AYRIŞIK DENETİMDE GÜVENİLİRLİK SORUNU

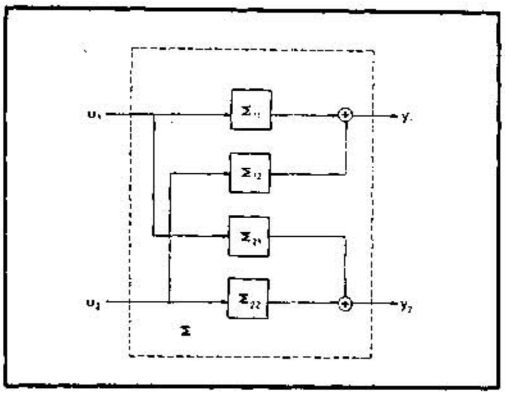
A. Bülent ÖZGÜLER ve Konur A. ÜNYELİOĞLU (*)

Merkezi denetim yerine ayrışık denetim yöntemi kullanma gereği bir çok uygulamada ve değişik nedenlerle ortaya çıkmaktadır. Enerji dağıtım sistemleri birbirinden uzakta çok sayıda santrallar ve iletim hatlarından oluştuğundan her bir santralda yerel denetimle toplam sistemi denetleme, tüm yerel denetim sistemleri arasında bilgi alışverişini zorunlu kılan merkezi denetimden daha ucuzdur. Hidrolik, mekanik ve elektrik altsistemlerden oluşan melez bir sistemde, bir türden altsisteme yalnızca aynı tür elemanlar içeren bir yerel denetim sistemi tasarımı, hidrolikten mekaniğe, elektrikten hidroliğe, v.b. cinsten dönüştürücü kullanımını azaltacağı için hem ucuz hem da daha kolay olacaktır. Çok odalı ve oda dubarları ısı iletken olan bir binada, her bir odanın sıcaklığı yalnız o odanın sıcaklığını ölçerek ve radyatörünü ayarlayarak regüle edilebilirse bu şüphesiz basit ve ucuz bir ısı denetim sistemidir. Kolayca çoğaltabileceğimiz bu örneklerin ortak yanı denetim sisteminin tüm sistem çıkışlarını gözlemesine veya tüm sistem girişlerini denetlemesine gerek duymaması ve böylece bilgi iletişimde tasarruf sağlanmasıdır. Örneklenen türden ayrışık denetimin genel teorisi doğrusal ve zamanla değişmeyen sistemler için oldukça iyi bilinmektedir {12, 1, 2, 3. 5, 9]*. Ayrışık denetim alanında temel katkılarda bulunmuş ve denetim bilimciler arasında iyi tanınan birçok Türk araştırıcı vardır. Bunlar arasında Ü. Özgüner, M.E. Sezer, Ö. Hüseyin, T. Başar, N. Gündeş sayılabilir.) Bu teorinin ana sonucu şudur. Eldeki bir sürekli - zamanlı sistemi ayrışık denetim yöntemiyle kararlı yapabilmenin gerek ve yeter koşulu sistemin sağ yarı düzlemde ayrışık değişmez özdeğerlerinin olmamasıdır, [12]. Bu sonucu Bölüm 3'de biraz daha ayrıntılı olarak vereceğiz.

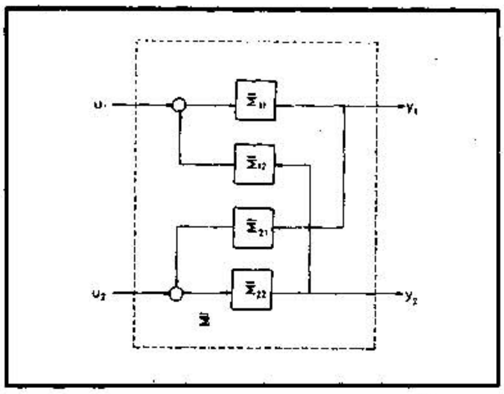
O Elektrik ye Elektronik Mühendisliği Bölümü
Bilkent Üniversitesi.

