

POMPA DENETİMLİ ASİMETRİK HİDROLİK EYLEYİCİ SİSTEMLERİ

Hakan ÇALIŞKAN
Ulaş YAMAN
Rasim Aşkın DİLAN
Tuna BALKAN
Suat DEMİRER

ÖZET

Bu çalışmada valf kayıplarının giderildiği ve bu nedenle enerji verimliliği yüksek olan pompa denetimli hidrolik eyleyici sistemleri incelenmiştir. Geleneksel hidrostatik aktarım sistemlerinde simetrik eyleyiciler pompa debisi ayarlanarak denetlenmektedir. Ancak tek milli çift etkili silindirler gibi asimetrik eyleyicilerde giren ve çıkan debi miktarı birbirine eşit olmadığından hidrostatik devrede değişiklikler yapılması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında literatür taraması yapılarak asimetrik silindirlerin denetiminde kullanılan mevcut hidrolik devreler incelenmiştir. Bu devreler içerisinde karşılaştırmalar yapılmıştır. Kullanılan pompa sayısı maliyeti doğrudan etkilediği için tek pompa kullanılan çözümler özel olarak incelenmiştir. Bu doğrultuda, Ivantsynova ve Rahmfeld tarafından geliştirilmiş olan bir devre teorik olarak incelenmiş devrenin eksik ve güçlü yönleri yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pompa denetimi, Enerji verimliliği.

ABSTRACT

In this study, pump controlled hydraulic actuator systems, where valve losses are eliminated resulting in an increase in the energy efficiency, are analyzed. In conventional hydrostatic transmission systems, symmetric actuators are controlled via adjusting the pump flow rate. Since in asymmetric actuators like single rod double actuated cylinders in and out flow rates are not equal to each other, some arrangements should be made in the hydrostatic circuits. In the scope of this study, a literature survey is carried out on the current hydraulic circuits used for controlling of asymmetric cylinders. A comparison is also carried out on these circuits. The solutions using a single pump are investigated in a detailed manner since the number of pumps used in the system directly affects the cost of it. Thus, a hydraulic circuit developed by Ivantsynova and Rahmfeld is analyzed the weak and the strong sides of the circuit are also evaluated.

Keywords: Pump control, Energy efficiency.

1. GİRİŞ

Hidrolik sistemlerde basınç, eyleyici odasına giren yağın sıkışması ile oluşur. Dolayısı ile kuvvet veya hareket denetimi yapmak için eyleyiciye giren debiyi ayarlamak gerekmektedir. Geleneksel valf denetimli sistemlerde eyleyici odalarına giden debi, valf direnci değiştirilerek ayarlanmaktadır. Sabit bir basınç kaynağının önündeki direnç değeri değiştirildiğinde direnç üzerinden eyleyiciye giden debi değeri de değişmektedir. Valf üzerindeki basınç kaybı ve valften geçen debi miktarı çarpımının

zamana göre toplamı kaybedilen enerjidir. Enerji verimliliğinin daha çok göz önünde bulundurulduğu günümüz mühendislik sistemlerinde bu kaybın giderilmesi hidrolik konusunda araştırma geliştirme faaliyetlerine de yön vermektedir. Bu çalışmada valf kayıplarının giderildiği pompa denetimli sistemler hakkında genel bir literatür taraması yapılmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında valf denetimli sistemlerde enerji kayıpları ve bu kayıpların nasıl azaltıldığı incelenmiştir. İkinci kısımda ise valf kayıplarının tamamen giderildiği pompa denetimli sistemlerden bahsedilmiştir. Üçüncü kısımda simetrik eyleyicilerin sürüldüğü hidrostatik devrelere değinildikten sonra asimetrik eyleyicilerin sürüldüğü pompa denetimli devreler incelenmiştir. İlk olarak iki pompalı devre çözümleri ve sonrasında tek pompalı bir devre çözümü incelenmiştir.

2. VALF DENETİMLİ SİSTEMLERDE ENERJİ VERİMLİLİĞİNİN ARTTIRILMASI

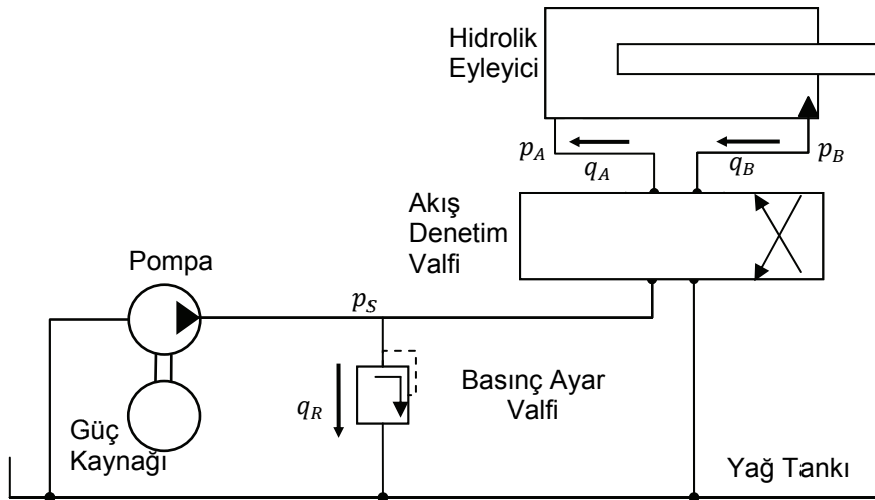
Şekil 1’de geleneksel valf denetimli hidrolik sistemin genel gösterimi verilmektedir. Bu sistemde iki büyük kısma kaybı mevcuttur. Birincisi valfin besleme basıncını sabitlemek için yapılan kayıptır. Bu kayıptan dolayı basınç ayar valfi üzerinde kaybedilen enerji aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E_{BA} = \int q_R p_S dt \quad (1)$$

Valf denetimli sistemin diğer büyük kısma kaybı ise akış denetim valfinin üzerinden geçen debinin neden olduğu kayıptır. Eyleyiciye giden debiyi ayarlamak için akış denetim valfi üzerinde kaybedilen enerji aşağıdaki gibidir.

