteri ile bus istasyonlarından oluşur. Sistemin kurulma aşamasında hangi istasyonun hangi bilgileri vereceği veya alacağı, bus masterına tanımlanır. Dolayısıyla bus masterı tarafından çevrimsel olarak istasyonları dolaştırılacak olan telegram, belirlenmiş olur. Bu telegramın dolaştırılması için gereken süre, telegramın boyutuna bağlıdır. Günümüzde bakır tel haberleşme ortamını kullanan bus sistemlerinden en sık kullanılanları Profibus, CANopen, DeviceNet ve INTERBUS sistemleridir.

Haberleşme ortamı olarak fiber optik kabloları kullanan SERCOS bus sistemi de, özellikle CNC kontrollü makinalarda, kontrolör ile dijital sürücülerin haberleşmesi için uluslararası standart bir dijital arabirimdir. Bakır telli haberleşme ortamından çok daha hızlı bir veri iletim hızına sahip olan SERCOS bus sistemi, özellikle hassas ve hızlı pozisyon kontrolünün esas olduğu ve çok sayıda eksenin sürülmesinde dahi düşük bus çevrim sürelerine ulaşılabilmesi ile CNC tezgahların elektromekanik servo eksenleri için çok geniş kullanım alanı bulmuştur.

Günümüz hidrolik eksen kontrolörleri de artık birer akıllı sürücülerdir, ve SERCOS haberleşme arabirimleri vasıtasıyla CNC tezgahlarda elektromekanik eksenlerin yanında yerlerini almışlardır. Artık CNC kontrolörler elektromekanik eksenler ile birlikte hidrolik eksenleri de aynı bus halkası üzerinden aynı çevrim süreleri ile sürebilmekte, lineer ve dairesel interpolasyon imkanlarını kullanabilmektedirler. Şekil 5'te 2 ms'lik SERCOS çevrim süresinde güncellenen pozisyon komut değerleri ile dairesel interpolasyon yapan 2 hidrolik eksenin kontur hassasiyeti gösterilmiştir.



Şekil 5. Hidrolik iki eksen ile dairesel interpolasyonda kontur hassasiyeti



6. ENDÜSTRİDE KULLANIMLARI

Dijital eksen kontrolörleri esnek yapıları ve haberleşme imkanları sayesinde bir çok sektörde kullanım bulmuştur. Bunlar takım tezgahları, plastik işleme makinaları, presler, özel makinalar, transfer tezgahları ve sistemleri, dökümhaneler ve demir-çelik endüstrisi gibi sıralanabilirler. Bu sektörlerde aşağıda sayılan bir çok makinada pozisyon, hız ve basınç kontrolü amacıyla kullanılmaktadırlar.

Takım tezgahları :

- Taşlama tezgahları
- Frezeler
- Büküm makinaları
- Magazin ve depolama sistemleri
- İşleme merkezleri

Plastik işleme makinaları :

- Enjeksiyon makinaları
- Şişirme makinaları
- Plastik enjeksiyon presleri

Presler :

- Derin çekme presleri
- Ekstrüzyon presleri
- Dövme presleri
- Kesme/boşaltma presleri
- Punch presler
- Hidrolik formlama sistemleri
- Boru büküm makinaları
- Upkant presler
- Montaj presleri

Özel makinalar :

- Paketleme makinaları
- Montaj tezgahları/hatları
- Makaslar
- Kaldırma aparatları
- Ağaç işleme makinaları

Dökümhaneler ve demir-çelik endüstrisi :

- Gerdirme üniteleri
- Haddehaneler
- Slab çevirme üniteleri
- Döner fırın kontrolü
- Transfer sistemleri



7. SONUÇ

Günümüzde endüstrideki pozisyonlama görevlerini yavaş yavaş senkron elektrik motorları üstlenirken, hala yüksek güç ihtiyaçlarında ve nispeten kısa stroklarda hidrolik eksenler ekonomik çözüm imkanları sunmaktadırlar. Gelişen teknoloji, bize farklı tahrik yöntemlerini her gün daha uyumlu ve birbiri ile iyi anlaşabilen bir şekilde kullanabilme fırsatı sunuyor. Böylelikle makina tasarımcısının ufkunu genişleterek, elindeki kartları kuvvetlendiriyor. Fakat insanoğlunun varlığının her evresinde olduğu gibi, bugün de elimizdekiler bize yetmeyecek, yarış sürecektir. Bu yüzden yeniliklere her zaman hazır ve açık olmalıyız.

KAYNAKLAR

- [1] Hydraulics Trainer - Volume 1 & 2, Bosch Rexroth A.G.
- [2] Rexroth HNC100 2X series – Digital Controller Assemblies with NC Functionality, RE 30 131-P/04.03, Bosch Rexroth A.G.
- [3] SYHNC100-NIB-2X Double Axis Control For Punching Machines, RE 30 131-B-NIB/01.02, Bosch Rexroth A.G.
- [4] Control Tutorials for Matlab – PID Tutorial, The University Of Michigan
- [5] PID Control of Continuous Processes, John W. Webb, Ronald A. Reis
- [6] General Catalog, Haidenhain GmbH
- [7] SERCOS – Technical Short Description, SERCOS Interface e.V.

ÖZGEÇMİŞ

Bülent GİRAY

1976 yılında Karacabey’de doğdu. 1998 yılında İ.T.Ü. Elektrik, Elektronik Fakültesinden, Elektronik ve Haberleşme Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. 1998-2001 yılları arasında Repkon Makina Ltd.Şti.’nde görev yaptı. 2002 yılında askerliğini tamamladıktan sonra bir yıl Ford Otosan A.Ş.’nde çalıştı. 2003 yazından itibaren Bosch Rexroth A.Ş. Elektrikli Tahrik ve Kontrol bölümünde proje ve satış mühendisi olarak görev yapmaktadır.