Geribeslemeli denetim sistemlerinin tasarımında önemli amaçlardan biri de kapalı devre sisteminin parametrelerindeki sapmalara karşı denetim sisteminin güvenilir olmasıdır. Parametre sapmaları çok değişik şekillerde modellenebilir, ancak bunları kabaca iki grupta toplamak mümkündür: sağlam ("robust") denetimde incelenen sürekli sapmalar ve sonlu sayıda sistemlerin birlikte kararlaştırılması probleminde [11] örneklenen sıçramalar. Burada ele aldığımız "arabağlantı kopmalarında güvenilirlik" problemi ikinci gruba girer. Yukarıda verilen enerji dağıtım sistemi ve bina ısınma sistemi örneklerinde ayrışık denetimin mümkün olduğunu varsayalım. Tasarımlanan ayrışık denetim sistemlerinin, birinci sistemde bazı iletim hatlarının kopması durumunda veya ikinci sistemde bazı duvarlara ısı yalıtımı eklenmesi durumunda kararlılaştırma işlevini sürdürebilmeleri nasıl sağlanır? Bu sorunun yanıtı tasarımcıyı güvenilir ayrışık denetim probleminin çözümüne götürecektir.

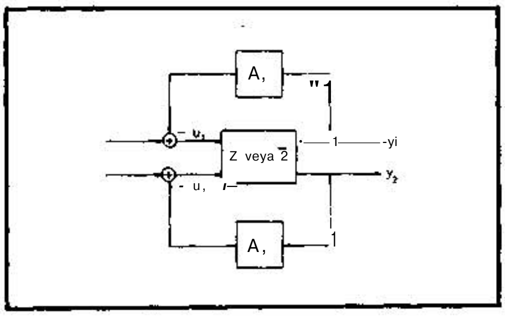
Bu yazıda, iki değişik türden arabağlantıyla oluşturulan karmaşık (çok girişli, çok çıkışlı, doğrusal, zamanla değişmeyen) sistem için güvenilir ayrışık denetim problemini inceleyeceğiz. İlgilenilen sistemler Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 1 'deki sistem, $£_n$ ve S^ yerel sistemlerinin $X,_2$ ve £2, arabağlantı sistemleriyle ileribesleme yoluyla bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Şekil 2'deki sistem ise Z,, ve $£_{22}$ yerel sistemlerinin $£_{12}$ ve $£_2$, arabağlantı sistemleriyle geribesleme yoluyla bağlanmasıyla elde edilmiştir. Ortaya çıkan iki - kanallı karmaşık sistemler, sırasıyla, I ve E olsun. Her iki sisteme de Şekil 3'de gösterilen biçimde bir denetim yöntemi uygulanacaktır. Burada A, ve A_2, yerel sistemlerin çıkışlarıyla beslenen ve girişlerini besleyen yerel denetim sistemleridir. Eğer ayrışık denetim yerine merkezi denetim yöntemi uygulanabilse, bu bize Şekil 4'de gösterilen A_3 ve A_4 gibi fazladan



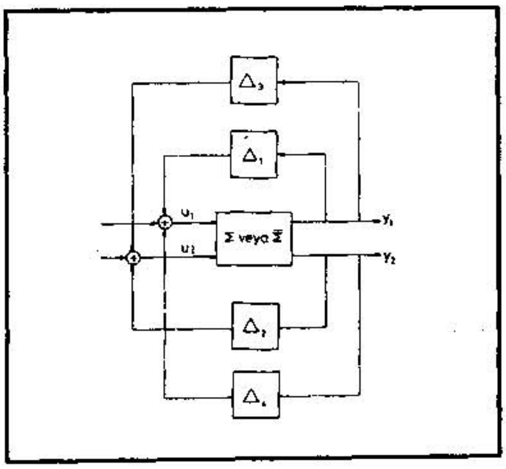
Şekil 1: ileri beslemeden bağlantılı sistem I



Şekil 2 : Geri besleme arabağlantılı sistem $\bar{I}$



Şekil 3 : Ayrışık denetim



Şekil 4: Merkezi denetim

iki denetim sistemi daha kullanabilme olanağı verecek ve denetleyicinin ve bilgi iletişiminin karmaşıklaşması pahasına, denetim daha kolay yapılabilecekti. Toplam sistem I veya $\bar{S}$ için Şekil 3'de kullanılan ayrışık denetleyici blok-köşegen yapıdaki

$$A := \begin{bmatrix} A_1 & 0 \\ 0 & A_2 \end{bmatrix}$$

sistemidir.

inceleyeceğimiz denetim problemlerinden ikisinin tanımını şimdi verebiliriz.