$$E_V = \int ((p_S - p_A)q_A + p_B q_B) dt \quad (2)$$

Eyleyiciye giden debiyi ayarlayan son denetim elemanı valf olduğu için akış denetim valfi üzerindeki enerji kaybını E_V , gidermek mümkün değildir. Ancak valf besleme basıncını sabitlemek için kaybedilen enerjiden E_{BA} , tasarruf edilebilir. Bu nedenle valf denetimli sistemlerde enerji verimliliğini arttırmak için basınç duyarlı veya yük duyarlı pompa denetim sistemleri geliştirilmiştir. Valf besleme basıncını yaratan bu pompa denetim sistemlerinin temel amacı hidrolik eyleyiciye ihtiyaç duyduğundan daha fazla debi üretmemektir. Böylelikle basınç ayar valfi üzerinden geçen debi q_R en küçüklenerek enerji tasarrufu yapılır. Bu denetim sistemlerinde hidrolik sistemden gerekli geri beslemeler alınarak ya pompayı tahrik eden güç kaynağının devri ya da pompanın deplasmanı ayarlanır.



Şekil 1. Geleneksel Valf Denetimli Hidrolik Sistem

Denklem 2'de ifade edilen akış denetim valfi üzerindeki kısma kaybı iki kısımdan oluşmaktadır. Bunun nedeni valfin fiziksel yapısı nedeni ile eyleyiciye giren ve çıkan debinin ayrı ayrı enerji kayıplarına neden olmasıdır. Akış denetim valfinin A ve B kapılarındaki orifisler geometrik olarak birbirine bağlıdır, eyleyiciye giren debiyi ayarlamak için değiştirilen valf direncinin yani orifis açıklığının eyleyiciden çıkan debi üzerinde aynen etkili olması gerekir. Akış denetim valfi üzerinde oluşan enerji kayıpları valf geometrisi değiştirilerek azaltılabilir. Bunun ile ilgili literatürde çeşitli valf tasarımları mevcuttur [1]. Bu çalışmalarda kullanılan akış denetim valfi 4 bağımsız popet valften meydana gelmektedir. Sadece eyleyiciye giden debi üzerinde kısma direnci uygulanır ve eyleyiciden çıkan debi doğrudan tanka bağlanır. Böylelikle eyleyiciden çıkan debinin neden olduğu enerji kaybı giderilmiş olur.

Basınç duyarlı veya yük duyarlı pompa denetim sistemlerinin kullanılması veya akış denetim valfinin fiziksel yapısının değiştirilerek bağımsız orifis ayarlarının yapılması valf denetimli sistemlerde enerji verimliliğini artırır. Ancak valf denetimli sistemlerde kısma kayıpları kaçınılmazdır. Bu kayıplardan tamamen kurtulabilmek için hidrolik devrenin son denetim elemanı olan valften kurtulmak gerekmektedir. Böyle bir devre ise ancak eyleyiciye giden debinin pompa üzerinde ayarlanması ile mümkündür. Son denetim elemanının pompa olduğu bu devrelerde yükün gereksinimlerine göre hidrolik eyleyicinin içinden geçen akışı denetleyen pompanın kendisidir. Böylelikle kısma kayıpları tamamen ortadan kaldırılmış olmaktadır. Pompa denetimli sistemlerin valf denetimli sistemlere göre bir diğer avantajı ise yükten gelen enerjinin kaybedilmeyip depolanabilir olmasıdır. Birçok endüstriyel uygulamanın gereksinim duyduğu yük eğrisi, kuvvet-hız grafiğinde 4-kadrandadır. Yük eğrisinin kuvvet ve hız değerleri çarpımının pozitif olduğu 2-kadran eyleyicinin tahrik ettiği yük üzerinde iş yapıldığını gösterirken negatif olduğu 2-kadran yükün eyleyici üzerinde iş yaptığı anlamına gelir. Bir başka deyişle yük üzerindeki enerjiyi hidrolik eyleyici sisteme aktarmaktadır. Valf denetimli sistemlerde bu enerji kısma kayıplarına dönüştürülür, oysa pompa denetimli sistemlerde hidrolik veya elektriksel akümülatör veya rejeneratif elektrik sürücülerini kullanarak yükten gelen enerjiyi depolamak veya elektrik enerjisine çevirmek mümkündür. Böylelikle hidrolik sistemin enerji verimliliği daha da arttırılacaktır.

3. POMPA DENETİMLİ SİSTEMLER

Pompa denetimli sistemler eyleyici giden debinin ayarlanma biçimine göre değişken deplasmanlı veya değişken devirli olarak ikiye ayrılabilir. Değişken deplasmanlı pompalarda pompa deplasmanı değiştirilerek eyleyiciye giden debi ayarlanır. Pompa genellikle sabit devirli bir güç kaynağı tarafından tahrik edilir, elektriksel hidrolik veya mekanik bir mekanizma ile pompa deplasmanını belirleyen eğim plakasının açısı değiştirilir. Debi ayarlamada pompa devrinin ikincil önemde olması değişken devirli pompa denetim sistemlerini özellikle iş makineleri gibi mobil uygulamalar için uygun hale getirmektedir. Değişken devirli pompa denetim sistemlerinde ise genellikle sabit deplasmanlı pompa kullanılmakta ve eyleyiciye giden debi pompa devri değiştirilerek ayarlanmaktadır. Bu sistemlerde pompa tahrik elemanının devri sürekli olarak denetlenmelidir. Bu nedenle servo motorlar veya frekans çeviricilere ihtiyaç duyulmaktadır. Devir ayarlamak için elektriksel güç kaynağına ihtiyaç duyulan bu sistemler pres gibi sabit yer uygulamaları için daha uygundur.

Helduser [2] hız denetimli ve deplasman denetimli pompaların enerji verimliliklerini karşılaştırmıştır. Bu çalışmada bir plastik enjeksiyon makinasının önceden belirlenmiş bir iş döngüsü için bir saatte kullandığı enerji miktarı sistemde iki farklı pompa çeşidi kullanılarak ölçülmüştür. Hız denetimli pompanın deplasman denetimli pompaya göre daha az enerji kullandığı gözlenmiştir. Bunun temel nedeni hız denetimli pompanın boşta kaldığında enerji tasarrufu yapması olarak belirtilmiştir.