(P1) Şekil 1 'deki gibi bir ileribesleme arabağlantılı sistem £ verildiğinde, A, ve A_2 gibi öyle iki yerel denetleyici bulalım ki, Şekil 3'deki kapalı devre sisteminde her üç sistem çifti (£,, A,), ($£_{22}$ A_2) ve (I, A) iç-kararlı çiftler olsun,

(P2) Şekil 2'deki gibi bir geribesleme arabağlantılı sistem X verildiğinde, A, ve A_2 gibi öyle iki yerel denetleyici bulalım ki, Şekil 3'deki kapalı devre sisteminde her üç sistemden çifti (L_{u}, Δ_1), (I_{22}, A_2) ve (I, A) iç-kararlı çiftler olsun.

Burada, (I, A) gibi bir sistem çiftinin iç-kararlı olması, bu iki sistemi içeren çevrimin bir noktasında uygulanan kararlı (veya üstel sönümlü) bir girişin çevriminin her noktasında kararlı çıkışlara yol açmasıdır, [7, 11]. Bir başka deyişle, iç - kararlı bir sistem çifti içeren bir çevrimde, kararlı girişler kararsız çıkışlar türetemez. Dikkat edilirse, (P1) ve (P2) problem tanımlarındaki üçüncü koşul ayrışık kararlılaştırma koşulu, yerel çevrimlerle ilgili birinci ve ikinci koşullar ise güvenilirliği sağlamak üzere eklediğimiz koşullardır. Bu koşulların sağlandığı bir tasarımın arabağlantı kopmalarına karşı nasıl bir güvenilirlik sağladığı aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Bu tabloda ayrıca şekil 3'deki geribesleme bağlantılarında olabilecek kopmalarda da, (P1) problemini çözen bir tasarımın bazı ek avantajları yer almaktadır.

Güvenilir ayrışık kararlılaştırma probleminin çeşitli türleriyle ilgili çok sayıda kaynak vardır. Bunlar arasında [8, 6, 9, 10] ve bunlarda listelenen kaynaklara başvurulabilir. Bu yazıda sunulan sonuçlar [6] ve [10]'dan derlenmiştir.

2. İÇ - KARARLILIK VE KUVVETLİ KARARLILIK

Yukarıda kısaca söz edilen, bir sistem çiftinin iç - kararlılığı, denetim teorisinin en temel problemlerinden birisidir. Çağdaş denetim bilimi, orantı-türev-tümlev denetimden ("pidcontrol") oluşan klasik denetim yöntemine karşı ilk üstünlüklerinden birisini bu problemi tatmin edici bir çözüme ulaştırmakla sağlamıştır. Çözümde ana rolü oynayan ulaşılabilirlik ve gözlenebilirlik kavramları aynı zamanda en - iyi denetim ("optimal control") alanında da temeldirler.

Bir £ sistemini iç - kararlı yapan bir A denetleyici (yani, öyle bir A ki *(L,* A) çifti iç-kararlı) eğer ve ancak Z sisteminin sağ yarı düzlemindeki tüm özdeğerleri ulaşılabilir ve gözlenebilir ise vardır.

Doğrusal denetim alanının bu iyi bilinen sonucunu bir adım ileriye götürerek şu soruyu soralım: Verilen bir £ sistemini iç-kararlı yapan kendisi de kararlı olan bir A denetleyici nasıl bulunabilir? Bu sorunun yanıtı 1974'de Youla, Bongiorno ve Lu [13] tarafından verildi. Kuvvetli kararlılaştırma olarak adlandırılan bu "kararlı bir denetim sistemiyle iç-kararlılaştırma" probleminin ana çözüm koşulu I'nın kutup ve sıfırları arasında bir tür girişim özelliğinin sağlanmasıdır. Bu sonucu vermeden önce iki tanım yapalım.

Garantilenen Kararlılık / Kopma Türü		Şekil 1 ve 2'de Arabağlantı kopmaları (P1) : $\underline{I}_{12} = 0$ ve/veya $\underline{I}_{21} = 0$ (P2) : $\bar{I}_{12} = 0$ ve/veya $\bar{L}_{21} = 0$	Şekil 3'de Geribesleme kopmaları A1 = 0 veya ^ 2 = 0
(P1)	Yerel Sistemlerin Kararlılığı	Zn ve X_{22} sistemlerini içeren yerel çevrimler kararlı kalmayı sürdürürler	Sağlam denetleyicinin bulunduğu yerel çevrim kararlı kalmayı sürdürür
	Toplam Sistemin Kararlılığı	Eğer ortaya çıkan açık-devre sistemin ayrışık değişmez özdeğerleri yoksa, toplam sistem kararlı kalır	Kapalı - devre sisteminin kararlılığı, açık-devre sisteminkinden daha kötü değildir
(P2)	Yerel Sistemlerin Kararlılığı	L,, ve Z_{22} sistemlerini içeren yerel çevrimler kararlı kalmayı sürdürürler	Sağlam denetleyicinin bulunduğu yerel çevrim kararlı kalmayı sürdürür
	Toplam Sistemin Kararlılığı	Eğer ortaya çıkan açık-devre sistemin ayrışık değişmez özdeğerleri yoksa, toplam sistem kararlı kalır	Garantilenen kararlılık yok.

Tanım 1. Eldeki X sisteminin dönüşüm matrisi Z (s) olsun. Eğer s_0 gibi sonlu veya sonsuz bir karmaşık ("complex") sayı için $Z(s_0) = 0$ ise buna sistem L'nın veya dönüşüm matrisi Z(s)'nin toptan sıfırı ("blocking zero")" denir. Bu terim ilk kez 1977'de P.G. Ferreira ve S.P. Bhattâcharyya tarafından kullanılmıştır ve "blocking" deyimi kutupları bu tür sıfırlar arasında olan bir girişin sistem çıkışında kaybolması nedeniyle kullanılmıştır. Bu özellik başka tür sıfırlarda da bulunduğundan, biz 'loptan" deyimini yeğliyoruz.)

Tanım 2. Sonsuzu da içeren gerçel ("real") sayılar kümesinin iki alt kümesi K ve S olsun. Bu sayılar gerçel eksen üzerinde işaretlendiğinde eğer S'nin her iki elemanı arasında hep çift sayıda K elemanı varsa, <K,S> sıralı çifti girişim özelliğini sağlar (veya K ile S arasında girişim özelliği var) denir.

Bunu bir örnekle açıklayalım; K ve S kümeleri şöyle olsun:

K = {1,2, 5, 7, 8, 11, 60} S = {0,4,9, 10, =}.

Bu küme çifti, 4 ve 9 arasında tek sayıda K elemanı bulunduğundan, girişim özelliğini sağlamaz. Ancak, K kümesinden 5 (veya 7, veya 8, veya 5, 7, 8 elemanlarının üçü birden) atıldığında elde edilen küme ile S arasında girişim özelliği vardır.

Bu tanımlar [13]'ün ilginç sonucunu verebilmek için yeterlidir.

Verilen bir I sistemini kuvvetli kararlaştıran bir A denetleyicisi eğer ve ancak (1) I'nın sağ yarı düzlemdeki tüm özdeğerleri ulaşılabilir ve gözlenebilir ise ve (2) Z'nın sağ yarı gerçel eksendeki (yani, gerçel değerli ve artı işaretli) kutupları ile toptan sıfırları arasında girişim özelliği varsa bulunabilir.

3. AYRIŞIK DENETİM

Burada, ayrışık denetimin uygulanabileceği en basit, iki kanallı (yani iki grup girişi ve iki grup çıkışı olan) sistemler için, ayrışık kararlılaştırma problemini biraz daha ayrıntılı olarak inceleyelim. Verilen iki kanallı bir Z sistemine Şekil 3'deki gibi yerel denetim yöntemi uygulayarak toplam çevrimi (veya (I, A) sistem çiftini) iç-kararlı yapma probleminin çözüm koşulunun, Z'nın sağ yarı düzlemde ayrışık değişmez özdeğerlerinin olmaması olduğunu biliyoruz.

Tanım 3. Sonlu bir karmaşık sayı s_d, *Y.* sisteminin bir özdeğeri olsun. Eğer s_d aynı zamanda, tüm statik geribesleme sistemleri için, yani dönüşüm matrisleri sabit olan tüm A, ve A_2 denetim sistemleri için, Şekil 3'deki kapalı çevrim sisteminin de bir özdeğeri ise buna Z'nın ayrışık değişmez özdeğeri denir.