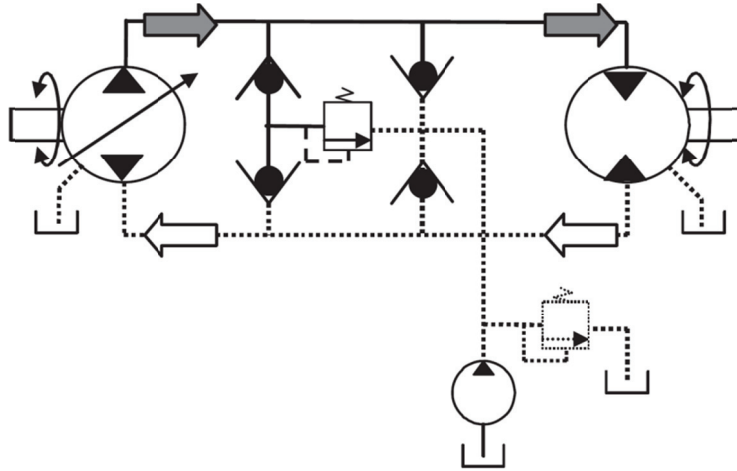
Değişken devirli pompa denetim sistemlerinde kullanılan sabit deplasmanlı pompalar ölü aralığı olmadan ters yöne dönebilir olmalı, ayrıca sadece sızıntının karşılandığı çok düşük devirlerde yüksek basınç altında çalışabilmelidir. Geleneksel hidrolik sistemler için üretilen standart pompalar ise düşük devirlerde çalışmak için üretilmemiştir, bu pompalar sadece tek yönde dönerler ve düşük devirlerde hacimsel verimliliği çok düşüktür, ayrıca pompa üzerinde yüksek basınç çıkışının yeri sabittir. Bu nedenle değişken devirli pompa denetim sistemlerinde özel pompalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu

pompalar yapısal olarak giriş ve çıkış debisine aynı direnci gösterecek şekilde simetrik tasarlanmıştır ve 4-kadranda çalışabilir niteliktedir. Bir başka deyişle pompa ters yöne dönebilir ve yüksek basınç hattı pompanın giriş ve çıkışında yer değiştirebilir. Böylelikle hidrolik eyleyici yük üzerinde iş yaparken pompa sisteme enerji aktarır, eğer yük hidrolik eyleyici üzerinde iş yaparsa pompa motor modunda çalışarak yükten gelen enerjiyi tahrik elemanı olan elektrik motoruna aktarır.

4. SİMETRİK EYLEYİCİYİ SÜREN HİDROSTATİK DEVRE ÇÖZÜMLERİ

Pompanın son denetim elemanı olarak kullanılması yeni bir yöntem değildir. Hidrostatik servo motor denetim devreleri değişken deplasmanlı pompa kullanılmaktadır. Bu devrelerde hidrolik motorun hızı ve yönü değişken deplasmanlı pompanın eğim plakasının açısı değiştirilerek ayarlanabilir. Bu şekildeki sürücüler sıklıkla takım tezgahı denetim merkezlerinde, gergi denetim sistemlerinde, taret ve anten denetiminde ve gemi yönlendirme sistemlerinde kullanılmaktadır [3]. Elektrikli hidrostatik sürücülerde ise aynı yaklaşım sabit deplasmanlı pompanın sürüş hızını ayarlayarak uygulanmaktadır. Bu sistemler enjeksiyon makinaları gibi sabit uygulamalar için idealdir. Cho [4] sabit deplasmanlı bir pompayı süren asenkron bir AC motorun hızını ayarlayarak çift milli sıkma silindirin konum takip denetimini gerçekleştirmiştir.

Şekil 2'de mobil bir uygulamada kullanılan hidrolik motorun hareketini denetleyen değişken deplasmanlı pompanın kullanıldığı bir hidrostatik devre çözümü görülmektedir [5]. Bu devrede gösterilen değişken deplasmanlı pompa ve hidrolik motor kuvvet-hız grafiğinde 4 kadranda çalışabilir, bir başka deyişle değişken deplasmanlı hidrolik ünite hem pompa hem motor olarak, hidrolik motor ise pompa olarak çalışabilir. Devrede alt kısımda gösterilen pompa ise tek yönde çalışır, pompa ve hidrolik motorun sızıntı kayıplarını karşılar, bir basınç ayar valfi vasıtası ile dönüş hattını sabit değerde bir düşük basınçta tutar. Devrede görülen durdurucu valf köprüsü ise sistemin her iki yönde hareketine izin veren bir yapıdadır. Yüksek basınç hattında oluşabilecek olası yüksek basınçları basınç emniyet valfi üzerinden dönüş hattına yönlendirirken emiş hattında sızıntıdan kaynaklı kayıp debi ihtiyacını düşük basınç hattından telafi eder.

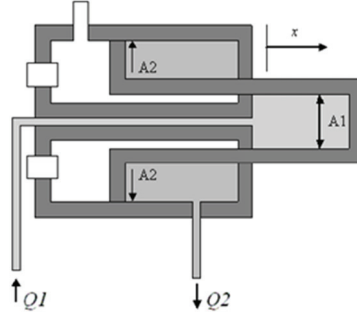


Şekil 2. Değişken Deplasmanlı Pompanın Kullanıldığı Hidrostatik Devre Çözümü [5]

Şekil 2'de görülen geleneksel hidrostatik sistemlerin önemli özelliklerinden birisi simetrik eyleyicilerle kullanılmasıdır. Hidrolik motor veya çift milli simetrik bir eyleyicinin hareket veya kuvvet denetimi için ideal bir devredir. Kayıpların telafi edildiği düşünülürse, değişken deplasmanlı ya da değişken hızlı pompanın giriş debisi eyleyicinin çıkış debisine eşit olacak ve böylelikle denetim kolaylaşacaktır.

Endüstriyel uygulamaların birçoğunda hacimsel kısıtlar nedeni ile tek milli asimetric eyleyiciler kullanılmaktadır. Bu durumda eyleyiciye giren debi eyleyiciden çıkan debiye eşit olmamakta ve alan farkından kaynaklı debi eksikliğini veya fazlalığını karşılamak gerekmektedir. Bu sorunun üstesinden

gelmek amacıyla Goldenberg ve Habibi [6] yeni bir simetrik tek milli eyleyici tasarlamıştır. Şekil 3'te bu eyleyici tasarımı gösterilmektedir. Kovan tarafına giren debi hidrolik silindir milinin içine yönlendirilmiştir, böylelikle kovan tarafında ve mil tarafında basıncın etki ettiği yüzeyler birbirine eşit olacak şekilde bir tasarım yapılabilmektedir. Çift milli eyleyicilerde görülen hacimsel dezavantajın ortadan kaldırıldığı bu tasarımda eyleyiciye giren ve çıkan debi birbirine eşitlenmiştir.



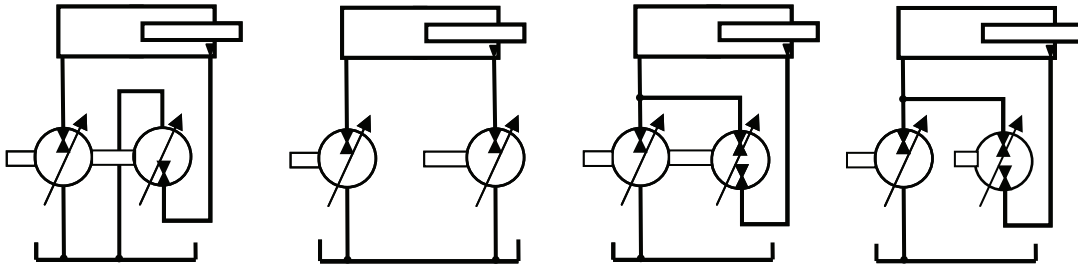
Şekil 3. Tek Milli Simetrik Eyleyici

Alan farkından kaynaklı debi eksikliğinin giderildiği Şekil 3'te gösterilen simetrik tek milli eyleyici tasarımı Şekil 2'de verilen hidrostatik devre de kullanılabilir. Ancak bu eyleyicinin üretim maliyeti tek milli basit eyleyicilere göre daha yüksektir. Ayrıca eyleyicinin basma durumunda bütün kovan iç çapı yerine sadece mil çapının kullanılması aynı kuvveti yaratmak için görece daha büyük çaplı silindire ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle eyleyici yapısını değiştirmek yerine hidrolik devre yapısının değiştirildiği çözümler aranmıştır.

5. İKİ POMPALI DEVRE ÇÖZÜMLERİ

Simetrik olmayan eyleyicilerin pompa denetimiyle hareket ettirilebilmesi için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu çözümlerin en basitlerinden birisi iki pompa kullanmaktır [7], [8], [9]. Eyleyiciye giren ve çıkan debinin eşit olmadığı asimetric eyleyicilerde alan farkından kaynaklı eksik veya fazlalık debiyi gidermek için geliştirilen iki pompa denetimli hidrolik devre çözümlerinin şematik gösterimi

Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Asimetric Eyleyiciler İçin İki Pompa Denetimli Devre Çeşitleri

Şekil 4'te verilen ilk iki devre çözümü açık devre, son ikisi ise kapalı devre çözümlerdir. İlk iki devre çözümünde eyleyiciden çıkan hidrolik akışkan tanka giderken, son iki devre çözümünde eyleyiciden çıkan akışkan tanka gitmek yerine ikincil pompanın girişine geri dönmektedir. Açık devre hidrolik sistemlerde yağ tankı bütün sistemin hacmini artırır ancak akışkanın soğutulması düşünüldüğünde

daha avantajlıdır. Ancak valf kaybının olmadığı dolayısı ile akışkanın ısıtılmadığı pompa denetimli sistemlerde açık devrenin bu avantajı yok olur. Son iki devre çözümü her ne kadar kapalı da olsa bir miktar akışkanın tanka dönmesi gerekmektedir. Bu nedenle ilk iki çözüm kadar olmasa da mil tarafındaki eksik veya fazla debiyi karşılayacak hacimde bir yağ tankına ihtiyaç duyulur.

Şekil 4'te verilen devrelerden 1 ve 3 numaralı devre çözümleri tek bir güç kaynağı tarafından tahrik edilirken 2 ve 4 numaralı devre çözümleri iki bağımsız güç kaynağı tarafından tahrik edilmektedir. Pompa tahrik elemanının maliyeti düşünüldüğünde 1 ve 3 numaralı çözümler daha avantajlıdır. Ancak bu devre yapıları sadece değişken deplasmanlı pompalar için uygun olup sabit devirli pompalar için uygun değildir. Bunun nedeni sabit deplasmanlı pompaların devir veya deplasman oranlarının sadece alan oranına değil aynı zamanda sızıntılara da bağlı olmasıdır. Örneğin eyleyici odalarını hareketsiz durumda basınçlandırmak için pompaların ters yönde dönmesi gerekirken, eyleyici hareket ederken pompaların aynı yönde ve devirlerinin veya deplasmanlarının alan oranına bağlı bir sabitle orantılı olması gerekir.

Bağımsız pompa tahrik elemanlarının kullanıldığı 2 ve 4 numaralı devre çözümleri değişken deplasmanlı pompalar için de uygundur. 2 numaralı devrede eyleyicinin yönünü ve hızını her iki pompa belirler. 4 numaralı devre çözümünde ise eyleyicinin yönü ve hızı tek bir pompa tarafından belirlenmektedir. Eyleyicinin kovan ve tank tarafını birbirine bağlayan pompa alan oranından kaynaklı eksik veya fazla debiyi karşılar. Böylelikle devre eşit alanlı simetrik bir eyleyicinin sürüldüğü hidrostatik bir devreye benzetilmiş olur ve kovan ve mil tarafını biri birine bağlayan ikinci pompa eyleyicinin hareketini belirler.