Bu tanım ışığında, ayrışık kararlılaştırma problemi için verilen çözümü şöyle de ifade edebiliriz: Statik yerel denetleyiciler altında değişmez olan özdeğerler, dinamik yerel denetleyiciler kullanılsa da değişmez kalırlar. Bundan, ayrışık değişmez özdeğerlerin, sistemin ulaşılamaz veya gözlenemez özdeğerlerini kapsadığını kolayca görebiliriz. Çünkü bu sonraki özdeğerler tam tamına merkezi (dolayısıyla ayrışık) denetim altında değişmez kalanlardır. Sistemin ulaşılamaz ve gözlenemez özdeğerlerinin bir tür genellemesi olan, ayrışık değişmez özdeğerler ayrışık denetimin en temel kavramıdır. Verilen bir sistemin ayrışık değişmez özdeğerlerinin olup olmadığının belirlenmesi için çeşitli kolay testler vardır, [12, 1, 9]

4. GÜVENİLİR AYRIŞIK DENETİM

Giriş bölümünde tanımlanan (P1) ve (P2)'nin çözümlerini vermeden önce, bir dönüşüm matrisinin polinom matrislerin oranı şeklindeki gösteriliminden [7] kısaca söz edelim. Giriş sayısı m, çıkış sayısı p olan bir Z sisteminin dönüşüm matrisi Z (s) olsun. Bilindiği gibi Z(s)'nin her elemanı s karmaşık değişkeninin gerçel katsayılı bir fonksiyonudur. Başka bir deyişle Z(s)'nin her elemanı s'nin aralarında asal (veya kökleri çakışmayan) iki polinomunun oranı olarak yazılabilir. Bunun bir sonucu olarak, Z(s) matrisinin kendisi de aralarında asal iki polinom matrisin oranı olarak yazılabilir. Ancak burada, matris çarpımlarında yer değiştirme özelliği her zaman sağlanmadığı için, iki değişik gösterim biçimi vardır. Sırasıyla, sol asal ve sağ asal gösterilim olarak adlandırılan bu iki yazılış

$$Z(s) = D(s)^{-1} N(s) = P(s)Q(s)^{-1}$$

şeklindedir. Burada D(s), N(s), P(s) ve Q(s) poliom matrisleri, sırasıyla pxp, pxm, pxm ve mxm boyutunda s'nin gerçel matris katsayılı fonksiyonlarıdır; ayrıca, (D(s), N(s)) matris çifti aralarında sol asal ve (P(s), Q(s)) matris çifti de aralarında sağ asaldırlar. Bizim için bu tür gösterilimlerin ilginç yanı Z sisteminin kutup ve sıfırlarını bunlardan kolayca görebilmemizdir. Şu ilişkiler geçerlidir.

{Z'nın kutupları} = {D(s)'nin determinantının kökleri}

= {Q(s)'nin determinantının kökleri}

= {N(s_0) = 0'ı sağlayan karmaşık s_0 sayıları}

= {P(s_0) = 0'ı sağlayan karmaşık s_0 sayıları}

Artık (P1) ve (P2) problemlerinin çözüm koşullarını verebiliriz. Önce (P1)'i ele alalım.

Şekil 1'de görülen Σ_{ij} i,j = 1,2 sistemlerinin dönüşüm matrisleri $Z_{ij}(s)$, i,j = 1,2 olsun. Bu dört rasyonel matrisin sol ve sağ asal gösterilimlerini de i,j = 1,2 için

$$Z_{ij}(s) = D_{ij}(s)^{-1} N_{ij}(s) = P_{ij}(s)\, Q_{ij}(s)^{-1}$$

şeklinde yazalım. Toplam Z sistemini ilgilendiren aşağıdaki kutup ve toptan sıfır kümeleri (P1)'in çözümünde temel bir rol oynarlar.

K := {Z_{12} veya Z_{21}'in kutupları}

S := {sağ yarı gerçek eksendeki $D_{11}(s_0)\, Z_{12}(s_0)\, Q_{22}(s_0)$ = 0 veya $D_{22}(s_0)\, Z_{21}(s_0)\, Q_{11}(s_0)$ = 0'ı sağlayan s_0 sayıları}.