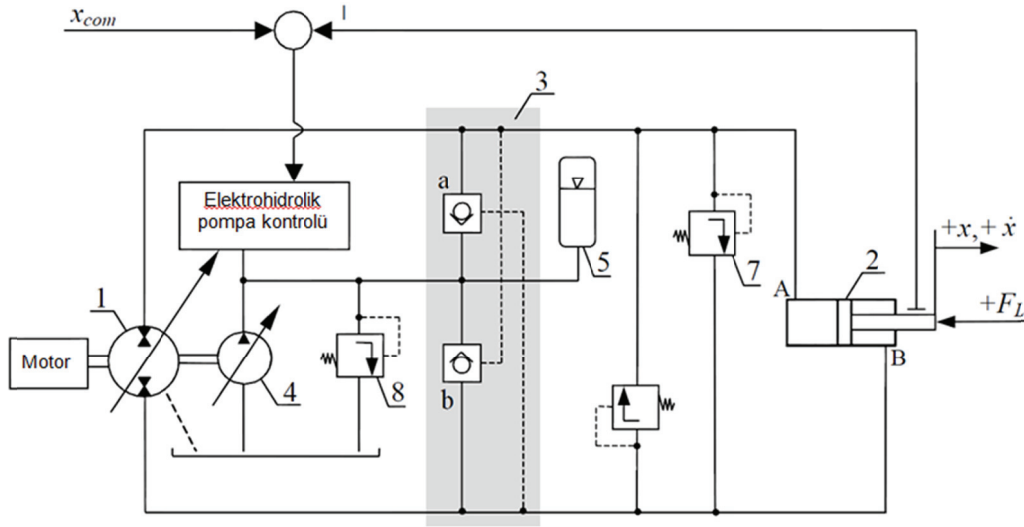
4 numaralı devre çözümü [10] da verilen yüksek lisans tezinde incelenmiş ve uygulaması yapılmıştır. Bu yüksek lisans tezinden çıkan sonuçlara göre iki pompa ve iki servo motorun kullanıldığı devre çözümü ile valfli sistemlerle kıyaslanabilecek yüksek dinamik başarımlar yakalanabilmektedir. Ancak pompa ve servo motor maliyetleri düşünüldüğünde endüstriyel uygulamalar için bir dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle bir sonraki bölümde tek pompa ve motorlu çözümler incelenmiştir.

6. TEK POMPALI DEVRE ÇÖZÜMLERİ

Tek milli hidrolik bir eyleyicinin asimetric debisini telafi etmek amacıyla hidrolik dönüştürücüler kullanılmaktadır. Dönüştürücüler, hidrolik pompa ve motorun bir araya getirilerek değişken deplasmanlı tek bir hidrolik ünitenin oluşturulması gibi düşünülebilir. Hidrolik dönüştürücü belirlenen bir basınçtaki giriş debisini farklı bir basınçtaki çıkış debisine çevirmektedir. İdeal durumda girişteki debi ve basınç çarpımı çıkıştaki debi ve basınç çarpımına eşittir. Çalışma prensibi bir ideal elektrik transformatöründen (girişteki akım ve gerilim çarpımı çıkıştaki akım ve gerilim çarpımına eşittir) farksızdır [11]. 1988'de Berbeur [12] tek milli bir silindirin debisinin telafisi için bir hidrolik dönüştürücü önermiştir. Dönüştürücünün oranı tek milli silindirin alan oranlarına göre belirlenmektedir.

Değişken deplasmanlı bir pompa ve silindir içerisindeki debi farkını telafi eden bir düşük basınç hattı kullanarak kapalı çevrim konum denetimi yapan yönteminin patenti 1994 yılında alınmıştır [13]. 2 konumlu 3 yönlü bir valf basınç hattını ve silindirin düşük basınçlı tarafını birbirine bağlamak için kullanılmıştır. Benzer bir yöntem Ivantysynova ve Rahmfeld tarafından da önerilmiştir [14], [15].

Şekil 5'te önerilen bu yeni devre konsepti gösterilmiştir. Simetrik eyleyicilerin sürüldüğü hidrostatik devrelerden farklı olarak bu devre çözümünde düşük basınç hattı diye adlandırılan hidrolik akümülatör bulunan bir hat oluşturulmuştur. Eksik veya fazla debiyi düşük basınç hattı telafi etmektedir.



Şekil 5. Değişken Deplasmanlı Pompa Denetimli Asimetrik Eyleyici [15]

Düşük basınç hattı 4 numaralı değişken deplasmanlı şarj pompası, 5 numaralı akümülatör ve 8 numaralı basınç emniyet valfinden oluşmaktadır. Ana pompa ile tandem bağlı değişken deplasmanlı şarj pompası akümülatörü sabit bir basınçta tutmaktadır. Bu hattın basıncı 8 numaralı basınç emniyet valfi ile sınırlandırılmıştır. 3 numaralı taralı alanda gösterilen pilot kumandalı durdurucu valfler ise çalışma koşullarına gören değişken düşük eyleyici oda basıncının düşük basınç hattına bağlanmasını sağlar.

Bütün sistemin ve pilot kumandalı valflerin nasıl çalıştığının daha rahat anlaşılabilmesi için sistemin basitleştirilmiş çizimi Şekil 6'da kuvvet-hız grafiği üzerinde verilmiştir. Bu gösterimde düşük basınç hattındaki basınç denetimini yapan değişken deplasmanlı şarj pompası gösterilmemiştir ve akümülatör sabit basınçlı kabul edilmiştir. Şekilde \dot{x} ile ifade edilen vektör eyleyicinin hızını belirtmekte ve açılma durumu için artı değerde kabul edilmektedir. F_L ile gösterilen vektör hidrolik eyleyicinin bağlı bulunduğu herhangi bir yük sistemine uyguladığı kuvveti belirtmektedir, hidrolik eyleyici üzerine etki eden kuvvet bunun tam tersi yönündendir. Şekilde γ ile gösterilen ifade ise hidrolik eyleyicinin alan oranını belirtmektedir ve 1'den büyüktür.

$$\gamma = \frac{A_A}{A_B} \quad (3)$$

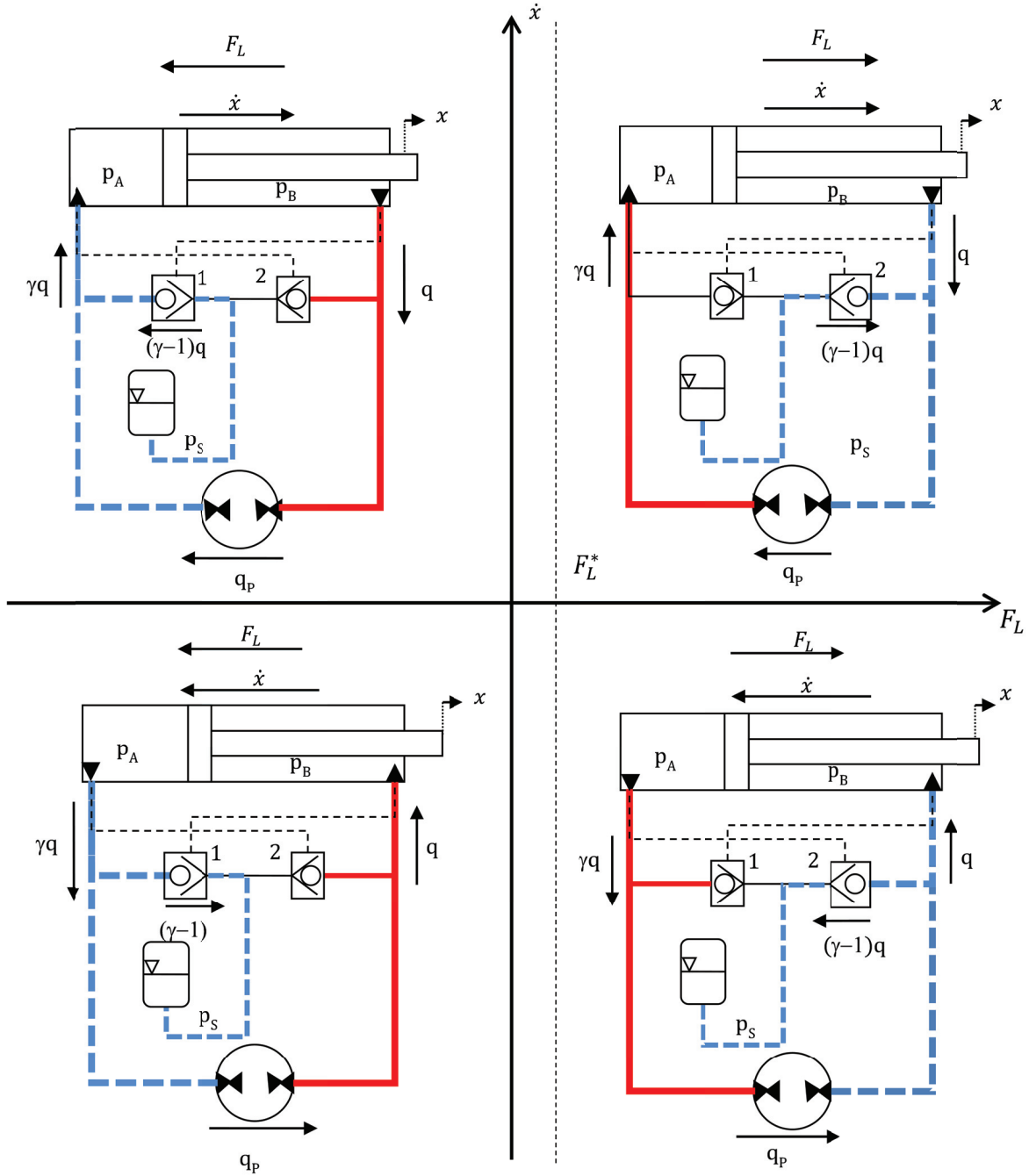
Şekil 6'da kuvvet ve hız çarpımlarının pozitif olduğu 1 ve 3 numaralı kadrantlarda hidrolik eyleyici herhangi bir yük sistemi üzerinde iş yapmaktadır. Bu nedenle değişken deplasmanlı hidrolik ünite pompa modunda çalışarak hidrolik sisteme enerji aktarmaktadır. Kuvvet ve hız çarpımlarının negatif olduğu 2 ve 4 numaralı kadrantlarda ise yük sistemi hidrolik eyleyici üzerinde iş yapmakta dolayısı ile değişken deplasmanlı hidrolik ünite motor modunda çalışarak hidrolik sistem üzerindeki enerjiyi tahrik motoruna aktarmaktadır.

1 numaralı kadranda hidrolik eyleyici ileri yönde gitmektedir dolayısı ile pompa mil tarafındaki silindir odasından (B odası) hidrolik akışkanı emmekte ve kovan tarafına (A odası) göndermektedir. Hidrolik eyleyicinin kovan tarafının alanı A_A , mil tarafı A_B alanının γ katı olduğu için, sistemde sızıntıların olmadığı varsayılırsa, sıkışma kayıplarının olmadığı sabit hızlı durağan durumda, mil tarafından çıkan debi miktarı q , kovan tarafına giren debi miktarı γq kadardır. Bu durumda kovan tarafındaki eyleyici odasının $(\gamma - 1)q$ kadar debiye ihtiyacı vardır. Bu eksik kalan debi düşük basınç hattı diye adlandırılan akümülatör tarafından karşılanmaktadır. Eyleyicinin kovan tarafın basınçlandığında 2 numaralı durdurucu valfe pilot basıncı uygulayarak açar ve böylelikle düşük basınç hattını mil tarafına bağlamış olur. Hidrolik pompa mil tarafından q kadar ve akümülatörlü düşük basınç hattından $(\gamma - 1)q$ kadar debi emerek A odasının debi ihtiyacını karşılar.

2 numaralı kadranda hidrolik eyleyici hızının yönü değişmemiştir. Bu nedenle 1 numaralı kadranda bahsedilen debi ihtiyacı aynıdır, eyleyicinin A odasının $(\gamma - 1)q$ kadar eksik debi ihtiyacı akümülatörden sağlanacaktır, ancak bu sefer eksik debi pompa üzerinden değil direk akümülatör tarafından karşılanır. Çünkü 2 numaralı kadranda hidrolik eyleyiciye etki eden kuvvetin yönü değişmiştir, eyleyicinin bağlı bulunduğu yük sistemi eyleyici üzerine kuvvet uygulamaktadır. Bu nedenle B odası basınçlanmıştır. B odasının basıncı arttığı için 1 numaralı durdurucu valfe pilot basıncı uygulayarak açar ve A odasını düşük basınç hattına bağlar. Pompadan gelen q kadar debi akümülatörden gelen $(\gamma - 1)q$ kadar debi ile birleşerek A odasının debi ihtiyacını karşılar.