Önerme 1. İleribesleme arabağlantı sistem Z için (P1) problemi eğer ve ancak (1) Z'nın sağ yarı düzleme ayrışık değişmez özdeğerleri yoksa ve (2) < K,S > kümeleri arasında girişim özelliği varsa çözülebilir.

Şimdi de (P2) problemini ele alalım.

Şekil 2'de görülen $\bar{\Sigma}_{ij}$, i.j = 1,2 sistemlerinin dönüşüm matrisleri $\bar{Z}_{ij}$ (s), i,j = 1,2 olsun. Bu dört rasyonel matrisin sol ve sağ asal gösterimlerini de i,j = 1,2 için

$$\bar{Z}_{ij}(s) = \bar{D}_{ij}(s)^{-1} \bar{N}_{ij}(s) = \bar{P}_{ij}(s)\, \bar{Q}_{ij}(s)^{-1}$$

şeklinde yazalım. Toplam Z sistemini ilgilendiren aşağıdaki kutup ve toptan sıfır kümeleri yine çözümde temel bir rol oynarlar.

$\bar{K}$:= {$\bar{Z}_{12}$ veya $\bar{Z}_{21}$'in kutupları}

$\bar{S}$:= {sağ yarı gerçel eksendeki $\bar{N}_{11}(s_0)\, \bar{Z}_{12}(s_0)\, \bar{P}_{22}(s_0)$ = 0 veya $\bar{N}_{22}(s_0)\, \bar{Z}_{21}(s_0)\, \bar{P}_{11}(s_0)$ = 0'ı sağlayan s_0 sayıları}.

Önerme 2. Geribesleme arabağlantılı sistem Z için (P1) problemi eğer ve ancak (1) Z'nın sağ yarı düzlemde ayrışık değişmez özdeğerleri yoksa ve (2) < K, S > kümeleri arasında girişim özelliği varsa çözülebilir.

Bu iki önermedeki (1) koşulu ayrışık denetim için sağlanması gereken koşuldur. Koşul (2) ise ayrışık denetimin güvenilirimi için gereken ek koşuldur. Her iki problemde de K ve $\bar{K}$ kümeleri arabağlantı sistemlerinin kutuplarından oluşmuştur. Diğer iki küme S ve $\bar{S}$ ise, kabaca, arabağlantı sistemlerinin toptan sıfırları ile birinci problemdeyerel sistem kutuplarının, ikinci problemde de yerel sistem sıfırlarının bir tür birleşiminden oluşmuştur. Böylece, S'deki yerel sistem kutuplarının yerini $\bar{S}$'de yerel sistem sıfırlarının aldığını görüyoruz. Bazı ince teknik noktaları bir yana bırakırsak, (P1) ve (P2) için çözüm koşullarını kolay anlaşılır bir şekilde söyleyebiliriz. Her iki arabağlantılı sistem için ayrışık kararlılaştırma probleminin çözümlü olduğunu varsayalım. Problem(P1)in çözümü için gerek ve yeter koşul arabağlantı sistemlerinin kutupları ile yerel sistemlerin kutupları ve arabağlantı sistemlerinin toptan sıfırlarının birleşimi arasında girişim özelliğinin sağlanmasıdır. Problem (P2)'nin çözümü için gerek ve yeter koşul ise, arabağlantı sistemlerinin kutupları ile yerel sistemlerin sıfırları ve arabağlantı sistemlerinin toptan sıfırlarının bileşimi arasında girişim özelliğinin sağlanmasıdır. Yerel sistem kutup ve sıfırlarının (P1) ve (P2) de oynadığı bu eşlek ("dual") rol bir rastlantı değildir; ileribesleme ve geribesleme arabağlantılı karmaşık sistemler arasındaki temel bir dualitenin sonucudur [10].