3 numaralı kadranda değişken deplasmanlı ünite pompa modunda çalışmaktadır. Eyleyici bağlı bulunduğu yük sistemini geri yönde çekerek hızlandırmaktadır. Pompa hidrolik akışkanı A odasından alıp B odasına doğru pompalamaktadır. Alan oranından dolayı B odasının ihtiyaç duyduğu debi miktarı q kadar iken A odasından çıkan debi miktarı γq kadardır. Bu durumdan $(\gamma - 1)q$ kadar debi fazlalığı ortaya çıkmaktadır. Hidrolik eyleyici tahrik ettiği yük sistemini geri yönde çekmek için B odasını basınçlandırmıştır. B odasının basıncı arttığı için 1 numaralı durdurucu valfe pilot basıncı uygulayarak açar ve A odasını düşük basınç hattına bağlar. Böylelikle A odasından çıkan $(\gamma - 1)q$ kadar debi fazlalığı düşük basınçlı hidrolik akümülatöre yönlendirilir.

4 numaralı kadranda sistem motor modunda çalışmaktadır. Eyleyici geri çekilmekte ve yük eyleyicinin üzerinde iş yapmaktadır. Bu nedenle A odası basınçlı durumdadır. Eyleyicinin yönü değişmediği için sistemde yine $(\gamma - 1)q$ kadar debi fazlalığı mevcuttur. Basınçlanan A odası 2 numaralı valfe pilot basıncı uygulayarak açar, böylelikle A odasında bulunan yüksek basınçlı hidrolik akışkan pompa üzerinden geçerek akümülatöre yönlendirilir.



Şekil 6. Tek Pompalı Devre Çözümünün 4 Kadranda Çalışması

Bu bilgiler ışığındaki aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

- Hidrolik eyleyicinin düşük basınçlı odası her zaman akümülatörün bulunduğu düşük basınç hattına bağlıdır.
- Pompa ya da motor modunda eyleyici uzadığında debi ihtiyacı oluşmaktadır ve bu ihtiyaç akümülatör tarafından telafi edilmektedir. Debi fazlası ise pompa ya da motor modunda silindirin geri çekilmesiyle oluşmaktadır. Oluşan bu fazla debi akümülatöre aktarılmaktadır.

- 1 ve 2 numaralı durdurucu valflerin açılıp kapanması eyleyici hızına ve yönü değil eyleyicinin yüke uyguladığı kuvvete bağlıdır. Eğer pilot kumandalı durdurucu valflerin içindeki yay direnci ihmal edilirse eyleyici oda basınçlarının eşit olduğu durumda, $p_A = p_B = p$, eyleyicinin uyguladığı yük eşik kuvvetidir, $F_L^* = (\gamma - 1)A_B p$. Bu eşik kuvvet değerinin üstünde 2 numaralı durdurucu valf açılırken, bu kuvvet değerinin altında 1 numaralı durdurucu valf açılmaktadır.
- Değişken deplasmanlı hidrolik ünitenin maksimum debisi ileri ve geri yönde eşit alınır, $q_p = q_{max}$ eyleyicinin ulaşacağı en büyük hız yöne değil kuvvete bağlıdır. Eşik kuvveti F_L^* 'in altındaki kuvvetlerde eyleyici ileri ve geri yönde en büyük hızı q_{max}/A_B kadardır, eşik kuvvetinin altındaki değerlerde ise eyleyicinin ileri ve geri yönde en büyük kuvveti $q_{max}/\gamma A_B$ kadardır.
- Akümülatöre yönlendirilen akış her zaman enerji kazanımı anlamına gelmemektedir. Sistem pompa modunda çalışırken akışı akümülatöre yönlendirebilir.
- Sistemin motor ya da pompa modunda mı çalıştığı eyleyici üzerindeki net kuvvete ve eyleyicinin hızına bağlı olarak değişmektedir. Ancak, değişken deplasmanlı hidrolik ünite için kadrant geçişleri doğrudan A ve B odaları arasındaki basınç farkına bağlı olarak tanımlanmıştır. Sistemin pompa ve motor modu, değişken deplasmanlı hidrolik ünitenin doğrudan hangi kadranda çalıştığını belirtmez. Örneğin sistemin üzerinde yüksek bir statik yük (A odasının basıncının sürekli B odasının basıncından fazla olması durumu) varsa pompa sürekli 1. ve 4. kadrantlar arasında çalışacaktır. Eyleyicinin yönü değişebilecektir fakat yüksek basınç kapısı aynı kalacaktır. Böyle bir durumda 1 numaralı pilot kumandalı durdurucu valf kullanılmayacaktır.
- Sistem statik olarak dengedeysen, yani eyleyici hareket etmiyorken, eyleyicinin ağırlığını telafi edecek bir torkun sürekli olarak sağlanması gerekmektedir.

Bu yöntem hem değişken deplasmanlı pompalarla hem de değişken devirli sabit deplasmanlı pompalarla da uygulanabilir. Literatürde Rahmfeld'in hidrolik devre çözümünü kullanan ve değişken hızlı pompalar kullanan farklı çalışmalar bulunmaktadır [16].

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında hidrolik sistemlerde enerji verimliliğini arttırmak amacı ile yapılan çalışmalar hakkında genel bir literatür taraması yapılmıştır. Valf denetimli sistemlerde kısma kayıplarının nasıl azaltılacağından bahsedilmiş sonrasında kısma kayıplarının tümü ile giderildiği pompa denetimli sistemler incelenmiştir. Sonrasında değişken deplasmanlı ve değişken devirli pompa denetimli sistemler konu edilmiştir. Alan farkı nedeni ile asimetrik eyleyiciye giren ve çıkan debi birbirinden farklı olmaktadır. Öncelikle bu debi farkının giderildiği iki pompalı çözümler, sonrasında daha düşük maliyetli tek pompalı çözümler değerlendirilmiştir. Rahmfeld tarafından önerilen tek pompanın kullanıldığı değişken deplasmanlı hidrolik devre çözümü olarak incelenmiş ve çalışma prensibi anlatılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] ERIKSSON, B., "Control Strategy for Energy Efficient Fluid Power Actuators Utilizing Individual Metering", M.Sc. Thesis, Linköping University, Mechanical Engineering Department, 2007.
- [2] HELDUSER, S., "Electric-Hydrostatic Drive - An Innovative Energy-Saving Power And Motion Control System", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Vol. 213, pp. 427-437, 1999.
- [3] BLACKBURN, J.F., REETHOF, G., ve SHEARER, J.L., Fluid Power Control, 1st Ed., MIT Press and John Wiley & Sons Inc., New York, London, 1960.