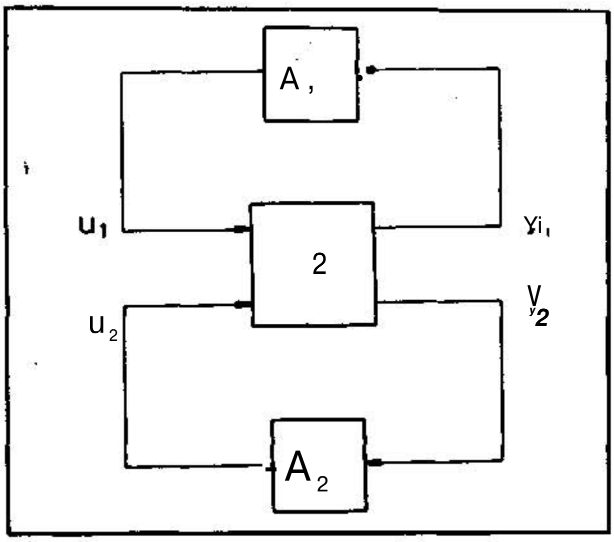
Yukarıdaki önermelerde verilen çözüm koşullarını daha iyi anlamak için (P1) ve (P2)'nin bir özel durumunu inceleyelim.

Şekil 1 ve 2'deki arabağlantı sistemlerinin dördünün de kararlı sistemler olduğu durumu düşünelim. Bu Z_{12}, Z_{21} ve $\bar{Z}_{12}$, $\bar{Z}_{21}$ sistemlerinin sağ yarı eksende kutuplarının olmaması demektir, yani K ve $\bar{K}$ boş kümelerdir. Böylece her iki önermenin (2) koşulu doğrudan sağlanır. Diğer yandan, her iki karmaşık sistemin de sağ yarı düzlemde ayrışık değişmez özdeğerlerinin olmadığı bilinen testlerle gösterilebilir. Böylece, kararlı arabağlantı sistemleriyle oluşturulmuş ileribesleme ve geribesleme arabağlantılı sistemlerde güvenilir ayrışık denetim her zaman yapılabilir. Bir çok karmaşık sistem yalnızca kararlı arabağlantılar içerdiğinden, bu sonucun uygulamadaki önemi küçümsenemeyecek boyuttadır.

5. YEDEKLİ DENETİM

Güvenilir ayrışık denetimin ilginç bir uygulaması olarak şu problemi inceleyelim. Şekil 5'deki geribeslemeli sistemi ele alalım.

Bu ayrışık denetim sisteminde A_1 ve A_2 denetleyicilerinden ana sistem Z'yı hem tek başlarına hem de birlikte kararlı yapmaları istenmektedir. Yani, verilen Z için öyle iki denetim sistemi A_1 ve A_2 bulalım ki, (Z, A_1), (Z, A_2) ve (Z, A) sistem çiftlerinin üçü de iç-kararlı olsun. Burada A,



Şekil : 5 Yedekli denetim

giriş bölümünde tanımlandığı gibi köşegenlerinde A, ve Aj bulunan ayrışık denetleyicidir. Dikkat edilirse, bu problemi çözen denetleyiciler birbirinin yedeği durumundadır; iki denetim sisteminden birinin devre dışı kalması durumunda diğer denetleyici ana sistemi kararlı kılma görevini sürdürür. Bu nedenle bu probleme yedekli denetim adı verilmiştir. |9].

Buradaki ana istem Z'nın (P1)'deki gibi bir arabağlantı sistemi olması gerekmediğini hemen belirtelim.' Yıne de (P1) ile bu problem arasında sıkı bir ilişki vardır. Burada ayrıntısına girmeyeceğimiz bu ilişkiden yola çıkarak aşağıdaki sonuç elde edilebilir. Ana sistem Z'nın dönüşüm matrisini Z(s) ile gösterelim. Denetim sistemleri A, ve A_2 tarafından kullanılan giriş ve çıkışlarına göre Z(s)'yi bölümleyerek

$$Z(s)=\begin{bmatrix} Z_{,,}(s)Z_{12}(s) \\ Z_{21}(s)Z_{22}(s) \end{bmatrix}$$

şeklinde yazalım.

Önerme 3. Yedekli denetim problemi eğer ve ancak (1) Z'nın sağ yarı düzlemdeki tüm özdeğerleri birinci kanaldan ulaşılabilir ve gözlenebilir ise, (2) I'nın sağyarı düzlemdeki tüm özdeğerleri ikinci kanaldan ulaşılabilir ve gözlenebilir ise ve (3) I'nın kutupları ile $Z_{12}(s)$ ve $Z_{21}(s)$ dönüşüm matrislerinin toptan sıfırları arasında girişim özelliği varsa çözülebilir.

Burada (1) ve (2) koşullan yedekli denetimde A, ve A_2'nin E'yı tek başlarına kararlı yapmaları koşulundan dolayı zaten gerekli olan koşullardır. Dolayısıyla problemin temel çözüm koşulunun yine bir girişim özelliği olduğunu görüyoruz.

6. SONUÇ

Güvenilir ayrış;k kararlılaştırma ve yedekli kararlılaştırma problemlerinin çözümü için eldekì karmaşık sistemin sağlaması gereken koşulları verdik. Bu koşullar sağlandığında, istenen türden bir denetleyicinin nasıl bulunacağına ise hiç girmedik. Burada yalnızca, tasarımcının ayrışık kararlılık problemini çözen herhangi bir denetleyici ile güvenilirlik veya yedek denetim amaçlarına ulaşamayacağını, tasarımın baştan bu amaçlara yönelik yapılması gerektiğini belirtmekle yetinelim.

Elde ettiğimiz sonuçların oldukça teknik ve denetim tasarımcılarına özgü jargonla dolu olmalarına karşın, bu sonuçlardan herkesin anlayabileceği nitelikte bazı kurallar türetebiliriz:

(a) Kararlı arabağlantı sistemleriyle oluşturulmuş bir karmaşık sistemin güvenilir ayrışık denetimi her zaman mümkündür.

(b) Güvenilirliğin sağlanması sistemin bazı kutupları ve toptan sıfırlan arasında bir tür girişim özelliğinin var olmasına bağlıdır.

(c) ileribesleme ve geribesleme yoluyla oluşturulmuş arabağlantılı karmaşık sistemlerde, yerel sistem kutup ve sıfırları güvenilirliğin sağlanması açısından eşlek bir rol oynarlar, (d) Zamana peryodik bağımlı denetleyicilerin denetlenen sistemin toptan sıfırlarını yok ettikleri bilinmektedir, [4]. Bunun ve (b)'nin bir sonucu olarak, zamana peryodik bağımlı denetim sistemleri kullanılırsa, güvenilirlik daha kolay sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

[I] Anderson, B D. O. and D.J. Clements, "Algebraic characterization of fixed modes in decentralized control", Automatica, Vol. 17, pp. 703-712, .1981

[2] Corfmat, J.P. and AS. Morse, "Decentralized control of linear multivariable systems", Automatica, Vol 8, pp. 479-495, 1976,

[3] Desoer, C A. and N. Gündeş, Algebraic Theory of Linear Feedback Systems with Full and Decentralized Compensators, Springer-Verlag, Berlin, 1990

[4] Khargonekar, P,P., K. Poolla, and A. Tannenbaum, "Robust control of linear timeinvariant plants using periodic compensators", IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. AC-30, No. 11, pp, 1088-1096, 1985.

[5] Özgüler, A.B., "Decentralized control: A stable proper fractional approach", IEEE Trans. On Automat .Control, Vol, 35, No. 10, pp. 1109-1117, 1990,

[6] Özgüler, AB. and M. Hıraoğlu, "Implications of a characterization result on strong and reliable decentralized control", Modelling, Robustness and Sensitivity Reduction in Control Systems, NATO ASI Series Vol. F 34, Edited by R.F. Curtain. 1987.

[7] Rosenbrock, H.H., State-space and multivariable theory, Nelson, 1970.

[8] Sezer, M.E. and Ö. Hüseyin, "Stabillzation of linear timeinvariant interconnected systems using local state feedback", IEEE Trans. on Sys. Man and Cyb., Vol. 8, pp. 751-756, 1978

[9] Siljak, D.D., Decentralized control of complex systems, Academic Press, Inc., boston, 1991.

[10] Ünyelioğlu, K.A. and AB. Özgüler, "Reliable decentralized stabilization of feedforward an feedback interconnected systems", (preprınt) Bilkent Unıversity, Bilkent 06533 Ankara.

[II] Vidyasagar. M., Control System Synthesis: A Factorization Approach, The MİT Press, Cambridge, Massachusetts, 1985.

[12] Wang, S H. and E.J Davison, "On the stabilization of decentraiized control systems", IEEE Trans. on Automat- Control, Vol. 18, pp. 473-478. 1974.

[13] Youla, D C, J.J. Bongıomo, and C.N. Lu, "Single-loop feedback stabilization of linear multivariable plants", Automatica, Vol 10, pp. 159-166. 1974.