- [4] CHO, S.H., RACKLEBE, S., ve HELDUSER, S., “Position Tracking Control of a Clamp-Cylinder For Energy-Saving Injection Moulding Machines with Electric-Hydrostatic Drives”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part 1, Journal of Systems and Control Engineering, Vol. 223, Number 4, pp. 479-491, 2009.
- [5] WATTON, J., “Fundamentals of Fluid Power Control”, Cambridge University Press, Vo, pp. 147, 2009
- [6] HABIBI, S., GOLDENBERG A., “Design of a New High-Performance Electrohydraulic Actuator”, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 5, Issue 2, pp. 158-164, 2000.
- [7] JOHNSON, J.L., "Summarizing Two Pump Control", Hydraulics & Pneumatics, pp. 22-25, Jun. 2007.
- [8] NEUBERT, T., “Untersuchungen von drehzahlveränderbaren Pumpen”, Doktoringenieur angenommene Dissertation, Technischen Universität Dresden, Fakultät Maschinenwesen, Germany, 2001.
- [9] FEUSER, A., DANTLGRABER, J., SPATHD, D., WILKE, O., “Servopumpenantriebe für Differentialzylinder”, Ölhydraulik und Pneumatik 39, No. 7, pp. 540-544, 1995
- [10] ÇALIŞKAN, H., “Değişken Devirli Pompa ve Valf Denetimli Servo Hidrolik Sistemlerin Modellenmesi ve Deneysel Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 2009.
- [11] INNAS. Hydraulic Transformers, <http://www.innas.com/IHT.html>, 2011- En son erişim tarihi 12.07.2011.
- [12] HEYBROEK, K., “Saving Energy in Construction Machinery Using Displacement Control Hydraulics - Concept Realization and Validation”, M.Sc. Thesis, Linköping University, Mechanical Engineering Department, June 2008.
- [13] HEWETT, A.J., Hydraulic Circuit Flow Control, US, Patent No 5, 329,767, 1994.
- [14] RAHMFELD, R., IVANTYSNOVA, M., “Displacement Controlled Linear Actuator with Differential Cylinder - A Way to Save Primary Energy in Mobile Machines”, 5th International Conference on Fluid Power Transmission and Control, Hangzhou, China, pp. 316-322, 2001.
- [15] RAHMFELD, R., “Development and Control of Energy Saving Hydraulic Servo Drives for Mobile Systems”, Dissertation, Technischen Universität Hamburg Harburg, Germany, 2002
- [16] AHN, K.K. ve CHAU, N.H.T., “Design of a Robust Force Controller for the New Mini Motion Package Using Quantitative Feedback Theory”, Journal of Mechatronics, Vol. 17, pp. 542-550, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

Hakan ÇALIŞKAN

1983 yılında Samsun’da doğdu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü’nden 2006 yılında “Lisans”, 2009 yılında “Yüksek Lisans” derecelerini aldı. 2006’dan bu yana ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır ve Doktora çalışmalarını yürütmektedir. Çalışmaları sistem dinamiği, denetim sistemleri, sistem modellemesi, benzetimi ve tanımlanması alanlarında yoğunlaşmıştır. Özel olarak pompa denetimli akışkan gücü denetim sistemleri üzerine çalışmaktadır.

Ulaş YAMAN

1984 yılı Ankara doğumludur. 2007 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Makina Mühendisliği Bölümünü ve Mekatronik Yandal Programını bitirdikten sonra 2010 yılında yine ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 2010 yılında aynı bölümde Doktora eğitimine başlamıştır. Ayrıca 2007 yılından beri ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Endüstriyel Otomasyon, Alan Programlanabilir Kapı Dizinleri, Komut Üretimi, Veri Sıkıştırılması ve Hidrolik konularında çalışmaktadır.

Rasim Aşkın DİLAN

1984 yılı Ankara doğumludur. 2007 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Makina Mühendisliği Bölümünü ve Mekatronik Yandal Programını bitirdikten sonra 2010 yılında yine ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünden Yüksek Mühendis unvanını almıştır. 2010 yılında aynı bölümde Doktora eğitimine başlamıştır. Ayrıca 2007 yılından beri ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Mekatronik, Hareketli Robotlar, Otonom Araç Sürüşü, Kontrol Sistemleri, Kontrol Mimarisi ve Sistem Dinamiği konularında çalışmaktadır.

Tuna BALKAN

1957 yılında Manisa'da doğdu. Halen çalışmakta olduğu Orta Doğu Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1979 yılında "Lisans", 1983 yılında "Yüksek Lisans", 1988 yılında da "Doktora" derecelerini aldı. 1985 yılında "Öğretim Görevlisi", 1988 yılında "Yardımcı Doçent", 1990 yılında "Doçent" ve 2000 yılında da "Profesör" unvanını aldı. Çalışmaları sistem dinamiği, denetim sistemleri, sistem modellenmesi, benzetimi ve tanılması, akışkan gücü denetimi, robotik ve uygulamaları ve gerçek zamanlı denetim alanlarında yoğunlaşmış olup, bu konularda çeşitli endüstriyel uygulamalarda yer almıştır. 2001 yılından beri HPKON yürütme kurulu üyesi olarak görev yapmaktadır.

Suat DEMİNER

1960 yılında Ankara'da doğmuştur. 1993–2005 yılları arasında Demirer San. ve Tic. Ltd. Şti'nde Genel Müdür olarak görev yapmıştır. 2005 yılından bu yana kendi kuruluşu olan ve aynı zamanda ODTÜ – Teknokent'te yer alan Demirer Teknolojik Sistemler San. ve Tic. Ltd. Şti'nde Genel Müdür olarak çalışma hayatını sürdürmektedir. 1999 yılındaki kuruluşundan bu yana 6 dönemdir HPKON Yürütme Kurulu üyesidir.